



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	先進ボーリングデータ活用による蛇紋岩トンネルの施工管理手法の研究
Author(s)	佐々木, 博一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16851号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16851
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99696
Type	doctoral thesis
File Information	Hirokazu_Sasaki.pdf, 全文



先進ボーリングデータ活用による
蛇紋岩トンネルの施工管理手法の研究

Study on Construction Management Methods for
Serpentine Tunnels Based on Advanced Boring Data

令和 8 年 3 月

佐々木 博一

目 次

第1章 序論	1
1-1 研究の背景と目的.....	1
1-2 本論文の構成.....	2
1-3 音中トンネルの変状事例.....	3
1-4 第1章まとめ.....	7
第2章 蛇紋岩の概説と土木工事.....	9
2-1 蛇紋岩の産状と特徴.....	9
2-1-1 蛇紋岩の産状.....	9
2-1-2 蛇紋岩の特徴と土木的問題点	9
2-2 日本における蛇紋岩分布と地域別の特徴	11
2-2-1 早池峰構造帯	12
2-2-2 三波川帯	12
2-2-3 黒瀬川帯	12
2-2-4 三郡帯	12
2-3 北海道における蛇紋岩分布と地域別の特徴	13
2-3-1 空知-エゾ帯（神居古潭帯）	13
2-3-2 日高帯.....	13
2-4 北海道における蛇紋岩トンネル工事史.....	14
2-5 第2章まとめ.....	14
第3章 山岳トンネル設計の現状.....	15
3-1 山岳トンネル設計の手法.....	15
3-2 地山の評価と分類.....	15
3-3 含有鉱物種および量に基づく管理指標の可能性	18
3-3-1 含有鉱物とその影響.....	18
3-3-2 X線回折試験.....	18
3-3-3 一面せん断試験	20
3-4 第3章まとめ.....	21
第4章 調査データと施工データの取得.....	23
4-1 データ取得に向けた考え方	23
4-2 先進ボーリングの特性と評価指標としての利用可能性	24
4-2-1 先進ボーリングの特性について.....	25
4-2-2 先進ボーリングマシンの機動状況による指標.....	26
4-3 先進ボーリングで採取されたコアの特性と評価指標.....	28
4-3-1 コア観察から得られる指標.....	28

4-3-2	コアを用いた物性試験より得られる指標	32
4-3-3	鉱物の含有	33
4-4	計測データの選定	35
4-4-1	計測 A	35
4-4-2	計測 B	38
4-5	第4章まとめ	41
第5章	対象トンネルと取得データ	43
5-1	音中トンネル	43
5-1-1	トンネル概要と蛇紋岩の介在	43
5-1-2	先進ボーリングから得られたデータ	45
5-1-3	ボーリングコアから得られたデータ	53
5-1-4	計測から得られたデータ	55
5-2	音威子府トンネル	85
5-2-1	トンネル概要と蛇紋岩の介在	85
5-2-2	先進ボーリングから得られたデータ	86
5-2-3	ボーリングコアから得られたデータ	94
5-2-4	計測から得られたデータ	97
5-3	幌加内トンネル	115
5-3-1	トンネル概要と蛇紋岩の介在	115
5-3-2	先進ボーリングから得られたデータ	116
5-3-3	ボーリングコアから得られたデータ	125
5-3-4	計測から得られたデータ	128
5-4	第5章まとめ	148
第6章	取得データからの各種比較と分析	149
6-1	取得されたデータからの比較分析	149
6-1-1	3トンネルの概要比較	149
6-1-2	先進ボーリングマシンデータ内の比較分析	150
6-1-3	先進ボーリングマシンデータと土被りの比較分析	157
6-1-4	先進ボーリングマシンデータと蛇紋岩形態別介在率の比較分析	164
6-1-5	先進ボーリングマシンデータと計測 A の比較分析	170
6-1-6	先進ボーリングマシンデータと計測 B の比較分析	180
6-1-7	蛇紋岩形態別介在率別と計測 A の比較分析	185
6-1-8	蛇紋岩形態別介在率別と計測 B の比較分析	193
6-1-9	変位収束日数に関する比較分析	198
6-2	第6章まとめ	203
第7章	まとめ	205

参考文献	209
謝辭	212

第1章 序論

1-1 研究の背景と目的

これまでの土木工事において蛇紋岩は大きな膨張や膨圧および地すべりを発生させる特異な地質とされ、土木構造物の構築にあたり蛇紋岩を避けて通ることが賢明とされてきた。しかしながら鉄道網や道路網の整備促進のため、この蛇紋岩を避けることができず、これを克服しながら事業を進めてきたものの、工事では幾多の困難に遭遇することが多かった。近年では、更に高速・高規格道路網やリニア新幹線の事業において、これまでの蛇紋岩に関する知見と土木技術の発展に伴い、蛇紋岩に対して積極的に工事が進められているが、嚴重な注意と慎重な対応を要することは今も昔も変わらない¹⁾。

トンネル工事の施工管理項目では、原価管理、品質管理、安全管理、工程管理、計測管理が挙げられ、この中でも現場進捗に大きく影響を与える工程管理は、調査・設計・施工が適切に相まって成立するものであり、これは理学(地質)と工学(トンネル)との融合である。

調査・設計・施工の不備によって、掘削施工中にトンネル断面の許容を逸脱する変状が発生すれば、縫い返し(支保構造の再施工)となって工程の遅延に繋がり、さらに大規模な変状の場合には、技術検討に時間を要することから、より一層の工程の遅延が想定される。

これまで蛇紋岩に対する知見では、理学的に見ると蛇紋岩は鉱物組成が場所によって大きく異なるとされ、リザーダイトやアンチゴライトなどの鉱物が混在しており、それぞれの強度や変形特性が異なるため地山の均質性が低く、よって内部摩擦角や粘着力が低下する傾向があること、また、荷重を受け続けるとゆっくりと変形が進むクリープ現象を示すこと、加えて、節理や層状構造を持つことが多く、方向によって強度が大きく異なることが提唱されているものの、これらを複合的に評価した解析手法は確立されていない。一方、工学的に見ると、蛇紋岩を掘削対象としたトンネルの設計手法に着目すれば、定量的因子では適用できない部分があることから、経験的な指標として類似地山を参考とせざるを得ないことも多く、客観的な根拠に乏しい。また一方、工学的モデル評価として数値解析により掘削工法や支保構造を決定する場合があるものの、地質調査等の限界から解析システムへの入力物性値の妥当性やその検証に課題が残るところも存在する。

これらの調査や設計に基づいた施工においては、現在のトンネル技術を駆使しながらも予知・予見以上の事象が発生していることが報告されている。特に北海道においては地形・地質の造山上の特徴から、北海道の中央部分を縦断的に位置する神居古潭変成帯や日高変成帯に存在する蛇紋岩の影響を受けたトンネルの変状について多く報告され^{2) - 4)}、一部では、地山強度の著しい低下によるトンネル変状やこれに伴うトンネル構造物崩壊の報告も

あり⁵⁾、設計・施工段階から維持管理段階に至るまで、客観的な安定性・安全性指標の確立が求められている。そこで本研究では、これらの事象に基づくケーススタディ分析により、施工管理の向上に向けた地山評価手法の提案によって、適切な施工管理手法と掘削パターン・支保構造選定における客観的な指標導入の可能性について検討することとした。具体的には、これまで掘削パターン決定に考慮されていない先進ボーリングから得られるボーリングマシンの機械データの活用であり、先進ボーリングから得られるコアによる蛇紋岩形態の判別から掘削後の内空変位量や支保部材への発生応力との関係づけに基づいた、掘削パターンおよび支保構造選定の客観的指標化を試みるものである。すなわち、地質リスクに応じた柔軟な施工を目指すこととなる。これにより、トンネルの一次支保構造設計の効率性向上を目指すことができ、今後計画されている蛇紋岩トンネルの設計手法の確立に寄与できるものと考えた。また、トンネル工事に関わる発注者および受注者による適切な工程管理や事業執行管理によって将来的なトンネル構造の安定性確保にも繋がるものと考えている。さらに本研究の成果は、蛇紋岩以外の膨潤性・膨圧性を有するトンネルにおいても援用の可能性が考えられるとともに、供用中のトンネル変状に対する対策など維持管理に向けても有効であると考えられ、トンネル技術の更なる発展の一助となることが期待される。

1-2 本論文の構成

本論文の構成は、第1章の序論にて本研究の背景と目的を記し、本研究の動機の一つである音中トンネル工事における発生した事象を取り上げ、蛇紋岩トンネル工事において遭遇しうる工学的課題を紹介している。

第2章では、蛇紋岩の概説に続き、日本国内における蛇紋岩の分布と特徴を述べ、これまで北海道内で蛇紋岩を掘削対象としたトンネル工事の履歴を、道路、鉄道、導水路といった区分ごとに取りまとめている。

第3章ではトンネル構造物を構築する上での基準類を俯瞰しながら、蛇紋岩に対する地山分類や支保構造等の基準がどのように設定されているのかについて整理した。また、地山特性の客観的評価指標になりうると予想される含有鉱物資源量と、掘削時の地山安定性に関わる物理物性との関連性についても検討を行い、指標としての導入可能性について検討を行った。

第4章では、先進ボーリングマシンの機動状況から新たな地山評価手法の抽出に至る研究過程とその成果について詳述している。着目したのは坑内での先進ボーリングであり、トンネル本掘削前の事前調査で取得されるデータとして、その活用方策について検討を行っ

ている。ここでは、先進ボーリングから得られるコアからのデータの種類とその分類ならびに分析手法を考察した上で、施工により取得されるデータである掘削後の断面変位や、掘削後の各支保部材に作用する応力との検証を実施している。

第5章では、第4章における成果に基づき、音中トンネル・音威子府トンネル・幌加内トンネルで取得されたデータに対して、ケーススタディとしての具体的な検討を行った。特に先進ボーリングマシンの機械データ、ならびに先進ボーリングで採取されたコア観察から得た蛇紋岩の状況、コアを用いた物性試験結果が分析されている。これらは、掘削後に得られるデータである断面変位や支保工に作用する応力との比較が行われた上で、各トンネルごとに取りまとめている。

第6章では、各トンネルごとの比較分析が行われている。その結果、蛇紋岩の種別によって、先進ボーリングマシンの機動状況や掘進可能延長への影響が大きく、これに伴って断面変位や支保部材への作用応力にも影響が出ることが明らかにされた。このため、先進ボーリングによって得られる情報から、掘削後の断面変位や支保工応力の予測にとどまらず、内空変位の収束時期に至るまで、幅広い適用性があることが確認された。

第7章では、各章で明らかとなった結論を取りまとめ総括として記している。本研究では、先進ボーリングの機動状況や掘進可能延長、そして、土被りとの関係式によって、蛇紋岩トンネルに対応する適切な支保構造の選定から、内空変位さらには収束時期の予測までを、従前にはない工学的かつ客観的に考えるための手法を提言できたと考えている。本研究の結果は、今後の蛇紋岩トンネルに対する設計思想や現場での工程管理、事業として事業執行管理に対して極めて有益な知見を与えるものであると考える。

1-3 音中トンネルの変状事例

蛇紋岩トンネルの施工は、その品質管理と安全管理、工程管理を行う上で、これまでも多くの困難がもたらされた。本研究の大きなモチベーションの一つは、このような品質・安全・工程管理上の不確実性を、工事前ならびに工事中を通じて得られるデータ分析から克服できないかということにある。これまでに多くの蛇紋岩トンネルが施工されてきたが、そのトンネルごとに蛇紋岩ならではの地山変状とともに、支保部材の変状を余儀なくされ、その都度、支保構造を重装備にして対応してきた。それらの中でも、特に大きな困難をもたらした音中トンネルの事例検証は、本研究の目指すべき方向性と研究の意義を確認するために極めて重要なものとする。そこで本論文序論の締めくくりに音中トンネルにおける変状事例を紹介する。

音中トンネルは、北海道の北部地方に位置する一般国道40号の防災事業として計画された延長19kmの一般国道のバイパス事業(音威子府バイパス)において計画された延長4,686m

の2車線道路トンネルである。音威子府バイパスの位置図を図-1.3.1に示す。

掘削対象となる地質は、ジュラ紀～白亜紀の空知層群に属する緑色岩類（玄武岩，ハイアロクラスタイト）、珪質頁岩、砂岩および白亜紀の中部蝦夷層群の堆積岩（泥岩、砂岩）からなり、それらの基盤岩類に時代未詳の蛇紋岩が貫入している。空知層群の緑色岩類は塊状で硬質、珪質頁岩、砂岩も硬質である。このうち蛇紋岩分布区間は延長約470mで、この区間の最大土被りは約320mである。地質縦断図を図-1.3.2に示す。

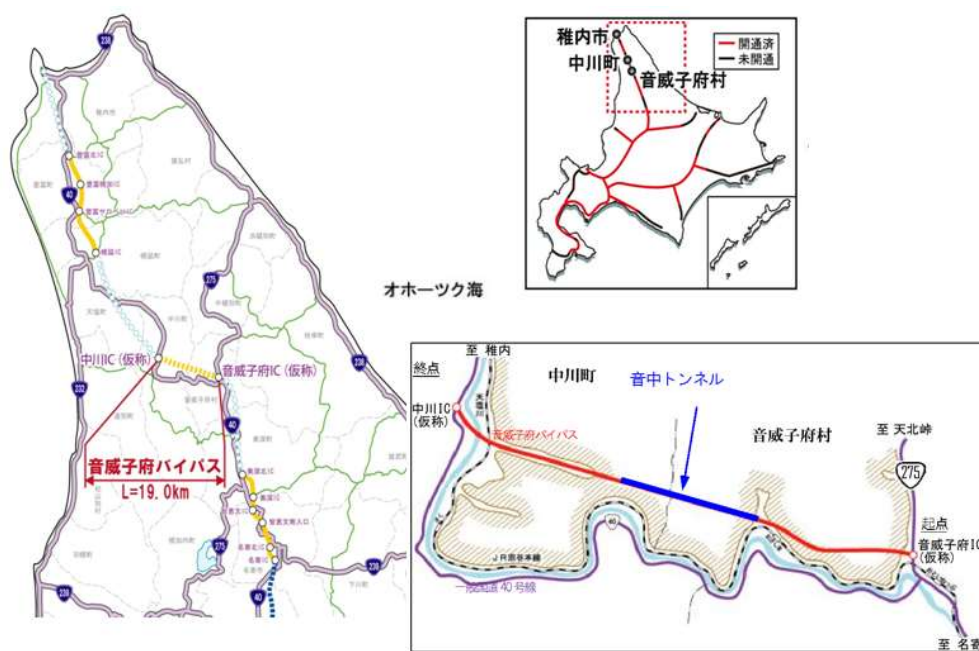


図-1.3.1 音威子府バイパス位置図

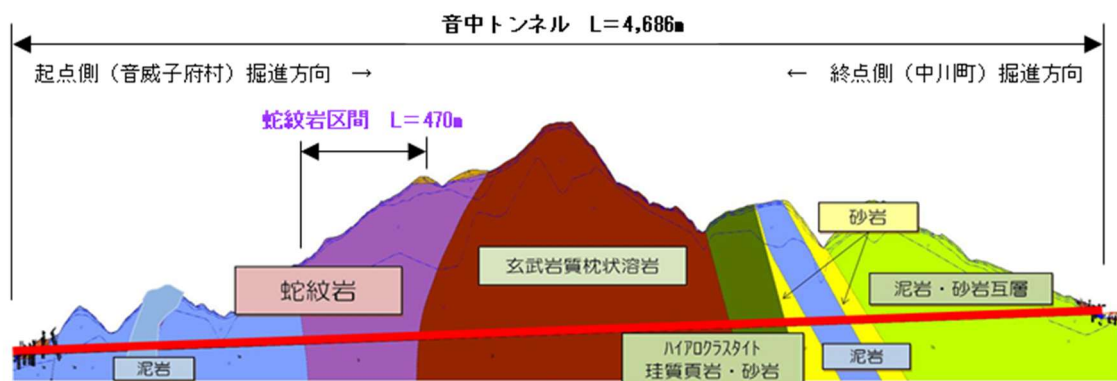


図-1.3.2 音中トンネル地質縦断図

掘削は平成 22 年 9 月より開始され、蛇紋岩は起点側の坑口から 1,300m 付近で出現し、これより約 470m 区間において蛇紋岩の掘削が進められていた。

図-1.3.3 に蛇紋岩区間で適用した代表的な支保構造を示す。支保構造は二重支保構造とし、吹付けコンクリートの設計基準強度は 36 N/mm^2 である。また、トンネル断面形状を円形に近づけ、脚部等に応力ができるだけ集中しない形状とした。具体的には、インバート半径を $3.0R$ (R : 上半半径) から $1.5R$ へ変更し、さらに、早期断面閉合を施工法の基本とした。インバートの閉合距離は 7m を原則とし、土被りが 300m を超える区間では閉合距離を 4m に短縮させ施工がなされた。

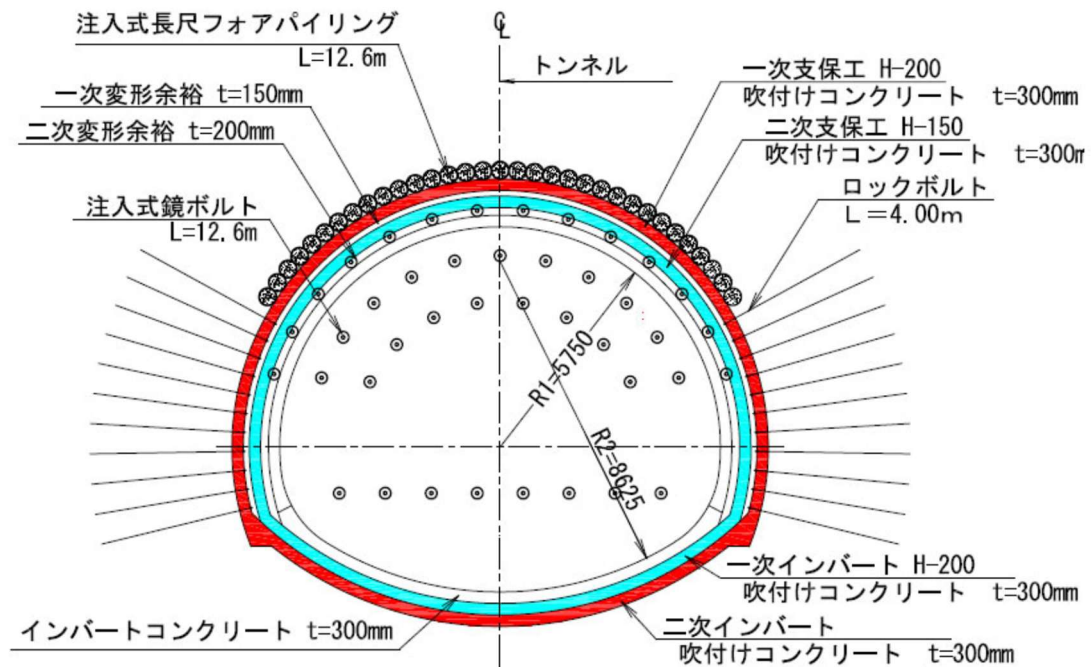


図-1.3.3 蛇紋岩区間における代表的支保構造

前述のとおり重厚な支保を用いて慎重に施工を進めていたが、平成 26 年 1 月に切羽の押し出しおよび切羽近傍で盤膨れが発生し、結果的に掘削済みの蛇紋岩区間の広範囲に変状をきたすこととなった。この変状の進行順を図-1.3.4 に、変状状況を写真-1.3.1～写真-1.3.4 に示す。変状の始まりは切羽からの押し出しが最初であった。その後、1 週間で切羽から坑口に向けて盤膨れが発生、その延長は坑口に向けて進行が拡大していくとともに、切羽付近では、天端・側壁部分の変状も確認された。盤膨れ・天端・側壁の変状は時間の経過とともに坑口方向へ進行し、4 週間後には蛇紋岩区間の中央付近で天端の崩落が発生し、トンネル内空断面は閉塞され、これ以降は、天端崩落以奥部の状況は確認できない状況となった。その後も天端崩落箇所から坑口方向に盤膨れ・天端・側壁の変状は続き、最終的には蛇紋岩区

間の全延長にわたって変状が進行し、蛇紋岩区間の手前に存在する泥岩区間との境界で変状は収束した。推定される発生メカニズムについては、特に、蛇紋岩の低い強度と摩擦角、そして吹付けコンクリートのクリープ破壊が連鎖的に進行したというメカニズムとされ、NATM の「地山が支える」という前提が成立しないため、初期段階から土水圧を支持できる強固な支保設計が必要であると提唱されている⁶⁾。

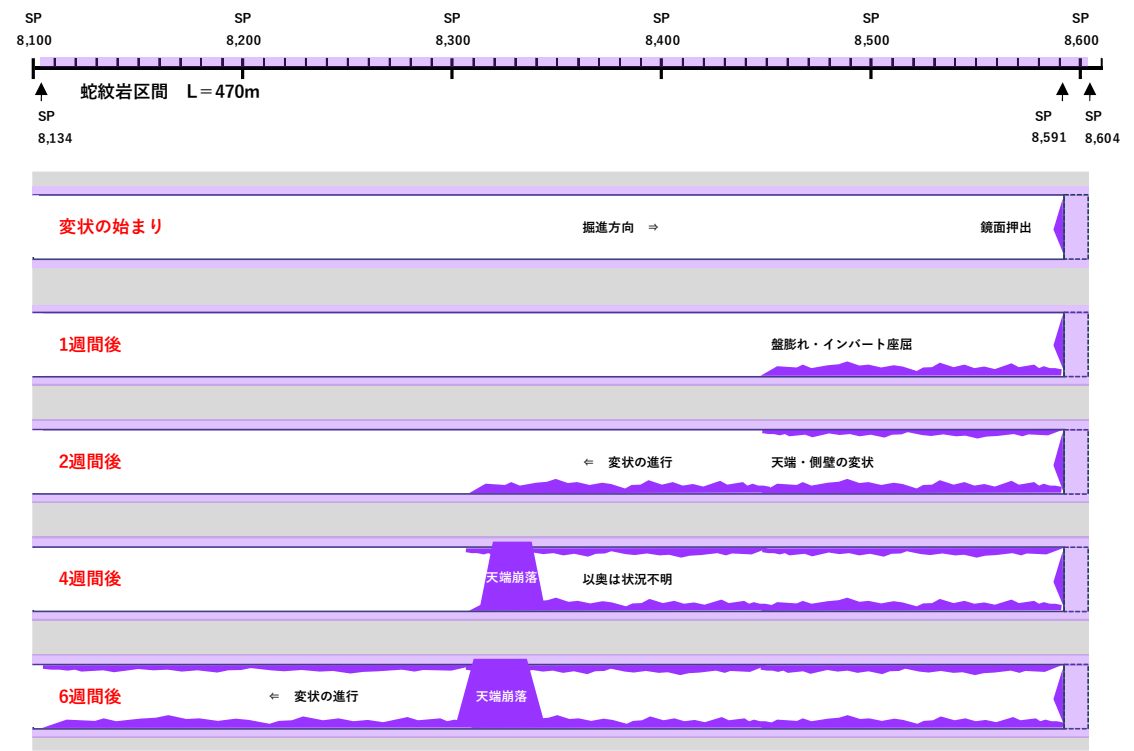


図-1.3.4 変状の進行順



写真-1.3.1 切羽の押出し



写真-1.3.2 インバートの変状



写真-1.3.3 天端および側壁の変状



写真-1.3.4 天端崩落

1-4 第1章まとめ

これまでの土木工事では蛇紋岩を避けるのが賢明であったが、蛇紋岩に関する知見と土木技術の発展に伴い、近年、蛇紋岩に対して積極的にトンネル工事が進められているところであるが、施工中における掘削断面の変状などで、工事の一時中止が散見される。この一時中止により、工程に大きな影響を及ぼすことから、トンネルの調査・設計・施工が適切に相まって成立させる必要がある。これを踏まえると理学（地質）と工学（トンネル）の融合は必須であると言える。理学的に蛇紋岩は、鉱物組成・変形特性が複雑で、内部摩擦角や粘着力の低下およびクリープ現象など、これらを複合的に評価した解析手法は確立されていない。工学的な設計では、経験的指標を用いることでの客観的根拠に乏しいこと、数値解析では解析システムへの入力物性値の妥当性に課題が残る。工学的な施工では、蛇紋岩の影響を受けたトンネルの変状について多く報告されており、設計・施工には客観的な安定性・安全性指標の確立が求められる。よって音中トンネルの変状経験を踏まえ、客観的な手法の導出により、初期段階からの強固な支保設計を遂行したいと考えた。



トンネル工事における先進ボーリング調査状況①

第2章 蛇紋岩の概説と土木工事

2-1 蛇紋岩の産状と特徴

2-1-1 蛇紋岩の産状

地球は表層から順に地殻・マントル・核（外核・内核）から構成され（図-2.1.1）⁷⁾、このうち上部マントルは、かんらん岩からなると考えられており、マントル対流により海底近くに上昇してきたかんらん岩が、水と反応して生成した岩石が蛇紋岩であり（図-2.1.2）⁸⁾、日本各地に分布している。

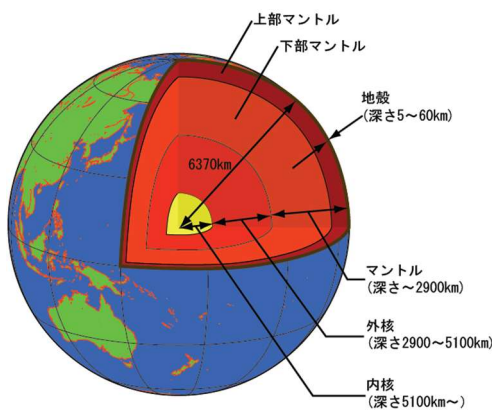


図-2.1.1 地球内部の模式図

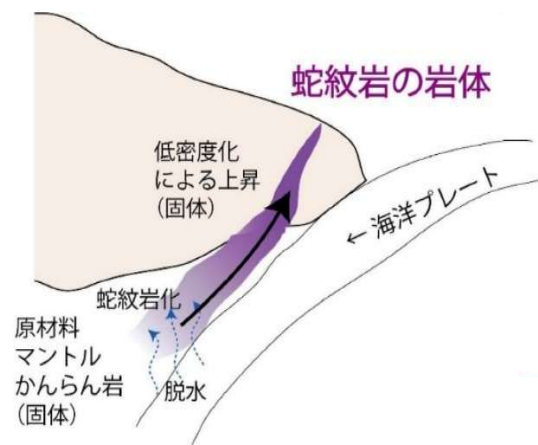


図-2.1.2 蛇紋岩の生成

（気象庁：「地球内部の模式図」）

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/jishin/jishin/about_eq.html 平成7年12月20日閲覧

（国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム：「蛇紋岩の形成過程に着目した岩盤性状分類に関する研究」の参考資料）より引用

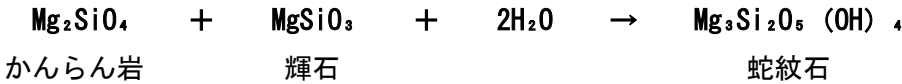
2-1-2 蛇紋岩の特徴と土木的問題点

もともと蛇紋岩は地下深部で形成され、激しい構造運動の影響を受けているため、割れ目が発達し破砕していることが多く、地表に露出しているものは応力解放しやすい性質がある。また、塊状部・葉片状部・粘土状部が不規則に分布する特徴があり、新第三紀の泥岩や凝灰岩と並んで、著しい膨張性岩盤として知られている。

その原因として、以下の事柄が考えられる。

- （1）岩石強度を越える応力を受けることによる塑性流動化
- （2）岩石の風化や吸水に伴う膨張、脆弱化
- （3）地質構造的運動等に起因する潜在応力の解放

これらに加えて蛇紋岩には以下の鉱物が含まれる。蛇紋石 ($\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$) の主要な鉱物はアンチゴライト、クリソタイル、リザーダイトである。蛇紋石が形成される過程の一例を示すと下記となる。



蛇紋石形成に関しては、この反応式以外にも原石や接する岩体の岩種により 6 種類の反応式が明らかにされており、その場合には蛇紋石以外にブルーサイト（水滑石）、ブルーサイトロック（菱苦土石）、滑石（タルク）、方解石（カルサイト）、かんらん石（フォレストライト）、緑泥石（クロライト）が形成される。中でもタルクは軟らかい鉱物であり内部摩擦角が小さいと推測されること、また、クロライトはグリーンタフの主要鉱物であり、それが分布する地域の地すべりを引き起こす原因となり、カルサイトは水に溶けやすいので風化を促進するとされる⁹⁾。このようなことから、トンネル工事において問題を生じやすい地質とされている。蛇紋岩は、土木工学的には性状や岩石の形態から表-2.1.1、写真-2.1.1 に示す分類が一般的に用いられており、それぞれ圧縮強度やせん断強度および変形係数等の強度定数が異なるとされる。

表-2.1.1 蛇紋岩の一般的な工学分類と性状

分 類	性 状
塊状 蛇紋岩	一般の深成岩と同様に節理系が良く発達する塊状岩で硬質
葉片状 蛇紋岩	節理系は消滅し、片状または葉片状に剥離しやすく、軟質
粘土状 蛇紋岩	粘土状を呈し、軟質



塊状



葉片状



粘土状

写真-2.1.1 蛇紋岩の分類

2-2 日本における蛇紋岩分布と地域別の特徴

日本における蛇紋岩の分布は、北海道中軸部に南北に分布する神居古潭帯、北上山地の早池峰構造帯、中央構造線沿いの三波川帯、九州から四国を経て紀伊半島まで分布する黒瀬川帯、山陰地方の三郡・山口帯などがある¹⁰⁾。(図-2.2.1)

小規模なものは鹿児島県八瀬尾の四万十帯や房総半島の嶺岡帯から三浦半島を経て静岡県の瀬戸川帯などに分布している。いずれも大規模な構造線に沿って分布しているのが特徴である。

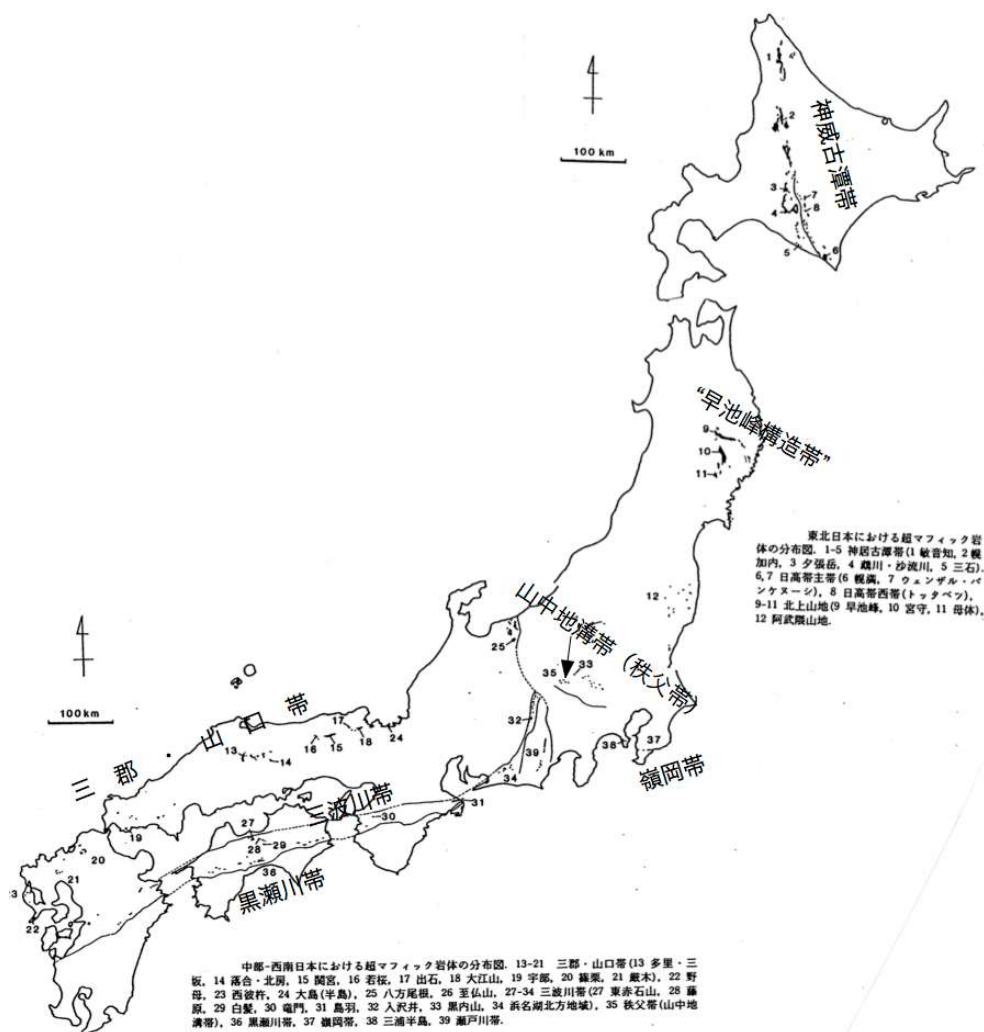


図-2.2.1 日本における蛇紋岩の分布

(蛇紋岩の分布)

https://mishi.weblike.jp/tunres11_9_3.html#:~:text=%E8%9B%87%E7%B4%8B%E5%B2%A9%E3%81%AE%E5%88%86%E5%B8%83,%E5%B1%B1%E5%8F%A3%E5%B8%AF%E3%81%AA%E3%81%A9%E3%81%8C%E3%81%82%E3%82%8B%EF%BC%8E 令和7年12月20日閲覧

2-2-1 早池峰構造帯

早池峰構造帯は、東北地方の北上山地にある早池峰山と薬師岳から成り立っており、オルドビス系～シルル系の早池峰複合岩類が古生界の最下位層として広く分布している。早池峰複合岩類は、蛇紋岩化した超塩基性岩・斑れい岩・粗粒玄武岩・玄武岩・トロニウム岩などからなる¹¹⁾。

2-2-2 三波川帯

三波川帯は、西南日本外帯の北縁部に西は九州佐賀関半島から東は関東山地までの延長約800kmにわたって帯状に分布する高圧型の広域変成帯である。地質構成としては、中部・関東地方では主に泥質片岩や緑色片岩、近畿・四国・九州では泥質片岩等の他に塩基性片岩や蛇紋岩が分布する^{12) - 16)}。

2-2-3 黒瀬川帯

黒瀬川帯は、関東山地から紀伊半島・四国・九州にわたって細長く帯状に分布し、その長さは約1,000kmに達する。紀伊半島の和歌山県では主に花崗岩類・変成岩類が分布し、四国地方の高知県では変成岩類の他に蛇紋岩が存在し、九州地方3県では変成岩類、蛇紋岩の他、粘板岩や玄武岩が分布する^{17) - 19)}。

2-2-4 三郡帯

三郡帯は、中国地方から九州北部地方にかけて広域に点在する。古生代末期に形成された堆積岩が基となり、活発な造山運動による圧力で変成岩を呈し、その後、超塩基性岩の貫入や火成作用を受け現在に至っている。地質構成としては、中国地方および九州地方ともに泥質片岩・砂質片岩・塩基性片岩であり、中国地方の鳥取県の一部で蛇紋岩が存在する^{20), 21)}。

2-3 北海道における蛇紋岩分布と地域別の特徴

図-2.3.1において、北海道における地質構造帯を示す²²⁾。そのうち、蛇紋岩が分布する空知-エゾ帯（神居古潭帯）、日高帯についての特徴を述べる。

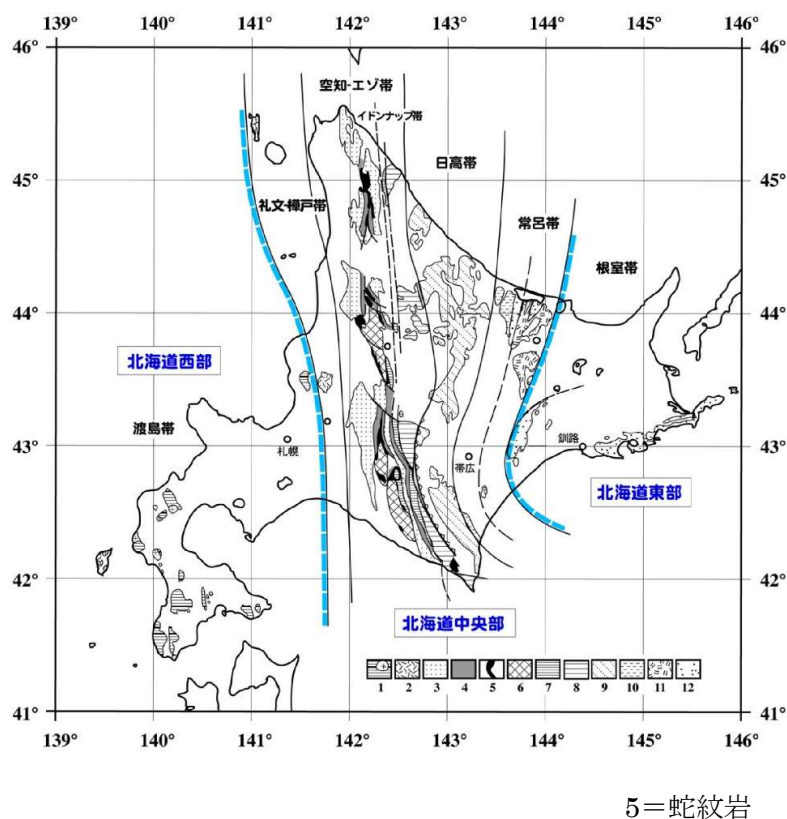


図-2.3.1 北海道における蛇紋岩の分布

2-3-1 空知-エゾ帯（神居古潭帯）

空知-エゾ帯は北海道の中軸部に南北に連なって分布しており、その中で神居古潭帯は空知-エゾ帯の中央部に位置する。おおまかには南から日高地方（三石・静内地域～新冠地域～沙流川地域）、鶴川地域、夕張岳地域、美瑛地域～神居古潭峡谷地域～幌加内・江丹別地域、および知駒岳地域に分けられ、南北約 300km にわたり継続的に続く。

神居古潭帯は、超苦鉄質岩類（主に蛇紋岩）および結晶片岩などの変成岩類（特に日高変成岩類との違いは低温高压型変成岩である）で特徴づけられる²³⁾。

2-3-2 日高帯

日高帯は、後期白亜紀～古第三紀に形成された付加体で、空知-エゾ帯と常呂帯の間に分布する。日高帯の付加体構成岩類は、砂岩・泥岩などの陸源碎屑物と石灰岩、チャート、緑色岩類などのブロックよりなり、緑色岩類の一部は現地性である²³⁾。

2-4 北海道における蛇紋岩トンネル工事史

以下にこれまでの北海道における蛇紋岩を掘削対象としたトンネルを表-2.4.1で紹介する。この表から、北海道における蛇紋岩トンネル施工の履歴を把握するとともに、前述の北海道における蛇紋岩分布と地域別の特徴が理解でき、加えて、これまでに投稿された論文や工事報告の検索などの基礎資料として重要な意義を有すると考える。

表-2.4.1 北海道における蛇紋岩トンネルの履歴

区別	事業者名 (現名)	トンネル名	路線名	本坑 全延長 (m)	避難坑 全延長 (m)	本坑 蛇紋岩 延長 (m)	避難坑 蛇紋岩 延長 (m)	工事 竣工年 (西暦年)	工事 竣工年 (和暦年)
道路1	北海道開発局	稲里（いなさと）	一般国道274号	1,441	—	885	—	1984	昭和59年
道路2	NEXCO東日本	嵐山（あらしやま）	北海道縦貫自動車道	1,434	—	165	—	1989	平成元年
道路3	NEXCO東日本	江丹別（えたんべつ）	北海道縦貫自動車道	1,896	—	135	—	1989	平成元年
道路4	NEXCO東日本	常盤（ときわ）	北海道縦貫自動車道	1,843	—	360	—	1990	平成2年
道路5	NEXCO東日本	東占冠（ひがしむかつぶ）	北海道横断自動車道	2,493	—	340	—	2009	平成21年
道路6	NEXCO東日本	タンネナイ（たんねない）	北海道横断自動車道	816	—	550	—	2010	平成22年
道路7	北海道開発局	幌加内（ほろかない）	一般国道275号	1,241	—	1,241	—	2010	平成22年
道路8	NEXCO東日本	穂別（ほべつ）	北海道横断自動車道	4,318	4,304	1,090	1,090	2011	平成23年
道路9	NEXCO東日本	占冠（しむかつぶ）	北海道横断自動車道	3,824	3,848	695	605	2011	平成23年
道路10	北海道開発局	音威子府（おといねつぷ）	一般国道40号	2,699	—	835	—	2016	平成28年
道路11	北海道開発局	音中（おとなか）	一般国道40号	4,686	—	470	—	2021	令和4年
鉄道1	JR北海道	神居（かむい）	函館本線	4,523	—	約 3,000	—	1969	昭和44年
鉄道2	JR北海道	鬼峠（おにとうげ）	石勝線	3,765	—	約 480	—	1981	昭和56年
鉄道3	JR北海道	新登川（しんのぼりかわ）	石勝線	5,825	—	約 1,200	—	1981	昭和56年
導水路1	北海道開発局	神竜（しんりゅう）	神竜導水路	3,240	—	約 1,100	—	1986	昭和61年

2-5 第2章まとめ

蛇紋岩は割れ目が発達し破砕していることが多く、著しい膨張性岩盤であるとともに、鉱物の含有により岩石強度の著しく低下する。このため蛇紋岩は、トンネル工事において最も扱いが難しい地質の一つとされる。

日本における蛇紋岩の分布は、東北・山陰・四国地方など広範囲に確認され、北海道では南は三石から夕張・旭川を経て天塩まで、南北に約300kmにわたって継続的に続く。北海道内の蛇紋岩が分布する各地方でトンネル工事が進められてきたが、どのトンネルにおいても大きな変状を伴うなど、大変困難な工事であった。

第3章 山岳トンネル設計の現状

この章では山岳トンネルの設計全般について、トンネル標準示方書（共通編）・同解説／（山岳工法編）・同解説（土木学会）²⁴⁾ や道路設計要領第4集トンネル編（北海道開発局）²⁵⁾ を参考に現状の基準を紹介していく。その中で特に着目したいのは、蛇紋岩を掘削対象としたトンネルに対する基準類の記述である。どれだけ客観的で具体的な記述がなされているかに着目したい。結果的にはそこまで及んでいないのが実情であり、これまでに蛇紋岩を掘削対象としたトンネルが少ないことに伴ってデータの蓄積が少ないこと、加えて、蛇紋岩でも種類による工学的性質の差異ならびに土被りなどの地形条件の差異も相まって、設計への反映に追いついていないことが実情と考えられる。

3-1 山岳トンネル設計の手法

山岳トンネル設計の手法には、大きく3つの設計手法が存在する。1つ目は「標準設計」である。設計条件が過去の設計や施工実績として大きく異なる場合に適用される最も基本的な設計手法であり、多くのトンネルで採用されている。2つ目は「類似条件での設計」である。過去に施工したトンネルと設計条件が類似する場合に適用される。3つ目は「解析的手法での設計」である。設計条件に特殊な地山や特殊な形状など特殊な条件が含まれるトンネルで適用される。これら3つの手法の適用可能性を蛇紋岩トンネルについて検討すると、「類似条件での設計」および「解析的手法での設計」が対象となり得る。しかし、前者は類似事例が少なく、後者は地山定数の設定が確立していないため、設計手法が十分に確立されているとは言い難い。

3-2 地山の評価と分類

山岳トンネル設計において一般的には「支保」の設計が主であり、地山評価から、いわゆるトンネル掘削パターンの選定と支保構造の決定を行う。地山評価には定量的な因子と経験的な指標に基づいて地山を総合的に評価する分類方法と、地山の物性値に基づいて工学的なモデルを作成し、解析的手法を用いて評価する方法があり、トンネル標準示方書²⁴⁾ より表-3.2.1に示した。これらも3-1と同様に、蛇紋岩トンネルに照らし合わせると、定量的な因子・経験的な指標・解析的手法に関して、蛇紋岩トンネルの前例が少なくデータの蓄積がほぼないために、蛇紋岩トンネルに対する地山評価手法が確立されているとは言えない状況であることがわかる。参考として北海道開発局の地山分類表²⁵⁾ を表-3.2.2に示す。なお、経験的指標についての論評では、深部蛇紋岩掘削では、従来の経験的分類法だけでは支保設計の信頼性が不十分であり、蛇紋岩特有の高変形性・低強度を反映した新たな指標の開発、数値解析の活用、リアルタイムモニタリングの強化が必要である²⁶⁾ と提唱されている。

表-3.2.1 地山評価の位置付け
(参考文献 24 より引用)

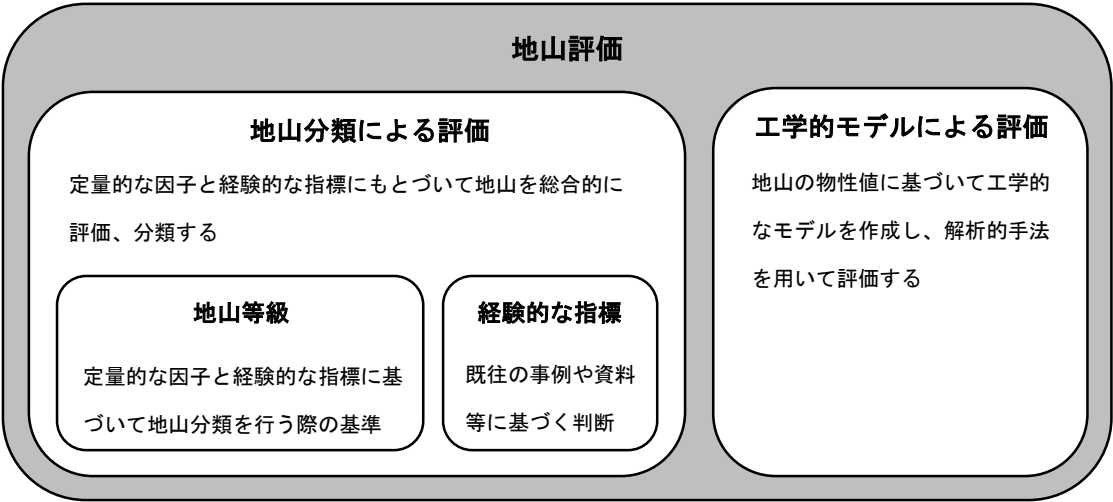


表-3.2.2 地山分類表
(参考文献 25 より引用)

地 山 区 分	剥離性に着む 古生層～深成層		剥離性に着まない 古生層～深成層、火山 岩		第三紀地層岩類		亀裂係数 K (%)	主な地質状況	地 山 定 数					地山強度比 $\frac{\sigma_{cs}^*}{\gamma H}$
	Vp* (km/s)	RQD (5) (%)	Vp* (km/s)	RQD (5) (%)	Vp* (km/s)	RQD (5) (%)			岩石圧縮強度 σ_{cs}^* (MPa)	粘着力 Cs* (MPa)	内部摩擦角 ϕ^* (°)	変形係数 Es* (MPa)	ポアソン比 ν^*	
A	4.8以上	60以上	4.5以上	60以上	—	—	—	1.新鮮にて亀裂ほとんどない 2.崩落ちほとんどない	140以上 (1,400以上)	6以上 (60以上)	55以上	5,000以上 (50,000以上)	0.25以下	—
B	4.5～4.8	50～60	4.0～4.5	50～80	3.0以上	60以上	25以下	1.新鮮にて亀裂少ない 2.崩落ち少ない	140～35 (1,400～350)	6～3 (60～30)	50～45	5,000～2,000 (50,000～20,000)	0.25～0.30	≥ 4
C I	4.0～4.5	30～50	3.5～4.0	30～70	2.5～3.0	40～60	25～50	1.風化受け亀裂多い 2.一部に変質破砕帯	7～3.5 (70～35)	1.5～1.0 (15～10)	40～35	1,000～500 (10,000～5,000)	0.30～0.35	4～2
C II	3.5～4.0	20～30	3.0～3.5	20～50	2.0～2.5	30～40	50～70	1.風化受け亀裂多い 2.一部に変質破砕帯	3.5～1.5 (35～15)	1.0～0.5 (10～5)	35～30	500～150 (5,000～1,500)	2～1	2～1
D I	3.0～3.5	20以下	2.5～3.0	40以下	1.5～2.0	20～30	70～80	1.強風化及び破砕帯 2.変質を伴う破砕帯	1.5～0.5 (15～5)	0.5～0.1 (5～1)	30～15	150～30 (1,500～300)	0.35～0.40	1以下
D II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注1) 古生層～深成岩のうち、吸水膨張性を有する蛇紋岩、片岩類は別途考慮
注2) 地山定数欄の () 内は、従来単位 (kgf/cm²) の値
注3) MPa = N/mm²

3-3 含有鉱物種および量に基づく管理指標の可能性

含有する鉱物の種類やその量は、事前に入手可能な客観的データであり、それが管理指標に使えれば有用なデータになると考えた。そこで含有鉱物の種類および量に基づく管理指標の可能性について検討を行った。

3-3-1 含有鉱物とその影響

蛇紋岩に含有する鉱物の有無や種類そして量などによって、内部摩擦角を著しく低下させる一要因である⁹⁾ことから、蛇紋岩トンネルにおける支保構造の設計の中でも数値解析手法においてはその物性値によって解析結果に大きな影響を及ぼすこととなる。今後、3トンネルの鉱物含有について、音中トンネルは 5-1-3- (3) にて、音威子府トンネルは 5-2-3- (3) にて、幌加内トンネルは 5-3-3- (3) にて記述しているが、本論文で扱う 3 トンネルの鉱物含有状況については、音中トンネルでは試験が実施されておらず、鉱物の有無や種類は明らかになっていない。そこで音中トンネルの残存する先進ボーリングコアを用いて X 線回折試験を実施し、これと同時に一面せん断試験による内部摩擦角の測定を試みた。

3-3-2 X 線回折試験

X 線回折試験における試料数および供試体の作成方法は、先進ボーリングから得られたコアの粘土状部分から 34 試料を採取、その試料をメノウ乳鉢にて $10\mu\text{m}$ 以下に細粒化した後、試料穴 1cm のガラスホルダーに充填してスライドガラスにてすり切り、そのガラスホルダーをサンプラーに並べて測定を行った。X 線回折分析装置は Panalytical 社 EMPYREAN を使用した。確認された鉱物は蛇紋石（サーパンティーン）、水滑石（ブルーサイト）、方解石（カルサイト）、磁鉄鉱（マグネタイト）であり滑石（タルク）の含有は認められなかった。

-3.3.1 に X 線回折試験結果の一例を示す。この判別の後、ブルーサイトの含有がほぼ無い試料に水酸化マグネシウムを定量の数種類を添加して標準添加法を用い、100%添加試料の場合と比較して最小二乗法で線形近似することにより検量線を作成した。測定 XRD プロファイルに対して、理論 XRD プロファイルを最小二乗法で精密化しパターンフィッティングする方法である。リートベルト法との比較検討で線形近似した際の図-3.3.2 から、 $y = x$ に最も近い直線の傾きから推定されるブルーサイトの含有量は 0~9.02%との結果であった（表-3.3.1）。

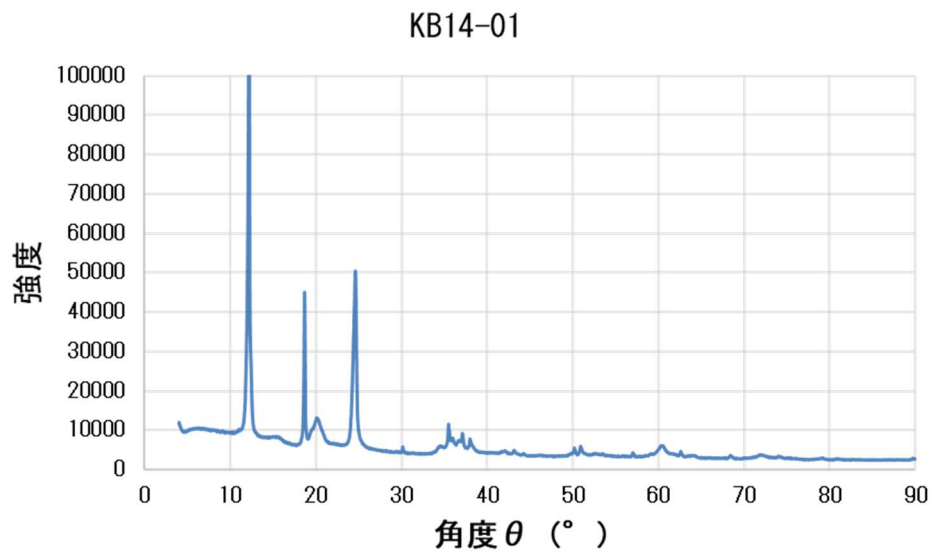


図-3.3.1 X線回折結果の一例

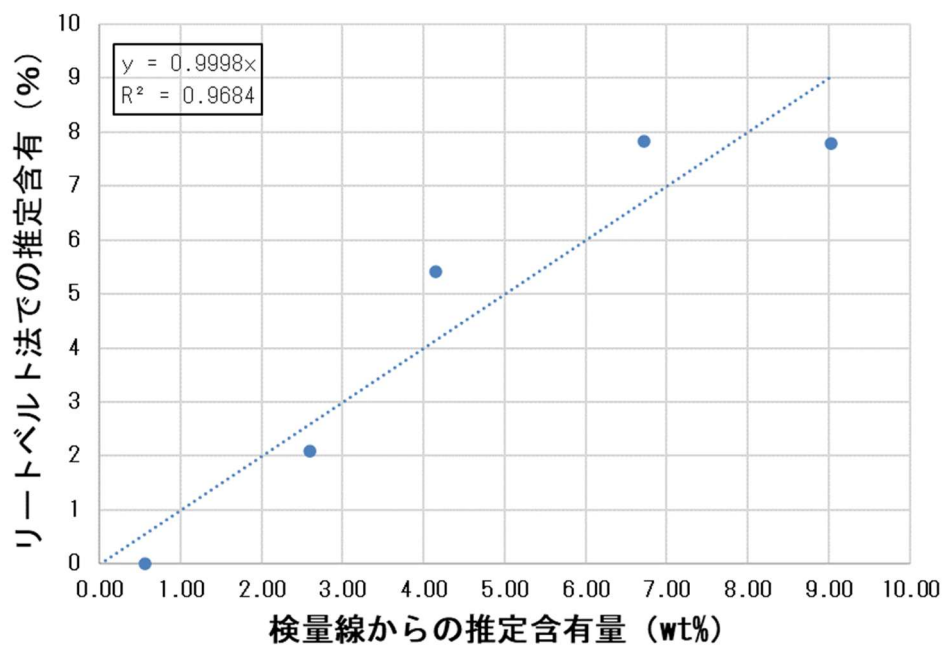


図-3.3.2 $y=x$ に最も近いリートベルト法との比較

表-3.3.1 水滑石の推定含有量

試料名	含有量 (wt%)	試料名	含有量 (wt%)
KB14-01	3.95	KB20-3	3.24
KB14-02	5.39	KB22-1	5.40
KB14-03	4.15	KB22-2	9.02
KB15-01	4.55	KB22-3	5.52
KB15-02	1.52	KB24-1	4.62
KB15-03	2.60	KB24-2	6.76
KB17-01	2.55	KB24-3	6.31
KB17-02	7.56	KB25-1	6.28
KB17-03	0.56	KB25-2	6.79
KB18-1	5.41	KB25-3	4.66
KB18-2	0.45	KB26-1	8.51
KB18-3	8.11	KB26-2	6.49
KB19-1	4.41	KB26-3	8.01
KB19-2	6.61	KB27-1a	0
KB19-3	6.72	KB27-1b	0
KB20-1	3.59	KB27-1c	6.27
KB20-2	4.06	KB27-1d	0.47

3-3-3 一面せん断試験

一面せん断試験では、蛇紋岩の化学式から粉体試料として、ブルーサイトに見立てた水酸化マグネシウム、蛇紋石に見立てた二酸化ケイ素を用い、重量割合で配合を決めて試験を行った。配合では水酸化マグネシウム粒度を $0.6\mu\text{m}$ と $4\mu\text{m}$ を使用し、重量配合 $0 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 25 \cdot 50\%$ の各々5種類とした。この試料を一面せん断試験機の固定部分と可動部分の二つに分かれたせん断箱に、直径 6cm、高さ 2cm の供試体にて測定を行った。一面せん断試験の結果を図-3.3.3 に示す。トンネル施工で掘削対象となる岩盤の内部摩擦角は、掘削後の内空変位との関係性が考えられ、内空変位が大きくなる現象はトンネル周辺地山に塑性域が形成された結果であるとされる。この現象のひとつの要因として、地山強度比が 2 以下で、かつ、内部摩擦角が概ね 30° 以下の地山条件で顕著であると報告がある²⁷⁾。これも含めて図-3.3.3 を考察した。ブルーサイトの含有率別の内部摩擦角はすべての試料で 30° 以下であり、概して低い傾向であることから、塑性域が形成されやすく内空変位を大きくする鉱物の一種であると推察される。含有率別にみると 0% に比べ、10% および 15% で内部摩擦角は低下する傾向が見受けられるものの、報告にある²⁷⁾ 内部摩擦角の範囲と比較すると、極端な低下とは判断しにくく、25% では内部摩擦角が上昇傾向を示す結果となった。

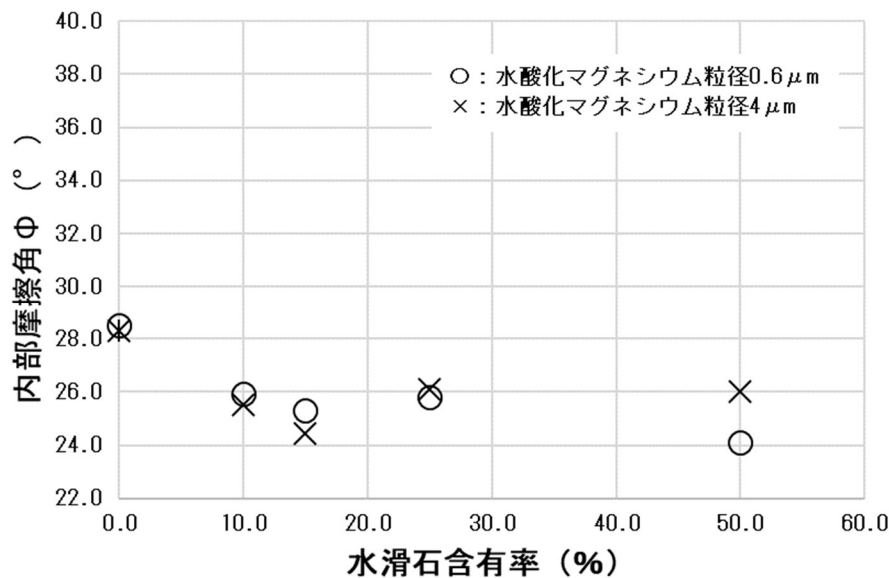


図-3.3.3 水滑石含有率と内部摩擦角の関係

以上より、ブルーサイトの含有率のみで内部摩擦角の低下の程度を定量的に推測することは困難であり、その利用が難しいことが判明した。しかし、支保工パターンの見直しなどにおいて数値解析による地山評価が頻繁に行われる蛇紋岩トンネルの施工においては、数値解析上の必須パラメータである内部摩擦角などの定量的評価が非常に重要であり、含有鉱物量と地山物性との関係についての検討は、今後も必要と考える。今回の試験では水の介在なしの試験であったため、水の介在による変化、また、地山強度比との比較などが今後の課題として挙げられる。

3-4 第3章まとめ

トンネル設計に関する基準類では、標準的な地山等級における地山分類の定量的指標として、弾性波速度・RQD・地山強度比が設定されているが、北海道開発局の設計要領ではこれらに加え亀裂係数の他、粘着力などの地山定数が存在する。この一方で蛇紋岩に関する定量的指標の基準は存在しない。よって蛇紋岩に対する設計、いわゆる支保構造の設定にあたっては経験的指標や類似地山を参考としてきた。このことから、一つの客観的指標を目指し、蛇紋岩に含有する鉱物の種類や量に基づく指標の可能性を試みるため、X線回折試験ならびに一面せん断試験を行ったが、有効な結果に至ることはできなかった。しかしながら、これらの結果から、含有鉱物量に依存しない客観的な地山評価基準を確立する必要性が示唆された。

第4章 調査データと施工データの取得

4-1 データ取得に向けた考え方

施工前に得られる調査データは、トンネル工事前であれば現地踏査や坑外からの鉛直ボーリング・水平ボーリング等があり、トンネル工事着工後では先進ボーリングなどがある。

先進ボーリングは、着工前に行った地質等の調査結果と施工時の状態とが必ずしも一致しない場合や、調査ボーリングを到達させることが難しいトンネル深奥部での正確な地質情報を得ることを目的として実施されるものであり、地山に関わる重要な情報が施工中に入手できる貴重な手段の一つでもある。このため、わずかな環境条件の違いでも大きな地質特性の違いが発生する蛇紋岩トンネル工事では、工事の進捗に伴って実施されることも多い。そこで、蛇紋岩トンネルで施工と並行して実施されることの多い先進ボーリングに着目し、得られるデータを地山評価や支保パターンの照査、内空変位予測、工程管理に活用できないか検討した。そこで本論文では、北海道北部の蛇紋岩を対象としたトンネル工事での先進ボーリングデータおよび計測 A・計測 B データを整理・分析した上で比較検証を実施することとした。これらを具体的に示すと、先進ボーリングにおいては、一般的にコア観察やコアを利用した物性試験の結果に着目されがちだが、ここではコア採取中の先進ボーリングマシンの機械データに着目した。この機械データには、先進ボーリングマシンを回転させるための給圧、回転数があり、その結果として掘進速度が得られ最終的な掘進長が得られることとなる。これら先進ボーリングマシンの機械データに着目した研究はこれまでそう多くない。これに加えコア観察による塊状等の蛇紋岩形態別介在率の算出と物性試験結果、計測 A での内空変位や計測 B での支保部材に作用する応力の発生具合を整理・分析、比較検証の実施となる。これにより、施工中の切羽の状態から経験的・定性的に判断するというこれまでの方法論に替わり、最新のボーリングデータと計測 A、計測 B データからの情報をもとにした適切な地山の評価が、施工中に適宜行えることとなり、より安全・確実な施工が可能になるものとする。これらデータの扱いは、北海道開発局が発注する道路トンネルの設計図書に存在する特記仕様書に明記されており、受注者はこの特記仕様書に基づいて工事完成後に発注者へ提出することとされている。平成 15 年頃から運用され令和 7 年 5 月現在で国道の 117 トンネルが蓄積されている。地質情報や施工時情報が集約されたものとなっており、これら工事情報の収集は、今後の維持管理に向けた想定も含まれ大変貴重なデータとなる。他の事業者においても、北海道におけるトンネル施工時のデータおよび今後の維持管理に向けて、データの収集・蓄積が望まれる。以下に北海道開発局の特記仕様書を引用して紹介する。

NATM データの提出

1、受注者は工事完成時に NATM 施工データを提出するものとする。

～目的～

供用後の維持・管理、近傍新規トンネルおよび技術基準改定等への基礎資料とすることを目的とする。

2、NATM 施工データは下記の項目とする。

- (1) トンネル一般図 : 地質縦断図
(当初掘削パターン、実績掘削パターンが記載されているもの)
(調査ボーリングでの各種物性値が記載されているもの)
 - (2) 標準断面図
 - (3) 坑内観察記録 : 坑内・切羽観察記録、切羽評点等
 - (4) A 計測データ : 計測位置図、測定値データ、変位観測経過図等
 - (5) 先進調査ボーリングデータ : 柱状図、各種物性値、コア写真等
- これ以下は存在する場合に提出すること。
- (6) B 計測データ : 計測位置図、計測値データ、変位観測経過図等
 - (7) 施工中の支保工変状等に関する資料
 - (8) 補助工法採用等の経過がわかる資料
 - (9) 設計支保パターンと実績支保パターンが比較できる資料
 - (10) その他特筆すべき資料

上記項目の資料を CD にて監督員へ 2 部提出のこと。

以上が北海道開発局の特記仕様書である。

4-2 先進ボーリングの特性と評価指標としての利用可能性

先進ボーリングは前述したように、トンネル施工中の地質の悪い区間や破碎帯が予測される場合において適用されるものであり、蛇紋岩区間もこれに相当することが多い。ちなみに北海道開発局が発注するトンネル工事における先進ボーリングは全線実施することを原則とされている。これは北海道の地質状況が北海道以外の地方と比べ、複雑な地質状況を呈していることからである。4-2 では、まず先進ボーリングの特性とそれにより得られる様々なデータを用いた評価指標の利用可能性について考える。また、掘進時データを利用したトンネルと収集されたデータについても概説する。

4-2-1 先進ボーリングの特性について

先進ボーリングの掘進にあたっては回転式ボーリングマシンが使われることが多く、その掘進長は一般に最長 100m 前後であるが、膨張性・膨圧性を示す蛇紋岩では、地圧の影響により、先進ボーリングマシンの給圧を上昇させてもコアチューブが回転しづらくなって掘進を中断せざるを得ない場合がある。こうしたことから、先進ボーリングではコア採取による地山分類の判定が主たる目的ではあるものの、給圧や掘進長および掘進速度や回転数が地山分類の一指標に反映できないか考えた。ここでまず、広く適用されている道路トンネル技術基準（構造編）・同解説²⁸⁾に示された地山分類から、先進ボーリングの実施による一般的な支保パターン決定までのフローについて考えてみる。図-4.2.1 に示すように、コアサンプルから岩質や不連続面の間隔などを観察した後、室内試験や解析による分析が加えられ、その結果に基づく地山分類表などとの対比により掘削パターンが決められるのが一般的である。これに従って得られる情報を整理すると、先進ボーリングを実施することで給圧と掘進長あるいは掘進速度と回転数などの情報が直ちに得られる上、現地での簡易な観察によって比較的短時間に蛇紋岩の存在形態割合などが確認できることになる。しかし、これらのデータが現場での変位予測や支保設計、さらには工程管理等に活用できる体制になっていないのが現状である。そこで、本研究では先進ボーリングで得られる機械データの中から活用できるものは何かを抽出、判別するとともに、それらのデータをどのように活用するかについて考える。具体的には、先進ボーリングマシンの機動状況を示す機械データとコアサンプルの観察結果に基づくデータに着目し、これらがトンネル掘進時に得られる計測項目とどのように関連付けられるかを考えるものである。

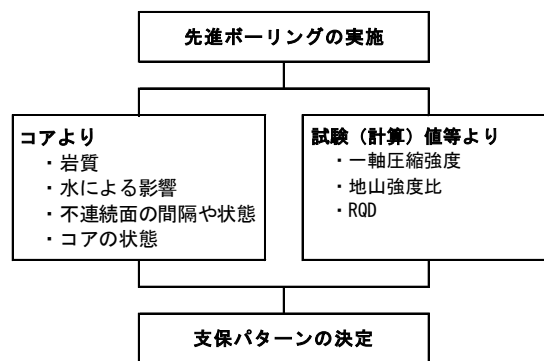


図-4.2.1 支保パターン決定までのフロー

前述で、先進ボーリングマシンの掘進長は一般的に最長 100m 前後と記述したが、その根拠検証について報告する。根拠検証方法は、北海道開発局が発注し、平成 15 年以降に完成した、かつ、当該トンネルにおいて計測 B が実施されている、13 トンネルで実施した。先進ボーリングの全掘進長は 21,761m、全掘進本数は 211 本である。この数値から先進ボーリング 1 本あたりの掘進長は 103m であった。

4-2-2 先進ボーリングマシンの機動状況による指標

先進ボーリングマシンを機動させるにあたり、掘進エネルギーを供給するための圧力が必要となる。この圧力を給圧と呼び、地山内コアチューブの回転時には、この給圧が上昇と下降を繰り返しながら掘進することとなる。また、コアチューブに加わる地山の拘束力もケーシング回転動作に与える影響が大きいと考えられ、先進ボーリングマシンの時間あたりの掘進長となる掘進速度や、掘進できたボーリング長に大きな影響を及ぼすものである。このことから、先進ボーリングの調査結果に記録（図-4.2.2）される給圧や掘進速度、および先進ボーリング終了の掘進長ならびに回転数が、地山の強度や安定性等の評価指標として利用できる可能性のあるものと考え、分析することとした。これら先進ボーリングの機械データに着目したもうひとつの理由を図-4.2.2 の着色部分を用いて解説する。トンネル工事に携わる技術者は当表のボーリング柱状図で先に行くのは青囲みで明示した「岩種区分」「RQD (5)」「湧水量」「ガス濃度」が主であると想定される。これは実際の掘削対象となる岩質の把握とともにその掘削の進行に影響を及ぼす亀裂状況や湧水有無、そして、安全管理としてガス発生の有無の確認が重要なことにある。よってそれ以上の情報の把握はそれほど重視されていないと推察される。しかしながら本研究にあたっては、蛇紋岩トンネル3本の先進ボーリングの掘進長の違いもあって、これまで重視されてこなかった赤囲みで明示した「掘進速度」「給圧」「回転速度」等の先進ボーリングマシンの機械データが地山評価への導きになるのではという気付きであった。

なお、検証にあたって先進ボーリングマシンの機動は、マシン本体やエンジンの規格そして客観的にとらえることができないマシンオペレーター（フォアマン）の技量が結果を左右するとも言われるが、ここではそれを無視して検証することとする。

ボーリング柱状図

調 査 名 一般国道40号 音威子府村 音中トンネル工事

[illegible]

事業・工事名

2-4-NO

ボーリング名		KB-13		調査位置		SP8,170～SP8,196				北緯			
発注機関						調査期間		平成 24 年 4 月 12 日 ～ 24 年 4 月 15 日				東経	
調査業者名				主任技師		現代理人		コア鑑定者		ボーリング責任者			
孔口標高		角		方		地盤勾配		使用機		利根TEC-1			
総掘進長		26.00m				船面水平		試験機					
								エンジン		東芝7.5KW WECモータ		ポンプ	丸山MS753

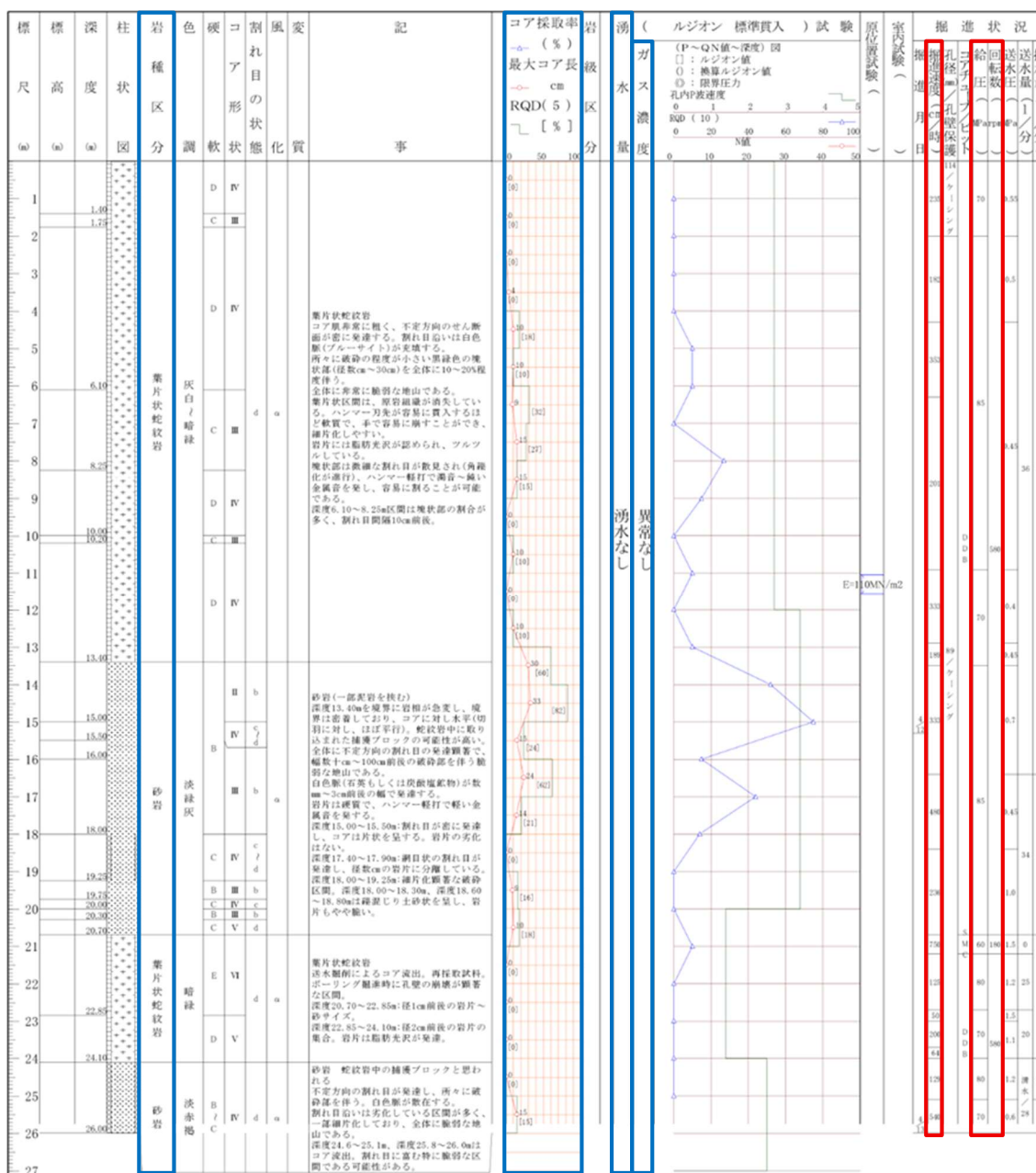


図-4.2.2 ボーリング柱状図

4-3 先進ボーリングで採取されたコアの特性と評価指標

4-3-1 コア観察から得られる指標

写真-4.3.1は、先進ボーリング実施において結果取りまとめに含まれるコア写真である。

この採取されたコアから、各発注事業者によって定められる地山分類表の項目に準じて、各種物性試験が行われることとなる。蛇紋岩に関する指標については、各発注事業者が設定する地山分類や地山等級において具体的な記述は存在しない。これは蛇紋岩を対象とした国内での掘削経験が少ないことや、同じ蛇紋岩でも特徴に大きな差異があることから、指標を明確に記述できないことが推察される。そこで先進ボーリングにより得られたコアの観察から得られる情報として、蛇紋岩の形態別介在率（塊状率）が存在する。その土木工学的分類として、存在形態に着目した形態別介在率が一般的に用いられている²⁹⁾、塊状蛇紋岩・葉片状蛇紋岩・粘土状蛇紋岩といった分類はトンネル地質の理学的指標でもあり、例えば、トンネルの理学的研究で良く用いられる塊状率の場合は、次式で定義される。

$$\text{塊状率 (\%)} = \frac{\text{ボーリング長10mにおける塊状蛇紋岩のコア延長 (m)}}{\text{ボーリング長10m}} \times 100 \quad \text{式-4.3.1}$$

蛇紋岩の存在形態には葉片状および粘土状といった形態もあり、これらも塊状率と同様、以下の式で算定できるものとしてここで定義する。

$$\text{葉片状率 (\%)} = \frac{\text{ボーリング長10mにおける葉片状蛇紋岩のコア延長 (m)}}{\text{ボーリング長10m}} \times 100 \quad \text{式-4.3.2}$$

$$\text{粘土状率 (\%)} = \frac{\text{ボーリング長10mにおける粘土状蛇紋岩のコア延長 (m)}}{\text{ボーリング長10m}} \times 100 \quad \text{式-4.3.3}$$

図-4.2.2のボーリング柱状図にある岩種区分より蛇紋岩の形態を読み取り、その形態別の介在率を算出するための手法を図-4.3.1および図-4.3.2に示す。ボーリング柱状図での岩種区分において、葉片状～粘土状あるいは粘土状～葉片状との表記がある場合には、図-4.3.1のように主体側の形態に対し2/3の延長を付与することとし、これを基に図-4.3.2にて先進ボーリング1本あたり毎に介在率を算出している。

一般国道 40 号音威子府村音中トンネル工事
KB-13
0.00m~26.00m



写真-4.3.1 コア写真

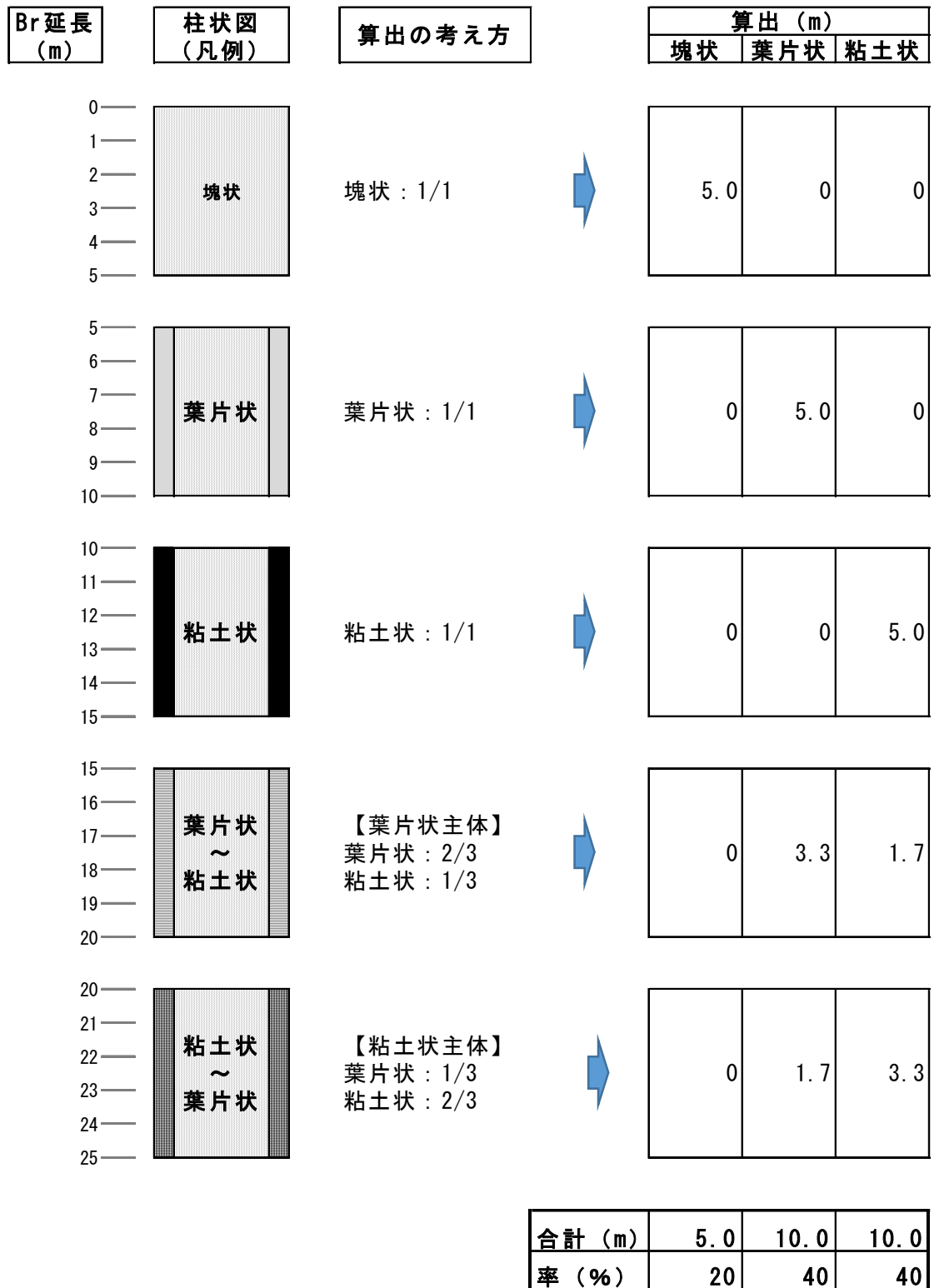


図-4.3.1 蛇紋岩形態別介在率の算出イメージ

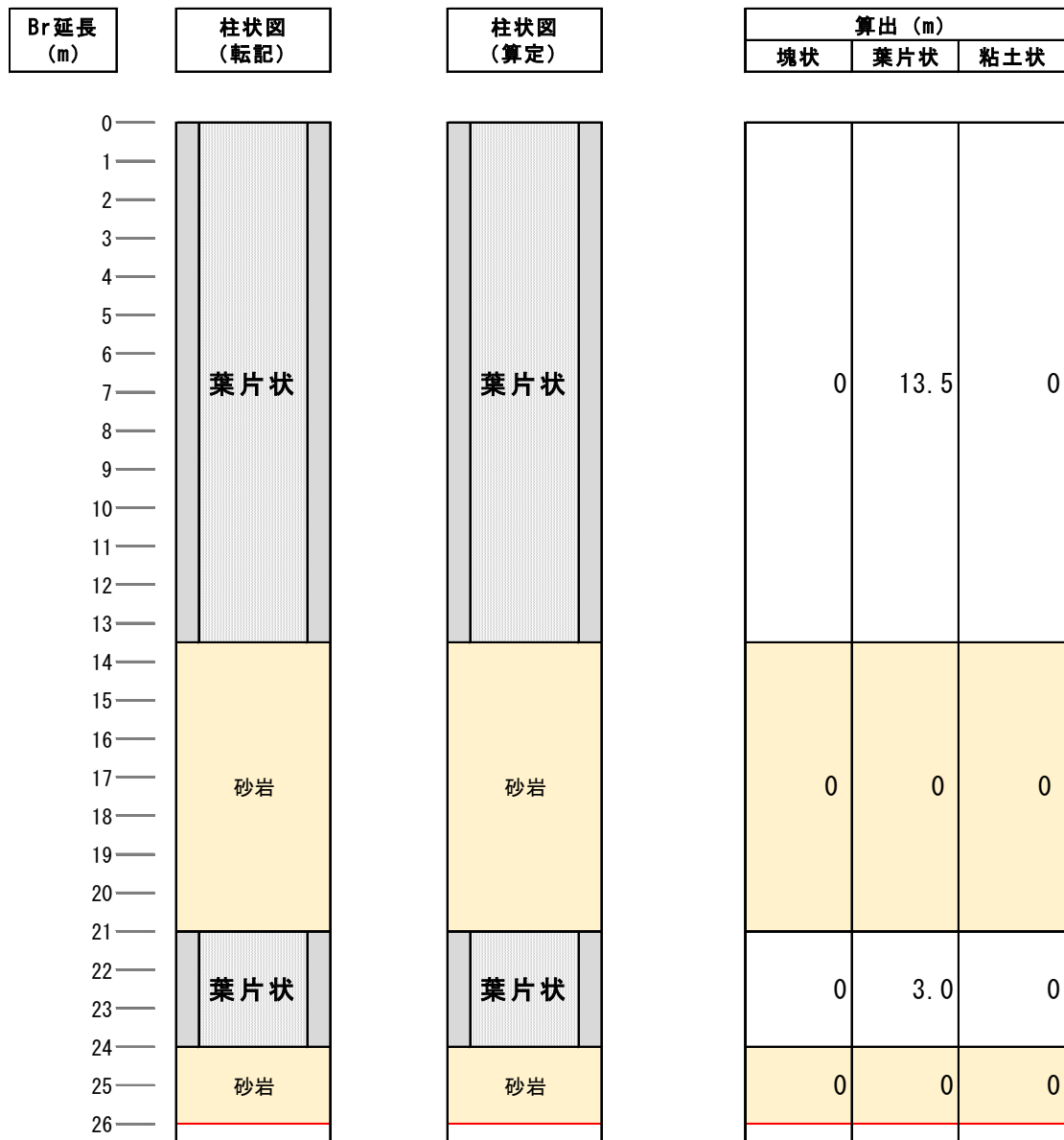
【音中トンネル】

Br No, 13

Br 延長 26.0 m

内 蛇紋岩 L 16.5 m

内 葉片状 L 16.5 m



【音中トンネル】

Br No, 13

合計 (m)	0	16.5	0
率 (%)	0	100	0

図-4.3.2 蛇紋岩形態別介在率の算出方法

4-3-2 コアを用いた物性試験より得られる指標

物性試験は、先進ボーリングから採取されたコアを用いて行われ、その結果を各発注事業者が設定する地山分類から支保パターンが決定される。物性試験では地山定数として一軸圧縮強度ならびに準岩盤圧縮強度、これに基づく地山強度比、そして RQD (10) があり、これらは各発注事業者に共通の地山定数である。これに加え北海道開発局においては、粘着力、内部摩擦角、変形係数、ポアソン比、そして RQD (10) の代わりに RQD (5) が設定されているが、ここでは各発注事業者に共通の地山定数であり、蛇紋岩のような脆弱なトンネルを評価するにあたり、一般的に多く用いられる地山強度比を適用することとした。地山強度比は、地山の一軸圧縮強度と土被り圧の比として定義され、脆弱な地山の評価に広く用いられる指標である。地山強度比の算式を以下に示すとともに、針貫入試験による地山強度比を算出する回帰式と推定式も下記に示す。

$$\text{地山強度比} = \frac{q_u}{\gamma H}$$

q_u : 地山の一軸圧縮強度 (kN/m²)
 (1kN/m² = 1/1000N/mm²)
 γ : 地山の単位体積重量 (kN/m³)
 H : 土被り (m)

なお、地山の一軸圧縮強度は、亀裂等の存在が無視できる地山においては試料の一軸圧縮強度を適用できるが、亀裂等の影響が大きい地山においては準岩盤圧縮強度 q_u' (kN/m²) を用いることができる。

$$q_u' = \left(\frac{V_p}{v_p} \right)^2 \times q_u$$

V_p : 地山の弾性波速度 (縦波、km/s)
 v_p : 試料の超音波伝播速度 (縦波、km/s)

$$\text{回帰式 (y)} = 0.978x + 2.621 \quad (\text{相関係数 } 0.914)$$

y : 一軸圧縮強度の対数値

針貫入試験 (NP=貫入力 (N))

x : $\frac{\text{針貫入試験 (NP=貫入力 (N))}}{\text{貫入量 (mm)}}$ の対数値

$$\text{推定式} = 98 \times 10^{(0.978 \times \log_{10} k + 1.599)}$$

k : 貫入勾配 (kgf/mm)

4-3-3 鉱物の含有

岩石類に鉱物が含まれていることは多く知られているところであり、蛇紋岩にも様々な鉱物が含有され、蛇紋岩を掘削対象としたトンネル工事において注意すべき代表的な含有鉱物を2つ示す。

1つ目は、人体への影響の観点から蛇紋岩の主要な構成鉱物である蛇紋石にはアンチゴライト・リザーダイト・クリソタイルの3種類が存在し、その中でも人体に影響を及ぼすとされるクリソタイルが有名である。このクリソタイルは蛇紋石系のアスベスト、いわゆる石綿で蛇紋石が繊維状に変形した天然の鉱石であり、石綿の繊維1本は直径 $0.02\sim0.35\mu\text{m}$ 、髪の毛の5,000分の1程度である。この繊維は耐久性・耐熱性・耐薬品性・電気絶縁性等の特徴に非常に優れ安価であるため重宝され、建築材料・電気製品・自動車・家庭用品等、さまざまな用途に広く使用されてきた。しかしながら、空中に飛散した石綿繊維を長期間大量に吸入すると、肺がんや中皮腫の誘因となることが指摘されるようになり、日本においては2004年10月より石綿の使用は禁止となった。以上のことから、蛇紋岩を掘削対象とするトンネルの施工前においては事前に蛇紋岩中のクリソタイル含有の有無や含有量の確認を実施するとともに、施工計画ではズリ出しにおける石綿の飛散防止やトンネル坑内の換気方法の立案とその適確な実施が求められる。

2つ目は、土木地質学観点からこれまで蛇紋岩の主要な構成鉱物としてアンチゴライトなどを記してきたが、この主要な鉱物以外にもその他数多くの種類が含有するとされる。ここで土木地質学的な知見では、蛇紋岩を掘削対象としたトンネルの調査・設計・施工に携わる技術者にとって厄介な蛇紋岩鉱物は、膨張性粘土鉱物であるモンモリロナイト、変質二次鉱物であるタルクの2つが代表的と言える。モンモリロナイトは水分子が入り込んで体積増加しての膨張、タルクは結晶構造上、層間の結合力が極めて弱いことから、この両者を土木工学で言えば、内部摩擦角が大きく低下して塑性流動をもたらすとされる。これら鉱物の含有有無等の測定にはX線回折試験が実施される。このX線回折試験では、試料にX線を照射した際にX線が原子の周りにおける電子によって散乱、干渉した結果起こる回折を解析することを測定原理としており、この回折情報を用いることにより、粉末試料では構成鉱物の同定や定量が可能となる。図-4.3.3は、この試験によって得られた回折パターンを示している。この回折パターンより蛇紋岩に含有する鉱物の種類および含有量を判定することができ、Chr：クリソタイル、Liz：リザーダイト、Mt：マグネタイト、Br：ブルーサイトが含まれていることが確認できる。

この試験と前述した内部摩擦角の低下について文献より図-4.3.4として転記する。この図は粘土化した蛇紋岩の内部摩擦角 ϕ' 、 ϕ_r と主要な構成鉱物の関係を示し、 ϕ' は三軸試験により求めた有効応力規準に基づく内部摩擦角であり、 ϕ_r はリングせん断試験により求めた残留状態での内部摩擦角である³⁰⁾。この図から主要な構成鉱物の中でもチオライト・タルク・モンモリロナイトの ϕ_r において、特に内部摩擦角の著しい低さが見てとれる。

以上のことから、トンネル施工前においては事前に主要構成鉱物の含有の有無や含有量

の確認を実施するとともに、それらの特徴に基づいてトンネル支保構造設計の参考とした
り、施工に当たっては、トンネル構造的な構築はもちろんのこと、将来的なトンネル構
造の維持の観点も含め、非常に重要な事前調査となることがわかる。この後、第5章におい
て3トンネル各々の蛇紋岩中の鉱物含有について述べることにする。

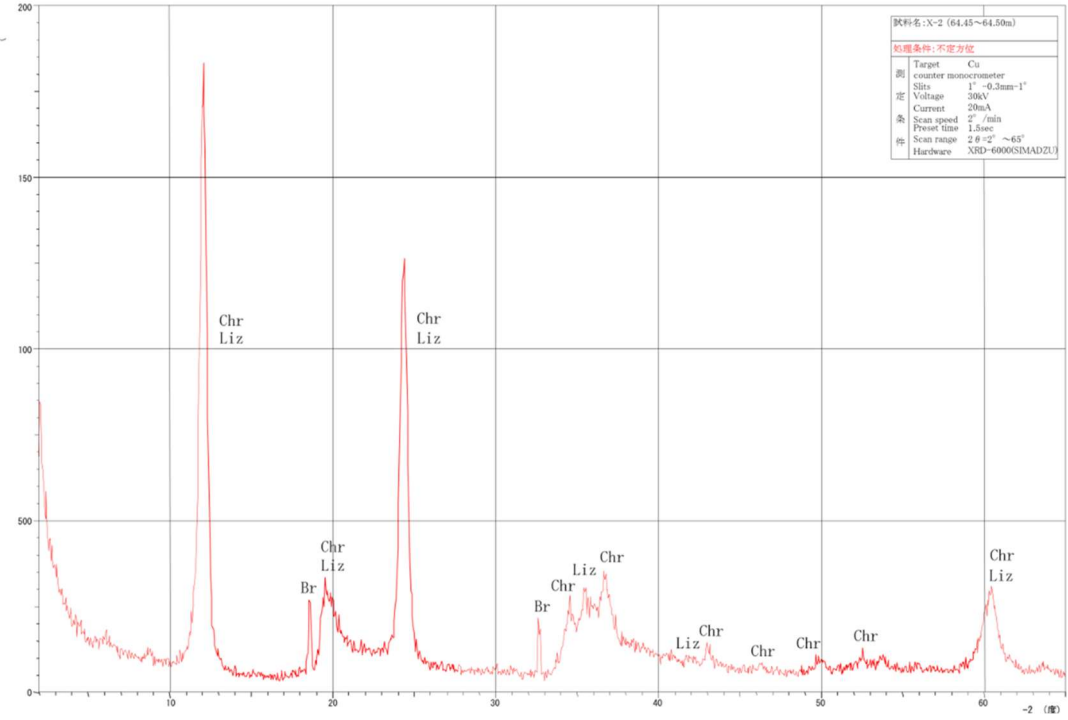


図-4.3.3 X線回折試験による回折パターン

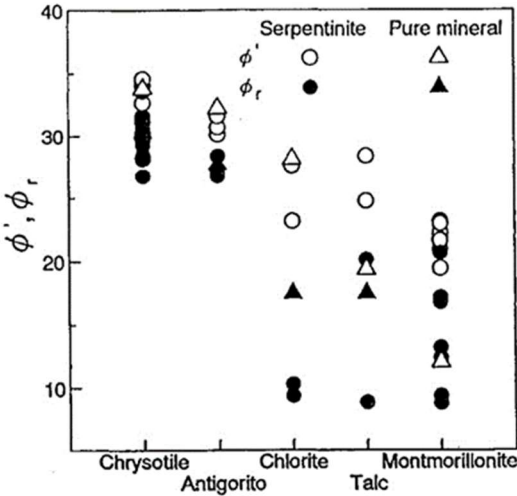


図-4.3.4 粘土化した蛇紋岩の内部摩擦角 ϕ' 、 ϕ_r と主要な構成鉱物の関係

4-4 計測データの選定

上述した先進ボーリングから得られるデータを、掘進中のトンネル挙動との比較検証を行うことにより、支保パターンの妥当性や内空変位の収束日数予測、トンネル掘削時の安全性と工程管理に役立つ情報が施工中にも得られる可能性があると考えた。トンネルの挙動に関わる観察・計測項目には、日常の施工管理のための計測項目（計測A）と、設計・施工に反映させることを目的として適宜実施される計測項目（計測B）がある。これらそれぞれの特徴と計測項目の概要を示し、本研究で採用した計測結果の一例を第4章以降に紹介していくが、この計測結果は、掘削断面積や支保パターン、そして掘削方法によって差異が生じると論じられるところであるが、本研究では、蛇紋岩区間における詳細な掘削断面積や支保パターンを紹介しつつ、これらの条件によらず、客観的な数値に基づいて分析を行うこととした。

4-4-1 計測A

計測Aは、日常の施工管理に必須の計測であり、掘削直後から収束まで継続して実施される。この計測はトンネル縦断方向に一定の間隔で実施され、計測項目は坑内観察調査、天端・脚部沈下測定、内空変位測定および地表面沈下測定がある。この実施項目のうち、坑内観察調査は、切羽の安定、岩質等の性状の把握や支保部材の変状把握のために行う。天端・脚部沈下測定は、内空変位と併せてトンネル天端の変位を測定し、断面の変形状態を知り、トンネル天端・脚部の安定性を判断する。内空変位測定は、天端・脚部沈下と併せて変位量、変位速度等の断面の変形状態により①周辺地山の安定性、②支保工の設計、施工の妥当性、③覆工の施工時期の判断等に利用する。この沈下測定箇所と内空変位測定箇所を図化したものが図-4.4.1である。測定の頻度は地山分類された掘削パターンで決められており、これに準じて掘削直後から測定が開始され、収束とみなす基準に達するまで測定は継続されることとなる。測定された結果を表-4.4.1に示すとともにこれに基づいて描かれる経時変化図を図-4.4.2に示す。地表面沈下測定は、土被りの小さいトンネル坑口等の地表面への影響や沈下防止対策の効果を判断することに利用する³¹⁾。

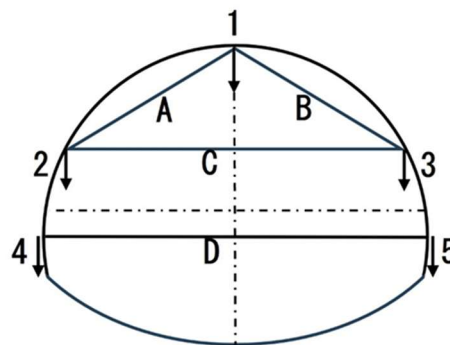


図-4.4.1 計測A断面図

表-4.4.1 計測A測定一覧表の例

日 時	上半 離れ (m)	下半 離れ (m)	ストラット 離れ (m)	インハート 離れ (m)	変位A (mm)	変位B (mm)	変位C (mm)	変位D (mm)	沈下1 (mm)	沈下2 (mm)	沈下3 (mm)	沈下4 (mm)	沈下5 (mm)
2011/12/27 17:57	0	-5	-7	-1077	0	0	0		0	0	0		
2011/12/28 6:28	0	-5	-7	-1077	2.8	-0.9	-2.5		0	-4.2	-1.7		
2012/1/4 8:05	0	-5	-7	-1077	2.1	-0.4	-3.6		-0.5	-5.4	-2.4		
2012/1/5 8:35	0	-5	-7	-1077	1.2	-2.8	-7.3		-1.8	-7.1	-2.8		
2012/1/6 8:33	0	-5	-7	-1077	1.2	-2.8	-7.3		-1.8	-7.1	-2.8		
2012/1/7 7:40	0	-5	-7	-1077	-0.2	-2.8	-8		-2.6	-7.6	-3.4		
2012/1/8 10:59	0	-5	-7	-1077	-0.7	-2.9	-8.6		-3.1	-7.9	-3.7		
2012/1/9 6:29	0	-5	-7	-1077	-0.6	-2.6	-8.6		-3.3	-8.3	-3.4		
2012/1/10 6:57	2	-3	-7	-1077	-8.9	-4.7	-23.6		-3.5	-8.7	-7		
2012/1/11 6:54	3	-1	-4	-1077	-9.1	-6.8	-29.9		-4.3	-9.6	-8.1		
2012/1/12 6:59	5	1	-2	-1077	-8.9	-10.6	-34.7		-7.3	-13.1	-11.4		
2012/1/13 6:13	6	1	-2	-1077	-9.1	-11.4	-35.7		-8.8	-15.1	-12.7		
2012/1/14 6:55	6	3	0	-1077	-9.4	-11.4	-36	-0.2	-9.7	-17	-13.2	-1	-0.6
2012/1/16 6:27	7	3	0	-1077	-9.5	-12.5	-36.3	-0.6	-13.8	-20.2	-16.1	-2.4	-3
2012/1/17 7:05	9	4	2	-1077	-9.6	-13.9	-37.4	-3	-14.4	-21.1	-17.8	-4	-4
2012/1/18 6:30	9	4	2	-1077	-9.7	-13.5	-38.2	-3.8	-14.4	-21.4	-18.4	-4.3	-4.4
2012/1/19 7:17	11	6	2	-1077	-10.7	-13.5	-40.3	-4	-16	-21.3	-20	-4.8	-4.6
2012/1/20 7:07	12	8	5	-1077	-10.9	-16.5	-41.6	-4.2	-17.4	-24.3	-22.8	-4.9	-4.6
2012/1/21 7:25	14	10	7	-1077	-10.9	-16.3	-42.5	-4.4	-17.7	-24.4	-22.5	-4.9	-4.7
2012/1/23 7:12	15	11	9	-1077	-11.9	-16.4	-44.7	-6	-19.3	-24.9	-22.9	-5.2	-5.1
2012/1/24 6:44	15	12	9	-1077	-11.6	-16.8	-44.8	-6.3	-19	-25	-23.4	-5.1	-5.1
2012/1/25 6:22	16	13	11	-1077	-12	-16.7	-45	-6.4	-19.5	-25.2	-23.3	-5.4	-5.6
2012/1/26 6:33	18	13	11	-1077	-12.2	-17.1	-45.2	-7.8	-19.6	-25.4	-23.5	-5.6	-5.5
2012/1/27 7:00	19	15	11	-1077	-12.5	-17	-45.4	-8.1	-19.6	-25.1	-23.8	-5.3	-5.5
2012/1/28 6:49	20	17	14	-1077	-12.2	-17.2	-46.5	-8.2	-19.7	-25	-23.5	-5.6	-5.3
2012/1/30 6:39	22	17	14	-1077	-12.3	-17.3	-48.2	-8.5	-19.9	-24.8	-22.9	-5.4	-5.8
2012/1/31 6:45	24	19	16	-1077	-12.5	-17.5	-48.9	-9	-19.9	-25.1	-22.9	-5.6	-5.8
2012/2/1 6:28	24	21	18	-1077	-13.8	-18.1	-49.1	-9.8	-20.1	-24.9	-23.5	-5.9	-5.8
2012/2/2 7:04	25	21	20	-1077	-13.5	-18.1	-49.3	-11.4	-19.9	-24.9	-23.6	-5.9	-6.1
2012/2/3 7:22	27	22	20	-1077	-14.1	-18.6	-50.3	-11.9	-19.9	-24.8	-23.4	-6.7	-6.1
2012/2/6 6:41	29	24	23	-1077	-15.1	-18.8	-50.4	-12.1	-20.1	-25.2	-23.8	-7.1	-6.6
2012/2/7 7:11	31	26	25	-1077	-15.1	-18.7	-51.2	-12	-20.3	-25.9	-24.1	-7.5	-7.5
2012/2/8 7:21	33	28	25	-1077	-15.3	-20	-51.3	-12.1	-20.7	-27.5	-25.2	-9.8	-9.3
2012/2/9 19:01	34	30	27	-1077	-15.8	-20	-52.5	-12.2	-21.2	-29.1	-25.2	-10.6	-9.8
2012/2/10 7:11	35	31	29	-1077	-16	-20.3	-52.4	-12.3	-21.2	-29.1	-25	-10.6	-9.6
2012/2/11 9:18	36	31	29	-1077	-16.4	-20.1	-52.6	-12.2	-21.2	-29.4	-25.4	-10.9	-10
2012/2/13 7:08	36	31	29	-1077	-16.3	-20.2	-53	-12.3	-21.3	-29.2	-25.3	-10.8	-9.8
2012/2/14 7:21	38	33	29	-1077	-16.1	-20.2	-53.3	-12.3	-21.6	-29	-25.3	-10.9	-10.2
2012/2/15 7:16	40	35	32	-1077	-15.9	-20.1	-53.7	-12.2	-21.7	-29.3	-25.2	-10.9	-10.1
2012/2/17 7:24	42	37	36	-1077	-16	-20.5	-53.9	-12.5	-21.7	-29.2	-25.4	-10.7	-10.5
2012/2/20 7:11	43	40	36	-1077	-16	-20.4	-54	-12.3	-21.9	-29.1	-25.1	-10.5	-10.2
2012/2/21 7:48	45	41	36	-1077	-16	-20.3	-54.6	-12.4	-21.6	-29.1	-25.1	-10.6	-10.4
2012/2/23 6:58	49	46	36	-1077	-16	-20.3	-54.6	-12.4	-21.5	-29.1	-25.1	-10.6	-10.4
2012/2/24 7:12	51	47	36	-1077	-16	-20.3	-54.6	-12.5	-21.7	-29.1	-25.1	-10.7	-10.4
2012/2/27 8:10	54	50	36	-1077	-15.9	-20	-54.9	-12.4	-21.6	-29.1	-25.2	-10.6	-10.3
2012/3/5 7:06	62	57	45	-1077	-16	-20.3	-54.9	-12.5	-21.7	-29.3	-25.3	-10.8	-10.4
2012/3/12 7:22	69	65	51	-1077	-16.1	-20.4	-54.7	-12.3	-21.8	-29.1	-25.1	-10.7	-10.5
2012/3/23 10:45	81	77	63	-1077	-16	-20.4	-54.6	-12.4	-21.5	-29.2	-25.3	-10.8	-10.4
2012/4/10 15:39	103	99	87	-1077	-16.1	-20.4	-54.7	-12.4	-21.8	-29.3	-25.2	-10.6	-10.4
2012/5/14 14:18	133	130	120	-1077	-16.3	-20.4	-54.8	-12.5	-21.7	-29.5	-25.2	-10.6	-10.5
2012/7/12 11:24	202	199	188	-1077	-16.1	-20.4	-54.9	-12.6	-21.8	-29.4	-25.4	-10.7	-10.2
2012/10/29 14:54	323	320	311	-1077	-16	-20.3	-54.8	-12.6	-21.7	-29.3	-25.4	-10.6	-10.2
2013/1/21 15:26	410	406	395	-1077	-16.3	-20.5	-54.8	-12.3	-21.9	-29.4	-25.4	-10.7	-10.5
2013/3/14 10:39	461	458	452	-1077	-16.3	-20.5	-54.8	-12.3	-21.9	-29.4	-25.4	-10.7	-10.5
2013/5/14 14:19	514	511	505	-1077	-16.3	-20.1	-54.9	-12.6	-21.8	-29.1	-25.3	-10.8	-10.2
2013/7/17 15:42	574	571	564	-1077	-16	-20.2	-54.8	-12.5	-21.6	-29.4	-25.2	-10.9	-10.4
2013/8/3 17:18	584	581	576	-54	-16	-20.4	-54.6	-12.4	-21.8	-29.4	-25.3	-10.5	-10.5
2013/11/20 14:38	683	680	674	-54	-16.2	-20.4	-54.8	-12.4	-21.5	-29.1	-25.3	-10.5	-10.1
2014/1/15 19:31	742	738	732	-62	-16.2	-20.4	-55	-12.5	-21.6	-29.5	-25.4	-10.6	-10.1
2014/1/27 19:30	758	754	748	-33	-16.5	-20.4	-54.8	-12.4	-21.9	-29.1	-25.2	-10.9	-10.2
2014/2/10 19:59	773	770	764	9	-16.3	-20.5	-54.9	-12.6	-21.7	-29.3	-25.3	-10.8	-10.2
2014/2/24 19:07	789	785	783	51	-16.5	-20.3	-55	-12.3	-21.8	-29.3	-25.4	-10.7	-10.2
2014/3/3 19:30	797	794	792	83	-16.4	-20.4	-54.8	-12.4	-21.9	-29.5	-25.4	-10.8	-10.4
2014/3/10 19:39	805	801	799	102	-16.4	-20.5	-54.9	-12.5	-21.9	-29.4	-25.3	-10.9	-10.4
2014/3/17 14:11	809	805	802	120	-16.3	-20.4	-54.8	-12.4	-21.9	-29.4	-25.2	-10.9	-10.3

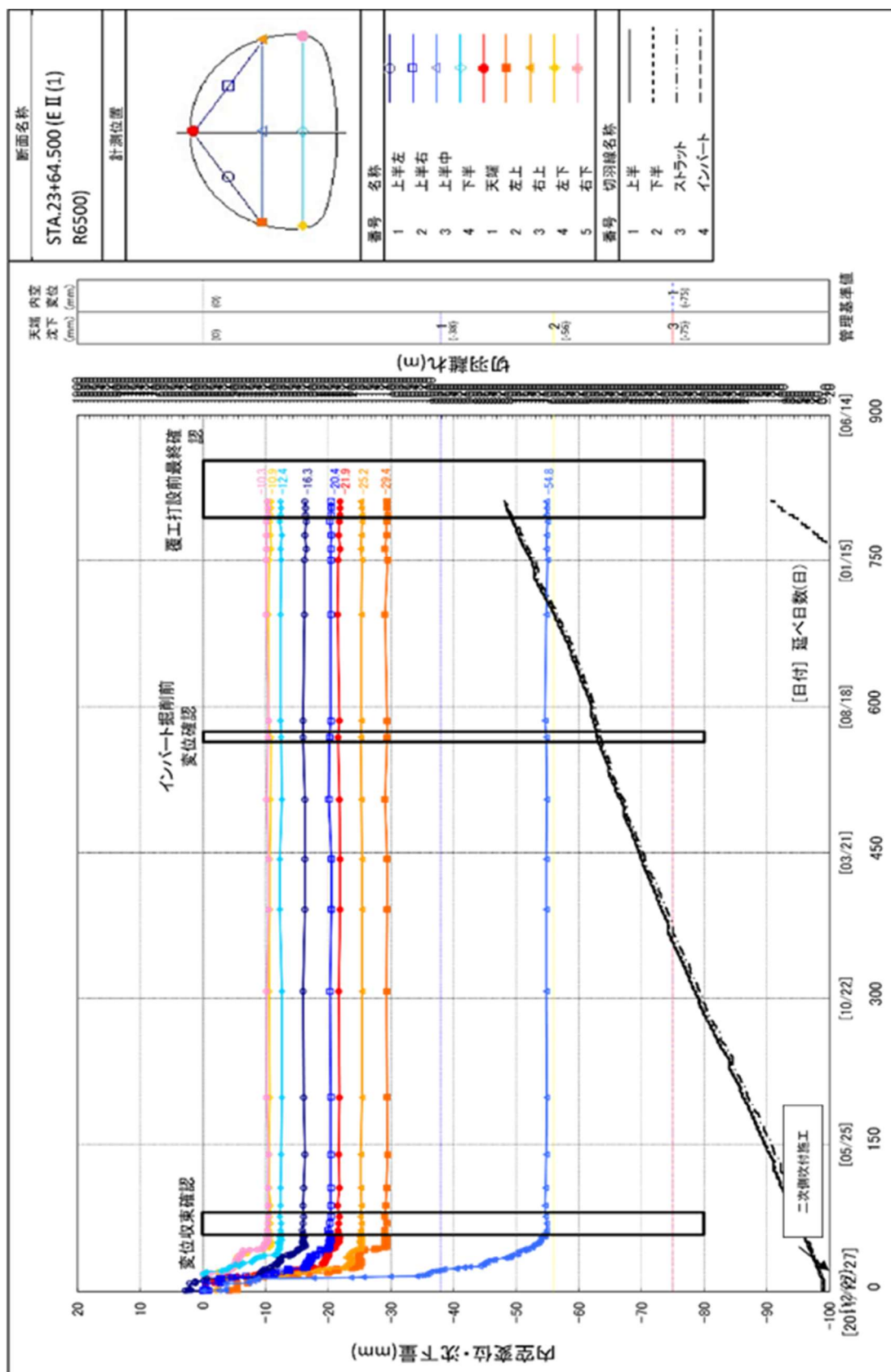


図-4.4.2 計測 A 経時変化図の例

4-4-2 計測 B

計測 B は、地山条件や立地条件に応じて計測 A に追加して実施されるものである。

計測 B の各種計測項目には以下がある³²⁾。

(1) 坑内地中変位測定

坑内地中変位測定は、トンネル周辺の緩み等の地山挙動を明らかにすることを目的とする。すなわち、掘削に伴うトンネルの半径方向の地山内変位を測定して緩みの形態を推定し、支保の適否と地山のひずみ状況を判断する資料とするものである³³⁾。

(2) ロックボルト軸力測定

ロックボルトの軸力測定は、ロックボルトに発生している軸力の大きさとその分布状況からロックボルトの支保効果を把握し、ロックボルトの長さ、打設ピッチおよびロックボルト耐力の妥当性を判断するために実施する³⁴⁾。

(3) 吹付けコンクリート応力測定

吹付けコンクリート応力測定は、吹付けコンクリートに生じる応力の大きさ、および、その分布状況を把握することを目的として実施する。吹付けコンクリートは、地山と密着して施工されるため、周辺地山の挙動に敏感に反応する支保部材である。したがって、吹付けコンクリートを主たる支保とするような掘削では、吹付けコンクリートの応力状態を測定することは、トンネル全体の安定を判断するうえで重要な測定となる。土圧や変位量が大きく、吹付けコンクリートにリングとしての支保効果を期待するような場合、この測定によって応力状態を測定していくことが重要となる³⁵⁾。

(4) 鋼アーチ支保工応力測定

鋼アーチ支保工の応力測定は、鋼アーチ支保工に生じる応力の大きさ、鋼アーチ支保工の適切な寸法・形状・建込み間隔を判断する資料を得ることを目的とする³⁶⁾。

(5) 覆工応力測定

覆工応力測定は、膨張性等の地山において覆工コンクリートを施工する段階で、トンネル全体が安定していない場合や、双設トンネル等で施工済みの覆工コンクリートに新たな荷重が加わると考えられる場合に、覆工コンクリートの応力を測定して、その安全性や設計の妥当性を把握することを目的として行う³⁷⁾。

(6) 地表面・地中の変位測定

地表面・地中の変位測定は、土被りが比較的小さく、周辺に重要構造物がある場合や地すべり、斜面崩壊が懸念される場合、あるいは、偏圧が生じるような地形では、計測 A で行う地表面沈下測定に追加して、トンネル掘削による周辺地山の変位に伴い地表面に生じる沈下の大きさ、範囲を把握し、周辺地山およびトンネルの安定性を評価するとともに、周辺環境に対する影響を評価するための資料を得ることを主目的とする³⁸⁾。

これらの測定位置を断面図に示したのが図-4.4.3であり、表-4.4.2の管理基準値によって管理されることとなる。実際に測定された結果は表-4.4.3のように表され、表内にあるように管理値と実測値の比較によって管理されることとなる。

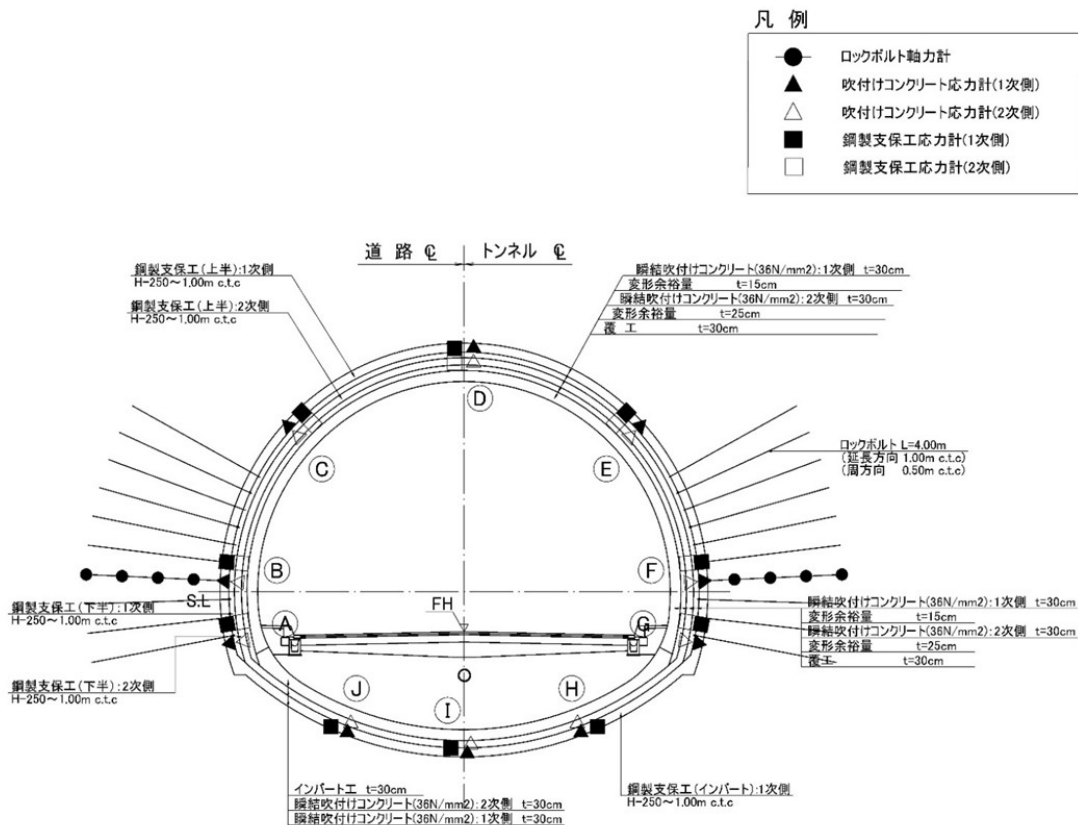


図-4.4.3 計測 B 断面図の例

表-4.4.2 計測B管理基準値一覧表

大項目	中項目	小項目		管理レベル		
				Ⅲ (100%)	Ⅱ (75%)	Ⅰ (50%)
鋼製支保工	H-250	軸力	(kN)	1,920	1,440	960
		せん断	(kN・m)	240	180	120
		曲げ	(kN)	181	136	91
	H-200	軸力	(kN)	1,334	1,001	667
		せん断	(kN・m)	169	127	85
		曲げ	(kN)	99	74	50
	H-150	軸力	(kN)	833	625	417
		せん断	(kN・m)	109	82	55
		曲げ	(kN)	45	34	23
吹付Co	通常	応力	(N/mm ²)	18	14	9
	高強度	応力	(N/mm ²)	36	27	18
ロックボルト	—	軸力	(kN)	180	135	90

上記管理基準値の算出は下記のとおりである。

鋼材の許容応力度 (SS400)

軸方向圧縮 : $\sigma = 210 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

曲げ縁応力 : $\sigma = 210 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断応力 : $\sigma = 120 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

鋼製支保工 管理基準値 (H-250 の場合)

■ 軸力 (kN)

総断面積 $A = 9,143 \text{ (mm}^2\text{)}$

$N = \sigma \times A = 1,920,030 \text{ (N)} \quad \doteq 1,920\text{kN}$

■ せん断 (kN・m)

ウェブの面積 $AF = (250 - 14 \times 2) \times 9 = 1,998 \text{ (mm}^2\text{)}$

(9mm: ウェブ厚、14mm; フランジ厚)

$\tau = \sigma \times Af = 239,760 \text{ (N)} \quad \doteq 240\text{kN}$

■ 曲げ (kN・m)

断面係数 $z = 860,000 \text{ (mm}^2\text{)}$

(9mm: ウェブ厚、14mm; フランジ厚)

$M = \sigma \times z = 180,600,000 \text{ (N・mm)} \quad \doteq 181\text{kN}$

表-4.4.3 計測 B 測定結果の例

大項目	小項目	単位	SP2, 367.50 (上下H-200：一重目)				大項目	小項目	単位	SP2, 367.50 (上下H-200：一重目)			
			レベルⅢ	計測位置	実測値	発生率				レベルⅢ	計測位置	実測値	発生率
鋼製支保工 (H-200) (一重目)	軸力	kN	1,334	下半A	808	61	吹付Co (高強度) (一重目)	応力	N/mm ²	36	下半A	3	8
				上半B	1,226	92					上半B	10	26
				上半C	2,192	164					上半C	14	38
				上半D	2,766	207					上半D	26	73
				上半E	2,363	177					上半E	11	30
				上半F	1,056	79					上半F	10	27
				下半G	650	49					下半G	6	16
				インH	760	57					インH	7	19
				インI	302	23					インI	7	19
				インJ	577	43					インJ	9	24

※ 発生率：許容断面力（レベルⅢ）に対する実測値の割合

4-5 第4章まとめ

取得できるデータには、調査データと施工データが存在し、調査データには地山弾性波速度調査やボーリング調査、施工データには計測 A や計測 B がある。調査データは掘削前にデータを得ることができ、施工データは掘削中および掘削後にデータを得られるものである。今回の研究の主旨を考えれば、掘削前のデータから客観的に当初段階から強固な支保構造の選定を目指しており、特に先進ボーリングは、地山に関わる重要な情報が施工中に得られるため、蛇紋岩トンネルなどでは積極的な実施が望まれる。先進ボーリングから得られるデータでは、これまで岩種区分や亀裂の多さ、および、湧水の有無に多く目が向いていたが、同じ先進ボーリングで得られる掘進長や機械データである給圧などのデータも新たな評価指標として活用できる可能性がある。これらのデータの体系的な蓄積は、地山評価の高度化に寄与すると考えられる。



トンネル工事における先進ボーリング調査状況②

第5章 対象トンネルと取得データ

北海道の地質は、日本列島の他の地域とは異なる地質の特性を持っていると位置付けられる。これは北海道地域におけるプレートの構造や運動方向と、白亜紀や古第三紀などの地質年代別に構成された岩石類が複雑に交じり合うことによる。このため、北海道開発局における道路トンネル工事では、連続的な地質情報取得を目的に、全線において先進ボーリングを実施することが原則とされている。本研究で対象としたトンネルは、北海道の北部に位置し、周辺の地質はいずれも空知-エゾ帯に含まれる神居古潭帯に属する3つのトンネルである。神居古潭帯は、超苦鉄質岩類の主に蛇紋岩および結晶片岩などの変成岩類で特徴付けられる。この神居古潭帯周辺における鉄道建設や道路建設等のトンネル工事では、これまでに多くの困難に遭遇し、その実態や困難克服への論文が数多く報告されている^{2) - 4)}。

本論文で調査分析に用いた3トンネルは実名で称することとする。

5-1 音中トンネル

5-1-1 トンネル概要と蛇紋岩の介在

音中トンネルは、北海道開発局が事業主として平成22年に発注された、一般国道40号の延長4,686m、2車線の道路トンネルである。図-5.1.1のとおり起点側から約1,300m以奥において約470mの蛇紋岩の介在があり、起点側に約190mの葉片状主体、蛇紋岩接触変質部を挟み約260mの粘土状主体の区間が想定された。この蛇紋岩区間における土被りは図-5.1.2のとおりである。土被り高さの数値は、先進ボーリングごとにおける平均値で図化しているが、土被り高さの最大値は、先進ボーリングKB-26に位置する約320mとなる。

この条件にて、設計および施工が慎重に行われていたものの、この蛇紋岩区間の掘削終了目前の平成26年、切羽の押出しおよび切羽近傍で盤膨れが発生し、その後、時間の経過とともに終点側から起点側に向かって変状が進行した。また、それと同時にアーチ部の変状も盤膨れに追従する形で変状が進行した。結果的に掘削済みの蛇紋岩区間の延長約460m区間の広範囲にわたる変状となった。(1-3 参照)

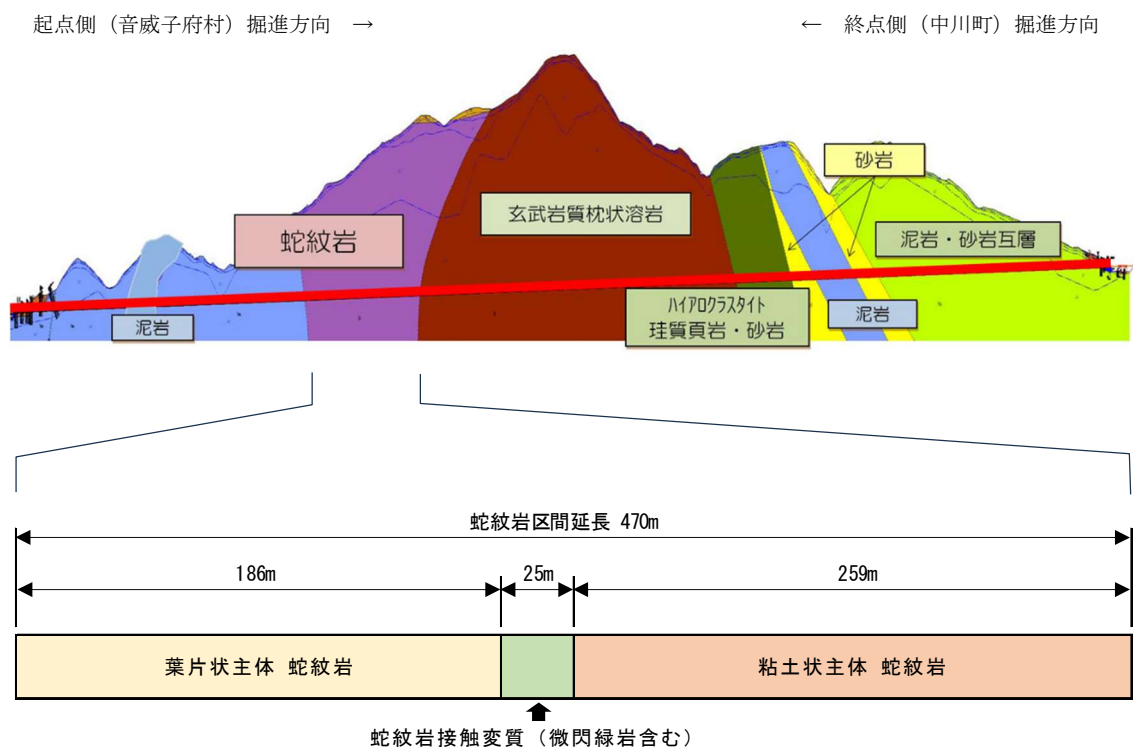


図-5.1.1 音中トンネル 地質状況と蛇紋岩区間の形態別介在の概要

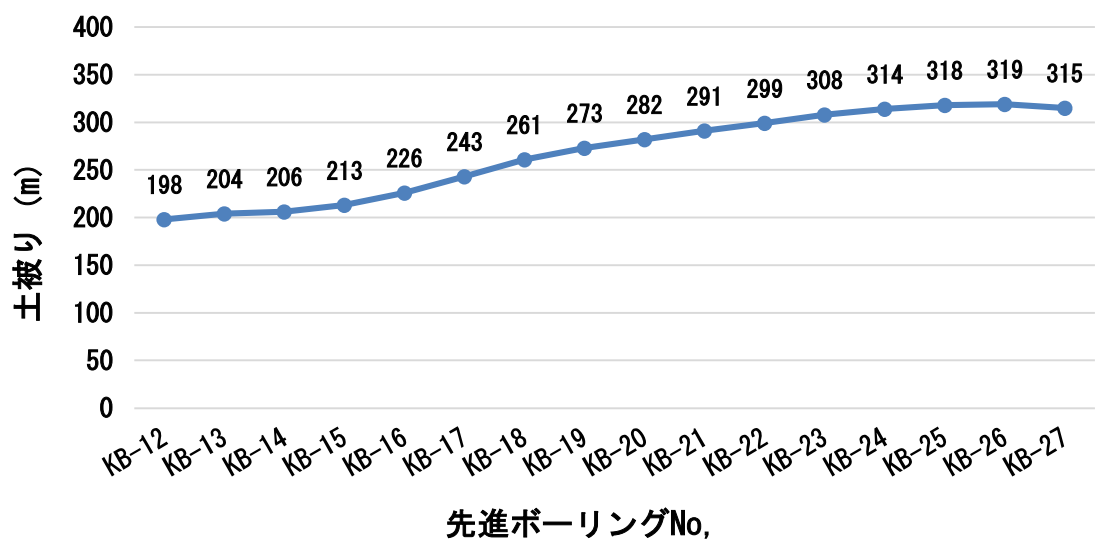


図-5.1.2 音中トンネル 蛇紋岩区間の土被り高さ

5-1-2 先進ボーリングから得られたデータ

先進ボーリングは、トンネル全延長で行われており、図-5.1.3 において蛇紋岩区間における先進ボーリングの位置を示す。先進ボーリングの主な役割は、コアを採取してのコア観察やコアを利用したの物性値試験を行い、支保パターンの決定に用いられることとなる。

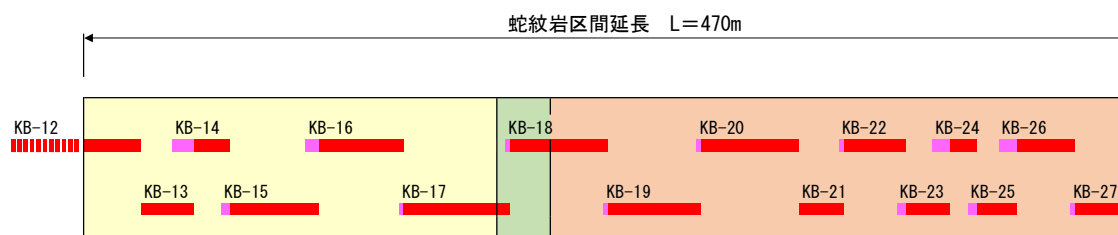


図-5.1.3 音中トンネル 蛇紋岩区間の先進ボーリング位置図

ここでまず着目した項目は、上記図-5.1.3 に示した各先進ボーリングの掘進ができた延長であり、その結果を表-5.1.1 に示す。KB-12 は前半に蛇紋岩以外の岩種が多く含まれていたため掘進長が 70m であり、他区間と条件が異なると判断して参考値として除外した。よって KB-13 以降 KB-27 までの先進ボーリングで掘進できた延長は、平均で 1 本あたりの掘進長は 33.0m となる。これは 4-2-1 で記述した、13 トンネルでの先進ボーリング 1 本あたりの掘進長 103m と比較すると、約 3 割程度の掘進長であり、これには何らかの影響があるものと推察される。

表-5.1.1 音中トンネル 先進ボーリングの掘進状況とボーリングマシン規格

Br. NO.	Br. ID	掘進長 (m)	ラップ 延長 (m)	新規 延長 (m)	蛇紋岩 延長 (m)	湧水 (有無)	Brマシン規格		
							試錐機	エンジン	ポンプ
1	KB-12	70.0	0.0	27.0	27.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
2	KB-13	26.0	0.0	26.0	16.5	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
3	KB-14	25.0	11.0	14.0	14.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
4	KB-15	44.5	4.5	40.0	31.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
5	KB-16	44.4	6.4	38.0	38.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
6	KB-17	50.8	0.8	50.0	50.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
7	KB-18	44.8	0.8	44.0	39.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
8	KB-19	41.8	0.8	41.0	41.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
9	KB-20	44.8	1.8	43.0	43.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
10	KB-21	20.0	0.0	20.0	20.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
11	KB-22	30.0	1.0	29.0	29.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
12	KB-23	23.8	3.8	20.0	20.0	無	TOHO D2K	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
13	KB-24	20.3	8.8	11.5	11.5	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
14	KB-25	20.3	3.3	17.0	17.0	無	利根TEC-1	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
15	KB-26	34.0	8.3	25.7	25.7	無	TOHO D2K	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
16	KB-27	25.0	1.0	24.0	24.0	無	TOHO D2K	東芝7.5kW WECモーター	丸山MS753
		565.5	52.3	470.2	446.7				

(1) 掘進長・給圧・掘進速度・回転数

これら掘進長・給圧・掘進速度・回転数の4項目については、ボーリング柱状図から読み取り、下記の手順で算出した。

- 手順 1： ボーリング No, 別に蛇紋岩形態ごとに分類し、分類したそれぞれの給圧・掘進速度・回転数を表化した。(表-5. 1. 2～表-5. 1. 5)
- 手順 2： ボーリング No, 別に給圧・掘進速度・回転数の平均値算出を行った。(表-5. 1. 6～表-5. 1. 9)
- 手順 3： 蛇紋岩形態別に給圧・掘進速度・回転数の平均値算出を行った。(表-5. 1. 11)

【手順 1】

表-5. 1. 2 音中トンネル ボーリング No, 別分類表 (1)

塊状蛇紋岩

葉片状（角礫状）蛇紋岩

葉片状～粘土状蛇紋岩

粘土状蛇紋岩

音中 KB-12 (L=70m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45	90	244	580
46			
47			
48			
49			
50	90	300	580
51			
52			
53	90	236	580
54			
55			
56			
57			
58	90	264	580
59			
60			
61			
62			
63			
64	90	219	580
65			
66			
67			
68	90	168	580
69			
70	90	125	580
71			

音中 KB-13 (L=26m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1	70	235	580
2			
3	85	182	580
4			
5	85	353	580
6			
7			
8			
9	85	201	580
10			
11			
12	70	289	580
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22	70	365	580
23	80	110	580
24	70	143	580
25			
26			
27			

表-5.1.3 音中トンネル ボーリング No. 別分類表 (2)

塊状蛇紋岩				葉片状（角礫状）蛇紋岩				葉片状～粘土状蛇紋岩				粘土状蛇紋岩			
音中 KB-16 (L=38m)				音中 KB-17 (L=50m)				音中 KB-18 (L=44m)				音中 KB-19 (L=41m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1				1				1				1	80	85	480
2				2				2				2	80	154	580
3	45	177	500	3				3	70	350	520	3			
4				4				4				4	80	330	580
5				5	50	180	500	5				5			
6				6				6				6			
7				7				7				7			
8	65	161	500	8				8				8			
9				9				9				9			
10				10				10				10			
11	30	226	480	11				11	50	180	200	11			
12				12				12				12			
13				13				13				13	80	210	580
14				14				14				14			
15				15				15	70	130	500	15			
16				16				16				16			
17	55	143	500	17				17	20	104	100	17			
18				18				18				18			
19				19				19				19			
20				20				20				20			
21				21	50	220	580	21				21			
22				22				22				22			
23	70	169	580	23				23	80	170	500	23			
24				24				24				24			
25	30	189	580	25				25				25			
26				26				26				26			
27				27				27				27			
28	70	108	580	28				28				28			
29				29				29				29			
30	30	176	580	30				30	60	170	500	30			
31				31				31				31	60	143	580
32				32				32				32			
33				33				33				33			
34	55	138	500	34				34				34			
35				35				35				35			
36				36				36	80	130	500	36			
37				37				37				37			
38	65	96	450	38				38				38			
39				39				39				39			
				40				40				40			
				41				41				41			
				42	30	200	520	42				42			
				43				43	50	125	500	43			
				44				44				44			
				45				45				45			
				46											
				47											
				48											
				49											
				50											
				51											

表-5.1.4 音中トンネル ボーリング No, 別分類表 (3)

塊状蛇紋岩				葉片状（角礫状）蛇紋岩				葉片状～粘土状蛇紋岩				粘土状蛇紋岩			
音中 KB-20 (L=43m)				音中 KB-21 (L=20m)				音中 KB-22 (L=29m)				音中 KB-23 (L=20m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1	80	150	580	1	70	218	540	1				1			
2				2				2	30	120	300	2			
3				3				3				3			
4				4	75	176	580	4	15	110	300	4	30	100	300
5				5				5				5			
6				6	75	188	580	6	15	180	300	6			
7				7	90	164	580	7				7			
8	80	250	580	8	90	192	580	8	10	110	300	8			
9				9				9				9			
10				10	90	223	580	10	15	65	300	10	30	70	300
11				11	90	169	580	11				11			
12				12	55	143	580	12	15	100	300	12			
13				13				13				13			
14				14	80	147	580	14	15	130	300	14			
15	90	350	580	15	90	167	580	15	15	120	300	15			
16				16	78	192	580	16				16	30	85	300
17				17				17	15	110	300	17			
18				18	80	429	580	18				18			
19				19				19	15	130	300	19	30	80	300
20				20	80	124	580	20				20			
21				21				21	15	180	300	21			
22	90	280	580					22	15	60	300				
23								23	15	100	300				
24								24							
25								25	10	65	300				
26								26							
27								27							
28								28							
29	90	280	580					29	13	75	300				
30								30							
31								31							
32															
33															
34															
35															
36															
37	90	280	580												
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															

表-5.1.5 ボーリング No, 別分類表 (4)

塊状蛇紋岩				葉片状（角礫状）蛇紋岩				葉片状～粘土状蛇紋岩				粘土状蛇紋岩			
音中 KB-24 (L=11.5m)				音中 KB-25 (L=17m)				音中 KB-26 (L=25.7m)				音中 KB-27 (L=24m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1	85	150	580	1				1				1			
2				2	80	350	580	2				2			
3				3				3				3			
4	85	120	580	4	80	400	580	4	40	230	400	4	45	225	400
5				5				5				5			
6	85	120	580	6				6				6			
7				7				7				7	45	190	400
8				8	80	200	580	8	45	190	400	8			
9	85	100	580	9				9				9			
10				10				10				10			
11				11				11				11	45	220	400
12				12				12	45	230	400	12			
13				13				13				13			
				14				14				14			
				15	120	270	580	15				15	45	220	400
				16				16	45	200	400	16	45	90	400
				17				17	45	145	400	17			
				18				18	45	200	400	18			
								19	45	95	400	19	45	150	400
								20				20			
								21				21			
								22				22			
								23	45	140	400	23	45	90	400
								24				24			
								25	45	75	400	25			
								26							
								27							

【手順 2】

表-5.1.6 音中トンネル ボーリング No, 別平均算出表 (1)

音中 KB-12			音中 KB-13			音中 KB-14			音中 KB-15		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
90	244	580	70	235	580	80	159	580	90	109	580
90	300	580	85	182	580	80	159	580	75	209	580
90	236	580	85	353	580	90	164	580	90	299	580
90	264	580	85	201	580	75	175	580	90	383	580
90	219	580	70	289	580				75	276	580
90	168	580	70	365	580				50	294	580
90	125	580	80	110	580				20	200	580
			70	143	580				50	284	580
									30	414	580
									20	284	580
90 (MPa)	222 (cm/時)	580 (rpm)	77 (MPa)	235 (cm/時)	580 (rpm)	81 (MPa)	164 (cm/時)	580 (rpm)	59 (MPa)	275 (cm/時)	580 (rpm)

表-5.1.7 音中トンネル ボーリング No, 別平均算出表 (2)

音中 KB-16			音中 KB-17			音中 KB-18			音中 KB-19		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
45	177	500	50	180	500	70	350	520	60	85	480
65	161	500	50	220	580	50	180	200	80	154	580
30	226	480	30	200	520	70	130	500	80	330	580
55	143	500				20	104	100	80	210	580
70	169	580				80	170	500	60	143	580
30	189	580				60	170	500			
70	108	580				80	130	500			
30	176	580				50	125	500			
55	138	500									
65	96	450									
52 (MPa)	158 (cm/時)	525 (rpm)	43 (MPa)	200 (cm/時)	533 (rpm)	60 (MPa)	170 (cm/時)	415 (rpm)	72 (MPa)	184 (cm/時)	560 (rpm)

表-5.1.8 音中トンネル ボーリング No, 別平均算出表 (3)

音中 KB-20			音中 KB-21			音中 KB-22			音中 KB-23		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
80	150	580	70	218	540	30	120	300	30	100	300
80	250	580	75	176	580	15	110	300	30	70	300
90	350	580	75	188	580	15	180	300	30	85	300
90	280	580	90	164	580	10	110	300	30	80	300
			90	192	580	15	65	300			
			90	223	580	15	100	300			
			90	169	580	15	130	300			
			55	143	580	15	120	300			
			80	147	580	15	110	300			
			90	167	580	15	130	300			
			78	192	580	15	180	300			
			80	429	580	15	60	300			
			80	124	580	15	100	300			
						10	65	300			
						13	75	300			
85 (MPa)	258 (cm/時)	580 (rpm)	80 (MPa)	195 (cm/時)	577 (rpm)	15 (MPa)	110 (cm/時)	300 (rpm)	30 (MPa)	84 (cm/時)	300 (rpm)

表-5.1.9 音中トンネル ボーリング No, 別平均算出表 (4)

音中 KB-24			音中 KB-25			音中 KB-26			音中 KB-27		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
85	150	580	80	350	580	40	230	400	45	225	400
85	120	580	80	400	580	45	190	400	45	190	400
85	120	580	80	200	580	45	230	400	45	220	400
85	100	580	120	270	580	45	200	400	45	220	400
						45	145	400	45	90	400
						45	200	400	45	150	400
						45	95	400	45	90	400
						45	140	400			
						45	75	400			
85 (MPa)	123 (cm/時)	580 (rpm)	90 (MPa)	305 (cm/時)	580 (rpm)	44 (MPa)	167 (cm/時)	400 (rpm)	45 (MPa)	169 (cm/時)	400 (rpm)

表-5.1.6～表-5.1.9の結果を総括として表-5.1.10に示す。

表-5.1.10 音中トンネル 機械データ総括表

Br No,	Br掘進長 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
音中 KB-12	70.0	90	222	580
音中 KB-13	26.0	77	235	580
音中 KB-14	25.0	81	164	580
音中 KB-15	44.5	59	275	580
音中 KB-16	44.4	52	158	525
音中 KB-17	50.8	43	200	533
音中 KB-18	44.8	60	170	415
音中 KB-19	41.8	72	184	560
音中 KB-20	44.8	85	258	580
音中 KB-21	20.0	80	195	577
音中 KB-22	30.0	15	110	300
音中 KB-23	23.8	30	84	300
音中 KB-24	20.3	85	123	580
音中 KB-25	20.3	90	305	580
音中 KB-26	34.0	44	167	400
音中 KB-27	25.0	45	169	400
AVE	33.0 (m)	63 (MPa)	189 (cm/時)	504 (rpm)

(KB-12除く)

ここで、先に着目していたボーリング掘進長から考察する。先進ボーリング掘進長でワーストは、KB-21の20.0m、次いでKB-24とKB-25が20.3mと続く。先進ボーリングは一般的に掘進長が約100m前後であることから、この3本の先進ボーリングでは掘進長は1/5程度であることがわかる。続いて給圧である。全本数での給圧の範囲は、15MPa～90MPaとなっている。この給圧は、北海道開発局が発注した蛇紋岩以外のトンネルで見ると、おおむね1桁の数値であり、これと比較すると音中トンネルで蛇紋岩に関与した先進ボーリングの給圧はすべて2桁である。しかもこのワースト3の給圧はKB-21では80MPa、KB-24では85MPa、KB-25では90MPaであった。この他に給圧の高かったKB-12の90MPaであるが、これは先進ボーリングの後半（深度44～70m）に葉片状蛇紋岩を捉えたことで、給圧を上げたものと推察する。続いてワースト3の給圧と掘進速度の関係を確認したところ、給圧を上げたが掘進速度が平均値を下回ったKB-24、その逆に掘進速度の平均値を上回ったKB-21とKB-25との結果であった。掘進速度が遅かったのは、掘進長ワースト入りしているKB-24の123cm/時、その他にKB-23の84cm/時、次いでKB-22の110cm/時である。しかしながらKB-23およびKB-22での給圧を確認すると、それぞれ30MPaと15MPaであり、加えて回転数も双方300rpmと遅くなっていることから、音中トンネルのデータのみで判断しづらく、後述する音威子府トンネルや幌加内トンネルの機械データとも比較して、改めて考察することとする。

【手順 3】

表-5.1.11 音中トンネル 蛇紋岩別の先進ボーリングマシン各作動の平均算出表

塊 状			葉片状			葉片～粘土状			粘土状		
軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
45	220	400	90	244	580	80	159	580	80	159	580
45	90	400	90	300	580	80	164	580	90	383	580
45	150	400	90	236	580	75	175	580	75	276	580
45	90	400	90	264	580	90	109	580	20	284	580
			90	219	580	75	209	580	45	177	500
			90	168	580	90	299	580	70	350	520
			90	125	580	50	294	580	50	180	200
			70	235	580	20	200	580	70	130	500
			85	182	580	50	284	580	20	104	100
			85	353	580	30	414	580	80	170	500
			85	201	580	65	161	500	60	176	500
			70	289	580	30	226	480	80	130	500
			70	365	580	55	143	500	50	125	500
			80	110	580	70	169	580	60	85	480
			70	143	580	30	189	580	80	154	580
			50	220	580	70	108	580	80	330	580
			90	350	580	30	176	580	80	210	580
			85	150	580	55	138	500	60	143	580
			85	120	580	65	96	450	80	150	580
						50	180	500	80	250	580
						30	200	520	90	280	580
									70	218	540
									75	176	580
									75	188	580
									90	164	580
									90	192	580
									90	223	580
									90	169	580
									55	143	580
									80	147	580
									90	167	580
									78	192	580
									80	429	580
									80	124	580
									30	120	300
									15	110	300
									15	180	300
									10	110	300
									15	65	300
									15	100	300
									15	130	300
									15	120	300
									15	110	300
									15	130	300
									15	180	300
									15	60	300
									15	100	300
									10	65	300
									13	75	300
									30	100	300
									30	70	300
									30	85	300
									30	80	300
									85	120	580
									85	100	580
									80	350	580
									80	400	580
									80	200	580
									120	270	580
									40	230	400
									45	190	400
									45	230	400
									45	200	400
									45	145	400
									45	200	400
									45	95	400
									45	140	400
									45	75	400
									45	225	400
									45	190	400
									45	220	400

45	138	400	82	225	580	57	195	551	54	174	453
(MPa)	(cm/時)	(rpm)	(MPa)	(cm/時)	(rpm)	(MPa)	(cm/時)	(rpm)	(MPa)	(cm/時)	(rpm)

5-1-3 ボーリングコアから得られたデータ

(1) 蛇紋岩形態別介在率

蛇紋岩の形態は、2-1-2で記したように、塊状・葉片状・粘土状と主に3種類に分別される。本研究においてもこの3種類を基本として、形態別介在率の数値化を試みる。

音中トンネルでの蛇紋岩区間における先進ボーリングはKB-12～KB-27の全16本から、先進ボーリングごとに図-4.3.1の算出手法に基づいて形態別介在率の算出を行った。下記の表-5.1.12、図-5.1.4が全16本の結果である。この結果から、塊状は蛇紋岩区間の終盤で一部検出されたのみで、葉片状と粘土状が主体であることがわかる。その中でも、KB-18以降では粘土状蛇紋岩の占有率が高く、この特徴が後述する先進ボーリングマシンの機械データや計測A・計測Bの結果に影響している可能性があるものと推察される。

表-5.1.12 音中トンネル 形態別介在率の結果表

Br No.	Br掘進長 (m)	蛇紋延長 (m)	塊状率 (%)	葉片状率 (%)	粘土状率 (%)
KB-12	70.0	27.0	0	100	0
KB-13	26.0	16.5	0	100	0
KB-14	25.0	14.0	0	31	69
KB-15	44.5	31.0	0	56	44
KB-16	44.4	38.0	0	63	37
KB-17	50.8	50.0	0	83	17
KB-18	44.8	39.0	0	33	67
KB-19	41.8	41.0	0	33	67
KB-20	44.8	43.0	0	57	43
KB-21	20.0	20.0	0	33	67
KB-22	30.0	29.0	0	33	67
KB-23	23.8	20.0	0	33	67
KB-24	20.3	11.5	0	33	67
KB-25	20.3	17.0	0	34	66
KB-26	34.0	25.7	0	33	67
KB-27	25.0	24.0	42	20	39
合計	565.5	446.7	平均 3	48	49

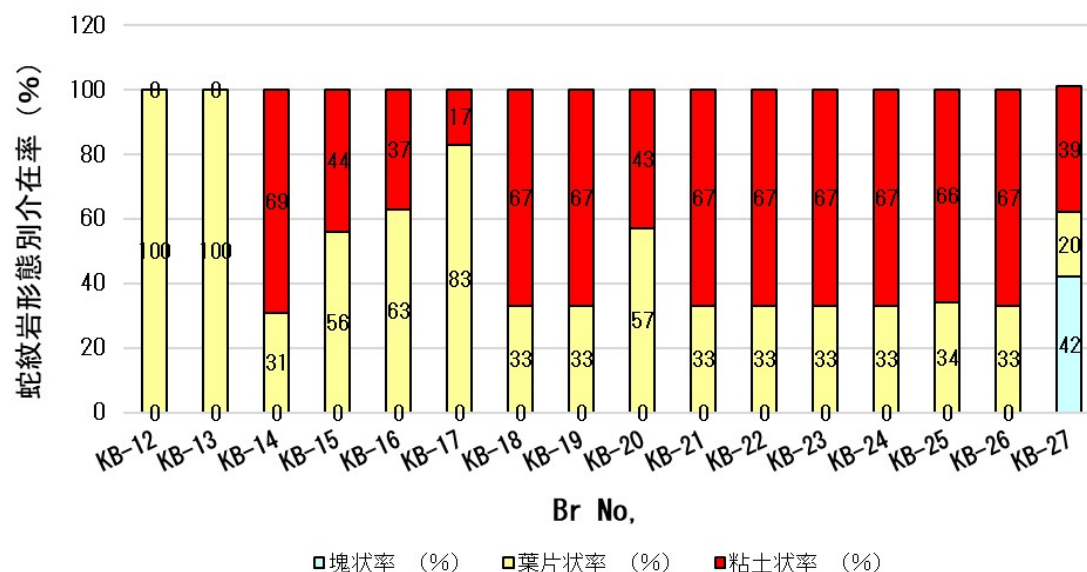


図-5.1.4 音中トンネル 形態別介在率の比率

(2) 一軸圧縮強度と地山強度比

地山強度比の算出は、地山強度比の算出式を用いたものに加え、針貫入による回帰式および推定式の3種類を用いて、先進ボーリング毎に算出した。その結果を表-5.1.13に示す。

表-5.1.13 音中トンネル 地山強度比の算出結果一覧表

Br No.	【基礎情報】		【圧縮強度種類】			【地山強度比】			備 考
	単位体積重量 γ (kN/m^3)	土被り H (m)	a 準岩盤 圧縮強度 σ_c (kN/m^2)	b 針貫入 (回帰式) qu① (kN/m^2)	c 針貫入 (推定式) qu② (kN/m^2)	A	B	C	
B-12	23.6	198	800	910	848	0.17	0.19	0.18	針貫入サンプル数：21
B-13	22.9	204	550	876	816	0.12	0.19	0.17	針貫入サンプル数：14
B-14	23.6	206	450	732	682	0.09	0.15	0.14	針貫入サンプル数：21
B-15	23.6	213	450	1,127	1,050	0.09	0.22	0.21	針貫入サンプル数：11
B-16	22.8	226	450	902	840	0.09	0.18	0.16	針貫入サンプル数：17
B-17	23.3	243	220	877	817	0.04	0.15	0.14	針貫入サンプル数：10
B-18	23.6	261	390	1,204	1,122	0.06	0.20	0.18	針貫入サンプル数：12
B-19	23.7	273	480	842	784	0.07	0.13	0.12	針貫入サンプル数：12
B-20	22.9	282	240	717	668	0.04	0.11	0.10	針貫入サンプル数：115
B-21	22.7	291	370	764	712	0.06	0.12	0.11	針貫入サンプル数：56
B-22	22.7	299	370	645	601	0.05	0.10	0.09	針貫入サンプル数：115
B-23	22.7	308	440	676	630	0.06	0.10	0.09	針貫入サンプル数：45
B-24	23.6	314	420	3,575	3,330	0.06	0.48	0.45	針貫入サンプル数：11
B-25	22.5	318	400	2,629	2,449	0.06	0.37	0.34	針貫入サンプル数：81
B-26	22.5	319	400	1,185	1,104	0.06	0.17	0.15	針貫入サンプル数：121
B-27	23.0	315	400	836	781	0.06	0.12	0.11	針貫入サンプル数：41
平均	23.1	267	427	1,156	1,077	0.07	0.19	0.17	

地山強度比の算出結果では、算出方法3種類とも著しく低い値が算出された。ここでこの結果と基準で示される地山分類で設定される地山強度比の値を比較すると、日本道路協会が設定する最大装備となる支保パターンDIIでは地山強度比は「2～1」、北海道開発局が設

定する最大装備となる支保パターンEでは「1 以下」であり、音中トンネルで算出された地山強度比が著しく低い値であることがわかる。

(3) 鉱物

蛇紋岩区間における先進ボーリング調査は、KB-12～KB-27 の計 16 本が実施されているが、その中で蛇紋岩に含有する鉱物を特定する X 線回折試験は行われていない。

5-1-4 計測から得られたデータ

これまで、掘削前に得られる先進ボーリングの機動状況やコアから物性試験などによって得られるデータの結果を示してきたところであるが、これからは掘削後に得られる計測結果について記していく。計測は、計測 A と計測 B の結果について分類し記述していくが計測 A と計測 B の概説については 4-4 に記したとおりである。

ここで考えなければならないことは、計測結果へ影響するものとして、掘削対象の岩種や先進ボーリングから得られた物性試験値、土被りなどがあるが、人工的に構築される支保構造としての鋼製支保工規格や吹付けコンクリートの厚さ、その他に掘削方法としての上下半ショートベンチ掘削や全断面掘削、これに関連してサイクルタイムが考えられる。

計測 A・B の結果の前に、各先進ボーリング区間と対比した支保構造も記していく。

(1) 支保構造

音中トンネルの蛇紋岩区間における支保構造は、当初設計において標準設計を用いることができないと判断し、これまでの類似条件を用いつつ数値解析および経験的手法も取り入れ支保構造が決定された。施工における支保構造パターンの配置を図-5.1.5 に、支保構造の詳細を表-5.1.14 に示す。

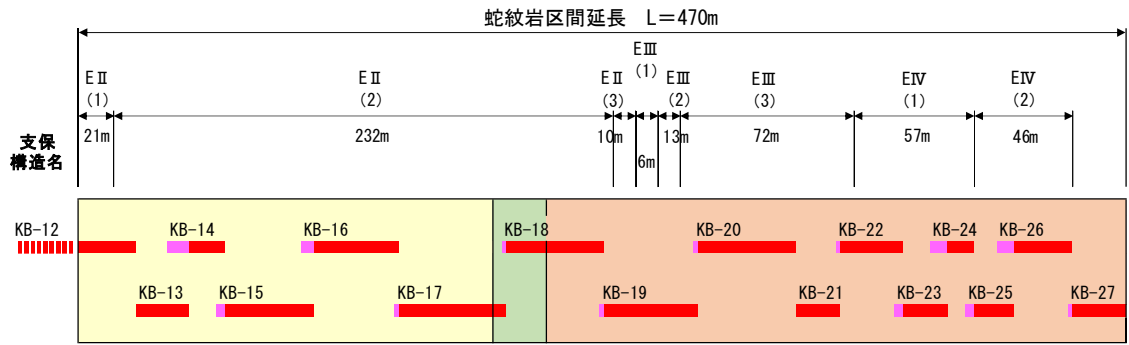


図-5.1.5 音中トンネル 蛇紋岩区間における支保構造パターンの配置

表-5.1.14 音中トンネル 蛇紋岩区間における支保構造詳細

掘進方向											
支保構造パターン名			EⅡ (1)	EⅡ (2)	EⅡ (3)	EⅢ (1)	EⅢ (2)	EⅢ (3)	EⅣ (1)	EⅣ (2)	
延長 m			21	232	10	6	13	72	57	46	
計測B位置 SP			8, 174	8, 242 8, 268	—	—	—	8, 440	8, 506	8, 556 8, 574	
一次 支保	鋼製支保工 H		上半200 下半200	上半200 下半200	上半200 下半200	上半250 下半250	上半250 下半250	上半250 下半250	上半250 下半250	上半200 下半200	
	吹付コンクリート cm		高強度 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	高強度 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	
	ロックボルト		上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：14本 下半4m：8本	上半4m：14本 下半4m：8本	上半4m：14本 下半4m：8本	上半4m：14本 下半4m：8本	上半4m：14本 下半4m：8本	上半4m：14本 下半4m：8本	
	変形余裕量 cm		—	上半15 下半15	上半15 下半15	上半15 下半15	上半10 下半10	上半15 下半15	上半15 下半15	上半15 下半15	
二次 支保	鋼製支保工 H		—	—	—	—	—	上半250 下半250	上半150 下半150	上半150 下半150	
	吹付コンクリート cm		高強度 上半15 下半15	高強度 上半20 下半20	高強度 上半20 下半20	瞬結 上半20 下半20	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	瞬結 上半30 下半30	
	ロックボルト		—	—	—	—	—	—	—	—	
	変形余裕量 cm		—	上半15 下半15	上半15 下半15	上半15 下半15	上半10 下半10	上半25 下半25	上半20 下半20	上半20 下半20	
インバート	一次	鋼製支保工 H		200	200	200	250	250	250	250	200
		吹付コンクリート cm		高強度 25	高強度 25	高強度 30	瞬結 30	瞬結 30	瞬結 30	瞬結 30	瞬結 30
	二次	鋼製支保工 H		—	—	—	—	—	—	—	—
		吹付コンクリート cm		高強度 20	高強度 20	高強度 20	瞬結 20	瞬結 30	瞬結 30	瞬結 30	瞬結 30
	曲率半径 上半R×				3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

蛇紋岩区間の施工にあたっては、表-5.1.14の支保構造パターン名でのEⅡ(1)で施工が開始された。EⅡ(1)での施工状況や計測Aの結果を踏まえ、順次支保構造パターンの見直しを行いながら施工を進め、徐々に支保構造を重装備に移行しながら、結果としてEⅢ(3)が最大の重装備な支保構造となっている。その後、施工状況および計測Aの結果も踏まえ、一部区間では支保構造が若干軽装備化されたことが確認できる。

ここで参考までに、最大の重装備な支保構造であったEⅢ(3)のサイクルタイムを紹介する。このサイクルタイムからEⅢ(3)程度の支保構造に対する掘削進捗が読み取ることができ、工事進捗の参考になると考えられる。図-5.1.6ではEⅢ(3)標準断面図を示しており、上記表-5.1.14にあるEⅢ(3)とリンクする。二重の支保構造となっており、一重目の上半、下半、インバートともに鋼製支保工H-250が装備され、二重目には上半、下半に鋼製支保工H-250が装備されており、加えてインバート形状も通常より丸みを帯びた形状である。これらの装備は国内外においてもほぼ例のない構造と言っても過言ではない。

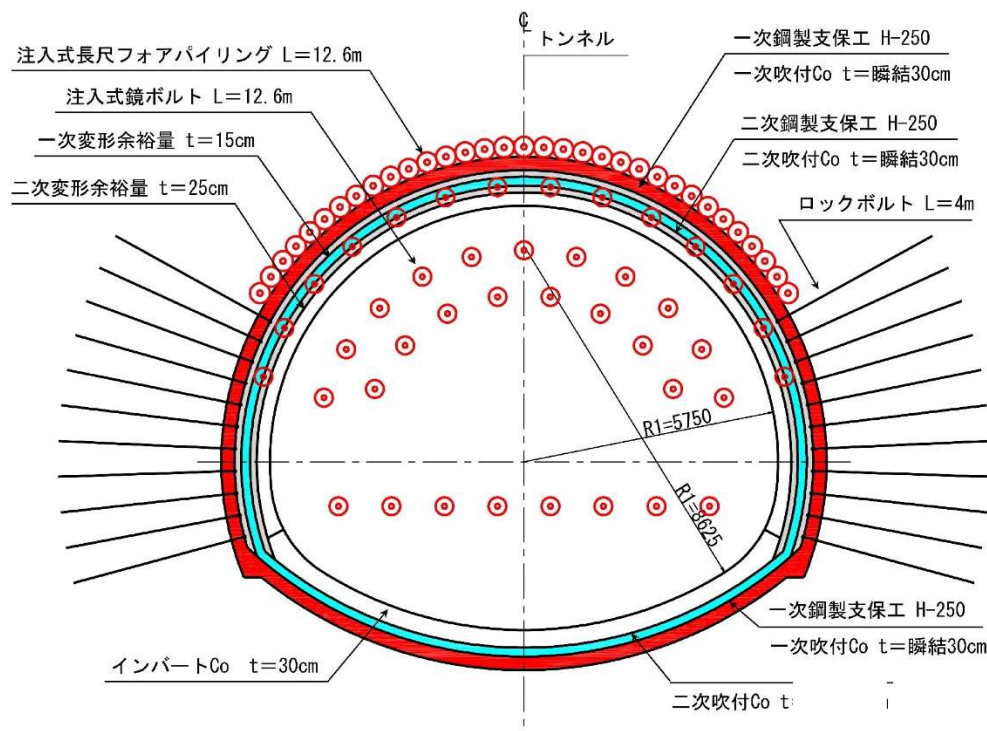


図-5.1.6 音中トンネル EⅢ (3) 標準断面図

図-5.1.7 では加背割と測点を示した側面図であり、これは表-5.1.15 のサイクルタイム表とリンクする。一般的なトンネルでは、上半 1 掘進（標準的には 1.0m）されればその次に下半の 1 掘進され、インバートは切羽の約 300m 後方から進められることが多いが、この図-5.1.7 からは、脆弱な地山故に上半、下半、インバートを早期にリング構造にすべく施工が進められていることがわかる。この進み具合を作業時間で示したもの、いわゆるサイクルタイムが表-5.1.15 となる。

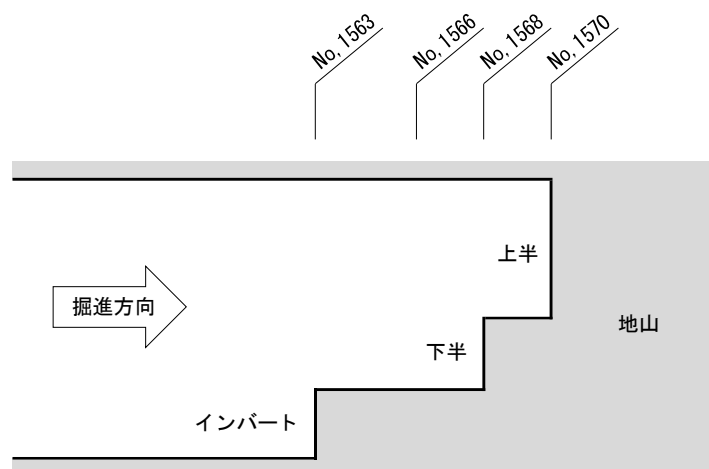
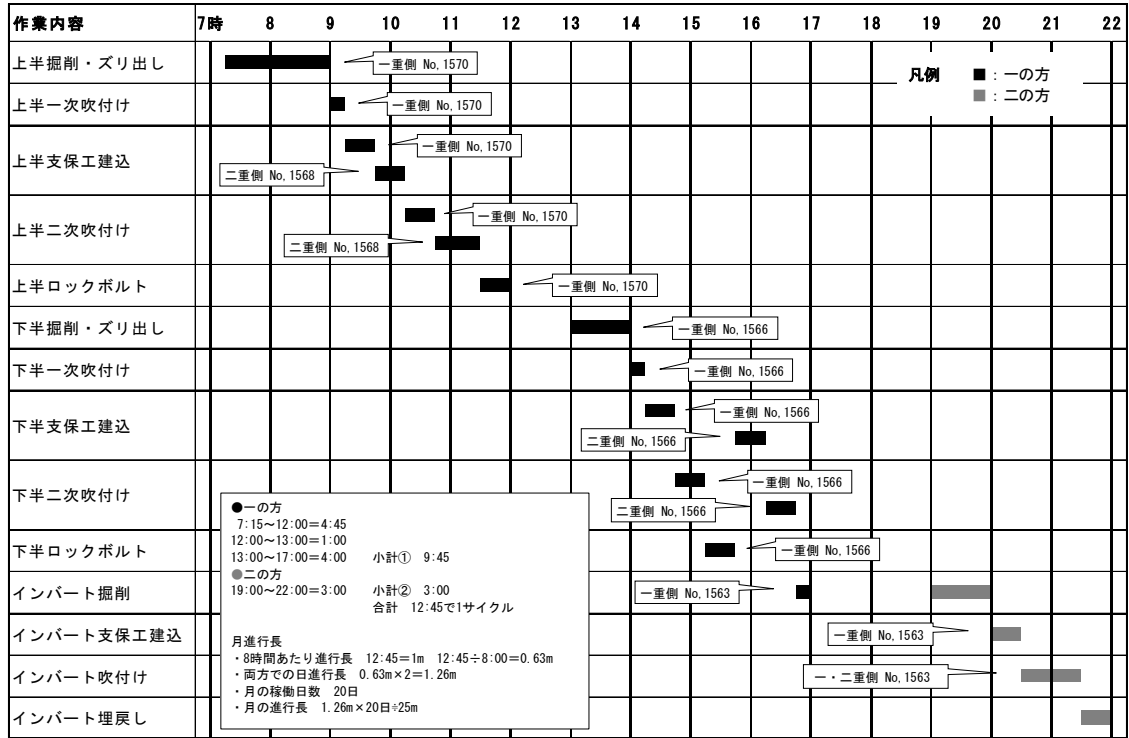


図-5.1.7 EⅢ (3) 掘削時の加背割側面図

表-5.1.15 から1サイクルの進捗を読み取り、1の方、2の方を各々1日8時間労働、週休2日の月20日稼働と考え算出すると、月に約25mの掘削進捗となる。一般的なトンネル掘削の進捗で言うと、月に50～70mの掘削延長が見込まれることと比較すると、EⅢ(3)では1/2～1/3の掘削延長であり、このことから工事進捗としての施工、工程管理や事業進捗としての事業管理として、受注者そして発注者ともに参考となる数値である。

表-5.1.15 EⅢ(3) サイクルタイム表



(2) 計測 A

音中トンネルの蛇紋岩区間における計測 A は、蛇紋岩延長 470m の区間で 62 箇所の断面で実施されている。当区間における先進ボーリングと対比させた計測位置は図-5. 1. 8 のとおりである。

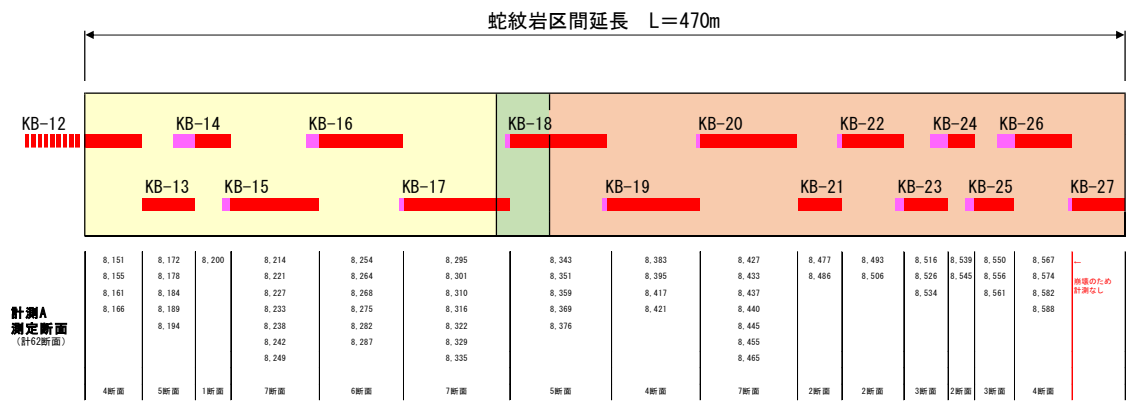


図-5. 1. 8 音中トンネル 先進ボーリング位置と計測 A 測定測点

計測された各測点ごと下半の計測開始から、経過日数および切羽離れ、収束に向かう切合点、収束の判断、そして、最終計測値を表にまとめた。5-1-1 で述べたが、音中トンネルでは最終的に掘削断面に崩壊・崩落が生じているが、掘削途中における計測 A 測定では、一般的な経緯で収束を迎えた測点（表-5. 1. 16）の他に、収束を一時迎えたものの掘削の進行とともに計測 A 測定値が増加する測点（表-5. 1. 17）、収束を一度も迎えずに計測 A 測定値が増加する測点（表-5. 1. 18）が確認されており、この 3 種類の経過を下記に示す。

表-5. 1. 16 音中トンネル 一時収束および最終収束が確認できた計測経緯

音中トンネル 8,351

	日時	経過 日数 (日)	切羽 離れ (m)	変位 [A] (mm)	変位 [B] (mm)	変位 [C] (mm)	変位 [D] (mm)	沈下 [天端] (mm)	沈下 [左上] (mm)	沈下 [右上] (mm)	沈下 [左下] (mm)	沈下 [右下] (mm)
①	2013/01/18 12:22	0	1	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		
②	2013/01/22 9:40	4	7	-25.5	-23.5	-102.1	0.0	-19.9	-57.0	-39.3	0.0	0.0
③	2013/02/14 8:20	27	35	-47.5	-55.0	-150.2	-54.6	-37.9	-88.8	-63.1	-29.8	-19.1
	2013/02/19 11:05	32	44	-48.0	-55.3	-152.2	-56.0	-38.3	-90.1	-64.0	-30.4	-20.2
	2013/02/20 11:23	33	46	-48.4	-55.5	-152.4	-56.1	-38.4	-90.3	-64.1	-30.5	-20.3
④	2013/02/21 8:30	34	50	-48.6	-55.6	-152.6	-56.4	-38.5	-90.5	-64.1	-30.7	-20.4
⑤	2013/08/10 11:59	204	134	-54.9	-60.7	-162.9	-66.5	-45.5	-95.5	-66.5	-35.1	-21.4

※1 ①：上半初期値、②：下半初期値、③：収束に向けた切合点値、④：収束確認値、⑤：最終値

※2 ⑤最終値の収束確認

差引a (mm) = 変位量⑤ - 変位量④	-6.3	-5.1	-10.3	-10.1	-7.0	-5.0	-2.4	-4.4	-1.0
日数b (日) = 測定日⑤ - 測定日④					170				
月数c (月) = b ÷ 30日/月					6				
月あたり変位量d (mm) = a ÷ c	-1.1	-0.9	-1.8	-1.8	-1.2	-0.9	-0.4	-0.8	-0.2
判定：月2mm以内	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束

音中トンネル 8.189

※1 ①：上半初期値、②：下半初期値、③：収束に向けた切合点値、④収束確認値、⑤最終値

※2 ⑤最終値の収束確認

差引a (mm) = 変位量⑤ - 変位量④	-5.2	-3.4	-10.9	-19.8	-4.3	-5.2	-6.9	-6.6	-6.7
------------------------	------	------	-------	-------	------	------	------	------	------

日数b (日) = 測定日⑤ - 測定日④

$$\text{月数 } c \text{ (月)} = b \div 30 \text{ 日/月} \quad 5$$

月あたり変位量d (mm) = a ÷ c	-1.0	-0.7	-2.2	-4.0	-0.9	-1.0	-1.4	-1.3	-1.3
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

判定：月2mm以内 ○収束 ○収束 ×未収束 ×未収束 ○収束 ○収束 ○収束 ○収束 ○収束

音中トンネル 8.440

※1 ①：上半初期値、②：下半初期値、③：収束に向けた切合点値、④収束確認値、⑤最終値

※2 ⑤最終値の収束確認

差引 _a (mm) = 変位量⑤ - 変位量④	-9.2	-14.1	-14.8	-12.4	-12.3	-4.9	0.7	-1.3	-2.0
------------------------------------	------	-------	-------	-------	-------	------	-----	------	------

日数b (日) = 測定日⑤ - 測定日④

月数c (月) = b ÷ 30日/月	4
---------------------	---

月あたり変位量d (mm) = a ÷ c	-2.6	-4.0	-4.2	-3.5	-3.5	-1.4	0.2	-0.4	-0.6
-----------------------	------	------	------	------	------	------	-----	------	------

判定：月2mm以内 ×未収束 ×未収束 ×未収束 ×未収束 ×未収束 ○収束 ○収束 ○収束 ○収束

60

判断することとした。

表-5. 1. 16 の一時収束および最終収束が確認できた計測経緯では、計測開始から④行の計測経過日数 34 日目、切羽離れ 50m で一時収束が確認され、その後、約 6 か月後に測定した最終計測では、月当たり $-0.2\text{mm}\sim-1.8\text{mm}$ の変位であり、月当たりの平均変位が $\pm 2\text{mm}$ 未満であることから、この測点では最終収束が確認できると判断した。

次に表-5. 1. 17 の一時収束するも変位が増加し収束が確認できない計測経緯では、計測開始から④行の計測経過日数 147 日目、切羽離れ 58m で一時収束が確認されるものの、その後に変位の増加が徐々に現れ、5 月に測定した最終計測では、月当たり $-0.7\text{mm}\sim-4.0\text{mm}$ の変位であり、月当たりの平均変位が $\pm 2\text{mm}$ を超過する内空変位が 1 測線、沈下が 1 測点の未収束であることが確認された。

次に表-5. 1. 18 の一時収束せず変位が増加し収束が確認できない計測経緯では、計測開始からこれまでの④行のような一時収束を確認できる測定値が存在しなく、変位増加の継続となっている。よって③行の変位収束に向かう切合点から計測経過日数 144 日目、切羽離れ 134m の最終計測では、月当たり $0.2\text{mm}\sim-4.2\text{mm}$ の変位であり、月当たりの平均変位が $\pm 2\text{mm}$ を超過する内空変位が 4 測線、沈下が 1 測点の未収束が確認できる。

これまで未収束が確認できる計測断面の $P=8, 189$ および $P=8, 440$ において、影響されるものとして、蛇紋岩形態の特徴や先進ボーリングの掘進長などが推察されることから、計測断面から先進ボーリング No, を割り出し考察することとした。

・ $P=8, 189 \rightarrow$ 先進ボーリング No, = KB-13

・ $P=8, 440 \rightarrow$ 先進ボーリング No, = KB-20

先進ボーリング 15 本 (KB-12 は除外) の掘進長平均は表-5. 1. 1 より 33.0m であり、KB-13 では 26.0m 、KB-20 では 44.8m である。また、蛇紋岩介在率で KB-13 では葉片状率は 100%、KB-20 では葉片状率は 57%、粘土状率は 43% である。先進ボーリング掘進長では KB-13 は平均の 74% ほどしか掘進されておらず、先進ボーリング掘進時におけるコアチューブへの地山膨張性の圧力と考えられ、これが地山変位の数値に現れたものと推察される。また、KB-20 では先進ボーリング掘進長は 44.8m なので、平均掘進長を上回っているが、その反面、粘土状率が 43% と高い数値を示していることから、この粘土状率が地山変位の数値に現れたものと推察される。これまで、 $P=8, 351$ 、 $8, 189$ 、 $8, 440$ の 3 つの計測 A 断面を紹介したが、計測 A の結果、62 断面のうち最終的に収束が確認されたのは 10 断面、一時収束後に再び変位が増加したものが 4 断面、完全に未収束であったものが 48 断面であった。この特徴としては、蛇紋岩区間の前半に位置する葉片状主体の区間において収束および一時収束したものの最終未収束がほぼ占めており、葉片状主体区間の後半から粘土状主体区間では、ほぼ未収束の計測 A 断面が占めている。これらを見ると表-5. 1. 19 (A) (B) の計測 A の計測結果と表-5. 1. 12 の先進ボーリング掘進長の大小、図-4. 3. 1・図-4. 3. 2 の蛇紋岩形態別の介在率には相関性があるものと推察される。

表-5. 1. 19 (A) の断面 No, 1~30 を蛇紋岩区間の前半として蛇紋種別は葉片状が主体であ

り、後半として表-5.1.19 (B) では、蛇紋種別は粘土状が主体となる。計測 A の最終測定値での最大値はすべて後半の粘土状区間で発生していることがわかる。蛇紋岩区間における支保構造の差異や掘削方法を見捨てして比較したものであるが、後半の粘土状主体区間での支保構造は前半の葉片状主体区間より重設備になっているにも関わらず、計測 A の最大値がすべて後半の粘土状主体区間で発生していることは、相当強大な地山圧力が発生しているものと推察される。

表-5.1.19 (A) 音中トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 NO.	計測 地点	収束経緯				計測期間		計測回数 (回)	最終測定日の内空変位量 (mm)						最終測定日の沈下量 (mm)						Br No.	塊状 率 (%)	葉片状 率 (%)	粘土状 率 (%)	蛇紋 岩形 態
		一時収束と切羽掘削 (m)	変位距離	最終収束	日数 (日)	月数 (月)	A		B	C	D	1	2	3	4	5									
1	8,151	○	34	×	498	16.6	26	-14.8	-13.6	-41.1	-27.6	-10.2	-12.0	-18.8	-8.3	-7.9									
2	8,155	○	48	×	126	4.2	31	-17.3	-16.5	-40.0	-25.9	-21.6	-20.8	-17.4	-12.9	-13.2			0	100	0				
3	8,161	○	46	×	344	11.5	50	-36.4	-21.7	-75.8	-33.3	-18.9	-28.3	-17.7	-11.2	-9.3									
4	8,166	×	—	×	119	4.0	36	-32.6	-14.1	-60.5	-18.2	-18.4	-30.9	-9.3	-10.4	-4.4									
5	8,172	○	35	×	333	11.1	52	-24.8	-25.2	-44.8	-28.8	-35.8	-29.7	-18.3	-18.1	-10.6									
6	8,178	○	28	×	238	7.9	50	-22.2	-21.7	-58.8	-30.3	-27.5	-32.5	-29.7	-23.6	-13.8									
7	8,184	○	22	○	317	10.6	59	-28.3	-26.6	-205.2	-54.8	-49.7	-73.0	-85.3	-18.3	-34.0			0	100	0				
8	8,189	○	58	○	302	10.1	48	-38.2	-34.4	-156.9	-53.5	-39.0	-60.1	-97.4	-17.6	-24.5									
9	8,194	○	12	○	292	9.7	42	-34.5	-23.3	-136.2	-51.7	-31.0	-54.7	-81.6	-21.6	-21.1			0	31	69				
10	8,200	○	53	×	443	14.8	49	-42.5	-68.9	-172.2	-70.2	-52.9	-67.4	-107.6	-20.0	-35.9									
11	8,214	×	—	×	331	11.0	35	-39.4	-42.8	-144.1	-71.3	-35.4	-47.3	-65.4	-25.5	-26.7									
12	8,221	×	—	×	317	10.6	34	-63.9	-78.1	-217.2	-27.2	-50.2	-64.2	-94.1	-8.7	-13.4									
13	8,227	×	—	×	309	10.3	45	-65.7	-72.8	-220.2	-69.9	-59.7	-87.3	-116.0	-25.5	-13.8									
14	8,233	×	—	×	316	10.5	28	-52.3	-58.4	-197.2	-70.9	-54.2	-78.2	-96.9	-24.8	-23.8			0	56	44				
15	8,238	×	—	×	203	6.8	39	-28.5	-42.8	-109.9	-62.2	-37.1	-40.8	-70.8	-21.1	-41.6									
16	8,242	×	—	×	151	5.0	55	-72.7	-54.4	-158.8	-55.9	-58.2	-54.6	-57.5	-10.5	-7.6									
17	8,249	×	—	×	297	9.9	43	-47.7	-49.3	-73.8	-43.8	-31.5	-27.4	-17.1	-8.8	-12.5									
18	8,254	×	—	×	291	9.7	41	-26.6	-34.0	-82.0	-46.7	-27.1	-29.7	-33.5	-16.0	-18.1									
19	8,264	×	—	×	284	9.5	39	-27.7	-29.1	-70.1	-25.6	-36.2	-39.2	-35.9	-10.6	-10.9									
20	8,268	×	—	×	125	4.2	43	-35.4	-37.1	-108.9	-59.4	-38.0	-56.0	-42.1	-19.9	-16.0									
21	8,275	×	—	×	276	9.2	37	-42.0	-58.8	-155.8	-85.2	-59.4	-81.7	-61.1	-42.5	-25.0									
22	8,282	×	—	×	22	0.7	26	-26.1	-40.3	-104.4	-35.0	-46.8	-64.8	-59.5	-12.7	-13.4									
23	8,287	×	—	×	269	9.0	38	-55.1	-65.8	-162.1	-90.1	-89.7	-73.5	-108.6	-29.0	-33.2									
24	8,295	×	—	×	48	1.6	15	-47.5	-55.7	-166.4	-62.1	-64.4	-70.9	-91.0	-14.8	-28.6									
25	8,301	×	—	×	258	8.6	42	-37.0	-51.2	-166.8	-82.7	-45.8	-63.5	-121.8	-24.4	-54.4									
26	8,310	×	—	×	40	1.3	14	-26.6	-40.2	-183.0	-63.7	-52.4	-89.7	-119.5	-19.8	-39.1									
27	8,316	○	86	×	83	2.8	47	-48.8	-72.1	-136.7	-51.9	-73.5	-38.8	-105.0	-22.6	-30.7									
28	8,322	×	—	×	60	2.0	20	-38.4	-37.4	-117.8	-49.1	-59.8	-60.3	-82.5	-15.5	-23.9									
29	8,329	×	—	×	239	8.0	58	-37.4	-49.9	-116.9	-48.1	-57.8	-66.9	-79.3	-15.6	-27.3									
30	8,335	○	47	×	235	7.8	59	-34.5	-31.2	-107.6	-58.2	-35.6	-31.7	-79.8	-8.3	-35.6									

表-5.1.19 (B) 音中トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 NO.	計測 地点	収束経緯				計測期間		計測回数 (回)	最終測定日の内空位置 (mm)				最終測定日の沈下量 (mm)					塊状 率 (%)	葉片状 率 (%)	粘土 状率 (%)	蛇紋 岩形 態
		一昨収束と初期断れ (s)	断束時間	最終収束	日数 (日)	月数 (月)	A		B	C	D	1	2	3	4	5					
31	8.343	×	×	×	42	1.4	20	-51.0	-38.3	-168.5	-54.3	-44.4	-60.2	-79.2	-17.2	-11.3					
32	8.351	○	50	×	204	6.8	46	-54.9	-60.7	-162.9	-66.5	-45.5	-95.5	-66.5	-35.1	-21.4					
33	8.359	○	48	×	212	7.1	60	-48.2	-54.5	-149.2	-84.6	-89.8	-104.9	-101.7	-27.8	-34.6		0	33	67	
34	8.369	×	—	×	204	6.8	85	-87.4	-99.8	-291.0	-66.8	-88.0	-165.7	-144.6	-34.7	-30.9					
35	8.376	×	—	×	104	3.5	84	-46.6	-41.9	-175.2	-72.0	-51.2	-89.8	-104.8	-23.9	-32.6					
36	8.383	×	—	×	122	4.1	49	-60.3	-58.1	-143.9	-73.9	-59.0	-76.8	-121.3	-30.4	-37.0					
37	8.395	×	—	×	13	0.4	22	-53.8	-62.9	-190.0	-79.1	-125.8	-170.0	-93.7	-36.4	-37.2					
38	8.405	○	94	×	161	5.4	72	-37.7	-25.6	-44.3	-44.9	-61.2	-37.8	-52.4	-36.6	-39.7		0	33	67	
39	8.417	×	—	×	67	2.2	61	-24.2	-22.1	-20.9	-30.2	-24.9	-16.6	-19.4	-16.7	-16.7					
40	8.421	×	—	×	79	2.6	76	-41.6	-46.8	-128.4	-67.3	-47.8	-94.0	-63.6	-35.3	-48.8					
41	8.427	×	—	×	102	3.4	86	-68.4	-50.6	-131.9	-46.2	-75.2	-101.5	-81.0	-44.9	-32.0					
42	8.433	×	—	×	100	3.3	74	-56.7	-27.5	-119.9	-60.7	-70.8	-94.2	-61.6	-42.2	-29.4					
43	8.437	×	—	×	108	3.6	40	-56.9	-31.0	-132.0	-70.1	-80.3	-125.1	-62.5	-48.8	-29.9					
44	8.440	×	—	×	144	4.8	66	-93.4	-51.8	-188.6	-95.7	-114.1	-205.7	-68.5	-58.1	-37.3		0	57	43	
45	8.445	×	—	×	65	2.2	54	-47.7	-29.8	-111.3	-94.3	-66.4	-81.8	-69.8	-57.5	-36.4					
46	8.455	×	—	×	69	2.3	64	-75.8	-76.4	-182.8	-100.2	-97.3	-117.5	-93.6	-53.2	-54.6					
47	8.465	×	—	×	56	1.9	49	-53.4	-32.7	-137.1	-91.4	-82.5	-97.0	-81.6	-61.8	-60.3					
48	8.477	×	—	×	53	1.8	47	-46.3	-23.2	-109.7	-44.7	-81.8	-87.6	-84.4	-40.6	-46.3					
49	8.486	×	—	×	34	1.1	38	-34.3	-14.1	-50.5	-69.7	-70.9	-57.7	-69.5	-60.5	-66.0					
50	8.493	×	—	×	53	1.8	50	-31.3	-14.1	-59.3	-69.2	-59.6	-48.4	-75.8	-46.2	-77.2					
51	8.506	×	—	×	35	1.2	53	-90.9	-62.2	-208.4	-67.9	-116.8	-104.4	-144.6	-30.4	-54.7					
52	8.516	×	—	×	80	2.7	44	-46.8	-30.9	-112.6	-119.5	-68.7	-92.1	-77.1	-82.6	-78.1					
53	8.526	×	—	×	71	2.4	43	-31.3	-28.1	-90.9	-103.7	-88.7	-109.3	-91.9	-113.6	-99.0					
54	8.534	×	—	×	69	2.3	51	-55.4	-26.6	-116.4	-141.6	-72.8	-94.8	-71.7	-94.5	-70.5					
55	8.539	×	—	×	67	2.2	45	-45.8	-25.9	-112.5	-139.2	-63.2	-87.2	-85.1	-126.5	-63.8					
56	8.545	×	—	×	59	2.0	41	-42.2	-40.1	-131.1	-204.9	-59.9	-95.8	-80.4	-106.1	-59.8					
57	8.550	×	—	×	55	1.8	40	-21.5	-21.4	-62.3	-64.3	-40.0	-55.2	-35.5	-54.9	-33.7					
58	8.556	×	—	×	45	1.5	30	-26.1	-25.8	-60.3	-64.3	-59.3	-58.6	-49.3	-56.8	-45.1					
59	8.561	×	—	×	51	1.7	28	-29.3	-24.1	-76.1	-78.1	-65.3	-66.2	-81.0	-65.3	-66.2					
60	8.567	×	—	×	20	0.7	33	-20.1	-17.1	-55.4	-59.3	-49.5	-45.5	-64.3	-43.6	-62.3					
61	8.574	×	—	×	13	0.4	30	-17.1	-11.6	-46.5	-68.2	-33.4	-34.7	-45.5	-32.7	-41.6					
62	8.582	×	—	×	6	0.2	16	-14.7	-22.6	-60.5	-71.0	-23.5	-32.1	-30.6	-30.6	-28.9			0	33	67
63	8.586	×	—	×			1														
平均					80		48	-42.8	-39.8	-122.9	-66.4	-56.4	-70.6	-71.5	-35.2	-34.7		0	50	50	
最大								-93.4	-99.8	-291.0	-204.9	-125.8	-205.7	-144.6	-126.5	-99.0		0	100	67	

(3) 計測 B

音中トンネルの蛇紋岩区間における計測 B は、蛇紋岩延長 470m の区間で 7 箇所の断面で実施されている。当区間における先進ボーリングと対比させた計測位置は図-5.1.9 のとおりであり、各計測断面における計測項目一覧を表-5.1.20 に、各計測断面における計測期間を図-5.1.21 に、各計測断面図を図-5.1.10～図-5.1.16 に示す。

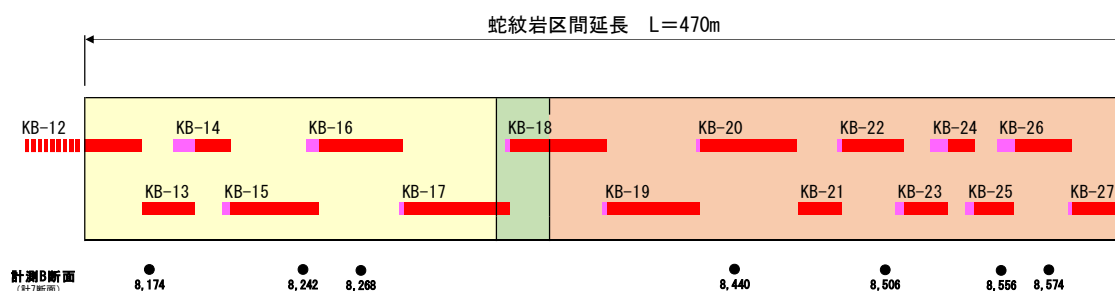


図-5.1.9 音中トンネル 先進ボーリング位置と計測 B の計測位置

表-5.1.20 音中トンネル 計測位置ごとの計測項目一覧

計測点	蛇紋岩 主要形態 と 介在率	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
		鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト
		軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
SP = 8,174	葉片状 100%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (28箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	○ (10箇所)	— (—)
SP = 8,242	葉片状 56%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (16箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	○ (10箇所)	— (—)
SP = 8,268	葉片状 63%	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	○ (16箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
SP = 8,440	葉片状 57%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (8箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (10箇所)	— (—)
SP = 8,506	粘土状 67%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (8箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (10箇所)	— (—)
SP = 8,556	粘土状 66%	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (10箇所)	○ (16箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
SP = 8,574	粘土状 67%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (16箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (7箇所)	○ (10箇所)	— (—)

表-5.1.21 音中トンネル 計測位置ごとの計測期間一覧

計測点	支保種類	期 間	日間 (日)	月間 (月)	回数 (回)
SP = 8,174	鋼製支保工	2012/4/18 ~ 2014/2/11	665	22.2	10,006
	吹付けコンクリート	2012/4/18 ~ 2014/2/11	665	22.2	10,006
	ロックボルト	2012/4/18 ~ 2014/2/11	665	22.2	10,000
SP = 8,242	鋼製支保工	2012/10/5 ~ 2014/2/11	495	16.5	7,805
	吹付けコンクリート	2012/10/5 ~ 2014/2/11	495	16.5	7,803
	ロックボルト	2012/10/6 ~ 2014/2/11	494	16.5	7,796
SP = 8,268	鋼製支保工	— ~ —	—	—	—
	吹付けコンクリート	— ~ —	—	—	—
	ロックボルト	2012/10/31 ~ 2014/2/11	469	15.6	7,181
SP = 8,440	鋼製支保工	2013/6/24 ~ 2014/1/8	199	6.6	3,201
	吹付けコンクリート	2013/6/24 ~ 2014/1/8	199	6.6	3,201
	ロックボルト	2013/6/24 ~ 2014/1/8	199	6.6	3,172
SP = 8,506	鋼製支保工	2013/9/6 ~ 2014/1/8	125	4.2	1,472
	吹付けコンクリート	2013/9/6 ~ 2014/1/8	125	4.2	1,472
	ロックボルト	2013/9/6 ~ 2014/1/8	125	4.2	1,469
SP = 8,556	鋼製支保工	2013/10/30 ~ 2014/1/10	73	2.4	963
	吹付けコンクリート	2013/10/30 ~ 2014/1/11	74	2.5	978
	ロックボルト	2013/10/30 ~ 2014/1/11	74	2.5	976
SP = 8,574	鋼製支保工	2013/12/6 ~ 2014/1/11	37	1.2	675
	吹付けコンクリート	2013/12/6 ~ 2014/1/11	37	1.2	675
	ロックボルト	2013/12/6 ~ 2014/1/11	37	1.2	653

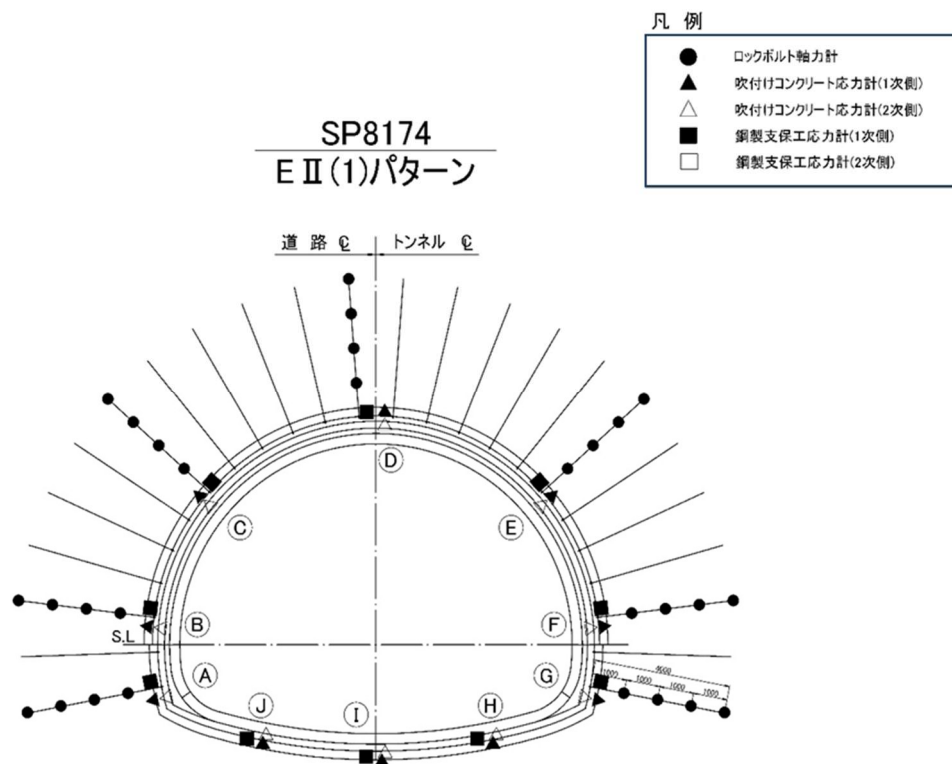


図-5.1.10 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8, 174)

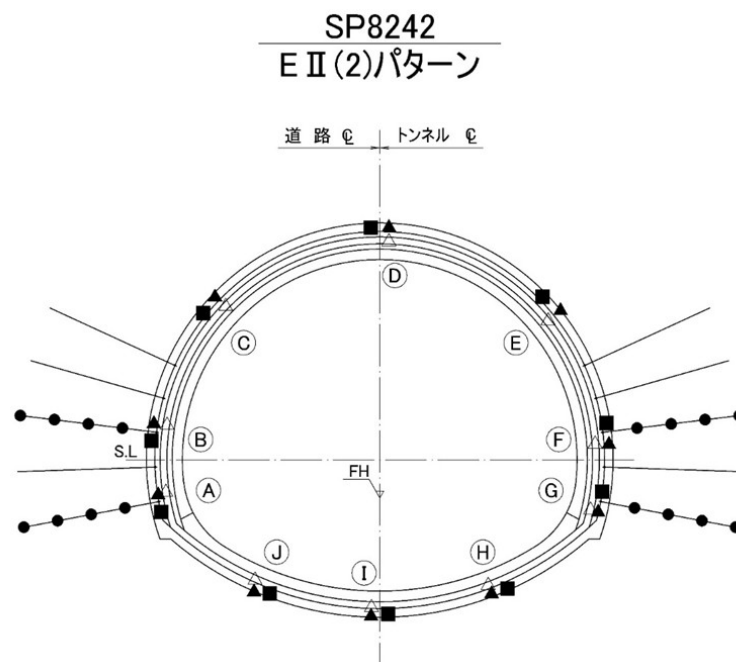


図-5.1.11 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8, 242)

SP8268
EⅡ(2)パターン

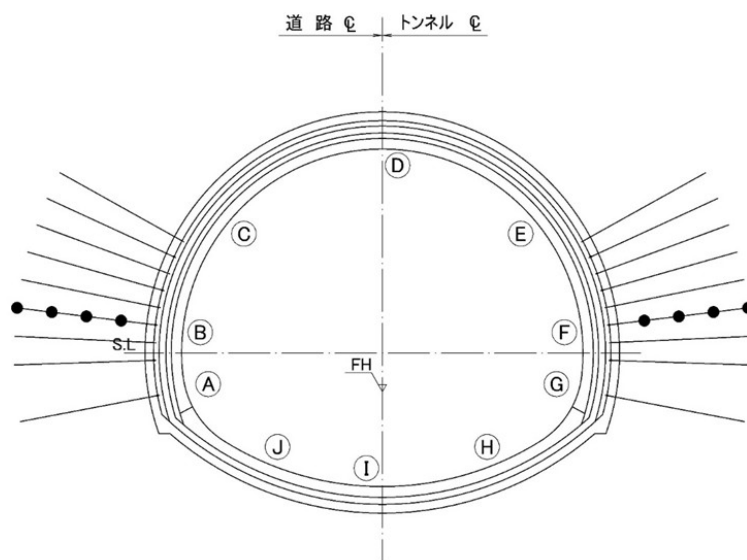


図-5.1.12 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8, 268)

SP8440
EⅢ(3)パターン

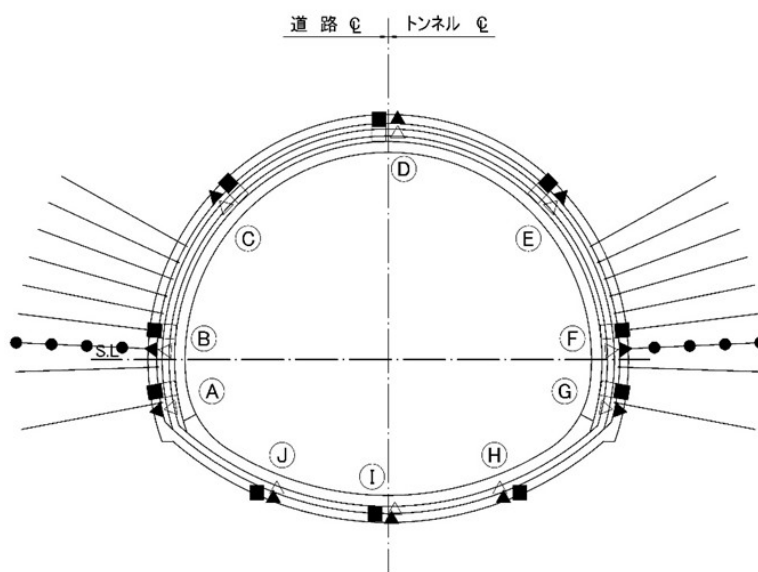


図-5.1.13 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8, 440)

SP8506
EIV(1)パターン

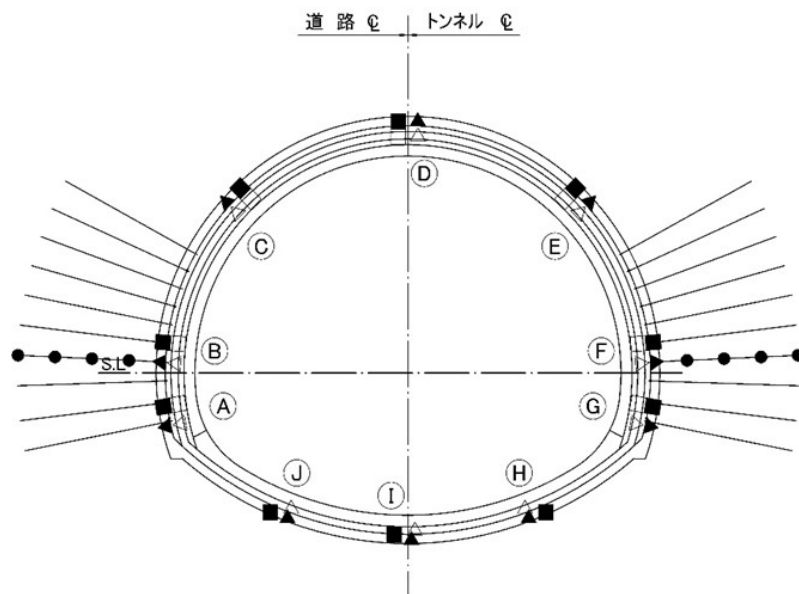


図-5.1.14 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8, 506)

SP8556
EIV(2)パターン

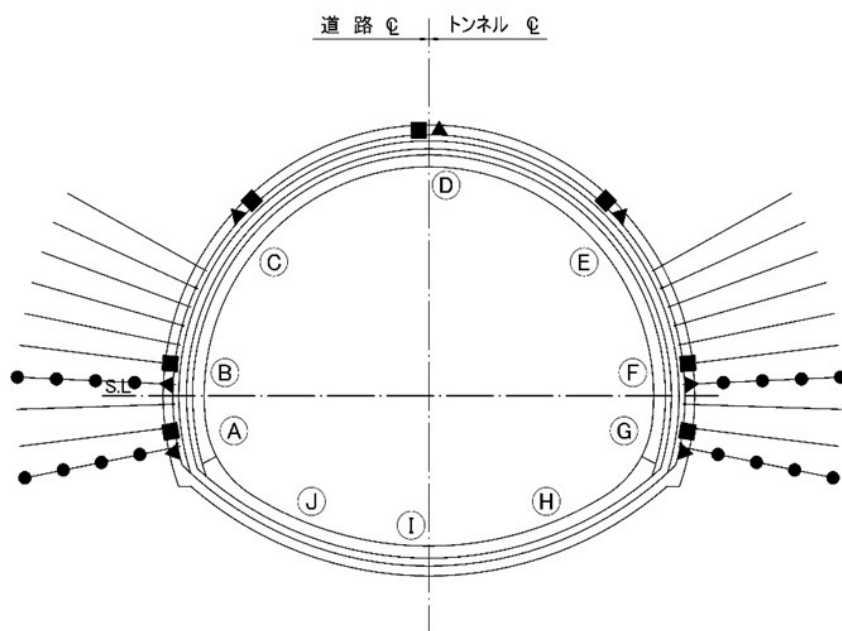


図-5.1.15 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8, 556)

SP8574
EIV(2)パターン

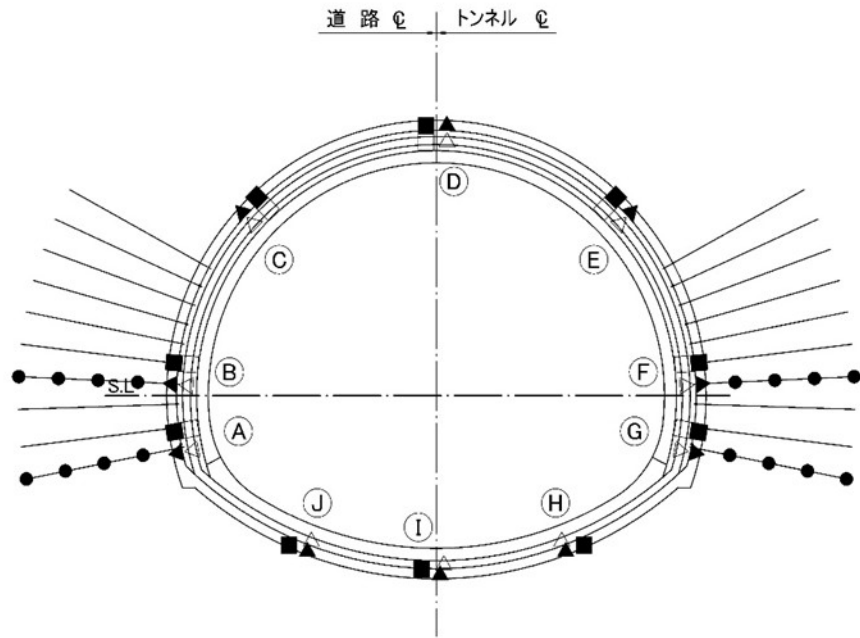


図-5.1.16 音中トンネル 計測 B 断面図 (P=8,574)

① SP8, 174

SP8, 174 では、表-5. 1. 20 の計測位置ごとの計測項目一覧と表-5. 1. 21 の計測位置ごとの計測期間一覧に示すとおり、計測 B の最初の計測箇所もあって、支保構造パターンとして計測可能な箇所および部材に対し計測を設定した。その結果、一重支保（地山）側での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力、そして、二重支保（内空）側での吹付けコンクリートにおける応力を計測した。

計測期間については、初期値として 2012 年（平成 24 年）4 月に計測を開始し、最終測定を 2014 年（平成 26 年）2 月までの約 22 か月間、計測を継続し、計測回数については約 10,000 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5. 1. 22 に示す。

この計測結果から、部材のレベルⅢに対して実測値が 100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。その中で一重目の吹付けコンクリートでは、発生率平均が 325%であったが、これは上半 D の -948N/mm^2 、発生率 2,633%はその他の計測値から見れば異常値である可能性が高く、ここは異常値を除いて算出された発生率平均値 69 で判断することが妥当と考えられる。最大の着目としては鋼製支保工軸力であり、上半・下半での発生率は 200%を超過し、インバート部においては発生率 400%を超過する箇所も確認された。これにより、断面全体で鋼製支保工に大きな荷重が作用していることが明らかであった。

鋼製支保工曲げでは、鋼製支保工軸力の発生特徴に類似して、インバート部での発生が顕著であり、これは支保構造パターンでもわかるようにインバート形状が 3.0R であり曲率半径が大きいため、地山下方からの応力に対する鋼製支保工への応力伝達が推察される。二重目の吹付けコンクリート応力では目立った数値は認められない。

ここで 1 つの疑問が生じる。それは、各支保部材の分担割合である。支保構造には一次支保として鋼製支保工、吹付けコンクリート、ロックボルトがあるが、各支保部材の分担割合について掲載されている文献⁴⁰⁾があるので紹介する。これは、計測 B データから各支保部材に生じている応力を作用内圧とし、軸力モデルとして支保換算内圧を算出したもので、その結果を図化したものが図-5. 1. 17 である。

トンネル a	鋼製支保工 38%	吹付けコンクリート 41%	ロックボルト 21%
トンネル b	鋼製支保工 45%	吹付けコンクリート 42%	ロックボルト 13%
トンネル c	鋼製支保工 40%	吹付けコンクリート 47%	ロックボルト 13%
平均	鋼製支保工 41%	吹付けコンクリート 43%	ロックボルト 16%

図-5. 1. 17 支保部材の分担割合

今後の計測箇所においても、各支保部材の応力分担について注視しながら分析を進めることとする。

表-5.1.22 音中トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=8,174)

支保 構造 種	支保名	計測 項目	単位	SP8, 174					
				一重目：上半・下半・インバートH-200、高強度収付					
				【 EⅡ (1) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一 重 目	鋼製 支保工	軸力	kN	1, 334	下半A	2, 950	221	221	268
					上半B	3, 492	262	262	
					上半C	3, 736	280	280	
					上半D	3, 313	248	248	
		曲げ	kN・m	99	上半E	5, 288	396	396	131
					上半F	3, 046	228	228	
					下半G	1, 161	87	87	
					インH	2, 714	203	203	
		せん断	kN	169	インI	6, 292	472	472	97 (41)
					インJ	3, 711	278	278	
					下半A	-241	-244	244	
					上半B	78	79	79	
二 重 目	鋼製 支保工	軸力	kN	—	上半C	-42	-42	42	—
					上半D	47	48	48	
					上半E	119	120	120	
					上半F	79	80	80	
		曲げ	kN・m	—	下半G	-19	-19	19	—
					インH	-101	-102	102	
					インI	-375	-379	379	
					インJ	198	200	200	
		せん断	kN	—	下半A	1, 020	604	604	—
					上半B	138	81	81	
					上半C	-27	-16	16	
					上半D	71	42	42	
	吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	36	上半E	-67	-40	40	325 (69)
					上半F	-54	-32	32	
					下半G	-130	-77	77	
					インH	42	25	25	
	ロックボルト	軸力	kN	180	インI	74	44	44	27
					インJ	-18	-11	11	
					下半A	22	62	62	
					上半B	22	62	62	
					上半C	27	76	76	
					上半D	-948	-2, 633	2, 633	
					上半E	33	91	91	
					上半F	21	59	59	
					下半G	12	32	32	
					インH	28	77	77	
					インI	22	62	62	
					インJ	35	97	97	
					A : 1m	-106	-59	59	
					A : 2m	-63	-35	35	
					A : 3m	-20	-11	11	
					A : 4m	-204	-113	113	
					B : 1m	32	18	18	
					B : 2m	26	14	14	
					B : 3m	13	7	7	
					B : 4m	5	3	3	
					C : 1m	89	50	50	
					C : 2m	85	47	47	
					C : 3m	-208	-116	116	
					C : 4m	-126	-70	70	
					D : 1m	29	16	16	
					D : 2m	37	21	21	
					D : 3m	47	26	26	
					D : 4m	11	6	6	
					E : 1m	19	11	11	
					E : 2m	18	10	10	
					E : 3m	-11	-6	6	
					E : 4m	-4	-2	2	
					F : 1m	35	19	19	
					F : 2m	27	15	15	
					F : 3m	14	8	8	
					F : 4m	4	2	2	
					G : 1m	-64	-35	35	
					G : 2m	-47	-26	26	
					G : 3m	-28	-15	15	
					G : 4m	6	3	3	

※ () は異常値と判断した数値を除外しての平均値

② SP8, 242

SP8, 242 では、前計測箇所の SP8, 174 に準じて、一重目での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断・吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力、そして、二重目での吹付けコンクリートにおける応力を測定した。

計測期間については、初期値として 2012 年（平成 24 年）10 月に計測を開始し、最終測定を 2014 年（平成 26 年）2 月までの約 17 か月間、計測を継続し、計測回数については約 7,800 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.1.23 に示す。

この計測結果から、SP8, 174 と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。

その中で、一重目の鋼製支保工曲げでの 1,215kN・m、発生率 1,227%と一重目の鋼製支保工せん断での-2,569kN、発生率 1,520%は、その他の計測値から見れば異常値である可能性が高く、ここは異常値を除いて算出された発生率平均値、鋼製支保工曲げでは 52%、鋼製支保工せん断では 23%で判断することが妥当であると考えられる。

最大の着目としては、鋼製支保工軸力であり、発生率平均は 240%を超過し、インバート部においては発生率が 400%を超過する箇所も確認された。前計測箇所の SP8, 174 と同様に断面全体で鋼製支保工に大きな荷重が作用していることが明らかである。

インバートに着目すると、前計測箇所の SP8, 174 ではインバートの曲率半径は 3.0R であり、鋼製支保工曲げにおいて発生率 100%をすべてで超過していた。当測点でのインバートの曲率半径は 1.5R を採用されており、異常値を除くと発生率は 8~23%と低い値となっている。これは当測点においてはインバート形状を 1.5R にしたことによって上半・下半・インバートの各支保部材が一体となったことによる荷重分散されたことが考えられる。二重目の吹付けコンクリート応力では目立った数値は認められない。

支保構造の分担割合から見ると、前計測箇所の SP8, 174 では一重目の鋼製支保工軸力・曲げ・せん断に高い発生が見られたが、当計測箇所での鋼製支保工軸力・曲げ・せん断の発生率は低く抑えられた数値であるが、その反面、ロックボルト軸力での発生率が上昇している。これは前述したインバート形状の変更による地山応力に対する荷重の分散がなされたことが重ねて言える。

表-5.1.23 音中トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=8, 242)

支保 構造 層	支保名	計測 項目	単位	SP8, 242					
				一重目：上半・下半・インバートH-200、高強度吹付					
				【 EⅡ (2) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率 (絶対値)	発生率 平均	
一重目	鋼製支保工	軸力	kN	1, 334	下半A	1, 876	141	141	248
					上半B	4, 128	309	309	
					上半C	3, 441	258	258	
					上半D	2, 820	211	211	
					上半E	5, 278	396	396	
					上半F	3, 975	298	298	
					下半G	1, 904	143	143	
					インH	-5, 990	-449	449	
					インI	693	52	52	
					インJ	3, 000	225	225	
		曲げ	kN・m	99	下半A	-41	-41	41	170 (52)
					上半B	-67	-67	67	
					上半C	-30	-31	31	
					上半D	42	43	43	
					上半E	-84	-85	85	
					上半F	-114	-115	115	
二重目	鋼製支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
三重目	鋼製支保工	せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
吹付けコンクリート	吹付けコンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	—	—	—	57
					上半B	8	22	22	
					上半C	17	46	46	
					上半D	28	77	77	
					上半E	26	74	74	
					上半F	26	74	74	
					下半G	20	55	55	
					インH	24	66	66	
					インI	9	24	24	
					インJ	29	80	80	
		吹付けコンクリート	N/mm ²	36	下半A	15	42	42	38
					上半B	17	47	47	
					上半C	4	12	12	
					上半D	14	39	39	
					上半E	3	8	8	
					上半F	9	25	25	
ロックボルト	ロックボルト	軸力	kN	180	A：1m	142	79	79	63
					A：2m	-144	-80	80	
					A：3m	133	74	74	
					A：4m	-12	-7	7	
					B：1m	204	113	113	
					B：2m	208	116	116	
					B：3m	101	56	56	
					B：4m	-8	-4	4	
					C：1m	—	—	—	
					C：2m	—	—	—	
		C：3m	—	—	—				
		C：4m	—	—	—				
		D：1m	—	—	—				
		D：2m	—	—	—				
		D：3m	—	—	—				
		D：4m	—	—	—				
E：1m	—	—	—						
E：2m	—	—	—						
E：3m	—	—	—						
E：4m	—	—	—						
F：1m	182	101	101						
F：2m	204	114	114						
F：3m	162	90	90						
F：4m	30	16	16						
G：1m	60	33	33						
G：2m	19	11	11						
G：3m	38	21	21						
G：4m	-156	-87	87						

※（ ）は異常値と判断した数値を除外しての平均値

③ SP8, 268

SP8, 268 では、ロックボルト軸力の計測のみである。これは SP8, 174 と SP8, 242 でのロックボルト軸力の計測結果から、蛇紋岩地山にロックボルトが支保部材として有効なのかという疑問が生じた経緯によって当計測断面ではその効果の検証との意味合いでロックボルト軸力のみの計測として実施された。その疑問にはいくつかあって、1 つ目には前述した支保部材として有効なのか、2 つ目にはロックボルトに有効な働きがなければ、ロックボルトを不施工にして、その施工サイクルタイム分を活用して、早期なリング構造の構築時間に充てたほうが有利ではないか、3 つ目にはロックボルト施工には穿孔するために穿孔水を使用するが、この穿孔水によって蛇紋岩の膨張・膨潤を助長しているのではないかという疑問である。そんな疑問の中、当計測断面における計測結果（表-5.1.24）からは、平均発生率は 86% と以前の計測断面での結果よりも高い値が確認され、個別の計測位置によっては発生率が 100% を超過しているのも確認できる。加えて以前の計測断面における個別の計測位置でも発生率 100% を超過する箇所もいくつか確認できることから、疑問に対する結論は有効であると判断し、今後の施工においてもロックボルトを設計に組み込み継続するとともに、今後の計測断面においても、ロックボルト軸力の計測を継続することとした。

表-5.1.24 音中トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=8, 268)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP8, 268					
				一重目：上半・下半・インバートH-200、高強度吹付					
				【 EII (2) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製 支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	ロック ボルト	軸力	kN	180	A : 1m	—	—	—	86
					A : 2m	—	—	—	
					A : 3m	—	—	—	
					A : 4m	—	—	—	
					B : 1m	208	116	116	
					B : 2m	179	99	99	
					B : 3m	176	98	98	
					B : 4m	79	44	44	
					C : 1m	—	—	—	
					C : 2m	—	—	—	
					C : 3m	—	—	—	
					C : 4m	—	—	—	
					D : 1m	—	—	—	
					D : 2m	—	—	—	
					D : 3m	—	—	—	
					D : 4m	—	—	—	
					E : 1m	—	—	—	
					E : 2m	—	—	—	
					E : 3m	—	—	—	
					E : 4m	—	—	—	
					F : 1m	177	98	98	
					F : 2m	160	89	89	
					F : 3m	183	102	102	
					F : 4m	70	39	39	
					G : 1m	—	—	—	
					G : 2m	—	—	—	
					G : 3m	—	—	—	
					G : 4m	—	—	—	
二重目	鋼製 支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	

④ SP8, 440

SP8, 440 では、先進ボーリングコアから得られた塊状率の低下する区間であることから、支保構造においては、二重目にも鋼製支保工の設置が設計で組み込まれている。これによって、鋼製支保工の軸力・曲げ・せん断と吹付けコンクリート応力の計測は、一重目・二重目ともに実施され、ロックボルト軸力については一重目で実施した。

計測期間については、初期値として 2013 年（平成 25 年）6 月に計測を開始し、最終計測を 2014 年（平成 26 年）1 月までの約 7 か月間、計測を継続し、計測回数については約 3, 100 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5. 1. 25 に示す。

この計測結果から、これまでの計測箇所と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100% を超過する発生率を示すところを着色して表示している。その中で、一重目の鋼製支保工軸力の-377, 034kN、発生率 19, 637%および一重目の鋼製支保工曲げの-49, 805kN・m、発生率 27, 517%はその他の計測値から見れば、異常値である可能性が高く、ここは異常値を除いて算出された平均値、鋼製支保工軸力では 290%、鋼製支保工曲げでは 80%で判断することが妥当であると考えられる。最大の着目としては、一重目および二重目の鋼製支保工軸力と鋼製支保工曲げのみに 100%を超過する発生率が確認できることである。

鋼製支保工軸力で言えば、異常値を除いた一重目の発生率平均は約 290%、二重目の発生率平均も約 290%であり、SP8. 174 や SP8, 242 と比較して上回る数値を示したとともに、二重目も一重目と同様な鋼製支保工軸力が発生しているところは大きな特徴である。その他の鋼製支保工せん断や吹付けコンクリート応力、そして、ロックボルト軸力にはレベルⅢを超過する値は確認されていない。支保構造の分担から見ると、吹付けコンクリートやロックボルトには一般的なトンネルにおける分担が認識できるが、鋼製支保工軸力や鋼製支保工曲げの発生率から、SP8, 174 や SP8, 242 の計測結果も併せ、鋼製支保工に大きな分担があることは蛇紋岩トンネル特有な地山応力の伝達があるのではないかと考えることができる。

表-5.1.25 音中トンネル 計測B 計測結果一覧 (P=8,440)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP8,440					
				一重目：上半・下半・インバートH-250、縦結高強度収付					
				【 EⅢ (3) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率 (検出値)	発生率 平均	
一重目	鋼鉄支保工	軸力	kN	1,920	下半A	4,164	217	217	2,225 (290)
					上半B	-377,034	-19,637	19,637	
					上半C	5,779	301	301	
					上半D	6,991	364	364	
					上半E	5,718	298	298	
					上半F	6,778	353	353	
					下半G	4,588	239	239	
					インH	4,265	222	222	
					インI	4,213	219	219	
					インJ	7,628	397	397	
		曲げ	kN・m	181	下半A	-84	-46	46	2,823 (80)
					上半B	-49805	-27,517	27,517	
					上半C	-230	-127	127	
					上半D	122	67	67	
					上半E	-200	-111	111	
					上半F	-94	-52	52	
					下半G	24	13	13	
					インH	-21	-12	12	
					インI	236	131	131	
					インJ	-286	-158	158	
		せん断	kN	240	下半A	213	89	89	42
					上半B	44	18	18	
					上半C	-66	-27	27	
					上半D	107	44	44	
					上半E	31	13	13	
					上半F	39	16	16	
					下半G	-250	-104	104	
					インH	-26	-11	11	
					インI	-145	-61	61	
					インJ	-85	-36	36	
	収付けコンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	29	82	82	48
					上半B	13	37	37	
					上半C	15	43	43	
					上半D	16	45	45	
					上半E	13	36	36	
					上半F	14	39	39	
					下半G	16	44	44	
					インH	10	28	28	
					インI	31	87	87	
					インJ	15	41	41	
二重目	鋼鉄支保工	軸力	kN	1,920	下半A	3,115	162	162	286
					上半B	6,969	363	363	
					上半C	6,822	355	355	
					上半D	5,077	264	264	
					上半E	6,787	353	353	
					上半F	6,090	317	317	
					下半G	3,557	185	185	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	181	下半A	224	124	124	88
					上半B	-113	-63	63	
					上半C	-196	-108	108	
					上半D	44	24	24	
					上半E	-217	-120	120	
					上半F	-282	-156	156	
					下半G	36	20	20	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		せん断	kN	240	下半A	-123	-51	51	33
					上半B	80	33	33	
					上半C	68	28	28	
					上半D	159	66	66	
					上半E	6	2	2	
					上半F	15	6	6	
					下半G	-114	-47	47	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	収付けコンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	23	65	65	65
					上半B	18	51	51	
					上半C	21	59	59	
					上半D	20	55	55	
					上半E	35	97	97	
					上半F	13	37	37	
					下半G	22	62	62	
					インH	20	56	56	
					インI	32	90	90	
					インJ	27	76	76	
	ロックボルト	軸力	kN	180	A : 1m	—	—	—	59
					A : 2m	—	—	—	
					A : 3m	—	—	—	
					A : 4m	—	—	—	
					B : 1m	181	101	101	
					B : 2m	105	58	58	
					B : 3m	84	47	47	
					B : 4m	29	16	16	
					C : 1m	—	—	—	
					C : 2m	—	—	—	
					C : 3m	—	—	—	
					C : 4m	—	—	—	
					D : 1m	—	—	—	
					D : 2m	—	—	—	
					D : 3m	—	—	—	
					D : 4m	—	—	—	
					E : 1m	—	—	—	
					E : 2m	—	—	—	
					E : 3m	—	—	—	
					E : 4m	—	—	—	
					F : 1m	156	87	87	
					F : 2m	169	94	94	
					F : 3m	105	59	59	
					F : 4m	18	10	10	
					G : 1m	—	—	—	
					G : 2m	—	—	—	
					G : 3m	—	—	—	
					G : 4m	—	—	—	

※ () は異常値と判断した数値を除外しての平均値

⑤ SP8, 506

SP8, 506 では、SP8, 440 と同様、先進ボーリングコアから得られた塊状率の低下が継続される区間であることから、支保構造においては二重目にも鋼製支保工の設置が設計で組み込まれている。これによって、鋼製支保工の軸力・曲げ・せん断と吹付けコンクリート応力の計測は、一重目・二重目ともに実施され、ロックボルト軸力については一重目で実施した。

計測期間については、初期値として 2013 年（平成 25 年）9 月に計測を開始し、最終計測を 2014 年（平成 26 年）1 月までの約 4 か月間、計測を継続し、計測回数については約 1, 400 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5. 1. 26 に示す。

この計測結果から、これまでの計測箇所と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100% を超過する発生率を示すところを着色して表示している。その中で、二重目の鋼製支保工せん断の-5, 083kN、発生率 4, 664%はその他の計測値から見れば、異常値である可能性が高く、ここは異常値を除いて算出された平均値 22%で判断することが妥当であると考ええる。最大の着目は、一重目と二重目の鋼製支保工軸力が SP8, 440 と同様に 100%を超過する発生率が確認できるところである。一重目の鋼製支保工軸力の発生率平均では 360%、二重目の鋼製支保工軸力の発生率平均は 190%であり、これまでの計測断面と同様に大きな発生率であることがわかる。その他、鋼製支保工曲げやせん断、ロックボルト軸力の一部において発生率 100%を超過するところの確認できるが、吹付けコンクリート応力の平均発生率では一重目が 21%、二重目が 14%と低い値であった。支保構造の分担割合から見ると、これまでの計測断面と同様に鋼製支保工に大きな分担があることは明らかである。

表-5.1.26 音中トンネル 計測B計測結果一覧 (P=8,506)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP8,506					
				一重目：上半・下半・インバートH-250、瞬時高強度吹付					
				【 ENV (1) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	軸力	kN	1,920	1,920	下半A	4,496	234	234	359
					上半B	7,595	396	396	
					上半C	2,910	152	152	
					上半D	3,144	164	164	
					上半E	5,547	289	289	
					上半F	5,224	272	272	
					下半G	6,237	325	325	
					インH	13,364	696	696	
					インI	16,143	841	841	
					インJ	4,175	217	217	
	曲げ	kN・m	181	181	下半A	-127	-70	70	99
					上半B	-66	-36	36	
					上半C	-150	-83	83	
					上半D	101	56	56	
					上半E	-211	-117	117	
					上半F	-54	-30	30	
					下半G	-149	-82	82	
					インH	230	127	127	
					インI	603	333	333	
					インJ	104	57	57	
	せん断	kN	240	240	下半A	208	87	87	46
					上半B	-316	-132	132	
					上半C	51	21	21	
					上半D	81	34	34	
					上半E	-30	-12	12	
					上半F	-48	-20	20	
					下半G	-95	-39	39	
					インH	-145	-60	60	
					インI	91	38	38	
					インJ	-39	-16	16	
二重目	軸力	kN	833	833	下半A	1,205	145	145	187
					上半B	2,013	242	242	
					上半C	2,253	271	271	
					上半D	1,243	149	149	
					上半E	1,709	205	205	
					上半F	1,036	124	124	
					下半G	1,439	173	173	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	曲げ	kN・m	45	45	下半A	-47	-105	105	38
					上半B	-15	-32	32	
					上半C	-22	-50	50	
					上半D	-3	-7	7	
					上半E	-16	-35	35	
					上半F	10	21	21	
					下半G	-6	-13	13	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	せん断	kN	109	109	下半A	36	33	33	685 (22)
					上半B	-39	-36	36	
					上半C	-28	-26	26	
					上半D	14	13	13	
					上半E	-13	-12	12	
					上半F	-14	-13	13	
					下半G	-5,083	-4,664	4,664	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
三重目	軸力	kN	36	36	下半A	0	1	1	14
					上半B	2	6	6	
					上半C	4	12	12	
					上半D	7	18	18	
					上半E	4	12	12	
					上半F	4	10	10	
					下半G	5	13	13	
					インH	7	20	20	
					インI	10	28	28	
					インJ	7	19	19	
	曲げ	kN・m	180	180	A : 1m	—	—	—	65
					A : 2m	—	—	—	
					A : 3m	—	—	—	
					A : 4m	—	—	—	
					B : 1m	152	84	84	
					B : 2m	195	108	108	
					B : 3m	176	98	98	
					B : 4m	77	43	43	
					C : 1m	—	—	—	
					C : 2m	—	—	—	
					C : 3m	—	—	—	
					C : 4m	—	—	—	
四重目	軸力	kN	180	180	D : 1m	—	—	—	65
					D : 2m	—	—	—	
					D : 3m	—	—	—	
					D : 4m	—	—	—	
					E : 1m	—	—	—	
					E : 2m	—	—	—	
					E : 3m	—	—	—	
					E : 4m	—	—	—	
					F : 1m	129	72	72	
					F : 2m	126	70	70	
					F : 3m	79	44	44	
					F : 4m	5	3	3	
	曲げ	kN・m	180	180	G : 1m	—	—	—	65
					G : 2m	—	—	—	
					G : 3m	—	—	—	
					G : 4m	—	—	—	

※ () は異常値と判断した数値を除外しての平均値

⑥ SP8, 556

SP8, 556 では、手前の計測断面である SP8, 506 において二重目の鋼製支保工全般での発生率は一重目の発生率と比較すると、低下の傾向が確認できること、また、吹付けコンクリートやロックボルトの支保分担が低いことから、当計測断面では鋼製支保工は設計で組み込まれているものの、二重目の各種支保部材の計測は行われていない。よって当計測断面では一重目の鋼製支保工軸力・曲げ・せん断・吹付けコンクリート応力、ロックボルト軸力の計測を実施した。計測期間については、初期値として 2013 年（平成 25 年）10 月に計測を開始し、最終計測を 2014 年（平成 26 年）1 月までの約 3 か月間、計測を継続し、計測回数については約 960 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5. 1. 27 に示す。

この計測結果から、これまでの計測箇所と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100% を超過する発生率を示すところを着色して表示している。その中で、鋼製支保工せん断上半 B の-1, 075kN、発生率 636%と上半 F の-3, 316kN、発生率 1, 962%はその他の計測値から見れば、異常値である可能性が高く、ここは異常値を除いて算出された平均値 58%で判断することが妥当であると考ええる。最大の着目は、これまでの計測断面と同様に鋼製支保工軸力において 100%を超過する発生率が確認できるところである。鋼製支保工軸力の発生率平均では 233%であった。その他、鋼製支保工曲げの一部において発生率 100%を超過するが、その他の数値はさほど大きくない。支保構造の分担から見ても、これまでの計測断面と同様に鋼製支保工に大きな分担割合があることが確認できる。

表-5.1.27 音中トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=8, 556)

支保 構造 層	支保名	計測 項目	単位	SP8, 556					
				一重目：上半・下半・インバートH-200、鋼結高強度吹付					
				【 EIV (2) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率 (絶対値)	発生率 平均	
一重目	鋼製 支保工	軸力	kN	1, 334	下半A	1, 023	77	77	233
					上半B	1, 852	139	139	
					上半C	4, 356	327	327	
					上半D	4, 737	355	355	
					上半E	2, 303	173	173	
					上半F	5, 585	419	419	
					下半G	1, 845	138	138	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	99	下半A	-85	-86	86	73
					上半B	-40	-40	40	
					上半C	-92	-93	93	
					上半D	31	32	32	
					上半E	-45	-46	46	
					上半F	-116	-117	117	
					下半G	-93	-94	94	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	せん断	kN	169	109	下半A	-120	-71	71	413 (58)
					上半B	-1, 075	-636	636	
					上半C	31	18	18	
					上半D	145	86	86	
					上半E	-109	-64	64	
					上半F	-3, 316	-1, 962	1, 962	
					下半G	-88	-52	52	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
二重目	鋼製 支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	せん断	kN	—	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
二重目	吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	0	0	0	15
					上半B	2	4	4	
					上半C	9	24	24	
					上半D	11	32	32	
					上半E	8	22	22	
					上半F	8	23	23	
					下半G	1	2	2	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		軸力	kN	180	A : 1m	55	31	31	24
					A : 2m	-51	-29	29	
					A : 3m	55	30	30	
					A : 4m	16	9	9	
					B : 1m	40	22	22	
					B : 2m	42	23	23	
					B : 3m	-31	-17	17	
					B : 4m	8	5	5	
					C : 1m	—	—	—	
					C : 2m	—	—	—	
					C : 3m	—	—	—	
					C : 4m	—	—	—	
					D : 1m	—	—	—	
					D : 2m	—	—	—	
					D : 3m	—	—	—	
					D : 4m	—	—	—	
					E : 1m	—	—	—	
					E : 2m	—	—	—	
					E : 3m	—	—	—	
					E : 4m	—	—	—	
					F : 1m	-40	-22	22	
					F : 2m	40	22	22	
					F : 3m	-46	-26	26	
					F : 4m	7	4	4	
					G : 1m	65	36	36	
					G : 2m	-72	-40	40	
					G : 3m	-61	-34	34	
					G : 4m	59	33	33	

※ () は異常値と判断した数値を除外しての平均値

⑦ SP8, 574

SP8, 574 では、蛇紋岩区間の終了位置が当初の設計において SP8, 615 付近とされていたこと、そして次区間の地質は玄武岩が想定され、蛇紋岩と玄武岩の境界部構造は切羽に向かって流れ盤構造であると想定された。これに伴って、地質境界部における偏圧的な地山応力の発生も懸念されたことから、蛇紋岩区間における計測 B の最終計測断面として位置付けされた。SP8, 440 と SP8, 506 と同様に鋼製支保工の軸力・曲げ・せん断と吹付けコンクリート応力の計測は、一重目・二重目ともに実施され、ロックボルト軸力については一重目で実施した。計測期間については、初期値として 2013 年（平成 25 年）12 月に計測を開始し、最終計測を 2014 年（平成 26 年）1 月までの約 1 か月間、計測を継続し、計測回数については約 650 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.1.28 に示す。

この計測結果から、これまでの計測箇所と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100% を超過する発生率を示すところを着色して表示している。その中で、鋼製支保工軸力インバート I の 27,461kN、発生率 2,059%と鋼製支保工曲げインバート I の-653kN・m、発生率 659%および鋼製支保工せん断インバート I の 907kN、発生率 536%はその他の計測値から見れば、異常値である可能性が高く、ここは異常値を除いて算出した平均値では、順に 172%、48%、45%となり、この数値にて判断することが妥当であると考ええる。

ここで 1-3 にて述べたトンネル変状および崩壊を思い出してほしい。再掲するが、平成 26 年 1 月に切羽の押し出しおよび切羽近傍で盤膨れが発生し、結果的に掘削済みの蛇紋岩区間の広範囲に変状をきたすこととなったことである。当計測断面は 2013 年（平成 25 年）12 月 6 日からの計測開始であり、翌年 2014 年（平成 26 年）1 月 11 日まで、約 1 か月の計測期間での結果であるが、一重目では以前の計測断面と同様に、いくつかの異常値は確認できるものの、異常値を除いて算出された平均発生率は鋼製支保工軸力で 100%を超過しているのかがわかる。また、平均発生率が 100%を超過していなくともロックボルト軸力の個別計測位置で発生率 100%を超過しているのが確認できるが、この計測位置 A と G はインバート部に隣接する下半部の位置であり、これは、蛇紋岩と玄武岩の境界構造が流れ盤であることに規して、下半部側方で地山応力が卓越していることが想定される。二重目については、計測期間が短いせいか二重目の各支保部材への大きな分担は確認できない。全体的な支保構造分担から見れば、これまで同様に鋼製支保工への分担が大きい傾向は確認できるが、前述したように計測期間の短さからデータ取得も少ないことを考えると、ここでは数値ではなく傾向の確認までである。

表-5.1.28 音中トンネル 計測B 計測結果一覧 (P=8,574)

支保 構造 層	支保名	計測 項目	単位	SP8,574					
				一重目：上半・下半・インバートH-200、締結高強度吹付					
				【 EIV (2) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率 (絶対値)	発生率 平均	
一重目	鋼製 支保工	軸力	kN	1,334	下半A	1,862	140	140	360 (172)
					上半B	1,943	146	146	
					上半C	2,505	188	188	
					上半D	2,419	181	181	
					上半E	2,603	195	195	
					上半F	2,624	197	197	
					下半G	1,645	123	123	
					インH	2,585	194	194	
					インI	27,461	2,059	2,059	
					インJ	2,399	180	180	
		曲げ	kN・m	99	下半A	-25	-25	25	109 (48)
					上半B	-43	-43	43	
					上半C	-33	-33	33	
					上半D	31	32	32	
					上半E	-64	-64	64	
					上半F	-74	-75	75	
					下半G	-49	-50	50	
					インH	48	49	49	
					インI	-653	-659	659	
					インJ	61	62	62	
	せん断	kN	109	109	下半A	53	32	32	95 (45)
					上半B	49	29	29	
					上半C	39	23	23	
					上半D	143	85	85	
					上半E	-26	-15	15	
					上半F	-80	-48	48	
					下半G	-181	-107	107	
					インH	-82	-48	48	
					インI	907	536	536	
					インJ	-37	-22	22	
	吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	8	23	23	42
					上半B	7	21	21	
					上半C	15	43	43	
					上半D	24	67	67	
					上半E	19	54	54	
					上半F	12	34	34	
					下半G	12	32	32	
					インH	9	24	24	
					インI	23	63	63	
					インJ	20	55	55	
二重目	鋼製 支保工	軸力	kN	833	下半A	-16	-2	2	2
					上半B	-15	-2	2	
					上半C	-33	-4	4	
					上半D	14	2	2	
					上半E	-7	-1	1	
					上半F	23	3	3	
					下半G	21	3	3	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	45	下半A	5	11	11	10
					上半B	-2	-5	5	
					上半C	-6	-14	14	
					上半D	7	15	15	
					上半E	-2	-5	5	
					上半F	-7	-16	16	
					下半G	-2	-5	5	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	せん断	kN	109	109	下半A	-16	-15	15	17
					上半B	-15	-14	14	
					上半C	-33	-30	30	
					上半D	14	13	13	
					上半E	-7	-7	7	
					上半F	23	21	21	
					下半G	21	20	20	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	10	27	27	29
					上半B	5	14	14	
					上半C	12	33	33	
					上半D	11	31	31	
					上半E	8	22	22	
					上半F	10	29	29	
					下半G	9	24	24	
					インH	12	34	34	
					インI	17	47	47	
					インJ	11	30	30	
一重目	ロックボルト	軸力	kN	180	A : 1m	183	102	102	55
					A : 2m	176	98	98	
					A : 3m	91	51	51	
					A : 4m	34	19	19	
					B : 1m	-56	-31	31	
					B : 2m	105	59	59	
					B : 3m	98	54	54	
					B : 4m	27	15	15	
					C : 1m	—	—	—	
					C : 2m	—	—	—	
					C : 3m	—	—	—	
					C : 4m	—	—	—	
					D : 1m	—	—	—	
					D : 2m	—	—	—	
					D : 3m	—	—	—	
					D : 4m	—	—	—	
					E : 1m	—	—	—	
					E : 2m	—	—	—	
					E : 3m	—	—	—	
					E : 4m	—	—	—	
	ロックボルト	軸力	kN	180	F : 1m	-79	-44	44	55
					F : 2m	94	52	52	
					F : 3m	86	48	48	
					F : 4m	28	15	15	
					G : 1m	208	116	116	
					G : 2m	180	100	100	
					G : 3m	116	65	65	
					G : 4m	15	9	9	

※ () は異常値と判断した数値を除外しての平均値

5-2 音威子府トンネル

5-2-1 トンネル概要と蛇紋岩の介在

音威子府トンネルは、北海道開発局が事業主として2009年（平成21年）に発注された、一般国道40号の延長2,699m、2車線の道路トンネルである。図-5.2.1のとおり起点側から約1,050m以奥において約840mの蛇紋岩の介在があり、蛇紋岩の全区間において蛇紋岩形態は塊状主体と想定された。この蛇紋岩区間における土被りは図-5.2.2のとおりである。土被り高さの数値は、先進ボーリング毎における平均値で図化しているが、土被り高さの最大値は、先進ボーリングB-17に位置する319mとなる。掘削は2010年（平成22年）5月に開始され、施工は順調に進捗し、2015年（平成27年）7月に貫通、そして2016年（平成28年）3月に竣工を迎えた。その後、照明防災の設備そして舗装などの工事が進められ、2025年度中（令和7年度中）の供用開始に向け、鋭意準備が進められている。

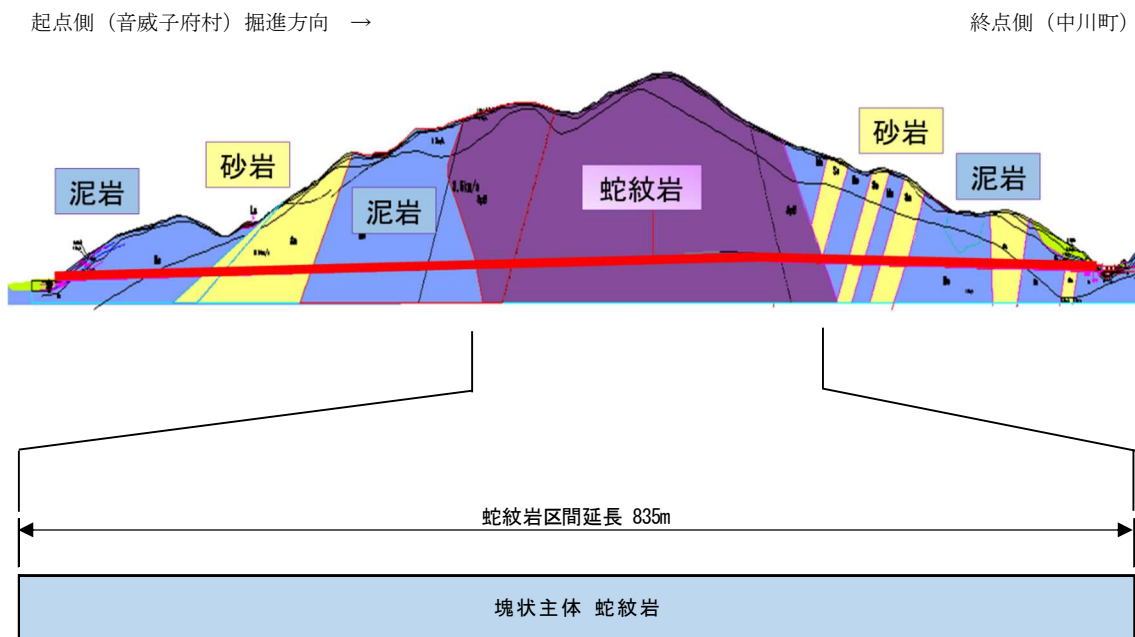


図-5.2.1 音威子府トンネル 地質状況と蛇紋岩区間の形態別介在の概要

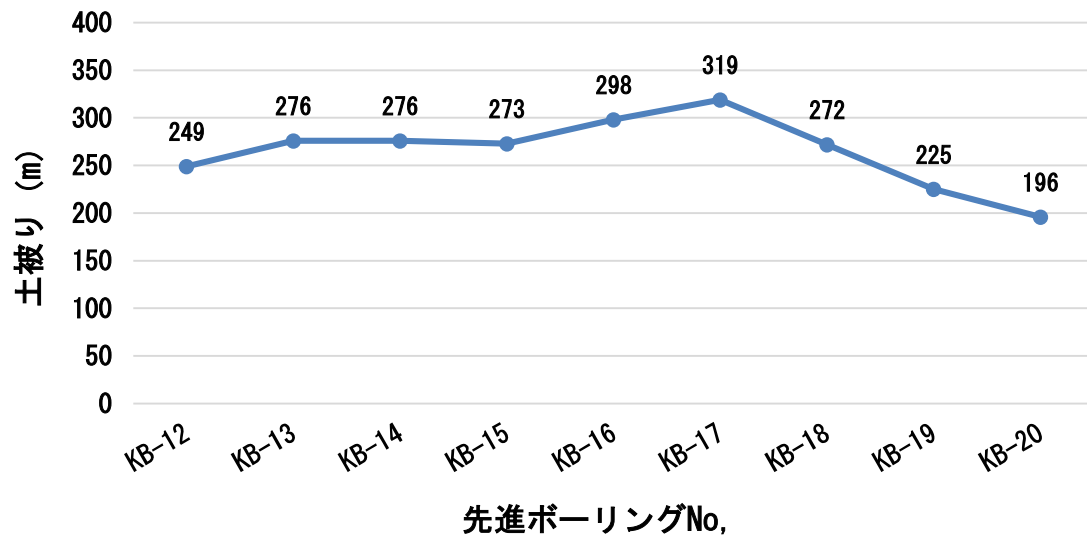


図-5.2.2 音威子府トンネル 蛇紋岩区間の土被り高さ

5-2-2 先進ボーリングから得られたデータ

先進ボーリングは、トンネル全延長で行われており、図-5.2.3 において蛇紋岩区間における先進ボーリングの位置を示す。先進ボーリングの主な役割は、コアを採取してのコア観察やコアを利用した物性値試験を行い、支保パターンの決定に用いられることとなる。

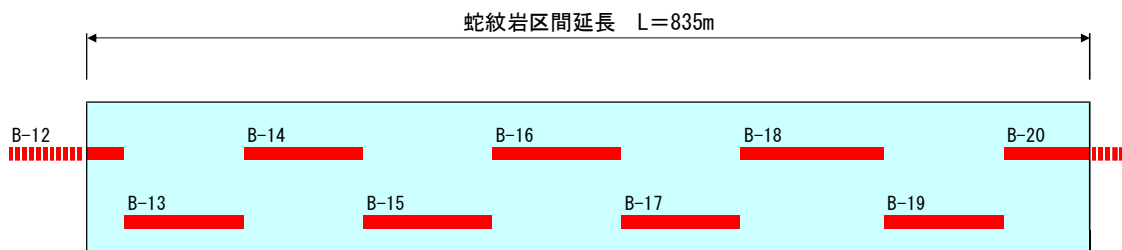


図-5.2.3 音威子府トンネル 蛇紋岩区間の先進ボーリング位置図

5-1 での音中トンネルでは、先進ボーリングの蛇紋岩区間における掘進延長では 33m であったが、この音威子府トンネルでは B-12～B-20 すべてにおいて先進ボーリング掘進長はほぼ 100m を超える（表-5.2.1）。これは塊状蛇紋岩主体である塊状率の高さがここに現れてきたものと推察される。

表-5.2.1 音威子府トンネル 先進ボーリングの掘進状況とボーリングマシン規格

Br. NO.	Br. ID	掘進長 (m)	ラップ 延長 (m)	新規 延長 (m)	蛇紋岩 延長 (m)	湧水 (有無)	Brマシン規格		
							試験機	エンジン	ポンプ
1	B-12	99.0	30.5	30.5	30.5	無	利根TDC-1型	三菱モーター200V 7.5kw	丸山MS753型
2	B-13	100.0	100.0	100.0	100.0	無	東邦D2-K型	東芝モーター200V 11.0kw	丸山MS903型
3	B-14	100.0	100.0	100.0	94.5	無	東邦D2-K型	東芝モーター200V 11.0kw	丸山MS903型
4	B-15	110.0	110.0	110.0	110.0	無	東邦D2-KS58型	三菱モーター200V 11.0kw	ヤンマーCP100M型
5	B-16	106.7	106.7	106.7	106.7	無	東邦D2-KS58型	三菱モーター200V 11.0kw	ヤンマーCP100M型
6	B-17	100.0	100.0	100.0	100.0	無	東邦D2-KS58型	三菱モーター200V 11.0kw	ヤンマーCP100M型
7	B-18	118.0	118.0	118.0	118.0	無	利根TDC-1型	三菱モーター200V 7.5kw	丸山MS753型
8	B-19	100.0	100.0	100.0	100.0	無	利根TDC-1型	三菱モーター200V 7.5kw	丸山MS753型
9	B-20	110.0	75.0	75.0	75.0	無	利根TDC-1型	三菱モーター200V 7.5kw	丸山MS753型
		943.7	840.2	840.2	834.7				

(1) 掘進長・給圧・掘進速度・回転数

これら掘進長・給圧・掘進速度・回転数の4項目については、ボーリング柱状図から読み取り、下記の手順で算出した。ただし、B-18～B-20については、給圧・掘進速度・回転数の記録が残っていないことから、集計はB-12～B-17で行った。

手順1： ボーリング No, 別に蛇紋岩形態ごとに分類し、分類したそれぞれの給圧・掘進速度・回転数を表化した。(表-5.2.2～表-5.2.3)

手順2： ボーリング No, 別に給圧・掘進速度・回転数の平均値算出を行った。
(表-5.2.4～表-5.2.5)

手順3： 蛇紋岩形態別に給圧・掘進速度・回転数の平均値算出を行った。(表-5.2.7)

【手順 1】

表-5.2.2 音威子府トンネル ボーリング No, 別分類表 (1)

音威子府 B-12 (L=99m)				音威子府 B-13 (L=100m)				音威子府 B-14 (L=100m)				音威子府 B-15 (L=110m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)
1				1	1.8	333	580	1	1.8	600	240	1	5.0	480	500
2				2				2				2			
3				3	1.8	352	580	3	1.8	473	240	3	5.0	720	500
4				4	1.8	176	580	4				4			
5				5				5	1.8	428	240	5	5.0	900	500
6				6	1.8	333	580	6				6	5.0	923	500
7				7				7	1.8	440	240	7	5.0	900	500
8				8	1.8	500	580	8				8	5.0	900	500
9				9				9	1.8	572	240	9	5.0	800	500
10				10	1.8	666	580	10	1.8	631	240	10	5.0	520	500
11				11				11	1.8	750	240	11	5.0	480	500
12				12	1.8	236	580	12				12	5.0	480	500
13				13	1.8	317	580	13	1.8	589	240	13	5.0	480	500
14				14				14				14	5.0	480	500
15				15	1.8	346	580	15	1.8	800	240	15	5.0	480	500
16				16				16				16	5.0	480	500
17				17	1.8	380	580	17	1.8	480	240	17	5.0	432	500
18				18				18				18	5.0	300	500
19				19	1.8	521	580	19	1.8	771	240	19	5.0	408	300
20				20	1.8	521	580	20				20	5.0	360	300
21				21				21	1.8	200	240	21	5.0	323	300
22				22	1.8	600	580	22	1.8	490	240	22	5.0	545	300
23				23				23	2.0	637	240	23	5.0	554	300
24				24	1.8	521	580	24	2.0	272	240	24	5.0	642	300
25				25				25	2.0	163	240	25	5.0	543	300
26				26	1.8	444	580	26	2.0	461	240	26	5.0	500	300
27				27				27				27	5.0	330	300
28				28	1.8	450	580	28	2.0	292	240	28	5.0	330	300
29				29	1.8	257	580	29	2.0	428	240	29	5.0	329	300
30				30				30	2.0	750	240	30	5.0	270	300
31				31	1.8	417	580	31	2.0	169	240	31	5.0	312	300
32				32	1.8	425	580	32				32	5.0	545	300
33				33				33	2.0	750	240	33	5.0	384	300
34				34	1.8	666	580	34	2.0	685	240	34	5.0	336	300
35				35				35	2.0	436	240	35	5.0	480	300
36				36	1.8	500	440	36	2.0	123	240	36	5.0	646	300
37				37	1.6	103	440	37	2.0	260	240	37	5.0	522	300
38				38	1.6	157	440	38	2.0	692	240	38	5.0	400	300
39				39				39	1.6	240	240	39	5.0	750	300
40				40	1.6	160	440	40	1.6	171	240	40	5.0	600	300
41				41	1.6	144	440	41	1.6	514	240	41	5.0	391	300
42				42				42	1.6	180	240	42	5.0	240	300
43				43	1.6	300	440	43	1.6	487	240	43	5.0	450	300
44				44				44	1.6	1,200	240	44	5.0	326	120
45				45	1.6	545	440	45	1.6	329	240	45	5.0	233	120
46				46				46	1.6	750	240	46	3.0	392	120
47				47	1.6	290	440	47	1.6	600	240	47	3.0	305	120
48				48				48	1.6	675	240	48	3.0	403	120
49				49				49	1.6	623	240	49	3.0	942	120
50				50	1.6	180	440	50	1.6	1,153	240	50	3.0	522	120
51				51				51	1.6	320	240	51	3.0	331	120
52				52	1.6	289	440	52	1.6	272	240	52	3.0	600	120
53				53				53	1.6	652	240	53	3.0	488	120
54				54	1.6	380	440	54	1.6	138	240	54	3.0	312	120
55				55				55	1.6	428	240	55	5.0	171	240
56				56	1.6	186	440	56	1.6	443	240	56	5.0	150	240
57				57				57	1.6	310	240	57	5.0	240	240
58				58	1.6	123	440	58	1.6	480	240	58	5.0	152	240
59				59				59	1.6	444	240	59	5.0	400	240
60				60	1.6	265	440	60	1.6	345	240	60	5.0	400	240
61				61				61	1.6	345	240	61	5.0	400	240
62				62	1.6	260	440	62	1.6	391	240	62	5.0	450	120
63				63				63	1.6	260	240	63	5.0	181	120
64				64	1.6	342	440	64	1.6	480	240	64	5.0	329	120
65				65	1.6	237	440	65	1.6	444	240	65	5.0	291	240
66				66	1.6	186	440	66	1.6	345	240	66	5.0	400	240
67	7.8	337	580	67	1.6	209	440	67	1.6	345	240	67	5.0	400	240
68				68				68	1.6	391	240	68	5.0	204	360
69				69	1.6	294	440	69	1.6	260	240	69	5.0	216	360
70				70	1.6	150	440	70	1.6	444	240	70	5.0	204	360
71	7.0	437	580	71				71	1.6	345	240	71	5.0	450	120
72	8.0	333	580	72	1.6	237	440	72	1.6	480	240	72	3.0	195	120
73	6.0	338	580	73				73	1.6	444	240	73	3.0	222	360
74	6.0	309	580	74	1.6	300	440	74	1.6	391	240	74	5.0	216	360
75	8.0	155	580	75				75	1.6	260	240	75	5.0	204	360
76	8.0	204	580	76	1.6	289	440	76	1.6	480	240	76	5.0	450	120
77	6.5	380	580	77				77	1.6	444	240	77	3.0	181	120
78	6.5	387	580	78	1.6	265	440	78	1.6	480	240	78	3.0	329	120
79	6.5	425	580	79				79	1.6	444	240	79	3.0	195	120
80	7.0	343	580	80	1.6	400	440	80	1.6	428	240	80	3.0	222	360
81	7.0	236	580	81	1.6	370	440	81	1.6	444	240	81	5.0	400	240
82	7.0	286	580	82				82	1.6	444	240	82	5.0	400	240
83	7.0	300	580	83	1.6	196	440	83	1.6	345	240	83	5.0	400	240
84	8.0	245	580	84	1.6	339	440	84	1.6	345	240	84	5.0	400	240
85	8.0	387	580	85	1.6	126	440	85	1.6	260	240	85	5.0	400	240
86	8.0	240	580	86				86	1.6	260	240	86	5.0	400	240
87	8.0	240	580	87				87	1.6	260	240	87	5.0	400	240
88	8.0	240	580	88				88	1.6	260	240	88	5.0	400	240
89	8.0	240	580	89				89	1.6	260	240	89	5.0	400	240
90	8.0	240	580	90				90	1.6	260	240	90	5.0	400	240
91	8.0	240	580	91				91	1.6	260	240	91	5.0	400	240
92	8.0	240	580	92				92	1.6	260	240	92	5.0	400	240
93	8.0	240	580	93				93	1.6	260	240	93	5.0	400	240
94	8.0	240	580	94				94	1.6	260	240	94	5.0	400	240
95	8.0	240	580	95				95	1.6	260	240	95	5.0	400	240
96	8.0	240	580	96				96	1.6	260	240	96	5.0	400	240
97	8.0	240	580	97				97	1.6	260	240	97	5.0	400	240
98	8.0	240	580	98				98	1.6	260	240	98	5.0	400	240
99	8.0	240	580	99				99	1.6	260	240	99	5.0	400	240
100	8.0	240	580	100				100	1.6	260	240	100	5.0	400	240
				101				101				101	5.0	400	240
												102	5.0	400	240
												103	5.0	400	240
												104	5.0	400	240
												105	5.0	400	240
												106	5.0	400	240

表-5.2.3 音威子府トンネル ボーリング No, 別分類表 (2)

塊状蛇紋岩

葉片状蛇紋岩

粘土状蛇紋岩

香威子府 B-16 (L=106.7m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1	3.0	400	300
2	3.0	312	300
3			
4	3.0	450	300
5	3.0	340	300
6	3.0	360	300
7	3.0	660	300
8	3.0	960	300
9	3.0	570	300
10			
11	3.0	570	300
12			
13	3.0	570	300
14			
15	3.0	540	300
16	3.0	400	300
17	3.0	1,000	120
18	3.0	927	120
19			
20	3.0	867	120
21	3.0	923	120
22	3.0	867	120
23	3.0	923	120
24	3.0	923	120
25	3.0	360	120
26	3.0	450	120
27	3.0	857	120
28	3.0	1,000	120
29	3.0	706	120
30	3.0	923	120
31	3.0	800	120
32	3.0	371	120
33	3.0	760	120
34	3.0	750	120
35	3.0	667	120
36	3.0	356	120
37	3.0	923	120
38	3.0	400	120
39	3.0	646	120
40	3.0	240	500
41	5.0	320	500
42	5.0	240	500
43	5.0	360	500
44	5.0	380	500
45	5.0	510	500
46	5.0	540	500
47	5.0	368	120
48	5.0	257	120
49	5.0	290	120
50	5.0	491	120
51	5.0	509	120
52	5.0	414	120
53	5.0	400	120
54	5.0	329	120
55	5.0	379	120
56	5.0	327	120
57	5.0	180	300
58	5.0	267	300
59	5.0	343	300
60	5.0	240	300
61	5.0	240	300
62	5.0	420	300
63	5.0	377	300
64	5.0	240	300
65	5.0	377	300
66	5.0	377	300
67	5.0	377	300
68	5.0	377	300
69	5.0	377	300
70	5.0	377	300
71	5.0	377	300
72	5.0	377	300
73	5.0	377	300
74	5.0	377	300
75	5.0	377	300
76	5.0	377	300
77	5.0	377	300
78	5.0	377	300
79	5.0	377	300
80	5.0	377	300
81	5.0	377	300
82	5.0	377	300
83	5.0	377	300
84	5.0	377	300
85	5.0	377	300
86	5.0	377	300
87	5.0	377	300
88	5.0	377	300
89	5.0	377	300
90	5.0	377	300
91	5.0	377	300
92	5.0	377	300
93	5.0	377	300
94	5.0	377	300
95	5.0	377	300
96	5.0	377	300
97	5.0	377	300
98	5.0	377	300
99	5.0	377	300
100	5.0	377	300
101	5.0	377	300
102	5.0	377	300
103	5.0	377	300
104	5.0	377	300
105	5.0	377	300
106	5.0	377	300
107	5.0	377	300
108	5.0	377	300

香威子府 B-17 (L=100m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1	3.0	480	200
2	3.0	218	200
3	3.0	540	200
4	3.0	1,200	200
5	3.0	1,140	200
6	3.0	600	200
7	3.0	600	200
8	3.0	800	200
9	3.0	408	200
10	3.0	1,200	200
11	3.0	1,200	200
12	3.0	1,200	200
13	3.0	480	500
14	5.0	480	500
15	5.0	400	500
16	5.0	300	500
17	5.0	480	500
18	5.0	600	500
19	5.0	480	500
20	5.0	480	500
21	5.0	600	500
22	5.0	394	200
23	5.0	400	200
24	5.0	327	200
25	5.0	378	200
26	5.0	338	200
27	5.0	331	200
28	5.0	480	200
29	5.0	522	200
30	5.0	567	200
31	5.0	267	300
32	5.0	343	300
33	5.0	171	300
34	5.0	600	300
35	5.0	240	300
36	5.0	300	300
37	5.0	200	200
38	5.0	400	300
39	5.0	400	300
40	5.0	300	300
41	5.0	267	300
42	5.0	150	120
43	5.0	200	120
44	5.0		
45	5.0		

【手順 2】

表-5.2.4 音威子府トンネル ポーリング No. 別平均算出表 (1)

音威子府 B-12			音威子府 B-13			音威子府 B-14			音威子府 B-15		
軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	軸圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
7.8	337	580	1.8	333	580	1.8	600	240	5.0	480	500
7.0	437	580	1.8	352	580	1.8	473	240	5.0	720	500
8.0	333	580	1.8	176	580	1.8	428	240	5.0	900	500
6.0	338	580	1.8	333	580	1.8	440	240	5.0	923	500
6.0	309	580	1.8	500	580	1.8	572	240	5.0	900	500
8.0	155	580	1.8	666	580	1.8	631	240	5.0	800	500
8.0	204	580	1.8	236	580	1.8	750	240	5.0	520	500
6.5	380	580	1.8	317	580	1.8	589	240	5.0	480	500
6.5	387	580	1.8	346	580	1.8	800	240	5.0	480	500
6.5	425	580	1.8	346	580	1.8	480	240	5.0	480	500
6.5	387	580	1.8	380	580	1.8	771	240	5.0	432	500
7.0	236	580	1.8	521	580	1.8	200	240	5.0	300	500
7.0	343	580	1.8	521	580	1.8	490	240	5.0	408	300
7.0	343	580	1.8	600	580	2.0	637	240	5.0	360	300
7.0	286	580	1.8	521	580	2.0	272	240	5.0	323	300
7.0	300	580	1.8	444	580	2.0	1,090	240	5.0	545	300
8.0	245	580	1.8	450	580	2.0	163	240	5.0	554	300
8.0	387	580	1.8	257	580	2.0	461	240	5.0	642	300
8.0	240	580	1.8	417	580	2.0	292	240	5.0	543	300
			1.8	425	580	2.0	428	240	5.0	500	300
			1.8	666	580	2.0	750	240	5.0	330	300
			1.8	500	440	2.0	169	240	5.0	329	300
			1.6	103	440	1.6	750	240	5.0	270	300
			1.6	157	440	1.6	685	240	5.0	312	300
			1.6	160	440	1.6	436	240	5.0	545	300
			1.6	144	440	1.6	123	240	5.0	750	300
			1.6	300	440	1.6	260	240	5.0	408	300
			1.6	545	440	1.6	692	240	5.0	384	300
			1.6	290	440	1.6	240	240	5.0	336	300
			1.6	180	440	1.6	171	240	5.0	480	300
			1.6	289	440	1.6	514	240	5.0	646	300
			1.6	380	440	1.6	180	240	5.0	522	300
			1.6	186	440	1.6	487	240	5.0	400	300
			1.6	123	440	1.6	1,200	240	5.0	750	300
			1.6	265	440	1.6	329	240	5.0	600	300
			1.6	260	440	1.6	750	240	5.0	391	300
			1.6	342	440	1.6	600	240	5.0	240	300
			1.6	237	440	1.6	675	240	5.0	450	300
			1.6	186	440	1.6	623	240	5.0	273	300
			1.6	209	440	1.6	1,153	240	5.0	326	120
			1.6	294	440	1.6	320	240	3.0	233	120
			1.6	150	440	1.6	272	240	3.0	392	120
			1.6	237	440	1.6	652	240	3.0	305	120
			1.6	300	440	1.6	138	240	3.0	403	120
			1.6	289	440	1.6	428	240	3.0	942	120
			1.6	334	440	1.6	443	240	3.0	522	120
			1.6	400	440	1.6	310	240	3.0	331	120
			1.6	370	440	1.6	480	240	3.0	600	120
			1.6	269	440	1.6	444	240	3.0	488	120
			1.6	127	440	1.6	345	240	3.0	312	120
			1.6	196	440	1.6	345	240	5.0	171	240
			1.6	339	440	1.6	391	240	5.0	150	240
			1.6	126	440	1.6	260	240	5.0	240	240
									5.0	152	240
									5.0	320	240
									5.0	400	240
									5.0	380	240
									5.0	291	240
									5.0	400	240
									5.0	400	240
									5.0	450	120
									3.0	181	120
									3.0	329	120
									3.0	195	120
									3.0	222	360
									5.0	216	360
									5.0	204	360
7.1 (MPa)	320 (cm/時)	580 (rpm)	1.7 (MPa)	323 (cm/時)	495 (rpm)	1.7 (MPa)	494 (cm/時)	240 (rpm)	4.6 (MPa)	437 (cm/時)	289 (rpm)

表-5.2.5 音威子府トンネル ボーリング No. 別平均算出表 (2)

音威子府 B-16			音威子府 B-17		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
3.0	400	300	3.0	480	200
3.0	312	300	3.0	218	200
3.0	450	300	3.0	540	200
3.0	340	300	3.0	1200	200
3.0	360	300	3.0	1140	200
3.0	660	300	3.0	600	200
3.0	960	300	3.0	800	200
3.0	570	300	3.0	600	200
3.0	570	300	3.0	800	200
3.0	540	300	3.0	408	200
3.0	400	300	3.0	1200	200
3.0	1,000	120	3.0	1200	200
3.0	927	120	5.0	480	500
3.0	867	120	5.0	400	500
3.0	923	120	5.0	300	500
3.0	360	120	5.0	480	500
3.0	450	120	5.0	600	500
3.0	857	120	5.0	480	500
3.0	1,000	120	5.0	400	500
3.0	706	120	5.0	600	500
3.0	923	120	5.0	400	500
3.0	800	120	5.0	600	500
3.0	371	120	5.0	400	500
3.0	760	120	5.0	480	500
3.0	750	120	5.0	600	500
3.0	667	120	5.0	480	500
3.0	356	120	5.0	600	500
3.0	923	120	5.0	400	500
3.0	400	120	3.0	600	200
3.0	646	120	3.0	552	200
5.0	240	500	3.0	364	200
5.0	320	500	3.0	394	200
5.0	240	500	3.0	400	200
5.0	360	500	3.0	327	200
5.0	380	500	3.0	378	200
5.0	510	500	3.0	338	200
5.0	540	500	3.0	331	200
5.0	337	500	3.0	480	200
5.0	360	500	3.0	522	200
5.0	267	500	3.0	567	200
5.0	240	500	5.0	267	300
3.0	368	120	5.0	343	300
3.0	257	120	5.0	171	300
3.0	290	120	5.0	600	300
3.0	491	120	5.0	240	300
3.0	509	120	5.0	300	300
3.0	414	120	5.0	200	200
3.0	400	120	5.0	400	300
3.0	329	120	5.0	400	300
3.0	379	120	5.0	300	300
3.0	327	120	5.0	267	300
3.0	180	300	5.0	150	120
3.0	267	300	5.0	200	120
3.0	343	300			
3.0	240	300			
3.0	420	300			
3.0	390	300			
3.0	240	300			
3.0	240	300			
3.0	377	300			
3.4 (MPa)	492 (cm/時)	250 (rpm)	4.1 (MPa)	490 (cm/時)	306 (rpm)

表-5.2.4 および表-5.2.5 の結果を総括として表-5.2.6 に示す。

掘進長では、先進ボーリング 6 本各々でほぼ 100m を超過しており、一般的なトンネルでの掘進長と同様な結果となっている。これは蛇紋岩であっても塊状主体であることから、このような結果になったものと推察される。

給圧・掘進速度・回転数においては、給圧の数値で多少のバラツキは確認できるものの、平均では各々、約 4Mpa、約 430cm/時、360rpm であった。

表-5.2.6 音威子府トンネル 機械データ総括表

Br No,	Br掘進長 (m)	給圧 (Mpa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
音威子府 K12	99.0	7.1	320	580
音威子府 K13	100.0	1.7	323	495
音威子府 K14	100.0	1.7	494	240
音威子府 K15	110.0	4.6	437	289
音威子府 K16	106.7	3.4	492	250
音威子府 K17	100.0	4.1	490	306
AVE	102.6 (m)	3.8 (MPa)	426 (cm/時)	360 (rpm)

【手順3】

表-5.2.7 音威子府トンネル 蛇紋岩別の先進ボーリングマシン各作動の平均算出表

機 状 ① (B-12～B-16)			機 状 ② (B-16～B-17)			葉片状①			葉片状②			葉片～粘土状			粘土状		
钻进 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	钻进 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	钻进 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	钻进 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	钻进 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)	钻进 (MPa)	掘進速度 (cm/分)	回転数 (rpm)
7.8	337	580	3.0	340	300	7.0	437	580	5.0	300	500	データ無	データ無	データ無	8.0	240	580
6.0	338	580	3.0	360	300	8.0	333	580	5.0	408	300						
6.0	309	580	3.0	660	300	8.0	155	580	5.0	360	300						
6.5	387	580	3.0	960	300	8.0	204	580	5.0	323	300						
7.0	236	580	3.0	570	300	6.5	380	580	5.0	554	300						
7.0	343	580	3.0	540	300	6.5	387	580	5.0	330	300						
7.0	286	580	3.0	400	300	6.5	425	580	5.0	329	300						
1.8	346	580	3.0	1000	120	7.0	343	580	5.0	270	300						
1.8	380	580	3.0	927	120	7.0	300	580	5.0	750	300						
1.8	521	580	3.0	867	120	8.0	245	580	5.0	408	300						
1.8	425	580	3.0	923	120	8.0	387	580	5.0	384	300						
1.8	666	580	3.0	360	120	1.8	333	580	5.0	336	300						
1.8	500	440	3.0	450	120	1.8	352	580	5.0	400	300						
1.6	380	440	3.0	857	120	1.8	176	580	5.0	750	300						
1.6	186	440	3.0	1000	120	1.8	333	580	5.0	600	300						
1.6	123	440	3.0	706	120	1.8	500	580	5.0	391	300						
1.8	265	440	3.0	923	120	1.8	666	580	5.0	240	300						
1.8	260	440	3.0	800	120	1.8	236	580	5.0	450	300						
1.8	342	440	3.0	356	120	1.8	317	580	5.0	273	300						
1.6	237	440	3.0	923	120	1.8	346	580	5.0	326	120						
1.6	300	440	3.0	400	120	1.8	521	580	3.0	233	120						
1.6	289	440	3.0	646	120	1.8	600	580	3.0	392	120						
1.6	334	440	5.0	510	500	1.8	521	580	3.0	600	120						
1.6	400	440	5.0	540	500	1.8	444	580	3.0	488	120						
1.6	370	440	5.0	337	500	1.8	450	580	3.0	312	120						
1.8	572	240	5.0	360	500	1.8	257	580	5.0	171	240						
1.8	631	240	5.0	267	500	1.8	417	580	5.0	150	240						
1.8	750	240	5.0	240	500	1.6	103	440	5.0	240	240						
1.8	800	240	3.0	368	120	1.6	157	440	3.0	400	300						
1.8	480	240	3.0	257	120	1.6	160	440	3.0	312	300						
2.0	637	240	3.0	290	120	1.6	144	440	3.0	450	300						
2.0	272	240	3.0	491	120	1.6	300	440	3.0	570	300						
2.0	292	240	3.0	509	120	1.6	545	440	3.0	371	120						
1.6	750	240	3.0	414	120	1.6	290	440	3.0	760	120						
1.6	685	240	3.0	400	120	1.6	180	440	3.0	750	120						
1.6	436	240	3.0	329	120	1.6	289	440	3.0	667	120						
1.6	123	240	3.0	379	120	1.6	186	440	5.0	240	500						
1.6	260	240	3.0	327	120	1.6	209	440	5.0	320	500						
1.6	692	240	3.0	180	300	1.6	294	440	5.0	240	500						
1.6	240	240	3.0	267	300	1.6	150	440	5.0	360	500						
1.6	652	240	3.0	343	300	1.6	237	440	5.0	380	500						
1.6	138	240	3.0	240	300	1.6	269	440	3.0	240	300						
1.6	428	240	3.0	420	200	1.6	127	440	3.0	377	300						
1.6	443	240	3.0	390	200	1.6	196	440	3.0	480	200						
1.6	310	240	3.0	240	200	1.6	339	440	3.0	218	200						
1.6	480	240	3.0	1200	200	1.6	126	440	3.0	540	200						
1.6	444	240	3.0	1140	200	1.8	600	240	5.0	400	500						
1.6	345	240	3.0	600	200	1.8	473	240	5.0	600	500						
1.6	345	240	3.0	800	200	1.8	428	240	5.0	400	500						
1.6	391	240	3.0	600	200	1.8	440	240	3.0	552	200						
1.6	260	240	3.0	800	200	1.8	589	240	5.0	600	300						
5.0	480	500	3.0	408	200	1.8	771	240	5.0	240	300						
5.0	720	500	3.0	1200	200	1.8	200	240	5.0	200	200						
5.0	900	500	3.0	1200	200	1.8	490	240	5.0	400	300						
5.0	923	500	5.0	480	500	2.0	1090	240	5.0	267	300						
5.0	900	500	5.0	400	500	2.0	163	240	5.0	150	120						
5.0	800	500	5.0	300	500	2.0	461	240	5.0	200	120						
5.0	520	500	5.0	480	500	2.0	428	240									
5.0	480	500	5.0	600	500	2.0	750	240									
5.0	480	500	5.0	480	500	2.0	169	240									
5.0	480	500	5.0	600	500	1.6	171	240									
5.0	432	500	5.0	400	500	1.6	514	240									
5.0	545	300	5.0	480	500	1.6	180	240									
5.0	642	300	5.0	600	500	1.6	487	240									
5.0	543	300	5.0	480	500	1.6	1200	240									
5.0	500	300	5.0	600	500	1.6	329	240									
5.0	312	300	5.0	400	500	1.6	750	240									
5.0	545	300	3.0	600	200	1.6	600	240									
5.0	480	300	3.0	364	200	1.6	675	240									
5.0	646	300	3.0	394	200	1.6	623	240									
5.0	522	300	3.0	400	200	1.6	1153	240									
3.0	305	120	3.0	327	200	1.6	320	240									
3.0	403	120	3.0	378	200	1.6	272	240									
3.0	942	120	3.0	338	200												
3.0	522	120	3.0	331	200												
3.0	331	120	3.0	480	200												
5.0	152	240	3.0	522	200												
5.0	320	240	3.0	567	200												
5.0	400	240	5.0	267	300												
5.0	380	240	5.0	343	300												
5.0	291	240	5.0	171	300												
5.0	400	240	5.0	300	300												
5.0	400	240	5.0	400	300												
5.0	450	120	5.0	300	300												
3.0	181	120															
3.0	329	120															
3.0	195	120															
3.0	222	360															
5.0	216	360															
5.0	204	360															

3.4	476	306	3.3	393	356	-	-	-	8.0	240	580
(MPa)	(cm/分)	(rpm)	(MPa)	(cm/分)	(rpm)	(MPa)	(cm/分)	(rpm)	(MPa)	(cm/分)	(rpm)

5-2-3 ボーリングコアから得られたデータ

(1) 蛇紋岩形態別介在率

蛇紋岩の形態は、2-1-2 で記述したように、塊状・葉片状・粘土状と主に3種類に分別される。本研究においてもこの3種類を基本として、形態別介在率の数値化を試みる。

音威子府トンネルでの蛇紋岩区間における先進ボーリングは B-12～B-20 の全9本から、先進ボーリングごとに図-4.3.1 の算出手法に基づいて形態別介在率の算出を行った。下記表-5.2.8 と図-5.2.4 が全9本の結果である。この結果からは、粘土状が一部で検出されるものの、主には塊状・葉片状であり特に塊状の介在率は58%と半数以上を占めている。

表-5.2.8 音威子府トンネル形態別介在率の結果表

Br No.	Br掘進長 (m)	蛇紋延長 (m)	塊状率 (%)	葉片状率 (%)	粘土状率 (%)
B-12	99.0	30.5	23	74	3
B-13	100.0	100.0	35	37	28
B-14	100.0	94.5	49	47	2
B-15	110.0	110.0	67	25	8
B-16	106.7	106.7	76	23	0
B-17	100.0	100.0	78	23	0
B-18	118.0	118.0	44	56	0
B-19	100.0	100.0	96	3	2
B-20	110.0	75.0	55	45	0
合計	943.7	834.7	平均 58	37	5

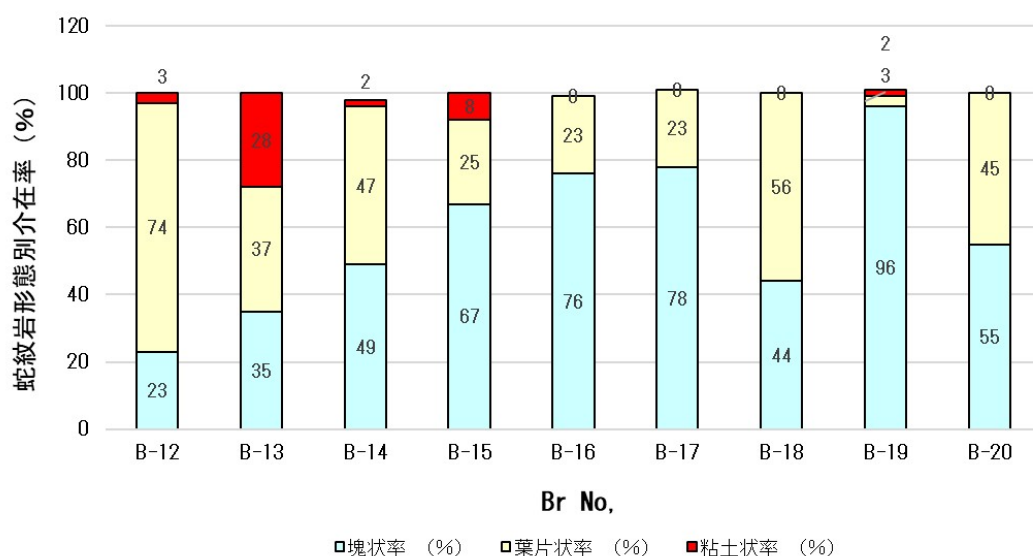


図-5.2.4 音威子府トンネル形態別介在率の比率

(2) 一軸圧縮強度と地山強度比

地山強度比の算出は、地山強度比の算出式を用いたものに加え、針貫入による回帰式の2種類を用いて、先進ボーリング毎に算出した。その結果を表-5.2.9に示す。

表-5.2.9 音威子府トンネル 地山強度比の算出結果一覧表

Br No.	【基礎情報】		【圧縮強度種類】			【地山強度比】			備 考
	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	土被り H (m)	a 準岩盤 圧縮強度 σ_c (kN/m^2)	b 針貫入 (回帰式) $qu①$ (kN/m^2)	c 針貫入 (推定式) $qu②$ (kN/m^2)	A	B	C	
B-12	24.7	249	3,180	6,265	—	0.52	1.02	—	針貫入サンプル数：0
B-13	22.4	276	2,117	6,044	—	0.34	0.98	—	針貫入サンプル数：83
B-14	30.1	276	3,122	10,529	—	0.38	1.27	—	針貫入サンプル数：87
B-15	25.0	273	10,215	12,580	—	1.50	1.84	—	針貫入サンプル数：110
B-16	26.2	298	13,193	17,547	—	1.69	2.25	—	針貫入サンプル数：106
B-17	25.8	319	15,577	16,625	—	1.89	2.02	—	針貫入サンプル数：100
B-18	26.0	272	8,715	17,169	—	1.23	2.43	—	針貫入サンプル数：0
B-19	25.7	225	22,760	44,837	—	3.94	7.75	—	針貫入サンプル数：0
B-20	25.8	196	16,129	31,774	—	3.19	6.28	—	針貫入サンプル数：0
平均	25.7	265	10,556	18,152	—	1.63	2.87	—	

地山強度比の算出結果では、算出方法2種類では0.34～7.75と広範囲となる結果であった。この結果と基準で示される地山分類で設定される地山強度比の値を比較すると、日本道路協会が設定する支保パターンDⅠでは「4～2」、支保パターンDⅡでは「2～1」、北海道開発局が設定する支保パターンDⅠでも「4～2」、支保パターンDⅡでも「2～1」であり、音威子府トンネルで算出された地山強度比では、支保パターンがDⅠ～DⅡに相当する。

(3) 鉱物

蛇紋岩区間における先進ボーリング調査は、B-12～B-20 の計 9 本が実施されているが、その中で X 線回折試験が行われたのは B-12 で 5 サンプル、B-13 で 1 サンプル、B-20 で 3 サンプルであり、B-13～B-19 では行われていない。X 線回折結果を表-5.2.10 に示す。この結果から特徴的なのは、蛇紋岩の主要な構成鉱物とされるアンチゴライト・クリソタイル・リザーダイトが極多量として検出されていること、その反面に膨張性粘土鉱物であるモンモリロナイトは一切検出されていないことが挙げられる。また孔内湧水は認められないことから、膨張・膨潤の可能性はほぼ皆無と言っても過言ではない。

表-5.2.10 音威子府トンネル X 線回折結果一覧表

音威子府トンネル				凡例 ◎：極多量 ○：多量 △：中量 十少量 ー：微量 ・検出無し												
ボーリング No.	孔内 湧水	サンプ No.	蛇紋岩 形態	含有鉱物名称												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
				アンチ ゴライト	クリソ タイル	リザー ダイト	トリ ドサイト	マグネ サイト	マグネ サイト	ブー サイト	カル サイト	クロ サイト	シー レン ティン	ハイド ロキ サイト	ヒュー ム サイト	スメ クタイト
				Ant	Chr	Riz	Dol	Mgs	Mt	Br	Cal	Chl	Sp	Pya	Heaz	Sm
B-12	なし	①	葉片状	◎	◎	◎	△	+	・	・	・	・	・	・	・	・
		②	葉片状	◎	◎	◎	◎	・	+	・	・	・	・	・	・	・
		③	粘土状	◎	◎	◎	+	+	+	・	・	・	・	・	・	・
		④	塊状	・	△	△	・	・	・	・	・	△	・	・	・	・
		⑤	葉片状	◎	◎	・	・	・	・	△	・	・	・	・	・	・
B-13	なし	①	葉片状～粘土状	・	・	・	・	・	ー	△	・	・	○	・	・	・
B-20	なし	①	塊状	◎	・	・	・	△	・	・	ー	・	・	・	・	・
		②	葉片状	◎	◎	・	・	・	・	○	・	・	・	・	・	・
		③	葉片状	◎	◎	・	・	・	・	◎	・	・	・	・	・	・

5-2-4 計測から得られたデータ

これまで、掘削前に得られる先進ボーリングの機動状況やコアから物性試験などによって得られるデータの結果を示してきたところであるが、これからは掘削後に得られる計測結果について記していく。計測は計測 A と計測 B の結果について分類し記述していくが計測 A と計測 B の概説については 4-4 に記述したとおりである。

ここで考えなければならないことは、計測結果へ影響するものとして、掘削対象の岩種や先進ボーリングから得られたコアからの物性試験値、土被りなどがあるが、人工的に構築される支保構造としての鋼製支保工規格や吹付けコンクリートの厚さ、その他に掘削方法としての上下半ショートベンチ掘削や全断面掘削、これに関連してサイクルタイムが考えられる。計測 A・B の結果の前に、各先進ボーリング区間と対比した支保構造を記していく。

(1) 支保構造

音威子府トンネルの蛇紋岩区間における支保構造は、当初設計において標準設計を用いることができないと判断し、これまでの類似条件を用いつつ経験的手法も取り入れ支保構造が決定された。施工における支保構造パターンの配置を図-5.2.5 に、支保構造の詳細を表-5.2.11 に示す。

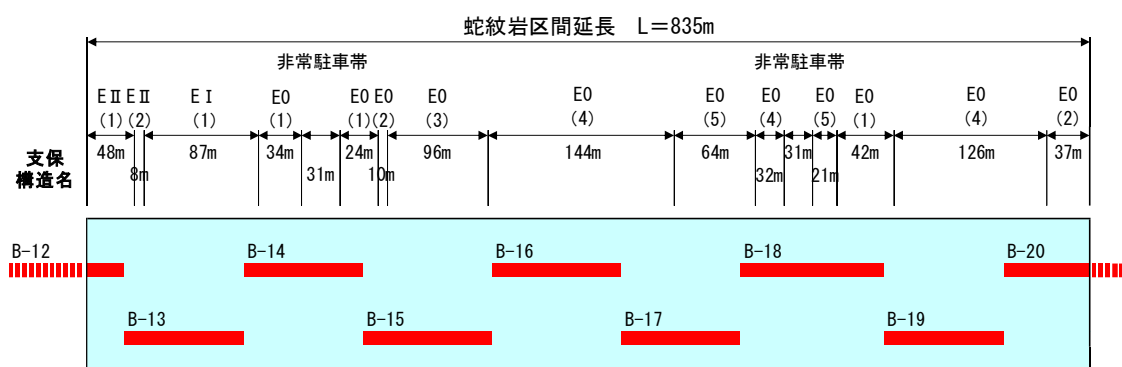


図-5.2.5 音威子府トンネル 蛇紋岩区間における支保構造パターンの配置

表-5.2.11 音威子府トンネル 蛇紋岩区間における支保構造詳細

支保構造パターン名	距離方向													
	EⅡ (1)	EⅡ (2)	EⅠ (1)	EⅡ (1)	非常継ぎ工事	EⅡ (1)	EⅡ (2)	EⅡ (3)	EⅡ (4)	EⅡ (5)	EⅡ (4)	非常継ぎ工事	EⅡ (5)	EⅡ (4)
延長 ■	82	8	87	34	31	24	10	96	144	64	32	31	21	42
Ⅰ次区間	鋼管支保工 H	上半200 下半200	上半200 下半200	上半200 下半200	上半200 下半200	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150
	軟付コナリート CR	高強度 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	標準 上半25 下半25	標準 上半25 下半25	標準 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	標準 上半25 下半25	標準 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	標準 上半25 下半25
	ロックボルト	上半4m：20本 下半4m：4本	上半4m：20本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本	上半4m：6本 下半4m：4本
	鋼管杭設置 CR	上半15 下半15	上半5 下半5	上半15 下半15	上半15 下半15	上半20 下半20	上半5 下半5	上半20 下半20	上半10 下半10	上半10 下半10	上半10 下半10	上半10 下半10	上半5 下半5	上半10 下半10
Ⅱ次区間	鋼管支保工 H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	軟付コナリート CR	高強度 上半20 下半20	高強度 上半20 下半20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ロックボルト	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	鋼管杭設置 CR	上半15 下半15	上半15 下半15	上半20 下半20	上半20 下半20	—	上半20 下半20	—	—	—	—	—	—	—
Ⅲ次区間	鋼管支保工 H	200	200	200	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	軟付コナリート CR	高強度 25	高強度 25	高強度 25	高強度 25	高強度 25	標準 20	標準 20	標準 20	高強度 20	標準 20	標準 20	高強度 20	標準 20
	鋼管支保工 H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	軟付コナリート CR	高強度 20	高強度 20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
標準半壁 上半15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

蛇紋岩区間の施工にあたっては表-5.2.11 の支保構造パターン名での EⅡ (1) で施工が開始された。EⅡ (1) やそれ以奥での施工状況や計測 A の結果を踏まえ、順次支保構造パターンの見直しを行いながら施工を進めた。

(2) 計測 A

音威子府トンネルの蛇紋岩区間における計測 A は、蛇紋岩延長 835m の区間で 83 箇所の断面で実施されている。当区間における先進ボーリングと対比させた計測位置は図-5. 2. 6 のとおりである。

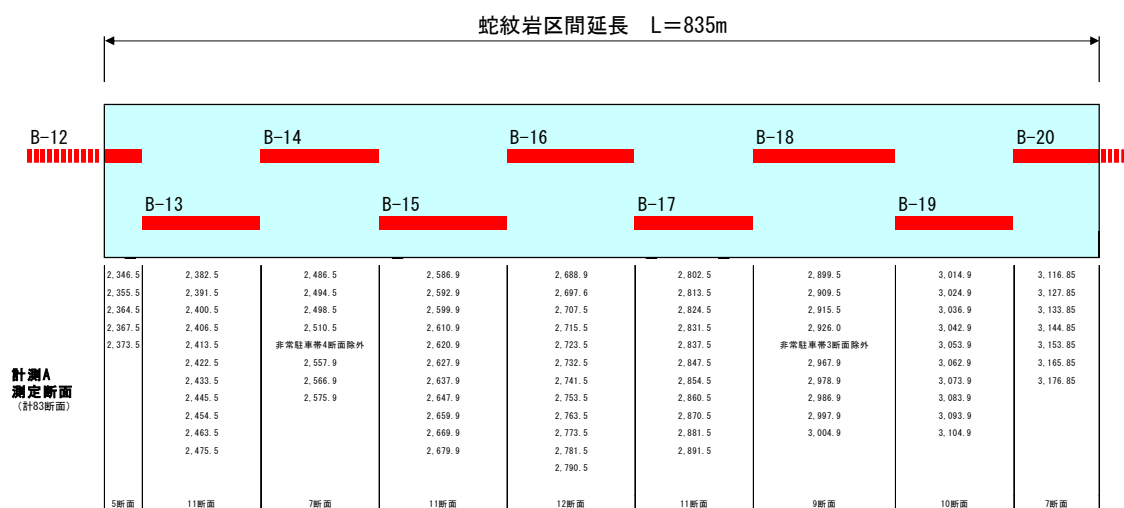


図-5. 2. 6 音威子府トンネル 先進ボーリング位置と計測 A 測定位置

計測された各測点ごとの上下半の計測開始から、経過日数および切羽離れ、収束に向かう切合点、収束の判断、そして、最終計測値を表-5. 2. 11 にまとめた。音威子府トンネルでは、音中トンネルのように収束を一時迎えたものの掘削の進行とともに計測 A 測定値が増加する測点、ならびに収束を一度も迎えずに計測 A 測定値が増加する測点は確認されていない。

表-5.2.11 音威子府トンネル 最終収束が確認できた計測経緯

音威子府トンネル 2,790.5

	日時	経過 日数 (日)	切羽 離れ (m)	変位A [上半左] (mm)	変位B [上半右] (mm)	変位C [上半中] (mm)	変位D [下半] (mm)	沈下1 [天端] (mm)	沈下2 [左上] (mm)	沈下3 [右上] (mm)	沈下4 [左下] (mm)	沈下5 [右下] (mm)
①	2013/2/7 6:48	0	0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		
②	2013/2/11 9:15	4	3	-6.6	-5.2	-14.8	0.0	-5.7	-3.2	-7.4	0.0	0.0
③	2013/3/13 6:45	34	35	-13.6	-14.0	-29.2	-21.8	-14.3	-9.7	-14.1	-3.5	-5.6
	2013/4/4 6:28	56	55	-13.9	-14.4	-30.8	-22.8	-15.7	-10.4	-14.0	-3.9	-5.6
	2013/4/6 6:47	58	57	-13.8	-14.3	-30.9	-22.7	-15.8	-10.3	-14.0	-4.2	-5.5
	2013/4/11 6:31	63	60	-13.9	-14.2	-30.9	-22.6	-15.7	-10.4	-14.1	-4.0	-5.3
④	2013/4/18 5:59	70	68	-13.7	-14.4	-30.8	-22.7	-15.8	-10.2	-14.1	-4.1	-5.5
⑤	2014/7/28 16:51	536	639	-13.9	-14.6	-30.6	-22.8	-15.8	-10.6	-14.3	-4.0	-5.3

※1 ①：上半初期値、②：下半初期値、③：収束に向けた切合点値、④収束確認値、⑤最終値

※2 ⑤最終値の収束確認

差引a (mm) = 変位量⑤ - 変位量④	-0.2	-0.2	0.2	-0.1	0.0	-0.4	-0.2	0.1	0.2
日数b (日) = 測定日⑤ - 測定日④					466				
月数c (月) = b ÷ 30日/月					16				
月あたり変位量d (mm) = a ÷ c	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
判定：月2mm以内	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束	○収束

収束の判断としては、道路トンネル観察・計測指針より、変位速度が1～3mm/月以下となったことを2週連続して確認できた場合に収束したとみなし測定を終了してもよい。なお、この値は変位速度なので週あたりに換算すると1mm/週程度となる³⁹⁾。このことから、1mm/週未満を2週連続でできたときを判断基準とした。また、最終収束確認としては、一時収束が確認された後、最終測定日を最終値として、その期間における1か月当たり、膨張性・膨潤性の蛇紋岩が対象であることから、安全側を見込んで2mm未満であれば最終収束として判断することとした。

表-5.2.11 の最終収束が確認できた計測経緯では、計測開始から④行の計測経過日数70日目、切羽離れ68mで収束が確認され、その後、約3か月後に測定した最終計測では、月当たりの変位はほぼ0で、月当たりの平均変位が±2mm未満であることから、この測点では最終収束が確認できると判断した。

表-5.2.12 (A) (B) は計測Aの83断面の内空変位量および沈下量の最終計測値と蛇紋岩形態別を表にまとめたものであり、各測点での最大値と平均値に着色して示す。内空変位では断面No.3のC測線において最大の-54.8mm、測線別の最大平均ではC測線の-29.1mmに留まっている。沈下量においては断面No.80の-31.7mmが最大であり、測点別の最大平均値は1測点での-12.5mmであり、内空変位と同様な低い傾向を示す結果となった。

表-5.2.12 (A) 音威子府トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 NO.	計測 高 点	収束経緯			計測期間		計測 回数 (回)	最終測定日の内空変位量 (mm)					最終測定日の沈下量 (mm)					塊状 率 (%)	葉片状 率 (%)	粘土状 率 (%)	蛇紋 岩 種別
		一階収束と切羽掘れ (m)	変位再開	最終収束	日数 (日)	月数 (月)		A	B	C	D	1	2	3	4	5					
1	2,346.50	○	×	○	829	27.6	102	-5.0	-20.1	-30.2	-6.7	-15.4	-15.7	-13.8	-13.9	-13.5					
2	2,355.50	○	×	○	821	27.4	113	-13.1	-18.2	-40.5	-16.0	-9.9	-8.9	-11.4	-5.1	-7.7					
3	2,364.50	○	×	○	811	27.0	107	-16.3	-20.4	-54.8	-12.4	-21.9	-29.4	-25.2	-10.9	-10.3		74	3		
4	2,367.50	○	×	○	796	26.5	102	-11.8	-16.0	-32.4	-15.5	-22.7	-21.9	-18.5	-20.2	-19.4					
5	2,373.50	○	×	○	790	26.3	85	-16.4	-7.5	-37.4	-19.2	-9.6	-19.8	-15.6	-9.1	-8.3					
6	2,382.50	○	×	○	782	26.1	74	-15.8	-17.7	-44.1	-8.3	-20.6	-9.3	-17.9	-6.8	-12.6					
7	2,391.50	○	×	○	773	25.8	70	-15.5	-21.5	-42.9	-11.4	-20.7	-24.7	-22.3	-6.9	-6.1					
8	2,400.50	○	×	○	766	25.5	78	-11.8	-14.9	-31.0	-19.9	-16.1	-14.0	-13.1	-7.8	-7.1					
9	2,406.50	○	×	○	760	25.3	81	-17.7	-18.9	-38.4	-22.7	-18.5	-18.0	-17.8	-7.8	-10.6					
10	2,413.50	○	×	○	753	25.1	81	-15.6	-22.8	-39.7	-22.5	-23.3	-15.5	-21.6	-8.6	-8.8					
11	2,422.50	○	×	○	746	24.9	78	-13.8	-15.8	-25.7	-17.5	-16.6	-6.8	-11.5	-4.5	-5.9					
12	2,433.50	○	×	○	738	24.6	77	-13.7	-14.4	-27.4	-20.0	-17.2	-8.2	-11.3	-6.7	-5.4					
13	2,445.50	○	×	○	760	25.3	81	-9.3	-11.4	-20.6	-14.9	-13.7	-8.8	-10.5	-2.8	-6.7					
14	2,454.50	○	×	○	753	25.1	85	-14.6	-10.9	-20.8	-7.2	-13.5	-5.5	-7.6	-3.5	-5.5					
15	2,463.50	○	×	○	745	24.8	79	-8.7	-11.6	-17.6	-11.4	-8.6	-8.5	-7.5	-3.8	-3.3					
16	2,475.50	○	×	○	732	24.4	78	-15.6	-13.3	-31.9	-16.2	-11.7	-7.7	-9.3	-4.7	-4.4					
17	2,486.50	○	×	○	724	24.1	73	-15.9	-12.2	-27.8	-14.7	-13.1	-6.6	-10.7	-3.6	-5.3					
18	2,494.50	○	×	○	710	23.7	71	-11.4	-5.5	-23.7	-14.5	-6.7	-3.9	-4.5	-3.4	-2.5					
19	2,498.50	○	×	○	707	23.6	70	-12.7	-10.8	-21.5	-19.7	-9.2	-6.0	-5.4	-2.6	-2.5					
20	2,510.50	○	×	○	697	23.2	68	-12.1	-12.6	-26.5	-24.2	-8.0	-3.9	-5.6	-2.8	-3.5			2		
21	2,557.85	○	×	○	705	23.5	64	-10.8	-7.2	-15.1	-8.7	-9.1	-4.5	-5.1	-3.9	-3.9		49	47		
22	2,566.85	○	×	○	699	23.3	65	-21.8	-9.1	-39.6	-19.1	-10.0	-15.9	-7.5	-8.5	-5.7					
23	2,575.85	○	×	○	687	22.9	63	-6.3	-6.5	-8.6	-9.6	-7.8	-6.5	-6.8	-2.7	-4.4					
24	2,586.85	○	×	○	679	22.6	54	-13.1	-9.5	-18.2	-10.8	-9.0	-5.5	-4.2	-3.4	-2.4					
25	2,592.85	○	×	○	675	22.5	62	-9.5	-9.3	-20.2	-13.8	-8.1	-7.9	-5.3	-5.8	-5.5					
26	2,599.85	○	×	○	670	22.3	54	-11.4	-12.1	-29.9	-15.7	-10.2	-9.7	-9.4	-6.4	-5.7					
27	2,610.85	○	×	○	655	21.8	55	-16.8	-16.5	-30.8	-18.6	-14.5	-9.5	-8.5	-4.6	-2.7					
28	2,620.85	○	×	○	649	21.6	58	-18.5	-16.5	-36.5	-20.9	-16.5	-14.7	-6.5	-4.2	-3.7					
29	2,627.85	○	×	○	643	21.4	63	-17.0	-7.7	-30.1	-19.0	-10.9	-15.1	-10.7	-6.8	-5.2			25	8	
30	2,637.85	○	×	○	636	21.2	64	-12.5	-15.2	-35.8	-17.4	-10.5	-11.1	-8.7	-4.9	-2.6					
31	2,647.85	○	×	○	628	20.9	62	-16.1	-16.4	-33.6	-24.2	-9.8	-9.3	-8.4	-6.4	-5.7					
32	2,659.85	○	×	○	618	20.6	68	-16.0	-19.4	-43.4	-24.4	-16.2	-13.1	-16.3	-3.9	-6.4					
33	2,669.85	○	×	○	610	20.3	59	-18.8	-14.7	-36.9	-21.5	-13.4	-8.3	-12.4	-3.9	-4.5					
34	2,679.85	○	×	○	597	19.9	57	-14.7	-16.6	-35.9	-22.7	-10.3	-10.3	-13.5	-5.7	-6.5					
35	2,688.85	○	×	○	590	19.7	51	-13.1	-17.1	-40.8	-28.2	-13.2	-13.1	-14.7	-5.6	-6.9					
36	2,697.55	○	×	○	582	19.4	53	-12.4	-13.5	-25.6	-11.6	-8.6	-5.5	-5.6	-4.1	-3.9					
37	2,707.50	○	×	○	573	19.1	55	-11.6	-17.4	-25.6	-22.2	-12.9	-6.7	-9.3	-6.7	-6.9					
38	2,715.50	○	×	○	566	18.9	55	-15.3	-20.8	-31.3	-21.0	-16.3	-9.6	-13.0	-5.6	-5.1					
39	2,723.50	○	×	○	560	18.7	56	-18.7	-16.3	-32.5	-23.4	-20.9	-15.4	-15.7	-4.0	-5.1					
40	2,732.50	○	×	○	552	18.4	61	-14.8	-13.6	-35.9	-20.7	-14.3	-13.7	-12.5	-6.2	-10.7					
41	2,741.50	○	×	○	592	19.7	63	-13.7	-11.5	-26.5	-16.7	-12.8	-6.2	-9.6	-5.6	-4.2					
42	2,753.50	○	×	○	580	19.3	59	-11.6	-15.8	-27.2	-22.7	-12.6	-7.4	-6.6	-6.8	-6.1					
43	2,763.50	○	×	○	563	18.8	62	-19.7	-14.7	-42.0	-25.7	-16.4	-13.2	-16.6	-6.6	-5.4					
44	2,773.50	○	×	○	555	18.5	62	-16.2	-15.7	-35.1	-25.5	-15.9	-11.0	-11.9	-5.2	-4.1					
45	2,781.50	○	×	○	545	18.2	64	-20.5	-17.8	-34.2	-25.8	-16.1	-6.3	-10.6	-3.8	-2.5					
46	2,790.50	○	×	○	536	17.9	64	-13.9	-14.6	-30.6	-22.8	-15.8	-10.6	-14.3	-4.0	-5.3					

表-5.2.12 (B) 音威子府トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 NO.	計測 地点	収支経緯			計測期間		計測 回数 (回)	最終測定日の内空変位量 (mm)						最終測定日の沈下量 (mm)					塊状 率 (%)	葉片状 率 (%)	粘土状 率 (%)	蛇紋 岩判 別
		一時収支と切羽離れ (m)	変位再開	最終収支	日数 (日)	月数 (月)		A	B	C	D	1	2	3	4	5						
47	2,802.50	○	68	×	524	17.5	68	-13.9	-15.6	-33.5	-22.7		-11.7	-8.4	-12.5	-4.6	-6.3					
48	2,813.50	○	57	×	515	17.2	59	-13.9	-15.4	-35.0	-20.0		-15.9	-13.4	-16.1	-3.9	-5.8					
49	2,824.50	○	73	○	503	16.8	70	-18.5	-14.8	-34.7	-10.6		-15.7	-16.4	-11.9	-6.4	-6.1					
50	2,831.50	○	67	×	495	16.5	66	-12.6	-11.1	-25.0	-14.4		-13.1	-8.8	-9.2	-5.0	-3.8					
51	2,837.50	○	70	×	489	16.3	64	-15.3	-16.3	-27.8	-17.8		-14.9	-10.1	-9.8	-3.0	-3.4		78	23	0	塊状 主体
52	2,847.50	○	62	×	479	16.0	64	-14.6	-13.5	-29.5	-16.4		-8.9	-6.6	-4.4	-3.6	-2.7					
53	2,854.50	○	82	×	471	15.7	62	-16.5	-12.5	-28.4	-18.3		-8.0	-5.3	-4.2	-3.5	-2.6					
54	2,860.50	○	71	×	466	15.5	85	-13.3	-11.5	-21.4	-9.5		-10.9	-7.6	-8.9	-5.7	-5.8					
55	2,870.50	○	86	×	460	15.3	98	-11.9	-8.4	-21.8	-14.4		-9.2	-6.5	-5.6	-4.7	-4.6					
56	2,881.50	○	63	×	441	14.7	87	-15.3	-18.5	-27.2	-20.0		-13.8	-5.8	-4.8	-3.2	-4.2					
57	2,891.50	○	57	×	434	14.5	102	-13.5	-14.0	-27.5	-15.2		-14.0	-9.4	-8.2	-3.3	-3.5					
58	2,899.50	○	54	×	423	14.1	109	-16.9	-10.1	-31.1	-26.1		-9.7	-8.0	-7.8	-3.6	-4.8					
59	2,909.50	○	49	×	414	13.8	109	-18.8	-12.6	-24.9	-14.4		-14.8	-6.8	-6.8	-3.1	-5.6					
60	2,915.50	○	74	×	404	13.5	112	-13.9	-15.6	-23.8	-13.1		-12.7	-6.1	-5.6	-2.5	-2.9					
61	2,926.00	○	86	×	393	13.1	126	-16.4	-15.3	-30.5	-21.1		-17.0	-9.6	-12.9	-5.4	-6.1					
62	2,967.85	○	80	×	370	12.3	98	-11.0	-13.8	-27.8	-23.0		-8.9	-8.0	-6.8	-3.4	-3.7					
63	2,978.85	○	84	×	361	12.0	93	-11.2	-9.5	-25.1	-17.4		-9.5	-8.4	-8.8	-5.6	-4.6					
64	2,986.85	○	69	×	353	11.8	90	-13.3	-12.8	-27.3	-21.6		-10.6	-7.5	-9.9	-4.9	-7.9					
65	2,997.85	○	72	×	341	11.4	87	-17.4	-13.4	-34.1	-23.6		-11.7	-9.1	-11.3	-5.5	-5.8					
66	3,004.85	○	87	×	363	12.1	93	-12.8	-9.7	-25.7	-12.2		-9.1	-6.3	-6.7	-1.8	-1.7					
67	3,014.85	○	74	×	349	11.6	87	-13.2	-8.7	-22.6	-12.7		-8.7	-6.5	-6.1	-3.3	-4.2					
68	3,024.85	○	73	×	341	11.4	90	-11.7	-9.7	-23.0	-12.7		-8.9	-6.6	-4.9	-2.4	-2.4					
69	3,036.85	○	67	×	332	11.1	85	-6.8	-9.3	-15.9	-6.6		-6.1	-3.9	-3.2	-1.9	-1.6					
70	3,042.85	○	69	×	326	10.9	88	-7.2	-9.9	-17.0	-8.5		-5.9	-4.1	-3.8	-1.7	-1.7					
71	3,053.85	○	74	×	315	10.5	89	-9.8	-8.1	-21.8	-20.1		-9.8	-7.2	-7.5	-4.5	-4.3					
72	3,062.85	○	68	×	310	10.3	81	-13.5	-14.8	-35.9	-17.0		-9.4	-9.2	-9.3	-4.7	-4.8					
73	3,073.85	○	70	×	301	10.0	93	-8.9	-9.0	-22.5	-12.6		-10.2	-7.1	-6.1	-3.8	-2.8					
74	3,083.85	○	69	×	293	9.8	102	-7.2	-5.3	-13.9	-7.6		-7.8	-5.0	-4.4	-3.0	-3.3					
75	3,093.85	○	67	×	328	10.9	122	-8.6	-9.2	-18.9	-5.2		-7.6	-5.4	-4.7	-1.8	-3.0					
76	3,104.85	○	74	×	308	10.3	106	-7.3	-8.1	-14.4	-7.5		-6.2	-5.7	-6.6	-3.7	-3.5					
77	3,116.85	○	93	×	299	10.0	97	-9.7	-10.2	-23.8	-11.6		-8.7	-5.9	-6.3	-3.3	-3.0					
78	3,127.85	○	66	×	291	9.7	106	-12.7	-6.6	-17.2	-10.1		-12.6	-4.3	-8.8	-2.6	-3.6					
79	3,133.85	○	64	×	286	9.5	111	-10.2	-7.7	-13.9	-7.8		-11.1	-4.3	-9.7	-2.8	-4.1					
80	3,144.85	○	65	×	276	9.2	112	-7.9	-16.6	-45.9	-22.0		-10.2	-6.2	-31.7	-4.9	-13.0					
81	3,153.85	○	83	×	266	8.9	115	-21.2	-22.2	-52.2	-24.6		-19.8	-15.1	-17.0	-6.5	-7.3					
82	3,165.85	○	71	×	256	8.5	114	-18.7	-20.8	-46.3	-17.1		-27.7	-27.4	-20.4	-12.5	-9.2					
83	3,176.85	○	70	×	242	8.1	97	-7.8	-8.2	-12.9	-6.6		-10.7	-11.3	-5.3	-5.8	-3.5					
平均					542		80	-13.6	-13.4	-29.1	-16.7		-12.5	-9.6	-10.1	-5.0	-5.3					
最大								-21.8	-22.8	-54.8	-28.2		-27.7	-29.4	-31.7	-20.2	-19.4					
																			58	37	5	
																			96	74	28	

(3) 計測 B

音威子府トンネルの蛇紋岩区間における計測 B は、蛇紋岩延長 835m の区間で 4 箇所の断面で実施されている。当区間における先進ボーリングと対比させた計測位置は図-5.2.7 のとおりであり、各計測断面における計測項目一覧を表-5.2.13 に、各計測断面における計測期間を表-5.2.14 に、各計測断面図を図-5.2.8～図-5.2.11 に示す。

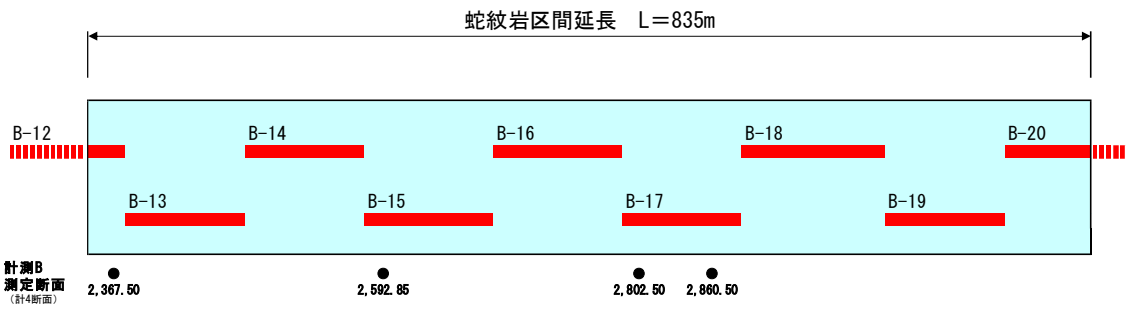


図-5.2.7 音威子府トンネル 先進ボーリング位置と計測 B の計測位置

表-5.2.13 音威子府トンネル 計測位置ごとの計測項目一覧

計測点	蛇紋岩 主要形態 と 介在率	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
		鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト
		軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
P = 2,367.50	葉片状 74%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (28箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	○ (10箇所)	— (—)
P = 2,592.85	塊状 67%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
P = 2,802.50	塊状 78%	○ (5箇所)	○ (5箇所)	○ (5箇所)	○ (5箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
P = 2,860.50	塊状 78%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)

表-5.2.14 音威子府トンネル 計測位置ごとの計測期間一覧

計測点	支保種類	期 間	日間 (日)	月間 (月)	回数 (回)
P = 2,367.50	鋼製支保工	2012/1/10 ~ 2012/2/27	49	1.6	1,308
	吹付けコンクリート	2012/1/10 ~ 2012/2/27	49	1.6	1,308
	ロックボルト	2012/1/10 ~ 2012/2/27	49	1.6	1,303
P = 2,592.85	鋼製支保工	2012/8/4 ~ 2012/10/9	67	2.2	1,567
	吹付けコンクリート	2012/8/4 ~ 2012/10/9	67	2.2	1,567
	ロックボルト	—	—	—	—
P = 2,802.50	鋼製支保工	2013/2/19 ~ 2013/5/31	102	3.4	2,413
	吹付けコンクリート	2013/2/19 ~ 2013/5/31	102	3.4	2,413
	ロックボルト	—	—	—	—
P = 2,860.50	鋼製支保工	2013/4/19 ~ 2013/9/19	154	5.1	3,535
	吹付けコンクリート	2013/4/19 ~ 2013/9/19	154	5.1	3,535
	ロックボルト	—	—	—	—

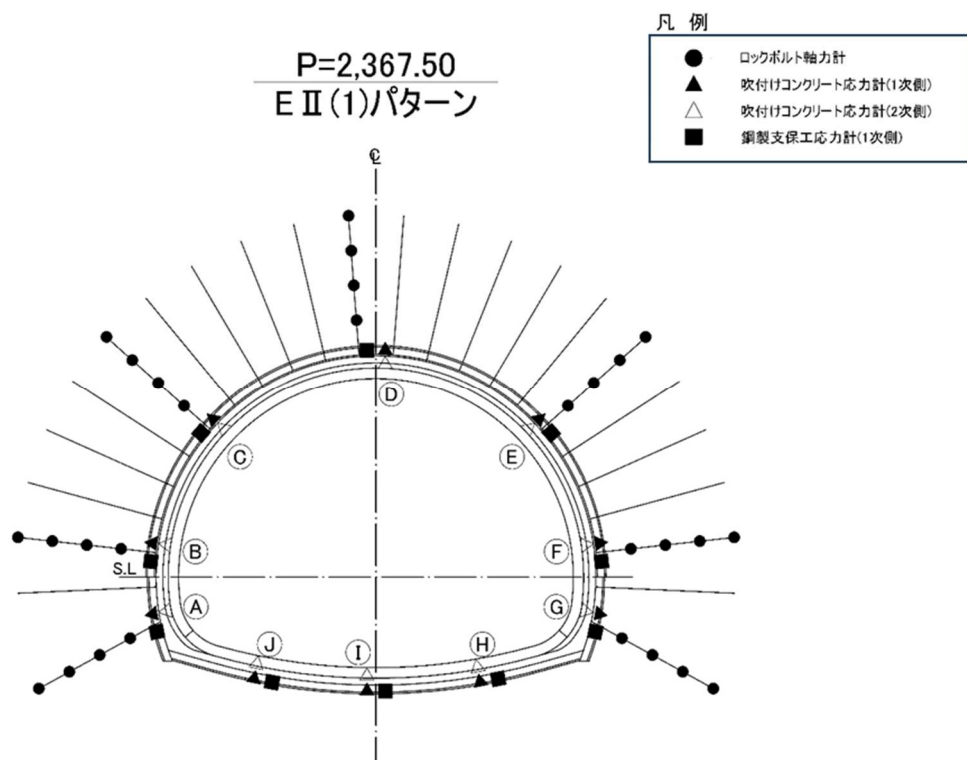


図-5.2.8 音威子府トンネル 計測 B 断面図 (P=2,367.50)

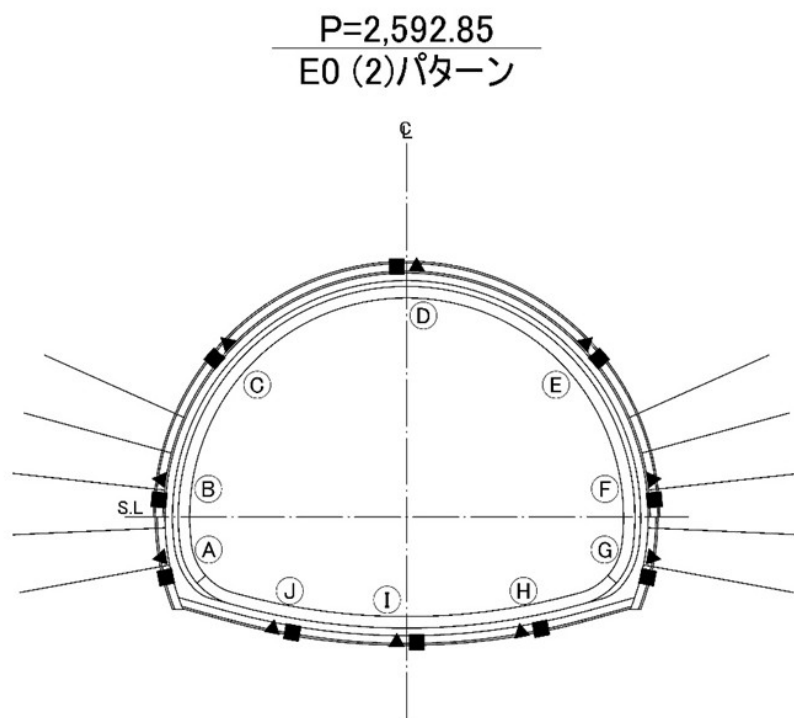


図-5.2.9 音威子府トンネル 計測 B 断面図 (P=2,592.85)

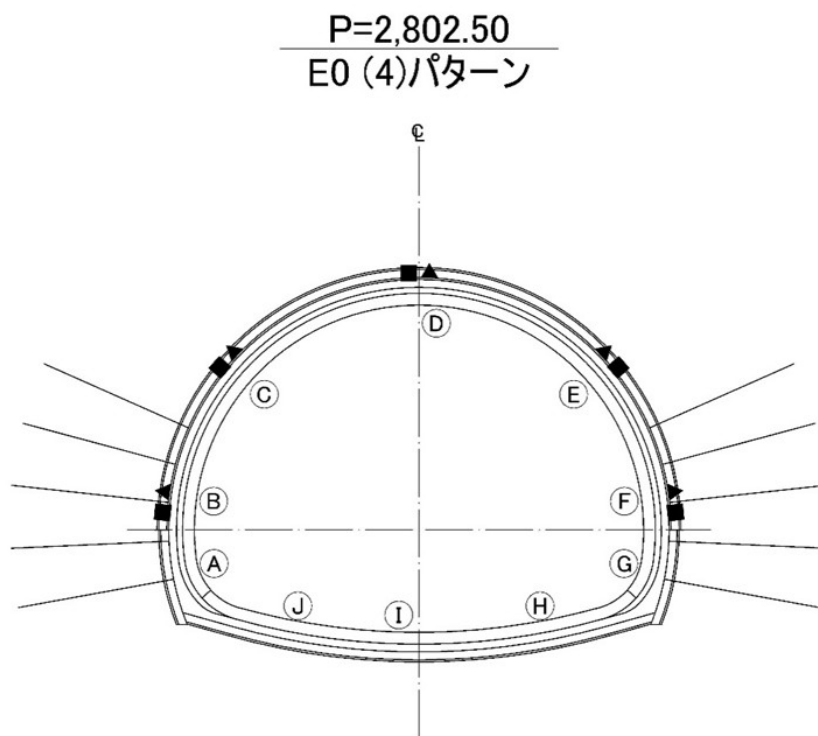


図-5.2.10 音威子府トンネル 計測 B 断面図 (P=2,802.50)

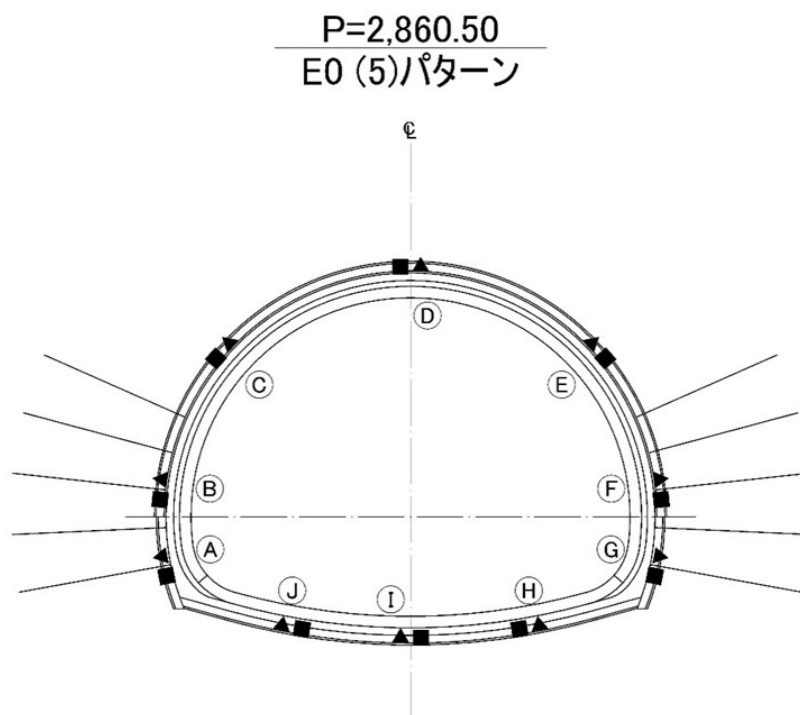


図-5.2.11 音威子府トンネル 計測 B 断面図 (P=2,860.50)

① P=2,367.50

P=2,367.50 では、表-5.2.13 の計測位置ごとの計測項目一覧と表-5.2.14 の計測位置ごとの計測期間一覧に示すとおり、計測 B の最初の計測箇所ともあって、支保構造パターンとして計測可能な箇所および部材に対し計測を設定した。その結果、一重支保（地山）側での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力、そして、二重支保（内空）側での吹付けコンクリートにおける応力、そして地中変位計での相対変位・区間変位・歪を計測した。

計測期間については、初期値として 2012 年（平成 24 年）1 月に計測を開始し、最終測定を 2012 年（平成 24 年）2 月までの約 2 か月間、計測を継続し、計測回数については約 1,300 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.2.15 に示す。

この計測結果から、部材のレベルⅢに対して実測値が 100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。着目としては鋼製支保工軸力である。上半・下半での発生率平均では 100%を超過していないものの、上半部 3 箇所において発生率が 100%を超過するが、数値的にはさほど大きいとは言えず、断面全体的に鋼製支保工への応力伝達がなられていることがわかる。鋼製支保工曲げや鋼製支保工せん断、吹付けコンクリート応力、ロックボルト軸力では大きな数値はなく、これら支保部材への負担は小さいと言える。地中変位計では、壁面変位と歪で管理を行っていたが、壁面変位ではすべての測線ともに 20mm 以下であり、いずれも管理レベルⅠの 38mm 以下であった。また、歪では管理レベルⅠの 0.61%を一部超過する箇所は存在したものの、最終歪値は 0.68%で収まっている。

表-5.2.15 音威子府トンネル 計測B 計測結果一覧 (P=2,367.50)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP2,367.50				
				一重目：上半・下半・インパートH-200、高強度吹付				
				【 EⅡ (1) 】				
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一 重 目		軸力	kN	1,334	下半A	808	61	61
					上半B	1,226	92	92
					上半C	2,192	164	164
					上半D	2,766	207	207
					上半E	2,363	177	177
					上半F	1,056	79	79
					下半G	650	49	49
					インH	760	57	57
					インI	302	23	23
					インJ	577	43	43
					下半A	8	8	8
					上半B	-8	-8	8
					上半C	-6	-6	6
					上半D	61	62	62
					上半E	-3	-3	3
					上半F	-12	-12	12
					下半G	7	7	7
					インH	17	17	17
					インI	-20	-21	21
					インJ	21	22	22
					下半A	-6	-4	4
					上半B	-2	-1	1
					上半C	-5	-3	3
					上半D	68	40	40
					上半E	2	1	1
					上半F	25	15	15
					下半G	-9	-5	5
					インH	1	1	1
					インI	-10	-6	6
					インJ	-12	-7	7
					下半A	3	8	8
					上半B	10	26	26
					上半C	14	38	38
					上半D	26	73	73
					上半E	11	30	30
					上半F	10	27	27
					下半G	6	16	16
					インH	7	19	19
					インI	7	19	19
					インJ	9	24	24
					A : 1m	37	21	21
					A : 2m	59	33	33
					A : 3m	61	34	34
					A : 4m	4	2	2
					B : 1m	97	54	54
					B : 2m	119	66	66
					B : 3m	114	64	64
					B : 4m	13	7	7
					C : 1m	34	19	19
					C : 2m	88	49	49
					C : 3m	51	28	28
					C : 4m	0	0	0
					D : 1m	0	0	0
					D : 2m	1	0	0
					D : 3m	1	1	1
					D : 4m	1	1	1
					E : 1m	5	3	3
					E : 2m	61	34	34
					E : 3m	65	36	36
					E : 4m	1	1	1
					F : 1m	59	33	33
					F : 2m	48	27	27
					F : 3m	10	6	6
					F : 4m	2	1	1
					G : 1m	46	25	25
					G : 2m	56	31	31
					G : 3m	51	29	29
					G : 4m	6	3	3

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP2,367.50				
				二重目：高強度吹付				
				【 EⅡ (1) 】				
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率 (絶対値)	発生率 平均
二 重 目		軸力	kN	—	下半A	—	—	—
					上半B	—	—	—
					上半C	—	—	—
					上半D	—	—	—
					上半E	—	—	—
					上半F	—	—	—
					下半G	—	—	—
					インH	—	—	—
					インI	—	—	—
					インJ	—	—	—
					下半A	—	—	—
					上半B	—	—	—
					上半C	—	—	—
					上半D	—	—	—
					上半E	—	—	—
					上半F	—	—	—
					下半G	—	—	—
					インH	—	—	—
					インI	—	—	—
					インJ	—	—	—
					下半A	—	—	—
					上半B	—	—	—
					上半C	—	—	—
					上半D	—	—	—
					上半E	—	—	—
					上半F	—	—	—
					下半G	—	—	—
					インH	—	—	—
					インI	—	—	—
					インJ	—	—	—
					下半A	2	6	6
					上半B	2	7	7
					上半C	2	6	6
					上半D	2	4	4
					上半E	3	10	10
					上半F	3	7	7
					下半G	2	5	5
					インH	4	11	11
					インI	6	16	16
					インJ	4	12	12

② P=2,592.85

P=2,592.85 では、二重目の支保構造がないこと、また、P=2,367.50 でのロックボルト軸力の結果から、一重目での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断・吹付けコンクリートにおける応力を測定した。

計測期間については、初期値として 2012 年（平成 24 年）8 月に計測を開始し、最終測定を 2012 年（平成 24 年）10 月までの約 2 か月間、計測を継続し、計測回数については約 1,500 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.2.16 に示す。

この計測結果から、P=2,367.50 と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。

着目としては、ここも鋼製支保工軸力である。上半部・下半部・インバート部での発生率平均で 100%を超過しないものの、上半部 4 箇所において発生率が 100%を超過するが、数値的にはさほど大きいとは言えず、断面全体的に鋼製支保工への応力伝達がなされていることがわかる。鋼製支保工曲げや鋼製支保工せん断、吹付けコンクリート応力には大きな値はなく、これらへの支保部材負担は小さい。

表-5.2.16 音威子府トンネル 計測B 計測結果一覧 (P=2,592.85)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP2, 592. 85						支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP2, 592. 85					
				一重目：上半H-200、下半・インパートH-150、標準収付										二重目：なし					
				【 E0 (2) 】										【 E0 (2) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均					レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製支保工	軸力	kN	833	下半A	473	57	57	73	—	—	—	—	—	—				
				1, 334	上半B	1, 419	106	106											
				1, 334	上半C	1, 736	130	130											
				1, 334	上半D	1, 589	119	119											
				1, 334	上半E	1, 565	117	117											
				1, 334	上半F	964	72	72											
				833	下半G	432	52	52											
				833	インH	210	25	25											
				833	インI	185	22	22											
				833	インJ	244	29	29											
		曲げ	kN・m	45	下半A	-2	-4	4	14	—	—	—	—	—	—				
				99	上半B	-8	-8	8											
				99	上半C	11	11	11											
				99	上半D	76	77	77											
				99	上半E	10	10	10											
				99	上半F	-10	-10	10											
				45	下半G	1	2	2											
				45	インH	1	2	2											
				45	インI	-5	-12	12											
				45	インJ	1	3	3											
	せん断	kN	109	下半A	1	1	1	8	—	—	—	—	—	—					
			169	上半B	-17	-10	10												
			169	上半C	9	6	6												
			169	上半D	61	36	36												
			169	上半E	-3	-2	2												
			169	上半F	18	11	11												
			109	下半G	-5	-4	4												
			109	インH	1	1	1												
			109	インI	6	6	6												
			109	インJ	-7	-6	6												
吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	18	下半A	6	33	36	—	—	—	—	—	—	—					
				上半B	12	69									69				
				上半C	6	33									33				
				上半D	12	65									65				
				上半E	-2	-11									11				
				上半F	6	33									33				
				下半G	6	36									36				
				インH	4	22									22				
				インI	6	35									35				
				インJ	5	26									26				
ロックボルト	軸力	kN	180	A：1m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
				A：2m	—	—	—												
				A：3m	—	—	—												
				A：4m	—	—	—												
				B：1m	—	—	—												
				B：2m	—	—	—												
				B：3m	—	—	—												
				B：4m	—	—	—												
				C：1m	—	—	—												
				C：2m	—	—	—												
				C：3m	—	—	—												
				C：4m	—	—	—												
				D：1m	—	—	—												
				D：2m	—	—	—												
				D：3m	—	—	—												
				D：4m	—	—	—												
				E：1m	—	—	—												
				E：2m	—	—	—												
				E：3m	—	—	—												
				E：4m	—	—	—												
				F：1m	—	—	—												
				F：2m	—	—	—												
				F：3m	—	—	—												
				F：4m	—	—	—												
				G：1m	—	—	—												
				G：2m	—	—	—												
				G：3m	—	—	—												
				G：4m	—	—	—												

③ P=2,802.50

P=2,802.50 では、P=2,367.50 と P=2,592.85 と同様な計測項目を設定したが、前2断面において、インバート部での類似した計測数値であり、また、一定の傾向が確認できたことから、当計測測点ではインバート部を除いた上半部および下半部にて計測を行った。

計測期間については、初期値として2013年（平成25年）2月に計測を開始し、最終測定を2013年（平成25年）5月までの約3ヵ月間、計測を継続し、計測回数については約2,400回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.2.17に示す。

この計測結果から、P=2,367.50 や P=2,592.86 と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。

着目すべきは発生率平均で100%を超過した鋼製支保工軸力と吹付けコンクリート応力である。鋼製支保工軸力では、発生率平均は176%、個別計測位置では計測箇所5箇所すべてにおいて発生率100%を超過する結果となった。

吹付けコンクリート応力では、以前の計測測点である P=2,367.50 と P=2,592.85 において発生率平均100%を超過することなく、加えて、個別計測位置でも発生率100%を超過する箇所は確認されなかった。しかし、当計測測点では発生率平均が112%、個別計測位置では5箇所中3箇所において発生率が100%を超過する。残りの2箇所では発生率が88%と90%であるものの、100%に近い高い数値を示した。

鋼製支保工軸力および吹付けコンクリート応力ともに個別計測位置での発生率数値から、局部的ではなく周方向での全体平均的な支保部材への応力負担が確認できる。

表-5.2.11の計測A最終値と蛇紋岩形態からみると、当計測測点前後は塊状主体の区間であり、しかも塊状率が約80%であることから、このことが周方向に全体平均的な応力分担の伝達がなされているものと推察する。

表-5.2.17 音威子府トンネル 計測B 計測結果一覧 (P=2, 802.50)

支保構造順	支保名	計測項目	単位	SP2, 802.50						支保構造順	支保名	計測項目	単位	SP2, 802.50					
				一重目：上半H-200、下半・インバートH-150、標準吹付										二重目：なし					
				【 E0 (4) 】										【 E0 (4) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均					レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製支保工	軸力	kN	833	下半A	1,235	148	148	176	鋼製支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—	
				1,334	上半B	2,929	220	220						上半B	—	—	—		
				1,334	上半C	2,730	205	205						上半C	—	—	—		
				1,334	上半D	2,218	166	166						上半D	—	—	—		
				833	下半E	1,165	140	140						上半E	—	—	—		
				—	—	—	—	—						上半F	—	—	—		
		—	—	—	—	—	下半G	—	—		—								
		—	—	—	—	—	インH	—	—		—								
		—	—	—	—	—	インI	—	—		—								
		—	—	—	—	—	インJ	—	—		—								
		曲げ	kN・m	45	下半A	-7	-15	15	下半A		—	—	—	—					
				99	上半B	-23	-23	23	上半B		—	—	—						
				99	上半C	-21	-21	21	上半C		—	—	—						
				99	上半D	-26	-26	26	上半D		—	—	—						
				45	下半E	-2	-4	4	上半E		—	—	—						
				—	—	—	—	—	上半F		—	—	—						
		せん断	kN	109	下半A	9	9	9	下半A		—	—	—	—					
				169	上半B	23	14	14	上半B		—	—	—						
	169			上半C	29	17	17	上半C	—	—	—								
	169			上半D	-18	-11	11	上半D	—	—	—								
	109			下半E	-22	-20	20	上半E	—	—	—								
	—			—	—	—	—	上半F	—	—	—								
	吹付けコンクリート	応力	N/mm ²	18	下半A	19	107	107	下半A	—	—	—	—						
					上半B	25	141	141	上半B	—	—	—							
					上半C	24	134	134	上半C	—	—	—							
					上半D	16	88	88	上半D	—	—	—							
					下半E	16	90	90	上半E	—	—	—							
					—	—	—	—	上半F	—	—	—							
					—	—	—	—	下半G	—	—	—							
					—	—	—	—	インH	—	—	—							
					—	—	—	—	インI	—	—	—							
					—	—	—	—	インJ	—	—	—							
					ロックボルト	軸力	kN	180	A : 1m	—	—	—		下半A	—	—	—	—	
	A : 2m	—	—	—					上半B	—	—	—							
	A : 3m	—	—	—					上半C	—	—	—							
	A : 4m	—	—	—					上半D	—	—	—							
	B : 1m	—	—	—					上半E	—	—	—							
	B : 2m	—	—	—					上半F	—	—	—							
	B : 3m	—	—	—					下半G	—	—	—							
B : 4m	—	—	—	インH					—	—	—								
C : 1m	—	—	—	インI					—	—	—								
C : 2m	—	—	—	インJ					—	—	—								
C : 3m	—	—	—	—					—	—	—								
C : 4m	—	—	—	—					—	—	—								
D : 1m	—	—	—	—					—	—	—								
D : 2m	—	—	—	—					—	—	—								
D : 3m	—	—	—	—					—	—	—								
D : 4m	—	—	—	—					—	—	—								
E : 1m	—	—	—	—					—	—	—								
E : 2m	—	—	—	—					—	—	—								
E : 3m	—	—	—	—					—	—	—								
E : 4m	—	—	—	—					—	—	—								
F : 1m	—	—	—	—					—	—	—								
F : 2m	—	—	—	—					—	—	—								
F : 3m	—	—	—	—					—	—	—								
F : 4m	—	—	—	—					—	—	—								
G : 1m	—	—	—	—					—	—	—								
G : 2m	—	—	—	—					—	—	—								
G : 3m	—	—	—	—					—	—	—								
G : 4m	—	—	—	—	—	—	—												

④ P=2,860.50

P=2,860.50 では、前計測測点 P=2,802.50 において鋼製支保工軸力や吹付けコンクリート応力での発生率 100%を超過する個別計測位置が多く確認できたことや土被りが最大となる箇所であること、また、今後の掘削区間で葉片状の出現が見込まれることから、P=2,592.85 と同様にインバート部の計測を復活して実施することとした。

計測期間については、初期値として 2013 年（平成 25 年）4 月に計測を開始し、最終計測を 2013 年（平成 25 年）9 月までの約 5 か月間、計測を継続し、計測回数については約 3,500 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.2.18 に示す。この計測結果から、これまでの計測箇所と同様に部材のレベルⅢに対して実測値が 100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。着目すべきは、これまでと同様に鋼製支保工軸力である。上半部・下半部・インバート部での発生率平均で 100%を超過しないものの、上半部 4 箇所において発生率が 100%を超過するが、数値的にはさほど大きいとは言えず、断面全体的に鋼製支保工への応力伝達がなされていることがわかる。鋼製支保工曲げや鋼製支保工せん断、吹付けコンクリート応力には大きな値はなく、これらへの支保部材負担は小さい。

表-5.2.18 音威子府トンネル 計測B 計測結果一覧 (P=2,860.50)

支保構造順	支保名	計測項目	単位	SP2,860.50					
				一重目：上半H-200、下半・インバートH-150、高強度吹付					
				【 E0 (5) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製支保工	軸力	kN	—	833 下半A	655	79	79	84
					1,334 上半B	1,054	79	79	
					1,334 上半C	1,918	144	144	
					1,334 上半D	1,516	114	114	
					1,334 上半E	1,861	139	139	
					1,334 上半F	1,026	77	77	
					833 下半G	555	67	67	
					833 インH	405	49	49	
					833 インI	337	40	40	
					833 インJ	460	55	55	
		曲げ	kN・m	—	45 下半A	0	0	0	9
					99 上半B	6	6	6	
					99 上半C	-4	-4	4	
					99 上半D	-36	-36	36	
					99 上半E	2	2	2	
					99 上半F	-15	-15	15	
					45 下半G	1	2	2	
					45 インH	3	7	7	
					45 インI	-4	-8	8	
					45 インJ	6	12	12	
		せん断	kN	—	109 下半A	-23	-21	21	10
					169 上半B	5	3	3	
					169 上半C	32	19	19	
					169 上半D	-25	-15	15	
					169 上半E	0	0	0	
					169 上半F	28	16	16	
					109 下半G	-5	-5	5	
					109 インH	-4	-4	4	
					109 インI	-16	-15	15	
					109 インJ	-1	-1	1	
	吹付けコンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	8	22	22	28
					上半B	11	29	29	
					上半C	11	31	31	
					上半D	14	39	39	
					上半E	10	28	28	
					上半F	14	39	39	
					下半G	9	25	25	
					インH	6	17	17	
					インI	10	27	27	
					インJ	8	22	22	
ロックボルト	軸力	kN	180	A : 1m	—	—	—	—	
				A : 2m	—	—	—		
				A : 3m	—	—	—		
				A : 4m	—	—	—		
				B : 1m	—	—	—		
				B : 2m	—	—	—		
				B : 3m	—	—	—		
				B : 4m	—	—	—		
				C : 1m	—	—	—		
				C : 2m	—	—	—		
				C : 3m	—	—	—		
				C : 4m	—	—	—		
				D : 1m	—	—	—		
				D : 2m	—	—	—		
				D : 3m	—	—	—		
				D : 4m	—	—	—		
				E : 1m	—	—	—		
				E : 2m	—	—	—		
				E : 3m	—	—	—		
				E : 4m	—	—	—		
F : 1m	—	—	—						
F : 2m	—	—	—						
F : 3m	—	—	—						
F : 4m	—	—	—						
G : 1m	—	—	—						
G : 2m	—	—	—						
G : 3m	—	—	—						
G : 4m	—	—	—						

支保構造順	支保名	計測項目	単位	SP2,860.50					
				二重目：なし					
				【 E0 (5) 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
二重目	鋼製支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
		せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	
	吹付けコンクリート	応力	N/mm ²	—	下半A	—	—	—	—
					上半B	—	—	—	
					上半C	—	—	—	
					上半D	—	—	—	
					上半E	—	—	—	
					上半F	—	—	—	
					下半G	—	—	—	
					インH	—	—	—	
					インI	—	—	—	
					インJ	—	—	—	

5-3 幌加内トンネル

5-3-1 トンネル概要と蛇紋岩の介在

幌加内トンネルは、北海道開発局が事業主として2005年（平成17年）に発注された、一般国道275号の延長1,241m、2車線の道路トンネルである。図-5.3.1のとおり全線に渡り蛇紋岩の介在があり、葉片状主体の蛇紋岩が想定された。この蛇紋岩区間における土被りは図-5.3.2のとおりである。土被り高さの数値は、先進ボーリング毎における平均値で図化しているが、土被り高さの最大値は、先進ボーリングB-9に位置する134mとなる。掘削は2006年（平成18年）9月に開始され、その後の施工は順調に進捗し、2009年（平成21年）に貫通、そして2010年（平成22年）3月に竣工を迎えた。その後、照明防災の設備そして舗装などの工事が進められ、2010年（平成22年）12月に供用が開始された。

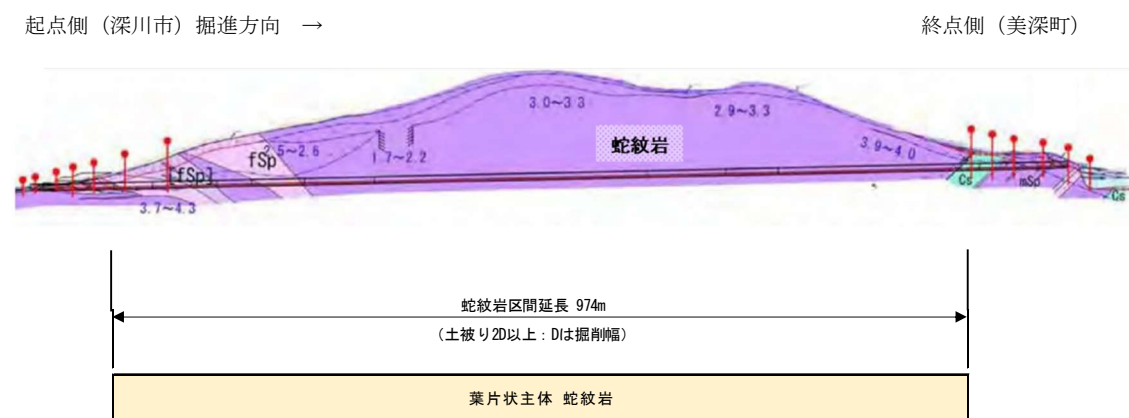


図-5.3.1 幌加内トンネル 地質状況と蛇紋岩区間の形態別介在の概要

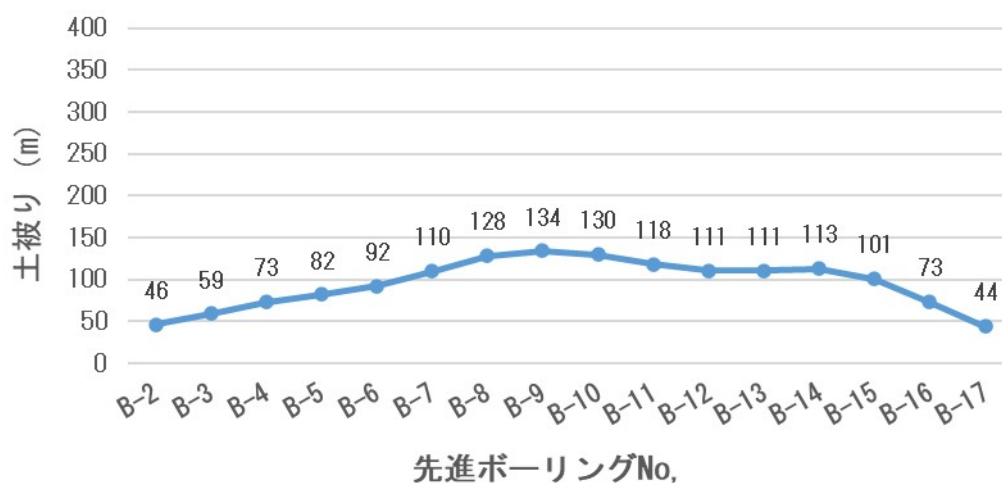


図-5.3.2 幌加内トンネル 蛇紋岩区間の土被り高さ

5-3-2 先進ボーリングから得られたデータ

先進ボーリングは、トンネル全延長で行われており、図-5.3.3 において蛇紋岩区間における先進ボーリングの位置を示す。先進ボーリングの主な役割は、コアを採取してのコア観察やコアを利用したの物性値試験を行い、支保パターンの決定に用いられることとなる。

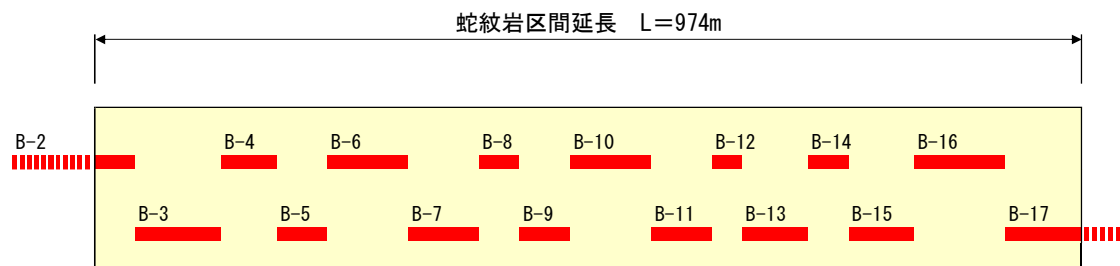


図-5.3.3 幌加内トンネル 蛇紋岩区間の先進ボーリング位置図

幌加内トンネルでの先進ボーリングは、B-2～B-17 の計 16 本である。各々の掘進長を見ると最短で 30m、最長で 105m と広範囲に渡る（表-5.3.1）。これは葉片状主体であるため塊状率の低さが影響されているものと推察する。

表-5.3.1 幌加内トンネル 先進ボーリングの掘進状況とボーリングマシン規格

Br. NO.	Br. ID	掘進長 (m)	ラップ 延長 (m)	新規 延長 (m)	蛇紋岩 延長 (m)	湧水 (有無)	Brマシン規格		
							試験機	エンジン	ポンプ
1	B-2	81.0	64.5	64.5	64.5	染出	利根TEC-1	東芝ECモーター7.5kW	丸山MS1503型
2	B-3	87.0	87.0	87.0	87.0	染出	利根TEC-1	東芝ECモーター7.5kW	丸山MS1503型
3	B-4	55.0	55.0	55.0	55.0	染出	利根TEC-1	東芝ECモーター7.5kW	丸山MS1503型
4	B-5	50.0	50.0	50.0	48.5	20ℓ/min	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
5	B-6	82.0	82.0	82.0	82.0	染出	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
6	B-7	71.0	71.0	71.0	71.0	染出	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
7	B-8	42.0	42.0	42.0	42.0	1ℓ/min	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
8	B-9	48.0	48.0	48.0	48.0	1ℓ/min	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
9	B-10	80.0	80.0	80.0	77.0	5ℓ/min	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
10	B-11	60.0	60.0	60.0	60.0	無	東邦D2-Ks58型	東芝モーター11.0kW	ヤンマーCP100型
11	B-12	30.0	30.0	30.0	26.5	1ℓ/min	東邦D2-Ks58型	三菱モーター200V 7.5kw 11.0kw	ヤンマーCP100型
12	B-13	65.0	65.0	65.0	62.5	1ℓ/min	東邦D2-Ks58型	三菱モーター200V 7.5kw 11.0kw	ヤンマーCP100型
13	B-14	42.0	42.0	42.0	42.0	無	東邦D2-Ks58型	三菱モーター200V 7.5kw 11.0kw	ヤンマーCP100型
14	B-15	65.0	65.0	65.0	64.0	無	東邦D2-Ks58型	三菱モーター200V 7.5kw 11.0kw	ヤンマーCP100型
15	B-16	88.0	88.0	88.0	88.0	無	東邦D2-Ks58型	三菱モーター200V 7.5kw 11.0kw	ヤンマーCP100型
16	B-17	105.0	67.0	67.0	67.0	7ℓ/min	東邦D2-Ks58型	三菱モーター200V 7.5kw 11.0kw	ヤンマーCP100型
		1051.0	996.5	996.5	985.0				

(1) 掘進長・給圧・掘進速度・回転数

これら掘進長・給圧・掘進速度・回転数の4項目については、ボーリング柱状図から読み取り、下記の手順で算出した。

手順1： ボーリング No, 別に蛇紋岩形態ごとに分類し、分類したそれぞれの給圧・掘進速度・回転数を表化した。（表-5.3.2～表-5.3.5）

手順2： ボーリング No, 別に給圧・掘進速度・回転数の平均値算出を行った。（表-5.3.6～表-5.3.9）

手順3： 蛇紋岩形態別に給圧・掘進速度・回転数の平均値算出を行った。（表-5.3.11）

【手順 1】

表-5.3.2 幌加内トンネル ボーリング No. 別分類表 (1)

塊状蛇紋岩				葉片状蛇紋岩				葉片状～粘土状蛇紋岩				粘土状蛇紋岩			
幌加内 B-2 (L=81.0m)				幌加内 B-3 (L=87.5m)				幌加内 B-4 (L=55.0m)				幌加内 B-5 (L=50.0m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1				1				1				1			
2				2				2				2			
3				3				3				3	5.5	データ無	360
4				4				4	8.0	225	データ無	4			
5				5				5				5			
6				6	5.0	データ無	データ無	6				6			
7				7				7				7			
8				8				8				8			
9				9				9				9			
10				10				10	8.0	175	データ無	10			
11				11				11				11			
12				12				12				12	5.5	データ無	360
13				13				13				13			
14				14	6.0	データ無	データ無	14				14			
15				15				15				15			
16				16				16	8.0	220	データ無	16			
17	7.0	326	350	17				17				17			
18				18				18				18			
19				19				19				19			
20				20	6.0	データ無	データ無	20				20	5.5	データ無	360
21				21				21				21			
22				22				22				22			
23				23				23				23			
24	6.5	397	350	24				24				24			
25				25				25				25			
26				26				26				26			
27				27	6.0	データ無	データ無	27				27	5.5	データ無	360
28				28				28	8.0	235	データ無	28			
29	6.0	364	350	29				29				29			
30				30	6.0	データ無	データ無	30				30			
31				31				31				31			
32	6.0	316	350	32				32				32			
33				33				33				33			
34				34				34				34			
35				35				35	8.0	235	データ無	35			
36				36	6.0	データ無	データ無	36	8.0	235	データ無	36			
37				37				37				37			
38				38				38				38			
39				39				39	8.0	235	データ無	39			
40				40				40				40	5.5	データ無	190
41				41				41				41			
42				42				42				42			
43	6.0	178	350	43				43				43			
44				44				44				44			
45				45				45				45			
46				46				46				46			
47				47				47				47			
48				48				48	8.0	235	データ無	48			
49				49				49				49			
50				50	6.0	データ無	データ無	50				50			
51				51				51				51			
52				52				52				52			
53				53				53				53			
54				54				54				54			
55				55				55				55			
56	5.1	167	350	56				56				56			
57				57											
58				58											
59				59											
60				60											
61				61											
62				62											
63	5.0	183	350	63	6.0	データ無	データ無								
64				64											
65				65											
66				66											
67				67											
68	5.0	202	350	68											
69				69											
70				70	6.0	データ無	データ無								
71				71											
72				72											
73				73											
74				74											
75				75											
76				76											
77	5.0	157	350	77	6.0	データ無	データ無								
78				78											
79				79											
80				80	6.0	データ無	データ無								
81				81											
82				82											
				83	6.0	データ無	データ無								
				84											
				85											
				86											
				87	6.0	データ無	データ無								
				88											
				89											

表-5.3.3 幌加内トンネル ボーリング No. 別分類表 (2)

0 塊状蛇紋岩

葉片状蛇紋岩

葉片状～粘土状蛇紋岩

粘土状蛇紋岩

幌加内 B-6 (L=82.0m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1			
2	5.5	データ無	360
3			
4			
5			
6	5.5	データ無	360
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27	5.5	データ無	360
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42	5.5	データ無	360
43			
44			
45			
46	5.5	データ無	360
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53	5.5	データ無	360
54			
55	5.5	データ無	360
56			
57			
58	5.5	データ無	360
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65	5.5	データ無	360
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73	5.5	データ無	360
74			
75			
76	5.5	データ無	360
77			
78			
79	5.5	データ無	360
80			
81			
82			
83			

幌加内 B-7 (L=71.0m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1			
2	5.0	データ無	360
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10	5.0	データ無	360
11			
12			
13			
14			
15			
16	5.0	データ無	360
17			
18			
19	5.0	データ無	360
20			
21			
22	5.0	データ無	360
23			
24			
25			
26			
27	5.0	データ無	360
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36	5.0	データ無	360
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46	5.0	データ無	360
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55	5.0	データ無	360
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66	5.0	データ無	360
67			
68			
69			
70	5.0	データ無	360
71			
72			

幌加内 B-8 (L=42.0m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1			
2			
3	3.0	データ無	360
4			
5			
6			
7			
8	3.0	データ無	360
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16	3.0	データ無	360
17			
18			
19			
20			
21	3.0	データ無	360
22			
23			
24	3.0	データ無	360
25			
26			
27	3.0	データ無	360
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34	3.0	データ無	360
35			
36			
37			
38			
39			
40	3.0	データ無	360
41			
42			
43			

幌加内 B-9 (L=48.0m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1			
2			
3			
4			
5			
6	3.5	データ無	360
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14	3.5	データ無	360
15			
16			
17	3.5	データ無	360
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33	3.5	データ無	360
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

表-5.3.4 幌加内トンネル ボーリング No. 別分類表 (3)

塊状蛇紋岩				葉片状蛇紋岩				葉片状～粘土状蛇紋岩				粘土状蛇紋岩			
幌加内 B-10 (L=80.0m)				幌加内 B-11 (L=60.0m)				幌加内 B-12 (L=30.0m)				幌加内 B-13 (L=65.0m)			
深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1				1				1				1			
2				2				2				2	6.5	データ無	360
3				3				3				3			
4				4				4				4			
5				5				5	5.5	データ無	560	5	6.5	データ無	360
6				6				6				6			
7				7				7				7			
8				8				8				8			
9				9	5.5	データ無	360	9				9			
10				10				10				10	6.5	データ無	360
11				11				11	5.5	データ無	560	11			
12				12				12				12			
13				13				13				13	6.5	データ無	190
14				14				14				14			
15				15				15	5.5	データ無	560	15			
16				16				16				16	6.5	データ無	360
17				17				17				17			
18				18				18				18			
19				19				19				19			
20				20	5.5	データ無	360	20				20			
21				21				21				21			
22				22				22				22			
23				23				23	5.5	データ無	560	23	6.5	データ無	360
24				24				24				24			
25				25				25				25			
26				26	5.5	データ無	360	26	5.5	データ無	560	26			
27				27				27				27			
28				28				28				28	6.5	データ無	360
29				29				29	5.5	データ無	560	29			
30	4.0	データ無	360	30				30				30	6.5	データ無	360
31				31				31				31	6.5	データ無	360
32				32	5.5	データ無	360					32	6.5	データ無	360
33				33								33			
34				34								34			
35				35								35			
36				36								36	6.5	データ無	360
37				37	5.5	データ無	360					37			
38				38								38			
39				39								39			
40				40								40			
41				41								41	6.5	データ無	360
42				42								42			
43				43	5.5	データ無	360					43			
44				44								44	6.5	データ無	360
45				45								45			
46				46								46			
47				47	5.5	データ無	360					47			
48				48								48			
49				49	5.5	データ無	360					49	6.5	データ無	360
50				50								50			
51				51								51			
52				52								52	6.5	データ無	360
53				53	5.5	データ無	360					53			
54				54								54	6.5	データ無	360
55				55								55			
56				56								56			
57				57								57	6.5	データ無	360
58				58								58			
59				59								59			
60	4.0	データ無	360	60	5.5	データ無	190					60	6.5	データ無	360
61				61								61			
62												62			
63												63	6.5	データ無	360
64												64			
65												65			
66												66			
67															
68	4.0	データ無	360												
69															
70															
71															
72															
73															
74															
75															
76	4.0	データ無	360												
77															
78															
79															
80															
81															

表-5.3.5 幌加内トンネル ボーリング No. 別分類表 (4)

塊状蛇紋岩				葉片状蛇紋岩				葉片状～粘土状蛇紋岩				粘土状蛇紋岩			
幌加内 B-14 (L=42.0m)				幌加内 B-15 (L=65.0m)				幌加内 B-16 (L=88.0m)				幌加内 B-17 (L=105.0m)			
深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)	深度 (m)	鉛圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
1				1	5.5	データ無	360	1				1			
2				2				2				2			
3				3				3	5.5	データ無	360	3	5.5	データ無	360
4				4				4				4			
5				5	5.5	データ無	360	5				5			
6				6				6	5.5	データ無	360	6			
7				7				7				7			
8				8				8				8			
9				9	5.5	データ無	360	9				9			
10				10				10				10			
11				11				11				11			
12				12				12	5.5	データ無	360	12			
13				13	5.5	データ無	360	13				13			
14				14				14				14			
15				15				15				15	5.5	データ無	360
16				16				16				16			
17				17				17				17			
18				18	5.5	データ無	360	18	5.5	データ無	360	18			
19				19				19				19			
20				20				20				20			
21				21				21				21			
22				22				22				22			
23				23	5.5	データ無	360	23				23			
24				24				24				24			
25				25				25	5.5	データ無	360	25	5.5	データ無	360
26				26				26				26			
27	5.5	データ無	データ無	27	5.5	データ無	360	27				27			
28				28				28				28			
29				29				29				29			
30				30				30				30			
31				31				31				31			
32				32				32				32			
33				33	5.5	データ無	360	33	5.5	データ無	360	33	5.5	データ無	360
34				34				34				34			
35				35				35				35			
36				36	5.5	データ無	360	36				36			
37				37				37	5.5	データ無	360	37			
38				38				38				38			
39				39				39				39			
40				40				40	5.5	データ無	360	40			
41				41				41				41	5.5	データ無	360
42				42				42				42			
43				43				43				43			
				44				44				44			
				45	5.5	データ無	360	45				45			
				46				46				46	5.5	データ無	360
				47				47				47			
				48				48				48			
				49				49	5.5	データ無	360	49			
				50				50				50			
				51				51				51			
				52				52				52	5.5	データ無	360
				53				53				53			
				54	5.5	データ無	360	54				54			
				55				55				55			
				56				56	5.5	データ無	360	56			
				57				57				57			
				58				58				58			
				59				59				59			
				60	5.5	データ無	360	60				60	5.5	データ無	360
				61				61				61			
				62				62	5.5	データ無	360	62			
				63				63				63			
				64				64				64			
				65				65				65			
				66				66				66	5.5	データ無	360
				67				67				67			
				68				68	5.5	データ無	360	68			
				69				69				69			
				70				70				70			
				71				71				71			
				72				72				72			
				73				73				73			
				74				74	5.5	データ無	360	74			
				75				75				75			
				76				76				76			
				77				77				77			
				78				78				78			
				79				79				79			
				80				80				80			
				81				81				81			
				82				82	5.5	データ無	360	82			
				83				83				83			
				84				84				84			
				85				85				85			
				86				86	5.5	データ無	360	86			
				87				87				87			
				88				88				88			
				89				89				89			
				90				90				90			
				91				91				91			
				92				92				92			
				93				93				93			
				94				94				94			
				95				95				95			
				96				96				96			
				97				97				97			
				98				98				98			
				99				99				99			
				100				100				100			
				101				101				101			
				102				102				102			
				103				103				103			
				104				104				104			
				105				105				105			
				106				106				106			

【手順 2】

表-5.3.6 幌加内トンネル ボーリング No. 別平均算出表 (1)

機加内 B-2		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
7.0	326	350
6.5	397	350
6.0	364	350
6.0	316	350
6.0	178	350
5.1	167	350
5.0	183	350
5.0	202	350
5.0	157	350

機加内 B-3		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.0	データ無	データ無
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		
6.0		

機加内 B-4		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
8.0	225	データ無
8.0	175	
8.0	220	
8.0	235	
8.0	235	
8.0	235	
8.0	235	
8.0	235	

機加内 B-5		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		190

表-5.3.7 幌加内トンネル ボーリング No. 別平均算出表 (2)

機加内 B-6		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
機加内 B-7		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.0	データ無	360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
5.0		360
機加内 B-8		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
3.0	データ無	360
3.0		360
3.0		360
3.0		360
3.0		360
3.0		360
3.0		360
3.0		360
3.0		360
機加内 B-9		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
3.5	データ無	360
3.5		360
3.5		360
3.5		360
3.5		360

表-5.3.8 幌加内トンネル ボーリング No. 別平均算出表 (3)

機加内 B-10		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
4.0	データ無	360
4.0		360
4.0		360
4.0		360

機加内 B-11		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		190

機加内 B-12		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	560
5.5		560
5.5		560
5.5		560
5.5		560
5.5		560
5.5		560

機加内 B-13		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
6.5	データ無	360
6.5		360
6.5		360
6.5		190
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360
6.5		360

4.0	-	360
(MPa)	(cm/時)	(rpm)

5.5	-	343
(MPa)	(cm/時)	(rpm)

5.5	-	560
(MPa)	(cm/時)	(rpm)

6.5	-	351
(MPa)	(cm/時)	(rpm)

表-5.3.9 幌加内トンネル ポーリング No. 別平均算出表 (4)

機加内 B-14		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	データ無
5.5		
5.5		
5.5		
5.5		

機加内 B-15		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360

機加内 B-16		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360

機加内 B-17		
給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
5.5	データ無	360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360
5.5		360

5.5 (MPa)	- (cm/時)	- (rpm)
5.5	-	360

5.5 (MPa)	- (cm/時)	360 (rpm)
5.5	-	360

5.5 (MPa)	- (cm/時)	360 (rpm)
5.5	-	360

5.5 (MPa)	- (cm/時)	360 (rpm)
5.5	-	360

表-5.3.6～表-5.3.9の結果を総括として表-5.3.10に示す。

表-5.3.10 幌加内トンネル 機械データ総括表

Br No,	Br掘進長 (m)	給圧 (MPa)	掘進速度 (cm/時)	回転数 (rpm)
幌加内 B-2	81.0	5.7	254	350
幌加内 B-3	87.5	5.9	—	—
幌加内 B-4	55.0	8.0	225	—
幌加内 B-5	50.0	5.5	—	326
幌加内 B-6	82.0	5.5	—	360
幌加内 B-7	71.0	5.0	—	360
幌加内 B-8	42.0	3.0	—	360
幌加内 B-9	48.0	3.5	—	360
幌加内 B-10	80.0	4.0	—	360
幌加内 B-11	60.0	5.5	—	343
幌加内 B-12	30.0	5.5	—	560
幌加内 B-13	65.0	6.5	—	326
幌加内 B-14	42.0	5.5	—	—
幌加内 B-15	65.0	5.5	—	360
幌加内 B-16	88.0	5.5	—	360
幌加内 B-17	105.0	5.5	—	360
AVE	65.7 (m)	5.4 (MPa)	240 (cm/時)	368 (rpm)

掘進長から考察すると、幌加内トンネルでの掘進長の平均では 66m に対し、音中トンネルでは 33m、音威子府トンネルでは 105m から見るとほぼ中間に位置する。これは葉片状主体であることから、粘土状までは悪くなく、塊状までは良くはないとの感覚である。

次いで給圧を見ると、幌加内トンネルでの平均値で 5MPa に対し音威子府トンネルの平均値は 4MPa であり、多少の差異ではあるものの幌加内トンネルの葉片状は音威子府トンネルの塊状と比較すれば、葉片状のほうが脆弱なため給圧が必要だったことが伺える。

掘進速度では記録が少なく参考程度とし、回転数については幌加内トンネルでの平均値が 370rpm であり、音威子府トンネルとほぼ同程度の数値であった。

【手順 3】

表-5.3.11 幌加内トンネル 蛇紋岩別の先進ボーリングマシン各作動の平均算出表

[illegible]

5-3-3 ボーリングコアから得られたデータ

(1) 蛇紋岩形態別介在率

蛇紋岩の形態は、2-1-2 で記述したように、塊状・葉片状・粘土状と主に 3 種類に分別される。本研究においてもこの 3 種類を基本として、形態別介在率の数値化を試みる。幌加内トンネルでの蛇紋岩区間における先進ボーリングは B-2～B-17 の全 16 本から、先進ボーリング毎に図-4.3.1 の算出方法に基づいて形態別介在率の算出を行った。表-5.3.12 と図-5.3.4 が全 16 本の結果である。この結果から、B-2 や B-5 において粘土状率が半数の 50% を超過するものの、全体から見ると、葉片状率で半数の 50%以上を占める結果となった。

表-5.3.12 幌加内トンネル 形態別介在率の結果表

Br No,	Br掘進長 (m)	蛇紋延長 (m)	塊状率 (%)	葉片状率 (%)	粘土状率 (%)	
B-2	81.0	64.5	2	35	64	
B-3	87.0	87.0	17	61	22	
B-4	55.0	55.0	25	46	29	
B-5	50.0	48.5	16	32	52	
B-6	82.0	82.0	34	42	24	
B-7	71.0	71.0	53	47	0	
B-8	42.0	42.0	38	29	33	
B-9	48.0	48.0	27	73	0	
B-10	80.0	77.0	15	85	0	
B-11	60.0	60.0	38	60	3	
B-12	30.0	26.5	51	34	15	
B-13	65.0	62.5	43	40	17	
B-14	42.0	42.0	58	42	0	
B-15	65.0	64.0	37	63	0	
B-16	88.0	88.0	24	76	0	
B-17	105.0	67.0	23	74	3	
合計	1051.0	985.0	平均	31	52	16

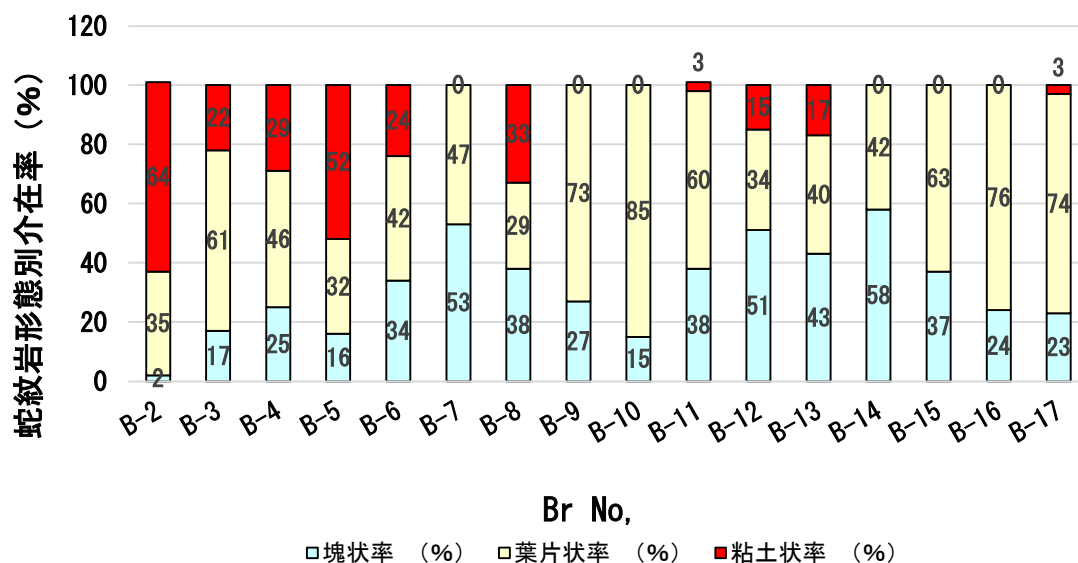


図-5.3.4 幌加内トンネル 形態別介在率の比率

(2) 一軸圧縮強度と地山強度比

地山強度比の算出は、準岩盤圧縮強度を用いた地山強度比の算出式で各ボーリングごとに求めた。針貫入は実施されていない。その結果を表-5.3.13に示す。

表-5.3.13 幌加内トンネル 地山強度比の算出結果一覧表

Br No.	【基礎情報】		【圧縮強度種類】			【地山強度比】			備 考
	単位体積重量 γ (kN/m^3)	土被り H (m)	a 準岩盤 圧縮強度 σ_c (kN/m^2)	b 針貫入 (回帰式) qu① (kN/m^2)	c 針貫入 (推定式) qu② (kN/m^2)	A	B	C	
B-2	24.8	46	11,120	—	—	9.75	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-3	25.2	59	15,980	—	—	10.75	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-4	23.6	73	5,163	—	—	3.00	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-5	23.7	82	4,826	—	—	2.48	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-6	23.7	92	4,488	—	—	2.06	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-7	23.6	110	7,885	—	—	3.04	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-8	23.0	128	5,645	—	—	1.92	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-9	22.5	134	343	—	—	0.11	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-10	22.2	130	810	—	—	0.28	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-11	23.5	118	7,753	—	—	2.80	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-12	22.5	111	125	—	—	0.05	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-13	24.3	111	510	—	—	0.19	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-14	24.2	113	390	—	—	0.14	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-15	23.5	101	70	—	—	0.03	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-16	25.3	73	7,735	—	—	4.19	—	—	針貫入サンプル数: 0
B-17	24.9	44	2,415	—	—	2.20	—	—	針貫入サンプル数: 0
平均	23.8	95	4,704	—	—	2.69	—	—	

地山強度比の算出結果では、0.03～10.75 と広範囲の結果であった。ここでこの結果と基準で示される地山分類で設定される地山強度比の値を比較すると、日本道路協会が設定する最大装備となる支保パターン DⅡでは地山強度比は「2～1」、北海道開発局が設定する最大装備となる支保パターン E では「1 以下」であり、上記表での地山強度比が大きい B-2 と B-3 を除外して考えると、平均で約 1.6 となるため DⅡ相当に位置することがわかる。

(3) 鉱物

蛇紋岩区間における先進ボーリング調査は、B-2～B-17 の計 16 本が実施されているが、16 本すべてで X 線回折試験が行われている。X 線回折結果を表-5.3.14 に示す。この結果から特徴的なのは、蛇紋岩の主要な構成鉱物とされるクリソタイル・リザーダイトが極多量として検出されていることはもちろんのこと、加えてブルーサイト・マグネタイトの検出があり、特にブルーサイトが極多量であった。その反面に膨張性粘土鉱物であるスメクタイト（モンモリロナイト）はほぼ検出されていないことが挙げられる。また孔内湧水も少量であることから、膨張、膨潤の可能性はほぼ皆無と言っても過言ではない。

表-5.3.14 幌加内トンネル X線回折試験結果一覧

幌加内トンネル

凡例 ◎：極多量 ○：多量 △：中量 +：少量 -：微量 ・：検出無し

ボーリング No.	孔内 湧水	サンプル No.	蛇紋岩 形態	含有鉱物名称												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
				アンコ ライト	クリ ナイト	リゼ ナイト	トロ ナイト	マカ ナイト	マカ ナイト	ブー ナイト	カル ナイト	クロ ナイト	サヘ ナイト	パイ ナイト	ビ ナイト	ス ナイト
				Ant	Chr	Riz	Dol	Mgs	Mt	Br	Cal	Chl	Sp	Pya	Heaz	Sm
B-2	染出	①	粘土状	・	◎	◎	・	・	△	△	・	・	・	△	・	・
		②	葉片状	・	◎	◎	・	・	・	△	・	・	・	・	・	・
B-3	染出	①	塊状	・	・	・	・	・	+	△	・	・	○	・	・	・
		②	粘土状	・	・	・	・	・	△	+	・	・	○	・	-	・
		③	葉片状	・	・	・	・	・	△	○	・	・	△	・	-	・
		④	塊状	・	・	・	・	・	+	△	・	・	○	・	-	・
B-4	染出	①	葉片状～粘土状	・	◎	◎	・	・	・	◎	・	・	・	・	・	・
		②	葉片状～粘土状	・	◎	◎	・	・	+	○	・	・	・	・	・	・
		③	粘土状～葉片状	・	◎	◎	・	・	・	・	・	・	・	◎	・	・
B-5	20ℓ/min	①	粘土状	・	◎	◎	・	・	△	◎	・	・	・	+	・	・
B-6	染出	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	◎	・	・	・	・	・	・
B-7	染出	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	◎	・	・	・	・	・	・
B-8	0.5ℓ/min	①	粘土状	・	◎	◎	・	・	+	○	・	・	・	・	・	・
		②	粘土状	・	◎	◎	・	・	+	◎	・	・	・	・	・	・
B-9	0.5ℓ/min	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	+	・	・	・	・	・	・
		②	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	◎	・	・	・	・	・	・
		③	葉片状	・	◎	◎	・	・	・	◎	・	・	・	・	・	・
		④	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	○	・	・	・	・	・	・
B-10	4.5ℓ/min	①	葉片状	・	◎	・	・	・	+	◎	・	・	・	△	・	-
		②	葉片状	・	◎	・	・	・	△	○	・	・	・	・	・	・
B-11	なし	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・
		②	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	◎	・	・	・	・	・	・
B-12	0.5ℓ/min	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	◎	・	・	・	・	・	・
B-13	0.8ℓ/min	①	塊状	・	◎	◎	・	・	△	○	・	・	・	・	・	・
B-14	なし	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	△	○	・	・	・	・	・	・
B-15	なし	①	葉片状	・	◎	◎	・	・	+	○	・	・	・	・	・	・
		②	葉片状	・	◎	◎	・	・	+	○	・	・	・	・	・	・
B-16	なし	①	葉片状	◎	・	・	・	・	+	◎	○	・	・	・	・	・
		②	塊状	◎	・	・	・	・	◎	-	・	・	・	・	・	・
		③	葉片状	◎	・	・	・	・	-	○	・	・	・	・	・	・
B-17	6.5ℓ/min	①	葉片状	◎	・	・	・	・	+	◎	・	・	・	・	・	・
		②	葉片状	◎	・	・	・	+	・	・	・	・	・	△	・	・

5-3-4 計測から得られたデータ

これまで、掘削前に得られる先進ボーリングの機動状況やコアから物性試験などによって得られるデータの結果を示してきたところであるが、これからは掘削後に得られる計測結果について記していく。計測は計測 A と計測 B の結果について分類し記述していくが計測 A と計測 B の概説については 4-4 に記述したとおりである。

ここで考えなければならないことは、計測結果へ影響するものとして、掘削対象の岩種や先進ボーリングから得られたコアの物性試験値、土被りなどがあるが、人工的に構築される支保構造としての鋼製支保工規格や吹付けコンクリートの厚さ、その他に掘削方法としての上下半ショートベンチ掘削や全断面掘削、これに関連してサイクルタイムが考えられる。

計測 A・B の結果の前に、各先進ボーリング区間と対比した支保構造も記していく。

(1) 支保構造

幌加内トンネルの蛇紋岩区間における支保構造は、当初設計において標準設計を用いることができないと判断し、これまでの類似条件を用いて支保構造が決定された。施工における支保構造パターンの配置を図-5.3.5 に、支保構造の詳細を表-5.3.15 に示す。

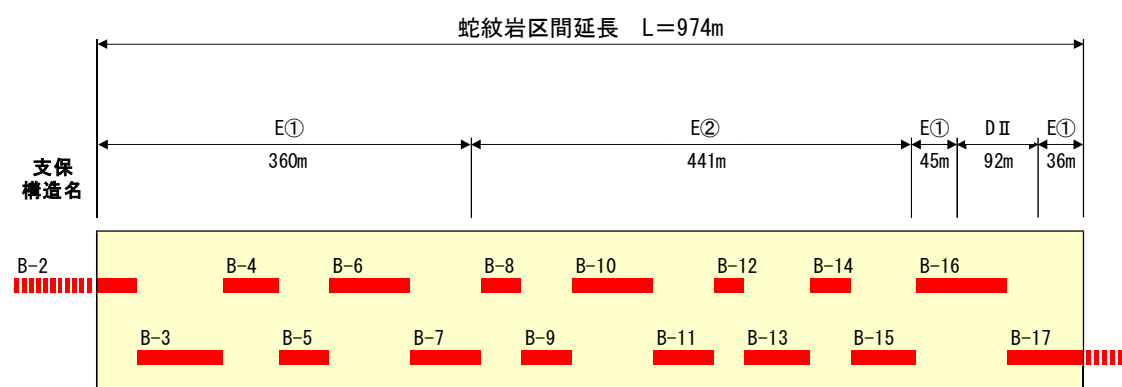


図-5.3.5 幌加内トンネル 蛇紋岩区間における支保構造パターンの配置

表-5.3.15 幌加内トンネル 蛇紋岩区間における支保構造詳細

掘進方向						
支保構造パターン名		E① (@0.9m)	E② (@0.9m)	E① (@0.9m)	DⅡ (@1.0m)	E① (@0.9m)
延長 m		360	441	45	92	36
一次支保	鋼製支保工 H	上半200 下半150	上半200 下半150	上半200 下半150	上半150 下半150	上半200 下半150
	吹付コンクリート cm	標準 上半25 下半25	高強度 上半25 下半25	標準 上半25 下半25	標準 上半20 下半20	標準 上半25 下半25
	ロックボルト	上半4m：18本 下半6m：4本	上半4m：18本 下半6m：4本	上半4m：18本 下半6m：4本	上半4m：14本 下半4m：2本	上半4m：18本 下半6m：4本
	変形余裕量 cm	上半15 下半—	上半15 下半—	上半15 下半—	上半10 下半—	上半15 下半—
二次支保	鋼製支保工 H	—	—	—	—	—
	吹付コンクリート cm	—	—	—	—	—
	ロックボルト	—	—	—	—	—
	変形余裕量 cm	—	—	—	—	—
インバート	一次	鋼製支保工 H	150	150	150	150
		吹付コンクリート cm	標準 20	高強度 20	標準 20	標準 20
	二次	鋼製支保工 H	—	—	—	—
		吹付コンクリート cm	—	—	—	—
	曲率半径 上半R×		3	3	3	3

蛇紋岩区間の施工にあたっては表-5.3.15の支保構造パターン名でのE①で施工が開始された。E①やそれ以奥での施工状況や計測Aの結果を踏まえ、順次支保構造パターンの見直しを行いながら施工を進めた。

(2) 計測 A

幌加内トンネルの蛇紋岩区間における計測 A は、蛇紋岩延長 974m の区間で 110 箇所断面で実施されている。当区間における先進ボーリングと対比させた計測位置は図-5.3.6 のとおりである。

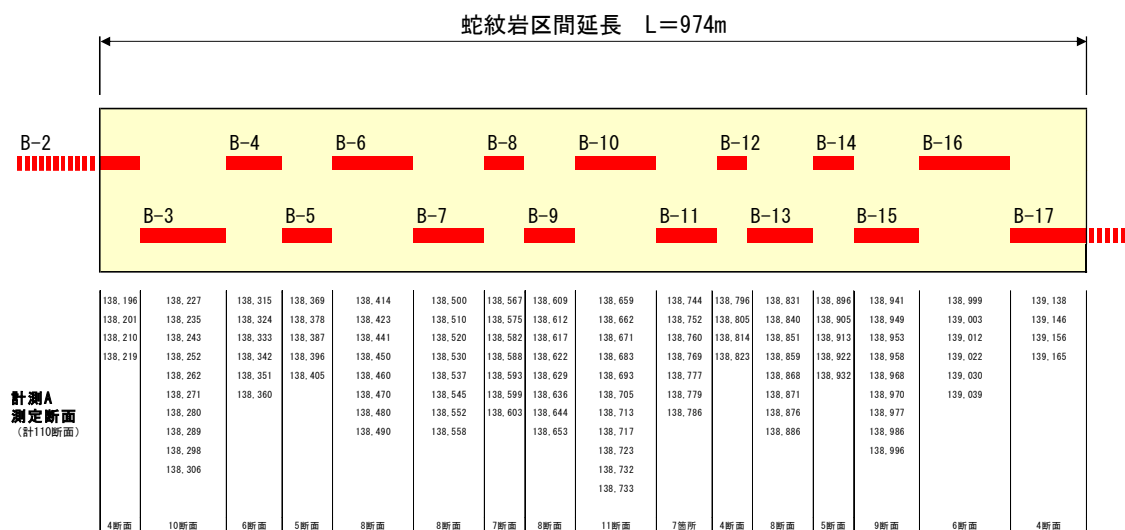


図-5.3.6 幌加内トンネル先進ボーリング位置と計測 A 測定測点

計測された各測点毎の上下半の計測開始から、経過日数および切羽離れ、収束に向かう切
合点、収束の判断、そして、最終計測値を表-5.3.16 にまとめた。

表-5.3.16 幌加内トンネル 最終収束が確認できた計測経緯

	日時	経過 日数 (日)	切羽 離れ (m)	変位 [A] (mm)	変位 [B] (mm)	変位 [C] (mm)	変位 [D] (mm)	沈下 [天端] (mm)	沈下 [左上] (mm)	沈下 [右上] (mm)	沈下 [左下] (mm)	沈下 [右下] (mm)
①	2009/1/21 19:02	0	0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		
②	2009/2/5 10:12	15	16	-20.3	-18.0	-79.3	0.0	-57.8	-85.8	-66.9	0.0	0.0
③	2009/3/13 19:27	51	61	-24.6	-25.5	-93.6	-16.7	-70.8	-99.9	-80.3	-18.5	-19.9
	2009/4/3 14:39	72	91	-25.6	-25.4	-94.8	-17.6	-72.4	-101.4	-80.4	-20.2	-20.5
	2009/4/10 16:05	79	102	-25.3	-25.3	-94.8	-17.5	-72.3	-101.6	-80.2	-20.1	-20.8
④	2009/4/16 14:29	85	119	-25.4	-25.5	-94.9	-17.8	-72.5	-101.3	-80.1	-20.3	-20.5
⑤	2009/9/12 15:48	234	294	-26.4	-26.2	-98.0	-21.3	-72.5	-101.0	-80.1	-21.0	-21.1

※1 ①：上半初期値、②：下半初期値、③：収束に向けた切合点値、④収束確認値、⑤最終値

※2 ⑤最終値の収束確認

$$\text{差引} a \text{ (mm)} = \text{変位量⑤} - \text{変位量④}$$
$$\text{日数b (日)} = \text{測定日⑤} - \text{測定日④}$$
$$\text{月数}c(\text{月}) = b \div 30\text{日/月}$$
月あたり変位量d (mm) = $a \div c$

判定：月2mm以内

[illegible]

収束の判断としては、道路トンネル観察・計測指針より、変位速度が1～3mm/月以下となったことを2週連続して確認できた場合に収束したとみなし測定を終了してもよい。なお、この値は変位速度なので週あたりに換算すると1mm/週程度となる³⁹⁾。とのことから、1mm/週未満を2週連続でできたときを判断基準とした。また、最終収束確認としては、一時収束が確認された後、最終測定日を最終値として、その期間における1月当たり、膨張性、膨潤性の蛇紋岩が対象であることから、安全側を見込んで2mm未満であれば最終収束として判断することとした。

表-5.3.16 の最終収束が確認できた計測経緯では、計測開始から④行の計測経過日数85日目、切羽離れ119mで一時収束が確認され、その後、約5か月後に測定した最終計測では、月当たり0.1mm～-0.7mmの変位であり、月当たりの平均変位が±2mm未満であることから、この測点では最終収束が確認できると判断した。

表-5.3.17 (A) (B) (C) は計測Aの110断面の内空変位量および沈下量の最終計測値と蛇紋岩形態別を表にまとめたものであり、各測点での最大値と平均値に着色して示す。内空変位では断面No, 43のC測線において最大の-116.4mm、測線別の最大平均ではC測線の-64.4mm、沈下量においては断面No, 92の-101.0mmが最大であり、測点別の最大平均値は3測点での-55.4mmであった。

表-5.3.17 (A) 幌加内トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 No.	計測 測点	収束経緯		計測期間		計測 回数 (回)	最終測定日の内腔変位量 (mm)				最終測定日の沈下量 (mm)					Br No.	塊状 量 (%)	葉片状 量 (%)	粘土状 量 (%)	蛇紋 岩形 態		
		一時収束と切羽離れ (m)	変位再開	最終収束	日数 (日)		月数 (月)	A	B	C	D	1	2	3	4						5	
1	138,196	○	×	110	×	58	-21.2	-21.0	-68.4	-9.3	-61.0	-69.2	-61.7	-5.0	-1.6	B-2	2	35	64	粘土状 主体		
2	138,201	○	×	521	17.4	101	1.3	8.3	-20.2	-9.1	-47.5	-67.9	-63.5	-14.0	-9.2							
3	138,210	○	×	533	17.8	100	-14.0	-26.2	-41.2	-10.6	-58.5	-70.8	-75.9	-17.2	-11.0							
4	138,219	○	×	528	17.6	99	10.8	19.1	-42.6	-7.6	-42.8	-87.1	-73.5	-0.4	-6.5							
5	138,227	○	×	513	17.1	98	-2.7	-15.1	-39.8	-12.8	-40.1	-79.3	-69.0	-19.8	-19.3	B-3	17	61	22	葉片状 主体		
6	138,235	○	×	509	17.0	95	-3.6	-16.6	-42.9	-19.9	-59.3	-56.2	-43.2	-13.1	-9.2							
7	138,243	○	×	506	16.9	100	-12.2	-21.8	-60.9	-10.5	-64.0	-58.0	-60.4	-11.4	-8.7							
8	138,252	○	×	497	16.6	92	-5.6	-13.5	-36.9	-8.0	-37.3	-50.3	-42.0	-16.9	-19.4							
9	138,262	○	×	492	16.4	99	-1.4	-2.3	-23.0	-10.2	-21.2	-37.8	-28.5	-12.8	-9.8	B-4				葉片状 主体		
10	138,271	○	×	521	17.4	113	-10.9	-23.8	-63.9	-15.1	-42.9	-54.8	-56.8	-3.4	1.7							
11	138,280	○	×	510	17.0	104	-7.6	-16.8	-38.7	-9.7	-36.3	-44.6	-38.4	-14.5	-10.9							
12	138,289	○	×	507	16.9	113	-10.7	-10.5	-21.0	-13.6	-19.2	-46.6	-20.3	-21.7	-21.7							
13	138,298	○	×	503	16.8	114	-12.3	-10.6	-49.5	-14.1	-32.7	-50.9	-41.6	-6.9	-8.0	B-5			52	粘土状 主体		
14	138,306	○	×	500	16.7	110	-15.3	-17.2	-71.1	-9.3	-41.3	-78.3	-43.7	-6.2	-8.2							
15	138,315	○	×	480	16.0	122	-20.6	-18.6	-66.9	-14.3	-52.1	-69.2	-58.2	-12.2	-11.0							
16	138,324	○	×	475	15.8	130	-9.9	-23.7	-68.7	-21.5	-61.4	-71.9	-85.6	-8.7	-11.2							
17	138,333	○	×	462	15.4	131	-13.2	-18.8	-71.5	-0.5	-57.5	-88.7	-67.7	-10.4	-12.5	B-6	25	46	29	葉片状 主体		
18	138,342	○	×	459	15.3	124	-17.4	-22.9	-71.3	-3.3	-49.0	-65.5	-58.9	-12.8	-11.1							
19	138,351	○	×	434	14.5	109	-6.6	-22.7	-61.8	-6.6	-25.7	-38.9	-61.0	-7.1	-5.3							
20	138,360	○	×	485	16.2	114	-13.4	-10.5	-65.5	1.7	-35.3	-41.8	-74.9	-6.5	-4.2							
21	138,369	○	×	476	15.9	113	-9.2	-21.6	-65.2	-3.1	-31.3	-47.5	-49.8	-5.0	-5.1	B-7	16	32	52	粘土状 主体		
22	138,378	○	×	464	15.5	102	-15.3	-11.2	-42.6	-2.2	-31.0	-37.1	-36.8	-4.3	-2.5							
23	138,387	○	×	456	15.2	103	-2.8	-15.4	-23.1	-5.9	-27.7	-27.5	-28.8	-6.8	-12.0							
24	138,396	○	×	451	15.0	113	-14.4	-11.0	-40.5	-13.3	-29.6	-40.2	-41.4	-3.7	1.0							
25	138,405	○	×	424	14.1	111	-4.3	-11.8	-58.5	-9.1	-5.2	-35.7	-24.9	-11.3	-1.0	B-8			24	葉片状 主体		
26	138,414	○	×	430	14.3	101	-6.1	-12.2	-46.3	-14.6	-16.7	-38.0	-24.7	-2.4	1.1							
27	138,423	○	×	398	13.3	96	-10.8	-14.6	-46.0	-13.8	-20.8	-35.3	-25.1	0.0	4.1							
28	138,441	○	×	415	13.8	90	-17.6	-14.0	-57.9	-20.5	-31.9	-44.0	-43.7	-2.8	0.1							
29	138,450	○	×	423	14.1	91	-14.7	-12.3	-43.8	-14.5	-32.6	-44.5	-38.0	-3.1	-2.8	B-9				塊状 主体		
30	138,460	○	×	415	13.8	84	-15.6	-11.5	-32.3	-21.0	-30.2	-36.5	-33.8	-3.2	-1.8							
31	138,470	○	×	410	13.7	94	-8.9	-21.6	-49.7	-16.2	-19.8	-31.6	-23.2	-0.7	-1.2							
32	138,480	○	×	102	×	87	-16.1	-13.2	-44.9	-18.7	-31.0	-37.4	-40.0	0.3	-0.4							
33	138,490	○	×	93	×	388	12.9	103	-13.7	-19.2	-53.2	-15.3	-40.0	-52.8	-41.4	-6.2	-7.5	B-10				塊状 主体
34	138,500	○	×	135	×	447	14.9	88	-15.6	-17.8	-64.0	-18.2	-34.1	-54.8	-40.4	-10.0	-9.4					
35	138,510	○	×	89	×	444	14.8	105	-25.7	-23.8	-81.3	-22.5	-44.9	-76.9	-57.8	-11.3	-3.3					
36	138,519	○	×	96	×	440	14.7	122	-22.7	-28.1	-92.1	-30.9	-51.6	-69.3	-70.5	-7.4	-8.9					
37	138,529	○	×	431	14.4	123	-18.6	-27.1	-91.0	-16.4	-47.6	-60.4	-59.1	-9.3	-5.5	B-11	53	47	0	塊状 主体		
38	138,537	○	×	429	14.3	125	-13.6	-22.5	-57.1	-17.8	-47.6	-60.4	-59.1	-9.3	-9.1							
39	138,545	○	×	424	14.1	128	-18.4	-23.4	-87.5	-21.5	-56.9	-85.6	-72.8	-5.9	-5.0							
40	138,552	○	×	407	13.6	125	-23.3	-27.9	-86.1	-23.6	-62.2	-76.7	-75.2	-13.0	-10.3							
41	138,558	○	×	93	×	413	13.8	113	-20.4	-20.8	-76.3	-21.2	-54.0	-68.4	-74.9	-3.3	-3.8					

表-5.3.17 (B) 幌加内トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 NO.	計測 地点	収束経緯			計測期間		最終測定日の内空変位量 (mm)					最終測定日の沈下量 (mm)					蛇紋 岩形 態	
		一時収束と切羽掘れ (a)	変位再開	最終位置	日数 (日)	月数 (月)		A	B	C	D	1	2	3	4	5		
42	138.567	○	182	×	○	406	13.5	116	-30.2	-14.8	-89.5	-18.0	-60.0	-78.8	-85.0	-4.0	-4.6	塊状 主体
43	138.575	○	91	×	○	385	12.8	112	-32.7	-28.8	-116.4	-30.0	-60.4	-77.8	-90.4	-7.1	-6.8	
44	138.582	○	96	×	○	380	12.7	120	-20.1	-27.4	-96.5	-23.1	-56.7	-84.4	-78.6	-0.6	-1.2	
45	138.588	○	108	×	○	379	12.6	115	-18.1	-25.1	-77.0	-19.0	-46.9	-63.7	-58.7	-2.8	-4.4	
46	138.593	○	104	×	○	377	12.6	128	-31.5	-18.6	-78.9	-15.2	-50.1	-37.9	-80.6	-12.7	-4.5	
47	138.599	○	97	×	○	425	14.2	112	-15.7	-23.7	-77.2	-16.1	-36.9	-18.7	-92.9	-4.0	-5.6	塊状 主体
48	138.603	○	92	×	○	421	14.0	110	-16.4	-16.6	-68.0	-16.3	-24.5	-24.4	-74.1	-1.7	-5.2	
49	138.609	○	95	×	○	417	13.9	105	-17.8	-21.3	-67.1	-22.5	-29.5	-26.4	-57.7	-10.1	-13.5	
50	138.612	○	89	×	○	414	13.8	107	-10.7	-27.9	-71.9	-20.2	-24.3	-37.2	-52.9	-7.8	-8.3	
51	138.617	○	86	×	○	407	13.6	105	-22.8	-15.1	-61.6	-24.8	-29.8	-17.4	-60.8	-5.9	-8.3	
52	138.622	○	79	×	○	406	13.5	106	-24.2	-28.3	-92.4	-22.2	-49.0	-69.1	-63.1	-7.9	-10.2	塊状 主体
53	138.629	○	108	×	○	401	13.4	120	-21.2	-25.3	-77.6	-23.5	-46.7	-52.2	-67.5	-4.2	-6.4	
54	138.636	○	71	×	○	397	13.2	120	-26.3	-25.1	-87.1	-27.0	-48.9	-57.9	-69.2	-2.2	-9.7	
55	138.644	○	67	×	○	398	13.3	118	-28.5	-23.8	-95.9	-21.6	-55.5	-80.4	-68.6	-5.6	-8.0	
56	138.653	○	109	×	○	381	12.7	108	-27.3	-23.5	-106.5	-24.7	-44.5	-78.4	-73.0	-7.6	-7.1	
57	138.659	○	102	×	○	377	12.6	104	-18.9	-24.7	-83.0	-29.4	-50.1	-65.6	-70.1	-7.8	-6.2	塊状 主体
58	138.662	○	94	×	○	375	12.5	114	-24.6	-32.5	-90.3	-29.7	-58.8	-66.6	-73.8	-9.8	-10.6	
59	138.671	○	87	×	○	370	12.3	109	-21.5	-23.2	-78.8	-26.3	-45.0	-56.8	-66.1	-9.2	-6.5	
60	138.683	○	104	×	○	399	13.3	125	-14.9	-15.0	-73.6	-12.6	-29.0	-36.0	-63.3	-4.4	-8.4	
61	138.693	○	96	×	○	363	12.1	115	-5.5	-17.7	-55.4	-22.3	-18.4	-12.3	-60.0	-8.6	-11.2	
62	138.705	○	142	×	○	357	11.9	115	-18.3	-19.8	-67.2	-25.8	-29.2	-22.9	-60.9	1.6	-7.1	塊状 主体
63	138.713	○	162	×	○	355	11.8	131	-12.0	-23.9	-60.5	-19.6	-37.6	-28.3	-70.3	-3.8	-8.5	
64	138.717	○	137	×	○	347	11.6	122	-10.4	-18.0	-54.4	-23.0	-30.9	-24.1	-65.9	-5.1	-10.4	
65	138.723	○	135	×	○	350	11.7	125	-9.2	-22.5	-69.6	-12.5	-28.3	-28.2	-59.1	-2.1	-4.8	
66	138.732	○	143	×	○	334	11.1	90	-12.4	-22.7	-66.9	-25.0	-30.5	-30.4	-67.8	-5.6	-9.4	
67	138.733	○	108	×	○	332	11.1	111	-7.9	-23.2	-49.5	-25.2	-32.7	-24.8	-64.7	-6.3	-10.0	塊状 主体
68	138.744	○	91	×	○	344	11.5	95	-19.4	-32.3	-81.6	-26.9	-43.7	-42.6	-66.4	-5.4	-5.5	
69	138.752	○	80	×	○	339	11.3	108	-19.8	-32.7	-68.6	-28.2	-56.5	-68.1	-75.6	-8.4	-8.0	
70	138.760	○	74	×	○	336	11.2	125	-26.6	-25.8	-86.3	-20.5	-74.5	-81.5	-93.4	-5.7	-5.2	
71	138.769	○	126	×	○	331	11.0	117	-28.5	-32.3	-109.4	-19.2	-71.1	-97.5	-96.8	-8.8	-5.9	
72	138.777	○	123	×	○	309	10.3	105	-26.6	-23.8	-76.2	-8.7	-59.6	-88.5	-68.5	-9.3	-5.5	塊状 主体
73	138.779	○	120	×	○	309	10.3	109	-22.4	-23.2	-83.2	-27.6	-68.1	-89.6	-87.1	-15.5	-10.3	
74	138.786	○	79	×	○	303	10.1	114	-23.4	-32.5	-97.5	-29.1	-63.6	-68.4	-97.4	-9.8	-10.4	

表-5.3.17 (C) 幌加内トンネル 計測 A 最終値と蛇紋岩形態

断面 NO.	計測 地点	収束経緯		計測期間		計測 回数 (回)	最終測定日の内空変位量 (mm)				最終測定日の沈下量 (mm)					塊状 岩 (%)	鱗片状 岩 (%)	粘土状 岩 (%)	蛇紋 岩 種別
		一時収束と切羽離れ (m)	最終収束	日数 (日)	月数 (月)		A	B	C	D	1	2	3	4	5				
75	138.796	○	136	×	296	9.9	-13.2	-31.3	-62.7	-15.7	-43.7	-41.5	-68.4	-2.5	-5.5				
76	138.805	○	127	×	287	9.6	-14.3	-22.5	-63.2	-20.0	-36.1	-54.9	-40.1	-5.6	-4.4		15		
77	138.814	○	119	×	282	9.4	-13.2	-23.3	-64.6	-10.5	-36.6	-71.3	-28.1	-3.1	-1.0		34		
78	138.823	○	115	×	263	8.8	-18.4	-29.7	-71.4	-13.1	-42.6	-74.0	-24.3	-5.7	-3.7		51		
79	138.831	○	110	×	267	8.9	-22.6	-20.7	-68.0	-14.2	-52.9	-69.4	-55.4	-9.4	-4.3				
80	138.840	○	122	×	283	9.4	-24.9	-25.5	-86.8	-16.1	-63.6	-67.5	-90.2	-12.0	-13.9				
81	138.851	○	119	×	278	9.3	-23.6	-24.8	-88.1	-13.2	-50.9	-66.5	-71.0	-7.4	-7.8				
82	138.859	○	113	×	275	9.2	-17.1	-20.5	-65.7	-13.5	-39.6	-60.9	-43.4	-6.3	-4.5		40	17	塊状 主体
83	138.868	○	128	×	282	9.4	-24.8	-19.7	-77.1	-16.7	-52.4	-74.3	-60.5	-12.1	-12.5				
84	138.871	○	94	×	279	9.3	-24.0	-22.1	-78.8	-6.2	-52.5	-73.0	-52.6	-12.8	-7.7				
85	138.876	○	91	×	277	9.2	-30.9	-20.1	-94.6	-21.9	-57.5	-95.7	-64.3	-12.7	-12.0				
86	138.886	○	87	×	265	8.8	-27.7	-32.9	-89.4	-15.1	-61.2	-74.5	-52.6	-9.8	-11.8				
87	138.896	○	102	×	262	8.7	-20.0	-17.9	-89.2	-14.9	-41.2	-81.2	-54.9	-13.4	-11.5				
88	138.905	○	92	×	251	8.4	-12.0	-22.7	-64.4	-15.4	-60.5	-74.4	-71.0	-5.5	-3.3		58	42	0
89	138.913	○	84	×	248	8.3	-22.0	-23.4	-54.1	-13.9	-58.7	-71.4	-47.2	-12.2	-13.0				
90	138.922	○	115	×	240	8.0	-31.6	-19.7	-63.9	-12.5	-56.4	-62.8	-48.1	-3.8	-2.1				
91	138.932	○	72	×	243	8.1	-21.2	-24.4	-77.3	-21.3	-58.6	-73.5	-66.1	-9.8	-7.2				
92	138.941	○	64	×	240	8.0	-17.7	-25.2	-82.0	-25.3	-54.6	-75.8	-68.3	-13.4	-8.5				
93	138.949	○	54	×	234	7.8	-26.4	-26.2	-98.0	-21.3	-72.5	-101.0	-80.1	-21.0	-21.1				
94	138.953	○	105	×	233	7.8	-21.7	-20.5	-84.3	-14.0	-63.3	-85.0	-80.0	-8.2	-6.8				
95	138.958	○	98	×	227	7.6	-17.0	-22.6	-74.8	-16.8	-61.1	-77.0	-73.5	-8.2	-7.3		37	63	0
96	138.968	○	72	×	217	7.2	-14.3	-20.9	-66.6	-25.1	-48.7	-63.9	-71.6	-10.1	-9.6				
97	138.971	○	93	×	215	7.2	-19.0	-30.8	-90.7	-10.7	-41.4	-60.3	-56.7	-6.4	-7.3				
98	138.977	○	87	×	271	9.0	-23.1	-27.5	-90.3	-27.2	-47.4	-59.3	-68.2	-10.2	-9.1				
99	138.986	○	80	×	266	8.9	-26.4	-22.1	-83.3	-17.4	-44.3	-56.2	-57.3	-8.5	-7.2				
100	138.996	○	98	×	274	9.1	-18.7	-10.6	-35.3	-6.8	-35.1	-42.1	-39.2	-3.2	-1.3				
101	138.999	○	92	×	256	8.5	-17.2	-12.0	-40.5	-4.0	-41.2	-47.0	-37.4	-11.4	-11.6				
102	139.003	○	72	×	254	8.5	-12.7	-12.2	-39.3	-7.0	-40.4	-54.2	-39.5	-5.7	-5.8				
103	139.012	○	97	×	252	8.4	-13.3	-10.2	-39.3	-3.3	-31.8	-38.1	-37.4	-1.5	-2.2		76	0	
104	139.022	○	112	×	245	8.2	-10.7	-10.4	-33.7	-3.6	-23.5	-32.5	-24.8	-3.3	-3.1				
105	139.030	○	88	×	242	8.1	-9.8	-8.3	-27.4	-2.7	-17.1	-18.1	-23.1	-1.3	-1.2				
106	139.039	○	95	×	238	7.9	-9.5	-9.9	-26.8	-4.4	-15.7	-17.8	-18.1	-3.2	-4.6				
107	139.138	○	94	×	224	7.5	-10.3	-9.1	-4.1	-16.5	-4.2	-5.6	-6.4	-2.0	-1.1				
108	139.146	○	87	×	218	7.3	-9.1	-8.3	-16.2	-4.7	-8.6	-7.3	-4.1	-1.7	-3.3				
109	139.156	○	104	×	201	6.7	-4.4	-4.9	-7.0	-1.5	-8.5	-6.0	-5.7	-1.8	-1.5				
110	139.165	○	95	×	196	6.5	-6.4	-4.2	-7.3	-1.7	-4.5	-4.3	-3.6	-1.3	-1.0		23	74	3
平均					362		-16.4	-19.5	-64.4	-15.8	-41.6	-54.3	-55.4	-7.2	-6.8		31	52	16
最大							-32.7	-32.9	-116.4	-30.9	-74.5	-101.0	-97.4	-21.7	-21.7		58	85	64

(3) 計測 B

幌加内トンネルの蛇紋岩区間における計測 B は、蛇紋岩延長 974m の区間で 4 箇所の断面で実施されている。当区間における先進ボーリングと対比させた計測位置は図-5.3.7 のとおりであり、各計測断面における計測項目一覧を表-5.3.18 に、各計測断面における計測期間を図-5.3.19 に、各計測断面図を図-5.3.8～図-5.3.11 に示す。

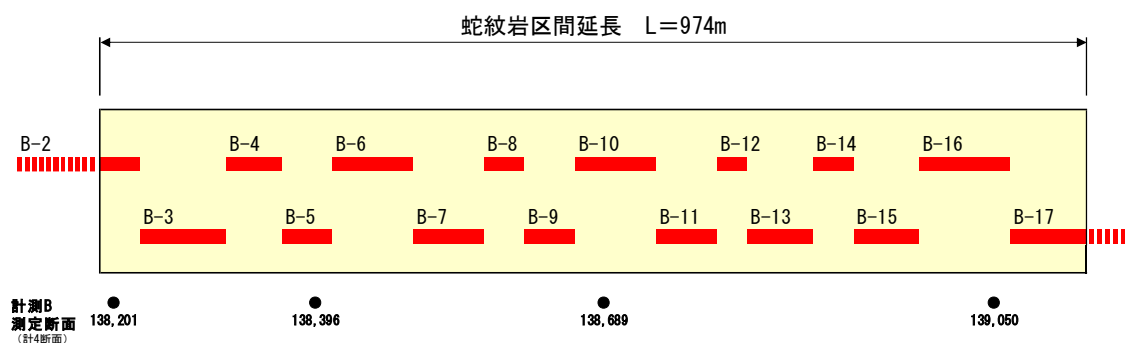


図-5.3.7 幌加内トンネル 先進ボーリング位置と計測 B の計測位置

表-5.3.18 幌加内トンネル 計測位置ごとの計測項目一覧

計測点	蛇紋岩 主要形態 と 介在率	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
		鋼製支保工			吹付 コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付 コンクリート	ロック ボルト
		軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
P = 138,210	粘土状 64%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (32箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
P = 138,396	粘土状 52%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (32箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
P = 138,689	葉片状 85%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (32箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
P = 139,050	葉片状 76%	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (10箇所)	○ (28箇所)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)

表-5.3.19 幌加内トンネル 計測位置ごとの計測期間一覧

計測点	支保種類	期 間			日間 (日)	月間 (月)	回数 (回)
P = 138,201	鋼製支保工	2007/2/20	～	2007/3/28	37	1.2	769
	吹付コンクリート	2007/2/20	～	2007/3/28	37	1.2	769
	ロックボルト	2007/2/20	～	2007/3/28	37	1.2	765
P = 138,396	鋼製支保工	2007/8/7	～	2007/11/9	95	3.2	873
	吹付コンクリート	2007/8/7	～	2007/11/9	95	3.2	873
	ロックボルト	2007/8/7	－	2007/11/9	95	3.2	860
P = 138,689	鋼製支保工	2008/5/12	～	2009/2/2	267	8.9	1,061
	吹付コンクリート	2008/5/12	～	2009/2/2	267	8.9	1,061
	ロックボルト	2008/5/13	－	2009/2/2	266	8.9	1,051
P = 139,050	鋼製支保工	2009/4/10	～	2009/11/24	229	7.6	955
	吹付コンクリート	2009/4/10	～	2009/11/24	229	7.6	955
	ロックボルト	2009/4/10	－	2009/11/24	229	7.6	950

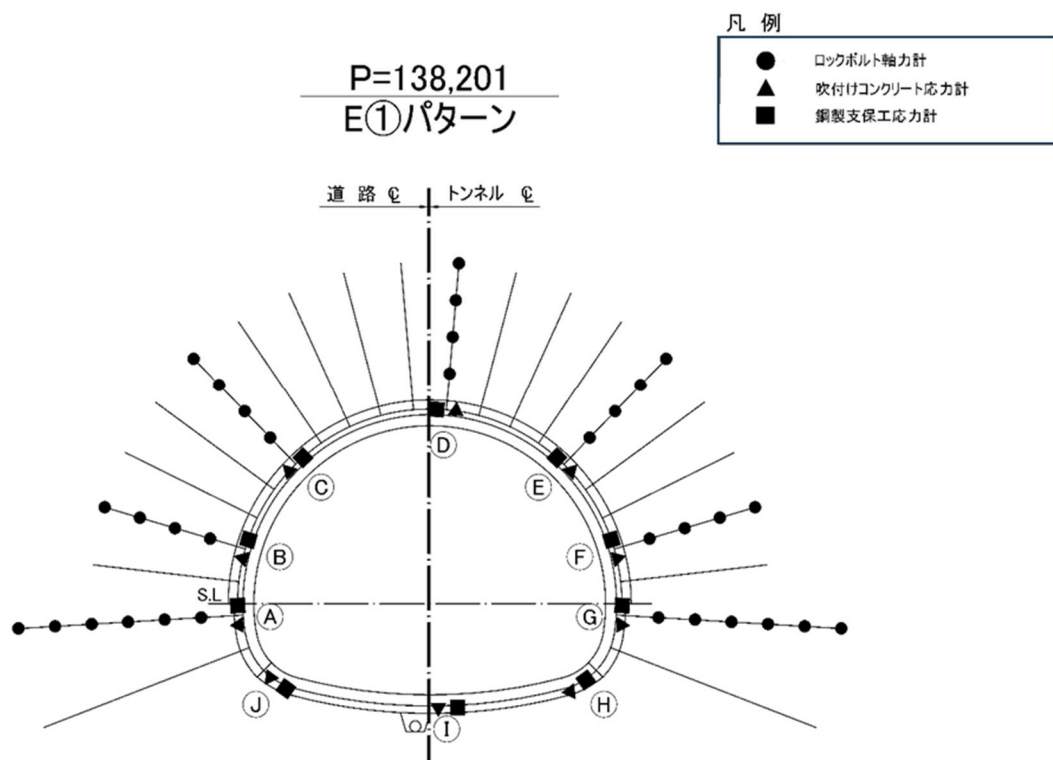


図-5.3.8 幌加内トンネル 計測 B 断面 (P=138, 201)

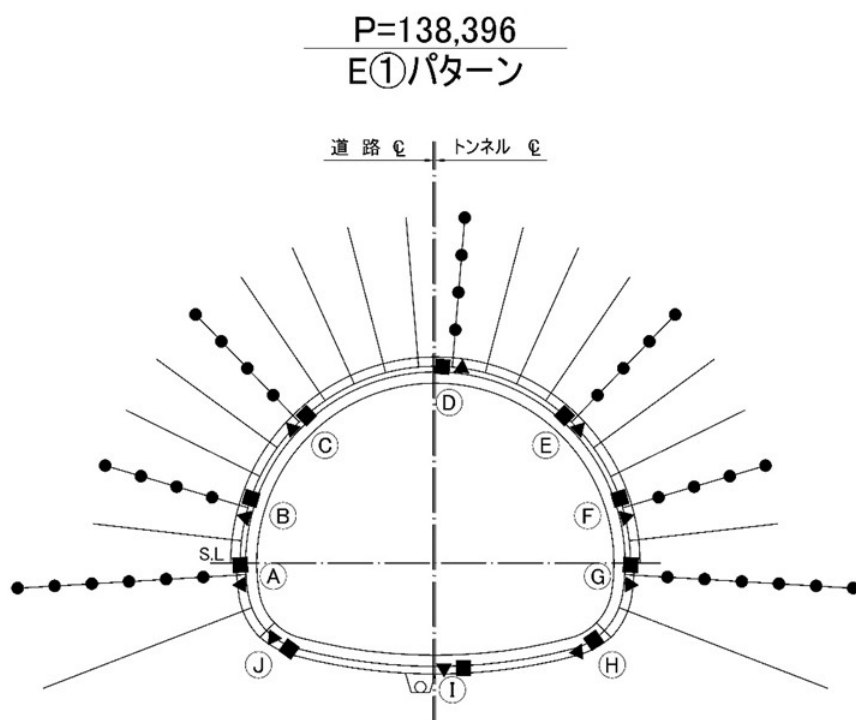


図-5.3.9 幌加内トンネル 計測 B 断面図 (P=138, 396)

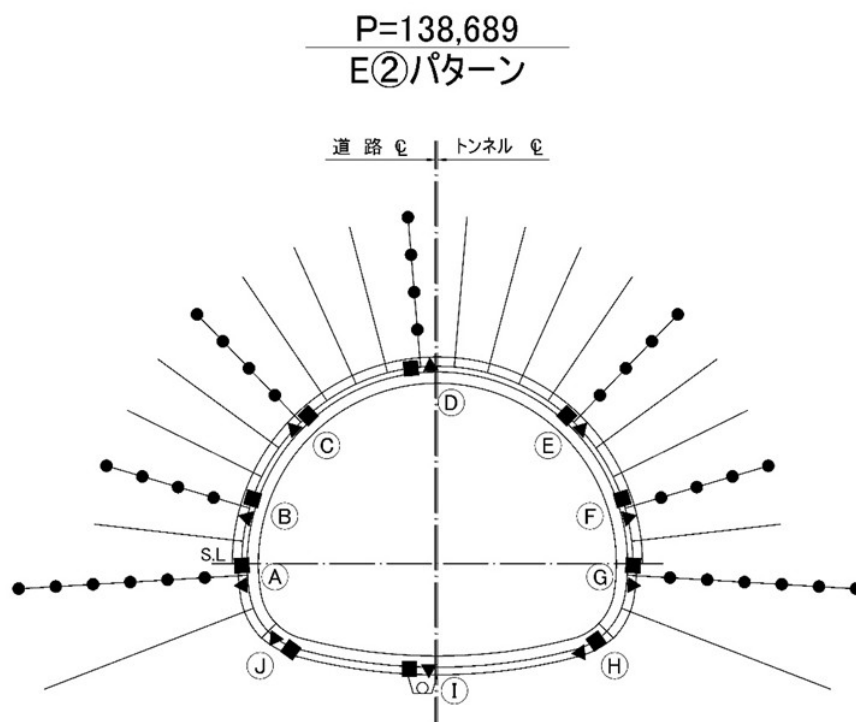


図-5.3.10 幌加内トンネル 計測 B 断面図 (P=138,689)

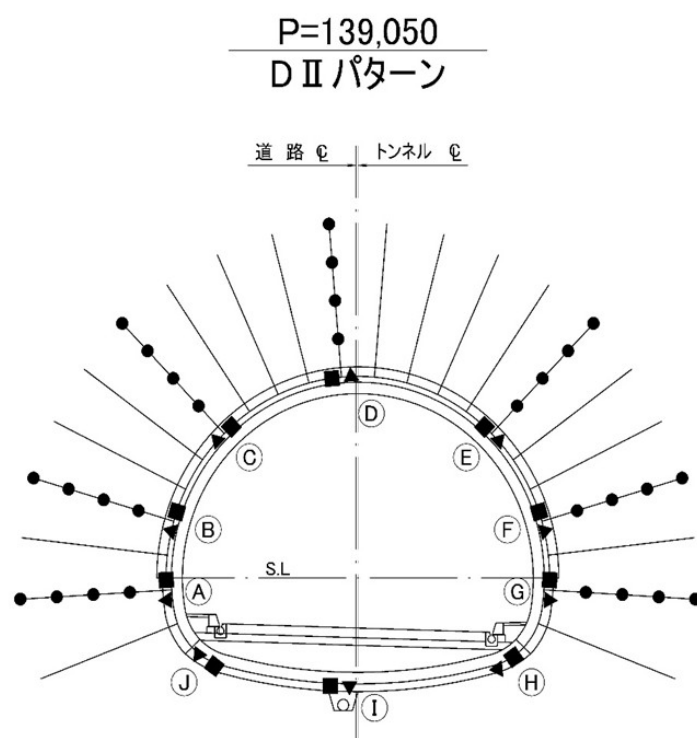


図-5.3.11 幌加内トンネル 計測 B 断面図 (P=139,050)

① P=138, 201

P=138, 201 では、表-5. 3. 18 の計測位置ごとの計測項目一覧と表-5. 3. 19 の計測位置ごとの計測期間一覧に示すとおり、計測 B の最初の計測箇所もあって、支保構造パターンとして計測可能な箇所および部材に対し計測を設定した。その結果、一重支保（地山）側での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力を計測した。二重目の支保構造は存在しない。

計測期間については、初期値として 2007 年（平成 19 年）2 月に計測を開始し、最終測定を 2007 年（平成 19 年）3 月までの約 1 か月間、計測を継続し、計測回数については約 760 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5. 3. 20 に示す。

この計測結果から、計測項目すべてにおいて発生率 100%を超過する計測位置は認められず、数値的に安定した状態と言える。着目としては、ロックボルト軸力の発生率の低さである。ロックボルト軸力の発生率は、測定 32 測点の平均で 5%であり、この数値から支保部材としてトンネル構造の安定性確保に向けて寄与しているとは言い難く、ロックボルトの必要性に疑義が残るところである。当計測断面は先進ボーリング No. は B-2 であり、ここでの蛇紋岩形態は粘土状主体であった。蛇紋岩形態の介在率は塊状 2%、葉片状 35%、粘土状 64%である。

表-5.3.20 幌加内トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=138, 210)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP138, 210					
				一重目：上半H-200、下半・インバートH-150、標準吹付					
				【 E① 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製支保工	軸力	kN	833	下半A	365	44	44	58
				1,334	上半B	594	45	45	
				1,334	上半C	770	58	58	
				1,334	上半D	704	53	53	
				1,334	上半E	911	68	68	
				1,334	上半F	601	45	45	
				833	下半G	346	42	42	
				833	インH	578	69	69	
				833	インI	687	82	82	
				833	インJ	639	77	77	
		曲げ	kN・m	45	下半A	-3	-8	8	19
				99	上半B	12	12	12	
				99	上半C	0	0	0	
				99	上半D	-45	-45	45	
				99	上半E	-14	-14	14	
				99	上半F	-11	-11	11	
				45	下半G	-2	-3	3	
				45	インH	-7	-15	15	
				45	インI	-25	-55	55	
				45	インJ	-13	-28	28	
		せん断	kN	109	下半A	-4	-4	4	12
				169	上半B	-2	-1	1	
				169	上半C	19	11	11	
				169	上半D	-53	-31	31	
				169	上半E	-5	-3	3	
				169	上半F	19	11	11	
				109	下半G	18	16	16	
				109	インH	4	4	4	
				109	インI	21	19	19	
				109	インJ	-17	-15	15	
	吹付けコンクリート	応力	N/mm ²	18	下半A	4	24	24	36
				18	上半B	8	47	47	
				18	上半C	5	28	28	
				18	上半D	13	73	78	
				18	上半E	6	31	31	
				18	上半F	3	17	17	
				18	下半G	5	26	26	
				18	インH	5	30	30	
				18	インI	11	59	59	
				18	インJ	4	20	20	
ロックボルト	軸力	kN	180	A：1m	5	3	3	5	
			180	A：2m	5	3	3		
			180	A：3m	4	2	2		
			180	A：4m	1	1	1		
			180	A：5m	0	0	0		
			180	A：6m	-1	-1	1		
			180	B：1m	29	16	16		
			180	B：2m	35	19	19		
			180	B：3m	20	11	11		
			180	B：4m	2	1	1		
			180	C：1m	23	13	13		
			180	C：2m	26	15	15		
			180	C：3m	14	8	8		
			180	C：4m	-1	0	0		
			180	D：1m	-2	-1	1		
			180	D：2m	-3	-1	1		
			180	D：3m	-8	-4	4		
			180	D：4m	-3	-2	2		
			180	E：1m	17	10	10		
			180	E：2m	28	16	16		
			180	E：3m	10	5	5		
			180	E：4m	1	0	0		
			180	F：1m	10	6	6		
			180	F：2m	4	2	2		
			180	F：3m	0	0	0		
			180	F：4m	-2	-1	1		
			180	G：1m	-2	-1	1		
			180	G：2m	-4	-2	2		
			180	G：3m	-1	0	0		
			180	G：4m	-1	0	0		
180	G：5m	0	0	0					
180	G：6m	-2	-1	1					
支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP138, 210					
				二重目：なし					
				【 EⅡ① 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
二重目	鋼製支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—
				—	上半B	—	—	—	
				—	上半C	—	—	—	
				—	上半D	—	—	—	
				—	上半E	—	—	—	
				—	上半F	—	—	—	
				—	下半G	—	—	—	
				—	インH	—	—	—	
				—	インI	—	—	—	
				—	インJ	—	—	—	
		曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—
				—	上半B	—	—	—	
				—	上半C	—	—	—	
				—	上半D	—	—	—	
				—	上半E	—	—	—	
				—	上半F	—	—	—	
				—	下半G	—	—	—	
				—	インH	—	—	—	
				—	インI	—	—	—	
				—	インJ	—	—	—	
		せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—
				—	上半B	—	—	—	
				—	上半C	—	—	—	
				—	上半D	—	—	—	
				—	上半E	—	—	—	
				—	上半F	—	—	—	
				—	下半G	—	—	—	
				—	インH	—	—	—	
				—	インI	—	—	—	
				—	インJ	—	—	—	
	吹付けコンクリート	応力	N/mm ²	—	下半A	—	—	—	—
				—	上半B	—	—	—	
				—	上半C	—	—	—	
				—	上半D	—	—	—	
				—	上半E	—	—	—	
				—	上半F	—	—	—	
				—	下半G	—	—	—	
				—	インH	—	—	—	
				—	インI	—	—	—	
				—	インJ	—	—	—	

② P=138, 396

P=138, 396 では、前計測箇所の P=138, 201 に準じて、一重目での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力を測定した。二重目の支保構造は存在しない。

計測期間については、初期値として 2007 年（平成 19 年）8 月に計測を開始し、最終測定を 2007 年（平成 19 年）11 月までの約 3 か月間、計測を継続し、計測回数については約 860 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.3.21 に示す。

この計測結果から、前計測断面の P=138, 201 と同様に計測項目すべてにおいて発生率 100%を超過する計測位置は認められず、数値的に安定した状態と言える。着目としては、ロックボルト軸力の発生率の低さである。ロックボルト軸力の発生率は、測定 32 測点の平均で 5%であり、この数値から支保部材としてトンネル構造の安定性確保に向けて寄与しているとは言い難く、ロックボルトの必要性に疑義が残るところである。当計測断面は先進ボーリング No. は B-5 であり、ここでの蛇紋岩形態は粘土状主体であった。蛇紋岩形態の介在率は塊状 16%、葉片状 32%、粘土状 52%である。

表-5.3.21 幌加内トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=138, 396)

支保構造 原	支保名	計測 項目	単位	SP138, 396					
				一重目：上半H-200、下半・インバートH-150、標準吹付					
				【 E① 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製 支保工	軸力	kN	833	下半A	189.12	23	23	46
				1,334	上半B	565.3	42	42	
				1,334	上半C	614.36	46	46	
				1,334	上半D	793.95	60	60	
				1,334	上半E	635.66	48	48	
				1,334	上半F	607.88	46	46	
				833	下半G	161.77	19	19	
				833	インH	374.77	45	45	
		曲げ	kN・m	833	インI	506.11	61	61	19
				833	インJ	578.14	69	69	
				45	下半A	5.26	12	12	
				99	上半B	18.63	19	19	
	鋼製 支保工	せん断	kN	99	上半C	-9.28	-9	9	12
				99	上半D	-43.79	-44	44	
				99	上半E	-44.90	-45	45	
				99	上半F	21.38	22	22	
				45	下半G	0.66	1	1	
				45	インH	3.05	7	7	
				45	インI	7.27	16	16	
				45	インJ	-8.66	-19	19	
	鋼製 支保工	せん断	kN	109	下半A	-17.71	-16	16	46
				169	上半B	-15.31	-9	9	
				169	上半C	1	1	1	
				169	上半D	-39.19	-23	23	
				169	上半E	3.31	2	2	
				169	上半F	27.25	16	16	
				109	下半G	12.07	11	11	
				109	インH	9.83	9	9	
	鋼製 支保工	せん断	kN	109	インI	-3.06	-3	3	46
				109	インJ	-32.84	-30	30	
				18	下半A	6.35	35	35	
				18	上半B	5.94	33	33	
	鋼製 支保工	せん断	kN	18	上半C	8.95	50	50	5
				18	上半D	8.36	46	46	
				18	上半E	7.22	40	40	
				18	上半F	4.73	26	26	
	鋼製 支保工	せん断	kN	18	下半G	7.44	41	41	5
				18	インH	12.29	68	68	
				18	インI	10.05	56	56	
				18	インJ	11.57	64	64	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	A: 1m	15.22	8	8	5
				180	A: 2m	17.61	10	10	
				180	A: 3m	10.69	6	6	
				180	A: 4m	-0.71	0	0	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	A: 5m	-2.51	-1	1	5
				180	A: 6m	-2.57	-1	1	
				180	B: 1m	16.66	9	9	
				180	B: 2m	33.68	19	19	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	B: 3m	25.55	14	14	5
				180	B: 4m	0.2	0	0	
				180	C: 1m	-2.66	-1	1	
				180	C: 2m	2.34	1	1	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	C: 3m	-5.84	-3	3	5
				180	C: 4m	-2.91	-2	2	
				180	D: 1m	-8.33	-5	5	
				180	D: 2m	-13.75	-8	8	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	D: 3m	-13.89	-8	8	5
				180	D: 4m	-8.79	-5	5	
				180	E: 1m	-22.4	-12	12	
				180	E: 2m	6.87	4	4	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	E: 3m	0.86	0	0	5
				180	E: 4m	-5.52	-3	3	
				180	F: 1m	-24.91	-14	14	
				180	F: 2m	-11.9	-7	7	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	F: 3m	-0.03	0	0	5
				180	F: 4m	-3.97	-2	2	
				180	G: 1m	-9.46	-5	5	
				180	G: 2m	-7.87	-4	4	
	鋼製 支保工	せん断	kN	180	G: 3m	-10.98	-6	6	5
				180	G: 4m	-4.4	-2	2	
				180	G: 5m	-3.11	-2	2	
				180	G: 6m	-3.86	-2	2	

③ P=138, 689

P=138, 689 では、前計測箇所の P=138, 201 および P=138, 396 に準じて、一重目での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力を測定した。二重目の支保構造は存在しない。

計測期間については、初期値として 2008 年（平成 20 年）5 月に計測を開始し、最終測定を 2009 年（平成 21 年）2 月までの約 9 か月間、計測を継続し、計測回数については約 1, 050 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5. 3. 22 に示す。

この計測結果から、部材のレベルⅢに対して実測値が 100%を超過する発生率を示すところを着色して表示している。着目すべきは、発生率 100%を超過した鋼製支保工軸力と発生率平均で 100%を超過しないが計測位置別の発生率が 100%を超過する位置数が複数存在する鋼製支保工曲げである。鋼製支保工軸力では、発生率平均は 129%、個別計測位置では計測箇所 10 箇所中 5 箇所において発生率 100%を超過するとともに、インバート部での 2 箇所においては 200%を超過する結果となった。また、鋼製支保工曲げでは、個別計測位置におけるインバート部での全体的な応力を確認でき、発生率では 200%を超過する位置も確認できるほか、マイナスでの発生率であることから盤ぶくれ方向の応力発生が顕著であると言える。

吹付けコンクリート応力ならびにロックボルト軸力では発生率 100%を超過する計測位置は確認できないが、前述した発生率 100%を超過した鋼製支保工軸力、曲げと同様な箇所での吹付けコンクリート応力とロックボルト軸力に多くの応力の発生傾向が確認できる。

ロックボルト軸力の発生率では平均で 19%であり、支保部材として効果がないということとは言えない数値である。前計測断面 2 箇所でのロックボルト軸力の発生率が粘土状主体によって低い値となっていたことから、ここでも蛇紋岩形態を確認したところ、当計測断面は先進ボーリング No. は B-10 であり、ここでの蛇紋岩形態は葉片状主体であった。蛇紋岩形態の介在率は塊状 15%、葉片状 85%、粘土状 0%である。

表-5.3.22 幌加内トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=138, 689)

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP138, 689						
				一重目：上半H-200、下半・インバートH-150、高強度吹付						
				【 E② 】						
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均	
一重目	鋼製 支保工	軸力	kN	833	下半A	333	40	40	129	
				1,334	上半B	747	56	56		
				1,334	上半C	931	70	70		
				1,334	上半D	1,983	149	149		
				1,334	上半E	2,072	155	155		
				1,334	上半F	1,210	91	91		
				833	下半G	515	62	62		
				833	インH	1,670	201	201		
				833	インI	2,363	284	284		
				833	インJ	1,547	186	186		
	曲げ	kN・m	45	下半A	-7	-15	15	75		
			99	上半B	-26	-26	26			
			99	上半C	-4	-4	4			
			99	上半D	-63	-63	63			
			99	上半E	26	26	26			
			99	上半F	-5	-5	5			
			45	下半G	-12	-27	27			
			45	インH	-87	-193	193			
			45	インI	-106	-236	236			
			45	インJ	-70	-155	155			
	せん断	kN	109	下半A	-35	-33	33	20		
			169	上半B	-17	-10	10			
			169	上半C	-6	-3	3			
			169	上半D	-3	-2	2			
			169	上半E	-47	-28	28			
			169	上半F	5	3	3			
			109	下半G	48	44	44			
			109	インH	18	16	16			
			109	インI	36	33	33			
			109	インJ	-29	-27	27			
吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	36	下半A	16	44	44	43		
			上半B	7	20	20				
			上半C	7	20	20				
			上半D	8	23	23				
			上半E	18	51	51				
			上半F	15	41	41				
			下半G	20	57	57				
			インH	25	69	69				
			インI	26	71	71				
			インJ	12	33	33				
ロックボルト	軸力	kN	180	A : 1m	-44	-24	24	19		
			A : 2m	25	14	14				
			A : 3m	51	28	28				
			A : 4m	-8	-5	5				
			A : 5m	-4	-2	2				
			A : 6m	-3	-2	2				
			B : 1m	50	28	28				
			B : 2m	7	4	4				
			B : 3m	3	2	2				
			B : 4m	1	0	0				
			C : 1m	4	2	2				
			C : 2m	-2	-1	1				
			C : 3m	-1	0	0				
			C : 4m	0	0	0				
			D : 1m	-31	-17	17				
			D : 2m	-5	-3	3				
			D : 3m	6	3	3				
			D : 4m	-1	0	0				
			E : 1m	26	14	14				
			E : 2m	99	55	55				
			E : 3m	79	44	44				
			E : 4m	10	6	6				
			F : 1m	80	45	45				
			F : 2m	134	74	74				
			F : 3m	83	46	46				
			F : 4m	2	1	1				
			G : 1m	35	19	19				
			G : 2m	67	37	37				
			G : 3m	64	35	35				
			G : 4m	112	62	62				
G : 5m	38	21	21							
G : 6m	4	2	2							

支保 構造 順	支保名	計測 項目	単位	SP138, 689						
				二重目：なし						
				【 E② 】						
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均	
二重目	鋼製 支保工	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—	
				上半B	—	—	—			
				上半C	—	—	—			
				上半D	—	—	—			
				上半E	—	—	—			
				上半F	—	—	—			
				下半G	—	—	—			
				インH	—	—	—			
				インI	—	—	—			
				インJ	—	—	—			
	曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—		
			上半B	—	—	—				
			上半C	—	—	—				
			上半D	—	—	—				
			上半E	—	—	—				
			上半F	—	—	—				
			下半G	—	—	—				
			インH	—	—	—				
			インI	—	—	—				
			インJ	—	—	—				
	せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—		
			上半B	—	—	—				
			上半C	—	—	—				
			上半D	—	—	—				
			上半E	—	—	—				
			上半F	—	—	—				
			下半G	—	—	—				
			インH	—	—	—				
			インI	—	—	—				
			インJ	—	—	—				
吹付け コンクリート	応力	N/mm ²	—	下半A	—	—	—	—		
			上半B	—	—	—				
			上半C	—	—	—				
			上半D	—	—	—				
			上半E	—	—	—				
			上半F	—	—	—				
			下半G	—	—	—				
			インH	—	—	—				
			インI	—	—	—				
			インJ	—	—	—				

④ P=139,050

P=139,050 では、前 3 つの計測箇所準じて、一重目での鋼製支保工における軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリートにおける応力、ロックボルトにおける軸力を測定した。当計測測点で前 3 箇所との差異は、支保構造パターンが DⅡ となっていることである。ここでも二重目の支保構造は存在しない。計測期間については、初期値として 2009 年（平成 21 年）4 月に計測を開始し、最終計測を 2009 年（平成 21 年）11 月までの約 7 か月間、計測を継続し、計測回数については約 950 回を数える。当計測箇所における計測結果を表-5.3.23 に示す。この計測結果から、前計測断面の P=138,201、P=138,396 と同様に計測項目すべてにおいて発生率 100%を超過する計測位置は認められず、数値的に安定した状態と言える。着目としては、P=138,201 と P=138,396 においてロックボルト軸力の発生率の低さが確認されていたが、当断面での発生率平均は 29%であった。この数値では支保部材としてトンネル構造の安定性確保に向けて寄与していないとは言えない。当断面におけるロックボルトの効果発現について蛇紋岩形態から分析したところ、当計測断面は先進ボーリング No. は B-16 であり、ここでの蛇紋岩形態は葉片状主体であった。蛇紋岩形態の介在率は塊状 24%、葉片状 76%、粘土状 0%である。

表-5.3.23 幌加内トンネル 計測 B 計測結果一覧 (P=139,050)

支保 構造 順	支保名	小項目	単位	SP139,050						支保 構造 順	支保名	小項目	単位	SP139,050					
				一重目：上半・下半・インバートH-150、標準収付										二重目：なし					
				【 DII 】										【 DII 】					
				レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均					レベル 重	計測位置	実測値	発生率	発生率 (絶対値)	発生率 平均
一重目	鋼製支保工	軸力	kN	833	下半A	230	28	28	43	—	軸力	kN	—	下半A	—	—	—	—	
				833	上半B	314	38	38					上半B	—	—	—			
				833	上半C	739	89	89					上半C	—	—	—			
				833	上半D	629	76	76					上半D	—	—	—			
				833	上半E	803	96	96					上半E	—	—	—			
				833	上半F	318	38	38					上半F	—	—	—			
				833	下半G	219	26	26					下半G	—	—	—			
				833	インH	105	13	13					インH	—	—	—			
				833	インI	42	5	5					インI	—	—	—			
				833	インJ	201	24	24					インJ	—	—	—			
	曲げ	kN・m	45	下半A	-2	-5	5	5	—	曲げ	kN・m	—	下半A	—	—	—	—		
			45	上半B	3	6	6					上半B	—	—	—				
			45	上半C	0	0	0					上半C	—	—	—				
			45	上半D	-2	-4	4					上半D	—	—	—				
			45	上半E	-1	-2	2					上半E	—	—	—				
			45	上半F	3	7	7					上半F	—	—	—				
			45	下半G	1	2	2					下半G	—	—	—				
			45	インH	-6	-14	14					インH	—	—	—				
			45	インI	0	0	0					インI	—	—	—				
			45	インJ	-6	-14	14					インJ	—	—	—				
	せん断	kN	109	下半A	3	3	3	5	—	せん断	kN	—	下半A	—	—	—	—		
			109	上半B	5	5	5					上半B	—	—	—				
			109	上半C	1	1	1					上半C	—	—	—				
			109	上半D	-12	-11	11					上半D	—	—	—				
			109	上半E	6	5	5					上半E	—	—	—				
			109	上半F	-3	-3	3					上半F	—	—	—				
			109	下半G	8	7	7					下半G	—	—	—				
			109	インH	5	5	5					インH	—	—	—				
			109	インI	-3	-2	2					インI	—	—	—				
			109	インJ	-3	-3	3					インJ	—	—	—				
収付けコンクリート	応力	N/mm ²	18	下半A	3	19	19	32	—	収付けコンクリート	応力	N/mm ²	—	下半A	—	—	—	—	
				上半B	3	16	16						上半B	—	—	—			
				上半C	7	37	37						上半C	—	—	—			
				上半D	9	48	48						上半D	—	—	—			
				上半E	7	41	41						上半E	—	—	—			
				上半F	5	29	29						上半F	—	—	—			
				下半G	3	15	15						下半G	—	—	—			
				インH	4	23	23						インH	—	—	—			
				インI	4	20	20						インI	—	—	—			
				インJ	4	22	22						インJ	—	—	—			
ロックボルト	軸力	kN	180	A：1m	55	31	31	29	—	軸力	kN	—	A：1m	55	31	31	—		
				A：2m	21	12	12						A：2m	21	12	12			
				A：3m	9	5	5						A：3m	9	5	5			
				A：4m	58	32	32						A：4m	58	32	32			
				A：5m	—	—	—						A：5m	—	—	—			
				A：6m	—	—	—						A：6m	—	—	—			
				B：1m	131	73	73						B：1m	131	73	73			
				B：2m	127	71	71						B：2m	127	71	71			
				B：3m	106	59	59						B：3m	106	59	59			
				B：4m	34	19	19						B：4m	34	19	19			
				C：1m	62	34	34						C：1m	62	34	34			
				C：2m	69	38	38						C：2m	69	38	38			
				C：3m	50	28	28						C：3m	50	28	28			
				C：4m	24	13	13						C：4m	24	13	13			
				D：1m	5	3	3						D：1m	5	3	3			
				D：2m	25	14	14						D：2m	25	14	14			
				D：3m	35	19	19						D：3m	35	19	19			
				D：4m	11	6	6						D：4m	11	6	6			
				E：1m	32	18	18						E：1m	32	18	18			
				E：2m	48	27	27						E：2m	48	27	27			
				E：3m	48	27	27						E：3m	48	27	27			
				E：4m	9	5	5						E：4m	9	5	5			
				F：1m	116	65	65						F：1m	116	65	65			
				F：2m	119	66	66						F：2m	119	66	66			
				F：3m	80	45	45						F：3m	80	45	45			
				F：4m	36	20	20						F：4m	36	20	20			
				G：1m	60	33	33						G：1m	60	33	33			
				G：2m	54	30	30						G：2m	54	30	30			
				G：3m	30	17	17						G：3m	30	17	17			
				G：4m	-1	0	0						G：4m	-1	0	0			
G：5m	—	—	—	G：5m	—	—	—												
G：6m	—	—	—	G：6m	—	—	—												

5-4 第5章まとめ

取得したデータの対象トンネルは、蛇紋岩を掘削対象とした音中トンネル・音威子府トンネル・幌加内トンネルであり、各々のトンネルから、掘削前に得られるデータとして、蛇紋岩形態別の介在率や先進ボーリングの掘進長、そして先進ボーリングマシンの機械データとして給圧・掘進速度・回転数のデータを取得した。加えて掘削中・後に得られるデータとして、計測 A・計測 B のデータを取得した。

掘削前データを取得した結果では、音中トンネルにおいて蛇紋岩形態別の介在率から粘土状蛇紋岩が主体であることが確認され、先進ボーリングの掘進長は非常に短く、先進ボーリングの機械データの中では特に給圧は非常に高い値であった。

掘削中・後データを取得した結果では、音中トンネルの計測 A において、変位収束を確認できる計測断面が少なく、計測 B では鋼製支保工応力の軸力測定にて、管理基準値のレベルⅢを超過する計測断面が数多く確認された。

第6章 取得データからの各種比較と分析

6-1 取得されたデータからの比較分析

6-1-1 3トンネルの概要比較

トンネル施工中に実施される先進ボーリングのデータを分析して、掘進長や給圧ならびに掘進速度等との間の相関性を見るとともに、コアサンプルの観察から得られる蛇紋岩の形態別介在率の影響について考える。分析にあたっては、機械能力や掘進方法、また、オペレータの技量により機械データへの相違が想定されるが、ここではそれらを無視して考えることとする。これまでの既往の研究では、蛇紋岩の形態別介在率による内部摩擦角への影響が提唱されているが、蛇紋岩の形態別介在率に先進ボーリングマシンの機械データを加えた分析は新たな試みとなる。3トンネルの概要比較として表-6.1.1のとおり、トンネル全体延長、その内蛇紋岩の延長、蛇紋岩形態、土被り、掘削断面積そして支保構造としての一重・二重構造をまとめた。表内各数値は便宜上10m単位で示している。

トンネル別の特徴として、音中トンネルでは蛇紋岩形態が粘土状主体であるとともに最大土被りが320mあること、これに加え二重支保構造でも一重目・二重目で鋼製支保工H-250を使用するなど掘削断面積が大きい。これによって支保構造構築までに時間を要することが想定できる。音威子府トンネルでは音中トンネルと土被りが同様に、蛇紋岩形態が塊状主体であることから、音中トンネルとの各種比較では様々な差異が確認可能と想定する。支保構造では音中トンネルと同様な二重支保構造であるが、多少軽微でありその分、断面積が小さくなっている。続いて幌加内トンネルでは、蛇紋岩形態は葉片状主体であり形態の脆弱の程度から考えれば、音中トンネルの粘土状よりは良く、音威子府トンネルの塊状よりは悪いとの感覚である。土被りは低く地山強度比の算出過程では有利に働くものの、先進ボーリングで確認された湧水状況が施工時にどの程度の影響が出るか懸念はある。

表-6.1.1 3トンネルの概要比較

トンネル 名称	トンネル 全体延長 (m)	蛇紋岩 延長 (m)	蛇紋岩 形態	最大 土被り (m)	掘削 断面積 (m ²)	支保 構造	湧水 有無
音中	4,690	470	粘土状	320	130	二重	無
音威子府	2,700	840	塊状	320	110	二重	無
幌加内	1,240	970	葉片状	130	80	一重	無～20ℓ/min

6-1-2 先進ボーリングマシンデータ内の比較分析

(1) 掘進長

トンネル工事で実施される先進ボーリングは一般的に 100m 前後の掘進長となることが多いが、比較した 3 トンネルのうち、音中トンネルと幌加内トンネルについては掘進途中に掘進不能となることが多かったことから、蛇紋岩特有の膨潤や膨圧および地圧による掘進不能が推察された。そこで、それぞれのトンネルごとにボーリング掘進長の実態を調査し、図-6.1.1 に示す通り、3 トンネル別の先進ボーリング 1 本あたりの平均掘進長は、音中トンネルでは 33m、音威子府トンネルでは 105m、幌加内トンネルでは 66m であった。ここで、これらのトンネルの土被りを見てみると、音中トンネルと音威子府トンネルの土被りはほぼ等しいにも関わらず、掘進長の差異が大きく、幌加内トンネルは音威子府トンネルの半分以下の土被りにも関わらず掘進長が短いことがわかる。すなわち、音中トンネルと音威子府トンネルの間では土被りには依存しない何らかの影響があると考えられるとともに、幌加内トンネルにおいても土被り以上に掘進を困難にする因子の介在が想起される。これはすでに述べたとおり、膨張性・膨圧性など地山がコアチューブにもたらす地圧の影響によるものと推察され、この掘進長とともに先進ボーリングに供給される給圧、そして掘進速度、回転数の関係を、3 トンネルの結果から整理分析することとした。

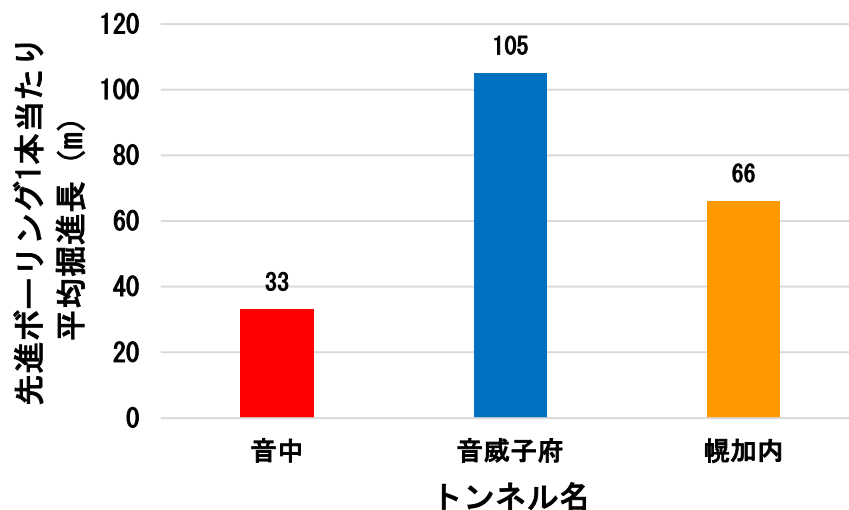


図-6.1.1 3 トンネル別の先進ボーリング掘進長

(2) 掘進長と給圧

掘進長と給圧の関係を図-6.1.2に示す。図内にある KB-12 は図-4.3.1の方法で算出された、掘進長 70m の内、先進ボーリング前半の 43m が蛇紋岩区間に到達していない砂岩、泥岩の互層区間であるため参考との扱いにしている。図中で着目すべきは、音中トンネルの給圧が他トンネルに比べて非常に大きいことである。給圧が非常に大きいことから、ボーリング柱状図への記載に対して単位違いなどの疑念があり、施工者に確認を行ったところ間違いがないことを確認している。改めて掘進長と給圧を見ると、音中トンネルでは給圧を上げているにも関わらず平均掘進長が 33m と短く、逆に音威子府トンネルでは給圧を上げなくても平均掘進長が 105m と長い。前述 (1) の掘進長でも記述したが、この両者の最高土被りは 319m と同様でありながらこのような結果となっている。幌加内トンネルを見ると、平均掘進長は 66m で給圧は音中トンネルと音威子府トンネルの中間付近に属している。最高土被りは 134m と低いことから、音中トンネルと音威子府トンネルとの単純比較は成立しないが、蛇紋岩形態からの比較として葉片状であることから相関性があることは大いに考えられる。よって、今後の分析においても蛇紋岩形態は重要な項目として進めることとする。

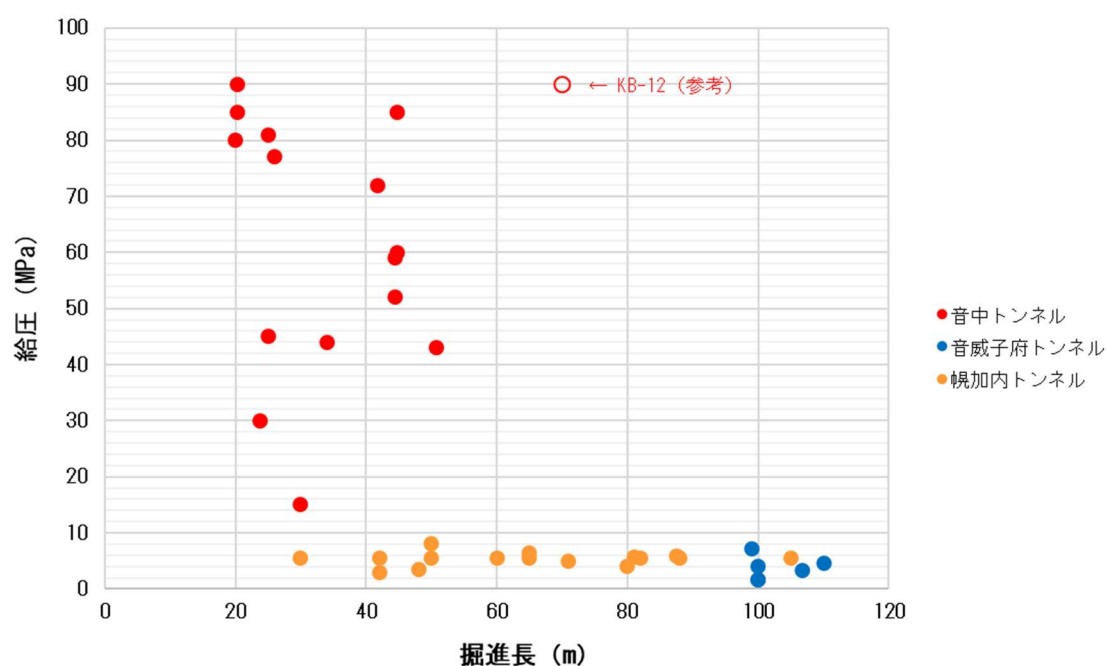


図-6.1.2 3 トンネル別の掘進長と給圧の関係

(3) 掘進長と掘進速度

掘進長と掘進速度の関係を図-6.1.3 に示す。ここでも音中トンネルと音威子府トンネルを比較すると、音中トンネルでは掘進の速度が遅く、しかも掘進長が短い、音威子府トンネルでは掘進の速度が速く、かつ、掘進長が長いことがわかる。いわゆる音中トンネルではボーリングが掘りづらく、音威子府トンネルではボーリングが掘りやすい傾向となる。前述(2)の給圧との関係を見ても、音中トンネルでは給圧を上げてボーリングを掘りづらく、音威子府トンネルでは給圧を上げなくてもボーリングが掘りやすいと言える。幌加内トンネルではデータが2つしかないが、前述(2)の給圧と同様に音中トンネルと音威子府トンネルの間に属しているのがわかる。このことから蛇紋岩形態に強い依存があると考えられる。

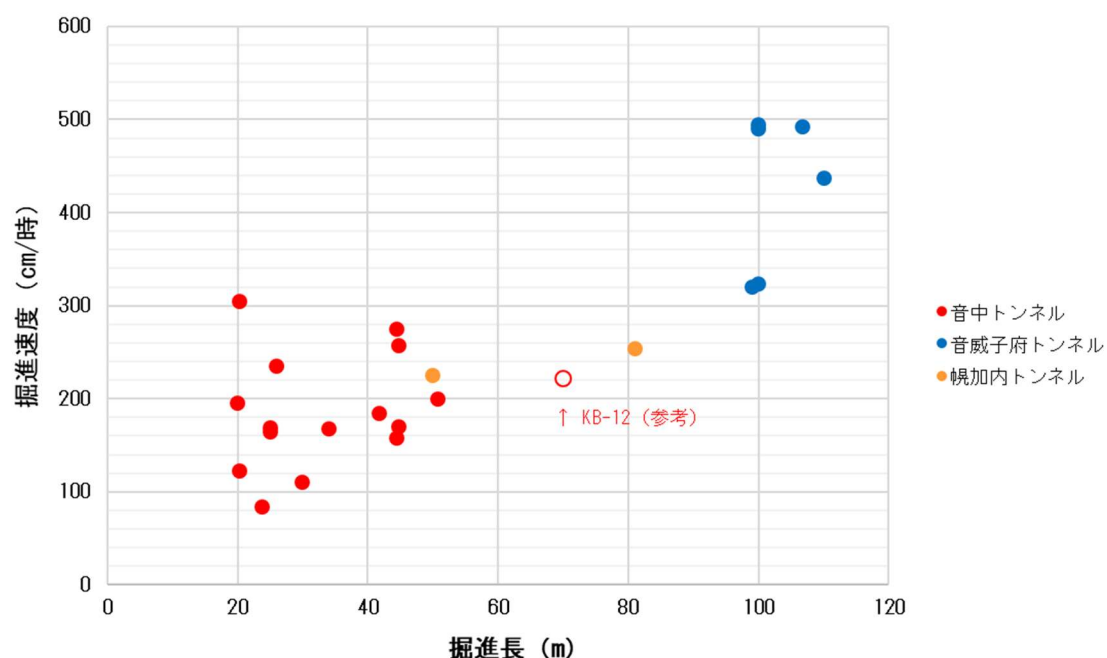


図-6.1.3 3 トンネル別の掘進長と掘進速度の関係

(4) 掘進長と回転数

掘進長と回転数の関係を図-6.1.4に示す。この回転数は給圧に依存されるところであり、給圧を上げると回転数は早くなり、給圧を下げると回転数は遅くなる関係がある。回転数のばらつきで言えば3トンネルとも大きな差がなく見えるところであり、若干でありながら平均して音威子府トンネルの回転数は低く見える。しかしながら、掘進長には大きな差があり、音中トンネルでは回転数を上げて掘進長は短く、音威子府トンネルでは回転数を上げなくても掘進長は長い。給圧から考えると、音中トンネルでは給圧を上げてこの回転数、音威子府トンネルでは給圧を上げなくてもこの回転数であり、回転数のみ見るとこの両者にさほどの差はなく見えるところだが、給圧を含めて考えるとこの差はかなり大きいと言える。このことから蛇紋岩形態の違いによって、先進ボーリングのコアチューブになんらかの圧力が作用しているのでないかと推察することができる。この圧力とはコアチューブ周辺での蛇紋岩膨張・膨潤なのか、それとも地山全体からの地圧なのかは、これまでのデータではまだ不明である。

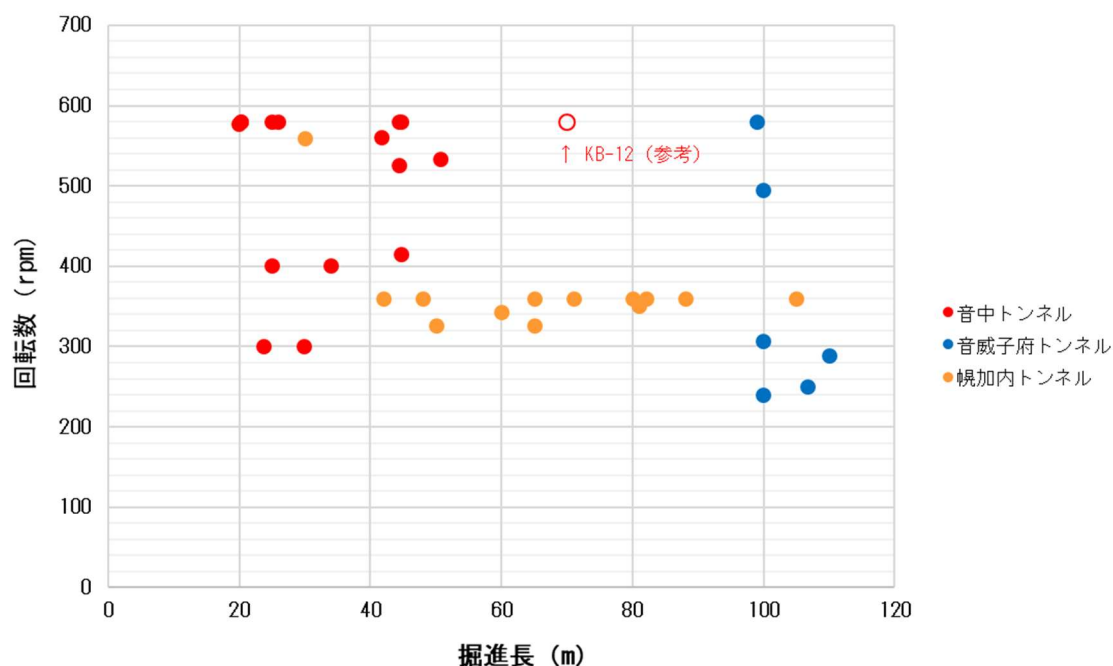


図-6.1.4 3トンネル別の掘進長と回転数の関係

(5) 給圧と掘進速度

給圧と掘進速度の関係を図-6.1.5 に示す。この関係でもかなりの相関性があると言える結果である。音中トンネルでは給圧を上げていながら掘進速度は遅く、また、給圧の違いによる掘進速度のばらつきも極めて大きいことがわかる。これに対して音威子府トンネル、幌加内トンネルでは給圧を上げなくとも掘進速度は速い。

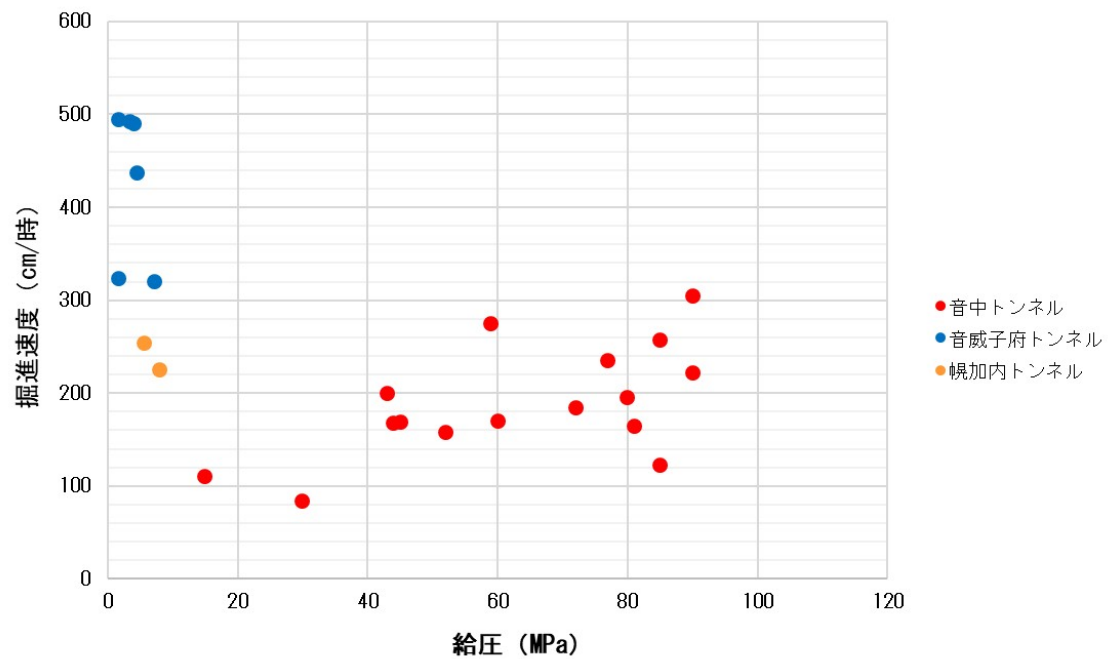


図-6.1.5 3 トンネル別の給圧と掘進速度の関係

(6) 給圧と回転数

給圧と回転数の関係を図-6.1.6 に示す。この関係でもかなりの相関性があると言える結果である。音中トンネルでは給圧を上げないと回転数が保てず、音威子府トンネル、幌加内トンネルでは給圧を上げなくとも回転数は保てている傾向が伺える。

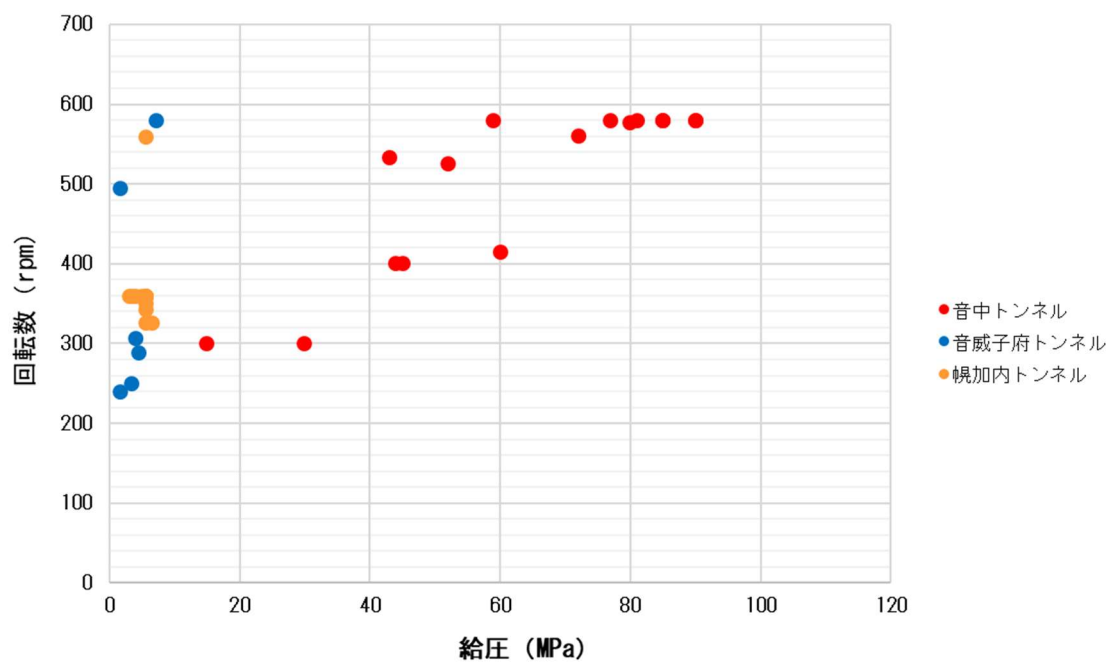


図-6.1.6 3 トンネル別の給圧と回転数の関係

(7) 掘進速度と回転数

掘進速度と回転数の関係を図-6.1.7 に示す。この関係でもかなりの相関性があると言える結果である。音中トンネルでは回転数を上げないと掘進速度が遅くなり、音威子府トンネル、幌加内トンネルでは回転数を上げなくとも掘進速度は速い。

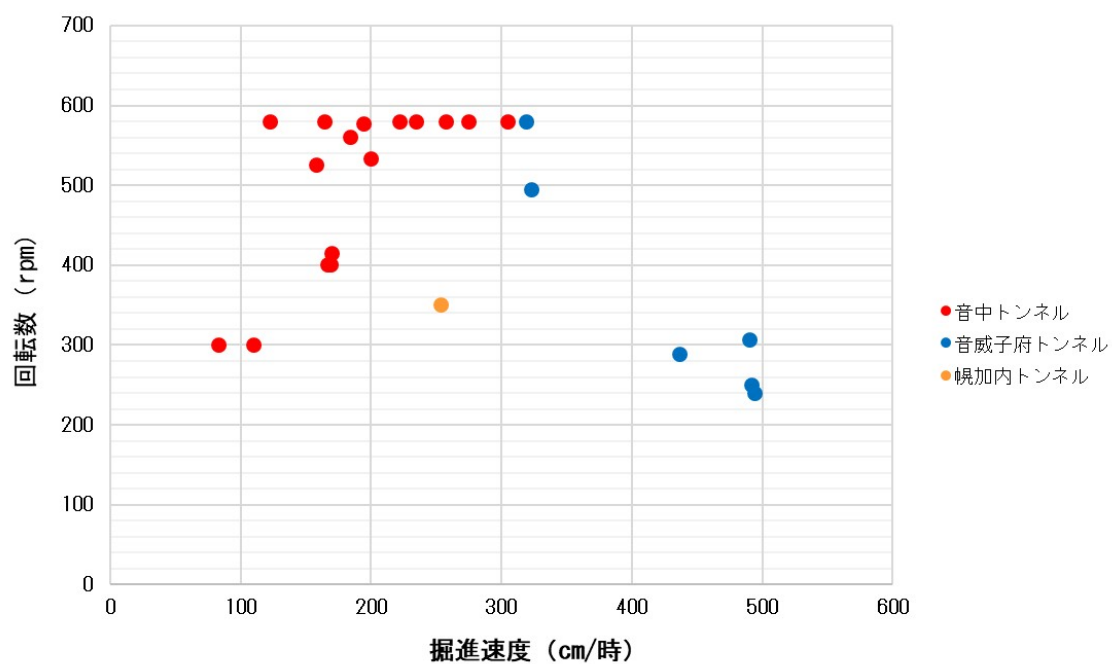


図-6.1.7 3 トンネル別の掘進速度と回転数の関係

これまで先進ボーリングの平均掘進長と先進ボーリングマシンの機械データから比較分析を行ってきたが、その結果からは蛇紋岩の形態が大きく影響しているものと考え、塊状率等の形態別介在率を分析することとした。

6-1-3 先進ボーリングマシンデータと土被りの比較分析

【新たな指標提案】

(1) 土被りデータの抽出手法

6-1-2- (1) ～ (7) において、先進ボーリングマシンから得られる機械データとその機械出力によって掘削できた延長から分析を行ってきたところであるが、その中でも特に掘進長と給圧にはある程度の相関が認められるところであったため、ここで土被りとの関係にも相関が認められると考え、先進ボーリングマシンの機械データとの比較・分析を試みることにした。3 トンネル別の最高土被り高さは表-6. 1. 1 にて表記しているが、蛇紋岩区間における詳細な土被り高さについては、音中トンネルは図-5. 1. 2、音威子府トンネルは図-5. 2. 2、幌加内トンネルは図-5. 3. 2 に示している。

(2) 【新たな指標提案】掘進給圧比の提案式と分析

比較分析にあたっては、先進ボーリングマシンの機械データである給圧と、この機動によって掘進された延長、そして土被りの関係を数式によって数値化して評価できないかと考えたところ、次式での得られた数値によって、傾向が掴めないかと考え「掘進給圧比 (KK)」と称して、以下に示す式-6. 1. 1 にて算出することとした。

$$\text{掘進給圧比 (KK)} = \frac{\text{Br1本あたりの掘進長 (m)} \times 1,000}{\text{Br1本あたりの平均給圧 (MPa)} \times \text{Br1本あたりの平均土被り高さ (m)}} \quad \text{式-6. 1. 1}$$

この算式を用いて、3 トンネルの先進ボーリングごとに算出していくが、サンプルとして音中トンネルの KB-12 の結果を利用し、算式に代入する。

$$\text{掘進給圧比 (KK)} = \frac{70 \text{ (m)} \times 1,000}{90 \text{ (MPa)} \times 249 \text{ (m)}} = 3.1 \quad \text{となる。}$$

3 トンネルの先進ボーリングごとに算出した結果が表-6. 1. 2 である。音中トンネルでの結果傾向で言えば、掘進長が短く土被りが高い、そして、給圧も高いことから、掘進給圧比の結果は他に較べ小さな数値を示すこととなり、この数値が小さくなれば、支保構造の重装備化が求められることとなる。次にこの結果を掘進長と比較し、図化したものが図-6. 1. 8 であり、指数近似による相関についてはさほど高いものとは言えないが、トンネル別のプロットからある程度のグループ化が見てとれる。そこでこの図を用いて蛇紋岩の地山分類、すなわち、蛇紋岩トンネルにおける標準支保パターンを見い出せないかと考えた。そこで最初に着目したのは、トンネル別プロットからの area 分割化であり、図-6. 1. 8 内に点線で示した。

area : Z では掘進長に幅があるものの、音中トンネルのすべてのプロットが収まる範囲で設定することができる。area : Y と X では音威子府トンネルと幌加内トンネルがプロットを占めるが、掘進長の関係から 2 分することができる。この area 分割と実際に施工された支保構造と比較すれば、どの area に位置すればどの程度までの支保構造(支保構造の重装備化)が必要なかが想定できることとなる。この想定を例として示すならば、area : X であれば支保の二重構造までは必要ないがインバート形状は通常の 3.0R から 1.5R が望ましい、area : Y では支保は二重構造としてインバート形状は 1.5R を標準、area : Z では支保は二重構造で断面形状は真円とするなどが考えられる。

表-6.1.2 3 トンネルの KK 値の算出結果

音中トンネル		音威子府トンネル		幌加内トンネル	
トンネルBr名	KK比	トンネルBr名	KK比	トンネルBr名	KK比
音中 KB-12	除外	音威子府 B12	55.6	幌加内 B-2	308.9
音中 KB-13	1.2	音威子府 B13	215.3	幌加内 B-3	251.4
音中 KB-14	1.1	音威子府 B14	211.0	幌加内 B-4	85.6
音中 KB-15	2.8	音威子府 B15	87.9	幌加内 B-5	110.9
音中 KB-16	2.9	音威子府 B16	106.4	幌加内 B-6	162.1
音中 KB-17	3.7	音威子府 B17	76.6	幌加内 B-7	129.1
音中 KB-18	2.7	平均	125.5	幌加内 B-8	109.4
音中 KB-19	2.6			幌加内 B-9	102.3
音中 KB-20	2.7			幌加内 B-10	153.8
音中 KB-21	0.9			幌加内 B-11	92.4
音中 KB-22	6.7			幌加内 B-12	49.1
音中 KB-23	2.6			幌加内 B-13	90.1
音中 KB-24	0.8			幌加内 B-14	67.6
音中 KB-25	0.7			幌加内 B-15	117.0
音中 KB-26	2.4			幌加内 B-16	219.2
音中 KB-27	1.8			幌加内 B-17	433.9
平均	2.4			平均	155.2

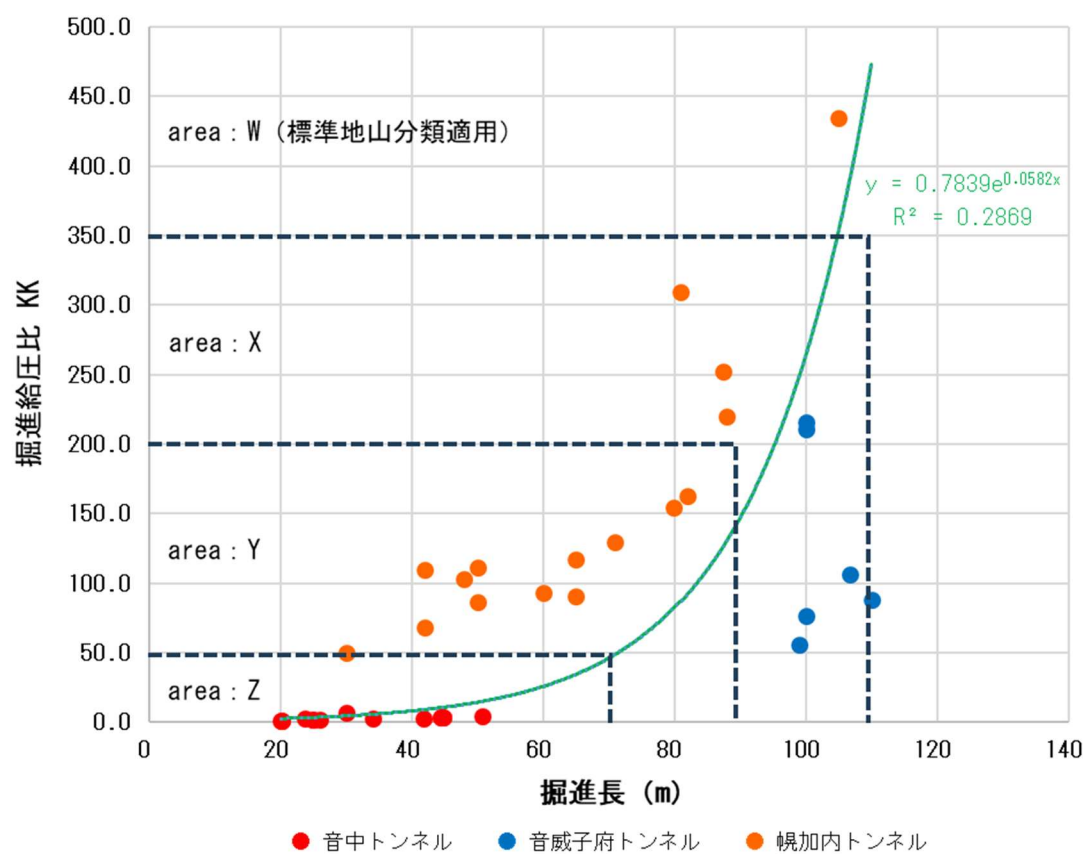


図-6.1.8 掘進長と掘進給圧比の関係

2 つ目に着目したのは area : Z の再分割化である。図-6.1.8 では縦軸幅が大きいいため、area : Z での掘進給圧比の大小による判別が困難であることから、縦軸幅を小さくしたものを図-6.1.9 に示す。ここでは便宜的に area : Z-z と Z-y と再分割したものの明瞭な分割境界を設定するのは、音中トンネルでの変状実績から見て困難であると判断するが、ある程度の目安は想定できると考える。

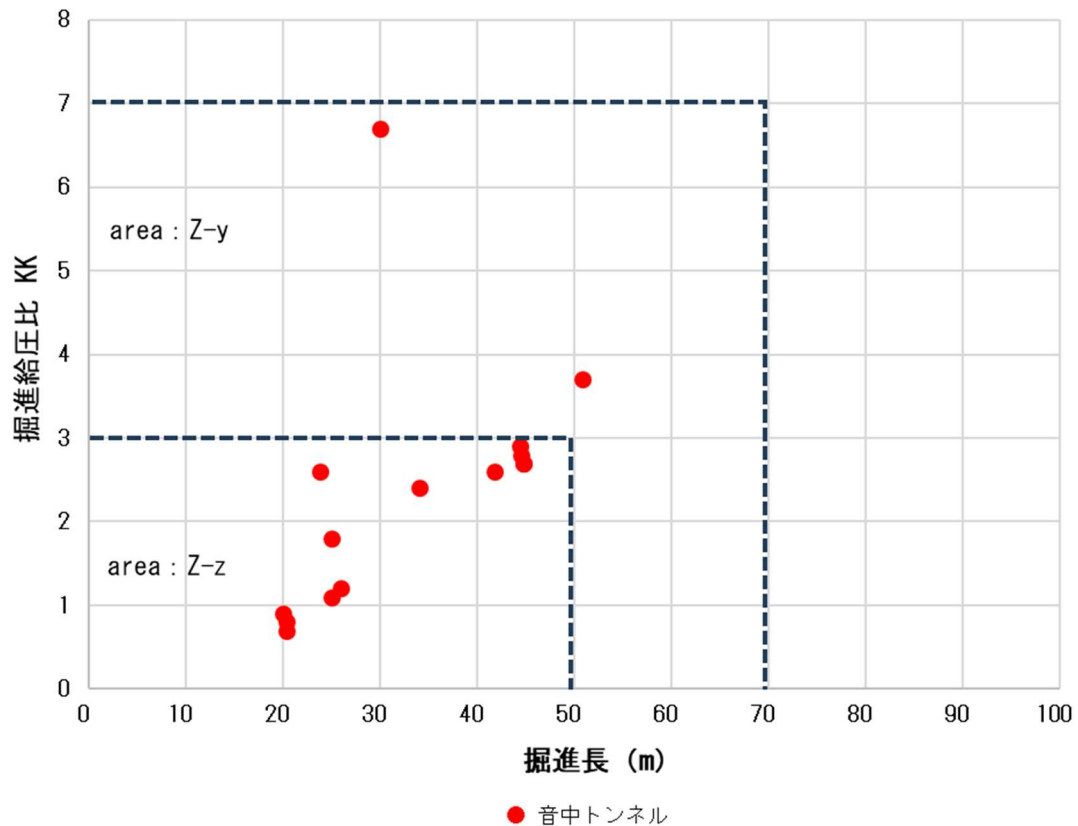


図-6.1.9 area : Z の再分割化 (掘進長)

3 つ目に着目したのは、幌加内トンネル (橙プロット : 葉片状主体) 単独での指数近似、そして、音中トンネル (赤プロット : 粘土状主体) と音威子府トンネル (青プロット : 塊状主体) の組み合わせた指数近似である。これらを図化したものが図-6.1.10、図-6.1.11 となる。図-6.1.8 では 3 トンネル全体の要素によって決定係数 $R^2=0.2869$ ではあったが、上記のトンネル分けごとで算出された決定係数 R^2 は幌加内トンネル単独では $R^2=0.8446$ 、音中トンネルと音威子府トンネルの組み合わせでは $R^2=0.5935$ とかなり高い相関が確認された。掘進給圧比の算出では、蛇紋岩の形態別の要素として、先進ボーリングの掘進長と給圧に組み込まれていることから、図-6.1.8、図-6.1.9 を用いて蛇紋岩トンネルの標準支保パターン設定の可能性があると想定した。

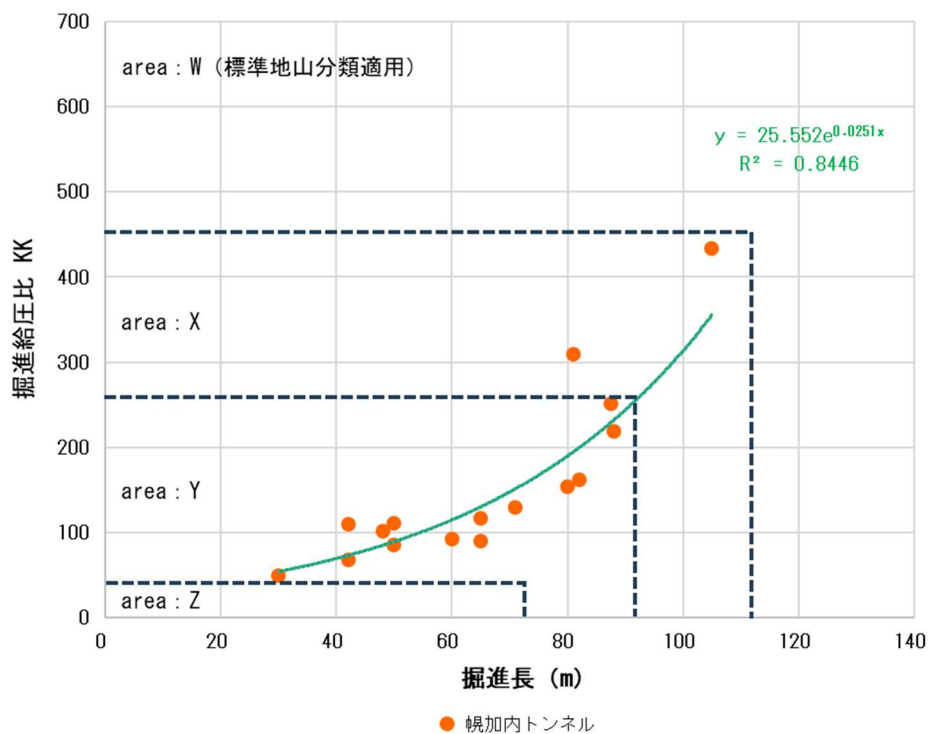


図-6.1.10 幌加内トンネル単独の指数近似

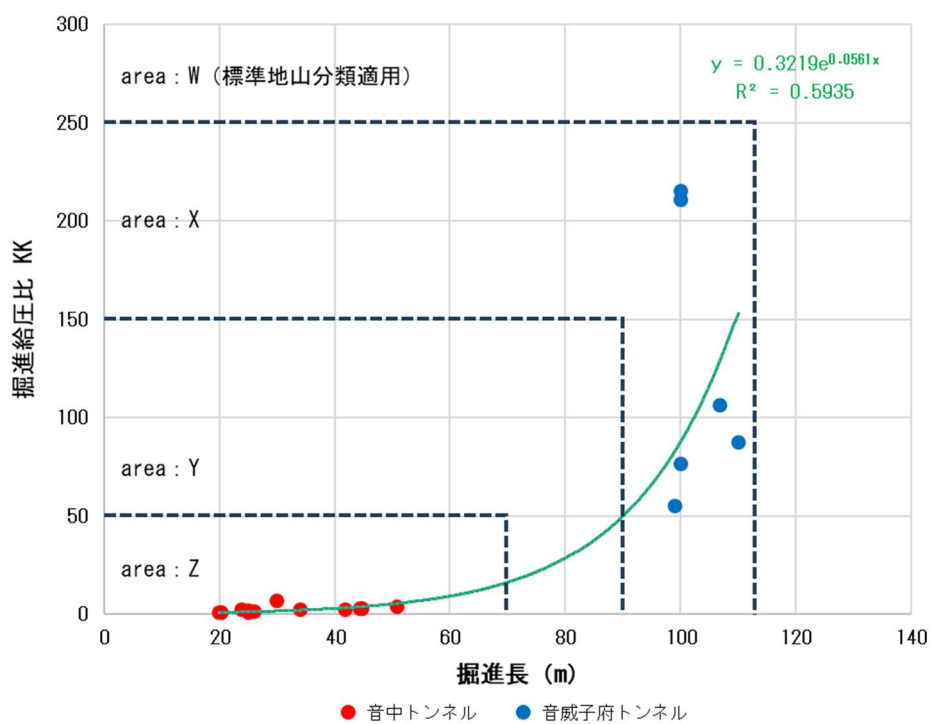


図-6.1.11 音中トンネルと音威子府トンネル組み合わせの指数近似

次に掘進給圧比と給圧を比較し、その結果を図化したものが図-6.1.12である。指数近似による相関は $R^2=0.4951$ とさほど悪い数値ではない結果であった。

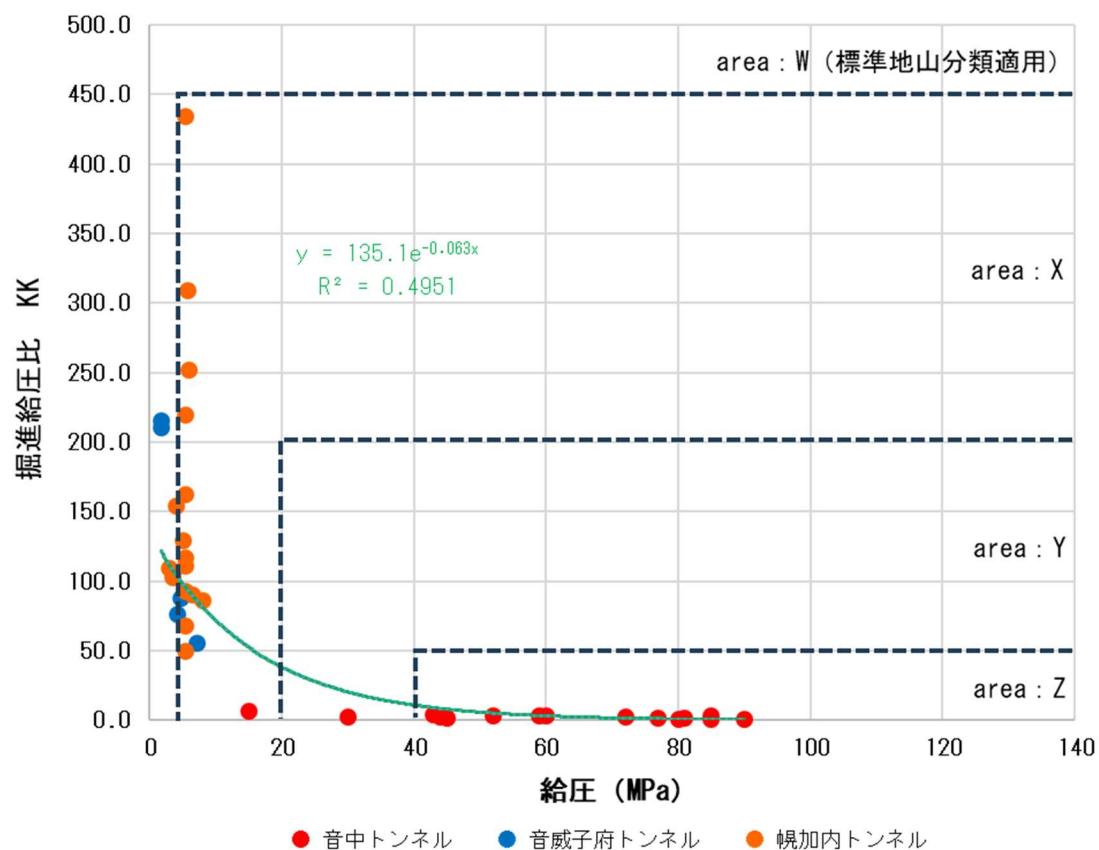


図-6.1.12 給圧と掘進給圧比の関係

ここでも掘進給圧比と掘進長との図化分析と同様に、area : Z を再分割化を試みるため、縦軸幅を小さくしたものを図-6.1.13 に示す。ここでも便宜的に area : Z-z と area : Z-y に再分割化したものの、明瞭な分割境界を設定することは、図-6.1.9 と同様に困難と判断するが、ここでもある程度の目安は想定できると考える。

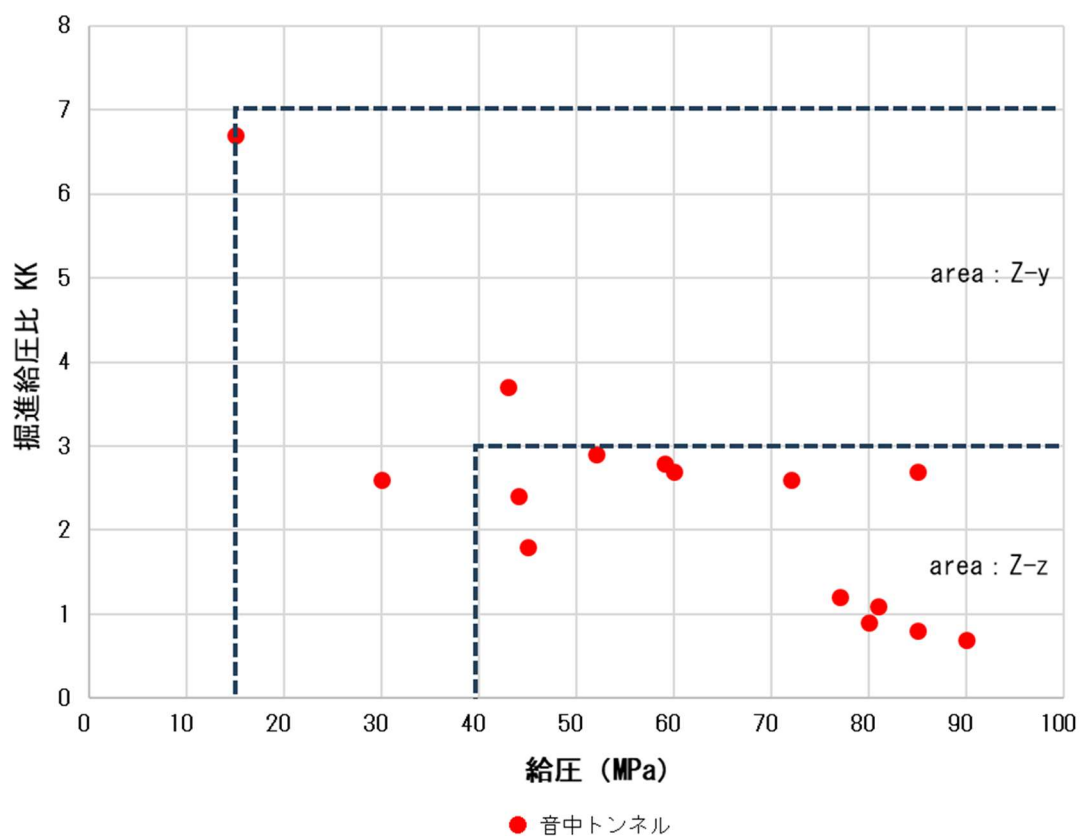


図-6.1.13 area : Z の再分割化（給圧）

6-1-4 先進ボーリングマシンデータと蛇紋岩形態別介在率の比較分析

(1) 蛇紋岩形態別介在率データの抽出手法

トンネルごとにおける蛇紋岩形態別の介在率の関係を図-6.1.14に示す。まず塊状率について見てみると、その平均値は3トンネルごとに、音中トンネルは3%、音威子府トンネルは58%、幌加内トンネルは31%であり、それぞれのトンネルと比べると大きな差異があることがわかる。このような差異は、図-6.1.1に示したボーリング1本あたりの平均掘進長と非常に良く似た傾向にあるため、塊状率と平均掘進長との間には密接な関係性があることが推察される。一方、粘土状率については塊状率と全く逆の傾向が見られ、平均掘進長と負の相関、すなわち粘土状率が高いと掘進長が短く、低いと掘進長が長くなる傾向があると考えられる。なお、その中間形態でもある葉片状率は3つのトンネル間にそれほど顕著な差異はなく、掘進長との相関性までは判断できない。

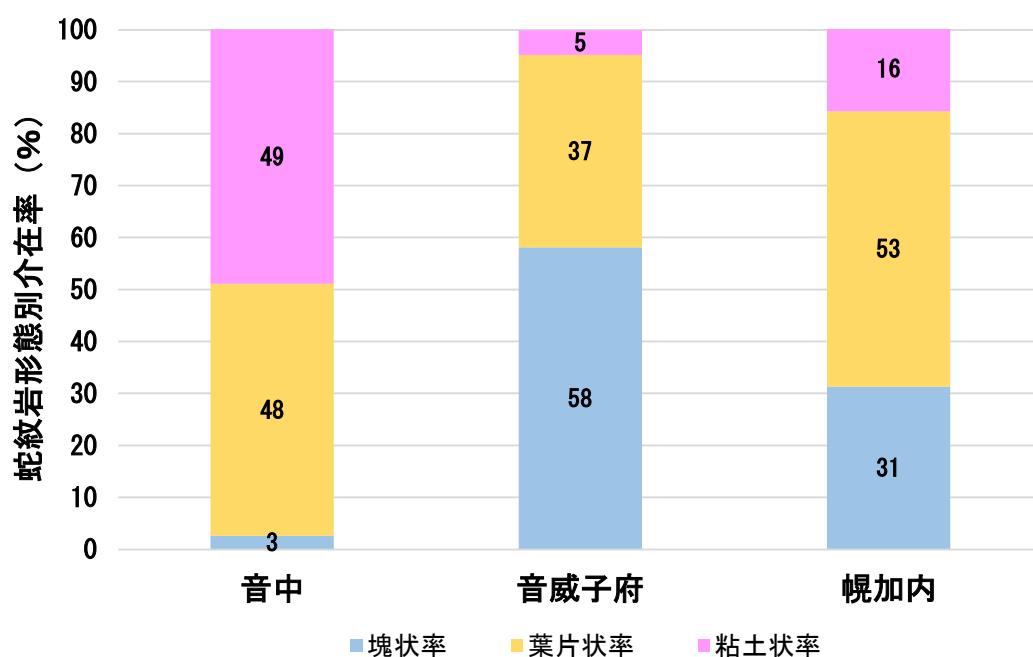


図-6.1.14 3トンネル別の蛇紋岩形態別の介在率

次からの(2)～(5)では、蛇紋岩形態別(塊状・葉片状・粘土状)に対して先進ボーリングマシンの機械データ(掘進長・給圧・掘進速度・回転数)との比較を試みる。データサンプルの抽出手法は、表-6.1.3(例:蛇紋岩形態別×掘進長)のように、3トンネルの先進ボーリングごとの蛇紋岩形態別判定において、割合が最大な蛇紋岩形態を抽出し、そこに先進ボーリングの機械データ4種類をそれぞれあてはめていくこととする。

表-6.1.3 比較の手法

先進ボーリング毎に蛇紋岩形態3種類の中で高率のものを選択（青着色）、黄着色は除外

TN名	Br No.	塊状率 (%)	葉片状率 (%)	粘土状率 (%)	掘進長 (m)		
					塊状	葉片状	粘土状
音中	KB-12						
	KB-13	0	100	0		26.0	
	KB-14	0	31	69			25.0
	KB-15	0	56	44		44.5	
	KB-16	0	63	37		44.4	
	KB-17	0	83	17		50.8	
	KB-18	0	33	67			44.8
	KB-19	0	33	67			41.8
	KB-20	0	57	43		44.8	
	KB-21	0	33	67			20.0
	KB-22	0	33	67			30.0
	KB-23	0	33	67			23.8
	KB-24	0	33	67			20.3
	KB-25	0	34	66			20.3
	KB-26	0	33	67			34.0
	KB-27	42	20	39	25.0		
音威子府	B-12	23	74	3		99.0	
	B-13	35	37	28		100.0	
	B-14	49	47	2	100.0		
	B-15	67	25	8	110.0		
	B-16	76	23	0	106.7		
	B-17	78	23	0	100.0		
	B-18	44	56	0		118.0	
	B-19	96	3	2	100.0		
	B-20	55	45	0	110.0		
幌加内	B-2	2	35	64			81.0
	B-3	17	61	22		87.0	
	B-4	25	46	29		55.0	
	B-5	16	32	52			50.0
	B-6	34	42	24		82.0	
	B-7	53	47	0	71.0		
	B-8	38	29	33	42.0		
	B-9	27	73	0		48.0	
	B-10	15	85	0		80.0	
	B-11	38	60	3		60.0	
	B-12	51	34	15	30.0		
	B-13	43	40	17	65.0		
	B-14	58	42	0	42.0		
	B-15	37	63	0		65.0	
	B-16	24	76	0		88.0	
	B-17	23	74	3		105.0	
平均					75.1	70.4	35.5

(2) 掘進長と蛇紋岩形態種別

これまでの掘進長集計は3トンネルごとに記してきたところであるが、ここでは3トンネルすべての先進ボーリングから蛇紋岩形態ごとに対する掘進長を比較する。図-6.1.15では蛇紋岩形態別介在率と掘進長の分布を示す。全体的にばらつきは多いものの、傾向的には塊状および葉片状は掘進長の上位に位置し、粘土状は掘進長の下位に位置する傾向であった。この分布を基に蛇紋岩形態別の先進ボーリング平均掘進長を図-6.1.16に示す。塊状では75m、葉片状では70m、粘土状では36mとの結果となった。これら結果から、先進ボーリング1本あたりで延長が長く掘れるのは塊状であり、その逆に粘土状は掘りづらいこととなり、粘土状では塊状の半数以下であることがわかる。

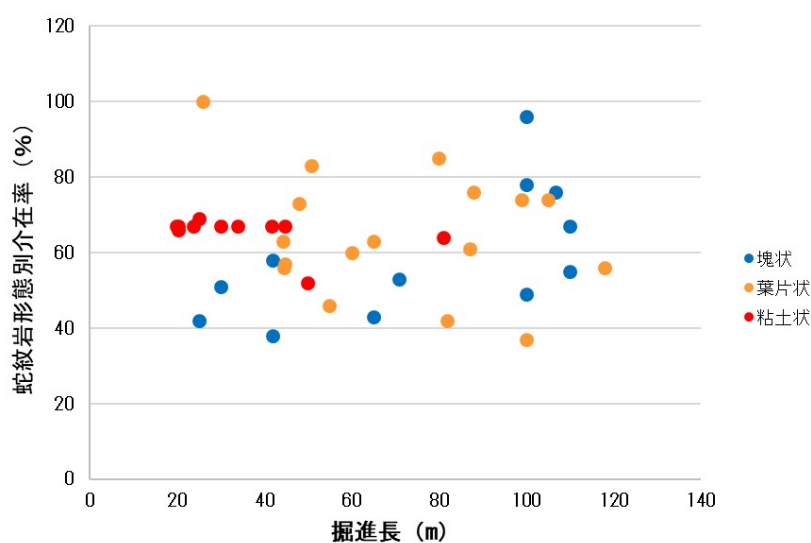


図-6.1.15 蛇紋岩形態別介在率と掘進長の分布

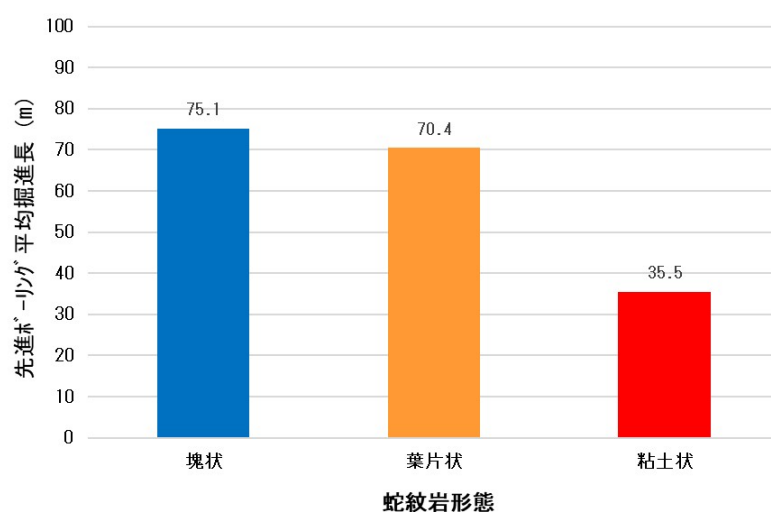


図-6.1.16 蛇紋岩形態別の先進ボーリング平均掘進長

(3) 給圧と蛇紋岩形態別

これまでの給圧集計は3トンネルごとに記してきたところであるが、ここでは3トンネルすべての先進ボーリングから蛇紋岩形態ごとに対する給圧を比較する。図-6.1.17では蛇紋岩形態別介在率と給圧の分布を示す。全体的にはばらつきは多いものの、傾向的には塊状では1点を除き給圧はすべて10MPa以下であり、葉片状では給圧の上位と下位に2分し、粘土状では給圧の上位に位置する傾向であった。この分布を基に蛇紋岩形態別の平均給圧を図-6.1.18に示す。塊状では8MPa、葉片状では27MPa、粘土状では52MPaとの結果となった。これら結果から、給圧を上げなくとも掘りやすいのは塊状であり、その逆に給圧を上げないと掘れないのは粘土状であり、粘土状では塊状の約6倍強の給圧であることがわかる。

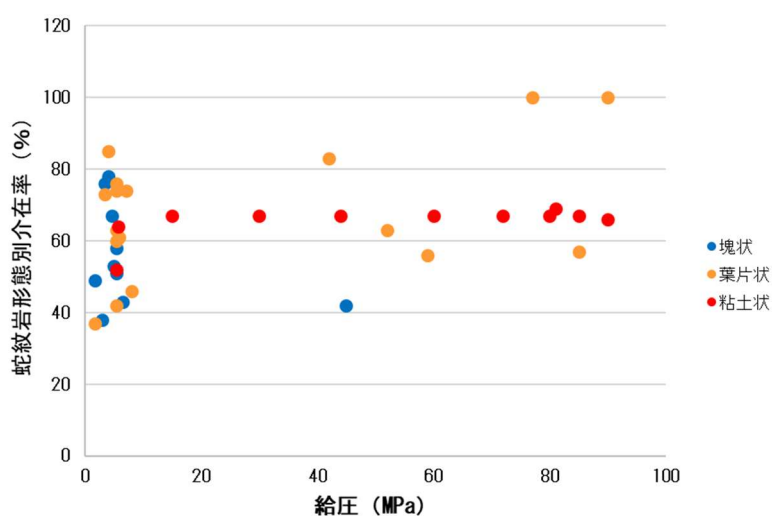


図-6.1.17 蛇紋岩形態別介在率と給圧の分布

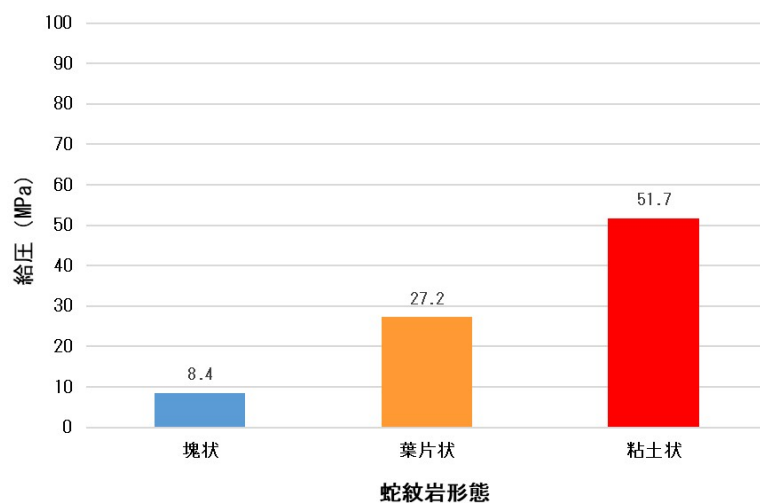


図-6.1.18 蛇紋岩形態別の平均給圧

(4) 掘進速度と蛇紋岩形態別

これまでの掘進速度集計は3トンネルごとに記してきたところであるが、ここでは3トンネルすべての先進ボーリングから蛇紋岩形態ごとに対する掘進速度を比較する。図-6.1.19では蛇紋岩形態別介在率と掘進速度の分布を示す。全体的にばらつきは多いものの、傾向的には塊状では1点を除き掘進速度の上位、葉片状は中位、粘土状は下位に位置する傾向であった。この分布を基に蛇紋岩形態別の平均掘進速度を図-6.1.20に示す。塊状では420cm/時、葉片状では250cm/時、粘土状では180cm/時との結果となった。これら結果から、進みが速いのは塊状であり、その逆に遅いのは粘土状であり、粘土状では塊状の半数以下の掘進速度であることがわかる。ただし、これは給圧との関係もあるので一概には言えない。

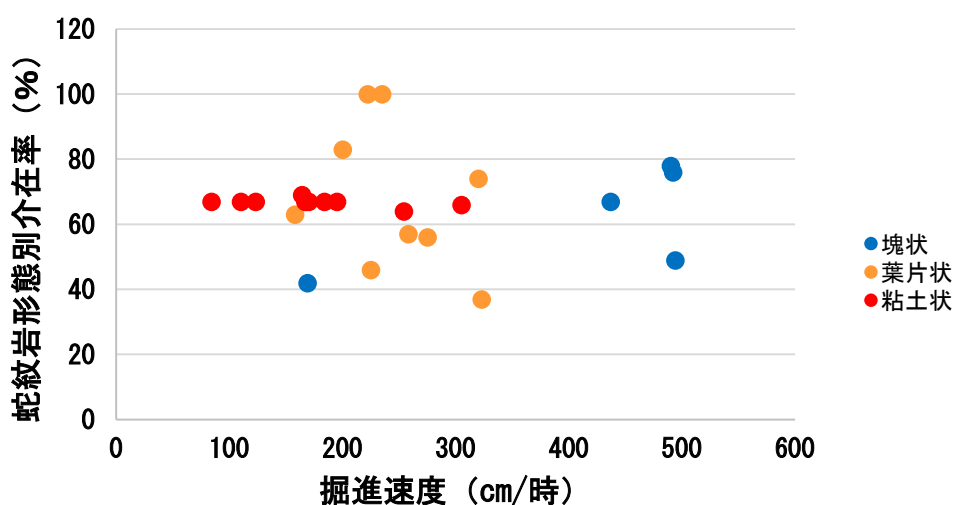


図-6.1.19 蛇紋岩形態別介在率と掘進速度の分布

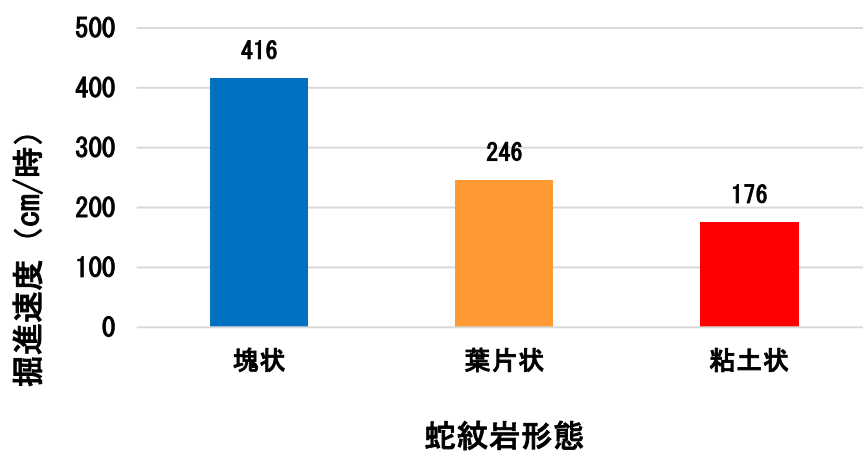


図-6.1.20 蛇紋岩形態別の平均掘進速度

（５）回転数と蛇紋岩形態別

これまでの回転数集計は３トンネルごとに記してきたところであるが、ここでは３トンネルすべての先進ボーリングから蛇紋岩形態ごとに対する回転数を比較する。図-6.1.21では蛇紋岩形態別介在率と回転数の分布を示す。この回転数は回転を維持するために給圧の上げ下げで調整しているため、この回転数のみで比較することは適切とはいえない。この分布を基に蛇紋岩形態別の平均回転数を図-6.1.22に示す。塊状では340rpm、葉片状では460rpm、粘土状では450rpmとの結果となった。これらの結果から、葉片状・粘土状では早い回転数が必要であり、この回転数の維持や掘進の確保をするために回転数を給圧の上昇によって保っていると推察する。

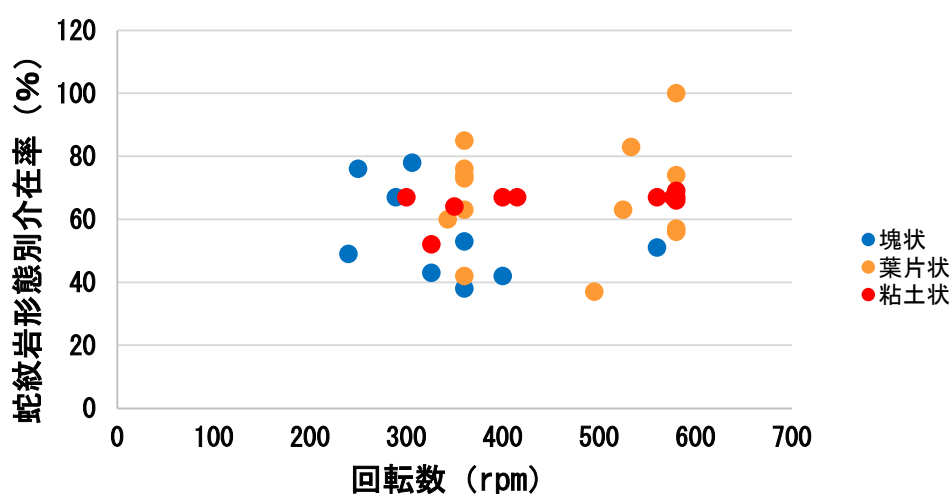


図-6.1.21 蛇紋岩形態別介在率と回転数の分布

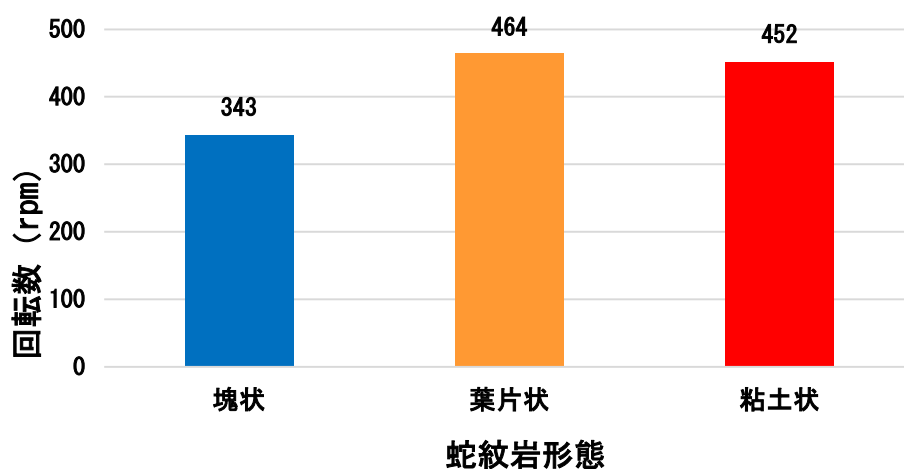


図-6.1.22 蛇紋岩形態別の平均回転数

6-1-5 先進ボーリングマシンデータと計測 A の比較分析

(1) 計測 A データの抽出手法

先進ボーリング等施工中に得られる情報をもとに的確な地山評価を行うことは、安全確実な施工を遂行する上で極めて重要である。本項ではこれまでに得られたボーリングデータの特性に鑑み、現地での計測結果との比較検証も踏まえた施工時の活用方策について考える。一般的に蛇紋岩トンネルの施工において最も危惧されることは、その膨張圧に支保工が耐えられず、大きな内空変位が発生することである。これを未然に防ぐためには、なるべく早い段階で内空変位増大につながるとされる適切な情報を入手することが重要である。今回、検討対象としている先進ボーリングの場合、掘進に必要な給圧・掘進速度・回転数さらには掘進長といった情報は施工現場において最初に得られるデータである。その次に、先進ボーリングによるコアサンプリングを行い、形態別介在率等が判明することとなり、これらはトンネル施工中に得られる貴重な情報となる。そこでまず、すべての先進ボーリングにおける掘進時の記録が残っている掘進長等と計測 A で計測される内空変位量と沈下量の相関性に着目して分析してみることにした。表-6.1.4 に示すとおり、各トンネルの先進ボーリングごとの蛇紋岩形態別の範囲で実施された計測 A の断面から、内空変位量および沈下量の最大値を用いることとした。抽出された結果一覧を表-6.1.5 に示し、これらに対して先進ボーリングマシンの機械データ 4 種類（掘進長・給圧・掘進速度・回転数）をそれぞれあてはめていくこととする。なお、トンネル別に掘削断面積や施工時のサイクルタイムなどに差異はあるものの、掘進長と内空変位量および沈下量との相関性により高い汎用性と適用性を期待する目的で、ここでは敢えてそれらの差異を無視して分析することとした。抽出測点数は音中トンネルで 63 断面、音威子府トンネルで 89 断面、幌加内トンネルで 110 断面である。

表-6.1.4 計測 A 結果からの最大値の抽出

断面 NO.	計測 測点	最終測定日の内空変位量 (mm)				最終測定日の沈下量 (mm)					Br No.	塊状 率 (%)	葉片状 率 (%)	粘土状 率 (%)
		A	B	C	D	1	2	3	4	5				
1	8,151	-14.8	-13.6	-41.1	-27.6	-10.2	-12.0	-18.8	-8.3	-7.9	KB-12	0	100	0
2	8,155	-17.3	-16.5	-40.0	-25.9	-21.6	-20.8	-17.4	-12.9	-13.2				
3	8,161	-36.4	-21.7	-75.8	-33.3	-18.9	-28.3	-17.7	-11.2	-9.3				
4	8,166	-32.6	-14.1	-60.5	-18.2	-18.4	-30.9	-9.3	-10.4	-4.4				
		-36.4	-21.7	-75.8	-33.3	-21.6	-30.9	-18.8	-12.9	-13.2				
			-75.8				-30.9							

表-6.1.5 計測 A 結果の最大値一覧

トンネル名	Br No.	最大内空変位量 (mm)	最大沈下量 (mm)	トンネル名	Br No.	最大内空変位量 (mm)	最大沈下量 (mm)	トンネル名	Br No.	最大内空変位量 (mm)	最大沈下量 (mm)
音中	KB-12	-75.8	-30.9	音威子府	B-12	-54.8	-29.4	幌加内	B-2	-68.4	-87.1
	KB-13	-205.2	-97.4		B-13	-44.1	-24.7		B-3	-71.1	-79.3
	KB-14	-172.2	-107.6		B-14	-39.6	-15.9		B-4	-71.5	-88.7
	KB-15	-220.2	-116.0		B-15	-43.4	-16.5		B-5	-65.2	-49.8
	KB-16	-162.1	-108.6		B-16	-42.0	-20.9		B-6	-57.9	-52.8
	KB-17	-183.0	-121.8		B-17	-35.0	-16.4		B-7	-92.1	-85.6
	KB-18	-291.0	-165.7		B-18	-34.1	-17.0		B-8	-116.4	-92.9
	KB-19	-190.0	-170.0		B-19	-35.9	-10.2		B-9	-106.5	-80.4
	KB-20	-188.6	-205.7		B-20	-52.2	-31.7		B-10	-90.3	-73.8
	KB-21	-109.7	-87.6				B-11		-109.4	-97.5	
	KB-22	-208.4	-144.6				B-12		-71.4	-74.0	
	KB-23	-141.6	-113.6				B-13		-94.6	-95.7	
	KB-24	-204.9	-126.5				B-14		-89.2	-81.2	
	KB-25	-78.1	-81.0				B-15		-98.0	-101	
	KB-26	-71.0	-64.3				B-16		-40.5	-54.2	
						B-17	-16.5		-10.5		

(2) 掘進長と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての先進ボーリングから掘進長に対する内空変位量および沈下量を比較する。掘進長に対し図-6. 1. 23 では内空変位量、図-6. 1. 24 で沈下量の分布を示す。

傾向的に音中トンネルでは掘進長が短く内空変位量および沈下量が多い、その逆に音威子府トンネルでは掘進長が長く内空変位量および沈下量は小さく、幌加内トンネルでは両者の中間に位置することとなった。そこでこの 3 トンネル全体での相関性を見るため、線形回帰式を適用した結果が同図の直線である。この時の決定係数は内空変位量では $R^2 = 0.4784$ 、沈下量では $R^2 = 0.532$ となり、弱いながらも相関性が認められた。すなわち、先進ボーリングの時点で掘進長が短くならざるを得ない場合は、掘削後の内空変位が大きくなる可能性が高いことを示唆している。3 トンネルの関係性には線形回帰以外の非線形回帰式なども適用してみたが、いずれの場合もこの決定係数よりも小さくなり、おおむね線形性が適用できるものと考えた。

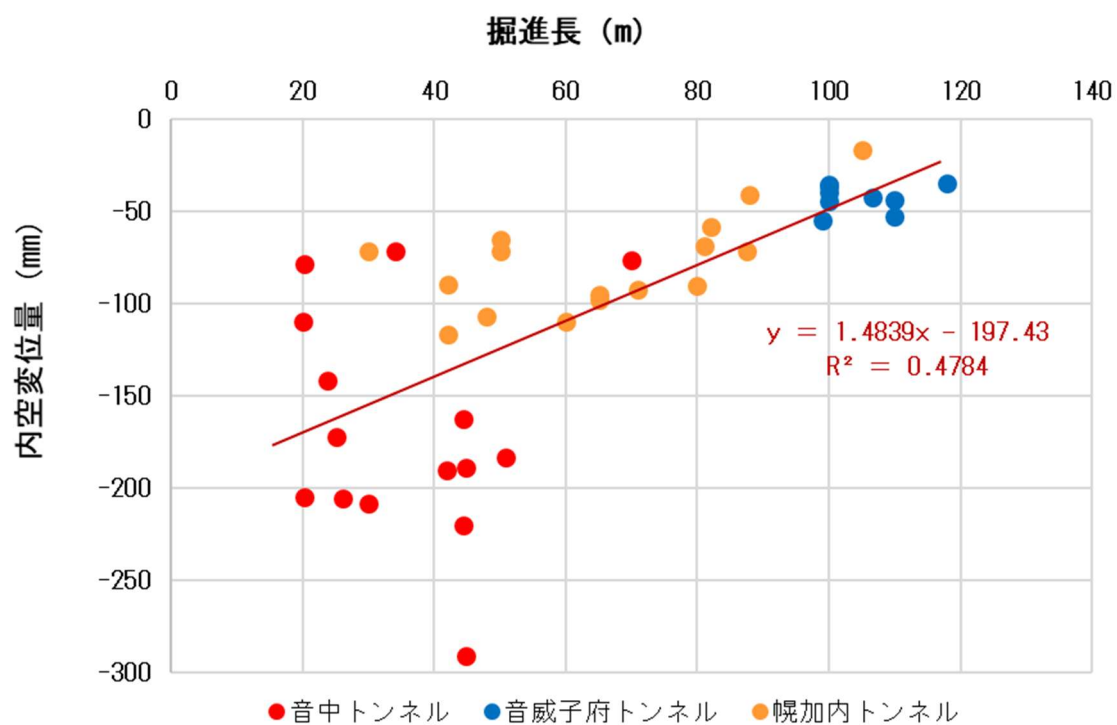


図-6.1.23 掘進長と内空変位量のトンネル別分布と相関

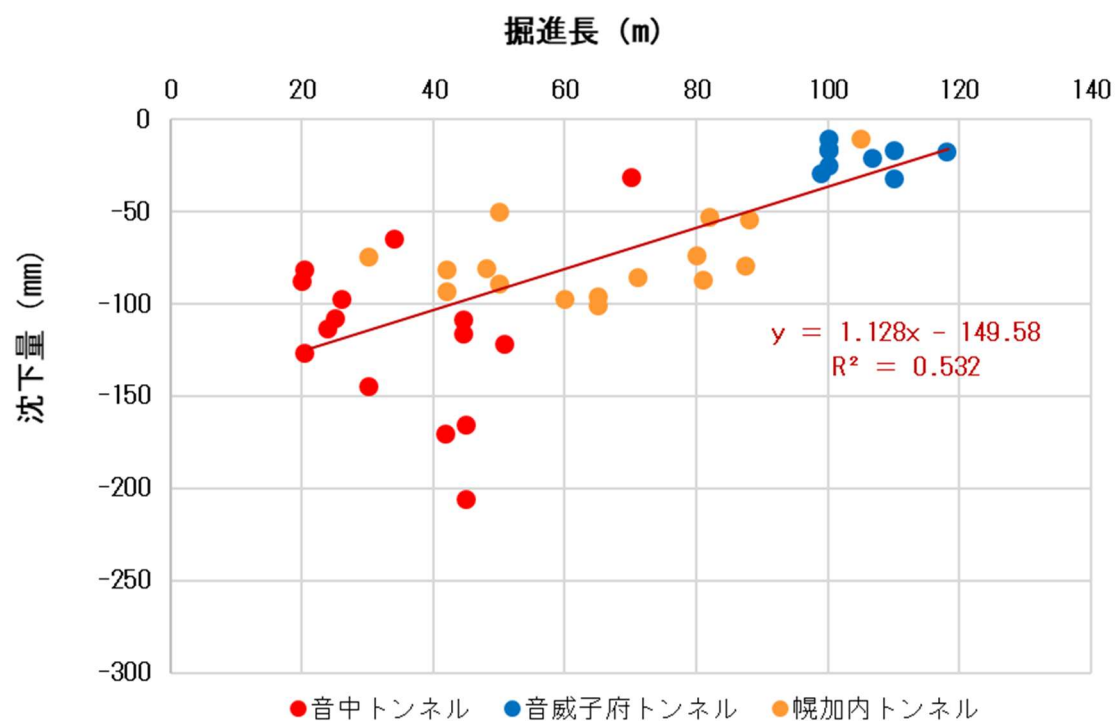


図-6.1.24 掘進長と沈下量のトンネル別分布と相関

(3) 給圧と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての先進ボーリングから給圧に対する内空変位量および沈下量を比較する。掘進長に対し図-6.1.25 では内空変位量、図-6.1.26 で沈下量の分布を示す。

傾向的に音中トンネルでは給圧が高く内空変位量および沈下量が大きく、その逆に音威子府トンネルおよび幌加内トンネルでは給圧は低く内空変位量および沈下量は小さい。給圧の低い音威子府トンネルおよび幌加内トンネルでの内空変位量と沈下量は双方とも幌加内トンネルのほうが多少多く変位する傾向が見える。そこでこの 3 トンネル全体での相関性を見るため、線形回帰式を適用した結果が同図の直線である。この時の決定係数は内空変位量では $R^2=0.3807$ 、沈下量では $R^2=0.2635$ となり、さほどの相関性は認められない。

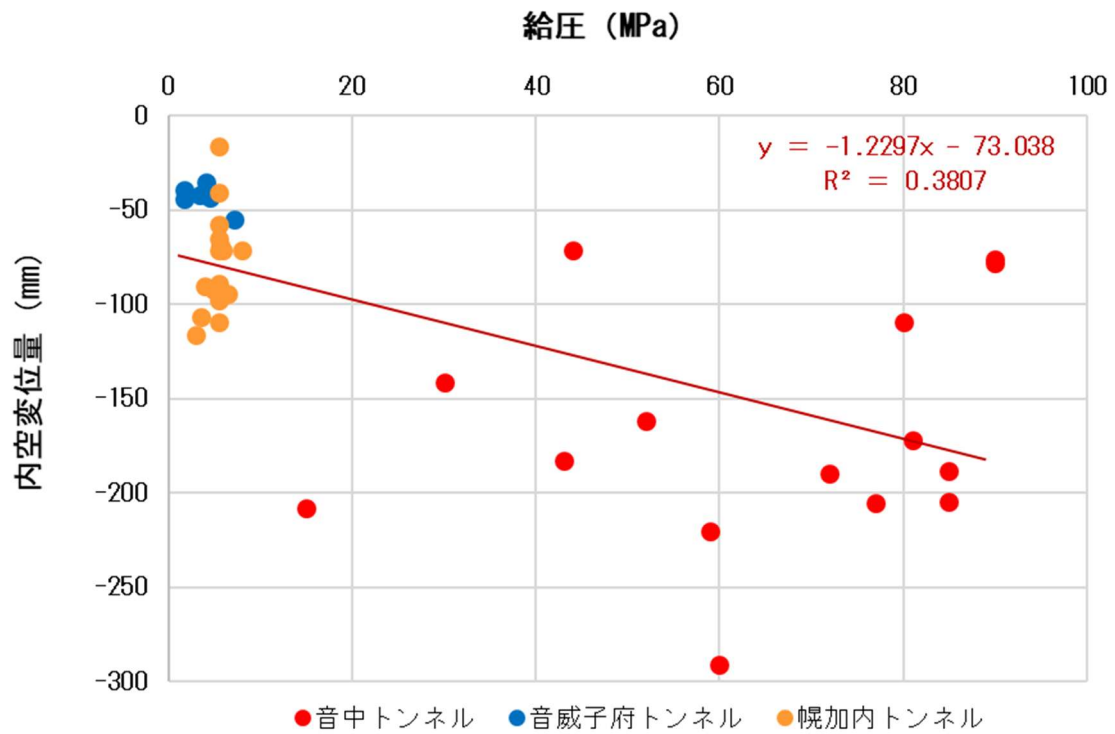


図-6.1.25 給圧と内空変位量のトンネル別分布と相関

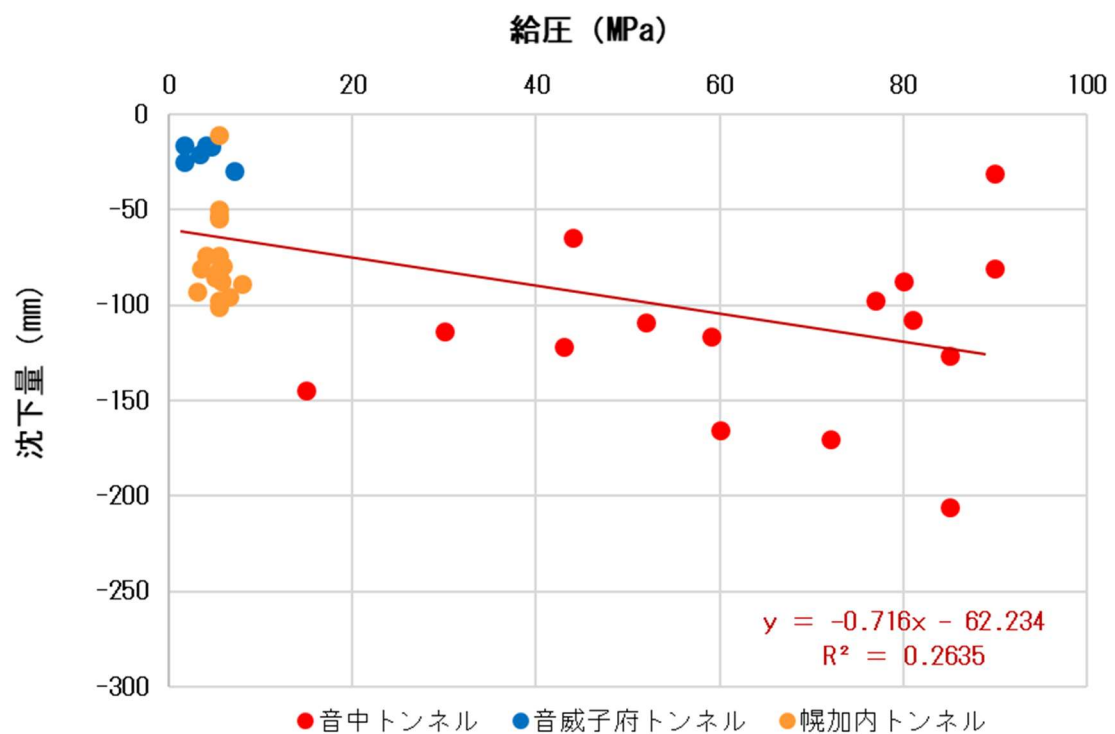


図-6.1.26 給圧と沈下量のトンネル別分布と相関

(4) 掘進速度と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての先進ボーリングから掘進速度に対する内空変位量および沈下量を比較する。掘進速度に対し図-6.1.27 では内空変位量、図-6.1.28 で沈下量の分布を示す。傾向的に音中トンネルでは掘進速度が遅く内空変位量および沈下量が大きく、その逆に音威子府トンネルでは掘進速度が速く内空変位量および沈下量は小さい。幌加内トンネルでは両者の中間に位置することとなった。そこで、この 3 トンネル全体での相関性を見るため、線形回帰式を適用した結果が同図の直線である。この時の決定係数は内空変位量では $R^2=0.4368$ 、沈下量では $R^2=0.4857$ となり、弱いながらも相関性が認められた。すなわち、先進ボーリングの時点で掘進速度が遅くならざるを得ない場合は、掘削後の内空変位が大きくなる可能性が高いことを示唆している。

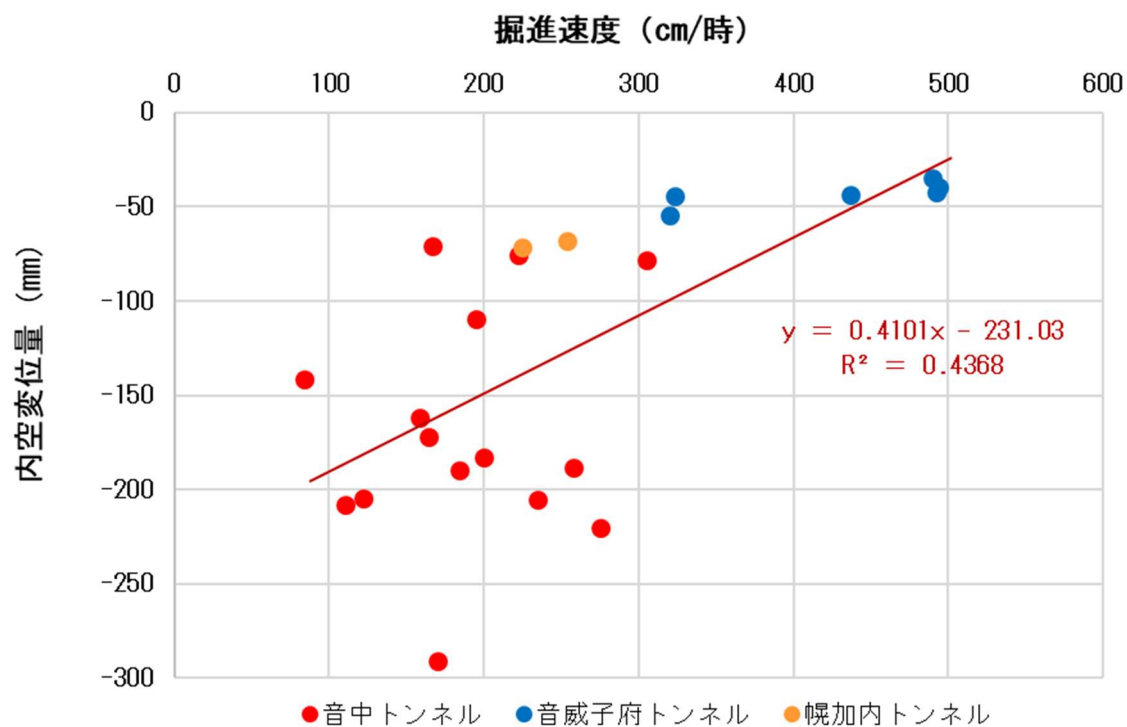


図-6.1.27 掘進速度と内空変位量のトンネル別分布と相関

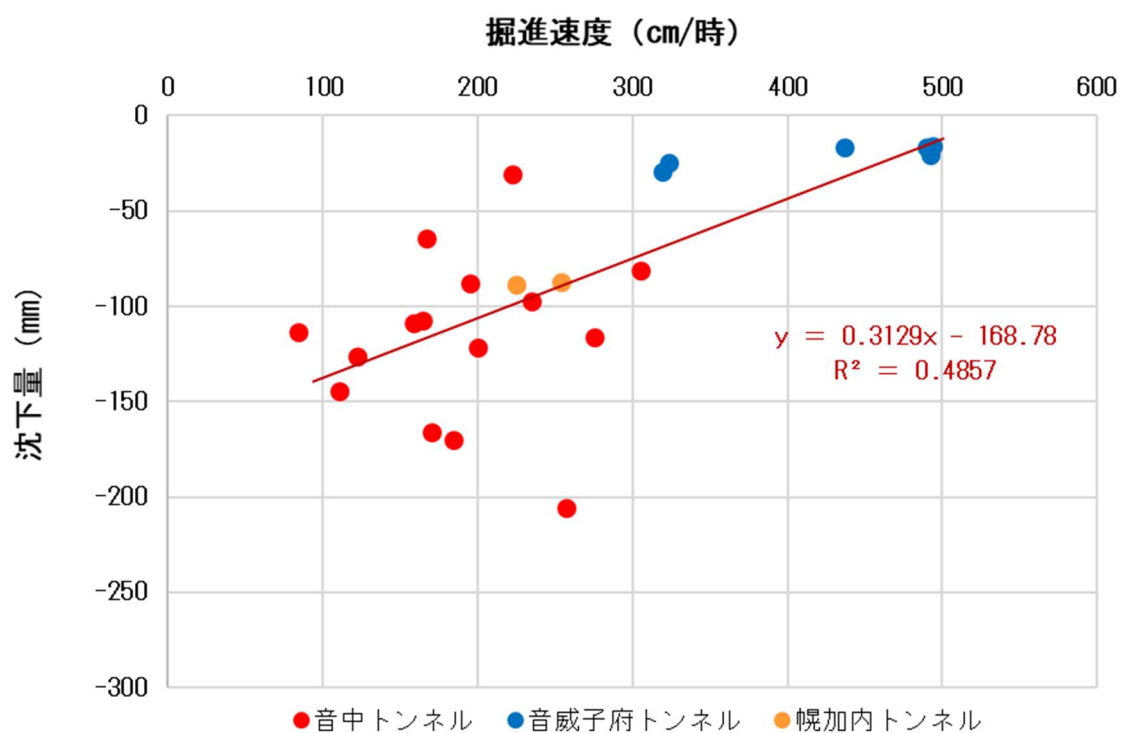


図-6.1.28 掘進速度と沈下量のトンネル別分布と相関

(5) 回転数と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての先進ボーリングから回転数に対する内空変位量および沈下量を比較する。回転数に対し図-6.1.29 では内空変位量、図-6.1.30 で沈下量の分布を示す。

傾向的に音中トンネルでは回転数が高く内空変位量および沈下量が多い、その逆に音威子府トンネルでは回転数が低く内空変位量および沈下量は小さい。幌加内トンネルでは両者の中間に位置することとなった。そこでこの 3 トンネル全体での相関性を見るため、線形回帰式を適用した結果が同図の直線である。この時の決定係数は内空変位量では $R^2 = 0.1857$ 、沈下量では $R^2 = 0.1381$ となり、ほとんど相関性が認められなかった。これは回転数の大小について給圧での調整により回転数が制御されていることから、相関関係は明確にならないものと推察される。

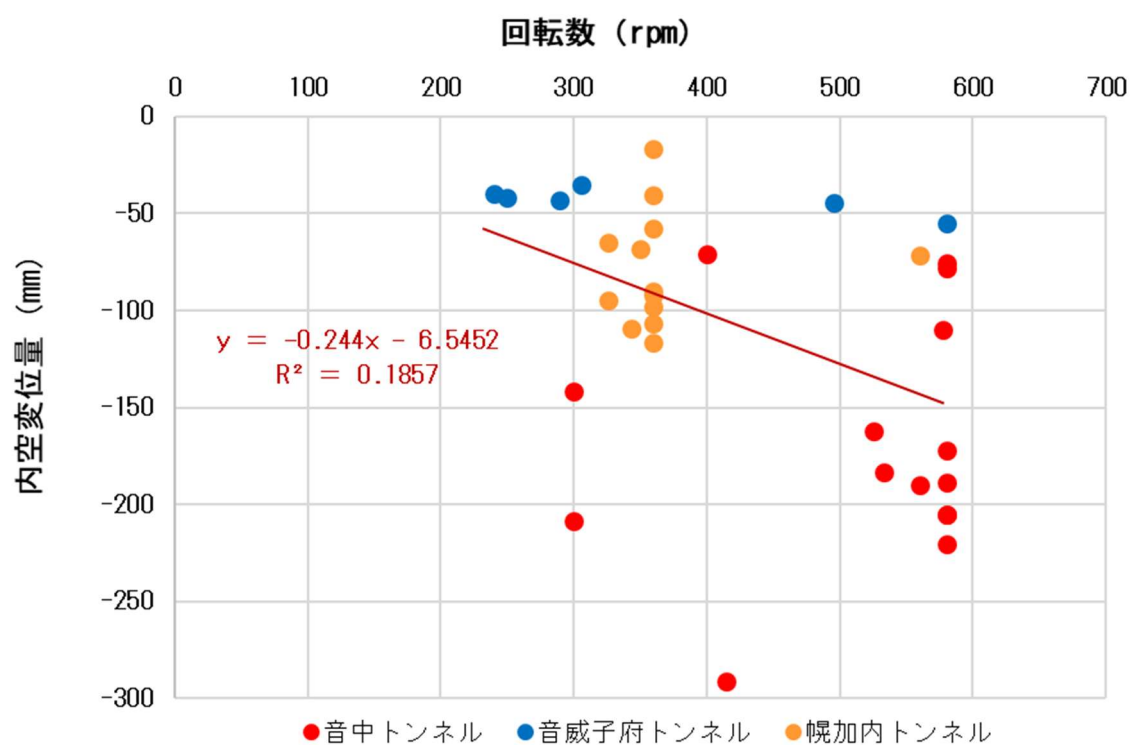


図-6.1.29 回転数と内空変位量のトンネル別分布と相関

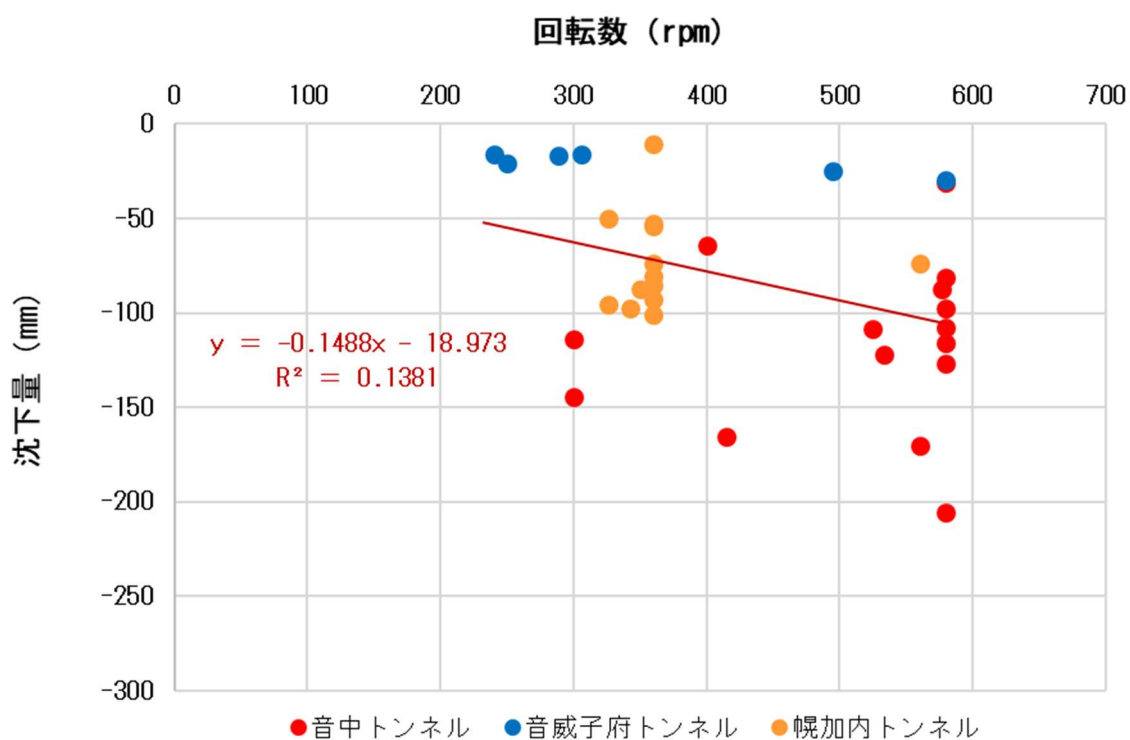


図-6.1.30 回転数と沈下量のトンネル別分布と相関

6-1-6 先進ボーリングマシンデータと計測 B の比較分析

(1) 計測 B データの抽出手法

6-1-5- (1) で述べた考え方と同様に、ここでは計測 B の測定断面を含んだ先進ボーリングにおける掘進時の記録が残っている掘進長等と計測 B で計測される鋼製支保工軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリート応力、ロックボルト軸力との相関性に着目して分析することとした。データの抽出は、3 トンネル別および測定断面別に、最終測定日に測定された値を最大値とし、分析は表-4. 4. 2 の管理基準値の管理レベルⅢ (100%) の超過具合から行うこととした。測点数は音中トンネルで 7 断面、音威子府トンネルで 4 断面、幌加内トンネルで 4 断面であり、参照する測定値は、音中トンネルは表-5. 1. 22～表-5. 1. 28、音威子府トンネルは表-5. 2. 15～表-5. 2. 18、幌加内トンネルは表-5. 3. 20～表-5. 3. 23 である。また、これら 3 トンネルの計測 B 最終値と管理基準値レベルⅢ (100%) の超過をとりまとめた一覧表が表-6. 1. 6 となる。

表-6. 1. 6 3 トンネルの計測 B 最終値と先進ボーリング No,

● : 発生率100%超、－ : 発生率100%未満、() 内は発生率平均値、□ は計測なし

トンネル名	計測点	先進 Br No,	一重支保 (地山) 側					二重支保 (内空) 側				
			鋼製支保工			吹付 コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付 コンクリート	ロック ボルト
			軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
音中トンネル	SP = 8, 174	KB-13	● (268%)	● (131%)	－ (41%)	－ (69%)	－ (27%)				－ (52%)	
	SP = 8, 242	KB-15	● (248%)	－ (52%)	－ (23%)	－ (57%)	－ (63%)				－ (38%)	
	SP = 8, 268	KB-16					－ (86%)					
	SP = 8, 440	KB-20	● (290%)	－ (80%)	－ (42%)	－ (48%)	－ (59%)	● (286%)	－ (88%)	－ (33%)	－ (65%)	
	SP = 8, 506	KB-22	● (359%)	－ (99%)	－ (46%)	－ (21%)	－ (65%)	● (187%)	－ (38%)	－ (22%)	－ (14%)	
	SP = 8, 556	KB-25	● (233%)	－ (73%)	－ (58%)	－ (15%)	－ (24%)					
	SP = 8, 574	KB-26	● (172%)	－ (48%)	－ (45%)	－ (42%)	－ (55%)	－ (2%)	－ (10%)	－ (17%)	－ (29%)	
音威子府トンネル	P = 2, 367.50	B-12	－ (95%)	－ (17%)	－ (8%)	－ (28%)	－ (22%)				－ (8%)	
	P = 2, 592.85	B-15	－ (73%)	－ (14%)	－ (8%)	－ (36%)						
	P = 2, 802.50	B-17	● (176%)	－ (18%)	－ (14%)	● (112%)						
	P = 2, 860.50	B-17	－ (84%)	－ (9%)	－ (10%)	－ (28%)						
幌加内トンネル	P = 138, 210	B-2	－ (58%)	－ (19%)	－ (12%)	－ (36%)	－ (5%)					
	P = 138, 396	B-5	－ (46%)	－ (19%)	－ (12%)	－ (46%)	－ (5%)					
	P = 138, 689	B-10	● (129%)	－ (75%)	－ (20%)	－ (43%)	－ (19%)					
	P = 139, 050	B-16	－ (43%)	－ (5%)	－ (5%)	－ (32%)	－ (29%)					

※ 発生率 : 許容断面力 (レベルⅢ) に対する実測値の割合

(2) 掘進長と計測 B

先進ボーリングで掘進された掘進長と計測 B で測定された鋼製支保工軸力の発生率平均の関係を示すとともに、その相関について示したものが図-6.1.31 である。傾向を見ると、掘進長が長いほど鋼製支保工軸力の発生が低く、掘進長が短いほど鋼製支保工軸力の発生は高い。その中間程に位置する掘進長が 50m～85m では鋼製支保工軸力の発生は低い領域となった。トンネル別に解説すると、掘進長が長い音威子府トンネルでは蛇紋岩形態が塊状主体であり、音中トンネルでは蛇紋岩形態は粘土状主体、この両トンネルの土被りはほぼ同じであることからみても、蛇紋岩形態の差異による特徴が見てとれる。幌加内トンネルでは掘進長が前述した両トンネルの中間に位置し、蛇紋岩形態は葉片状主体であって蛇紋岩種別の脆弱さからこの位置は大いに想定されるところである。鋼製支保工軸力では音威子府トンネルとほぼ同様な発生率であるが、これは土被りを両トンネルと比較すると約半数以下であることから理解できるところである。

相関を見ると、決定係数 R^2 は 0.601 であり、振り返って掘進長と計測 A における分布や、決定係数 R^2 (図-6.1.23、図-6.1.24) を確認すると、やはり掘進長は地山の脆弱さを表す重要な要素であると言える。

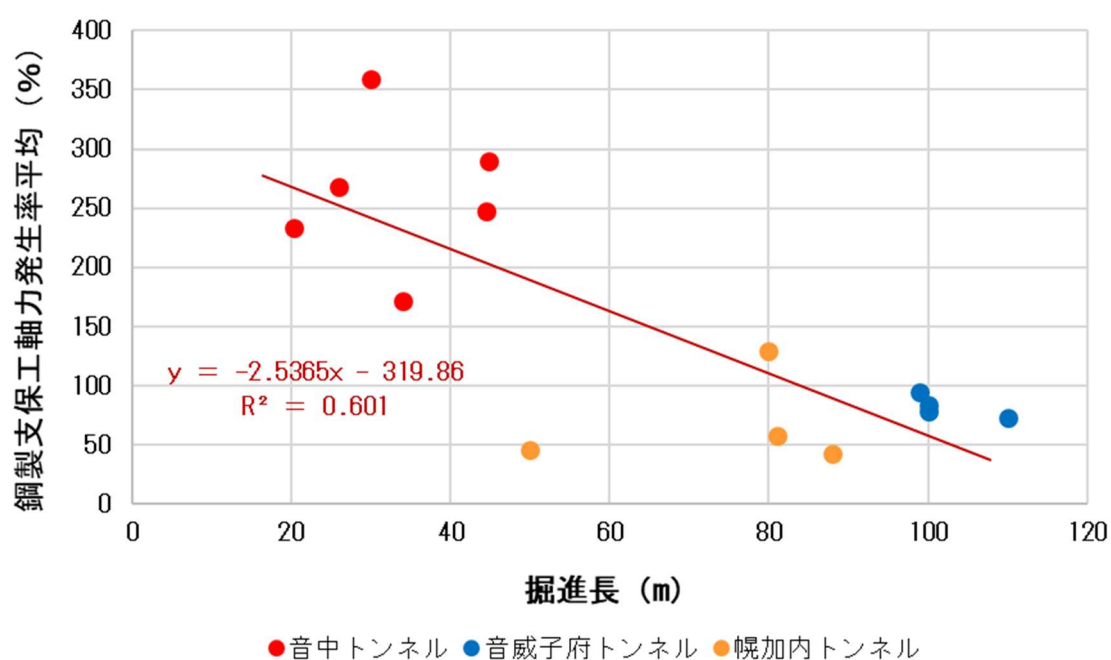


図-6.1.31 掘進長と鋼製支保工軸力発生率平均の分布と相関

(3) 給圧と計測 B

先進ボーリングマシンの機械データから得られた給圧と計測 B で測定された鋼製支保工軸力の発生率平均の関係を示すとともに、その相関について示したものが図-6.1.32 である。傾向を見ると、給圧が低く鋼製支保工軸力の低いグループとそれ以外の 2 分されていることがわかる。給圧が低く掘進できた領域では、鋼製支保工にかかる荷重が少なく、その反面、音中トンネルでは給圧を高くして掘進された領域で鋼製支保工への荷重が大きくなっている。これは、給圧を高くしているのは、先進ボーリングのコアチューブが地山からの拘束力を受けることによって、回転数を維持するためと想定されることから、給圧を必要とする領域では地圧がかかりやすく、その荷重が鋼製支保工への伝達することが想定され、支保構造の重装備化が必要と判断される。図-6.1.32 の相関を見ると、決定係数 R^2 は 0.5049 であり、プロット 1 点で離れが大きいものがあるながらもこの数値であった。この離れた 1 点を除外した場合では決定係数 R^2 は 0.8921 となり、振り返って給圧と計測 A における分布や決定係数 R^2 (図-6.1.25、図-6.1.26) を確認すると、やはり給圧も掘進長と同様に地山の脆弱さを表す重要な要素であると言える。

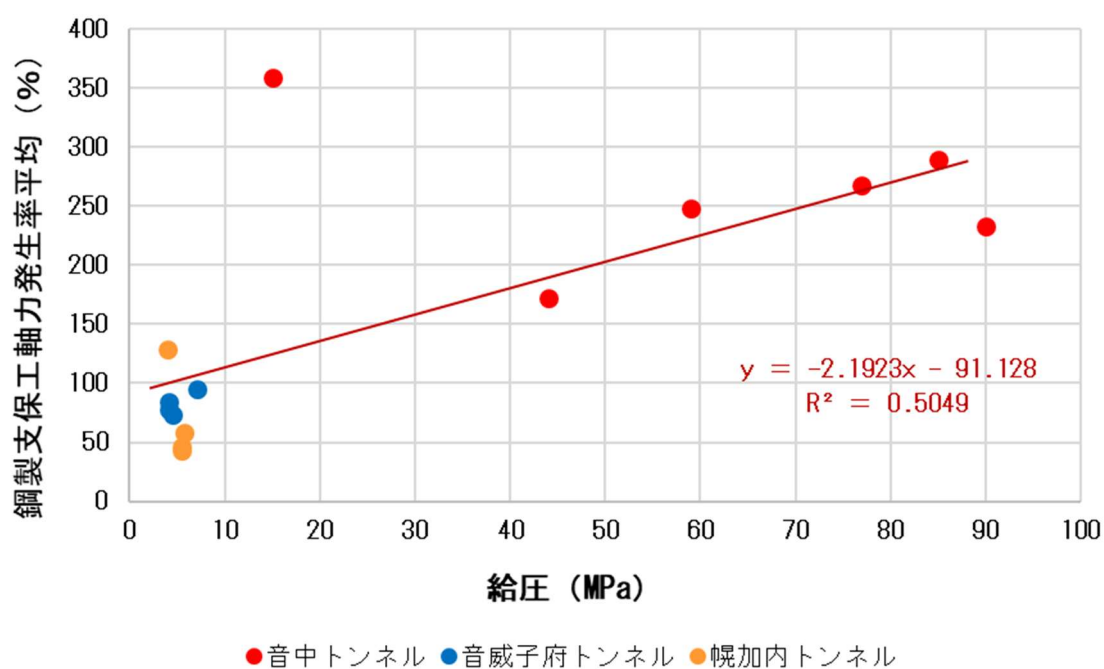


図-6.1.32 給圧と鋼製支保工軸力発生率平均の分布と相関

(4) 掘進速度と計測 B

先進ボーリングマシンの機械データから得られた掘進速度と計測 B で測定された鋼製支保工軸力の発生率平均の関係を示すとともに、その相関について示したものが図-6.1.33 である。

傾向を見ると、掘進速度が遅く鋼製支保工軸力の発生が高い領域と掘進速度が速く鋼製支保工軸力の発生が低い領域に分かれていることがわかる。これは前述の(3)で示した給圧と計測 B によく似た傾向を示し、地山からの荷重によって先進ボーリングのコアチューブに拘束力が働き、掘進速度の低下を招いたものと推察される。その掘進速度の遅い領域での蛇紋岩形態は粘土状であり、土被りとも相まってこのような結果になったものとも考えられる。その逆では、先進ボーリングのケーシングに拘束力がさほど働いていないと仮定すれば、給圧を上げずとも掘進速度が速まることは想定される。よって支保構造を考えるならば、給圧と掘進速度の組み合わせで、給圧が高く掘進速度が遅いとなれば、支保構造はおのずと重装備化の必要性を想定することができる。

相関を見ると、決定係数 R^2 は 0.5 であり、さほど悪くはない数値であることから、掘進長や給圧と同様に地山の脆弱さを表す重要な要素であると言える。これら掘進長・給圧・掘進速度によって鋼製支保工軸力の発生を予測することができ、支保部材として使用される鋼製支保工の規格アップ、加えて高規格支保工の使用検討など、参考にできるデータであると言える。

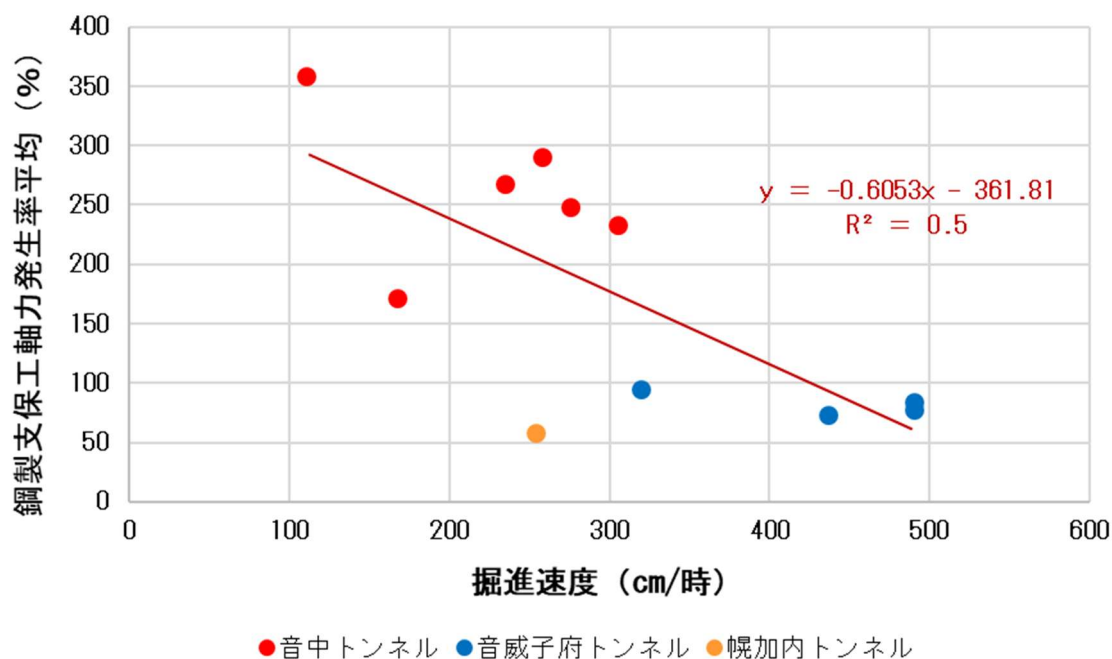


図-6.1.33 掘進速度と鋼製支保工軸力発生率平均の分布と相関

(5) 回転数と計測 B

先進ボーリングマシンの機械データで得られた回転数と計測 B で測定された鋼製支保工軸力の発生率平均の関係を示すとともに、その相関について示したものが図-6.1.34 である。

傾向を見ると、大きな特徴を確認することはできない。これは回転数が給圧に依存して上昇することに加え、回転数の最大は 580rpm を最大の目安として先進ボーリングを実施し、この最大の回転数にて掘進を継続できないと判断したとき、先進ボーリングを終了することのことが先進ボーリングを操作する者からのヒアリングで確認できた。この結果もあって同図からも相関性は認められない。よって回転数で何らかの判断をすることはできないと考える。

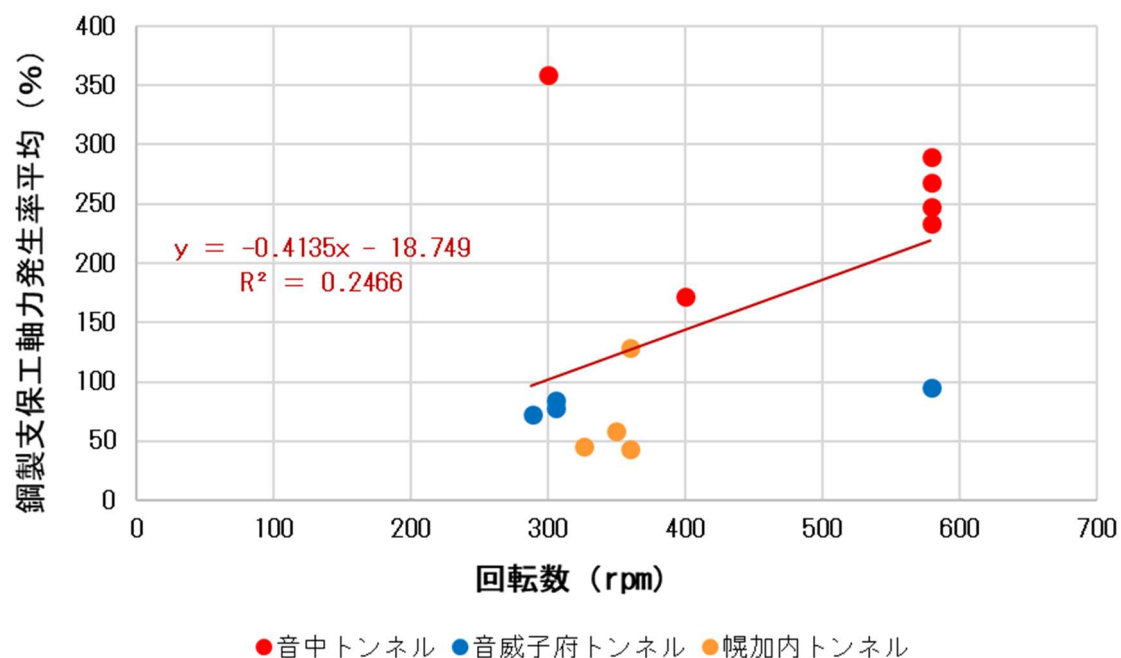


図-6.1.34 掘進速度と鋼製支保工軸力発生率平均の分布と相関

6-1-7 蛇紋岩形態別介在率別と計測 A の比較分析

前述した先進ボーリングマシンの機械データから得られた掘進長ならびに掘進速度と計測 A 結果にある程度の相関性が確認できたことから、当項においては蛇紋岩形態別および形態の介在率別と計測 A においても相関性があるものと考えた。そこで 6-1-4 と同様な順で蛇紋岩形態別および介在率別と計測 A の内空変位量および沈下量の分布を確認し、回帰式を求めることとした。

(1) 塊状率と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての塊状率に対する内空変位量および沈下量を比較する。塊状率に対し図-6.1.35 では内空変位量、図-6.1.36 で沈下量の分布を示すとともに、その相関についても同図に示す。傾向的に音中トンネルでは塊状の介在がなく塊状率が存在しない中で内空変位量および沈下量のが大きく、その逆に音威子府トンネルや幌加内トンネルでは塊状率が存在し、内空変位量および沈下量は小さい。特に、音威子府トンネルでは塊状率はすべて 20%を超過している上に内空変位量および沈下量ともに約 50mm 以下での変位で収まっていることがわかる。相関を見ると決定係数は内空変位量では $R^2=0.396$ 、沈下量では $R^2=0.3989$ となった。決して悪くない回帰結果であるものの、前述の掘進長と内空変位（図-6.1.23、 $R^2=0.4784$ ）および掘進速度と内空変位（図-6.1.27、 $R^2=0.4368$ ）の相関関係よりもやや悪化したことになる。その原因として、特に音中トンネルに多く見られる塊状率 0%のデータが多く存在し、その場合の内空変位量および沈下量のばらつきが大きいことにあるのではないかと考えた。そこで、塊状率 0%となるデータを除いて同じ分析を試みた。

結果を図-6.1.37 および図-6.1.38 に示す。その結果、決定係数 R^2 は 0.6578 まで上がることとなり、かなり強い相関性が認められることとなった。すなわち、塊状率はその後の掘削時の内空変位量を予測する上で非常に重要な因子であると同時に、塊状率が 20%を下回るようになると内空変位量の予測が困難なほどにばらつきが大きくなると言える。したがって、先進ボーリング時のコアサンプルから塊状率を逐次確認し、20%以上であれば概ね 100mm 以下の内空変位となることが予想される。一方、それよりも小さな塊状率であった場合は、100mm を超える内空変位が発生する可能性があるとともに、その変位量を予め予測することは極めて困難になると言え、現場での施工管理において重要な指標の一つになりうるものと考ええる。

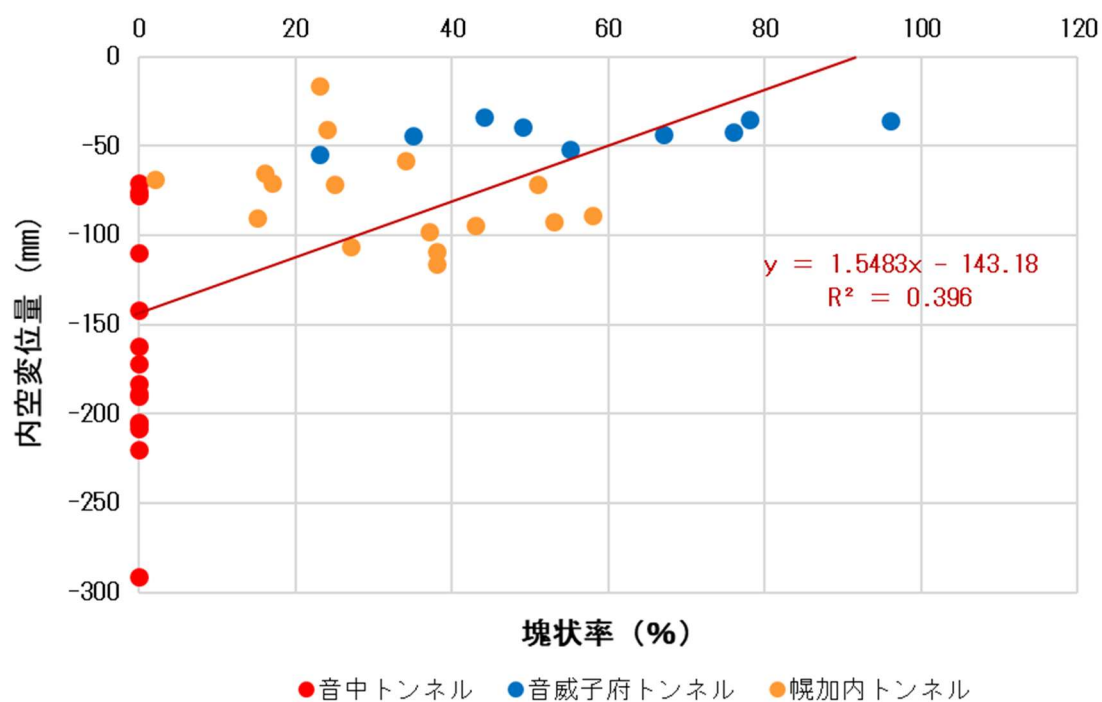


図-6.1.35 塊状率と内空変位量のトンネル別分布と相関

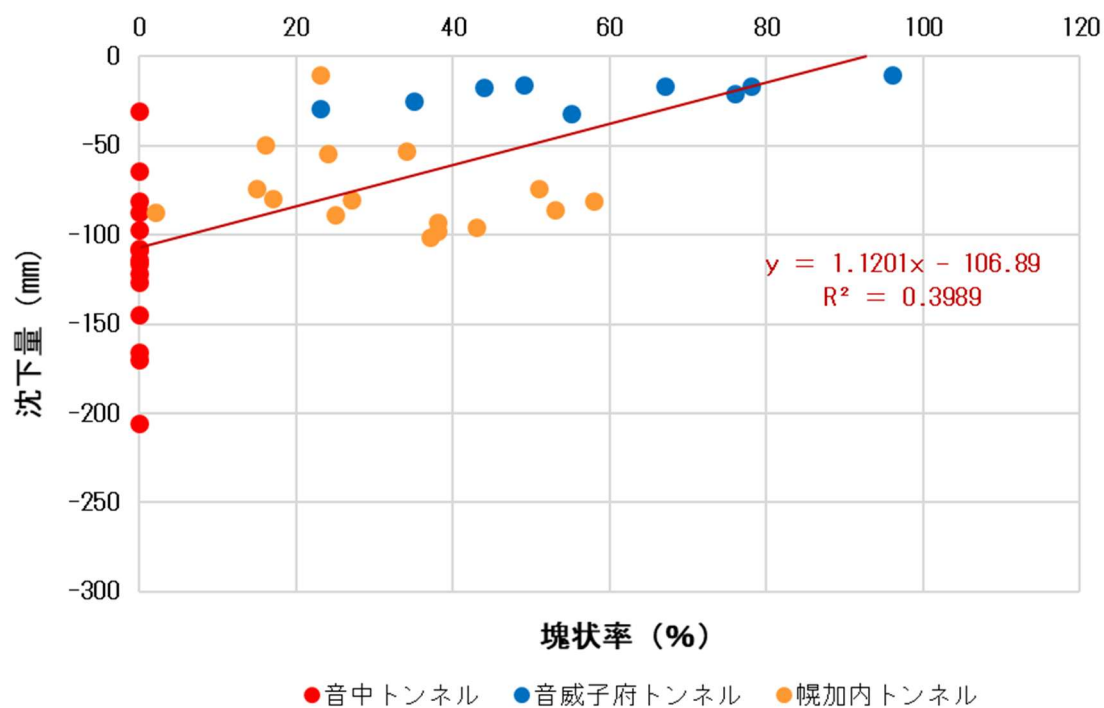


図-6.1.36 塊状率と沈下量のトンネル別分布と相関

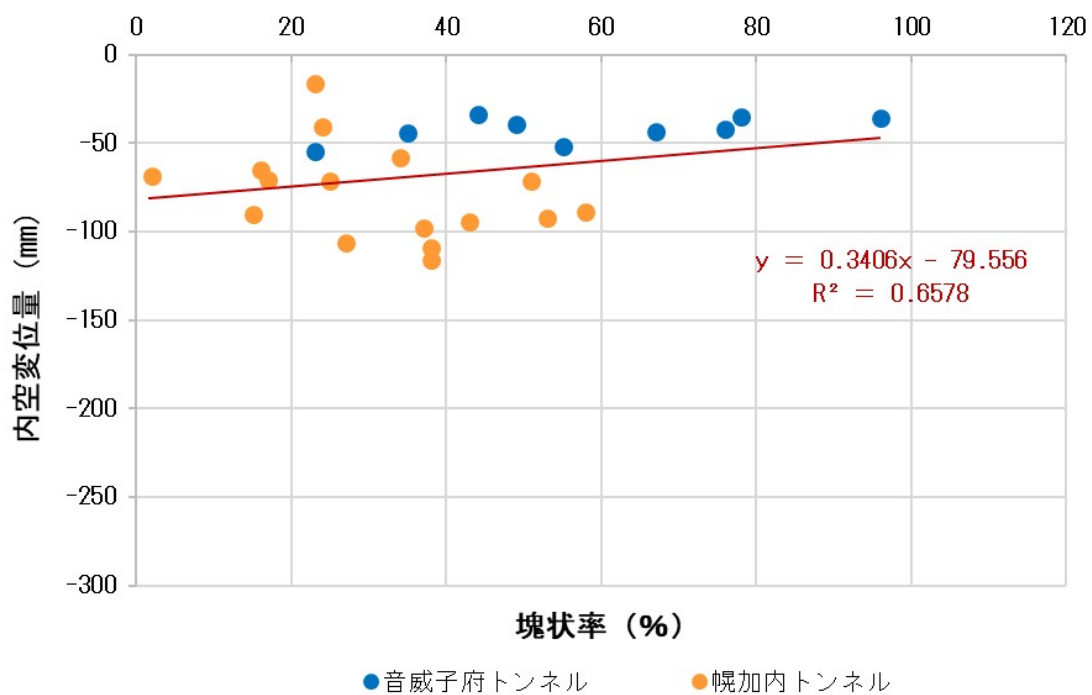


図-6.1.37 塊状率と内空変位量の分布と相関【塊状率0%を除く】

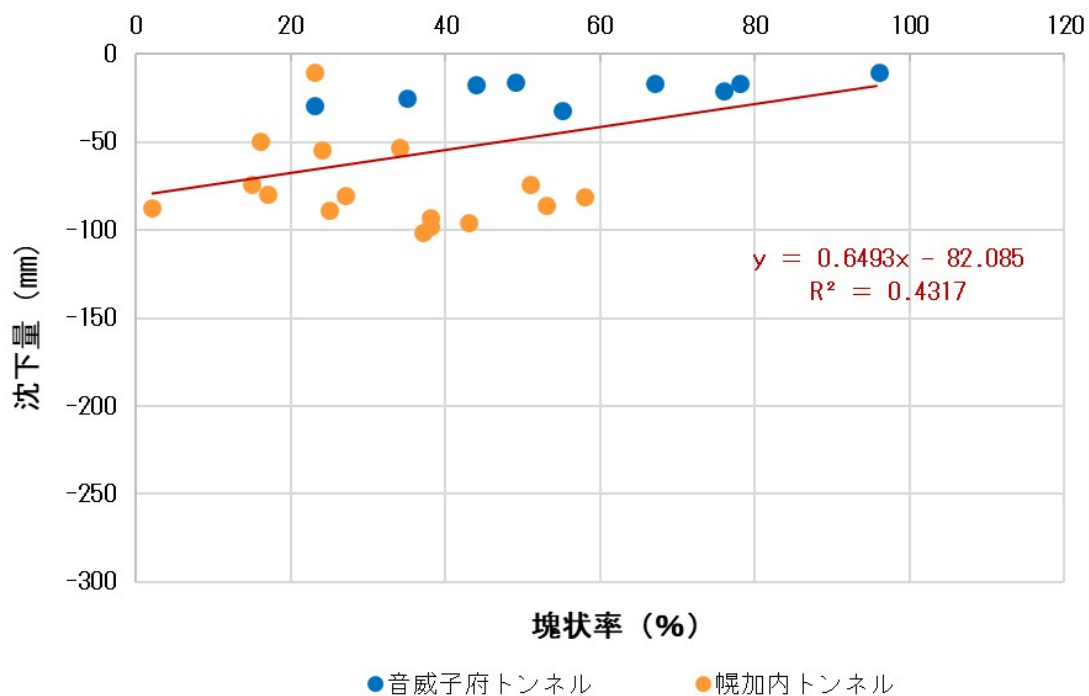


図-6.1.38 塊状率と沈下量の分布と相関【塊状率0%を除く】

(2) 葉片状率と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての葉片状率に対する内空変位量および沈下量を比較する。葉片率に対し図-6.1.39 では内空変位量、図-6.1.40 で沈下量の分布を示すとともに、その相関についても同図に示す。傾向的には葉片状率の範囲が 3 トンネルとも広域にわたっているが、内空変位量は一定の特徴を持っているように見える。音中トンネルでは約 180mm 前後の変位、幌加内トンネルでは約 90mm 前後の変位、音威子府トンネルでは約 40mm 前後に分布しているのがわかる。この分布から、相関関係はあまり成り立たないことは想像できる。

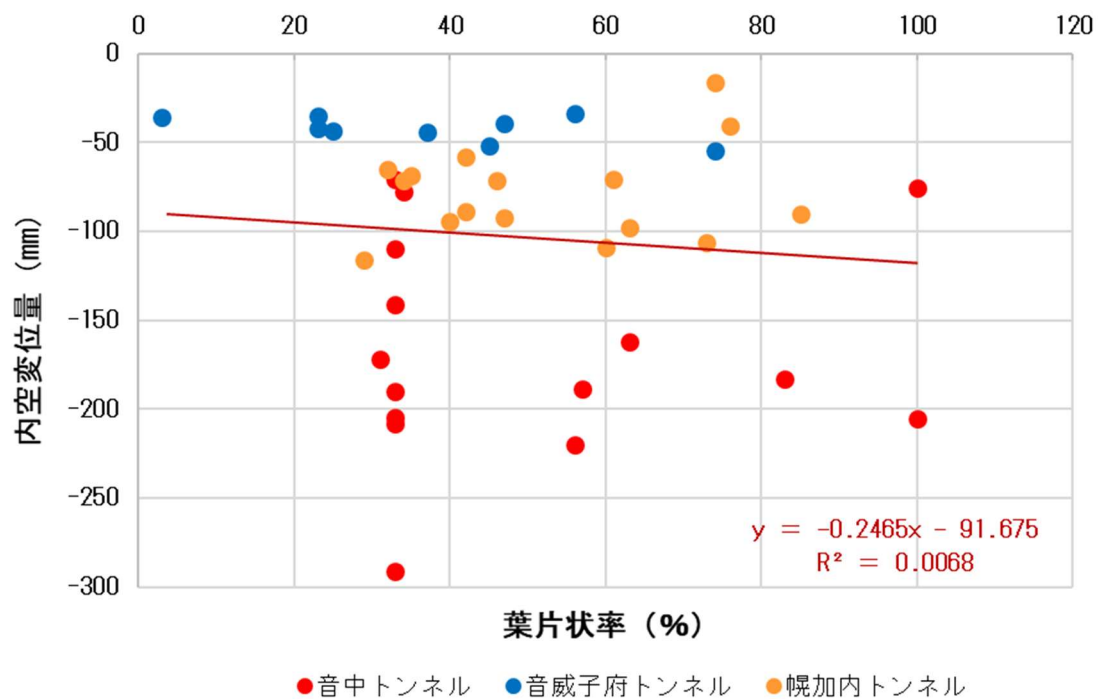


図-6.1.39 葉片状率と内空変位量のトンネル別分布と相関

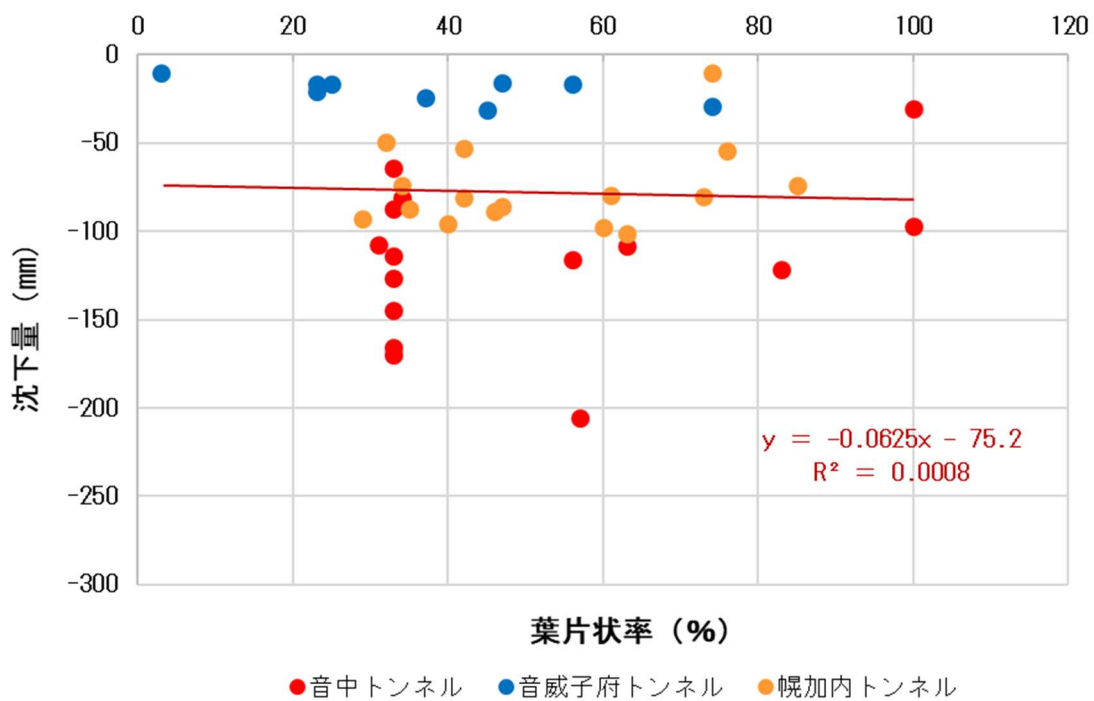


図-6.1.40 葉片状率と沈下量のトンネル別分布と相関

（３）粘土状率と計測 A

ここでは 3 トンネルすべての粘土状率に対する内空変位量および沈下量を比較する。粘土状率に対し図-6.1.41 では内空変位量、図-6.1.42 で沈下量の分布を示すとともに、その相関について同図に示す。ここでは前述（1）で示した塊状率と計測 A の相関において、塊状率 0% となるデータを除くと、塊状率と内空変位量の間には比較的良い相関性が認められたため、塊状率とは裏腹の関係にある粘土状率と内空変位量の間にも相関性があるのではないかと考え分析を行った。この時の決定係数 R^2 は 0.2954 であった。この結果からも明らかのように、塊状率ほどには強い相関性が見られず、塊状率 0% のデータを除いて回帰式を求めたのと同様、粘土状率 0% のものを除いた場合の回帰式について検討を行っても、決定係数 R^2 は内空変位量で 0.3244（図-6.1.43）、沈下量で 0.3517（図-6.1.44）であった。また、内空変位との相関性評価から除外された塊状率 0% のデータだけを使って粘土状率と内空変位との回帰式も求めてみたが、良い相関が認められる結果とはならなかった。以上の検討結果から、塊状率が 20% 程度を下回らない範囲では概ね内空変位量の予測が可能ではあるものの、それを下回る場合の内空変位量はばらつきも多く、予測することが難しいと考えられる。これは、先進ボーリング掘進長の顕著な低下とばらつきの増大とも関係しているものと推測される。



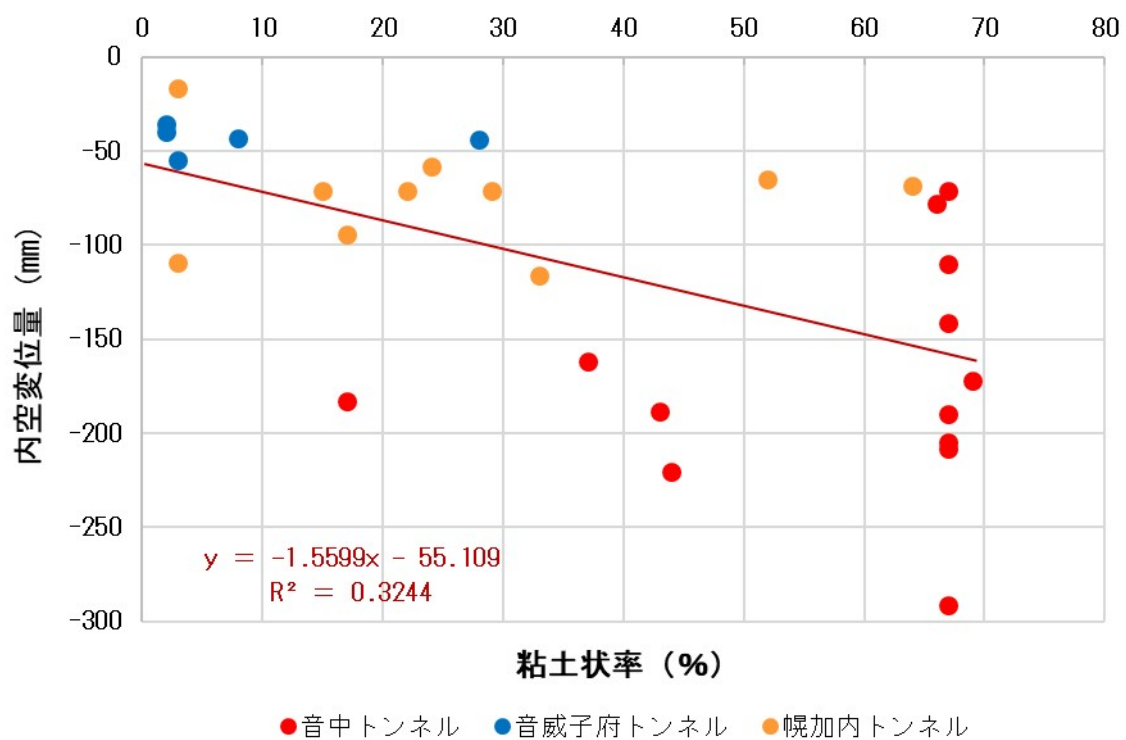


図-6.1.43 粘土状率と内空変位量の分布と相関【粘土状率 0%を除く】

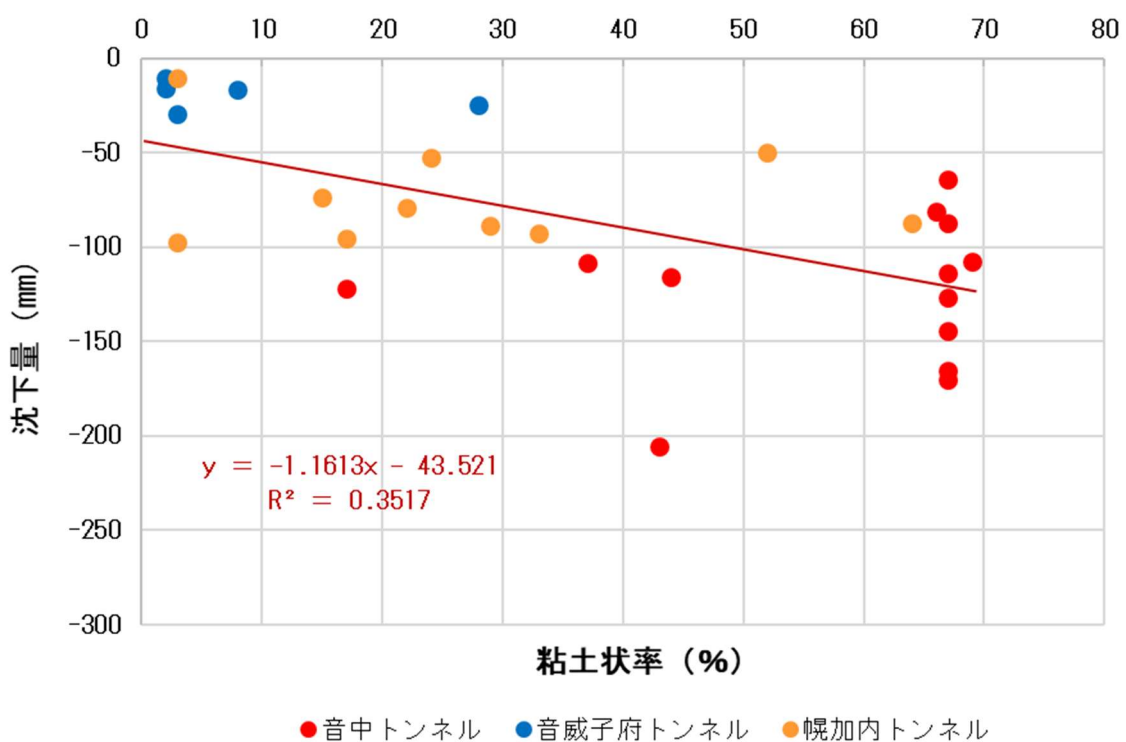


図-6.1.44 粘土状率と沈下量の分布と相関【粘土状率 0%を除く】

6-1-8 蛇紋岩形態別介在率別と計測 B の比較分析

前述した先進ボーリングマシンの機械データから得られた掘進長ならびに掘進速度と計測 A 結果および蛇紋岩形態別介在率別と計測 A の内空変位量および沈下量にても、ある程度の相関性が確認できたことから、当項においては蛇紋岩形態別と計測 B の鋼製支保工・吹付けコンクリート・ロックボルトへの応力および軸力等においても相関性があるものと考えた。そこでこれまでと同様な考え方で蛇紋岩形態別介在率に対する計測 B で得られた応力および軸力等から関係性を確認することとした。

(1) 蛇紋岩形態別と計測 B

トンネル別の計測 B 断面ごとに蛇紋岩形態とその介在率、そして、計測 B で測定された鋼製支保工での軸力・曲げ・せん断、吹付けコンクリート応力、ロックボルト軸力の発生率平均を表-6.1.7～表-6.1.9 で整理し、これを基に表-6.1.10 にて蛇紋岩形態別の塊状・葉片状・粘土状別に再整理をしている。トンネル別の表-6.1.7～表-6.1.9 数値の出どころについては順に音中トンネルは表-5.1.22～表-5.1.28、音威子府トンネルは表-5.2.15～表-5.2.18、幌加内トンネルは表-5.3.20～表-5.3.23 を参照されたい。改めて述べるがトンネル別の蛇紋岩形態は、音中トンネルは粘土状主体、音威子府トンネルは塊状主体、幌加内トンネルは葉片状主体である。

表-6.1.7～表-6.1.9 で各測定された発生率の平均値を（ ）内に示し、その発生率平均で 100%を超過するものに対して●で表示している。この●に着目すると音中トンネルにて多くの●が存在する。特に着目すべきは、この音中トンネルにおける鋼製支保工軸力では測定された全断面において平均発生率が 100%を超過し、これに加えて二重目の鋼製支保工軸力でも 3 断面中 2 断面で平均発生率が 100%を超過している。他の音威子府トンネルや幌加内トンネルでも鋼製支保工軸力の一部で平均発生率が 100%を超過しているのを確認できるが、100%の超過具合は 100%台に対し、音中トンネルの 100%の超過具合はほとんどが 200%台を記録している。これらから蛇紋岩形態別で何らかの傾向があるもの、すなわち脆弱な粘土状であれば支保部材に伝達される地山応力が大きくなるとの想定のもと、トンネル別でまとめていた表-6.1.7～表-6.1.9 を蛇紋岩形態別に表-6.1.10 で示した。塊状・葉片状・粘土状での比較では全体的に葉片状と粘土状に応力発生が偏ることがわかるものの、葉片状と粘土状において何らかの特徴による差異は認められない。これらの分布を図-6.1.45 にまとめたが、この図からも応力発生の偏りは明確に判断することはできなかった。しかしながら表-6.1.10 で葉片状にある音中トンネルでの介在率、いわゆる音中トンネルにおける葉片状の裏腹さに着目した。まず 1 つ目は音中トンネル SP=8,174 断面を含んだ先進ボーリング No.13 における葉片状率 100%である。ここでは葉片状率が 100%であり、裏腹さの粘土状率を考えれば 0%となるが、鋼製支保工軸力の平均発生率は 268%であり、粘土状率が高い＝平均発生率が高いは成立しない。

続いて 2 つ目は音中トンネル SP=8, 242 断面を含んだ先進ボーリング No, 15 における葉片状率 56%、SP=8, 268 断面を含んだ先進ボーリング No, 16 における葉片状率 63%、SP=8, 440 断面を含んだ先進ボーリング No, 20 における葉片状率 57%であり、3 断面とも葉片状率を 50%超過になることから葉片状主体と判断されている。そしてこの 3 断面における鋼製支保工軸力の平均発生率は順に 248%・測定なし・290%であり、ここでも粘土状率が高い＝平均発生率が高いは成立しないこととなるが、着目すべきは葉片状率の裏腹さであると考えた。前述した音中トンネルでの先進ボーリング 3 本では、塊状の介在は認められておらず、葉片状率の裏腹さとなる粘土状率は表-5. 1. 12 にも示すとおり、それぞれ順に 44%、37%、43%である。ここで 6-1-7 (1) で塊状率が 20%下回りの記述について再掲する。「塊状率はその後の掘削時の内空変位量を予測する上で非常に重要な因子であると同時に、塊状率が 20%を下回るようになると内空変位量の予測が困難なほどにばらつきが大きくなると言える」。このことから表-6. 1. 10 から葉片状主体として分析してきたところであるが、蛇紋岩形態での判断基準、言い換えると判断価値の大きさから言えば、蛇紋岩形態の主体<塊状率 20%を閾値で判断することが妥当と考える。

図-6. 1. 46 および図-6. 1. 47 は、表-6. 1. 7～表-6. 1. 9 の数値からトンネル別、計測項目別に見える化として図化したものであり、この図化によって見えたものが 2 つある。1 つ目は吹付けコンクリートの応力発生、2 つ目にはロックボルトの軸力発生である。この 2 つは意外に発生率が大きくないように感じられる。特にロックボルト軸力の発生率に関しては、音威子府トンネルでは 22%、幌加内トンネルでは 15%と小さな割合であった。これらへの評価に対しては難しさはあるものの、1 つの考え方として蛇紋岩トンネルにおける一次支保の安定、いわゆる変位収束を目指したとき、支保構造にかかる負荷は時間に依存されることから、掘削後の早期なリング構造の構築を最優先と考えるならば、ロックボルト施工のサイクルタイム分をリング構造の構築時間に充てたほうが得策ではないかというものである。またロックボルト施工では穿孔作業では基本的に水を使用するが、この水が蛇紋岩地山に対して悪影響を及ぼす可能性もあることを考えればなおさらである。

表-6.1.7 音中トンネル 計測Bの管理基準値 100%超えと発生率平均値

音中トンネル ●：発生率100%超、－：発生率100%未満、（ ）内は発生率平均値、□は計測なし

計測点	蛇紋岩 形態 と 介在率	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
		鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト
		軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
SP = 8,174	葉片状 100%	● (268%)	● (131%)	－ (41%)	－ (69%)	－ (27%)				－ (52%)	
SP = 8,242	葉片状 56%	● (248%)	－ (52%)	－ (23%)	－ (57%)	－ (63%)				－ (38%)	
SP = 8,268	葉片状 63%					－ (86%)					
SP = 8,440	葉片状 57%	● (290%)	－ (80%)	－ (42%)	－ (48%)	－ (59%)	● (286%)	－ (88%)	－ (33%)	－ (65%)	
SP = 8,506	粘土状 67%	● (359%)	－ (99%)	－ (46%)	－ (21%)	－ (65%)	● (187%)	－ (38%)	－ (22%)	－ (14%)	
SP = 8,556	粘土状 66%	● (233%)	－ (73%)	－ (58%)	－ (15%)	－ (24%)					
SP = 8,574	粘土状 67%	● (172%)	－ (48%)	－ (45%)	－ (42%)	－ (55%)	－ (2%)	－ (10%)	－ (17%)	－ (29%)	
平均		(245%)	(81%)	(43%)	(42%)	(54%)					

表-6.1.8 音威子府トンネル 計測Bの管理基準値 100%超えと発生率平均値

音威子府トンネル ●：発生率100%超、－：発生率100%未満、（ ）内は発生率平均値、□は計測なし

計測点	蛇紋岩 形態 と 介在率	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
		鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト
		軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
P = 2,367.50	葉片状 74%	－ (95%)	－ (17%)	－ (8%)	－ (28%)	－ (22%)				－ (8%)	
P = 2,592.85	塊状 67%	－ (73%)	－ (14%)	－ (8%)	－ (36%)						
P = 2,802.50	塊状 78%	● (176%)	－ (18%)	－ (14%)	● (112%)						
P = 2,860.50	塊状 78%	－ (84%)	－ (9%)	－ (10%)	－ (28%)						
平均		(107%)	(15%)	(10%)	(51%)	(22%)					

表-6.1.9 幌加内トンネル 計測Bの管理基準値 100%超えと発生率平均値

幌加内トンネル ●：発生率100%超、－：発生率100%未満、（ ）内は発生率平均値、□は計測なし

計測点	蛇紋岩 形態 と 介在率	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
		鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト
		軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
P = 138,210	粘土状 64%	－ (58%)	－ (19%)	－ (12%)	－ (36%)	－ (5%)					
P = 138,396	粘土状 52%	－ (46%)	－ (19%)	－ (12%)	－ (46%)	－ (5%)					
P = 138,689	葉片状 85%	● (129%)	－ (75%)	－ (20%)	－ (43%)	－ (19%)					
P = 139,050	葉片状 76%	－ (43%)	－ (5%)	－ (5%)	－ (32%)	－ (29%)					
平均		(78%)	(30%)	(12%)	(37%)	(15%)					

表-6.1.10 3 トンネル蛇紋岩形態別 計測 B の管理基準値 100%超えと発生率平均値

● : 発生率100%超、－ : 発生率100%未満、() 内は発生率平均値、 は計測なし

蛇紋岩 形態	介在 率	トン ネル 名	計測点	一重支保（地山）側					二重支保（内空）側				
				鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト	鋼製支保工			吹付け コンクリート	ロック ボルト
				軸力	曲げ	せん断	応力	軸力	軸力	曲げ	せん断	応力	軸力
塊状	67%	音威子府	P = 2,592.85	－ (73%)	－ (14%)	－ (8%)	－ (36%)	 	 	 	 	 	
	78%		P = 2,802.50	● (176%)	－ (18%)	－ (14%)	● (112%)	 	 	 	 	 	
	78%		P = 2,860.50	－ (84%)	－ (9%)	－ (10%)	－ (28%)	 	 	 	 	 	
葉片状	100%	音中	SP = 8,174	● (268%)	● (131%)	－ (41%)	－ (69%)	－ (27%)	 	 	 	－ (52%)	
	56%		SP = 8,242	● (248%)	－ (52%)	－ (23%)	－ (57%)	－ (63%)	 	 	 	－ (38%)	
	63%		SP = 8,268	 	 	 	 	－ (86%)	 	 	 	 	
	57%		SP = 8,440	● (290%)	－ (80%)	－ (42%)	－ (48%)	－ (59%)	● (286%)	－ (88%)	－ (33%)	－ (65%)	
	74%	音威子府	P = 2,367.50	－ (95%)	－ (17%)	－ (8%)	－ (28%)	－ (22%)	 	 	 	－ (8%)	
	85%	幌加内	P = 138,689	● (129%)	－ (75%)	－ (20%)	－ (43%)	－ (19%)	 	 	 	 	
	76%		P = 139,050	－ (43%)	－ (5%)	－ (5%)	－ (32%)	－ (29%)	 	 	 	 	
粘土状	67%	音中	SP = 8,506	● (359%)	－ (99%)	－ (46%)	－ (21%)	－ (65%)	● (187%)	－ (38%)	－ (22%)	－ (14%)	
	66%		SP = 8,556	● (233%)	－ (73%)	－ (58%)	－ (15%)	－ (24%)	 	 	 	 	
	67%		SP = 8,574	● (172%)	－ (48%)	－ (45%)	－ (42%)	－ (55%)	－ (2%)	－ (10%)	－ (17%)	－ (29%)	
	64%	幌加内	P = 138,210	－ (58%)	－ (19%)	－ (12%)	－ (36%)	－ (5%)	 	 	 	 	
	52%		P = 138,396	－ (46%)	－ (19%)	－ (12%)	－ (46%)	－ (5%)	 	 	 	 	

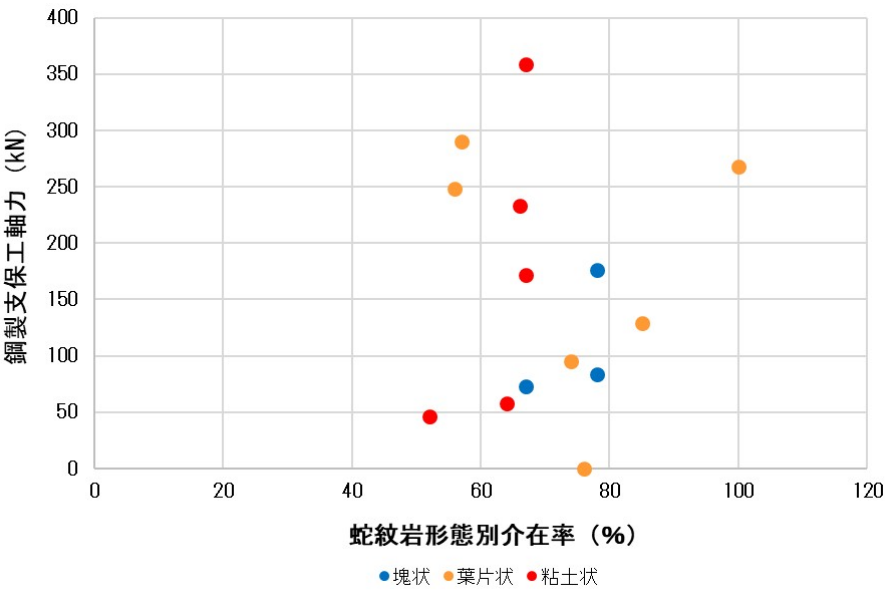


図-6.1.45 蛇紋岩形態別と鋼製支保工軸力

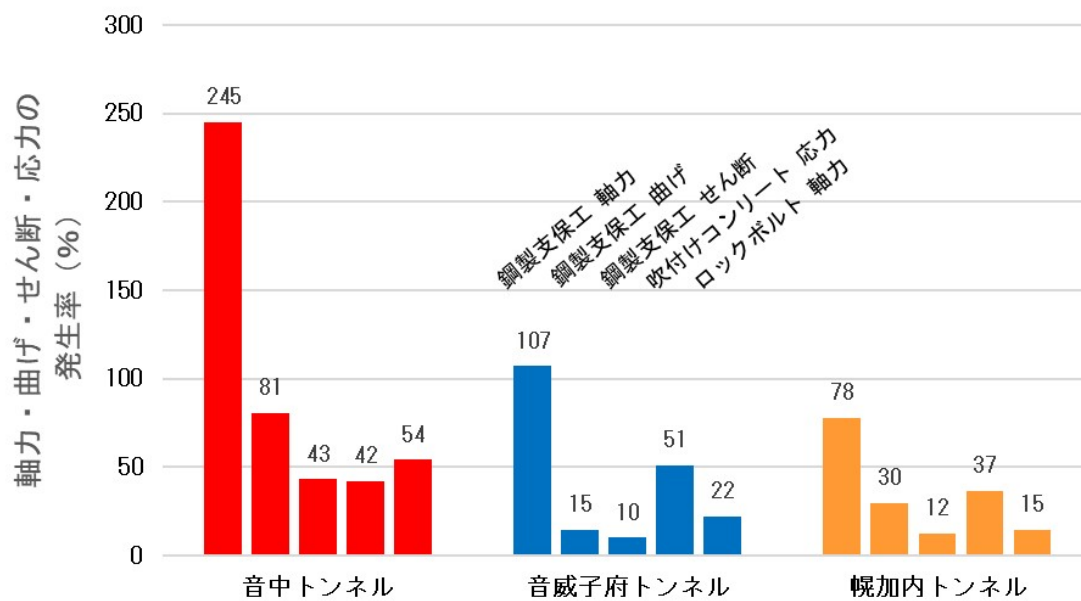


図-6.1.46 トンネル別の応力発生率

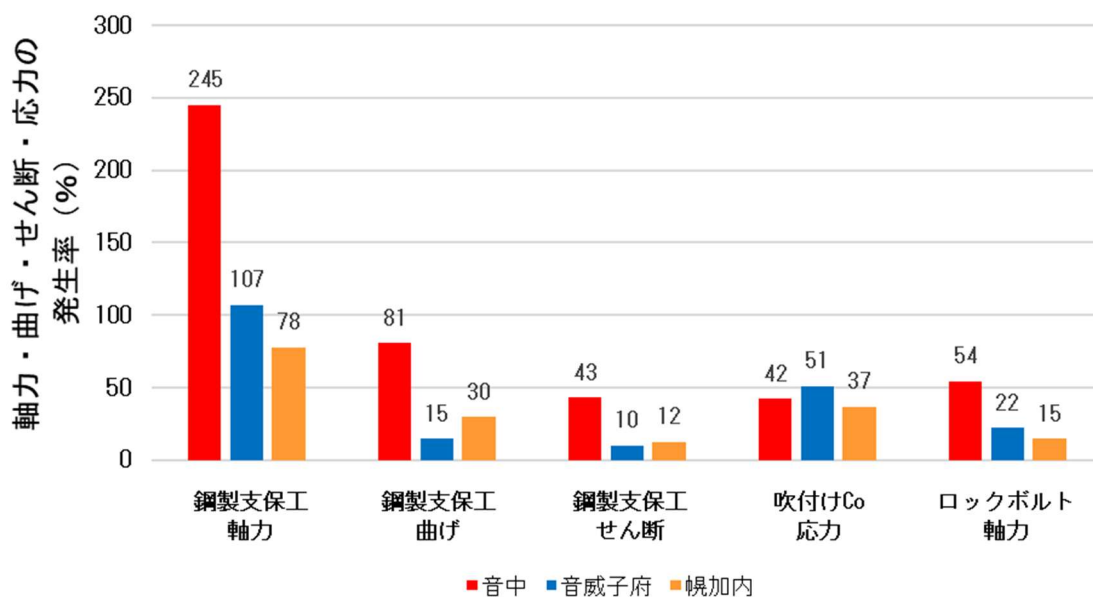


図-6.1.47 計測B項目別の応力発生率

6-1-9 変位収束日数に関する比較分析

(1) 変位収束日数と切羽離れ

ここまで見てきたように、先進ボーリングから得られるデータの中でも、塊状率はひとつの目安となる 20%を超えた領域において、内空変位の予測に役立つことが判明した。現場においては、内空変位の収束状況を見極めながら工事を進めるため、塊状率から収束日数やその時の切羽離れまで推測できるようになれば、工程管理にも大いに役立つ情報になる。そこで、掘削が完了し、かつ、一次掘削で変位が収束した音威子府トンネルと幌加内トンネルの計測 A 結果から変位収束日数および変位収束時の切羽離れを整理することとした。なお、音中トンネルでは一次掘削で変位の収束が認められた断面は数が極端に少ないことから、ここでは掲載しない。2つのトンネルの結果を図-6.1.48 に示す。

計測 A 断面の掘削開始から変位収束までの期間は、音威子府トンネルでは平均 69 日、幌加内トンネルでは平均 93 日、また、変位収束時の切羽離れは音威子府トンネルでは平均 70m、幌加内トンネルでは平均 103m であり、変位収束時の切羽離れを掘削幅 D で基準化して表現すると各々約 5.3D、約 9.4D となっている。図-6.1.48 を見ると、音威子府トンネルは塊状率が高いせいか、サンプル数 83 すべてにおいて収束日数が約 70 日付近、切羽離れが約 70m 付近に集中する。一方、幌加内トンネルでは、収束日数および切羽離れともにばらつきが大きいことがわかる。

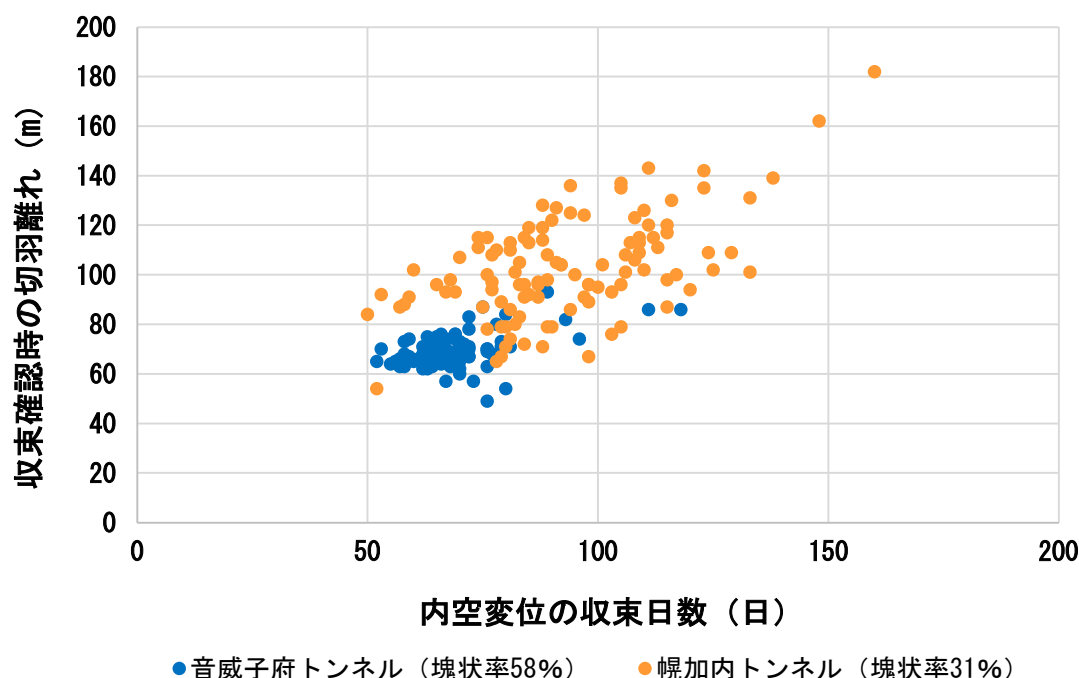


図-6-1-48 内空変位の収束日数と収束確認時の切羽離れ

そこで幌加内トンネルの先進ボーリング別に算出した塊状率を、計測 A 結果と照らし合わせ、塊状率別に変位収束日数と切羽離れに区分けして検討することとした。幌加内トンネルの先進ボーリングは全 16 本となっており、1 本あたりの平均掘進長は 66m、平均塊状率は 31%、先進ボーリング別の塊状率範囲は 2%～58%である。

塊状率の分布範囲を 0%～19%・20%～49%・50%～100%としたが、これは内空変位の予測において塊状率 20%が予測の可否を分ける閾値となるためである。塊状率をグループ（以下：Gr.）別に区分けした結果を表-6. 1. 11 に示す。

この表には、各 Gr. ごとの収束日数までの平均値と標準偏差も合わせて記載した。この表の収束日数平均値から、塊状率が高い Gr. (c) では収束日数が短く、塊状率が低い Gr. (a) では Gr. (c) とは逆に収束日数は長い傾向を示す。また、Gr. (b) は Gr. (a) と Gr. (c) の中間あたりに位置することから、塊状率と変位収束と間には関係性があるものと推察される。つまり、塊状率がわかった時点で、収束日数の目安がわかると同時に、その時の切羽離れもある程度推測できると考えた。

表-6. 1. 11 塊状率 Gr. ごとの収束日数平均と標準偏差

塊状率Gr.	Gr. (a)	Gr. (b)	Gr. (c)
	0～19%	20～49%	50%以上
サンプル数	30	64	16
平均値（日）	118.5	97.0	76.1
標準偏差（日）	38.7	30.3	17.1

そこで、この区分けに基づいて収束日数と切羽離れの関係を表したものが図-6. 1. 49 である。この図においても、塊状率と収束日数の長短に類似した傾向が見られ、塊状率が高い Gr. (c) では切羽離れが短く、塊状率が低い Gr. (a) では切羽離れが長い傾向を示している。これらより、塊状率と切羽離れの間にも一定の相関関係があることが確認された。表-6. 1. 11 ならびに図-6. 1. 49 から考察すると、塊状率が 50%以上の Gr. (c) の場合、収束日数は 76.1 日と短い上、その標準偏差も 17.1 日、切羽離れの平均は 105.5m となる。Gr. (b) の場合も、平均日数が 97.0 日であり、標準偏差も 30.3 日程度、切羽離れの平均は 104.3m に収まるため、収束までの日数はある程度、予測できるものと考えた。これに対し、内空変位予測の閾値として用いた塊状率 20%以下の Gr. (a) になると、平均値が 118.5 日と大きい上にその標準偏差も 38.7 日と大きく、切羽離れの平均も 120m を超え、収束までの日数が極めて予測しにくくなることがわかる。

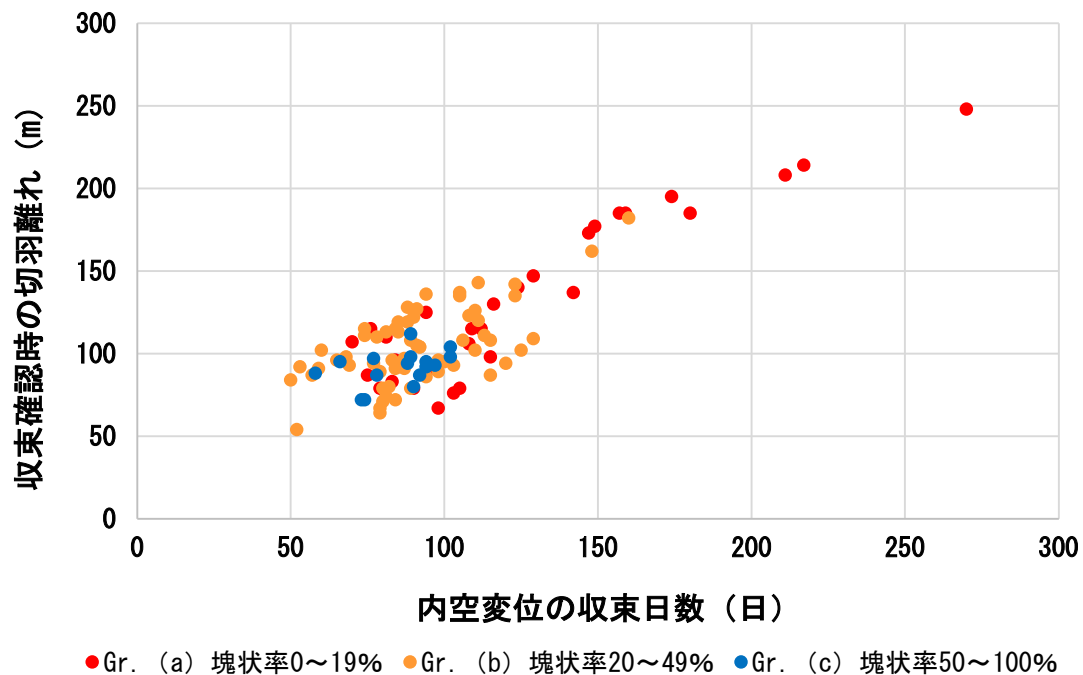


図-6.1.49 塊状率別の収束日数と切羽離れ

これらの Gr. に対し、正規分布を仮定した場合の累積確率分布と確率密度分布を図-6.1.50 および図-6.1.51 に示す。図-6.1.50 においては超過確率 80%と 95%の境界線も合わせて記載した。

これらの図より、塊状率が 50%を超えるような場合は、累積確率 95%を採っても収束までの日数はおおむね 100 日程度で済むことがわかる。同様に塊状率が 20～49%の場合でも 140 日程度を考えれば、おおむね収束すると考えられる。しかし、塊状率が低い Gr. (a) の場合、そのばらつきが非常に大きくなるため、累積確率 80%を採っても 150 日近い収束日数を覚悟しなければならないと考えられる。これは受注者側の工程管理という観点のみならず事業管理も含めた発注者側の観点からも大きな障害になる可能性があることを示唆している。

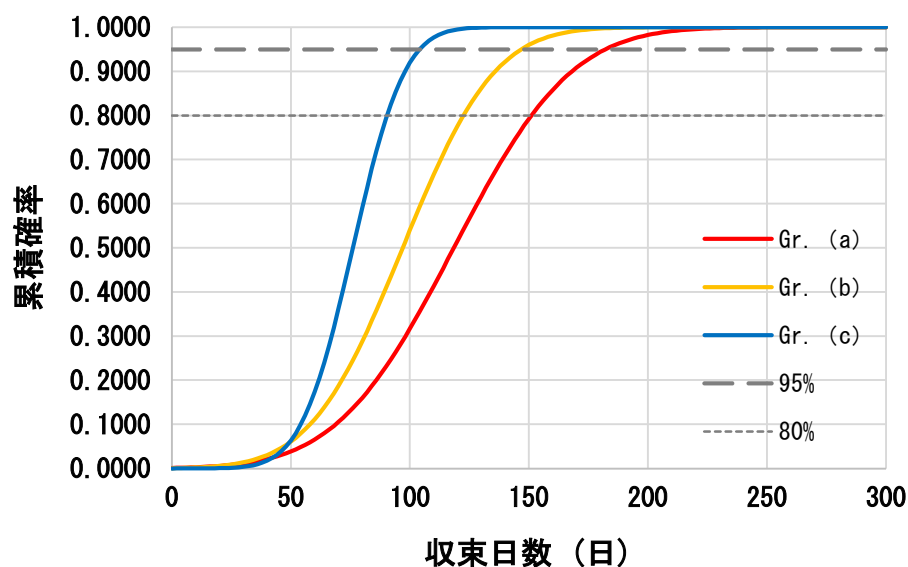


図-6.1.50 塊状率カテゴリーごとの累積確立分布

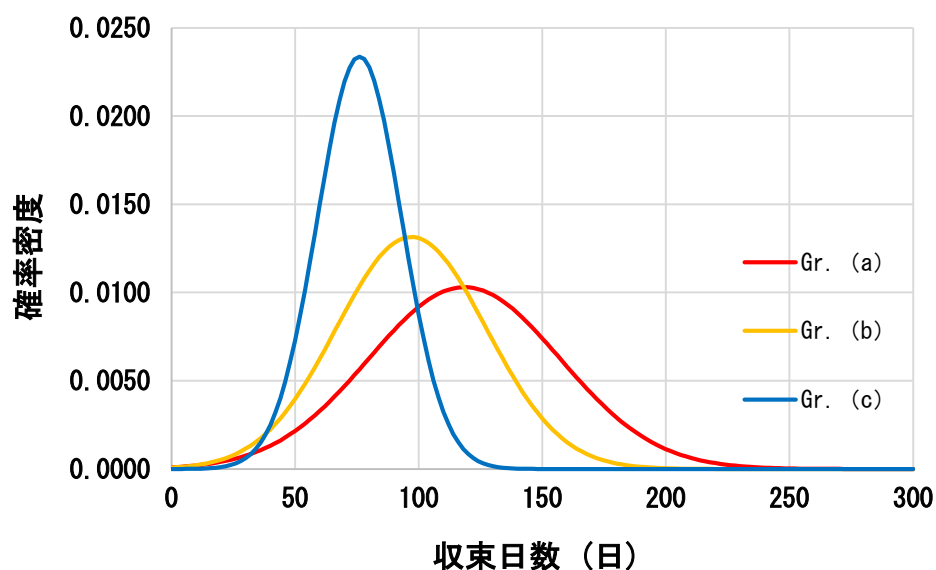


図-6.1.51 塊状率カテゴリーごとの確立密度分布

これらの結果を受けて今回のデータの提供元となっている 3 トンネルの代表的な計測 A の変位経過を図-6.1.52 に示す。音威子府トンネルおよび幌加内トンネルでは掘削後にある程度のところで収束することは確認できたが、ほぼすべてのボーリングデータで塊状率が 20%を下回る音中トンネルでは、切羽進行とともに内空変位は微増する傾向も見られ、切羽離れが 300m に到達しても変位が収まらない状況が見られた。

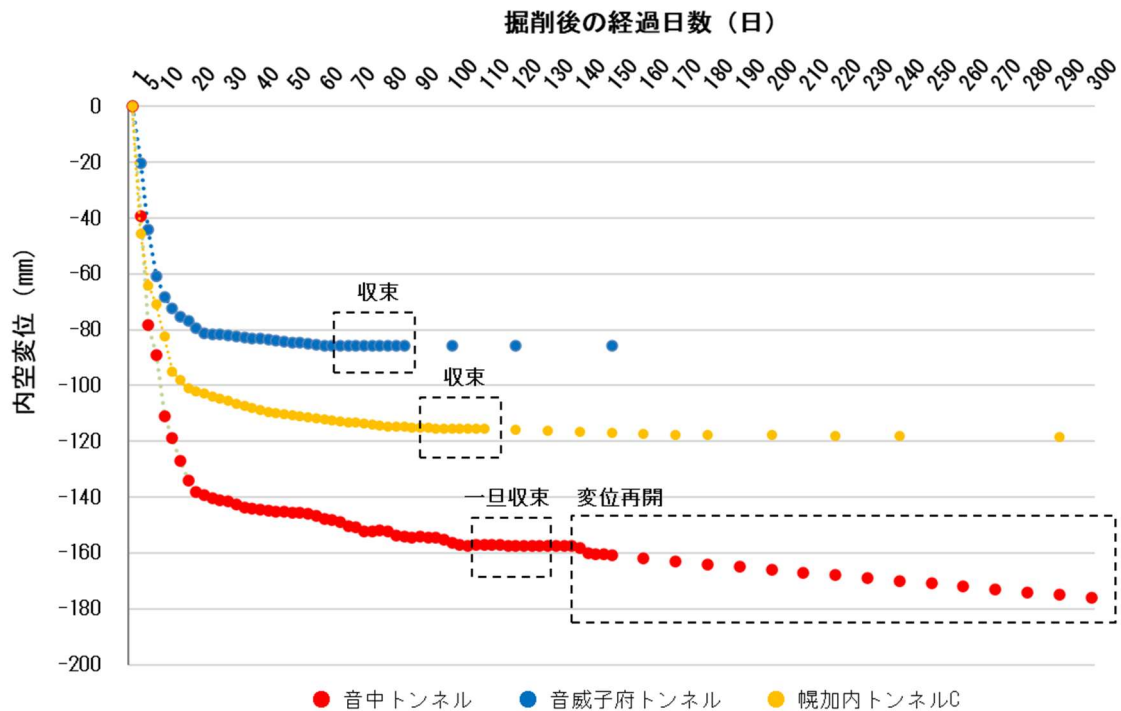


図-6.1.52 変位と収束までの経緯イメージ

(2) 蛇紋岩以外の変位収束日数

これまで蛇紋岩 3 トンネルの変位収束日数を分析してきたが、これら分析結果を違う視点から再検証するため、蛇紋岩以外のトンネルの施工実績と比較することとした。倉橋らによるトンネル変位の時間依存性に関する研究⁴¹⁾では、これまでに北海道開発局が発注したトンネル工事における施工データとして残存する 57 トンネル、総延長 70.7km を対象とした内空変位の計測結果から、岩種別ならびに支保パターン別の変位収束日数が記されている。これを引用し図-6.1.53 に示す。支保パターン別の結果では、変位収束日数が C I : 47 日、C II : 68 日、D I : 85 日、D II : 106 日となっており、岩種の脆弱性ゆえに重装備な支保パターンを適用した場合には、変位収束日数の長期化が顕著に読み取れる。

この結果を踏まえて本論文での図-6.1.50 における累積確率 0.95 に到達する収束日数を見てみると、塊状率の高い順に Gr. (c) では約 100 日、Gr. (b) では約 140 日、Gr. (a) では約 180 日となっており、D II よりも強固な支保パターンが適用されることの多い蛇紋岩トンネルを対象とした本研究成果は、この先行研究成果とも高い整合性を示していると言える。また、敢えて掘削断面積や施工時のサイクルタイムといったトンネル別の差異は考慮せずに検討を行ったが、これらの効果を加味せずとも変位収束日数の予測管理の可能性を示せたことは、本研究の大きな成果の一つであると考えられる。このような変位収束日数の長期化は二

次覆工打設開始の遅延や内空変位の増加に対する変位抑制対策、さらには縫い返しによる工期の遅延にもつながりかねないことから、変位収束日数の予測管理につながる本研究成果は、蛇紋岩トンネルの工程管理上きわめて有効な手段になりうるものとする。

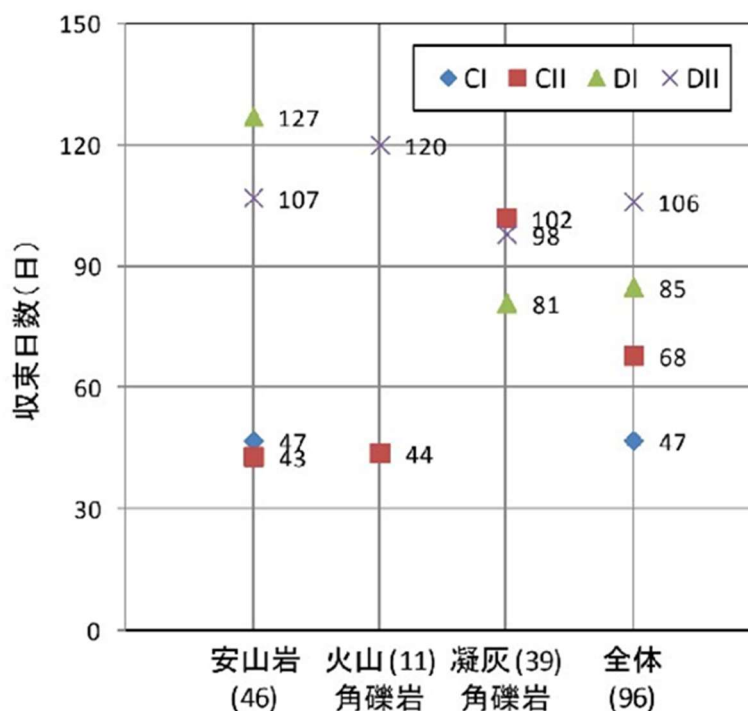


図-6.1.53 支保パターン別の変位収束日数
(参考文献 41 より引用)

6-2 第6章まとめ

蛇紋岩形態別の介在率、先進ボーリングの掘進長および機械データの把握は非常に重要であると判断できる。これらの結果から先進ボーリングの掘進長が 50m 未満および塊状率が 20%未満となった場合には、内空変位のバラツキが大きくなること。加えてこれらのパラメータを用いて、新たな指標として、「掘進給圧比 (KK 比)」として理論式を提案した。この理論式の算出により、蛇紋岩地山に対する支保構造のパターン化を設定できる可能性が大きいと考えられる。

変位収束日数とこれに伴う切羽離れについては、塊状率が高いと、変位収束までの日数および切羽離れは短いことが確認できた。

これらの結果から先進ボーリングデータは、トンネル工事施工中の安全管理・工程管理の両面で貴重な情報源となりうることが示された。



トンネル工事における先進ボーリング調査状況③

第7章 まとめ

本研究では、先進ボーリング施工中に得られる情報と計測 A および計測 B での変位計測結果をもとに、蛇紋岩トンネル施工時に活用できるデータの分析を行ってきた。その結果、先進ボーリング施工中に得られる情報からは、ボーリングマシンの給圧を上げて掘進が進みにくい岩質が存在することが明らかとなり、その結果として掘進長が短くなる傾向が確認された。これには蛇紋岩の形態別による、いわゆる塊状率の低下と密接な関係にあると考えられる。また、この塊状率の程度によって、計測 A による断面掘削後の内空変位量も大きくなることが確認できたとともに、計測 B においても支保部材への発生応力も大きくなることが確認できた。しかしながら、先進ボーリング施工中に得られる情報の中の給圧や掘進長だけで、内空変位量や沈下量、そして支保部材の発生応力を事前に定量的に評価することは難しく、先進ボーリングで採取されるコアに基づく塊状率を評価する必要がある。特に塊状率がおおむね 20%以上であれば、断面掘削後の内空変位量は概ね 100mm 以下に収まる傾向が示された。塊状率と内空変位量との回帰式からは、収束日数の予測管理と支保構造の妥当性検証の一助にもなると考える。一方、塊状率が 20%以下になると断面掘削後の内空変位量のばらつきが大きく、変位量を定量的に予測することが困難であることが明らかとなった。これには塊状率の低さと変位の長期にわたる時間依存性が影響していると考えられる。また、塊状率の違いによって収束までの所要日数にも大きな違いがあることが確認でき、塊状率の評価は工程管理の面からも重要な指標となることが判明した。これらの傾向から、蛇紋岩の形態が考慮された支保構造案を導くため、掘進給圧比 (KK) を提案したところである。この掘進給圧比は、先進ボーリングの掘進長を給圧および土被り高さで除して求められる指標であり、値が低いほど地山強度が弱いことを示す。この掘進給圧比の結果により、支保部材の規格アップや多重支保工の採用検討、そして掘削断面形状の検討など、強固な支保構造の適用が当初設計から客観的に見込めることにより、内空変位量の抑制や支保部材への応力緩和がなされ、加えて、収束に至るまでの期間短縮がなされることによって、トンネル構造の将来的な安定性の確保が見込めるものと考ええる。最後にこれまでの 3 トンネルの先進ボーリング結果や計測の結果を踏まえ、掘進給圧比の算出結果から、蛇紋岩トンネルにおける標準支保構造案を次ページからの表-7.1、図-7.1～図-7.4 に提案する。これまで北海道における蛇紋岩を掘削対象としたトンネル工事において、数多くの変位の発生が報告され、その都度、対応として支保部材の規格をアップした縫い返しの対応で対応してきたものの、音中トンネル工事の蛇紋岩全区間の崩壊を教訓に、支保部材の規格アップや多重支保工の採用、そして真円に近い掘削断面の採用など、客観的な数値に基づき、当初設計段階からの適切な支保構造の組み込みが望まれる。本研究は北海道北部における蛇紋岩トンネルデータに基づくものであり、今後は北海道内の他地域のみならず、国内の膨張性地山について同様のデータを積み重ねることで、施工時の安全性、確実性の向上とともに合理的な支保工設計につながるものと考えられる。

表-7.1 【提案】蛇紋岩トンネル標準支保構造表案

重目	加背	支保部材名等	支保構造パターン名			
			X	Y	Z	Z-z
1 サイクル掘進長（m）			1.0	1.0	1.0	1.0
一重目	上半	鋼製支保工	NH-200	NH-200	NH-200	HH-200
		吹付けCo	高強度	高強度	瞬結高強度	瞬結高強度
		ロックボルト	有	有	有	有
	下半	鋼製支保工	NH-200	NH-200	NH-200	HH-200
		吹付けCo	高強度	高強度	瞬結高強度	瞬結高強度
		ロックボルト	有	有	有	有
	バースト	鋼製支保工	NH-200	NH-200	NH-200	HH-200
		吹付けCo	高強度	高強度	瞬結高強度	瞬結高強度
		インバート形状	3.0R	1.5R	1.0R	1.0R
二重目	上半	鋼製支保工	NH-200	NH-200	NH-200	HH-200
		吹付けCo	高強度	高強度	瞬結高強度	瞬結高強度
		ロックボルト	有	有	有	有
	下半	鋼製支保工	NH-200	NH-200	NH-200	HH-200
		吹付けCo	高強度	高強度	瞬結高強度	瞬結高強度
		ロックボルト	有	有	有	有
	バースト	鋼製支保工	NH-200	NH-200	NH-200	HH-200
		吹付けCo	高強度	高強度	瞬結高強度	瞬結高強度
		インバート形状	3.0R	1.5R	1.0R	1.0R
三重目	上半	鋼製支保工	—	—	—	HH-200
		吹付けCo	—	—	—	瞬結高強度
		ロックボルト	—	—	—	有
	下半	鋼製支保工	—	—	—	HH-200
		吹付けCo	—	—	—	瞬結高強度
		ロックボルト	—	—	—	有
	バースト	鋼製支保工	—	—	—	HH-200
		吹付けCo	—	—	—	瞬結高強度
		インバート形状	—	—	—	1.0R

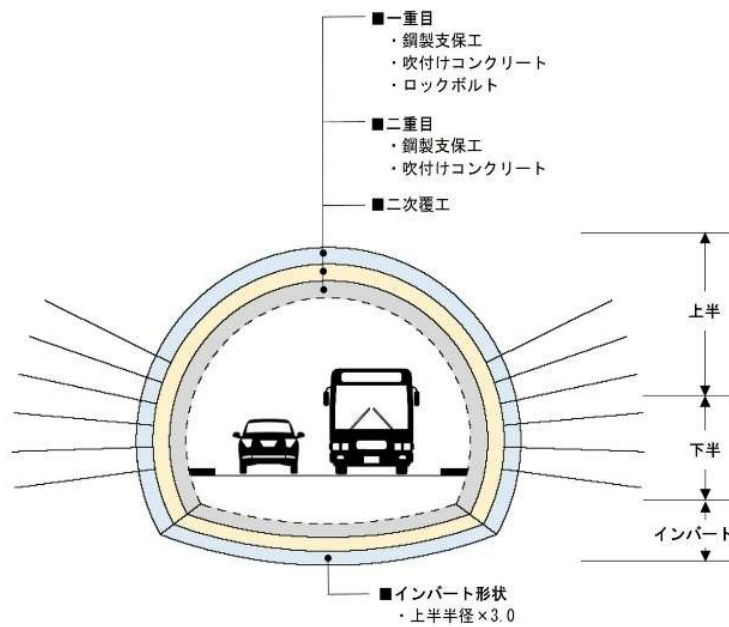


図-7.1 標準支保構造断面図
(Xパターン)

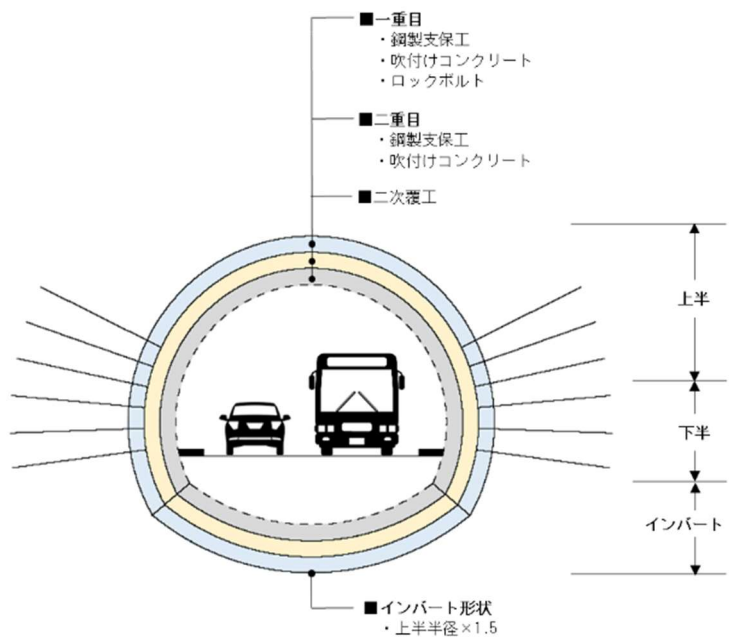


図-7.2 標準支保構造断面図
(Yパターン)

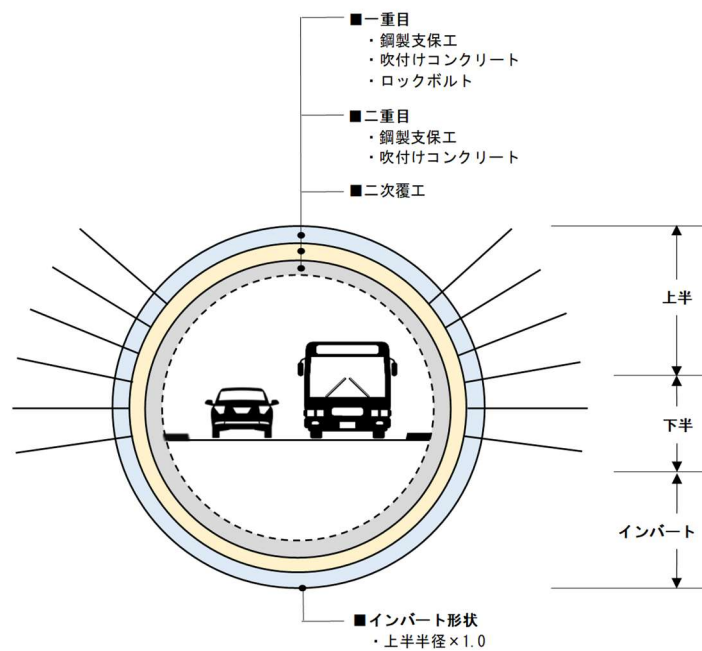


図-7.3 標準支保構造断面図
(Z パターン)

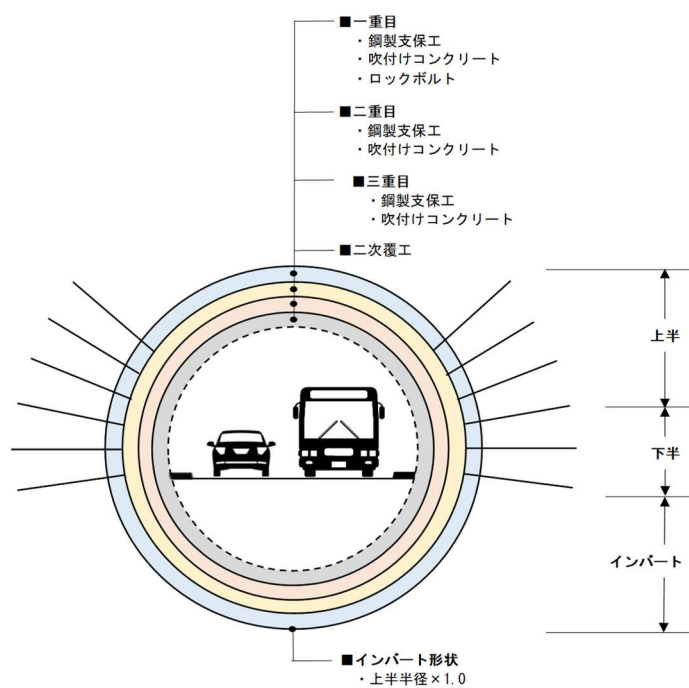


図-7.4 標準支保構造断面図
(Z-z パターン)

参考文献

- 1) 野地正保：蛇紋岩と土木工事（第1報）－蛇紋岩と蛇紋岩化作用－，土木試験所月報，pp. 10-19, 1978.
- 2) 中塚静夫, 手塚洋：蛇紋岩地帯におけるトンネル掘削と計測－嵐山トンネル－，土木学会北海道支部論文報告集第46号, pp. 755-758, 1990.
- 3) 山田浩幸, 高橋俊長, 大村修一, 高田篤：大土被りの蛇紋岩地山における最善管理型二重支保設計と施工，第39回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp. 375-380, 2010.
- 4) 佐藤諭一, 関茂和, 三浦文明, 高橋一幸, 萩雅雄：蛇紋岩膨圧区間を二重支保構造で掘る，トンネル工学報告集第20巻, pp. 27-35, 2010.
- 5) 中村順一, 島田武, 大場北斗：一般国道40号 音威子府村 音中トンネル完成まで－難工事に挑んだ12年の軌跡－，第65回北海道開発局技術研究発表会, 2021.
- 6) Y. Fujii, N. Ikeda, Y. Onoe², Y. Kanai, T. Hayakawa, D. Awaji, J. Kodama, D. Fukuda, A. K. M. B. Alam, A. B. N. Dassanayake (2021) A case study on severe damage at a tunnel in serpentinite rock mass. Journal of SN Applied Sciences.
- 7) 気象庁HP：地球内部の模式図，
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/jishin/jishin/about_eq.html
- 8) 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム：蛇紋岩の形成過程に着目した岩盤性状分類に関する研究, 参考資料.
- 9) 横田公忠, 矢田部龍一, 八木則男：蛇紋岩の風化粘性土の強度特性, 土木学会論文集 No. 529／Ⅲ-33, pp. 155-163, 1995.
- 10) 蛇紋岩の分布
https://mishi.weblike.jp/tunres11_9_3.html#:~:text=%E8%9B%87%E7%B4%8B%E5%B2%A9%E3%81%AE%E5%88%86%E5%B8%83,%E5%B1%B1%E5%8F%A3%E5%B8%AF%E3%81%AA%E3%81%A9%E3%81%8C%E3%81%82%E3%82%8B%EF%BC%8E
- 11) 共立出版株式会社：日本の地質2 東北地方, pp. 43, 1989.
- 12) 共立出版株式会社：日本の地質8 四国地方, pp. 32, 1991.
- 13) 共立出版株式会社：日本の地質5 中部地方, pp. 63, 1988.

- 14) 共立出版株式会社：日本の地質 3 関東地方, pp. 3, 1986.
- 15) 共立出版株式会社：日本の地質 6 近畿地方, pp. 70, 1987.
- 16) 共立出版株式会社：日本の地質 9 九州地方, pp. 38, 1992.
- 17) 共立出版株式会社：日本の地質 6 近畿地方, pp. 79, 1987.
- 18) 共立出版株式会社：日本の地質 8 四国地方, pp. 79, 1991.
- 19) 共立出版株式会社：日本の地質 9 九州地方, pp. 68, 1992.
- 20) 共立出版株式会社：日本の地質 7 中国地方, pp. 13-19, 1987.
- 21) 共立出版株式会社：日本の地質 9 九州地方, pp. 7, 1992.
- 22) 日本応用地質学会北海道支部：北海道地方土地地質図および同解説, pp. 59, 2017.
- 23) 日本応用地質学会北海道支部：北海道地方土地地質図および同解説書, pp. 86-88, 2017.
- 24) 土木学会：トンネル標準示方書（共通編） / （山岳工法編）・同解説, pp. 42, 2016
- 25) 北海道開発局：道路設計要領第4集（トンネル）, pp. 4-2-28, 2025
- 26) Driouch, A ; Oubah, R ; Lahmili, A ; Ouadif, L (2025) Empirical methods for support system design in deep serpentinite excavations:A critical evaluation. Journal of Sustainable Mining:Vol. 24:Iss. 4, Article 8.
- 27) 竹林亜夫, 三上元弘, 國村省吾, 奥井裕三, 呉旭:地山の内部摩擦角に着目したトンネルの岩種分類の提案, 土木学会第 58 回年次学術講演会, VI-055, 2003.
- 28) 社団法人日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, pp. 78-79, 2003
- 29) 大村一夫, 山地英喜, 岩槻修, 吉田亘弘, 山戸武史：新潟県姫川地域の蛇紋岩－岩盤評価の前に－, 応用地質第 24 巻 3 号, pp. 9-24, 1983.
- 30) 矢田部龍一, 横田公忠, 八木則男, 野地正保：蛇紋岩地すべりの発生機構に対する検討, 地すべり第 34 巻第 1 号, pp. 24-30, 1997
- 31) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 20, 2009.
- 32) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 38, 2009.
- 33) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 45, 2009.
- 34) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 50, 2009.
- 35) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 54, 2009.

- 36) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 57, 2009.
- 37) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 60, 2009.
- 38) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 61, 2009.
- 39) 社団法人日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針, pp. 36, 2009.
- 40) 中野清人, 小川澄, 清水雅之：二車線トンネルへの高規格支保材料の適用, トンネルと地下, pp. 45-56, 2010. 7
- 41) 倉橋稔幸, 岡崎健治, 山崎秀策：時間依存性を有するトンネル変状の評価法に関する研究
pp. 8, 2011～2014

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始ご指導と温かいご助言を賜りました北海道大学の宮森教授、北海道科学大学の蟹江教授に、心より深く感謝申し上げます。社会人として業務に従事しながら研究を進めるという制約の多い状況において、研究計画の立案から論文執筆に至るまで、常に私の立場をご理解いただき、柔軟かつ的確なご指導を頂戴しました。研究の方向性に迷った際には辛抱強く議論にお付き合いいただき、学術的視点のみならず、研究者としての姿勢についても多くを学ばせていただきました。

また、研究室の皆様には、実験環境の調整や技術的な支援、さらには研究内容に関する有益な議論を通じて、多大なるご協力をいただきました。私が研究室に常駐できない期間が多かったにもかかわらず、資料の共有やオンラインでの議論など、さまざまな形で支えていただいたことに深く感謝申し上げます。皆様との交流は、研究を進める上で大きな励みとなりました。

さらに、勤務先である北海道開発局の上司および同僚の皆様には、研究活動に対する深い理解と温かいご支援を賜りました。業務との両立が困難な時期には、業務調整や助言を通じて研究時間の確保にご配慮いただきました。また、研究テーマに関連する実務的な視点や議論を通じて、学術研究と実務の接点を見つめ直す貴重な機会を頂戴しました。職場の皆様の支えがなければ、本研究をここまで進めることはできませんでした。

加えて、本研究の遂行にあたり、データの提供や各種アドバイスをいただきました北海道土木技術会トンネル研究委員会の皆様、特に 3 つの蛇紋岩トンネルに関わられた受注者の皆様、協力会社の皆様にご協力いただいたことを、ここに記して深く感謝申し上げます。

最後に、長期間にわたり私を支えてくれた家族に、心より感謝の意を表します。研究と仕事の両立により家庭に負担をかけることも多くありましたが、家族の理解と励ましがあつたからこそ、困難な時期を乗り越え、本論文を完成させることができました。

以上の皆様のご支援とご厚情により、本研究をまとめることができました。ここに記して深く御礼申し上げます。

令和 8 年 3 月
佐々木 博一