



Title	無ずり掘削
Author(s)	藤井, 義明; 菅原, 隆之
Description	資源・素材学会平成25年度春季大会、2013年3月28日（木）～30日（土）、千葉工業大学津田沼キャンパス、習志野市
Citation	資源・素材学会春季大会講演集, 2013, 276-277
Issue Date	2013-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56963
Type	journal article
File Information	MMIJ2013, Spring Meeting, 276-277.pdf



無ずり掘削

北大 藤井義明・菅原隆之

1. はじめに

北海道のトンネルではしばしば掘削ずりに重金属が含まれており、その処理に難渋している。たとえば、こばやし峠トンネルでは、分岐トンネルを掘削し、遮水シートなどを施した上で重金属ずりを埋め戻すことになった(2012, 11/14 北海道建設新聞社)。こばやし峠トンネルの延長は 1612 m、工事費約 27 億円だが、延長 500-600 m の分岐トンネルの工事費として 12 億-13 億円が予定されている。

このような法外なコストを避けるための抜本的な対策として、ずりを出さずにトンネルを掘削する方法について検討し、初歩的な実験を行った結果を示す。

2. 無ずり掘削の概念(Fig. 1)

- 1) 重金属が含まれる部分の手前で切羽を円錐状に加工する。
- 2) ボアホールを掘削する。
- 3) 圧子を回転しながら岩盤を順次圧密し、断面積を確保する。
- 4) 通常通りの支保を行う。

以上の方法でトンネルが建設できれば、重金属ずりは、ボーリング部分からのみ生じ、通常の方法と比べると圧倒的に少なくなる。

圧子は一度に限られた面積のみを圧密し、全断面を圧密しない。これは、全面的に引張破壊が生じるのを避けるためであり、圧密応力が岩盤の一軸圧縮強度 UCS' の Q 倍に等しいとすれば、ごく大雑把ではあるが、圧密部の倍弧長 s' はトンネル周長 s 、岩盤の引張強度を T'_0 として、以下のようになればよいと考えられる。

$$\frac{s'}{s} < \frac{T'_0}{QUCS'} \quad (1)$$

ボーリング直径を d 、テーパ角を θ とすると、一回の最大切羽進行長 ΔL は、

$$\Delta L = \frac{d}{2 \tan \theta} \quad (2)$$

となる。したがって、たとえば、ボーリング直径が大きいと、コアの体積は多くなるが、一回の最大切羽進行長が長くなる。

圧密に要する荷重はきわめて大きいので油圧シリンダなどを与える。大きな推力は与えられないので、圧子が切羽側に滑らないようにする必要がある。このためにテーパ角は岩盤と圧子の摩擦角を越えないように小さくし、また、圧子の表面に凹凸を施す必要があると思われる。

3. エネルギー効率

トンネル半径を R とし、圧密に必要な応力が $QUCS'$ に等しいと再び仮定すれば、単位掘削長あたりのエネルギーは πR^2

$QUCS'$ と見積もられるから、一軸圧縮強度 10 ~ 100 MPa、半径 5 m の場合は、785Q MJ/m ~ 7850Q MJ/m となる。

あるいは単純に掘削体積比エネルギー(単位体積あたりのエネルギー)が一軸圧縮強度の Q 倍に等しいともいえる。掘削体積比エネルギー(specific energy)を一軸圧縮強度で除した値は無次元化 SE と呼ばれ、福井らによるとその値は、発破 0.05、TBM 0.3、自由断面掘進機 0.4、削岩機 2.0、振動回転穿孔 6.7 などである。したがって、無ずり掘削の Q が 1 であれば特に著しくエネルギー効率が悪いというわけではないが、10 などであればエネルギー効率はかなり悪いといえる。

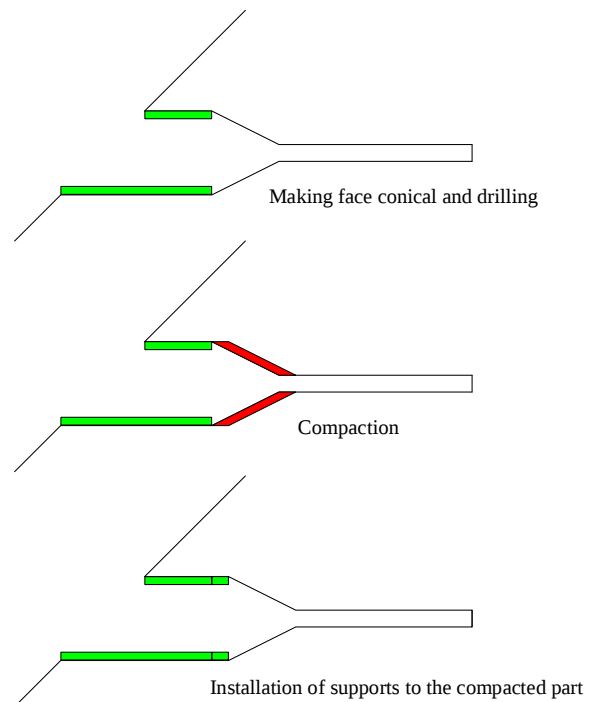


Fig. 1 Concept of non-waste excavation in sectional view.

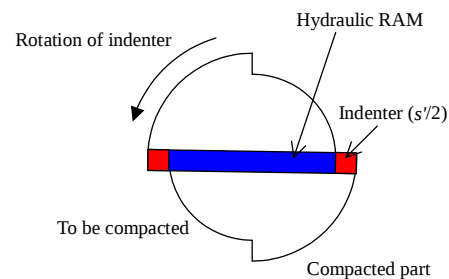


Fig. 2 Concept of non-waste excavation in cross sectional view.

4. 影響範囲

無ずり掘削で岩石実質部の体積変化は無視できるほど小さいと仮定すると生じ得る空間体積の最大値は岩盤内の空隙体積となる。したがって、掘削影響面積の最小値は、トンネル

断面積を空隙率 n で除した値になる。影響範囲が半径 R' の円形になると仮定すると、

$$R' = \frac{R}{\sqrt{n}}$$

である。たとえば、空隙率 0.07% ~ 50% の岩盤であれば、トンネル径の 38 倍 ~ 1.4 倍の影響範囲となる。

5. 本方法の適用範囲

3.で、一軸圧縮強度が小さい方が掘削に必要なエネルギーが小さいことが示され、4.では、空隙率が高い方が掘削影響範囲が小さいことが示された。したがって、当たり前ではあるが、本工法は、空隙率が大きく強度の小さい軟岩に適した掘削方法であるといえる。また、圧密された岩盤が粉碎されたままではトンネルの安定性が保たれず、圧密で一旦破壊しても強度を回復する必要がある。このための水分が足りなければ、圧密時にある程度供給することが必要になろう。また、岩盤はある程度の粘土鉱物を含んでいなければならない、そうでなければ、圧密に先立って多少のセメントを散布する必要があるかもしれない。

6. 室内試験

無すり掘削の室内試験方法について検討する。

実技上の都合から、圧密はステンレス棒を材料試験機で下方に押し付けることにより行う (Fig. 3)。反力枠に収められた有孔供試体を材料試験機上で回転させることにより、押し付ける方向を変えることができる。試験中の荷重 - 変位を記録し、消費されたエネルギーを計算する。

反力枠は、供試体の有限性に起因して引張亀裂が供試体を貫通する事を防ぐために必要である。フラットジャッキで多少の圧力をかけておくことも必要であろう。

あるいは、最初はまだ簡単に直方型供試体に半円形または矩形のくぼみを造ることから始めた方が良いかもしれない (Fig. 4)。この場合は、供試体を回転させなくて良いので各所のひずみを計測するのも比較的容易である。

以上から、まず、UCS が 20 MPa 程度の支笏溶結凝灰岩の直方体型供試体に矩形の圧子で矩形のくぼみを造ることを試みたが、ストロークが 1.5 mm、応力が一軸圧縮強度の 2 倍程度になったときに供試体が巨視的に破断してしまった (Fig. 5)。

そこで、次に、破断した供試体に直径 8 mm、長さ 8 mm のステンレス製のセンターピンを押し込んでみたところ、UCS の 10 倍程度の応力で 5 mm 押し込むことができた (Fig. 6)。除荷してもピンはほとんど戻らず、変形は塑性的である。センターピンは指では抜き取れず、プライヤーを用いて抜き取れた。抜き取ったあとの孔を先の細いドライバーでこぶくと 3 mm³ 程度の線粉を取り出すことができたが、作成された空間体積 250 mm³ に比べて極めて少量であり、非常に小規模ではあるが、ほぼ無すりで岩石に空間を作成することができたといえる。

7. 今後の予定

供試体の巨視的破壊をもたらさずに押し込むことのできる圧子寸法・圧子先端形状・押し込み深さ、押し込みの応力について実験的に検討する。

連続的に押し込みを行いくぼみ面積の拡大を試みる。押し込まれた岩盤部の強度について検討する。

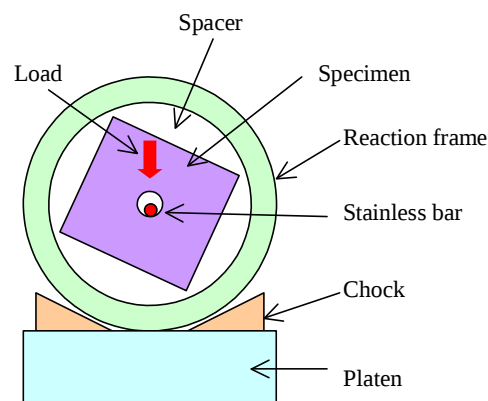


Fig. 3 Experiment of non-waste tunneling method

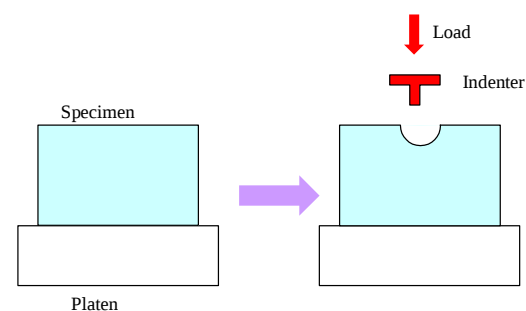


Fig. 4 Primarily experiment of non-waste tunneling method.



Fig. 5 Broken specimen by rectangular indenter.



Fig. 6 Indented center pin.