HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	アルカリ性トンネル排水の性状と自然浄化作用による中和過程
Author(s)	青木, 卓也; 五十嵐, 敏文; 飯尾, 佳浩
Citation	応用地質, 50(5), 273-279
Issue Date	2009-12-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52214
Type	journal article
File Information	JJSEG50(5)_273.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Japan Society of Engineering Geology

応用地質，第50巻，第5号，273-279頁，2009
Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.50, No.5, pp.273-279, 2009

論文

アルカリ性トンネル排水の性状と自然浄化作用による中和過程

青木卓也*・五十嵐敏文*・飯尾佳浩**

要　旨

トンネル建設後もトンネル湧水がアルカリ性を呈する地点において，そのアルカリ性の原因を究明するために調査ボーリングコアを用いた溶出試験を行うとともに，現地水質調査および地球化学解析によって自然環境を活用した合理的な中和方法を考察した．その結果，アルカリ性の主な原因が，トンネル掘削区間に分布する頁岩や砂岩などに介在する方解石の溶解という自然的原因であることがわかった．さらに，希釈水となる周辺沢水の流量が少ない場合，沢水との混合だけではトンネル排水のpHは十分に低減できないこともわかった．しかし，PHREEQEによる解析によって，大気中の二酸化炭素の溶解を促進させることにより，中和することが可能であることが示唆された．このことから，中和処理装置を設けることなく，自然の浄化作用を活用するアルカリ性地下水の影響を低減する対策の可能性が示された．ただし，大気中二酸化炭素の溶解を促進するために，現地地形を踏まえ，二酸化炭素と地下水との接触にかかわる時間や面積の影響を調査する必要がある．

Key words：アルカリ性トンネル排水　alkaline tunnel seepage，地球化学解析　geochemical calculation，二酸化炭素溶解　dissolution of atmospheric carbon dioxide，中和　neutralization

1. はじめに

北海道中央部からやや東方に位置する標高約950mの山岳トンネルにおいて，トンネル覆工背面に湧出する地下水が，建設中はもとより完成後も継続してアルカリ性を呈することが認められている．この湧水は，トンネル底部の中央排水管に集水後，終点坑口部に送水され，トンネル排水として敷地外へ排出されている．このトンネル排水の放流先は，公共用水域となることから，放流水pHが環境基準であるpH6.5～8.5となることが望まれる．建設期間中は，坑口付近に中和処理装置を設置し，液化炭酸ガスを中和剤とする中和処理を行ってから放流していた．しかし，その設備や中和剤にコストを要し，さらにアルカリ性トンネル排水が継続的に排出される限りこのコストは常に加算される．このため，このトンネル排水がアルカリ性を呈する原因を究明するとともに，合理的な中和対策が求められている．

アルカリ性の地下水の事例としては，モルタルやコンクリートの吹付けや固化の影響を受けた地下水，コンクリート廃棄物と接触した地下水のほか，スラグやフライアッシュの影響を受けた地下水の報告がある[1)~4)]．とりわけ，放射性廃棄物の一種である超ウラン元素を多く含むTRU廃棄物処分[4)]やスラグ，フライアッシュの処分やリサイクル[2),3)]の問題で注目されている．自然由来のアルカリ性地下水としては，諸外国ではオマーン[5)]やヨルダン[6)]でpH12.5程度の地下水が見出され，その原因や影響について報告されており，国内では青森県の温泉由来の地下水[7),8)]や関東地方東部における大深度温泉[9)]などで報告されている．

そこで本研究では，トンネル掘削時の調査ボーリングコアから代表的な岩石を選択し，それらに対する溶出試験を実施した．さらに，トンネル排水および周辺沢水の水質調査を実施し，そこで得られた水質データを基に地球化学コードであるPHREEQE[10),11)]による地球化学解析を行った．これらの結果から，地下水がアルカリ性を呈する原因を究明し，周辺沢水との混合による希釈の効果や大気中の二酸化炭素の溶解によるpHの低減効果，すなわちこれら自然の浄化作用による中和法の可能性を考察した．

2. 調査地点の地質地形概要

本地点の位置図および地質図を**図-1**[12)]に示す．本トンネル周辺の地質は，下位から白亜紀～古第三紀の日高累層群，新第三紀の上支湧別層からなる．日高累層群は主に頁岩と砂岩の互層からなる．上支湧別層は主に礫岩からなる[13)]．トンネル区間は，大部分は上支湧別層の礫岩および砂岩・

*北海道大学大学院工学研究科　Graduate School of Engineering, Hokkaido University（会員）
**スズキ（株）　Suzuki Corporation Ltd.

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

泥岩の互層であり，終点坑口付近の一部にのみ日高累層群の頁岩および砂岩が分布する．

本調査地点周辺の排水系統および地形概要を**図-2**に示す．

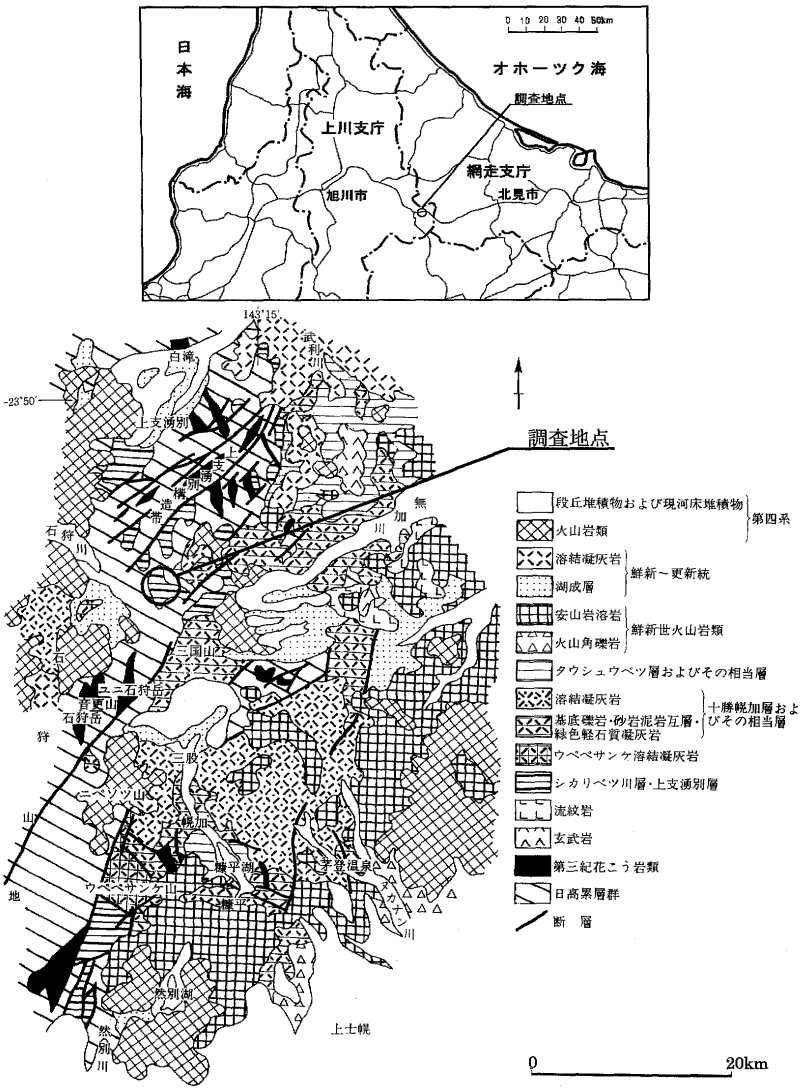


図-1　調査地点の位置図および地質図[12](Location and geology of tunnel site)

トンネル湧水は，トンネル底部の中央排水管(暗渠排水)を通過し，すべて終点側坑口部に設けられた集水桝に流入する．そこから合流する布袋沢(MK-2)までは，水平距離が約30m，その高低差が約7mの斜面と起伏に富んでおり，この周辺は沢地形となっている．流路としては，終点側坑口部の集水桝に流入後さらに接続桝に入ってからコルゲートパイプ(暗渠排水)を通過して明かり部に出て(MK-1)，布袋沢(MK-2)と合流し(MK-3)，その直後に道路横断している約150mのパイプカルバート(暗渠排水)を通過し，再度明かり部へ出てから(MK-4)敷地外へ流出している．中和処理装置は，集水桝を通過した後の明かり部に設置し，そこで中和処理してから沢に排出していた．

3. 調　査　方　法

3.1　調査ボーリングコアを用いた溶出試験

トンネル排水がpH10～11のアルカリ性を呈する原因を究明するために，調査ボーリングコアを用いて溶出試験を実施した．溶出試験は，ボーリングコアの中から代表的な地質である頁岩および砂岩，礫岩，段丘堆積物を対象として，**表-1**の地点から代表的なコアを採取して試験に供した．

あらかじめ風乾したコアをハンマーあるいはボールミルで粉砕した試料に対して，鉱物同定のために粉末X線回折法(XRD)を適用した．使用機器はリガク製multiflexである．分析に際しては，対陰極Cu線を用い，管電

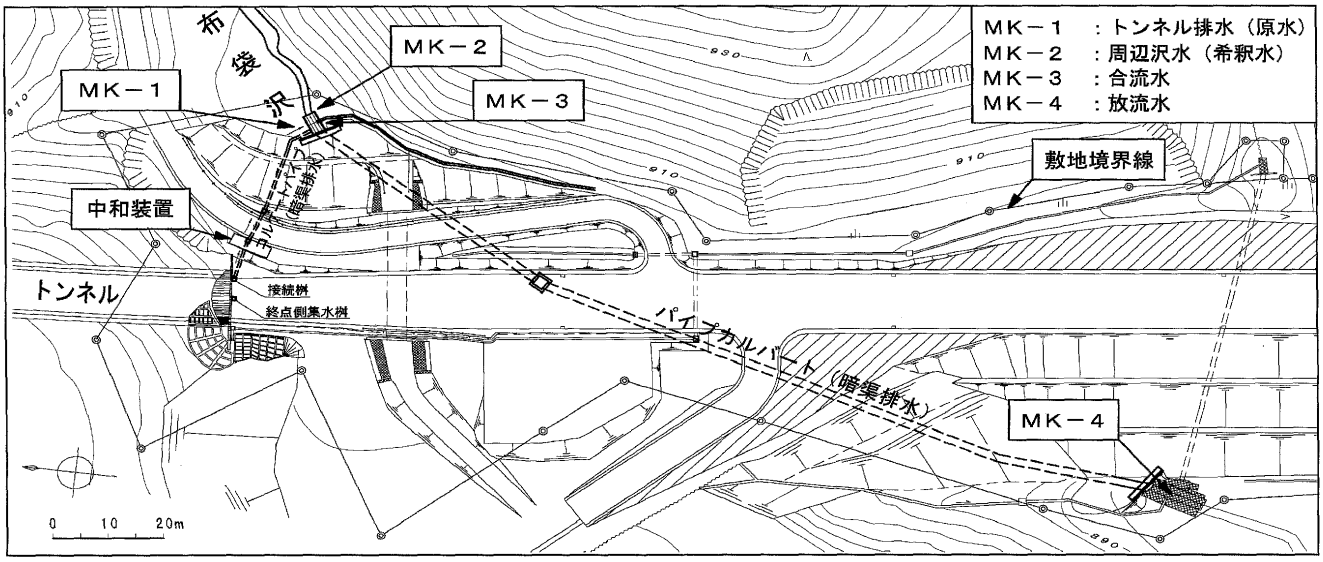


図-2　調査地点の概要(Outline of study site)

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

表-1　溶出試験に供した試料(Rock samples used for leaching experiments)

試料 No.	測点（m）	ボーリング孔（深度）	岩種
1	SP=84,500～84,520	B-5 (0～20 m)	段丘堆積物
2	SP=84,420～84,400	No.1 (26～46 m)	頁岩・砂岩（黒色）
3	SP=84,340～84,360	No.1 (86～106 m)	頁岩・砂岩（灰色）
4	SP=84,140～84,160	No.3 (18～38 m)	礫岩

表-2　岩石試料の鉱物組成(Constituent minerals of rock samples)

鉱物 / 試料 No.	石英	長石	方解石	緑泥石	黄鉄鉱	滑石
1	+++	++				
2	+++	++	+		+	
3	+++	++	++	++		
4	+++	++	+	++		+

（X線ピーク強度　+++：強，++：中，+：弱）

表-3　岩石試料の化学組成（単位 wt%）
(Chemical compositions of rock samples (in wt%))

試料 No. / 元素	1	2	3	4
SiO_2	65.66	64.74	56.86	70.13
TiO_2	0.83	0.78	1.09	0.70
Al_2O_3	20.34	15.86	16.16	14.19
Fe_2O_3	7.76	7.34	8.13	5.78
MnO	0.13	0.07	0.13	0.07
MgO	2.39	3.11	4.69	3.33
CaO	3.09	1.45	4.63	1.84
Na_2O	0.44	0.39	2.21	1.17
K_2O	2.00	3.17	1.32	2.59
P_2O_5	0.15	0.11	0.12	0.13
S	<0.01	0.37	0.06	0.16
CO_2	<0.1	0.3	1.6	0.7

圧40kV，管電流20mA，走査速度2°/minとした．その結果を**表-2**に示す．この表から石英，長石のほか，No.2には方解石，黄鉄鉱，No.3には方解石，緑泥石，No.4には緑泥石，滑石が含まれていることがわかる．粉砕試料の化学組成は，蛍光X線法（XRF）によって分析を行った．使用機器はリガク製SPECTRO XEPOSである．分析条件は，プレス-ペレット法によりRh管球を用い，管電圧45kV，管電流0.55mA，測定時間300秒とし，FP法に基づき定量した．なお，他の岩石試料を本FP法と検量線法とで比較した結果は，どの元素に対してもおおむね10%以内の差であった．また，炭酸塩の定量は，塩酸の添加によって発生する二酸化炭素を水酸化ナトリウムで吸収し，その溶液を塩酸で滴定し炭酸イオンを定量する小西式無水炭酸定量装置を用いた．化学組成の分析結果を**表-3**に示す．この表から，黄鉄鉱が検出されたNo.2ではSが0.37wt%，方解石が検出されたNo.2～4ではCO_2がそれぞれ0.3，1.6，0.7wt%となり，XRDの分析結果と一致している．

溶出試験は，あらかじめコアを風乾し，ハンマーあるいはメノウ乳針で粉砕し，2㎜以下にふるい分けした試料を用いた．この粉砕試料15gを脱イオン水150mℓに加え，往復振とう器を用いて120rpmで振とうした．振とう開始後，30min，1，3，6，24時間振とう後の懸濁溶液のpHを測定した．

3.2　トンネル排水および周辺沢水の水質調査

現地踏査によってトンネル排水および周辺沢水の状況を確認し，トンネル排水（MK-1），合流前の上流沢水（MK-2），合流直後の沢水（MK-3），それよりも約150m下流の放流水となる沢水（MK-4）を図-2に示す4地点で採取した．

現地調査では，上記の4地点において，採水後直ちに水温，pH，電気伝導度（EC），酸化還元電位（ORP），溶存酸素濃度（DO），透視度を測定した．また，採水時には流量も測定した．室内分析用試料として，採取試料を0.45μmメンブランフィルターでろ過し，ろ液を持ち帰った．なお，調査は平成18年6月から11月までの非積雪期は毎月2回実施し，積雪期および融雪期の平成18年12月から翌年の3月までは現地調査可能なトンネル排水（MK-1）の水質のみ調査した．また，主要な指標であるpHに関しては，空気で十分曝気したpHであるRpHも測定した．

ろ過試料に対しては，アルカリ度のほかCa^{2+}，Mg^{2+}，Na^+，K^+，Cl^-，SO_4^{2-}，Si，Fe，Alの濃度を分析した．さらに，懸濁成分の指標としてSSも測定した．アルカリ度の測定は硫酸滴定法，Ca^{2+}，Mg^{2+}，Na^+，K^+は陽イオンクロマトグラフ法，Cl^-，SO_4^{2-}は陰イオンクロマトグラフ法，その他の元素はプラズマ発光分析法によった．また，SSは，ガラス繊維ろ紙によりろ過し，残留物質の乾燥後の質量を測定した．

3.3　地球化学的評価

現地調査や室内試験・分析によってトンネル排水や周辺沢水の物理化学的な性状を明らかにできるが，降水などによって沢水の流量やその水質が変化するため，トンネル排水と沢水とが合流した後の混合水の水質を何らかの評価手法で予測することが必要である．また，大気中の二酸化炭素と十分接触する場合の水質変化も評価することが必要である．本検討では，これまで頻繁に使用され，その妥当性も十分確認されている代表的地球化学コードのひとつであるPHREEQEを用いて，トンネル排水の周辺への影響を評価した．

PHREEQEは，1980年に米国の地質調査所で開発された地球化学コードであり，溶液中および固液相間の溶解・

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

沈殿反応，錯形成反応などを含む種々の反応を考慮し，溶液中の化学種濃度や生成固相の種類を評価できるコードである[10]．ここでは，このコードに測定された水質データを入力し，トンネル排水と沢水との混合率を変化させることによって合流水の水質を評価したり，大気中の二酸化炭素分圧を変化させることによって，その分圧の二酸化炭素と平衡状態にある水質の変化を評価した．ただし，トンネル排水が周辺沢水と合流した後の生成固相については考慮しないこととした．

4. 調 査 結 果

4.1 溶出試験結果

溶出試験によるpHの経時変化を**図-3**に示す．この図から，試料No.1の方解石を含まない段丘堆積物を除いて，岩石試料のpHは振とう時間とともに初期値9.3～9.7から徐々に低下し24時間後には8.2～8.8とほぼ収束に向かうことがわかる．これらの試料No.2～4には溶解速度がほかの鉱物と比較して大きな方解石[14),15)]を含有していること，CO_2として炭酸塩含有量が0.3～1.6wt%と高いことから，方解石をはじめとする炭酸塩の影響を強く受けていると考えられる．溶出試験終了後に溶出水の水質も測定した．その結果，方解石を含有する試料No.2～4においては，Ca濃度が2.6～4.4mg/ℓ，アルカリ度が0.96～1.44meq/ℓとなり，方解石の溶解度平衡には達していないが，それに近い結果となった．

方解石は大気との閉鎖系，すなわち空気中の二酸化炭素との接触がなければpH10で安定し，大気開放系，すなわち空気中の二酸化炭素との十分な接触があればpH8.4となる[16),17)]．このことはある程度の方解石が存在する条件下では溶出初期にはpH10となり，大気との十分な接触の後はpH8.4となることを示唆している．本溶出試験結果は理論値と同様な傾向を示していることから，CO_2としての炭酸塩含有量として0.3wt%以上あれば，炭酸塩の溶解が溶液pHを支配すると考えられる．しかし，岩石中には，方解石以外の溶解速度の比較的高い長石などの鉱物が存在し，方解石以外のXRDでは検出されない程度のドロマイトなどの炭酸塩鉱物も含まれている可能性がある．溶出水pHを精度良く評価する場合には，これら種々の鉱物の溶解反応も考慮する必要がある．

以上のことから，本トンネルの主要な地質である頁岩や砂岩および礫岩中に含まれる鉱物のひとつである方解石の溶解反応がトンネル排水をアルカリ性にする主な原因と推定される．

4.2 水質調査結果

4.2.1 水質の経時変化

図-4には各地点の流量変化を示す．この図から，トンネル排水MK-1の流量は，降水時には若干増加するが，0.1m³/min前後の値となった．希釈水としての沢水MK-2の流量は0.1～7 m³/minと変動が大きくなり，降水の影響を受けやすいことを示す．

図-5には各地点のpH変化を示す．この図からMK-1のpHは，10～11程度となることがわかる．また，MK-2はpH7.2～7.8となり，トンネル排水を中和することが期待できる．**図-6**にはpHとRpHとの関係を示す．MK-1のRpHは9～11の間で変化するが，pHよりも低下することがわかる．また，pH 8を超えるMK-3，MK-4に対してもRpHの方がpHよりも最大2程度低いことがわかる．このことは，空気の吹き込み，すなわち大気中の二酸化炭素の溶解促進がアルカリ性トンネル排水のpH低下に寄与することを示唆する．

トンネル排水MK-1のその他の特徴として水温は3～9℃の範囲で季節変化するが，DOは10mg/ℓ程度以上となり好気的である．また，**図-7**に示すとおり，異常時を除きECは250～350 μS/cmの範囲で変化する．SSはおおむね10mg/ℓ以下であった．MK-1の化学組成は，Ca^{2+}で10 mg/ℓ前後，Mg^{2+}で0.5～1 mg/ℓ，Na^{+}で40～70mg/ℓ，

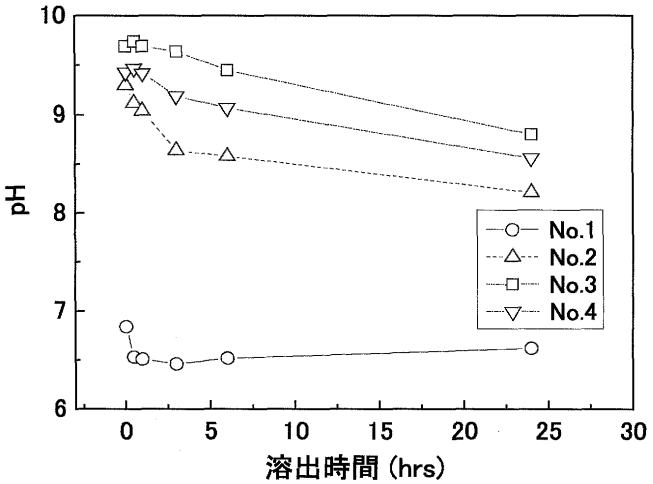


図-3 溶出水のpH変化(pH change of leachate)

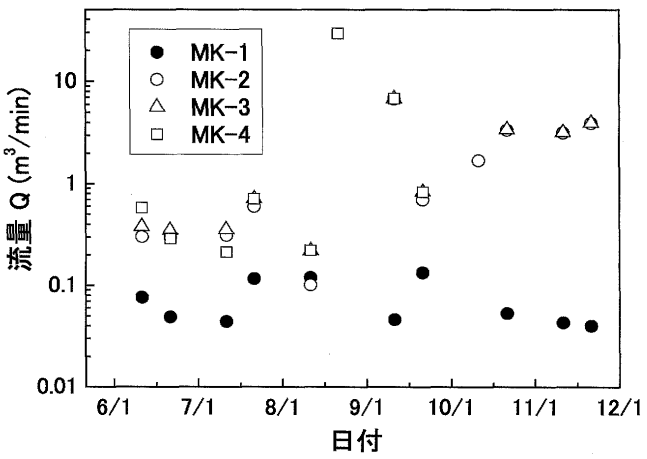
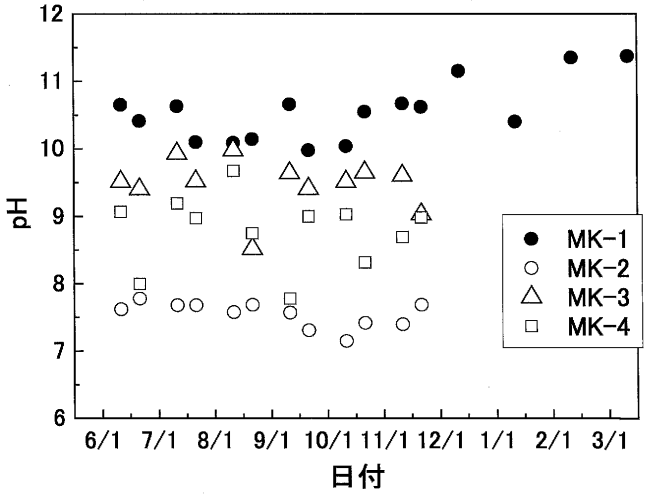


図-4 現地水質調査における各調査地点の流量の変動
(Change in measured flow rate for each study site)

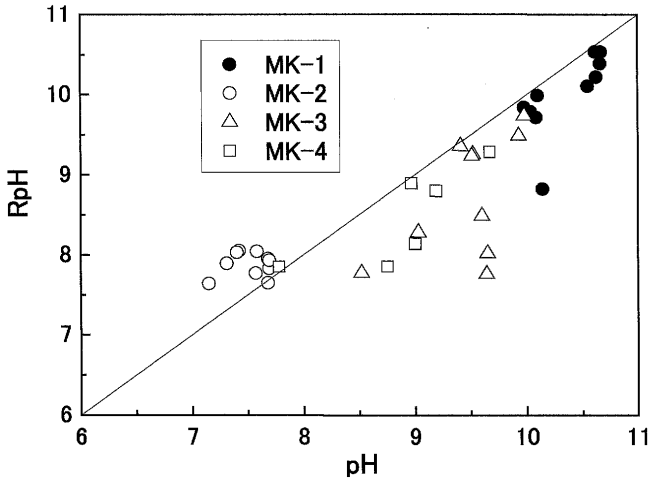
NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

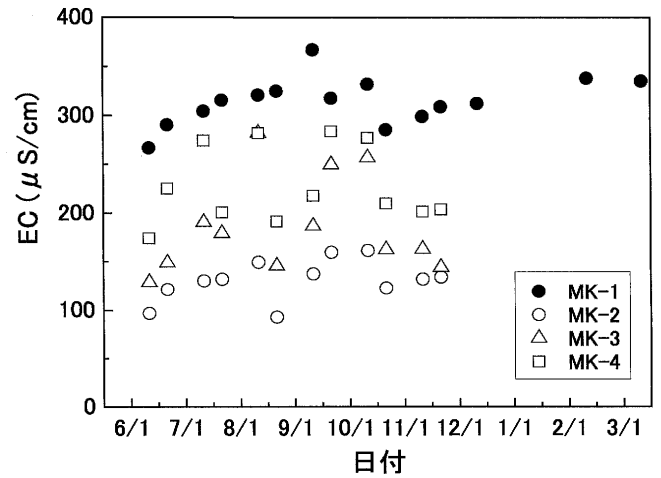
K^+で2～3 mg/ℓ，Siで12mg/ℓ前後，Cl^-で6～14mg/ℓ，SO_4^{2-}で10～20mg/ℓ，アルカリ度で2～2.5meq/ℓとなる．水質の型としてはNa–HCO_3型となり，年間を通して一定の水質の型を示している．



図–5　現地水質調査における各調査地点のpH変化
(Change in measured pH for each study site)



図–6　現地水質調査におけるRpHとpHとの関係
(Relationship between RpH and pH for water samples)



図–7　現地水質調査における各調査地点のEC(25℃換算値)変化
(Change in measured EC at 25℃ for each study site)

上記の結果から，トンネル排水のMK–1は，ある程度大気と接触し，酸素は十分に溶存しているが，二酸化炭素はそれほど溶存していない状態にあるといえる．しかし，RpHの測定結果からもわかるように，トンネル排水MK–1に対して大気中の二酸化炭素との十分な接触面積，接触時間を確保することによってpHが低下することが期待される．

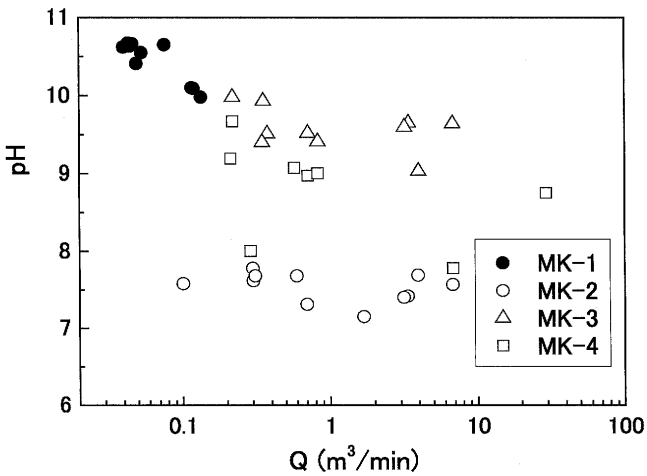
それに対して，希釈水となる沢水MK–2もCa^{2+}で12～27 mg/ℓ，Mg^{2+}で1.5～2.5mg/ℓ，Na^+で3 mg/ℓ程度，K^+で1～1.5mg/ℓ，Siで5～8 mg/ℓ，Cl^-で1～3 mg/ℓ，SO_4^{2-}で5～15mg/ℓ，アルカリ度で0.5～1 meq/ℓとなり，流量との関係は認められるものの年間を通しての顕著な水質の変動は認められない．

4.2.2　水質と流量との関係

トンネル排水あるいは沢水の流量とpHとの関係を**図–8**に示す．この図から，トンネル排水MK–1のpHは10～10.7で変動するが，排水量の増加によって若干低下することがわかる．合流点上流の沢水MK–2はpH7.2～7.8で流量にかかわらずほぼ一定値を示しており，沢水の流量にかかわらずpH低減効果が期待できる．合流直後のMK–3のpH値は，トンネル排水のMK–1と沢水のMK–2の混合率に依存するが，その値はpH8.5～10となった．トンネル排水の流量に比較して，沢水の流量変動は大きいため，MK–3においても流量の増加とともに，若干pHが低下する傾向がわかる．放流地点近傍のMK–4においてもMK–3同様，流量の増加とともにpH低下が認められた．しかし，図–5に示したように，トンネル排水と沢水との合流後のpHは，沢水の流量が低い場合，MK–4においては環境基準であるpH8.5を超えることがある．このことは，トンネル排水のpHを低減させるためには，周辺沢水との混合だけでは不十分であることを示唆する．

5.　PHREEQEによる調査結果の評価

MK–1とMK–2の測定結果を用い，その混合率を変化さ



図–8　現地水質調査におけるpHと流量との関係
(Relationship between pH and flow rate)

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

せ，MK-3のpHをPHREEQEによって計算し，その計算結果を実測結果と比較した．入力条件として，流量測定結果とCl^-イオン濃度分析結果から計算される流量比(混合比)との結果とが比較的よく一致した平成18年6月8日，6月22日，8月8日，9月21日の測定結果を用いた．ただし，MK-1～3においては，懸濁物質が認められなかったことから飽和指数が正の値となっても対象となる沈殿物は生成しないと仮定し，以下の項目を入力した．

i．MK-1とMK-2の水温，pH，ORP，アルカリ度

ii．MK-1とMK-2のCa^{2+}，Mg^{2+}，Na^+，K^+，Si，Cl^-，SO_4^{2-}，Al，Feの濃度

iii．MK-1とMK-2の混合比

この解析結果から得られる混合水，すなわちMK-3のpH予測値と実測pHとの関係を**図-9**に示す．この図から，PHREEQEで評価されたpH値と実測pH値とがおおむね一致することから，本地点の水質を有するトンネル排水や沢水の地球化学的評価に対してもPHREEQEを使用することができることがわかる．なお，図中のPHREEQEによる計算結果であるpH予測値と実測pH値との間に若干の差も認められるが，この差の主な原因として沢水の流量値の10%程度以下の測定誤差が挙げられる．

MK-3においては平成18年8月8日に最もpHが高い値を示したため，この日を例としてどれくらいの沢水があれば混合水がpH8.5よりも低くなるかどうかを評価した．この場合，混合率をパラメータとして計算した．計算結果を実測値とともに**図-10**に示す．この図では横軸を合流水MK-3に対する沢水MK-2の割合としている．この図から，トンネル排水pHが10.09の場合，合流水pHを8.5以下とするためには，希釈すべき沢水はトンネル排水の9倍以上必要であることがわかる．このことは，時期的に沢水の流量が少ない渇水期は，希釈だけでは環境基準の達成ができないことを示す．

アルカリ性トンネル排水を十分に希釈する沢水などの環境水を一定量以上常時確保できないことから，大気中の二酸化炭素との接触を促進させ，溶液中へ二酸化炭素を溶解させることを検討した．PHREEQEによって大気中の二酸化炭素が十分溶解すると仮定し，その場合のpHを算出したところ，すべてのトンネル排水でほぼpH8.5となった．このことは，大気中の二酸化炭素がトンネル排水に十分溶解した平衡時には環境基準と同程度のpHとなることを示唆する．ただし，どの程度の溶解時間が必要かという速度論的な検討が今後必要となる．

6. 結　　論

トンネル排水がアルカリ性を呈する原因を究明することと自然の浄化作用を活用して中和することを目的に，溶出試験や水質調査を行い，あわせてPHREEQEによる地球化学的評価を行った．その結果，以下のことが明らかになった．

(1)トンネル排水がアルカリ性となる主な要因は，トンネルをとりまく頁岩や砂岩および礫岩に含有する方解石の溶解である．

(2)トンネル排水と周辺沢水との合流水のpHが河川水の環境基準値である8.5を超える場合が渇水期に認められる．

(3)トンネル排水のpHを低減させるためには，沢水による希釈のほか大気中の二酸化炭素の溶解を促進させることが有効と考えられる．

今後は，現地模型実験などを実施し，大気中二酸化炭素の溶解現象を速度論的に評価し，排水構造物の設計方法を明らかにする．

謝辞　本研究の現地水質調査において，(株)エコニクスの江本匡氏をはじめとする関係者にご協力いただいた．ここ

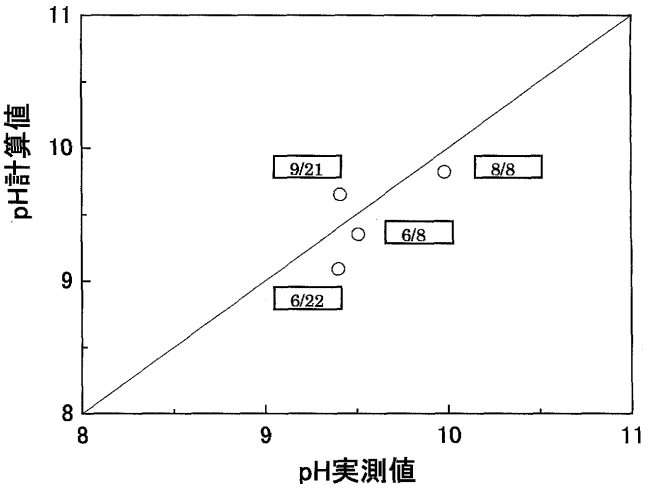


図-9　調査地点MK-3におけるpHの計算値と実測値との比較
(Comparison of calculated and measured pH values at MK-3)

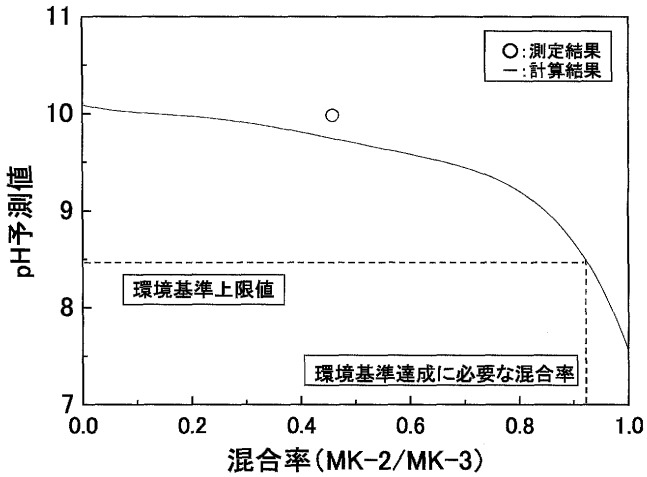


図-10　PHREEQEによる沢水の混合率(MK-2/MK-3)が合流水pHへ及ぼす影響の計算結果(平成18年8月8日のトンネル排水および沢水の水質データ使用)
(Effect of the mixing ratio of MK-2 to MK-3 on the pH of MK-3 based on the calculation by PHREEQE)

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

に記して謝意を表する．

引　用　文　献

1) 嘉門雅史・勝見武・大山将(1995)：セメント安定処理土のアルカリ溶出特性について，土質工学研究発表会発表講演集，Vol.30，No.3-1，pp.211-212.
2) 貴田晶子・大迫政浩・酒井伸一(2003)：カラム試験による溶融スラグの建設資材利用時の土壌・地下水系への影響評価，環境科学会誌，Vol.16，No.6，pp.497-516.
3) 松原明雄・佐藤一男(1988)：各種元素の土壌中移行機構(その2)土壌によるアルカリ性溶出水の中和，電力中央研究所狛江研究所報告，No.T87056，32p.
4) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構(2005)：TRU廃棄物処分技術検討書―第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ―，JNC TY1400 2005-013，FEPC TRU-TR2-2005-02.
5) CLARK, I.D., FONTES, J.-C. and FRITZ, P. (1992): Stable isotope disequilibria in travertine from high pH water: Laboratory investigations and field observations from Oman, *Geochimica et Cosmochimica Acta,* Vol.56, pp.2041-2050.
6) KHOURY, H.N., SALAMEH, E. and ABDUL-JABER, Q. (1985): Characteristics of an unusual highly alkaline water from the Maqarin area, northern Jordan, *Journal of Hydrology,* Vol.81, No.1/2, pp.79-91.
7) 後藤達夫(2004)：青森市のボーリング井の水質特徴について，水，Vol.46，No.12，pp.79-89.
8) 後藤達夫(2005)：青森市のボーリング井の地下水の水質に関する検討，水，Vol.47，No.15，pp.72-81.
9) 関陽児・中嶋輝允・上岡晃・金井豊・間中光雄・月村勝宏(2004)：関東地方東部における大深度温泉の特徴―水質と地質との関係―，温泉化学，Vol.54，No.1，pp.1-24.
10) PARKHURST, D.L., TORSTENSON, D.C. and PLUMMER, L.N. (1980): PHREEQE — A computer program for geochemical calculations, US Geological Survey, Water-Resources Investigations 80-96, 108p.
11) IGARASHI, T. and OYAMA, T. (1999): Deterioration of water quality in a reservoir receiving pyrite-bearing rock drainage and its geochemical modeling, *Engineering Geology,* Vol.55, pp.45-55.
12) 高橋功編図(1990)：日本の地質1北海道地方，共立出版，p.111.
13) 北海道開発庁(1960)：5万分の1地質図幅説明書，石狩岳，p.7，16.
14) BANWART, S.A. and MALMSTROM, M.E. (2001): Hydrochemical modeling for preliminary assessment of minewater pollution, *Journal of Geochemical Exploration,* Vol.74, pp.73-97.
15) 五十嵐敏文・丸山悠・朝倉國臣・服部修一(2003)：黄鉄鉱起因酸性水の抑制のための方解石含有岩石の利用に関する実験的研究，応用地質，Vol.44，No.4，pp.234-242.
16) STUMM, W. and MORGAN, J.J. (1996): Aquatic Chemistry, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1022p.
17) APPELO, C.A.J. and POSTMA, D. (1996): Geochemistry, groundwater and pollution, Balkema, Rotterdam, 536p.

(2008年10月27日受付，2009年8月21日受理)

Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol.50, No.5, pp.273-279, 2009

Properties of Alkaline Groundwater Seepage from a Tunnel and Its Neutralization Process by Self-Purification Mechanisms

Takuya AOKI, Toshifumi IGARASHI and Yoshihiro IIO

Abstract

Groundwater seepage from a tunnel has been alkaline since it was excavated. Leaching experiments with boring core samples around the tunnel and analysis of the groundwater seepage and surrounding river water were conducted to understand the cause of alkaline water and neutralization processes. In addition, geochemical processes were evaluated by using PHREEQE.

The analytical, experimental and calculation results showed that the alkaline groundwater was primarily caused by the dissolution of calcite contained in the shale and sandstone distributed around the tunnel, and that mixing of the alkaline groundwater with the river water had an insignificant effect on the pH reduction during the dry season. The geochemical calculation suggests that the dissolution of atmospheric carbon dioxide effectively reduces the pH of alkaline seepage from the tunnel. This indicates that the effect of alkaline water can be mitigated by utilizing natural processes. However, it is necessary to quantify the dissolution of atmospheric carbon dioxide into the alkaline seepage.

Key words：alkaline tunnel seepage, geochemical calculation, dissolution of atmospheric carbon dioxide, neutralization

NII-Electronic Library Service