

49. アルカリ性トンネル排水の性状とその中和過程

Properties of Alkaline Groundwater Seepage from Muka Tunnel and its Neutralization Process

○青木 卓也・五十嵐 敏文・飯尾 佳浩・朝倉 國臣（北海道大学大学院）
Takuya AOKI, Toshifumi IGARASHI, Yoshihiro IIO, Kuniomi ASAKURA
深谷 弘明・田中 正善（北海道開発局 旭川開発建設部）
Hiroaki FUKAYA, and Masayoshi TANAKA

1. はじめに

一般国道 39 号武華トンネルでは、掘削時の地下水がアルカリ性であることが検知され、工事完成後もそれが継続排出されている。現状は、炭酸ガスによる中和装置を設置して中和処理しているが、その設備の設置や中和剤の購入などにコストを要している。そのためアルカリ性のトンネル排水の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。そこで本研究では、トンネル周辺の代表的な岩石に対する溶出試験およびトンネル排水や周辺河川水の水質調査を実施し、得られた水質データを基にした PHREEQE¹⁾ による地球化学評価を行うことによって、排水のアルカリ性の原因を究明するとともに、大気中の二酸化炭素の溶解や周辺環境水との混合による中和過程を明らかにした。

2. 調査方法

本調査は、アルカリ性トンネル排水の原因究明のためのトンネル周辺の代表的岩石に対する含有鉱物同定、溶出試験、トンネル排水水質調査、自浄作用の評価のためのトンネル排水と周辺河川との合流前後の水質調査から構成されている。

溶出試験は、トンネル周辺ボーリングコア中の代表的な地層である頁岩・砂岩、礫岩、段丘堆積物を対象とした。溶出試験に際しては、あらかじめコアを風乾し、2mm 以下に粉碎した後、粉碎試料 15g を脱イオン水 150mL に加え（固液比 1:10）、往復振とう器を用いて 120rpm で振とうした。1 時間あるいは 24 時間振とう後、懸濁溶液の pH を測定した。粉碎試料に対して適用した X 線回折の結果を表-1 に示す。

表-1 X線回折分析結果

試料	岩種	同定された鉱物
1	段丘堆積物	石英、長石類
2	頁岩・砂岩（黒色）	石英、長石類、緑泥岩、方解石、黄鉄鉱
3	頁岩・砂岩（灰色）	石英、長石類、緑泥岩、方解石
4	礫岩	石英、長石類、緑泥岩、方解石

水質調査は、トンネル排水および周辺河川の水温、pH（RpH 含む）、電気伝導度、酸化還元電位、溶存酸素濃度、透視度、流量を現地で測定した。さらに、地下水中の化学成分 Ca, Mg, Na, K, Si, Fe, Al, Cl⁻, SO₄²⁻、アルカリ度、浮遊物質量を室内試験によって測定した。なお、元素分析は現地での 0.45 μm メンブレンフィルターによるろ過後のろ液を用いた。

調査地点を図-1 に示す。この図で、MK-1 はトンネル排水、MK-2 は合流前の河川水、MK-3 は合流直後の河川水、MK-4 は合流後のトンネル敷地境界付近の河川水である。

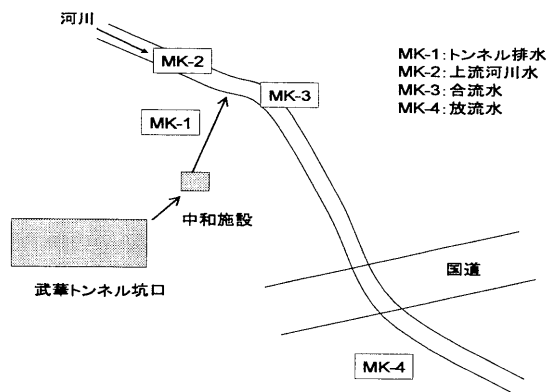


図-1 トンネル周辺調査地点

3. 調査結果

(1) 溶出試験

溶出試験結果を図-2 に示す。この図から試料 1 を除き溶出水 pH は 8.5~9.7 のアルカリ性を呈した。とくに溶出初期の pH が高かった。これらの試料は表-1 から方解石を含有する。方解石は、大気との閉鎖系では pH10 で安定し、大気開放系では pH8.4 となることから²⁾³⁾、試料 2~4 の溶出水は、溶解速度が他の鉱物と比較して大きな方解石⁴⁾⁵⁾の影響を受けていると考えられる。すなわち、本トンネルの主要な地層である頁岩・砂岩や礫岩中に含まれる鉱物の一つである方解石の溶解によってトンネル排水がアルカリ性になったと推定される。

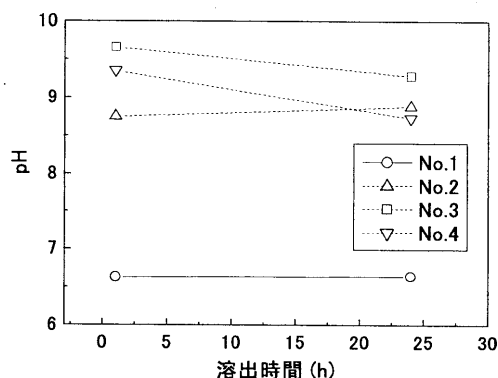


図-2 溶出試験結果

(2) 水質調査

各調査地点での流量 Q と pH, RpH との関係を図-3, 4 にそれぞれ示す。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とともに低下し、ト

ンネル排水が周辺の地下水により希釈されアルカリ性が低減することを示唆する。合流直前の河川水 MK-2 は pH7.2~7.8 で弱アルカリ性を示しており、MK-1 の中和を期待できる水質を有している。しかし、河川水量が少ない場合、合流後の MK-4 では排水基準の pH8.6 を超えることがあり、希釈効果だけで基準以下にすることは難しいことを意味している。

一方、曝気後の pH である RpH はトンネル排水と周辺河川との合流後の MK-3 や MK-4 で pH よりも低下しており、大気中の二酸化炭素の溶解が有効であることを示唆している。

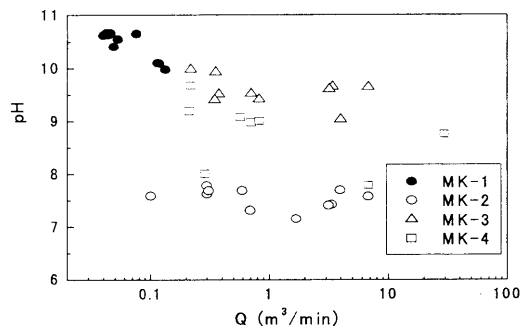


図-3 pHと流量との関係

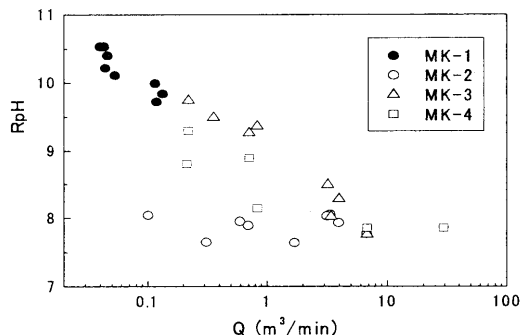


図-4 RpHと流量との関係

4. 地球化学的評価

PHREEQE の適用性を確認するために、合流水の実測 pH 値と計算 pH 値とを比較した。図-5 にその結果を示す。この図から、両方の pH 値はおおむね一致し、本地点のトンネル排水と周辺河川水との混合現象に対して PHREEQE が適用できることがわかる。そこで、PHREEQE を用いてトンネル排水と周辺河川水との混合率の変化による合流水の水質変化や大気中の二酸化炭素の溶解による水質変化を評価した。

トンネル排水と河川水との混合による pH 変化を MK-3 の pH が最も高くなった調査日を例として評価した。その結果を図-6 に示す。この図から、合流水 pH を 8.5 以下とするためには、希釈すべき河川水量はトンネル排水量の 9 倍以上必要であることがわかる。このことは、河川水の流量が少ないときは、希釈だけで pH 低減は期待できないことを示す。

一方、トンネル排水が大気中の二酸化炭素と平衡関係にあると仮定すると、その平衡 pH はほぼ pH8.4 となった。このことは、二酸化炭素が十分溶解した平衡時には環境基準と同程度となることを示唆する。

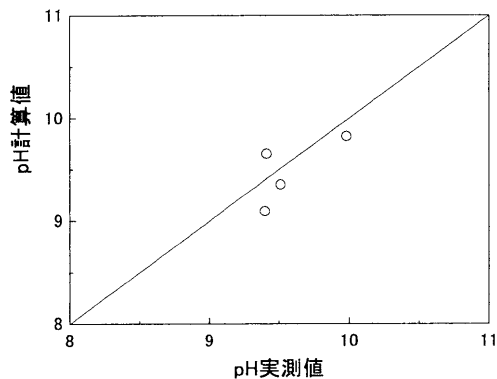


図-5 トンネル MK-3 の pH の実測値と計算値の比較

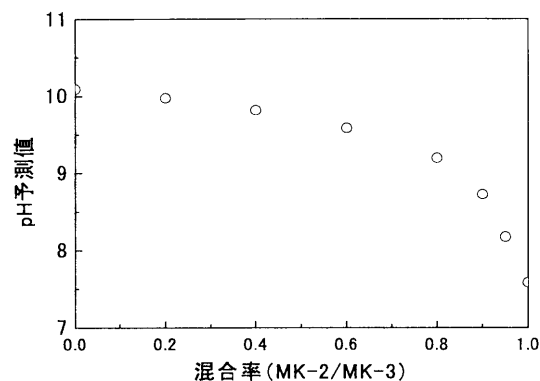


図-6 周辺水の混合率が合流水 pH へ及ぼす影響

5. まとめ

- (1) アルカリ性のトンネル排水はトンネル周辺の頁岩・砂岩、礫岩に含まれる方解石の溶解に起因することが、溶出試験および水質調査によって推定された。
- (2) トンネル排水と周辺河川水との合流水の pH が 8.6 を超える場合が渇水期に認められた。
- (3) トンネル排水の pH を低減するためには、大気中の二酸化炭素との溶解を促進させることが有効であることを PHREEQE による解析によって明らかにした。

今後は、二酸化炭素の溶解現象を速度論的に評価し、その効率的な中和対策を検討する予定である。

<参考文献>

- 1) Parkhurst, D. L., Torstenson, D. C., and Plummer, L. N. (1980): PHREEQE- A computer program for geochemical calculations, USGS, Water-Resources Investigations 80-96.
- 2) Stumm, W. and Morgan, J. J. (1996): Aquatic Chemistry, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- 3) Appelo, C. A. J. and Portma, D. (1996): Geochemistry, groundwater and pollution, Balkema, Rotterdam.
- 4) Banwart, S. A. and Malmström, M. E. (2001): Journal of Geochemical Exploration, Vol. 74, pp. 73-97.
- 5) 五十嵐敏文・大山隆弘・斎藤典之 (2001): 応用地質, Vol. 42, No. 4, pp. 214-221.