

### (33) 水質成分をトレーサーとした地山のモデル化手法の検討

Evaluation of regional hydrogeology using the tracer reflected on ground water component

並木 和人, 桑原 徹, 鈴木健一郎, 平間 邦興

Kazuto Namiki, Tohru Kuwahara, Kenichrou Suzuki and Kunioki Hirama

#### Abstract

This report studied the characters of local hydrogeology using the water components of groundwater and surfacewater on the tunneling into the Neogene volcanic layers of soft rocks. In the process of tunneling, were discussed on the geological structure, local groundwater flow, seepage from the river to the ground, and also water inflow into tunnel. Local flow system was characterized as Rhyolitic layer and Basaltic and Tuffaceous layers in this survey. Numerical analyses of water inflow were carried out based on the hydrogeological model between surface river and face of tunnel, and also relation between numerical data and observational data were evaluated, then was clarified the reliability of hydrogeological model using data of ground water component.

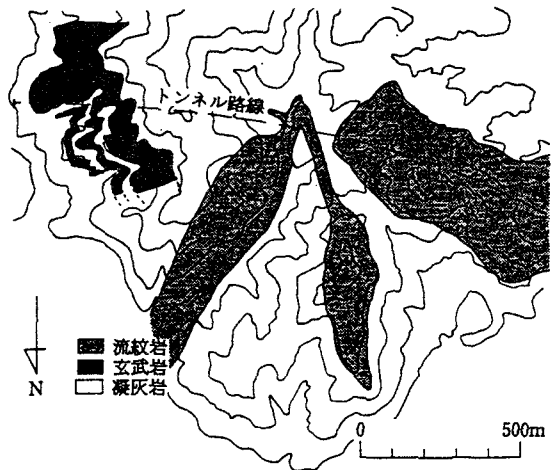
#### 1. はじめに

複雑な地山や大深度地下等における効率的な設計施工のためには、事前に地質構造、岩盤物性、水文特性等を十分把握しておくことが重要である。地下構造物構築等に係わる地山の調査手法として、物理探査、ボーリング調査およびボーリング孔を利用した物理検層・力学試験・透水試験などの手法が主に使われているが、最近注目されている手法に、地山内の地下水の水質をトレーサーとして、地質・岩盤構造および広域地下水特性を評価する方法がある。

今回、この水質トレーサーによる地質・水文特性把握および解析モデル化について検討した。トンネルの掘削過程とともに調査を実施し、地質構造特性、地山の地下水流動、河川水、およびトンネル湧水の相互関係を評価し、併せてこれらの結果を考慮した地山モデルで3次元浸透流解析を行い、掘削時のトンネル湧水について検討した。

#### 2. 地質概要とモデル化手法

今回の調査地域の平面図を図・1に示す。地質的には、新第三紀、グリーンタフと呼ばれている堆積性軟岩～中硬岩の凝灰岩層と玄武岩層の多層構造の互層に、中硬岩の火山岩である流紋岩



図・1 調査地域および概略地質平面

が溶岩ドーム上に貫入した複雑な地質構造が形成されている。また、流紋岩は部分的に変質作用を受けて粘土化した部分も存在し、変質部には鉱床が存在している。

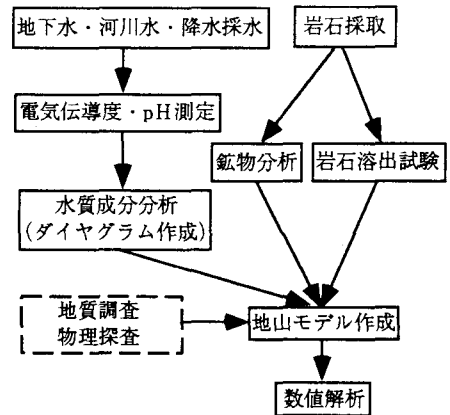
水質トレーサー調査による地山のモデル化のフローを図・2に示す。今回は、モデル化に至るまでの調査である水質試験（成分分析、電気伝導度およびpH測定）、室内溶出試験および鉱物分析を実施することで、調査手法自体の検証をモデル化同様に重視した。

### 3. 現地調査結果

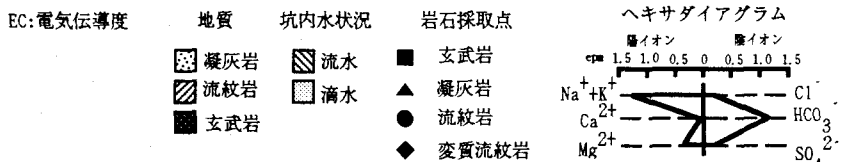
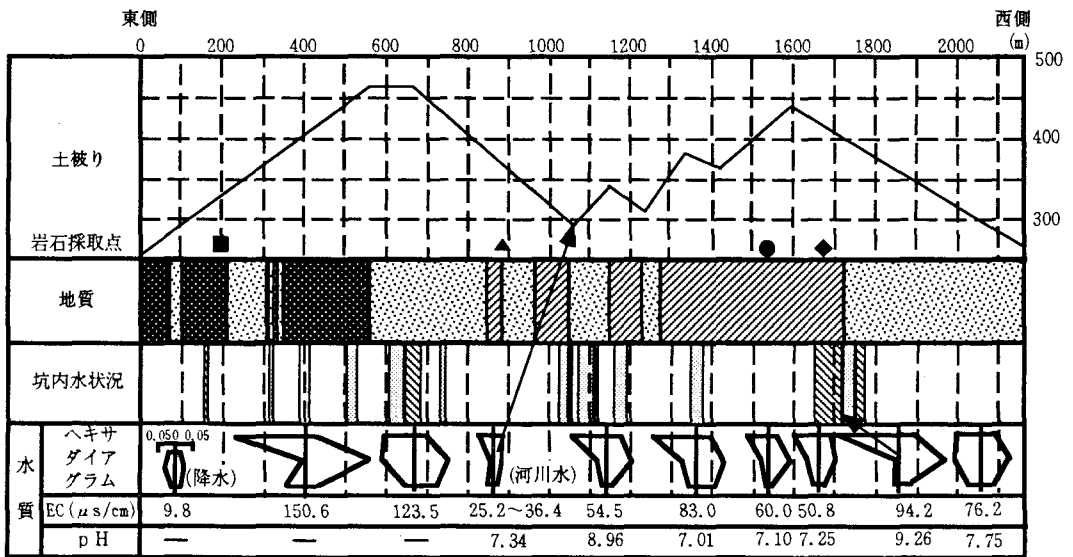
#### 3.1 成分分析結果

トンネル坑内の湧水の分析のために、トンネル路線を横切る小河川、掘削前の前方探査ボーリング時の湧水、トンネル坑壁からの湧水、および降水より採水を行った。トンネルからの採水は掘削の進捗とともに実施したため、時期は一致していない。採水にはポリ容器を用い、採水後速やかに主要水質成分であるNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の分析を実施した。

湧水の分析調査結果を主要6成分のヘキサダイアグラムとして、坑内地質・湧水状況と対照させて図・3に示した。トンネル坑内で採取されたものは、総じて降水や河川水に比べ総イオン量が多いという結果が示された。特にヘキサダイアグラムの相似性に着目すると、坑壁湧水は、以下の3つの水質タイプに分類できる。



図・2 実施フロー



図・3 現地調査結果

Type①；カルシウム卓越型

Type②；ナトリウム・カリウム卓越型

Type③；炭酸卓越型

これら3タイプの水質成分の湧水の出現地点を、掘削時の坑壁地質観察記録データと対比すると、Type①は凝灰岩・玄武岩互層部に、Type②は流紋岩部に良く対応している。Type③については、坑壁地質との明確な対応が認められない。

### 3.2 電気伝導度測定結果

電気伝導度（比抵抗値を逆数で表したもの）は成分分析前に測定した。トンネル坑内で採取されたものは、総じて降水や河川水に比べ値が高いという結果が示され、成分分析結果との整合が示された。また凝灰岩・玄武岩互層部で採水されたものの方が流紋岩部のものより値が大きいという特徴が現れた。

### 3.3 pH測定結果

pH（水素イオン指数）は成分分析前に測定した。凝灰岩・玄武岩互層部で採取されたものに一部9程度の強アルカリ性を示すものが存在したが、河川水・降水を含む他のほとんどは7～8を示した。

## 4. 岩石溶出試験

岩石種と湧水の関係について、現地調査結果を補足および検証するために、トンネル坑内で採取した岩石を利用して、室内での岩石溶出試験を実施した。

### 4.1 試験方法

試験は、トンネル坑内の4地点（図-3参照）より採取した4種類の岩石（玄武岩、凝灰岩、流紋岩、変質流紋岩）を用いて、次の手順で実施した。

- (1) 自然乾燥した岩石を乳鉢ですりつぶして粉末にし、さらに炉乾燥によって水分を取り除く。
- (2) 岩石粉末2.0グラムを純水800ccとともに容器に入れ、1分間攪拌する。
- (3) 3日後まで電気伝導度とpHをモニターした後に、水質の成分分析を実施する。

### 4.2 試験結果

試験結果のヘキサダイアグラムを図-4に、湧水の実験結果と溶出試験の結果をトリリニアダイアグラムにまとめたものを図-5に示す。溶出時間が3日間と短いため、溶出イオン量は少ないが、溶出の傾向は坑内湧水の分析結果と良く対応しており、実際の岩盤中での溶出過程を正確に再現しているものと判断される。

ヘキサダイアグラムの形状を現地調査のもの（図-3）と比較すると、以下のような特徴がある。

- (1) 凝灰岩はType①に類似している
- (2) 流紋岩、変質流紋岩はType②に類似している。
- (3) 玄武岩は、カルシウムおよび炭酸成分が他の成分より優勢という点がType③と対応している。

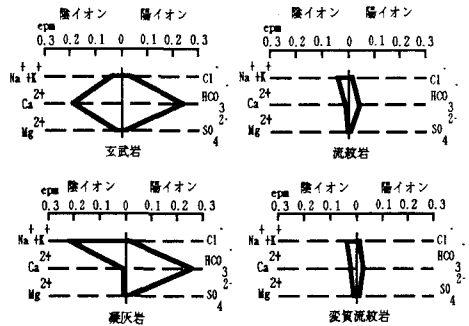


図-4 溶出試験結果  
(ヘキサダイアグラム)

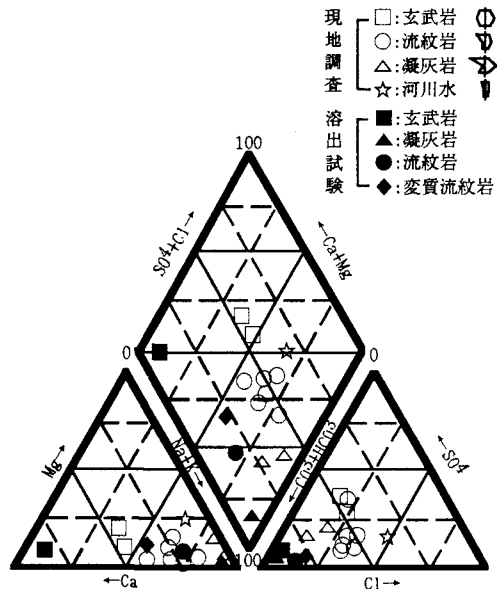


図-5 トリリニアダイアグラムによる分析結果の表示

またトリリニアダイアグラム上においても、Type②と流紋岩、Type③と玄武岩はそれぞれ近い位置にプロットされている。これらより、坑内湧水調査により分類された3つの水質タイプは、岩石溶出試験で得られた、凝灰岩 (Type①)、変質部を含む流紋岩 (Type②)、および玄武岩 (Type③)、の3タイプと、それぞれ良く対応していると結論される。

## 5. 地山のモデル化と数値解析の実施

### 5.1 地下水流動メカニズムの評価と地山のモデル化

今回の一連の調査において、地山内部の地下水流動メカニズムについて以下のようにまとめることができる。  
 ・流紋岩層；坑壁観察より、坑内への浸出量が比較的多く、また水質成分分析結果がイオン総量が少ないことを示していることより、間隙やき裂の多い透水ゾーンと推定される。河川と接触しているような箇所では、降雨時には地山から河川への流出が、また渇水時には河川から地山への水の流入、浸透が行われる。

・玄武岩・凝灰岩互層；坑壁観察では坑内への浸出量は流紋岩に比べ少く、水質成分分析でのイオン総量が多いことより、間隙やき裂は少ないと推定される。河川と接触する箇所でも、降雨時も渇水時も河川との交流は流紋岩層部ほど活発に行われぬものと考えられる。

また、両者の水質成分に明確な違いが表れていることより、流紋岩層と玄武岩、凝灰岩互層中を流れる地下水にはそれぞれ別の流系が存在していることが考えられる。

### 5.2 数値解析の実施

既往の調査結果に加えて、水質トレーサー調査の結果を反映させてより妥当な地山モデルを作成し、トンネル湧水に関して数値解析的に評価を行った。現地調査結果 (図-3) によると、(1)玄武岩、凝灰岩互層部のほうが流紋岩部より電気伝導度値や水質成分が大きい、(2)河川とその直下付近の土被りの薄い区間とで、水質組成が類似している、の2点が特徴としてあげられている。そこで、岩体の違いによる水質組成の違い、および河川と坑壁湧水との関係を浸透流解析により把握し、調査結果データとの関係から水質トレーサー調査による地山モデルの妥当性を検討した。

FEMモデルおよび解析条件を図-6に示す。モデルでは河川を挟んで、東側の凝灰岩・玄武岩互層と西側の流紋岩の二つのブロックの存在を想定し、これを地表地形、河川、トンネル坑道を考慮した三次元に拡張した。モデル化は東西方向および最大深度とも各約100mの範囲について行い、解析パラメータは既往調査結果を参考に設定した。解析は、掘削前の定常解析結果を初期条件として、導坑掘削を4ステップに分割した非定常解析で実

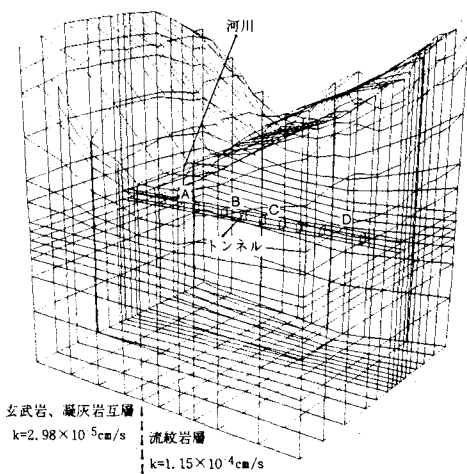


図-6 解析モデルの鳥瞰図

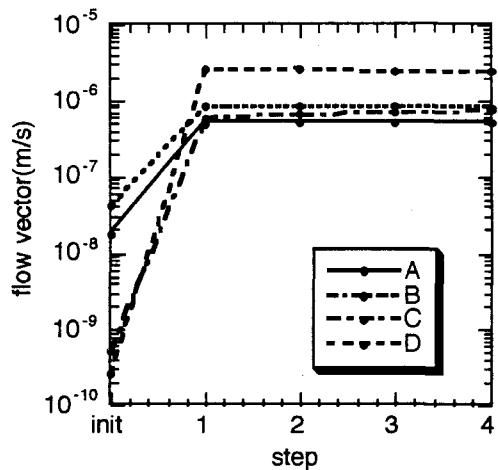


図-7 掘削ステップでの流量の変化

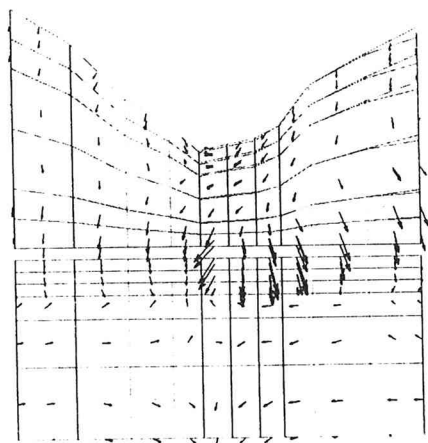


図-8 掘削後の流速分布

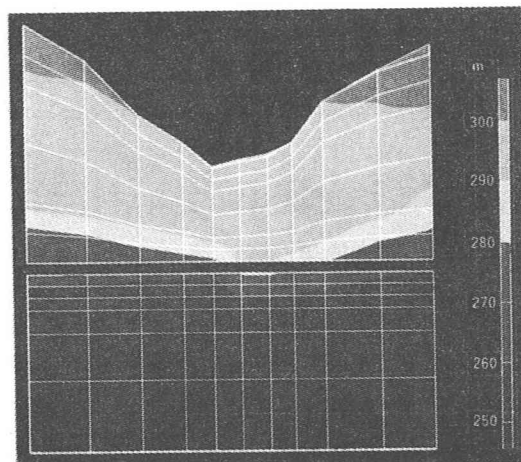


図-9 掘削後の水頭分布

施した。

### 5.3解析結果

図-7に玄武岩・凝灰岩互層と流紋岩層の合計4点（図-6参照）での各解析ステップにおける流速の推移を示す。掘削前と掘削後で流速を比較すると、玄武岩・凝灰岩互層部のAおよびB点では1オーダー程度の増加にとどまっているが、流紋岩部のCおよびD点では大きく増加することが示されている。これより、掘削後は玄武岩、凝灰岩互層部より流紋岩部のほうが降雨浸透から坑道への流出までの時間が短時間となることが推定される。一般的に、地下水として地山中に滞留している時間が長いほど水質成分は増加するとされているが、水質成分調査より得られた電気伝導度や水質成分の大小関係と解析結果はどちらもこの概念と整合しているものと思われる。トンネルを含んだ断面について、掘削後の地下水の位置水頭および流速ベクトルの状況を図-8～図-9に示す。流速分布では、流紋岩部での坑内への地下水流入が目立っているが、水頭値分布では掘削前後において顕著な低下が示されていない。よって、地下水が坑内へ急激な引水されるような状況には至っていないものと考えられる。

### 6.まとめ

今回、水質の成分分析調査を中心とする、水質をトレーサーとした、地山のモデル化手法の検証を実施した。

現地調査より得られた地山の水質成分特性は、室内要素試験結果と整合し、また数値解析結果と現地状況との整合性からも、この手法の有効性が検証できた。

今後は、調査手法の確立、水質成分の生成機構の解明、様々な地山構造、漏水や汚染調査等への適用により、地山特性および広域水循環の評価技術として確立していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 建設省河川局監修：地下水調査および観測指針（案）、山海堂、p.205-214（1993）
- 2) 並木他：グリーンタフ地域における水質調査（その1）、日本地下水学会1994年秋季講演会講演要旨、p.110-113（1994）
- 3) 並木他：水質トレーサー調査の地山評価への適用、第30回土質工学研究発表会講演論文集、p.255-256（1995）
- 4) 並木他：グリーンタフ地域における水質調査（その2）、日本地下水学会1995年春季講演会講演要旨、p.82-85（1995）