

不均質な地質環境における地層処分場の止水プラグ設計方法に関する基礎的検討

須山泰宏*¹ 柳澤孝一*² 戸井田克*¹

高レベル放射性廃棄物地層処分場の閉鎖時には、定置した廃棄体中の核種を地上から隔離するため、坑道の埋め戻しを行うと共に、坑道掘削により生じるゆるみ域（坑道近傍において掘削損傷や応力開放などにより物性値が変化する領域）や周辺岩盤と埋め戻し材との境界部が連続した核種移行経路とならないように、また、核種移行経路となり得るゆるみ域と断層破碎帯などとの連続性を遮断できるように止水プラグの設置が検討されている。止水プラグについては、カナダ原子力公社とサイクル機構が共同で実施したトンネルシーリング試験により止水プラグ自体の実現可能性の確認が行われているが、処分場全体における止水プラグの具体的な役割を踏まえた設計方法については、検討途上であり、不均質な地質環境における止水プラグの有効性や具体的に期待する性能などが明らかになっていない。

そこで、本論では予察的解析を行い上記した止水プラグの設計に関わる課題を明確にし、不均質な地質環境において適用すべき地層処分場の止水プラグ設計方法を提案する。本止水プラグ設計方法は、まず、廃棄体定置のために必要な緩衝領域（十分な核種移行遅延が可能な領域）を定義し、そして廃棄体定置のための坑道掘削により損傷した緩衝領域の機能を補うことが止水プラグの役割であるとした上で、処分場全体として止水プラグの設置数を減らすように、坑道掘削時の情報を用いて処分坑道のレイアウトを最適化する手法である。

Keywords: 地層処分, ゆるみ域, 止水プラグ, 空間的不均質性, 可変型処分坑道レイアウト

In order to ensure that a repository for the geological disposal of HLW is isolated from the human environment, underground excavations, including pits and tunnels, must be properly sealed. Effective sealing requires that these excavations are backfilled, and that the Excavation Damage or Disturbed Zone (EDZ), which includes preferential flowpaths, must be intersected by sealing plugs. Methods for constructing a full-scale sealing plug and their influence on plug performance were studied and confirmed by the Tunnel Sealing Experiment (TSX). This experiment was carried out by an international partnership of the Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) and Atomic Energy of Canada Limited (AECL). However certain specific roles of the sealing plugs at the scale of the whole repository were not studied. There remain issues to be clarified, notably the effectiveness of sealing plugs in a geological environment with heterogeneous characteristics and the resulting influences of the heterogeneities in performance assessment.

Focusing on a geological environment with spatially heterogeneous characteristics, the authors have developed a method for designing the sealing plugs, based on groundwater simulations. The design method consists of: (1) defining sub-regions that are able to contain and/or retard radionuclides sufficiently to ensure the long-term safety of the surrounding disposal tunnels in the repository region, (2) assigning the sealing plugs to the role of repairing the damaged sub-regions that are caused by excavation, and (3) adoption of a variable disposal tunnel layout to reduce the number of sealing plugs that must be constructed, by using information obtained while excavating the disposal tunnels.

Keywords: geological disposal, EDZ, sealing plug, spatially heterogeneity, variable disposal tunnel layout

1 はじめに

原子力発電により生じる高レベル放射性廃棄物の地層処分では、処分場を建設し、廃棄体を処分坑道に定置後、処分場を閉鎖する必要がある。閉鎖時には廃棄体中の核種を地上から隔離するため、坑道の埋め戻しを行うと共に、坑道掘削により生じるゆるみ域（坑道近傍において掘削損傷や応力開放などにより物性値が変化する領域）や周辺岩盤と埋め戻し材との境界部が連続した核種移行経路とならないように、また、核種移行経路となり得るゆるみ域と断層破碎帯などとの連続性を遮断できるように止水プラグの設置が検討されている（Fig.1 参照, [1]）。止水プラグについては、カナダ原子力公社とサイクル機構が共同で実施したトンネルシーリング試験[2]により止水プラグ自体の実現可能性（止水プラグの施工が可能であることと、止水プラグとして機能すること）の確認が行われているが、処分場全体における止水プラグの具体的な役割を踏まえ

た設計方法については、検討途上であり、未だ下記に示す課題が残されている。

- (1) 水みちとなる断層破碎帯（以下、断層）や割れ目帯が存在する不均質な地質環境において、坑道掘削により生じるゆるみ域に対して設置される止水プラグが核種移行の遅延に寄与できるのか？
- (2) 止水プラグが核種移行の遅延に寄与できる場合、どの程度核種移行を遅延（つまり、どの程度坑道掘削により損傷した天然バリア機能を補うこと）ができるのか？坑道掘削により損傷した天然バリア機能を完全に補うことができるのか？

そこで、本論では予察的解析を行い上記した止水プラグの設計に関わる課題を明確にし、不均質な地質環境にお

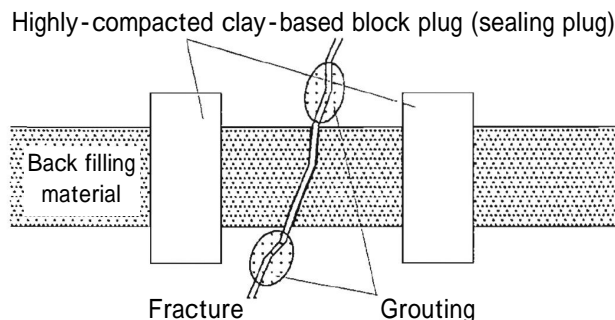


Fig.1 Schematic diagram of sealing plugs, adapted from[1]

Fundamental study of a method for designing sealing plugs for HLW geological disposal facilities, taking into account the heterogeneous characteristics of the geological environment by Yasuhiro Suyama (y-suyama@kajima.com), Koichi Yanagizawa, Masaru Toida

*1 鹿島建設株式会社 技術研究所

Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation

〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1

*2 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4-49

いて適用すべき地層処分場の止水プラグ設計方法を提案する。なお、ここで設計の対象としている“止水プラグ”には、止水プラグ自体に加え、止水プラグ掘り込み部周辺のゆるみ域対策として補足的に実施される粘土グラウトも含めている。

2 予察的解析による止水プラグ設計の課題の明確化

わが国の地層処分の概念は、天然の地質環境（天然バリア）と工学的な防護系（人工バリア）を組み合わせた多重バリアシステムの考えに基づいている。この考えに基づき天然バリア機能を活用するためには、坑道掘削により損傷した天然バリア機能を止水プラグなどにより補うこと、つまりゆるみ域の影響を極力排除することが処分の安全上有効と考えられる。そこで、本論では先ず予察的解析を実施し、前述した止水プラグの設計に関わる課題を確認した。

2.1 検討対象

本解析では高透水の断層が存在するサイトを対象に、坑道を掘削後、ゆるみ域に対して設置した止水プラグの影響を確認するため、地下水流動解析結果に基づく坑道周辺を対象とした3次元のパーティクルトラッキングを実施した。本解析では、本来天然バリアが有する機能表現する坑道掘削前段階、坑道を掘削し、ゆるみ域の形成後、坑道のみを埋め戻した段階、およびに止水プラグを加えた段階、の3段階を検討対象とした。

2.2 解析モデルおよび解析ケース

本解析では止水プラグの設計に関わる課題の確認を目的としているため、処分パネル全体を考慮せず、Fig.2 に示すように断層と1本の処分坑道（中心座標 $x=50\text{m}$, $z=50\text{m}$ ）を含む100m立方を切り出した領域を対象とした。また、坑道沿いのゆるみ域が移行経路になり易いように、坑道軸方向である y 軸方向に0.01の動水勾配を設定した（側面は不透水境界）。更に、高透水の断層自体がゆるみ

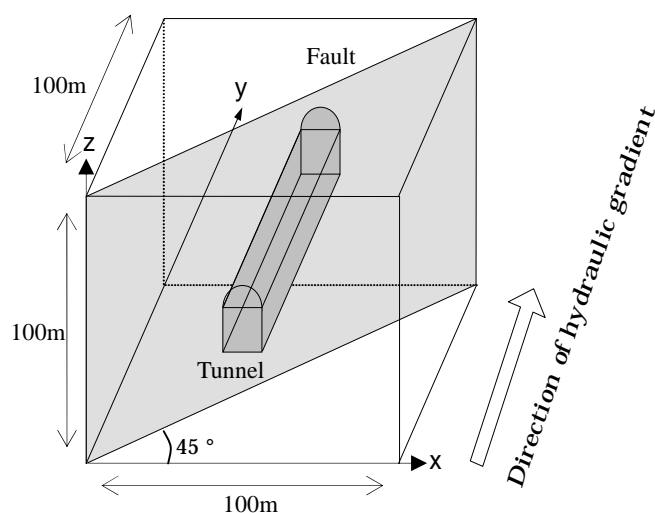
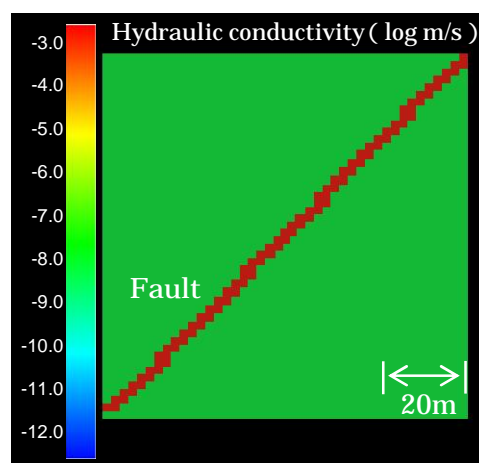


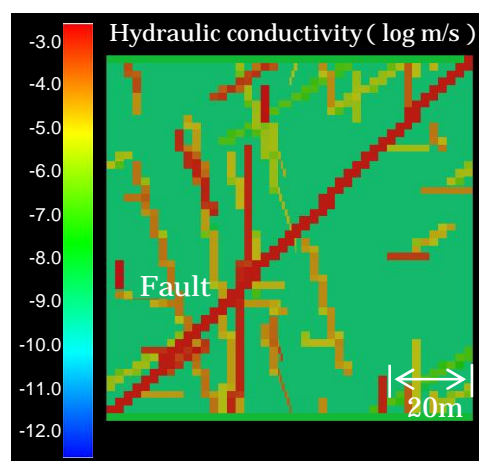
Fig.2 Schematic 3D view of the analysis model

域と直結する移行経路になるように、Fig.2 に示すように坑道と斜め45°に交差するように断層を設定した。

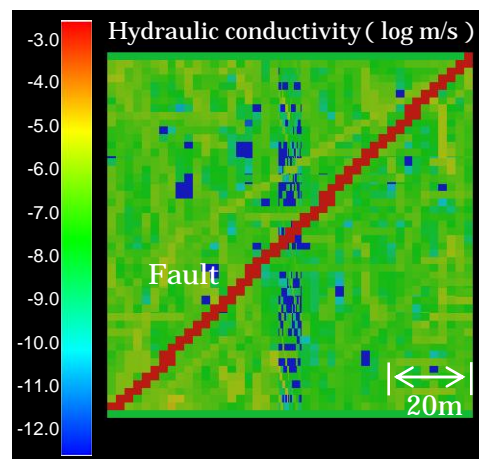
岩盤浸透流は断層や割れ目帯の存在などによる不均質性に強く影響を受ける[3]ため、本解析での天然バリアの不均質性については、結晶質岩を母岩としてイメージし、上記した断層以外に、岩盤中の卓越した核種移行経路となる割れ目帯を考慮した。具体的には、割れ目帯の出現間隔をパラメータに、下記に示す3種類の地質環境モデルを取り上げた（Fig.3 参照）。ここでは、均質なモデルと比較し、



Homogeneous model



Heterogeneous model with several fractures



Heterogeneous model with many fractures

Fig.3 Three analysis models associated with spatially heterogeneous characteristics

不均質なモデルにおける止水プラグの有効性を確認するため、均質なモデルで用いられる多孔質媒体近似を不均質なモデルにも適用した。

- 均質モデル (Homogeneous model): 割れ目帯が数 100m 程度の間隔で出現するものとし、本 3 次元領域ではその割れ目帯間をモデル化しているため、均質と見なせるケース。
- 不均質モデル割れ目帯少 (Heterogeneous model with several fractures): 割れ目帯が数 10m 程度の間隔で出現するケース。
- 不均質モデル割れ目帯多 (Heterogeneous model with many fractures): 割れ目帯が数 m 程度の間隔で出現するケース。

解析モデルの坑道断面は幅・高さ 3.50m の幌形、ゆるみ域の幅は[4]で示されている範囲内から全周 0.22m、および止水プラグは掘り込み部分の深さは全周 1.00m ([2]参照)とし、直方体メッシュでモデル化した。止水プラグの位置は断層から最短で 10m 離れた箇所に 2 箇所設置した。地下水流動解析に用いた物性値を Table 1 に、パーティクルトラッキングに用いた物性値を Table 2 に示す。透水性に関しては、ゆるみ域と断層が移行経路に、また、埋め戻し後の坑道と止水プラグが遮水の役割を果たすように設定した。母岩については、Fig.3 に示したように不均質性の違いを考慮しているが、領域全体の平均透水係数は同じとした。Fig.3～6 は全て xy 断面 ($z=50\text{m}$) での表示であ

Table 1 Hydraulic conductivity and transmissivity used in the groundwater simulations

Host rock (average)	$k=8.91 \times 10^{-9} \text{ m/s}$
Fault	$T=4.00 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
EDZ	$k=k_{\text{host rock}}$ multiplied by 100
Backfill	$k=1.00 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
Sealing plug	$k=1.00 \times 10^{-12} \text{ m/s}$

k: hydraulic conductivity, T: transmissivity

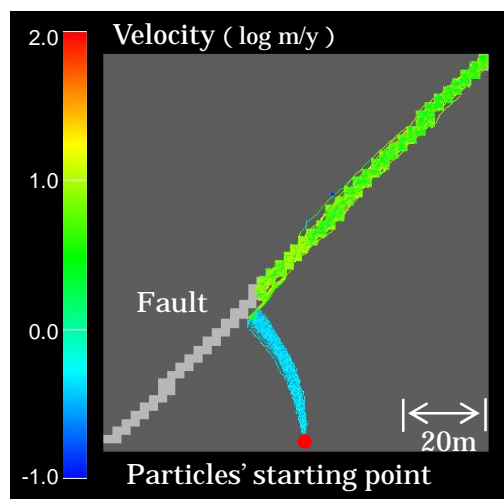
Table 2 Effective diffusion coefficient and porosity used in the particle tracking simulations

	Effective diffusion coefficient (m^2/s)	Porosity (%)
Host rock	3.0×10^{-12}	2
Fault	3.0×10^{-11}	20
EDZ	3.0×10^{-11}	20
Backfill	3.0×10^{-10}	40
Sealing plug	3.0×10^{-10}	40

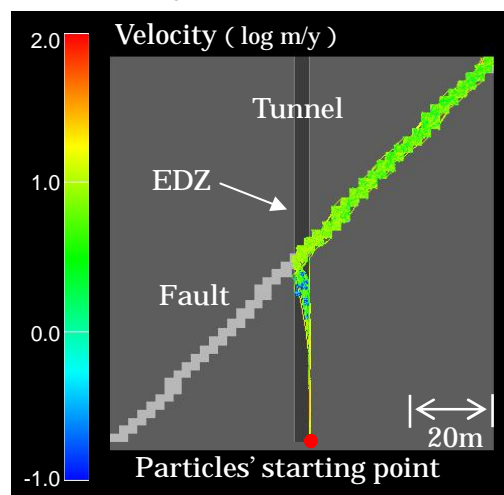
る。また、パーティクルの Puls は上流側の坑道側部のゆるみ域内 (では母岩内での同じ位置) を出発点とした。

2.3 解析結果

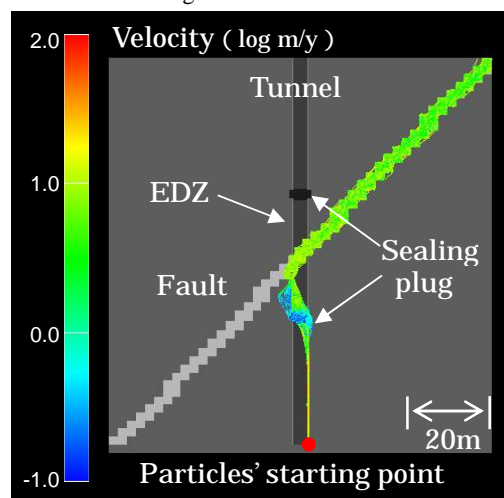
まず、3 つのモデルの内、均質モデルは Fig.4 に示すパーティクルの軌跡から分かるように、の坑道掘削前段階



Stage before tunnel excavation

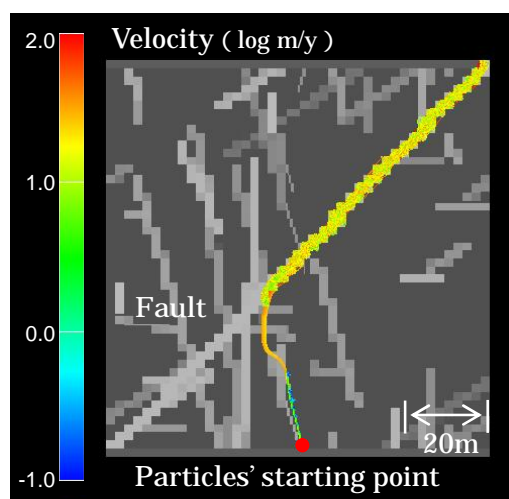


Stage after tunnel backfill

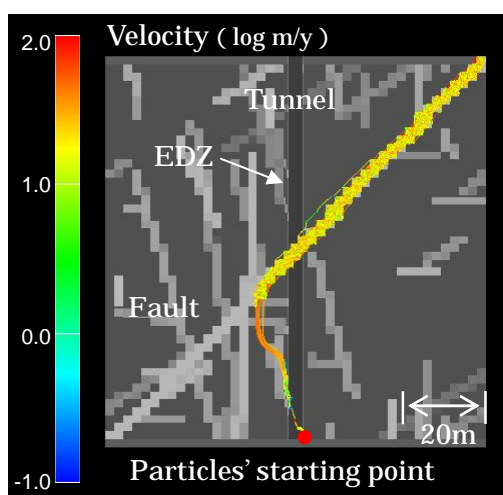


Stage after sealing plugs construction

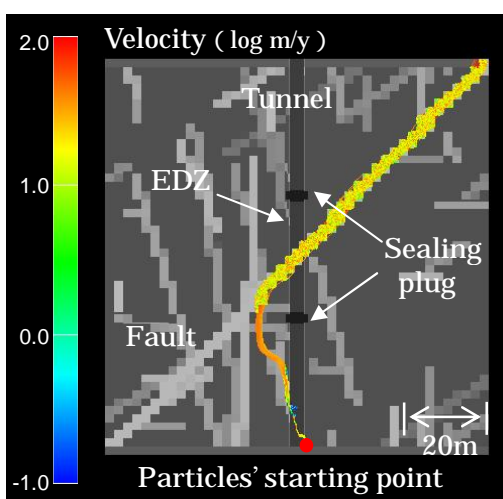
Fig.4 Particle tracking results from the homogeneous model



Stage before tunnel excavation

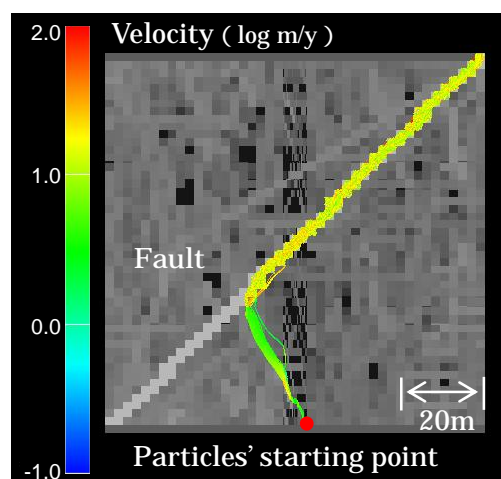


Stage after tunnel backfill

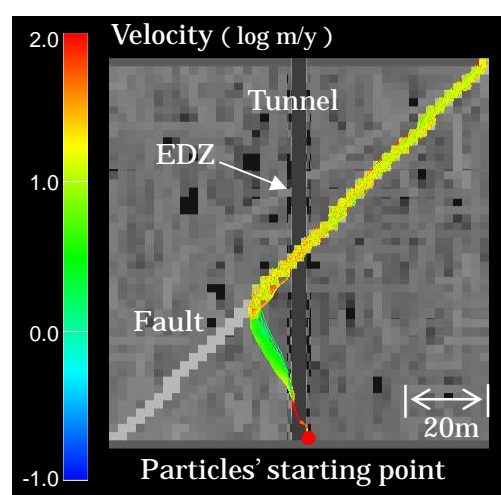


Stage after sealing plugs construction

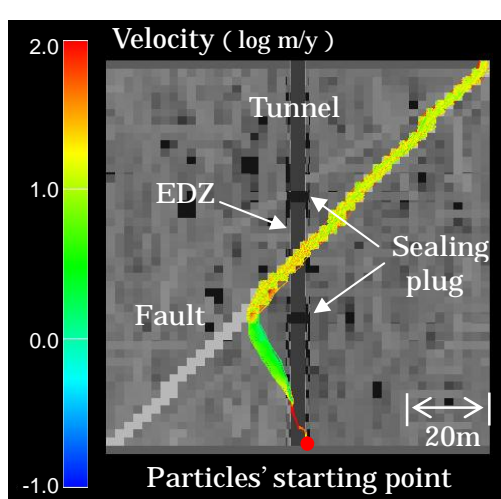
Fig.5 Particle tracking results from the heterogeneous model with several fractures



Stage before tunnel excavation



Stage after tunnel backfill



Stage after sealing plugs construction

Fig.6 Particle tracking results from the heterogeneous model with many fractures

では断層が集水域となり動水勾配の設定方向とパーティクルの移行経路が少し異なっている。の坑道の埋め戻し後段階では坑道掘削により生じるゆるみ域が水みちとなるため、パーティクルの移行経路がゆるみ域となっている。

の止水プラグ設置後段階では止水プラグを設置することにより、止水プラグ周りでのパーティクルの回り込みが生じ、多少パーティクルの移行抑制が生じている。パーティクル累積濃度の経時変化 (Fig.7 上図参照) を見てみると、坑道を掘削することにより本来天然バリアが有している機能が低下し、パーティクルの移行時間が早くなるが、止水プラグを設置することにより、移行抑制が生じ、天然バリア機能を僅かに補っていることが分かる。しかし、止水プラグを設置しても本来の天然バリアが有している機能までは補うこと (遅延) ができていない。Fig.4 より、止水プラグが天然バリア機能を補っている範囲は止水プラグ近傍のみであると考えられる。

次に、不均質モデル割れ目帯少は Fig.5 に示すように、

の坑道掘削前段階では均質モデルでの移行経路近傍の割れ目帯を選択して、パーティクルが移行している。の坑道埋め戻し後段階ではパーティクル出発点近傍ではゆるみ域が移行経路となっているが、途中からパーティクルはの坑道掘削前段階で選択した移行経路 (割れ目帯) に入り、断層へと移行している。の止水プラグ設置後段階では止水プラグ設置位置がパーティクルの移行経路となっていないため、止水プラグがパーティクルの移行にほとんど影響を与えていない。パーティクル累積濃度の経時変化 (Fig.7 中図参照) を見てみると、坑道を掘削することにより本来天然バリアが有している機能が低下し、パーティクルの移行時間が早くなり、止水プラグを設置してもパーティクルの移行時間に変化が無く、損傷した天然バリア機能を全く補っていないことが分かる。

最後に、不均質モデル割れ目帯多は Fig.6 に示すように、

の坑道掘削前段階では不均質モデル割れ目帯少同様に、均質モデルでの移行経路近傍の割れ目帯を選択して、パーティクルが移行している。の坑道埋め戻し後段階ではパーティクル出発点近傍ではゆるみ域が移行経路となっているが、基本的にはで示した移行経路とほぼ同じ経路をパーティクルが移行している。の止水プラグ設置後段階では止水プラグ設置位置がパーティクルの移行経路となっていないため、不均質モデル割れ目帯少同様に、止水プラグがパーティクルの移行にほとんど影響を与えていない。パーティクル累積濃度の経時変化 (Fig.7 下図参照) を見てみると、坑道を掘削してもパーティクルの移行時間に変化は無く、本来天然バリアが有している機能に影響を与えておらず、当然の事ながら止水プラグを設置しても天然バリア機能に影響を与えていない。

これらの結果をまとめると、以下ようになる。

- a. 高透水の断層の存在が、基本的に動水勾配の設定方向で決定する地下水の流動方向 (パーティクルの移行経

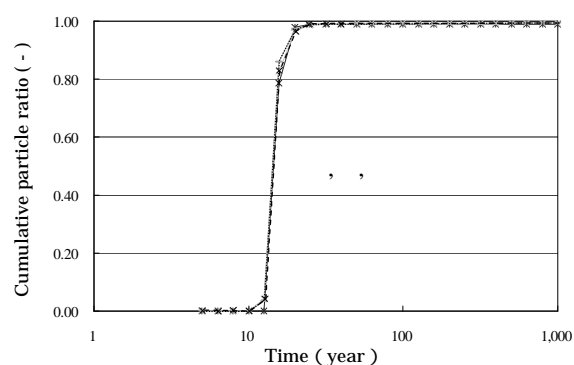
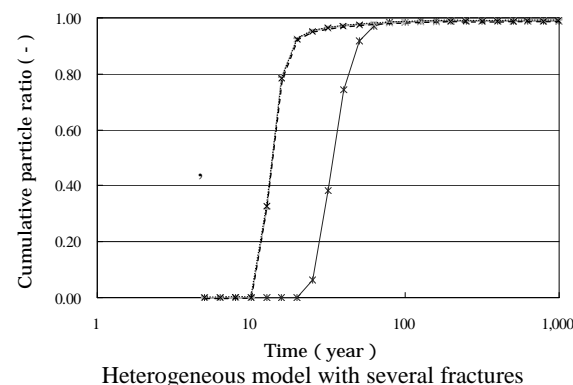
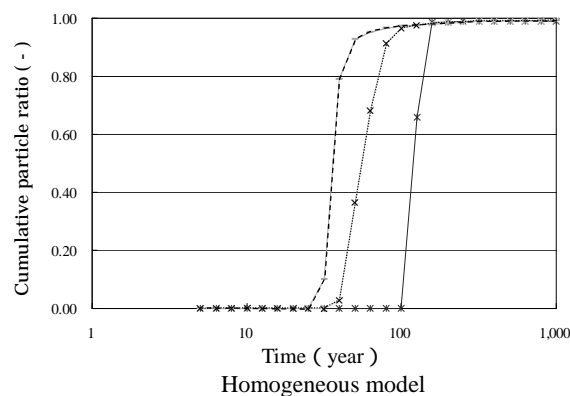


Fig.7 Cumulative particle ratio in the three analysis models

路) に影響を及ぼしている。

- b. ゆるみ域が移行経路となっている場合、止水プラグは止水プラグ周辺でのパーティクルの回り込みによる移行抑制に貢献しているが、坑道全長を考えると移行抑制の程度は小さい。つまり、断層から見て上流側のゆるみ域に一つの止水プラグを設置しても、坑道全長において天然バリア機能を完全に補うことができない。
- c. 地質環境に不均質性が存在するモデルでは、ゆるみ域が卓越した移行経路にならない場合がある。つまり、不均質性が存在するモデルでは、坑道に設置する止水プラグが卓越した移行経路の遮断に寄与しない。

本解析結果から(1)不均質な地質環境においては止水プラグが有効に寄与しない可能性があること、(2)止水プラグの核種移行遅延 (天然バリア機能を補うこと) は止水プ

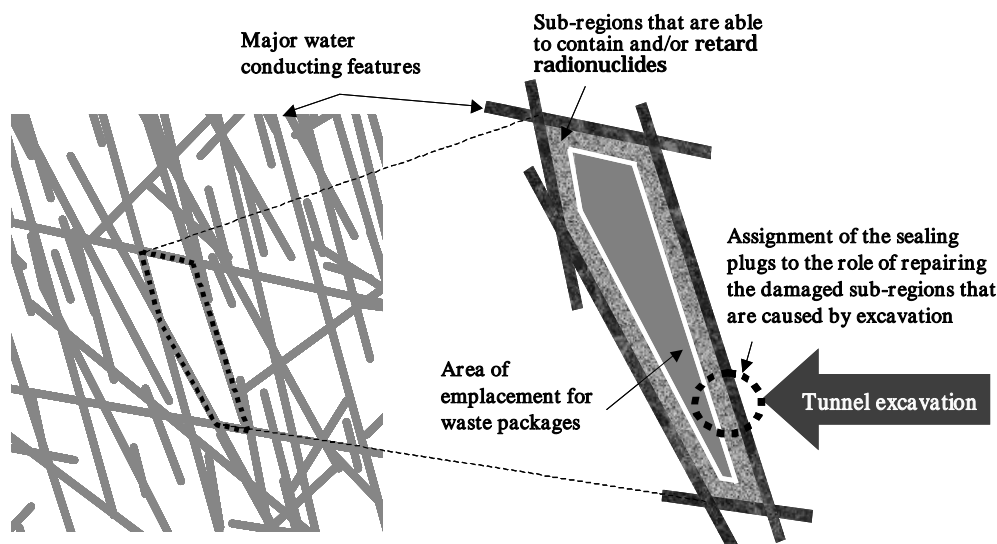


Fig.8 Sub-regions that are able to contain and/or retard radionuclides

ラグ周辺の限られた坑道長のみに機能していることが分かった。本解析はあくまでも一例であるが、明らかに1章に示した二つの課題が残されている。このことは、本来天然バリアが有する機能を有効活用するという視点に立つと、従来のように先に処分坑道レイアウトを決定し、その後止水プラグを設置するという設計手法（建設が主で、閉鎖が従）が不均質な地質環境において必ずしも安全上好ましいと言えない。そのため、不均質な地質環境においては、より安全性を向上させる設計手法として、先に止水プラグを設置すべき場所を考慮した上で、処分坑道レイアウトを設計していく手法（閉鎖が主で、建設が従）が好ましいと考えられる。

3 地層処分場の止水プラグ設計方法

本論では不均質な地質環境（核種移行経路となり得る断層や割れ目帯が存在する環境）を対象に、止水プラグ設計（止水プラグの役割と設置すべき場所の設定）方法を検討した。止水プラグの設計方法の検討においては先ず部位毎の設計に適用できることを重視し、地質環境の不均質性に起因する不確実性などを踏まえた処分場全体としての性能確認は別途実施するものとした。以下、止水プラグ設計方法の検討では2章での解析結果を踏まえ、(1)地質環境の不均質性、(2)止水プラグの役割、および(3)止水プラグの設置すべき場所とその効率的な配置に着目している。

3.1 不均質な地質環境において考慮すべき緩衝領域の確保

不均質な地質環境においては止水プラグの設計に先立ち、廃棄体の定置場所の確保が均質な地質環境よりも重要な課題となる。ここでは廃棄体の定置場所確保のために、Fig.8に示すように廃棄体（人工バリアも含む）の周りに、その領域だけである程度長期安全性を確保できる（核種移行遅延が可能な）天然バリア機能を有する領域を“緩衝領域”

として定義する。ここで定義した緩衝領域が対象領域において空間的に設定できれば、地下水の流動方向に関係なく、その緩衝領域に囲まれたエリアは核種移行の観点から廃棄体定置に好ましい場所（性能評価上、どこに置いても安全である場所）となる。この定義では緩衝領域において基本的な安全性を確保しているため、緩衝領域の外側に分布する地質環境の天然バリア機能は、更なる安全性の確保に寄与することになる。緩衝領域に対する具体的な物性値の設定は、例えば高瀬他[5]が実施した統計的核種移行解析結果を参考に設定することができる。本報告では地下水を媒体とした核種移行に関係する現在の地質環境条件が将来も継続することを仮定した基本シナリオにおいて、長期安全性を確保する上での要件の抽出を目的に、天然バリア性能に関係する種々のパラメータ入力値を第2次取りまとめ[4]における記載範囲で変動させた統計的核種移行解析を行っている。そして、解析結果に関して感度分析を行い、最も感度の高いダルシー流速に基づく地下水移行時間に關し、ある地下水移行時間（横軸）の部分集合に含まれる解析ケースのうち、暫定的に想定した目標である被ばく線量を下回る割合（縦軸）を示している（Fig.9参照）。本結果を用いれば、例えば3万年のダルシー流速に基づく地下水移行時間を確保できれば暫定的に想定した目標である被ばく線量をほぼ下回ることになる。動水勾配を0.01と仮定した場合、3年以上のダルシー流速に基づく地下水移行時間は、Fig.10に示すように灰色の範囲であれば確保することが可能であり、このことは母岩の透水係数が 10^{-9} m/sで10mの緩衝領域が、 10^{-10} m/sで1mの緩衝領域が廃棄体定置場所周囲に存在する地質環境であれば目標を達成できることを意味している。 10^{-9} m/sや 10^{-10} m/s程度の透水係数を有する岩盤は第2次取りまとめ[6]において、我が国に多数存在することが確認されている。

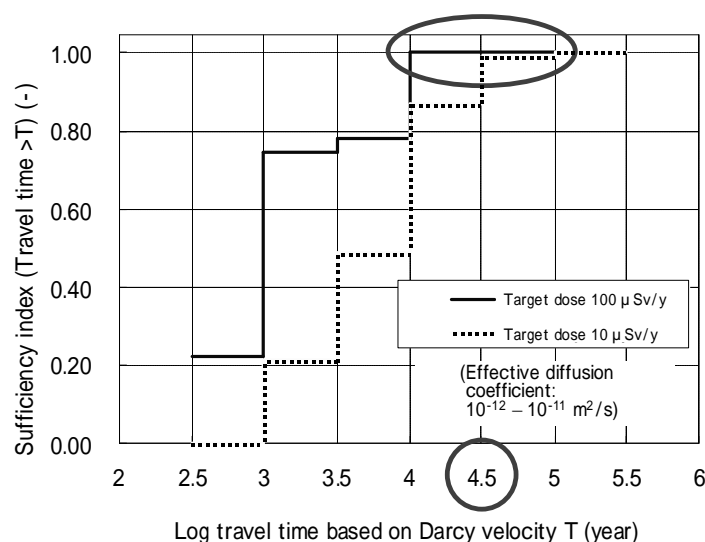


Fig.9 Sufficiency index for hard rocks as a function of groundwater travel time calculated from Darcy velocity (silicic crystalline rock and pre-Neogene sandstone), adapted from [5]

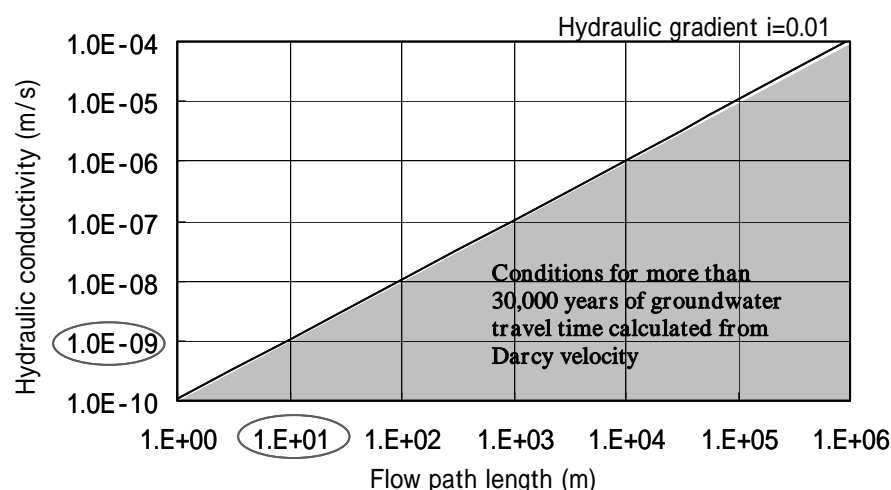


Fig.10 Relationship between flow path length and hydraulic conductivity in order to achieve a groundwater travel time calculated from Darcy velocity of more than 30,000 years

3.2 止水プラグの役割の明確化

閉鎖が主で、建設が従の考えに基づき、緩衝領域に囲まれた領域を廃棄体定置場所とした場合、実際に廃棄体を定置するためには廃棄体定置場所に到達するため、少なくとも1箇所は緩衝領域を掘削する必要が生じる (Fig.8 参照)。処分場建設のため、坑道を掘削すれば当然のことながら天然バリア機能 (核種の封じ込め機能) が低下するため、処分場の閉鎖後は坑道を天然バリアと同等もしくは同等以上の透水性を有する埋め戻し材で埋め戻すことが必要である。しかし、坑道の埋め戻しのみでは、構造上ゆるみ域の遮断に直接寄与していないため、その掘削により低下した機能を補いきれない。そこで、緩衝領域が本来有する核種封じ込め機能 (天然バリア機能) まで、その機能を補うことが必要となる。本論では緩衝領域の機能を補うことが止水プラグの役割であるとした (Fig.11 参照)。緩衝領域

の機能を補うためには必要に応じて、止水プラグ数を増やすことなども含まれる。この考えを用いれば、実際の止水プラグの設計時に常に施設全体を考慮した安全評価による止水プラグの性能確認を実施する必要は無く、止水プラグ設置の対象となる緩衝領域周辺のみを対象としたダルシー流速に基づく評価などを概略的な性能確認に活用することが可能となる。

3.3 止水プラグの設置すべき場所とその効率的な配置

坑道掘削により損傷した緩衝領域の機能を補うことが止水プラグの役割と考えた場合、設置すべき止水プラグの位置は、坑道掘削により損傷した緩衝領域全ととなり、不均質な地質環境においては、避けるべき高透水性部に隣接する掘削箇所となる (Fig.8 参照)。処分場の施設レイアウトが第2次取りまとめ[1]に示す処分パネルを考えた場合、Fig.12に示すように避けるべき高透水性部が分布している

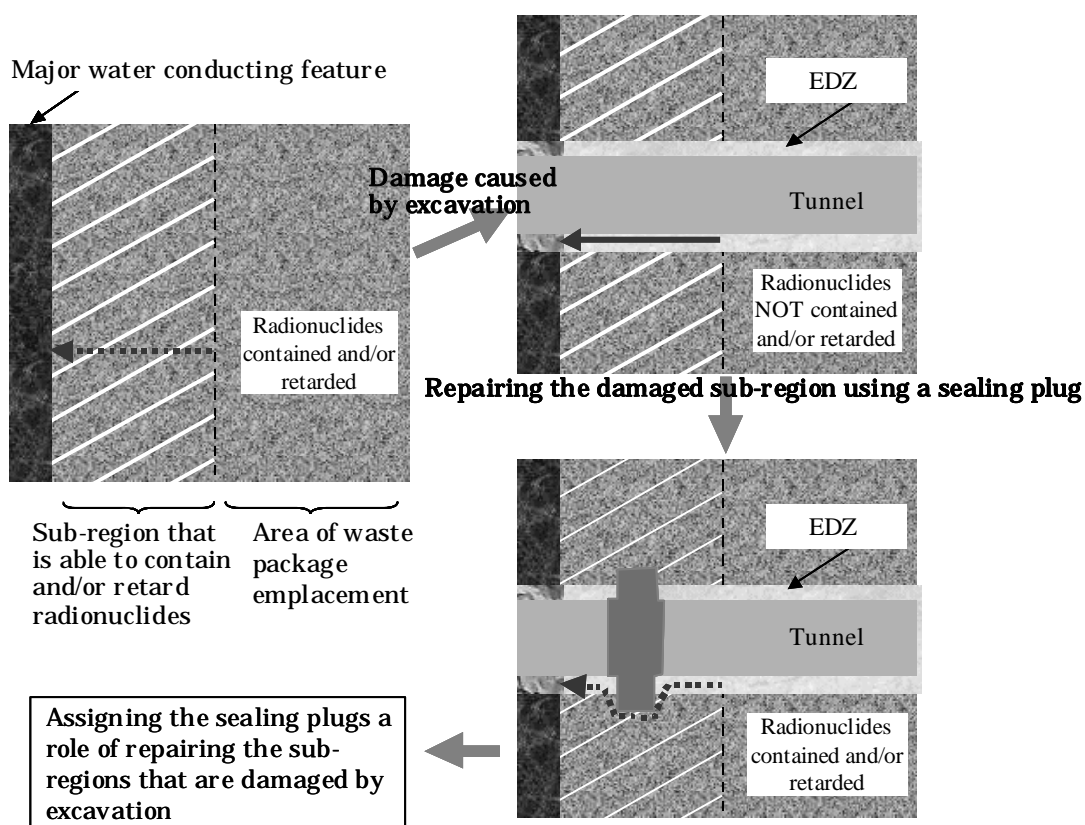


Fig.11 Repair of the damaged sub-region using a sealing plug

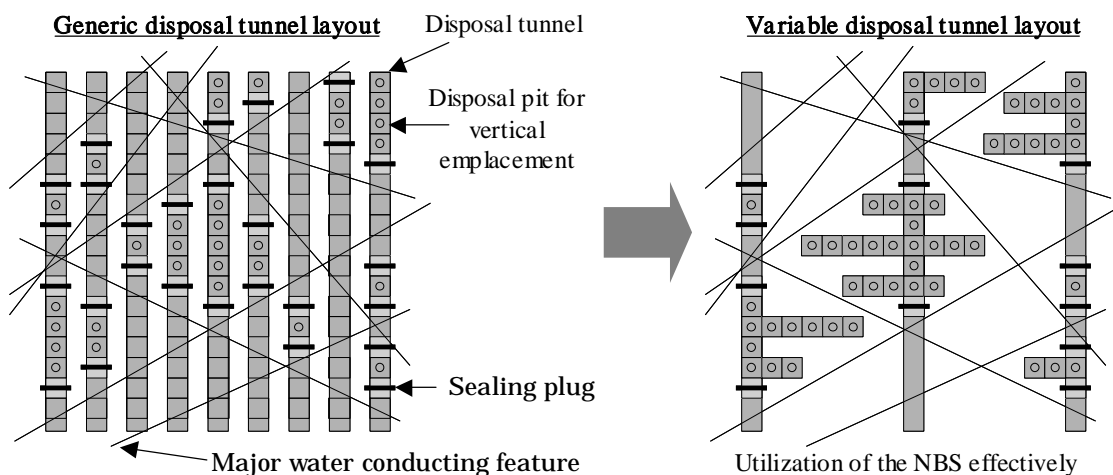


Fig.12 Image of the variable disposal tunnel layout taking into consideration the distribution of major water conducting features

と、同図左のように高透水路が存在することを事前に把握していても、敢えて湧水対策を実施しながら高透水路を掘削し、その後、ゆるみ域との連続性の遮断が必要な場合、止水プラグの設置を行うことが考えられている。このような設計は本来天然バリアが有する機能を有効活用するという視点に立つと非効率的であると考えられるため、本論では、閉鎖が主で、建設が従の考えに基づき、先に前提となる地質環境特性の不均質性を踏まえ、止水プラグを設置すべき場所を考慮し、処分坑道レイアウトを設計していく

手法を提案する。具体的には、坑道掘削時に得られる情報から判断される高透水路の分布状態を踏まえ、Fig.12 右に示すように高透水路に囲まれた空間分布を有効に活用した処分坑道レイアウトを適用することである[7]。この設計手法は止水プラグを用いるときに効率的な配置が可能であり、その設置数の低減に繋がるように処分坑道レイアウトを最適化するため、スウェーデン放射線防護機関（SSI）が提唱している最適化と BAT（Best Available Technique）の考え方[8]とも整合的である。

限られた調査のみでは岩盤内の特性を十分に評価することは困難なため、例えば、山岳トンネルの設計は一般的な土木構造物の設計と比べて、仮の設計や目安としての設計の性格が強いということが言われている[9]。そのため、当初設計とは異なる地質環境条件が確認された場合には、止水プラグを効率的に配置するという意味で、Fig.12 右に示す可変型処分坑道レイアウトを適用するということが有効である。特に、廃棄体横置きの場合には放射線管理区域での作業となる廃棄体の定置工程に止水プラグの施工を組み込む必要が生じるため、止水プラグの設置数が多い場合にはその対応が課題として挙げられている。本論で提案する止水プラグ設計手法は止水プラグの設置数の低減が可能な施設レイアウトを適用しているため、不均質な地質環境において上述した課題解決にも寄与するものである。

3.4 不均質な地質環境における地層処分場の止水プラグ設計方法、およびその適用範囲

本論で提案する“不均質な地質環境における地層処分場の止水プラグ設計方法”の手順を取りまとめると、以下のようになる。

- 地質環境特性（母岩の透水性など）に応じた緩衝領域を定義する。
- 廃棄体定置のための坑道掘削により損傷した緩衝領域の機能を補うことが止水プラグの役割であるとし、その役割を満足する止水プラグの仕様を決定する。
- 処分坑道のレイアウトについては処分場全体として止水プラグの設置数を減らすように、坑道掘削時の情報を用いて処分坑道のレイアウトの最適化を行い、止水プラグの設置位置を決定する。

ただし、本止水プラグ設計方法を適用するためには、緩衝領域を確保し、廃棄体を定置するため、高透水路となる断層や割れ目帯などに囲まれた低透水の好ましい領域が廃棄体と止水プラグの大きさを考慮すると少なくとも 10m 以上の広さで存在することが前提となる。また、本止水プラグ設計方法を実際に適用するためには、高透水路を極力避けることが好ましいため、坑道から数 10m の範囲で精度良く高透水路を探索できる物理探査技術と、情報化施工技術として、日々得られる施工情報を基に処分坑道レイアウトを最適化するためのシステムの開発が必要となる。このシステムについては Suyama, et al.[7]が既に簡易なツールを開発しているが、実施工を考慮すれば、3次元空間を利用したより広範囲で、高度なツールが不可欠となる。

4 まとめ

本論では閉鎖が主で、建設が従という位置付けで、不均質な地質環境において適用すべき処分場の止水プラグ設計方法を提案した。本止水プラグ設計方法では、地質環境

の不均質性を考慮した上で、止水プラグの役割を明らかにしている。また、本止水プラグ設計方法を用いれば、部位としての止水プラグの設計時に、常に施設全体を考慮した安全評価による止水プラグの性能確認が必要では無く、止水プラグ設置の対象となる緩衝領域周辺のみを対象としたダルシー流速に基づく評価などを概略的な性能確認に活用することが可能となる。

地層処分での坑道掘削は通常の山岳トンネルのように坑口 2 点間を繋ぐことが目的ではなく、処分する廃棄体数に応じた坑道長の確保が目的となる。そのため、本論が提案する止水プラグ設計方法は、あくまでも一つの考え方であるが、不均質な地質環境における地層処分を念頭に置いた場合、本来有する天然バリア機能を有効に活用できるため、処分場の安全性向上に寄与するものであると考えられる。

本止水プラグ設計方法を実際に適用していくためには、(1)処分場条件に適合した緩衝領域の設定や、(2)日々得られる施工情報を基に処分坑道レイアウトを最適化するためのシステムの開発、(3)処分坑道レイアウトの変更に対応可能な建設・操業・閉鎖技術の開発などが課題として残されているため、引き続き検討を進めて行く予定である。

参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ 分冊 2：地層処分の工学技術、JNC TN1400 99-022(1999)。
- [2] 藤田朝雄，杉田裕：JNC/AECL 共同研究 - トンネルシーリング性能試験の現況について - ，サイクル機構技報，No.1，pp.79-84 (1998)。
- [3] 渡辺邦夫：岩盤割れ目系の諸地質量を考慮した岩盤浸透流の解析に関する基礎研究，埼玉大学工学部地盤水理実験施設，博士論文(1983)。
- [4] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ 分冊 3：地層処分システムの安全評価，JNC TN1400 99-023 (1999)。
- [5] 高瀬博康 他：地質環境条件の空間的不均質性に応じた施設レイアウト等の工学的対策によるシステム全体性能の改善の可能性について，原子力バックエンド研究，Vol.13，No.1 (2006)。
- [6] 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ 分冊 1：わが国の地質環境，JNC TN1400 99-021 (1999)。
- [7] Suyama, et al. : Study to optimize a disposal tunnel layout taking into account heterogeneous characteristics of the geological environment, 15th International Conference on

Nuclear Engineering, Nagoya, Japan, April 22-26,
ICONE15-10553 (2007).

- [8] SSI : The Swedish Radiation Protection Institute's
Regulations on the Protection Human Health and the
Environment in connection with the Final Management of
Spent Nuclear Fuel and Nuclear Wastes (1998).
- [9] 中川浩二：山岳トンネルの事前調査・設計における問
題点と今後の展望，土木学会論文集，No.777 / -65，
pp.1-13(2004).