

# トンネル工事等における地質リスクマネジメント手法に関する研究①

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：地質・地盤研究グループ

研究担当者：阿南 修司

## 【要旨】

地質リスクとなる各事象を発生させる地質条件については、これまでに様々な報告があり、各事象のリスクを低減させる方法については、トンネル標準示方書や道路トンネル観察・計測指針において述べられている。しかし、事前対策による地質リスクの低減効果に関する分析は事例報告に留まっている。そのために、地質リスクを低減するために重要となる調査・対策上での着眼点や調査・分析項目については、概要は示されているもののその効果との関係に言及したものは少ない。そこで本研究では、トンネル工事において障害となった事例をデータベース化するとともに、特に発生頻度の高い地質リスクとなる事象を対象として、事前対策の実施による地質リスクの低減効果との関係を分析した。

キーワード：トンネル、地質リスク、リスクマネジメント

## 1.はじめに

地質リスクは地質に関わる事業リスクと定義され、事業コスト損失そのものと、その要因の不確実性を指している。山岳トンネル工事の事前調査においては、調査結果の不確実性に伴う設計と施工での乖離が大きいことが知られている。このような地質調査結果の不確実性とそれに起因する地質リスクの各事象を発生させる地質条件については、これまでに様々な報告があり、各事象のリスクを低減させる方法については、トンネル標準示方書や道路トンネル観察・計測指針において述べられている。

しかし、事前対策による地質リスクの低減効果に関する分析は個別報告に留まっている。そのために、地質リスクを低減するために重要となる調査・対策上での着眼点や調査・分析項目についての概要は示されてきているが、リスク低減効果についての情報は少ない。

そこで本報告では、トンネル工事で発現した地質リスク事例を収集し、新たに地質リスクデータベースを構築し、その収集事例の傾向を分析し、特に発生頻度の高い地質リスクとなる事象を対象として、事前対策の実施による地質リスクの低減効果との関係を分析した。

## 2.研究方法

### 2.1 事例収集

トンネル工事において、地質現象に起因した施工

のトラブル障害となった事例を、公開されている文献を中心に、425 トンネル 567 事例を収集した。

それらの地質事象について、ID 番号、トンネル名、事業者名、路線名、トンネル形式、延長掘削断面積、最大土盛り、工期開始日、工期終了日、地層名、岩種、緯度、経度、地質事象、地質記事、掘削工法、対策工記事、備考、引用文献の 20 項目について整理した。

### 2.2 地質リスクデータベースの構築<sup>1)</sup>

リレーション形式データベース PostgreSQL を用いたデータベースを構築し、今回収集した 567 事例の前項に示す 20 項目を入力した。

これらの事例は Google Map API を用いて地図表示 (図-1) できるようにし、さらにそれを検索表示できるように PHP を用いてプログラミングした。

### 2.3 地質リスク事例の分析<sup>1)</sup>

構築したデータベースを用いて、地質リスクとなる事象の内訳および事象と岩石の種類との関係を分析し、事例の多かった「押し出し」「集中湧水」について、事前の調査と実際の地質状況の乖離の有無、追加対策の内容等を分析した。

## 3. 研究結果

### 3.1 地質リスク事例の分析<sup>1)</sup>

収集した 567 事例中の地質リスクの事象の内訳を図-2 に示す。このうち、地山の押し出しが最も多い 198 件と全体の 35% を占め、集中湧水リスクは 159

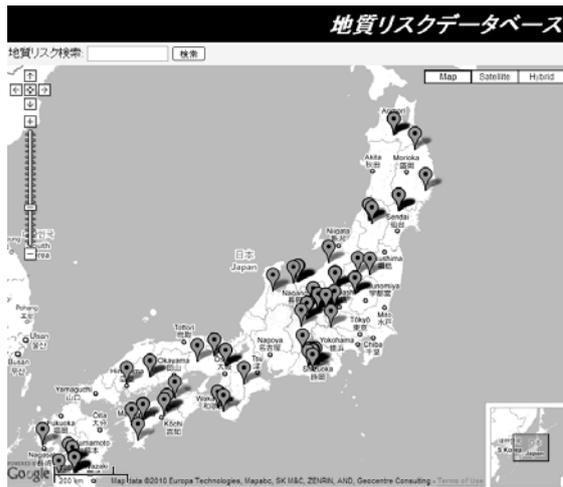


図-1 地質リスクデータベースの検索画面  
(図中の吹き出しは地質リスクが発現した位置)

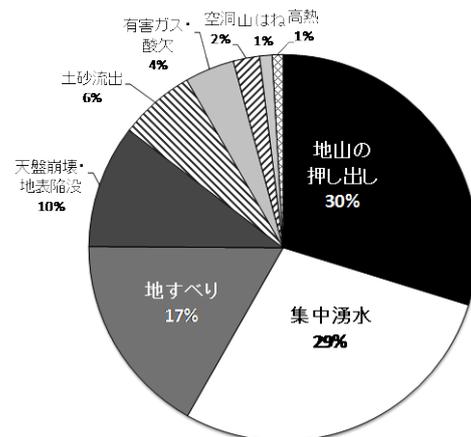


図-2 地質リスクの事象の内訳  
(425トンネルにおける567事例)

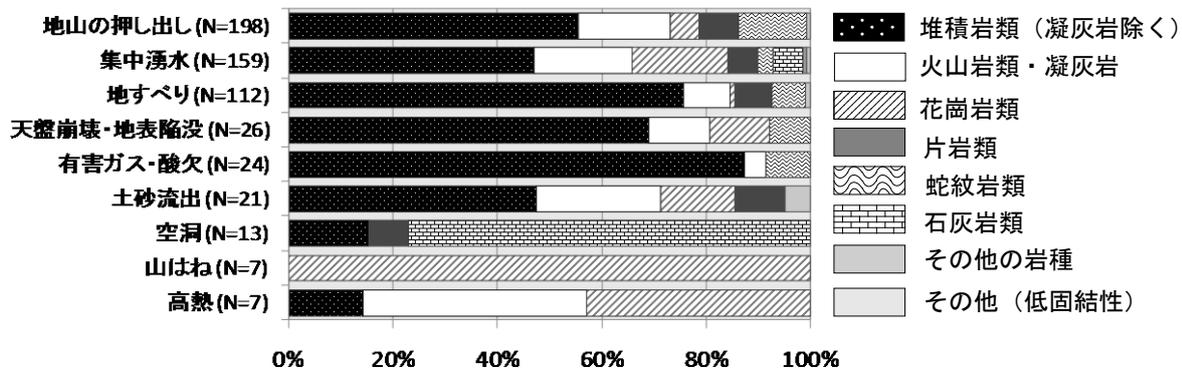


図-2 地質リスクの事象と岩種の関係  
(425トンネルにおける567事例)

件 (28%), 地すべり 112 件 (17%) となっており、これら 3 つが全体の 3/4 を占めている。

これらの事象を岩種ごとに分析したものを図-3 に示す。このうち「地すべり」、「天盤崩壊・地表陥没」、「有害ガス・酸欠」の 3 事象は堆積岩類、「空洞」は石灰岩類、「山はね」は花崗岩類、「高熱」は火山岩類・凝灰岩および花崗岩類に集中する傾向を示す。

「地山の押し出し」、「集中湧水」、「土砂流出」は、堆積岩類が多くを占めることが共通し、「地山の押し出し」では火山岩類・凝灰岩と蛇紋岩類、「集中湧水」では火山岩類・凝灰岩、花崗岩類、石灰岩類、「土砂流出」では火山岩類・凝灰岩、花崗岩類が比較的多い傾向を示した。

特に「集中湧水」では、断層破碎帯の背後の帯水部や割れ目の他には、堆積岩類や火山岩類・凝灰岩における軟質な岩石の基質部、石灰岩中の空洞において特徴的に認められた。

### 3.2 地山押し出し<sup>2)</sup>

#### 1) 発生区間長と地質構造との関係について

地山の押し出し 198 事例について、区間長を坑内変位量の分布や支保パターン区分および区間長に基づき 500m 以上、100~500m、100m 未満の 3 つに、地質構造を断層破碎帯、蛇紋岩体の貫入、新第三紀層の背斜・向斜構造、新第三紀層の単斜構造、付加体堆積物中の破碎構造、変成岩中の片理構造、熱水変質、風化、その他・不明に分類した (図-3)。

両者の関係をみると、区間長が 500m 以上の 26 事例のうち、「新第三紀層(背斜・向斜構造および単斜構造)」が 9 事例、「熱水変質」が 6 事例、「付加体中の破碎構造」が 4 事例と、全体の 73% を占める。区間長が 100~500m の 72 事例では、「断層破碎帯」の 21 事例、「蛇紋岩体の貫入」の 16 事例、「熱水変質」の 10 事例が特に多い。100m 未満の区間長となる 100 事例では、「断層破碎帯」の 38 事例に集中しており、ついで「熱水変質」の 14 事例となっている。

以上の結果から、500m 以上の区間長では新第三紀層が素因として卓越するが、500m 未満では「断層破碎帯」が素因として卓越する傾向が明らかとなった。

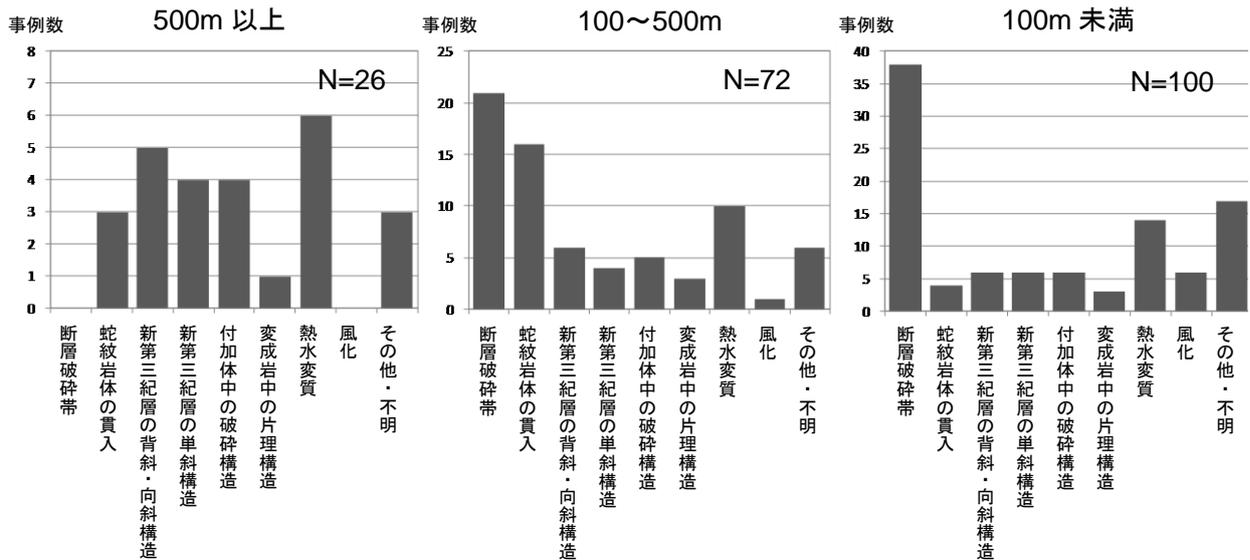


図-3 押し出しリスク事例頻度分布（地質構造別）

## 2) 断層破砕帯における事前対策の比較分析

ここでは、押し出し現象のうち問題となる地質現象が、他に比べ位置として把握しやすい断層破砕帯について、事前対策の効果について検証した。

断層破砕帯において押し出し現象のあった 58 事例のうち、坑内変位量が明らかな 34 事例の 43 箇所を対象に、掘削前の断層破砕帯の情報の有無による違いを比較した（図-4）。

その結果、断層位置の情報がなかった 14 箇所では 8 割で 150mm を超える変位を生じており、半数は 250mm を超えている。一方断層位置の情報があつた 20 箇所の内空変位量は 150mm 以下に抑えられているものが 7 割を占めることが確かめられ、事前もしくは施工中における地質調査等による断層破砕帯の位置把握が押し出しリスクを著しく低減させていることが明確となった。

## 3) 断層破砕帯における事前調査項目

断層位置が把握されているものであつても 3 割で内空変位が 150mm を超えていることから、より効果的な断層破砕帯の調査項目についてさらに検証を行った。

その結果、内空変位が 150mm を超えている事例は、トンネル土かぶりが 200m を超える場合とそれ以下の場合では 2.5 倍の頻度の違いがあり、同様に破砕帯の区間長が 100m を超える場合で 1.8 倍、トンネルと破砕帯の交差角度が 30 度以下の場合で 4.4 倍となつており、これらの条件が内空変位に顕著な影響を与えていることが確認された。

このことから、事前の調査においてこれらの 3 項

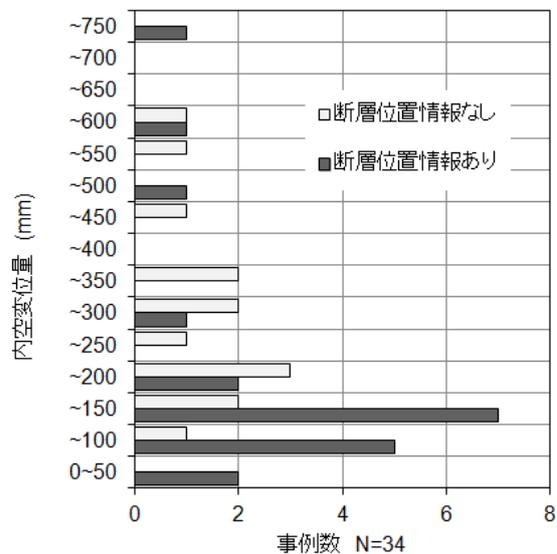


図-4 断層破砕帯における内空変位量頻度分布

目に該当する断層破砕帯の分布とその性状を事前に把握することが重要であること。また、断層破砕帯の存在を予測している場合であっても、これら 3 項目に該当する場合は許容変位量を超える大きな変位が生じる可能性があることに留意する必要があることが明らかとなった。

## 3.3 集中湧水<sup>3,4)</sup>

### 1) 水抜き工の内容とリスクの回避・低減効果

集中湧水リスクを回避・低減させるために事前に水抜き工を実施した 61 事例を対象に工法の内訳とその効果を分析した。水抜き工には避難坑の先行掘削、先進導坑掘削、先進ボーリング掘削があるが、先進ボーリングが 53 件と最も多用されており、単独

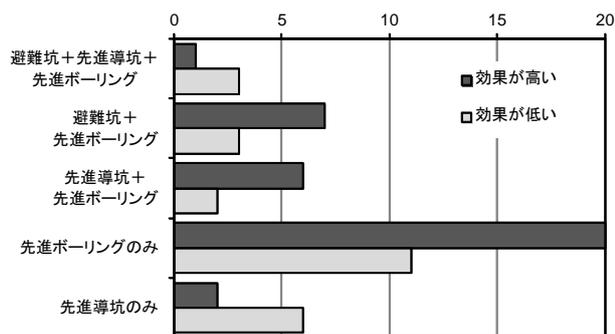


図-5 水抜き工の内容と効果

で用いられたことが 31 件、避難坑や先進導坑との組合せが 22 件であった。

次に、各方法の水抜き効果を検討するために、本坑において切羽崩壊等の変状が発生しなかった場合を効果が「高い」とし、切羽崩壊等の変状の発生や水抜き坑の掘削の追加が必要になった場合を「低い」として整理した(図-5)。

その結果先進導坑のみの対策では効果が低い事例が高い事例を上回るが、先進導坑と先進ボーリングとを組合せた場合には水抜き効果が高い事例が多いことがわかる。このことから、先進ボーリングの実施は水抜き工として効果が高いことが示唆される。

## 2) 先進ボーリング実施における地質状況の把握

先進ボーリング工を実施した場合でも排水が不十分なために、土砂流出等の変状を併発するなど効果の低い事例が 53 件中 4 割の 19 件で見受けられた。このため、効果が低かった 14 事例を対象に、先進ボーリングによる事前対策について、予測された地質状況と実際とを比較し、検証した。

実際の地質状況が断層破碎帯であった 8 事例のうち断層を確認できたものは 4 事例であった。このうち、先進ボーリングのみを実施した 2 事例では実際は二つの断層破碎帯の交差部だったが、コアの状態から判定できたのは片方の断層のみであった。また、1 事例では断層破碎帯中に安山岩脈が貫入していたが、先進ボーリングのコアではその構造が確認されなかったことが報告されている。

これらの事例からは、先進ボーリングの情報が、切羽や断層の空間的な広がりに対して点(もしくは線)の情報であることや、コア採取状況に依存するなどが、地質状況を解釈する際の不確実性として影響していると考えられる。

また、先進ボーリング孔からの湧水量は集中湧水の量に比べて 10 分の 1 程度またはそれ以下しか排水されていない場合が 53 件中 10 件あり、そのうち集

中湧水量は少ないと誤認していた場合は 8 件と最も多かった。これも、不均質な切羽や前方地山の地質構造や透水性状に対し、先進ボーリングが点(もしくは線)として位置するため、適切な効果を発揮できなかったものと考えられる。

## 3.4 事例の分析に基づくリスク低減方法の提案

ここでは、地山押し出しの事例分析を例として、地質リスク低減のための地質調査の手順と調査内容の重点化の考え方を以下に示す(図-6)。

現行のトンネルの地形・地質調査の流れ<sup>5)</sup>では、予備調査段階において、資料調査および地表地質調査を実施し、トンネル建設に大きな支障が無ければ概略調査に進むこととなっている。

この段階において、資料調査として地質リスクデータベースを活用すると、類似の地質や近傍のトンネルで発生した事例を参照することが可能となる。また、図-2 で示したように、地質リスクには岩種ごとに出現傾向が異なっていることから、地質の分布状況が確認された時点で、出現する地質リスクの種別をある程度予測することが可能である。したがって、概略調査に予測される地質リスクに応じた調査項目と調査頻度の設定をすることで、地質リスクの把握を効率的に行うことが可能となる。

概略調査段階で、特殊地山や湧水、断層などが想定されると、これらに対応した精密調査に進むこととなる<sup>5)</sup>が、この場合においても図-3 で示したように、トンネルの延長と地質構造ごとに地山の押し出しリスクに違いがあることから、これらの地質構造の有無について、精密調査の内容を重点化することが有効である。

また、3.2 の 3) に示すように、断層破碎帯の位置を事前把握している場合であっても、土かぶりが 200m を超える場合、破碎帯の区間長が 100m を超える場合、トンネルと断層の交差角が 30 度以下の場合において、内空が変位 150mm を超える事例が卓越することから、このようなリスク増大要因の有無によって、精密調査において断層に関する調査内容を重点化することが重要となる。

さらに、設計や施工段階においては、リスク回避が困難な場合では、変位の計測等のモニタリングや、変位を許容する設計を採用するなどの対応が必要である。この場合でも、前述のリスク増大要因がある場合には、許容変位量以上の大きな変位が生じる可能性について配慮しておく必要がある。

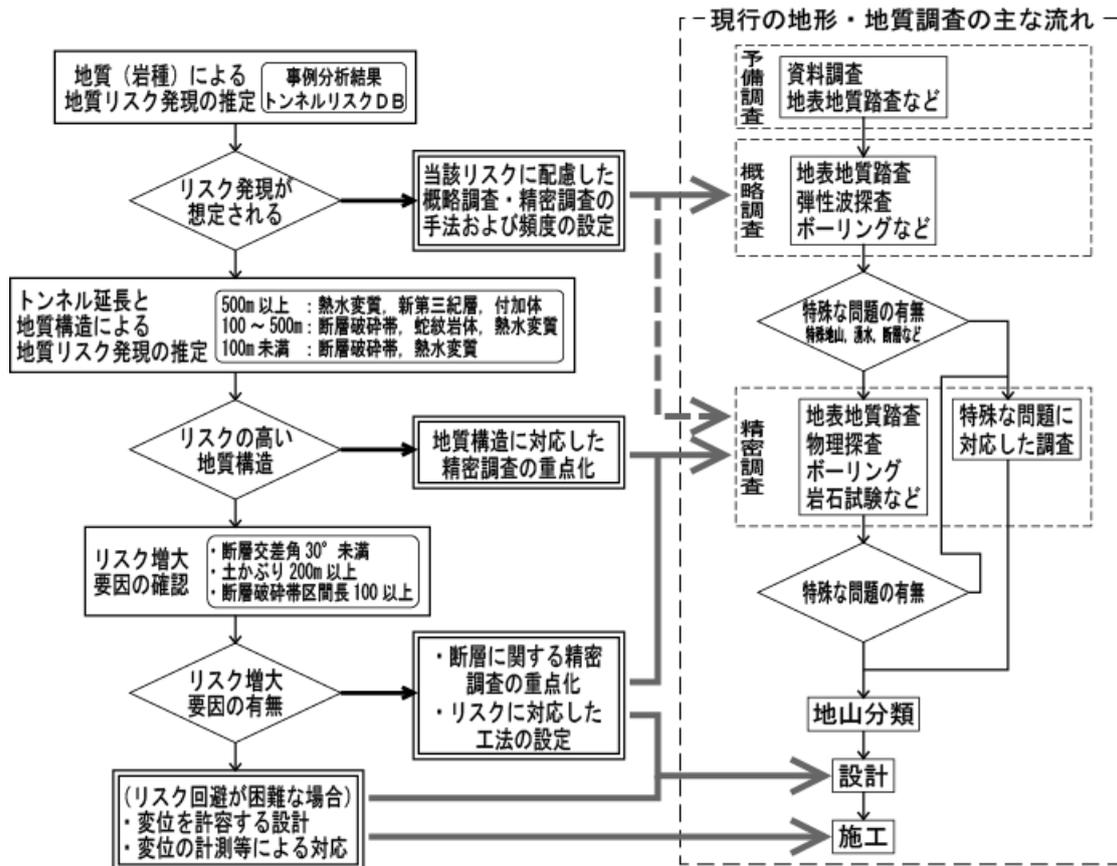


図-6 地質リスクを考慮したトンネルの調査～施工の流れ (地山押し出しの場合)

#### 4. まとめ

山岳トンネルにおける地質リスクの事例を収集し、これを基にデータベースを構築した。

収集した事例の分析により以下のことが明らかとなった

- 1) トンネル地質リスクでは、地山の押し出しが最も多く、ついで集中湧水、地すべりが多く、これら3つが全体の3/4を占めていること、岩種ごとに地質リスクの出現傾向が異なっていること。
- 2) 地山の押し出しの出現傾向は、トンネル延長と地質構造ごとに異なっていること、断層破碎帯による押し出しは事前に位置を把握することでリスクが大幅に抑えられること、リスクの低減にあたっては土かぶり・破碎帯幅・断層とトンネルの交差角度に留意すべきであること
- 3) 集中湧水に対する対策としては、先進ボーリングが最も有効であること、先進ボーリングによるリスクの低減にあたっては、切羽や断層などの空間的な地質状況の不均一に留意する必要があること

#### 参考文献

- 1) 倉橋稔幸・金沢淳・佐々木靖人：トンネルにおける地質リスク事例のデータベース化について、平成22年度研究発表会講演論文集，pp.17-18，日本応用地質学会，2010.10月
- 2) 金沢淳・倉橋稔幸・佐々木靖人：断層破碎帯における押し出しリスク低減のための事例分析，第2回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集，pp.78-82，地質リスク学会，2010.10月
- 3) 金沢淳・倉橋稔幸・佐々木靖人：山岳トンネル工事における集中湧水リスク低減のための施工中調査・対策に関する事例分析，平成22年度研究発表会講演論文集，日本応用地質学会，pp.197-198，2010.10月
- 4) 金沢淳・倉橋稔幸・佐々木靖人：山岳トンネルの施工中における集中湧水リスク評価のための事例分析，第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，土木学会，pp.406-409，2011.1月
- 5) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，改訂版，296p.，2003.11月

# RESEARCH ON GEO-RISK MANAGEMENT FOR TUNNEL CONSTRUCTION

Budget: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2009-2011

Research Team: Geology and Geotechnical Research Group

Authors: Shuji ANAN

Abstract:

Research on 567 geological risk events from publication documents has revealed as follows

- 1) Type of geology-risk mainly consists of Squeezing (30%), Water inrush (29%) and Landslide (17%), and this composition has a loose association with rock-type.
- 2) An appearance tendency of squeezing depends on tunnel extension and type of geology. Interpretation of wall displacement indicates that reduction on risk of squeezing by fault zone is attributed to estimation of fault position, and degree of risk is affected by overburden, width of fault zone and angle of fault.
- 3) Advance borings are most effective method for reduction on risk of water inrush, and its effects are susceptible to spatial or superficial heterogeneity of the geological structure and fault zone.

key words: Tunnel, Geology risk, Risk management