

# 土被り厚さを考慮した山岳トンネル調査における地盤リスク評価に関する研究

応用地質(株) 長谷川信介\*<sup>1</sup>  
 京都大学大学院 大津 宏康\*<sup>2</sup>  
 京都大学大学院 吉見 晋平\*<sup>3</sup>

By Nobusuke HASEGAWA, Hiroyasu OHTSU, Shimpei YOSHIMI

地下構造物の建設プロジェクトにおいては、施工前に実施される事前調査によって得られた情報に基づいて建設コストが積算される。しかしながら、山岳トンネル建設プロジェクトのような長大な線上構造物の場合、予算制約などの理由により地質調査の数量が限られるため、トンネル建設領域内すべての地質状況を把握することは不可能である。また、その土被り厚さが数百メートルにも及ぶような場合、事前調査における弾性波探査において高精度に弾性波速度分布を推定できない可能性があるため、弾性波探査が大きなウェイトを占める山岳トンネル建設プロジェクトでは、建設コストを推定する上で大きな不確実要因となるであろう。

そこで本研究では、山岳トンネル特有の土被り厚さに着目し、事前調査で得られた弾性波速度分布、及びボーリングコアにおける速度検層結果に対し、この土被り厚さを考慮して地山評価を行い、また事後評価として推定建設コストと、実施工の建設コストの乖離について検討を行う。これにより、建設コストが変動するリスク(地盤リスク)を定量的に評価する事を目的とする。

【キーワード】地盤リスク、弾性波探査、地山評価

## 1. はじめに

トンネルや地下空洞に代表される地下空洞を有するような建設プロジェクトにおいては、主に地表面からの屈折法弾性波探査やボーリング調査といった地質調査が、事前調査・設計段階に実施され、地下の地質状況を把握することが試みられている。特に、山岳トンネル建設プロジェクトでは、事前調査・設計段階における地山評価と実際の地山状況との乖離により生じる建設費の大幅な増加が問題となっている。このような問題の原因としては、事前調査に割り当てられる予算や期間の制約が挙げられる。特に山岳トンネル建設プロジェクトにおいては、地下深所に構築されるため、また線状構造物であるため、経済的制約により地山を直接的に確認できるボーリ

ング調査などは、その数量が限られ十分な調査の実施が難しいのが現状である。また、調査技術の限界なども考慮すると、施工前の設計段階において地下の複雑な地質条件をすべて明らかにすることは不可能であるといえる。

このように、地盤条件の不確実性に起因するさまざまなリスクを「地盤リスク」<sup>1)</sup>と定義し、大津・尾ノ井らが指摘しているように、建設プロジェクトの発注者および請負者の間で締結される建設契約においては一種の不可抗力であると認識されてきた。つまり、従来の建設プロジェクトにおける発注者は、公共事業のオーナーとなる国や地方公共団体等であり、潤沢な資金を有しており、多少のコスト変動であれば発注者がその全てを負担することが可能であ

\* 1 応用地質株式会社 06-6885-6357, [hasegawa-nobu@oyonet.oyo.co.jp](mailto:hasegawa-nobu@oyonet.oyo.co.jp)

\* 2 経営管理大学院 教授 075-383-3260, [ohtsu@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp](mailto:ohtsu@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

\* 3 工学研究科都市社会工学専攻 075-383-3263, [yoshimi@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp](mailto:yoshimi@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

ったと言える。

しかしながら、近年、公共事業としての大型インフラ構造物の新規建設数は確実に減少している。また、公的機関が深刻な財政難に見舞われており、新たな公共事業に対し資金投下が難しくなっている。

このような状況をふまえ、本研究では、山岳トンネル建設プロジェクトにおいて、地盤リスクが建設コスト変動に与える影響を事後評価の見地から定量的に分析し、検討する事によって、限られた事前調査をどのように用いて建設コストを推定し、実施工の建設コストとの乖離をいかに小さくするかを目的とする。

従来<sup>6)</sup>の方法では、事前調査で得られた弾性波探査結果から旧JHの地山分類表やコア評価点法により地山区分を決定し建設コストを推定することで実施工の建設コストとの乖離の低減を行ってきた。しかし従来<sup>6)</sup>の方法では、山岳トンネル建設プロジェクトにおいて特有の地盤リスクである土被り厚さが考慮されていないという問題点がある。事前調査として弾性波探査を用いる場合、山岳トンネル建設プロジェクトのように、土被りが数百メートルとなるような場合もあり、このような状況では地表面で発生させた弾性波が届いていない可能性もある。このような不確実性を考慮するために、N. Barton<sup>2)</sup>の研究をふまえ、土被り厚さを考慮した弾性波速度分布ならびに建設コストの推定を行った。ただし、本研究では後述する支保単価に基づいた掘削コストのみを解析対象とし、不良地山などの出現に伴う対策工や補助工に関するコストは計上しないものとする。

## 2. Rトンネル概要

検討を行ったRトンネルは、奈良県中部に位置しており、花崗岩および花崗閃緑岩を主体とした地山に

建設された、全長約 2.45km の2車線道路トンネルである。また、Rトンネルは既に施工が完了しているため、実施工区分に基づいた掘削コストを事後評価に適用することが可能である。また、Rトンネルにおいて実施されている事前調査は、地表踏査、地表面からの屈折法弾性波探査、そして3本のボーリング調査である(図-1)。弾性波探査は対称とする地山全域のデータが得られている。これら得られた屈折法弾性波探査結果、およびボーリング調査を用いて地盤リスク解析を行うものとする。

## 3. 地山評価の方法

Rトンネルにおいて、前述のように、事前調査として得られた地表面からの屈折法弾性波探査、およびボーリング調査によるボーリングコアの速度検層結果などが得られている。これらの情報を元に、地山評価を行うことにする。

### (1) 土被り厚さを考慮した弾性波探査結果

実際の地山評価を行う際には、事前調査の評価結果に基づいて、トンネル掘削における地山分類が行われる。そして、得られた地山分類からトンネルの支保パターンを決定し、建設コストが推定される。具体的には、事前調査において得られた地表面からの弾性波探査結果を用いる。ただし、1章で述べたように、山岳トンネルプロジェクトにおける事前調査として弾性波探査が実施される場合、土被り厚さに起因して高精度に弾性波速度分布を推定できない場合がある。よって、土被り厚さを考慮した弾性波速度分布ならびに建設コストの推定を行う。N. Barton<sup>2)</sup>によれば、土被り厚さの大きい場所で得られた弾性波速度は地山を過大評価する傾向にあると

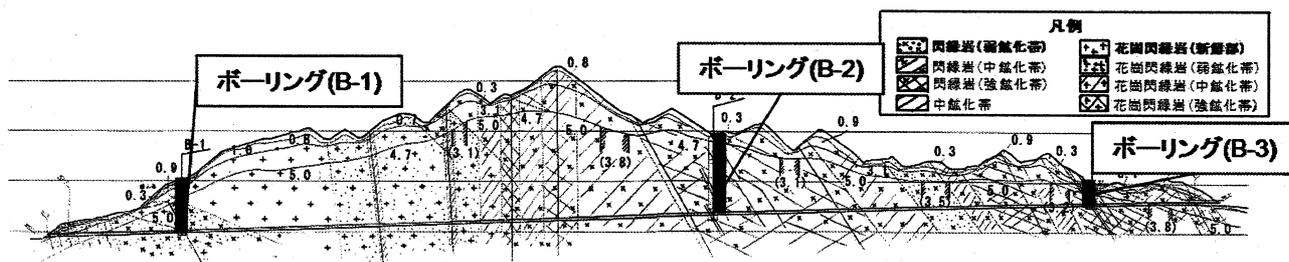


図-1 屈折法弾性波探査結果

表-1 旧 JH 地山区分表

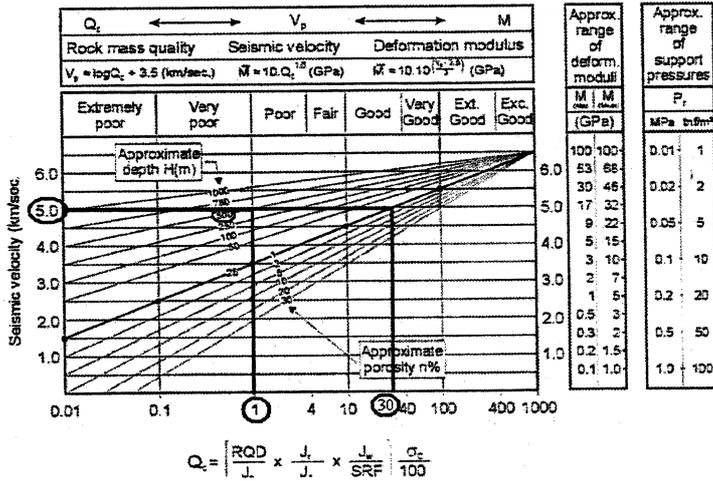


図-2 土被りと弾性波速度の関係

している(図-2)。たとえば、弾性波速度が5km/secでは、Q値は30であるが、土被り厚さが500mの場合Q値は1という値に調整される。この時、図から得られる関係式は式(1)に示される通りである。

$$\begin{aligned}
 Vp' &= \log Q + 3.5 (0 \leq x(m) \leq 25) \\
 Vp &= 0.8 \log Q + 4.1 (25 \leq x(m) \leq 75) \\
 Vp &= 0.7 \log Q + 4.4 (75 \leq x(m) \leq 225) \\
 Vp &= 0.6 \log Q + 4.7 (225 \leq x(m) \leq 475)
 \end{aligned} \quad (1)$$

またこれら式(1)からQ値を消去して得られた以下の式(2)を用いて土被り厚さを考慮した弾性波速度を算定する。

$$\begin{aligned}
 Vp &= 1.25Vp' - 1.625 (25 \leq x(m) \leq 75) \\
 Vp &= 1.43Vp' - 2.786 (75 \leq x(m) \leq 225) \\
 Vp &= 1.67Vp' - 4.33 (225 \leq x(m) \leq 475)
 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、Vpは土被り厚さを考慮した弾性波速度、Vp'は土被り厚さを考慮する前の弾性波速度、およびx(m)は土被り厚さである。また、Bartonによると地表面から25mまでは得られた弾性波速度そのままの解釈としているため、地表面から25mまではVp=Vp'であると仮定する。これらの式を用い弾性波探査結果に対し、土被り厚さを考慮した地山評価を行う。

(2) 旧 JH の地山区分表を用いた地山評価

一般的な山岳トンネルの場合、弾性波速度と地山区分との関係を表した表-1の旧 JH の地山区分表を、

地山等級	岩石グループ	代表岩石名	弾性波速度 Vp(km/s)				
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
B	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス					////
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩					////
	L塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩					////
C I	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス 中生層砂岩、チャート					////
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩 第三紀層砂岩、礫岩					////
	L塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩					////
	M層状	粘板岩、中生層頁岩					////
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩					////
C II	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス 中生層砂岩、チャート					////
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩 第三紀層砂岩、礫岩					////
	L塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩					////
	M層状	粘板岩、中生層頁岩					////
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩					////
D I	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス 中生層砂岩、チャート					////
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩 第三紀層砂岩、礫岩					////
	L塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩					////
	M層状	粘板岩、中生層頁岩					////
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩					////
D II	H塊状	中生層砂岩、チャート					////
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩 第三紀層砂岩、礫岩					////
	L塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩					////
	M層状	粘板岩、中生層頁岩					////
L層状	第三紀層泥岩					////	

事前調査で得られた屈折法弾性波探査結果に適用することで、地山区分を決定することが多い。このため、まずこの旧 JH の地山区分表を用いた地山評価を行う。

(3) コア評価点法による地山評価

(2)に述べた旧 JH による地山区分表は、岩石や形状ごとの弾性波速度と地山区分との一般論としての関係を示したものであり、各トンネルにおける地山の特徴や地質状況といったものが必ずしも反映されているわけではない。また、表-2のように、実際のトンネル施工時の切羽区分に用いられている切羽評価点法<sup>3)</sup>の判定項目には、弾性波速度の項目が含まれ

表-2 切羽評価点法

トンネル切羽観察記録		地質	日付							
評価の目安：劣悪な部分が占める割合 30%以上 → 劣悪な部分の状況で評価 10-30% → 両者の中間ランク 10%以下 → 他の方の良好な部分の状況で評価		記録者								
天端中央 左翼部      右翼部		Sta	+							
		TD	=							
		支保パターン								
		土盛り	m							
観察項目	評価区分						記入欄			
	100以上	100-50	50-25	25-10	10-3	3以下	左	中	右	
圧縮強度	ポイントロード 4以上	4-2	2-1	1-0.4	0.4以下					
ハンマー打診	岩片を地面に置きハンマーで強打しても割れにくい	岩片を地面に置きハンマーで強打すれば割れる	岩片を手にもってハンマーでたたいて割れる	岩片どうしをたたき合わせて割ることが出来る	両手で岩片を部分的にでも割ることが出来る	力をこめれば小岩片を指先で潰すことが出来る				
風化変質	風化の目安 断水変質などの目安	概ね新鮮	割れ目沿いの風化変質 変質は見られない	岩石まで風化変質	岩石まで風化変質	土砂状風化・未固結土砂				
割目開閉	割れ目の開閉度	密着	一部開閉 (1mm以下)	多くが開閉 (1mm以下)	開口 (1-5mm)	5mm以上の開口				
割目状態	挟在物	なし	なし	なし	5mm以下の粘土	5mm以上の粘土				
	粗度・鏡肌	粗い	割れ目平滑	一部鏡肌	よく磨かれた鏡肌					
走向傾斜	縦断方向									
	横断方向									
湧水量	状態	なし・湧水 1%以下	湧水程度 1-20%以下	集中湧水 20-100%以下	全面湧水 100%以上					
劣化	水による劣化	なし	緑みを生ず	軟弱化	表出					
評価点		評価点=(右翼+左翼+2×天端)/4						合計		

ていない。このことはすなわち、地山区分を判定する基準が、調査・設計段階と施工段階で異なるという問題が存在するということである。

このような観点から、実際に山岳トンネルを建設する上では、事前調査で得られた弾性波探査結果より、地山区分を推定し、それに加え、地表踏査やボーリングコアの各種試験結果から、この推定された地山区分を調整して詳細設計を行うという流れがとられてきた。このような流れでは、地山区分を決定する上で、定量的な地山評価基準としての条件を満足するものではないと考えられる。

以上のような問題に対応するために、近年では、ボーリングコアにおいて、切羽評価点法に基づいたコアの評価点と、速度検層結果として得られるコアの弾性波速度との関係を用いたコア評価点法という

地山区分法が導入されてきている<sup>4)</sup>。よって、ボーリングコアで速度検層、及び、コア評価点といったデータが得られている地山に対して、コア評価点法を用いて地山区分を決定する。

(4) 地山評価における調査段階

(1)から(3)に述べた地山評価から、建設コストの推定を行う。まず、地山の弾性波速度分布を推定する上で、表-3に示すような調査段階を設定した。phase1とは、事前調査で得られた弾性波速度結果をそのままトンネル建設領域の地山の弾性波速度分布とするもので、phase2とは、屈折法弾性波探査結果に加え、ボーリング孔で実施された速度検層結果を用い、外生ドリフト・クリギング手法<sup>5)</sup>により弾性波速度分布を推定するものである。また、ここで用いるクリギング手法とは、地盤統計学手法の一つであり、対象とする地盤物性値の観測情報を用いた内挿補完法により、確率変数としての物性値の空間分布を算出する手法である。しかし、トンネル事前調査で実施されるボーリング数量は極めて限られるため、このようなクリギング手法の適用は難しい。そこで、ボーリング孔における速度検層結果を正確な点情報とし、地表からの弾性波探査で得られた弾性波速度分布を不確実性の高い情報として両者を統合する外生ドリフト・クリギング手法により弾性波速度を推定した。つまり、外生ドリフト・クリギング手法によって算出される推定結果は、比較的不確実性の高い面情報を正確な点情報を用いて精度の向上を図ったものであると考えることができる。

また、これら2段階の調査段階に対し、式(2)を用いて、得られた弾性波速度分布に対して土被り厚さを考慮した弾性波速度分布を算定し、比較を行うことにする。

表-3 Rトンネルにおける調査段階

調査段階	調査内容	面情報	点情報
Phase1	屈折法弾性波探査	屈折法弾性波探査	なし
Phase2	屈折法弾性波探査 ボーリング調査	屈折法弾性波探査	ボーリングコアにおける速度検層結果

表-4 旧JH地山区分による楽観・悲観シナリオ

地山区分	楽観的シナリオ	悲観的シナリオ
B	$V_p \geq 4.3$ [km/sec]	$V_p \geq 4.7$ [km/sec]
C1	$V_p = 3.3 \sim 4.3$ [km/sec]	$V_p = 3.7 \sim 4.7$ [km/sec]
C2	$V_p = 2.2 \sim 3.3$ [km/sec]	$V_p = 2.2 \sim 3.7$ [km/sec]
D1	$V_p \leq 2.2$ [km/sec]	$V_p \leq 2.2$ [km/sec]

#### 4. 建設コストの推定方法

##### (1) 地山区分法を用いた建設コストの推定

2章の(1)で示したように、表-1に示した旧JHによる地山区分表を用いた地山区分の推定を行う。事例検証として扱うRトンネルは花崗岩および花崗閃緑岩が卓越しているが、表-1は目安としての閾値を示しているため、本研究では重複部分をすべて良い方を取る楽観シナリオと重複部分をすべて悪い方を取る悲観シナリオの2つのシナリオを表-4に設定する。

##### (2) コア評価点法を用いた建設コストの推定

2章の(3)で述べたように、コア評価点法によって地山区分の推定を行う。Rトンネルにおいては、事前調査にてボーリングコアにおける速度検層結果および、切羽評価点法によるコア評価点が得られている。これらは、図-3に示すような相関が見られる。ただし、これらの相関性を最小2乗法に基づく一次関数での近似が可能であると仮定し、次の式(3)が得られた。ただし、 $x$ は速度検層結果としての弾性波速度(km/sec)、 $y$ はコア評価点とする。

$$y = 22.18x - 36.508 \quad (3)$$

また、式(2)を適用し、土被り厚さを考慮した速度検層結果とコア評価点には図-4のような相関が見られ、同様に次の式(4)が得られた。

$$y = 13.015x + 12.521 \quad (4)$$

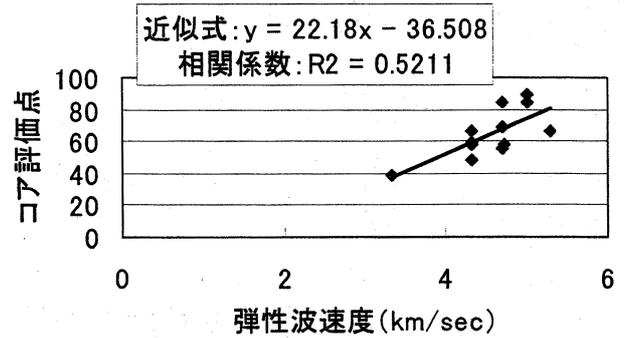


図-3 コア評価点と弾性波速度の相関

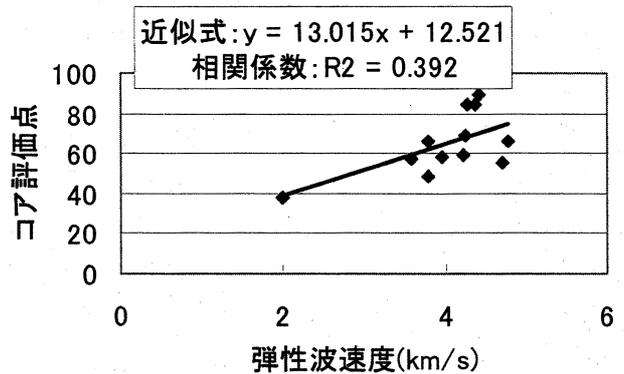


図-4 コア評価点と土被り厚さを考慮した弾性波速度の相関

表-5 切羽評価点と地山区分の関係

切羽評価点	地山区分
80~100	B
65~85	C1
40~75	C2
10~50	D1
0~10	D3

また、コア評価点と地山区分の関係としては、実際の施工時において切羽評価点から地山区分を決定する際に用いる関係表(表-5)<sup>4)</sup>を用いる。ただし、同表には重複部分が存在するため、あるひとつの評価点に関して地山区分は2通りに判定される可能性がある。たとえば、評価点が60点である場合、地山区分としてはC1もしくはC2となる。これでは、明確な基準が規定されていないため、不確実性が存在することとなる。そこで、本研究では、図-5に示す

表-6 地山区分と支保単価の関係

地山区分	支保単価 [円/m]
B	624,050
C1	684,470
C2	802,230
D1	1,280,660
D3	1,698,000

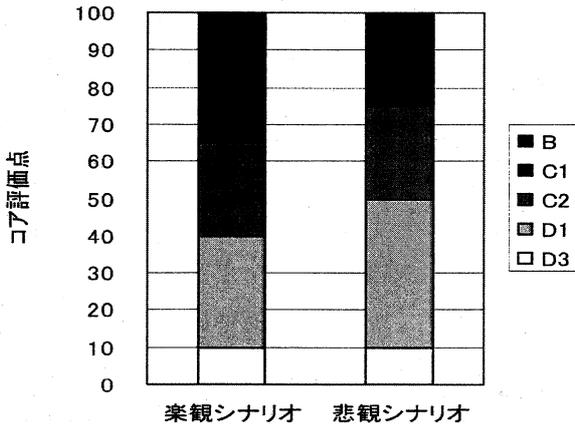


図-5 コア評価点による楽観・悲観シナリオ

ように、重複部分はすべて良いほうに取る楽観シナリオと重複部分をすべて悪い方を取る悲観シナリオの2種類のシナリオを設定することで、不確実性を考慮した地山区分を行う。

(3) 建設コストおよび乖離率の算定

Rトンネルのような2車線道路においては、表-6に示すような地山区分と支保工単価の関係が設定されている。よって、3章の(2)や(3)の方法で得られた地山区分にこの表-6を適用する事で建設コストを推定する。

また、事例検証に用いたRトンネルは、すでに施工が完了しており、実際の地山区分に基づいた建設コストが確定しているため、調査・設計段階において推定された建設コストと実際の建設コストを事後評価の観点から比較検討することが出来る。ここでは、主に、実際の建設コストと推定された建設コストとの乖離を式(5)の示す乖離率という指標を用いて検討する。

$$D^*_i = \frac{C_A - C_i}{C_A} \quad (5)$$

ここで、 $D^*_i$ は乖離率を表し、 $C_A$ は実際の建設コストおよび  $C_i$ は推定建設コストを表す。またRトンネルにおける実際の建設コストは約 18 億 9710 万円である。また実施の支保パターンは図-6に示す。

5. 建設コスト変動リスクについての考察

(1) 地山区分表を用いた建設コスト変動リスク

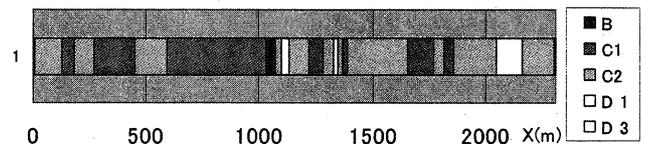


図-6 実施の支保パターン分類

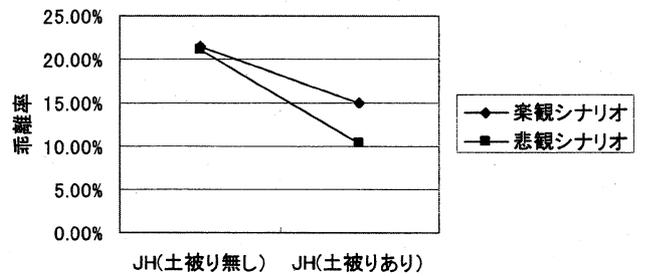


図-7 旧 JH 地山区分表を用いた乖離率の推移

旧 JH の地山区分表に基づいて地山区分を決定し、建設コストを算出し、式(5)により算定した乖離率の結果を図-7に示す。まず、事前調査で得られた弾性波速度から、そのまま地山区分表を用いて建設コストを推定した場合、20%を越す乖離リスクが生じる結果となった。それに対して、土被り厚さを考慮し、式(2)を用いて弾性波速度を算定し、建設コストを推定した場合、楽観シナリオで約 7%、悲観シナリオで約 10%と、7%~10%程の乖離率の改善が見られる結果となった。これはすなわち、表-1 の地山区分表は、基本設計として、岩石の種類・形状ごとの弾性波速度と地山区分の一般論的な関係を示したものであり、各トンネル地山特有の地質状況などを必ずしも反映しているわけではなく、特に山岳トンネル建設プロジェクトにおけるような、土被りが数百メートルとなるような状況下においては、高精度に地山を評価できるとは限らないという可能性があり、土被りを考慮することは乖離率の改善に対して有効であると

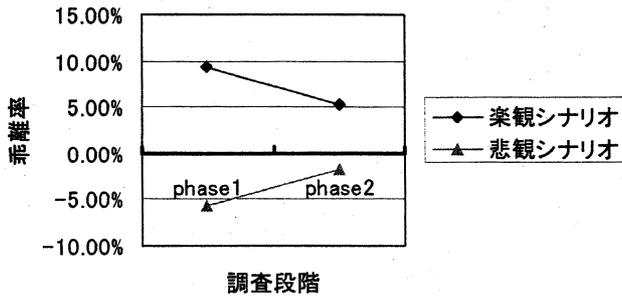


図-8 コア評価点を用いた乖離率の推移

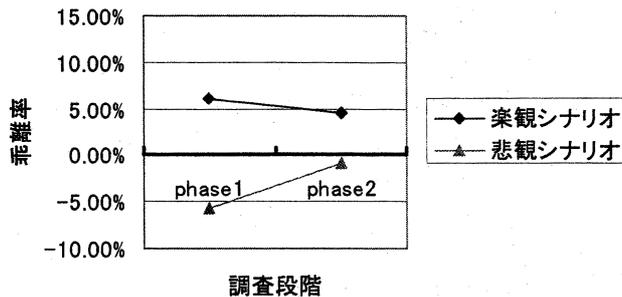


図-11 コア評価点を用いた乖離率の推移 (土被り厚さ考慮あり)

考えられる。

## (2) コア評価点法を用いた建設コスト変動リスク

次に、コア評価点を用いて地山区分を決定し、建設コストを推定、乖離率を算定したものを図-8に示す。この時の楽観シナリオの支保パターンを図-9に、悲観シナリオの支保持パターンを図-10に示す。また、事前調査で得られた弾性波速度に土被り厚さを考慮して、乖離率を算定した場合を図-11に示す。この時の楽観シナリオの支保パターンを図-12に、悲観シナリオの支保持パターンを図-13に示す。まず、図-8の phase1 では、楽観シナリオが約 10%、悲観シナリオが約 5%と、旧 JH の地山区分表を用いた場合に比べ、乖離率の改善が見られた。また、調査が phase2 へと進展した場合、約 5%前後の乖離率の改善が見られており、外生ドリフト・クリギング手法を用いることで乖離量が改善されるという結果となった。また、図-11の phase1 では、楽観シナリオ、悲観シナリオ共に約 5%前後の幅に収まる結果となり、また phase2 では数%ほどの乖離率の改善が見られることからやはり外生ドリフト・クリギング手法により詳細情報を追加してやることで乖離量を減少させる有効な方法であることがわかった。また

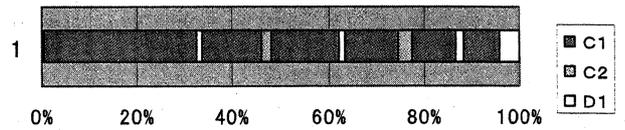


図-9 楽観シナリオの支保 (土被り考慮なし)

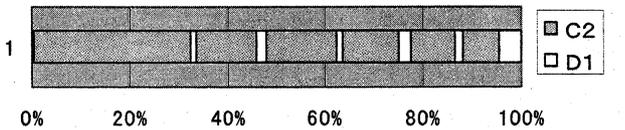


図-10 悲観シナリオの支保 (土被り考慮なし)

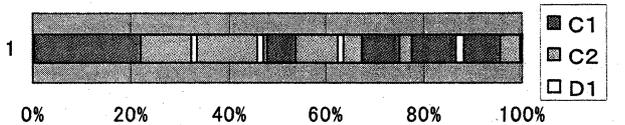


図-12 楽観シナリオの支保 (土被り考慮あり)

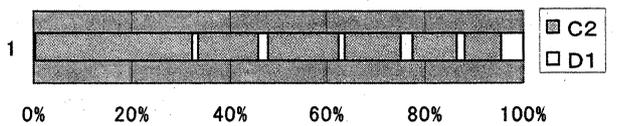


図-13 悲観シナリオの支保 (土被り考慮あり)

図-8と図-11を比較したとき、phase2 は大きな変化は無いものの、ボーリング調査という詳細情報を加える前の phase1 の段階での乖離量の改善が見られるため、土被り厚さを考慮することで乖離量を改善することができる可能性があると考えられる。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、山岳トンネル建設プロジェクトにおいて特有の不確実性として土被りの違いが考えられ、どのように地山を評価するときの影響を及ぼすかに着目し、N.Bartonの「Risk and risk reduction in TBM rock tunneling」を引用し、検討を行った。また、地盤統計学手法として外生ドリフト・クリギング手法を用いて建設コストを確率統計的に推定し、乖離率を算定することにより同手法の妥当性について考察を行った。これらにより得られた知見として、以下のことがわかった。

- 事前調査として屈折法弾性波探査を用いて地山評価を行う場合、特に山岳トンネル建設プロジェクトのように、その土被りが数百メートルとなるよ

うな状況下においては、得られた弾性波速度に対し、土被りを考慮してやることにより乖離量を改善するといった結果となった。

- ・ コア評価点法を用いる場合においても、土被りを考慮してやることで、乖離量を改善できる可能性があることがわかった。また、ボーリングコアによる速度検層結果などの精度の高い点情報を外生ドリフト・クリギング手法を用い内挿してやることで、乖離量が改善される結果となった。これは調査が進展することで乖離量が改善されることを示すものである。

また、今後の課題としてコア評価点に内在する不確実性が挙げられる。本研究において、コア評価点と速度検層結果の相関関係に一次関数による線形近似が可能であると仮定したが、どのような近似モデルが妥当であるか、またそこにどのような不確実性が内在するかといった議論を行う必要があると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 大津宏康, 尾ノ井芳樹, 大本俊彦, 大西有三, 西山哲, 黄瀬周作: PFI 建設プロジェクトでの地下リスク評価及び分担に関する研究, 土木学会論文集, No.721/VI-57, pp.193-205, 2002.
- 2) Nick Baton: Risk and risk reduction in TBM rock tunneling, Proceedings of the ISRM International Symposium, pp.31-33, 2004.
- 3) 城間博通, 伊藤哲男, 赤木渉: トンネル支保選定支援システムの構築, EXTEC, No.68, pp.21-25, 2004.
- 4) 木村正樹, 杉田理, 大塚康範: 評価点法を用いた事前調査による地山評価と施工, 第11回トンネル工学研究発表会論文・報告集, 土木学会トンネル工学委員会, pp.87-91, 2001.
- 5) Hans Wackernagel (原著), 地球統計学研究委員会 (訳編): 地球統計学, 森北出版株式会社, 2003.
- 6) 長谷川信介, 大津宏康, 坂井一雄: 山岳トンネル調査における地盤リスク評価の試み, 建設マネジメント研究論文集, Vol.14, pp.45-54, 2006

## Evaluation of geotechnical risk on the mountain tunnel construction projects considering overburden.

by Nobusuke HASEGAWA, Hiroyasu OHTSU, Shimpei YOSHIMI

In the construction project of the underground structure, such as the mountain tunnels, the construction cost is estimated based on the information obtained by the geological survey.

However, it is impossible to understand whole geological condition in a site, since the amount of the investigation is limited because of prior to construction limitation of budget allocated for the project.

Especially, the geological investigation using elastic waves, which is common in design phase of mountain tunnels to be excavated in more than 100m depth, involves the uncertainty

Therefore, it is important to consider the uncertainty of the ground evaluation at the investigation stage.

From such a view point, this study aims to develop the methodology to evaluate cost variation caused by geotechnical risk in the mountain tunnel construction projects, and attempts to investigate the effect of overburden on cost estimation of the difference between the presumption construction cost and the construction cost is examined.