

火山岩地山トンネルの建設における評価点法の活用

APPLICATION OF EVALUATION NUMBER AT VOLCANIC ROCK TUNNEL

木村正樹¹・岡部幸彦²・鳥居敏³・一幡和之⁴・安田徹⁵

Masaki KIMURA, Yukihiro OKABE, Satoshi TORII, Kazuyuki ICHIMAN and Toru YASUDA

¹正会員 応用地質株式会社 神戸支店 (〒651-0083 神戸市中央区浜辺通 5-1-14)

E-mail:kimura-masaki@oyonet.oyo.co.jp

²正会員 応用地質株式会社 技術本部 (〒305-084 つくば市御幸が丘 43)

³正会員 応用地質株式会社 豊岡営業所 (〒668-0045 豊岡市城南町 12-44 ATビル 3F)

⁴非会員 兵庫県豊岡市日高総合支所 (〒669-5391 豊岡市日高町祢布 920)

⁵非会員 兵庫県養父市都市整備部 (〒667-0198 養父市広谷 250 番地 1)

The authors has proposed the evaluation by the same standard, in order that wide change of the tunnel support pattern of when that we construct with the tunnel support pattern of the design is decreased. This time, we carried out rock-mass classification that adopts the Construction Management method in the tunnel of the volcanic rocks and unified with the survey, design, and construction.

Thereupon, we combine the seismic wave speed and evaluation number at cutting-face classification. As a result of this, we were able to construct the tunnel with the pattern equivalent to the tunnel support pattern of design.

Key Words: Construction Management, rock-mass classification, cutting face classification

1. まえがき

本2車線道路トンネルは地方自治体が初めてCM(Construction Management)方式で執行するもので、延長は1,563mである。CM方式の導入によりコスト・工期の厳守が求められた。

山岳トンネル建設における支保パターンは当初設計に対して実績が重くなることが多い。この乖離要因としては、地質調査技術の限界、不十分な地質調査、地質技術者の地山解釈に関する個人差などが挙げられる¹⁾が、地質調査情報が設計・施工段階で有効活用されない点も指摘されている。本トンネルでは各段階をCM業者が一貫して監理するため、調査情報を設計・施工段階で有効活用することが可能であった。この特徴を活かし、施工段階の支保選定基準で地質調査結果を整理して地山分類を実施し、支保

設計および施工時の支保選定を行うことにより、当初設計時と実施時の乖離低減を図った。

2. 調査地概要

本トンネルの位置を図-1に示す。

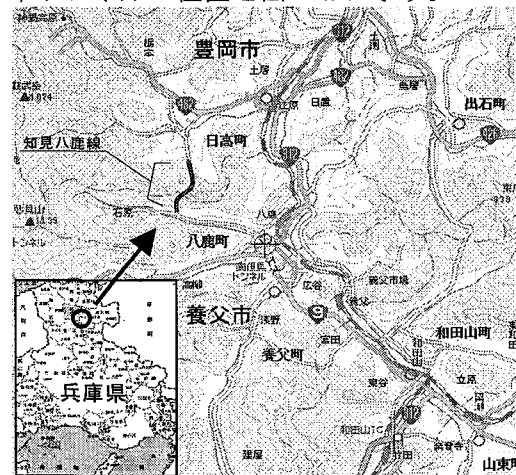


図-1 現地案内図

地質は新第三紀の火山岩が主体で八鹿累層の溶岩・凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩・凝灰岩からなる。溶岩・凝灰角礫岩は不規則に分布し、亀裂に地下水が胚胎して突発湧水が生じる可能性があり、凝灰岩はスレーキングを生じる可能性もあった。このために、調査計画の立案にあたっては不規則な地質構造や地下水の情報を取得できる物理探査（弾性波探査トモグラフィー法と二次元比抵抗探査）とボーリング調査、地表地質踏査を実施した。

3. 評価の手法

事前地山評価による支保パターンと実施支保パターンの乖離についてはこれまでも多くの研究が行われており、弾性波速度の低減に関する問題や調査、設計、施工段階における情報の断絶などの問題が指摘されている¹⁾²⁾³⁾。

図-2は伊藤ら⁴⁾がまとめた弾性波速度毎の支保パターンの変更割合であるが、速度が増加するにつれて支保増が生じやすいことがわかる。これより、未掘削の段階では速度が速くとも、トンネル掘削により緩みが生じ、速度も低下して重い支保に変更せざるをえなくなることがうかがえる。

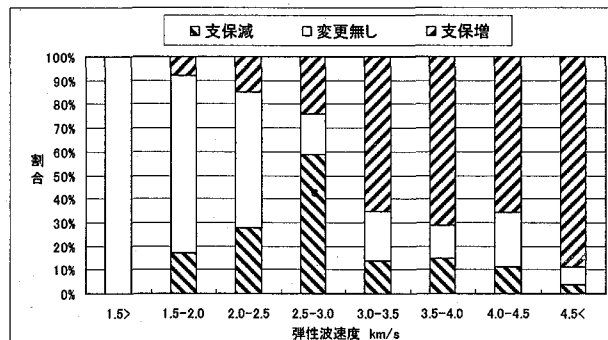


図-2 弾性波速度毎の支保の変更実績⁴⁾

また、城間らによる研究⁵⁾では図-3に示すように花崗岩等の深成岩に比べて中生層や変成岩で支保増が発生しやすいことが報告されている。これより、中・古生層や変成岩などが過去に被った地核変動により潜在的な亀裂が発達した岩盤であるため、掘削に伴う応力解放で支

保増が生じやすいことがうかがえる。

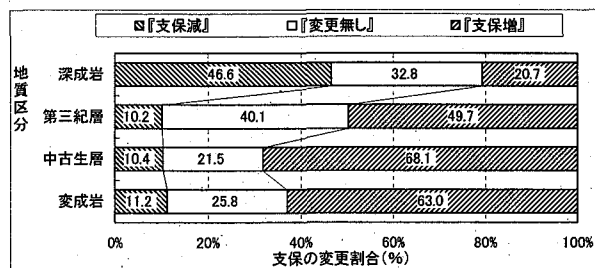


図-3 岩種毎の速度低減と支保の実施結果⁵⁾

本トンネルは第三紀の安山岩質火山岩類（溶岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩）であり、弾性波速度のみに着目した通常の支保パターンでは施工時にかなりの支保増が発生することが予想された。

そこで、これまで花崗岩類・花崗斑岩・付加体頁岩砂岩互層などの地山に適用して成果を挙げた評価点を用いた支保選定²⁾³⁾を調査・設計の段階で導入した。

支保選定の流れを図-4に示す。岩盤の状態は弾性波速度にのみ比例するものではなく、変質帯や帯水帯を検出できる比抵抗値とも関連がある。そこで、ボーリング地点以外のトンネル施工面付近の岩盤状況を推定するために、地表地質踏査結果の他に2次元比抵抗探査による比抵抗分布も活用した。

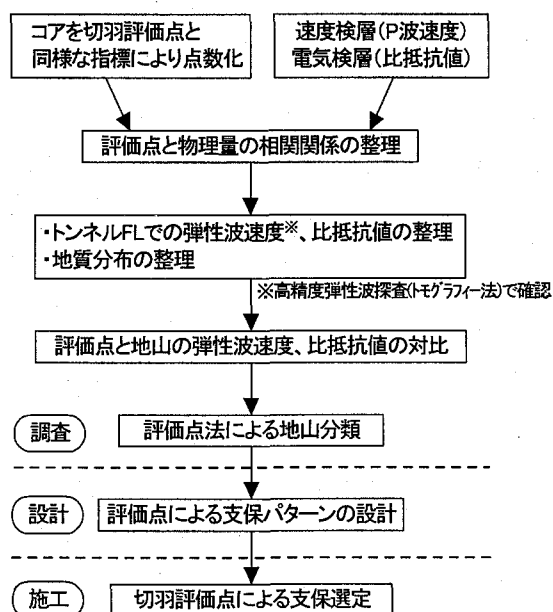


図-4 評価点による調査・設計・切羽判定³⁾

4. 地山評価結果

4.1 調査段階

調査段階では地表地質踏査、弾性波探査トモグラフィ法、二次元比抵抗探査、ボーリング調査を実施した。ボーリング調査は両坑口部の他に物理探査の結果による低速度帯・低比抵抗帯の分布から断層の存在が懸念された地点で実施した。

図-5に断層部で実施したボーリングコアと、深度1m毎に切羽評価点と同一の基準で評価した値を示す。評価点の分布からトンネル施工レベルではDI以下の地山、塊状の凝灰角礫岩の分布範囲でもCII相当の地山と判断した。

4.2 設計段階

設計段階の支保パターンの選定は表-1に示す地山分類表に基づき行われることが一般的である。弾性波速度のみに着目した場合、当トンネルのトンネル施工深度の弾性波速度は火山岩

分布区間の8割以上で4.2km/sを上回りCI～Bパターンに相当する。しかし、ボーリングコアで確認した地山状況を表中の「地山の状態」に基づいて評価すると、弾性波速度4.2km/s以上の区間でもCIIパターンの評価点に相当する区間があることが判明した。このため、比抵抗分布にも配慮しつつ、弾性波速度を1割低減させてボーリングデータのない区間の地山分類を実施した。

4.3 施工段階

施工段階ではJHスタイルの切羽評価表を使用して原則として毎日切羽観察を行った。評価の結果は支保パターンの選定に反映させ必要に応じて水抜きボーリングや鏡ボルト、先受工等の補助工法を実施した。

図-7に設計支保パターンと実施支保パターンの他、計測Aの結果や切羽評価点、坑口湧水量等をまとめた総合断面図を示す。

表-1 地山分類表（文献6の表を編集）

地山等級	岩石グループ	代表岩石名	弾性波速度 Vp (km/s)					地山の状態			コアの状態、RGD	地山強度比
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	岩質、水による影響	不連続面の関係	不連続面の状態		
B	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス 中・古生層砂岩、チャート						新鮮で堅硬、または多少の風化変質の傾向がある。 水による劣化はない	節理の間隔は平均的に50cm程度。 層理、片理の影響が認められるがトンネル掘削に対する影響は小さい。	不連続面に鏡肌や挟在粘土がほとんどみられない。 不連続面は概ね密着している。	コアの形状は、岩片状～短柱状～棒状を示す。 コアの長さは概ね10～20cmであるが、5cm前後のものもみられる。 RGDは70以上。	—
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩										
	L塊状	第三紀層砂岩、礫岩										
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中・古生層頁岩										
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩										
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・古生層砂岩、チャート						比較的新鮮で堅硬、または多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好な軟岩。 水による劣化は少ない。	節理の間隔は平均的に30cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。	不連続面に鏡肌や薄い挟在粘土がごく一部みられる。 不連続面は部分的に開口しているが開口幅は小さい。	コアの長さは概ね5～20cmであるが、5cm以下のものもみられる。 RGDは40～70。	—
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩										
	L塊状	第三紀層砂岩、礫岩										
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中・古生層頁岩										
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩										4以上
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・古生層砂岩、チャート						比較的新鮮で堅硬、または多少の風化変質の傾向がある。 風化変質作用により岩質は多少軟化している。 固結度の比較的良好な軟岩。 水による劣化や緩みを部分的に生じる。	節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。	不連続面に鏡肌や薄い挟在粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しているものが多い。開口幅は比較的大きくなる。 幅の狭い小断層を挟むものの。	コアの長さは10cm以下ものも多く、5cm以下の細片が多数に取れる状態のもの。 RGDは10～40。	—
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩										
	L塊状	第三紀層砂岩、礫岩										
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中・古生層頁岩										
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩										4以上
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・古生層砂岩、チャート						岩質は多少硬い部分もあるが、全体的に強い風化、変質を受けたもの。 層理、片理が非常に顕著なもの。 不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 不連続面の開口も大きく鏡肌や粘土を挟むことが多い。 小規模な断層を挟むもの。 軽石を多く混じえた土砂、産物等。 水による劣化や緩みが著しい。			コアは細片状となる。時には、角礫混じり砂状あるいは粘土状となるもの。 RGDは10程度以下	4～2
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩										
	L塊状	第三紀層砂岩、礫岩										
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中・古生層頁岩										
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩										
D II	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス 中・古生層砂岩、チャート										2～1
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩										
	L塊状	第三紀層砂岩、礫岩										
	M層状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中・古生層頁岩										
	L層状	黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩										

※ H、M、Lの区分：岩石の初生的な新鮮な状態での強度により、一軸圧縮強度で区分
(H: $qu \geq 80N/mm^2$ M: $20N/mm^2 \leq qu < 80N/mm^2$ L: $qu < 20N/mm^2$)

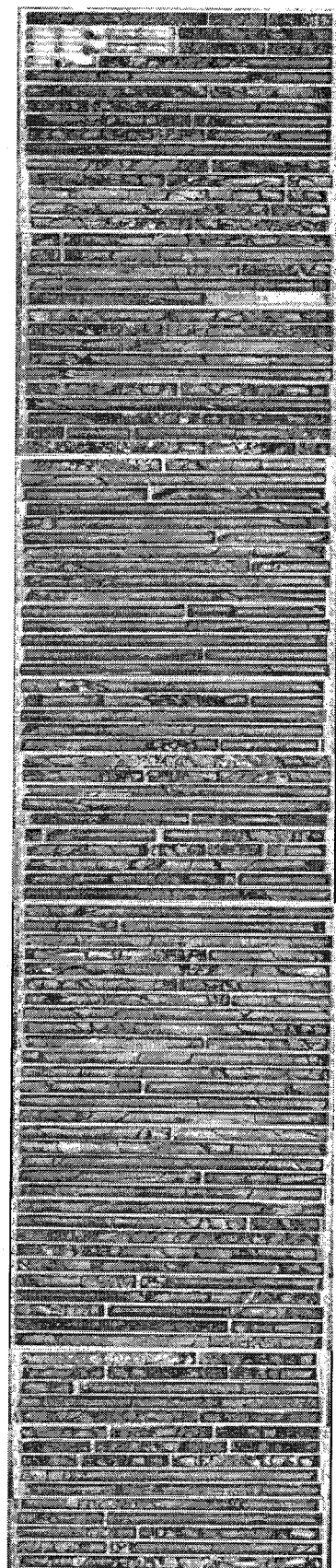


図-5 ボーリングコアの評価区分例

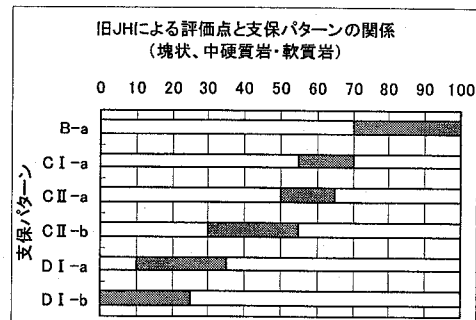
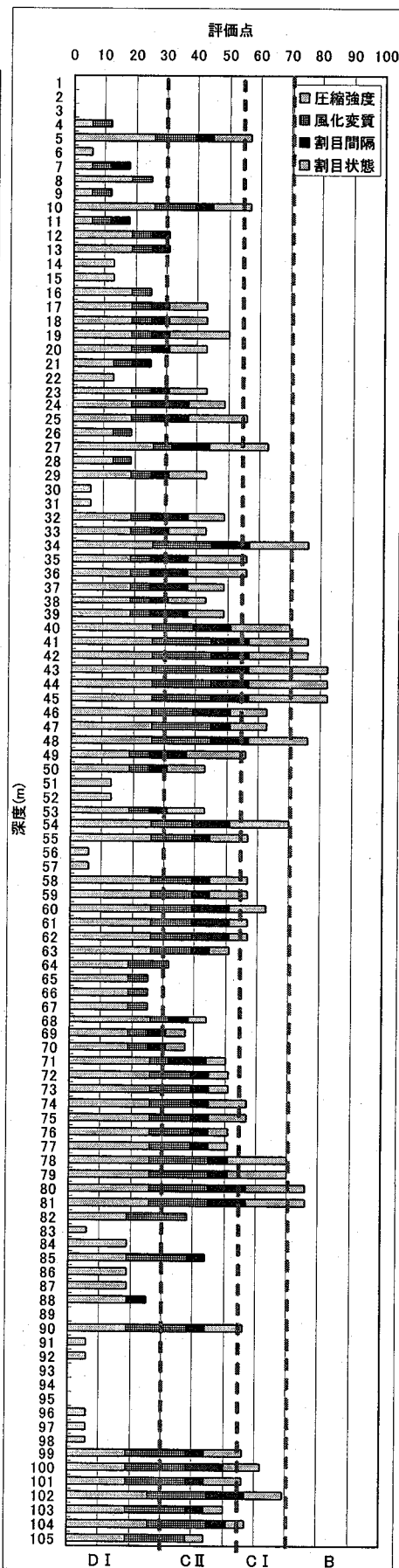


図-6 安山岩の標準支保

表-2 岩種区分表

	80N/mm ² 以上 H(硬質岩)	80~20N/mm ² M(中硬質岩)	20N/mm ² 未満 L(軟質岩)
塊状岩盤	斑レイ岩 花崗岩 花崗閃緑岩 石英斑岩 花崗斑岩 ホルンフェルス 角閃石岩 砂岩(中生層) 石灰岩、チャート 片麻岩	安山岩 玄武岩 石英安山岩 流紋岩 ヒン岩 砂岩・礫岩 (第三紀層)	蛇紋岩 凝灰岩 凝灰角礫岩
層状岩盤		粘板岩 頁岩(中生層)	千枚岩 黒色片岩 緑色片岩 泥岩、頁岩(第三紀層)

湧水による劣化調整点を加味

表-3 岩種グループ毎の評価点

圧縮強度	岩種グループ	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	硬質岩	36	29	22	14	7	0
	中硬質岩・軟質岩	32	26	19	13	6	0
	中硬質岩	36	29	22	14	7	0
	軟質岩	39	31	24	16	8	0
風化変質	硬質岩	19	12	6	0		
	中硬質岩・軟質岩	19	13	6	0		
	中硬質岩	22	15	7	0		
	軟質岩	20	13	7	0		
割れ目間隔	硬質岩	19	14	9	5	0	
	中硬質岩・軟質岩	24	18	12	6	0	
	中硬質岩	9	7	4	2	0	
	軟質岩	12	9	6	3	0	
割れ目状態	硬質岩	26	20	13	7	0	
	中硬質岩・軟質岩	25	19	12	6	0	
	中硬質岩	33	25	16	8	0	
	軟質岩	29	22	14	7	0	

湧水量、劣化の調整点

湧水量の 評価区分	劣化の評価区分			
	1	2	3	4
1	0	0	-5	-7
2	0	-5	-7	-10
3	-5	-7	-10	-15
4	-10	-10	-15	-20

★：ボーリングコアを1m毎に切羽評価点と同じ手法で判定。切羽評価点に相当する支保が施工可能か調査、設計段階で判定

※：トンネル掘削幅約8m、高さ約6mであるが、コアの判定結果では切羽全面に塊状岩が分布することは少ないことがわかる。

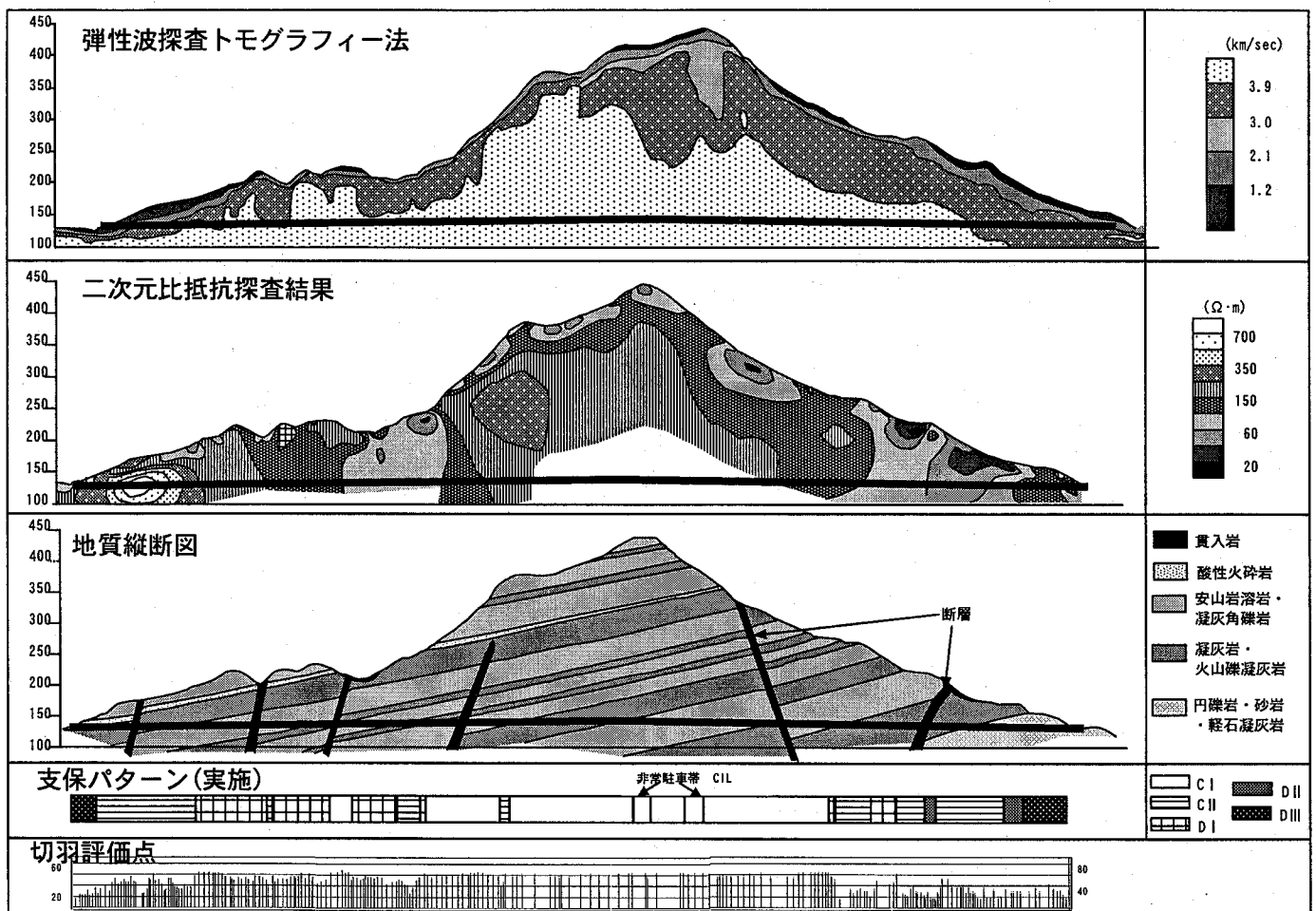


図-8 物理探査結果と実施支保パターンの対比

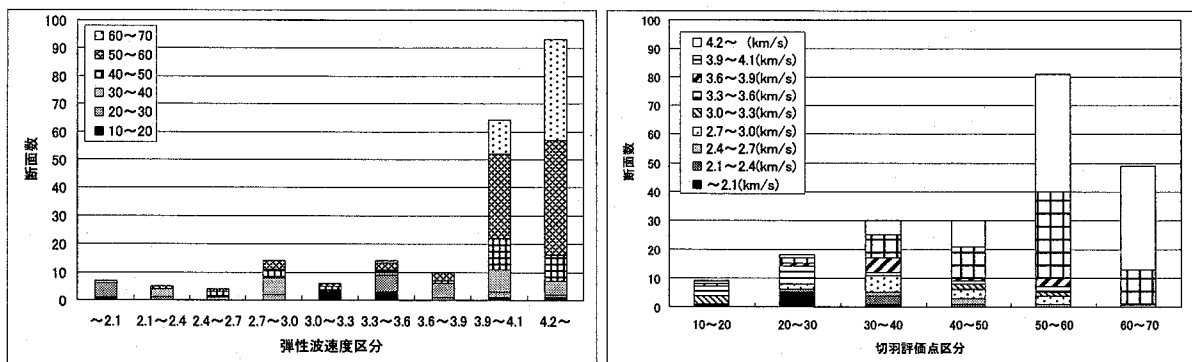


図-9 弾性波速度と切羽評価点の関係

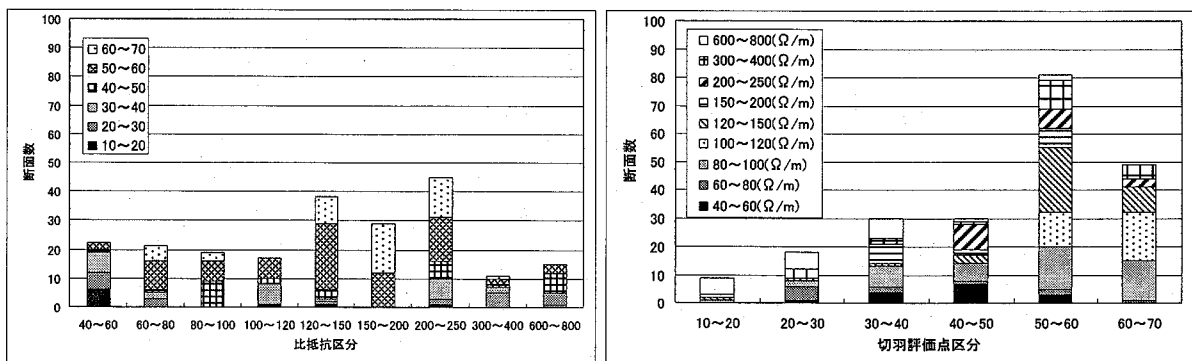


図-10 比抵抗値と切羽評価点の関係

5. 考察

図-7, 8の成果のうち弾性波速度および比抵抗値と切羽評価点の関係を整理し、図-9, 10に示した。

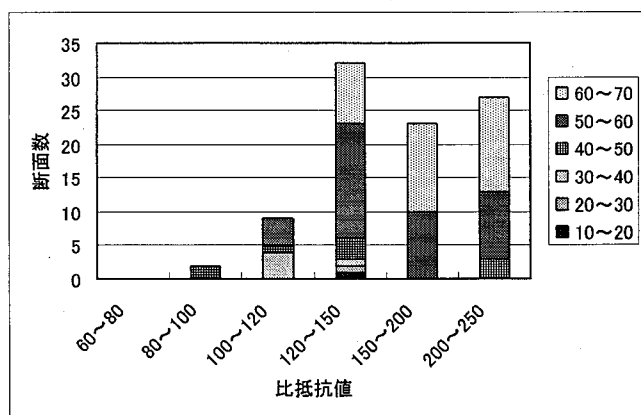
1) 弾性波速度に着目した地山区分

凝灰角礫岩の地山では図-2, 3で示されているように高速度域で支保のランクアップが生じやすいが、本トンネルでは地山の状態の記事に着目して速度値を見直して地山分類を行ったため、切羽評価点が低い部分が出現する割合は少ない。

3.6km/s以上の弾性波速度であれば8割以上の区間がCIIパターンに相当する切羽評価点35点以上であるが、CIパターンの区間は弾性波速度3.9km/s以上かつ比抵抗値150Ω/m以上の区間にほぼ一致している。

2) 比抵抗値に着目した地山区分

比抵抗値は岩種、変質、地下水などの影響を受けるため、弾性波速度に比べて切羽評価点との関係が明瞭ではない。しかし、弾性波速度4.2km/s以上の区間に対して比抵抗値と切羽評価点の関係を整理すると図-11のような関係があり、高速度層中の変質帯や凝灰岩層などの異岩種を検出しやすいと言える。



新図-11 弾性波速度4.2km/s以上区間における比抵抗区分ごとの断面数

設計支保パターンと実施支保パターンの関係を図-12に示す。火山岩地山では溶岩類と凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩が複雑に分布して地山評価が困難な場合が多いが、物理探査結果とボーリングコアの評価を評価点を介在する方法により、精度の高い支保設計が実施できることを確認できた。この結果は、過去の火山岩地山での支保パターンを整理した結果(図-13参照)と

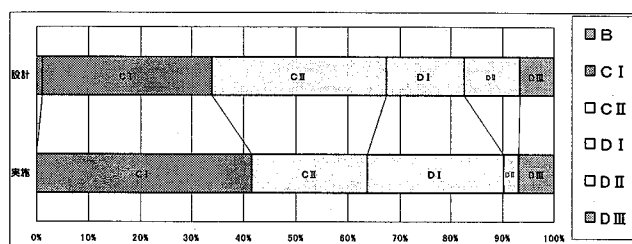


図-12 本トンネルにおける設計と実施の支保パターン比較図

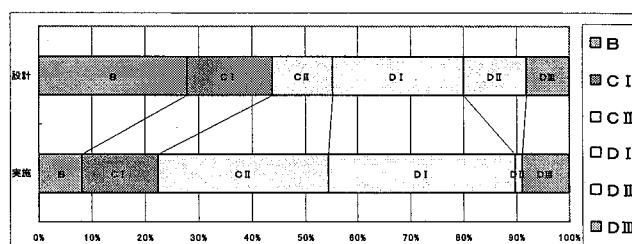


図-13 火山岩地山での支保パターン推移例⁷⁾

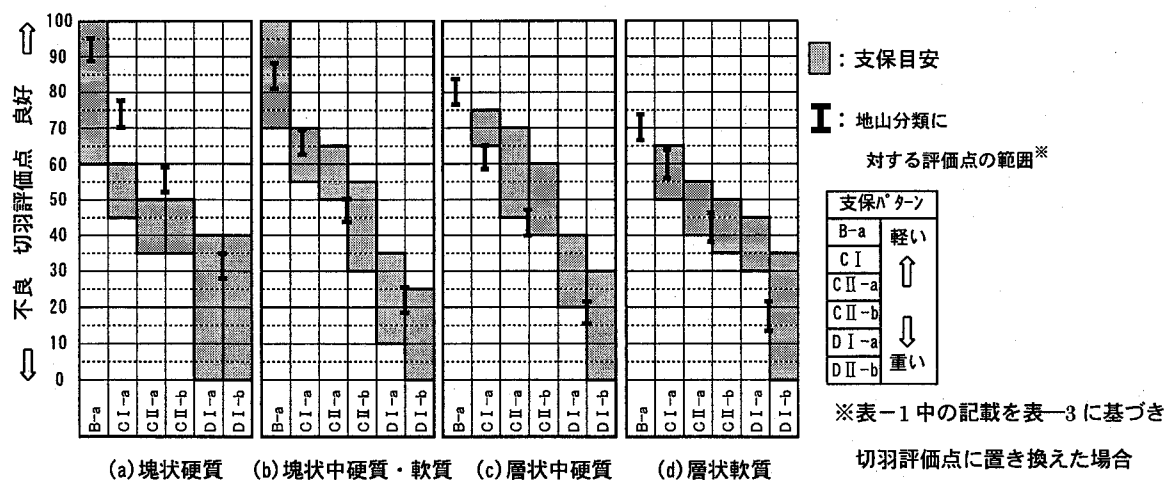
比較しても乖離が少ないといえる。

切羽評価点は現在もデータを蓄積中であり、走向傾斜の評価点が追加されたり、現在の主要4項目の重み付けや判定区分が変更になる可能性もある。しかし、常に最新の評価区分に基づいた地質調査結果のとりまとめを行えば、設計と実施との支保パターンの乖離を低減できると考える。

また、今回のトンネルの建設ではCM方式が導入されて同一の地質技術者(トンネル業務従事経験:20年以上)が調査・設計・施工の段階で地山評価を行うことができたため、切羽評価点を利用した支保選定がより有効に活用できた。

同一の技術者による支保選定が実施できない場合でも、表-1の地山区分表の記事欄に着目して支保選定を行うと図-14に示すように切羽評価時と同等の判定が行える。このことは、地山状態の記事に相当する弾性波速度を逆に算定し、その弾性波速度値に相当する範囲で地山区分を行うことにより、施工時の支保パターンの乖離を減少できることを示唆している。

なお、日本の地山は複雑で、同種の地質区分でも弾性波速度の低減割合は異なってくることが予想されるため、実施の際にはトンネル毎に評価値と速度低減の相関を検討することが必要である。



6. 今後の課題

本トンネルでは、これまで適用がなかった火山岩地山でも切羽評価点による地山分類の有効性が証明できた。また、比抵抗値が周辺より小さなところでは予想通りの粘土質の断層破碎帯や溶岩の開口亀裂からの湧水に遭遇し、2つの物理探査の組み合わせによる有効性も確認できた。

一方、最大土被り 300m に達する火山岩地山におけるトンネルでは塊状の溶岩や凝灰角礫岩に挟まれた数mのスレーキングしやすい凝灰岩の検出は弾性波探査トモグラフィ法でも困難である。また、限られたボーリングではその存在を見逃す場合も往々にしてある。

踏査で得られた情報を地山区分や支保設計に活かし、施工段階でも先進ボーリング等を活用し、その出現の可能性を順次判断していくことも重要である。

<参考文献>

- 1) 中川浩二：弾性波速度分布によるトンネル岩盤の事前予測と施工時の岩盤評価との関係、日本応用地質学会、平成 13 年度講演会概要集 2001.6
- 2) 木村・杉田・大塚：評価点法を用いた事前調査による地山評価と施工、土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集 第 11 巻 p87-92 2001.11
- 3) 木村・杉田・長谷川・古田：トンネル建設における評価点法の活用に関する考察、第 13 回トンネル工学研究発表会、pp37-44, 2003. 11
- 4) 伊藤・赤木・中西・進士：事前弾性波探査と支保実績の整理分析、第 11 回岩の力学シンポジウム、F21、2002
- 5) 城間・赤木・岡部・中西：支保実績から分析した弾性波速度評価の一考察、トンネルと地下、第 33 巻 9 号 2002.9
- 6) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、pp78-79, 2003. 11
- 7) 三宅和志：トンネル事前設計における弾性波速度評価に関する研究、山口大学修士論文、2002. 2