

付加体の地質に応じた岩判定について (中間報告)

The investigation of the rock-mass classification for the tunnel in an accretionary zone

大橋弘紀²⁾・木村正樹¹⁾・比嘉俊史³⁾・野田一彰³⁾

Hiroki OHASHI Maski KIMURA Tosifumi HIKA Kazuaki NODA

As for the rock-mass classification, the JH method becomes mainstream recently. However, that is not fit enough for the complicated geological feature which called an accretionary zone, because it is the "standard" rock-mass classification covered Japan all.

In this paper, the rock-mass classification fitted for the complicated geological feature has been investigated with in-site data.

Key Words: tunnel, rock-mass classification, observation of cutting-face

1. はじめに

トンネル切羽での支保パターンの選定方法はいくつかあるが、もっとも合理的で実績が多いものとして日本道路公団 (以下 JH) の新切羽評価点法がある¹⁾。しかし、新切羽評価点法は全国での適用を前提にしたものであり、切羽評価点に対する支保パターンの目安は幅が広く重複する部分もある。また、評価には経験を要する部分もあり、評価点にばらつきが生じる。

和歌山県は付加体の複雑な地質が多く、工事の安全性と経済性を確保した合理的な施工となる岩判定書式が必要であった。そこで、JH 切羽評価点法をベースに和歌山県の地質に応じた

- ① 岩判定書式
- ② 切羽評価点と支保パターンの目安
- ③ 配点方法

の検討を行っている。本報告ではその中間報告を行うものである。

図1に岩判定書式検討の流れについて示す。

検討は、JH 切羽評価点法をベースに作成した岩判定書式 (表1) を施工中のトンネルで適用し、適用結果を整理・分析した。適用したトンネルは地質が付加体の泥質岩である3トンネルである (図2、表2)。

- 1) 正会員 応用地質㈱ 関西支社 技術部
- 2) 応用地質㈱ 関西支社 技術部
- 3) 和歌山県

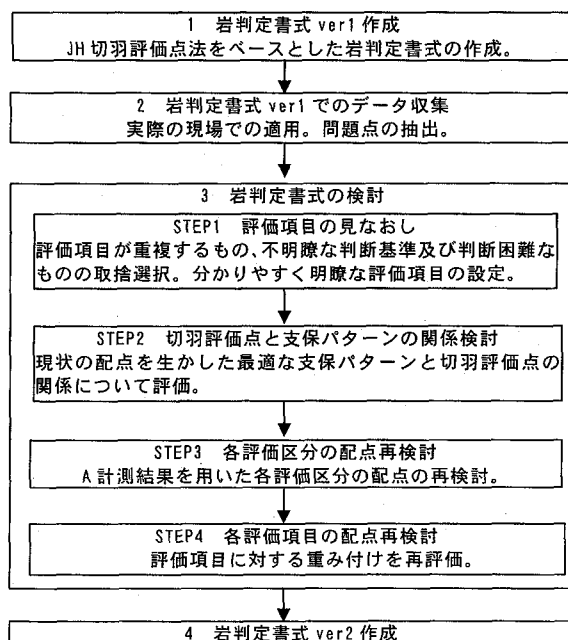
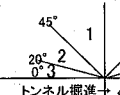
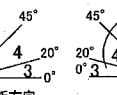


図-1 検討の流れ

表-1 岩判定書式（評価項目）

観察項目		評価区分					
圧縮強度	一軸圧縮強度	100以上	100-50	50-25	25-10	10-3	3以下
	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く打っても割れにくい	岩片を地面に置きハンマーで強く打つれば割れる	岩片を手にもってハンマーでたたいても割れる	岩片をどうも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握り潰して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
	評価区分	1	2	3	4	5	6
風化変質	風化の目安	概ね新鮮	割れ目沿いの風化変質	岩芯まで風化変質	岩芯まで風化変質	土砂状風化・未固結土砂	
	熱水変質などの目安	変質は見られない	割れ目に粘土状の付着	変質により岩芯まで強度低下	土砂状・粘土化		
	評価区分	1	2	3	4	5	
	割目間隔	間隔	1m以上	1m-50cm	50-20cm	20-5cm	5cm以下
割目状態	RQD	80以上	80-50	60-30	40-10	20以下	
	評価区分	1	2	3	4	5	
	割れ目の開口度	密着	一部開口 (1mm以下)	多くが開口 (1mm以下)	開口 (1-5mm)	5mm以上の開口	
	挟在物	なし	なし	なし	5mm以下の粘土・	5mm以上の粘土	
走向傾斜	粗度・鏡肌	粗い	割れ目平滑	一部鏡肌	よく磨かれた鏡肌	5	
	評価区分	1	2	3	4	5	
	走向						
	傾斜						
湧水量	状態	なし・滴水・1%/分	滴水程度 1~20%/分	集中湧水 20-100%/分	全面湧水 100%/分以上	4	
	評価区分	1	2	3	4	5	
	劣化	水による劣化	なし	緩みを生ず	軟弱化	流出	
	評価区分	1	2	3	4	5	
評価項目 評価区分		1	2	3	4	5	
切羽の自立性		自立	肌落ちがある	頻繁に肌落ちがある	枝葉し、鏡吹付等が必要	4以外の対策が必要	
天端の状態		安定	時間がたつとゆるみ肌落ち	掘削後早期に支保が必要	掘削に先行して土留が必要	対策工が必要	
ズリ最大径		1m以上	1m-50cm	50-20cm	20-5cm	5cm以下	
ズリ平均径		1m以上	1m-50cm	50-20cm	20-5cm	5cm以下	
発破面		不陸が大きく放射状状痕跡		数cm程度の不陸で発破面一部荒る		細かい節理で分層し発破面なし	

火薬量の増減		減		同程度		増	
--------	--	---	--	-----	--	---	--

火薬量の増減 減 同程度 増

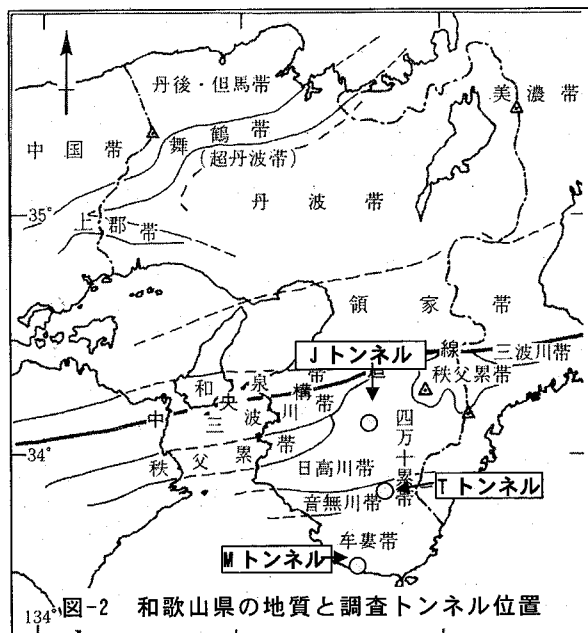


図-2 和歌山県の地質と調査トンネル位置

表-2 トンネル諸元

トンネル	延長	地層名	分布地質
J トンネル	2018m	四万十帯日高川層群花園層	頁岩、メランジェ、頁岩砂岩互層、砂岩、凝灰岩、チャート
T トンネル	970m	四万十帯音無川層群羽六累層下部	泥岩（頁岩）、泥岩砂岩互層、砂岩
M トンネル	786m	四万十帯牟婁層群三尾川累層	泥岩（頁岩）、泥岩砂岩互層、砂岩

2. 岩判定書式の検討

(1) 圧縮強度

表3に現場適用結果を示す。圧縮強度の評価が配点表では30~40%、適用結果では全体の40%以上を占めており、圧縮強度の評価が支保選定の大きなウェイトを占めていた。しかし、圧縮強度の評価は主にハンマー打診で行われており、観測者によってばらつきが多かった。

以上のことから圧縮強度の評価は可能な限り定量的評価であるポイントロード試験及びシュミットハンマーによるものとした。

(2) 割れ目間隔

四万十帯の地質では頁岩や泥岩を主体とした互層またはメランジェと呼ばれる混在した地層が多い。よって、割れ目の方向が一定でないことや、頁岩そのものに層理が発達していることから、割れ目間隔の判断は難しい。また、DI以下の切羽では安全上の理由から切羽に近づけず詳細な観察は不可能な場合が多い。

これに対し、掘削ズリの大きさと割れ目間隔との関係を見たところよい相関が得られた（図3）。以上のことから割れ目間隔の評価項目としてズリ平均径を加えることとした。

表-3 岩判定実施結果

	支保 パターン	圧縮強度		風化変質		割れ目間隔		割れ目状態	
		主な判定	ave.	主な判定	ave.	主な判定	ave.	主な判定	ave.
Jトンネル	CⅠ	2-3	2.4	2	2	3-4	3.4	3	3.1
	CⅡ	3	3	2	2	3-4	3.7	3	3.1
Mトンネル	DⅠ以下	3-4	3.4	2-3	2.6	4-5	4.4	3-4	3.4
	CⅠ	3	3	2	2.3	3-4	3.4	3	2.8
	CⅡ	3-4	3.4	2-3	2.5	3-4	3.6	3-4	3.7
Tトンネル	DⅠ以下	4-5	4.4	2-3	2.8	4	4	4-5	4.5
	CⅠ								
	CⅡ								
Jトンネル	DⅠ以下	3-4	3.6	2-3	2.6	3-4	3.6	3-4	3.5
		3-4	3.5	2-3	2.2	3-4	3.8	3-4	3.6
全体	CⅠ	2-3	2.59	2	2.1	3-4	3.4	3	3
		29-22 ²⁾	24.8	15	15	4-2	3.2	16	16
	CⅡ	3-4	3.3	2	2.2	3-4	3.7	3-4	3.4
		22-14	19.6	15	15	4-2	2.6	16-8	12.8
	DⅠ以下	4	4	2-3	2.8	4	3.9	3-5	4
		14	14	15-7	8.6	2	2.2	16-0	8

*1判定点数は表1の評価区分 *2斜率は切羽評価点換算

(3) 火薬量

火薬量の増減と切羽評価点の関係について図4に示す。これらには比較的良好な相関が見られる。火薬量はオペレーターの感覚にも影響されるため絶対評価は難しいが、個々のトンネルにおける相対的な評価は可能であることを示している。以上のことから、火薬量の増減を切羽評価点の妥当性チェック項目とした。

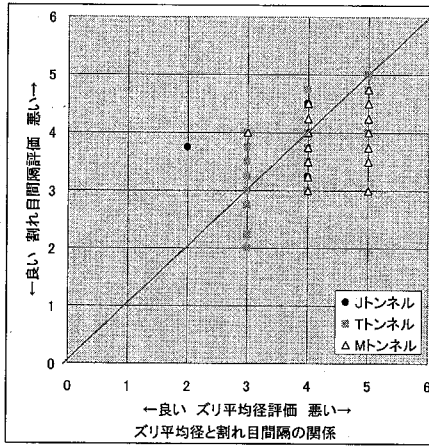


図-3 ズリ平均径と割れ目間隔の関係

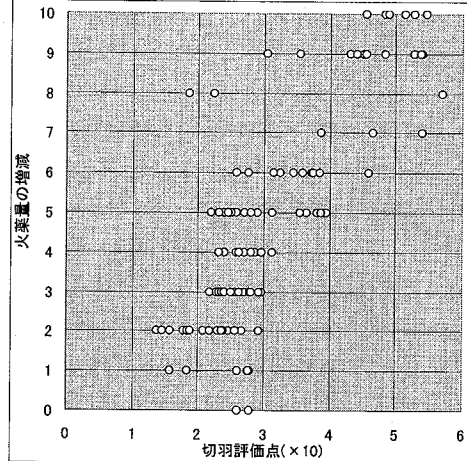


図-4 ズリ平均径と割れ目間隔の関係

(当初の火薬量を5とし、増加は+1 減少-1
同程度0として算出した値)

3. 切羽評価点と支保パターンの関係

前述のようにJH切羽評価点法は日本全体の地質をカバーしたものであり、岩種毎に区分しているものの切羽評価点に対する支保パターンの目安はラップする部分が多い(図6)。そこでこの切羽評価点と支保パターンの関係をより和歌山県の地質に対応したものとするため、収集データを用いて切羽評価点と最適な支保パターンの関係の検討を行った。図5～図6に検討の手順と検討結果を示す。検討は以下の手順で実施した。

- ①得られたデータについて、“切羽評価点と内空変位との関係”を整理。
- ②JH 設計要領¹⁾の地山区分表に示される“支保パターン”と妥当な内空変位量の関係”を導入。
- ③“切羽評価点と内空変位との関係”と“支保パターンと妥当な内空変位量の関係”から“切羽評価点と支保パターンの関係”算出。

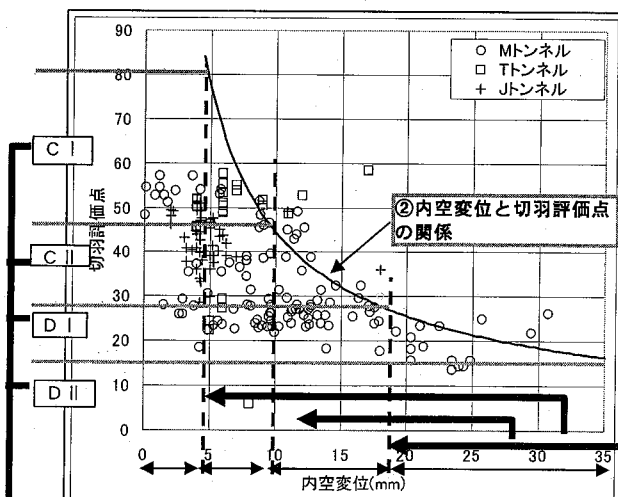


図-5 内空変位と切羽評価点

表-4 全変位と計測変位

支保 パターン	全変位 ¹⁾ (内空変位)	計測変位 ²⁾ (内空変位)
B	7.5mm ³⁾	3.8mm
C I	15mm	9mm
C II	30mm	18mm
D I	60mm	36mm
D II	100mm	60mm

- 1) JH 設計要領第三集より抜粋。2 車線道路を想定
- 2) 約 40%を先行変位と設定
- 3) C II の半分と定義

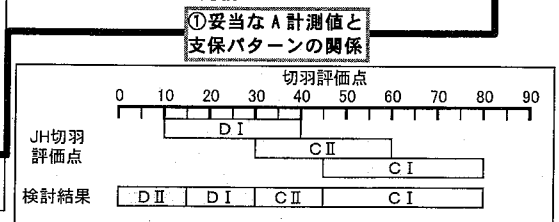


図-6 支保パターンの目安

図5に得られた内空変位と切羽評価点の関係について示す。ばらつきはあるがおおよそ図中の曲線で関係付けられる。この曲線を和歌山県における内空変位と切羽評価点の関係と考え、表4に示す”支保パターンと妥当な内空変位量の関係”を合わせ、図6に示す切羽評価点と支保パターンの関係を算出した。

算出した目安は従来の目安に比べDⅠ、CⅡ適用範囲が小さくなっている。これは切羽評価点50点（CⅡ相当）であっても、CⅠ相当の内空変位しか生じていないことを示している。

これはあくまで3トンネルのデータであり、A計測の信頼度による部分もあるため、更にデータを収集し、検証を行っていく必要がある。しかし、トンネル毎にこの”切羽評価点と内空変位の関係”をモニタリングし、”切羽評価点と支保パターンの関係”を検証していくことは安全性と経済性を両立する上で有効と考える。

4. 各評価区分の配点検討

Ⅲ 切羽評価点法で採用されている各評価区分の配点が和歌山県のトンネルに対応しているかを検討した。図7に現状の配点について示す。現状の岩判定書式は各評価区分に割り当てられた配点を評価区分数で割ったものであり、データに基づいたものではない。一方で、和歌山県の地質では文献3にも示されるように”割れ目が鏡肌”の場合と”割れ目に粘土をはさむ”場合で切羽の状態が大きくことなることが指摘されている。そこで各評価項目ごとの評価と内空変位の関係について整理を行った。図8に割れ目状態の評価と内空変位の関係を示し、図9に圧縮強度の評価と内空変位の関係を示す。これによると評価が悪くなるほど内空変位量が加速度的に大きくなっていた。

そこで評価区分と内空変位について近似曲線を当て（図8,9）、評価区分と最終変位量に対する予測変位量の割合を算出し（図10）、これを基に評価区分に対する配点の重み付けを行った（表5）。図11に従来の配点で算出した切羽評価点と重み付けを行った配点で算出した切羽評価点との比較図を示す。重み付けを行った配点では内空変位が小さい部分についてより曲線に近似した結果となった。

この結果についても3トンネルでのデータから算出したものであり、これからもデータを更新していく必要があるが各トンネル毎にモニタリングしていくことで切羽評価時のポイントが明確となりすばやい対応が可能となると考える。

5. 各評価項目の配点再検討

各評価項目（圧縮強度、風化変質、割れ目間隔、割れ目状態）に割り当てられている配点が和歌山県の地質に対応しているかを検討するため、切羽評価点と内空変位の関係が最適になるように各評価項目への配点割合を最小二乗法により算出した。ただし、風化変質についてはデータが少ないため本検討では従来の配点としている。図12に算出した配点と従来の配点での比較図を示す。最適化の結果、”圧縮強度”の配点が小さくなり、”割れ目の状態”や”割れ目の間隔”の配点が2倍となった。特に”割れ目の状態”が50点以上となっており、これまでのデータでは”割れ目の状態”がもっとも内空変位に寄与しているといえる。

これに対し、地質学的な考察を行うと、付加体の地質は潜在的な割れ目が多く、硬質な岩種と軟質もしくは軟質化した岩種が互層またはメランジェとして混在している。よって、トンネル掘削に伴う応力開放による変位は割れ目や割れ目の介在物に集中するものと考えられる。

6. 岩判定のながれ

図13に岩判定の流れについて示す。基本的には切羽評価点による支保パターンの選定を行うが、切羽評価点のチェックシステムとして、火薬量の増減の評価を行うことが有効と考える。また、切羽評価点と支保パターンの目安については、地山・地質条件により補正する必要があるため、常にA計測結果との比較を行い更新を行うことが必要と考える。

岩質/評価区分	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	36	29	22	14	7	0
風化変質	32	26	19	13	6	0
割目状態	36	29	22	14	7	0
割目間隔	39	31	24	16	8	0
塊状	19	12	6	0		
層状	19	13	6	0		
塊状	22	15	7	0		
層状	20	13	7	0		
塊状	19	14	9	5	0	
層状	24	18	12	6	0	
塊状	9	7	4	2	0	
層状	12	9	6	3	0	
塊状	26	20	13	7	0	
層状	25	19	12	6	0	
塊状	33	25	16	8	0	
層状	29	22	14	7	0	

$36 \times 4/5$ $36 \times 3/5$ $36 \times 2/5$ $36 \times 1/5$
 $36 \rightarrow 29 \rightarrow 22 \rightarrow 14 \rightarrow 7 \rightarrow 0$ $36 \times 0/5$

図-7 現状の配点

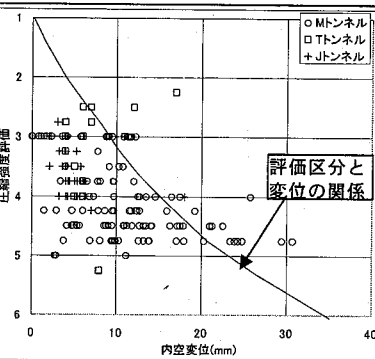


図-8 割れ目の状態と内空変位の関係

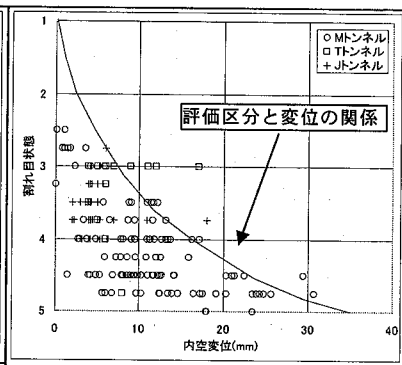


図-9 圧縮強度と内空変位の関係

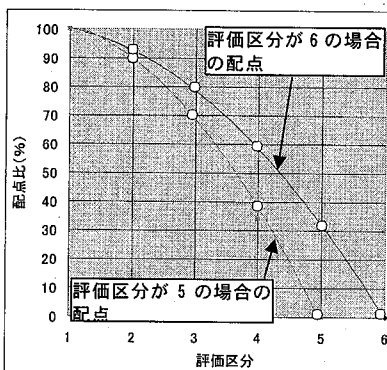


図-10 評価点の重み付け

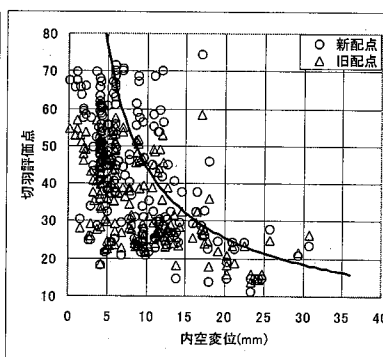


図-11 重み付け配点と均等配点比較図

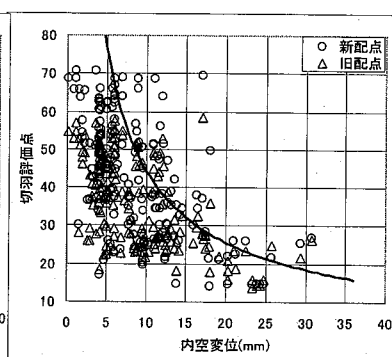


図-12 各評価項目への配点を変更した

表-5 配点表

評価項目	種別	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	a	36	29	22	14	7	0
	b	36	33	29	22	11	0
	c	7	6	5	4	2	0
風化変質	a	22	15	7	0		
	b	22	15	7	0		
	c	22	15	7	0		
割れ目間隔	a	9	7	4	2	0	
	b	9	8	6	4	0	
	c	18	17	13	8	0	
割れ目状態	a	33	25	16	8	0	
	b	33	30	23	13	0	
	c	53	51	40	24	0	

a: JH切羽評価点法 b: 評価区分の重み付け変更
 c: 各評価項目への配点変更
 対象は層状中硬岩のみ

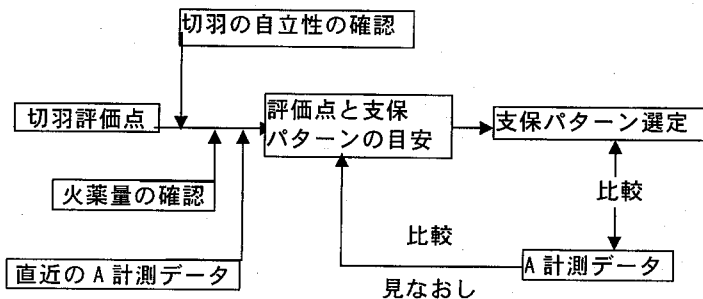


図-13 岩判定流れ(案)

7. 考 察と今後の課題

1) 湧水・劣化の評価

本調査トンネルのうちTトンネルでは、CIパターン部で吹付けコンクリートに亀裂が生じ、増しロックボルトが施工された。この地点での切羽は圧縮強度が上がり、割れ目間隔も大きい良好な切羽と評価されている。前後の切羽と比べても評価点は同等のものであるが、切羽からの湧水が前後に比べて多い。Tトンネルでは同様な変状箇所が数点あるがいずれも湧水が多い地点であり、湧水が変状の原因と考えられる。また、

変状の発生箇所が肩部であることから、切羽観察時に割れ目沿いの粘土などを見過ごしている可能性もある。地質が脚部から上部へと変化して行く場合には地質の変化を予想しやすいが、以下の状況の場合は特に入念な観察が必要である。

①天端で出現した地層が徐々に脚部に移行する場合、

②褶曲が著しく切羽前方の地層が予測しにくい場合

以上のことから、現状では調整点としている湧水劣化の評価項目及び配点、切羽の打撃：直接の観察が困難な切羽上部の評価法についても今後検討する必要がある。

2) 適用範囲について

本報告書での検討は、3 トンネルのデータであり、地山・地質条件が偏っている可能性がある。特に圧縮強度や風化変質は3 トンネルともほぼ似たような評価となっている。和歌山県では土砂化した地山や、塊状砂岩（紀伊田辺東方など）・塊状凝灰岩（白浜付近）・花崗斑岩（那智勝浦付近）のような硬質な地山があり、和歌山県全域をカバーできる、より信頼度の高い切羽評価手法とするため、過去の和歌山県の施工データや既存論文等を収集し再検討を行う必要がある。

3) 定量的な評価について

データ収集・分析により傾向はつかめたが、経験的な手法にすぎず、理論的な背景についてはあまり触れていない。本来は作用する地圧とそれに対抗できる支保をより定量的に決める必要がある。今後はB計測結果等の計測データを収集し、トンネル周辺の力学的な解析が必要と考える。

4) 問題のある地山への適用について

本報告書での検討は一般的なトンネルにおける適切な支保の選定を目的としているため、膨張性地山や山はね等、問題のある地山の評価は検討を行っていない。紀伊田辺周辺の牟婁層群のトンネルではスレーキングにより15cmを越える天端沈下や内空変位が発生したトンネルもあるため、今後はスレーキング特性や土被り（地山強度比）等の項目を追加していく必要がある。

5) 補助工法選定基準への発展

トンネル施工時に時間・コストを要するのは補助工法の選定・施工である。今後はこれらについても選定基準を設置することで、より安全で合理的なトンネル施工が可能と考える。

参考文献

- 1) 日本道路公団;設計要領第三集 トンネル
- 2) 土木学会;トンネル標準示方書「山岳工法編」・同解説
- 3) 笹野・力武・木村・中垣;トンネル切羽判定手法による支保の選定結果と事前調査結果の対比,トンネル工学研究論文・報告集第9巻,1999
- 4) 笹野・御園・木村・中垣;頁岩砂岩互層3トンネルにおける切羽判定結果と変形,トンネル工学研究論文・報告第10巻,2000
- 5) 赤木・伊藤・城間・小川・井上;切羽観察評価区分値と支保選定に関する一考察,トンネル工学研究論文・報告第12巻,2002