

頁岩砂岩互層 3 トンネルにおける切羽判定結果と変形

ROCK MASS CLASSIFICATION AT CUTTING FACE AND DEFORMATION IN FRACTURED SEDIMENTARY ROCKS

笹野雅義¹⁾、御園憲治²⁾、木村正樹³⁾、中垣秀隆³⁾

Masayosi SASANO, Kenji MISONO, Masaki KIMURA, Hidetaka NAKAGAKI

Three tunnels had constructed in shale and sandstone area of the Shimanto formations in Wakayama Prefecture.

Tunnel support patterns of these tunnels were decided by the new rock mass classification of J.H. at cutting face. The crown settle and convergence at part of DI pattern which was decided based on slickenside and fall of rocks at face were 15 or less mm. In these of case, it needs to consider some geological factors for design tunnel support pattern. We study the monitoring and observation method at cutting face for design tunnel support pattern.

Key Words: tunnel, support patterns, rock mass classification, slickenside

1. まえがき

和歌山県日高振興局管内で、平成10年～平成12年にかけて、四万十累層と呼ばれる頁岩・砂岩を主体とする地質で3つのトンネルが施工された。トンネル支保選定のための事前調査は、ボーリング調査、弾性波探査であり、1つのトンネルでは電気探査も併用された。

施工段階ではJHの新切羽評価点を用いた支保選定を行ったが、設計支保パターンと実績との乖離が問題となった。このため、切羽での観察事項とトンネル掘削時のA計測（天端沈下・内空変位）を整理し、この種の岩種の支保パターン選定時の留意点あるいは切羽観察時の着目点について検討した。

2. 調査地概要

調査対象地点の3トンネル（新鹿ヶ瀬、かまきり、新桂木）は、和歌山県中西部の御坊市～日高郡に位置し、四万十類層日高川層群と呼ばれる頁岩・砂岩を主体とする地質が分布する（図-1）。

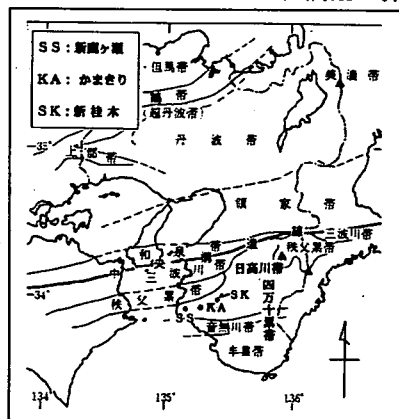
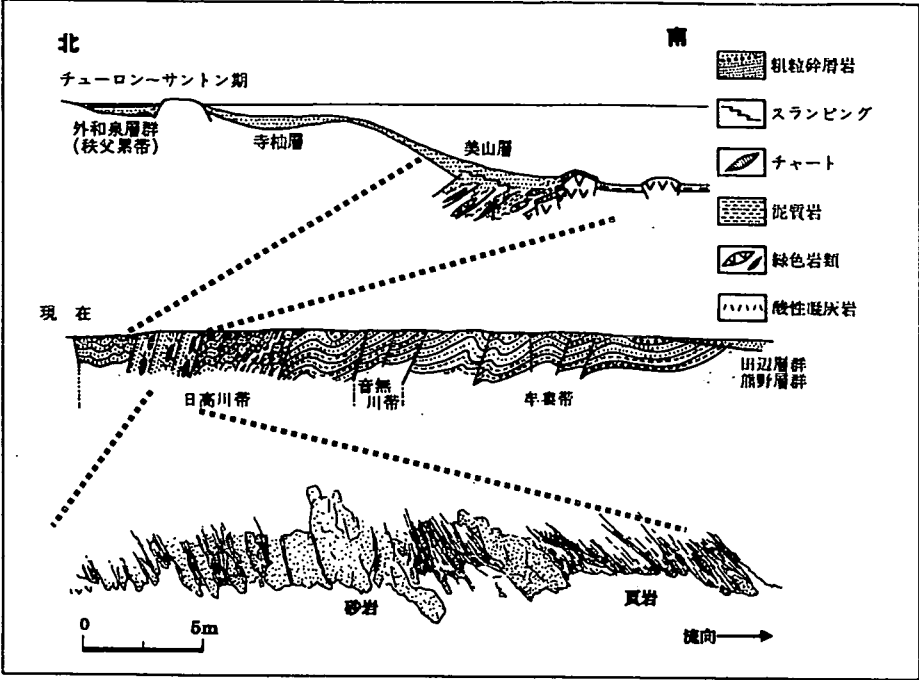


図-1 調査地点位置図

- 1) 和歌山県日高振興局 建設部道路課
- 2) 大林組 日高中津村工事事務所
- 3) 正会員 応用地質株式会社 西日本技術センター

この地質は白亜紀に海底に堆積したものが海底に潜り込みその後陸化したもので、北側ほど古い地層が分布し全体に北向きに傾斜しているのが特徴である。泥が固結した頁岩に比べ砂が固結した砂岩が硬質なために、露頭や河床で観察すると図－2に示すように砂岩が突出し、頁岩の部分が浸食されている。砂岩は層状～レンズ状～球状で出現し、砂岩との境界付近の頁岩が破碎されているのが特徴である。この地層群は和歌山県の日高川流域から奈良県の十津川村付近にかけて広く分布している。



図－2 日高川層群の形成過程と露岩（河床）の状況（文献1に修正・加筆）

3. 切羽評価点による支保の選定

トンネルの切羽判定手法は各機関で書式が選定されているが、今回の3トンネルではJHの新切羽評価点法を用いた統一的な判定を行った。各トンネルにおける判定回数は表－1に示すとおりであり、基本的には設計支保パターンの変化地点で行った。

表－1 各トンネルの判定結果

トンネル名	延長 m	地層名	地質名	切羽判定回数
新 鹿 ケ 瀬	336	日高層群美山層	頁岩、砂岩	9
か ま き り	1180	日高層群竜神層	頁岩、砂岩	34
新 桂 木	296	日高層群美山層	頁岩、砂岩	6

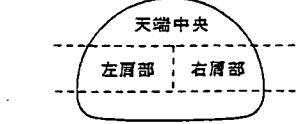
観察項目は表－2に示すが主な観察項目は岩片の圧縮強度、風化変質、割目間隔、割目状態および湧水量と水による劣化状況で、トンネル切羽の安定に寄与する割合が大きな天端部の評価を高くしている。また、本トンネルのような頁岩「層状中硬質」に対応する配点が検討されており、湧水・劣化による減点も考慮した総合点で支保パターンを選定した。なお、砂岩は切羽全面に分布する場合は「硬質塊状岩盤」として扱い、頁岩と互層状をなし層状に分離しやすい場合は「層状中硬質」としての配点を行った。

観察項目のうち一軸圧縮強度は切羽で採取した岩片について点載荷試験を行い換算したが、頁岩で 10N/mm²

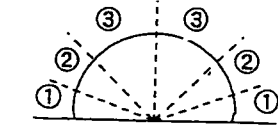
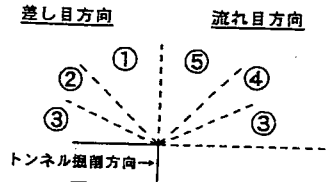
程度以下、砂岩で50N/mm²程度が多かった。風化変質は土被りが薄く地表からの風化を受けて褐色となっている区間以外は、ほとんど認められなかった。割目の間隔は頁岩では5cm以下で、砂岩では20~50cmのものが多かった。割目の状態は頁岩で鏡肌を呈するものが多く、肌落ちが認められたが、砂岩では平滑や荒い新鮮なものが多かった。湧水はおおむね滴水が数リットル/分程度であったが、連続性のよい粘土層の背面に溜まった地下水がロックボルトの削孔により15リットル/分程度湧出したものもあった(新鹿ヶ瀬トンネル)。かまきりトンネルにおける代表的な切羽状況と評価結果を図-3にまとめた。

表-2 切羽観察記録表および評価点・支保選定評価資料 2) 3) 4)

観 察 項 目	評 価 区 分						評価区分記入		
	100以上	100~50	50~25	25~10	10~1	1以下	左肩	中央	右肩
A. 圧縮強度 (N/mm ²)	4以上 ハンマーの打撃による強固の目安。 評価区分	4~2 岩片を垂直に打ちハンマーで打撃すれば割れにくい。 評価区分	2~1 岩片を斜めに打ってハンマーでたたいて割ることができる。 評価区分	1~0.4 岩片をお互にたたき合わせ部分のでも割ることができる。 評価区分	0.4以下 力でも割れ、小さな岩片で指先で割ることができる。 評価区分				
B. 風化変質	風化の目安 岩片を垂直に打ちハンマーで打撃すれば割れにくい。 評価区分	風化の目安 岩片を斜めに打ってハンマーでたたいて割ることができる。 評価区分	風化の目安 岩片をお互にたたき合わせ部分のでも割ることができる。 評価区分	風化の目安 力でも割れ、小さな岩片で指先で割ることができる。 評価区分	風化の目安 土壌状風化、赤褐色土壌、等しい変質により全体が土壌状、砂土状。 評価区分				
C. 割目間隔	割れ目の間隔 80以上 評価区分	1m以上 80~50 評価区分	50cm以上 80~30 評価区分	20cm以上 40~10 評価区分	5cm以上 20以下 評価区分				
D. 割目状況	割目の開口部 割目は等間隔にしている 評価区分	割目の開口部 割目は等間隔にしている 評価区分	割目の開口部 割目は等間隔にしている 評価区分	割目の開口部 割目は等間隔にしている 評価区分	割目の開口部 割目は等間隔にしている 評価区分				
E. 岩体割目	岩体割目 評価区分	岩体割目 評価区分	岩体割目 評価区分	岩体割目 評価区分	岩体割目 評価区分				
F. 湧水量	湧水量 評価区分	湧水量 評価区分	湧水量 評価区分	湧水量 評価区分	湧水量 評価区分				
G. 劣化	劣化 評価区分	劣化 評価区分	劣化 評価区分	劣化 評価区分	劣化 評価区分				



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→他の有効な部分の状況で評価



切羽10m区間で湧水量と水による劣化状態による評価 (劣化は現在および将来における可能性について判定する)

表-a 各観察項目の評価区分の点数

圧縮強度	岩質	評価区分					
		1	2	3	4	5	6
塊状	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		
割れ目の間隔	硬質岩	19	14	9	5	0	
	中硬質岩・軟質岩	24	18	12	8	0	
	中硬質岩	9	7	4	2	0	
	軟質岩	12	9	6	3	0	
割れ目の状況	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	

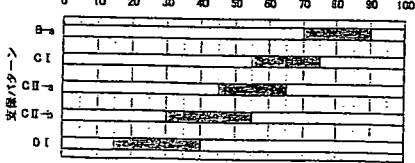
グループ 岩石グループ			
グループ	H (硬質岩)	M (中硬質岩)	L (軟質岩)
一軸圧縮強度	80N/mm ² 以上	20~80N/mm ²	20N/mm ² 未満
塊状岩盤	花崗岩	安山岩	凝灰岩
層状岩盤	中古生層砂岩	凝灰角礫岩	凝灰角礫岩
	(該当なし)	粘板岩	黒色片岩
		中古生層頁岩	泥岩

表-b 湧水量、劣化の調整点

劣化の評価区分	湧水量の評価区分			
	1	2	3	4
1	0	0	-5	-10
2	0	-6	-7	-10
3	-5	-7	-10	-15
4	-7	-10	-15	-20

切羽評価点 = (左肩評価点 + 天端評価点 × 2 + 右肩評価点) / 4

表-c 新切羽評価点



C II-a: 上半鋼アーチ支保工なし
C II-b: 上半鋼アーチ支保工あり(C II)

4. 事前評価結果との対比

3トンネルにおける支保パターン選定結果を実績と比較して図4に示した。事前設計では地山選定表に基づき地表からの弾性波探査結果のトンネル施工レベル付近の弾性波速度を基準にしてCⅠ～Bのパターンも選定されていたが、実際の切羽では良好な砂岩が連続しないこと、頁岩の割目は鏡肌が発達し肌落ちが生じて鋼アーチ支保工なしの施工では危険を伴うことから、DⅠ～CⅡでの施工区間が大半を占めた。

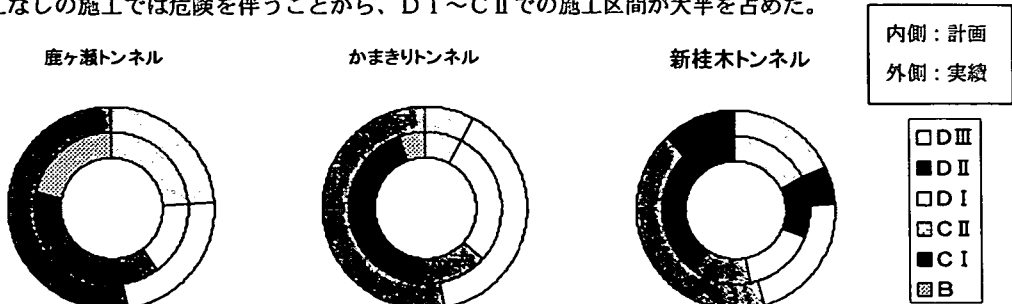


図-4 設計と施工パターンの対比

5. トンネルの変形量

3トンネルにおける事前の地山弾性波速度と変形量の関係を図-5に示した。変形量（天端沈下・内空変位）はおおむね15mm以下であるが、新鹿ヶ瀬トンネルで観察されたように切羽のほぼ全面の割目に粘土を咬む場合には20mm以上の変形があり、吹きつけコンクリートの亀裂やロックボルトベアリングプレートの変形が生じた。このような粘土層の把握には弾性波探査よりも電気探査による比抵抗分布解析が有効であった。5)

なお、図-3に示すように鏡肌が全面に発達し肌落ちを生じやすい切羽であっても、天端沈下、内空変位は15mm以下であり、鋼アーチ支保工や吹きつけコンクリートで肌落ちを抑制すればその後の変形はそれほど多くないことが伺える。

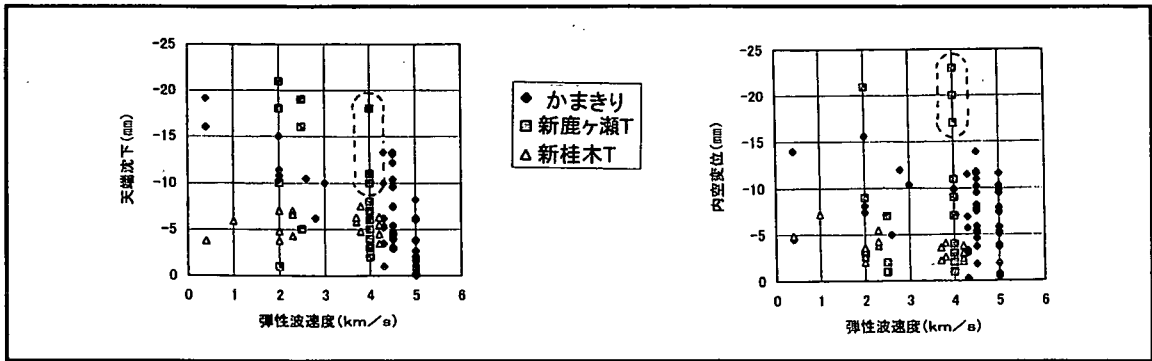
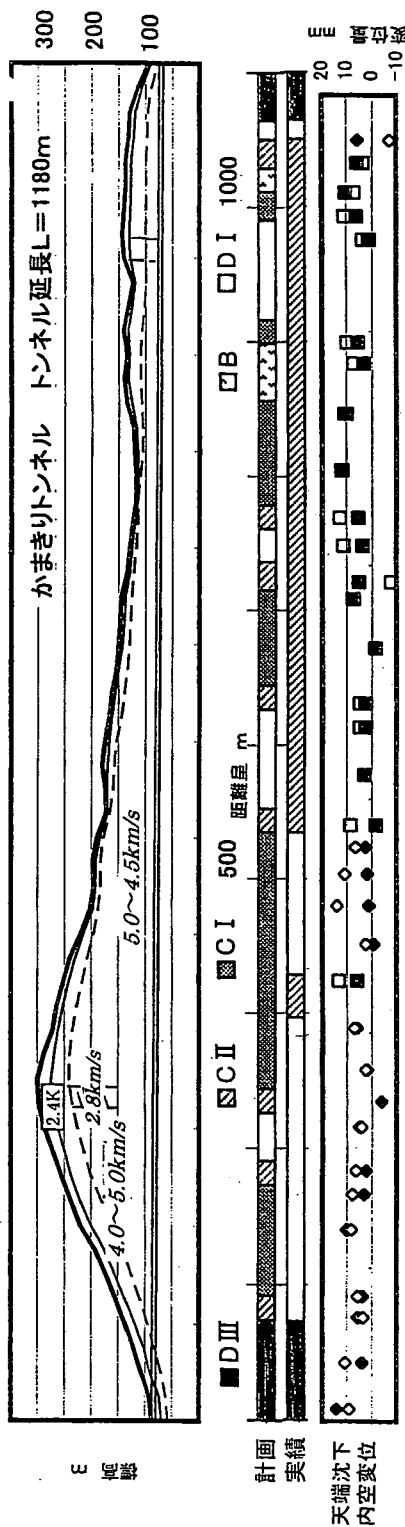


図5 切羽評価点と変形量(波線が割目に粘土挟む区間の変形量)

6. 事前評価の際の留意点

事前設計における地山評価の項目は弾性波速度、岩質、不連続面の間隔、不連続面の状態、水による影響およびコアの状態(RQD)等である。このうち、弾性波速度は当地のような砂岩頁岩が分布する地域では硬質塊状の砂岩層を伝播して、地山全体を良好なものとして判断しやすい。また、頁岩は地山内では割目が自重で密着して弾性波速度もある程度の値であるが、切羽を解放すると発破による緩み加わり鏡肌の部分で割目が開きやすい。このため、地山評価の際には弾性波速度より岩質や不連続面(割目)の間隔や状態に評価の力点を置く必要がある。



切羽スケッチ					
地質	砂岩・頁岩 (メランジエ)	頁岩・珪質頁岩	砂岩・頁岩	砂岩	
支保パターン	DI	DI ~ CII	CII	CII ~ CI※	
圧縮強度	(4~5) 7~14	(4~5) 7~14	(3~5) 14~22	(3~5) 14~22	
風化変質	(2~3) 7~15	(1~2) 15~22	(1~2) 15~22	(1) 22	
割目間隔	(5) 0	(4~5) 0~2	(4~5) 0~2	(3~5) 0~9	
割目状態	(4~5) 0~8	(3~5) 0~16	(2~4) 8~25	(1~3) 13~26	
湧水	(1~2)	(1~2)	(1~2)	(1)	
劣化	(1~2) 0~5	(1~2) 0~5	(1) 0	(1) 0	
評価点	14~32	24~52	37~57	43~65	
肌落ち	多い	あり	部分的に発生の場合あり	なし	
掘削ズリ	細片	こぶし大~細片	人頭大~こぶし大~細片	人頭大~こぶし大	
記事	頁岩は破碎され、鏡肌も多い。砂岩ブロックの抜け落ちや頁岩の剥離も多い。 ()は切羽観察の評価区分	割目が鏡肌であることが多く、肌落ちも発生するが、天端沈下、内空変位は10mm以下の場合が多い。	砂岩との境界部の頁岩が破碎されていることが多く、部分的な肌落ちを生じることがある。	岩片も硬質で割目間隔も広い。切羽全面砂岩の区間が連続すれば鋼アーチ支保工なしでも地山安定。 ※: 連続性に乏しく実際の施工なし	

図3 かまきりトンネルにおける代表的な切羽状況と評価結果

ちなみに、かまきりトンネルの地表からのボーリングコアを切羽観察と同じ評価点を付けたところ、コア1m当たり45～71点に対して該当区間の近接する切羽評価点が49～67点であった。切羽では応力解放や発破による影響で割目が増加することも予想されるが、トンネル施工レベル付近のコア判定を切羽評価点方式で評価しておくことも、設計と施工支保パターン乖離を少なくするために有効だと考えられる。

また、硬質な砂岩についてはトンネル直径に対する砂岩層の厚さとトンネルとの傾斜角によって切羽に出現する区間が大きく変わる。かまきりトンネルでは砂層の最大層厚がトンネル径と同じ10m程度、トンネルと砂岩層が交差する角度が30°程度であった。切羽で全面に出現した砂岩も徐々に右側に抜けていき、切羽全面に出現する区間が短かったことも、鋼アーチ支保工なしのC Iで施工できる区間が減少した理由であり、調査段階では以上の点に留意する必要がある。

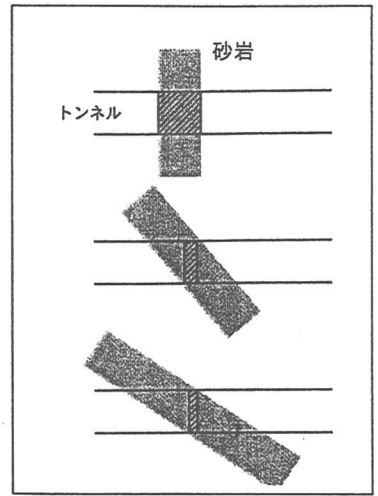


図-6 地層交差角と最大層厚

7. あとがき

頁岩砂岩の分布するトンネルでの設計上の留意点と観察時の着目点についてまとめた。この地層では砂岩と頁岩の強度差が大きい（砂岩が硬質で頁岩が軟質で破碎されている）ほど、砂岩が樽型～球状になることが知られている。かまきりトンネルの切羽でも球状の砂岩が分布する切羽があり、その周辺の頁岩はとくに破碎されて肌落ちが著しかった。今後、切羽で同様な砂岩が出現する場合には注意すべきである。

なお、切羽の観察項目のうち、亀裂の卓越方向による減点は今のところJHにおいて検討中であるが、今回の3トンネルでは明らかに高角度の鏡面に沿った岩片の剥離があったため、さらに資料を蓄積して適正な切羽評価を目指したい。

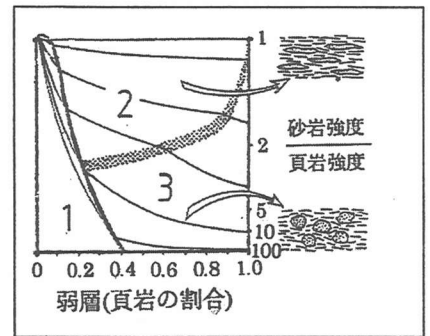


図-7 砂岩・頁岩強度比と砂岩形状の関係

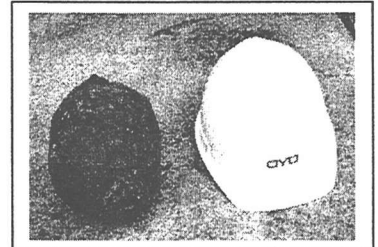


図-8 剥離の著しい区間に出現した球状砂岩

参考文献

- 1) 鈴木、紀州四万十帯団体研究グループ：紀伊半島四万十帯における堆積場の変遷、総合研究A「近畿地方を中心とする後期古生代～古第三紀の堆積盆の変遷」報告書、p62 1984
- 2) 日本道路公団：設計要領第三集（1）トンネル本体工（建設編）、p.70 1997.10
- 3) 吉岡、畑、道廣：トンネル支保とRMRに関する一考察、トンネルと地下、第30巻5号、p43-48, 1999.
- 4) 八木、三谷、赤木：新しい切羽評価手法の提案について、第23回日本道路会議一般論文集（B）、p200, 1999.11
- 5) 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、p83. 1999.11