

20. 岩盤分類の再評価 (その4)

-付加体地質を対象としたトンネル岩盤分類のあり方-

Review of Rock Mass Classification(PartIV)

- Consideration of rock classification in tunnel intended for accretionary complex -

○久野春彦 (電力中央研究所), 堀川滋雄 (サンコーコンサルタント), 小島芳之 (鉄道総合技術研究所), 佐野信夫 (日本道路公団), 永井誠二 (日本国土開発), 宮下国一郎 (清水建設)
: 岩盤分類再評価研究小委員会 WG2

Haruhiko Kuno, Shigeo Horikawa, Yoshiyuki Kojima, Nobuo Sano, Seiji Nagai,
Kuniichiro Miyashita : Research Group for Rock Mass Classification(WG2)

1.はじめに

付加体堆積物あるいは混在岩が分布する地域におけるトンネル施工では, 事前調査や設計段階と, 実際の施工時で岩盤の評価が1から2ランク程度低くなるケースが多く認められている。しかしながら付加体と記載されているものの中には, 比較的整然とした地層から構成される場所, 節理や断層が多く発達し破断している場所, あるいは異地性岩体を多く取り込み著しく変形している場所など, その岩相は様々である。そこで実際に施工された現場のデータを基に, 調査・設計時に実施した岩盤の評価と実際の施工結果における岩盤の評価の違いを, 付加体の岩相の違いから整理し, 付加体の岩盤評価の方法あるいはその考え方について議論する。

2.研究調査の手順

2.1 調査検討のための付加体の定義

ここではまず本論の検討を実施するにあたって取り扱う付加体とはどういうものを定義する。

付加体は, 海洋プレート上の堆積物と陸域から供給された海溝埋積堆積物が, 海洋プレートが沈み込むときに, 海溝付近ではぎ取り付加作用や底付け付加作用をうけて海溝の陸側斜面にくさび形の地質体として蓄積されたもののことをいい, 日本ではペルム紀・ジュラ紀から新第三紀前期の付加体堆積物が広く分布している¹⁾²⁾。また三郡変成岩類・領家変成岩類・三波川変成岩類・神居古潭変成岩類・日高変成岩類などの原岩も付加体堆積物からなるとされている¹⁾。付加体とはこのように地層の成因で区分されたものである。したがって三波川変成岩類なども付加体地質と解釈することも可能であるが, 本論では変成の度合いにより異なる岩盤への影響因子を取り除く目的で, 上述した変成岩類などの原岩分布域を除き, 付加作用により形成された堆積物 (主に秩父累帯南帯 (三宝山帯), 四万十帯の付加体堆積物分布域) を対象として検討した。

2.2 付加体区分

初めに, トンネルの施工実績に関する文献調査の結

果から, 付加体中に建設されたトンネル事例を18例抽出した (表-1)。次に各事例についてその記載から, 地層の破断の程度による分類 (Raymond, 1984 に基づく中江,2000)³⁾を地質学的な暫定的な分類基準として, 各トンネルが施工された地質を, その分類基準に則って地質学的に分類した。

ここで暫定的に用いている分類は, 地質学的に以下の α , β , γ , δ のように分類されているものである。それらの分類单元である β および γ あるいは δ のそれぞれの岩盤には, それぞれの地質が被った応力履歴の過程で形成された不連続面により, 異なった工学的な性質が認められる (図-1)。

α	β	γ	δ
砂岩・泥岩互層シーケンス	オフィオライトシーケンス		
整然ユニット	破断ユニット	分断ユニット	混在岩ユニット
成層構造が保持されている場合	成層構造が部分的に破断されている場合	成層構造が完全に分断され, 異地性の岩塊を含まない場合	成層構造が完全に分断され, 異地性の岩塊を含む場合
	地層の変形に伴う共役断層の発達。 褶曲に伴うせん断割れ目の形成。 →構造に支配された方向性を有する不連続面の形成	細粒の破断した基質 (泥質岩) 中にいろいろな種類からなる礫や岩塊を含む。 →泥質岩は鏡肌や油肌を有し, 剥離性に富む。また礫や岩塊と基質で強度・透水性など物理的性質が異なる。 →礫や岩塊を取り囲むように分布する泥質基質の大部分が不連続面と同様な性質。	

図-1 付加体の地質学的分類と工学的性質

(出典: Raymond, 1984 に基づく中江,2000 に加筆)

以下に各分類の地質学的特徴および工学的特徴を整理する。

① 整然ユニット (分類記号 α)

海洋プレート上の遠洋性堆積物や半遠洋性堆積物,

海山を構成する玄武岩・石灰岩や、陸域から供給される海溝埋積堆積物の層序や堆積関係、連続性を完全に保って分布しているもの

②破断ユニット(分類記号β)

堆積関係や連続性が部分的に失われているもので、砂岩がレンズ状に破断したり、層理面に直交する割れ目に沿ってずれて膨縮したレンズ状を呈していたりする場合などがある。工学的な性質としては、褶曲などの変形に伴い形成される、構造に支配された方向性を有する不連続面が発達するため、岩盤としての異方性が強くなる。

③分断ユニット(分類記号γ)

堆積関係や連続性が完全に欠如し著しく変形しているものであるが、異地性岩塊(玄武岩、石灰岩、チャートなど)を含まないもの。基質には劈開が認められ、砂岩は明瞭に分断して岩塊の大きさや定向性がない状態。全体が剪断を受けている状態。工学的な性質としては細粒の破断した基質は、それ自体が剪断により形成されたものであり、剥離性が強い。また内在する礫や岩塊と基質の物理的性質が大きく異なり、岩盤の強度や変形性は、基質の泥質岩の割合やその性状に左右される特徴を有する。

④混在岩ユニット(分類記号δ)

堆積関係や連続性が完全に欠如し変形しているもので、異地性岩塊を含むもの。性状は分断ユニットと同様。ただし異地性岩塊により変形の程度には強弱がある。工学的な性質は分断ユニットと同様である。

表-1 付加体中に建設されたトンネル事例
(抽出文献：トンネルと地下)

トンネル名	付加体タイプ分類			
	α	β	γ	δ
奄美大島毛陣トンネル	○	△		
久里浜田浦線 阿部倉トンネル		○	○	
近畿自動車道紀勢線 島田トンネル	○	○		
第3柴尾山トンネル		○		○
近鉄志摩線青峰トンネル	○	○		
近畿自動車道 木ノ下トンネル工事		○	○	
一般国道55号 大砂トンネル		○	○	
九州新幹線トンネル群	-	-	-	-
一般国道440号 地芳トンネル			○	○
松山自動車道 大頭トンネル	○			
第二東名高速道路 富士川トンネル	○			
北陸新幹線 歌トンネル				○
県道焼津・森線 庄司トンネル	○	○	○	
第二東名高速道路 静岡第二トンネル	○			
三浦縦貫道路 衣笠城址トンネル		○	○	
静岡県農道整備事業 薬師トンネル			○	
近畿自動車道紀勢線 高田山トンネル	○	○		
一般国道440号 地芳トンネル			○	○

△：一部に分布 -：トンネルにより異なる

2.3 文献調査による対象トンネルの抽出

抽出文献の中から、付加体堆積物が比較的広範囲に分布する地域として紀伊半島、四国南部および九州中南部を抽出し、かつ近年に大規模な工事が実施され多くのデータが収集された、九州南部地域を主な検討対象地域として選定した。同地域には、九州自動車道(JH)と九州新幹線(JR)が地域を南北に縦断し、かつ近接した位置関係に建設されていることから、これらの工事記録の詳細データを用いて、目的とする分析を実施

することとした。なおJR、JHともに今回の検討のために抽出したトンネルは、十分な土被りがあり、表層風化による岩盤の劣化の影響が及んでいないと判断される領域(深部)に掘削されているトンネルを用いることとした。

2.4 検討対象地域の地質概要

九州南部地域の地質は北側より、中・古生界に属する秩父累帯、中生界白亜系に属する四万十帯北帯、新生界古第三系～下部中新統に属する四万十帯南帯が帯状分布し、これらの地層や深成岩類を覆って、新第三系および第四系や噴出岩類が分布する。

秩父累帯は、臼杵-八代構造線を北限とし、仏像構造線を南限として東北東-西南西方向に帯状に分布する。四万十帯は主に白亜系に属する四万十帯北帯と主に古第三系に属する四万十帯南帯に区分され、四万十帯北帯は北限を仏像構造線を境に秩父累帯と接する。秩父累帯および四万十帯は九州東部では東北東-西南西方向に帯状に分布するが、西部地域では秩父累帯とともに南北方向に分布する。

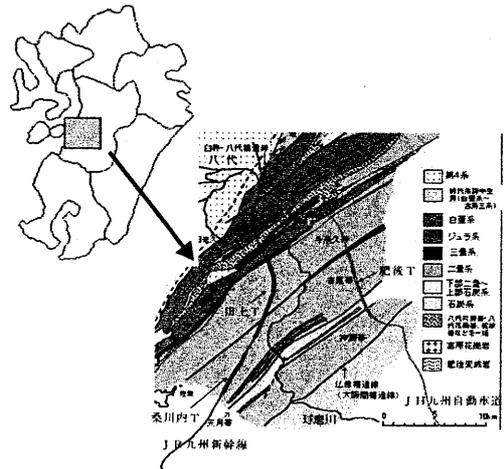


図-2 検討を実施した九州新幹線(田上T・桑川内T)および九州自動車道(肥後T)の通過位置および基盤の主な構造線と地質帯

(日本地方地質誌「九州地方」より抜粋された勘米良・松本「八代・球磨山地の地質略図」⁴⁾に加筆)

検討対象とした九州新幹線および九州自動車道のトンネルは八代以南の地域に位置し、経過地には九州新幹線では八代市八丁山北側斜面から芦北町田川川付近までの区間に秩父累帯が、出水市の櫛木川付近から川内市城上付近までの紫尾山地域に四万十帯北帯が基盤として分布する。また九州自動車道では同様に八代市八丁山北側斜面から山江村大河内付近までの区間に秩父累帯が、それ以南の人吉市西川内川付近に四万十帯北帯が基盤として分布する。なお、八代市八丁山付近から九州自動車道では坂本付近、九州新幹線では鶴喰付近までは黒瀬川構造帯が分布することから、本検討ではそれ以南の地域を対象とした。対象とした地域に分布する主な地質の層序表を表-2に示す。

表-2 対象地域の地質層序⁵⁾⁶⁾

地質時代		地層名	岩相など	
新生代	第四紀	沖積層	粘性土、細粒～粗粒砂質土	
		完新世	崖線堆積物	礫混じり粘性土
		更新世	洪積層	粘性土、玉石混じり砂礫
			段丘堆積物	粘土・砂・礫
			火山砕屑岩	安山岩質凝灰岩
	新第三紀	中新世	中鶴集塊岩	自破砕状溶岩・凝灰岩
			津奈木安山岩類	塊状安山岩
		湯ノ兒集塊岩	凝灰角礫岩	
		流紋岩		
		水俣火山砕屑岩		
中生代	白亜紀	宮地層	砂岩・礫岩主体	
		八代層	砂質泥岩・泥岩互層、礫岩・礫質砂岩	
		日奈久層	砂岩・泥岩互層を主体とし、流紋岩質凝灰岩を伴う。また稀に黒色泥質石灰岩レンズを伴う。	
		八竜山層	礫岩・砂岩・泥岩からなる浅海成層	
		川口層	礫質砂岩、砂岩・泥岩互層の浅海成層	
		坂口層	暗灰色泥岩を主とし、層状チャート・酸性凝灰岩、凝灰質泥岩をはさむ。オリストリスを伴う。	
	ジュラ紀	坂本層	礫岩・粗粒砂岩、細粒砂岩・泥岩の互層、泥岩などからなる。暗灰色の泥質凝灰岩レンズを伴う。砂岩および砂岩・泥岩互層からなる。	
		鶴喰層		
		熊瀬層	主に黒色泥岩・泥岩・砂岩の薄層からなる互層。酸性凝灰岩・珪質泥岩・チャートを伴う。	
	ジュラ紀～三疊紀	神崎層	灰白色石灰岩、層状チャート、中性～塩基性火山岩類・火砕岩類とチャート・石灰岩の不規則な互層。	
		小崎層	砂岩・泥岩・礫岩主体	
		吉尾層	チャート、珪質泥岩、泥岩からなる。オリストリスを伴う。	
		与奈久層	礫質な泥岩を主体とする。チャート・酸性凝灰岩・珪質泥岩を伴う。オリストリスを伴う。	
	三疊紀	エトノガス層	泥岩・砂岩の細互層、砂質泥岩・泥岩をはさむ成層した石灰質砂岩からなる。	
		田浦層	砂岩・泥岩互層	

3. 支保パターンの対比および設計・施工の考え方

対象としているJRの新幹線断面とJHの2車線トンネル断面とは、ほぼ同じ大きさ・規模と判断した。

地山等級の名称はJRとJHで呼称が異なるものの、両者の支保パターンを比較し、本論においては、便宜的にJHで使用している地山等級の名称に統一して議論することにした。JHの標準支保パターンの詳細を表-3に示す。また地山分類を表-4に示す。なお、九州自動車道は平成元年12月開通であることから、標準支保パターンおよび地山分類は旧分類(昭和60年版)による。

4. 施工実績による設計と施工における支保パターンの相違

九州自動車道のトンネルの施工実績を元に、施工前の調査段階での岩盤評価による支保パターンと、施工後の実績による支保パターンの比較を、三宝山帯の分布する領域から、被りが十分深く地表風化の影響の少ない500m以上のトンネルを5例選び、それぞれについてトンネル全体に対する地山分類の相違を比較した(図-3)。その結果、設計時の支保パターンの棒グラフと比較して、施工時の支保パターンの棒グラフはその分布が右側にシフトしている。このことは、実際の地山は設計時に想定した地山評価と比較して、不良であったことを示している。特にCIIの支保パターンを適用した部分が全体の半分程度を占めており、付加地質の特徴を示していると考えられる。

三宝山帯

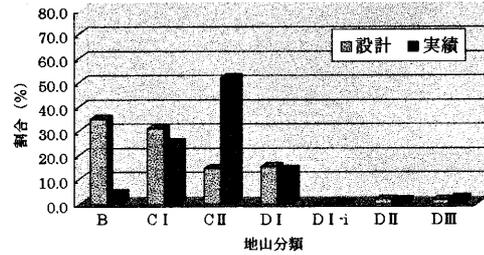


図-3 設計時と施工時の支保パターンの相違

次に、同様に三宝山帯の分布する地域に掘削されたトンネルの施工記録を用いて、設計時の支保パターンが実際にはどの支保パターンで適用されたかについて検討した。その結果を図-4に示す。設計時にBあるいはCIのように良好であると評価したものほど、実際の施工における地山評価は低い傾向が認められる。

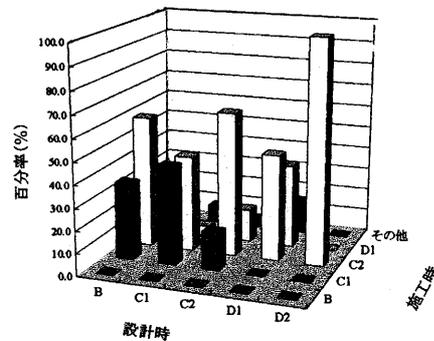


図-4 設計時と施工時の支保パターンの対比

次に付加地質の地質区分の中のβ区分とδ区分で同様の検討を実施した結果を図-5,6に示す。

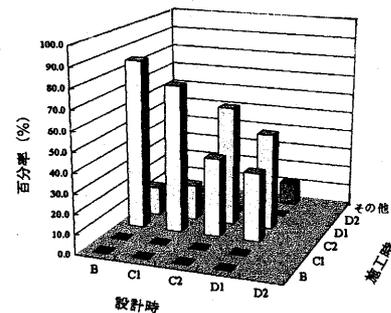


図-5 β区分の支保パターンの対比

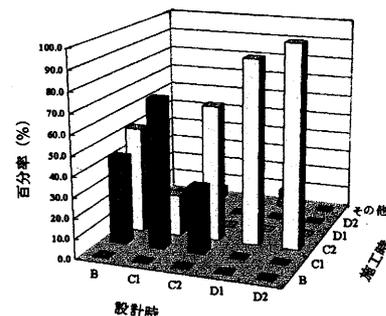


図-6 δ区分の支保パターンの対比

前述したように設計時地山区分では弾性波探査の結果と地表地質調査の結果がその重要な判断要素となっている。そこで弾性波探査結果に着目してそれぞれの地山評価の設計時と施工時の結果を比較した。その結果、β区分では設計時において、弾性波探査結果で高速度値が分布すると解析された地山で、実際よりも良好な岩盤が分布すると予測する傾向が認められた。それに対してδ区分では、低速度値が分布すると解析された地山で、実際よりも悪い岩盤が分布することを想定する傾向が認められた。これらの傾向は、付加体を構成している地質やその構造によるもの、あるいは調査段階におけるボーリングコアから予想する地山状況の判断の難しさから生じるものと考えられる。このことは、付加体地質の岩盤評価の問題点を明らかにするために、α～δのような地質区分による検討が必要であり、今後の岩盤分類評価基準のヒントの一つとなるものと考えられる。

5.まとめと今後の課題

以上に付加体地質の分布する領域における設計時の地山分類（設計支保パターン）と実際の施工時の地山分類（施工支保パターン）の比較の一例を示した。この例にもあるように付加体地質が分布する領域では、地山弾性波探査の速度がトンネル通過位置の地盤物性を的確に評価していない場合があり、これは付加体地質の特徴である複雑な地質構造に起因していると考え

られる。

トンネルの地山評価では、主に構成している地質が層状かあるいは塊状かということと、弾性波速度により地山分類がなされているのが現状である。しかしながら付加体地質のような複雑な地質構造の場合、従来の層状岩盤あるいは塊状岩盤という概念では区分が難しく、また弾性波探査による速度の解釈も地表から地下深部に向かい速度が速くなるという概念では正確な速度構造を反映できない。よってそのような地質構造ゆえの岩盤分類手法の確立が必要であり、そのためには現状の把握による評価の問題点の整理が重要である。

引用文献

- 1) 日本地質学会地質基準委員会編著 地質基準, 共立出版
- 2) 地学団体研究会編, 新版地学事典, 平凡社
- 3) 中江訓 (2000): 付加複合体の区分法と付加体地質学における層序概念の有効性, 地質学論集, no. 55, pp.1-15
- 4) 熊本県高等学校教育研究会_地学 HP
- 5) 唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆: 日本の地質9「九州地方」, 共立出版
- 6) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構, 鉄道建設本部九州新幹線建設局 (2004): 九州新幹線(新八代・西鹿兒島間) 地質図
- 7) 日本道路公団(1985): 設計要領第三集 (トンネル)

表-3 JH九州自動車道の標準支保パターン

地山等級	掘削工法	標準1掘削長(m)	ロックボルト				吹き付けコンクリート厚さ(cm)	鋼アーチ支保工			覆工厚(cm)		変形余裕(cm)		
			長さ(m)	施工間隔(m)		上半サイズ		下半サイズ	建込間隔(m)	アーチ・側壁	インバート	上半部	下半部	インバート	
				周方向	延長方向										
B	補助ベンチ付き全断面工法または上半工法	2.0	3.0	1.5	2.0	5	-	-	-	30	0	0	0	0	
C I		1.5	3.0	1.5	1.5	10	-	-	-	30	0	0	0	0	
C II		1.2	3.0	1.5	1.2	10	H125	-	1.2	30	0	0	0	0	
D I		1.0	4.0	1.2	1.0	15	H125	H125	1.0	30	45	0	0	0	
D II		<1.0	4.0	1.2	<1.0	20	H150	H150	<1.0	30	50	10	0	0	

地山等級 A,E については地山条件を考慮して、別途支保パターンを設計する

表-4 JH九州自動車道の地山分類

地山等級	弾性波速度 (Vp km/s)	計画・設計段階の判断基準		施工段階での判断基準	
		ボーリングコア		地質状態 (掘削面の状態)	
		コアの状態	RQD (%)	観察	
A	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0	コア採取率は概ね90%以上で完全な性状を呈し、ほぼ20cm以上の長さを有する。細片はほとんど含まない状態のもの	90以上	・岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し、割れ目がほとんどなく連続して安定している。 ・水による劣化はない。	観察 亀裂間隔 100~ 50cm以上
B		コアの採取率は、概ね70%以上で大岩片状~短柱状~棒状を示し、コアの長さが概ね10~20cmであるが、5cm前後のものも見られる	90~70	・岩質は新鮮であるが層状をなす岩で層理あるいは片理が認められ、その面に沿って割れやすいもの。 ・水による劣化は少ない。	70~30cm
C I		コア採取率は、40~70%で亀裂が多く、また砕け易いため小さくなり、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの、原形復元困難~不可能	70~10	・風化作用を受けて岩石に変質を起こしているもので、岩質が多少やわらかくなっている。 ・岩質は比較的堅硬であっても亀裂が細かく入っていて、その間隙には薄い粘土が挟在するもの。 ・層理の顕著な岩で非常に薄く剥がれるもの。 ・幅の狭い小断層をはさむもの。	50cm 程度以下
D I		コア採取率は低下し、概ね40%以下となることが多く、コアは細片状となるが、時には角礫混じり砂状あるいは粘土状となるもの。	10程度以下	・著しい風化作用を受け、一部には既に土壌化した部分が見られ、中に多少硬い部分が残っている程度に軟質で脆いもの。 ・割れ目が極めて多いもので亀裂以外のいかなる部分からでも容易に削ることができるもの。 ・粘土化のあまり進んでいない破砕帯で、粘土土と細片状の岩片の混合した状態になって、幾分硬い所も含まれているもの。	-
D II					