

(仮称) 阪本トンネルの掘削時における支保パターンの決定について

五條土木事務所 工務第二課 岡本 真輝

1. はじめに

(仮称) 阪本トンネルは一般国道 168 号のバイパス道路整備事業である阪本工区において、山岳工法により施工している構造物である。山岳工法では現地で切羽を確認し、採用する支保パターンを決定する必要がある、過小な支保パターンの採用は、施工中の安全が確保できず、トンネルの安定性も確保できない。一方で過大な支保パターンの採用は不経済となる。本論文では、(仮称) 阪本トンネルの掘削時における、支保パターンの決定に際し、実施している取組について紹介する。

2. 事業概要

一般国道 168 号阪本工区 (図 1) は、五條市大塔町小代から阪本まで 1.4km のバイパス道路である。現道は、幅員狭隘で線形不良のため、車両のすれ違いが困難な状況となっており、土砂崩れなどの災害時や異常気象時の通行規制の際は、広域的な迂回を強いられる。

本工区の整備により、円滑で安全な通行を確保するとともに、近年、発生が危惧されている南海トラフ地震等の大規模災害時には、周辺地域の孤立を防ぐだけでなく、紀伊半島沿岸部までの広域的な物資輸送や救援・救急活動のルートとして「紀伊半島アンカールート」を形成する地域高規格道路「五條新宮道路」の一部となり、「命の道」としての役割を担うこととなる。

本トンネルの概要は、次の通りである (図 2)。

- ・トンネル延長：L=899m (山岳工法)
- ・道路等級：第 3 種第 2 級 ・設計速度：60km/h
- ・内空断面：A=56.45m² ・幅員：W=8.5m

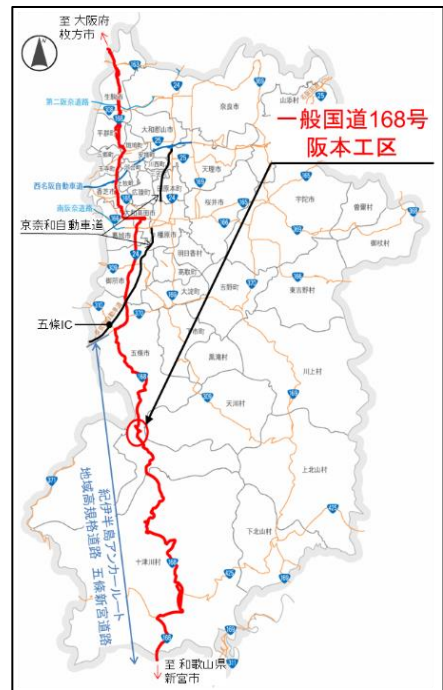


図 1 位置図

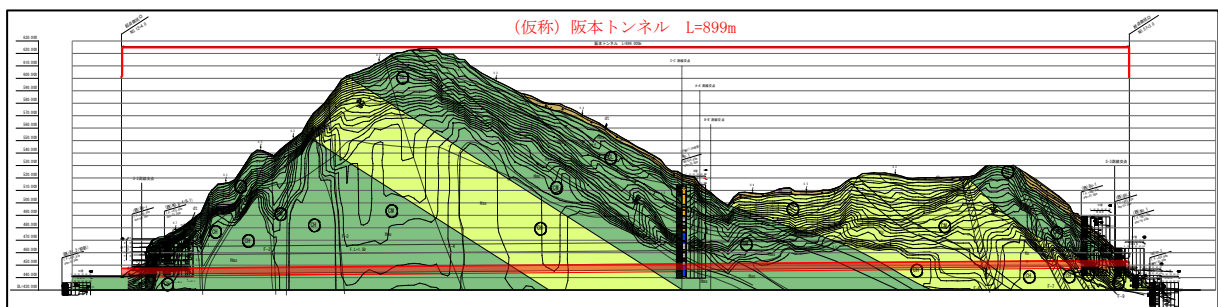


図 2 設計時地質縦断図

3. 設計時の支保パターンの決定について

本トンネルの支保パターンは、坑口付近を除いて、概ね以下に示す3パターンである(表1)。安定した良好な地山から順にC I、C II-b、D I-bが適用される。設計時においては、坑口付近での限られたボーリング調査と、地表面から行われる弾性波探査および地表踏査の結果から支保パターンを決定している。

表1 主な支保パターン

支保パターン	標準1掘進長(m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付厚(cm)	覆工厚		概算直接工事費(/m)
		長さ(m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔(m)		アーチ・側壁(cm)	インバート(cm)	
			周方向(m)	延長方向(m)								
C I	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	-	-	-	10	30	-	92万円
C II-b	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	H-125	-	1.2	10	30	-	115万円
D I-b	1.0	4.0	1.2	1.0	上・下半	H-125	H-125	1.0	15	30	45	176万円

4. 施工時の支保パターンの決定について

施工時においては、受発注者を委員とし、建設コンサルタントを委員補助とした岩判定委員会において、「トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)(平成18年9月試行案の改訂版)平成28年7月 近畿地方整備局道路部道路工事課」(以下、「マニュアル」とする)に基づき、支保パターンを決定している。

マニュアルでは、切羽や素掘り面の状態、圧縮強度、風化変質の程度、割れ目の頻度、状態、形態、湧水の程度や水による劣化の程度の9項目について切羽を観察した上で切羽評価点を決定し、その切羽評価点から出席者の協議の上、地山等級および採用する支保パターンを決定する。

本トンネルの岩質においては、地山等級のC IとC IIで切羽評価点の差が小さく、また、掘削による応力解放により岩目に沿って強度の低下がみられる(風化変質において区分2)ことから、フローチャートによる地山等級選定により、地山等級はC IIと決定される場合が多い(図3)。

しかし、マニュアルに基づく切羽評価は、観察した1断面の評価であり、前方を掘削するにあたり、その結果をそのまま採用することは得策ではない。施工中の安全、トンネルの安定性を確保しつつ、経済的な支保パターンを採用する必要がある。

次章以降では、支保パターンの決定に際し、本トンネル工事において実施している取組について紹介する。

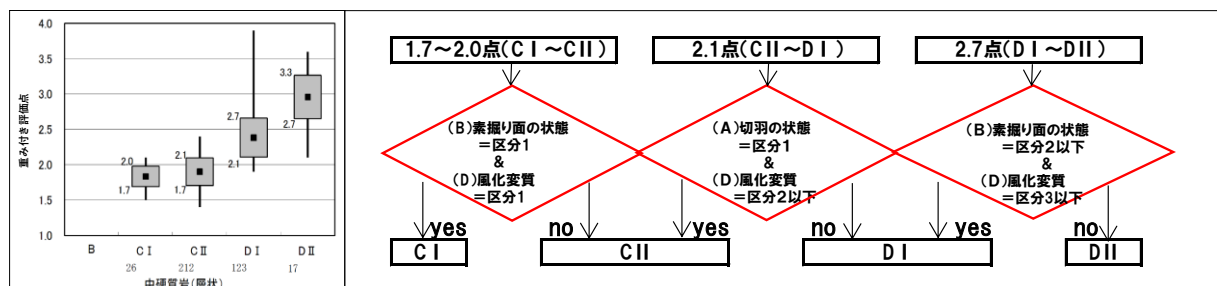


図3 切羽評価点およびフローチャートによる地山等級選定(中硬質岩・層状)

5. 支保パターン決定にあたり実施している取組

① シュミットロックハンマー

切羽の岩盤の圧縮強度を測定するため、シュミットロックハンマーを用いた。岩判定委員会時の検査用ハンマーでの打撃は、委員により力の入れ具合に差が出る。切羽にある割れ目の影響で、測定される圧縮強度に一定のばらつきは生じるが、圧縮強度を数値化することができる。

② 爆薬・雷管使用量の記録

安定した良好な地山であれば使用する爆薬や雷管の量が多くなる傾向にある。データを集積することで、地山の岩質の判断材料としている。

③ 前方探査ボーリング

切羽評価は、その観察した1断面が評価対象であるが、前方の2, 30mの掘削において採用する支保パターンを決定するには、設計時に想定された断層はあるのか、今より地山は良くなるのか、といった情報が有益になる。前方探査ボーリングにより、削孔エネルギーを算出することで、前方の地山の状態を確認することができる。

④ AIによる切羽評価

岩判定委員会や日々の切羽観察において、従来、切羽評価は人の目によって行われているが、圧縮強度や湧水状況など、写真だけでは評価が難しいが、切羽写真をAI処理することにより、時間をかけずに評価ができるようになると期待される。

⑤ 遠隔参加可能な岩判定委員会

本トンネルの岩判定委員会では、奈良県五條土木事務所と施工業者のほかに、委員として県庁道路建設課が、委員補助として建設コンサルタント3社が参加している。岩判定委員会の開催にあたっては、多方面からの視点を取り入れる機会を確保するため、遠隔参加を可能とした。

6. 各取組の効果

シュミットロックハンマーで測定した圧縮強度や、爆薬・雷管の使用量などは、評価する切羽までの地山におけるデータしか取得できず、切羽の前方で採用する支保パターンをこれだけで決定するのは得策ではない。

このため、今後掘削する地山に関しての情報として、前方探査ボーリングによる削孔エネルギーのデータを用いた。本トンネルでは比較的良好な地山と悪い地山の層が頻繁に入れ替わるため、削孔エネルギーの違いは顕著でない。しかし、前方探査ボーリングのデータを活用することにより、岩判定委員会時に切羽観察した際の地山と比較し、今後良好な地山である傾向にあるか、悪化する傾向にあるかを把握できるため、岩判定委員会時に支保パターンの決定の参考となっている（表2）。また、地山の状態が変化する測点の目安も判断することができるため、岩判定委員会の開催時期を調整することが可能となった。

近年の技術革新によるAIを用いた切羽評価では、切羽写真により、マニュアルの評価項目ごとに区分が出力され、切羽評価点が算出される。本トンネルでは、掘削当初から人の目だけでなく、AIによる切羽評価も行ってきたが、掘削が進み、実績を積むことで、AIに

表 2 岩判定委員会における各取組データの利用による支保パターンの決定例

	第13回岩判定委員会	第15回岩判定委員会	第19回岩判定委員会
発注時支保パターン	C I	C I	補助工法付きD I-b
マニュアルによる地山等級	D I	C II	C II
シュミットロックハンマー	C I相当	C I相当	C II-b ~ C I相当
爆薬使用量	C II-b ~ C I相当	D I-b ~ C I相当	D I-b ~ C I相当
雷管使用量	D I-b ~ C II-b 相当	D I-b ~ C II-b 相当	D I-b ~ C I相当
前方探査ボーリング	地山は切羽地点より 良くなる傾向	地山は切羽地点より良くなり、 その状態が比較的長く続く見込み	地山は切羽地点より 悪くならない傾向
採用した支保パターン	C II-b	C I	C II-b

よる切羽評価点は教師データである人の目による切羽評価点に近づいている（図 4）。

これまで紹介した取組により、支保パターンを決定するための様々なデータが得られるが、それらを活用し、議論する岩判定委員会の開催が重要である。本トンネルでは、現地参加できない委員や委員補助は、Web 会議システムを活用し、意見を交わしている（図 5）。これまでの岩判定委員会 25 回中 10 回は、遠隔地と現場事務所とを結び、開催している。

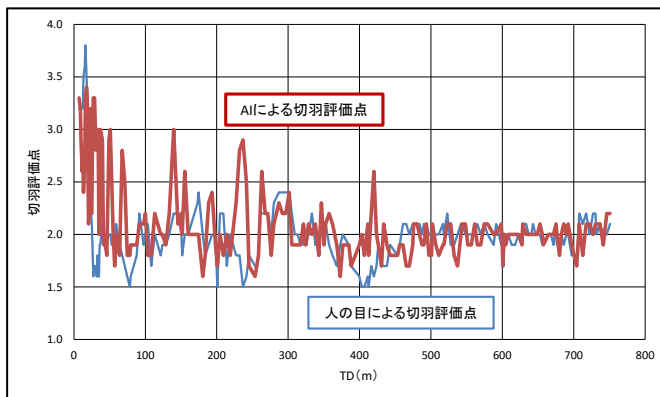


図 4 AI、人の目による切羽評価点の推移



図 5 岩判定委員会の実施状況

7. おわりに

本論文では、(仮称) 阪本トンネルの施工時において、支保パターンを決定するにあたり実施している取組について紹介した。トンネル工事の設計時には、ボーリング調査や弾性波探査を行い、地山状況を想定して支保パターンを決定しているが、実際の地山状況は工事において掘削しなければわからない。安全に、かつ経済的にトンネルを掘削するためには、切羽を観察し、適切な支保パターンをその都度決定する必要がある。本トンネルで実施した取組は、AI による切羽評価など一部はまだ試行的であるが、今後、新天辻工区やその他のトンネル工事で、広く使われる可能性がある。本論文が今後のトンネル工事施工の一助になれば幸いである。

最後に本トンネル工事を安全に施工いただいている施工業者の奥村・岩田地崎特定建設工事共同企業体の皆様、岩判定委員会にて助言をいただいている委員補助の皆様、また工事に協力いただいている皆様に感謝の意を申し上げる。