

新幹線トンネルにおける効果的な支保工選定への展開

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○中嶋 啓太 直江 久永
秋田 勝次 萩原 秀樹

1. はじめに

新幹線トンネルにおいては、しばしば押し出し性地山等の地質不良区間に遭遇し、大きな内空変位が発生するケースが散見されるが、切羽および内空変位の状況に応じて支保パターンを適切にランクアップすることにより対応している。また、より押し出しの強い膨張性地山においては、多重支保工や鋼管中詰モルタル支保工、また、初期高強度吹付コンクリート等を使用している。山岳工法による新幹線トンネルについては、表-1 に示すもののうち I_{SP} および特 SP を押し出し性地山での標準的な支保パターンとして選択することとしている。この中で、 I_{SP} から特 SP にランクアップする際には掘削断面積が 5% 程度増加し、吹付コンクリートの厚さが 5cm 増加することによって、吹付数量が 25% 程度増加することから、サイクルタイムが遅延し、工事費およびずり処理費等が増大する。特に近年、自然由来重金属の処理問題がクローズアップされている背景も踏まえ、全体的な発生土量を極力抑えたい実情がある。また、重厚な鋼製支保工を取り扱うことなどから、施工性の低下も生じており、課題の 1 つでもある。そこで、これらの課題解決のため、道路トンネル等で標準的に採用されて掘削断面のスリム化やサイクルタイムの短縮が図られている高規格支保工に着目した。そして、高規格支保工を新幹線トンネルに適用し、効果的な支保工選定の 1 つとして展開することを目的に支保能力および経済性の検討を行い、九州新幹線西九州ルートの俵坂トンネル西工区において試験施工を実施した。このうち、本稿では設計段階の検討結果を報告する。

2. 高規格支保工

近年報告されている高規格支保パターンとしては、高規格鋼製支保工(降伏強度 440N/mm^2 程度)、高強度吹付コンクリート(設計基準強度 36N/mm^2 程度)、高規格ロックボルト(耐力 170kN 程度)を使用したものであり、山岳工法による新幹線トンネルの支保部材と比較して、強度が何れも 1.5~2.0 倍程度となっている。なお、新幹線トンネルにおいては、早期強度の発現により地山の緩みを抑制し結果として変形量および吹付コンクリートの応力を抑制することを目的として初期高強度吹付コンクリートを単体で使用した事例や鋼管を使用する等の高強度支保工はあるが、上記の高規格支保工をパターン化して採用した事例はない。

そこで次項以降では、高規格支保工を新幹線トンネルに展開する場合の支保能力、経済性について基礎的な検討を行う。

3. 支保内圧算定式と経済比較

高規格支保工を適用するにあたり、 I_{SP} と特 SP の中間程度の支保能力および経済性を有し、可能な限り I_{SP} に近い施工性を有している必要がある。すなわち、支保能力を一定程度担保しつつ、特 SP と比較して掘削断面および鋼製支保工のスリム化やサイクルタイムの短縮が図られる支保パターンである必要がある。支保能力については、既往の研究¹⁾より、支保内圧算定式(式(1))を用いて比較を行うこととした。この支保内圧算定式は、実際のトンネルの支保内圧を正確に算出できるものではないが、支保内圧を同一の指標で数量化し、比較できる長所を有する¹⁾ことから、本検討で採用することとした。

$$P_i = P_{sc} + P_{ss} + P_{sb} \quad (1) \quad P_{sc} = 1/2 \times \sigma_{cc} [1 - (r_{il} - t_c)^2 / r_i^2] \quad (2)$$

$$P_{ss} = (\sigma_{ss} \times A_s) / (S \times r_{i2}) \quad (3) \quad P_{sb} = T_{bf} / \{(s_c \times s_l) \times 10^6\} \quad (4)$$

ここに、 P_i : 支保内圧(MPa)、 P_{sc} : 吹付コンクリートの支保内圧(MPa)、 P_{ss} : 鋼製支保工の支保内圧(MPa)、 P_{sb} : ロックボルトの支保内圧(MPa)、 σ_{cc} : 吹付コンクリートの圧縮強度(N/mm^2)、 r_{il} : 掘削半径(m)、 t_c : 吹付コンクリートの厚さ(m)、 σ_{ss} : 鋼製支保工の降伏強度(kN/m^2)、 A_s : 鋼製支保工の断面積(m^2)、 S : 鋼製支保工の設置間

キーワード 新幹線トンネル, 高規格支保工, 高規格支保パターン, 支保内圧算定式
連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1(横浜アイランドタワー) TEL 045-222-9075

表-1 支保パターンの例（俵坂トンネルでの実績）

	I_{NP}	$I_{SP}^{※2}$	特 $SP^{※2}$
掘削断面積 $※1$	78.96 m^2	80.80 m^2	85.23 m^2
鋼製支保工	H125 (SS400)	H150 (SS400)	H200 (SS400)
吹付コンクリート (分割練り混ぜ方式)	最小厚 15cm (18N/mm 2)	最小厚 20cm (18N/mm 2)	最小厚 25cm (18N/mm 2)
ロックボルト	3m×14 本	3m×6 本 4m×16 本	3m×6 本 4m×16 本

※1：インバート部含む，※2：インバートストラットにて早期閉合する

隔(m)， r_{i2} ：鋼製支保工半径(m)， T_{bf} ：ロックボルトの引抜耐力(N)， S_c ：ロックボルトの周方向間隔(m)， S_l ：ロックボルトの延長方向間隔(m)である．なお，新幹線トンネルは，インバート部を含めた掘削断面の縦横比が 1.0 程度であり，ほぼ円形に近いことから，上記支保内圧算定式に適合するものとする．

高規格支保工を使用した検討対象の支保パターン(以下，検討パターン)は，図-1 のように，鋼製支保工の施工性を考慮して I_{SP} と同程度の HH154 を選定した．吹付コンクリートは分割練り混ぜ方式による最小厚 15cm($\sigma_{ck}=36N/mm^2$)の高品質吹付コンクリートとし，地山不良区間での使用を想定して九州新幹線西九州ルート の俵坂トンネル西工区で採用している支保パターンを参考に，インバート部分については鋼製ストラットにて早期閉合するものとした．一方，ロックボルトについては，同工区では，側方変位が天端沈下よりも極端に卓越する特徴があり，より長い 4m を側方に密に配置し，天端部は 3m としていることから，検討パターンについても同一配置とした．なお，既往の施工例²⁾によると，ロックボルトも高耐力化して本数を減ずることで，ロックボルトによる支保内圧を同一としながらもサイクルタイムの短縮を図っているが，今回の検討においては，不均質な不良地山に対してもロックボルトの効果を確実にするために打設本数を一定程度維持する必要があることなどの理由から，ロックボルトの材料，打設本数および配置は変更しないこととした．

表-1 に示した I_{SP} および特 SP に加えて，検討パターンについて支保内圧および経済性の比較を行った結果を表-2 に示す．支保内圧については，検討パターンは支保材料を高強度化したことで，特 SP をも上回り，最も大きくなった．しかしながら，鋼製支保工の軸剛性(ヤング率 E_s ×断面積 A_s)は従来の H200 の方が大きく，不均質な不良地山に適用する際はこの点を十分検討する必要がある．一方，経済性については，検討パターンは高規格材料のため材料単価が高くなっている一方で， I_{SP} および特 SP よりも掘削断面積や吹付コンクリート厚が小さくなっていることから，結果として同程度またはコストダウンが図られている．

4. まとめ

以上より， I_{SP} にて対応できないレベルの不良地山であっても，これまでのように重厚な特 SP にすぐにランクアップすることをせずとも，ほぼ同程度の経済性となる高規格支保工を使用するパターンに変更し対応することが可能となることが示された．しかしながら，地山状況によっては鋼製支保工の軸剛性が小さいことやロックボルトは必ずしも減らすことが得策ではないことから，地山状況を適切に判断する必要がある．今後は，実トンネルにおいて試験施工を実施し，高規格支保工の施工性が確認された後，新幹線トンネルにおける支保工の選定メニューの 1 つとして検討したいと考えている．

参考文献

1) 高橋浩，進士正人，中川浩二：事例に基づく押出し性地山におけるトンネルの設計・施工法の提案，土木学会論文集 No.777／VI-65，pp.83-96，2004.12

2) 清水雅之，中野清人，小川澄，中西昭友：高速道路二車線トンネルにおける高規格支保パターンの適用性検討，トンネル工学報告集第 19 巻，pp.97-105，2009.11

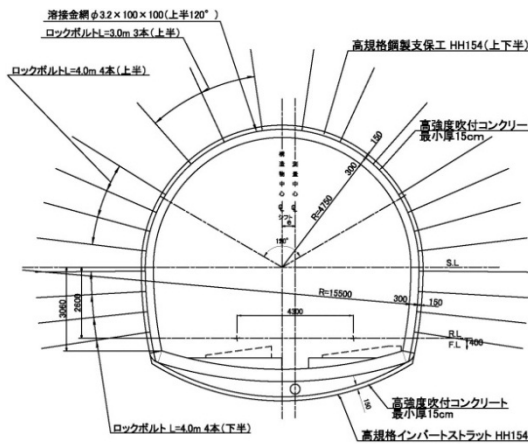


図-1 検討パターン

表-2 支保内圧および経済比較

	I_{SP}	検討パターン	特 SP
支保内圧比率	1.00	1.59	1.28
経済性比率	1.00	1.00	1.10
鋼製支保工の 軸剛性比率	1.00 (H150)	1.12 (HH154)	1.60 (H200)