

擾乱帯における多重支保工法の適用とその検証

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 竹津 英二
 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 小川 淳
 大林・大豊・松村・田中特定建設工事共同企業体 正会員 神谷 信毅

1. はじめに

北陸新幹線飯山トンネルは、長野県飯山市から新潟県板倉町に至る全長約 22.2km の長大トンネルで、現在 6 工区に分割し施工中である。このうち新潟県側出口の板倉工区（延長 3,660m）では坑口より約 2.8km 間の地質は第四紀の砂岩及び礫岩で、残りの長野方約 800m 区間は新第三紀の泥岩区間となっている。この泥岩区間は断層破碎帯が連続し、非常に乱されており（以下、擾乱帯）、地山の強度が低く、140～180m と比較的大きな土被りであるため、変位の大きい膨圧区間となっている。施工法は多重支保工法を採用し、ミニベンチカット工法による掘削で断面の早期閉合を図ったが、予想以上の膨圧と一次支保工の耐力不足により、吹付けコンクリートの圧縮破壊、鋼製支保工の変形が発生した。一次支保工の内空変位は最大で 500mm 以上に達し、直ちに二次支保工を施工したものの変位の収束には至らず、最終的にはインバート部の吹付けコンクリートや鋼製支保工に変状が発生した。このため、一次支保工の鋼製支保工を高規格（SS540）に、吹付けコンクリートを初期高強度吹付けコンクリート（設計基準強度 36N/mm²）にそれぞれ変更し一次支保工耐力を向上させるとともに、二次支保工の早期設置を図ることとした。

本稿では、擾乱帯における多重支保工法の施工事例を紹介するとともに、その効果を検証する。

2. 地質状況

対象区間である擾乱帯の地質は、新第三紀の寺泊層および椎谷層であり、泥岩を主体とし、砂岩・凝灰岩が挟在する。このうち、起点方の地質は特に破碎された状態で、方向が一様でない亀裂を多数有した軟質化した泥岩であり、鏡肌が発達している。掘削時の切羽はほぼ全域で自立せず、肌落ち・崩落が著しい状況であった。図-1 は当該区間の岩石試験の結果である。強度特性を示す指標は、一軸圧縮強度、変形係数、地山強度比とも低い値を示した。

3. 施工状況

当該区間は、当初ショートベンチカットにより掘削を行っていた。しかし、地質状況の悪化に伴って変位が増大したため、上半仮インバート等を施工し変位の収束を図ったが、収束傾向が得られず、特に脚部の沈下は最大 1,400mm を超えた。このため、ミニベンチカットに移行し、断面の早期閉合を図るとともに、多重支保工法¹⁾²⁾を採用した。ここで多重支保工法とは、坑壁の変位をある程度許容することにより一次支保工の健全性が損なわれることを見越し、その内側に新たに二次支保工を建て込むことにより、支保全体の健全性を確保する施工法である。この理念にもとづき、当初は表-1 に示す支保パターン A で施工を行った。ところが、一次支保工設置後、15m 掘削した時点で内空変位が 300mm を超え、変位も収束する傾向がなかった。また、天端、側壁部ともに吹付けコンクリートの剥落が生じ、特に天端付近では鋼製支保工の座屈が

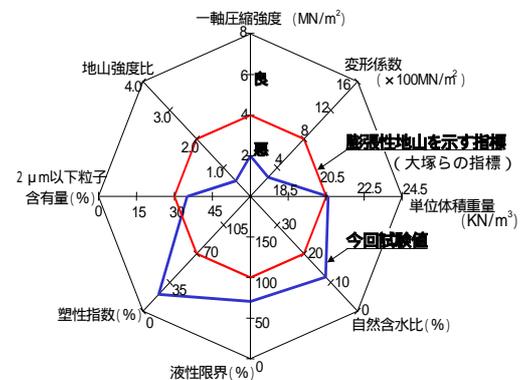


図-1 岩石試験結果

表-1 多重支保パターン対比表

項	目	支保パターンA	支保パターンB
		200H (SS400)	200H (SS540)
一次支保工	鋼製支保工	200H (SS400)	200H (SS540)
	吹付けコンクリート	吹付け厚25cm 補強繊維 18N/mm ²	吹付け厚25cm 補強繊維 36N/mm ² (初期高強度)
	ロックボルト	4.0m×10本 4.5m×16本	4.0m×10本 4.5m×16本
二次支保工	鋼製支保工	125H (SS400)	150H (SS400)
	吹付けコンクリート	吹付け厚12.5cm 18N/mm ²	吹付け厚15cm 18N/mm ²
	鋼製ストラット	-	150H (SS400)
インバート	吹付けコンクリート	吹付け厚25cm 18N/mm ²	吹付け厚25cm 36N/mm ² (初期高強度)
	吹付けコンクリート	-	吹付け厚15cm 18N/mm ²

キーワード： 多重支保工法 / 擾乱帯 / 断層破碎帯

連絡先： 〒943-0835 新潟県上越市大和 6-3-33 TEL 025-522-8270 FAX025-522-8275

進行し、破断に至る箇所が相次いだ。この時点で二次支保工を施工したが、変位は収束しなかった。これらの状況は、初期土圧が大き過ぎたため、一次支保工が破壊に至り、支保機能を有しなくなったため、二次支保工の施工によって安定状態を得られなかったものと考えられる。このことを踏まえ、当該区間ではまず、一次支保工耐力を向上させることが必要と考えた。対策として、初期高強度吹付けコンクリート、高耐力鋼製支保工による支保パターンB（表-1、図-2）を採用することとした。また、一次支保工の破壊・大変形が生じた後では、二次支保工で安定を図ることが困難と判断し、破壊に至る前の可能な限り早期に二次支保工を施工することとした。結果として、上半切羽の進行が2D(1D=10m)以内で二次支保工を施工することが望ましいとの結論を得た。これらの対策の結果、内空変位は200mm前後で収束傾向を示すようになった（図-3）。また、二次支保工の変状は少なくなり、破壊に至るような状況は見られなくなった。

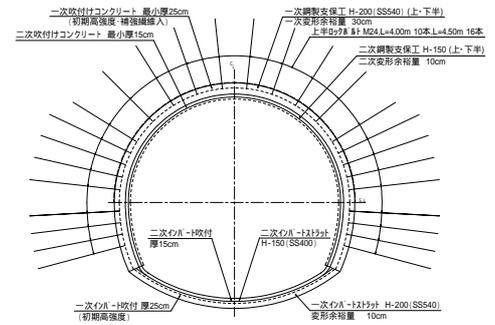


図-2 高耐力支保パターン

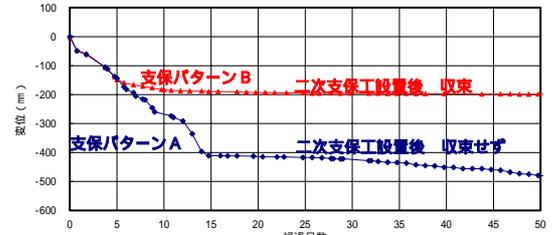
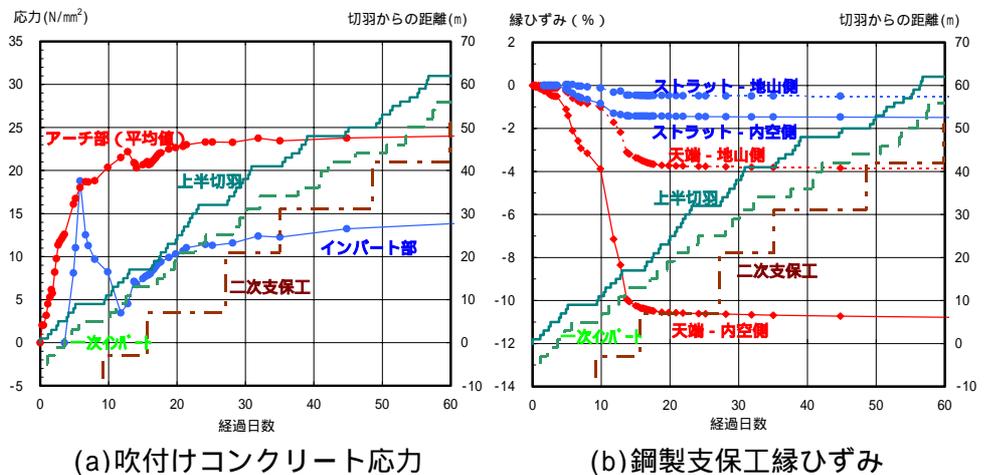


図-3 内空変位計測結果の一例

4. B計測による検証

一次支保工の高耐力化と二次支保工設置時期の早期化により、変位量を抑制し、変状を回避することが可能となったが、その効果を検証するため、支保の応力状態についてB計測を行った。図-4は一次支保工の吹付けコンクリート応力と鋼製支保工の縁ひずみの経時変化を表したものである。吹付けコンクリートについては断面内のすべての測点において一次支保工設置後、早期に圧縮応力が増大し、ある時点で圧縮力による損傷が生じて応力が減少している。しかしながら、二次支保工を設置した後、一次支保工の吹付けコンクリート応力は再度上昇することが分かった。鋼製支保工については、天端部およびインバート部は施工直後から縁ひずみが進行し、降伏状態となったが、二次支保工の設置とともにひずみの進行が抑制されている。これらのことから、一次支保工が破壊・大変形に至る前の早期に二次支保工を施工することは、支保全体の耐荷力向上に加え、一次支保工の支保機能回復にも効果を発揮していることが分かる。



(a)吹付けコンクリート応力

(b)鋼製支保工縁ひずみ

図-4 一次支保工B計測結果

以上から、膨圧が極端に大きい擾乱帯における多重支保工法の適用について以下の知見を得た。一次支保工の高耐力化と二次支保工設置時期の早期化は、内空断面を保持し、支保機能の健全性を確保しながら掘削を進める上で効果的な方法である。B計測結果より、一次支保工が破壊・大変形に至る前の早期に二次支保工を施工することは、支保全体の耐荷力向上に加え、一次支保工の支保機能回復にも効果を発揮していることが分かった。

5. まとめ

以上から、膨圧が極端に大きい擾乱帯における多重支保工法の適用について以下の知見を得た。

一次支保工の高耐力化と二次支保工設置時期の早期化は、内空断面を保持し、支保機能の健全性を確保しながら掘削を進める上で効果的な方法である。

B計測結果より、一次支保工が破壊・大変形に至る前の早期に二次支保工を施工することは、支保全体の耐荷力向上に加え、一次支保工の支保機能回復にも効果を発揮していることが分かった。

参考文献

- 1) 北川他：縫い返し効果を取った設計施工法（多重支保工法）の提案、トンネル工学研究論文報告集第12巻、pp.125-130、2002.11
- 2) 竹津・小島：膨張性地山における多重支保工法の適用、土木学会第58回年次学術講演会 -021、2003.9