

脆弱地山トンネルにおける超高強度吹付けコンクリートの実現場適用

安藤・間 正会員 ○谷口 翔
安藤・間 正会員 湯本 健寛
安藤・間 正会員 永井 亮真
安藤・間 正会員 池村 幹生

1. はじめに

当社は、脆弱地山に掘削される山岳トンネルの安全確保を目的として、設計基準強度 54N/mm^2 の超高強度吹付けコンクリートを開発し、国土交通省中部地方整備局発注の平成30年度三遠南信池島トンネル本坑工事に適用した。本工事は中央構造線近傍の脆弱な地山を貫く山岳トンネルで、高規格鋼製支保工および高耐力ロックボルトを組み合わせた二重支保工を採用している。この二重支保工の吹付けコンクリートに、超高強度吹付けコンクリートを適用した。本報ではその概要について報告する。

2. 適用現場の概要

2.1 地質概要

図-1に地質縦断図を示す。本工事は、長野県飯田市南信濃八重河内から静岡県浜松市天竜区水窪町奥領家に至る全長4,998mの片側2車線の道路トンネル工事のうち、静岡県側工区のL=2,144mを施工するものである。当該工区の地質は主に領家変成岩類が分布し、切羽には泥質変成岩、砂質変成岩、珪質変成岩、細粒マイロナイトが地質構造的応力によって混在した複雑な岩相が出現する。泥質変成岩と細粒マイロナイトは剥離性に富み、切羽掘削時に割れ目が開口

して肌落ちを生じる。一方、砂質変成岩と珪質変成岩は比較的硬質で地山内部では割れ目が密着しており、機械による掘削は困難であるため発破方式により掘削を行っている。

2.2 超高強度吹付けコンクリートの適用経緯

本工事は、最大土被り約600mの大土被りのトンネル工事であることに加え、上記の断層運動の影響を受けた複雑な地質が全線に渡って出現する。このため、設計段階から特殊パターンであるEパターンが計画されており、高強度吹付けコンクリート (36N/mm^2)、高規格鋼製支保工、および高耐力ロックボルト (290 kN 以上) の高強度支保部材が採用されている。

令和5年3月31日時点でトンネル掘削はTD.2,087mまで到達し、二重支保工を採用したEd I-a-Fパターンで施工を進めている。当該区間では、一次支保工にはロックボルトの変状や吹付けコンクリートの微細なひび割れが見られるものの、二次支保工に変状は発生しておらず、支保パターンが現在の地山状況に適合していると考えられた。一方で、支保部材の応力測定結果から、吹付けコンクリートの発生応力は設計基準強度を超過していないものの、許

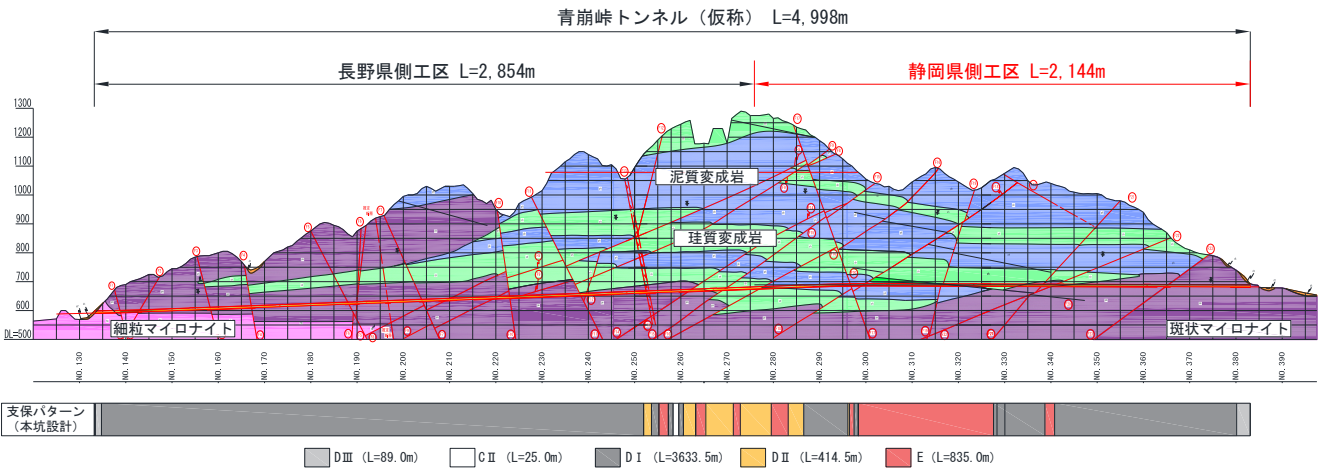


図-1 地質縦断図

キーワード 超高強度吹付けコンクリート、二重支保工、脆弱地山、山岳トンネル
連絡先 〒107-7360 東京都港区東新橋1-9-1 株式会社安藤・間 TEL03-3575-6001

容値である 18 N/mm^2 を超過していることが判明した．このため、支保耐力の余力が小さく、今後の断層破砕帯が予想される区間で土圧が増大した場合に支保耐力の不足が懸念された．以上のことから、支保耐力をさらに高めて支保工の変状を防止する目的として、超高強度吹付けコンクリートを適用した．

3. 超高強度吹付けコンクリートの配合設計

Ed I -a-F 区間における支保部材の応力状態を確認した結果、二次支保工を施工するまでの一次支保工の軸力分担率は $82 : 18$ （吹付け：鋼製支保工）と吹付けコンクリートの負担が非常に大きくなっているが、二次支保工施工後は一次支保と二次支保ともに概ね $60 : 40$ （吹付け：鋼製支保工）となっている．一方で、吹付けコンクリートの発生応力は二次支保工施工前後とも許容値を超過する結果となっている．以上を踏まえて、超高強度吹付けコンクリートの設計基準強度を以下の通り設定した．

①初期強度 (σ_1) : 現状でも吹付けコンクリートの軸力負担が 80% 以上となっており、現行配合以上に立ち上がり強度が大きくなると吹付けコンクリートの軸力負担がさらに大きくなると想定された．このため、初期強度については現行配合と同等程度の 10N/mm^2 とした．

②早期強度 (σ_7) : 二次支保工施工までは一次支保工の吹付けコンクリートの軸力負担が大きく、また、これまでの吹付けコンクリートの変状はほとんどが切羽から約 1D 後方（材齢 7 日程度）の天端付近で発生していることから、早期強度 (σ_7) は現行配合の 1.5 倍程度を目標強度とした．

③長期強度 (σ_{28}) : 現状の吹付けコンクリートの応力状態が許容値内となることを目安として、現行配合の設計基準強度の 1.5 倍程度となる 54N/mm^2 を目標強度とした．

表-1 に超高強度吹付けコンクリートの配合基準を示す．配合設計にあたっては、当社が保有する「大容量・低リバウンド吹付けコンクリートシステム」における配合設計方法をもとに配合を設定した．これにより、従来と同等程度の施工性を確保するとともに強度を大幅に高めることを可能とした．なお、急結剤にはデンカ株式会社により新たに開発された新型の液体急結剤および粉体助剤を使用した．

表-1 配合基準

単位セメント量 (kg/m^3)	水セメント比 (%)	最大 骨材寸法 (mm)	圧縮強度 (N/mm^2)		
			3 時間	1 日	28 日
600 以上	30～35	15	(2.0)	10.0	54.0

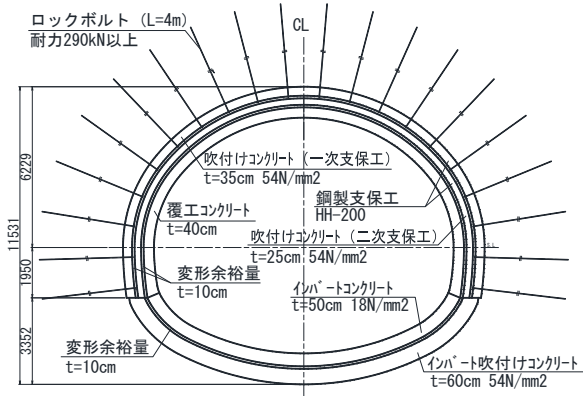


図-2 支保パターン図 (Ed I (HH) -a-F)

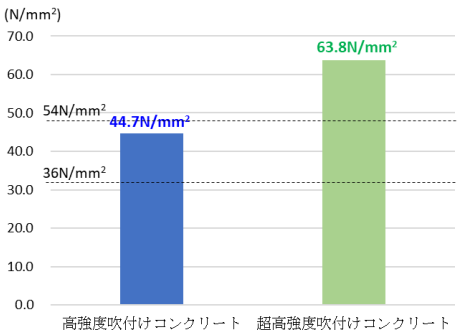


図-3 一軸圧縮強度の結果 (σ_{28})

4. 適用結果

図-2 に超高強度吹付けコンクリートを適用した支保パターン図を示す．実施工において、コンクリートの実吐出量は $18\text{m}^3/\text{hr}$ 程度で、リバウンド率は 16% 程度であり、従来と比較して施工性を落とすことなく施工できることを確認した．また、一軸圧縮強度についても、 σ_1 が 14.2N/mm^2 で現行配合と同等程度で、 σ_7 が 47.1N/mm^2 、 σ_{28} が 63.8N/mm^2 と現行配合の 1.5 倍程度の強度を安定して確保できている（図-3）．超高強度吹付けコンクリートの適用により、吹付けコンクリートやロックボルトの変状の発生を防止できている．

5. おわりに

超高強度吹付けコンクリート適用区間の A 計測と支保部材の応力計測については現在も継続中であり、今後、計測結果を含めた当該区間の施工実績の詳細について報告を行う予定である．