

膨張性地山に対する繊維補強トンネル覆工の適用

大成建設(株)北信越支店朝日温海 11 号トンネル作業所 正会員 ○板垣 賢
大成建設(株)本社土木本部土木技術部トンネル技術室 正会員 須藤 敏明

1. 概要

朝日温海道路 11 号トンネルは、新潟県から青森県を南北に結ぶ日本海沿岸東北自動車道のうち、未開通区間である新潟県と山形県の県境付近に位置する延長 2,201m のトンネルであり、朝日温海道路 11 号トンネル工事は、そのうち南側の 925m のトンネル掘削他を施工する工事である。掘削対象地山は新第三期中新世の泥岩が主体であり、トンネル掘削ずりや調査ボーリングコアの分析の結果、地山には膨張性粘土鉱物のスメクタイトが含まれており、膨圧発生の可能性が非常に大きいと判定された。

そこでこの膨張性地山に対する長期的なトンネル覆工構造の安定性確保を目的として、DIIIおよびDIIパターン区間において繊維補強覆工を採用した。

2. 繊維補強覆工の構造性能評価

通常、DIIIおよびDIIパターンでは単鉄筋で補強した覆工が標準仕様となっているが、繊維補強は単鉄筋補強と比較して下記の構造的なメリットがある。

- ① 単鉄筋補強のかぶり部はひび割れ抵抗性が小さいが、繊維補強では表面部分でもひび割れ抵抗性が大きく、ひび割れを進展させない。
- ② 単鉄筋補強においては負曲げに対して引張鉄筋が有効に機能しないが、繊維補強では均一に分散した繊維が正負双方の曲げに対し有効に機能する。

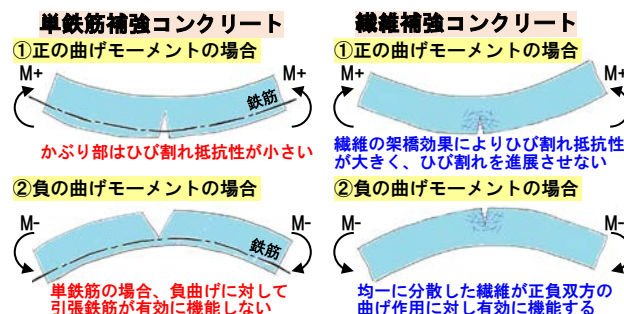


図2 繊維補強の構造的メリット

繊維が正負両方の曲げに対し有効に機能する。

- ③ 繊維補強は鋼材の腐食に起因する経時的な構造性能の低下がない。
 - ④ 繊維補強はコンクリート片の剥離剥落を防止できる。
- 膨張性地山においてはトンネル完成後、膨圧が後荷として覆工に作用する懸念があるため、膨圧に起因する曲げひび割れや圧ざの発生による覆工片の剥離剥落に対し、上記メリットを有する繊維補強覆工の適用は構造的に有効な対策となる。

3. 繊維補強覆工の仕様検討

繊維補強覆工の採用にあたっては、標準仕様である単鉄筋補強覆工との構造性能の比較により、その仕様を決定した。具体的には、①使用限界状態における単鉄筋補強と繊維補強の MN 曲線（曲げ—軸力関係曲線）の比較、②終局限界状態における単鉄筋補強

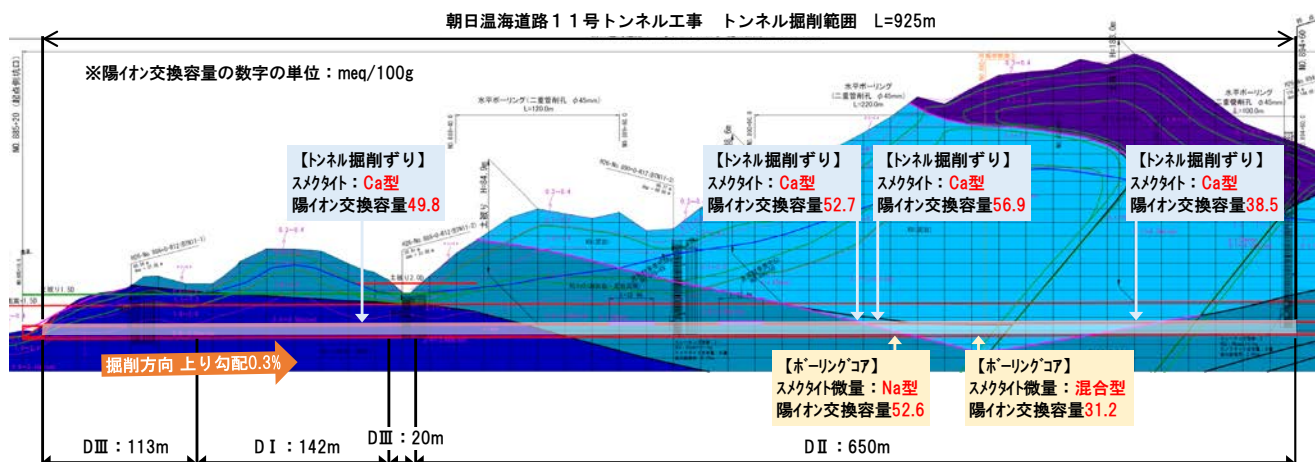


図1 朝日温海道路 11 号トンネル縦断図と岩石の膨張性分析結果

キーワード 膨張性地山, 覆工, 繊維補強

連絡先 〒959-3905 新潟県村上市堀之内 128-1 朝日温海 11 号トンネル作業所 TEL 0254-75-5890

と繊維補強の MN 曲線の比較を行うことにより、繊維補強覆工のコンクリート強度・繊維の種類・繊維の混入量を決定した。各限界状態における要求性能は図3、図4中に示すとおりである。繊維補強覆工の MN 曲線算定の際に必要な繊維による引張力負担効果(引張軟化曲線)は、高速道路会社(NEXCO)のトンネル工事における繊維補強覆工の曲げ靱性試験の規格値から逆算して求めた。検討の結果、繊維補強覆工の仕様は表1に示すとおりとした。

図3、図4の MN 曲線比較結果より、使用限界状態
表1 繊維補強覆工の仕様

項目	仕様
コンクリート強度	30N/mm ²
覆工厚	DⅡ：400mm, DⅢ：450mm ※当初設計(単鉄筋補強)と同じ
繊維種類	ポリプロピレン繊維(ハルチップ JK)
繊維混入量	2.73kg/m ³ (0.3vol%)

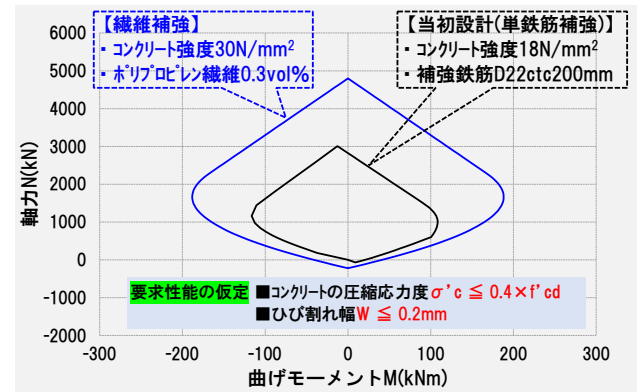


図3 使用限界状態 MN 曲線比較 (DⅡ)

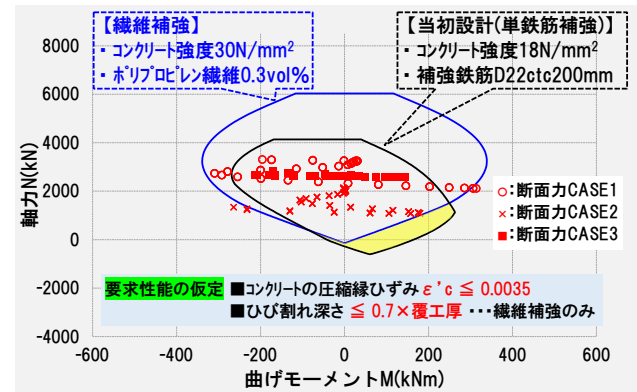


図4 終局限界状態 MN 曲線比較 (DⅡ)

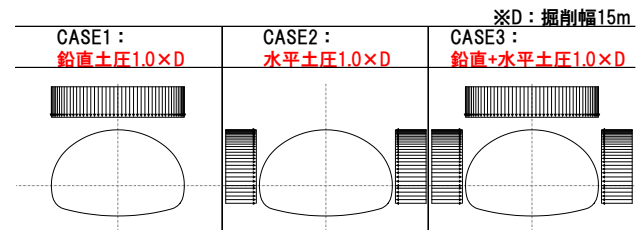


図5 終局限界状態における断面力試算ケース

態においては繊維補強覆工の MN 曲線が単鉄筋補強覆工のそれよりも大きく、構造的に優れている。終局限界状態 MN 曲線の一部(図4中の黄色着色部)において繊維補強覆工の耐力が単鉄筋補強覆工の耐力より劣る領域が有るが、荷重状態を複数ケース想定(図5)した骨組構造解析により求めた断面力をプロットした結果、当該領域付近にプロットは無く、(あくまで想定した荷重状態においてではあるが)構造上問題とならないことを確認した。

4. 施工状況

2023 年 3 月末現在、延長約 370m の繊維補強覆工の打設を完了しており、残り約 500m を 2023 年 10 月までに完了予定である。実際の施工においては、前述の構造面に加えて下記のメリットが得られている。

- ・アーチ部補強鉄筋の組立が無くなることによる防水シートの損傷リスクの低減
- ・アーチ部補強鉄筋の組立(高所作業)が無くなることによる安全上のリスクの低減
- ・高強度化(セメント量増)および繊維混入に伴う流動性確保によるワーカビリティの向上

5. まとめ

朝日温海道路 1 1 号トンネル工事では、膨張性地山における後荷対策として通常の単鉄筋補強に替えて繊維補強覆工を採用した。過去に単鉄筋補強を繊維補強に全面的に変更した事例は少ないことから、今後の維持管理段階においては注意深くモニタリングを行っていく必要があるが、繊維補強覆工は膨圧作用に対する構造的なメリットに加え、品質・安全・施工性の面でもメリットを有しており、同様の膨張性地山に対する一対策案として有効であると考える。



写真1 繊維補強覆工施工完了区間

参考文献

1) 菊地浩貴, 日下敦, 砂金伸治, 佐々木亨, 巽義知: 山岳トンネルにおける覆工の耐荷性能の評価手法の提案, トンネル工学報告集第 32 巻 pp. 1-15