

変位未収束対策における繊維補強コンクリート覆工の設計手法に関する検討

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○井浦 智実, 丸山 修

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員 岡野 法之, 舟橋 孝仁, 小島 芳之

株式会社 レールウェイエンジニアリング 正会員 阿部 敏夫

1. はじめに

膨張性地山等を対象とする山岳トンネルにおいては、覆工コンクリートの打設前までに坑内変位が収束せず、覆工コンクリートの打設後に残留変位に伴う荷重が作用する場合がある。このような場合、覆工に将来的に作用する荷重を想定し、力学的な機能を付加させる対応が実施されており、RC 構造や繊維補強コンクリート（以降、FRC と称す）を採用することが一般的となっている。

近年では、整備新幹線トンネルの新設工事においても FRC が採用される事例が増加している。これまで、変位未収束対策として覆工に力学的な機能を付加させる場合には、主に鋼繊維の採用が中心であったが、完成後の発錆等の問題があるため、最近では有機系のポリプロピレン等を材料とした非鋼繊維の採用事例が急増している。非鋼繊維は発錆の問題がなく、鋼繊維と比較し安価であることから、筆者らは、その耐荷特性を模型実験や数値解析によって評価し、覆工補強への適用を拡大していくための検討を進めてきた^{1),2)}。

本稿では、変位未収束区間の覆工補強に FRC を採用する場合を対象とし、覆工設計において、非鋼繊維、鋼繊維それぞれの耐荷特性³⁾の差を考慮した覆工の設計手法について検討を行ったので報告する。

2. 設計フローの概要

筆者らが考える変位未収束対策における覆工の設計フローを図 1 に示す。また、残留変位量の推定に必要な坑内 A 計測結果と収束変位量の考え方を図 2 に示す。

まず、坑内 A 計測結果から、インバート掘削後切羽 2D (D: トンネル掘削幅) 時点を基準に、クリーブ関数等による近似式によってフィッティングを行い、最適な近似曲線により変位収束の有無の確認と収束変位量を予測する。その収束変位量と覆工打設予定時期の変位量の差が、いわゆる残留変位量と位置付けられる。

次に、坑内 A 計測結果ならびに残留変位量から、支保工の効果を含む地山の等価弾性係数 E_r と設計荷重（残留鉛直荷重 σ_{vh} 、残留水平荷重 σ_{hd} ）を決定する。その際、一般的には有限要素法による順解析あるいは逆解析が適用される。

その後、骨組構造解析によって覆工の断面力を算定し、M-N 性能曲線を用いた設計断面耐力による照査を実施する。骨組構造解析のモデルを図 3 に示す。

3. 照査の考え方

照査については、限界ひび割れ幅を考慮した設計断面耐力による使用限界状態⁴⁾に対して行うものとする。たとえば、整備新幹線トンネルにおいては、水密性が損なわれ長期耐久性が失われる状態のひび割れ幅の目安として

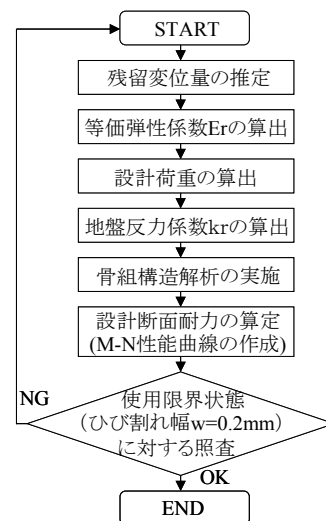


図 1 覆工の設計フローの概要

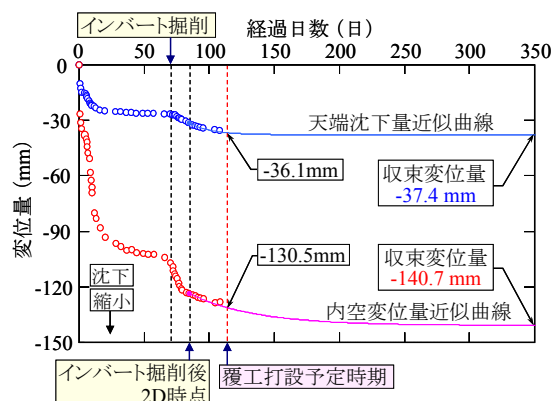


図 2 坑内 A 計測結果と収束変位量の考え方

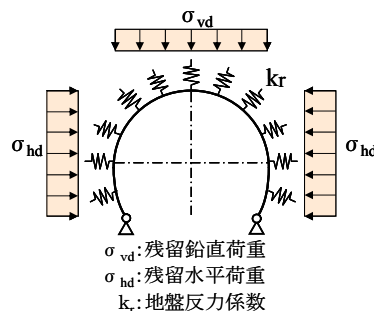


図 3 骨組構造解析のモデル

0.2mm という値が示されている。

設計断面耐力を算定する際、非鋼繊維と鋼繊維の耐荷特性の差を考慮するため、整備新幹線トンネルで実施された試験データを元に算出した設計曲げ引張強度³⁾を用いる方法について検討を行った。その繊維混入率と設計曲げ引張強度の関係を図4に示す。また、設計曲げ引張強度を考慮した場合の設計断面耐力線の例を図5に示す。図中には、限界ひび割れ幅として0.2mmを考慮した場合の耐力線も併せて示す。このように、各々の耐荷特性の差を定量的に考慮することで、変位未収束対策のように特に曲げモーメントが卓越する低軸力状態において、無筋、非鋼繊維、鋼繊維の耐力性能の差別化を図ることでき、覆工設計の合理化を図ることが可能となる。図6に段階的な照査の考え方を示す。

4. ノモグラムを活用した簡易設計

整備新幹線のように、トンネル断面形状が標準的に設定されるようなケースでは、覆工補強の仕様を設計する際に逐一骨組構造解析による断面力の照査を実施しなくとも、より簡易に設計を実施できる可能性がある。たとえば、地山の等価弾性係数、覆工に作用する残留鉛直荷重および残留水平荷重をパラメータとして、覆工補強の仕様ごとの適用可能範囲を明確にすることで、図7に示すようなノモグラムを作成する。これは、地山の等価弾性係数 $E_r=300\text{MPa}$ の条件における一例であるが、このようなノモグラムを実際に残留変位が問題となる地山条件の範囲($E_r=50\text{MPa}\sim 300\text{MPa}$ 程度)で数種類作成しておけば、現場から得られる情報をもとに、より簡易かつ迅速に覆工補強の仕様を選定することが可能となる。

5. おわりに

本稿では、これまでに実施したFRCを適用した覆工の耐荷特性の評価結果に基づき、変位未収束区間の覆工補強にFRCを採用する場合を対象とし、覆工設計において、非鋼繊維、鋼繊維の耐荷特性の差を反映させた覆工設計手法について検討を行った。また、覆工補強の仕様を簡易かつ迅速に選定できるノモグラムの適用可能性についても示した。今後、これらの基準化を進め、整備新幹線トンネルの新設工事への展開を図りたいと考える。なお、FRCの現場試験データの収集と設計曲げ引張強度の評価の深度化、ノモグラムの整備および精度の検証等が今後の課題であると考ええる。

【参考文献】

- 1) 岡野他: 大型覆工模型実験による繊維補強コンクリート覆工の耐荷特性の把握, トンネル工学研究報告集, Vol.18, pp.143-148, 2008.
- 2) 岡野他: 地盤反力の有無に着目した繊維補強覆工コンクリートの耐荷特性の把握, トンネル工学研究報告集, Vol.19, pp.193-198, 2009.
- 3) 舟橋他: 変位未収束対策における繊維補強コンクリート覆工の設計曲げ引張強度に関する検討, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, 2011.(投稿中)
- 4) (社)日本鉄鋼連盟: 鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編[第2版], 2002.

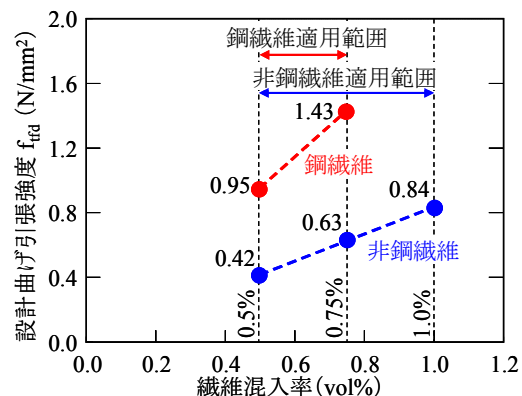


図4 繊維混入率と設計曲げ引張強度³⁾

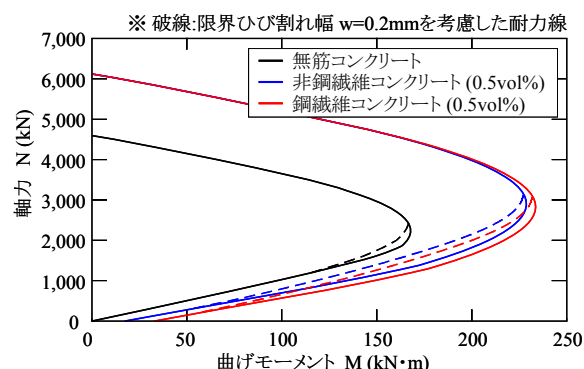


図5 設計断面耐力線の例

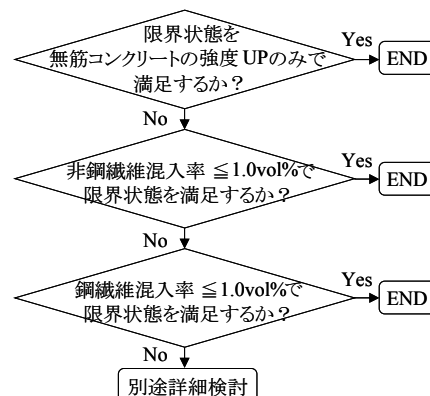


図6 段階的な照査の考え方

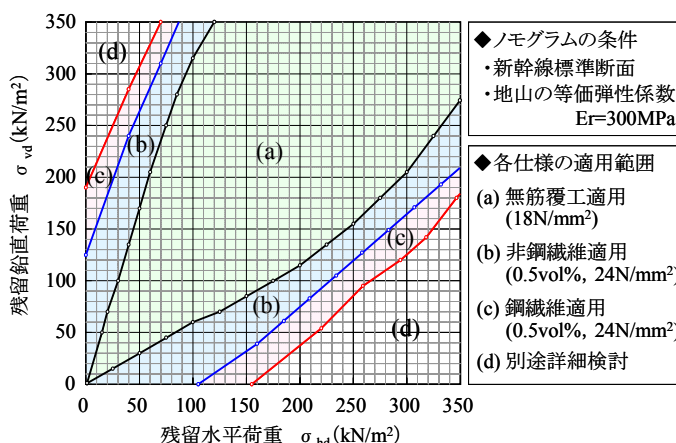


図7 覆工の簡易設計に用いるノモグラムの例