

SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究（その 6）

ECL 覆工の設計フローの検討

清水建設 正会員 ○杉山 博一
 清水建設 フェロー会員 後藤 茂
 東京都立大学大学院 正会員 西村 和夫

1. はじめに

筆者らは高流動鋼繊維補強コンクリート（高流動 SFRC）を用いた ECL トンネルの施工方法に着目した合理的な覆工断面力算定法^{1),2)}、およびプレス圧による周辺地盤の支持メカニズムについて検討してきた^{3),4)}。本報では、高流動 SFRC を用いた ECL トンネルの覆工設計方法に関する研究を総括し、設計フローについて検討した。

2. 覆工設計の概略フロー

図-1 は ECL 覆工設計時の概略フローであり、参考文献^{1),2)}で示した断面力計算法を基本とし、限界状態設計法に則ったフローを示す。

最初に地盤条件、トンネル条件等を決定したのち、施工時の高流動 SFRC のプレス圧を決定する。プレス圧の制御範囲としては、参考文献^{3),4)}に示したような地盤の安定の観点から検討されるものと、施工時の泥水圧から制約されるものがあるが、それぞれ限界値を超えないように設定する必要がある。

次に決定されたプレス圧に基づき設計断面力を計算する。なお、この設計断面力の計算法^{1),2)}は、図-2に示すような高流動 SFRC のプレス圧による地山反力を主荷重と考えていることから、「地山反力法」と称す。ここでは、高流動 SFRC を用いたトンネル構造物に適用する限界状態のうち、一次覆工（高流動 SFRC）を仮設、二次覆工（鉄筋コンクリート）を永久構造物と考え、一次覆工（高流動 SFRC）の脱型時の安全性を検討する場合の限界状態Ⅱを想定した⁵⁾。以上の流れで安全性が確保できれば検討は終了する。限界状態設計法による安全性が確保できない場合は再検討となるが、この場合、2つの再検討方法が選択できる。ひとつは従来から行われてきた手法で覆工厚から再検討する場合と、もうひとつは高流動 SFRC のプレス圧を再検討する場合である。これは参考文献^{1),2)}でも示した

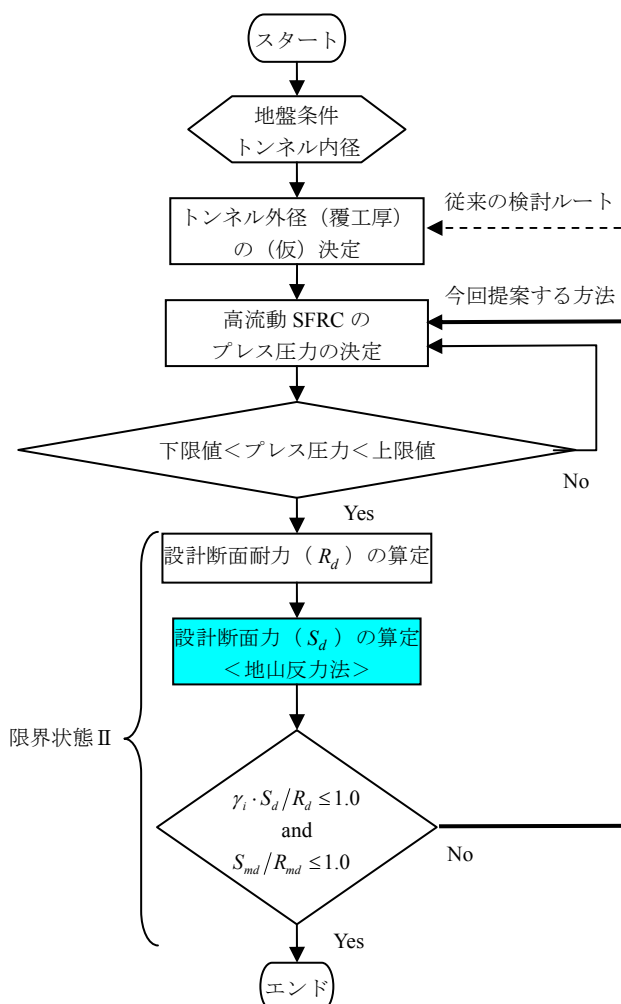


図-1 ECL 覆工の概略設計フロー

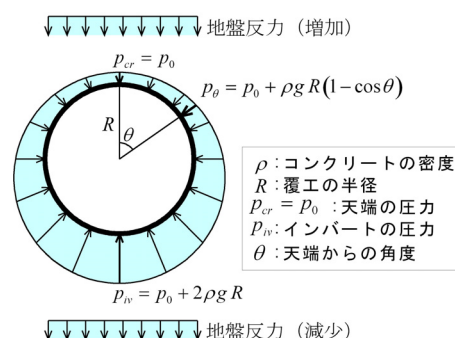


図-2 地山反力法における荷重体系

キーワード ECL 工法, 高流動鋼繊維補強コンクリート, 覆工, 限界状態設計法

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL 03-3820-6978

ように、プレス圧が変化しても曲げモーメントは変わらず、軸圧縮力のみが変化することを利用した考え方である。以上の再検討方法により、覆工の安全性が確認できるまで繰り返し検討を行ない、一連の検討を終了とした。

3. 設計断面力計算手法の違いによる比較

前章に示した設計フローの特長を示すため、従来のはりーばね解析による設計例⁵⁾を参考にして、同一断面において地山反力法で設計した場合を比較した。図-3はトンネルの設計断面と地盤条件の概要図である。なお、その他設計条件として、一次覆工（高流動 SFRC）の材料特性値として脱型時強度を 15N/mm^2 、設計圧縮強度 11.5N/mm^2 、設計引張強度 1.4N/mm^2 とした。

表-1 はそれぞれの設計断面力算定手法に必要な荷重条件であり、はりーばね解析では表に示した全種類の項目について考慮する必要がある。一方、地山反力法ではプレス圧を設定することが重要となるが、この試算では天端の鉛直荷重に合わせた場合と、水平荷重に合わせた場合の2種類を検討した。なお、これらプレス圧は施工上の上限値、下限値を超えていない。

図-4 は覆工の M - N 性能曲線（覆工形状が同じであるため、すべて同じ性能曲線となる）に3種類の設計条件に基づく断面力計算結果をプロットしたものである。いずれの計算結果も脱型時の覆工の安全性は確保できることが分かるが、地山反力法で計算された結果は、はりーばね解析結果よりも安全側の断面力となっていることが分かる。

4. まとめ

これまでの検討を踏まえ、高流動 SFRC を用いた連続打設方式 ECL 工法の覆工設計手法をフローとして提案した。また、従来のはりーばねモデルによる設計手法との比較のため、同一断面による試算例を示した。ECL 覆工の設計ではプレス圧により覆工断面力を制御するという考え方ができる可能性を示した。

参考文献：1)後藤他：「SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究（その1）」、第55回土木学会講演概要集、Ⅲ-B114、2000.9 2)後藤他：「SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計法に関する研究（その3）」、第56回土木学会講演概要集、Ⅲ-B101、2001.10 3)杉山他：「SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究（その4）」、第57回土木学会講演概要集、Ⅲ-176、2002.9 4)杉山他：「SFRC を用いた ECL 工法の覆工体設計方法に関する研究（その5）」、第58回土木学会講演概要集、2003.9 5)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）：社団法人日本鉄鋼連盟 鋼繊維歩行コンクリート設計施工マニュアル[トンネル編]改訂委員会編、技報堂出版、2002年

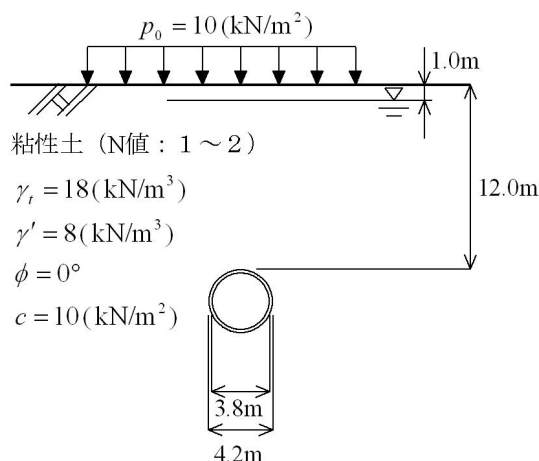


図-3 試算断面と地盤条件

表-1 荷重条件

	はりーばね解析	地山反力法
鉛直荷重	全土被り圧、上載荷重考慮、土水一体での計算値 226kN/m^2	高流動 SFRC のプレス圧決定時に考慮する
水平荷重	天端で 148kN/m^2 、インバートで 195kN/m^2	高流動 SFRC のプレス圧決定時に考慮する
高流動 SFRC プレス圧	考慮せず	$p_0 = 226\text{kN/m}^2$ の場合 $p_0 = 148\text{kN/m}^2$ の場合
一次覆工自重	$g = \gamma_f \times \gamma_c \times t_1 = 1.05 \times 24 \times 0.2 = 5.04\text{kN/m}^2$ ここに、 γ_c : SFRC の単位重量、 t_1 : 一次覆工厚、 γ_f : 荷重係数(1.05)	
自重反力	$P_g = \gamma_f \times \pi \times g$ $= 15.83\text{kN/m}^2$ γ_f : 荷重係数(1.05)	必要なし
地盤反力係数(法線)	$k_r = 1,000\text{kN/m}^3$	必要なし
地盤反力係数(接線)	$k_s = k_r / 3 = 330\text{kN/m}^3$	必要なし

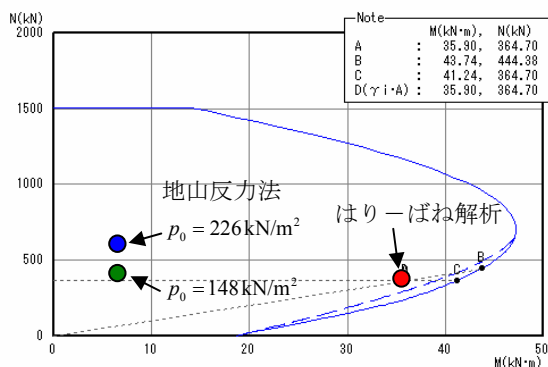


図-4 M_{ud}, N'_{ud} 性能曲線と断面力計算結果