

FRP グリッドを用いた PCM 吹付け工法によるトンネル補強効果に関する解析的評価(その 2)

長崎大学大学院 学生会員 平田 祐也 東 幸宏 長崎大学工学部 学生会員 平井 光希
 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 正会員 李 博
 (有)サンセイ リーマテック社 正会員 石田 耕生 (株)インフラネット 正会員 竹内 一博
 日鉄コンポジット(株) 正会員 谷口 碩士
 (株)エイト日本技術開発 正会員 古賀 大陸 米田 裕樹

1. はじめに

近年，トンネル構造物の劣化現象が全国的に顕在化し，内空断面は建築限界に近いトンネルのための合理的な維持管理手法が開発されている．その中で，耐腐食性，耐薬品性に優れていて，鋼材より軽量な材料である FRP グリッドが構造物の補修材料として注目を集めているが，施工事例は少なく補強効果の定量的評価はあまりされていないのが現状である．

そこで本研究では，既往の実験的研究¹⁾により得られた物性値，同題目(その 1)²⁾と同様の解析手法を用いて，緩み圧を考慮した FRP グリッドを用いた PCM 吹付け工法による，補強工に作用する応力状態を解明し，トンネル補強効果について詳細に考察を行うことを目的とする．

2. 補強工の特徴

FRP(Fiber Reinforced Plastic)グリッドを用いたポリマーセメントモルタル(以下 PCM)吹付け工法による増厚工法は FRP グリッドが高強度で軽量であり，施工性に優れており，断面形状や重量の面において既設構造物に与える影響が小さく，耐腐食性に優れた材料である．

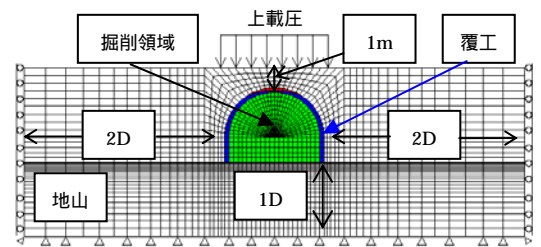


図-1 解析モデル概要図

3. 有限差分法による補強効果の評価

3.1 解析モデルの概要

同題目(その 1)²⁾と同様の解析手法(有限差分法)，解析モデルを用いて解析を行う．解析モデルの概略図を図-1 に，補強工の範囲を図-2 に示す．

本工法の設計を実務に活かすため，土木学会等の適用基準より D 級の岩種⁴⁾を対象とし，トンネル標準示方書等より緩み高さを 3m，6m，1D(D=10m)と設定した．覆工厚は 45cm とし，天端覆工厚は既往研究³⁾と同様に道路トンネル維持管理便覧における突発性崩壊に対する健全度評価区分に基づき，最も危険な 15cm (判定区分：3A) とした．ケースを表-1 に示す．なお，材料物性および補強工物性は同題目(その 1)と同様とした．

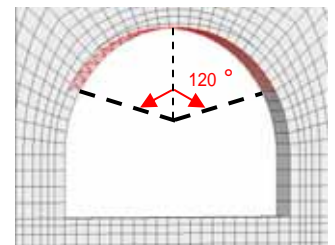


図-2 補強工範囲³⁾

表-1 解析ケース

Crown Thickness (cm)	Grid Type	Loosened Height (m)	Rock Class
15	CR4	3	D
	CR6	6	
	CR8	1D	

3.2 解析結果

解析結果の一例として緩み高さ 1D について示す．図-3 に変形モードを，図-4 に補強工に作用する軸力方向の応力分布図を，図-5 に付着面に作用するせん断応力分布図を，図-6 に補強工に作用する曲げモーメント分布図を示す．

図-3 より，天端部から上載圧を受けることで，変形モードは覆工全体が沈下を生じ，天端部で大きく沈下，側壁部ははらみ出す変形モードとなった．これは天端部では直接荷重を受けるが側壁では分散されるためこのような形になったと考えられる．これにより，覆工肩部の内空側で圧縮が生じ，天端部では引張が生じる．そのため，図-4 に示すように，補強工の肩部にも軸応力が大きく作用したと考えられる．

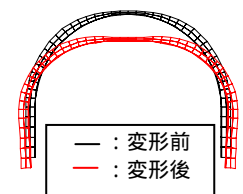


図-3 変形モード

図-5 より、補強工の両端部で大きな付着面せん断応力が発生している。これは、肩部で補強工が断面の軸方向に圧縮されるためだと考えられる。したがって、覆工にかかる荷重がより大きくなる場合には端部剥離を起こす可能性があると言える。そこで数値解析により算出した付着面に作用する最大垂直応力、既往研究¹⁾により算出した付着面における粘着力、内部摩擦角を用いて、モール・クーロンの破壊基準により、式(1)から最大せん断応力 τ_{max} を算出する。

$$\tau_{max} = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここで c は付着面における粘着力、 σ は付着面に作用する最大垂直応力、 ϕ は付着面の内部摩擦角である。

図-5 に示す、補強工に作用する付着面せん断応力の最大値を用いて、式(2)より付着面の安全率 f_s を算出した。

$$f_s = \frac{\tau_{max}}{\tau_c} \quad (2)$$

ここで τ_c は補強工に作用する付着面せん断応力の最大値である。

表-2 に付着面における安全率を示している。表-2 より、グリッドタイプごとと比較すると、せん断剛性の高い順に安全率が低いことがわかる。これは CR4 の場合、せん断剛性が他のグリッドより低いため覆工の変形に追従するが、CR6、CR8 は CR4 よりもせん断剛性が高いため、覆工の変形に追従せず、変形が起りにくいいため、CR4 より安全率が低くなるがいずれも安全率 2 を超えている。しかし、図-6 より、グリッドタイプのせん断剛性の高い順に曲げに対する抵抗力が大きくなっていることがわかる。FRP グリッドのせん断剛性が低くなることで安全率が上がるため、せん断剛性が低い方が良いという訳ではない。地山等級・地山の状態により、最適な補強パターンを選定する必要がある。

4. おわりに

本研究では緩み圧を考慮した FRP グリッドを用いた PCM 吹付け工法によるトンネル解析を実施し、補強工に作用する応力状態を明らかにした。今後は、覆工の経年劣化による剛性の低下を考慮した数値解析を実施し、本工法を有効に適用するため、トンネル覆工の補強に対する設計手法の提案を目指していく。

【参考文献】1) 上野竜志ほか：トンネル補強材としての FRP グリッドの付着強度と補強効果に関する考察，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.429-430，2011。2) 平井光希ほか：FRP グリッドを用いた PCM 吹付け工法によるトンネル補強用モデルの検討(その 1)，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2013。3) 東幸宏ほか：FRP-PCM 工法のトンネル構造物における補強効果に関する解析的評価，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集，pp.159-160，2012。4) 可塑性グラウト協会エアバック部会：可塑性空洞充填材 エアバック工法 技術資料，1997。

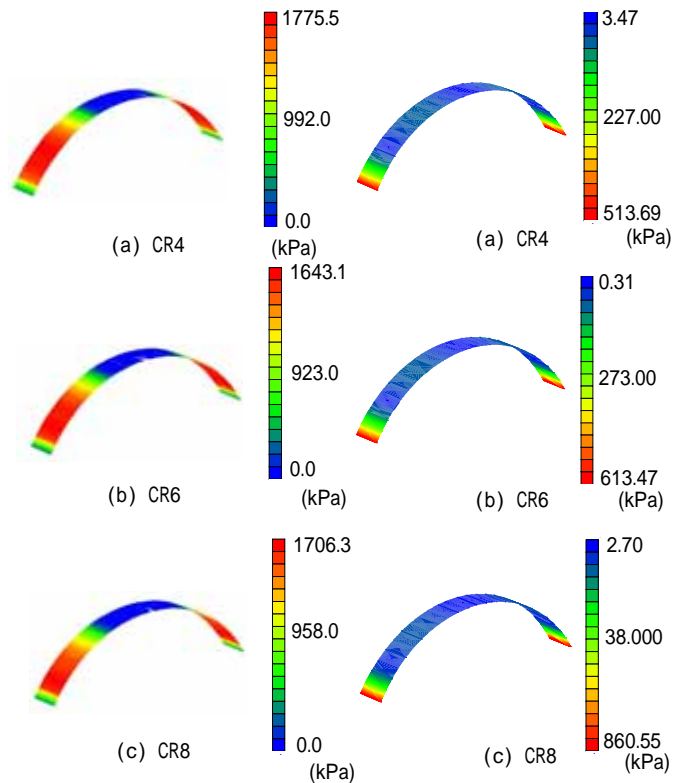


図-4 補強工に作用する軸力方向の応力分布図 (+ : 圧縮, - : 引張, 1D)

図-5 せん断応力分布図 (1D)

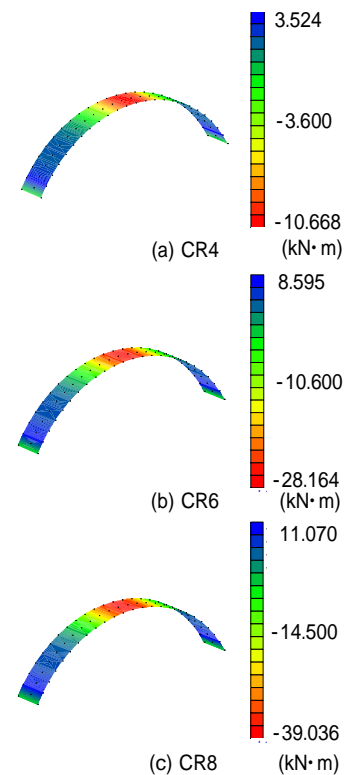


図-6 補強工に作用する曲げモーメント分布図 (+ : 圧縮, - ; 引張, 1D)

表-2 付着面における安全率

Loosened Height (m)	3	6	1D
CR4	18.882	7.743	4.369
CR6	15.776	6.509	3.687
CR8	11.294	4.653	2.643