

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

長崎大学大学院 学生会員 ○東 幸宏 長崎大学工学部 フェロー会員 蔣 宇静
 長崎大学大学院 フェロー会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 李 博
 さとうベネック(株) 正会員 石田耕生 竹内一博 日鉄コンポジット(株) 正会員 谷口硯士
 (株)エイト日本技術開発 正会員 米田裕樹

1. はじめに

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 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腐食しないため、橋梁やボックスカルバートなどの補強において広く用いられている。また近年では、道路トンネルの高齢化により劣化損傷した覆工の補修・補強としても本工法が用いられている。しかし、施工事例はまだ多くなく、その補強効果についての定量的評価があまりなされていないのが現状である。そこで、本研究では室内一面せん断付着強度試験により算出された FRP と PCM の付着強度とせん断剛性を数値解析に反映させ、本工法によるトンネル補強効果を解析的に評価することを目的とする。

2. 補強工のモデル化妥当性の評価

2.1 解析モデルの概要

補強工に関する既往の解析的研究^{1),2)}では、内巻工や FRP といった内面補強工をモデル化する際、材料の厚さを考慮した等方弾性体(Shell 要素)を用いてきた。しかし、トンネル変状により付着面や補強材料の破壊が生じ、補強効果は付着面強度に依存する。そこで、材料の降伏と付着面強度、付着面剛性を考慮できる面要素(Liner 要素)を用いることにした。この要素によるモデル化の妥当性を評価するために、既往研究で実施された RC はりの 2 点漸増載荷曲げ試験の結果³⁾を基に再現解析を実施した。図-1 に再現解析モデルを、図-2 に実験供試体概要を、表-1 に材料物性値を示す。

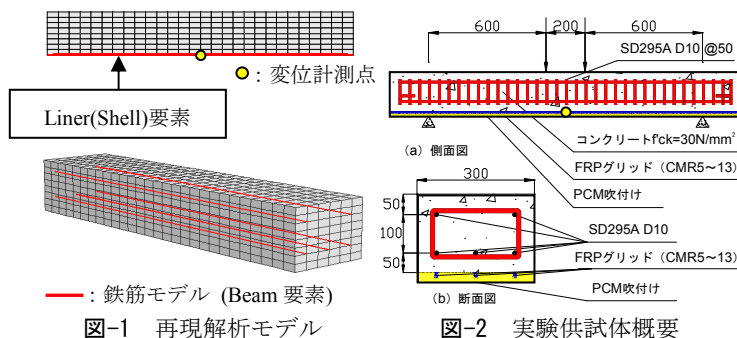


表-1 材料物性値

	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)	せん断剛性 (MPa/m)
コンクリート	43.6	2.85	3.28×10^4	-
鉄筋(SD295A)	-	543	2.10×10^5	-
FRP グリッド(MCR-6)	-	1683	2.00×10^5	11.64×10^3
PCM	36.3	3.60	2.70×10^5	

2.2 再現解析の結果と実験値の比較

図-3 に解析結果と実験結果との比較を示す。Shell 要素でモデル化した場合、補強工と供試体の付着面破壊が考慮されておらず、実挙動と異なることがわかる。一方、Liner 要素を用いた場合、実験と同様な挙動を示す。また、図から読み取れるようにモデル全体の剛性が増加しており、実験値とのフィッティングが良好に出来ている。この結果より、Liner 要素を用いての本工法モデル化が妥当と考える。

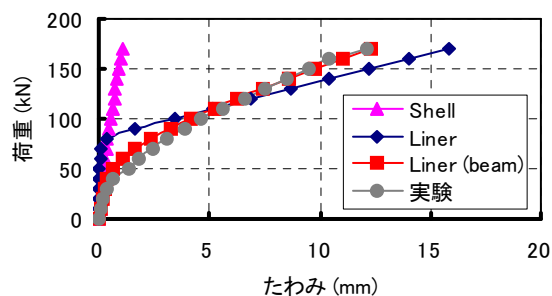


図-3 解析と実験の比較

3. トンネルモデル解析による補強効果の評価

前節の結果を基に、トンネル断面における本工法による補強効果を解析的に評価する。トンネルモデルに適用する補強材料は高強度 FRP グリッド CR4, 6, 8 の 3 種類、PCM は高弾性型 PCM とし、材料物性値は材料試験により定められた物性値を、付着面の強度定数とせん断剛性は一面せん断付着強度試験によって得られた物性値を用い

る. 表-2 に各物性値を, 図-4 に解析モデルを示す. なお, 補強範囲は既往研究¹⁾と同様の全断面補強, 実現場で用いられる上半アーチ部のみ補強の2種類とし, 補強時期は供用開始後3年, 解析期間はトンネル構造物の寿命とされる50年間と設定した. この補強条件で地山強度比(Srp)を0.24~2.0と変化させ, 補強効果を比較する.

本論文では, 紙面の関係で, CR6 による補強の結果のみを示す. 図-5 に補強工モデルを, 図-6 に S.L.における内空変位比較を, 図-7 に補強範囲別の変位抑制率比較を示す. なお, 変位抑制率とは, 無補強時の補強時点以降の変位量に対する変位抑制量の割合である.

図-6 より, 補強工の設置により変形量を大きく抑制していることがわかる. また, 全断面補強と上半補強の比較では変位量が大きく, 上半のみの補強でも高い変位抑制効果が得られている. 変位抑制率は全断面補強で約39%, 上半補強で約33%となった.

図-7 より, 地山強度比が高い地山($Srp=1.0$)に施工されたトンネルの補強においても, 全断面補強と上半のみの補強との比較で, 変位抑制率に大きな差がなく上半のみの補強で十分な効果が得られることが考えられる. また, 水平変位抑制率は天端変位抑制率に比べ高くなっている. この傾向は, 地山条件や側圧係数によって変化すると考えられる. しかし, 地山強度が高くなるにつれこの補強工による変位抑制効果は低くなっている. これは, 無補強の時点での変位量が小さく, 補強効果が現れにくくなっているためと考えられる.

4. おわりに

本研究では, FRP グリッドを用いた PCM 吹付け工法のモデル化手法を示し, トンネルにおける変位抑制効果を明らかにした. ただし, 本研究で用いたモデルは地山の経時的劣化とそれに伴う大変形を起こしやすい条件を想定している. 実際に補強対象となるトンネルの多くは在来工法で施工され, 覆工裏に空洞が存在する場合が多いようであるため, 今後はこのような条件を反映した解析モデルを作成して比較検討を行い, 本工法の合理的設計手法を確立していく. 最後に, 本研究の実施にあたり FRP グリッド工法研究会の研究助成を頂いた. ここに感謝の意を表します.

- 【参考文献】1) 大隈祥平ほか: FRP グリッドを用いたトンネル覆工補強効果の評価, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.489-490, 2010.
2) 東幸宏ほか: 道路トンネルの変状に対する各種補強工効果の解析的検討, 第15回地下空間シンポジウム論文・報告集, 土木学会, 第15巻, pp.177-182, 2010. 3) 中村智ほか: PCM 吹付け工法による2層接触配置された CFRP グリッドを用いた RC はりの曲げ補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.1429-1434, 2009.

表-2 入力物性値

	変形係数 (MPa)	せん断抵抗角 (deg)	粘着力 (MPa)	せん断剛性 (MPa/m)
地山	1000	30	0.577	-
吹付け	10000	35	3.904	-
覆工	20000	40	6.995	-
CR4	100000	17.7	2.22	5.30×10^3
CR6				6.39×10^3
CR8				13.37×10^3
PCM	26000			-

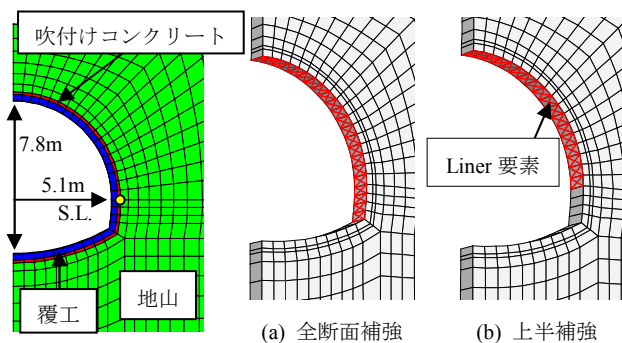


図-4 解析モデル

図-5 補強工モデル図

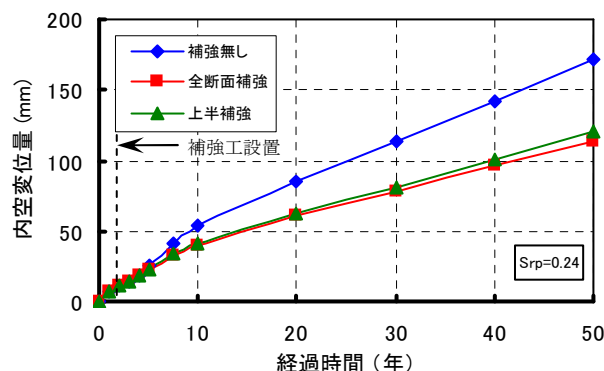


図-6 S.L.における内空変位比較 (CR6)

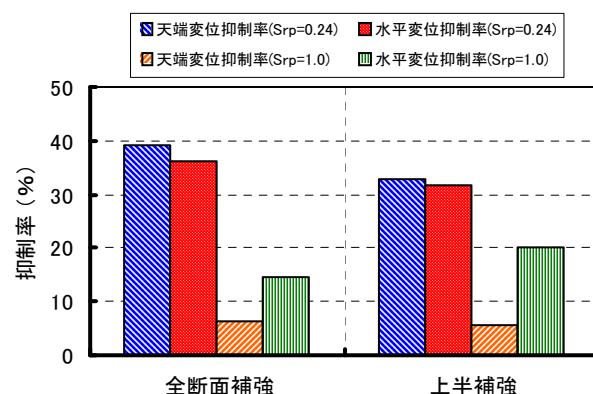


図-7 補強範囲別の変位抑制率比較 (CR6)