

2 点載荷曲げ試験を用いた FRP-PCM 工法の補強効果に関する考察

長崎大学工学部 学生会員 ○平田 祐也 東 幸宏 大隈 祥平
長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 正会員 原田 哲夫 李 博 杉本 知史
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

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修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、FRP グリッドにより補強した供試体と無補強の供試体を用いた 2 点載荷曲げ試験を行い、供試体の破壊過程・破壊状況を観察し、FRP グリッドが曲げ強度に与える影響を考察する。また、2 点載荷曲げ試験をモデルとした数値解析を行い、試験結果と比較・検討し、解析手法の妥当性を検証すると共に、FRP グリッドの補強効果を定量的に評価することを目的とする。

2. トンネル覆工模擬供試体による 2 点載荷曲げ試験及び数値シミュレーション

2.1 供試体及び試験の概要

在来工法トンネルの覆工コンクリートは、無筋コンクリート構造であるが、曲げ試験等の力学試験を行う場合、無筋構造の供試体を使用すると、供試体の移動に伴う破壊や支持部からのせん断破壊、または供試体上部での圧縮破壊が発生する可能性があり、必要なデータが得られないなどの問題点が懸念される。以上の問題点を踏まえて、本研究では供試体にせん断補強筋(帯筋)と圧縮補強筋(主筋)を配置し、覆工コンクリートの性状を考慮して、引張補強筋を配置しない設計とした。供試体は FRP グリッドを用いたポリマーセメントモルタル(以下、PCM)吹付け増厚工法により作成する。供試体(幅 200mm×長さ 2000mm×高さ 300mm、28 日養生)の概略を図 - 1 に示す。試験・解析ケースを表 - 1 に示す。本研究は FRP 格子筋の断面積の異なる CR6 と CR8 を用いた。2 点載荷曲げ試験を行う際、供試体の支点は供試体の端から 100mm、載荷点は中心から 200mm の位置とした。

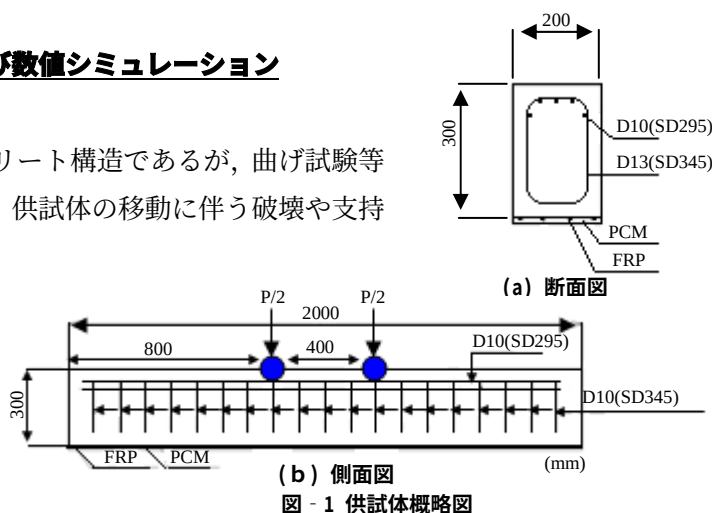


図 - 1 供試体概略図

表 - 1 試験・解析ケース

	FRP-PCM 補強
ケース 1	なし
ケース 2	CR6
ケース 3	CR8

2.2 解析の概要

既往研究^{1), 2)}においては付着面や補強材料の破壊、付着面強度などが十分に反映できていなかったため、本研究では FRP-PCM 工法の補強効果を解析的に評価するために材料の降伏及び付着面強度、付着面剛性を考慮できる面要素(Liner要素)を用いてモデル化することとした。また鉄筋はコンクリートとの付着や材料の降伏、軸力を考慮できるCable要素によりモデル化した。

2.3 解析モデル

2 点載荷曲げ試験の結果と既往研究³⁾により解析を行う際に必要となるパラメータを算出した。表 - 2 にコンクリートのパラメータを、表 - 3 に補強工(FRP, PCM)のパラメータを示す。また、図 - 2 に解析モデルの概略図を示す。帯筋は曲げに抵抗しないものとした。

表 - 2 コンクリート物性値

圧縮強度	引張強度	ポアソン比	弾性係数
(N/mm ²)	(N/mm ²)		(N/mm ²)
20.8	2.1	0.2	27220

2.4 試験結果と解析結果の比較

試験結果、解析結果の一例として、CR6 による補強及び無補強のケースにおける荷重－たわみ曲線を図 - 3 に示す。FRP グリッドを用いることで曲げ耐力のピーク値や残留値が共に無補強と比べて大きくなっていることがわかる。解析により得られた荷重－たわみ曲線が試験結果とよく合致しているが、載荷初期の剛性が異なっている。これは、モデル化していない帯筋が載荷初期の変形を抑制し、供試体の剛性を強くしたためであると考えられる。また、試験結果ではケース 1(無補強)のたわみ量が 8mm、ケース 2(CR6)のたわみ量が 9mm に達した時点で荷重がピーク値となり、その後、一旦下がってからまた増え続けた。これと比べて、解析結果では明確なピーク値を示さなかった。実験では荷重がピーク値に達した後に補強部とコンクリート部の間に剥離が生じたことに対して、連続体モデルを用いた本解析ではこれを上手く表現することができなかった。破壊後の供試体の側面画像を図 - 4 に示す。破壊状況・破壊過程として、載荷点の鉛直下の供試体の下部から、まず、コンクリート供試体のみに亀裂が発生・進展し、剥離が発生した後、補強部に亀裂が入っていた。

3. おわりに

本研究では、FRP グリッドを用いた 2 点載荷曲げ試験により、供試体の破壊過程・破壊状況を把握すると共に、試験と解析から得られた荷重－たわみ曲線を比較・検討し、FRP グリッドの補強効果を定量的に評価することができた。再現解析では試験結果と同様な変形挙動を示し、FRP グリッドを用いることにより、供試体の曲げ耐力の向上が確認できた。今回の数値解析では補強部の剥離やその後の挙動などをよく表現することはできなかったため、今後は、解析モデルを更に検討し、本工法を有効に適用するため、付着面の破壊の表現を含め合理的な解析手法を確立していく。

【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，第 15 巻，pp.177-182，2010. 3) 東幸宏ほか：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，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.427-428，2011. 4) FRP グリッド工法研究会：FRP グリッド増厚・巻立て工法によるコンクリート構造物の補修補強（設計・施工マニュアル）（案），2007.

表 - 3 補強工の物性値⁴⁾

補強材	変形係数	せん断抵抗角	粘着力	せん断剛性
	(MPa)	(deg)	(MPa)	(MPa/m)
CR6	100000	17.7	2.22	6.39×10^3
CR8				13.37×10^3
PCM	26000			-

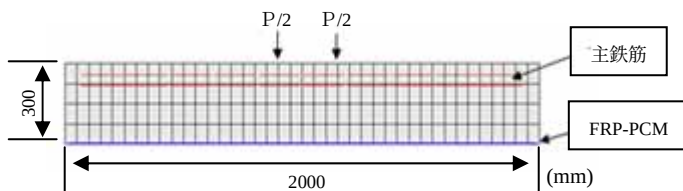


図 - 2 解析モデルの概略図

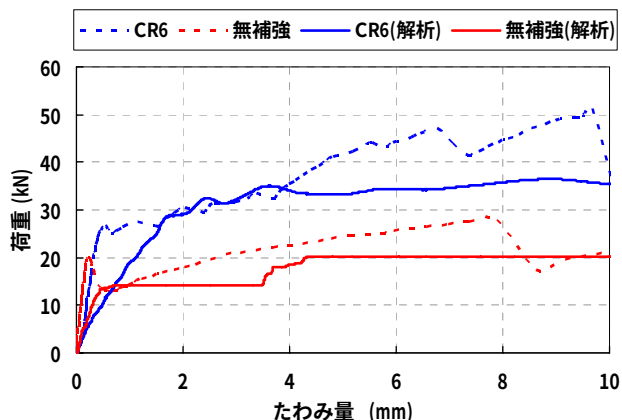


図 - 3 荷重－たわみ曲線



(a) 無補強側面



(b) CR6 側面



(c) CR8 側面

図 - 4 破壊した供試体の画像