

内面補強工によるひび割れ進展の抑制効果に関する比較試験

ケー・エフ・シー^{*)} 正会員 ○木村勇輝, 山本健太
ケー・エフ・シー^{**)} 田部美月, 上田康成, 松長 剛

1. はじめに

外力を要因としたトンネル変状に対しては、補強ランクに応じた裏込め注工、ロックボルト工、内巻き工もしくは内面補強工の組み合わせが標準対策工として採用されている^{1) 2)}。補強ランクⅢの標準対策工となっている内巻き工はトンネル断面内の施工余裕が確保できないことが多く、最近では内面補強工として炭素繊維シート接着工が採用されることが多くなっている。炭素繊維シート接着工については、シートそのものの引張試験や剥落対策工としての押し抜き試験³⁾については標準的な手法が整備されているが、トンネル覆工と一体となった試験については検討例が少ない。そこで、筆者らは、トンネル変状対策工の設計指標^{1) 2)}となっているひび割れの進展、圧縮の発生を再現する試験法の開発を試みている⁴⁾。本研究では、各種内面補強工のひび割れ進展試験を行い、各補強工のひび割れ進展の抑制効果を比較検証した。

2. 試験概要

外力変状でひび割れが発生するトンネルでは、覆工に顕著な地圧が作用し、卓越した軸力下において曲げが進行する。その結果、覆工の引張側でひび割れが開口し、深さ方向に進行する。ひび割れ深さが進行すると、圧縮応力を負担する有効高さが減少し、最終的には圧縮側で圧縮が発生する。そこで、本研究では、覆工を模擬した供試体に軸力を作用させながら、曲げを進行させる試験法を試作した⁴⁾。本研究の試験装置を図-1、供試体を図-2に示す。本試験では、矢板工法トンネルの覆工を1/5スケールで模擬して装置、供試体を作成した。供試体には、あらかじめひび割れを想定したスリットを入れ、軸力を400kNで一定のまま曲げを進行させる載荷ステップを設定した。本試験の試験ケースを表-1、各ケースの断面耐力を図-3に示す。今回の比較試験では、筆者らが開発を進めている“CFRP帯板接着工法 SHシートボード工法”⁵⁾(表-1③)についても検討を行った。

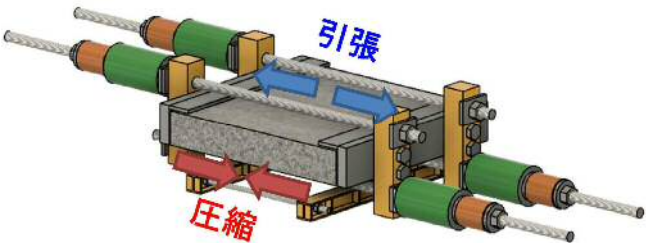


図-1 試験装置の例

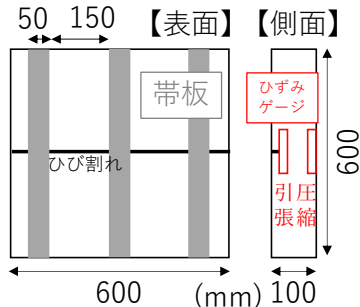


図-2 供試体の例(ケース③)

表-1 試験ケース

試験ケース	補強率 (面積比)	炭素繊維 目付量	備考
①無対策	—	—	設計基準強度 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$
②シート接着工法 (全面貼り)	100%	200g/m ²	従来工法
③帯板接着工法 (帯補強)	25%	1,200g/m ²	SHシートボード

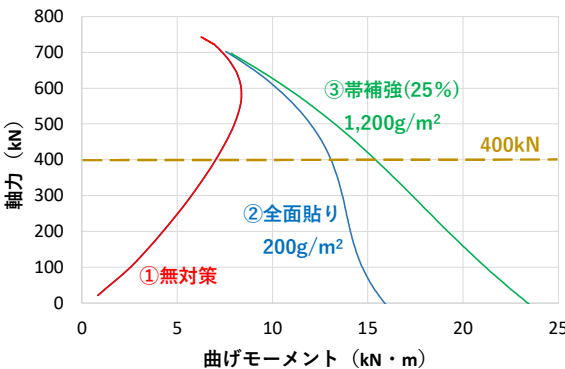


図-3 各ケースの断面耐力

キーワード トンネル、変状、内面補強工、炭素繊維シート接着工法、帯板接着工法

連絡先 ^{*)} 〒347-0010 埼玉県加須市大桑 1 丁目 19 番地 ケー・エフ・シー技術部 TEL 0480-76-0095

連絡先 ^{**)} 〒105-0011 東京都港区芝公園 2-4-1 芝パークビル B 館 11 階 ケー・エフ・シー技術部 TEL 03-6402-8256

3. 試験結果

試験経過として引張側、圧縮側のひずみ（測定箇所図-2 参照）と曲げモーメントの関係を図-4 に示す。実際の外力変状を想定して軸力一定で曲げモーメントを増加させると、引張、圧縮ともに曲げ剛性が低下してひずみが増大した。特に、①無対策では、ひび割れが進展した $M=11\text{kN}\cdot\text{m}$ 程度から引張ひずみが増大し、 $M=14\text{kN}\cdot\text{m}$ 程度で圧縮側に圧ぎが発生した。

試験最終ステップの状態として、断面力、ひずみ、ひび割れ状況写真を表-2 に示す。①無対策では、スリットからひび割れが写真下方向に進展し、写真下面の圧縮側で圧ぎが発生した。一方、②シート接着工法、③帯板接着工法では、スリットからのひび割れ進展は発生しなかった。②では試験中に微小なひび割れが確認されたが、試験後の供試体からは確認できない程度であった。そこで、③で試験中に微小ひび割れのマーキングを行ったところ、鉄筋コンクリートで見られるような分散ひび割れが確認され、内面補強工の引張補強部材としての効果が確認された。

4. まとめ

トンネルの外力変状を模擬したひび割れ進展試験を行い、内面補強工（シート接着工法、帯板接着工法）による抑制効果を確認した。

- ・ 変状トンネル補強工の設計指標であるひび割れの進展、圧ぎの発生を試験で再現した。
- ・ 内面補強工で補強すると、スリットで模擬したひび割れが進展せず、鉄筋コンクリートのようにひび割れが数か所に分散し、ひび割れの貫通や圧ぎの発生を抑制することが確認された。
- ・ 筆者らが開発した帯板接着工法⁵⁾では、帯補強でも設計目付量をコントロールすることで、従来型の全面貼りシート接着工法と同程度の変状抑制効果が期待できることを確認した。

今回は炭素繊維を対象としてシート、帯板接着工法の効果確認を行ったが、今後はアラミド繊維ほかの工法についても試験を行い、トンネルの外力変状補強工の開発を進めていく予定である。

参考文献

1) 東日本・中日本・西日本高速道路：設計要領第三集トンネル【保全編 令和2年7月】，2020.7.
2) 鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル，1998.2.
3) 東日本・中日本・西日本高速道路：構造物施工管理要領 試験法 424，2020.7.
4) 山本，木村，大久保，田部，森岡：トンネル覆工のひび割れ進展を再現した試験方法の検討，第78回土木学会年次学術講演会概要集，投稿中
5) イプロス都市まちづくり HP ガイナ SH シートボード工法：<https://kensetsu.ipros.jp/product/detail/2000584811>

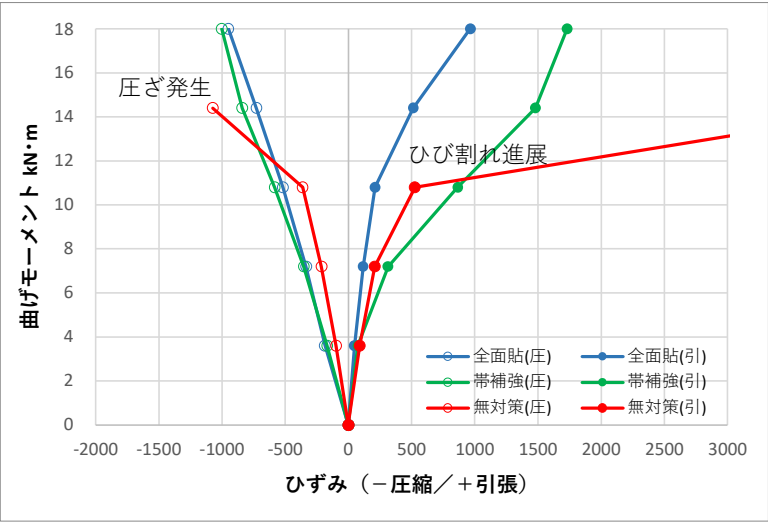


図-4 試験結果（ひずみ-曲げモーメント）

表-2 試験結果（試験最終ステップの状態）

試験ケース	最終時の軸力N / 曲げモーメントM	ひずみ量		ひび割れ状況
		引張	圧縮	
①無対策	N= 400kN M=14.4kN・m	4,363 μ	1,073 μ	 ひび割れ貫通/圧ぎ
②シート接着工法 (全面貼り)	N= 400kN M=18.0kN・m	965 μ	949 μ	 分散ひび割れ
③帯板接着工法 (帯補強)	N= 400kN M=18.0kN・m	1,731 μ	1,002 μ	 分散ひび割れ*

※試験中にマーキング実施