

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

ケー・エフ・シー^{*} 正会員 ○山本健太, 木村勇輝, 大久保拓真
 ケー・エフ・シー^{**} 田部美月, 森岡弘樹

1. はじめに

矢板工法で施工されたトンネルは地山の環境条件等に適合した支保構造が設計されているが、特殊な地山条件や設計・施工条件が重なると供用後に外力が作用してひび割れに代表される変状が発生することがある。このようなトンネル覆工には軸力が作用していることが多く、ひび割れの進展によって即座にトンネル構造の安定性が損なわれることは少ない。しかし、引張側からひび割れ断面が貫通し、圧縮側で圧ぎが発生すると、構造安定性が懸念されることから、変状対策工の設計ではひび割れの進展によって圧ぎが発生することを回避する指標が採用されている^{1), 2)}。そこで、本研究では、ひび割れ進展を抑制するための内面補強工^{3)~5)}を開発する際の活用を目的として、トンネル覆工のひび割れ進展および圧ぎの発生を再現できる試験方法について検討した。

2. ひび割れ進展試験の検討

本研究では、図-1 に示すようなトンネル覆工の引張ひび割れの進展から圧ぎが発生する状況を模擬した試験装置を検討するため、既往研究について調査を行った。参考文献^{7)~8)}に示されるようなアーチ形状試験は試験装置が特殊であり、試験中に覆工内面を詳細に観察することが難しい。参考文献⁹⁾に示されるような単純ばり試験は容易に実施ができ、圧ぎの観察も容易であるが、内面補強工の設置間隔の検討に際しては供試体の奥行幅が必要となる。

以上の調査結果を踏まえ、本試験方法の評価指標を次のように設定することとした。①内面補強工の開発では数多くの試験ケースを実施するため、扱いやすい 1/5 スケールの供試体を採用する。②変状の進行の様子として、ひび割れ幅・深さの進展や圧ぎの発生を観察できるようにする③ひび割れ断面にせん断力を作用させず、曲げ圧縮力の増加によってひび割れ進展を再現する。④変状対策工設計では断面力（軸力、曲げモーメント）が指標となるため、断面力を制御できるようにする。⑤内面補強工の試験では、補強工の設置、観察ができるようにする。

上記①～⑤の評価指標を踏まえ、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。本研究の試験装置を図-2 に示す。本装置は参考文献⁹⁾と同様に供試体を載荷版で挟み込み、装置の上下に取り付けられた油圧ジャッキの油圧差で曲げを再現し、トンネル覆工の圧ぎを再現できる試験装置となっている。また、本試験装置の性能確認試験のため、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。供試体は設計基準強度 $F_c=18\text{N/mm}^2$ の $600\times 600\times 100\text{mm}$ のコンクリート版とし、内面補強工^{3)~5)}の設置間隔の検討も踏まえた寸法とした。また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。

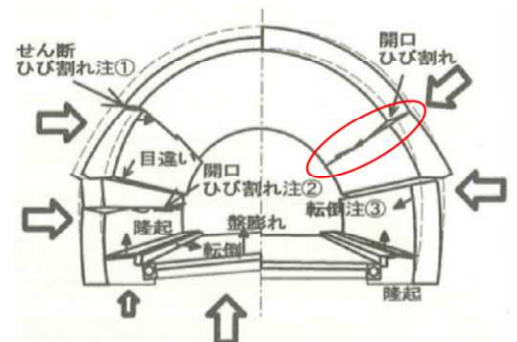
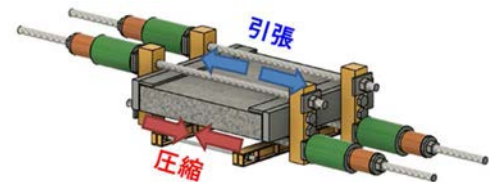
図-1 変状の発生形態⁶⁾

図-2 模型実験装置の例

キーワード トンネル, 変状, ひび割れ, 圧ぎ, 曲げ圧縮試験

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

供試体のイメージ図を図-3に示す。供試体にはひび割れ観察の参考としてひずみゲージを表面(引張側), 裏面(圧縮側), 側面(引張側, 圧縮側)の計4箇所設置した。また、

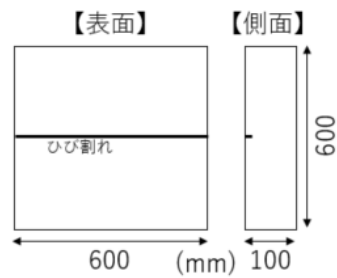


図-3 供試体イメージ図

各ステップの軸力, 曲げモーメントの関係を図-4に示す。

試験は引張側, 圧縮側共に 200kN の軸力をかけた時点から第 0 ステップとし, 油圧ジャッキにて 1 ステップ毎に引張側-20kN, 圧縮側+20kN ずつ载荷することとした。第 0 ステップへの载荷は引張側, 圧縮側共に 100kN ずつ 2 回に分けて行った。第 0 ステップから第 2 ステップ(引張側 160kN, 圧縮側 240kN)までは目立った変状は確認できなかったが、第 2 ステップから第 3 ステップ(引張側 140kN, 圧縮側 260kN)に向けて载荷を進めていく中で、コンクリート供試体の引張側の既設ひび割れの進展が確認できた。また、最終ステップとなる第 4 ステップ(引張側 120kN, 圧縮側 280kN)で引張ひび割れが貫通し、圧縮側では圧さを確認できた。このときの状況を表-1に示す。

4. まとめ

本研究で検討した試験装置においてトンネル覆工のひび割れ進展, 圧さを再現できることが確認できた。

なお、本試験方法には供試体のロットによっては载荷版付近でひび割れが発生する等の課題があり、現在も载荷版の形状および支圧盤とコンクリート版との接着に使用する接着剤の選定等の見直しを適宜図っている。今後もトンネル覆工および内面補強工の変状抑制効果をより定量的に評価できる試験方法として改良を重ね、覆工の引張ひび割れを抑える新たな補強工法の開発に役立てたい。

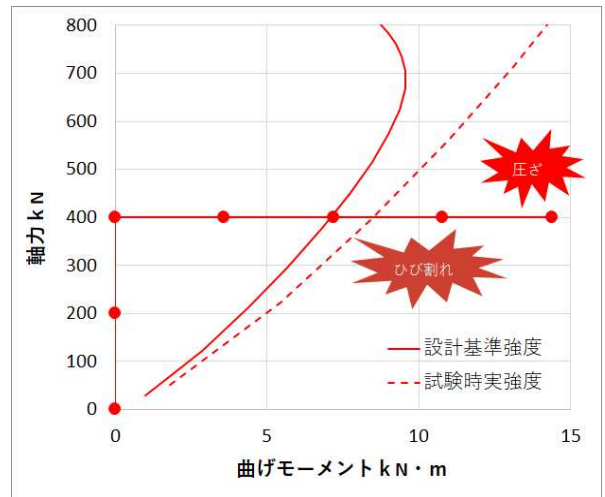
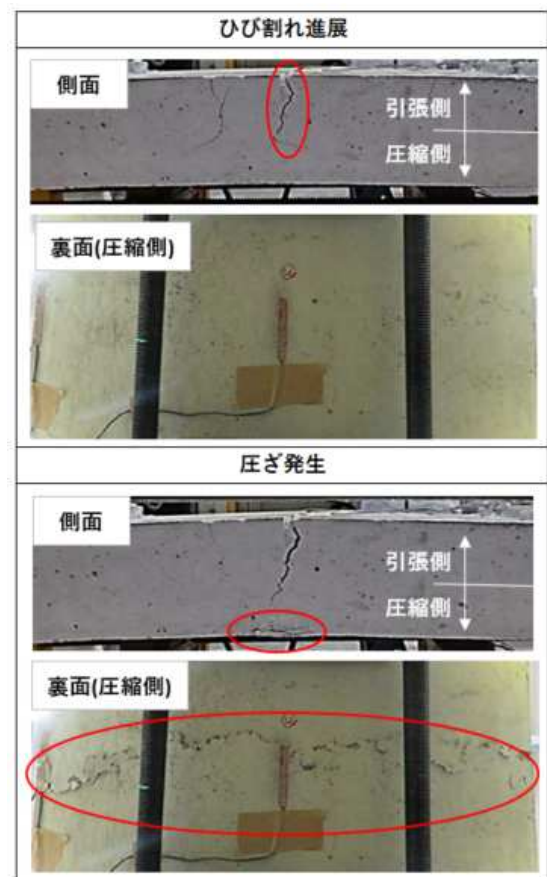


図-4 载荷ステップグラフ

表-1 試験結果(試験最終ステップの状態)



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) ケー・エフ・シーHP ガイナ CF シート工法：<https://www.kfc-net.co.jp/products/cat03/101.html>
- 4) ケー・エフ・シーHP ガイナ SH シート工法：<https://www.kfc-net.co.jp/products/cat03/104.html>
- 5) ケー・エフ・シーHP 帯鋼板による覆工補強工法：<https://www.kfc-net.co.jp/products/cat03/21.html>
- 6) 土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策，pp.66-67
- 7) 岡野：FRP 帯板を用いてトンネル覆工の内面を補強する，RRR, Vol69, No.6, pp.16-19, 2012.6
- 8) 岡野, 植村, 小島：FRP 帯板を用いたトンネル覆工の内面補強工法の開発，鉄道総研報告，第23巻，第12号，pp.41-46, 2009.12
- 9) 松岡, 益田, 松尾, 柳：ひび割れを考慮したトンネル覆工解説に関する研究，土木学会論文集 No.554/III-37, pp.147-155, 1996.12