

山岳トンネル覆工の変形性能に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所 正会員○平田 亮 野城 一栄
長岡科学技術大学 学生会員 松尾 東

1. はじめに

山岳トンネル覆工は、一般的に掘削後、支保工により地山の変形が収束した後に施工するため、基本的には荷重が作用しないものとして考えられている。しかしながら、供用後の外力の変化や地山の劣化等により付加荷重が作用することで覆工に変状が発生し、維持管理上の問題となる事例もある¹⁾。

そこで本稿では、山岳トンネル覆工の代表的な材質である場所打ちコンクリート覆工とブロック積み覆工について、上載荷重の増加に対する変形性能の違いを、大型模型実験により検証した結果について報告する。

2. 模型実験装置

実験に用いた大型トンネル覆工模型実験装置²⁾を図-1に示す。実験装置は新幹線複線標準断面の縮尺1/5であり、反力フレーム、載荷用油圧ジャッキ、反力用油圧シリンダ等で構成されている。供試体の周囲に軟岩地山相当の地盤ばねを模擬した油圧シリンダ付きの皿ばねを配置しており、覆工が地山側へ変形する場合、この皿ばねが地盤ばねとして作用することで覆工と地盤の相互作用を模擬している。

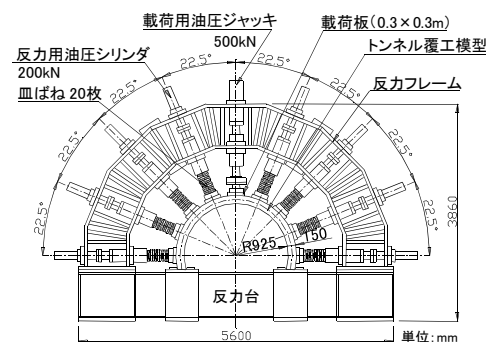
図-1 模型実験装置²⁾

表-1 実験ケース

ケースNo.	覆工材質	強度・仕様
Case1	無筋コンクリート	21N/mm ²
Case2	繊維補強コンクリート	21N/mm ² 鋼繊維 0.5vol%
Case3	れんが積み	オーストラリアれんが 2層
Case4	鉄筋コンクリート	21N/mm ² (モルタル) 複鉄筋

3. 実験条件

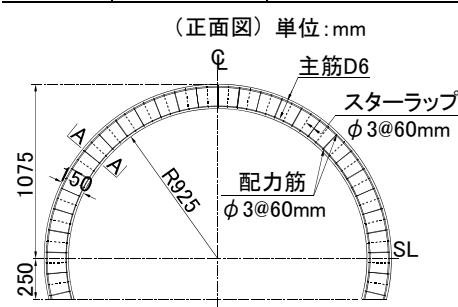
実験ケースは覆工材質をパラメータとして表-1に示す4ケースとした。覆工模型の巻厚はいずれも150mmとし、奥行き方向の延長は300mmとした。Case4の鉄筋コンクリート供試体は、実トンネルを想定した図-2に示す配筋とした。載荷は、天端部の載荷用油圧ジャッキを鉛直下向きに変位制御により行った。

4. 実験結果

図-3に載荷用油圧ジャッキ押込み量 δ が5mm, 20mm, 40mm時における各ケースのひび割れ進展状況を示す。また、図-4に各ケースの載荷荷重と δ の関係を示す。Case1～Case3では、曲げ引張りひび割れが天端内面側に発生し、その後両肩部外側に発生する三点曲げの状態で変状が進展した。さらに δ の増加に伴い、大きく開口したひび割れの圧縮側に圧ぎが発生した。

Case1(無筋)とCase2(繊維)は、ひび割れ進展状況や圧ぎ発生時の δ 、最大荷重はほぼ同様であったが、図-5に示す $\delta=50$ mm時における両ケースの圧ぎ発生箇所の剥落状況を比較すると、Case1では大きな塊状の剥落が発生したのに対し、Case2では最大でも粗骨材(20mm)程度の剥落となった。これは、鋼繊維の架橋効果により、剥落片の大きさが抑制されたためと考えられる。

Case3(れんが)は、肩部内面側の圧ぎは発生しなかったが、荷重は他のケースと比較して小さな値となった。これは、多くの



(A-A断面) 単位:mm

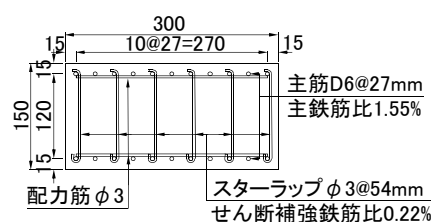


図-2 配筋図 (Case4)

キーワード トンネル, ブロック積み覆工, コンクリート覆工, 繊維補強コンクリート覆工, 大型模型実験
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL042-573-7266

目地を有するブロック積み覆工は、一体構造のコンクリート覆工と比較して、トンネル全体としての弾性係数が小さいためと考えられる。以上の結果から、ブロック積み覆工はコンクリート覆工と比較して耐荷性能は劣るが、大きな変形が生じても覆工内面側に圧ぎが発生しにくいという点では変形性能は高いと考えられる。

Case4(鉄筋)は、他のケースと比較して曲げ引張りひび割れの幅や長さは小さく、肩部内面側の圧ぎも発生しなかった。また、荷重初期段階での荷重の大きな低下も見られず、最大荷重も最も大きな値となった。これは、主鉄筋を配置したことにより、曲げに対する抵抗力が向上したためと考えられる。一方、 $\delta=5\text{mm}$ 付近で天端部にせん断ひび割れが発生し、このひび割れ幅が広がることにより、その後 $\delta=20\text{mm}$ 付近でせん断破壊し、荷重が大きく低下した。このせん断ひび割れの内部を観察すると、スターラップのフック部の抜けが確認された。今回用いたスターラップは丸鋼であり、片方のフック部の形状は直角フックであったため、端部にすべりが生じ、せん断力に対し十分な抵抗力を発揮できなかったためと考えられる。以上の結果から、鉄筋コンクリートは耐荷性能には優れているが、スターラップの配置や仕様が十分でない場合には脆性的な破壊が生じる危険性があると考えられる。

5. おわりに

本稿では、覆工の材質をパラメータとして、上載荷重の増加に対する変形性能および耐荷性能の違いについて実験的検証を行った。得られた結果を以下に示す。

- ・無筋および繊維補強コンクリート覆工は、大きな変位まで荷重の低下がないが、肩部内面側に圧ぎが生じるため剥落の危険性がある。
- ・繊維補強には剥落片の大きさを抑制する効果がある。
- ・ブロック積み覆工は、コンクリート覆工と比較して耐荷性能は劣るが、覆工内面側に圧ぎが発生しにくい。
- ・鉄筋コンクリート覆工は、トンネルとしての剛性は高く、耐荷性能も高いが、スターラップの配置や仕様には十分な検討が必要である。

参考文献

- 1) 吉田竹治：トンネルの変状と活線改築(東北本線中山トンネル)，鉄道土木，Vol.13，No.7，pp.23-28，1971.7
- 2) 岡野法之，小島芳之，植村義幸：大型覆工模型実験によるトンネル覆工の変形特性の再現，第12回岩の力学国内シンポジウム講演概要集，pp.909-914，2008。

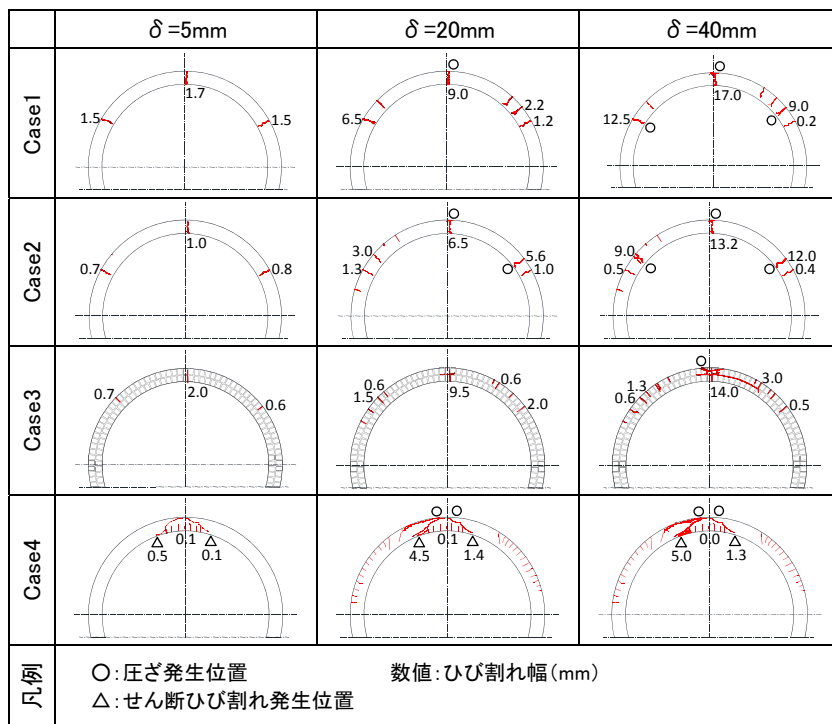


図-3 ひび割れ進展状況

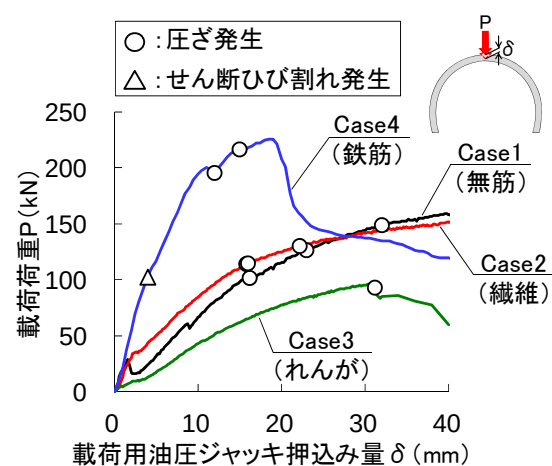


図-4 荷重－変位関係

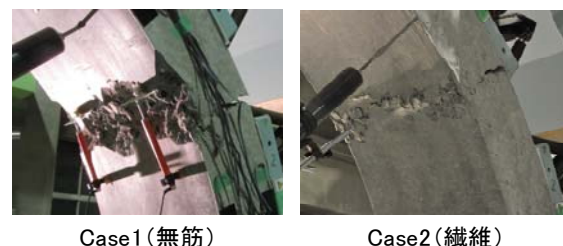


図-5 剥落状況 ($\delta=50\text{mm}$ 時)