

大型覆工模型実験による繊維補強コンクリート覆工の耐荷特性の把握

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 岡野 法之○植村 義幸, 小島 芳之
(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計技術部 正会員 生駒 末年馬, 井浦 智実

1. はじめに

現在, 鉄道の山岳トンネルでは, 繊維補強コンクリート覆工の仕様は, トンネルごとに地質条件や覆工打設直前の内空変位量, 変位速度等の条件に応じて個別に決められており, 統一された設計手法は確立されていない。また, 繊維補強コンクリートによる山岳トンネル覆工の耐荷特性についても十分に検証されているとはいえない状況である。従って, 非鋼繊維も含めた山岳トンネルの繊維補強コンクリート覆工の耐荷特性を把握し, 膨張性地山等の覆工に繊維補強コンクリートを適用する場合の設計法の確立が望ましいと考える。そこで筆者らは, 地盤と覆工の相互作用を考慮できる縮尺1/5の大型トンネル覆工模型実験装置¹⁾を用いて, 鋼繊維補強コンクリートおよびポリプロピレン繊維 (非鋼繊維) 補強コンクリートについて鉛直載荷実験を行った。本稿では, それらの実験結果を以前に実施した無筋コンクリートのケース²⁾と比較することにより得られた知見について報告する。

2. 実験装置

実験装置の概要を図1に示す。実験装置は新幹線トンネル断面の1/5スケールであり, 反力フレーム, 反力用油圧シリンダ, 載荷用油圧シリンダからなっている。供試体の周囲に地盤バネを模擬した皿ばね付きの油圧シリンダを配置しており, 載荷用油圧ジャッキで与えた供試体の変形負荷を皿ばねの変形で受けることにより, 覆工と地盤の相互作用を模擬している。

3. 実験条件

検討ケース, コンクリート配合, 繊維諸元をそれぞれ表1, 表2, 表3に示す。載荷方法は, 載荷板押込み量 0.2mm/step の変位制御に基づく段階載荷で行い, 1分間載荷, 載荷を停止して1分間観察・計測を繰返し, 載荷重が上昇しなくなるまで載荷した。

4. 実験結果

本稿では, 曲げ引張りひび割れ (以下, 単に「ひびわれ」と称す) および曲げ圧縮破壊 (以下, 「圧ざ」と称す) の発生状況, 荷重-変位曲線について示し, 考察する。

1) ひびわれおよび圧ざの発生状況

a) ひびわれおよび圧ざの発生数

各実験ケースのひびわれ進展状況を図2に示す。圧ざの発生数は, いずれのケースも同じであるが, ひびわれの発生数は, 内空側, 地山側ともに鋼繊維のケースが多くなっていることがわかる。一般的に, 鋼繊維にはひびわれの分散効果があるとされているが, 本実験結果はこれを裏付けるものとなった。

b) はく落に対する抵抗性

無筋のケースでは圧ざ発生部分のコンクリートが大きく破壊し, 供試体からはがれ落ちているのに対し, 鋼繊維およびポリプロピレン繊維のケースでははく落片は小さく, はく離はしているものの落下はせずに供試体に止まっていることが確認された。これは繊維補強コンクリートのはく落防止効果を裏付けるものである。

2) 荷重-変位 (天端沈下量) 曲線

荷重-変位曲線を図3に, また天端沈下量 10mm までのひびわれ発生位置を荷重-変位曲線の図4に示す。

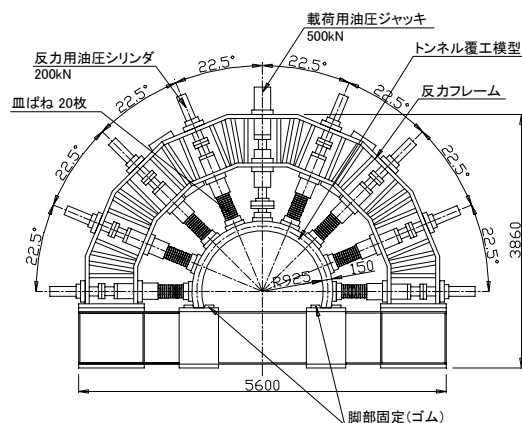


図1 模型実験装置概要

表1 検討ケース

実験ケース	混入率 (vol%)
鋼繊維	0.5
ポリプロピレン繊維	0.5
無筋コンクリート ²⁾	—

表2 コンクリートの配合

設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	セメントの種類	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)
21	普通ポルトランド セメント	20	15±2.5

表3 実験に使用した繊維の諸元

繊維種類	繊維径	繊維長	比重	形状
鋼繊維 (タフグリップ)	0.75mm	43mm	7.85	両端 フック付
ポリプロピレン 繊維 (バルチップJ-K)	0.78mm	48mm	0.91	インデント 形

キーワード 山岳トンネル, 覆工, 実験, 模型, 繊維補強コンクリート

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7266

a) ひび割れ発生前の挙動

いずれのケースも最初のひびわれが発生するまでの荷重－変位曲線の勾配はほぼ等しい結果となった。この領域はコンクリートの曲げ剛性、軸剛性が支配的因子になるため、覆工巻厚が同じ場合は最初のひびわれが発生するまでの荷重－変位曲線の勾配はほぼ等しくなると考えられる。

b) ひびわれ発生～圧ぎ発生前までの挙動

ポリプロピレン繊維および無筋のケースでは、最初のひびわれが発生したときの天端沈下量はともに0.4mm程度（実寸換算で2mm程度）であり、この時の荷重は15kN程度であった。これに対し鋼繊維のケースでは、最初のひびわれが発生したときの天端沈下量が1.2mm（実寸換算で6mm程度）、その時の荷重が47.5kNとなっており、他の2ケースと比較すると変位、荷重ともに約3倍程度大きな値となっている。

ポリプロピレン繊維および無筋のケースでは、2つ目のひびわれが発生した際に荷重の低下が見られたが、鋼繊維補強コンクリートのケースでは、最初のひび割れ発生時に荷重－変位曲線の勾配は小さくなるものの、荷重低下は見られなかった。ポリプロピレン繊維および無筋のケースにおける荷重低下後の荷重－変位曲線は、圧ぎが発生するまでほぼ同じ勾配であるのに対し、鋼繊維のケースは、天端沈下量5～6mm（実寸換算25～30mm）において4つ目のひびわれが発生するまで、他の2つのケースより大きい勾配を示している。これらのことは、鋼繊維は、ひびわれ発生直後から補強効果を発揮し、覆工コンクリートの曲げ引張強さが向上しているのに対し、ポリプロピレン繊維は覆工コンクリートの初期のひびわれに対する抵抗性の向上にはさほど効果がなく、ある程度変状が進んだ（ひびわれが開口した）状態から効果を発揮することを示している。これは、鋼繊維とポリプロピレンの引張強度および剛性の違いによるものと考えられる。

c) 最大荷重

各ケースの最大荷重は、鋼繊維 177kN、ポリプロピレン繊維 168kN、無筋 132kN であった。無筋と比較すると繊維補強のケースは耐力的に優れている（最大荷重差 35kN～45kN 程度）という結果となったが、鋼繊維とポリプロピレン繊維のケースでは明確な違いは見られなかった。

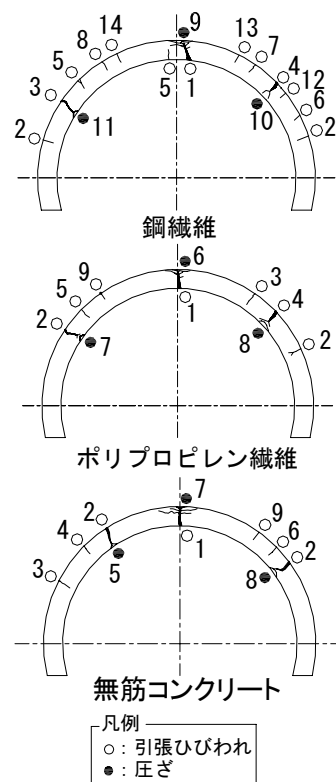
5. まとめ

本稿では、背面空洞や巻厚不足等の欠陥がないトンネルに対するクラウン部鉛直載荷模型実験について述べた。本実験により得られた知見を以下に示す。

- ・鋼繊維のひびわれ分散効果を実験により再現できた。
- ・繊維補強コンクリートのはく落防止効果を実験により再現できた。
- ・最初のひびわれが発生するまでの荷重－変位曲線の勾配は、繊維の有無、繊維種類によらずほぼ等しい。
- ・繊維補強されたトンネル覆工は無筋コンクリートに比べ耐力的に優れている。
- ・鋼繊維とポリプロピレン繊維とでは最大荷重に大きな差は見られなかったが、天端沈下量20mm程度までを比較すると鋼繊維のほうが力学的に優れているといえる。

参考文献

- 1) 高橋幹夫他: 大型トンネル覆工模型実験装置の開発, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, III-070, pp. 139-140, 2006. 9
- 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論文集, 132, pp. 909-914, 2008. 9



図中の数値は発生順序を示す。

図2 ひびわれ、圧ぎ発生状況

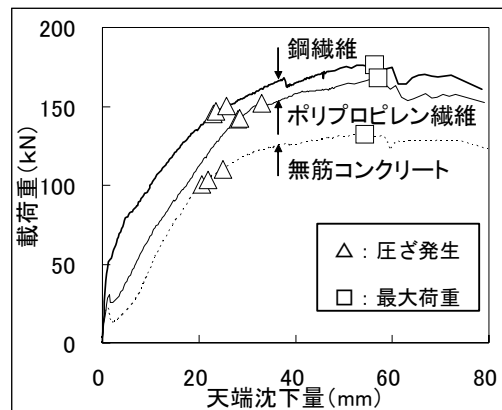


図3 荷重－変位曲線

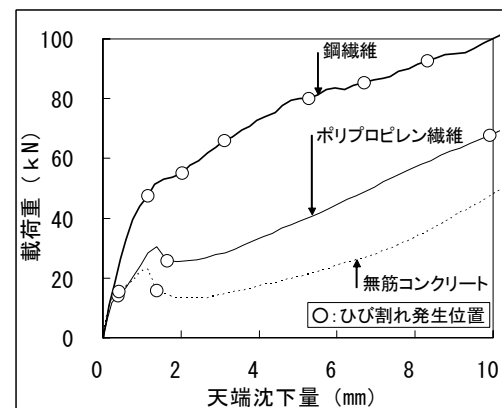


図4 荷重－変位曲線(天端沈下10mmまで)