

大型トンネル覆工模型実験

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員○植村 義幸, 岡野 法之
小島 芳之, 野城 一栄

1. はじめに

トンネル覆工の変状に対する定量的な性能評価法の検討および曲げ圧縮破壊（以降「圧ざ」と表現）発生後の変形挙動の把握を目的として、実際のトンネル覆工に近い変形挙動を再現することができる、新幹線標準断面を想定した縮尺 1/5 の覆工模型実験装置を開発し¹⁾、鉛直方向一点載荷実験を行った。本稿では、無筋コンクリート供試体の強度を変化させたケース、模型厚さ（巻厚）を変化させたケースについて行った載荷実験結果を報告する。

2. 実験装置

載荷試験に用いた大型トンネル覆工模型実験装置を図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。計測項目はトンネル内空変位計 9 箇所（ジャッキ・シリンダ位置）、コンクリートひずみ 18 箇所（ジャッキ・シリンダ位置模型側面の内外）、および載荷荷重である。

3. 実験条件

本実験はコンクリート強度と模型厚さをパラメータとしているが、本稿では表1に示す3ケースについて示す。模型厚さは150mmが在来工法、65mmがNATM（標準巻厚30cm）覆工を模擬している。なお、載荷はクラウンからの鉛直載荷とし、覆工模型は背面空洞および巻厚不足等の欠陥がなく、健全な状態とした。図2に載荷方法を示すが、載荷は載荷板押込み量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

実験により得られた荷重－変位（天端沈下量）曲線および各ケースのひび割れ進展状況を図3および図4に示す。

変状の発生数はケースごとにバラツキが見られたが、変状発生順序はいずれのケースも①クラウン内側に曲げ引張りひび割れ②アーチ肩部外側に引張りひび割れ③クラウン外側に圧ざ④アーチ肩部内側に圧ざの順であった。クラウン部の曲げひび割れ発生時の天端沈下量はケース1が0.4mm、ケース2が0.8mm、ケース3が1.1mm（実寸換算2～5mm程度）であった。コンクリート強度の異なるケース1とケース2を比較すると、最初のひび割れが発生するまでの傾きはほぼ等しく、最初の曲げひび割れ発生後、傾きは小さくなるものの荷重は緩やかに増加し、最初の圧ざ発生時に荷重の低下は見られなかった。最大荷重については、ケース1が130kN程度、ケース2が160kN程度で

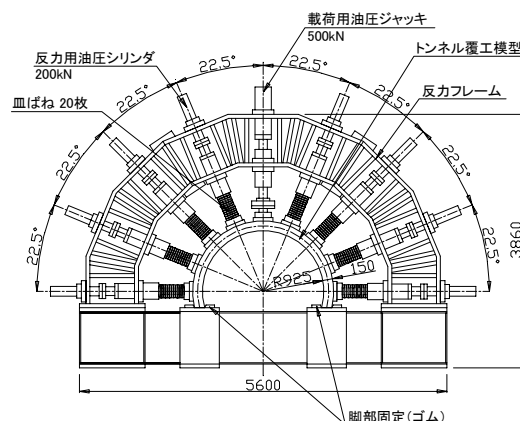


図1 実験装置の概要

表1 実験ケース

ケースNo.	コンクリート強度	模型厚さ
1	21 N/mm ²	150mm
2	30 N/mm ²	
3	21 N/mm ²	65mm

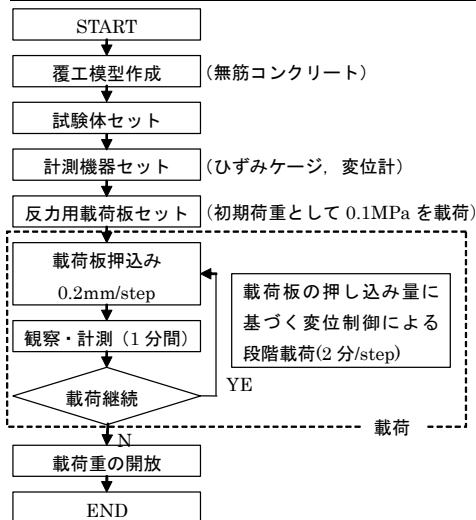


図2 載荷方法

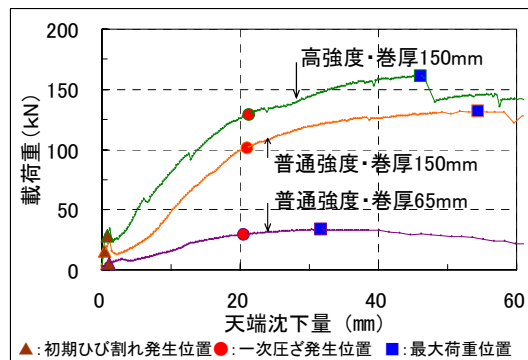


図3 荷重－変位曲線

キーワード 山岳トンネル, 覆工, 実験, 模型

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

あり、コンクリート強度の違いによる明確な違いは見られなかった。これに対し、模型厚さ $t=65\text{mm}$ のケース 3 では、初期ひび割れが発生するまでの荷重-変位曲線の勾配は他の 2 ケースに比べて小さく、最初の圧ぎ発生時に荷重の低下はケース 1、ケース 2 と同様見られなかったものの、最大荷重は約 35kN とかなり小さい結果となった。

最大荷重に対する変状発生時荷重の割合を図 5 に示す。いずれのケースについても、最初のひび割れ発生時の最大荷重に対する割合は 20%以下であり、残存耐力は十分に残っていると言える。しかし、最初の圧ぎ発生時はケース 1、ケース 2 で 80%程度となり、残存耐力がかなり少ない状態になっており、ケース 3 では 90%程度となり、最大荷重に近い状態であることを示している。

圧ぎ発生時のコンクリートの限界ひずみを検討するため、ひび割れ（発生箇所）の回転角と軸力について、実験における圧ぎの有無および計算結果を図 6 のように整理した。なお、実験におけるひび割れの回転角 λ は、 $\lambda = B/h$ （ B ：引張側に発生したひび割れのひび割れ幅、 h ：模型厚さ）により算出している。

一般に、コンクリートの圧縮限界ひずみは 3500μ が用いられているが、本実験結果は、トンネルの無筋コンクリート覆工の圧ぎを判定するための限界ひずみとしては 30000μ 程度が採用可能であることを示している。

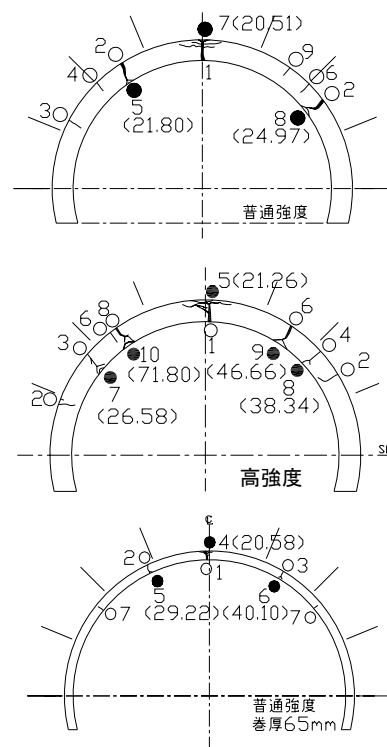
5. まとめ

1/5 スケールの大型トンネル覆工模型実験装置を使用し、クラウン部鉛直載荷実験により、欠陥の無いトンネル覆工における圧ぎ発生後の挙動を確認した。本研究の結論を以下に示す。

- ① いずれのケースについても最初の圧ぎ発生以降も急激に荷重が低下することはなく、欠陥の無いトンネル覆工においては圧ぎが一つ発生しても十分な変形性能を有している。
- ② 圧ぎ発生時荷重の最大荷重に対する割合は、覆工厚 150mm のケース 1、ケース 2 の場合、最初の圧ぎ発生時で 80%程度であり、圧ぎが一つ発生すると残存耐力はかなり少ない状態になっている。また、NATM の場合の標準巻厚を模擬した覆工厚 65mm のケース 3 では、最初の圧ぎ発生時荷重は最大荷重の 90%に達しており、最大荷重に近い状態である。
- ③ コンクリート強度の異なるケース 1、ケース 2 を比較した場合、明確な違いは見られなかったが、模型厚さが薄いケース 3 の場合は荷重-変位曲線の勾配は他の 2 ケースに比べて小さく、最大荷重もかなり小さい結果となった。これらのことからトンネル覆工の力学挙動に及ぼす影響はコンクリート強度よりも覆工巻厚に依存するところが多い。
- ④ ひび割れ（発生箇所）の回転角と軸力について、実験における圧ぎの有無および計算結果を整理すると、一般に、コンクリートの圧縮限界ひずみは 3500μ が用いられているが、トンネルの無筋コンクリート覆工の圧ぎを判定するための限界ひずみとしては 30000μ 程度が採用可能である。

参考文献

- 1) 高橋他：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



※図中（ ）内の数値は圧ぎ発生時の天端沈下量（mm）である。

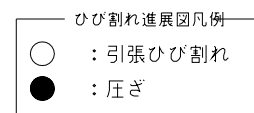


図 4 ひび割れ進展状況

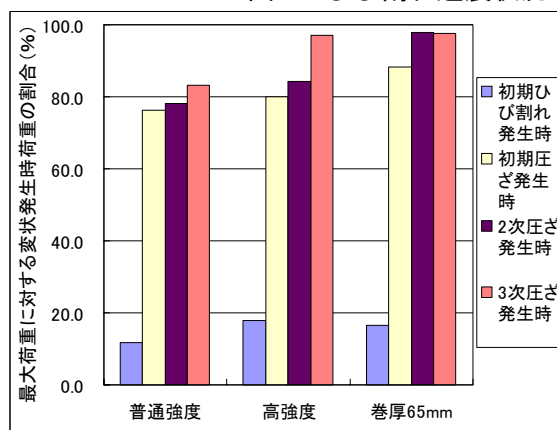


図 5 最大荷重に対する変状発生時荷重の割合

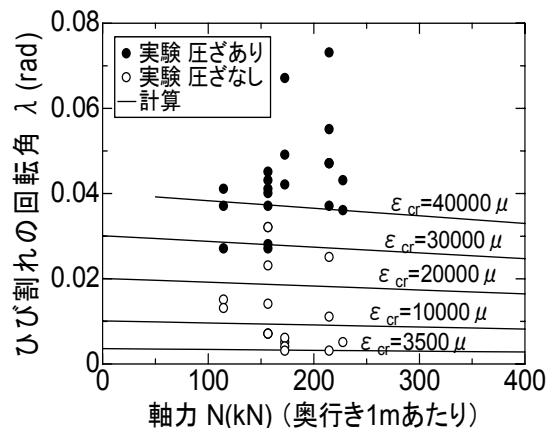


図 6 圧ぎ発生時の限界ひずみの評価