

トンネル補強工法の開発（その2）模擬トンネルの載荷試験

日本コンクリート工業 正会員 ○小寺 満、土田伸治、森 薫
熊谷組 正会員 木戸義和、山森規安

1. はじめに

老朽化した鉄道トンネルの補修工法は、トンネルの劣化状況と原因を調査し、さらに内空断面の確保、既設配線類への影響、夜間の短時間作業、電波障害等を考慮して選定されている。現在採用されている工法には、炭素繊維、鋼板およびプレキャストコンクリート板等をトンネル内空部に貼り付ける方法や漏水対策工など様々なものがあるが、コストを含め問題点も多いのが現状である。筆者らは、鉄道トンネルの新補修工法として、薄肉構造、人力施工、迅速施工、支保工の簡略化などを考慮し、超高強度の鋼繊維補強モルタルを用いた覆工板を開発した。本報告は、裏込め充填前後での載荷試験を通して、鋼製模擬トンネル内に構築した覆工板の力学的特性を評価した。

2. 試験概要

2.1 使用材料：覆工板は、表1に示すような鋼繊維混入超高強度モルタルで構成されている。また、設計諸数値の設定は、土木学会「鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)」(以下、鋼繊維指針)に準拠した。

表1 鋼繊維補強モルタルの材料特性

特性項目	特性値	適用
設計基準圧縮強度 (σ_{ck})	192 N/mm ²	鋼繊維指針
設計基準曲げ強度 (σ_{bk})	36.7 N/mm ²	鋼繊維指針
弾性係数	55 kN/mm ²	
許容圧縮応力度 (σ_{ca})	48.0 N/mm ²	鋼繊維指針 $\sigma_{ck}/4$
許容曲げ引張 応力度	長期 (σ_{ba1})	9.2 N/mm ²
	短期 (σ_{ba2})	13.8 N/mm ²
比重	2.60	1.5×長期 実測値

2.2 覆工板形状：覆工板

の形状を図1に示す。

幅約40cm、長さ1m、厚さ4cmで、質量約25kgと人力施工が可能な大きさとした。また、覆工板は従来のシールドセグメントの様に周方向にボルトで接合してリングを併合後、隣接リングを千鳥配置で組み立てる構造となっている。なお、埋め込みインサート以外の継手金物類は用いていない。

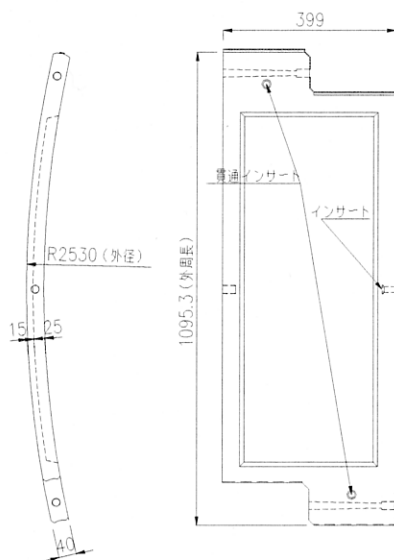


図1 覆工板形状

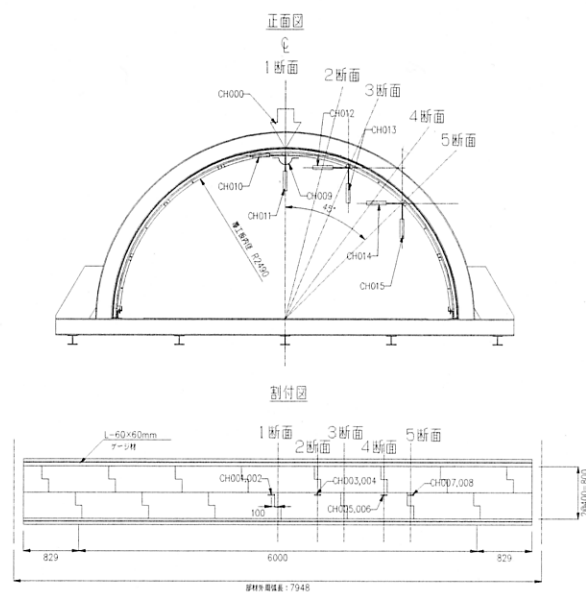


図2 模擬トンネル

2.3 模擬トンネル：図2に示すように、半径約2.5mの鋼製トンネル（H-250×250mm造）の内側に覆工板を2リング取付け、貫通インサート部から半径方向外側にスペーサボルトを張り出して安定させた。載荷は、トンネル頂部から油圧ジャッキで既設覆工の剥落を想定した荷重8kN（10kN/m）を載荷後、覆工板と模擬トンネルの隙間（10mm）を裏込め材で充填し、硬化後さらに載荷試験を行った。

キーワード：トンネル補修、内巻き工法、鋼繊維補強モルタル、鉄道トンネル、載荷試験

連絡先：〒108-0075 東京都港区港南 1-8-27 日本コンクリート工業(株) 技術開発部

Tel：03-5462-1037 Fax：03-5462-7048

3. 試験結果

3.1 荷重～変位：図3に載荷荷重とクラウン部鉛直方向変位の関係を示す。なお、図中のフレーム解析は剛性一様の2ヒンジアーチとして解析し、ピース間継手はピン結合に近いため、曲げ剛性を半分として評価した。図より、裏込め充填前のカーブは、急な立ち上がりで進展するが4kNを越えた付近から傾きは小さくなった。充填後の場合も18kNまで直線的に増加するが、傾きが緩やかになり、その後徐々に水平に近くなった。最大荷重載荷後の荷重減少は緩やかで、除荷すると変位は減少し、14mm程度の残留変位となった。これから、本工法は変形能力および復元性が高いことが判る。

裏込め充填前および充填後共、フレーム解析値に比較して、荷重が小さい範囲では傾きが多少大きいが、荷重が増加するにしたがって傾きが小さい方向へ大きく変化した。これは、図4のひずみ図から、トンネル内空側にひび割れが発生したために覆工板の曲げ剛性が低下したためと考えられる。

裏込め充填後に剛性が大きくなっている理由は、充填前にはアーチ状の薄板がスパーサボルトによって部分的に支保されているのに対して、充填後は充填材が面的に板の変形を拘束していること、ピースおよびリング間継手剛性が増加することによるものと考えられる。

3.2 荷重～ひずみ：図4に載荷荷重とクラウン部覆工板の表面ひずみの関係を示す。変位と同様の挙動を示し、荷重の増加とともに傾きは小さくなった。短期許容応力度からひずみ換算した値と比較すると、載荷荷重4kN程度で許容値(引張)に達していることが判る。本覆工板に用いた鋼繊維補強モルタルは、200 μ 程度で初期ひび割れが発生するものの、目視で判別できるひび割れに進展するまでには2倍以上の荷重増加を要したことから、ひび割れ分散性が非常に良いことが判る。

3.3 破壊状況：裏込め充填後に最大荷重以降まで載荷を行ったあとの状況を写真1に示す。覆工板のひび割れは、載荷点であるクラウン部に集中し、載荷点と隣接するピースの部材中央にトンネル軸方向に沿ったひび割れが見受けられた。

4. 結論

本試験の範囲内から、部材厚4cmのセメント系板で、覆工板自重、裏込め材液圧、既設覆工の剥落荷重等に対して抵抗できる部材および構造の実験的な確認ができた。しかし、裏込め充填前では剛性一様モデルでの解析値とは整合しないことから、今後、より適切な設計方法（設計荷重、解析モデル、許容値等）を検討する必要がある。

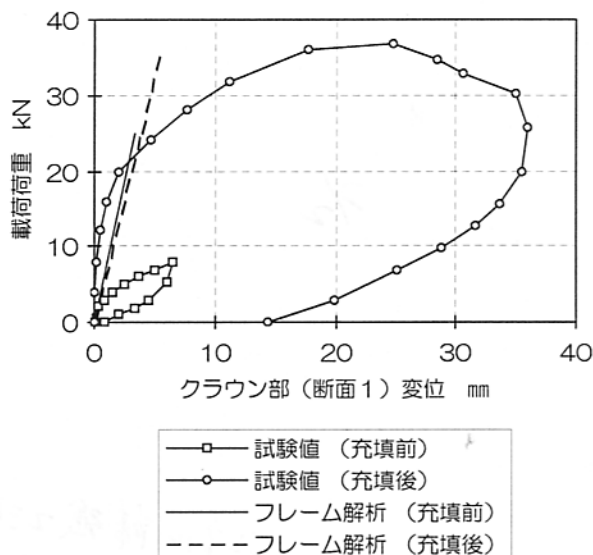


図3 荷重と変位の関係

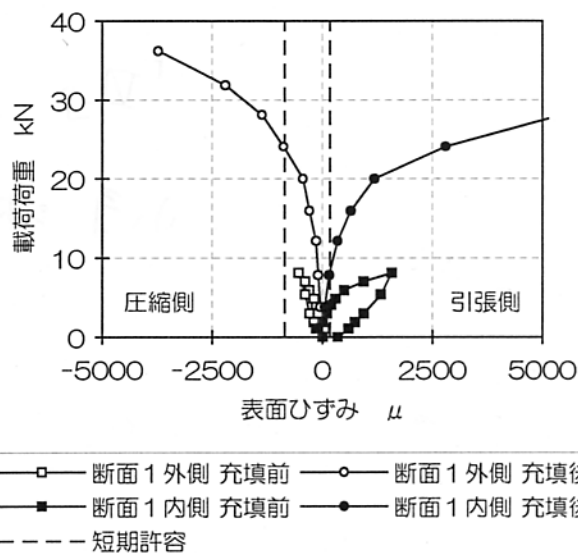


図4 荷重と覆工板の表面ひずみの関係



写真1 破壊状況（クラウン部）