

トンネル補強工法の開発（その1） — トンネル覆工補強工法の設計・施工に係わる実証的検討 —

（株）熊谷組 土木技術部 正会員 ○岩井 孝幸、森 康雄
首都圏支社 荒生 博夫、斎藤 孝志
日本コンクリート工業（株） 正会員 小寺 満、土田 伸治

1. はじめに

現在、供用中のトンネルでは、煉瓦づくりや石積みのトンネルのほか部分的には無普請（覆工なし）のトンネルもあり、各種要因で劣化している例が見られる。本実験では、覆工コンクリートのジャンカ、コールドジョイント、巻き厚不足のほか、乾燥収縮や材料分離などにより発生したひび割れなどが原因で生じるコンクリート片の剥落を防止するトンネル覆工補強工法の設計・施工に係わる実証性の確認を行った。

2. トンネル補強工法とは

トンネル補強・補修工法には、①地圧の増加により変状が生じたトンネル、及び変状の生じるおそれのあるトンネルを補強する地圧対策、②トンネル覆工の材料が劣化し、補修を要する場合の劣化覆工対策及び③トンネル内への漏水による被害を防止する漏水対策に大別される。

本工法は、トンネル覆工補強工法のひとつとして、劣化した既設トンネル覆工の内側に、厚さ40mm、大きさ400mm×1,000mmの鋼繊維入り高強度モルタル製覆工板を1枚ずつボルトで、既設覆工面に沿ってアーチ状に組み立て、既設覆工面との隙間に充填材を注入し、既設トンネル覆工を補強するものである。

本工法の特徴は以下の通りである。

- 軽 量：1枚25kgと軽量であり、人力により運搬、組み立てが可能。
- 薄 肉：裏込め充填を含めた補強厚さを10cm以下にすることができるため、断面が小さく建築限界に余裕が少ないトンネルにも適用できる。
- 高強度：圧縮強度190～240N/mm²、曲げ強度35～40N/mm²と高強度であるため、厚さを薄くできる。
- 高靱性：鋼繊維を多量に混入しているため変形性能が高く、地山の変形に伴うトンネル覆工の脆性的な破壊を防止することができる。
- 無支保：裏込め充填に際して覆工板の変位をアンカーボルトまたは突っ張りボルトで抑制するため、支保工は不要である。

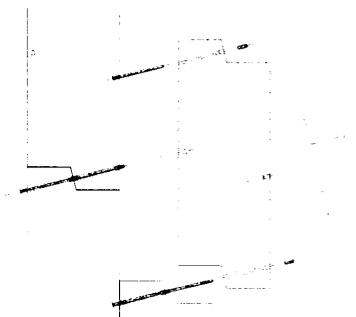


図-1 覆工板の組立順序図

【覆工板の組立方法】

- ① 前施工のリングの覆工板に接続用ボルトを取り付ける。
- ② 直前に組み立てた覆工板の高ナットに接続用ボルトを取り付ける。
- ③ 覆工板を設置する。
- ④ ①と②で取り付け付けた2本のボルト端部に高ナットを取り付け規定のトルクで締め付け、覆工板を堅結する。

3. 実証実験

半径2.5m、延長2mのコンクリート模擬トンネル（図-2参照）の内側に覆工板を組み立て、裏込め充填を実施した。裏込め充填高さは、50cmとした。

（1）設計

①強度

設計基準強度として、圧縮強度：192N/mm²、曲げ強度：36.7N/mm²とする。

許容応力度設定のための安全率は、「鋼繊維補強コンクリート」（土木学会）を参照した。

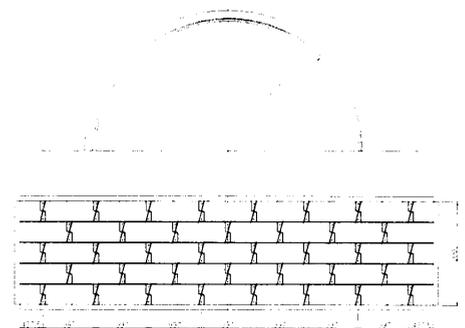


図-2 実証実験概要図

キーワード トンネル補強、覆工板、ダクトル

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 (株)熊谷組 TEL03-3235-8646

②解析モデル

添接曲げ試験の計測結果を参考に剛性一様モデルと梁バネモデルの適用性について検討した。

表-1 許容応力度（単位：N/mm²）

強度	短期	長期
圧縮強度	48	48
曲げ引張強度	13.8	9.2

③覆工板の変形抑止対策

突っ張りボルトとアンカーボルトの効果について施工性等も含めて比較検討した。

④設計荷重

荷重として、覆工板自重、充填材液圧、外力（はく落荷重）を作用させ、応力の重ね合わせを行い、最終的に覆工板に発生する応力を長期許容応力度以下になるように充填材の打ち込み高さを設定した。

（2）裏込め充填

充填材の充填性を確保するためには押し上げ方式が適切であるが、押し上げ方式の場合注入口付近の圧力が上昇する。このため充填材と覆工板がはく離する可能性が考えられる。さらに、今回使用した充填材は流動性が良好であるため自然流下方式を採用しても充填性には問題ないものと考えられる。

（3）止水板

水膨潤性の止水ゴム（幅 20mm、厚さ 4mm）を厚さが 2mm までになるまでにボルトを締め付けて施工したが、組み合わせのずれや締め付け位置の問題などにより均等な厚さに締め付けることが困難であり、隙間が発生しやすく、充填材の漏れにつながった。そこで、多少組み合わせのずれが生じて隙間が発生せず、時間の経過に伴い目詰まりが発生しやすいスポンジ製の隙間テープが適切であった。

（4）はく離防止対策

覆工板背面を粗にすることにより摩擦力の増加するが、接着力の増加にはあまり期待できない。また、接着剤を塗布することも考えられるが、接着剤の効果持続期間が短いため適用できない。一方、突起物を設けることにより構造的に接着力を期待できる。

4. 設計・施工要領

上記検討結果を踏まえて実施に施工する際の設計・施工要領を以下に示す。

①設計方法

梁バネモデルにおけるせん断バネや回転バネの同定が難しいため、覆工板をアンカーボルトで固定する場合、裏込め充填時の計測結果を参考にして、簡易的にリング間の剛性低下を考慮して剛性一様モデルで設計する。

②裏込め充填

充填材は、早期強度発現性や、長期耐久性を考慮して超早強性のセメントモルタルとし、1回当たりの充填高さを 50cm 程度とする。充填材の流動性が非常に良好であれば、充填法は自然流下方式で可能である。

③止水板

止水板としてスポンジ製の隙間テープ（幅 10mm、厚さ 15mm）を使用する。

④はく離防止対策

覆工板と充填材のはく離防止を目的に、覆工板の裏側に突起物を設ける。

5. 今後の課題

①適切な設計方法の採用

現在、既設トンネルの補強に関する設計方法として確立されたものは見られないが、トンネルの種類、トンネルの劣化状況、補強材料、施工方法に応じた適切な設計方法（設計荷重、解析モデル、許容安全率等）を採用する必要がある。

②曲線部や各種支持部への対応

劣化したトンネル覆工の補強としてはコンクリート二次製品が使用されることが多い。二次製品使用する場合、標準部への対応には適しているが、トンネルには曲線部や電線・ケーブル類の支持部なども多く、このような部分に対する標準化の検討も必要となる。