

## トンネル覆工コンクリートの内巻補強工法効果に関する検討

東急建設株式会社 正会員 小島文寛 伊藤正憲 早川健司  
前原 聡 岡野晃久

## 1. はじめに

昭和初期に矢板工法で建設されたトンネルでは、覆工コンクリート背面に空洞が存在しているところがある。特に、当時のコンクリート打設は、生コン工場、ポンプ車、締固め振動機などがなく、人力で施工されていたため、コンクリート強度は低く、覆工厚も薄い部分がある<sup>1)</sup>。このようなトンネルの健全性を長期間維持するために、背面空洞充填を含めて適切な補修・補強工法の適用が必要となる。最近では、各機関で補修・補強マニュアル<sup>2)3)</sup>などが整備されている。しかし、いずれも背面空洞充填工法の施工に際しては、事前調査を行い圧縮強度が10N/mm<sup>2</sup>以下や覆工厚が200mm以下の部分には、充填作業時の安全性を含めて、なんらかの内巻補強工法を施工することを求めている。

そこで、覆工厚が設計よりも薄い場合を想定し、背面空洞充填工法に先立ち実施すべき内巻補強工法の効果の検証を目的として検討を行った。

## 2. 実験概要

本検討では、写真-1に示すような鉄道複線トンネルの覆工の1/2モデル、天端60~120度範囲を想定したアーチ型無筋コンクリート試験体を対象とした。表-1に試験体の諸元等を示す。天端厚は背面空洞を想定し、事前に補強が必要のない断面厚100mmと事前補強が必要となる75mm、50mmの3体の試験体を作製した。

表-2に試験体と適用条件を示す。補強工法としては、ロックボルト工およびアラミド繊維シート(目付量90g/m<sup>2</sup>)を接着した高靱性モルタルボード貼付け工(写真-2)などである。荷重は、図-1に示すように、50tジャッキを用いて単純荷重し、荷重、変位などを計測し、ひび割れなどの発生状況を確認した。なお、本報告での補強効果の検証は、初期剛性(初期ひび割れ発生前、弾性域内の天端変位0.6mm時の荷重)および終局破壊状態(荷重-変位関係)とした。



写真-1 1/2モデル試験体



写真-2 高靱性モルタルボード

表-1 試験体、補強工の諸元

	試験体寸法(mm)					空洞厚	補強工		
	内半径	覆工厚	天端厚		ロックボルト		ボード固定用アンカ		
実大トンネル	4000	500	200	150	100	500	SD295、D25@900mm	SD345、D32@900mm	M12@450mm
1/2試験体(400mm幅)	2000	250	100	75	50	250	SD295、D13@450mm	SD345、D16@450mm	M6@225mm

表-2 試験体と適用条件

No.	天端厚(mm)	補強工法*				適用**
		ロックボルト	モルタルボード	アンカー	ボード接着	
No.1	100mm	-	-	-	-	破壊
No.2-1	75mm	-	-	-	-	初期
No.2-2		-	4mm	-	-	初期
No.2-3		D13	4mm	-	-	初期
No.2-4		D13	4mm	-	-	破壊
No.3	50mm	D16	4mm×2	-	-	破壊

\*モルタルボード2枚、覆工への接着は、エポキシ樹脂を使用

\*\*初期：弾性範囲で荷重後、除荷、破壊：破壊状態まで荷重

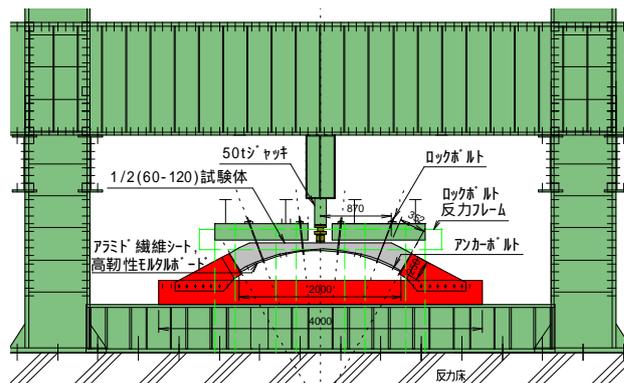


図-1 1/2モデル試験体 荷重試験

キーワード トンネル補修・補強 トンネル背面空洞 内巻補強 高靱性モルタルボード

連絡先 〒229-1124 神奈川県相模原市田名3062-1 東急建設株式会社 技術研究所 土木研究室 TEL 042-763-9507

### 3. 実験結果

#### 3.1 初期剛性による効果の検証

No.2 を対象としてひび割れが発生する前の初期剛性に着目して各種の補強工法の効果を検証した。図-2 に各補強パターンと天端変位 0.6mm 時の荷重を示す。無補強 No.2-1 を 100% として各補強工法の効果を定量的に比較する。ボードをアンカーで取り付けた No.2-2 では、+5% の補強効果が、これにロックボルトを取り付けた No.2-3 では+28%、さらにボードを試験体に樹脂接着した場合、つまり試験体にアンカーとエポキシ樹脂でボードを接着させ、これにロックボルトを取り付けた No.2-4 では、無補強よりも+42%の補強効果があることが確認できた。

#### 3.2 破壊状況による効果の検証

覆工厚を変えた試験体に対する補強効果は、図-3 に示す「荷重 - 変位関係」で評価した。しかし、実施工を考慮すると充填材注入時の安全性についても検証する必要がある。つまり、覆工が極端に薄い場合、充填時の圧力により覆工に変状を起こさせないことも重要な要件と考えられる。ここで、事前に行った充填性試験時<sup>3)</sup>に計測した無機系充填材の注入圧力値 $0.078\text{MPa}$ から、実工事において半径 2m の範囲の覆工背面に材料を充填することを想定し、1/2 モデル試験体にかかる荷重を算定した。想定荷重は、31.4kN であり、これもひとつの評価基準とした。

No.2-4 は、天端厚 75mm の試験体を補強したものであるが、No.1 とほぼ同様の結果が得られ、ロックボルトとボード接着による補強効果が確認できた。一方、天端厚 50mm を補強した No.3 は、No.2-4 とほぼ同じ補強を行った場合でも剛性の変化点は低い荷重で発生し、その後の靱性補強効果も若干小さかった。これは、断面厚が薄く、ひび割れ発生後に有効なアーチ効果が発揮されなかったことなどが影響しているものと考えられる。しかし、ひび割れ発生前の剛性は、No.1 と同等となり、特に、ひび割れ発生時の荷重が前述の 31.4kN を超えていることから、充填工施工時に天端変位を計測することなどにより安全に作業できることが確認できた。

### 4. まとめ

矢板工法で建設された古いトンネルを想定し、覆工コンクリートが健全な状態でないとして背面空洞充填工の前提となる内巻補強工法の効果の検証を実施した。その結果、覆工厚が 100mm 程度と薄い場合でも適切な補強工法を適用することにより、安全に作業ができ、さらに健全性の向上に寄与することが確認できた。ただし、覆工が 100mm 以下と極端に薄い場合には、終局的な耐力の増加は期待できないことになり、今回適用したボードの剛性を高めた場合の効果の検証など、今後の課題とする。

【参考文献】1)トンネルライブラリー第12号 山岳トンネル覆工の現状と対策、土木学会、平成14年9月

2)トンネル補修・補強マニュアル、財団法人鉄道総合研究所、平成19年1月

3)矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工指針、NEXCO 中央研究所、平成18年10月

【謝辞】本実験を行うにあたり、ご協力いただいたヒューマンテクノエンジニアリング株式会社 狩野氏に深く感謝いたします。

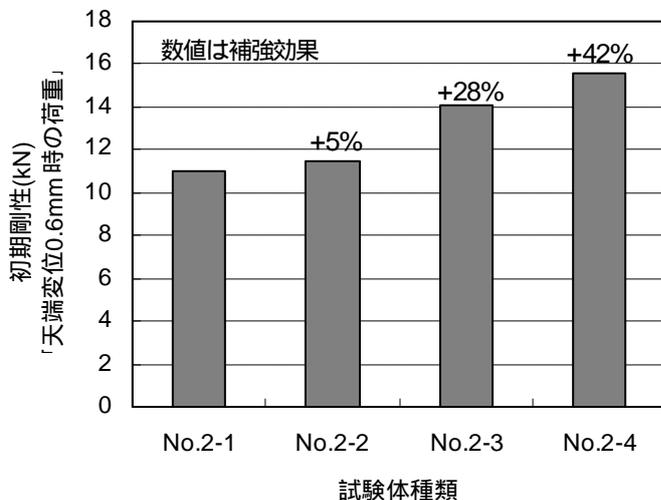


図-2 各補強工法を適用した場合の初期剛性

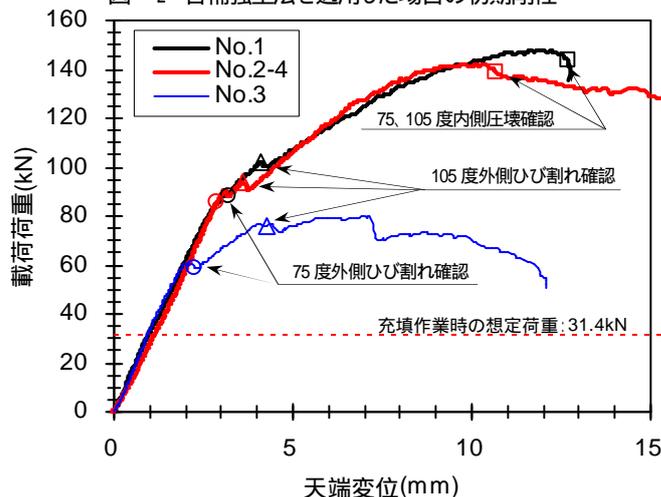


図-3 載荷荷重と天端変位の関係(破壊試験)

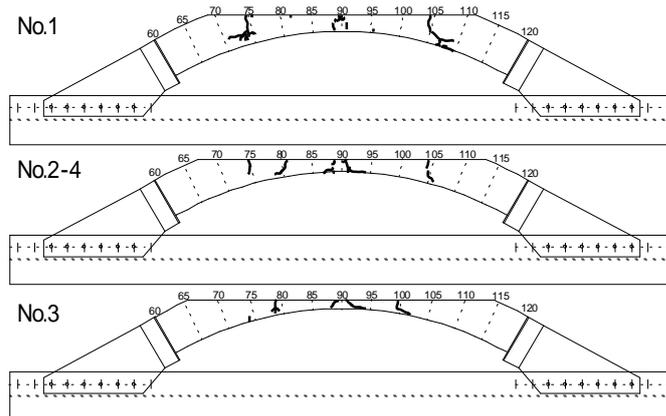


図-4 各試験体の載荷後のひび割れ観察結果