

高靱性セメント複合材料を用いたトンネル補修技術

- 中越地震で被災したトンネル補修工事への適用 -

鹿島建設(株)	正会員	山本 拓治
鹿島建設(株)	正会員	名児耶 薫
鹿島建設(株)	正会員	平石 剛紀
鹿島建設(株)	正会員	坂田 昇
J R 東日本	正会員	清水 満
(独) 土木研究所	正会員	真下 英人

1. はじめに

比較的大きな変状が発生したトンネルの補強対策には、全断面覆工打替え工法や既設覆工の内面にプレキャストコンクリート、鋼板などを接着する内面補強工法などがある。しかし、打替え工法では、不安定な既設コンクリートの撤去に際し、多大な工費と工期も必要となる。一方、補強断面が厚い内面補強工法によれば、内空を侵すため建築限界を確保できないことが考えられる。そのため、出来得る限り薄肉で、圧縮・引張耐力ともに向上が期待でき、かつ安全性・経済性に優れた内面補強工法の開発が期待されている。このような市場ニーズを受け、筆者らは、鋼材と高靱性セメント複合材料（Engineered Cementitious Composite 以下、ECC）を用いた薄肉な内巻補強技術（以下、本工法）を開発し、実大規模の載荷実験で十分な耐力向上効果¹⁾を確認している。ここでは、本工法を新潟中越地震により被災した J R 上越線天王トンネルの災害応急工事に適用したので、その工事実績について報告する。

2. 工事概要

本工法が採用された J R 上越線天王トンネルは、新第三紀鮮新世川口層に建設された延長 285m の単線鉄道トンネルで、1965 年に竣工した。工事は、建設当時の標準工法であった導坑先進上部半断面工法により施工された。中越地震の影響で、覆工コンクリートに変状が生じ、S L 付近のコンクリート片の剥落（写真 - 1）などが確認された。補強対策工法の選定に際し、既設覆工コンクリートの耐力向上は当然のことながら、工期短縮と恒久的な剥落防止性能も要求され、各種対策工法を比較検討した結果、本工法が採用された。本工法の適用範囲は、特に損傷が著しかった計 37m 区間であり、施工面積約 500m²、ECC 施工数量約 25m³（施工厚さ 50mm）であった。工事は、昼夜連続作業により実働 10 日間で完了した。

3. 本工法の特徴

本工法で使用する ECC は、従来のセメント系材料では考えられない鋼材に類似した伸び性能を示す材料で（図 - 1）、ひび割れ発生後も繊維の架橋効果により引張力を負担するため、トンネル覆工に局所応力が作用した場合でも引張補強効果が期待できる。また、エキスパンドメタルなどの鋼材を、ECC 吹付け前に既設覆工コンクリートに相当数のアンカーで固定するため、補強部材の一体化がはかれるとともに、母材と補強材の界面が剥離したとしても補強部材の一部あるいは全体が剥離・剥落する危険が少ない。また、本工法は既設覆工にひび割れ等の弱面が存在す場合には当該箇所に



写真 - 1 側壁コンクリートの剥落

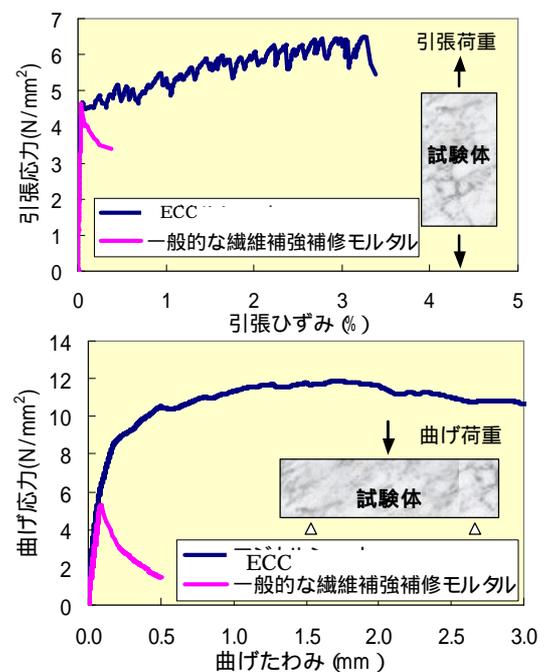


図 - 1 引張り性能および曲げ性能

キーワード トンネル，覆工，補強，補修，高靱性セメント複合材料，震災復旧

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設技術研究所 TEL 0424-89-7849

局所的な併用補強工として鋼板接着工を行った後にECC吹付けを行うことも可能で、補強厚は $t=50\sim 70\text{mm}$ を標準としている。また、ECCは中性化促進試験および凍結融解試験の結果から、一般のコンクリートと比較して、優れた耐久性を有することが示されており²⁾、補強層内部の鋼材が腐食する可能性は低い。又、コンクリートとの付着性能にも優れた材料で、凍結融解作用後の付着強度が低下しないことを室内実験により確認している。

4. 施工手順

トンネル断面図および補強断面を図-2に示す。本工事では、建築限界の制約から、損傷した既設覆工コンクリート内面に内巻補強を施すことができなかったため、補強断面50mm分をあらかじめ切削した。切削終了後、漏水対策としてひび割れ注入を行い、大規模剥落部分については、事前にポリマーセメントモルタルにて断面修復を行った。次に、既設覆工にアンカーを設置して、エキスパンドメタル(XS-82, 2400×1200mm)の取付けを行った。エキスパンドメタルは、鋼材背面へのECCの充填性に配慮し、既設コンクリートから10mm離して設置した。最後に、補強断面50mmに対し、ECCを4~5層に分けて吹付けた(写真-2)。

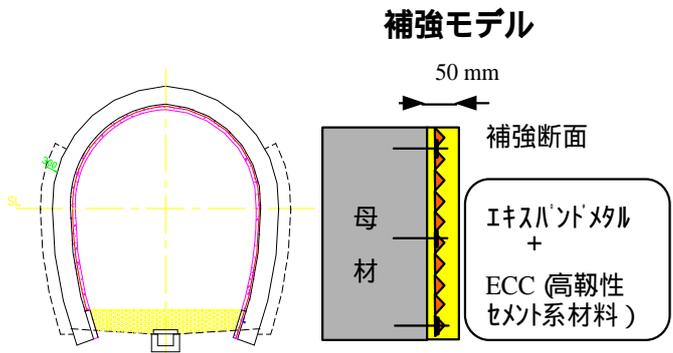


図-2 トンネル断面図・補強断面図

5. 品質管理試験結果

本工事におけるECCの品質管理試験としては、フレッシュ性状および圧縮強度について施工日毎に1回、引張降伏強度³⁾および引張終局ひずみ³⁾について10m³に1回の頻度で試験を実施した。ECCの品質管理試験結果を表-1に示す。フレッシュ性状として、スランプフローの平均値は約32cm程度であった。又、硬化後の力学特性として、圧縮強度の平均値は約50N/mm²、引張降伏強度の平均値は3.6N/mm²、引張終局ひずみの平均値は約2.0%であった。全ての試験結果において、表-1に示す吹付けECCの品質管理基準値を満足する結果が得られ、良好な性状のECCを円滑に施工できた。



写真-2 吹付けECC施工状況

6. まとめ

本工法は特殊な大型機械も必要とせず、混練プラントも汎用的かつ小型であるため、今回のような小断面トンネル内でも十分施工が可能であり、震災復旧工事のように、早期復旧・早期開通が求められる場合には、工場製作を必要とする鋼板やプレキャスト部材および型枠支保工(セントル)を使用する工法と比較して、非常に迅速性が高い。但し、吹付け能力には課題が残っており、本現場実績では平均2.5m³/日であった。今後、さらなるコストダウンと急速施工に対応できるように技術開発を進め、共用トンネル補修工事への適用ははじめ、幅広い分野で展開していく所存である。

表-1 品質管理試験結果

試験項目	品質管理値	試験値(平均)	試験数
スランプフロー	325±75mm	32.2mm	12
圧縮強度	30N/mm ²	47.9N/mm ²	12
引張降伏強度	2.0N/mm ²	3.6N/mm ²	3
引張終局ひずみ	0.20%	2.00%	3

参考文献

- 1) 真下, 名見耶, 福田, 松原: 高靱性セメント複合材料を用いたトンネル補強工法の実大載荷試験, 平成17年度土木学会全国大会, 2005.9
- 2) 松原, 横山, 鹿野, 坂田: 下面増厚材料の力学特性および耐久性に関する基礎実験, コンクリート工学, Vol.24, pp1419-1424, 2002
- 3) 児島, 坂田, 閑田, 平石: 高靱性セメント複合材料を用いた吹付け補修工法の適用, コンクリート工学, Vol.42, N0.5pp135-139, 2004.5