

炭素繊維補強材を用いたトンネル覆工コンクリートモデルの耐荷性能

山口大学大学院
ドボクリエイト（株）
西日本工業大学
山口大学大学院

学生会員
正会員
正会員
正会員

○上野 真嗣
森本 真吾
林 久資
吉武 勇

1. はじめに

我が国のトンネルの中には種々の環境作用等により変状が生じた覆工コンクリートがみられる。現在覆工コンクリートのうき、はく離、はく落の対策工として金網・ネット工、炭素繊維シート補強工法が施される。しかしながら、覆工コンクリートに外力が作用する場合の対策工は、過去の事例等に基づき適用されているものの、その補強効果の定量的な評価が充分になされていないのが現状である。

本研究では、外力を受けるトンネル覆工コンクリートの各種炭素繊維による補強効果を調べ、定量評価を行うことを目的としている。本研究で用いた補強工法はトンネル覆工のはく落を防止するために使用される炭素繊維シート補強工法、橋梁の桁や床版の補強工法として用いられる Near-Surface-Mounted（NSM）工法を応用し、炭素繊維複合材ケーブル（CFCC）を覆工コンクリート内空側表層に埋設した補強工法の2種類である。覆工コンクリートモデルの作製、載荷実験を行い補強効果の比較および実験結果の評価を試みた。

2. 使用材料および供試体寸法

本研究で使用したコンクリート、早強ポリマーセメントモルタル（PCM）の圧縮強度、ヤング係数を表-1に示す。PCMはCFCCを埋設する充填材として用いた。図-1に示す炭素繊維（CF）シートとCFCCについて、その材料特性を表-2に示す。CFCCは可撓性を有しており、トンネル内部のようなアーチ構造にも用いることができる。また本研究で使用したCFCCのうちφ7.2mm、φ9.7mmは単線、φ13.0mmは7本のより線からなっている。

本研究では、半径5mの覆工コンクリートを模擬した幅500mm×長さ1500mm×厚さ300mmの供試体（図-2）を作製した。作製した供試体は無補強、CFシートを貼付したもの、CFCCを内側表面に埋設したもの（φ7.2mm、φ9.7mm、φ13.0mm）を各2体、計10体を作製した。CFCCを20mm深の溝内にφ7.2mm、φ9.7mmを用いた供試体では250mm間隔で2本、φ13.0mmを用いた供試体では中央に1本埋設した。

表-1 使用材料

	圧縮強度(MPa)	ヤング係数(GPa)
コンクリート	Av.21.9 (19.0-25.1)	Av.32.5 (28.9-35.2)
PCM	Av.23.7 (22.8-24.7)	Av.17.6 (15.9-20.1)

表-2 補強材料

	有効断面積(mm ²)	引張強度(MPa)	ヤング係数(GPa)
CFシート	---	4580	231
CFCC7.2mm	32.7	2680	161
CFCC9.7mm	59.5	2520	159
CFCC13.0mm	83.3	2420	152



図-1 CFCCと炭素繊維シート

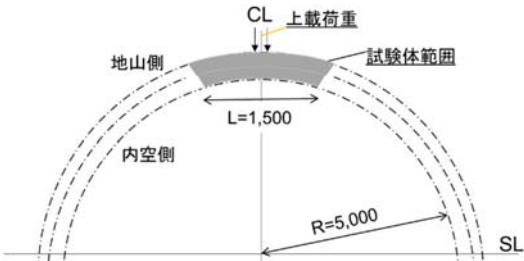


図-2 作製したトンネル覆工コンクリートのモデル

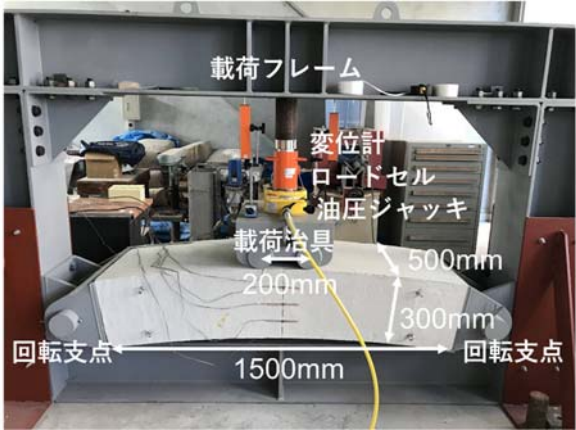


図-3 載荷実験状況

キーワード トンネル、覆工コンクリート、炭素繊維シート、炭素繊維複合ケーブル、NSM

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL 0836-85-9306

3. 載荷実験

図-3 に示す載荷装置を用いて二点載荷実験を行った。載荷装置は両端回転支点で荷重、スパン中央のコンクリートのひずみ及び変位の計測を行った。

本研究の各供試体と既往の研究¹⁾で行った $\phi 13.0\text{mm}$ の CFCC を 2 本埋設した供試体 (CFCC13.0mm(2)) のひび割れ発生荷重, CF シートのはく離荷重, スパン中央の変位が 5mm 時の荷重を図-4 に示す。無補強の供試体は平均で 55.3kN でひび割れが発生し, CF シートで補強した供試体のひび割れ発生荷重は 68.5kN と約 1.24 倍の補強効果が得られた。CFCC を 2 本埋設した供試体はいずれも無補強供試体より高いひび割れ発生荷重を示した。しかし $\phi 13.0\text{mm}$ の CFCC を 1 本埋設した供試体 (CFCC13.0mm(1)) は 44.5kN と無補強供試体より低い値を示した。この供試体の同荷重でのひずみは CFCC 周辺と比べ外側が大きくなっており, 覆工コンクリート縦断面方向に不均等な荷重が作用していたと考えられる。

ひび割れ発生後, CF シートで補強した供試体では, スパン中央から外側に向かってコンクリート下面と CF シートの界面ではく離が進展し, 100kN 程度の荷重で完全にはく離した。はく離の様子を図-5 に示す。各供試体はその後 400kN 程度で貫通ひび割れは生じず, スパン中央上縁部で圧壊した (図-6)。コンクリート上縁部が圧壊し除荷した際, CFCC で補強した供試体はひび割れ幅が 10mm から 5mm に回復し, 無補強の 5mm から 3mm に比べ高い復元作用を示した (図-7)。

終局時, いずれの径も CFCC の破断はみられなかった。また $\phi 7.2\text{mm}$ で補強した供試体のうち 1 体はひびわれ発生後 8mm 程度の端部すべりが生じた (図-8)。 $\phi 9.7\text{mm}$, $\phi 13.0\text{mm}$ ではすべりはみられなかった。 $\phi 7.2\text{mm}$ では付着面積が不十分であり, より線状で付着面積の大きい $\phi 13.0\text{mm}$ を用いた補強が望ましいものと考えられる。

4. まとめ

本研究では, 各種炭素繊維補強材による補強効果を比較・評価するため, 覆工コンクリートモデルを用いた載荷実験を行った。

- 炭素繊維シート補強供試体は無補強のひび割れ発生荷重と比較して約 1.24 倍の補強効果が得られた。
- 炭素繊維シート補強供試体はひび割れ発生後, スパン中央から端部に向けてシートはく離が進展した。
- CFCC $\phi 7.2\text{mm}$ で補強した供試体は付着面積の不足により片側端部すべりが生じた。
- CFCC を 500mm 間隔(1 本)で補強した供試体は無補強供試体よりも低い荷重でひびわれが発生した。
- CFCC $\phi 13.0\text{mm}$ を用いて 250mm 間隔で補強することが最も効果的であった。

謝辞: 本研究は科研費 (21K04213) の助成を受けたものである。試験体の製作にあたり, 東京製綱インターナショナル (株) の瀬尾利之氏・菅原公理氏, 太平洋マテリアル (株) の石田 学氏・保井 渉氏, 三菱ケミカルインフラテック (株) の長谷川泰聰氏に御協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) I.Yoshitake *et al.*: Load Capacity of Tunnel Lining Concrete Strengthened with Carbon-Fiber Composite Cable (CFCC), *Proceeding of ASEA-SEC-6*, 2022.

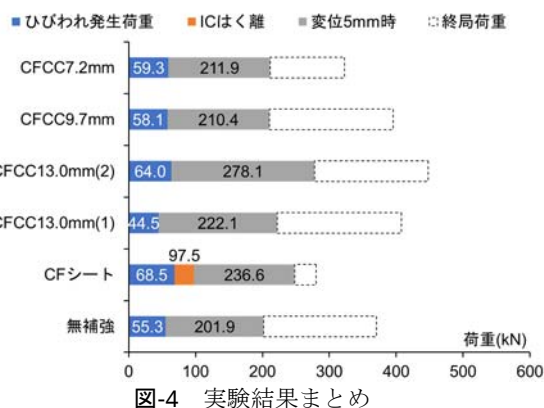


図-4 実験結果まとめ



図-5 はく離の様子

図-6 破壊性状



図-7 ひび割れ状況 (左: 無補強 右: 補強)



図-8 CFCC ($\phi 7.2\text{mm}$) の端部すべり