

NSM-CFCC 補強したトンネル覆工コンクリートモデルの載荷実験による効果の検証

山口大学大学院 学生会員 ○柳木 大河
 ドボクリエイト株式会社 正会員 森本 真吾
 山口大学大学院 学生会員 大西 崇司
 山口大学大学院 正会員 吉武 勇

表-1 使用材料

	強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
コンクリート	21.98 ^a	32.53
PCM	34.57 ^a	19.70
CFCC	2,320 ^b	152

*a:圧縮強度 *b:引張強度

1. 研究背景

近年、橋梁やトンネルなどの道路構造物の老朽化対策・長寿命化が活発に進められている。道路橋では、床版取り替えに代表される補強工事が大々的に行われているのに対し、道路トンネルの補強技術は確立されておらず、いまだ開発段階である。また、コンクリートのひび割れや老朽劣化に起因する変状もみられており、それによりコンクリート片のはく落など、道路構造物として安全性・耐久性を強く求められるようになってきた。このように、構造部材として建設されていないトンネル覆工コンクリートは、トンネル本体の使用性・安全性まで影響しており、これを適切に補修・補強していく技術が求められるようになってきた。そこで、本研究では、これらの問題点に対する新たな補強工法として炭素繊維複合材ケーブル（Carbon Fiber Composite Cables：CFCC）を用いた Near Surface Mounted（NSM）工法に着目した。さらに母材コンクリートに高い接着性を有するポリマーセメントモルタル（PCM）を充填材として用いた。本研究の載荷実験では NSM-CFCC 補強したトンネル覆工コンクリートモデルを用い、無補強供試体と比べながら補強効果を調べた。

2. 実験材料

本実験で用いたコンクリートおよび PCM の材齢 28 日における圧縮強度、ヤング係数および CFCC の引張強度、ヤング係数を表-1 に示す。補強材として用いた CFCC は 1×7 の 13φ で有効断面積は 83.3mm² である。この CFCC の特徴として軽量かつ耐食性にも優れており、PC 鋼より線と同等以上の引張強度を有している。また、本実験ではアーチ構造に用いるため、比較的可撓性のあるものを使用した。

3. 載荷実験

本研究では、トンネル覆工コンクリートモデルを計 6 体作製し、そのうち無補強のもの 2 体(図-1)、溝加工したもの 2 体(図-2)、20mm 表面切削したもの 2 体 (図-3)を作製した。

供試体の寸法は厚さ 300mm×幅 500mm×長さ 1500mm、曲率半径 5m とした。溝加工および表面切削したものに



図-1 CFCC

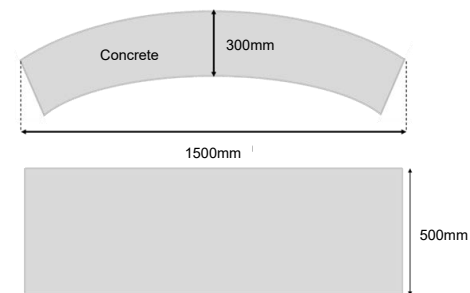


図-2 無補強供試体

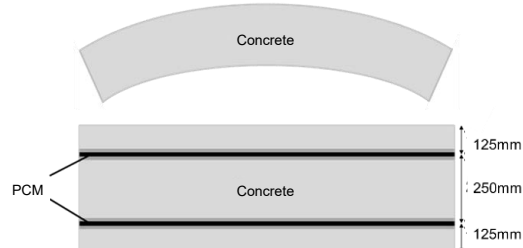


図-3 溝加工を模擬した供試体

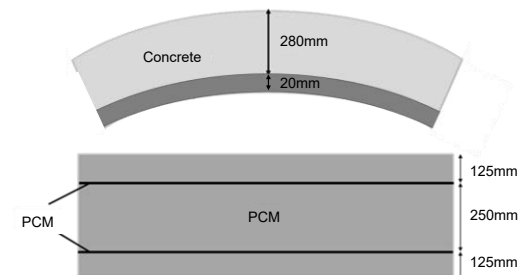


図-4 20mm 表面切削を模擬した供試体

CFCC を取り付ける際には、実際のトンネルに 250mm 間隔で埋設補強することを想定し配置した。

本実験では、図-5 に示す専用フレームで構成される荷重装置を作製した。荷重過程において、荷重、コンクリートひずみ、スパン中央の変位を計測した。

4. 試験結果と考察

荷重試験では、すべて供試体のスパン中央においてアーチ内面（下面）にひび割れが発生した。無補強供試体の最大ひび割れ幅はおよそ 0.5mm であった。CFCC-NSM 補強した供試体では最大ひび割れ幅がおよそ 10mm、除荷後にはひび割れ幅がおよそ 5mm であった。これは、線形弾性を示す CFCC の回復作用によって除荷後にはひび割れ幅が小さくなったものである。荷重を行った供試体では、図-6(a)に示すように上面では圧壊する様子がみられ、図-6(b)に示すように下面では顕著なひび割れがみられた。このことから、本研究で用いたトンネル覆工コンクリートモデルは曲率半径 5m のアーチ部材であるが、「はり」のように荷重上面では圧縮力、下面では引張力が作用していることがわかる。

ひび割れ発生までの荷重-たわみ関係を図-7 に示す。また、終局耐力-たわみ関係を図-8 に示す。図-8 から、CFCC-NSM 補強した供試体は無補強の供試体と比較すると、8~9 倍ほど高い終局耐力を示した。このことから、PCM と CFCC を用いる NSM 補強を行うことで、極めて高い補強効果を得られることが分かった。

ここで、本実験で用いたトンネル覆工コンクリートモデルをはりと同様に考えることができると仮定し、実験値をもとに平面保持の法則に基づくはり理論の計算値との比較を行った。図-7 に示すように、CFCC-NSM 補強したはり部材のひび割れ発生荷重の計算値 (59.5kN) は、概ね実験値と同等であった。このことから、曲率半径 5m 程度のトンネル覆工コンクリートでは、平面保持の法則に基づくはり理論を用いて簡易的に補強設計できる可能性が窺えた。

5. まとめ

- CFCC-NSM 補強したトンネル覆工コンクリートモデルは無補強のものに比べ、8~9 倍ほど高い耐荷性能を示した。
- アーチ内面にひび割れが発生したものの、いずれの供試体も破断までに至らなかった。また、荷重時のひび割れ幅が 10mm 程度まで達したが、CFCC の弾性回復効果により、除荷後のひび割れ幅は 5mm 程度まで減少した。
- 曲率半径 5m のトンネル覆工コンクリートモデルは、一般的な直線上のはりと同様に、平面保持の法則によりひずみ分布・曲げひび割れ発生モーメントを予測できたことから、はり理論を用いた簡易的な補強設計の可能性が窺えた。

謝辞：本研究は科研費（21K04213）の助成を受けたものである。荷重装置・供試体製作にあたり、(株)藤崎商会の片山典信氏・上野剛尚氏、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 渉氏に御協力を頂いた。ここに謝意を表す。



図-5 荷重装置



(a) 上面の様子 (b) 下面の様子

図-6 破壊状況

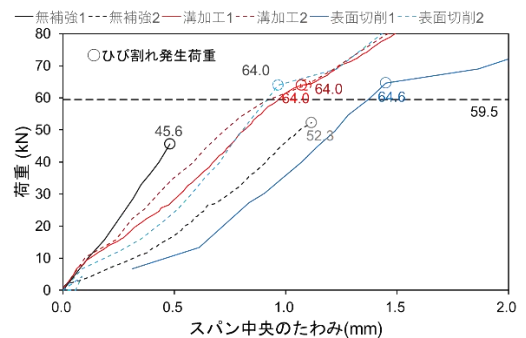


図-7 荷重-たわみ（ひび割れ発生）

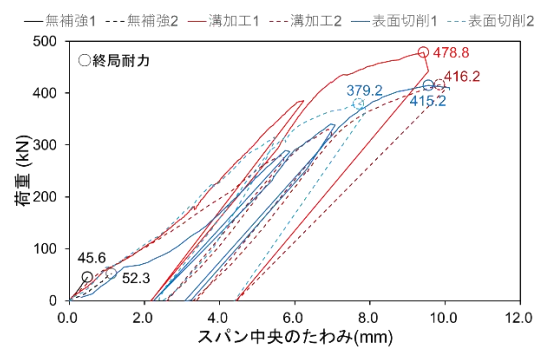


図-8 荷重-たわみ（終局耐力）