

トンネル覆工コンクリート部材の載荷装置の試作および載荷実験

山口大学大学院 学生会員 ○大西 崇司
 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 柳木 大河
 山口大学大学院 正会員 吉武 勇

1. 研究背景

我が国の社会インフラは高度経済成長期に集中的に整備され、建設後 50 年以上経過する施設の割合が今後加速的に増加することが見込まれており、急速な老朽化に伴う機能の不具合の顕著化が懸念されている。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。現在、高速道路を中心に劣化した道路橋床版の取り替え工事が全国的に進められている。しかしながら、道路トンネルに関しては取り替え工事のような取り換え、補強技術が確立していないのが現状である。

本研究は、トンネル覆工コンクリートに適用可能な補強工法の開発を目的としている。ここではアーチ構造となるトンネル覆工コンクリート部材の載荷試験を考案・試作し、載荷実験を行った。本研究では、道路橋等の補強技術として用いられる Near-Surface-Mounted (NSM) 工法をトンネル覆工コンクリートに応用することを考えた。補強材として炭素繊維複合材ケーブル (CFCC) を覆工コンクリート内側表層に配置した試験体および無補強試験体の載荷実験を試みた。

2. 実部材レベル載荷装置の考案

本研究で製作した載荷装置を図-1 に示す。実トンネルサイズのアーチ構造を模擬して、図-2 に示すような試験体を作製した。試験体寸法は、幅 500mm×長さ 1500mm×厚さ 300mm×曲率半径 5m とした。図-3 に示すように試験体の両端面を回転支点で支えることで、塑性ヒンジ化したひび割れ間の覆工コンクリート部材を想定した。

3. 使用材料および配合条件

覆工コンクリート載荷実験に使用した材料一覧を表-1 に示す。コンクリート強度は材齢 28 日で圧縮強度 22.0MPa、ヤング係数 32.5GPa 程度となった。CFCC を埋設する充填材には早強ポリマーセメントモルタル (PCM) を使用した。なお材齢 28 日における PCM のヤング係数は 19.7GPa である。補強材として用いる CFCC を図-4 に示す。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

表-1 使用材料

	公称径 (mm)	断面積 (mm ²)	強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
コンクリート	---	---	22.0 ^{*a}	32.5
PCM	---	---	34.6 ^{*a}	19.7
CFCC	13	83.3	2320 ^{*b}	152

*a:圧縮強度 *b:引張強度



図-1 載荷装置

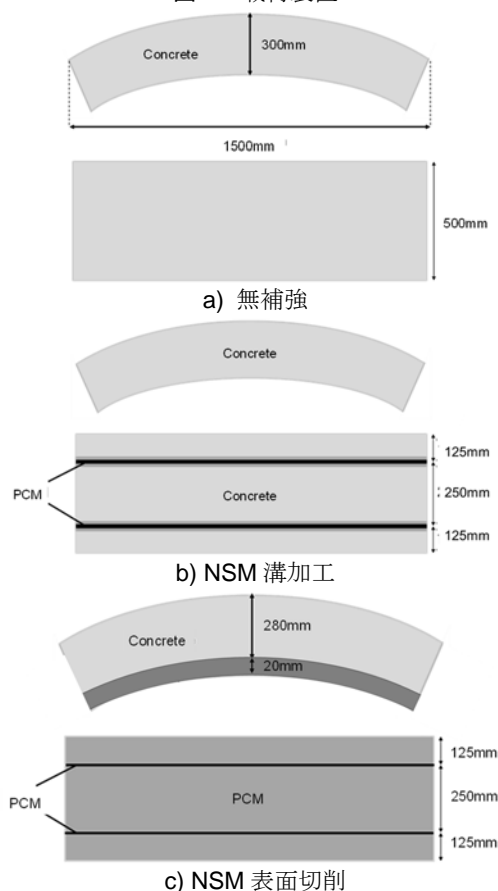


図-2 トンネル覆工コンクリート試験体

キーワード トンネル、覆工コンクリート、ポリマーセメントモルタル、炭素繊維複合材ケーブル、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

上の引張強度を有している。また、ケーブル状のため可撓性もありトンネル内部のようなアーチ構造にも使用可能である。使用した CFCC は 1×7 のより線で、直径 13 mm、有効断面 83.3 mm²、ヤング係数 152GPa である。本研究では、基準とする無補強試験体 2 体に加え、20mm 深の溝内または内表層 20mm に CFCC を埋設した試験体を各 2 体作製し、図-3 に示す二点載荷実験を行い、荷重、ひずみ、中央スパンの変位の計測を行った。

4. 試験結果

本研究で試作した載荷装置によるトンネル覆工コンクリート部材のひび割れ状況を図-5 に示す。また、荷重—スパン中央のたわみを図-6 に示す。無補強試験体は 45.6kN、52.3kN でひび割れが発生し、直ちに載荷荷重が急減したが、CFCC で補強した試験体は若干高いひび割れ発生荷重 (64.0kN 程度) を示した。CFCC 補強試験体は、ひび割れ発生後も載荷荷重が急減することがなかったことから、載荷を継続したところ、終局的には上面側が圧壊した。ひび割れ発生時の無補強試験体のひび割れ幅はおよそ 0.5mm であった。CFCC で補強した試験体では載荷時には 10mm 程度のひび割れ幅であったが、除荷後には CFCC の復元作用によりひび割れ幅 5mm 程度まで回復した。

終局破壊に至るまでの荷重—スパン中央のたわみを図-7 に示す。CFCC で補強した覆工コンクリート部材は、無補強のものに比べて、溝加工の場合は約 9 倍、表面切削の場合は 8 倍もの高い終局耐力を示した。このことから、既存の NSM 技術を活用してトンネル覆工コンクリートを CFCC と PCM で補強することで、極めて高い耐荷性能が得られることがわかった。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- トンネル覆工コンクリート部材を想定した半径 5m レベルのアーチ部材を用いた載荷試験を考案し、その試作と試実験を行ったところ、CFCC で補強したコンクリート部材が終局破壊に至るまで載荷を行うことができた。
- 無補強のトンネル覆工コンクリート試験体ではひび割れ発生後、載荷荷重が急減したが、CFCC 補強試験体は若干高いひび割れ発生荷重を示した後も耐荷重が 8~9 倍と著しく増加し、終局的には上面側が圧壊した。
- CFCC 補強試験体は終局荷重載荷時に幅 10mm 程度のひび割れがみられたが、除荷後には CFCC の復元作用によりひび割れ幅 5mm 程度まで回復した。

謝辞：本研究は科研費 (21K04213) の助成を受けたものである。

載荷装置・試験体製作にあたり、(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。

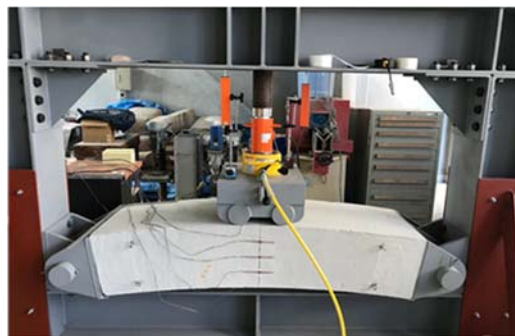


図-3 載荷実験状況



図-4 CFCC

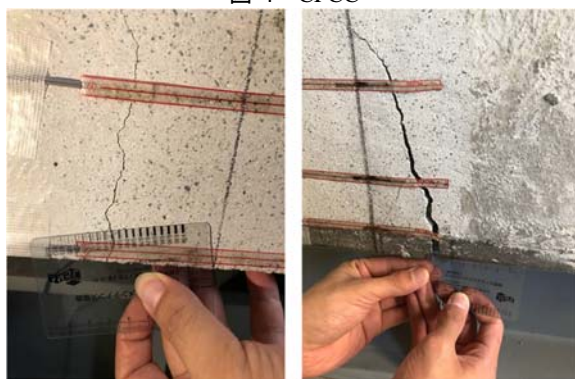


図-5 ひび割れ状況 (左：無補強 右：補強)

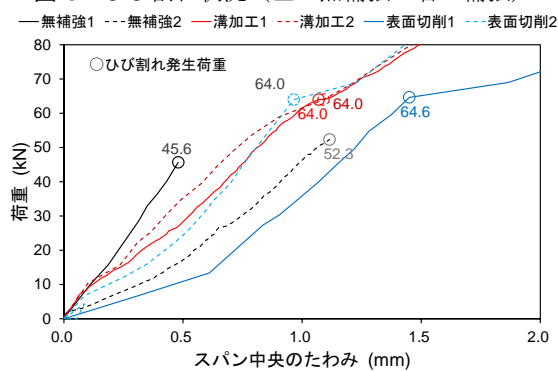


図-6 荷重—たわみ関係 (ひび割れ発生)

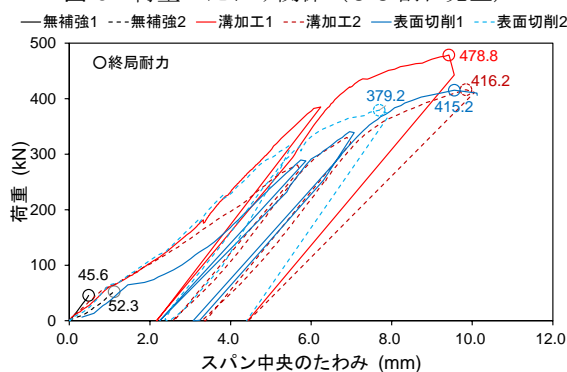


図-7 荷重—たわみ関係 (終局耐力)