

## トンネル覆工内巻き補強工法（サポートライニング工法）の模型載荷実験（その1）

(株)熊谷組 正会員 ○戸畑 和徳, 森 康雄, 榎 駿介, 尾崎 健一郎  
服部 翼

## 1. 工法概要と実験目的

サポートライニング工法は、既設トンネル覆工の内巻き補強構造を以下の仕様で構築する技術である。

- ① 鋼製支保工：既設覆工内面形状に合わせて加工した H 形鋼等
- ② UFC<sup>\*1)</sup>パネル：補強構造を構成する充填材打設用の残存型枠
- ③ 充填材：既設覆工と補強体の一体化を図る無収縮モルタル等

本工法は、上記 3 つの材料と既設覆工を見かけ上一体化することにより複合構造全体の強度を確保するものであるが、各部材の相互作用は未解明のままで、補強設計においてもその思想が確立されていないのが現状である。本実験の目的は、当該複合構造に荷重が作用した際の変形レベルに応じた挙動を計測することで、設計手法の確立を念頭にした定量的評価を行うことにある。



図-1 本工法の施工事例

## 2. 実験概要

試験体は、巻厚が不足する既設トンネルの補強を模擬してその天端部分を切り出した図-2 のような UFC パネル 3 枚分に合わせたスパン長の仕様とした。実験は、スパン中央 1 点（正確には載荷桁の傾斜防止のため桁下に幅 200mm でゴム板 2 枚配置）の単調載荷で終局荷重レベルまでの加力計画とした。また、端部の支持条件は回転のみを許す構造とした。載荷中の計測項目は図-3 のとおりで、鉛直載荷重の他に支持部に作用する水平反力も計測している。計測項目の設定に当たって、本実験では当初、補強構造が一体として挙動する荷重（変形）レベルと、ある段階から既設覆工と補強部分それぞれが重ね梁のように振舞う移行期の存在に着目していた。これまでの実績では、本工法による補強構造を重ね梁として構造設計が行われている。

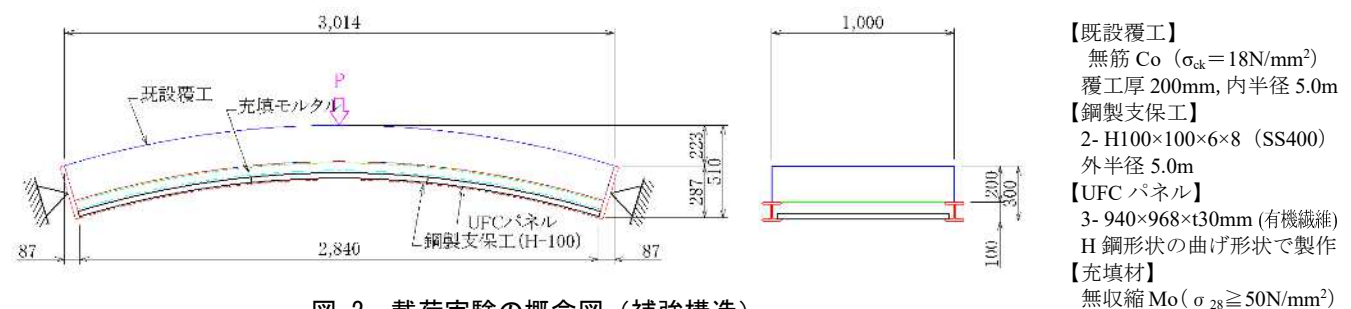


図-2 載荷実験の概念図（補強構造）

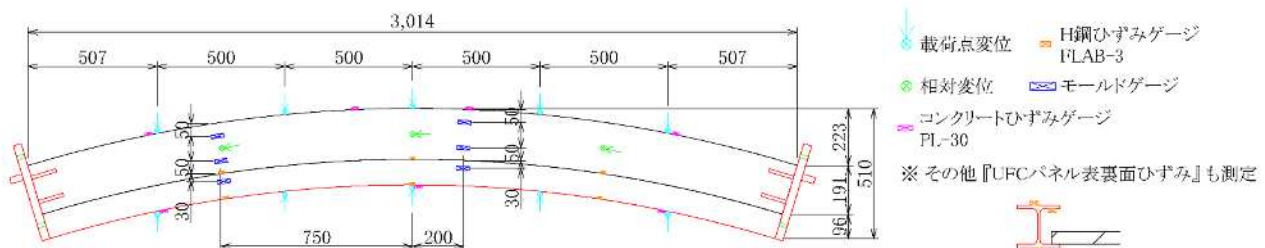


図-3 計測項目（補強構造）

\*1) UFC : Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete (超高強度繊維補強コンクリート)

キーワード サポートライニング工法, 覆工補強, 覆工再生, 内巻き補強, リニューアル

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1

(株)熊谷組 土木事業本部インフラ再生事業部 TEL03-3260-2111 (代表)

### 3. 実験結果

本報では、載荷中の試験体観察状況を中心に記載する。また、補強構造とは別に、無補強の既設覆工試験体（無筋コンクリート）についても同様の実験を行ったので、各図内にその結果を併記する。

実験中の鉛直荷重と水平反力の関係を図-4 に示す。ここで、本実験における水平反力は、水平変位がゼロになるように水平ジャッキを自動制御して得られた計測結果である。補強構造ならびに既設覆工構造に対する両実験で、鉛直荷重と水平反力の荷重経路はほぼ一致した相関関係にあり、当該アーチ形状試験体への載荷が適切に実施されていることが確認できる。また、載荷開始前に計測されている 20～30kN 程度の水平反力は、試験体自重によるもので、これについても事前の試算結果と整合する。ただし、既設覆工（無筋コンクリート製）の実験をモデル化した事前の概略計算では、鉛直荷重が 100～110kN に到達した時点で試験体中央下面に曲げ引張りのひび割れが発生すると予想していたが、その 50% 荷重ほどでピークを迎えた。また、その時の水平反力についても試算のレベルよりかなり小さく、載荷重の増加に伴い実験装置や治具間の馴染みなどわずかな変位が生じていた可能性あり、今後実施予定の詳細検討にはこれらの事象を考慮していく必要がある。

図-5 には、鉛直荷重と試験体中央下面の鉛直変位の関係に加えて、各荷重段階での観察記録を示した。載荷開始から既設覆工に曲げひび割れが発生する 100kN あたりまでは線形に近い挙動で、その後スパン中央の UFC パネルにき裂が認められる 200kN 程度になった時点で、構造全体としての剛性に若干の変化を来したことが読み取れる。図中のメモに記載したとおり、各種のひび割れが発生・進展した後、鉛直荷重が  $P=461.48\text{kN}$ （鉛直変位  $\delta=3.25\text{mm}$ ）で既設覆工がせん断破壊に至った。ただし、複合構造全体としての最大荷重は 600kN 超で、その時の鉛直変位量は  $\delta=15\text{mm}$  程度であった。

### 4. まとめ

サポートライニング工法による補強機構にアプローチすべく載荷実験を実施した。載荷を進めていく過程で、既設覆工に曲げひび割れが発生・進行し、UFC パネルに亀裂が生じたあたりで変形性能に若干の変化が認められる。耐荷性能が大きく変わったのは既設覆工のせん断破壊によるものであった。一方で、補強構造全体としては脆性的な破壊に至ることなくその後の加力にも荷重を維持し、粘り強い挙動を示した。今後、本実験の境界条件を考慮した検討を進めていくこととする。

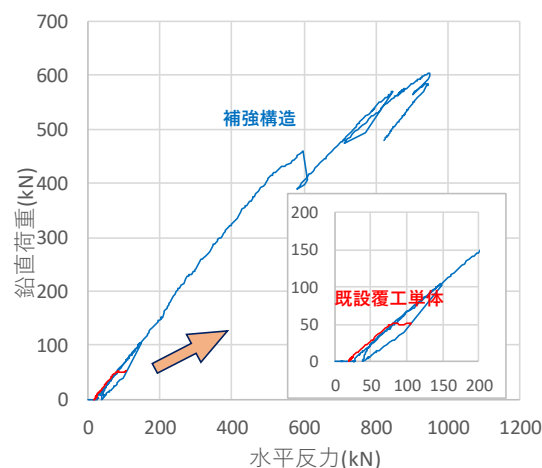
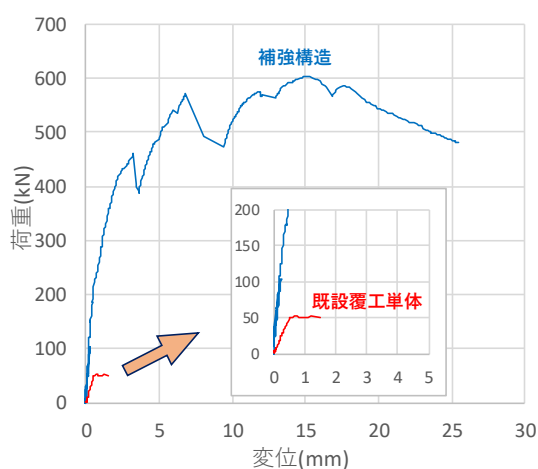


図-4 鉛直荷重～水平反力



| 鉛直荷重<br>P(kN) | イベント（観察メモ）                       |
|---------------|----------------------------------|
| 90            | 既設覆工側面中央下端にひび割れ                  |
| (105)         | 鉛直ジャッキ修正のため一旦除荷                  |
| 120           | 既設覆工側面中央右 500mm 付近下端に斜めひび割れ      |
| 150           | 既設覆工側面下端に新たなひび割れ                 |
| 240           | UFC パネル下面中央にひび割れ                 |
| 450           | 既設覆工中央 500mm 付近下端から載荷桁方向にせん断ひび割れ |
| 461           | 異音「ドン」とともに鉛直荷重が抜ける、せん断ひび割れの進展    |
| 604           | 最大荷重                             |

図-5 鉛直荷重～鉛直変位（中央下面）

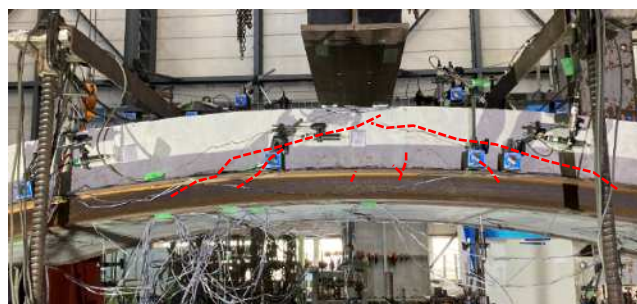


図-6 載荷終了後の主要なひび割れ状況