

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2）

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

1. はじめに

トンネル覆工内巻き補強に用いられるサポートライニング工法は、既設覆工内面形状に合わせて製作した鋼製支保工と UFC パネル（残存型枠として）をトンネル方向に所定のピッチで建込み、その内側に無収縮モルタル等を充填することで疑似的な一体構造を形成するものである。その構造設計については、適用の目的や構造形状によりその都度計算方法を設定しているといったのが実状である。道路トンネルなどの大きな断面では、既設覆工と新設補強構造を独立した梁、すなわち「重ね梁」として検討が行われた事例もある。

今回行った実験は、本工法で構築された複合構造の補強機構を定量的に評価することを大きな目的としている。本紙では、別途投稿¹⁾した模型載荷実験（その1）の続報として、載荷過程における各部材の変形状態や相互作用について計測結果と若干の考察を記載することとする。なお、実験概要ならびに計測項目については上記の報告¹⁾を参照されたい。

2. 計測結果

(1) 鋼製支保工と既設覆工の相対変位

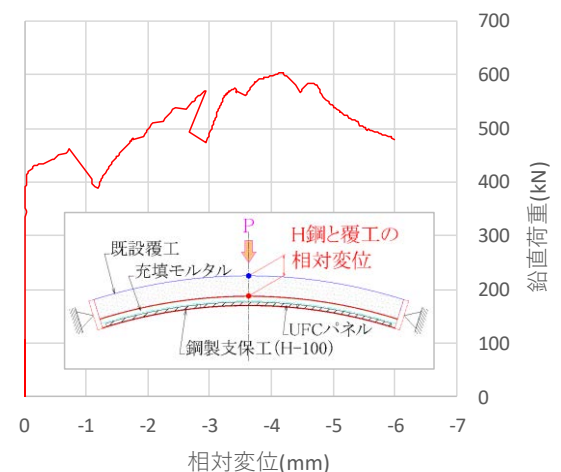
図-1 と図-2 に、鋼製支保工（H 鋼）の上面と既設覆工との相対変位計測結果を示す。なお、図-1 内には載荷段階での試験体観察メモを付記（再掲¹⁾）している。

図-1 の鉛直方向相対変位（試験体スパン中央）によると、鉛直載荷重 P が 400kN 超まで H 鋼と覆工 Co の相対変位は検出されず、複合構造全体が一体として挙動している様子が推察される。また、 $P \approx 450\text{kN}$ のあたりでせん断ひび割れの進展が確認されていることから、既設覆工 Co 内の応力状態はせん断変形を誘発する成分が卓越し、本構造における既設覆工部がせん断破壊先行のモードにあったことを示している。

図-2 は試験体スパン方向 3 箇所に設置した測点の水平方向相対変位である。鉛直同様、載荷重が 400kN に達する付近から、試験体右側の計測位置で相対変位を生じ始めていたことがわかる。ここからは徐々に相対変位を増加させ、その後まもなく異音「ドン」を発して局所的な破壊に至った。一方、スパン中央から左側の状況は、鉛直載荷重が 570kN 程度まで相対変位の急変は確認されず、当該範囲が新設の補強構造と一体となって荷重に抵抗し、その後、せん断ひび割れの発達とともに既設覆工の終局状態に向かっていった。

(2) 鋼製支保工のひずみ

鋼製支保工（H 形鋼）に発生したひずみの測定結果を図-3 に



鉛直荷重 $P(\text{kN})$	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	既設覆工中央右 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-1 H 形鋼上面と既設覆工
上面の鉛直相対変位

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)

示す。測定位置はスパン中央で、図中の値は、試験体幅方向両端 2 本の支保工毎に設置したゲージ値の平均である。

せん断変形が急増した $P \approx 450\text{kN}$ までは上下フランジとも引張の状態で、いわゆる引張補強材として機能していることがわかる。このことは、既設覆工と内巻き補強を一体としてモデル解析した応力状態とも整合するひずみ分布であった。その後加力していく過程では上フランジが引張から圧縮に移行を開始しており、徐々にではあるが平面保持的な耐荷機構でなくなっていく状況が伺える。結局、水平方向の相対変位（図-2）が急増し始める $P \approx 570\text{kN}$ 付近で両者の相関関係すなわち補強メカニズムに明確な変化が生じ、構造全体としては、支保工の引張ひずみが 2000μ 程度になった時点で載荷重のピークを迎えている。

3. 考察

当実験の範囲では、1) 既設覆工はせん断破壊先行型、2) 微細なひび割れが発生する段階では平面保持的な挙動、3) 既設覆工がせん断破壊したあたりで非一体化 なる結果を得た。

上記 1) について、実験中の観察ならびにひび割れの進展状況から、せん断スパン比 (a/d) は 2.5 程度であり、既設覆工の耐荷機構はタイドアーチ的な形態であったと推察される。ここで、コン示〔設計編〕(2017)の下式（解 2.4.4）を参考にせん断圧縮破壊耐力 V_c を算出してみる。

$$V_c = \frac{0.24f'_c{}^{2/3}(1 + \sqrt{100p_v})(1 + 3.33r/d)}{1 + (a/d)^2} b_w \cdot d = 238.5 \text{ kN}$$

$$f'_c = 24\text{N/mm}^2, p_v = 0, r = 200\text{mm}, d = 200\text{mm}$$

$$a = 500\text{mm}, b_w = 1000\text{mm}$$

今回実験で既設覆工がせん断破壊に至ったときの鉛直載荷重は $P = 461\text{kN}$ （支持装置の水平反力 610kN ）である。上式による算出値と実験結果との検証にあたっては、既設覆工含めた鋼製部材の分担荷重や応力状態を評価する解析的アプローチが有効と考える。今後の検討課題とする。2) 3) の荷重レベルで耐荷機構が変化していく状況については、既設覆工がせん断破壊する $P \approx 450\text{kN}$ が第 1 遷移点（一体構造～それに近い）、各部材の相互作用変化が収束する $P \approx 570\text{kN}$ が第 2 遷移点（層間耐力を保有している）である。それ以降は補強部材（H 形鋼と充填材）が主体となって荷重を受け持ち変形性能を維持しながらピーク荷重に至る。

4. おわりに

サポートライニング工法により内巻き補強を施した道路トンネルを想定し、天端部分の弧長約 3m を切り出した試験体による載荷実験を実施した。計画の段階では、既設覆工と内巻き補強を「一体梁」と「重ね梁」の中間的な耐荷機構を想定していたが、実際には既設覆工の局所的な範囲内でせん断破壊が先行する結果となった。一方で、本工法による補強構造が変形性能に優れ、脆性的な変状防止に有効であることを改めて確認できた。本実験特有の載荷状況も踏まえ、結果の分析を解析的な手法により進めることが肝要と考える。

参考文献

- 1) 戸畑ら：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），令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会，第 VI 部門，2023

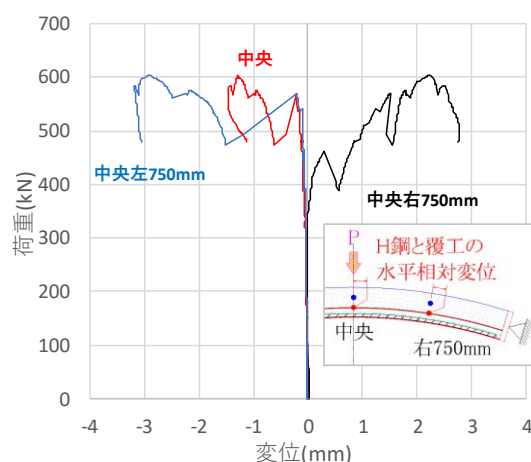


図-2 計測結果（H 形鋼上面と既設覆工軸位置の水平相対変位）

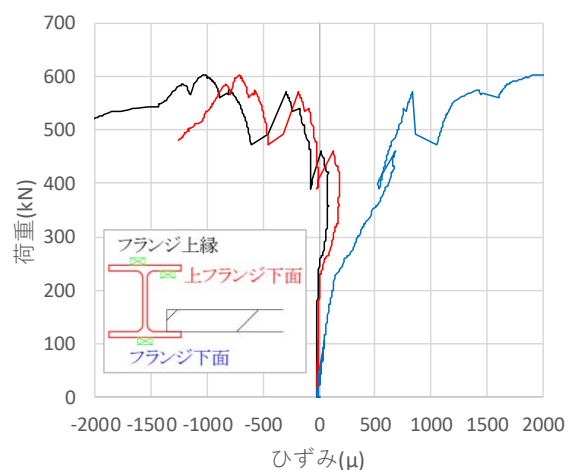


図-3 鋼製支保工ひずみ（スパン中央）