

トンネル補強工法の開発（その3）

- トンネル補強前後の載荷実験 -

(株)熊谷組	土木技術部	正会員	○森	康雄	岩井	孝幸
	技術研究所			濱田	真	
	土木設計部	正会員	緒方	明彦		
日本コンクリート工業(株)		正会員	石川	高志	松尾	久幸

1. はじめに

本報その3では、その1で述べた補強工法の補強効果を確認するために実施した補強前と補強後の載荷実験について報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体（模擬トンネル）

図-1に本工法の施工性および補強効果を確認するために製作した模擬トンネルの組立図を示す。断面形状は馬蹄形で、S型2枚とA型3枚の鋼製セグメントにより構成されている。奥行き方向は1m幅のものを3組繋ぐことにより延長3mとした。鋼製セグメントは主桁がSM490、その他の部材がSS400材で、セグメント同士は20mm普通ボルトを用いて接合した。この模擬トンネル単体を載荷するのが補強前で、模擬トンネルに補強工を施工した後に載荷するのが補強後である。なお、補強後の載荷は裏込めコンクリート打設後32日目に実施した。

(2) 載荷方法と測定項目

写真-1に載荷装置を示す。インバートを反力床に設置し、両スプリングラインの水平方向変位をゴム板を介して拘束するようにした。載荷はトンネル頂部軸方向に載荷梁(H-400)を渡し、1000kNジャッキにより強制変位を与え、一方向単調載荷とした。載荷梁は紙面左右方向のスウェイを防止するためにパンタグラフを取り付けた。変位は写真-1に示すようにトンネル内に計測フレームを反力床上に組み立て、図-1に示すようにトンネル円周方向の5ヶ所（矢印 ~ ）で円周方向と接線方向（面外）の変位を計測した。奥行き方向については3構面で計測した。荷重はジャッキと載荷梁の間に設置したロードセルにより計測した。載荷速度は約3.0kN/minとし、油圧は手動ポンプにより供給した。

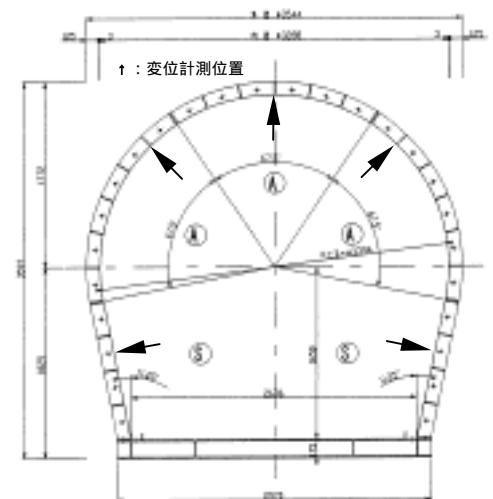


図-1 模擬トンネル組立図

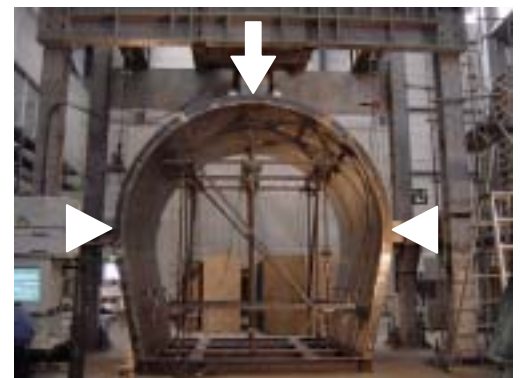


写真-1 載荷装置および変位計測位置

写真-1に示すようにトンネル内に計測フレームを反力床上に組み立て、図-1に示すようにトンネル円周方向の5ヶ所（矢印 ~ ）で円周方向と接線方向（面外）の変位を計測した。奥行き方向については3構面で計測した。荷重はジャッキと載荷梁の間に設置したロードセルにより計測した。載荷速度は約3.0kN/minとし、油圧は手動ポンプにより供給した。

3. 実験結果および考察

(1) 載荷荷重 - 頂部変位関係および剛性比較

図-2に補強前後の載荷荷重 - 頂部変位関係を示す。頂部変位は図-1における下向き（矢印と反対向き）を正方向とした。補強前の載荷は鋼製セグメントだけなので、その剛性を把握するために230kN程度までの載荷とした。載荷中は外見上全く変化は見られなかった。また除荷後の残留変位はほとんど無く弾性挙動を示していたと言える。

キーワード トンネル補強、鋼繊維補強高強度モルタル、補強効果、水中不分離性コンクリート、載荷実験

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 (株)熊谷組 TEL 03-3235-8646

〒108-0075 東京港区港南1-8-27

日本コンクリート工業(株) TEL 03-5462-1051

補強後の荷重は補強効果を確認するために破壊するまで載荷する予定であったが、ジャッキ能力の 1000kN まで載荷しても耐力低下を示すことはなかった。載荷途中で裏込めコンクリートが割れるような音、セグメントの接合部が滑るような音が発生した。除荷時の残留変位は 15mm ほど生じていることから、部分的に材料（セグメント、アーチ支保工、裏込めコンクリート）が塑性化したと考えられる。

補強前の載荷実験に関して、スプリングラインの拘束が載荷荷重に対して比例して拘束力が増えるバネを考えた平面骨組解析を行った結果、載荷位置の鋼製セグメントが降伏する荷重は 322kN となった（図-2 に破線で表示）。

本実験結果からは補強前後の耐力比較が出来ないので、荷重変形関係から得られる剛性について補強前後の比較を行った。表-1 に変形が 1,2,3,5,10mm 時の割線剛性と 1mm 時を基準とした剛性低下率と補強前後の剛性比を示す。また、図-3 に剛性低下率と剛性比の推移を示す。補強前の剛性低下率は、ほぼ 1.0 で前述したように弾性挙動をしていたと考えられる。一方、補強後の剛性低下率は変形が大きくなるにつれて徐々に低下しており、変形の増大とともに塑性化が進んでいる様子が伺える。剛性比についてみると、3mm までは 3 倍以上を示しているが、10mm では 2 倍程度まで低下している。

以上から、補強後の荷重が補強前の計算値降伏荷重を上回ったこと、微小変位の範囲ではあるが剛性が高くなったことから、補強覆工（本補強工法）の効果があったと言える。

(2) その他変位挙動

図-4 に補強前の図-5 に補強後の載荷荷重 - 変位 と の関係を示す。なお、図-1 における矢印の向きを正方向変位とした。補強前の関係をみると図-2 と同様に残留変位もほとんどなくほぼ弾性挙動を示しているのが分かる。一方、補強後の関係では が 700kN あたりで、 が 400kN あたりで滑っている様子が分かる。この滑りの影響は図-2 の頂部変位には表れていないが、裏込めコンクリートあるいは鋼製セグメントのいずれかに何らかの破壊が生じたものと考えられる。

4. まとめ

- ・ 本補強工法の効果を確認するために補強前後の載荷実験を実施した。
- ・ 補強後の終局耐力を確認することはできなかった。
- ・ 補強前後の剛性比較から本補強工法の効果を確認することができた。

5. 今後の課題

- ・ 補強後の実験結果をもとに、補強効果の定量的な評価を試みる予定である。

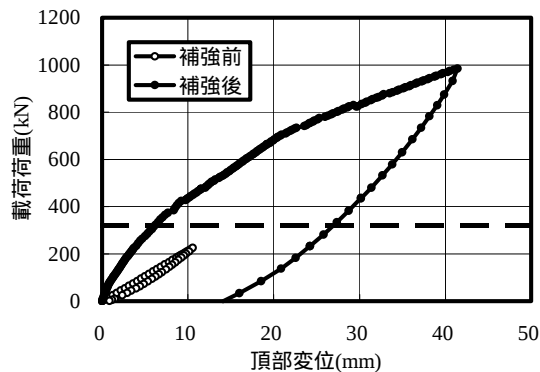


図-2 載荷荷重 - 頂部変位関係

表-1 補強前後の剛性比較

	補強前		補強後		剛性比 後 / 前
	剛性*1 kN/mm	剛性*2 低下率	剛性*1 kN/mm	剛性*2 低下率	
1mm	20.77	1.00	85.72	1.00	4.13
2mm	20.58	0.99	69.43	0.81	3.37
3mm	20.69	1.00	63.57	0.74	3.07
5mm	21.00	1.01	54.94	0.64	2.62
10mm	21.28	1.02	43.55	0.51	2.05

*1: 割線剛性 *2: 1mm時の剛性で基準化

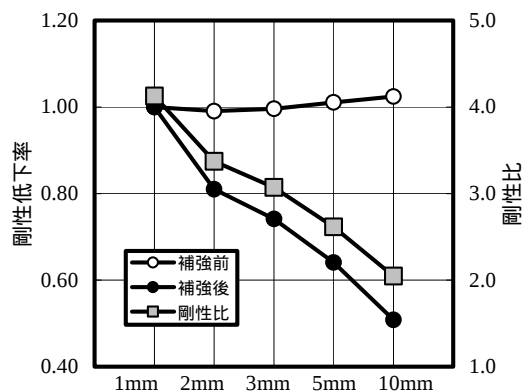


図-3 剛性低下率と剛性比の推移

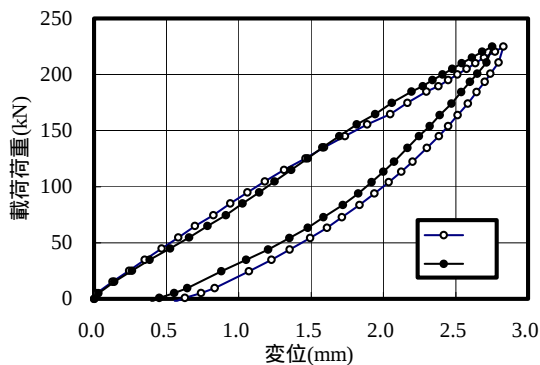


図-4 載荷荷重 - と 変位関係(補強前)

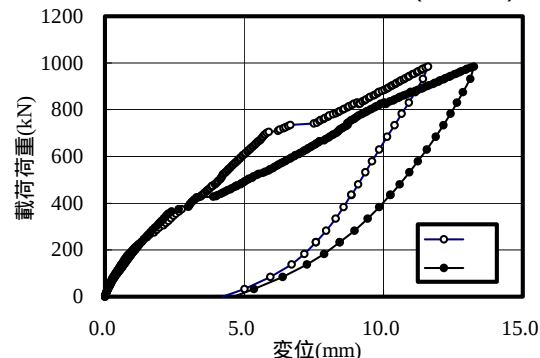


図-5 載荷荷重 - と 変位関係(補強後)