

トンネル覆工はく落対策工に関する実験的研究

独立行政法人 土木研究所 正 蒲田 浩久 正 真下 英人
正 石村 利明 正 森本 智

1 はじめに

今後、トンネル覆工を経済的かつ合理的に維持管理することが必要である。覆工の補修工に関しては、比較的小規模なはく落範囲に対しては設計法が概ね確立されているものの、ある程度広い範囲のはく落に対してはその作用荷重、対策規模も大きくなるためより合理的な設計法が求められている。本研究では、代表的なトンネルはく落対策工に対して押し抜き載荷実験を実施し、耐荷力を比較するとともに各定着方式の特徴を検討した。

2 実験概要

図-1 に押し抜き載荷装置の概要を示す。1500×1500×150 のコンクリートスラブの中央部に円孔（φ500）を設け、その中にコンクリート製の圧子を挿入し（隙間 5mm）強制変位を与えた。実験を行ったはく落対策工は、ボルトによる定着方式として当板工（L形鋼）、接着剤による定着方式として連続繊維シートおよびひび割れ注工である。図-1 に各対策工の配置図を、表-1 にその仕様を示す。当板工のボルトは金属式拡張アンカーを用い、L形鋼1本当たり2箇所固定し、鋼材交点はずれを防止するためボルトでコンクリート圧子と一体化した。ひび割れ注工はコンクリート圧子と供試体の隙間 5mm をエポキシ樹脂で充填した。また、連続繊維シートは、これまでトンネル覆工補修の実績から最も厚いと考えられる高強度炭素繊維 300g/m² を2方向および200g/m² を2方向とした。載荷方式は0.25mm/minの変位制御とした。

3 実験結果と考察

図-3 に全実験結果の載荷荷重 P_0 と中央部の変位 H_0 の関係を示す。また、表-2 に各対策工の最大荷重とその破壊形態について示す。今回の実験条件では、L形鋼（1200）の耐力が最大であり、連続繊維シート工の耐力がそれに比べ低い値であった。次に、各対策工別の実験結果について述べる。

(1) 当板工（L形鋼）

図-4 にL形鋼（1200）の載荷荷重、ボルト荷重—変位および載荷荷重—鋼材のひずみ（図-1(a)）の結果を示す。荷重の増加とともに変位 H_0 、主材のひずみ（SA1, SB1）は単調に増加し、さらに、主材を固定しているボルトの軸力 PA1, PA2 とも載荷荷重 P_0 の1/4程度であり、補助材ボルト PC1 には軸力が発生してい

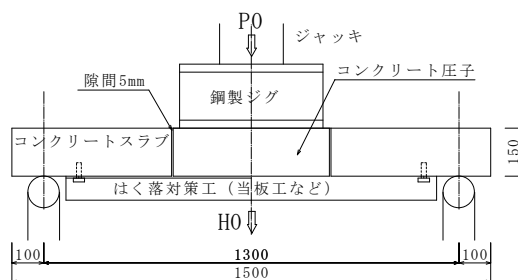


図-1 載荷装置概要

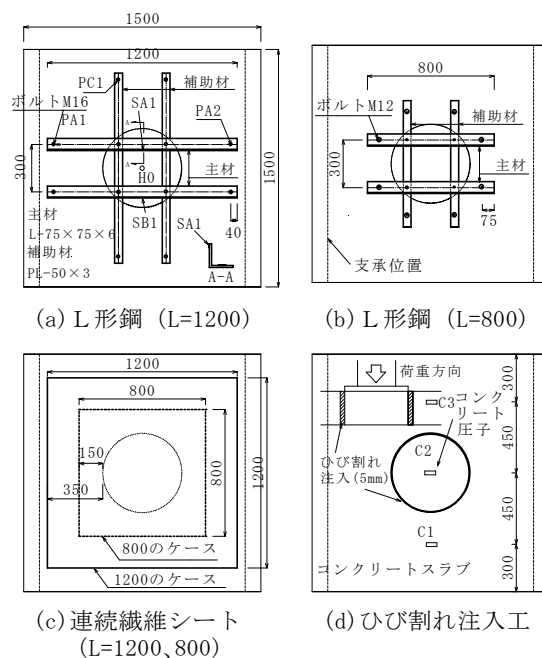


図-2 対策工配置図

表-1 対策工の仕様

No	対策工	材料	コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)
1	当板工（L形鋼）	L75×75×6（SS400）-1200	17.8
2	当板工（L形鋼）	L75×75×6（SS400）-800	13.6
3	連続繊維シート工	高強度繊維目付300g/m ² -1200	15.7
4	連続繊維シート工	高強度繊維目付300g/m ² -800	15.7
5	連続繊維シート工	高強度繊維目付200g/m ² -1200	17.8
6	ひび割れ注工	ひび割れ注入用エポキシ樹脂	15.5

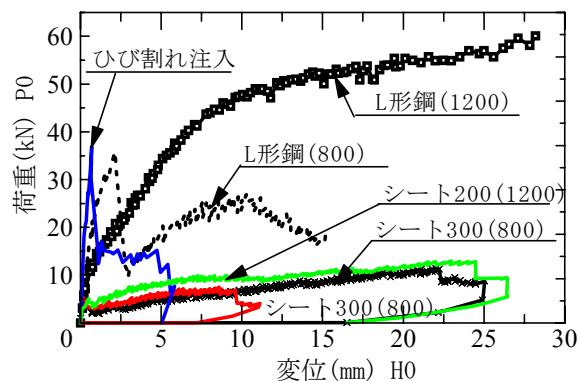


図-3 荷重—変位曲線（全ケース）

キーワード：トンネル はく落対策工 載荷試験

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば南原1番地6 tel0298-79-6791

ないことより、外力に対して主材の曲げ剛性で受けもっていると言える。荷重が 50kN 程度になると、変位 H0 は急激に増加し、それと同時に鋼材の中央部のひずみ(SA1,SB1)にも変化が現れた。SA1 はそれ以上増加しないが、SB1 が急激に増加し降伏していることが分かる。またこの荷重になると、主材のボルト軸力 PA1, PA2 にも変化が現れ、非対称となり PA1 に荷重が集中する状態となった。目視観察からも PA1 のボルト周辺のコンクリートに亀裂が入り出すなど、急激に不安定化した。一方、定着長の短い L 形鋼(800)の場合は、L 形鋼(1200)と同様にボルトを通して軸力が周辺コンクリートスラブに伝達されるが、スパンが短いため L 形鋼材の応力はあまり増加せず、ボルト位置がスラブ中央付近のためコンクリートスラブに変形が加わり、コンクリートスラブの曲げ破壊で最大耐力が決まった。以上のように L 形鋼は、ボルト取付位置を広く取る場合は最大耐力は L 形鋼の耐力で決まり、周辺部材に有害な応力は発生させないが、取付位置が狭い場合は、周辺部材に大きな応力が発生させ、周辺部材の最大耐力で決まるため、周辺部材の安定性を別途検討する必要がある。

(2) 連続繊維シート

定着長の違いについては、図-3 から定着長が短い場合も長い場合の変位—荷重曲線と重なっており、剥離長が長い方が最大耐力が大きくなるとの既往の研究成果¹⁾と同じであった。しかし、剛性の違いについては、図-3 の 300g/m² と 200g/m² の結果から、300g/m² の方がシート剛性が高いにも関わらず、最大耐力は低い結果となった。これはコンクリート表面強度の違いも影響したと考えられるが、シートの曲げ剛性の影響もあるのではないかと考えられる。

(3) ひび割れ注入工

図-5 に載荷荷重—変位および載荷荷重—スパン方向のコンクリートひずみ(図-1(d)参照)の結果を示す。載荷荷重 18kN 程度までは載荷位置直下のひずみ C2 が若干ではあるが最も大きい一體的な挙動である。しかし、20kN 程度になると中央部より周辺部のひずみ C1, C3 の方が増加勾配、値が大きくなることが分かる。さらに、最大荷重時(L 形鋼(800)と同程度)のひび割れ位置も図-5 に示すように中央部のコンクリート圧子ではなく、周辺のコンクリートスラブのみに入るため、最大荷重は周辺コンクリートスラブの曲げ破壊で決まったと考えられる。これらから、載荷に対して、ひび割れ注入したコンクリートでは、一体化した均一なコンクリートスラブの場合の挙動と異なり、健全な周辺のコンクリートスラブ側に大きな応力が発生する場合があると考えられる。

4 まとめ

ボルトによる定着方法の L 形鋼では、ボルト取付位置により最大耐力は異なり、取付位置が広い場合は対策工の耐力で最大耐力で決まるが、取付位置が狭い場合は周辺部材の最大耐力で決まる。接着剤による定着方式では、特に、ひび割れ注入工では注入部での押し抜きせん断破壊は起こらなかったが、周辺部材と完全に一体化したとは言えない挙動を示す場合があることが分かった。

参考文献 1) 呉他：連続繊維シートの貼付によるコンクリート片の剥落防止効果に関する実験的・解析的研究 土木学会論文集 No662/V-49 2000/11 P45～58

表-2 最大荷重と破壊モード

No	最大荷重(kN)	破壊形態
1	60.1	鋼材の降伏
2	35.8	コンクリートスラブ曲げ破壊
3	11.4	端部まで達する剥離破壊
4	7.3	端部まで達する剥離破壊
5	12.9	端部まで達する剥離破壊
6	36.9	コンクリートスラブ曲げ破壊

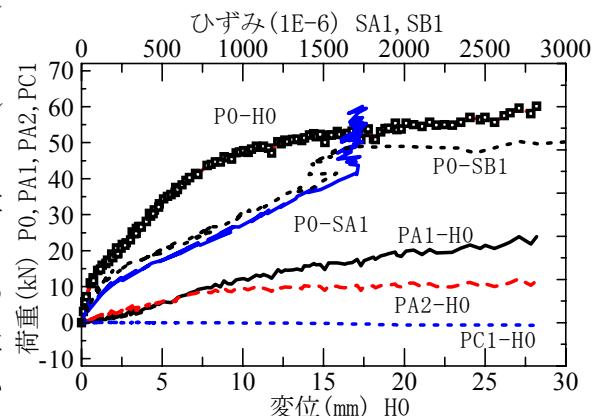


図-4 L 形鋼(1200)の結果

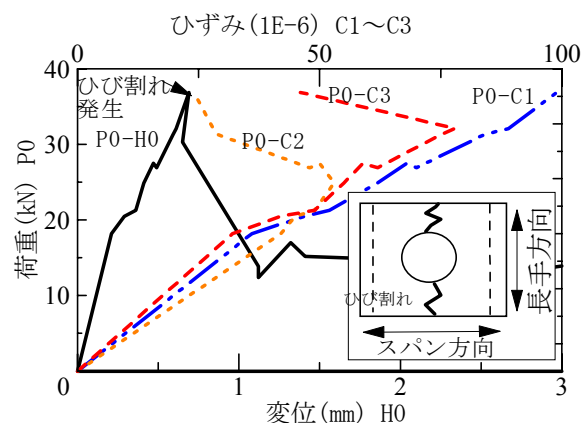


図-5 ひび割れ注入工の結果