

網状シートを用いたはく落防止対策工の耐力評価に関する実験的考察

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○森本 智, 前田洸樹, 日下 敦, 石村利明
鉄建建設株式会社 正会員 加古昌之

1. はじめに

山岳トンネル工法（いわゆる NATM）により建設された道路トンネルに発生するうき・はく離の面積は、0.2m²以下の小規模のことが多いことが報告¹⁾されている。はく落防止対策工の開発においては、対象とするはく落塊の規模を限定して適切に設定し、従来の変状対策工と比較して低強度の材料を用いることにより、経済性や施工性等の向上が期待される。一方、使用する材料の強度特性や繊維の構造等によっては、変形特性や耐荷特性、破壊形態等について従来工法とは異なる可能性が考えられる。

本報文では、従来から適用実績が多い炭素繊維と比較して低強度の繊維を用いて、網状に形成したシート系当て板工の耐力評価に関する基礎資料を得ることを目的として、押抜き試験を実施し、変形特性や耐荷特性、破壊形態等の分析を行った結果を報告する。

2. 試験方法

押抜き試験ははく落塊を模した押抜き部を設けたコンクリート供試体（押抜き部は 5mm 厚の型枠を設けて打設しコンクリート供試体とは接していない）の上面に、はく落防止対策工を設置し、下側から油圧ジャッキを用いて変位制御により載荷した（図-1、写真-1）。試験条件は円形の押抜き部の直径（押抜き径： ϕ ）を2種類設定し、Case.1 は ϕ 500mm、Case.2 は ϕ 100mm とした（図-2）。載荷速度は、変位量 2mm までは 0.2mm/min とし、変位量 2mm 以降は 1.0mm/min とした。本実験で用いたはく落防止対策工は、繊維が3方向4層に網状に積層（図-3）され、繊維をアクリル樹脂でラミネートした構造を有している（以下、「網状シート」と称する）。網状シートの材料特性を表-1 に示す。施工工程はコンクリート供試体の下地処理後、接着剤を塗布し、網状シートを貼付する3工程で完了する（写真-2）。計測項目は押抜き部の荷重（押抜き荷重： P (kN)）と押抜き部の変位（押抜き変位： δ (mm)）とした。観察は網状シートのはく離状態等について変位量が 2mm 増加する毎に2分間で行い、その間に変位量を保持した。

3. 試験結果

押抜き変位と荷重の関係を図-4（Case.1）、図-5（Case.2）にそれぞれ示す。これらの図には有効繊維本数

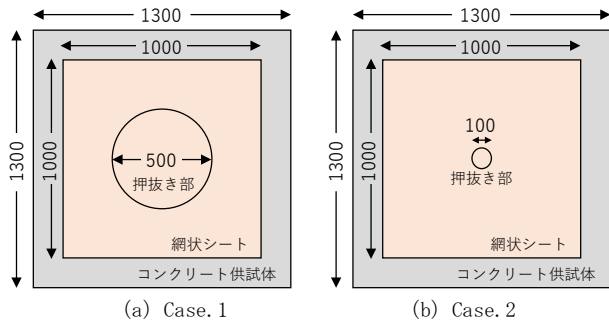
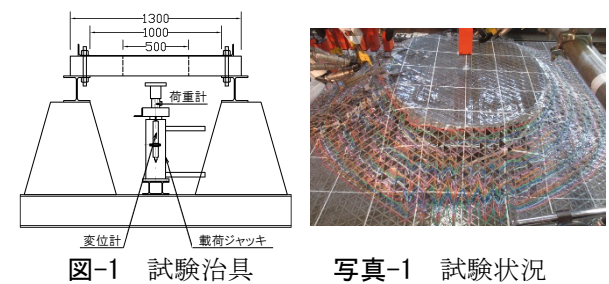


図-2 各ケースの供試体寸法（単位:mm）

表-1 網状シートの繊維特性

網状シート	繊維目付 (g/m ²)	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)
規格値	150	0.35	34.7	452.6
含浸・接着樹脂	エポキシ樹脂	曲げ強さ (JIS K7171)	引張強さ (JIS K7161)	引張せん断強さ (JIS K6850)
		40.0N/mm ²	30.0N/mm ²	10.0N/mm ²

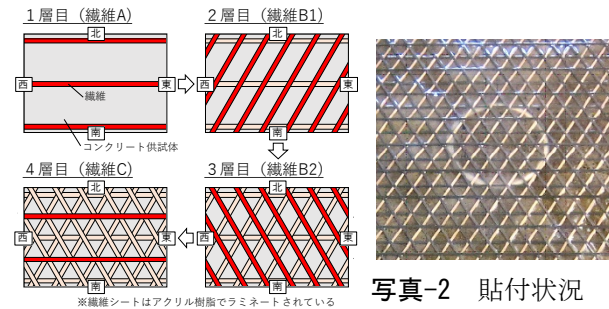


図-3 繊維の網状構造

写真-2 貼付状況
(Case.2 の例)

キーワード 道路トンネル, 覆工コンクリート, 変状対策工, はく落防止対策工

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL 029-879-6791

と網状シートの挙動を 4 つの段階に区分してあわせて示す。有効繊維本数とは、押抜き部と供試体をつなぎ、耐力として有効に機能している繊維の本数であり、目視観察により破断を確認した場合はその本数を減じた。網状シートの挙動の段階とは、【段階 1】は载荷開始から繊維と接着材のはく離を確認するまでの段階、【段階 2】は繊維と接着剤が一体となっはく離している段階、【段階 3】は繊維がはく離している段階、【段階 4】は荷重が大きく低下し実験を終了するまでの段階とした（写真-3）。

Case.1 における押抜き変位と荷重の関係（図-4）は、段階 1 で最大荷重値を示したがこの値は押抜き部と供試体の隙間に接着剤が流入したためと考えられることから考察からは除外する。段階 2 での荷重値は 4.0kN から上昇し 6.0kN で最大値となった。これは、接着剤が部分的に多く塗布されていたためと考えられる。段階 3 での荷重値は、押抜き変位の増加に伴い荷重は微増あるいは横ばいとなった。網状シートの挙動を確認すると、変位量が 55mm で一部の繊維の破断が押抜き部の近傍や繊維の中間等で確認され、変位量が 92mm で一部の繊維が端部まではく離し、変位量が 110mm で多くの繊維が端部まではく離し試験を終了した。Case.2 においても図-5 に示すとおり、概ね同様の結果となった。

網状シートの特徴として、押抜き変位量の増加により繊維が独立して挙動する変形特性を示し、はく離が進展しても荷重の変化は限定的となる耐荷特性を示した。また、破壊形態は表-3 に示すとおり、繊維の部分的な破断が確認され、その位置は押抜き部の近傍や繊維の中間等であった（破壊①）。また、一部の繊維は先行してはく離が進展（破壊②）する形態を示した。これらの挙動は、炭素繊維を用いた従来工法とは異なる結果となった。すなわち、既往の研究²⁾では、変位量の増加に伴い、炭素繊維シートのはく離が概ね均等に進展し、荷重が増加していく挙動が確認されており、その耐力は単位はく離強さおよびはく離周長から算定できることが示されている。

4. まとめ

本報告では、従来工法と比較し低強度の繊維を用いたシート系当て板工の耐力を評価することを目的に押抜き実験を実施した。その結果、従来工法に比べ変形特性、耐荷特性、破壊形態等が異なることが明らかとなった。今後、合理的な設計手法の確立とともに施工性・維持管理性の優れたはく離防止対策工の開発および評価について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 森本智, 日下敦, 吉岡和哉, 長谷川慶彦: NATM により建設された道路トンネルにおける材質劣化に起因する変状の実態, 土木技術資料第 61-4 巻, 2019.4
- 2) 石村利明, 真下英人, 箱石安彦: 既設トンネルのはく離防止対策工の耐力評価に関する一考察, 土木学会トンネル工学報告集第 14 巻, 2004.11

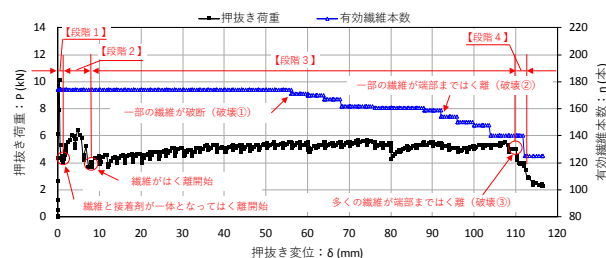


図-4 押抜き変位-荷重等の関係 (φ 500mm)

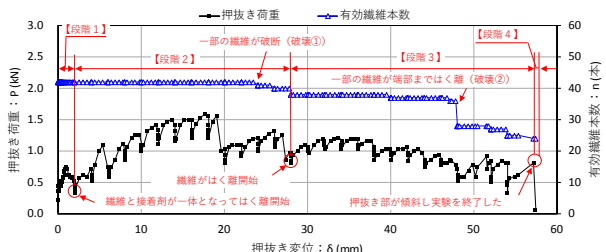


図-5 押抜き変位-荷重等の関係 (φ 100mm)

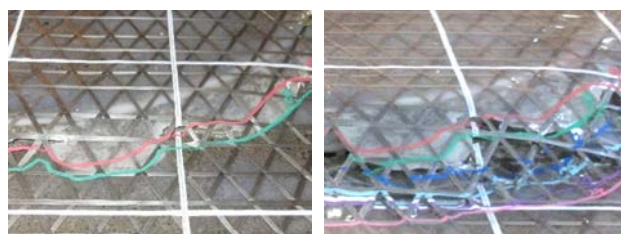


写真-3 はく離状況 (左:段階 2, 右:段階 3)

表-3 破壊形態

破壊① 一部の繊維が破断	破壊② 一部の繊維が端部まではく離	破壊③ 多くの繊維が端部まではく離