

樹脂塗布型はく落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, 松山彰宏
ユニシ株式会社 辻本 仁

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、0.1㎡未満が 92%以上、0.2㎡未満が 95%以上を占めており小規模のことが多いことが報告¹⁾されている。はく落対策工（以下「対策工」と称する）の開発においては、対象とするはく落塊の規模を限定し、従来の対策工と比較して低強度の材料を用いることにより、経済性や施工性の向上が期待される。一方、使用する材料の強度特性や構造等によっては、荷重-変位特性や破壊形態等について、従来の対策工とは異なる性能を示す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樹脂材料を用いた塗布型の対策工を試作し、はく落抵抗性能を評価するための基礎資料を得ることを目的として押抜き試験を実施し、荷重-変位特性や破壊形態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に対策工を設置し、ジャッキを用いて変位制御により载荷した。押抜き部は、コンクリート供試体と 5mm 程度の隙間を設けて作成し、隙間には対策工が流入しないようコーキング材による処理を施した。押抜き部の形状は、Case. 1 は円形（直径φ100mm）、Case. 2 は菱形（対角線の長さは 210mm×75mm）として 2 種類設定した（図-1）。载荷速度は、変位量 2mm までは 0.2mm/min、変位量 2mm 以降は 1.0mm/min とした。対策工には、樹脂材料を用いた塗布型の対策工が有するはく落抵抗性能を評価するため、表-1 に示す特性を有するウレタン系の樹脂材料を採用した。本材料は、設計厚さが 0.16mm と薄く、透過性が良いため、施工後においてもコンクリート表面の状況が確認できる（写真-1）。施工工程は、コンクリート表面のケレン及びプライマー塗布の後、樹脂材料をローラーにて塗布する 3 工程となる。計測項目は、押抜き载荷による変位（変位（mm））、押抜き载荷に対する抵抗荷重（荷重（kN））とした。また、変位が 2mm 増加する毎にはく離状態等を観察した。

3. 試験結果

図-2 に、変位と荷重の関係を示す。Case. 1 の荷重は、変位の増加に伴い増加し、変位 9.2mm にて最大 0.70kN となった。その後、荷重は低下し変位 16mm にて 0.40kN となった。それ以降の荷重は、変位の増加に伴う変化は小さく、微増あるいは横ばいとなった。Case. 2 の荷重は、変位 7.5mm にて最大 1.05kN となり、変位 13mm 以

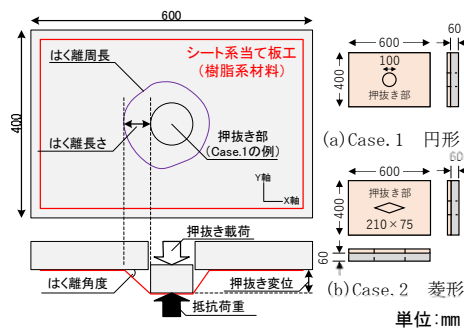


図-1 試験状況

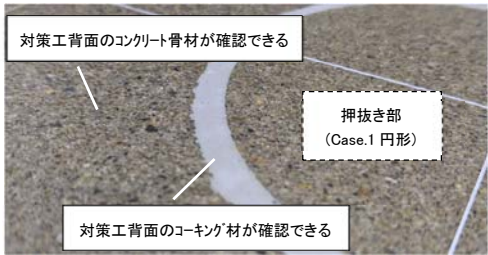


写真-1 施工後の状況

表-1 材料特性

樹脂の種類	設計厚さ (mm)	引張強さ (N/mm ²)	引張弾性率 (N/mm ²)	破断時伸び率 (%)
ウレタン系	0.16	40.0	14.2	300程度

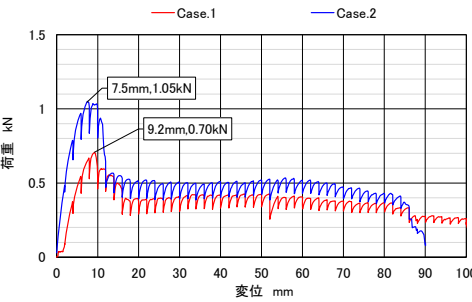


図-2 変位と荷重

キーワード 道路トンネル, 覆工コンクリート, はく落対策工

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

降は 0.50kN 程度で推移し、Case. 1 と概ね同様の傾向を示した。

写真-2 に、対策工の破断状態を示す。Case. 1 では、変位 32mm にて寸法 2mm 程度の部分的な破断が確認された。その後、その破断は変位 54mm で拡大しはく離の進展は停止した。その他の箇所では、はく離の進展は変位の進行と比較し限定的であった。Case. 2 では、鋭角部付近にて、変位 4mm にて寸法 2mm 程度の部分的な破断が確認された。その後、その破断の拡大に加え他の鋭角部でも新たな破断が確認されたが、周辺へのはく離の進展は変位の進行と比較し限定的であった。既往の研究²⁾では、炭素繊維を用いた対策工の場合、変位の増加によりはく離が供試体端部まで進展する結果が得られている。一方、本実験では、従来の対策工と異なり、はく離が供試体端部まで進展することなく材料の伸びが先行する結果となった。

図-3 に、はく離長さと呼び抜き変位の関係から算出したはく離角度（図-1 参照）について示す。同図には参考として炭素繊維を用いた場合の結果²⁾をあわせて示す。Case. 1 のはく離角度は、破断が確認された X 軸では変位 4mm では 30° 程度で、変位 50mm では 80° 程度まで増加した。破断が確認されなかった Y 軸では変位 50mm では 70° 程度まで増加した。Case. 2 においても、概ね同様の傾向を示した。炭素繊維を用いた対策工の場合、はく離角度は概ね 5° から 6° 程度となる結果が得られている²⁾。一方、本実験では、従来の対策工と比較し、はく離角度が大きくなっていることがわかる。

図-4 に、はく離周長と荷重の関係を示す。Case. 1 及び Case. 2 ともに、はく離周長の増加に伴う荷重の増加は限定的であった。炭素繊維を用いた対策工の場合、変位の増加により、はく離が概ね均等に進展し、はく離周長に比例して荷重が増加する結果が得られている²⁾。一方、本実験では、従来の対策工と比較し、はく離周長の増加に伴う荷重の増加は小さい結果となった。

4. まとめ

本報告では、従来工法と比較し低強度の樹脂系材料を用いた塗布型の対策工について、はく落抵抗性能を評価するための基礎資料を得ることを目的として呼び抜き試験を実施した。その結果、本実験で用いたウレタン系の樹脂材料では、材料の伸びが先行し、はく離が供試体端部まで進展せずに破断する形態を示した。炭素繊維を用いた従来工法と比較すると、変形が進行しやすく、はく離周長の増加に伴う荷重の増加は小さい特性を示すことが明らかとなった。今後、これらの結果を踏まえ、従来工法と比較し低強度の材料を用いる場合の伸び特性や破壊形態等を考慮した合理的な設計手法について検討する予定である。なお、塗布型の対策工は、はく落抵抗性能を発揮するためには必要な厚さの塗膜を形成する必要がある。しかし、実施工においては、段差や幅の大きなひび割れ箇所等があり、これらの箇所では塗膜厚が不均一となる懸念が想定されるため、適切な施工手順や施工管理手法等についても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落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

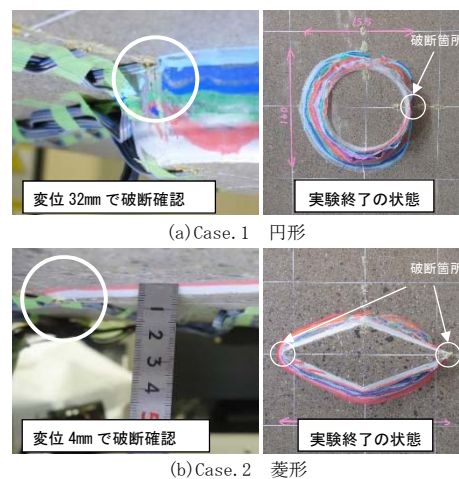


写真-2 破断した状態

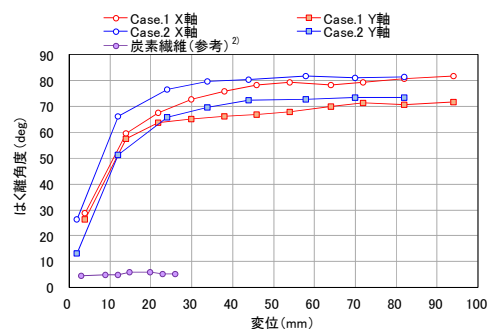


図-3 変位とはく離角度

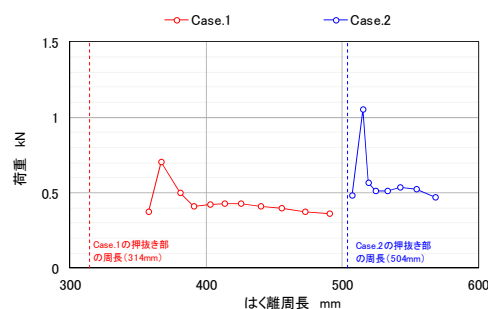


図-4 はく離周長と荷重