

## はく落対策工の耐荷力評価に関する一考察

国立研究開発法人土木研究所 正会員○森本 智, 日下 敦, 松山彰宏  
 国立研究開発法人土木研究所 (現: パシフィックコンサルタンツ株式会社) 前田洸樹

### 1. はじめに

道路トンネルの覆工コンクリートにうき・はく離が生じた場合は、はく落対策としてシート系当て板工(対策工)等が用いられる。対策工は従来から適用実績が多い炭素繊維を材料とするものに加えて、最近では経済性や施工性の向上を期待し、炭素繊維と比較して低強度の材料や異なる構造を有するものも多い。

本報文では、炭素繊維を用いた対策工<sup>1)</sup>、炭素繊維と比較して低強度の材料・異なる構造を有する対策工<sup>2)</sup>の試験結果等を用いて、荷重-変位特性や破壊形態等を考慮した対策工の耐荷力の評価方法について考察した。

### 2. 試験方法

押抜き試験は、コンクリート供試体に対策工を設置し、はく落塊を模した押抜き部を変位制御で載荷する方法により実施した。計測項目は、押抜き部の変位(変位(mm))、抵抗荷重(荷重(kN))とした。また、シートのはく離周長を目視観察により把握した。なお、Case3は繊維が単独で挙動したため、各繊維のはく離端部を結んだ長さとした。試験ケースと使用材料・特性を表-1に示す。各ケースともに押抜き部の形状は円形で、Case1は直径200mm、Case2及びCase3は直径500mmとした。対策工に用いた材料は、Case1は炭素繊維、Case2はガラス繊維、Case3はオレフィン系繊維とした。

### 3. 試験結果

図-1に変位と荷重の関係、図-2に荷重とシートのはく離周長の関係を示す。Case1及びCase2では変位の増加に伴い荷重が増加するとともにシートのはく離周長も増加した。一方、Case3では変位の増加に伴い荷重は微増あるいは横ばいとなりシートのはく離周長の増加はCase1及びCase2と比べて少なかった。図-3に試験終了時の状況を示す。シートの大部分に破断が生じた状態を「破断」、シートのはく離が進展し供試体端部まで達した状態を「端部はく離」、有効繊維に破断が生じた状態を「有効繊維破断」と定義した。Case1では24.5kNにて破断しその後荷重は著しく低下した。Case2では破断は確認されず9.8kNにて端部はく離したため試験を終了した。Case3では一部の繊維が先行してはく離後5.5kNにて有効繊維破断した。

### 4. 耐荷力の算出と適用範囲

押抜き試験から得られる荷重-変位特性及び破壊形態を考慮して、荷重とシートのはく離周長の関係及び荷重の上限値を算出し、はく落塊荷重と比較することで適用範囲を評価する。

(1) 荷重とシートのはく離周長 Case1及びCase2のように変位の増加に応じて荷重が増加し、シートのはく離が面的に挙動するような耐荷特性を示す場合、はく離周長に応じた耐荷力は、図-2の傾き((荷重)/(はく離周長))、すなわち「単位はく離強さ」により評価できる<sup>3)</sup>。

表-1 試験ケースと材料特性

	Case1	Case2	Case3
材料	炭素繊維	ガラス繊維	オレフィン系繊維
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	4,124	3,430	35
引張弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )	262,000	72,500	409
繊維目付 (g/m <sup>2</sup> )	207	203	150

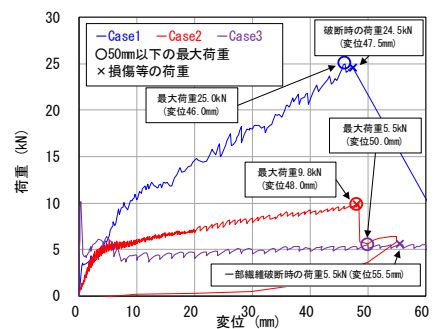


図-1 荷重と変位

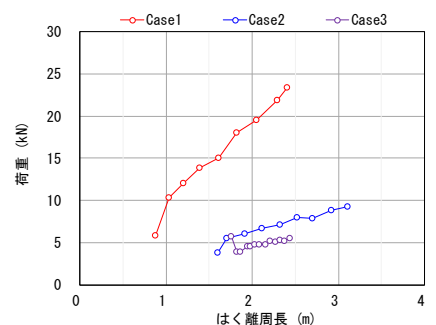


図-2 荷重とはく離周長

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, 耐荷力の評価

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

一方、Case3のように変位の増加に応じて各繊維が独立して挙動するような耐荷特性を示す場合、荷重の上限值は、単位繊維強

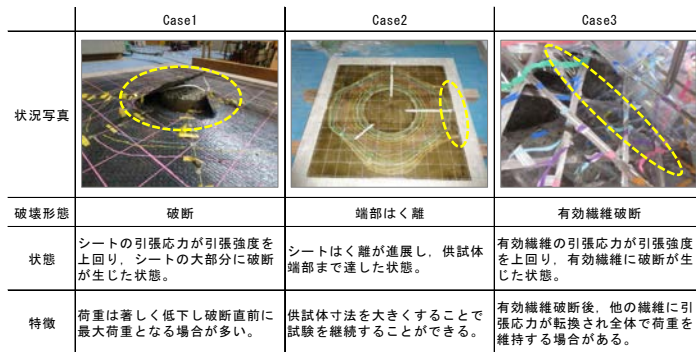


図-3 試験終了時の破壊形態とその状態・特徴

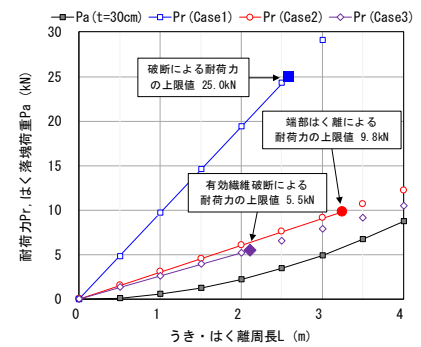


図-4 耐荷力とはく落塊荷重の関係

度に有効繊維（押抜き部と供試体をつなぎ耐荷力として有効に機能する繊維）の本数を乗じて算出する「単位繊維強さ」により評価できる<sup>2)</sup>。

(2) 荷重の上限值 上記を踏まえ従来の単位はく離強さによる評価とは異なる耐荷特性を有する工法ではその特性に応じて荷重の上限值を定める必要があるため、破断、端部はく離、変位を考慮して設定した。

1) 破断または有効繊維破断による上限値 破断が確認された場合、荷重は著しく低下し破断直前に最大荷重となる。破断による耐荷力の上限値は、Case1 では破断が確認される直前の 25.0kN、Case2 では破断は確認されず、Case3 では有効繊維破断が確認された 5.5kN となる。

2) 端部はく離による上限値 端部はく離が確認された Case2 では 9.8kN が上限値となる。より大きい供試体寸法とすることで最大荷重は大きくなることが考えられるが、確認できた最大荷重を耐荷力の上限值とした。

3) 変位に対する上限値 実現場では覆工表面と建築限界の限られた空間においてはく落塊を保持する必要があるため、変位の進行に対する上限値を設けることとし、ここでは試験での変位 50mm とした。変位に対する耐荷力の上限値は、Case1 では 25.0kN(46mm)、Case2 では 9.8kN(48mm)、Case3 では 5.5kN(50mm) となった。

(3) はく落塊荷重の算出 はく落塊荷重  $P_a$  (kN) は、うき・はく離の面積  $A$  (m<sup>2</sup>)、覆工巻厚  $t$  (m)、コンクリートの単位体積重量 ( $\gamma_c=23\text{kN/m}^3$ ) を乗じることで算出した。ここでは  $t=30\text{cm}$ 、うき・はく離形状は正方形と仮定した。

(4) 適用範囲 図-4 にうき・はく離周長  $L$  (m) に応じた各ケースの耐荷力  $P_r$  (kN)、はく落塊荷重  $P_a$  (kN) の関係を示す。耐荷力の評価は(1)、(2)で算出したシートのはく離周長に応じた耐荷力  $P_r$  と、(3)で算出したはく落塊荷重  $P_a$  を比較することで行い、 $P_r$  が  $P_a$  を上回る範囲において当該工法が適用可能な範囲といえる。例えば、対象とするうき・はく離の周長が 2m と仮定した場合、はく落塊荷重  $P_a$  は 2.2kN であるのに対して、耐荷力  $P_r$  は Case1 では 19.4kN ( $P_r/P_a=8.8$ )、Case2 では 6.1kN ( $P_r/P_a=2.7$ )、Case3 では 5.2kN ( $P_r/P_a=2.3$ ) となり、想定するうき・はく離に対して各工法ともに耐荷力を有すると評価できる。

## 5. まとめ

本報告では、押抜き試験の結果から得られた荷重-変位特性や破壊形態から、荷重とシートのはく離周長の関係及び荷重の最大値を設定し、はく落塊荷重と比較することで耐荷力を評価する方法を示した。今後は、対策工に用いる様々な材料・構造による影響等を考慮して適切な耐荷力評価を行うことにより、対策工の合理的な設計手法につなげていきたい。

## 参考文献

- 1) 石村利明, 砂金伸治, 日下敦, 森本智: はく落形状の違いによるトンネル補修工の耐荷力に関する実験的検討, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018.8
- 2) 森本智, 前田洸樹, 日下敦, 石村利明, 加古昌之: 網状の繊維シートを用いた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 30 巻, 2020.11
- 3) 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