

繊維シート接着工における剥落荷重算定方法

鉄建建設 正会員 ○柳 博文
 鉄建建設 正会員 松岡 茂
 鉄建建設 正会員 土井至朗

1. 目的

トンネル覆工などのコンクリートの剥落防止対策として、繊維材料を用いた繊維シート接着工が普及してきている。ここでは、紫外線硬化型の繊維シート（以下、タフシートと呼称）のコンクリート片剥落防止効果を確認する目的で、コンクリート平板を用いた押し抜き試験を実施した。さらに、繊維シートの剥離荷重を算定する方法として、コンクリートの引張破壊特性を考慮した計算方法¹⁾を用いて実験と比較した。

2. 実験概要

実験は、六車らの実験²⁾を参考にして実施した。図-1に示すように、中央に円孔を有しているコンクリート平板にタフシートを接着後、中央部の円孔に変位制御により荷重を行った。荷重速度は開始0.5mm/minで、シート剥離発生以降は1.0mm/minとした。実験では荷重荷重と荷重点変位を計測した。タフシートの厚さは1.5mm、コンクリート平板の圧縮強度は、一般的な覆工コンクリートの圧縮強度と想定される18N/mm²とした。

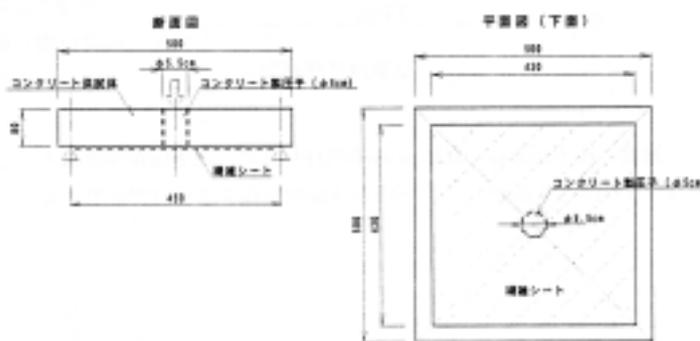


図-1 供試体図

3. 計算方法

小島ら¹⁾が提案している計算方法は、図-2に示すように繊維シートの剥離先端で引張応力が伝達されており、伝達される引張応力はコンクリートの引張軟化曲線に従うものとしている。タフシートとコンクリートとの界面で伝達される引張応力 σ_t は、タフシートの付着力がコンクリートの引張強度以上確保されていることから、コンクリートの引張破壊特性である引張軟化曲線に従うものとする。引張強度は式(1)より算出した。

$$f_t = 2.12 \times \ln \left(1 + \frac{f_c}{10} \right) \quad (1)$$

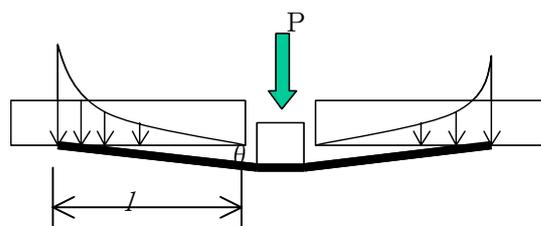


図-2 剥離状況モデル

引張軟化曲線は図-3に示すように、中村らの文献³⁾を参考にし、計算に用いる際は2直線モデルを式(2)のように指数関数で近似した。

$$\sigma_t = f_c \cdot \exp(-25w) \quad (2)$$

ここで、 w :ひび割れ幅(mm)である。なお、ひび割れが発生する以前および圧縮側は線形とした。剥離したタフシートとコンクリート表面との角度である剥離角度(θ)は、繊維シートの強度特性に依存しており、繊維シートの引張特性とコンクリートの引張破壊特性で式(3)のように決定される。

$$L = \frac{\delta_L}{\theta} \quad (3)$$

ここに、 L :引張応力伝達区間、 δ_L :限界ひび割れ幅(mm)である。引張応力伝達区間でコンクリートとタフシート間で伝達される引張応力の総和が剥離荷重 P となる。さらに、タフシートは強度の異方性を有していないため、コン

キーワード：トンネル覆工、繊維シート、引張軟化曲線、剥落対策

連絡先 〒286-0025 千葉県成田市新泉9-1 鉄建建設（株）技術研究所 TEL 0476-36-2355

クリート平板では同心円状に剥離が進展する。したがって、コンクリート平板に接着したタフシートの剥離荷重 P は次式のように表される。

$$P = \int_0^L \int_0^{\pi} \sigma_t(x) dx d\theta \quad (4)$$

ここに、 $\sigma_t(x)$: 引張応力伝達距離 x で伝達される引張応力である。距離 x におけるコンクリートのひび割れ幅 $w(x)$ は剥離角度 θ と距離 x の積であり、引張軟化曲線から伝達される引張応力が決定される。

4. 実験結果および計算結果

図-3 に押抜き荷重とタフシートの載荷変位量との関係を示す。荷重は変位が増加するのに伴って大きくなり約 6kN 程度まで上昇した。実験ではタフシートは同心円状に剥離が進行したが、これはタフシートは強度の異方性を有していないためである。最終的には、剥離がタフシートの端部まで達して荷重が低下した。

図-4 にタフシートの剥離荷重と式(4)で算定された値との関係を示す。計算結果は実際の実験結果の約半分となっており、その原因は計算で使用しているコンクリートの引張破壊特性を少な目に見ていることとタフシートの曲げ剛性を無視しているためである。特に、タフシートの曲げ剛性は剥離開始荷重に関与しており、計算結果では曲げ剛性を無視しているため、剥離開始荷重（変位が零の荷重）はほとんど発生していない。これに対して実験結果は、剥離開始荷重が 1~2kN 程度有しており、曲げ剛性による剥離開始荷重を無視した式(4)の算定式は安全側となっている。しかしながら、タフシートの有効厚は 1.5mm 以上あり、他の繊維シートに較べて厚いため曲げ剛性を有していることから、曲げ剛性を考慮した剥離荷重を計算した結果を図-5 に示す。計算結果では、変位が 15mm を超えると剥離面がタフシートの端部に到達する。実際の供試体では、同心状に剥離が進行し剥離面が端部に到達したのちも、タフシートが完全に剥離するまで荷重が増加するため、計算結果以上の変位が生じているものと考えられる。以上の算定方法を適用すれば、タフシートの剥離荷重を算定することが可能であると判断される。

5. まとめ

タフシートは強度の異方性を有していないため、コンクリート平板ではタフシートは同心円状に剥離が進行し、コンクリート表面に密着したタフシートの付着性能は有効であることが確認できた。さらに、コンクリートの引張破壊特性を考慮した計算方法を適用すれば、タフシートの剥離荷重を算定することができると考えられる。

参考文献

- ・ 繊維シート接着工によるトンネル覆工コンクリートの剥落対策設計法 土木学論文集投稿中
- ・ 六車ら：トンネル覆工における FRP 剥落対策工の適用性に関する基礎実験、土木学会第 57 回年次学術講演会、2002.9
- ・ 中村ら：コンクリートの引張軟化特性の標準試験法に関する基礎的検討、コンクリート工学論文集、Vol.10, No.1, pp151-164

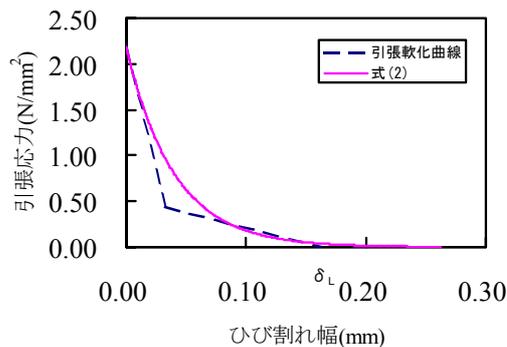


図-3 引張軟化特性

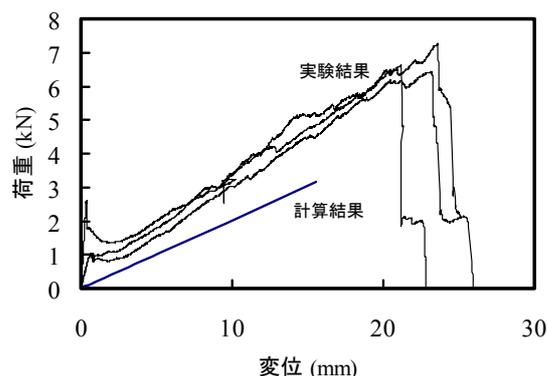


図-4 実験結果と計算結果の比較
(曲げ剛性なし)

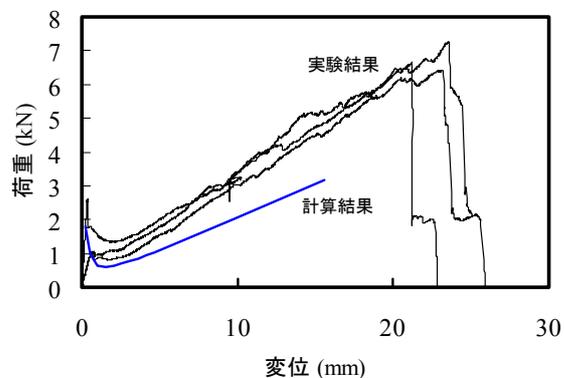


図-5 実験結果と計算結果の比較
(曲げ剛性あり)