

少量の合成短繊維を添加したコンクリートの剥落防止性能と破壊エネルギーとの関係

(株)大林組 正会員 ○小林貴宏
 (株)大林組 正会員 橋爪正博
 (株)大林組 正会員 青木 茂
 萩原工業(株) 正会員 大島章弘

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートや高架橋のスラブ等では、コンクリート片の剥落防止を目的に、少量の合成短繊維を添加したコンクリートが適用されはじめています。この場合、剥落防止効果を付与するのに有効な繊維添加量を定める一つの基準として、打撃試験による打撃回数比 8 が採用されている¹⁾。本研究は、剥落防止基準（打撃回数比 8）を満足する短繊維補強コンクリートを対象とし、曲げおよび引張靱性を定量的に把握することを目的としたものである。研究において、破壊エネルギー試験を実施し、剥落防止性能を有するコンクリートのタフネスを求め、併せて引張軟化曲線を推定した。



図1 繊維形状

2. 繊維特色

採用した繊維を表1に、繊維形状を図1に示す。繊維表面は親水性処理が施されているとともに、繊維表面のグリップ力を高める改良がなされている。繊維の添加量は 0.1Vol%/m³ と少量であるが、繊維長が 12mm と短く、繊維径が 43μm と非常に細いため、繊維混入本数が 5833 万本/m³ と圧倒的に多い。

表1 繊維物性値

材質	ポリプロピレン
密度	0.91g/cm ³
形状	繊維長 12mm 繊維径 43μm
ヤング係数	5000MPa
引張強度	482MPa
添加量	0.1Vol%/m ³ (0.91kg/m ³)

3. 打撃試験¹⁾

(1)試験概要

図2に示す供試体に、鉄筋腐食を模擬し、膨張材によりかぶり部分に強制的にひび割れを発生させた後、ひび割れが入った部位をハンマーで打撃することで、剥落に至った回数から繊維の剥落防止性能を評価するものである。表2にコンクリート配合とフレッシュ性状を示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、目標スランプ 8±2.5cm、目標空気量 4.5±1.5%である。

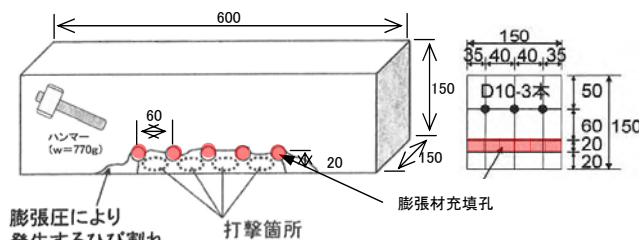


図2 打撃試験

(3)試験結果

表2 コンクリート配合およびフレッシュ性状

	W/C (%)	s/c (%)	単位量 (kg/m ³)					フレッシュ性状	
			W	C	S	G	BL	スランプ(cm)	空気量(%)
Base(基準)	50.0	47.0	170	340	814	944	—	9.0	5.5
BL(繊維)							0.91	7.5	3.0

表3 打撃試験結果

	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ幅 (mm)			打撃回数(回)				打撃回数比 (BL/Base)
		No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	Avg	
Base(基準)	31.2	0.65	0.55	1.10	9	17	23	16.3	1.0
BL(繊維)	35.7	0.40	0.40	0.35	244	116	246	202.0	12.4

採用繊維を 0.1Vol%/m³ と少量添加することで、膨張圧によるひび割れ幅が全供試体で 0.40mm 以下となり、Base に発生したひび割れ幅の最大約 30%にまで抑制された。また平均打撃回数も base の 16.3 回に対し、BL は 202 回（打撃回数比 12.4）となり、剥落防止基準以上の性能が確保できている。

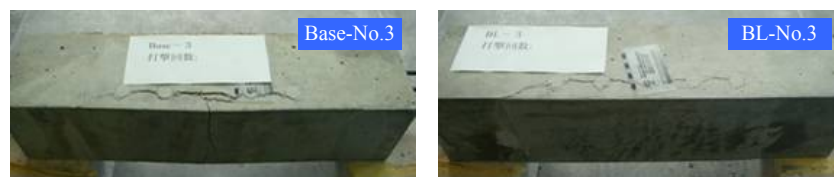


図3 強制ひび割れ状況(打撃前)

キーワード 合成短繊維, 剥落防止性能, 打撃試験, 破壊エネルギー試験, 引張軟化曲線
 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL 03-5769-1319

4. 破壊エネルギー試験

(1) 試験概要

破壊エネルギー試験は、図4に示す切欠きはりの3点曲げ荷重時の荷重－ひび割れ開口変位（CMOD）曲線から、コンクリートの破壊エネルギー及びタフネスを求めるものである。Base（基準）はJCI-S-001-2003，BL（繊維）はJCI-S-002-2003に従い実施した。表4にコンクリート配合を示す。トンネル覆工コンクリートを想定し、セメントは高炉セメントB種を用い、目標スランプ $15\pm 2.5\text{cm}$ ，目標空気量 $4.5\pm 1.5\%$ である。

表4 コンクリート配合

	W/C (%)	s/c (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	S	G	BL
Base(基準)	47.2	42.5	151	320	787	1089	—
BL(繊維)							0.91

(2) 試験結果

BL（繊維）の試験状況を図5に示す。また試験結果を表5，図6に示す。これより、繊維の添加（BL）は、最大曲げ荷重には寄与せず、その荷重－CMOD曲線は、Base（基準）と同等である。しかしながら、ひび割れが進展するにしたがって、Baseではモルタルと骨材のマトリックス部分で分離してしまい、応力伝達能力に乏しいために供試体は破壊してしまうが、BLでは、切欠き上部にひび割れが確認された後も自立し続け、クリップ変位計の測定限界を超えるCMOD5（5mm）となっても破壊には至らなかった。

Baseが破壊に至ったCMODc（1.852mm）での破壊エネルギー G_F 及びタフネス T を比較すると、Baseは $G_F=0.162\text{N/mm}$ ，BLは $T=0.196\text{N/mm}$ で約20%向上している。さらにBLのCMOD4（4mm）は $T=0.325\text{N/mm}$ となり、繊維添加により200%以上の向上が期待できることが確認された。

(3) 引張軟化曲線の推定

コンクリートの破壊進行領域での軟化現象を捉えるために、仮想ひび割れ幅と結合応力を用いてモデル化した場合の引張軟化曲線を、破壊エネルギー試験結果を基に推定した。推定結果を図7に示す。Baseでは、仮想ひび割れ幅0.2mm程度で結合応力がゼロになるのに対し、BLは構造体の仮想ひび割れを目視で確認できる0.6mm程度まで結合応力を有している。12mmと短い繊維であるが、Base（基準）の3倍のひび割れ幅に対しても、架橋効果が有効であることが確認された。

5. まとめ

剥落防止基準（打撃回数比8）を満足する短繊維補強コンクリートは、繊維添加により200%以上のタフネス向上が期待できるとともに、破壊進行領域での繊維の架橋効果の有効性も評価することができた。

参考文献

1) (社)日本鉄道施設協会，東日本旅客鉄道株式会社編土木工事標準仕様書，付P8-18～付P8-19，2005.4

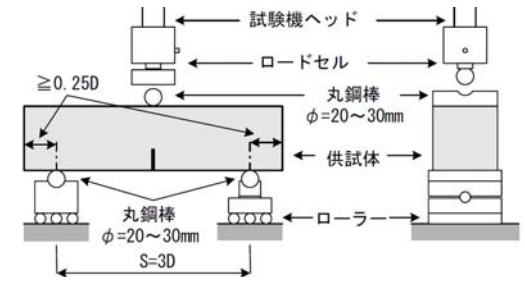


図4 破壊エネルギー試験

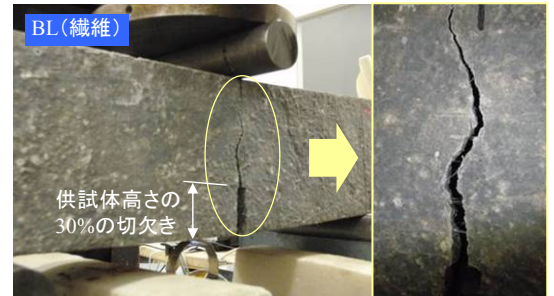


図5 試験状況(BL)

表5 破壊エネルギー及びタフネス

	破壊エネルギー G_F 及びタフネス $T(\text{N/mm})$		
	CMODc *(1.852mm)	CMOD2 *(2mm)	CMOD4 *(4mm)
Base(基準)	0.162	—	—
BL(繊維)	0.196	0.201	0.325

*()内の数値はひび割れ開口変位

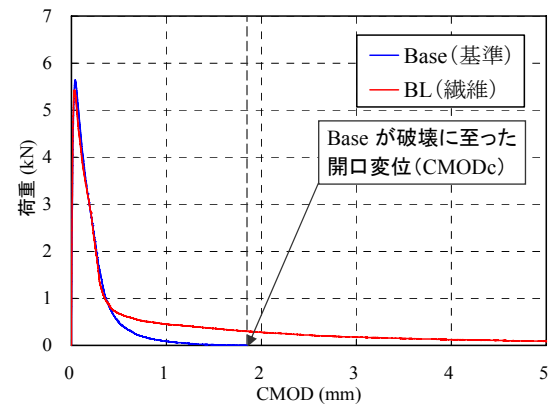


図6 荷重－CMOD 曲線

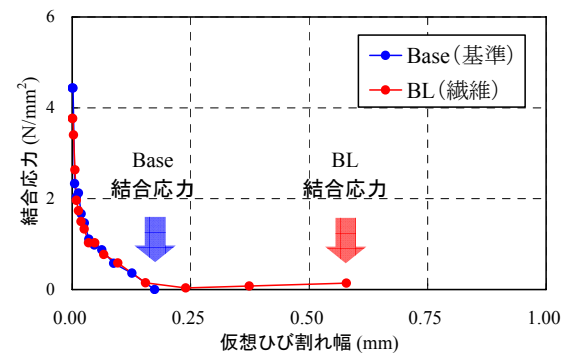


図7 引張軟化曲線