

# シムロック® SX を混入した コンクリートの爆裂および 剥落抵抗性

椎名 貴快\*                      佐藤 幸三\*\*  
Takayoshi Shiina              Kozo Sato

## 1. はじめに

これまで土木分野において、有機系短繊維を混入したコンクリートは、主にははく落防止を目的として、山岳トンネルの覆工や高架橋などに利用されてきた。

しかし、ここ数年、RCセグメントのような二次製品や地下構造躯体など比較的強度の高いコンクリート部材・部位にも有機系短繊維が使用されるようになり、要求性能として、はく落防止の他、火災時の爆裂対策も併せて求められるケースがある。

通常、短繊維補強コンクリートは、目的に応じて使用する短繊維の材質、太さや長さ、混入率が異なる。例えば、はく落防止にはアスペクト比 30~70 程度、爆裂防止にはアスペクト比 200 以上（当社実績）の有機系短繊維がそれぞれ有効とされる。このような形状の異なる短繊維を組み合わせて用いることでそれぞれの短繊維が持つ性能を統合し、コンクリートに付与することができるのか検討した事例は少ない。

そこで、当社が保有するはく落防止に効果のあるポリプロピレン短繊維「シムロック® SX」に、爆裂防止に効果のある短繊維を加えて混合使用した場合の爆裂抵抗性とはく落抵抗性について実験で確認した。

## 2. 爆裂抵抗性の評価実験

### (1) コンクリート配合と使用材料

表一1 にベースコンクリートの配合を示す。呼び強度は 55 N/mm<sup>2</sup> の高強度相当の配合で、セメントは普通ポルトランドセメント、骨材には耐火性は劣るが、乾燥収縮低減に有効として近年需要の高い石灰石骨材を使用した。短繊維は表一2 および写真一1 に示したポリプロピレン製の 2 種類で、PPA ははく落防止用途（標準 0.05 vol.%）、PPB は爆裂防止用途（標準 0.20 vol.%）である。

### (2) 実験ケース

実験項目は、使用する短繊維の種類と混入率の 2 項目とし、表一3 のとおり実験水準は短繊維を混入しない場合の他、2 種類の短繊維を単体もしくは混合で上限 0.20vol.% 混入した全 9 水準である。

\* 技術研究所土木技術グループ

\*\*技術研究所

表一1 ベースコンクリートの配合

Flow (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				W	C	S	G	SP
50	2.0	36.5	49.6	165	453	878	919	4.08

表一2 短繊維の仕様

記号	PPA (シムロック® SX)	PPB
用途	はく落防止	爆裂防止
材質	ポリプロピレン	ポリプロピレン
比重	0.91	0.91
繊維径	0.37 mm	0.048 mm
繊維長	20 mm	10 mm
アスペクト比	54	208
繊度	1,000 dt	17 dt
標準混入率	0.05 vol.%	0.20 vol.%



写真一1 短繊維 (左: PPA, 右: PPB)

表一3 実験ケース

No.	供試体名	繊維種類	繊維混入率 (vol.%)		
			PPA	PPB	計
1	A00B00	無混入	0	0	0
2	A05B00	PPAのみ	0.05	0	0.05
3	A10B00		0.10		0.10
4	A20B00		0.20		0.20
5	A00B10	PPBのみ	0	0.10	0.10
6	A00B20			0.20	0.20
7	A05B05			0.05	0.10
8	A05B10	混合	0.05	0.10	0.15
9	A05B15			0.15	0.20

### (3) 耐火試験

耐火試験は、トンネル内での再燃火災を想定し、加熱を2回連続しておこなった。一次加熱では、加熱開始5分で1100℃まで急速加熱した後、25分まで保持し、その後は自然冷却した。続いて、二次加熱は、一次加熱から75分後を起点に、RABT曲線（ドイツ規格）の規定に準じて、加熱開始5分で1200℃まで急速加熱した後、60分まで保持しその後徐冷した。

供試体は、円柱2種類（φ15 cm×H30 cm, φ10 cm×H20 cm（圧縮強度用））で、打設翌日に脱型し、材齢7日まで20℃で水中養生した後、気中環境下に存置し、約3ヵ月後の材齢86日目に加熱試験をおこなった。加熱試験前、供試体の含水率は4.5~5.0%（高周波容量法）、圧縮強度81~86 N/mm<sup>2</sup>で、実験水準に寄らず概ね等しい値であった。

(4) 実験結果

写真-2 に炉内の供試体配置および加熱中の炉内状況を示す。また表-4 および表-5 に、加熱後の表面損傷程度（各ケース 2 体）と供試体外観状況を示す。

全ての供試体において、一次加熱後、表面に網目状の微細なひび割れが発生して灰白色に変色し、二次加熱後には、表面ひび割れが進展し黄褐色に変色した。表面変状の主な原因は、使用材料やコンクリート中での水蒸気圧の増加、熱膨張力、受熱温度などの影響と推定される。

繊維無混入および PPA のみを混入した供試体では、繊維混入率に係わらず、表面に軽微な爆裂による損傷を生じた。しかし、PPA0.05 vol.% に PPB を 0.10 vol.% 以上混合した場合、二次加熱後でも爆裂は発生せず、爆裂防止効果の高い PPB を 0.20 vol.% 混入した供試体と見掛け上、同等であった。また、加熱前後での圧縮強度の残存率、重量減少率および中性化抵抗性も同程度であった。

なお、本実験で使用した石灰石骨材の主成分は CaCO<sub>3</sub> であり、約 700℃ 以上の高温に曝されると脱炭酸分解 (CaCO<sub>3</sub> → CaO + CO<sub>2</sub>) で変質し、重量減少や白化を伴って脆化する。今回の実験では高温履歴に曝された供試体の表層付近でこの現象が顕著にみられた。

3. はく落抵抗性の評価実験

(1) 実験概要

はく落抵抗性の評価は、日本鉄道施設協会の土木工事標準仕様書に記載された打撃試験<sup>1)</sup> に準じて、短繊維を混入しないプレーンに対する打撃回数比により評価し、8 以上を性能基準とした。実験ケースは、爆裂抵抗性の評価試験と同様に全 9 水準である。

(2) 実験結果

打撃試験の結果、PPB のみを上限 0.20 vol.% 混入した供試体では、打撃回数比が 8 未満であった。これは、繊維長が短いために引抜き抵抗が小さく、繊維混入率も少ないことなどが原因と推定される。一方、PPA を単体もしくは混合で 0.05 vol.% 以上混入したものはすべて打撃回数比が 8 以上で、試験基準を満足するものであった。

4. まとめ

シムロック® SX を用いたコンクリートの爆裂およびはく落抵抗性に関して、本実験によって得られた知見を以下に示す。

- ・高強度相当のコンクリート（石灰石骨材を使用）にシムロック® SX を単体で上限 0.20 vol.% 混入した場合、繊維混入率に係わらず、コンクリートの爆裂を防ぐことはできなかった。
- ・シムロック® SX (0.05 vol.% 混入) に繊維径 0.048 mm × 長さ 10 mm のポリプロピレン短繊維を 0.10 vol.% 以上混合することで、爆裂抵抗性とはく落抵抗性の両性能を付与できることを確認した。



写真-2 炉内の供試体配置と加熱中の炉内状況

表-4 表面損傷程度

供試体名	繊維種類	表面損傷程度※			
		一次加熱後		二次加熱後	
		①	②	①	②
A00B00	無混入	▲	▲	▲	▲
A05B00	PPA のみ	▲	▲	▲	▲
A10B00		▲	▲	▲	▲
A20B00		○	▲	▲	▲
A00B10	PPB のみ	○	○	▲	○
A00B20		○	○	○	○
A05B05	混合	▲	○	▲	○
A05B10		○	○	○	○
A05B15		○	○	○	○

※ ○：ほぼ損傷なし、▲：表面の軽微な損傷、×：全面損傷

表-5 加熱後の供試体外観状況

	A00B00	A10B00	A00B20	A05B10
	無混入	PPA のみ	PPB のみ	混合
一次加熱後				
二次加熱後				



写真-3 打撃試験後のはく落状況

参考文献

- 1) (社)日本鉄道施設協会：土木工事標準仕様書（東日本旅客鉄道株式会社編）付属書 8-5「合成短繊維の添加による剥落防止効果（打撃試験）および分散性確認方法」, 2010. 11.