

形状の異なる集束アラミド繊維を使用した超高強度モルタルの耐衝撃性

長岡技術科学大学 学生会員 ○小川 晴希
 太平洋セメント（株） 正会員 黒野 承太郎 安田 瑛紀 河野 克哉

1. はじめに

近年、自然災害等の衝撃を受けてコンクリート構造物が損傷する事例は顕著になっている。そこで、鋼繊維（FM）を混入して、衝撃によるコンクリートの損傷を抑制できるりようになるものの、腐食による劣化が懸念される。本研究では、合成繊維の中でも鋼繊維と同等の引張強度を有する集束アラミド繊維（AR）に着目し、形状の異なる AR を超高強度モルタルに混入し、FM を混入した場合と比較する形で耐衝撃性を評価した。

2. 試験概要

2. 1 使用材料ならびに配合

結合材として最密粒度のプレミックス粉体²⁾を、細骨材として珪砂を、繊維として FM ならびに形状の異なる 3 種類の AR（計 4 種類）をそれぞれ用意した。配合の概要を表-1 に示す。水結合材比は 33%とし、細骨材の絶対容積は 355 L/m³とした。高性能減水剤を練混ぜ水に対して内割で使用し、フローが 210±20mm の範囲になるよう添加量を調整した。繊維混入量は 2Vol.%（外割）とした。

2. 2 練混ぜならびに養生方法

練混ぜは容量 30L のオムニミキサを用いて行った。打込み後 48 時間まで封緘養生（20℃）を行った後、蒸気養生（最高温度 90℃、昇降温速度 15℃/時間、最高温度保持時間 48 時間）を行った。

2. 3 検討項目ならびに試験方法

静的試験として圧縮強度、曲げ強度および破壊エネルギーを測定し、動的試験として重錘落下式衝撃試験により耐衝撃性を評価した。

圧縮強度の測定には寸法 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の供試体を、

表-1 配合ならびに混入繊維の概要

配合名	繊維種類	ϕ (μm)	L (mm)	f_t (N/mm^2)	E_t (kN/mm^2)
FM-200-15	鋼	200	15	2800	200
AR-210-15	集束 アラミド	210	15	2958	81
AR-340-15		340	15	2560	64
AR-340-20		340	20	2560	64

ϕ ：繊維径，L：繊維長， f_t ：引張強度， E_t ：引張弾性率

キーワード 衝撃，集束アラミド繊維，重錘落下衝撃試験，超高強度モルタル，繊維長，繊維径

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 コンクリート研究室 TEL 070-8486-1480

曲げ強度の測定には寸法 40×40×160mm の供試体をそれぞれ使用した。破壊エネルギーの測定は、JCI-S-001-2003 に準拠し、寸法 100×100×400mm の切欠きは供試体を用いた 3 点曲げ試験より得られた荷重-開口変位（CMOD）曲線から算出した。本試験では繊維により明確な破断挙動を示さないことから、CMOD が 10mm に達した時点で破断したものと仮定して破壊エネルギーを算出した。なお、破壊エネルギーの測定は繊維の種類による影響を確認するため、同程度の形状の繊維を混入した FM-200-15 ならびに AR-210-15 でのみ行った。

耐衝撃性は全長 550×幅 100×厚さ 50mm の供試体を用いた衝撃試験により評価した。試験では、重錘落下式小型衝撃試験装置（Instron 9450，Instron 社製）を使用し、供試体のスパン中央部に所定の落下高さ（h）から、重錘（質量 19.815kg，先端幅 100mm）を一回だけ落下させた際の載荷点変位を計測した。なお、衝撃試験装置には落下後の重錘の再接触を防止する機構が搭載されている。図-1 に衝撃供試体の概要を示す。供試体の両支点部は回転を許容し、浮上りを拘束するピン支持とし、支点間距離は 500mm とした。載荷点変位は、重錘が供試体の支点間中央付近に衝突する瞬間を高速度カメラ（撮影速度 5000 毎秒，レンズ焦点距離 105mm）により撮影し、汎用画像解析ソフトを用いて計測した。計測に際して、供試体表面にターゲットマーカを配置し、撮影開始時点を初期値とした支点間中央のターゲットマーカの垂直方向の移動量から載荷点変位を計測した。撮影時の解像度は 1024×1024pixel とし、供試体表面での 1 画素当たりの長さは 195 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ である。

3. 試験結果

3. 1 各種静的試験

静的試験の結果を表-2 に示す。圧縮強度は、FM-200-

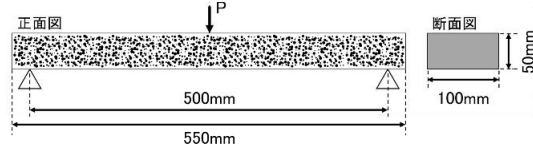


図-1 衝撃供試体の概要

表-2 各種強度試験結果

配合名	f'_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	G_f (N/mm)
FM-200-15	106	25.0	17.3
AR-210-15	91.6	24.8	15.2
AR-340-15	89.3	13.9	—
AR-340-20	93.9	24.5	—

f'_c : 圧縮強度, f_b : 曲げ強度, G_f : 破壊エネルギー

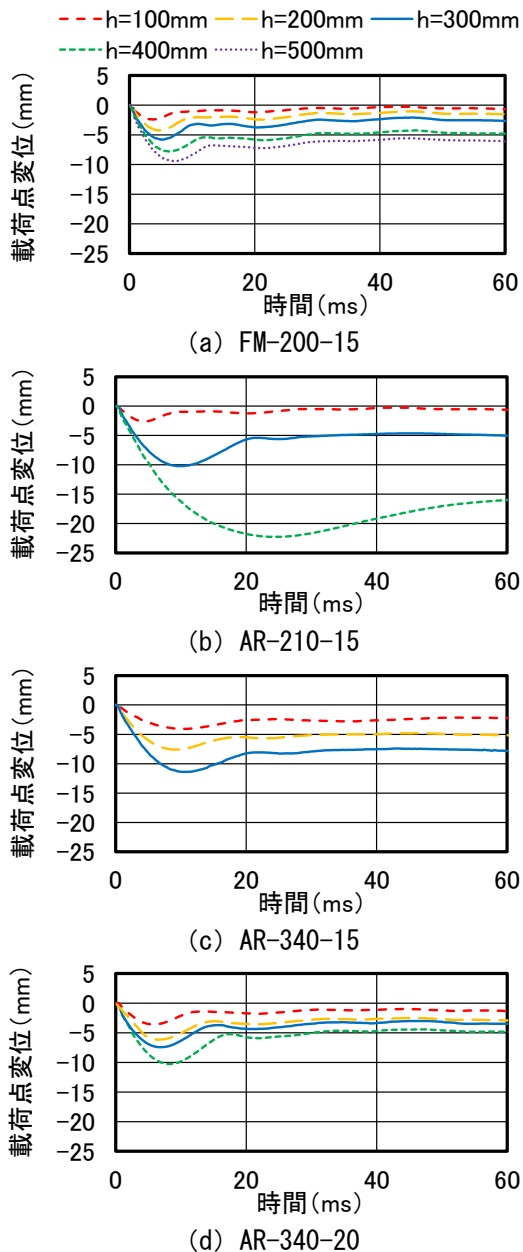


図-2 各配合の時間-載荷点変位関係

15 と比較して AR を混入した配合では 10%~15%低下した。曲げ強度は FM-200-15, AR-210-15 および AR-340-20 でいずれも同等となったが, AR-340-15 のみで他の水準と比較して 45%程度低下した。AR-210-15 の破壊エネルギーは, FM-200-15 と比較して 13%程度低下した。

3. 2 耐衝撃性

重錘落下時の時間-載荷点変位関係を図-2 に示す。落下高さを 300mm としたとき, 同じ長さの繊維を混入し

た FM-200-15 と AR-210-15 を比較すると, AR-210-15 の方が最大変位は 76%増加した。この一因としては FM と比較して引張弾性率の低い AR を混入したことでひび割れた後の供試体の変形が大きくなったことを撮影画像から確認している。落下高さを 400mm としたとき, 繊維の種類で比較すると, FM を混入した場合に最大変位が最も小さくなった。AR-340-20 については, FM-200-15 と比較して最大変位は 30%程度大きくなったものの, 残留変位は同程度となった。

続いて, 同じ種類の繊維 (AR) を混入した AR-210-15, AR-340-15 および AR-340-20 の衝撃試験の結果より, 繊維の形状による耐衝撃性の変化について述べる。落下高さを 300mm としたときの最大変位は AR-340-20 (繊維径 340 μ m, 繊維長 20mm) が最も小さく, 高い耐衝撃性を示した。AR-340-20 ならびに AR-340-15 は, 繊維径 210 μ m の AR-210-15 と比較して繊維径が太く, 繊維混入量を一定とした場合に所定の断面に存在する繊維本数は減少する。そのため, ひび割れを架橋する繊維の本数は少なくなると考えられる。しかしながら AR-340-20 は, 繊維長 15mm の AR-340-15 ならびに AR-210-15 と比較して繊維が長く繊維 1 本当たりの表面積が大きいため, ひび割れを架橋する繊維の引抜け抵抗性が高くなり, 耐衝撃性が向上したものとする。

4. まとめ

- 1) 繊維添加量を 2Vol.%とした超高強度モルタルにおいて, FM を混入した場合に比べて, AR を混入した場合には, 圧縮強度ならびに破壊エネルギーが 1 割程度低下するものの, 曲げ強度は同等となる。
- 2) 重錘落下式衝撃試験により耐衝撃性を比較すると, AR を混入することで衝撃時の最大変位は増加する。しかし, AR の繊維形状を変えることで衝撃後の残留変位は FM を混入した場合と同程度にできる。
- 3) 繊維径 340 μ m の AR は, 繊維長を 20mm とした場合に高い耐衝撃性を示したものの, 繊維長を 15mm にすると耐衝撃性は低下した。これは曲げ強度においても同様であり, 繊維の形状によって補強効果に違いを生じた。

【参考文献】

- 1) 栗橋祐介 ほか: 圧縮強度 400N/mm²を有する鋼繊維補強コンクリート梁の耐衝撃挙動, 土木学会構造工学論文集, Vol.63A, 2017.3
- 2) 河野克哉 ほか: 450N/mm²以上の圧縮強度を発現するセメント系材料の製造方法と硬化組織の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1443-1448, 2016.7