

超高強度を発現する最密コンクリートの耐衝撃性に及ぼす鋼繊維の補強効果

太平洋セメント(株) 正会員 ○曾根 涼太 河野 克哉 多田 克彦
室蘭工業大学 正会員 栗橋 祐介 小室 雅人

1. はじめに

最近, 400N/mm² 以上の世界最高水準の圧縮強度を発現する最密コンクリートが開発された¹⁾. 本研究では, 耐衝撃用途構造物への適用性を検討するため, 鋼繊維で補強した最密コンクリートの耐衝撃性能を重錘落下試験にて評価を行った.

2. 試験概要

2. 1 衝撃試験の概要

表-1 に本研究における試験体ならびに試験の因子と水準を示す. 試験体は鋼繊維混入率 1%および 2%(FM1, FM2) 使用し, 漸増繰返し載荷を実施した. なお, 衝撃試験に供したコンクリートの圧縮強度は鋼繊維を混入することで FM1 の場合 375 N/mm², FM2 の場合 374 N/mm² になった.

図-1 に試験体の寸法ならびに載荷方法を示す. 本試験では, 質量 20kg, 先端直径 200mm の鋼製重錘を W550×L100×H25mm の最密コンクリートはりスパン中央部に自由落下させ, 耐衝撃挙動の検討を行った.

2. 2 使用材料および配合

表-2 は最密コンクリートの配合を示したものである. 既往の研究¹⁾ にもとづいて, 低熱セメント, 石英微粉末およびシリカフュームを, 細骨材には高強度砂を, 混和剤には消泡剤ならびに高性能減水剤を用いた.

2. 3 練混ぜ, 吸水処理および養生方法

オムニミキサ(容量 30L)に B, 水, SP, S および DF を投入して 8 分間の練混ぜを行い, さらに F を投入して 2 分間の練混ぜを行った. その後, 所定の型枠に打ち込んで, 型枠内で封緘養生(20℃)を行い, 材齢 48h で脱型した.

脱型後, 試験体を密閉容器内に配置し, 真空ポンプを用いて減圧状態にしたところで水を投入し, 外表面から内部への水分供給を行った. なお, 脱気時間は水が試験体の上面に到着後 30 分間とした. 上述の吸水処理を行った試験体は, 蒸気養生(昇温速度 15℃/h, 最高温度 90℃, 最高温度保持時間 48h, 降温速度 15℃/h)の後, さらに加熱養生(昇温速度 60℃/h, 最高温度 180℃, 最高温度保持時間 48h, 降温速度 60℃/h, 1atm)を行った.

表-1 試験ケース

試験体名	載荷方法	落下高さ $H(m)$
FM1	漸増 繰返し載荷	0.1
		0.2
		0.3
FM2		0.1
		0.2
		0.3
		0.4
		0.5

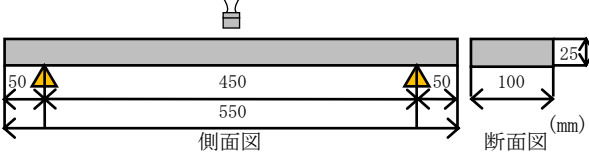


図-1 試験体寸法および載荷方法

表-2 使用材料および配合

種類	名称	略語	物性または成分
結合材 (B)	低熱セメント	LC	比表面積 3330cm ² /g, 密度 3.24g/cm ³
	石英微粉末	Q	密度 2.59g/cm ³
	シリカフューム	SF	比表面積 20m ² /g, 密度 2.29g/cm ³
細骨材	高強度砂	S	最大寸法 0.3mm, 密度 2.61g/cm ³
短繊維	鋼繊維	F	φ 0.2×15mm, 密度 7.85g/cm ³
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体

水結合材比 (%)	繊維混入率 (Vol, %)	単位量 (kg/m ³)							
		水	LC	Q	SF	S	SP	DF	F
15	1	199	876	347	102	927	33	B×0.002	79
	2								157

3. 試験結果

3. 1 各種応答波形

図-2 には, H=0.1m~0.5m 落下時における各試験体の重錘衝撃力, 支点反力, 載荷点変位の時刻歴応答波形を示している. また, 各波形ともに重錘衝突時の時刻を 0 として整理した.

図-2(a)には重錘衝撃力波形を示している. 両試験体とも重錘が落下した直後の第 1 波目は, 落下高さの増加とともに重錘衝撃力が大きくなるが, 第 2 波目以降からは, 落下高さの違いによる大きな差は認められなかった. また, 繊維混入率の減少とともに最大値が小さくなることが確認された.

キーワード 超高強度, 最密コンクリート, 鋼繊維, 重錘落下, 耐衝撃

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3893

図-2(b)に示した支点反力は、支点治具に内蔵されたロードセルの合計値で表している。支点反力波形は、落下高さの増加とともに振幅が大きくなることが確認された。同一落下高さにおける両試験体の支点反力波形を比較すると、最大支点反力は同程度であったが、主波動継続時間は FM2 が短い。これは、鋼繊維混入率の増加により曲げ剛性が増加したためと考えられる。

図-2(c)では、荷重点変位波形を示す。図より、両試験体ともに、正弦半波状の波形が励起した後、減衰自由振動を示していることが認められる。しかし、FM1 の $H=0.3\text{m}$ および FM2 の $H=0.4\sim 0.5\text{m}$ における減衰自由振動が確認されなかった。これは、鋼繊維の架橋効果が消失し、はりの復元力が低下したためと考えられる。また、同一落下高さにおける FM1 と FM2 を比較すると、FM2 の最大変位が FM1 より小さく、支点反力波形と同様に主波動継続時間が短いことが確認された。このことから鋼繊維混入率増加にともなう曲げ剛性の向上が認められる。

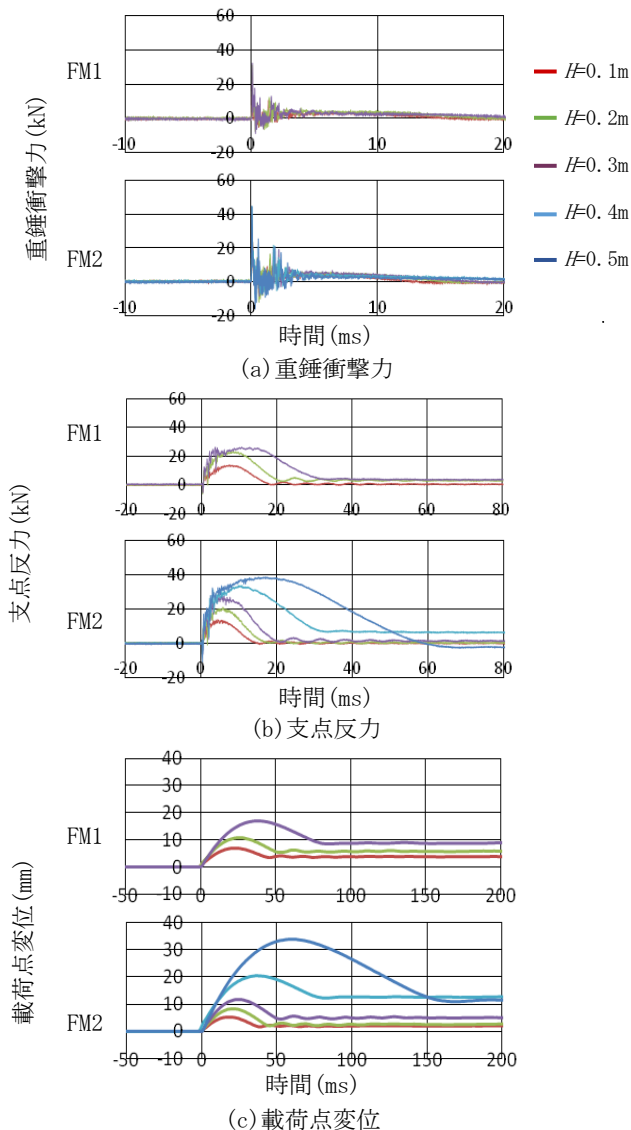
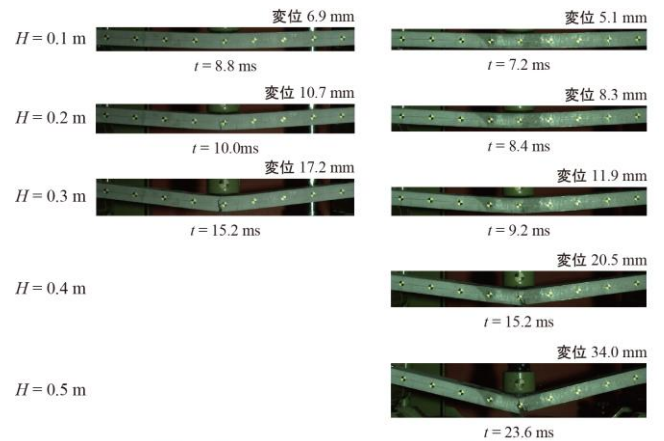


図2 各種応答波形

3. 2 最大変位性状

図-3 に漸増繰返し荷重試験時の試験体状況を鋼繊維混入率別に示したものである。t は所定の高さから重錘落下させ試験体に衝突した時間、変位は衝突時の最大変位を表している。図より、両試験体ともに重錘落下高さの増加にともなう変形量が大きくなり、荷重点位置からひび割れが発生し、破断していることが確認された。また、鋼繊維混入率別に比較すると、同一落下高さにおいて、FM2 のひび割れ幅が FM1 に比べ小さい。これは、鋼繊維による架橋効果が得られたためと考えられる。



(a) 鋼繊維混入率 1% (FM1) (b) 鋼繊維混入率 2% (FM2)

図-3 変位最大時の試験体状況

4. まとめ

本研究では、鋼繊維の混入量を変化させた最密コンクリートの耐衝撃性を検討するため、漸増繰返し荷重試験を実施した。その結果として得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 支点反力波形および荷重点変位波形の主波動継続時間が鋼繊維混入率の増加により短くなることから、鋼繊維の増加にともなう最密コンクリート曲げ剛性の向上が確認された。
- 2) 鋼繊維混入率に関わらず試験体の破断は、中央からの曲げ破壊となる。
- 3) 荷重点最大曲げ変位が鋼繊維混入率増加にともない増大することから、鋼繊維の架橋効果は最密コンクリートに混入する場合においても効率的に発揮する。

参考文献

- 1) 中山莉沙, 河野克哉, 多田克彦: 圧縮強度 460N/mm^2 を発現する超高強度セメント硬化体の開発, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部, pp. 605-606, 2015