

単位水量を大幅に低減可能な超低収縮高強度繊維補強コンクリート

三井住友建設(株) 正会員○佐々木 亘, 恩田 陽介, 松田 拓

1. はじめに

筆者らの一部は、フェロニッケルスラグ細骨材 (FNS) 等の収縮低減効果を有する細骨材と複数の産業副産物からなる混和材を組み合わせた結合材を用いることで、流動性は確保したまま単位水量を大きく低減することが可能で収縮が極めて小さい超高強度コンクリートが見出された¹⁾。一方、短繊維補強コンクリートは、短繊維をマトリクス中に分散させるために一定のペースト量を確保する必要があり、流動性と材料分離抵抗性の確保のためには通常のプレーンコンクリートと比べて単位水量が大きくなる傾向にある。ペースト量の増加は収縮をはじめとする体積変化が大きくなる可能性につながると考えられる。そこで本稿では、超高強度コンクリートの単位水量と収縮を低減できる条件を適用した高強度繊維補強コンクリートについて基礎的な検討を行なった。

2. 実験概要

使用材料を表-1に示す。結合材として中庸熟ポルトランドセメント (M)、フライアッシュ (JIS I種, 記号FA) およびシリカフェーム (SF) を使用した。FNS は吸水率が比較的大きいものであり、一般的な硬質砂岩砕砂 (CS) と比較を行なった。本実験では粗骨材を用いた配合を対象としているが、鋼繊維には超高強度繊維補強コンクリート (UFC) で主に用いられる細径の繊維を使用した。

コンクリートの配合を表-2に示す。一般的な超高強度コンクリートを想定した、細骨材CSおよびMとSFからなる結合材 (質量比9:1) を用いた配合 (記号:CS-MS), ならびに、細骨材FNSおよびM, FAとSFからなる結合材 (容積比55:30:15) を用いた配合 (記号:FNS-MFS) を基本とし、単位水量を175 kg/m³から20 kg/m³毎に減じてスランプフローおよび自己収縮ひずみへ与える影響を調べた。また、1水準のみであるが、細骨材CSおよびM, FAとSFからなる結合材を用いた配合 (記号:CS-MFS) でも確認を行なった。水粉体容積比, 空気量, 単位粗骨材絶対容積および短繊維混入率は全ての配合で一定とした。すなわち、本実験における単位水量の変化は、一定容積のモルタルにおけるモルタル細骨材容積比の変化を意味する。

コンクリートは公称容量60リットルの強制二軸ミキサを用いて、空練り→モルタル練り→コンクリート練り→FRCC練りの順となるよう材料を投入し練り混ぜた。練り上がり後直ちにスランプフローおよび空気量の測定を行ない、続いて自己収縮ひずみの測定を行なった。自己収縮ひずみは「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」²⁾を参考に、100×100×400 mm角柱供試体の中央に埋込み型ひずみ計を設置し、20℃封緘状態における打込み直後からの長さ変化を測定した。

表-1 使用材料

材料	物性など	記号	
水	上水道水 (千葉県流山市)	W	
粉体/結合材	セメント	中庸熟ポルトランドセメント, 比表面積 3,250 cm ² /g, 密度 3.21 g/cm ³	M
	フライアッシュ	JIS I種, SiO ₂ 68.9%, Ig.loss 2.0%, 比表面積 5,590 cm ² /g, 密度 2.39 g/cm ³	FA
	シリカフェーム	SiO ₂ 93.6%, BET比表面積 22.3 m ² /g, 密度 2.26 g/cm ³	SF
細骨材	フェロニッケルスラグ細骨材, 吸水率 4.14%, 表乾密度 2.90 g/cm ³	FNS	S
	鹿沼産硬質砂岩砕砂, 吸水率 1.45%, 表乾密度 2.62 g/cm ³	CS	
粗骨材	鹿沼産硬質砂岩砕石 1505, 表乾密度 2.63 g/cm ³	G	
短繊維	鋼繊維, φ0.2×15 mm, 密度 7.85 g/cm ³ 引張強度 2000 N/mm ² 以上,	Fb	
化学混和剤	高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物	SP
	消泡剤	ポリアルキレングリコール誘導体	DF

表-2 コンクリートの配合

記号	水粉体容積比 w/p [%]	水結合材比 W/B [%]	単位水量 W [kg/m ³]	細骨材モルタル容積比 s/mor [%]	単位粗骨材絶対容積 Vg [L/m ³]	短繊維混入率 Vf [%]	空気量 [%]	粉体の構成比率 (容積比)		
								M	FA	SF
CS-MS175	42.5	13.8	175	22.8	200	1.0	3.0	86	-	14
CS-MS155		13.8	155	31.6				86	-	14
CS-MFS155		15.0	155	31.6				55	30	15
FNS-MFS175		15.1	175	22.8				55	30	15
FNS-MFS155		15.0	155	31.6				55	30	15
FNS-MFS135		15.1	135	40.4				55	30	15

キーワード フェロニッケルスラグ細骨材, 短繊維, 高強度, 自己収縮, フライアッシュ

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 三井住友建設(株)技術研究所 TEL: 04-7140-5201

3. 実験結果および考察

表-3 に化学混和剤の使用量およびフレッシュ試験の結果、図-1 に単位水量とスランプフローの関係を示す。

一般的な超高強度コンクリートの材料・配合をマトリクスとした CS-MS シリーズでは、単位水量を 175 kg/m^3 とし、SP 量を比較的多い 3.0% とした条件でスランプフローは 570 mm であった。単位水量を 155 kg/m^3 に減じると、SP を 3.5% まで増加させてもスランプフローは大きく低下し、さらに単位水量を減じることが難しいと判断された。これに対して結合材にフライアッシュを用いた CS-MFS155 では SP 量を減じて流動性が大きく改善した。一方、FNS-MFS シリーズではさらに流動性が改善し、CS シリーズと比べて SP を大きく減じた条件であっても高い流動性が得られた。単位水量の低減に伴うスランプフロー低下の程度も小さく、単位水量を 135 kg/m^3 まで減じて CS-MS175 より高い流動性が得られた。以上の結果より、フライアッシュによるベアリング効果ならびにセメント量（粉体中の割合）の低減によってペーストの流動性が向上し、さらに FNS によってモルタルの流動性が向上したと考えられる。

図-2 に自己収縮ひずみの測定結果を示す。全般的な挙動としては、材齢 1 日以降の自己収縮ひずみに与える実験要因の影響は小さく、主たる差異は材齢 1 日程度で生じている。CS-MS シリーズでは、材齢 28 日で 800×10^{-6} 程度の自己収縮ひずみを生じており、単位水量の変化による自己収縮ひずみの変化は極めて小さい。結合材のみを変化させた CS-MFS155 では材齢 28 日の自己収縮ひずみが 600×10^{-6} 程度となり、FA の使用により一定の自己収縮抑制効果が確認できる。一方、FNS-MFS シリーズでは、材齢 28 日の自己収縮ひずみが単位水量 175 kg/m^3 で 400×10^{-6} と CS-MS シリーズの約 1/2 となり、さらに、単位水量 155 kg/m^3 で 300×10^{-6} 程度、単位水量 135 kg/m^3 では 200×10^{-6} 程度となり、FNS の使用により FA の効果を上回る収縮低減効果が得られている。CS では確認されなかった、単位水量の低減に伴う自己収縮ひずみの減少も生じている。これらのことから、FNS によって自己収縮が大きく抑制されていると推察され、短繊維を用いた配合であってもプレーンコンクリートと同様の効果が期待できることがわかった。

4. まとめ

超高強度コンクリートの単位水量と収縮を大きく低減できる材料の短繊維補強コンクリートへの適用性について確認を行なった結果、短繊維補強コンクリートであっても、一般的な材料を用いた場合と比べて流動性を確保または向上しながら、単位水量と自己収縮を著しく低減することが可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 松田拓, 蓮尾孝一, 野口貴文: 細骨材の違いが超高強度コンクリートの性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 1117-1122, 2015. 7
- 2) 日本コンクリート工学協会: 超流動コンクリート研究委員会報告書 (II), pp. 209-210, 1994. 5

表-3 フレッシュ試験結果

記号	化学混和剤の使用量		スランプフロー [mm]	500 mm フロー到達時間 [s]	空気量 [%]	コンクリート温度 [°C]
	SP [B×%]	DF [B×%]				
CS-MS175	3.0	0.03	570	69.5	3.3	26.4
CS-MS155	3.5		425	-	2.5	27.8
CS-MFS155	2.8		680	19.2	2.7	24.8
FNS-MFS175	2.5		820	5.5	4.8	24.2
FNS-MFS155			765	10.9	3.9	24.6
FNS-MFS135			680	23.7	4.5	25.1

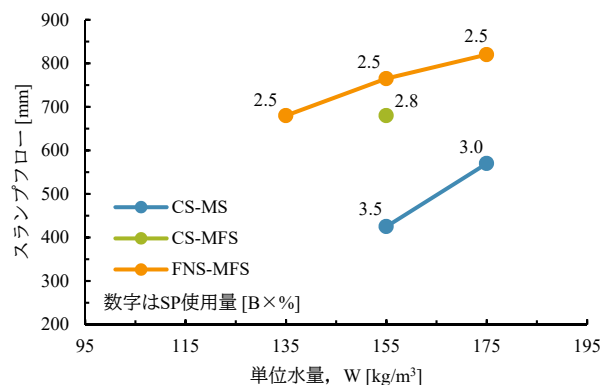


図-1 単位水量とスランプフローの関係

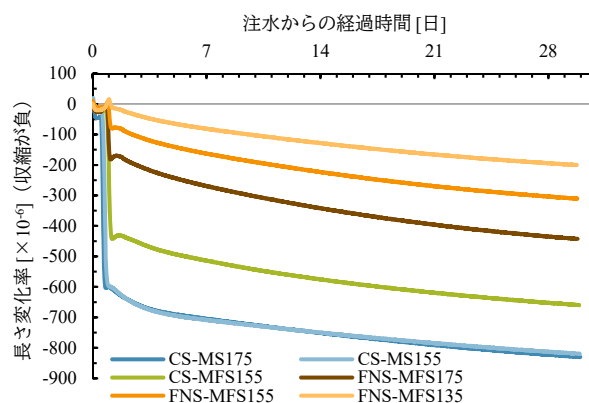


図-2 自己収縮ひずみの測定結果