

産業副産物を大量に使用した超低収縮高強度繊維補強コンクリートの開発

三井住友建設(株) 正会員○佐々木 亘, 松田 拓, 恩田 陽介, 非会員 峯 竜一郎

1. はじめに

近年、混和材の使用量を高めたコンクリートの検討が活発に行われ、土木学会より指針案¹⁾も発刊された。筆者らの一部は超高強度コンクリートの配合をベースとして粉体および細骨材に産業副産物を使用することで、単位水量を極めて低減することができ収縮量も非常に小さい高強度コンクリートの開発に成功した^{2), 3)}。本稿ではこのコンクリートをベースとした超低収縮高強度繊維補強コンクリートの開発について述べる。

2. ベースコンクリートの概要

表-1 にベースとなるコンクリートの配合、ならびにフレッシュ性状および圧縮強度の一例を示す。使用材料は表-2 に示す通りである。水結合材比が15.5%であり、単位水量は90 kg/m³という極めて小さい値であるが、高い流動性を確保できる。本配合では結合材中にポルトランドセメントを含まないが、70 N/mm²程度(20℃封緘養生、材齢28日)の比較的高い圧縮強度を発現する。さらに、図-1 に示すように、同程度の圧縮強度を有する通常のセメントコンクリートと比べて乾燥収縮および自己収縮が極めて小さい。

表-1 ベースコンクリートの配合および試験値の一例

配合指標							単位量 [kg/m³]								試験値の一例		
W/B [%]	s/a [%]	単位粗骨材 絶対容積 Vg [m³/m³]	空気量 [%]	結合材の質量割合			W	B				S	G	スランプ フロー [mm]	空気量 [%]	圧縮強度 (20℃封緘 材齢 28 日) [N/mm²]	
				BF	FA	SF		BF	FA	SF	EX						
15.5	55.4	0.292	3.5	55	30	15	90	581	309	168	84	20	1079	768	670	3.0	71.5

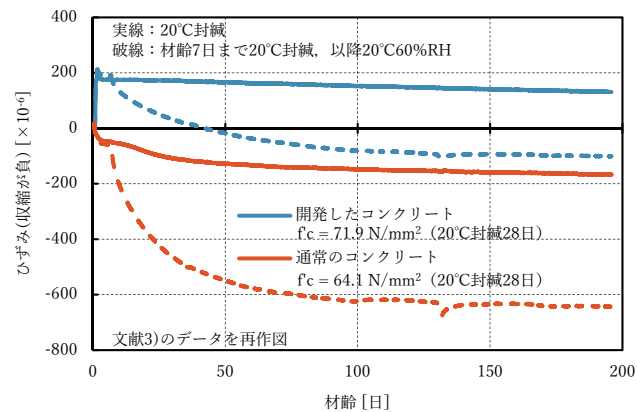


図-1 自己および乾燥収縮ひずみ

表-2 使用材料

材料	物性他	記号
結合材	高炉スラグ微粉末	BF
	フライアッシュ	FA
	シリカフェーム	SF
	膨張材	EX
細骨材	フェロニッケルスラグ	S
粗骨材	硬質砂岩	G
化学混和剤	高性能減水剤	SP
	消泡剤	DF
短繊維	鋼繊維	Fb15
		Fb22

※短繊維の実積率は文献4)による。

3. 実験概要

表-1 に示したコンクリートの配合を基準として、種々の配合要因がフレッシュ性状に与える影響について検討を行なった。実験要因は単位水量(W)、水結合材比(W/B)、単位粗骨材絶対容積(Vg)ならびに短繊維の種類および混入率(Vf)である。検討した短繊維は表-2 に示した通り、UFC 等で多用される細径の鋼繊維である。基準配合における空気量3.5%、EX = 20 kg/m³およびBF:FA:Sf = 55:30:15の条件は一定とした。コンクリートは公称容量55リットルの強制二軸ミキサで練混ぜ、練上り直後のスランプフロー、空気量およびコンクリート温度の測定を行った。また、良好なフレッシュ性状が得られた配合では、自己収縮、圧縮強度および荷重-CMOD関係(JCI-S-002)の測定を行った。

4. 実験結果および考察

表-3 に実験結果の一覧、図-2 に短繊維かさ容積⁴⁾とスランプフローの関係を示す。図-2 には既報⁴⁾で示しキーワード 混和材、フェロニッケルスラグ細骨材、短繊維、高強度、低収縮

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

た短繊維かさ容積とスランプフローの関係のうち、本実験の条件に比較的近い、 $W/B = 16\%$ 、 $V_g = 0.200 \text{ m}^3/\text{m}^3$ のデータをあわせて示した。この直線はマトリクスの流動性によって変化すると考えられるが、本稿では短繊維がスランプフローに与える影響を議論する目的で、この直線の傾きと本実験データについて比較を行なう。

実験の結果、 W が小さく V_g が大きい条件では短繊維かさ容積の増加に伴うスランプフローの低下が大きく材料分離抵抗性も低下すること、短繊維のかさ容積が $0.15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 程度までの範囲であれば、 V_g を既報⁴⁾と同様に $0.200 \text{ m}^3/\text{m}^3$ とし、 $W/B = 15\%$ では $W = 120 \text{ kg}/\text{m}^3$ 程度、 $W/B = 12\%$ では $W = 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ 程度とすることで、流動性と材料分離抵抗性を確保できることが分かった。これらの条件は同程度の単位ペースト量(容積、記号 V_p)となっており、流動性と材料分離抵抗性の確保には一定のペースト量を確保する必要があることがわかる。しかし、このペースト量は既報⁴⁾と比べるとはるかに小さい値であり、短繊維補強コンクリートとしても、単位水量を極めて低減できるという特徴は保持されていることがわかった。図-3~5 に自己収縮ひずみ、圧縮強度、荷重-CMOD 曲線の測定結果の一例を示す。これらの図より、短繊維補強コンクリートとするために W の増加や W/B の低減、短繊維の混入を行っても収縮特性や圧縮強度への影響は小さいこと、短繊維による補強効果は同程度の圧縮強度を有するセメントコンクリートと同様であることがわかった。

5. まとめ

開発した超低収縮高強度コンクリート³⁾をベースとした短繊維補強コンクリートが実現可能であることを見出した。

参考文献

- 1) 土木学会: 混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針 (案), 2018.9
- 2) 松田拓ほか: ポルトランドセメントを使用しない超低収縮・高強度コンクリート, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.369-370, 2017.8
- 3) Matsuda, T. et al.: Ultralow shrinkage and high strength concrete without portland cement, Proceedings of the *fib* congress 2018
- 4) 佐々木亘ほか: 短繊維のかさ容積による高強度繊維補強コンクリートの流動性の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.307-312, 2015.7
- 5) 佐々木亘: 種々の短繊維を用いた高強度繊維補強コンクリートの材料特性と配合設計に関する研究, 京都大学学位論文, 2014.

表-2 配合およびフレッシュ試験結果

W/B [%]	W [kg/m ³]	V _p [m ³ /m ³]	V _g [m ³ /m ³]	s/a [%]	短繊維の種類	V _f [vol.%]	短繊維かさ容積 [m ³ /m ³]	SP [B × %]	Slump [cm]	Slump flow [mm]	500 mm slump flow time [s]	Air [%]	CT [°C]
15.5	90	0.311	0.292	55.4	-	0.00	0.000	1.7	-	670	21.5	3.0	21.2
15.5	90	0.311	0.287	55.8	Fb15	0.50	0.059	1.9	-	550	80.7	2.5	21.8
15.5	100	0.346	0.276	55.4	Fb22	0.50	0.088	1.9	-	590	32.2	2.3	23.3
15.5	120	0.415	0.200	63.1	Fb15	0.75	0.089	1.9	-	763	7.2	3.0	21.1
15.5	100	0.346	0.325	46.9	Fb15	0.75	0.089	1.9	-	530	49.1	1.5	23.2
15.5	120	0.415	0.200	63.0	Fb15	1.00	0.119	1.9	25.5	695	14.8	2.3	19.6
15.5	120	0.415	0.200	63.0	Fb15	1.00	0.119	1.9	25.5	715	8.9	2.3	19.0
15.5	120	0.415	0.200	62.8	Fb15	1.25	0.148	1.9	-	640	22.4	2.5	24.0
12.0	100	0.418	0.200	62.9	Fb15	0.75	0.089	2.2	-	655	23	3.1	24.0
12.0	100	0.418	0.200	62.9	Fb15	0.75	0.089	2.4	-	570	30.3	2.8	22.4
12.0	130	0.543	0.200	51.5	Fb15	1.00	0.119	1.9	-	540	11.1	3.4	23.7
12.0	100	0.418	0.200	62.8	Fb15	1.00	0.119	2.4	-	595	30.9	3.1	23.9
12.0	100	0.418	0.200	62.8	Fb15	1.00	0.119	2.4	24.5	580	28.4	2.5	21.9
12.0	100	0.418	0.200	62.6	Fb15	1.25	0.148	2.4	22.5	500	-	2.5	22.2
12.0	100	0.418	0.200	62.4	Fb15	1.50	0.178	2.4	19.0	390	-	2.8	22.5
12.0	100	0.418	0.200	62.2	Fb15	1.75	0.208	2.4	15.5	365	-	2.2	22.8

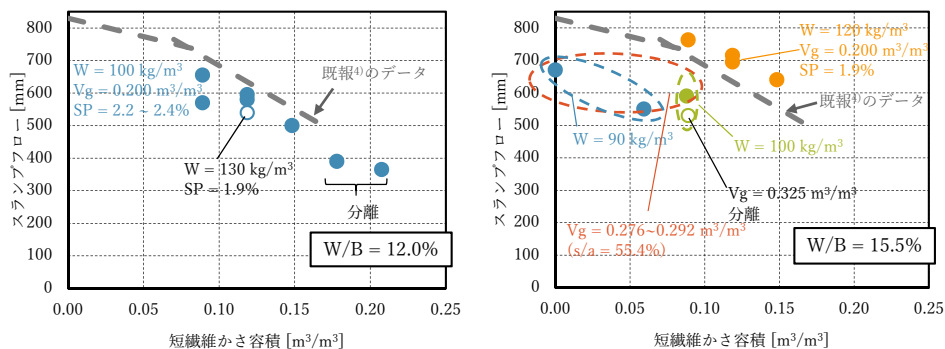


図-2 短繊維のかさ容積とスランプフローの関係

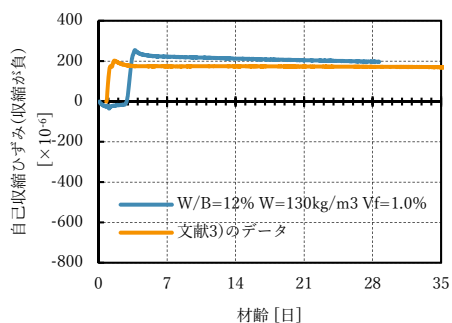


図-3 自己収縮ひずみ

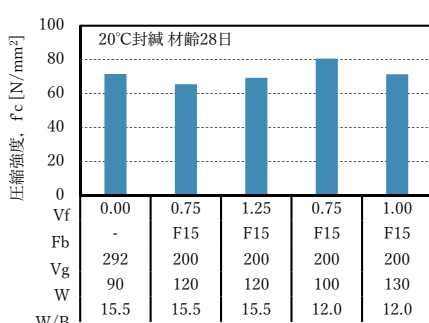


図-4 圧縮強度

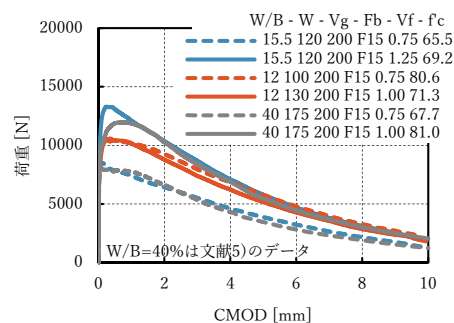


図-5 荷重-CMOD 関係