

超高強度繊維補強コンクリートの流動性及び強度に及ぼすセメントの鉱物組成の影響

宇部興産（株） 正会員 ○丸屋 英二
 歳谷 一雄
 高橋 俊之
 （株）大林組 正会員 平田 隆祥

1. まえがき

近年、優れた強度発現性とじん性を有し、高耐久性を併せ持つ超高強度繊維補強コンクリート（Ultra high strength Fiber reinforced Concrete: 以下 UFC と称す）が開発され、実構造物への適用が増えつつある¹⁾。これらの多くはプレキャスト製品として使用されているが、建設現場での打込みが可能で、かつ常温環境で所要の性能が得られれば、熱養生および製品の運搬が不要になり、さらに設計の自由度が向上することが期待される。そこで本研究では、現場打込み可能な流動性を有し、常温環境で 180N/mm² 以上の圧縮強度を発現する UFC に適するセメントの鉱物組成を調査した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本実験では、表-1 に示すブレン比表面積が 3320 から 3640cm²/g の範囲にある鉱物組成の異なるセメントを使用した。これらにポゾラン質微粉末をセメントに対して一定量混和して結合材とした。骨材には高強度材料に適した粒径 5mm 以下の細骨材を、減水剤にはポリカルボン酸系高性能減水剤を、繊維には直径 0.16mm、長さ 13mm の鋼繊維をそれぞれ使用した。

2.2 モルタルの物性評価

上記の材料を表-2 に示す配合でホバートミキサを用いて練り混ぜてモルタルを調製した。モルタルフローによりフレッシュモルタルの流動性を評価した。また、標準養生を行った供試体（φ5×10cm）を用いて圧縮強度を測定した。

2.3 水和解析

水和解析には表-1 に示した一部のセメントを用い、ポゾラン質微粉末の種類および配合量を変化させた結合材を使用した。W/B が 16% で鋼繊維無添加のモルタルを別途調製し、強度試験ならびに水和解析を行った。強度試験後のモルタル硬化体を用いて、1000℃の強熱減量から結合水量を求めた。また、2 mol/L の塩酸や 5% の炭酸ナトリウム水溶液を加えて加熱処理した不溶残分量からポゾラン質微粉末の反応量を求めた。これらは、硬化体固形分当りの結合水量、反応量として算出した。

3. 結果と考察

3.1 モルタルの物性

W/B を 14% とした配合について、セメントの C₃A 量とモルタルフローとの関係を図-1 に示す。

表-1 セメントの鉱物組成および粉末度

No.	鉱物組成(%)				ブレン比表面積 (cm ² /g)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
1	63.5	15.5	1.6	13.3	3320
2	62.4	15.4	3.0	12.6	3320
3	62.2	16.8	0.7	14.0	3410
4	57.3	15.1	9.7	9.5	3330
5	55.0	23.6	2.9	12.0	3450
6	50.0	29.3	2.2	12.1	3430
7	23.7	56.1	3.3	9.9	3640

表-2 モルタルの配合

W/B (%)	単位量(kg/m ³)			高性能減水剤 (B×%)	鋼繊維 (vol%)
	水	結合材	細骨材		
14	220※1	1572	586	3.0※2	2.0
16	230※1	1438	739	2.5	2.0

※1 高性能減水剤の水分も含む

※2 No.4 のセメント試料では 4.0%

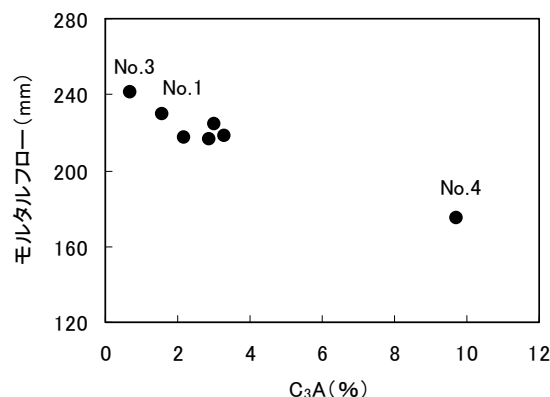


図-1 C₃A 量とモルタルフローとの関係

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート、常温環境、モルタルフロー、圧縮強度、鉱物組成

連絡先 〒755-8633 山口県宇部市大字小串字沖の山 1-6 宇部興産(株) 技術開発研究所 TEL 0836-22-6186

図-1 より、モルタルの流動性はセメントの C_3A 量の増加に伴い低下した。なお、No.4 の高性能減水剤添加率は 4% と他のセメントよりも多いにもかかわらずモルタルフローは小さい。すなわち、極めて低い水結合材比の条件下で良好な流動性を得るには、 C_3A 量を少なくすることが望ましく、これは従来の知見²⁾と符号している。

次に、 C_3A 量の少ない No.1, 3 および 7 のセメントを使用したモルタルの圧縮強度試験結果を表-3 に示す。なお、No.1 および No.7 の試料については、水結合材比を 16% とした場合の試験結果も併記した。いずれの水結合材比においても、 C_3S 量の多い No.1 (および No.3) のセメントの圧縮強度が高く、材齢 28 日で 180N/mm^2 以上の圧縮強度を得ることを確認できた。

3.2 結合材の水和と圧縮強度の関係

解析用に別途調製したモルタルを対象に、結合水量およびポゾラン質微粉末の反応量を説明変数とし、圧縮強度を従属変数として重回帰分析を行った。なお、結合水量にはポゾラン質微粉末の反応も含まれることが考えられるが、この解析範囲では両者に相関がみられず、説明変数が独立していると見なせることを確認している。予測値と実測値との関係を回帰式とともに図-2 に示す。これより、圧縮強度は結合水量とポゾラン質微粉末の反応量で概ね説明できることがわかった。これは、加熱養生時の強度発現性を評価した既往の報告³⁾と同様であった。

ポゾラン質微粉末の添加率が同じ結合材を用いた解析用モルタルについて、材齢 28 日および 56 日の結合水量およびポゾラン反応量の平均値、およびそれらの値に回帰係数を乗じて求めた圧縮強度への寄与を表-4 に示す。材齢 28 日ではポゾラン質微粉末の反応量は僅かであり、強度発現には結合水量の寄与が大きいことがわかる。材齢 56 日になると、強度への寄与は結合水量よりも小さいものの、ポゾラン質微粉末の反応量が増して強度への寄与が増大していることが確認できる。これより、常温環境において材齢 28 日で 180N/mm^2 以上の圧縮強度を得るには、反応速度の速い C_3S 量の多いセメントが有効であるといえる。

4. まとめ

現場打込み可能な流動性を有し、常温環境で 180N/mm^2 以上の圧縮強度を発現するためには、 C_3A 量が少なく、かつ、 C_3S 量が多いセメントが適していることが分かった。なお、結合材の反応は環境温度の影響を受け、これに伴い強度発現性も変化することから、温度依存性の検討は今後の課題である。

参考文献

- 1) 野口孝俊, 加藤浩司: 羽田空港再拡張事業における超高強度繊維補強コンクリートの活用, セメント・コンクリート, No.741, pp.34-38, 2008.
- 2) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), p.55, 2004.
- 3) 石中正人, 中山英明, 鳴瀬浩康: シリカフェーム混合セメントにおける加熱養生時の強度発現性に及ぼす最高温度の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.91-96, 2008.

表-3 圧縮強度試験結果

W/B	セメント No.	圧縮強度(N/mm^2)	
		材齢 7 日	材齢 28 日
14	1	159	193
	3	168	201
	7	114	172
16	1	143	182
	7	86	159

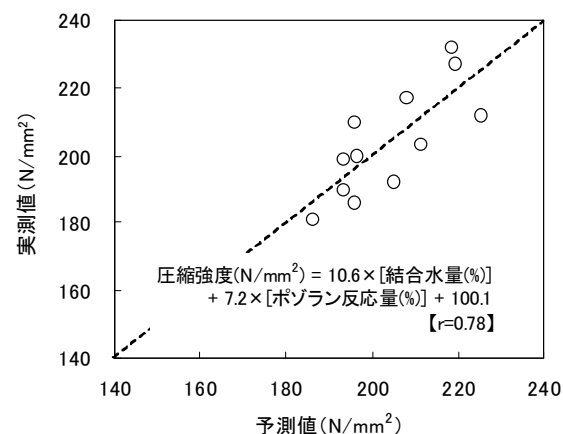


図-2 予測値と実測値との関係

表-4 結合水量及びポゾラン反応量の平均値と圧縮強度への寄与 (一例)

	材齢 28 日		材齢 56 日	
	結合 水量	ポゾラン 質微粉末 の反応量	結合 水量	ポゾラン 質微粉末 の反応量
平均値 (%)	8.0	1.7	8.6	2.9
圧縮強度 への寄与 (N/mm^2)	84	12	91	21