

低セメント型超高強度コンクリートの研究

宇都宮大学大学院 ○ 学生会員 山梨 泰斗
 宇都宮大学工学部 正会員 藤原 浩巳
 宇都宮大学工学部 正会員 丸岡 正知
 株式会社デイ・シイ 鯉渕 清

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の高層化・高耐久化が進んでおり、高強度コンクリートの需要は今後一層高まることが予想される。一般にコンクリートに高い強度発現性を付与させるためには、大量のセメントが必要とされている。しかし、大量のセメントを使用した場合、発熱による高い温度上昇が起こり、それに伴う温度ひび割れがコンクリート構造物を劣化させることが懸念されている。また、セメント量の増加に伴い、顕著になる自己収縮によるコンクリート構造物の変形もひび割れや劣化の原因となってしまう。そこで本研究では、セメントの混和量を20%以下に低減し、微粉ボゾラン物質及び高炉スラグ微粉末を主材料とした超高強度コンクリートを開発することを目的とし、各種フレッシュ性状試験及び圧縮強度試験を行い、得られた結果を用い比較、検討を行った。なお、ここではモルタルレベルでの検討結果について報告する。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

使用材料を表1に示す。また、結合材はPと表記する。主材料にはボゾラン物質である、フライアッシュ微粉末及びメタカオリンを用いた。さらに、潜在水硬性を有する高炉スラグ微粉末及び少量の普通ポルトランドセメントを用いた。また、セメント硬化体の緻密化及びフレッシュ性状の向上のため少量のシリカヒュームを用いた。

さらに、セメントの混和量を低減した場合、水酸化カルシウムの生成量も減少してしまうため、ボゾラン反応が抑制されてしまう可能性がある。したがって、本研究では多孔性高比表面積消石灰を混和させボゾラン反応の促進を図った。

表1 使用材料

材料	記号	材料名	密度
結合材 P	NC	普通ポルトランドセメント	3.15
	SF	シリカヒューム	2.24
	FA	フライアッシュ	2.37
	K	メタカオリン	2.50
	BS	高炉スラグ微粉末(ブレン値8000cm ² /g)	2.90
	TK	多孔性高比表面積消石灰	2.40
	AG	無水セッコウ	2.90
水	W	上水道水	1.00
細骨材	S	大月市初狩町産砕砂	2.63
減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤	1.05
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体	1.00

表2 配合条件

スランプフロー値 (mm)	空気量 (%)	水粉体比 (%)	砂粉体比 (%)
250±20	2.0以下	20.0	32

2. 2 粉体構成及び配合条件

本研究の配合条件を表2に、粉体構成を表3に示す。配合条件は超高強度コンクリートの配合をもとに¹⁾、水粉体比を20%、砂粉体比を32%とした。また、高性能減水剤はモルタルフロー値250±20mm、消泡剤は空気量が2.0%以下になるように添加量を調整した。

粉体構成はNo.1を基本配合とし、No.2~No.3ではメタカオリンのみを、No.4~5ではシリカヒューム及びメタカオリンを、No.6~7ではシリカヒュームと高炉スラグ微粉末をフライアッシュに置換させた。また、No.8~9では多孔性高比表面積消石灰の割合を増加させ、No.10~11ではセメントの混和量をさらに減少させた。さらに、No.12~13ではセメントが無混和である配合にシリカヒュームを加え、その配合の多孔性高比表面積消石灰の割合を増やした。

また、配合No.1,10,11においてはコンクリートにおける各種試験も行った。その場合の粗骨材体積割合X_vを37.5%とし、スランプフロー目標値を600±50mmとした。

3. 試験項目

(1) 練り時間

粉体と細骨材を空練りし、水と減水剤を加えて練り混ぜてから、モルタルが形成されるまでの時間を測定し、練り時間とした。

(2) モルタルフロー試験

「JIS R 5201-1997 セメントの物理試験方法」に準拠した。

(3) 空気量試験

「JISA 1116-1998 フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法(質量法)」に準拠した。

(4) 圧縮強度試験

「JSCE-G 505-1999 円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠し、60℃温水養生材齢7日及び20℃水中養生材齢7日に測定した。

表3 粉体構成

配合 No.	W/P (%)	S/P (%)	重量比(%)							
			NC	BS	SF	FA	K	AG	TK	
1	20	32	20	21	0	40	0	9	10	
2			20	21	0	30	10	9	10	
3			20	21	0	20	20	9	10	
4			20	21	5	35	0	9	10	
5			20	21	5	25	10	9	10	
6			20	31	5	25	0	9	10	
7			20	41	5	15	0	9	10	
8			20	21	5	30	0	9	15	
9			20	21	5	25	0	9	20	
10			10	31	0	40	0	9	10	
11			0	41	0	40	0	9	10	
12			0	41	5	35	0	9	10	
13			0	41	5	30	0	9	15	

キーワード 超高強度コンクリート ボゾラン反応 フライアッシュ 高炉スラグ微粉末 水酸化カルシウム
 連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部 TEL 028-689-6211

4. 実験結果

4. 1 フレッシュ性状試験

フレッシュ性状試験におけるSPの添加率及び練り時間の比較を図1に示す。図1より、メタカオリンの添加率を変化させたNo.1～No.3を比較すると、添加率の増加とともにSP添加率及び練り時間が増加した。これは、ボールベアリング効果の得られるフライアッシュの混和率が減少した影響だと考えられる。また、No.1～5を比較すると、シリカヒュームを混和させることで、SP添加率及び練り時間が減少する傾向がみられた。さらに、No.4,6,7より、高炉スラグ微粉末の置換率を変化させてもSP添加率及び練り時間に変化はなかった。さらに、No.4,8,9より、消石灰の置換率を増加させるとSP添加率及び練り時間が増加する傾向がみられた。また、No.1,10,11より、セメント混和率を減少させるとSP添加率は若干減少し、練り時間は増加する傾向がみられた。

4. 2 圧縮強度試験

60℃温水及び20℃水中養生材齢7日での圧縮強度試験結果を図2～6に示す。また、図中に配合No.を表記した。

(1) 60℃温水養生

まず、図2よりメタカオリンの混和の有無による比較をすると、メタカオリンの添加率の増加とともに強度が減少する傾向がみられた。さらに、従来の知見通り、シリカヒュームを混和することで強度が増加した。また、図3より、高炉スラグ微粉末の置換率の増加とともに強度が低下する傾向があった。これは高炉スラグ微粉末の置換率を増加させることで、高い養生温度での強度増進が著しいとされている²⁾フライアッシュの混和率が減少したためだと考えられる。図4より、消石灰の置換率を増加させると強度は低下する傾向があった。図5より、セメント混和率の減少とともに強度は若干低下する傾向がみられた。

また、図7より、コンクリートの場合においても、モルタルの場合と同程度の圧縮強度を得ることができた。

(2) 20℃水中養生

水中養生では、図2よりメタカオリンの混和の有無を比較すると、メタカオリンの添加率の増加とともに強度が増

加する傾向がみられた。温水養生の場合と比較すると、メタカオリンは高い温度で養生すると反応が抑制される傾向があると推察される。また、従来の知見通り、シリカヒュームを混和することで強度が増加した。さらに、図3より、高炉スラグ微粉末の置換率の変化に対しての影響はなかった。また、図4より、消石灰の置換率を増加させても強度は変わらずもしくは若干低下する傾向があった。さらに、図5より、セメント混和量の減少による影響も小さいといえる。そして、セメント混和量が0の場合においても、シリカヒュームの混和によりセメント混和量20%の場合と同程度の強度が得られた。

5 まとめ

本研究の結果より、粉体中のセメント割合が20%においても60℃温水養生材齢7日で120N/mm²程度の強度を発現することが可能であるという知見が得られた。さらに、セメントが無混和の場合でも100N/mm²程度の強度を発現することが可能であるという知見が得られた。

【参考文献】

- 1) 藤村ゆい：各種混和材料が超高強度コンクリートの諸特性に及ぼす影響に関する研究、宇都宮大学大学院、2007
- 2) 國府勝郎：フライアッシュの強度発現に関する養生温度および材齢効果の定量的評価、コンクリート工学年次論文集、Vol22、No.2、2000

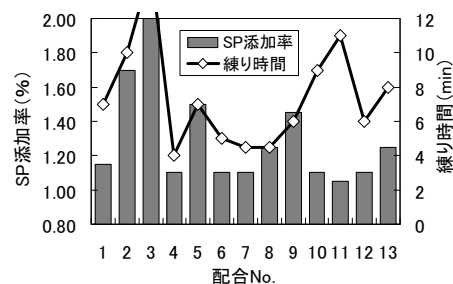


図1 SP添加率及び練り時間

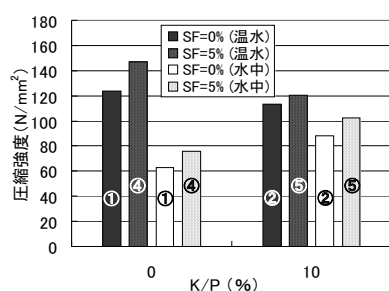


図2 K及びSFの混和による圧縮強度

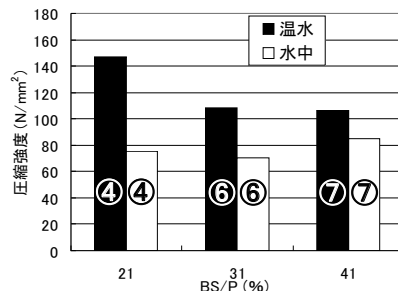


図3 BSの置換率

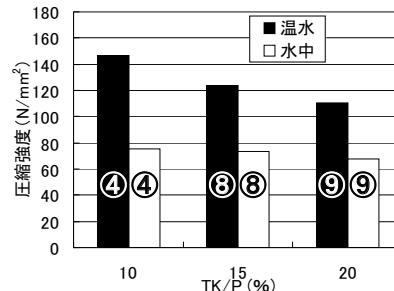


図4 TKの混和率

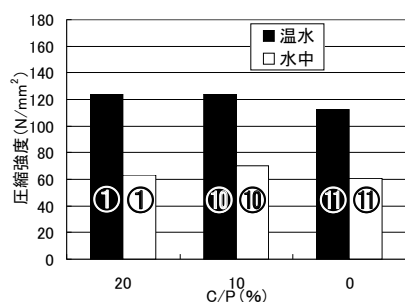


図5 セメントの混和率

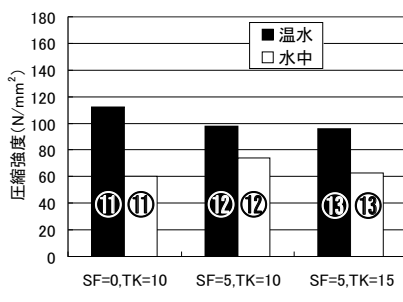


図6 NC=0%での圧縮強度

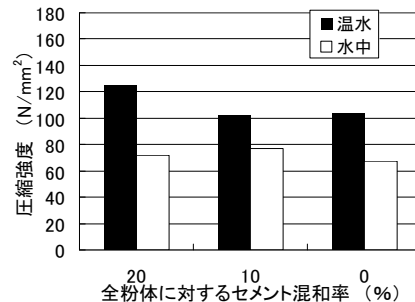


図7 コンクリートの圧縮強度