

## 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

宇都宮大学工学部 学生会員 藤村 ゆい  
 宇都宮大学工学部 正会員 藤原 浩己  
 宇都宮大学工学部 正会員 丸岡 正知  
 株式会社デイ・シイ 正会員 廣島 明男

### 1. はじめに

コンクリート構造物の高層化等の要求から、150N/mm<sup>2</sup>を超える超高強度コンクリートの需要は今後一層高まるものと予想される<sup>1)2)</sup>。しかし、このような超高強度コンクリートは高粉体量に起因する水和発熱により、高い温度上昇や大きな自己収縮が問題視されている。本研究では、超高強度コンクリートに用いる各種混和材の種類および組合せと、それらを用いて行ったコンクリート試験における強度発現性及び収縮特性の関係について実験計画法を用いて分析、検討を行った。

### 2. 実験概要

#### (1) 実験計画

これまでの研究の結果を基に実験計画を立てた<sup>3)</sup>。

超高強度コンクリートの特性に影響を及ぼすと考えられる配合要因として、膨張材の種類、高炉スラグ微粉末の種類、収縮低減剤の混和の有無の3項目を取上げ、その効果を実験計画法を用いて検討した。要因と水準を表1に示す。3つの主因子に対する交互作用として、A×Bについて検討を行った。

#### (2) 使用材料および要因の組合せ

表2に使用材料を示す。単位水量、単位粉体量および単位細骨材は表3に示す各因子の組合せによって定めた。膨張材はE-1と、超高強度コンクリート用に開発されたE-2の2種類を用いた。

表1 要因と水準

因子	要因	水準	
		1	2
A	膨張材の種類	E-1	E-2
B	収縮低減剤	有	無
C	高炉スラグ微粉末の種類	BS3000	BS8000

表2 使用材料

材料	記号	材料名	比重
結合材	MC	中庸熟ポルトランドセメント	3.16
	SF	シリカフェーム	2.24
	BS3000	高炉スラグ微粉末(ブレン値3000cm <sup>2</sup> /g)	2.90
	BS8000	高炉スラグ微粉末(ブレン値8000cm <sup>2</sup> /g)	2.90
	E-1	石灰系膨張材	3.15
	E-2	石灰系膨張材	3.15
水	AG	無水石膏	2.90
	W	上水道水	1.00
細骨材	S	大月市初狩町産砕砂	2.63
粗骨材	G	大月市初狩町産砕石	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
収縮低減剤	TG	テトラガード	1.02

細骨材には超高強度骨材である金剛砂を使用した。SPはスランプフロー値 600±50mm、DFは空気量が2.0±0.5%になるように添加量を調整した。TGは粉体に対して0.6%の割合で添加した。

### 3. 試験項目

#### (1) 圧縮強度試験

「JIS A 1108-1999 コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、材齢7日(60 温水養生)に測定した。60 温水養生は、コンクリートの水和反応を早め、コンクリートの持つポテンシャルを早期に引き出すために行ったものである。

#### (2) 自己収縮試験

JCI・自己収縮委員会「セメント・モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(案)」に準拠して試験を行った。

#### (3) 乾燥収縮試験

「JIS A 1129-1993 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠して行った。

### 4. 実験結果

60 温水養生材齢7日の圧縮強度、および測定開始後28日における自己収縮量と乾燥収縮量を表4に示す。

表3 因子の組み合わせと配合条件

配合No.	W/C (%)	S/C (%)	重量比(%)							TG
			MC	BS 3000	BS 8000	SF	N-EX	Y-EX	AG	
1	15	32	71	11	-	10	3	-	5	有
2			71	-	11	10	3	-	5	有
3			71	11	-	10	3	-	5	無
4			71	-	11	10	3	-	5	無
5			71	11	-	10	-	3	5	有
6			71	-	11	10	-	3	5	有
7			71	11	-	10	-	3	5	無
8			71	-	11	10	-	3	5	無
9			74	11	-	10	-	-	5	有
10			74	-	11	10	-	-	5	有

表4 硬化性状試験結果

No.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	自己収縮 (μ)	乾燥収縮 (μ)	No.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	自己収縮 (μ)	乾燥収縮 (μ)
1	167	-173	-220	6	179	-428	-115
2	163	-325	-150	7	177	-631	-189
3	171	-620	-249	8	173	-820	-165
4	178	-687	-194	9	188	-741	-145
5	172	-484	-136	10	171	-648	-132

キーワード 超高強度コンクリート 高炉スラグ微粉末 膨張材 シリカフェーム 自己収縮 乾燥収縮

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

5. 分散分析結果

分散分析において、F<sub>0</sub>値が1以下となるものは誤差としてプールした。また検定における\*は5%有意を示す。

(1) 圧縮強度

分散分析の結果を表5に示す。主要因の推定値および95%信頼区間を図1に示す。この結果、どの要因も有意とならなかったが、膨張材 E-2 を用い、TG は混和しない配合が高い圧縮強度が期待できることが認められた。

(2) 自己収縮量

分散分析の結果を表6に示す。有意となった主要因の推定値および95%信頼区間を図2に示す。図2より、TG を混和することで収縮が低減されることが認められた。

自己収縮は、表面張力の増大によって引き起こされる現象であるため、TG によって表面張力を低下させることで自己収縮を低減できると考えられ、本研究でもこの効果が確認できた。

(3) 乾燥収縮量

分散分析の結果を表7に示す。推定値および95%信頼区間を図3に示す。図3より、膨張材 E-2 を用い、TG を混和し、BS8000 を混和することで収縮が低減されることが認められた。

まず、膨張材については、E-2 の方が乾燥収縮ひずみの低減に効果があると考えられる。また、TGについては、従来の知見通り、TGによる乾燥収縮低減効果が確認できた。さらに、高炉スラグ微粉末は、粉末度の大きなBS8000を使用することで、組織が緻密化し、強度が増加するため変形が生じにくくなり、乾燥収縮が減少したと考えられる<sup>4)</sup>。

6. まとめ

今回の実験の範囲で最も高い圧縮強度、最も小さい自己収縮および乾燥収縮が期待される条件および95%信頼区間を表8に示す。

表8より60 温水7日強度では178 ± 7N/mm<sup>2</sup>程度の圧縮強度が期待できること、自己収縮では-205 ± 194 μ、乾燥収縮では-108 ± 31 μが期待できる値となった。

また、本研究で得られた結果を以下に示す。

- ・圧縮強度において、膨張材として E-2 を用い、TG を混和しない配合が高い圧縮強度が期待できることがわかった。

- ・自己収縮においては膨張材 E-2 を用い、TG を混和し、BS8000 を混和することで収縮が低減されることが認められた。

- ・乾燥収縮においては、E-2 を用い、TG を混和し、BS8000 を用いることで収縮が低減された。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書，p218，1996
- 2) 土木学会コンクリート委員会(クリープ・乾燥収縮小委員会)編：コンクリートのクリープおよび乾燥収縮，コンクリート技術シリーズNo.24，p130，1997
- 3) 藤村ゆい：超高強度コンクリートの諸特性に及ぼす各種粉体材料の影響に関する研究，宇都宮大学工学部建設学科建設工学コース材料研究室卒業論文，2005
- 4) 土木学会コンクリート委員会：高炉スラグを用いたコンクリートの施工指針，1996

表6 分散分析結果(自己収縮 28 日)

要因	平方和	自由度	分散	F0	検定	確率 p
A	38759.5	1	38759.5	6.6		0.083
B	227523.4	1	227523	38.4	**	0.008
C	15467.1	1	15467.1	2.6		0.204
AB	9193.1	1	9193.14	1.6		0.301
誤差	17757.6	3	5919.18			
計	308700.7	7				

表7 分散分析結果(乾燥収縮 28 日)

要因	平方和	自由度	分散	F0	検定	確率 P
A	5417.8	1	5417.8	21.6	**	0.010
B	3869.6	1	3869.6	15.4	*	0.017
C	3560.6	1	3560.6	14.2	*	0.020
誤差	1002.6	4	250.7			
計	13850.6	7				

表5 分散分析結果(温水7日強度)

要因	平方和	自由度	分散	F0	検定	確率 p
A	60.5	1	60.5	3.72		0.126
B	40.5	1	40.5	2.49		0.190
AB	50.0	1	50.0	3.08		0.154
誤差	65.0	4	16.25			
計	216	7				

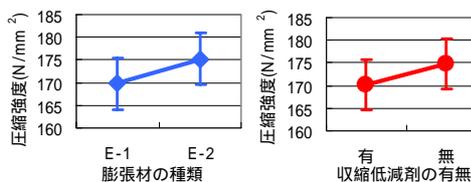


図1 圧縮強度推定値および95%信頼区間

表8 各最適配合条件および信頼区間

材齢	因子			推定値
	EX	TG	BS	
60 温水7日強度	E-2	無	起因しない	178 ± 7 (N/mm <sup>2</sup> )
自己収縮28日	E-1	有	BS3000	-205 ± 194 (μ)
乾燥収縮28日	E-2	有	BS8000	-108 ± 31 (μ)

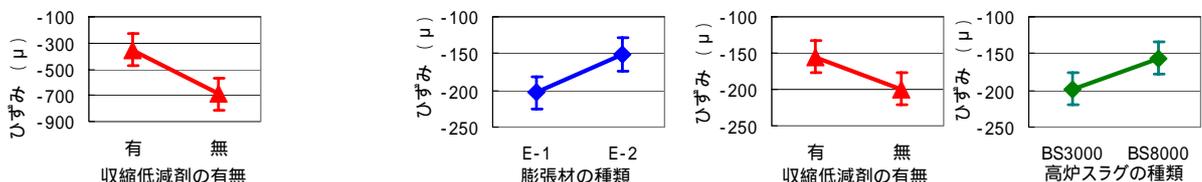


図2 自己収縮推定値および95%信頼区間

図3 乾燥収縮推定値および95%信頼区間