

超高強度コンクリートの諸特性と粉体構成の関係に関する
モルタルによる実験的研究

宇都宮大学 学生会員 ○渡邊 暢
 正会員 藤原 浩己
 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・高耐久化等により、 120N/mm^2 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^{1),2)}。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モルタル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³⁾。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、セメントの種類、高炉スラグ微粉末（ブレン比表面積 $12000\text{cm}^2/\text{g}$: BS12000）の混和の有無、収縮低減剤 TG の混和の有無、砂セメント比 S/C(%)の4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。4つの主因子に対する交互作用として、 $A \times B$ 、 $A \times C$ についても検討を行った。

表1 要因と水準

因子	要因	水準	
		①	②
A	セメント種類	普通ポルトランド	中庸熱
B	BS12000	有	無
C	収縮低減剤	有	無
D	砂セメント比	32%	27%

(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

表2 使用材料

材料	記号	材料名	密度
結合材	NC	普通ポルトランドセメント	3.16
	MC	中庸熱ポルトランドセメント	3.22
	SF	シリカフェウム	2.24
	BS3000	高炉スラグ微粉末(ブレン値 $3000\text{cm}^2/\text{g}$)	2.90
	BS12000	高炉スラグ微粉末(ブレン値 $12000\text{cm}^2/\text{g}$)	2.90
	N-EX	石灰系膨張材	3.15
	AG	無水セッコウ	2.90
水	W	上水道水	1.00
細骨材	SF	金剛砂	3.14
減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系高性能AE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	アルキレンオキシド系収縮低減剤	1.02

定められた。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 $250 \pm 20\text{mm}$ 、DFは空気量が $2.0 \pm 0.5\%$ になるように添加量を調整した。収縮低減剤は粉体に対して0.6%の割合で添加した。

表3 因子の組み合わせと配合条件

No	重量比 (%)							W/C(%)	S/C(%)	TG(%)
	NC	MC	BS3000	BS12000	SF	N-EX	AG			
1	61	-	11	10	10	3	5	15	32	0.6
2	61	-	11	10	10	3	5	15	27	0
3	71	-	11	-	10	3	5	15	27	0.6
4	71	-	11	-	10	3	5	15	32	0
5	-	61	11	10	10	3	5	15	27	0.6
6	-	61	11	10	10	3	5	15	32	0
7	-	71	11	-	10	3	5	15	32	0.6
8	-	71	11	-	10	3	5	15	27	0

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28日(20℃水中)に測定した。

(2) 自己収縮試験

「JCI-1996 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)」に準拠して測定した。

(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「ダイヤルゲージ方法」」に準拠して測定した。

4. 実験結果

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4 硬化性状試験結果

No.	圧縮強度 (N/mm^2)	自己収縮量 (μ)	乾燥収縮量 (μ)
1	168	469	211
2	155	1071	218
3	182	1116	338
4	176	1335	369
5	172	476	171
6	172	1139	273
7	183	512	236
8	171	940	294

5. 分散分析結果

分散分析において、確立p値が0.1以下となるようにp値が大きい因子および交互作用を誤差としてプー

ルして行った。P<0.1 は一般に傾向が見られる値であり⁴⁾、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。有意となった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、有意となった因子はBS12000の混和の有無、収縮低減剤の混和の有無であり、BS12000は無混和の方が、収縮低減剤は混和する方がより高い圧縮強度となることがわかった。BS12000はSFとセメントの中間的粒度を有する粉体を混和することによる粉体充填率の向上が期待されるが、本実験ではその効果は認められなかった。また、収縮低減剤の混和は粉体への水分の浸透性の向上をもたらすと考えられ、このことが強度の増大となったものと思われる。

表5 分散分析結果(水中28日)

要因	平方和	自由度	分散	F0	検定	確率P
A	36.125	1	36.125	7.811		0.108
B	253.125	1	253.125	54.73	*	0.018
C	120.125	1	120.125	25.973	*	0.036
D	45.125	1	45.125	9.757		0.089
AB	78.125	1	78.125	16.892		0.054
誤差	9.25	2	4.625			
計	541.875	7				

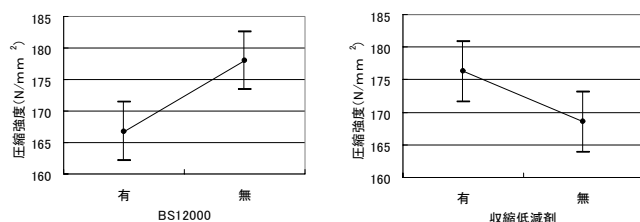


図1 配合要因と圧縮強度推定値の関係

(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。この結果、有意となった因子は収縮低減剤の混和の有無であり、収縮低減剤は混和する方が、収縮を抑えられることがわかった。これより、従来の知見通り、収縮低減剤における自己収縮低減効果を確認することができた。

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	106906.6	1	106906.6	5.396		0.103
B	69963.55	1	69963.55	3.532		0.157
C	457216.6	1	457216.6	23.079	*	0.017
AB	143690.5	1	143690.5	7.253		0.074
誤差	59432.66	3	19810.89			
計	837210	7				

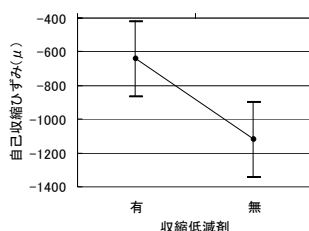


図2 配合要因と自己収縮量推定値の関係

(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。この結果、有意となった因子はBS12000の混和の有無であり、BS12000は混和する方が、乾燥収縮が小さくなる結果となった。しかし、その差は小さいものであり、この効果については今後さらに検討をする必要があると思われる。

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	3330.278	1	3330.278	4.076		0.137
B	16558.4	1	16558.4	20.264	*	0.020
C	4847.465	1	4847.465	5.932		0.093
AB	4592.682	1	4592.682	5.62		0.098
誤差	2451.419	3	817.14			
計	31780.25	7				

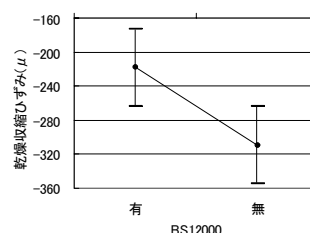


図3 配合要因と乾燥収縮量推定値の関係

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。

圧縮強度において、BS12000を混和せず、収縮低減剤を混和することにより圧縮強度が増大する結果となった。また、自己収縮においては収縮低減剤を混和することで収縮が低減され、乾燥収縮においてはBS12000を混和することで収縮が低減される結果となった。今後はコンクリートで検討を進めていく予定である。

表8 各最適配合条件および信頼区間

	因子				信頼区間
	C	BS12000	TG	S/C	
圧縮強度28日	NC	無	有	32%	186±21 (N/mm ²)
自己収縮28日	MC	無	有	32%	435±2594 (μ)
乾燥収縮28日	MC	有	有	27%	-174±86 (μ)

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, p 218,1996
- 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, p 130,1997
- 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卒業論文,2005
- 4) 統計学に関する話：栗谷論 1
<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/Hanasi/iron/kuritani1.html>