

高流動コンクリートに関する研究

久米 国幹・有馬 冬樹・川畑 忠行

(受理 平成 8 年 5 月 31 日)

A Study on High-Fluid Concrete

Kunimoto KUME, Fuyuki ARIMA and Tadayuki KAWABATA

A complex design, in which a curved surface is used, is recently beginning to be adopted in RC structures. Complicated procedures are required in the construction of such structures. In order to cope with the shortage of skilled laborers charged with the procedures at the construction field, a high-fluid concrete is demanded because of its high workability. This paper describes the properties of the high-fluid concrete using the fine and coarse aggregates produced in Kagoshima Prefecture.

The influence of the used material (cement, fine and coarse aggregates, and admixture material), mixture factors in the mix design, and the mechanical properties before and after hardening were investigated on the high-fluid concrete in the one component (cement only) and the two component (cement and carbonate calcium or blast furnace slag) systems.

Main conclusions are as follows:

- 1) Using a high-range AE water reducing agent, the high-fluid concrete, of which slump flow ranges within 60 ± 5 cm, can be producible under the following conditions at the mix design of concrete:
 - i) the water content per unit volume of concrete is not exceeding 185 kg/m^3
 - ii) the cement content per unit volume of concrete is not exceeding 475 kg/m^3
- 2) The difference in the characteristics of the coarse aggregates exerts significant influence upon the fluidity of the high-fluid concrete (the flow value, the velocity of spread of concrete in the flow test, and the degree of segregation) and the drying shrinkage.
- 3) The increase of compressive strength of the high-fluid concrete, which is made by hydration, is not derived from the mixing of the carbonate calcium crush but from that of impalpable blast furnace slag crush.

1. 序 文

近年、鉄筋コンクリート造の設計に曲面など複雑な形状や過密な配筋を施した構造物が多く見られるようになってきた。更に、施工現場では労務者不足が深刻な問題となっている。

これらの諸問題に対処するため通常のコンクリート

より流動性が高く、且つ充填性に優れた高流動コンクリートが用いられるようになった。

それに伴い、各研究機関で高流動コンクリートの研究が活発に行われ、数多くの研究報告がなされている。

最近、鹿児島県内の土木並びに建築工事に於いても、数例ではあるが鉄筋コンクリート造物の一部に高流動コンクリートを用いた施工が行われている。その中で

も、平成7年に竣工した本学稲盛会館の一部卵形ホール上半球に用いられた高流動コンクリート¹⁾は本格的な施工例である。

このように本県においても、今後高流動コンクリートの使用は益々増えるものと思われるため、主に県産骨材を用いた高流動コンクリートの研究の必要性を感じ、一成分系（粉体にセメントのみ使用）と、二成分系（粉体にセメントの他に混和材として炭酸カルシウム粉または高炉スラグ微粉を混用）の高流動コンクリートについて、セメント・混和材（粉体）及び細・粗骨材の種類がコンクリートの配合、フレッシュコンクリート及び硬化後コンクリートの諸物性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 使用材料とその性状

セメントは普通ポルトランド〔比重：3.15〕と高炉B種〔比重：3.05〕、混和材は炭酸カルシウム（以下、炭カル）〔比重：2.74 粉末度：3360 cm³/g〕と高炉スラグ微粉（以下、スラグ）〔比重：2.90 粉末度：6180 cm³/g〕、細骨材は海砂と砕砂を混合した砂（以下、砕砂混合砂）、粗骨材は砂岩碎石（2005）と石灰岩碎石（2005）、混和剤は高性能減水剤（チューボールHP-8）と空気量調整のため消泡剤を使用した。細・粗骨剤の性状を表・1に示す。

2.2 コンクリートの種類

コンクリートはセメント（普通ポルトランド・高炉B種）、細骨材（海砂・砕砂混合砂）と粗骨材（砂岩碎石と石灰岩碎石）の各2水準と、混和材（一成分系：セメントのみを使用した1水準、並びに二成分系：セメントに炭カルとスラグを併用し使用量各3水準）の7水準の組合せによる56種類とした。

配合の設計条件はスランプフロー 60±5 cm、空気量 2±1 %（凍結融解に対する耐久性は必要ないコンクリートを対象）とし、細骨材率、単位水量、単位セメント量及び混和材の使用量はセメント、細・粗骨材及び混和材の種類によって予め定めた。なお、単位水量は 185 kg/m³以下、単位セメント量は 475 kg/m³以下とした。（表・2 参照）

配合は所要のスランプフロー並びに空気量が得られるよう高性能 AE 減水剤の使用量（セメント重量比で 2.50 %以下）で調整し、試し練りによって定めた。

混練りは二軸強制ミキサー（容量 50 リットル）を用い、6分練りとした。

表・1 細・粗骨材の性状

骨材の種類	粗粒率	見掛け比重		吸水率 (%)	実積率 (%)
		絶乾	表乾		
細 海砂	2.36	2.45	2.52	3.04	—
海砂・砕砂混合	2.76	2.48	2.54	2.39	—
粗 砂 岩碎石	6.61	2.64	2.65	0.71	58.4
石灰岩碎石	6.72	2.69	2.70	0.25	61.8

2.3 測定項目

2.3.1 フレッシュコンクリート

① スランプフローとフロー速度

JIS A 1101 コンクリートのスランプ試験方法に準じてフロー値：Sf (cm)、並びにスランプコーン引き上げ直後からフロー停止までの時間：St (sec) を測定し、フロー速度：Sv=Sf/St (cm/sec) を求める。

ただし、Sf'=(Sf-20)/2

② コンクリートの分離度

スランプフロー試験前のコンクリートと、スランプフロー試験直後のフロー中央部と周辺部のコンクリートからそれぞれ 1 リットル採取（写真・1）、5 mm篩で水洗いして碎石（2005 mm）のみを取り出し、それを 2010 と 1005 の粒度に選別する。この 2005、2010、1005 の各粒度についてフロー中央部と周辺部におけるスランプフロー前の碎石量に対するスランプフロー後の碎石量（表乾重量）の比を求め、その値を以てコンクリートの分離度とした。

③ L型フロー

L型フロー試験器（写真・2）の鉛直枡（コンクリート容量：6.4 リットル）にコンクリートを充填し、仕切り板引き抜き後のフローが 50 cm に達する時間：Lt50 (sec) 及び最終フロー値：Lfe (cm) とフロー停止時間：Lte (sec) を測定し、フロー速度：Lv50 と Lvfe (cm/sec) を求める。

④ 単位容積量

JIS A 1116 まだ固まらないコンクリートの単位容積重量試験方法に準じる。

⑤ 空気量

JIS A 1128 まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法に準じる。

⑥ 気温と生コンクリート温度

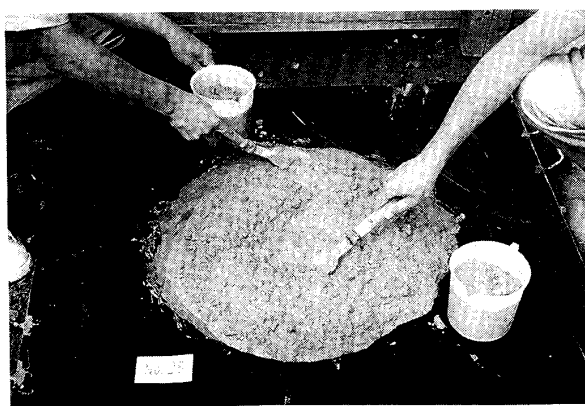
2.3.2 硬化後のコンクリート

① 圧縮強度

供試体は φ10×20 cm（キャップレス鋼製型枠）を用い、材齢 1 週、4 週及び 8 週用にそれぞれ 3 本ずつ採取した。

表・2 配合表

実験 番号	種 類				重 量 配 合 (kg/m ³)											
	砕 石 G	砂 S	セ メント C	混和 材 F	結 合 比		細 骨 材 率 (%)	空 気 量 (%)	単 位 水 量 W	セ メント C	混 和 材 F	砂 S	砕 石 G	高 性 能 減 水 剤 CA	生 コ 単 重 t/m ³	生 コ 温 度 ℃
					W/C (%)	W/C・F (%)										
1	石 灰 岩	海 砂	普 通	—	39.8	—	48.0	2.8	185	475	—	769	891	1.60	2.41	32.5
2				炭	46.4	38.9	48.0	3.0	185	400	75	767	888	1.80	2.38	31.0
3				カル	53.8	36.8	48.0	2.4	175	325	150	774	894	1.30	2.38	31.5
4				ス	68.0	35.8	48.0	3.5	170	250	225	777	896	1.30	2.37	32.0
5				ラ	43.8	36.8	48.0	2.7	175	400	75	779	902	1.50	2.32	32.0
6				グ	50.8	34.7	48.0	2.4	165	325	150	789	913	1.50	2.35	33.0
7				—	62.0	32.6	48.0	2.1	155	250	225	799	923	1.50	2.41	33.0
8			高 炉 ・ B 種	—	38.9	—	48.0	2.3	175	450	—	784	907	1.00	2.38	30.5
9				炭	46.1	38.9	48.0	2.7	175	380	70	782	905	1.00	2.36	31.5
10				カル	54.8	37.8	48.0	2.7	170	310	140	787	907	1.00	2.35	30.0
11				ス	68.8	36.7	48.0	2.1	165	240	210	789	910	1.00	2.38	30.0
12				ラ	43.4	36.7	48.0	2.5	165	380	70	797	921	1.00	2.38	30.0
13				グ	50.0	34.4	48.0	2.2	155	310	140	807	934	1.40	2.40	30.0
14				—	60.4	32.2	48.0	2.0	145	240	210	820	945	1.40	2.43	30.0
15		海 砂 ・ 砕 砂 混 合	普 通	—	38.9	—	50.0	2.1	185	475	—	818	856	1.80	2.41	31.5
16				炭	46.3	38.9	50.0	2.6	185	400	75	815	851	1.60	2.38	31.3
17				カル	53.8	36.8	50.0	2.6	175	325	150	823	859	1.45	2.39	31.0
18				ス	68.0	35.8	50.0	2.2	170	250	225	826	861	1.45	2.40	31.0
19				ラ	43.8	36.8	50.0	2.2	175	400	75	828	867	1.75	2.44	32.0
20				グ	50.8	34.7	50.0	2.5	165	325	150	839	878	1.75	2.41	31.0
21				—	62.0	32.6	50.0	2.1	155	250	225	849	888	1.75	2.43	31.5
22			高 炉 ・ B 種	—	38.9	—	50.0	3.1	175	450	—	833	872	1.00	2.36	31.5
23				炭	46.1	38.9	50.0	2.2	175	380	70	831	869	0.95	2.38	31.0
24				カル	54.8	37.8	50.0	3.8	170	310	140	836	872	0.95	2.35	30.5
25				ス	68.8	36.7	50.0	3.1	165	240	210	839	875	1.02	2.35	31.0
26				ラ	43.4	36.7	50.0	2.7	165	380	70	846	886	1.20	2.41	31.0
27				グ	50.0	34.4	50.0	2.1	155	310	140	859	896	1.30	2.45	30.5
28				—	60.4	32.2	50.0	2.7	145	240	210	869	910	1.40	2.43	30.5
29	砂 岩	海 砂	普 通	—	38.9	—	50.0	2.0	185	475	—	802	840	2.00	2.38	32.0
30				炭	46.3	38.9	50.0	2.8	185	400	75	799	819	1.80	2.34	30.0
31				カル	53.8	36.8	50.0	2.5	175	325	150	807	843	1.70	2.35	31.0
32				ス	68.0	35.8	50.0	3.8	170	250	225	810	845	1.70	2.33	30.0
33				ラ	45.0	37.9	50.0	2.8	180	400	75	807	843	1.80	2.35	30.5
34				グ	52.3	35.8	50.0	2.9	170	325	150	817	853	1.80	2.35	30.0
35				—	64.0	33.7	50.0	2.0	160	250	225	827	864	1.80	2.39	29.0
36			高 炉 ・ B 種	—	38.9	—	50.0	3.2	175	450	—	817	856	1.30	2.33	29.0
37				炭	46.1	38.9	50.0	2.4	175	380	70	815	853	1.30	2.35	28.5
38				カル	54.8	37.8	50.0	3.0	170	310	140	820	856	1.30	2.33	28.0
39				ス	68.8	36.7	50.0	2.4	165	240	210	822	859	1.30	2.35	29.0
40				ラ	43.6	36.7	50.0	2.4	165	380	70	830	869	1.45	2.36	29.0
41				グ	50.0	34.4	50.0	2.6	155	310	140	842	880	1.45	2.36	29.0
42				—	60.0	32.2	50.0	2.2	145	240	210	853	893	1.80	2.37	30.5
43		海 砂 ・ 砕 砂 混 合	普 通	—	38.9	—	52.0	2.9	185	475	—	851	806	2.50	2.36	31.0
44				炭	46.3	38.9	52.0	3.6	185	400	75	846	803	1.80	2.33	30.0
45				カル	53.8	36.8	52.0	2.1	175	325	150	854	811	1.80	2.38	31.5
46				ス	68.0	35.8	52.0	3.1	170	250	225	857	811	1.80	2.35	31.0
47				ラ	45.0	37.9	52.0	2.1	180	400	75	854	811	1.90	2.38	30.5
48				グ	52.3	35.8	52.0	2.0	170	325	150	864	822	1.90	2.40	31.0
49				—	64.0	34.0	52.0	2.1	160	250	225	877	829	1.90	2.41	31.0
50			高 炉 ・ B 種	—	39.0	—	52.0	2.6	175	450	—	867	822	1.35	2.40	30.5
51				炭	46.0	39.0	52.0	2.6	175	380	70	864	819	1.30	2.37	30.0
52				カル	54.8	37.8	52.0	2.2	170	310	140	867	824	1.30	2.36	30.0
53				ス	68.8	36.7	52.0	3.2	165	240	210	869	827	1.30	2.38	30.5
54				ラ	43.4	36.7	52.0	2.4	165	380	70	880	835	1.50	2.38	31.0
55				グ	50.0	34.4	52.0	2.4	155	310	140	893	845	1.75	2.39	31.5
56				—	62.5	33.3	52.0	2.6	150	240	210	899	851	2.00	2.40	31.5



写真・1 コンクリート分離度の試料採取法



写真・2 L型フロー試験器

供試体の養生は材齢4週まで水中養生 ($20 \pm 1^\circ\text{C}$), 8週供試体は4週後気中養生 ($20 \pm 1^\circ\text{C} \cdot \text{RH}70 \pm 10\%$) とした。

② 乾燥収縮ひずみの測定

供試体は $8 \times 8 \times 30$ cm (鋼製型枠) を用い、側長 30 cm の乾燥収縮量をダイヤルゲージ (精度: $1/100$ mm) で4カ月間測定した。なお、測定期間中の温度並びに湿度は $20 \pm 1^\circ\text{C}$, $\text{RH}60 \sim 70\%$ である。

3. 実験結果と考察

3.1 配合

配合表を表・2に示す。

配合設計に関しては、単位水量、単位セメント量及び細骨材率は使用材料の組み合わせによって上限値並びに使用量を予め定めたため、高性能減水剤 (以下、減水剤) の使用量 (セメント重量比) を特性値として

表・3 混和剤使用量の要因別水準平均値

要因・水準	砕石	石灰岩	砂岩	砂岩/石灰
砕石		1.37	1.66	1.21
砂	海砂	1.36	1.61	1.18
	砕砂混合	1.38	1.72	1.25
セメント	普通	1.60	1.87	1.17
	高炉B種	1.15	1.46	1.27
	無混入	1.48	1.79	1.21
混和材	炭カル	70(75)	1.34	1.55
		140(150)	1.30	1.53
		210(225)	1.19	1.53
	スラグ	70(75)	1.31	1.66
		140(150)	1.49	1.73
		210(225)	1.51	1.88

(セメント重量比: %)

砕石、砂、セメント並びに混和材要因の関係を分散分析法を用いて検討する。

解析 (F検定) の結果、砂と混和材要因以外の砕石とセメント要因が共に高度な有意性を示す。

即ち、所定のフローを得るための減水剤の使用量は、砕石とセメントの種類によって異なり、砕石の種類は砂岩が石灰岩より 20 % 多くなる。また、セメントは普通が高炉B種より 45~41 % 多い。従って石灰岩砕石と高炉B種の組み合わせは減水剤の使用量が最も少なくてよい。

減水剤使用量の要因別水準平均値を表・3に示す。

3.2 フロー及びフロー速度

スランプ試験とL型フロー試験によるフロー並びにフロー速度の要因別水準平均値を表・4に示す。

両試験法によるフローの平均値は、スランプ試験が 60.3 cm (Sf) に対しL型フロー試験は 67.0 cm (Lf) で、後者の方が約 10 % 大きい。

一方、フロー速度は試験法によって異なるが (Sv ; 0.33, Lv ; 0.78, $Lv50$; 3.14 cm/s) いずれの特性値を用いた要因解析でも砂要因以外は全て高度な有意性を示す。

しかし、フロー速度の最も速い $Lv50$ は諸因子の水準間の差も顕著に現れるため、以下、 $Lv50$ の測定値を用いて有意因子の解析を行い、その結果を下記に示す。

砕石要因は砂岩より石灰岩の方が 1.67 倍速い。その原因は石質 (粒形並びに表面状態) の差によるものと思われる。

セメント要因は高炉B種より普通が 1.22 倍速い。

混和材要因は粉体 (セメント・炭カル・スラグ) の使用量が一定にも拘わらず、一成分系 (セメントのみ) が二成分系 (セメントと炭カル、またはスラグ併用) より速い。二成分系は混和材の種類によっても異なり、

表・4 フロー値とフロー速度の要因別水準平均値

砕 石		石 灰 岩					砂 岩					
試 験 法		フ ロー		フ ロー 速 度 cm/s			フ ロー		フ ロー 速 度 cm/s			
要 因 ・ 水 準 \ 種 類		Sf	Lfe	Sv	Lvs	Lve	Sf	Lfe	Sv	Lvs	Lve	
砂	砕 石	60.8	67.3	0.39	3.18	0.94	59.8	66.3	0.29	1.88	0.60	
	海 砂	60.5	65.6	0.42	3.17	0.97	55.7	65.8	0.32	1.90	0.69	
	砕砂混合	61.0	69.0	0.36	3.20	0.92	63.9	66.7	0.24	1.86	0.51	
セ ン ト	普 通	61.1	66.9	0.43	3.48	1.02	60.8	67.8	0.31	2.07	0.66	
	高 炉 B 種	60.4	69.0	0.34	2.89	0.87	58.8	64.7	0.25	1.68	0.54	
	無 混 入	60.9	68.5	0.58	5.68	1.39	60.7	71.8	0.31	2.86	0.79	
混 和	炭 カ ル	70(75)	62.7	71.3	0.43	5.32	1.09	64.0	74.8	0.37	3.51	0.74
		140(150)	61.1	66.0	0.40	3.34	0.98	57.1	63.3	0.27	1.81	0.64
	210(225)	57.8	64.5	0.33	2.51	0.91	58.5	62.0	0.23	1.11	0.47	
材	ス ラ グ	70(75)	60.1	64.5	0.37	3.25	0.90	58.8	62.3	0.33	1.90	0.70
		140(150)	61.3	66.8	0.37	2.08	0.76	60.1	67.3	0.24	1.54	0.66
		210(225)	60.8	67.8	0.24	1.48	0.50	59.4	67.5	0.20	1.12	0.39

スラグ併用より炭カル併用が速く、且つ両混和材ともその使用量が増すに従いほぼ比例して急速に低下する。

その原因は、セメント要因と混和材要因とも各粉体の粉末度の相違によるもので、粉末度の高い粉体がコンクリートの粘性を高め、その結果フロー速度を低下させたものと推察される。

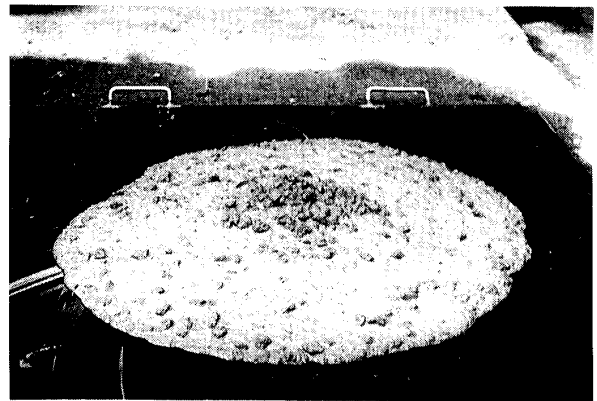
一般にフロー速度の測定は、スランプ値 並びに L 型フロー試験での最終フロー値とその停止時間から求めるが、フローの停止が判断し難いコンクリートでは測定誤差が大きくなる。その点、今回試みた L 型フロー試験の Lv50 法は、フロー速度の速い時点で測定することから測定誤差も小さく、且つ流動性に関する諸因子の影響も判別しやすい。従って、高流動コンクリートのフロー速度の測定法として、Lv50 法を提案する。

3.3 コンクリートの分離度

コンクリートの分離・不分離の判定は、スランプフロー試験時にそのフロー面の碎石の分布状態を見て判断した。例えば、写真・3 はフロー中央部に碎石が一部残留し分離したコンクリート、写真・4 はフロー面の碎石の分布がほぼ一様で、良好なコンクリートとみなした。従って、この実験で採用したコンクリートは何れも写真・4 のようなコンクリートである。

しかし、目視では分離の程度を数量化できないため、2.3.1.②に示した方法で各コンクリート中の碎石の分離度（スランプフロー前の碎石量／スランプフロー後の碎石量）を求めた。

その結果、目視で良好とみなしたコンクリートの碎石の分離度は、粒度 2005 のフロー中央部で 1.40～1.00（平均 1.15）、同・周辺部で 1.15～0.83（平均 1.01）となり、フロー周辺部に比べ中央部の碎石量が



写真・3 分離したコンクリート



写真・4 良好なコンクリート

1.14 倍である。従って、フロー中央部の分離度が 1.40 以下であればワーカブルなコンクリートとみなしてよいと思われる。

しかし、2005の粒度を2010と1005に分けると粒径の大きい2010の残留量はフロー周辺部に比べ中央部は多く、逆に1005の残留量は周辺部の方がやや多くなる。このように碎石の粒度を2010と1005に細分級すれば、より精度の高いコンクリートのワーカビリティを判定することができる。

フロー中央部と周辺部の碎石の分離度から粒度2005, 2010並びに1005の分離度比(中央部の分離度/周辺部の分離度)の要因別水準平均を表・5に示す。

3.4 フロー速度と分離度の関係

フロー速度(L_{v50})と碎石の分離度の関係を図・1に示す。各粒度ともフロー速度と碎石の分離度は概ね比例し、下式で表わされる。

$$D_{(2005)} = 0.06L_{v50} - 0.99 \quad (1)$$

$$D_{(2010)} = 0.09L_{v50} + 1.05 \quad (2)$$

$$D_{(1005)} = 0.01L_{v50} + 0.95 \quad (3)$$

ただし、D: 碎石の分離度比()内数値は粒度。

粒度1005はフロー速度に拘わらず分離度比は略一定に対し、2005及び2010はフロー速度が速くなるに従い碎石の分離も大きくなる。その傾向は2010が大きい。従って、コンクリートのフロー速度(L_{v50})は 2 ± 1 cm/s程度が好ましい。

3.5 圧縮強度

圧縮強度を表・6に示す。

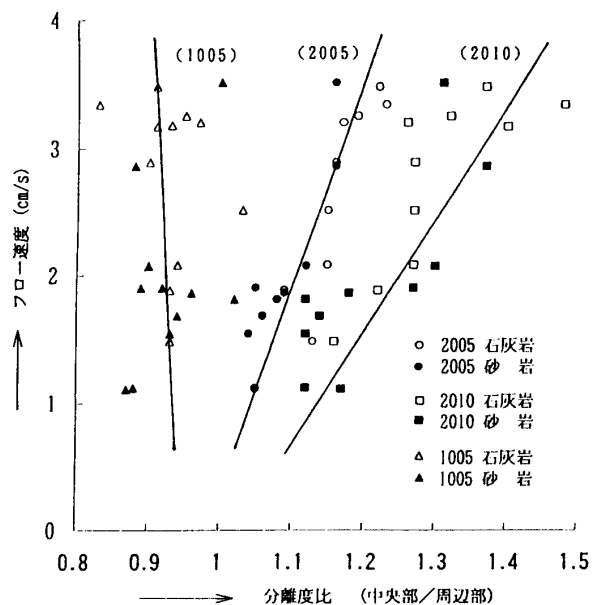
材齢1週、4週並びに8週における圧縮強度の分散分析の結果は下記のとおりである。

碎石要因は1週と4週強度とも有意性は認められないが、8週強度は危険率5%の判定で有意である。即ち、材齢4週までは碎石の種類によってコンクリート強度に影響がないが、8週強度では砂岩碎石コンクリートの方が石灰岩碎石コンクリートより10%高い。

セメントと混和材要因は各材齢とも高度に有意(危険率1%の判定)となっている。そのうちセメント要因は何れの材齢においても高炉B種より普通セメントの方が高い。その差の比率は材齢1週で約30%に対し、材齢4週では約10%に留まる。一方、混和材要因が高度に有意となった原因はその種類による影響が大きい。即ち、炭カル粉は水和による強度発現に殆ど関与しないのに対し、スラグ微粉はセメントとともに強度発現に寄与していることによる。従って、二成分系のコンクリートの圧縮強度は炭カル粉の場合一成分

表・5 分離度化の要因別水準平均値

碎石の種類 要因・水準	石灰岩			砂岩		
	中央部/周辺部			中央部/周辺部		
	2005	2010	1005	2005	2010	1005
砕石	1.19	1.32	0.93	1.09	1.22	0.93
砂	海砂	1.21	1.40	0.91	1.10	0.89
	砕砂混合	1.17	1.26	0.97	1.09	1.18
セメント	普通	1.22	1.37	0.91	1.12	1.30
	高炉B種	1.16	1.27	0.90	1.06	1.14
混和材	無混入	1.23	1.38	0.92	1.16	1.37
	炭カル 70(75)	1.14	1.38	0.98	1.16	1.31
	炭カル 140(150)	1.23	1.48	0.83	1.08	1.12
	炭カル 210(225)	1.15	1.27	1.03	1.05	1.17
	スラグ 70(75)	1.19	1.32	0.95	1.05	1.27
材	スラグ 140(150)	1.15	1.27	0.94	1.04	1.12
	スラグ 210(225)	1.13	1.16	0.93	1.05	1.12



図・1 フロー速度と分離度化

分系のコンクリートと同様、水セメント比(W/C)で表わされるのに対し、スラグ微粉の方は水セメント・粉比(W/C+F)で表わす方が適切である。

砂要因は材齢4週以降有意要因となり、海砂単身より砕砂混合砂の方が高い。しかし、その差は4~5%程度である。

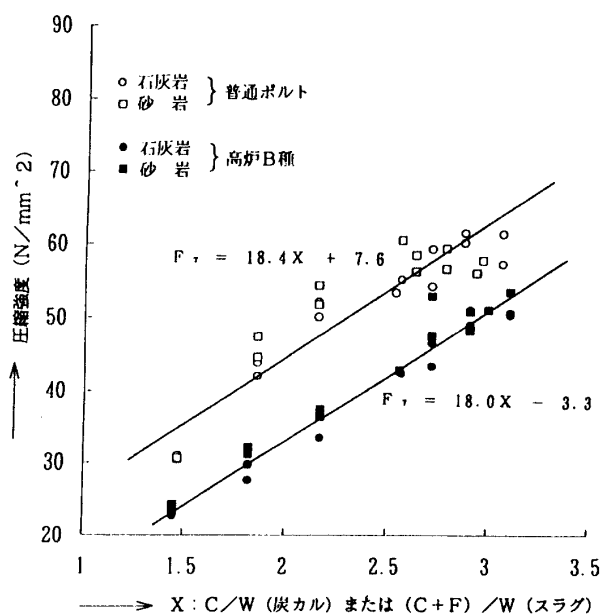
上記の判定結果をもとに、材齢1週と4週の圧縮強度 F (N/mm²)とC/W(一成分系と二成分系の炭カル粉)並びに(C+F)/W(二成分系のスラグ微粉)の関係を強度式(4)~(7)並びに図・2(a), (b)に示す。普通ポルト: 石灰岩または砂岩碎石コンクリート

$$F_7 = 18.4X + 7.6 \quad (4)$$

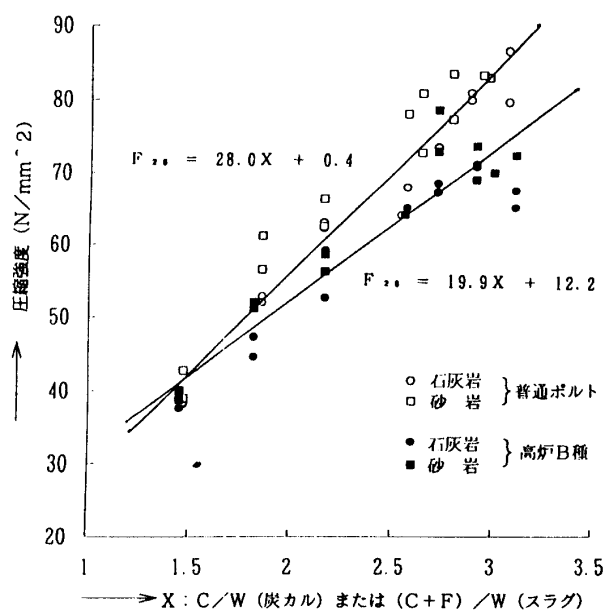
$$F_{28} = 28.0X + 0.4 \quad (5)$$

表・6 圧縮強度と乾燥収縮率

種 類		石 灰 岩 砕 石								砂 岩 砕 石							
砂 S	セ メント C	混 和 材 F	NO	結 合 比		圧 縮 強 度 (N/mm ²)			収 縮 率 X 10 ⁻⁴	NO	結 合 比		圧 縮 強 度 (N/mm ²)			収 縮 率 X 10 ⁻⁴	
				W/C (%)	W/C・F (%)	材 齢					材 齢						
						1 週	4 週	8 週	40 週		1 週	4 週	8 週	40 週			
海 砂	普 通	—	1	39.8	—	53.3	64.0	66.9	6.30	29	38.9	—	60.9	72.2	87.4	9.07	
		炭	2	46.4	38.9	50.0	62.8	68.4	5.60	30	46.3	38.9	54.4	62.3	75.4	8.77	
		カル	3	53.8	36.8	41.9	52.7	58.7	5.80	31	53.8	36.8	44.6	56.4	66.2	8.17	
		—	4	68.0	35.8	30.7	38.0	45.5	5.70	32	68.0	35.8	30.4	38.9	49.6	8.00	
		ス	5	43.8	36.8	54.3	73.4	76.2	5.60	33	45.0	37.9	58.5	72.6	80.9	7.37	
		ラ	6	50.8	34.7	60.2	79.9	84.6	5.77	34	52.3	35.8	56.6	77.2	85.5	7.47	
		グ	7	62.0	32.6	61.3	86.5	92.1	5.67	35	64.0	33.7	57.7	82.9	96.0	8.23	
	高 炉 ・ B 種	—	8	38.9	—	38.7	60.7	66.4	6.30	36	38.9	—	40.0	61.4	75.2	9.67	
		炭	9	46.1	38.9	33.3	52.5	62.5	6.07	37	46.1	38.9	36.3	56.2	68.1	10.30	
		カル	10	54.8	37.8	27.4	44.5	53.2	6.63	38	54.8	37.8	31.1	51.1	61.3	9.43	
		—	11	68.8	36.7	22.6	39.0	42.4	6.33	39	68.8	36.7	23.2	40.0	48.6	8.03	
		ス	12	43.4	36.7	43.4	68.3	71.5	5.60	40	43.6	36.7	47.4	72.7	81.6	10.53	
		ラ	13	50.0	34.4	49.0	70.7	80.2	5.33	41	50.0	34.4	48.2	68.9	79.4	9.97	
		グ	14	60.4	32.2	50.6	65.0	70.6	5.90	42	60.0	32.2	53.5	72.2	85.9	10.37	
海 砂 ・ 砕 砂 混 合	普 通	—	15	38.9	—	55.2	67.8	74.8	7.27	43	38.9	—	60.5	77.9	88.5	13.10	
		炭	16	46.3	38.9	52.0	62.0	69.0	6.97	44	46.3	38.9	51.6	66.2	77.4	14.10	
		カル	17	53.8	36.8	43.8	51.9	61.8	7.00	45	53.8	36.8	47.3	61.1	73.3	12.70	
		—	18	68.0	35.8	30.9	38.2	47.9	8.30	46	68.0	35.8	30.5	42.6	54.0	12.93	
		ス	19	43.8	36.8	59.3	73.3	81.8	6.33	47	45.0	37.9	56.3	80.8	91.3	12.40	
		ラ	20	50.8	34.7	61.4	80.9	86.4	5.63	48	52.3	35.8	59.4	83.4	90.4	11.87	
		グ	21	62.0	32.6	57.2	79.6	86.9	5.50	49	64.0	34.0	56.1	83.2	98.0	11.90	
	高 炉 ・ B 種	—	22	38.9	—	42.3	65.0	72.4	5.90	50	39.0	—	42.7	64.0	78.4	12.50	
		炭	23	46.1	38.9	36.3	59.1	65.1	6.20	51	46.0	39.0	37.3	58.5	72.2	12.07	
		カル	24	54.8	37.8	29.6	47.1	53.2	6.33	52	54.8	37.8	31.9	51.9	62.3	12.27	
		—	25	68.8	36.7	22.9	37.4	45.6	6.80	53	68.8	36.7	24.2	38.7	44.6	12.13	
		ス	26	43.4	36.7	46.5	67.1	76.0	4.40	54	43.4	36.7	52.8	78.4	88.4	13.30	
		ラ	27	50.0	34.4	51.0	71.1	79.2	5.00	55	50.0	34.4	50.8	73.5	86.2	11.93	
		グ	28	60.4	32.2	50.3	67.3	77.0	4.93	56	62.5	33.3	51.0	69.9	84.3	10.40	



図・2 (a) 圧縮強度と C/W または (C+F)/W (材齢1週)



図・2 (b) 圧縮強度と C/W または (C+F)/W (材齢4週)

高炉B種：石灰岩または砂岩碎石コンクリート

$$F_7 = 18.0X - 3.3 \dots\dots\dots (6)$$

$$F_{28} = 19.9X + 12.2 \dots\dots\dots (7)$$

3. 5 乾燥収縮ひずみ

材齢4カ月の乾燥収縮率の要因別水準平均値を表・6に示す。

有意要因は碎石要因と、石灰岩碎石コンクリートの混和材要因及び砂岩碎石コンクリートの砂要因で、特に碎石要因と砂岩碎石コンクリートの砂要因は高度に有意である。碎石要因の平均収縮率は石灰岩碎石コンクリートが 6.04×10^{-4} に対し砂岩碎石コンクリートは 10.68×10^{-4} で1.77倍の差がある。この差の原因は碎石の石質及び両碎石コンクリートの配合(高性能減水剤の使用量と細骨材率)の差によるものと推察される。即ち、両碎石コンクリートの単位セメント量並びに単位水量は殆ど等しいが、減水剤の平均使用量は石灰岩碎石コンクリートの1.37%に対し砂岩碎石コンクリートは1.66%で約0.3ポイント多い。また、細骨材率も前者が48.0~50.0%に対し後者は50.0~52.0%と2%多い。

また、高度な有意性となった砂岩碎石コンクリートの砂要因は海砂より砕砂混合砂を用いた方が収縮率は大きい。それは碎石要因と同様、減水剤並びに細骨材率とも海砂より砕砂混合砂が多い。

一方、混和材要因は石灰岩碎石コンクリートで危険率5%の判定で有意となったが、各水準間の差は碎石要因及び砂要因に比べると小さい。即ち、一成分系と二成分系のコンクリート間に殆ど差はないが、二成分系では砂岩碎石コンクリートで粉体の使用量が増すと収縮量は低下する傾向が認められる。特に、石灰岩碎石コンクリートにスラグ微粉を用いると収縮量が最も小さくなる結果が得られた。

4. 結 論

高性能 AE 減水剤を用いた一成分系と二成分系の高流動コンクリートについて、セメント(普通・高炉B種)、混和材(炭酸カルシウム粉・高炉スラグ微粉)及び細骨材(海砂・砕砂混合砂)、粗骨材(石灰岩と砂岩碎石)の種類が配合、フレッシュコンクリートの流動性及び分離抵抗性、並びに硬化後のコンクリートの圧縮強度と乾燥収縮に及ぼす影響について検討した

結果、下記の結論を得た。

- 1) 高性能 AE 減水剤を用いれば、単位水量 185 kg/m³、単位セメント量 475 kg/m³以下でスランブフロー 60±5 cmの高流動コンクリートの製造は可能である。
 - 2) 同一フローを得るための高性能 AE 減水剤の使用量は、砂岩碎石コンクリートが石灰岩碎石コンクリートより 20 %多い。
 - 3) セメントの使用量は碎石の種類によって異なるが、高炉B種より普通ポルトの方が28~39 %増となる。
 - 4) フロー速度は砂岩碎石より石灰岩碎石、高炉B種より普通ポルト、二成分系より一成分系、高炉スラグ微粉より炭酸カルシウム粉の方が速い。
 - 5) フロー速度は、フロー停止時より前の時点で測定した方が関連因子の影響を判断しやすい。
 - 6) コンクリートの分離に対する抵抗性は一成分系より二成分系の方がやや高いが、碎石、砂、セメント及び混和材の種類による差はない。
 - 7) フロー速度 (L_{v50}) とコンクリートの分離は比例し、分離の限界はフロー速度が 3 cm/sec である。
 - 8) 圧縮強度は材齢4週まで砂岩碎石コンクリートと石灰岩碎石コンクリートに差はないが、材齢8週では砂岩碎石コンクリートの方が約 10 %高い。
- セメントはいずれの材齢においても高炉B種より普通ポルトの方が高い。混和材のうち炭酸カルシウム粉は水和反応による強度発現に殆ど関与しないが、高炉スラグ微粉は強度発現に寄与する。
- 9) 乾燥収縮率は碎石の種類によって大きく異なり、砂岩碎石は石灰岩碎石と比較して 1.77 倍大きい。

謝 辞

最後に実験に使用したセメント及び混和材料を提供して戴いた材料メーカー並びに多忙な時期にも拘わらず実験にご協力戴いた生コン組合員の諸氏に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 西 豊明・他3名：卵形コンクリート構造物の施工 ―稲盛会館の施工―
ZENITAKA TECHNICAL RESERCH REPORT,
1995, No.20.