

報告 砕石粉使用高流動コンクリートの実大施工実験で得られた硬化コンクリート性状

大橋 正治*¹・田村 博*²・上西 隆*³・木村 芳幹*⁴

要旨：砕石粉使用高流動コンクリートの実大施工実験を行った。その硬化コンクリート性状から、使用した高流動コンクリートは鉄筋間を通過する距離が長くなると分離する傾向がみられ、流れの先端部および上層部では粗骨材量が減少し、静弾性係数が低下した。構造体コンクリートの品質の均一性確保には、打ち込み方法を、一地点からの片流しとせず、反対側からの流し返しを併用するのが有効なことが分かった。

キーワード：砕石粉、高流動コンクリート、実大施工実験、硬化性状、均一性

1. はじめに

筆者らCSFC研究会では、資源有効利用・環境保全上の観点から、砕石・砕砂の生産工程上産出される砕石粉を、高流動コンクリートの混和材として有効利用する手法について、検討を重ねてきた[1][2]。平成7年には、実建築構造物の柱および壁を模擬した実大試験体による施工実験を行い、種々の検討を行った。それらのうち、本報では、管理用供試体ならびに実大試験体から採取したコア供試体の圧縮強度および静弾性係数試験結果、ならびにコア供試体による粗骨材面積率測定結果、さらには実大試験体の構造物としての品質の均一性について、考察結果を述べる。

2. 実験概要

2. 1 高流動コンクリートの調合・練混ぜおよび現場までの運搬

高流動コンクリートの調合を表-1に示す。調合は、水セメント比を50%、水粉体量比（水量に対するセメントと砕石粉の合計質量の比）を38%、単位水量を170kg/m³、および粗骨材かさ容積を520ℓ/m³とした。目標性能は、荷卸し時のスランプフロー値を65±5cm、空気量を4.5±1%とし、目標性能が得られるように、高性能AE減水剤の使用量を調整した。

表-1 高流動コンクリートの調合

水セメント比 W/C (%)	水粉体量比 W/(C+F) (%)	粗骨材 かさ容積 (ℓ/m ³)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					混和剤 A (C+F)×%
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	砕石粉 F	
50	38	520	52.6	170	340	863	813	107	3.3

註) 使用材料, C:普通ポルトランドセメント, 比重:3.16
 S:京都市城陽産山砂・大阪府高槻産砕砂の混合砂, 混合比 8:2, 表乾比重:2.58
 G:大阪府高槻産砕石, 表乾比重:2.69
 F:大阪府高槻産砕石粉(硬質砂岩集塵微粉), 比重:2.67
 A:ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

- *1 (財)日本建築総合試験所材料試験室主査(正会員)
- *2 (財)日本建築総合試験所材料試験室室長、工博(正会員)
- *3 (株)奥村組技術研究所建築研究室主任研究員(正会員)
- *4 (株)新井組技術本部技術研究部主任部員(正会員)

生コン工場における練混ぜには、容量2m³の二軸強制攪拌式ミキサを用い、練混ぜ量を1バッチ当たり1.5m³として、空練り30秒→注水→攪拌150秒の手順で練り混ぜた。

練り終えたコンクリートは、大型生コン車（4.5m³）に、生コン車①～④は各3バッチを、⑤および⑥は各2バッチを積載し、実験現場まで運搬した。なお、コンクリートの練り上がりから打ち込み終了までの所要時間は、40～100分であった。

工場出荷時、荷卸時および筒先で採取した試料のフレッシュ性状を表-2に示す。

表-2 フレッシュコンクリート性状

生コン車 No.	出荷時(工場内)採取試料				荷卸し時(現場)採取試料				筒先採取試料			
	SF (mm)	SF(50) (秒)	空気量 (%)	温度 (℃)	SF (mm)	SF(50) (秒)	空気量 (%)	温度 (℃)	SF (mm)	SF(50) (秒)	空気量 (%)	温度 (℃)
①	640	6.0	2.8	26.0	658	7.3	3.7	28.2				
②	630	6.0	3.6	28.0	640	6.7	3.9	28.7	668	4.2	4.0	27.3
③	625	7.0	3.7	25.0	675	3.6	4.4	28.0				
④	635	7.0	3.7	26.0	655	5.5	3.5	28.0	663	3.7	5.0	26.7
⑤	610	7.0	4.5	25.0	638	4.9	4.6	27.7	—	—	—	—

註) SF：スランブフロー、SF(50)：スランブフローが50cmに到達する時間

2. 2 実大試験体の形状・寸法および配筋

図-1に、実大試験体の平面形状および配筋を示す。試験体は、1スパンあたり7.5m、高さ3mの柱および壁で構成し、長手方向に2スパンと長手方向中央部の柱から直角方向に1スパンを配置した平面形状とした。柱は断面60×60cmとし、主筋を8D22、横補強筋をD13@10cmの配筋とした。また、壁は厚さ21cmとし、壁筋は縦横ともD13@20cmでダブル配筋とした。

2. 3 施工手順

打ち込みには、ピストン式ブーム付きポンプ車（最大吐出量：115m³/h）を用いた。打ち込みは以下の手順で行い、バイブレータやたたきによる締固め作業は行わなかった。なお、生コン車①と②および③と④のコンクリートは、ポンプ車に同時投入して圧送した。

- 1：長手方向の端柱(C1)から、高さ一杯まで打ち込む(第1、第2流れ)。
- 2：筒先を長手方向の反対側の柱(C3)に移動し、高さ一杯まで打ち込む(第3流れ)。
- 3：筒先を長手方向中央の柱(C2)に移動し、高さ一杯まで打ち込む(第4流れ)。
- 4：筒先を移動しながら上面を仕上げる(第5流れ)。

2. 4 試験用供試体

(1) 管理用供試体

管理用供試体は、出荷時、荷卸し時および筒先で採取した試料から、養生条件と試験材齢の組み合わせ毎に3体ずつ、計243体制作した。供試体は、φ10×20cmのプラスチック製軽量型枠に試料を二層に分けて詰め、各層の突き数は5回として作成した。

(2) コア供試体

図-2にコンクリートコアの採取位置を示す。コアはφ10cmとし、試験材齢28日、および91日の約1週間前に合計87体採取した。なお、柱から採取したコア22体については、2体の

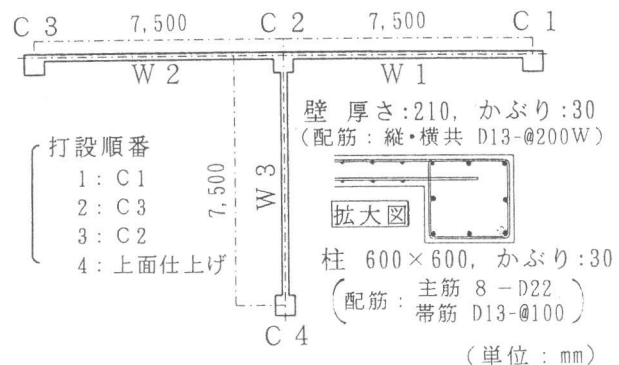


図-1 実大試験体の平面形状および配筋

供試体 (No. 1およびNo. 2)に切断し, コア供試体数を材齢28日で65体, 材齢91日で44体, 合計109体とした。

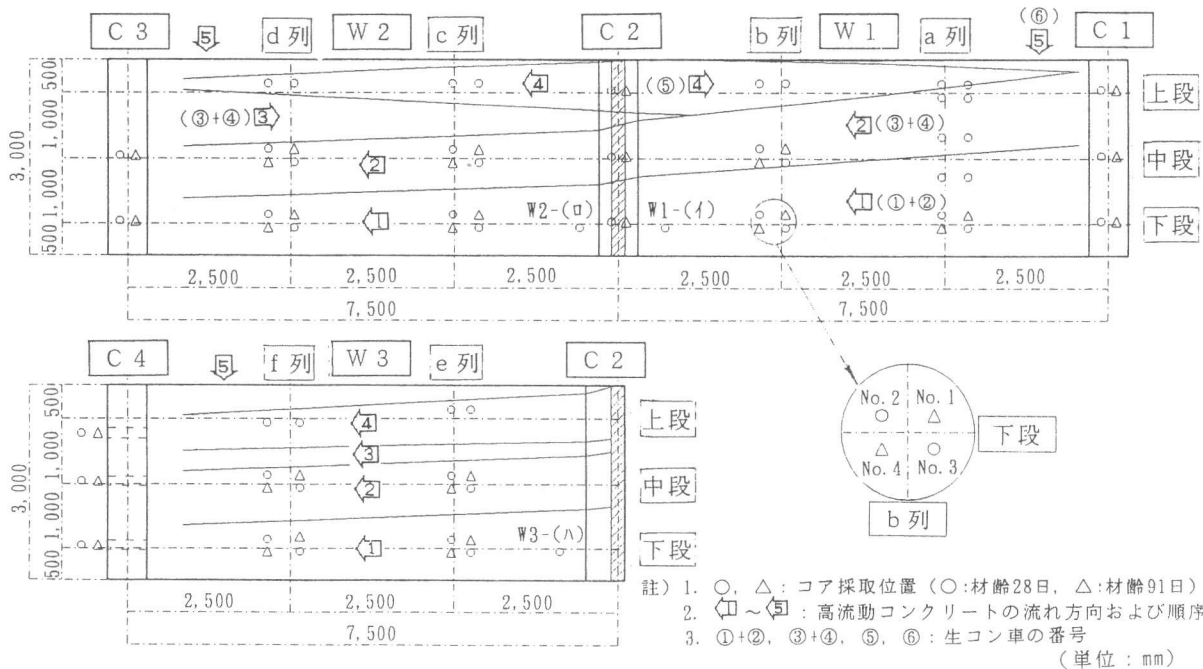


図-2 高流動コンクリートの流動勾配およびコアの採取位置

2. 5 試験項目および試験方法

(1) 圧縮強度

JIS A 1107およびJIS A 1108に準拠した。なお, 加圧面は研磨処理をし, コア供試体については, 温度 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の標準水中に試前の40~48時間浸せきした。

(2) 静弾性係数

JIS 原案に準拠したコンプレッソメータ方法で, 圧縮強度試験時の最大荷重の1/3セカントモジュラスを求めた。

(3) 粗骨材面積率

コア供試体表面の粗骨材部分を透明フィルムに写し取り, 画像解析装置で測定した。この際, 円相当径5 mm以上を粗骨材として算出した。

3. 試験結果と考察

管理用供試体の試験結果を表-3に, コア供試体の試験結果を表-4にそれぞれ示す。

表-3 管理用供試体の試験結果

採取時	項目	圧縮強度 (N/mm^2)				静弾性係数 ($\times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)	
		1日	7日	28日	91日	28日	91日
出荷時 標準水中	供試体数 n	15	15	15	15	15	15
	平均値 \bar{x}	9.7	39.4	48.2	3.01	3.01	3.01
	標準偏差 σ	1.0	1.2	1.5	0.12	0.12	0.12
	変動係数 v (%)	10.3	3.0	3.1	4.0	4.0	4.0
荷卸し時 標準水中	供試体数 n		15	15	15	15	15
	平均値 \bar{x}		39.1	48.0	55.7	3.04	3.31
	標準偏差 σ		1.7	2.2	2.1	0.08	0.11
	変動係数 v (%)		4.3	4.6	3.8	2.6	3.3
荷卸し時 現場水中	供試体数 n			12	12	12	12
	平均値 \bar{x}			48.4	56.3	3.01	3.28
	標準偏差 σ			1.7	1.1	0.06	0.13
	変動係数 v (%)			3.5	2.0	2.0	4.0
荷卸し時 現場封かん	供試体数 n			12	12	12	12
	平均値 \bar{x}			49.0	53.9	3.01	3.19
	標準偏差 σ			1.0	1.2	0.10	0.10
	変動係数 v (%)			2.0	2.2	3.3	3.1
筒先 標準水中	供試体数 n			6	6	6	6
	平均値 \bar{x}			46.0	2.90	2.90	2.90
	標準偏差 σ			1.1	0.04	0.04	0.04
	変動係数 v (%)			2.4	1.4	1.4	1.4
全体	供試体数 n	15	30	60	39	60	39
	平均値 \bar{x}	9.7	39.3	48.1	55.3	3.00	3.26
	標準偏差 σ	1.0	1.5	1.8	1.8	0.10	0.12
	変動係数 v (%)	10.4	3.8	3.7	3.3	3.2	3.8

註) 供試体個々の値を用いて, 結果を算出した。

表-4 コア供試体の試験結果

壁-列 あるいは 柱	段	材齢：28日				材齢：91日			
		供試体 番号	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	粗骨材面 積率 (%)	供試体 番号	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	
W1-a	上	No.1	38.7	2.17	7.7				
		No.2	39.6	2.25	9.9				
		No.3	43.3	3.06	39.6				
		No.4	41.4	3.07	44.1				
	中	No.1	41.5	2.90	32.4				
		No.2	41.4	2.93	34.3				
		No.3	45.0	2.94	39.0				
		No.4	43.8	2.95	31.5				
	下	No.2	44.4	3.35	48.5	No.1	49.4	3.03	
		No.3	44.4	3.06	41.4	No.4	49.4	3.10	
	W1-b	上	No.1	39.7	2.65	34.1			
			No.2	38.5	2.75	32.9			
中		No.2	42.7	3.09	39.5	No.1	48.2	3.14	
		No.3	45.1	2.99	39.5	No.4	48.7	2.94	
下		No.2	45.1	3.11	34.8	No.1	48.9	3.32	
		No.3	43.3	3.03	35.2	No.4	49.6	3.22	
W2-c	上	No.1	39.8	2.78	35.7				
		No.2	39.3	2.81	43.7				
	中	No.2	42.2	3.04	37.8	No.1	46.3	2.89	
		No.3	42.9	3.07	38.9	No.4	45.0	2.98	
	下	No.2	44.3	2.98	40.4	No.1	49.3	2.97	
		No.3	44.5	3.18	39.0	No.4	49.8	2.94	
W2-d	上	No.1	37.6	2.52	21.8				
		No.2	38.0	2.34	23.1				
	中	No.2	45.5	2.94	28.9	No.1	49.5	2.61	
		No.3	41.7	2.77	28.6	No.4	44.4	2.78	
	下	No.2	44.9	3.02	33.6	No.1	49.2	2.97	
		No.3	46.2	3.04	39.8	No.4	51.2	3.04	
W3-e	上	No.1	41.3	2.98	32.9				
		No.2	41.9	3.04	32.9				
	中	No.2	41.8	2.91	27.6	No.1	44.3	2.76	
		No.3	40.0	2.89	48.6	No.4	44.9	2.82	
	下	No.2	43.7	3.10	41.3	No.1	49.2	3.01	
		No.3	44.7	3.26	35.0	No.4	50.6	3.02	
W3-f	上	No.3	38.0	2.90	39.7				
		No.4	38.3	2.79	29.1				
	中	No.2	41.9	2.55	10.4	No.1	46.3	2.58	
		No.3	39.4	2.84	26.1	No.4	45.6	2.50	
	下	No.2	41.7	3.01	28.2	No.1	38.8	2.58	
		No.3	43.6	3.00	36.1	No.4	48.9	2.70	
W1-(f)	下		47.5	3.04	38.1				
W2-(g)	下		45.9	3.12	37.5				
W3-(h)	下		45.1	2.48	37.2				
C1	上	No.1	43.0	2.49	35.5	No.1	47.3	2.65	
		No.2	43.4	2.98	27.8	No.2	47.8	2.70	
	中	No.1	41.8	2.62	32.9	No.1	46.0	2.66	
		No.2	43.2	2.75	32.6	No.2	47.5	2.68	
	下	No.1	43.5	2.71	30.9	No.1	47.9	2.88	
		No.2	43.6	2.73	31.2	No.2	48.0	3.07	
C2	上	No.1	40.7	2.77	36.2	No.1	44.8	2.77	
		No.2	39.3	2.93	34.3	No.2	43.2	2.89	
	中	No.1	38.5	2.67	33.1	No.1	40.5	2.81	
		No.2	37.5	2.89	38.6	No.2	41.3	3.20	
	下	No.1	42.2	2.80	40.8	No.1	46.4	2.82	
		No.2	42.1	2.95	39.1	No.2	46.3	3.20	
C3	中	No.1	41.2	2.50	32.5	No.1	45.0	2.58	
		No.2	41.3	2.66	39.5	No.2	45.4	2.65	
	下	No.1	44.0	2.81	36.4	No.1	48.4	2.74	
		No.2	41.7	2.63	24.5	No.2	45.9	2.14	
C4	上	No.1	27.8	1.67	5.6	No.1	31.1	1.56	
		No.2	35.6	1.70	4.4	No.2	39.2	2.01	
	中	No.1	34.9	2.15	2.6	No.1	38.4	1.90	
		No.2	36.6	2.06	6.1	No.2	40.3	2.02	
	下	No.1	41.9	2.11	4.5	No.1	46.1	2.10	
		No.2	39.9	2.49	26.4	No.2	43.9	2.55	
全体	供試体数 n		65	65	65	n	44		
	平均値 \bar{x}		41.6	2.78	31.6	\bar{x}	45.9	2.74	
	標準偏差 σ		3.2	0.34	10.9	σ	4.0	0.38	
	変動係数 v (%)		7.7	12.3	34.7	v (%)	8.7	13.8	

3. 1 圧縮強度

圧縮強度と材齢の関係を図-3に示す。管理用供試体の圧縮強度は、採取時や養生方法が違っていても、材齢が同じであれば、ほぼ同じ値を示し、材齢28日の圧縮強度の平均値は48.1N/mm²で、全体のばらつきは小さかった。

コア供試体の圧縮強度の平均値は、材齢28日で41.6N/mm²、材齢91日で45.9N/mm²で、管理用供試体の材齢28日の圧縮強度をやや下回り、また、管理用供試体と比べてばらつきが大きくなった。

3. 2 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-4に示す。材齢28日の静弾性係数は、管理用供試体の平均値が3.00×10⁴N/mm²、コア供試体の平均値が2.78×10⁴N/mm²で、いずれもRC規準とNew RCの各提案式の間位置しているが、コア供試体のばらつきが大きく、提案式を大きく下回るものもあった。

3. 3 粗骨材面積率

コア供試体の粗骨材面積率と圧縮強度および静弾性係数の関係を図-5に示す。粗骨材面積率の平均値は31.6%で、調合上の粗骨材量302ℓ/m³にほぼ相当したが、供試体個々のばらつきが大きかった。

粗骨材面積率と圧縮強度の直線回帰による相関係数は0.57で、双方に明確な関係は認められなかった。一方、粗骨材面積率と静弾性係数の直線回帰による相関係数は0.826で、相関関係が認められた。

これらの結果から、高流動コンクリートが鉄筋間を通過する際に、粗骨材とモルタル部が分離し、粗骨材量の少なくなった部位の静弾性係数が低下して、均一性を損なう要因となることが判った。しかし、圧縮強度のばらつきには、これとは別の要因もあると考えられる。

4. 均一性に関する考察

材齢28日のコア供試体の試験結果から、圧縮強度、静弾性係数および粗骨材面積率の等値分布[3]を表し図-6に示す。なお、各流れの流動勾配は図-1に示した。

圧縮強度の等値分布図で、実大試験体下部の圧縮強度が大きくなる傾向となっている。コンクリートの自重により緻密度が増すことも、要因として考えられる。

粗骨材とモルタル分の分離を評価できる、静弾性係数

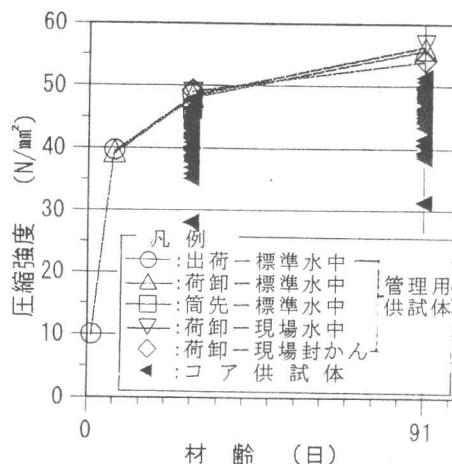


図-3 圧縮強度試験結果

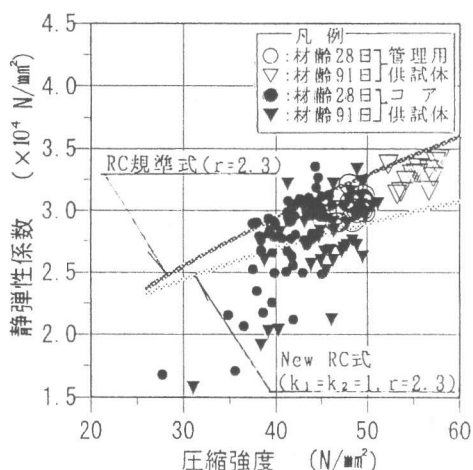


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

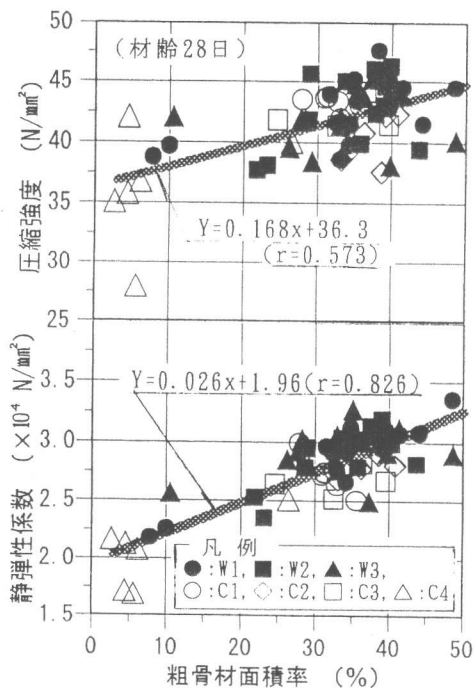
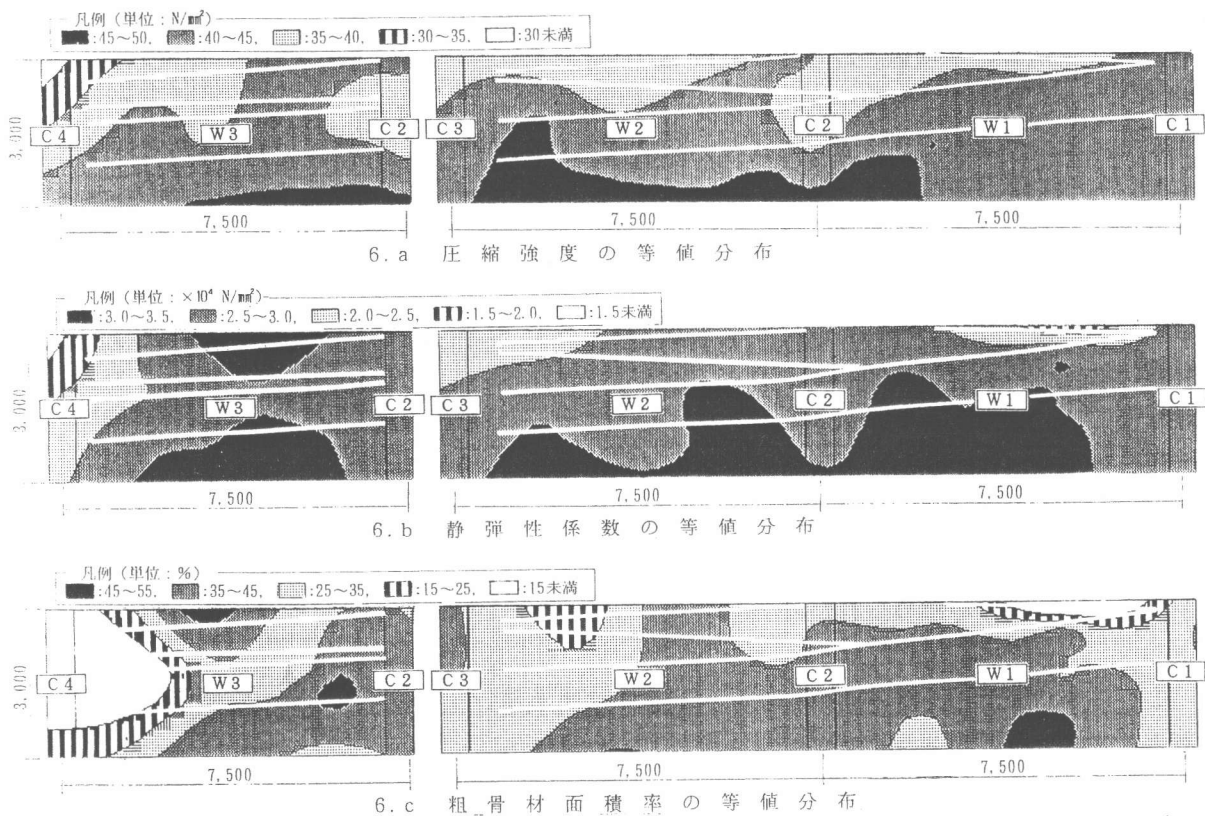


図-5 粗骨材面積率と圧縮強度および静弾性係数の関係

および粗骨材面積率の等値分布図では、C2付近を中心に、W1、W2にかけてほぼ均等に分布しており、この間の流動距離による変化は明確でない。しかし、W3において各等値分布をW1、W2と比較すると、W1あるいは、W3からの流動距離として約12mを越えた、C4付近で値が小さくなっており、粗骨材面積率の分布でより顕著な傾向となった。高流動コンクリートを打ち込んだ際の第1～第4流れでは、いずれの場合も、C4が片流しによる流動の先端である。C4部分に充填されたコンクリートは、鉄筋間を通過する際に粗骨材とモルタル部が分離し、粗骨材量が少なくなったものと考えられる。さらに、第1、第2流れにおけるC3およびC4付近の各等値分布を比較すると、流動距離が等しいにもかかわらず、C4で値が小さくなっていることが分かる。これは、続く第3流れをC3から行ったこと、つまり、流し返しを行ったことで、C3、W2部では、材料の均一性が保たれたのだと考えられる。したがって、高流動コンクリートの構造体としての均一性を確保するには、流し返して施工することが有効であるものと考えられる。



図一六 圧縮強度、静弾性係数および粗骨材面積率の等値分布[3]
 註) 図中の白線は、打ち継ぎ位置における流動勾配を示す。

5. まとめ

今回の検討結果から、以下のことが判った。

- ①鉄筋間を通過した高流動コンクリートは、流れの先端および上層部でモルタル分が多くなる。
- ②モルタル分が多くなると静弾性係数が低下し、コンクリートの品質の均一性が損なわれる。
- ③高流動コンクリートは、片流し方向だけで施工せず、反対側から流し返せば、均一性の確保が可能となる。

- <参考文献> [1] 木村芳幹, 寺田早苗, 関口賢二, 田村 博: 砕石粉使用高流動コンクリートの硬化性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp167-172、1995.5
 [2] 大橋正治, 寺田早苗, 関口賢二, 田村 博: 砕石粉の品質評価試験方法ならびに品質規準に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp393-398、1995.5
 [3] 塩野清治 ほか: BASICによるコンターマップ、共立出版(株)、1988