

報告

[1016] 構造体コンクリートの品質変動に及ぼすフレッシュ時の分離性の影響

正会員 ○十代田知三 (芝浦工業大学工学部)

正会員 小林 幸一 (芝浦工業大学大学院)

1. 緒言

構造体コンクリートの品質変動の要因は数多いが、特に生コンクリートの分離抵抗性と流動性とは直接的に影響が大きいといわれる。本研究は、コンクリート構造物において、主としてフレッシュ時の分離性が硬化後の品質変動に及ぼす影響をマクロに把握することを目的として、分離性の異なる各種コンクリートを打設した実大構造物モデルについて硬化後の諸特性の変動を調べ比較検討したものである。実構造物について品質変動を調べた報告は多いが、パッチ間の変動の影響が含まれてしまうこと、フレッシュ時の特性が不明であること、等の点で資料不足である。

なお、実大モデル実験については、構造物の品質評価方法ならびに非均質性・異方性に関する研究のため、シリーズとして行っており、逐次報告しているが、最近ではⅠ～Ⅲをまとめた異方性調査結果 [1]、Ⅲから取り出した分離低減剤の効果 [2]、Ⅳとして実構造物 (建物) の調査結果 [3、4] などがある。

2. 研究の方法

構造物モデルは、各シリーズとも建築物一層分のRC柱・壁に近い部材を想定して、30cm厚×240cm高の壁体を4年間に亘り18体作成した。壁巾をはじめ諸条件がシリーズにより異なるのでこれを表-1に示す。調査は、フレッシュ時の分離傾向の影響を知るため、18体すべて変えた。各壁体とも1パッチ分を打設した。表-2に、材料、調合、フレッシュコンクリートの性質・圧縮強度平均値などを、表-3に試験項目と測定位置を示す。

ここでは、硬化後の測定値としては、各部から水平に採取したコアの圧縮強度、割裂引張強度 (打設方向と直角方向との平均)、水平埋込鉄筋 (D19-付着長10cm) の引抜付着強度 (シリーズⅡのみ)、密度、動弾性係数 (シリーズⅢなし)、および壁体現位置での反発硬度 (シュミットハンマー使用) の各々について壁体ごとの変動係数を比較し、フレッシュ時の分離抵抗性の程度の比較とともに検討した。表-1の諸条件のほか、品質変動に影響が大きく、分離性とも密接に関係する締固め条件が各シリーズで異なるので、シリーズ内での比較に限った。シリーズ内の締固め条件も定量的ではないが、各調合に対し最適と思われる振動時間 (挿入パイプレータ) を原則とし、その他打設深さの分割などは一定とした。結果の比較は、すべて各シリーズで標準とした適当なワーカビリティをもつN (普通軟練AEコンクリート) の変動係数を1とした変動係数比のヒストグラムで表すことを行なった。

フレッシュコンクリートの諸特性については現場での測定値や諸記録により比較し、変動係数の比較と対応させて検討した。ブリージング試験は打設と同時に採取し同条件に置いた容器 (φ15×30型枠使用) によった。

表-1 各シリーズの相違点

シリーズ	壁巾 (cm)	配筋 (mm)	* コア数	試験村令 (個)	打設手段
I	240	半分・無筋 半分-D16、ダブル@150-250	3.6	7	バケット
II	190	D10、ダブル@200-300	2.0	6	ポンプ
III	220	D10、シングル@300	3.5	6	バケット
IV	220	D10、シングル@300	3.0	5	バケット

\*一壁体当たり シリーズIVは実構造物調査

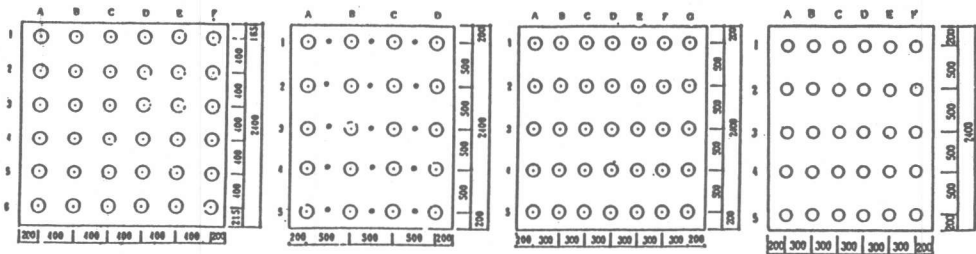
表-2 モデル壁体の概要とフレッシュコンクリートの性質

シリーズ	略号	種類	w/c (%)	砂率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	減剤	混和剤	骨材最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	ブリージング率 (%) *3	沈下量 (mm) *4	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )					
						*1	*2						コア	供試体 *5				
I	N	標準	61.0	48.7	196	0.725	—	20	21.0	3.9	1.01	17.5	239	255				
	N'	non-AE	68.6	49.0	221	—	—						21.0	1.2	1.46	19.8	204	201
	B	ベース	61.0	48.7	175	0.725	—						12.0	4.0	0.62	2.3	212	226
	F	流動化	61.0	48.7	175	0.725	0.35						21.0	4.4	0.89	12.7	247	239
	F'	流動化	61.0	48.7	175	0.725	0.45						23.5	4.2	0.82	11.3	223	219
						(kg/m <sup>3</sup> )	(L/m <sup>3</sup> )											
II	N	普通軟練	62.3	45.1	188	0.107	—	40	18.0	4.1	0.63	1.6	310	268				
	N'	普通参考	58.6	42.9	172	0.105	—						17.0	5.0	0.68	4.0	291	259
	B	ベース	60.5	45.5	169	0.100	—						10.0	5.4	0.66	1.2	334	298
	S	造殻混練	60.6	45.3	172	0.100	—						7.5	3.6	0.18	0.6	342	320
	F	流動化	59.1	45.7	164	0.100	1.045						19.5	4.8	1.01	3.6	296	247
	SF	造殻流動化	61.9	45.1	173	0.100	1.435						18.5	4.5	0.24	2.7	323	298
						(L/m <sup>3</sup> )	(L/m <sup>3</sup> )											
III	N	普通軟練	57.0	44.8	189	0.830	—	40	19.0	3.9	0.44	0	268	286				
	C	分離低減	57.0	44.8	189	0.830	0.664						16.0	4.1	0.06	0	238	268
	Hh	高強度軟練	37.5	38.2	188	1.335	—						17.5	4.1	0.33	0	415	441
	Hm	高強度中練	37.5	34.6	173	1.155	—						7.5	4.2	0.11	0	412	471
						(L/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )											
V	N	普通軟練	57.0	44.7	190	0.167	—	25	16.0	5.4	0.02	0	195	168				
	C	分離低減	57.0	44.7	190	0.167	0.666						18.0	4.8	0	0	242	259
	C'	分離低減	57.0	44.7	190	0.167	0.999						20.0	3.1	0	0	209	229
						(L/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )											

\*1 I-ワグニス系減剤、II-天然樹脂系減剤、III-ワグニス系減剤、ポリオール複合体、V-天然樹脂系減剤  
 \*2 I-流動化剤(高縮合芳香族、スルホン酸系複合物)、II-流動化剤(クマリン系ワグニス系減剤)  
 III-分離低減剤(モノステアール)、消泡剤 332(g/m<sup>3</sup>)、V-分離低減剤 c: 消泡剤 222(g/m<sup>3</sup>) c': 消泡剤 333(g/m<sup>3</sup>)  
 \*3 ブリージング率 =  $\frac{\text{コンクリート表面におけるブリージング水の総量 (cm<sup>3</sup>)}}{\text{打設直後のコンクリートの容積 (cm<sup>3</sup>)}} \times 100 (\%)$  (ここではJISと異なる表示)  
 \*4 24時間後壁体最上部の打設時よりの沈下量の平均 (6~8点測定)  
 \*5 I-現場水中養生(7H)、II-標準養生(4W)、III-現場水中養生(6W)、V-現場水中養生(5W) いずれも3個の平均

表-3 試験項目と測定位置

	位置	試験項目		位置	試験項目
I	A、C、E	引張強度 圧縮強度、密度、動弾性係数、反発硬度	III	A、D、F	圧縮強度、 引張強度、 密度、 反発硬度
	B、D、F			B、C、E	
II	B、D	引張強度 圧縮強度、密度、動弾性係数 反発硬度 鉄筋付着強度	V	A、C、E	引張強度、 圧縮強度、 密度、 動弾性係数、 反発硬度
	A、C A、D			B、D、F	



### 3. 結果と考察

#### 3. 1. 各調合のワーカビリチーの比較

まず、硬化後の品質変動の直接的要因と考えられる分離に対する抵抗性を中心に各調合のワーカビリチーについて、シリーズごとに比較検討しておきたい。

いずれも適度のワーカビリチーを持った軟練AEコンクリート(N)を標準とする。

分離抵抗性の指標としては、表-2のブリーディング、各壁体最上部表面の沈下量、図-1のスランプ試験におけるスランプとフローの関係などを、また流動性については図-1を、それぞれ参考とした。

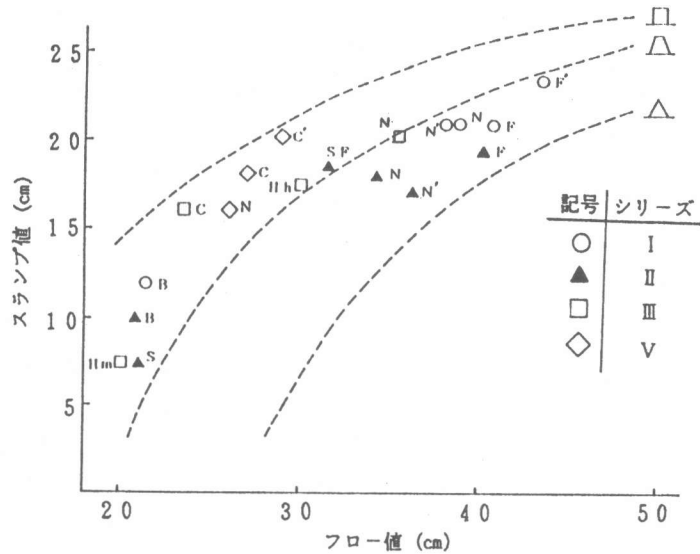


図-1 試験におけるスランプとフローの関係

またフレッシュ時様相の観察記録と写真も用いた。

〔シリーズ I〕 N' は N に対し同じ軟練りであるが、non-AE としたため、分離し易く、粗骨材が砕石であることと単位水量の増加とがこれを助長する。ブリーディングは N の約 1.5 倍で、壁体最上部の沈下量も約 20mm を示し、本シリーズ中最大を示した。スランプとフローの関係には差がない。B は流動化用ベースのため、通常の中練より砂率を高くしてあるので粘性が高く、当然、軟練の N より分離抵抗性は高い。スランプ・フローの関係はこれを示し、ブリーディングも N の半分近くまで減じている。F は後添加により B を流動化したもので、流動性は増すが、やや分離し易くなる。F' は同じく B を流動化したもので流動化剤の過剰添加の影響を調べようとしたものであるが、増加巾が標準の 1.3 倍と小さかったため分離性の差異はみられなかった。ブリーディングは、F、F' とともに B より大きい、同スランプの N より小さく、流動化による減水効果がみられる。

〔シリーズ II〕 N' は、N と同じ軟練り AE コンクリートであるが、砂率を低くしたため分離し易くなり、ブリーディングはやや大きい程度であるが沈下量は約 2 倍を示した。供試体と異なり、壁体では圧密により砂分の少ないモルタルのブリーディングが助長されたと考えられる〔6〕。スランプ・フローの関係にも分離傾向が表れている。B は流動化のベースで、通常の中練より砂率が高いため、粘性が増し、スランプのわりにフローが小さい。S は、B とほぼ同調合であるが、砂粒子の表面水を一定にし投入水を 2 段階として練った砂造殻コンクリートであり、B より分離抵抗性が高くなりブリーディング・沈下ともに顕著に減じたが、スランプも低くなった。F は B を流動化したもので、ブリーディング・沈下ともに大きくなったが、流動性は N より高くなった。S F は、B を流動化かつ造殻化したもので、ブリーディングの助長効果と抑制効果とが相殺され、両手法の特徴が示された。

【シリーズ III】 Cはセルロースエーテルを分離低減剤として消泡剤とともにNに添加したもので、ブリージングはほとんどなくなるが、流動性はやや低くなった。Hbは高強度軟練であり、Hmは高強度中練である。ブリージングはNに比べ、Hbは2/3、Hmは1/4と減じた。流動性はN、Hb、C、Hmの順に高い。

【シリーズ V】 CはNにセルロースエーテルと消泡剤を添加したものであり、C'はセルロースエーテルと消泡剤をCの1.5倍添加したものである。ブリージングは、Nも小さいが、C、C'ともに全くみられず分離抑制効果がみられる。

### 3. 2. 圧縮強度の変動について [図-2]

【シリーズ I】 Nに対してN'はやや大きく、Bはやや小さくなっており、前項で述べた分離傾向と対応している。FとF'はNよりやや小さく、Bよりやや大きいが、大差はない。これも分離傾向と対応し、流動化による改善が認められる。

【シリーズ II】 N'はNよりかなり大きく、壁体にみられた大きな沈下量からブリージング・チャンネルや骨材下面の欠陥など内部構造の変化が推察される。S、F、SFはいずれもNを下廻り、Sの分離低減、Fの流動化、およびSFにおける両者の相加的な効果と思われる。分離抵抗性の他に流動性の影響も考慮する必要がある。

【シリーズ III】 CはNを下廻り、分離低減効果が認められるが、高強度のHm、HhともにNより変動が大きい。この後者の説明はつきにくいだが、これは圧縮強度についてのみみられる傾向である。

【シリーズ V】 C、C'ともにNを下廻る傾向にあり、分離低減効果が認められよう。

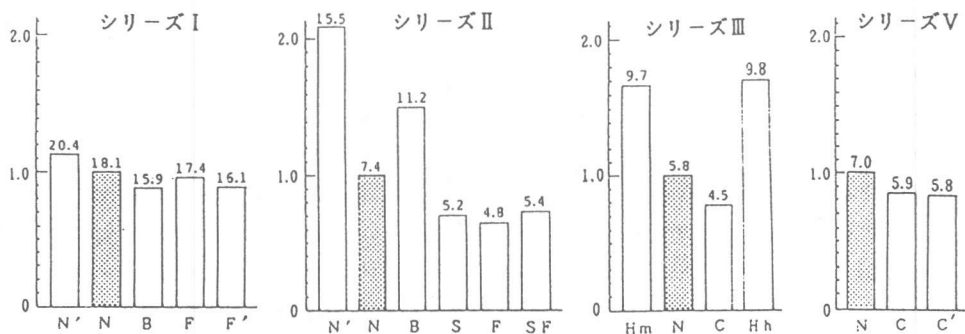


図-2 圧縮強度の変動係数の比較 (調合Nの変動係数を1とした場合)

### 3. 3. 引張強度の変動について [図-3]

【シリーズ I】 分離傾向の大きいN'がNをやや下廻っているのは説明がつかないが、分離抵抗性の大きいBはNを下廻り、分離性の上でNとBの間であったF、F'はここでも中間を示す。圧縮の場合と比べて変動係数に大差がないのは、コアを水平方向に採取しているので、分離に起因する骨材下面の欠陥が圧縮試験結果にも敏感に表われやすいためであろう [5]。

【シリーズ II】 Nに対しN'は上廻り、Bは下廻っている。ブリージングは大差なかったが、沈下量にみられた分離性やスランプ・フローにみられた粘性の違いによるものと思われる。SはNよりやや低く、ブリージング・沈下共に減じた割りには差が小さいのは、流動性が小さくなったためであろう。この点で、ブリージングの大きいFが最小を示しているのは、流動性の影響の大きいことを示唆している。

〔シリーズ III〕 HhはNを下廻り、Hmはさらにこれを下廻っている。HhはNと単位水量は等しいがセメント量が多いため粘性が増し、分離抵抗性が高くなったと考えられ、HmはNより単位水量も水セメント比も減じたため分離抵抗性はさらに増したと考えられる。Cは最小となった。分離低減剤の効果であろう。調合はNと同じであるが、軟練のまま中練のHmと同等の効果が得られた。

〔シリーズ V〕 圧縮強度の変動傾向と同じで、分離低減効果が認められる。この場合、セルロースエーテルの添加量を変えてみたがセメント重量の0.2%で十分のようである。

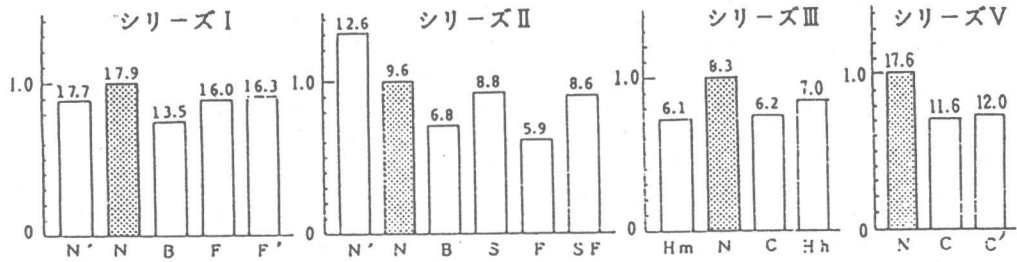


図-3 引張強度の変動係数の比較 (調合Nの変動係数を1とした場合)

### 3. 4. 水平鉄筋引抜着強度の変動について [図-4]

図-4中に、壁体最上部の打設24時間後の沈下量の比(Nの沈下量を1とする)を合わせて示したが、この大小関係と変動の大小関係は傾向的によく一致している。水平鉄筋は固定されているので、その付着強度にはコンクリートの沈下性状が直接的に影響するからであろう。B-S-F-SFの関係は分離低減や流動化の効果をよく示しているよう。

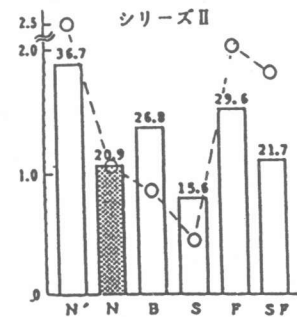


図-4 鉄筋の付着強度の変動係数の比較 (調合Nの変動係数を1とした場合)

### 3. 5. 強度以外の物理的性質の変動について

強度以外の物理的性質の変動の比較については、コアの密度を図-5、コアの動弾性係数を図-6、現位置の非破壊試験のうち反発硬度を図-7に示す。大きくみて、フレッシュ時の分離抵抗性の高いコンクリートほど変動係数が小さい傾向が認められる。各シリーズに共通して、諸強度の変動が各コンクリート間のフレッシュ時の分離性の差に対して敏感であるのに対して、強度以外の物理的性質の変動はそれに鈍感であるといえよう。フレッシュ時の分離が硬化コンクリートの内部構造に与える変化に強度の持つ構造敏感性が対応したと考えることができる。

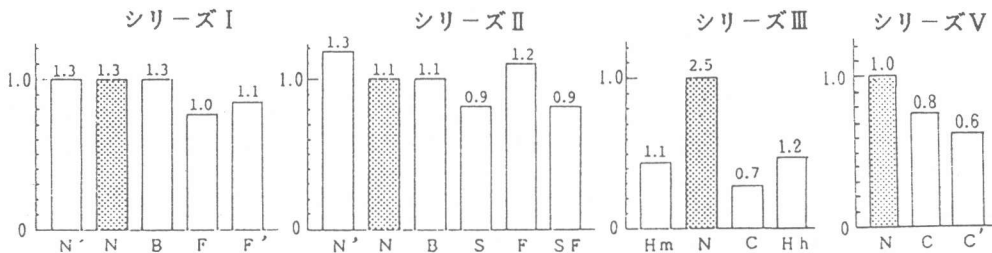


図-5 密度の変動係数の比較 (調合Nの変動係数を1とした場合)

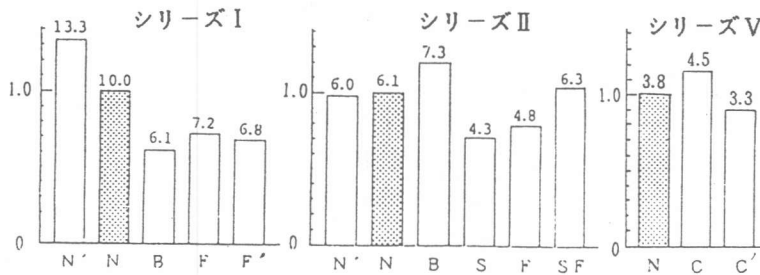


図-6 動弾性係数の変動係数の比較 (調合Nの変動係数を1とした場合)

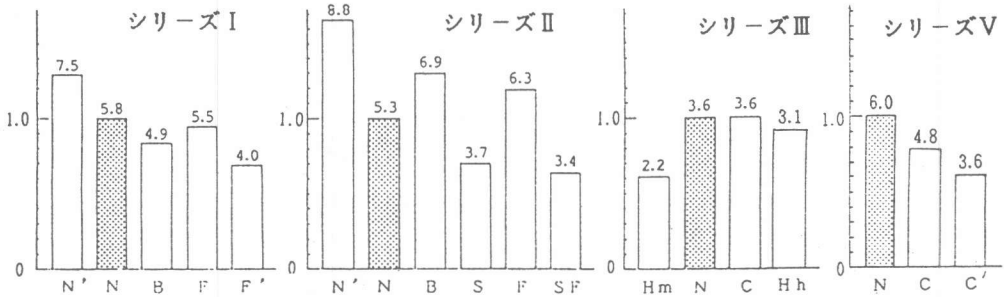


図-7 反発硬度の変動係数の比較 (調合Nの変動係数を1とした場合)

#### 4. 結 語

4シリーズにわたる実大モデル構造物実験において、各種コンクリートの分離性と品質変動との関係を比較検討した結果から次のように言えよう。

各シリーズにおける諸物性の変動係数の、コンクリート種類による差異に共通する傾向は以下のようなものである。

- (1) フレッシュ時に分離性の大きいコンクリートほど、硬化後の諸物性の変動係数が大きい。
- (2) セルローズエーテル添加や造殻混練などの分離低減の為の手法や流動化工法は、構造物コンクリートの品質変動の改善に効果がある。

なお、今後の課題として、まだ固まらないコンクリートの流動性と分離抵抗性との兼ね合いを総合的に評価できるシステムの開発が必要であると考える。

#### ■ 謝 辞

各シリーズにおける共同研究者の各位や実験にご協力いただいた方々に深甚の謝意を表す。なお、シリーズI、IIは昭和55年～56年度文部省科学研究費の助成を受けたものである。

#### ■ 文 献

- (1) 十代田、横尾、小林：構造物モデルによるコンクリートの異方性調査、JCI年次講演会論文集、9回、pp 139～144, 1987.
- (2) Soshiroda, T. et al.: Effects of cellulose ether on homogeneity of concrete in structures, Adhesion between Polymer and Concrete, Chapman and Hall, pp 125～133, 1986, London
- (3) 横尾、十代田、小林：鉄筋コンクリート造建物の一調査報告、建築学会大会学術講演梗概集、pp 613～614, 1987.
- (4) 十代田：コンクリートの異方性に関する研究 (XV)、建築学会大会学術講演梗概集、pp 491～492, 1987.
- (5) 十代田、野崎、中山：流動化コンクリートの均質性、JCI年次講演論文集、3回、pp41～44, 1981.
- (6) 十代田：コンクリート品質の上下差の要因に関する一考察、材料研究連合講演会、26回、pp 75～76, 1982.