

## [2] 材料分離が流動化コンクリートの硬化後の諸性質に及ぼす影響

正会員○島 弘 (徳島大学 大学院)  
 正会員 水口裕之 (徳島大学 工学部)  
 和田寿夫 (旭コンクリート工業)  
 正会員 河野 清 (徳島大学 工学部)

### 1. まえがき

コンクリートの均等性がそこなわれる材料分離は、施工中に起こる骨材、主として粗骨材の分離と打込み後に生ずるブリージングとに大別できる。コンクリートは、比重および粒子の大きさがかなり異なる材料の集合体であるので、材料分離を起こしやすく、これを完全になくすことは不可能である。とくに、施工性の改善を目的として、最近多く使用されるようになった流動化コンクリートは、材料分離を生じやすいといわれている。

したがって、材料分離による影響を考慮して、より合理的にコンクリート構造物を設計するためには、硬化したコンクリートの性質に及ぼす材料分離の影響を定量的に調査する必要がある。

ブリージングが硬化したコンクリートの性質に及ぼす影響に関する研究は古くから行われておらず、また振動締固めによる粗骨材の分離の影響も研究されている。しかし、これらの研究は、ブリージングあるいは粗骨材の分離の一方だけの影響に関するものであり、ブリージングおよび粗骨材の影響を同時に定量的に研究したものはほとんど見あたらないようである。

本研究は、流動化コンクリートを対象として、ブリージングおよび粗骨材の分離の程度を変化させた壁状供試体を製作し、材料分離が硬化したコンクリートの諸性質に及ぼす影響を調査、検討したものである。

### 2. 実験の概要

#### 2.1 実験条件

ブリージングの程度は、コンクリートの単位水量を2種、すなわちベースコンクリートのスランプを8および12cmに変えて変化させた。粗骨材の分離の程度は、締固めの振動時間を4水準により変化させた。分離を生じさせないもの(突き棒)、大きな気泡が残らないようにした適切な振動締固めおよび2種の過剰振動締固めとした。さらに、ブリージングおよび粗骨材の分離の両方の程度を相違させるために、打込み高さを30, 60および90cmに変えた。これらの実験条件およびその組合せを表-1に示す。

供試体は水平断面が10×40cmの壁状のものとし、これを図-1に示すように高さ方向に10cm間隔で水平に切断し、各高さにおける性質の変化を標準供試体と比較して検討した。測定項目は、ブリージング、粗骨材の分離の程度、圧縮強度、引張強度、曲げ強度、静ヤング係数、動ヤング係数およびポアソン比とした。

#### 2.2 使用材料および配合

プレーン値3170cm<sup>3</sup>/g、比重3.15の普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、粒度曲線が土木学会の標準粒度範囲のほぼ中央を通るように、陸砂と川砂とを混合して、粗粒率を2.65、0.3mm以下の割合を22%としたものを用いた。粗骨材は、最大寸法25mm、比重2.60の硬質砂岩碎石を、粒度曲線が土木学会の標準粒度範囲のほぼ中央になるように粒度調整し、粗粒率7.00としたものを用いた。混和剤は、標準形の減水剤、AE助剤およびナフタリン系の流動化剤を用いた。

流動化コンクリートは、ベースコンクリートに単位セメント量の0.50%の流動化剤を加えて、スランプ増大量を8cmとしたものとした。細骨材率は、スランプ試験で破壊スランプとならないように決定した。コンクリート中の0.3mm以下の細粒量は、ベースコンクリートのスランプ値が8および12cmのもので、それぞれ470および498 kg/m<sup>3</sup>とした。これらのコンクリートの配合は、表-2に示す。

#### 2.3 実験方法

流動化コンクリートは、練

表-1 実験条件

スランプ値 SL (cm)	打込み高さ H (cm)	振動時間 VT (s)
8→16	30	0,20,30,40
	60	0,25,45,65
	90	0,30,50,70
12→20	30	0,10,15,20
	60	0,15,25,35
	90	0,25,32,40

表-2 コンクリートの配合

MS (mm)	スランプ値 (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (ml/m <sup>3</sup> )		
					W	C	S	G	減水剤	AE助剤	流動化剤
25	8→16	5.0	60	47	172	287	834	950	287	21	1435
	12→20			50	185	308	863	868	308	26	1540

り混ぜ終了後、5分間静置したベースコンクリートに流動化剤を添加し、30秒間練り混ぜて製造した。粗骨材を分離させない供試体は、コンクリートを高さが約10cmの多層に分けて打込み、各層を25回 $\pm$ 16mmの突き棒で締固め成形した。他の供試体は、コンクリートを一層で打込み、振動数10800rpm、最大加速度14gの振動台で締固め成形した。同一条件の供試体を複数製作し、1本はブリージングおよび粗骨材の分離の程度の測定用、残りは硬化後の性質の測定用とした。標準供試体としては、JIS A 1132の突き棒を用いる方法に従って、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ のはり供試体を作製した。

締固め直後から約10分間隔で、壁状供試体のブリージング量を測定した。ブリージング終了後、1本の供試体の各高さの試料を5mmふるい上で水洗し、乾燥後5~10および10~25

残りの供試体は、材令28日まで $20\pm2^{\circ}\text{C}$ で湿布養生を行い、図-1に示すように、 $10\times10\times40\text{cm}$ のはり供試体あるいはこれを2等分した $10\times10\times20\text{cm}$ の角柱供試体に切断して、硬化後の性質を測定した。圧縮強度および引張強度は、角柱供試体および曲げ強度を測定したはり折片を用いて、応力が打込み方向と垂直となるようにして行った。引張強度は、岸谷ら<sup>1)</sup>の研究で最もばらつきが小さい幅10mmの平鋼を荷重治具として、割裂試験で求めた。はり供試体を用いてJIS A 1106による曲げ強度、角柱供試体を用いてJIS A 1127による動ヤング係数、ASTM C 469に従って静ヤング係数およびポアソン比を測定した。

### 3. 実験結果および考察

### 3.1 粗骨材の分離およびブリージングの程度

粗骨材の中で、振動締固めによって沈降するのは、10~25mmの粒子であるので<sup>2)</sup>、粗骨材の分離の程度の指標には、10~25mmの骨材の変化量を用いた。供試体の各高さにおける10~25mmの骨材量の変化を、示方配合の値に対する比で表し、図-2に示す。10~25mm骨材の変化量は、供試体の最上部が最も大きく、最下部がその次に大きくなっている。10~25mmの骨材量は、高さが30cmの供試体では上部で大きく変化しており、60cmでは中央の位置でほとんど変化がなく、90cmでは中央の約30cmの範囲は変化していない。振動による骨材の移動には限界があり、打込み高さが高いものでも、骨材量の変化は上部および下部の約30cmの範囲だけで生じる結果となっている。

これより、各供試体の粗骨材の分離の大きさは、 $10\sim25\text{mm}$ 骨材量比の最上部と最下部との差で表すこととし、各条件と粗骨材の分離との関係を図-3に示す。スランプの大きいコンクリートの方が大きな粗骨材の分離を生じているが、スランプの大きいコンクリートを適切な時間で締固めたときの分離の大きさは、スランプの小さいコンクリートを過剰に締固めたものより小となっている。供試体高さが高いほど分離は大となっているが、これも高さの低い供試体を過剰に締固めた方が、高い供試体を適切に締固めたものより分離は大きくなっている。したがって、粗骨材の分離の大きさは、スランプあるいは供試体の高さよりも、振動時間が支配的な結果となっている。

粗骨材の分離がブリージング量に及ぼす影響を図-4に示す。ブリージング量は、振動締固めにより粗骨材の分離を生じた供試体の方が、突き棒により分離をさせないようにしたものより小さくなっている。粗骨材が分離していないときは、図-4(1)

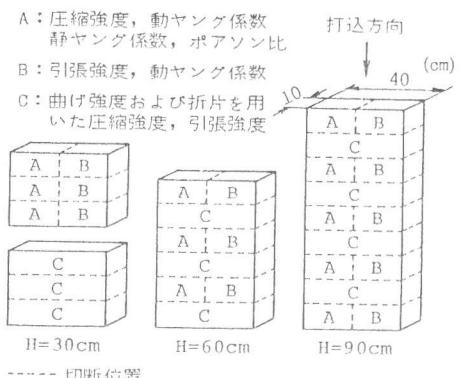


図-1 供試体および測定位置

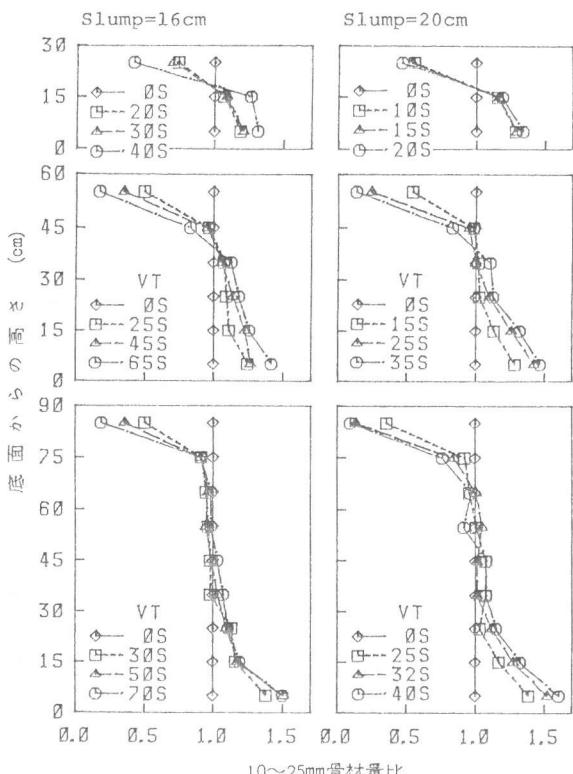


図-2 各高さにおける10~25mm骨材量の変化

に示されているように、ブリージング量は供試体高さに対して上に凸な曲線となっているが、ほぼ直線的に増加している。分離を生じさせた場合には、図-4(2)に見られるように、ブリージング量は供試体高さに対して下に凸の関係になり、高さが同じ供試体では振動時間の長いもの、すなわち粗骨材の分離を大きく起こし、上部にモルタル分が多くなったものほど大となっている。ブリージング速度は、ブリージング量と同様の傾向を示しているが、ブリージング終了時間は、実験条件によってあまり変化しない結果が得られている。

### 3.2 供試体の各高さにおける硬化コンクリートの性質

供試体の各高さにおける圧縮強度の標準供試体の値に対する比を図-5に示す。圧縮強度は、供試体の下半分では標準供試体よりも大きく、中央ではほぼ同じで、上半分では小さくなるように、ほぼ直線的に変化している。この傾きは、スランプの大きいコンクリートが大きく、スランプが同じであれば、供試体の高さにかかわらずほぼ一定となっている。したがって、供試体の高さが高いほど、上部における強度低下が大きい。しかし、高さ60および90cmの供試体で粗骨材の分離を起こしたものでは1, 2の例外を除くと、強度が最上部で再び大きくなり、上端から20あるいは30cmで強度が最も小さくなっている。引張強度も同様の傾向を示している。コンクリートの圧縮強度や引張強度が小さくなるのは、粗骨材粒子の下面にブリージング水がたまり、その水隙が弱点となることが考えられる。これによると、粗骨材の分離を起こして粗骨材粒子が少なくなった供試体上部は、下部から上昇してくるブリージング水が多いにもかかわらず、強度は低下しないことになり、測定結果と一致する。

ここで、(1) ブリージング水量は、考へている点から下のモルタル量に比例する。(2) 図-5の結果から、粗骨材が分離を起さずにブリージングのみが強度に影響する場合には、供試体の半分の高さの位置では標準供試体に対して強度変化がない。という2つの仮定をし、供試体の任意の高さにおける強度低下は下部から上昇してくるブリージング水量およびその位置の粗骨材量に比例するというモデルを考えると、底面からの高さ $y$ における強度比 $R(y)$ は

$$R(y) = 1 - m \cdot M(y) \cdot G(y) + C$$

となる。ここで、

$M(y)$  :  $y$  から下の10mm以下の骨材をも含めたモルタル量( $m^3/m^3$ )で、10~25mm骨材量の分布から求まる。  $G(y)$  :  $y$  における10~25mm骨材量比。

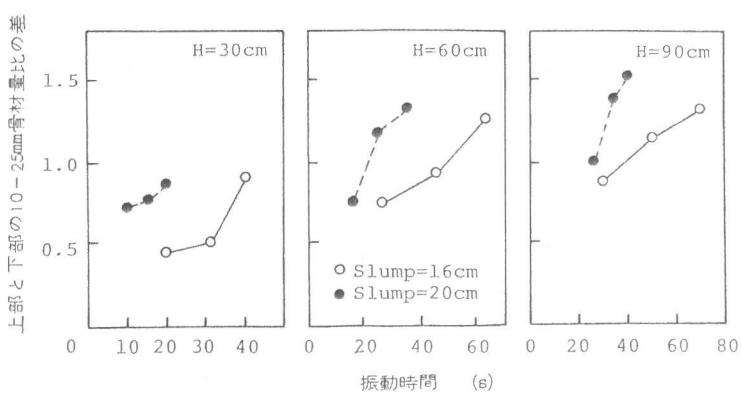


図-3 各供試体の10~25mm骨材の分離の大きさ

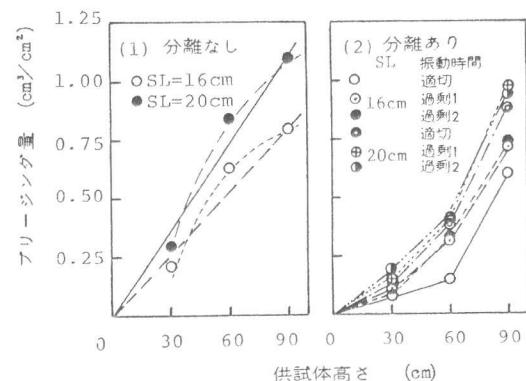


図-4 粗骨材の分離とブリージングとの関係

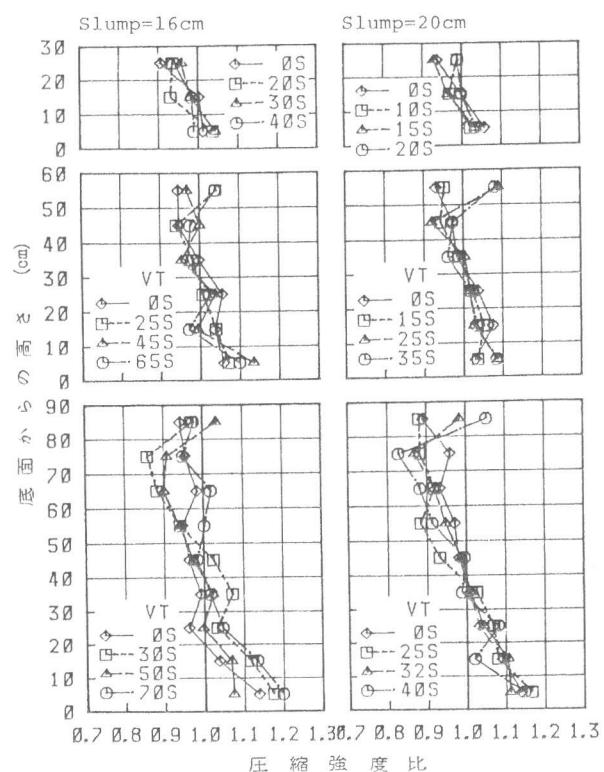


図-5 各高さにおける圧縮強度の変化

$m = k \cdot B$  :  $B$ は配合から決まる係数で、単位体積当たりのコンクリートのブリージング量すなわち図-4(1)の直線の傾きである。 $k$ はブリージングが強度低下に及ぼす影響の度合を表す係数で、本実験では  $k=4.5$  となる。 $C$  : 供試体の高さおよび  $B$ から決まる係数であり、供試体の高さを  $h$ (m)とすると、 $C = 1.58 \times B \times h \times 10^{-6}$  となる。これによると、コンクリートの強度分布が、配合の違いによるブリージングの程度および供試体の高さをパラメーターとして 10~25mm骨材の分離の程度で表せる。本実験の材料分離の程度から、このモデルを用いて強度分布を求めたものの一例を図-6に示す。

図-7および図-8は、実測した圧縮強度比および引張強度比に対するモデルの適合性を示したものである。ばらつきはあるものの、強度分布はこのモデルで表すことが可能である。圧縮強度より引張強度のばらつきが大きい原因の一つとしては、割裂試験の結果のばらつきが大きかったことが考えられる。

ヤング係数および動ヤング係数は、圧縮および引張強度と異なり、供試体の上部ほど小さくなっている。これは、10~25mm骨材の分布とほぼ同様の傾向を示している。ヤング係数比と10~25mm骨材量比との関係は、図-9に見られるように、供試体の上部で粗骨材量が極端に小さくなってしまっても、ヤング係数はあまり大きく変化していない。また、動ヤング係数は、ばらつきも小さく、同様の傾向が得られている。

供試体の高さ方向の曲げ強度およびポアソン比の変化は、一定の傾向を示していない。

#### 4.まとめ

研究結果をまとめると、本実験の範囲では、次のとおりである。

- (1) 粗骨材の分離の程度は、スランプあるいは打込み高さより、振動時間による影響が大きい。
- (2) 打込み高さが高いときには、粗骨材の分離の程度が大きくなると、ブリージング量も大となる。
- (3) 粗骨材の分離のない供試体の圧縮強度および引張強度は、高さ方向にほぼ直線的に変化するが、粗骨材が分離すると、上端よりいくらか下の部分で最も小さくなり、最上部はそれよりも強くなる傾向がある。
- (4) 材料分離を起こした壁状供試体の圧縮強度および引張強度の分布は、コンクリートの配合によるブリージングの程度および粗骨材の分離の程度を用いてモデル化できる。
- (5) ヤング係数および動ヤング係数は、供試体の下部ほど大きく、10~25mm骨材量の変化と相関がある。
- (6) 曲げ強度およびポアソン比に及ぼす材料分離の影響は、一定の傾向を示していない。

#### 【参考文献】

- 1) 岸谷ら：日本建築学会論文報告集，No.224, 1974, pp.1-8.
- 2) 島ら：セメント技術年報, Vol.36, 1982, pp.321-324.

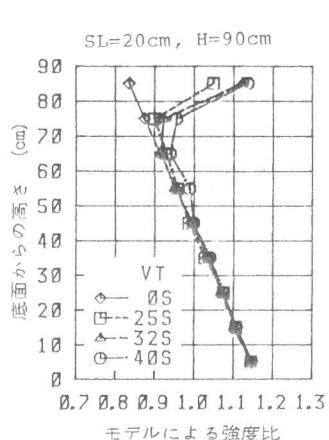


図-6 モデルによる強度比

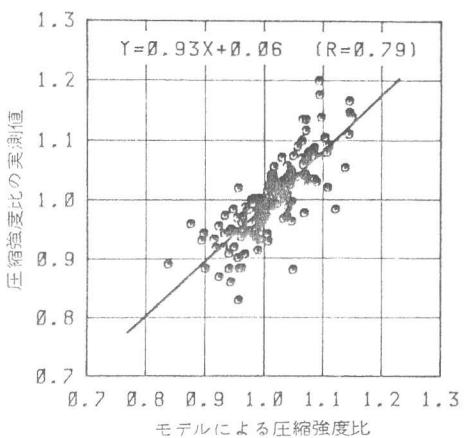


図-7 圧縮強度に関するモデルの適合性

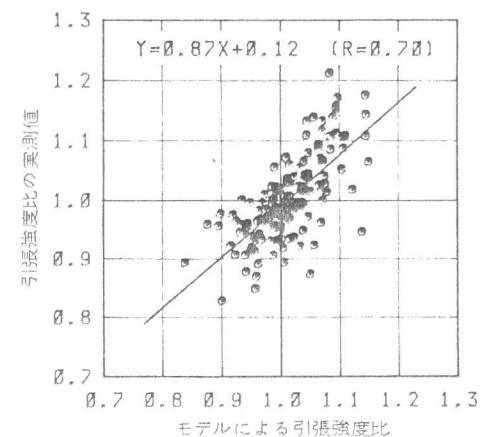


図-8 引張強度に関するモデルの適合性

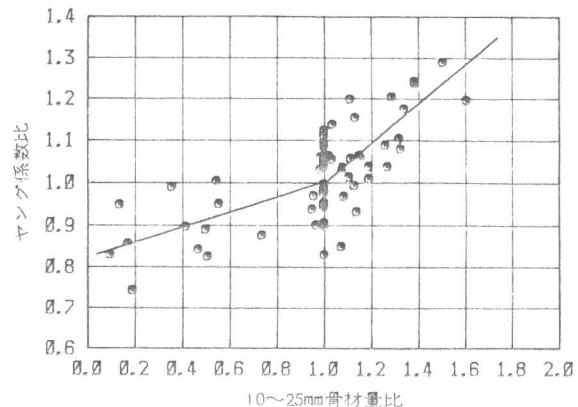


図-9 ヤング係数と10~25mm骨材量比との関係

粗骨材の分離のない供試体の圧縮強度および引張強度は、高さ方向にほぼ直線的に変化するが、粗骨材が分離すると、上端よりいくらか下の部分で最も小さくなり、最上部はそれよりも強くなる傾向がある。