

論文

[1063] 超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に関する一考察

正会員○近松竜一 (大林組技術研究所)

正会員 竹田宣典 (大林組技術研究所)

正会員 十河茂幸 (大林組技術研究所)

1. 序

近年、コンクリート工事における省力化・合理化を目的として、流動性に優れたコンクリート(以下、超流動コンクリートと呼称)に関する研究が活発に行われている[1][2][3]。

超流動コンクリートの重要な用途の一つとして、過密配筋下などの狭あいでの締固めが困難な部位における充填性の向上が考えられる。この場合、充填性の良否は、部材形状・寸法、配筋状態および打設方法等の施工条件と、コンクリートの流動特性との兼合いによって評価されることはいうまでもない。ところが、コンクリートの充填性に及ぼす各種配合要因および流動特性の影響については不明な点も多い。

著者らは、既に打込み・締固め作業における打設の容易さを左右するフレッシュコンクリートの特性について実験的検討を行い、打込みやすさは、均質な状態での流動性に関する広がり能力『変形ポテンシャル』および時間的依存性『変形速度』と、流動に伴う『分離抵抗性』を併せて評価する必要があること、また、変形ポテンシャルが大きくなるほど流動に伴う材料分離が生じやすくなる傾向にあることを明らかにした[4]。しかし、充填性に着目した場合のコンクリートの閉塞と分離抵抗性の関係については未だ定量的な評価がなされていない。

本論文は、流動特性の異なる各種配合のコンクリートを対象として、開口部の諸条件を変えた試験装置を用いた流下試験を実施した結果をもとに、開口間隔が小さく狭あいな部位への充填性に着目した場合の超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に関して考察を加えたものである。

2. 実験概要

実験に用いた各種材料の性質を表-1に示す。セメント以外の鉱物質微粉末には、主に石灰石微粉末を用い、一部の配合では、フライアッシュおよびシリカフェームを使用した。粗骨材は最大寸法20mmの碎石を用いた。

コンクリートの製造には、バグミル型二軸強制練りミキサを用い、練りませ量は100ℓ/バッチとした。練りませ方法は、各種微粉末

表-1 実験に用いた材料および物性

	種類	略号	比重	比表面積, 主成分など
微粉末 (P)	高炉セメント B種	C ₁	3.00	比表面積:3680cm ² /g 比表面積:3790cm ² /g スラグ:55% 比表面積:4250cm ² /g スラグ:55%
		C ₂	3.04	
		C ₃	3.04	
	フライアッシュ シリカフェーム	Fa	2.27	比表面積:3760cm ² /g 平均粒径: 0.15 μm, 非造粒タイプ
		Sf	2.20	
	石灰石微粉末	Lf ₁	2.71	比表面積:7500cm ² /g 比表面積:5400cm ² /g
Lf ₂		2.71		
細骨材	陸砂 海砂	S ₁	2.60	粗粒率:2.65, 実積率: 70.0% 粗粒率:2.52, 実積率: 60.8%
		S ₂	2.54	
粗骨材	碎石2005 碎石2005	G ₁	2.64	粗粒率:6.82, 実積率: 60.6% 粗粒率:6.63, 実積率: 60.5%
		G ₂	2.63	
分離低減剤 高性能AE減水剤		SCA SPA	— 1.15	セルロースエーテル系 ナフタリン系

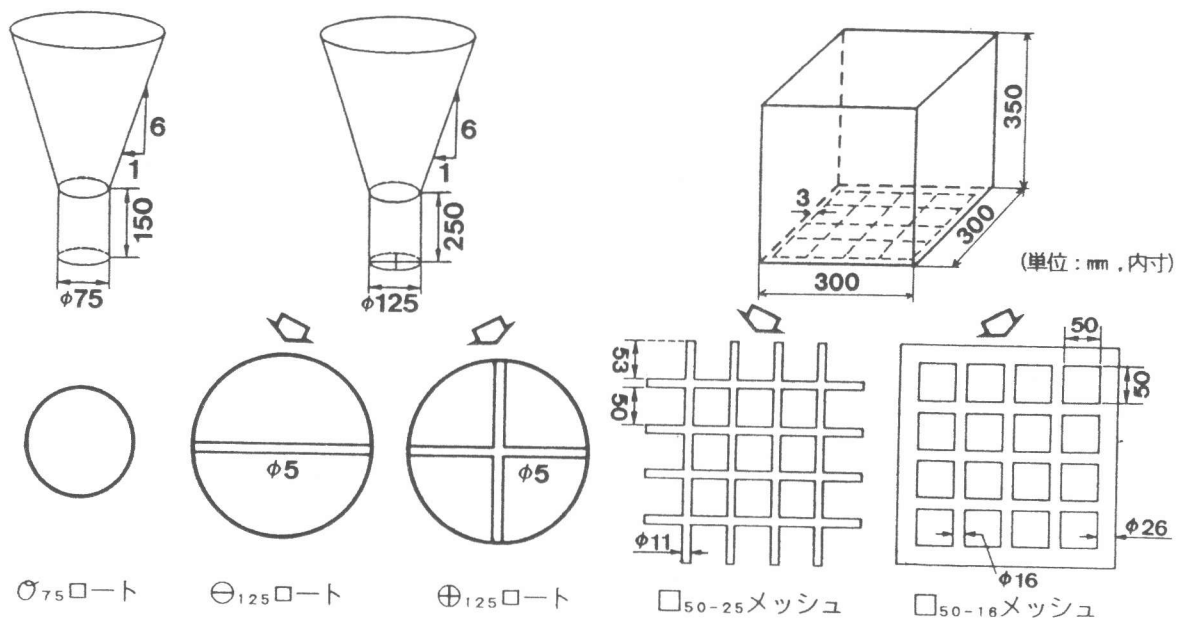


図-1 各種コンクリート流下試験装置

および骨材を投入後、60秒間空練りを行い、練りませ水を加えて120秒間練りませた。

本実験に用いた各種流下試験装置および寸法諸元を図-1および表-2に示す。また、流下試験以外の試験は、それぞれのJISに準拠した。

なお、予備試験より、練上り直後から15分程度まではスランプフローが増大し、以後60分程度までほぼ一定となる結果が得られた。そこで、練上り後15分間は静置しておき、コンクリートの性状が安定した後に各種試験を実施した。本実験に用いた各種超流動コンクリートの配合概要を表-3に示す。

表-2 各種流下試験装置の諸元

試験装置の名称	試料量 (ℓ)	開口数	開口部有効径 (mm)	開口率 (%)	開口部断面の形状
○ ₇₅ ロート	10	1	75	100	円
⊖ ₁₂₅ ロート	30	2	60	94	半円
⊕ ₁₂₅ ロート	30	4	50	89	1/4円
□ ₅₀₋₂₅ メッシュ	30	25	50	69	正方形
□ ₅₀₋₁₆ メッシュ	30	16	50	44	正方形

表-3 コンクリート配合の概要

試験項目	W/P (%)	w/p	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)		骨材種類	配合総数
				W	P		
各種ロート流下試験	27~55	0.76 ~ 1.58	34~56	150 ~ 185	300~600 C _{1,2} :300~500 Lf ₁ : 0~300	S ₁ G ₁	48
各種鉄筋メッシュ流下試験	29~36	0.85 ~ 0.95	43~51	169 ~ 185	517~603 C ₃ :400 Lf ₂ :117~203	S ₂ G ₂	5

3. 実験結果および考察 注) W/Pは重量比, w/pは容積比を示す。

3. 1 ○₇₅ロート流下試験による流動特性の評価

図-2は、水粉体容積比を一定とし、細骨材率を変化させたコンクリートの○₇₅ロート流下試験結果と単位粗骨材容積の関係を示したものである。

粗骨材容積が $360 \ell/m^3$ 程度以下の範囲では、3回の測定値のばらつきが小さく、流下時間はほぼ一定の値となった。しかし、粗骨材容積をこの値よりも増大させた場合には、流下時に骨材間のアーチングによる一時的な閉塞が生じ、測定値がばらつくとともに流下時間も増大する結果となった。

図-3は、粘性の程度が異なる3種類の配合について、高性能AE減水剤量によりスランプフローを50~70cmの範囲で変化させた場合の σ_{75} ロート流下時間を示したものである。各配合の流下時間は、フローの増大とともに僅かに低下する傾向が認められるものの、全般的には、フローの変動が流下時間に及ぼす影響は極めて小さいものと考えられる。

以上の結果より、 σ_{75} ロート流下試験は、コンクリートの流下性状の違いにより評価の対象となる流動特性要因が異なるものといえる。すなわち、コンクリートが一樣かつ連続的に流下する場合の流下時間は、変形ポテンシャルとは独立した粘性に起因する流動速度を評価する簡便な指標として用いることができ、一方、流下時に骨材のかみあいが生じる場合には、流動に伴う分離の度合を表現する尺度となるものと考えられる。

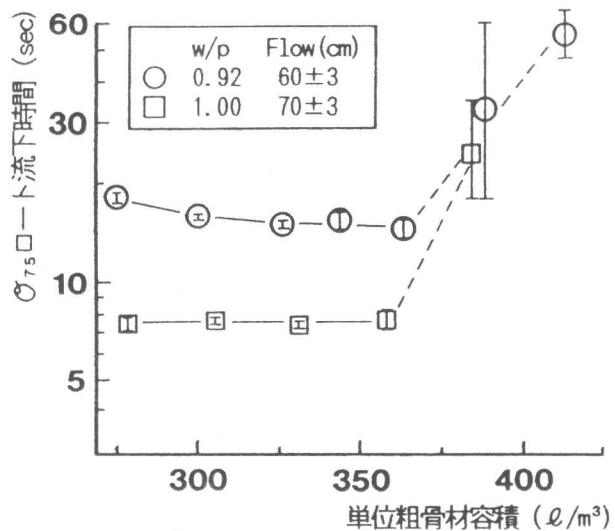


図-2 単位粗骨材容積と σ_{75} ロート流下時間

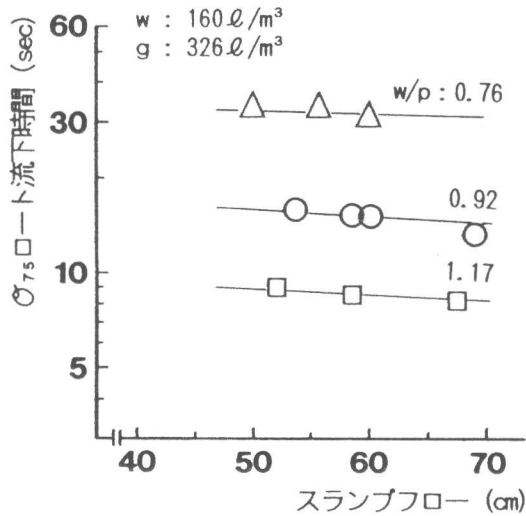


図-3 スランプフローと σ_{75} ロート流下時間

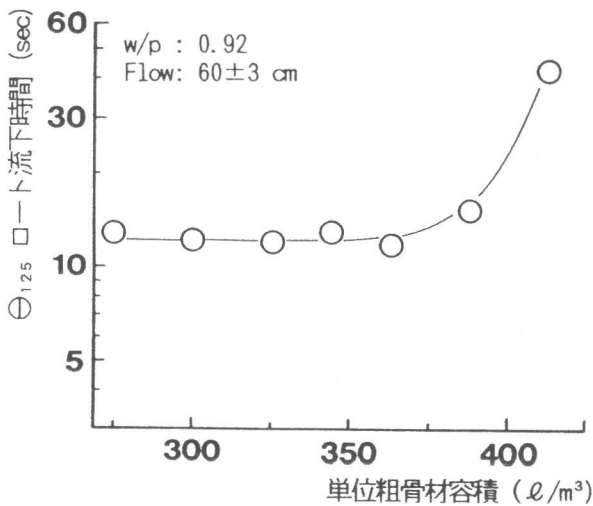


図-4 単位粗骨材容積と \oplus_{125} ロート流下時間

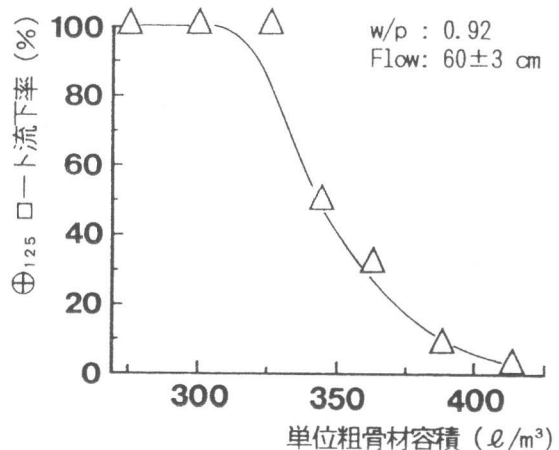


図-5 単位粗骨材容積と \oplus_{125} ロート流下率

3. 2 鉄筋障害流下試験による 分離抵抗性の評価

図-4および図-5は、ロート吐出部下端に鉄筋を配置した2種類のロート (\ominus_{125} および \oplus_{125}) を用いた場合のコンクリート流下試験結果を単位粗骨材容積との関係で示したものである。 \ominus_{125} ロートを用いた場合には、先の σ_{75} ロートの場合と同様な傾向を示し、粗骨材容積が 360 l/m^3 程度よりも大きくした場合には、流下時の局所的な閉塞により流下時間が増大する結果となった。これに対して、開口間隔をさらに小さくした \oplus_{125} ロートを用いた場合には、骨材のアーチングによってコンクリートが流下途上で完全に閉塞する場合も生じ、ロートから流下する試料の割合（以下、これを流下率と呼称）は、単位粗骨材容積の増大とともに減少する結果となった。

一方、図-6～図-8は、スランブフローが40～70cm程度の範囲で、各種の配合要因を変化させた超流動コンクリートの \oplus_{125} ロート流下試験結果を、 σ_{75} ロート流下時間との関係で整理し、単位粗骨材容積の水準毎に示したものである。単位粗骨材容積が 300 l/m^3 の場合には、いずれの配合のコンクリートも試料の全量が流下したのに対し、 350 l/m^3 とした配合では、いずれも流下途中で閉塞する結果となった。一方、粗骨材容積が両者の中間値 (326 l/m^3) の場合には、試料の流下率がコンクリートの粘性によって相違する傾向が認められ、 σ_{75} ロート流下時間が10～20sec の範囲では、スランブフローや配合によらず流下率が増大する結果となった。

以上の結果より、 \oplus_{125} ロート流下試験における試料の流下率に関しては、

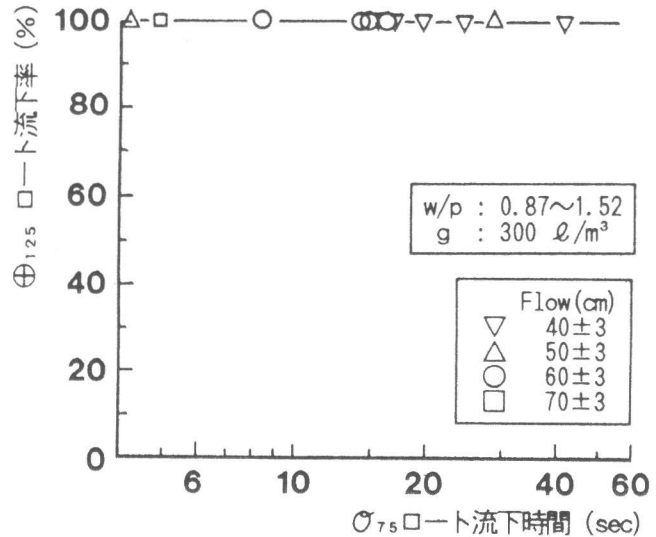


図-6 σ_{75} ロート流下時間と \oplus_{125} ロート流下率

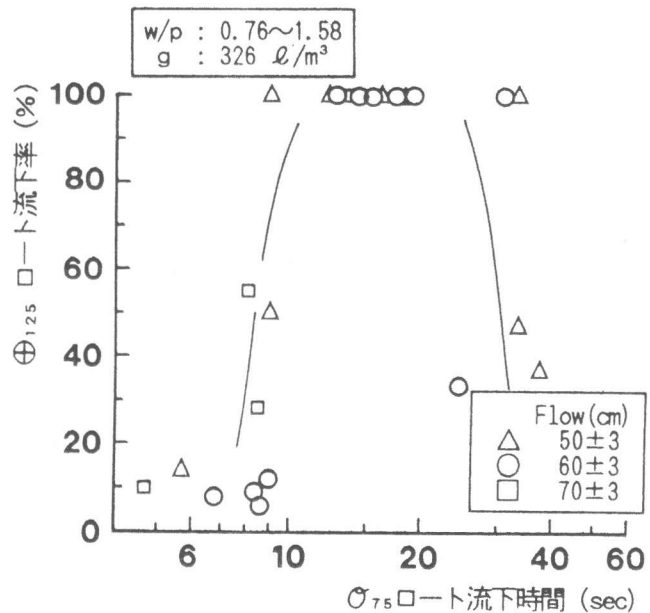


図-7 σ_{75} ロート流下時間と \oplus_{125} ロート流下率

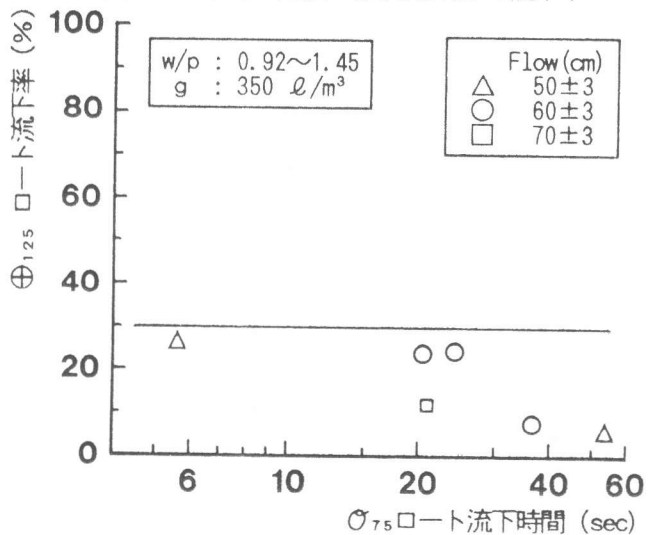


図-8 σ_{75} ロート流下時間と \oplus_{125} ロート流下率

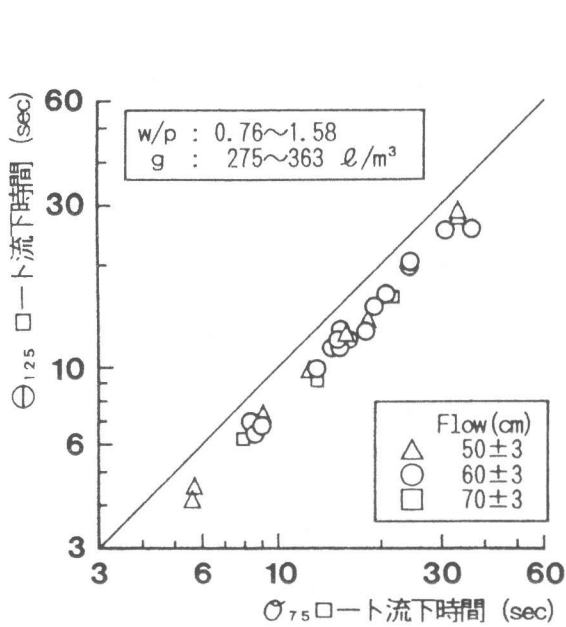


図-9 σ_{75} ロート流下時間と \ominus_{125} ロート流下時間

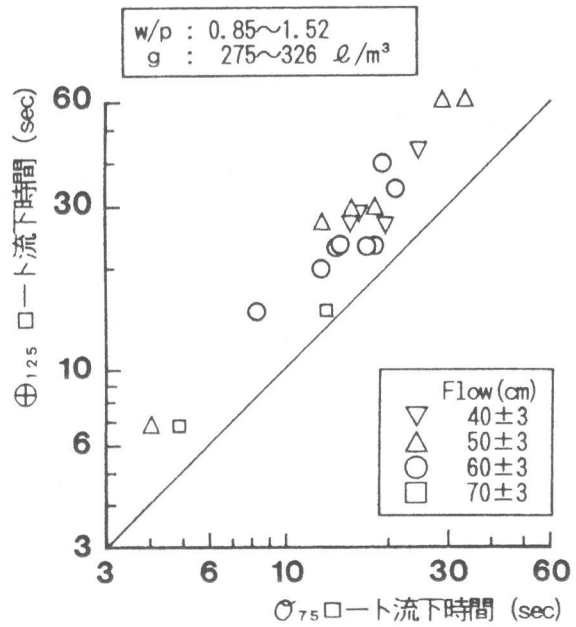


図-10 σ_{75} ロート流下時間と \oplus_{125} ロート流下時間

配合中の粗骨材量が最も支配的な要因となるものといえる。また、流下時の骨材間のアーチングおよびそれに伴う閉塞現象は、同一の粗骨材量であっても、コンクリートの粘性の程度によって左右され、狭い断面を閉塞することなく流動させるためにはコンシステンシーに対応した塑性粘度の適値が存在するものと考えられる。

図-9および図-10は、 \ominus_{125} および \oplus_{125} ロート流下試験において、試料の全量が流下した場合の所要流下時間を σ_{75} ロート流下時間との関係で整理したものである。いずれの場合も、両者の間には高い相関が認められ、流下率が100%となる場合には、ロート下端部に配置した鉄筋による骨材のアーチングがほとんど生じていないものと考えられる。

ハイパフォーマンスコンクリート配合に関する小沢らの研究[1]では、コンクリートの充填性の評価に関して、骨材の最大寸法に対する開口間隔の比が相当に小さいモデル装置(例えば、 \square_{50-16} メッシュ)が用いられているが、この種の試験装置の寸法諸元が充填性の評価に及ぼす影響に関しては、十分に明らかになっていない。そこで、各種のコンクリート配合について、開口部間隔および開口率の異なる3種類の試験装置(\oplus_{125} ロート、 \square_{50-25} メッシュおよび \square_{50-16} メッシュ)を用いた流下試験を実施した。

これらの結果を図-11に示す。各種流下試験の流下率の評価は、前述の結果と

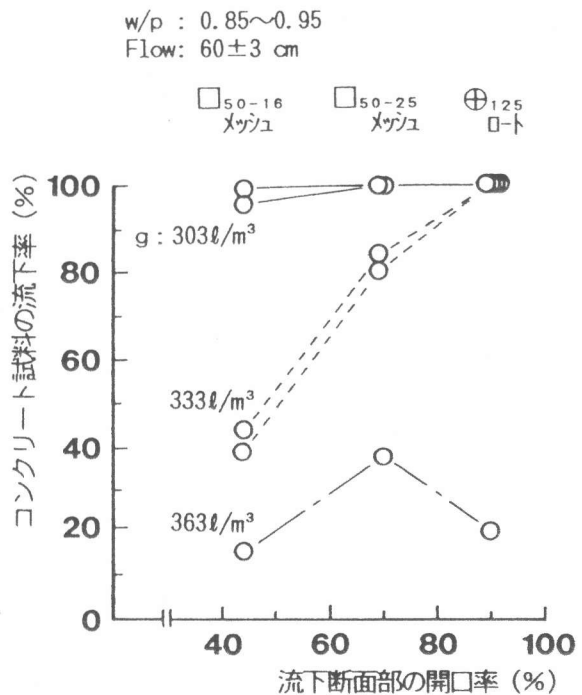


図-11 開口率と試料の流下率

同様に、配合中の骨材量の影響に大きく左右されることが明らかである。また、一方では、同一の配合であっても、流下時のコンクリートの閉塞・分離性状が用いる試験装置の寸法諸元により著しく相違する場合も認められ、流動に対する障害の程度が大きくなるほど、すなわち開口部間隔および開口率が小さい場合ほど、コンクリートの流下率は低下する結果が得られた。この結果は、超流動コンクリートの充填性を試験室レベルで検討・評価する場合には、対象とする実構造物での施工条件を踏まえ、充填の難易度に応じて試験モデルの寸法諸元を適切に設定する必要があることを示すものといえる。ただし、実構造物の充填の難易度と試験モデル諸元の対応については、今後さらに検討を要するものと考えられる。

4. 結論

本研究において得られた知見を以下に示す。

- 1) $\phi 75$ ロート流下試験によって得られる流下時間は、コンクリート全体が均質に流下する場合には、変形ポテンシャルとは独立した粘性に起因する変形速度を評価する簡便な指標として用いることができ、流下時に骨材のアーチングが生じる場合には、流動に伴う分離の度合いを表現する尺度となる。
- 2) 過密配筋下でのコンクリートの充填性は、コンクリート配合中の粗骨材量が支配的な要因となり、流動に対する障害の程度が大きくなるほど、すなわち開口部間隔および開口率が小さい場合ほど、十分な充填性を確保するためには粗骨材量を減少させる必要がある。
- 3) 閉断面内を流下させた場合の骨材間のアーチングおよびそれに伴う閉塞現象は、同一の粗骨材量であっても、コンクリートの粘性によって大きく左右され、狭あいな断面を閉塞することなく流動させるためにはコンシステンシーに対応した塑性粘度の適値が存在する。
- 4) コンクリートの充填性は、流動に対する障害の程度に左右される。したがって、コンクリートの閉塞・分離性状を評価する試験モデルは、実構造物での各種施工条件を踏まえて寸法諸元を設定する必要がある。

【参考文献】

- 1) 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11-1，pp.699～704，1989
- 2) 坂田 昇・万木正弘・山本博之・古澤靖彦：高流動コンクリートの充填性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12-1，pp.301～306，1990
- 3) 三浦律彦・近松竜一・青木茂・十河茂幸：高速流動コンクリートに関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13-1，pp.185～190，1991
- 4) 近松竜一・竹田宣典・平田隆祥・十河茂幸：コンクリートの流下速度試験による打込みやすさの一評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13-1，pp.887～892，1991