

# 論文 中流動コンクリートの流動性と基礎物性に及ぼす振動と粗骨材量の影響

岡田正美<sup>\*1</sup>・和泉意登志<sup>\*2</sup>・井上和政<sup>\*3</sup>・稲垣順司<sup>\*4</sup>

**要旨:** 高流動コンクリートは、材料費のコストアップや品質管理に特殊な技術が要求されることなどから、主に締固めが困難で打設が複雑な部位のみに、その適用が限定される傾向が強い。そこで、高流動コンクリートよりも流動性は劣るが、普通コンクリートに比べて軽微な振動を併用することにより充てん可能なスランプ 23cm, スランプフロー400mm 程度の中流動コンクリートに着目し、振動による流動性と基礎物性の評価を行った。その結果、中流動コンクリートは普通コンクリートに比べて5割程度の振動時間で良好な流動性と鉄筋間通過性が得られ、基礎物性も普通コンクリートとほぼ同等であることが室内および模擬部材実験で明らかとなった。  
**キーワード:** 中流動コンクリート, 振動, 単位粗骨材かさ容積, スランプフロー試験, 鉄筋間通過性

## 1. はじめに

近年、高流動コンクリートよりも低コストで普通コンクリート（以下NCと略記）よりも流動性の良好なスランプ 23cm 程度のコンクリート（以下中流動コンクリート<sup>1)</sup>（HWC）と略記）が、建設現場における施工の省力化と構造体品質の均質化の目的で注目されてきている。しかしながら、HWCにおける振動下での流動性の評価についての研究は少ない。そこで、本報では、スランプフロー試験とLフロー鉄筋間通過性試験に振動を加え、振動下での流動性と鉄筋間通過性および基礎物性の評価を行った。さらに、レディーミクストコンクリート工場<sup>2)</sup>でHWCを製造し模擬部材に打設して、実施レベルでの適正な振動時間と構造体品質の確認を行った。

## 2. 室内実験の概要

HWCの振動下での流動性と鉄筋間通過性を評価する目的で、スランプフロー試験、Lフロー鉄筋間通過性試験に型枠パイププレートを使用して振動を加えた実験を行った。また、併せて圧縮強度、引張強度、ヤング係数、凝結時

間、ブリーディング量、乾燥収縮率、中性化深さおよび凍結融解抵抗性の基礎物性についても評価した。

### 2.1 実験の因子と水準

実験の因子と水準を表-1に示す。型枠パイププレートの振動数は、変圧器により電圧を変えることで表-1の水準に制御した。なお、振動数は、パイププレート先端に加速度計を取り付け、周波数分析器により測定した。

### 2.2 使用材料とコンクリートの配合

使用材料を、表-2に、コンクリートの配合を表-3に示す。なお、骨材αの細骨材は海砂と砕砂を重量比5:5で混合したものである。HWCは、スランプ 23±1cm, スランプフロー 400±50mm となるように混和剤量を調整した。NCは、単位粗骨材かさ容積 0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とし、

表-1 因子と水準

因子	水準
骨材種類	骨材α(海砂S1+砕砂S2, 砕石) 骨材β(山砂, 石灰砕石)
単位粗骨材かさ容積	0.550, 0.575, 0.600(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
混和剤種類	AE減水剤(E剤と表記)(骨材βのNCのみ) 高性能AE減水剤(A,B,C剤の3種類)
パイププレートの振動数	138, 123, 107Hz(それぞれ電圧 100, 90, 80V)

注) 振動数123, 107Hzは、かさ容積0.575でA剤を使用したものについてのみ行った。

\*1 (株)竹中土木 技術本部 技術研究所 研究開発部 材料第1グループ 研究員 (正会員)  
 \*2 (株)竹中工務店 技術研究所 研究開発部 材料第1グループ 主任研究員 工博 (正会員)  
 \*3 (株)竹中工務店 技術研究所 研究開発部 材料第1グループ 研究員 博士 (工学) (正会員)  
 \*4 竹本油脂(株) 第三事業部 開発研究グループ 研究員

スランプを骨材 $\alpha$ では  $21 \pm 1$ cm,  $\beta$ では  $18 \pm 1$ cm とした。空気量は,  $4.5 \pm 1\%$ とした。

### 2. 3 実験方法

練混ぜは容量  $100\ell$ のパン型ミキサを使用し, 練り量  $80\ell$ で行った。材料を一括投入して,  $90$ 秒間練混ぜを行った。

試験項目を表-4に示す。フレッシュコンクリートの試験は, 練混ぜ直後に行った。なお, 各強度試験の供試体は, 標準水中養生とした。

スランプフロー試験は JSCE-F503 に準拠して行った。その後, 型枠バイブレータにより図-1に示すようにスランプ中心より  $37.5$ cm 離れた箇所で振動を加えて, スランプとスランプフローを測定した。振動時間は, HWCで  $3, 6, 9, 12, 15$ 秒, NCでは,  $5, 10, 15$ 秒とした。

Lフロー鉄筋間通過性試験は筆者らの研究<sup>2)</sup>に準じて行った。試験は, 図-2のように, 試験器背面からスランプフロー試験と同様に振動を加えて, その都度, コンクリートの沈下量  $L_{45}$ 値を測定し, 鉄筋下端位置に相当する合格下限値  $30$ cm を用いて鉄筋間通過性の良否を判定した。

## 3. 室内実験の結果

### 3. 1 振動下での流動性と鉄筋間通過性の評価

スランプとスランプフローの関係を骨材種類ごとに, 図-3および図-4に示す。骨材の種類により若干の差はみられるが, NC, HWCともに振動の有無に関わらず谷川・森らの式<sup>3)</sup>にほぼ一致した。また, 全ての配合で, 振動を加えた時の材料分離は目視判定により認められなかった。

振動時間とスランプフローの関係を骨材 $\alpha$ について図-5に示す。スランプフローが自己充てん性ランク 1<sup>4)</sup>の下限値 ( $600$ mm) に達する振動時間は, HWCで  $5 \sim 7$ 秒, NCで約  $12$ 秒であった。HWCの振動時間は, 混和剤による若干の違いはあるが, NCに比べて約  $5$ 割程

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(密度 $3.16\text{g/cm}^3$ )
細骨材	$\alpha$ : 瀬戸内海産海砂(密度 $2.54\text{g/cm}^3$ , FM=3.05) 赤穂産砕砂(密度 $2.55\text{g/cm}^3$ , FM=2.39) $\beta$ : 君津産山砂(密度 $2.59\text{g/cm}^3$ , FM=2.90)
粗骨材	$\alpha$ : 赤穂産砕石(密度 $2.62\text{g/cm}^3$ , FM=6.71) $\beta$ : 秩父産石灰砕石(密度 $2.70\text{g/cm}^3$ , FM=6.37)
AE減水剤	リグニン系標準形 I 種(1種類)
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系(3種類)

表-3 コンクリートの配合

コンクリート	W/C	空気量 (%)	s/a (%)	単位容積材かさ (容積 $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )					混和剤の種類				
					W	C	S1	S2	G	A剤	B剤	C剤	E剤	
○	40	44.1	0.600	185	463	351	351	912						
						369	369	874	○					
○	55	47.6	0.600	185	336	403	403	912					○	
									○					
						421	421	874	○	○	○			
						440	440	836	○					
○	55	48.2	0.600	165	300			867	973					○
								906	933	○	○	○		
								945	892	○				

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101に従って行った。
スランプフロー	JSCE-G501に従って行った。
鉄筋通過性試験	参考文献2)に従って行った。
空気量	JIS A 1128に従って行った。
凝結硬化速度試験	ASTM C 403に従って測定。
ブリーディング試験	JIS A 1123に従って測定。
圧縮強度	$\phi 10 \times 20$ の試験体を用いJIS A 1108に従って測定(N=3)。
ヤング係数	コンプレッサー列により圧縮強度試験時に測定(N=3)。
引張強度	$\phi 15 \times 20$ の試験体を用いJIS A 1113に従って測定(N=3)。
乾燥収縮	JIS A 1129のコンタクトゲージ法により測定(N=2)。
促進中性化	高耐久鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)に準拠して測定(N=2)。
凍結融解	JSCE-G501に従って測定。N=2

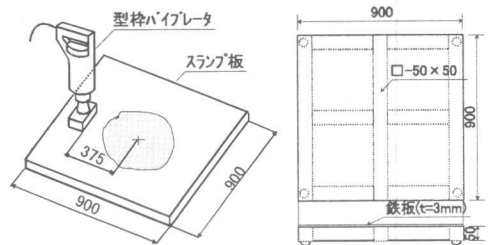


図-1 スランプフロー試験とスランプ板詳細図

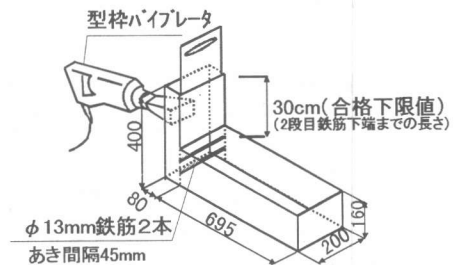


図-2 Lフロー鉄筋間通過性試験

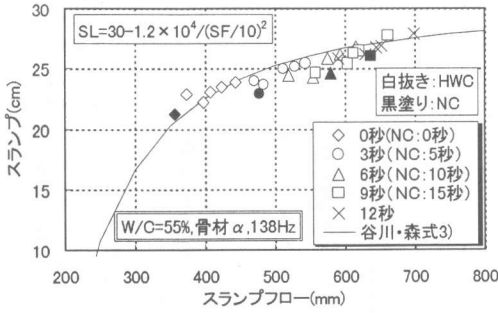


図-3 スランプとスランプフローの関係(骨材α)

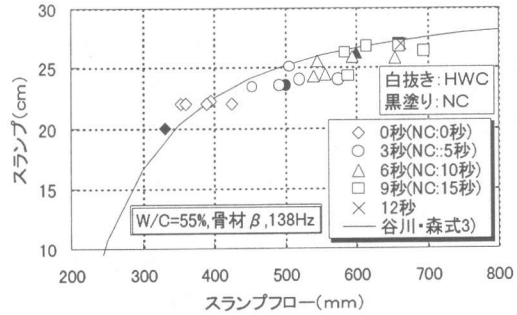


図-4 スランプとスランプフローの関係(骨材β)

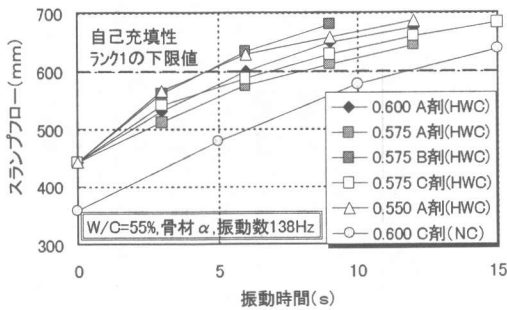


図-5 振動時間とスランプフローの関係(骨材α)

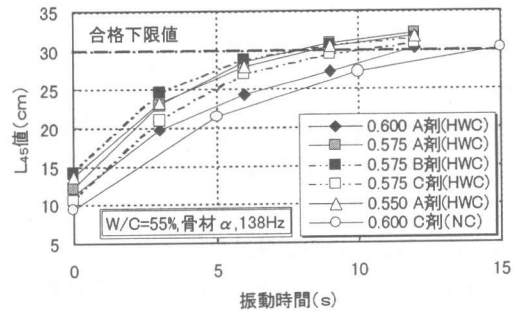


図-6 振動時間とL<sub>45</sub>値の関係(骨材α)

度低減できることが明らかとなった。また、粗骨材量による違いは認められなかった。

振動時間とL<sub>45</sub>値の関係を骨材種類ごとに、図-6および図-7に示す。骨材αを使用したHWCにおいて、L<sub>45</sub>値が鉄筋間通過性の合格下限値とした30cm<sup>2</sup>となるための振動時間は、単位粗骨材かさ容積が0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の場合で、約12秒、0.575および0.550m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の場合で約7~9秒となり、粗骨材量の影響が顕著にみられた。骨材βの場合は、どれも約5秒程度で粗骨材量による違いが明らかでなかった。これは、骨材の粒形や粒度の影響であると考えられる。一方、NCの場合は両骨材とも約13~15秒であることから、鉄筋間通過性においても、HWCの振動時間は、NCに比べて5割程度低減できることが明らかとなった。

振動締め固めに要するエネルギーは、振動数と振動時間が主たる要因として考えられる<sup>5)</sup>。そこで、単位粗骨材かさ容積0.575m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>のHWCにおいて、(振動数)<sup>2</sup>×振動時間を変数として

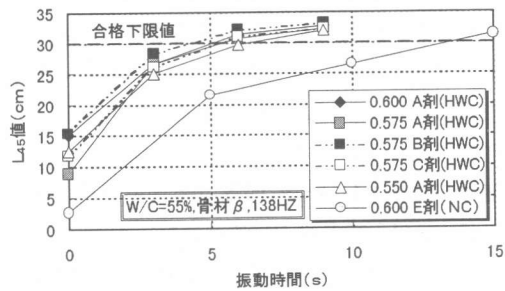


図-7 振動時間とL<sub>45</sub>値の関係(骨材β)

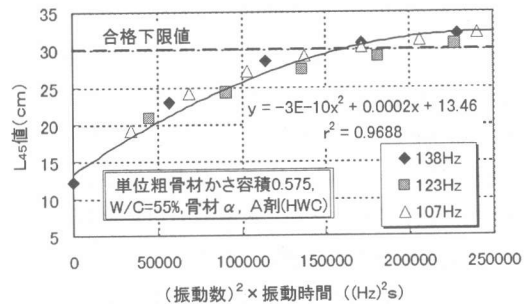


図-8 (振動数)<sup>2</sup>×振動時間とL<sub>45</sub>値の関係(骨材α)

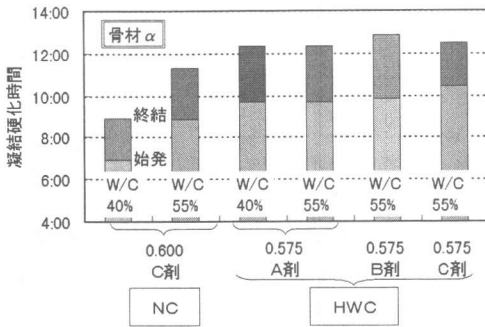


図-9 凝結硬化試験結果 (骨材α)

$L_{45}$  値との関係を図-8に示した。 $L_{45}$  値は振動数に関わらず同一の回帰曲線上にあることがわかった。同図より、 $L_{45}$  値が 30cm 以上となる振動時間を適切に設定できることが推測され、HWCの場合、(振動数)<sup>2</sup>×振動時間が 160,000(Hz)<sup>2</sup>s 程度であることがわかった。

### 3.2 基礎物性の試験結果

骨材αについての凝結硬化速度試験の結果を図-9に、両骨材のブリーディング試験の結果を図-10に示す。凝結時間は、混和剤により若干違いが認められるが、HWCではNCに比べて始発、終結とも1時間程度遅れた。また、水セメント比40%では、NCとHWCの差が顕著であった。これは、混和剤量の差が大きいことが影響したためと考えられる。ブリーディング量は、NCとHWCは同等であり、いずれも  $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$  以下の基準<sup>9)</sup>を満足した。

圧縮、引張強度およびヤング係数の試験結果を骨材種類ごとに、図-11および図-12に示す。同一の水セメント比で比較すると、HWCとNCの間で、圧縮強度、引張強度およびヤング係数に差はほとんどみられなかった。筆者らの研究<sup>2)</sup>では、単位粗骨材かさ容積  $0.525\text{m}^3/\text{m}^3$  とした高流動コンクリートでは骨材の種類により、NCに比べて引張強度が若干低下する場合があったが、本実験の粗骨材量の範囲では強度の低下は認められなかった。

材齢 26 週の乾燥収縮の試験結果を図-13に示す。同一の水セメント比においてHWCとNCは、C剤を用いたHWCを除きほぼ同等で

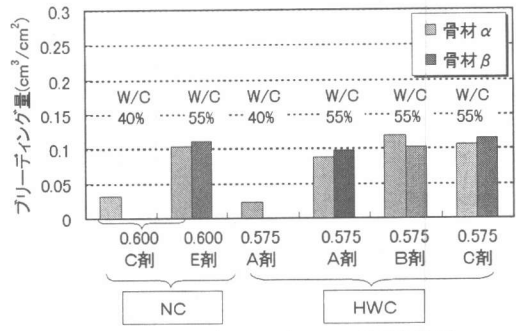


図-10 ブリーディング試験結果

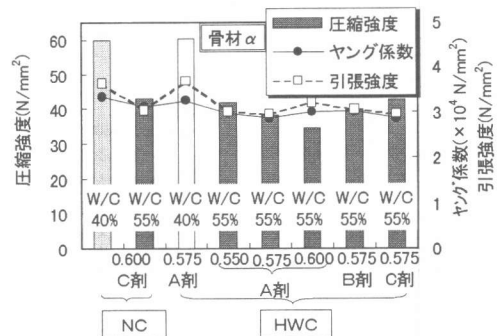


図-11 圧縮・引張強度、ヤング係数 (骨材α)

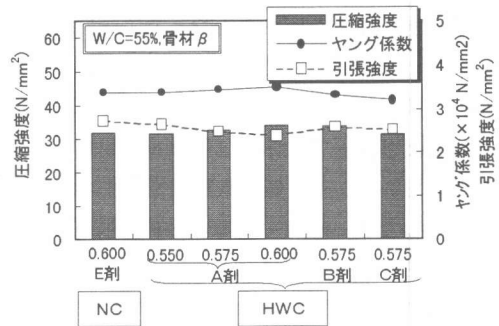


図-12 圧縮・引張強度、ヤング係数 (骨材β)

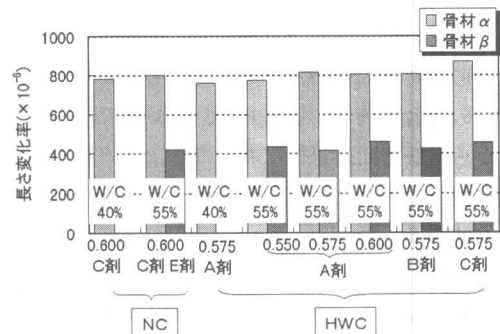


図-13 乾燥収縮試験結果

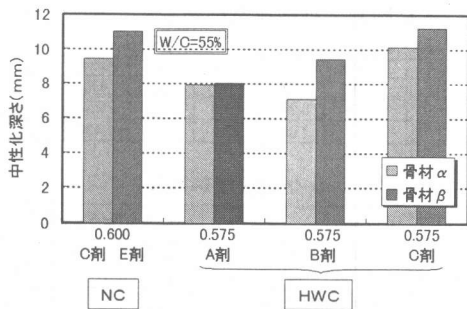


図-1 4 中性化促進試験結果

あった。C剤の収縮量が他に比べて大きくなったのは、混和剤使用量が増大したことよると推測されるが、詳細は今後の検討課題である。

促進材齢 13 週の促進中性化試験結果を図-1 4 に示す。混和剤の種類により若干の違いがみられたが、NC に比べて HWC の中性化深さは、大きくはならなかった。

凍結融解試験の結果を図-1 5 に示す。全ての試験体において 300 サイクルの相対動弾性係数は、60% 以上となり、問題のないことが確認できた。

以上より、HWC の基礎物性は、NC とほぼ同等であり、実用上問題ないことが確認できた。

#### 4. 模擬部材実験による検証

##### 4. 1 実験概要

室内実験でフレッシュ性状および基礎物性の確認を行った HWC を、レディーミクストコンクリート工場で実際に製造し、図-1 6 に示す模擬部材に打設して、振動による流動性の評価と構造体品質の確認を行った。

使用材料を表-5 に、コンクリートの配合を表-6 に示す。NC の単位粗骨材かさ容積は、 $0.590\text{m}^3/\text{m}^3$  とし、工場で一般的に出荷している NC の値をそのまま使用した。HWC は、試験練りにより  $0.570\text{m}^3/\text{m}^3$  と決定した。NC と HWC のスランプ、スランプフローおよび空気量の目標値は、室内実験と同等にした。

HWC の製造は、容量  $3.0\text{m}^3$  の 2 軸強制練りミキサを使用し、練り量は  $1.5\text{m}^3$  とした。材料は一括投入し 90 秒間練混ぜを行った。練り上

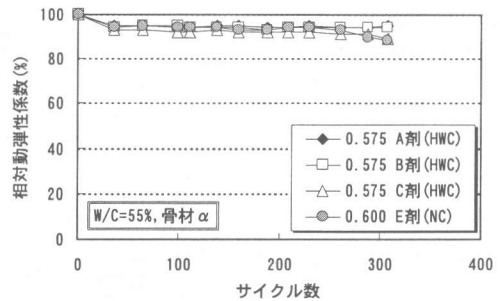


図-1 5 凍結融解試験結果

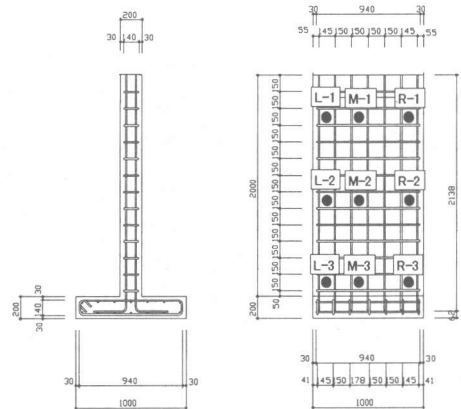


図-1 6 模擬部材試験体概要図

表-5 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント(密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ )
細骨材	鹿島産陸砂(密度 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ , FM=2.27)
粗骨材	葛生産砕石(密度 $2.66\text{g}/\text{cm}^3$ , FM=6.64)
AE減水剤	リグニン系標準形 I 種E剤(NCに使用)
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系A剤(HWCに使用)

表-6 コンクリートの配合

コンクリート種類	W/C	空気量 (%)	s/a (%)	単位粗骨材かさ容積( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )			
					W	C	S	G
NC	55	4.5	48.2	0.590	169	307	867	949
HWC	55	4.5	50.0	0.570	169	307	898	917

がったコンクリートは、輸送後スクイズ式ポンプ車で、試験体中央部から 70ℓ程度づつ 4 リフトに分けて打設した。振動締めめは型枠パイプレータを 2 台併用して行った。振動時間は、コンクリートの流動勾配が 10% (一般的な高流動コンクリートの流動勾配<sup>7)</sup>) となるための振動時間を透明型枠を用いた予備試験により確認し、NC で 10 秒、HWC で 5 秒間とした。流動性は、振動を加える前後で型枠左右両端部と中央部で流動勾配を測定して評価した。構造体

品質の確認は、図一  
16中の●印で示す  
位置で材齢4週にて  
コアを採取し、圧縮  
強度とヤング係数を  
測定した。

#### 4.2 実験結果

フレッシュ試験お  
よび供試体の強度試

験の結果を表-7に、振動前後の流動勾配の  
変化を各リフトごとに図-17に示す。HWCの  
流動勾配は、5秒の振動でほぼ水平となったが、  
NCの場合は10秒間振動を加えても水平とは  
ならなかった。これにより、実施工レベルでは、  
実験で定めた以上にHWCの振動時間を低減  
できる可能性があることがわかった。また、コ  
アの強度試験結果を表-8に、強度試験結果に  
ついて高さ方向、横方向を要因とした二元配置  
の分散分析(繰返しなし)を行った結果を表-  
9に示す。同表よりいずれも危険率5%で有意  
差なしとなり、部材内の品質がほぼ一様とみな  
せることがわかった。また、HWCのほうがNC  
にくらべて標準偏差、変動係数が小さいこと  
から、より均質になっているものと考えられる。

#### 5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 中流動コンクリートがスランプフロー  
600mmとなるのに必要な振動時間は、普通  
コンクリートに比べて5割程度低減できる。
- 2) 中流動コンクリートの単位粗骨材かさ容積  
を普通コンクリートに比べて5%程度減ら  
せば、鉄筋間通過性に必要な振動時間を5  
割程度低減することができ、良好な鉄筋間  
通過性が得られる。
- 3) 中流動コンクリートの基礎物性は、凝結時  
間が1時間程度遅れる以外は、普通コンクリ  
ートとほぼ同等である。
- 4) 中流動コンクリートを適用することにより、  
振動時間の低減と、構造体品質の均質性の

表-7 フレッシュ試験および強度試験結果

コンクリートの種類	スランプ (cm)	スランプ フロー (mm)	空気量 (%)	標準水中養生				現場封かん養生			
				圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数(×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )		圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数(×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	
				1週	4週	1週	4週	1週	4週	1週	4週
NC	17.5	288	4.5	27.0	35.7	2.988	3.279	21.2	29.7	2.753	3.142
HWC	22.5	424	5.3	22.4	31.7	2.653	2.981	20.1	27.9	2.430	2.942

表-8 コアの圧縮強度・ヤング係数試験結果

コンクリートの種類	試験項目	L-1	L-2	L-3	M-1	M-2	M-3	R-1	R-2	R-3	平均	標準偏差	変動係数(%)
NC	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	34.8	33.9	36.6	34.8	31.9	36.3	32.9	32.3	32.5	34.0	1.736	5.10
	ヤング係数(×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	3.02	3.03	3.20	2.78	2.98	2.94	2.68	2.96	3.42	3.00	0.217	7.23
HWC	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	33.4	34.2	36.4	35.7	33.7	33.5	34.0	34.7	34.0	34.4	1.027	2.99
	ヤング係数(×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.81	3.00	2.97	2.71	2.83	2.67	2.95	2.92	2.91	2.86	0.116	4.06

表-9 分散分析結果

コンクリートの種類	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	5%有意差判定
NC	高さ方向	9.00667	2	4.503333	3.62685	有意差なし
	横方向	10.1267	2	5.063333	4.07785	有意差なし
	誤差	4.96667	4	1.241667		
	合計	24.1	8			
HWC	高さ方向	0.28667	2	0.143333	0.07325	有意差なし
	横方向	0.32667	2	0.163333	0.08348	有意差なし
	誤差	7.82667	4	1.956667		
	合計	8.44	8			

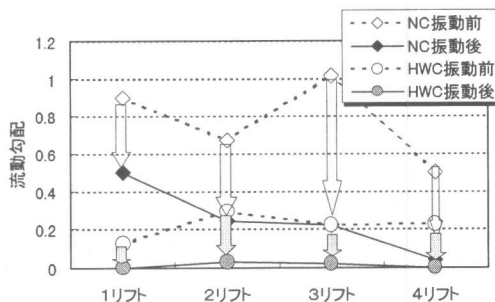


図-17 振動前後の流動勾配

向上に寄与できる可能性を模擬部材実験に  
より確認できた。

#### 謝辞

本研究にご協力いただいた印旛菱光(株)  
の鳩谷氏に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 三好征夫他：分離低減剤を用いた準高流動コンクリートの調合と諸性質, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.2 0, No.2, pp.361-366, 1998.6
- 2) 井上和政他：特殊混和剤を用いた高流動コンクリートの基礎物性とその調合方法に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.511, pp.31-38, 1998.9
- 3) 小村理恵他：フレッシュコンクリートのスラッピング挙動に対するレゾナンス的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.462, p.1-10, 1994.8
- 4) 土木学会：高流動コンクリート/施工指針, pp.39-40, 1998.7
- 5) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートの振動締固めに関する実験報告書, pp.7-13, 1990.3
- 6) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説, pp.3, 1997.1
- 7) 井上和政他：特殊混和剤を用いた高流動コンクリートの流動性と構造体品質に関する実大施工実験, 日本建築学会技術報告集, No.9, pp.19-24, 1999.12