

報告 コンクリートセグメントへの高流動コンクリートの適用

牛島 栄*¹・谷口秀明*²・塩原卓男*³・吉富太彦*⁴

要旨：高炉スラグ微粉末を用いた粉体系高流動コンクリートを使用し、コンクリートセグメントの製造実験を行った。本稿では、高流動コンクリートの配合設計と運搬・打設・養生などのセグメントの製造方法について検討した。高流動コンクリートの適用に当たっては、凝結時間を考慮した適切な養生方法、表面あばたの抑制方法、単体曲げ試験におけるひび割れ発生荷重の低下などを考慮する必要があることがわかった。

キーワード：高流動コンクリート、コンクリートセグメント、高炉スラグ微粉末

1. はじめに

最近、コンクリート工事の省力化や構造物の品質向上を目的に、高流動コンクリートの研究開発並びに実施工が盛んに行われている。コンクリート二次製品工場においても、製造工程の省人化、低振動・低騒音による作業環境の向上が求められ、高流動コンクリートの実施例も見られるようになった。中でもコンクリートセグメントは、鉄筋や継手金物が過密に設置されているが、硬練りコンクリートを振動機によって打設するため、その際に発生する振動と騒音が作業環境を悪化させている。

そこで、筆者らは、コンクリートセグメントに高流動コンクリートの適用を試み、高流動コンクリートの配合設計とセグメントの製造方法について検討した。

2. 使用材料および試験方法

表-1に使用材料を示す。結合材として普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を1:1(質量比)で用い、コンクリートの製造工程の簡易化と低コスト化に配慮して増粘剤は

表-1 使用材料

材料名	種類	成分、物性など	記号	
セメント	普通ポルトランドセメント	比重3.16、フルン値3300cm ² /g	C	P
混和材	高炉スラグ微粉末	比重2.88、フルン値4750cm ² /g	B	
細骨材	秩父産砕砂	表乾比重2.64、F.M 2.83、実積率63.7%	S	
粗骨材	秩父産砕石2005	表乾比重2.69、F.M 6.66、実積率58.9%	G	
混和剤	高性能AE減水剤	リカルボン酸E-7系	SP	
	空気量調整剤	アルキルアルシホニ化合物系陰イオン界面活性剤	AE	

表-2 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランフロ-試験	JSCE-F503 に準じて試験を行い、スランブフロ-とフロ-50cm到達時間を測定した。
V漏斗試験	約10ℓ、吐出口6.5x7.5cmのV型漏斗で流下時間を2回測定し、平均した[1]。
O漏斗試験	10ℓ、吐出口φ7.5cm、傾き1:6の円錐型漏斗で流下時間を2回測定し、平均した[2]。
空気量試験	JIS A 1118
凝結試験	JIS A 6204附属書1 に準じ、プロクター貫入抵抗装置により貫入抵抗値を測定した。
カーティグ試験	JIS A 1123
圧縮強度試験	JIS A 1108
気泡間隔係数の測定	ASTM C 457
細孔径分布の測定	水銀圧入式ポロシメータ法による
表面あばた率の測定	試験体表面のあばたをトレースし、測定面に対するあばた発生面積比率を計算した。
セメントの単体曲げ強度試験	2点載荷両端可動式で1tfピッチに載荷したが、9tfからは連続載荷を行った。

*1 (株) 青木建設技術本部研究所材料研究室室長、工博(正会員)

*2 (株) 青木建設技術本部研究所材料研究室研究員(正会員)

*3 都築コンクリート工業(株) 埼玉工場管理部管理第一部部長

*4 都築コンクリート工業(株) 埼玉工場管理部製造第一部次長

使用しなかった。
 コンクリートの配合は後述の配合設計で記載する。また、コンクリート及びセグメントの試験内容を表-2に、養生方法を表-3に示す。

表-3 各試験の養生条件

養生名	養生方法	試験項目				
		凍結	引張強度	初期強度	長期強度	セグメント試験
標準水中	水温20±3℃の水の中に養生 JIS通り				○	
室内	室温20±3℃、湿度60%以上の試験室で養生 JIS通り	○	○			
外気	脱型までチャンバー内にそのまま静置した。図-4に示す通り、外気温とチャンバー内温度はほとんど違いなし。脱型後は通常の製品と同様に外気中で養生。	○	○	○	○	
温水	チャンバー内で供試体を載せた台に30℃の温水を吹き掛けた。図-4に示す通り、15~20℃である。なお、上面開放の供試体にはビニールシートで覆った。	○	○	○	○	○
T T B	チャンバー内で表面仕上げができる程度まで硬化後、露出面を養生マットで覆ってマット内に30℃の温水を供給する。脱型後は材齢7日まで水中養生し、その後は外気養生を行なった。東京湾横断道路用セグメントの養生に採用した方法である。			○	○	

3. 高流動コンクリートの配合設計

セグメントに使用するコンクリー

トの設計基準強度は、450~600kgf/cm²と高強度が多く、必然的に粉体系もしくは併用系の高流動コンクリートになる。コンクリートの配合決定のために予備実験としてモルタルの流動性状を調べ、水結合材比を約35%以下、ペースト細骨材容積比を約1.1~1.2以上にする必要があることがわかった。

図-1は、ペーストと細骨材、モルタルと粗骨材の容積比に着目した、コンクリートの流動性状を表すグラフである。スランプフロー60cm前後、V漏斗流下時間10~20秒程度の高流動コンクリートを得るためには、ペースト細骨材容積比が1.3程度以上で、かつモルタル粗骨材容積比が2.3程度以上である必要があった。これは、砕砂と砕石を使用していることから骨材の噛み合わせを小さくするためのペーストが多く必要であるためだと推測される。骨材のかさ容積で表現すると、細骨材が約0.47m³/m³、粗骨材が約0.50m³/m³以下で良好な流動性状であった。

室内実験によって決めた最終的な配合とそのフレッシュ性状を、表-4に示す。

表-4 室内実験で決めた高流動コンクリートの配合とフレッシュ性状

重量容積表現の区別	配 合									フレッシュ性状						
	W/P w/p (%)	s/a (%)	骨材のかさ容積 (m ³ /m ³)		単位量 (kg/m ³ , ℓ/m ³)				混和剤の使用量 (PxWt%)		空気量 (%)	スランプ 20- 50cm 時間 (cm)	漏斗流下 時間 (s)			
					W	P		S	G	S P			A E	V 漏斗	O 漏斗	
			細骨材	粗骨材		C	B									
重量	34.3	-	-	-	183	267	267	792	794	0.9	0.008	4.8	68.0	4.2	12.1	9.2
容積	103	50.4	0.471	0.500	183	84	93	300	295							

	スランプフロー	○漏斗流下時間	V漏斗流下時間
●	材料分離なく、60cm前後	閉塞がなく、10秒前後	閉塞がなく、10~20秒
○	60cm前後だが、材料分離気味	閉塞気味で10~20秒	閉塞気味で20~40秒
△	60cm前後にする材料分離	閉塞あるいは20秒以上	閉塞あるいは40秒以上
×	流動せず	閉塞	閉塞

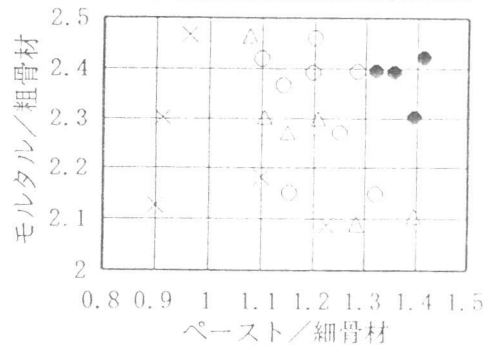


図-1 ペースト細骨材容積比とモルタル粗骨材比に着目した場合のコンクリートの流動性状

表-5 セグメント工場における高流動コンクリートの修正配合とフレッシュ性状

記号	配 合										フレッシュ性状					
	重量容積表現の区別	W/P w/p (%)	s/a (%)	骨材のかさ容積 (m ³ /m ³)		単位量 (kg/m ³ , ℓ/m ³)					混和剤の使用量 (P×Wt%)		空気量 (%)	スラブ70-50cm時間 (s)	V漏斗流下時間 (s)	
				細骨材	粗骨材	W	P		S	G	S P	A E				
							C	B								
A	重量	33.3	-	-	-	178	267	267	792	807	1.20	0.003	4.0	57.5	4.5	10.1
	容積	101	50.0	0.471	0.509	178	84	93	300	300						
B	重量	33.3	-	-	-	178	267	267	832	847	1.05	0	1.5	48.0	-	16.7
	容積	101	50.0	0.495	0.535	178	84	93	315	315						

4. セグメントの製造方法に関する検討

4.1 修正配合およびフレッシュ性状

セグメント工場では、コンクリート運搬中の振動によって材料分離を生じたため、単位水量を5 kg/m³少なくした表-5中の配合Aに修正した。漏斗試験は、室内実験の結果から骨材の噛み合いを比較的判断しやすいV漏斗試験のみを用いた。なお、配合Bは、振動締めめを行うことを前提にスランプフロー40~50cmの範囲とし、空気量を1.5%にしたコンクリートである。

4.2 脱型時期と養生方法に関する考察

凝結試験結果を図-2に示す。試験は温水養生、室内養生および外気養生の3通りの養生条件で行った。温水温度と外気温は図-4に示す通りである。配合Aは配合Bよりも高性能AE減水剤を多く使用していることから、凝結時間が1~2時間程度遅延した。また、凝結時間は養生温度に大きく影響を受け、平均気温約10℃である外気養生の値は、室内養生の値に比べて始発で7時間、終結で12時間程度遅れることがわかった。なお、ブリーディングは、配合、環境温度による差異はほとんどなく、ブリーディング量0.02cm³/cm²、ブリーディング率0.4%前後であった。

図-3に養生方法と使用した高流動コンクリートの初期強度の関係を示す。初期強度の試験では、温水養生、外気養生、さらにTTB養生を加えた3種の養生条件下で実施した。

コンクリートの初期強度の発現性は、脱型時期に大きく影響を及ぼし、製造工程の中で重要な要素となる。脱型にはコンクリートが150kgf/cm²程度の強度を有することが必要であるが、凝結の遅延によって初期強度が小さいことから適切な養生方法が必要と考えられる。

図-4は、外気養生と温水養生によるセグメント試験体の内部温度の違いを示す。セグメント試験体の内部温度は、約30℃の温水をかけることによって5~10℃高くなった。図-5に示すよう

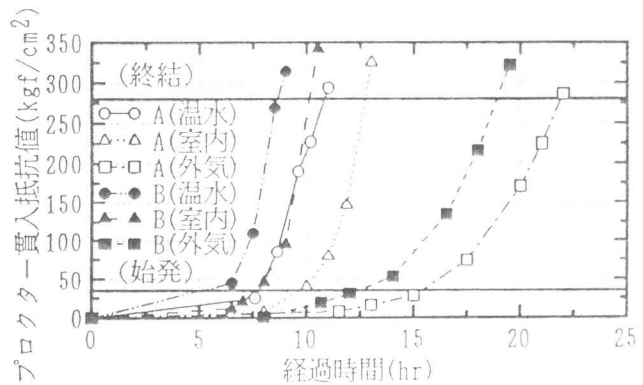


図-2 各養生条件下における凝結試験結果

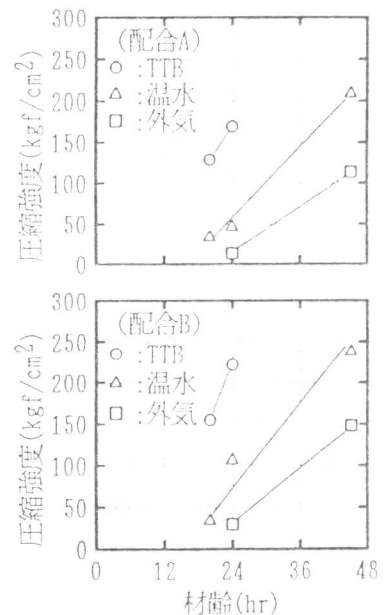


図-3 養生条件と初期強度の関係

にTTB養生のコンクリートは、標準水中養生と同程度の圧縮強度を得られたものの、温水養生については外気養生とほとんど変わらなかった。

4.3 運搬方法に関する考察

図-6にコンクリート製造プラントから試験体設置場所までの運搬に用いたホッパーを示す。図-6(a)に示したホッパーAで運搬した場合には、高流動コンクリートが運搬時の振動を受けて材料分離気味になり、試験体への打設途中で閉塞することが多く発生した。そのため、図-6(b)の攪拌機能を持ったホッパーBを用いることにした。図-7は、ホッパーBの吐出口からコンクリートを採取した時期とそのコンクリートの流動性状を表したものである。採取時期に関わらず、スランプフロー59~62cm、V漏斗流下時間12~15cmで、安定した品質のコンクリートが得られた。

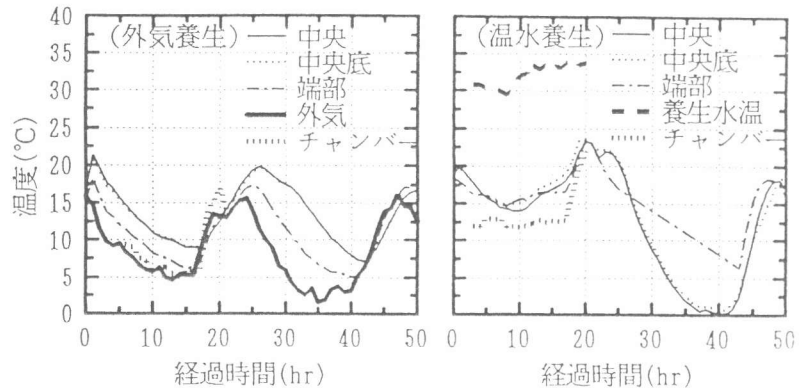


図-4 セグメント試験体の内部温度

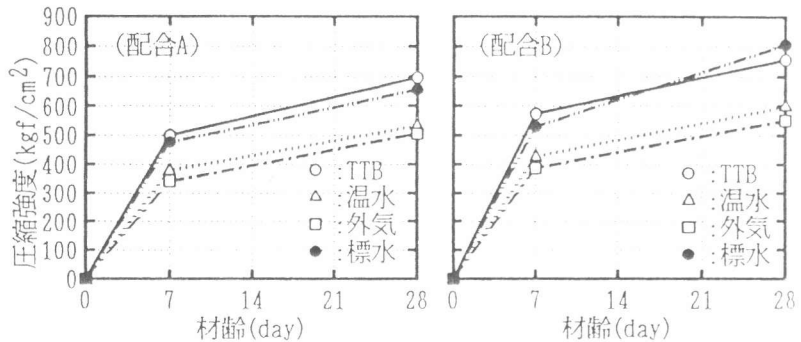


図-5 養生条件と圧縮強度の関係

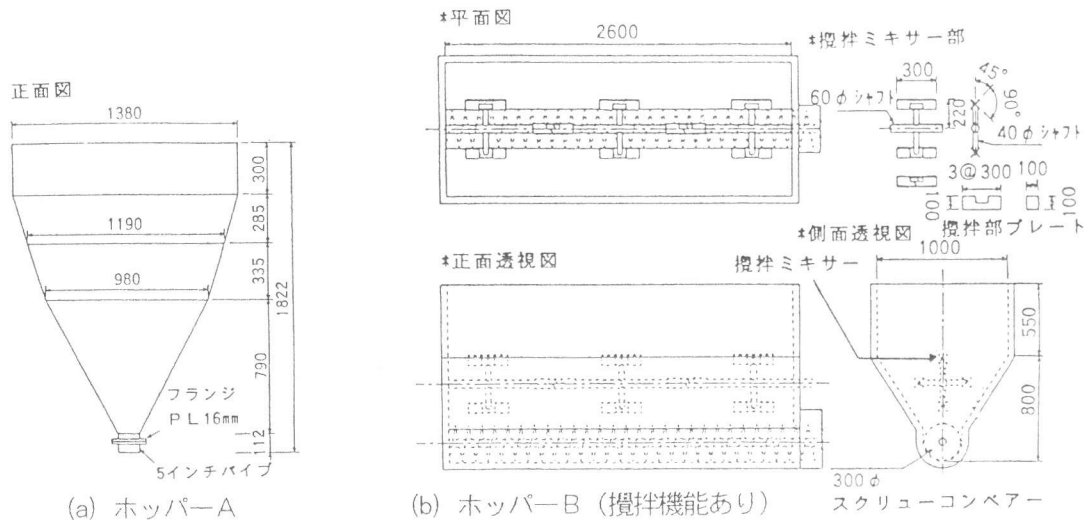


図-6 高流動コンクリートの運搬に使用したホッパーの形状寸法

4.4 打設方法に関する考察

図-8に示すセグメントの試験体は、鋼製型枠以外に充填状況が目視できるように透明樹脂製のものを用いた。平打ちの伏せ型枠には空気孔を6孔と10孔の2種類設け、コンクリートの充填

性の違いを比較した。ホッパーAには5インチ管、ホッパーBには上面40x40cm、下面15x30cm、高さ30cmの漏斗を取り付けてコンクリートの投入を行った。また、写真-1、写真-2のように平打ちと立打ちでコンクリートの充填性を比較した。

平打ちにおいて空気孔が6孔の場合には、コンクリートの充填に伴って空気孔を塞ぎ、型枠内の空気が逃げ道を失って未充填部分が生じた。また、鋼製型枠の場合には空気穴からのペーストの漏れや型枠を叩いた時の音でしか充填を確認できないため、実際の製造では充填状況を確認する方法の検討が必要である。配合Aは、平打ち、立打ちに関わらずコンクリートの自己充填性能によって密実に充填されることが確認された。コンクリートが若干材料分離気味で打設途中に充填性が悪くなった際に高周波バイブレータを使用した。かえって材料分離が助長されて閉塞したことから、流動性の高い配合Aには振動を与えない方が良くと思われる。一方、配合Bは高周波バイブレータにより材料分離を生じずに隅々まで充填できた。

4.5 セグメントの品質性状

図-9に示したセグメントの表面あばた採取位置における表面あばた率の測定結果を、表-6に示す。平打ちの場合には打設面である図中の覆工側A面に多くのあばたを生じ、特に打設位置周辺では、表面あばた率が10%程度にも達した。しかし、セグメント継手側の側面(図中C,D)や底面(図中B)にはほとんどあばたは発生しなかった。立打ちの場合、あばたが側面全体に散見され、表面あばた率は1%未満であった。

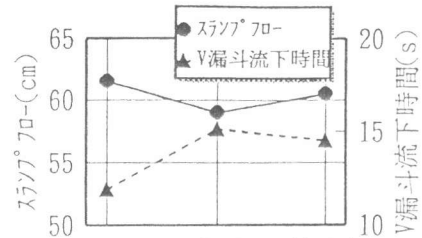


図-7 ホッパーBを用いた場合のコンクリートの採取時期とフレッシュ性状の関係

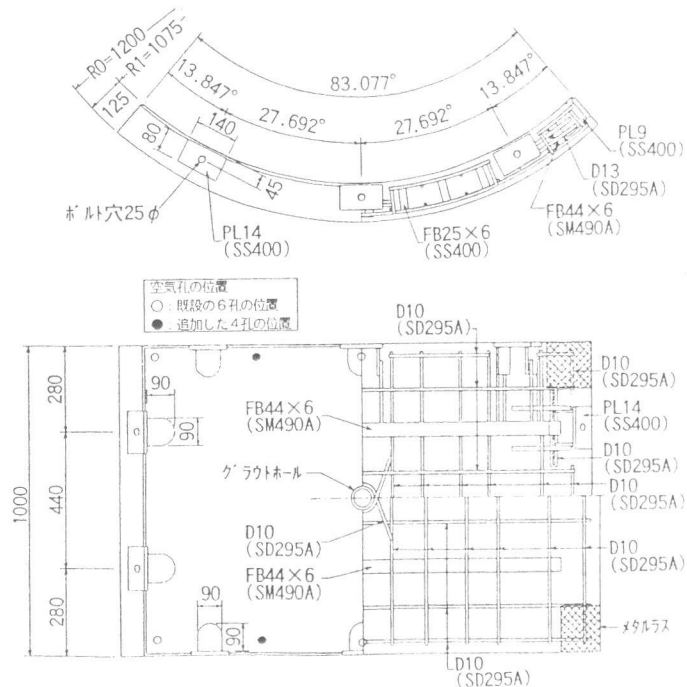


図-8 セグメント試験体の形状寸法



写真-1 平打ち状況

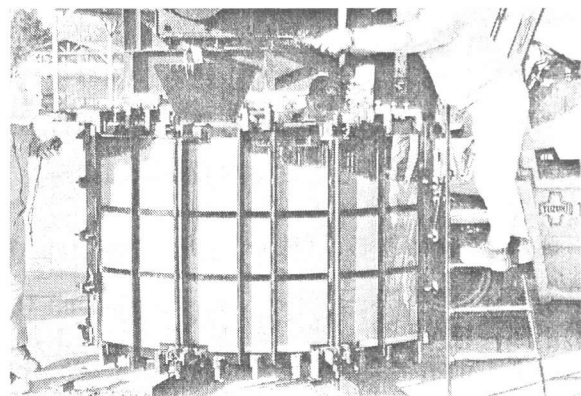


写真-2 立打ち状況

高流動コンクリートと普通コンクリートを用いたセグメントの単体曲げ強度試験結果を、表-7に示す。セグメントの単体曲げ強度試験の規格値

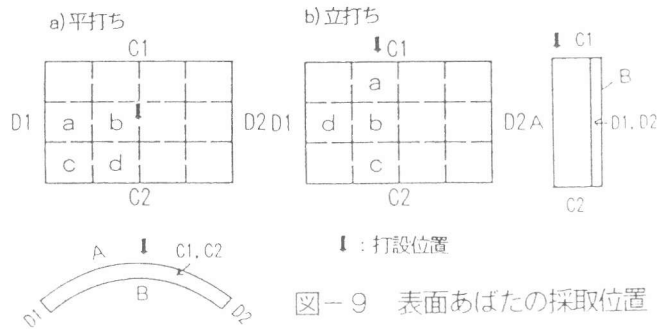


図-9 表面あばたの採取位置

表-6 あばた率測定結果

		打設方法	
		平打ち	立打ち
各測定面の平均	A	6.35	0.40
	B	0	0.16
	C1	0.02	-
	C2	0	0
	D1	0	0.09
	D2	0.01	0.08
A面の分割部分	a	8.15	0.41
	b	8.80	0.52
	c	7.05	0.16
	d	8.52	0.72

(単位: %)

は11.5tfである。高流動コンクリートの破壊荷重は規格値を満足するものの、普通コンクリートに比べてひび割れ発生荷重が1.2程度であった。しかし、図-5に示したように高流動コンクリートの28日圧縮強度(標準水中養生)は、普通コンクリートよりも

表-7 単体曲げ強度試験結果

		ひび割れ発生荷重 (tf)	破壊荷重 (tf)	比較する普通コンクリートの条件
高流動	配合A	3.50	11.75	結合材: 普通ポルトランドセメント 配合条件: W/C=40.2%, s/a=44.7%, C=420kg/m ³ スランプ: 8cm、空気量: 1.5% 設計基準強度: 420kgf/cm ² 圧縮強度: 581kgf/cm ² (養生: 標準水中養生、材齢: 28日)
	配合B	3.00	12.00	
普通コンクリート		6.50	14.50	

100kgf/cm²以上大きい。これは、結合材として高炉スラグ微粉末を使用し、脱型までの約1日間しか湿潤状態にない温水養生を行ったことに伴い、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも引張強度が小さくなったためではないかと推測される。今後、使用材料、配合あるいは養生条件がひび割れ発生荷重に及ぼす影響について検討したい。

表-8 気泡間隔係数及び細孔容積の測定結果

		気泡間隔係数 (μm)	総細孔容積 (0.01xnl/g)	比表面積 (m ² /g)	平均径 (Å)
管理用供試体		142	-	-	-
コア供試体	平打ち	b	162	4.29	4.90
		c	157	-	-
	立打ち	a	162	5.44	4.70
		c	126	4.97	4.94

表-8はセグメントから採取したコアの気泡間隔係数および細孔容積であるが、いずれにおいても測定ヶ所の相違による気泡間隔係数や細孔容積の相違は見受けられなかった。

6. まとめ

高炉スラグ微粉末を用いた粉体系高流動コンクリートによるセグメントの製造は可能であり、振動、騒音あるいは粉塵も少なく、作業環境は著しく改善された。今後は、コンクリート表面のあばたを抑制できる打設方法、単体曲げ試験におけるセグメントのひび割れ発生荷重が普通コンクリートよりも小さくなった原因の解明などについて検討を行いたい。

謝辞: 実験に際し、(株)ポゾリス物産の皆様のご協力を得ました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 小澤一雅・坂田昇・岡村甫: ロート試験を用いたフレッシュコンクリートの自己充填性評価、土木学会論文集、No. 490、V-23、pp. 61-70、1994
- 2) 近松竜一・竹田宣典・十河茂幸: 超流動コンクリートの流動性と材料分離抵抗性に関する考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14、No. 1、pp. 381-386、1992