

報告 振動を受けた中流動コンクリートの基礎性状について

末岡 英二¹・松本 典人²・佐野 清史³・清宮 理⁴

要旨：スランプフロー45cm程度の中流動コンクリートの基本特性や振動締固めによる変化を流動性、レオロジー特性、ブリーディング率、空気量および圧縮強度から調べた。増粘剤を用いたものは、塑性粘度に関係なくブリーディングはなかった。粉体を増量したものは、増粘剤を用いたものに比較してスプレッド試験でのフローの増加率が大きく、ブリーディング率は塑性粘度の減少に応じて増加した。振動により中流動コンクリートの降伏値は減少し、振動を受けない高流動コンクリートと同等程度まで低下した配合が多かった。振動締固めによるブリーディング率の増加は見られず、空気量は減少した。

キーワード：中流動コンクリート、振動締固め、レオロジー特性、ブリーディング率、空気量

1. はじめに

近年、過密配筋や密閉空間など振動機の使用が困難な場合、自己充填性を有する高流動コンクリートが使用されているが、粉体量や混和剤量の増加およびコンクリートの製造・管理の煩雑さに伴うコストアップなどの問題を抱えている。これらの問題を解決する方法の一つとして、高流動コンクリートと流動化コンクリートの中間的な性能を有するものを中流動コンクリート¹⁾あるいは準高流動コンクリート²⁾と定義して、充填性や材料分離抵抗性などの基礎特性が検討されている³⁾。筆者らは、スランプフロー45cm程度で完全な自己充填性はないが、補助的に振動機を用いて若干の振動を加えることにより品質低下を起こすことなく、良好な流動性や充填性を付与できるコンクリートを中流動コンクリートと定義し、中流動コンクリートの基本特性や振動を加えた場合の性状を流動性、レオロジー特性、ブリーディング率、空気量および圧縮強度から調べた。中流動コンクリートの配合を設定するに当たっては、水セメント比50%で増粘剤を加えたもの（増粘剤タイプ）と、粉体を増量したもの（粉体タイプ）の2種類

を設定した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。

表-1 使用材料

材料名	種類・産地	
セメント	高炉セメントB種 比重3.04 比表面積4,090cm ² /g	
粗骨材	砕石1 (5~20mm)	笠間産 比重2.66 吸水率0.52% 粗粒率7.18
	砕石2 (5~13mm)	笠間産 比重2.68 吸水率0.60% 粗粒率6.20
細骨材	陸砂	鹿島産 比重2.58 吸水率2.12% 粗粒率2.41
	砕砂	笠間産 比重2.60 吸水率1.26% 粗粒率2.97
高性能AE減水剤	ポリアリールカルボキシル酸エテルと架橋ポリマー	
増粘剤	低界面活性型水溶性セルロースエテル 2%水溶液 粘度10,000cp	

砕石1：砕石2＝8：2 陸砂：砕砂＝7：3

2.2 試験項目

実験で行った試験項目を表-2に示す。このうちレオロジー試験、ブリーディング試験、圧縮強度試験用供試体作製および空気量試験は振動機

*1 東洋建設(株)美浦研究所材料研究室主任研究員 工修 (正会員)

*2 東洋建設(株)美浦研究所材料研究室 (正会員)

*3 東洋建設(株)美浦研究所材料研究室長 (正会員)

*4 早稲田大学理工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

を用いた場合と用いない場合の2種類行った。振動機を用いる場合は、ブリーディング試験用容器、圧縮強度試験体用モールド、空気量試験容器にコンクリートを詰めた後に棒状振動機を容器中央に挿入し(下面から約5cmの位置)、10秒間振動させた。ブリーディングの測定は無振動の状態で行った。レオロジー試験において、振動機を用いる場合と用いない場合のトルク測定は別バッチで行い、振動機を用いる場合は、写真-1に示すように外振振動機を2台容器の側面にあてながら、回転数10, 20, 40, 60, 80rpmでのトルクをそれぞれ5秒ずつ計測した。実験で用いた振動機を以下に示す。

棒状振動機：100V, 5A, 280W,
13,000~15,000VPM, 棒径φ=25mm
外振振動機：100V, 4.5A, 280W,
9,000~11,000VPM
振動伝達部 75mm×100mm

表-2 試験項目及び方法

試験項目	試験方法
スランプ試験	JIS-A-1101に準拠
スランプフロー試験	JSCE-F-503に準拠
スプレッド試験	DIN-1048に準拠
レオロジー試験	コンクリートの回転翼型粘度計による。
加速度測定	粘度計容器の中央に設置した加速度計により測定。測定間隔0.5msec
ブリーディング試験	JIS-A-1123に準拠
圧縮強度試験	JIS-A-1108に準拠(材齢7日, 28日)
空気量試験	JIS-A-1128に準拠
単位容積質量	圧縮強度試験用供試体の質量と容積から計算。

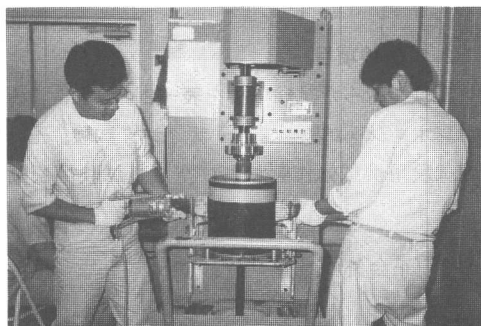


写真-1 レオロジー試験状況(振動機使用時)

2.3 コンクリートの配合

実験配合を表-3に示す。空気量は4.5%に設定した。増粘剤タイプの中流動コンクリートはレディミクストコンクリートのJIS規格品(スランプ21cm, 呼び強度30, 以下JIS21コンクリートと称す)の配合を基本として、増粘剤添加量をW×0.1~0.2%, 粗骨材かさ容積を315~360ℓ/m³に設定した。粉体タイプの中流動コンクリートはW/Cを32~45%, 粗骨材かさ容積を315~345ℓ/m³に設定した。比較用の高流動コンクリートは水セメント比50%の増粘剤系高流動コンクリートとした。

表-3 実験配合

実験No.	コンクリートの種類	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					増粘剤 (xW%)	高性能AE減水剤 (xC%)
			W	C	S	G (かさ容積 :ℓ)	高機能AE減水剤 (xC%)		
1	JIS21	50.0	175	350	789	959 (360)	—	1.20	
2	中流動(増粘剤タイプ)	50.0	175	350	905	839 (315)	0.20	2.00	
3							0.15	1.85	
4							0.10	1.80	
5							—	1.80	
6	中流動(粉体タイプ)	50.0	175	350	828	919 (345)	0.10	1.70	
7								1.55	
8								—	1.70
9	中流動(粉体タイプ)	32.0	170	486	724	919 (345)	—	1.45	
10								—	1.60
11								—	1.50
12								—	1.60
13	高流動	50.0	185	370	900	799 (300)	0.25	2.50	

2.4 製造方法

コンクリートの練混ぜは、20~23°Cの環境で強制二軸バグミル型ミキサ(容量100ℓ)を用いて行った。中流動コンクリートおよびJIS21コンクリートは、振動機を用いる試験と用いない試験の2バッチ(練混ぜ量60~70ℓ/バッチ)練混ぜを行った。高流動コンクリートには振動機を用いなかった。各試験は、練混ぜ終了後ミキサ内に5分間静置した後、15秒程度攪拌した後排出して行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4に示す。

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

実験No.	コンクリートの種類	W/C (%)	粗骨材かさ容積(%)	増粘剤添加量(Wx%)	スランプフロー (cm)	スプレッド (cm)		空気量 (%)
						打撃前	打撃後	
1-1	JIS21	50.0	360	—	(21.5)	—	44.0	5.2
1-2					(22.0)	—	43.0	4.7
2-1	中流動(増粘剤タイプ)	50.0	315	0.020	47.5	43.5	50.0	4.5
2-2					45.0	41.0	48.0	4.2
3-1				0.015	45.5	37.5	46.0	4.9
3-2					44.0	39.5	47.0	4.4
4-1				0.010	39.5	34.0	40.5	4.9
4-2					39.0	36.0	42.5	4.4
5-1	50.0	330	0.010	47.0	40.0	46.5	4.0	
5-2				45.0	40.0	47.5	3.4	
6-1	50.0	345	0.010	47.0	41.5	49.0	4.1	
6-2				49.0	39.5	47.0	3.3	
7-1	50.0	360	0.010	44.0	37.5	44.0	4.5	
7-2				42.5	35.5	43.0	3.8	
8-1	中流動(粉体タイプ)	32.0	315	—	41.5	—	42.5	3.3
8-2					51.0	43.0	49.5	2.3
9-1		35.0	345	—	46.0	38.5	47.0	3.9
9-2	44.5				39.0	47.5	3.4	
10-1	40.0	315	—	44.5	35.5	44.0	4.5	
10-2				41.5	36.0	44.0	4.0	
11-1	40.0	330	—	42.0	38.0	48.5	4.5	
11-2				42.5	42.0	51.5	4.0	
12-1	45.0	345	—	43.5	38.0	48.5	4.3	
12-2				46.5	42.0	51.5	3.8	
13	高流動	50.0	300	0.025	64.5	—	—	4.4

各配合-2の空気量は振動機使用後の空気量

(1) 流動性

スランプフローと打撃後のスプレッドの関係、スプレッド試験における打撃前、打撃後のフローの関係をそれぞれ図-1、図-2に示す。JIS21コンクリートや粉体タイプの中流動コンクリートではスランプフローに比べて打撃後のスプレッド値の方が大きく、増粘剤タイプの中流動コンクリートではスランプフローと打撃後のスプレッドが同程度であった。また、打撃によるスプレッドの増加も粉体タイプの中流動コンクリートの方が増粘剤タイプに比較して大きかった。これらのことから、中流動コンクリートの増粘剤タイプに比較して中流動コンクリートの粉体タイプやJIS21コンクリートの方が振動を受けた場合のフローの増加は、大きいと考えられた。

(2) 空気量

振動機を用いた場合の空気量の変化を図-3

に示す。いずれの場合も振動機を用いることにより空気量は0.3~1.0%低下することがわかった。

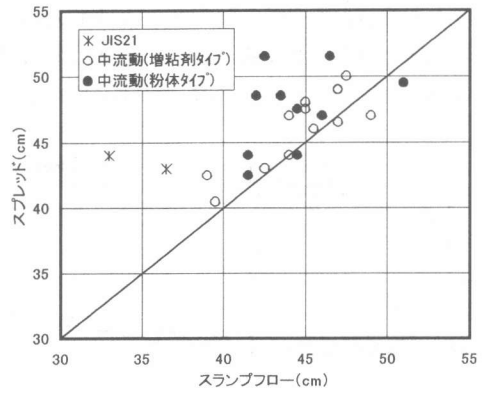


図-1 スランプフローとスプレッドの関係

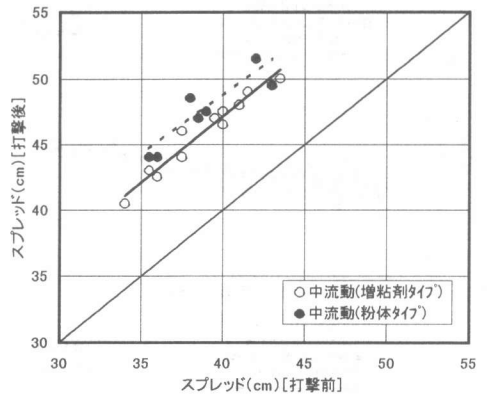


図-2 スプレッド試験における打撃前と打撃後のフロー関係

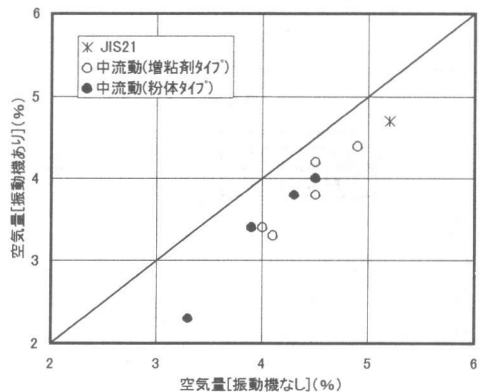


図-3 振動機を用いた場合の空気量の変化

3.2 レオロジー特性

コンクリート粘度計の回転数とトルクの関係を図-4に示す。バッチ間でトルクの違いが若干見られたが、同一バッチにおいて振動機を用いた回転数でのトルクは減少した。その減少率は回転数が低い場合に大きく、回転数が高くなるとその

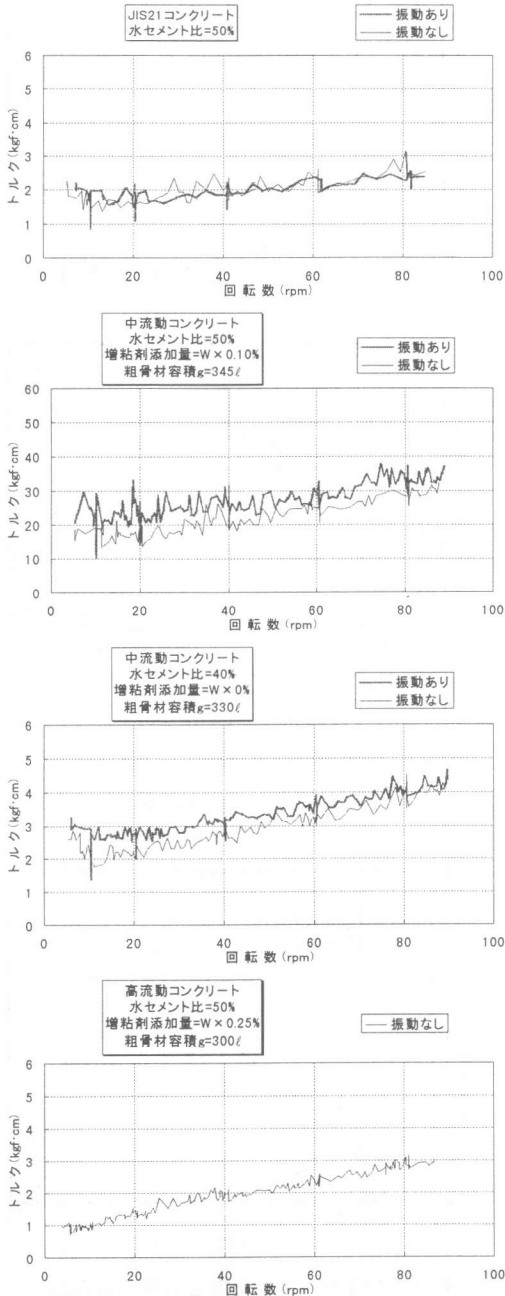


図-4 粘度計の回転数とトルクの関係

低下は小さくなることがわかった。これは、振動（加速度）がコンクリートに伝わることによって、コンクリートの流動性が高くなり、回転翼にかかる負荷が軽減されるが、回転数が高い場合、骨材のかみ効果による負荷が回転翼にかかり、トルクの減少が少ないものと考えられた。

振動により粘度計容器内のコンクリートに発生した加速度を図-5に示す。増粘剤タイプの中流動コンクリートに作用する加速度は概ね2G程度で、粉体タイプの中流動コンクリートに作用する加速度は概ね2~3Gで若干粉体タイプの方が大きかった。これらの加速度は文献4)によると通常施工で用いる棒状振動機からの距離が60cm~80cmの位置に相当した。

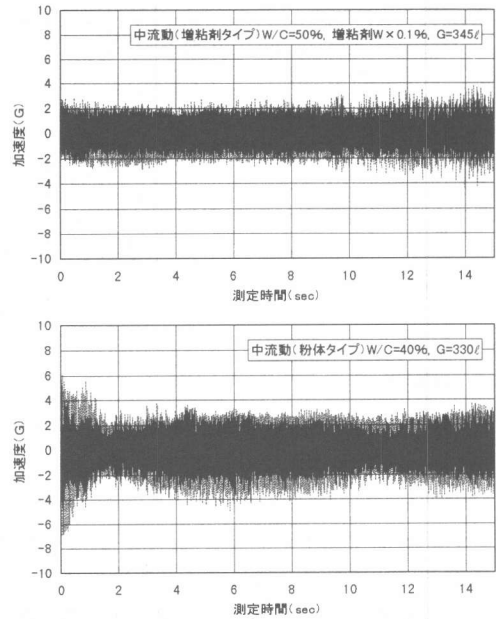


図-5 コンクリートに作用する加速度

回転数とトルクの関係を直線近似し、切片および傾きからそれぞれ求めたみかけの降伏値、塑性粘度を図-6に示す。振動を加えたものは振動時の回転数とトルクのみからこれらの値を求めた。いずれの配合も、振動機を用いることによってトルクが低下したためにみかけの降伏値が小さくなった。その値は、振動機を用いない高流動コンクリートと比較して、同等か小さい配合

が多かったが、配合の違いによる明確な傾向は見られなかった。また、振動機によるトルクの低下は低回転で大きく、回転数が大きくなるに従って小さくなったため、見かけの塑性粘度は大きくなった。増粘剤タイプの中流動コンクリートにおいてスランプフローが同等の場合、増粘剤が多いほど、細骨材率が大きいほど塑性粘性が若干大きくなる傾向にあった。また、粉体タイプの中流動コンクリートでは、水セメント比が大きいほど、粗骨材量が多いほど塑性粘度が小さかった。

種類	W/C (%)	粗骨材量 (ℓ/m ³)	増粘剤 (Wx%)
① JIS21	50	360	—
② 中流動(増粘剤タイプ)	50	315	0.20
③ 中流動(増粘剤タイプ)	50	315	0.15
④ 中流動(増粘剤タイプ)	50	315	0.10
⑤ 中流動(増粘剤タイプ)	50	330	0.10
⑥ 中流動(増粘剤タイプ)	50	345	0.10
⑦ 中流動(増粘剤タイプ)	50	360	0.10
⑧ 中流動(粉体タイプ)	32	315	—
⑨ 中流動(粉体タイプ)	35	345	—
⑩ 中流動(粉体タイプ)	40	315	—
⑪ 中流動(粉体タイプ)	40	330	—
⑫ 中流動(粉体タイプ)	45	345	—
⑬ 高流動	50	300	0.25

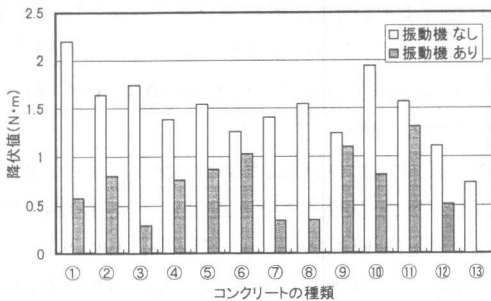
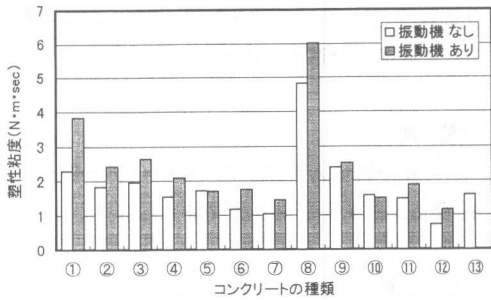


図-6 コンクリートの降伏値および塑性粘度

3.3 プリーディング率

プリーディング試験結果を図-7に示す。また、塑性粘度とプリーディング率の関係を図-8に示す。JIS21コンクリートでは振動機を用いない場

合に比べて用いた方のプリーディング率が大きかったが、中流動コンクリートでは振動機をかけることによりプリーディングは若干少なくなった。また、中流動コンクリートでは増粘剤をW×0.1%以上添加することによってプリーディングを押さえることができ、同じ塑性粘度でも増粘剤タイプの中流動コンクリートの方が粉体タイプのものに比較してプリーディング率は小さく、増粘剤のプリーディング抑制効果が確認できた。また、粉体タイプの中流動コンクリートのW/C=35%以上の配合では、いずれの配合もプリーディングが発生したが、その程度は水セメント比に比例し、粗骨材かさ容積によるプリーディングの違いはあまり見られなかった。

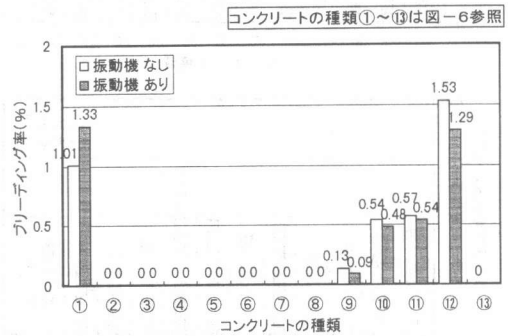


図-7 プリーディング試験結果

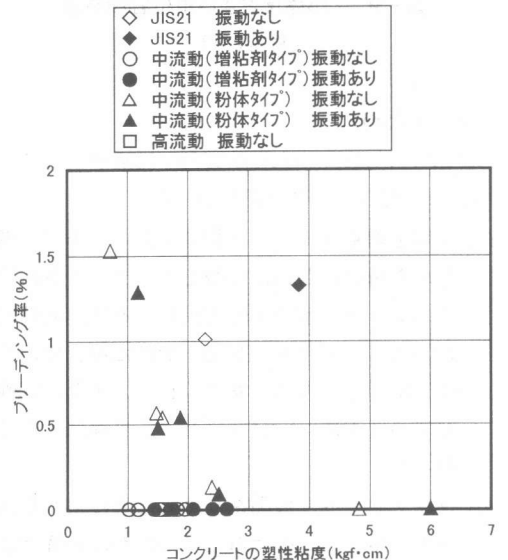


図-8 塑性粘度とプリーディング率の関係

3.4 硬化コンクリートの品質

圧縮強度試験結果および単位容積質量測定結果をそれぞれ図-9に示す。圧縮強度試験結果における振動機使用の有無による違いはあまり見られなかった。単位容積質量測定結果においては振動機使用による空気量減少分だけ振動機を用いた方が大きかった。

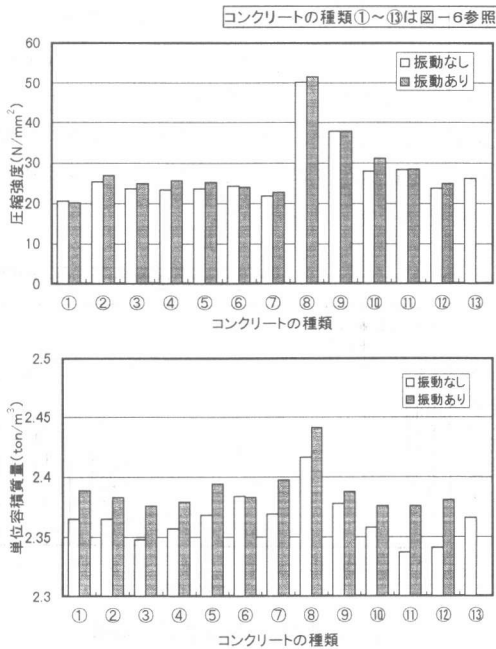


図-9 圧縮強度および単位容積質量
(材齢28日)

4. まとめ

スランプフロー45cm程度の中流動コンクリートについて以下のことがわかった。

- (1) 粉体を増量させた中流動コンクリートは、増粘剤を用いたものに比較してスプレッド試験でのフローの増加率や振動による加速度が大きいことなどから、振動を受けた場合の流動性の増加は大きいと考えられる。また、塑性粘度の低下に伴いブリーディング率は大きくなった。
- (2) コンクリートに振動を与えることにより粘度計のトルクが減少することでみかけの降伏値が低下した。この値は、振動を与えない高流

動コンクリートと比較して同等か小さい配合が多かった。

- (3) 増粘剤を添加した中流動コンクリートと高流動コンクリートは、振動の有無や塑性粘度によらずブリーディングは発生しなかった。粉体を増量した中流動コンクリートとJIS21コンクリートでは、ブリーディング率が0~1.5%の範囲であった。
- (4) 振動締固めにより、ブリーディング率は若干少なくなり、空気量が0.3~1.0%程度減少することにより単位容積重量は若干増加した。また、振動機の有無による圧縮強度の違いはなかった。

以上のことから、本実験の範囲において今回の配合の中流動コンクリートではわずかな振動を加えることにより、品質を損なうことなく高流動コンクリートと同等の充填性が得られると考えられた。また、中流動コンクリートのJISコンクリートとの比較や適用性の評価は、流動させた場合の品質評価によって明らかにしていく必要があり、今後検討を進めてゆきたい。

謝辞

本実験の御協力を頂いた(株)ポリス物産：横山賢司氏に紙面を借りて深謝致します。

参考文献

- 1) 松藤泰典ほか：中流動コンクリートに関する基礎的研究(その1 中流動コンクリートの概念)、日本建築学会大会学術講演梗概集(A-1), pp.971-972, 1998.9
- 2) 三好征夫ほか：準高流動コンクリートの基礎研究(その1 実験計画と流動性)、日本建築学会学術講演梗概集(A-1), pp.975-976, 1998.9
- 3) 柳澤太一ほか：分離低減型高性能AE減水剤を用いたコンクリートの材料分離抵抗性および締固め特性に関する検討、土木学会第53回年次学術講演概要集, pp.390-391, 1998.10
- 4) 安田正雪ほか：準高流動および高流動コンクリートの締固めに関する実験研究、コンクリート工学年次論文報告集、vol.21, 投稿中