

論文 ポンプ圧送用先送りエコモルタルの製造に伴う ウェットスクリーニングに関する検討

川野辺 正徳^{*1} 高野 肇^{*2} 中田 善久^{*3} 毛見 虎雄^{*4}

要旨：本報告は、戻りコンクリートを翌日以降のポンプ圧送用の先送りモルタルとして適用するために、円型振動ふるい機により化学混和剤を添加した前処理コンクリートをウェットスクリーニングし、エコモルタルの製造性、品質およびポンプ圧送性を明らかにするために検討したものである。10 mmふるいにより製造したエコモルタルは、実機ポンプ車のブーム程度であれば、ポンプ圧送用の先送り材として適用できることが明らかとなり、材齢 28 日における圧縮強度および静弾性係数は、呼び強度 36 のコンクリートと同等であることを明らかにした。

キーワード：戻りコンクリート、ウェットスクリーニング、化学混和剤、先送りモルタル

1. はじめに

筆者らは、これまでにレディーミクストコンクリート工場(以下、プラントと呼ぶ)において発生する戻りコンクリートおよび残りコンクリート(以下、本研究では総称して戻りコンと略す)を再利用する方法について提案¹⁾し、その基礎的実験を行ってきた。

本研究における戻りコンクリートの再利用方法は、戻りコンクリートに超遅延剤および流動化剤を添加したコンクリート(以下、前処理コンクリートと呼ぶ)からウェットスクリーニングして得られたモルタル(以下、エコモルタルと呼ぶ)を翌日以降のポンプ圧送用先送りモルタルとして適用するものである。このエコモルタルの製造には、ウェットスクリーニングするときのふるいの目の大きさにより、その製造性、品質およびポンプ圧送性が大きく異なる。また、10 mmふるいにより得られたエコモルタルのポンプ圧送性は、5 mmふるいによるものに比べ低下する傾向を示した¹⁾が、その品質および実機ポンプの圧送性に及ぼす影響は不明確である。

そこで、本報告は、10 mmふるいにより得ら

れたエコモルタルの製造性、品質および実機ポンプ圧送性を明らかにするために、ポンプ圧送用先送りエコモルタルの製造に伴うウェットスクリーニングの検討を行ったものである。

ここでは、ポンプ圧送用先送りエコモルタルの製造に伴うウェットスクリーニングに関する検討として室内における10mmエコモルタルの製造の検討、実機における10mmエコモルタルの製造の検討および10mmエコモルタルの実機コンクリートポンプ圧送性の検討について述べている。

2. ポンプ圧送用先送りエコモルタルの製造に伴うウェットスクリーニングに関する検討(表-1参照)

エコモルタルの製造性は、ウェットスクリーニングするふるいの目が大きく、ふるいの有効面積が大きく、コンクリートの流動性が大きいほど向上する。また、ウェットスクリーニングするときのふるいの目を大きくするとエコモルタル中の骨材の寸法が大きくなるため、静弾性係数などの他の品質の向上が期待できる。ここでは、前処理コンクリートを10 mmふるいによ

*1 株式会社アドバンス 技術本部 中央技術研究所 材料科学研究室 主任(正会員)

*2 山宗化学(株) 技術部 技術課課長 (正会員)

*3 ものつくり大学講師 技能工芸学部 建設技能工芸学科 工博 (正会員)

*4 足利工業大学教授 工学部 建築学科 工博 (正会員)

表-1 検討項目および内容

検討項目	内容
(1)室内における10mmエコモルタルの製造の検討	ここでは、基準コンクリートに添加する超遅延剤および流動化剤の添加量および10mmふるいにより製造したエコモルタルの経時変化に伴う流動性を把握し、圧縮強度および静弾性係数の測定結果から10mmふるいにより製造したエコモルタルの品質について調べた。
(2)実機における10mmエコモルタルの製造の検討	ここでは、円型振動ふるい機を使用して10mmふるいによりエコモルタルを製造し、基準コンクリートおよびエコモルタルの品質について調べた。また、ふるい機の違いによる前処理コンクリートの処理能力を検討した。
(3)10mmエコモルタルの実機コンクリートポンプ圧送性の検討	ここでは、実機において10mmふるいにより製造したエコモルタルが、翌日の実機コンクリートポンプの先送り材として適用性を検討すると共に、ポンプから吐出されたストローク毎のコンクリートの品質について調べた。

表-2 使用材料

材料	種類および物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度3.16 g/cm ³)
細骨材	君津産山砂 : 表乾密度2.59 g/cm ³ , 吸水率1.94%, F.M2.63
粗骨材	鳥形山産碎石 : 表乾密度2.71 g/cm ³ , 吸水率0.34%, F.M6.51
化学混和剤	流動化剤 : ホリマルP/M/S/L/酸系特殊界面活性剤
	超遅延剤 : オキシカルボン酸系化合物

表-3 コンクリートの調合

調合の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
24-18-20N	57.5	45.5	174	303	815	1014

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101
スランブフロー	JASS 5T-503
モルタルフロー	JIS A 1173
空気量	JIS A 1128
コンクリート温度	棒状温度計により測定
凝結遅延性	簡易水と熱発熱温度測定装置による
圧縮強度	JIS A 1108
静弾性係数	JIS 原案

※圧縮強度に用いた供試体の養生は、材齢7日まで封かん養生とし、7日以降は20±2℃の標準水中養生とした。

りウェットスクリーニングして得られたエコモルタルの製造性、品質および実機ポンプの圧送性について検討した。

3. 室内におけるエコモルタルの製造の検討

3.1 実験概要

実験は、室内においてエコモルタルの原料となるコンクリート(以下、基準コンクリートと呼ぶ)を50ℓ練混ぜ、2時間経過した基準コンクリートに超遅延剤および流動化剤を添加して前処理コンクリートを製造した。ここでは、10mmふるいの円型振動ふるい機によってウェットスクリーニングを行い、エコモルタルの製造性および品質について調べた。

(1) 前処理コンクリートの製造条件

前処理コンクリートは、これまでの筆者らの

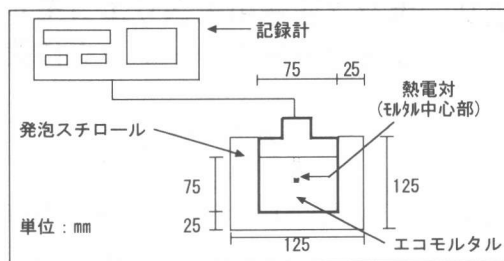


図-1 簡易水と熱発熱温度測定装置

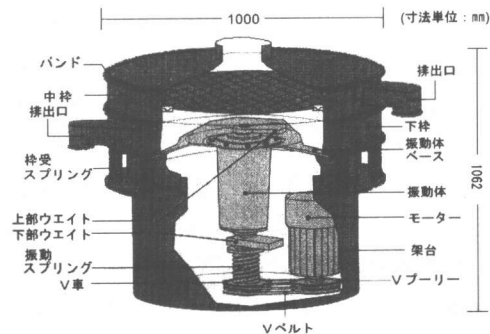


図-2 円型振動ふるい機

実験結果¹⁾から、製造直後のスランブが23cm程度となるように、超遅延剤として1.3%(4kg/m³), さらに流動化剤を0.9%添加して製造した。

(2) 使用材料および調合(表-2, 表-3参照)

基準コンクリートの調合は、一般的に用いられる呼び強度24, スランブ18cmのAEコンクリートとした。

(3) 試験項目および試験方法(表-4参照)

エコモルタルのフローは、JIS A 1173「ポリマーセメントモルタルのスランブ試験方法」により試験した。凝結遅延性は、図-1に示す簡易水と熱発熱温度測定装置を使用した。本試験方法は、容器内に詰められた一定量のエコモルタルの水和熱を一定時間ごとに記録し、その発熱曲線における温度上昇開始時間を凝結開始時間としたものである。なお、各試験とも20±2℃の条件下において行った。

(4) 円型振動ふるい機(図-2参照)

このふるい機は、上部および下部のウエイトの回転により、ふるい面に三次元運動を起こすものである。なお、ふるい機の網有効径は872mm, 振動数は1,800V.P.M.である。

表-5 コンクリートおよびエコモルタルのフレッシュ性状

試料	試験時期	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
基準コンクリート	練混ぜ直後	18.0	26.5×27.5	4.7	18.0
	2hr後	9.0	—	3.9	18.0
前処理コンクリート	添加直後	23.5	46.0×46.0	4.6	18.0
エコモルタル	製造直後	24.0	54.0×54.0	4.4	18.0

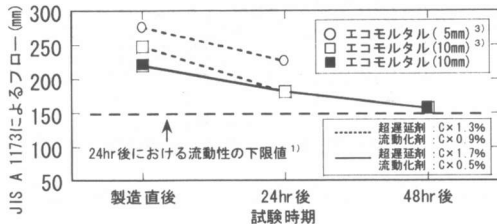


図-3 JIS A 1173によるフローの経時変化

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状(表-5 参照)

基準コンクリートの2時間後のスランブプロスは、9 cmとなった。このコンクリートに対して、超遅延剤および流動化剤を添加することにより、前処理コンクリートのスランブは 23.5 cm となり、目標とする流動性を得ることができた。

(2) エコモルタルの製造性

10 mmふるいによる円型振動ふるい機を使用して、50 ℓの前処理コンクリートをウェットスクリーニングしたときの所要時間は約3分であり、約 1.0 m³/hrの前処理コンクリートを処理することができる。筆者らは、これまでウェットスクリーニングに、木枠ふるい(40×60 cm)を用いたケンスイ式振盪機を使用しており、7 ℓの前処理コンクリートを5および10 mmふるいによってウェットスクリーニングしたときの所要時間は、それぞれ63秒(0.4 m³/hr)および40秒(0.6 m³/hr)であった³⁾。実験結果から円型振動ふるい機の製造性は、ケンスイ式振盪機の約1.5倍であることが明らかとなり、エコモルタルの製造性が向上した。

(3) エコモルタルの経時変化(図-3 参照)

24時間後におけるフロー値は、150 mm以上であり、48時間後においても先送り材としての流動性は、保持されていた。また、過去に行った実験結果³⁾と比較すると、化学混和剤の添加量が異なるが、フローのロスが小さくなった。

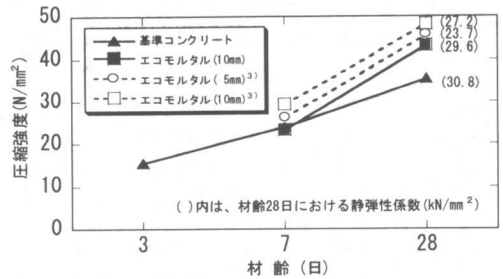


図-4 材齢と圧縮強度

(4) エコモルタルの凝結性状

簡易水和熱発熱測定装置による温度上昇開始時間は、エコモルタルの製造から84時間後であった。この結果は、エコモルタルの要求品質である48時間以上¹⁾を満足した。

(5) 圧縮強度および静弾性係数(図-4 参照)

エコモルタルの圧縮強度は、材齢28日において、ふるい目の大きさにかかわらず、基準コンクリートに対して約2割大きくなった。これは、超遅延剤および流動化剤の添加によりセメントの分散性が向上したためと考えられる。

本実験における静弾性係数は、基準コンクリートおよび10 mmエコモルタルがほぼ同等であり、骨材の寸法が10 mmのエコモルタルであれば、著しい低下がないものと思われる。また、静弾性係数は、過去に行った測定結果³⁾から、5 mmに比べ10 mmエコモルタルの方が1~2割程度大きくなる。

4. 実機における10mmエコモルタルの製造の検討

4.1 実験概要

ここでは、実際のプラントにおいてコンクリートを3 m³練混ぜ、2時間経過した基準コンクリートに超遅延剤および流動化剤を添加した前処理コンクリートを、図-2に示した10 mmふるいを装着した円型振動ふるい機によりウェットスクリーニングを行い、1.0 m³程度のエコモルタルを製造し、コンクリートの品質、得られたエコモルタルの品質および製造性について調べた。なお、ウェットスクリーニング後のエコモルタルは、密閉した容器に静置して翌日まで保管した。

表-6 コンクリートおよびエコモルタルのフレッシュ性状

試料	経過時間 (時間:分)	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)
基準コンクリート (練り直後)	00:00	20.5	39.5×38.5	5.2	17.0
基準コンクリート (2hr後)	2:00	17.0	29.0×28.0	4.1	18.0
前処理コンクリート	2:10	23.5	49.5×48.5	3.4	18.0
エコモルタル スクリーニング直後	3:00	—	58.0×58.0	3.5	17.0
エコモルタル 運搬直前	18:00	—	51.5×51.0	4.3	9.0
エコモルタル 圧送直前	21:10	25.0	47.5×46.5	2.4	9.0

(1) 前処理コンクリートの製造条件

前処理コンクリートは、3章で行った試し練りにおける結果、過去に行った実験結果^{1), 2)}および実験当日の予想外気温をもとに前処理コンクリートのスランブが23 cm程度となるように、練混ぜから2時間経過したコンクリート中の単位セメント量に対して、超遅延剤を1.3% (4 kg/m³)、さらに流動化剤を0.5%添加して製造した。

(2) 使用材料および調査

使用材料および調査は、表-2および表-3に示したものと同様である。

(3) 試験項目および試験方法

基準コンクリート、前処理コンクリートおよびエコモルタルの試験項目および試験方法は、表-4示したものと同様である。

4.2 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状(表-6 参照)

基準コンクリートの2時間後のスランブロスは、3.5 cmに留まり、試し練り時とは大きく異なった。これは、練混ぜ直後における基準コンクリートのスランブが、試し練り時に比べ大きかったこと、実機のコンクリートは3 m³であることおよびアジテートしていたことが影響していると考えられる。超遅延剤および流動化剤を添加した前処理コンクリートのスランブは、23.5 cmとなり、試し練り時と比べ、流動化剤の添加量を減らすことにより目標とした流動性を得ることができた。

エコモルタルのスランブフローのロス、製造直後から現場における圧送直前の約18時間で約10 cmであった。エコモルタルの空気量は、

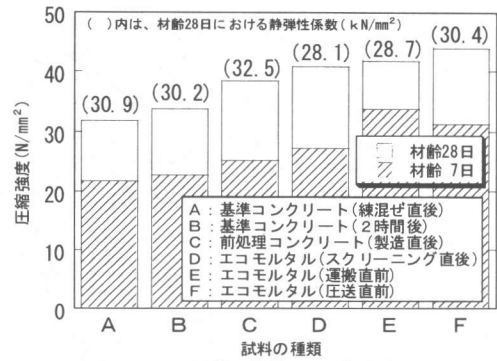


図-5 試料の種類と圧縮強度

生コンプラントの運搬前から圧送直前の3時間で1.9%減少したが、これは運搬による影響と考えられる。

(2) エコモルタルの製造性

10 mmふるいによる円型振動ふるい機を使用して1.9 t (0.824 m³) ウェットスクリーニングしたときの所要時間は、17分であり、約3.0 m³/hrの前処理コンクリートを処理することができる。実機では、ふるい機への前処理コンクリートの投入速度を速くしてもウェットスクリーニングが可能であることがわかり、効率よくウェットスクリーニングできたことから室内実験と比べ処理能力が著しく向上した。

(3) エコモルタルの凝結性状

簡易水和熱発熱測定装置によるエコモルタルの温度上昇開始時間は、エコモルタルの製造から42時間後であり、試し練り時と比べると2倍程度短くなった。これは、超遅延剤の添加量を一定とした場合でも、流動化剤の添加量が凝結時間に大きな影響を及ぼしていること¹⁾が考えられる。また、本実験においては、エコモルタルの要求品質である48時間以上¹⁾を満足できなかったが、エコモルタルは製造から約18時間後に使用したため、フロー試験の結果から先送り材としての品質に問題はなかった。

(4) 圧縮強度および静弾性係数(図-5 参照)

コンクリートの圧縮強度は、超遅延剤および流動化剤を添加した前処理コンクリートが最も大きくなり、基準コンクリートに対して2割程度大きくなった。エコモルタルは、圧送直前に

表-7 使用材料

材料	種類および物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度3.16 g/cm ³)
細骨材	①青梅産砕砂:表乾密度 2.61 g/cm ³ , 吸水率1.56% ②奥多摩産砕砂:表乾密度2.62 g/cm ³ , 吸水率1.55% ③富津産山砂:表乾密度 2.58 g/cm ³ , 吸水率1.57%
粗骨材	①鳥形山産砕石:表乾密度2.66 g/cm ³ , 吸水率0.758% ②八王子産砕石:表乾密度2.66 g/cm ³ , 吸水率0.758%
化学混和剤	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系

表-8 コンクリートの調合

調合の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			水	セメント	細骨材			粗骨材	
36-18-20N	43.0	47.8	170	396	①	②	③	①	②
					369	246	205	459	459

表-9 コンクリートポンプ車の型式および性能

型 式		極東PY60-14
性能	最大吐出量(吐出量×吐出圧力)	60m ³ /hr × 48kgf/cm ²
ポンプ本体	コンクリートシリンダ数	2
	シリンダ径×最大ストローク	φ205×950mm
	ホップ容積	0.35m ³
ブーム	ブーム型式	全油圧三段屈折式
	最大長さ	15m
	使用輸送管径	125A

採取したものが最も大きい結果となった。

コンクリートおよびエコモルタルの静弾性係数は、大きな差が見られずほぼ同等であった。

5. 10mmエコモルタルの実機コンクリートポンプ圧送性の検討

5.1 実験概要

ここでは、4章において製造した10mmエコモルタルを実機コンクリートポンプ車の先送り材として適用したときのポンプ圧送について検討した。また、圧送したエコモルタルおよびコンクリートをブームの筒先から採取し、フレッシュおよび硬化コンクリートの性状について検討を行った。

(1) 先送りエコモルタル

使用した先送りエコモルタルは、4章で製造したものであり、フレッシュ性状は、表-6に示す圧送直前のものである。

(2) 圧送したコンクリートの使用材料および調合(表-7, 表-8参照)

コンクリートの調合は、呼び強度36, スランプ18cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートとした。

(3) 実機コンクリートポンプ車(表-9参照)

ポンプ本体は、ピストン式であり配管の長さは、ポンプ車のブームのみで約15mとした。

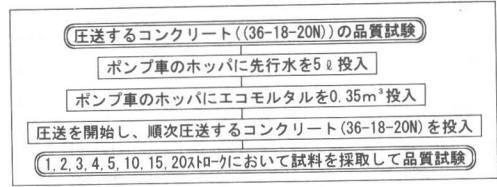


図-6 実験フロー

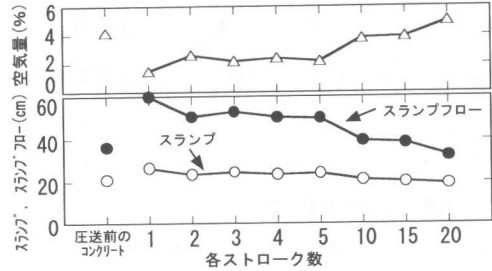


図-7 各ストロークに採取した試料のフレッシュ性状

圧送時におけるブームの状態は、一段目の屈折が上方に向けて垂直に伸ばした状態とし、二段目が一段目と30度程度の角度をつけて下方に向け、三段目が水平の状態とした。なお、このポンプ車の1ストローク当たりのコンクリート吐出量は約40ℓであり、圧送速度は、低圧20m³/hrで行った。

(4) 実験手順(図-6参照)

圧送実験における先行水は5ℓとし、エコモルタルの使用量は、0.35m³とした。コンクリートは、圧送開始と共に順次ホップに投入した。

(5) 試験項目

試験項目は、スランプ、スランプフロー、空気量、圧縮強度および静弾性係数とした。

5.2 実験結果および考察

(1) フレッシュコンクリートの性状(図-7参照)

1~5ストロークまでのスランプ、スランプフローおよび空気量は、圧送前のコンクリートの試験結果との比較からエコモルタルが含まれていると思われる。10ストローク以降では、圧送前のコンクリートの試験結果とほぼ等しくなり、ほぼコンクリートのみの安定した状態であった。

1ストローク目において、スランプおよびスランプフローが大きく、空気量が少なかった原因としては、採取した試料に5ℓの先行水が含ま

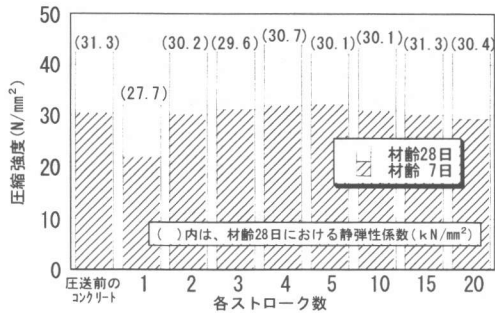


図-8 各ストロークに採取した試料の圧縮強度

まれていたことおよび試料のほとんどがエコモルタルであったことが影響したものと考える。

(2) 実機ポンプの圧送性

ポンプの圧送性は、ポンプ車の圧力計により目視で確認した。10 mmエコモルタルを先送り材としたコンクリートの圧送性は良好であり、圧力計から一般的なスランプ 18 cmのコンクリートを圧送した場合と同等となり、約 15 mのブームを問題なく圧送できた。圧送後のエコモルタルの状態から 10 mmふるいにより得られたエコモルタルは、ブーム程度の圧送距離を十分に圧送できるものと考えられる。

(3) 圧縮強度および静弾性係数(図-8参照)

各ストロークにおける圧縮強度および静弾性係数は、先行水が混入した1ストローク目を除き、圧送したコンクリートと同等であった。この結果から、24-18-20Nのコンクリートから得られたエコモルタルの圧縮強度および静弾性係数は、呼び強度 36のコンクリートとほぼ等しいことがわかった。

6. まとめ

本実験の結果から、次のことが言える。

- (1) 室内実験において円型振動ふるい機を使用した前処理コンクリートの処理能力は、ケンスイ式振盪機と比べ約 1.5 倍向上した。
- (2) 10 mmふるいにより得られたエコモルタルの品質は、24 時間後におけるフローおよび凝結遅延性の要求品質を満足し、静弾性係数は、これまでに実験した5mmふるいによるエコモルタルの品質に比べ向上している。

(3) 実機において円型振動ふるい機を使用した 10mmふるいによる前処理コンクリートの処理能力は、約 3 m³/hr となり、実機における適用性が示された。

(4) 10 mmふるいにより得られたエコモルタルは、ブーム程度であれば、先送り材として十分に適用可能であると考えられる。

(5) 10 mmふるいによるエコモルタルの圧縮強度および静弾性係数は、呼び強度 36 のコンクリートと同等であった。

今後は、エコモルタルの実用化に向けて、更なる製造性を向上させたふるい機の検討を行う予定である。

本研究は、「エコモルタル研究会」において行われたものであり、次の委員で構成されている。毛見虎雄(主査：足利工業大学)、奈良禰徳(事務局:内山アドバンス)、中田善久(ものつくり大学)、太田要一(西松建設)、永井香織(大成建設)、池田求、女屋英明(内山城南コンクリート工業)、高野肇、矢内雅之(山宗化学)、川野辺正徳(内山アドバンス)、榎本精一(オブザーバー委員：全国コンクリート圧送事業団体連合会)

【謝辞】

本実験研究を行うに当たり、飯野康一統括所長、太田要一所長(西松建設東京建築支店)、西松建設東京建築支店クリオ国立西作業所の方々、宮林幸男工場長(東京宇部コンクリート工業)、黒田洋之氏(前島圧送)のご協力を得た。また、村瀬正晴専門役(明和地所)、下橋ひとみ氏(内藤設計)、松井利三氏(松井圧送)、橋本恵治社長、澤野重春氏(塩田組)にご助言をいただいた。ここに付記し、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 高野肇, 中田善久, 奈良禰徳, 毛見虎雄; 「戻りコンクリートのポンプ圧送用モルタルへの再利用方法の提案と化学混和剤が及ぼす影響に関する基礎的研究」, コンクリート工学論文集, pp.19 ~ 28, 2000.9
- 2) 女屋英明, 毛見虎雄ほか 5 名; 「戻りコンクリートを再利用したポンプ圧送用先送りエコモルタルに関する研究(その4 生コンプラントにおけるエコモルタルの製造実験および課題)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集; pp.187 ~ 188, 1999.9
- 3) 川野辺正徳, 中田善久, 毛見虎雄, 女屋英明, 高野肇, 奈良禰徳; 「戻りコンクリートを再利用したポンプ圧送用先送りモルタルに関する実験的研究(ウェットスクリーニングして得られたエコモルタルの基礎性状)」, 日本建築学会技術報告集第9号, pp1 ~ 6, 1999.12