

論文 フラッシング剤噴霧によるトラックアジテータのドラム内における 付着モルタル洗浄方法の提案と検証

仲田 昌弘^{*1}・田辺 昭人^{*2}・都築 真之^{*3}・岩城 圭介^{*4}

要旨: レディーミクストコンクリートの運搬時における、トラックアジテータのドラム内に付着したモルタルの洗浄方法の合理化を目的に、ポリカルボン酸系の分散成分とオキシカルボン酸系の遅延成分を主成分とする水液体であるフラッシング剤をドラム内に噴霧することで付着モルタルを流動化し排出する方法を提案し、その効果を検証した。小型生コン工場における長期間の運用の結果、スラッジ水量の低減に加えて、トラックアジテータの稼働率の改善や燃料消費量の低減、ドラム内はつり作業の軽減などの効果も確認された。
キーワード: トラックアジテータ, ドラム, 付着モルタル, フラッシング剤, ミスト, 噴霧

1. はじめに

近年、社会的な環境負荷低減に対する要求が高まっており、レディーミクストコンクリート（以下、生コンと称する）工場においても、廃棄物の発生抑制や有効利用が重要な課題となっている。生コン工場における廃棄物としては、建設産業界の横断的な課題として近年注目を集めている残コン・戻りコン¹⁾に加え、従来から継続的に検討され、様々な対策が講じられている回収水・スラッジ水やトラックアジテータのドラム内に付着したモルタルなどが挙げられる。

JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の変遷によると¹⁾、1978年のJIS改正で生コンの練混ぜ水としての回収水の使用が可能となり、1989年の改正で回収水、上澄水、スラッジ水の定義づけとスラッジ固形分率 3%の規格化がなされた。さらに、2009年には、呼び強度 36 N/mm²以下の場合の練混ぜ水に関する指定事項が変更され、スラッジ水の利用拡大を促す内容に改正された。最新の2014年のJIS改正では、回収骨材の使用に関する規定が追加され、リサイクルの推進がなされている。また、スラッジ水のさらなる有効利用を目的に、オキシカルボン酸系の超遅延剤のスラッジ水への添加によるスラッジ水の翌日以降の長時間に至る保存や、3%を超える固形分率での練混ぜ水としての利用も提案されている²⁾。

一方、ドラム内に付着するモルタルの利用方法に関しては、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート 附属書 D（規定）トラックアジテータのドラム内に付着したモルタルの使用法」が規定されている。この方法では、まず、付着モルタル安定剤の希釈溶液を生コン排出後のドラム内に一定量投入し、付着モルタルをスラリー化する。このスラリー状モルタルを 24 時間以内の範囲でドラ

ム内または専用容器にて保存し、そのスラリー状モルタルと単位水量から希釈溶液分を減じた生コンを練混ぜ・均質化することで、次回積込み分の生コンとする³⁾。なお、ここでいう付着モルタル安定剤も、オキシカルボン酸系化合物を主成分とする遅延系の薬剤であり、当該使用方法の範囲においてフレッシュコンクリートや圧縮強度への影響が検証されている⁴⁾。また近年では、水のみによるドラム内の洗浄で生じたスラリー状モルタルに、運搬ごとに洗浄水量を補正した新たな生コンを積み込むことで、安定剤を用いずに付着モルタルを利用する方法も提案されている⁵⁾。しかし、これらの付着モルタルの利用方法は、広く普及しているとはいえず、次回に練り混ぜる生コンの単位水量の補正の煩雑さが普及を阻害している要因と推察される。

以上のように、生コン工場における廃棄物の発生抑制や有効利用に関し種々の方策がなされているが、アジテータドラムやミキサといった生コンの容器に類する機器の維持管理では頻繁な水洗浄が前提となっており、その水洗いに起因するスラッジ水が生コン工場の主な廃棄物起源であると考えられる。そこで著者らは、運搬ごとの作業を要するトラックアジテータのドラム洗浄に着目し、多量の水を用いない洗浄方法の適用による廃棄物の抑制を考えた。

本研究では、生コン排出後のトラックアジテータのドラム内にセメント分散成分と凝結遅延成分を主成分とするフラッシング剤を噴霧・充填させ、ドラム内壁および羽根の表裏に付着したモルタルを流動化させることで付着モルタルを洗浄する方法を提案するとともに、提案手法を小型生コン工場において運用し、その効果の検証を行った。

*1 新東産業（株）技術開発課（正会員）

*2 新東産業（株）営業部 取締役営業部長

*3 都屋建材（株）試験室 試験係長（正会員）

*4 グレースケミカルズ（株）技術部 技術部長（正会員）

2. フラッシング剤噴霧による付着モルタル洗浄方法

2.1 提案手法の概要と課題

ドラム内に付着したモルタルを水で洗浄する場合は、積載量 10t の大型車で 50 L、積載量 4t または 5t の小型車で 30 L の水量を要するといわれている⁵⁾。本研究では、従来のように多量の水を使用することなくドラム内に付着したモルタルを効率的に洗浄するために、以下に示すような手順（図-1 参照）の付着モルタル洗浄方法を提案した。なお、フラッシング剤とは、セメントに対する分散性と凝結遅延性を有し、汎用のノズルで噴霧可能な洗浄用の水溶液である。

- (1) 生コンの荷卸し・完全排出
 - (2) フラッシング剤をドラム内に噴霧・充満（帰路）
 - (3) フラッシング剤がドラム内壁、羽根裏に到達
 - (4) フラッシング剤による付着モルタルの流動化
 - (5) 流動化されたモルタルの排出・処理（帰着）
 - (6) 次回運搬用の生コンの積込み
 - (7) 作業終了時や休憩などにより、次回積込みまでの間隔が 30 分以上となる場合は水洗いを実施
- なお、上記のうち (2)～(4) は、帰路における走行中の

手順である。

以上の手順において付着モルタル洗浄性を維持するためには、ドラム内が湿潤な状態である必要があると考えられる。また、フラッシング剤が直接壁面に付着することなく、空気中を浮遊しドラム内壁および羽根の表裏の隅々まで均質に付着する必要がある。さらに、フラッシング剤の効果により、付着モルタルが適切に流動化されるとともに、その流動性が排出時まで適切に維持される必要がある。

以上の要求を確保するために、洗浄機器として噴霧ノズルの選定、フラッシング剤の選定、および適正な噴霧量の設定について検討した。

2.2 提案手法で用いる洗浄機器の検討

噴霧ノズルは、生成する水滴の平均粒子径が 10、50、300 μm と異なる 3 種類を検討した。これらの噴霧ノズルを用いて、ドラム容積 6.3 m³ の中型トラックアジテータのドラム内へフラッシング剤 500 ml を噴霧した。ドラム内における微小粒子（ミスト）の浮遊・充満程度と排出されたモルタルの流動性を目視評価した結果を表-1 に示す。また、ドラム内の微小粒子の浮遊状況を写真-1



図-1 提案手法の手順

表-1 噴霧ノズルの違いによるフラッシング剤の微小粒子（ミスト）の目視評価結果

平均粒子径	10 μm	50 μm	300 μm
浮遊程度	5 分以上滞留して、内部に霧がかかったような状態を保持した。	滞留するが、しばらくするとすぐ霧が消えていく状態であった。	霧雨状態で、微小粒子の浮遊は見られなかった。
充満程度	羽根の裏や排出口付近まで十分に行き渡っていた。	ほぼ全体に行き渡っていた。	まったく充満していなかった。
排出モルタルの流動性	一般的に良好な流動性を有するモルタルとなった。	一般的に流動化された。	部分的に流動化されなかった。



写真-1 ドラム内ミストの浮遊状況 粒子径 10 μm



写真-2 トラックアジテータホッパー部カバー

に示す。これらの結果より、平均粒子径が 50 μm 以下であれば本手法の効果があり、粒子径が小さいほど高い効果が得られることが明らかとなった。よって、平均粒子径 50 μm 以下（好ましくは 10 μm ）の微小粒子を発生させる噴霧ノズルを使用することとした。なお、噴霧ノズルは、ドラム内用 1 基とスクープおよび外羽根用 2 基の計 3 基とした。

また、トラックアジテータの走行中にフラッシング剤を噴霧するため、浮遊している微小粒子のドラムからの漏えいを抑制する必要がある。このため、写真-2 に示すようなホッパー部のカバー⁶⁾を装備することを必須とした。なお、その他のトラックアジテータの追加機器としては、運転席から噴霧操作を可能とする操作盤とフラッシング剤用のタンク・ポンプが挙げられる。

2.3 フラッシング剤の選定

フラッシング剤は、モルタル表面に付着した後、練混ぜなどの強制的な外力なしでモルタルを流動化させるとともに、流動性を保持する性能を有する必要がある。また、汎用のノズルで微小粒子状に噴霧できる必要がある。そこで、セメントに対する分散性と凝結遅延性を有するコンクリート用化学混和剤の主成分である種々の界面活性剤を候補とし、上記のフラッシング剤としての適正により選定した。

具体的には、20 $^{\circ}\text{C}$ の条件で一般的な生コン配合 27-18-20N のモルタル部分の配合 (W/C : 53.4%, 使用材料 : 普通ポルトランドセメント, 石灰石砕砂, 細目砂, AE 減水剤標準形) を練り混ぜ、型枠用木製パネルに約 3 mm の厚さ (大型トラックアジテータのドラム表面積 23 m^2 と付着モルタル量 80 L ⁷⁾ から想定) で塗布し、30 分間放置し試験体とした。その試験体の表面に手動噴霧器を用いて 10 種類以上の試験用サンプルを定量噴霧し、付着モルタルのダレ状態やその後の水噴霧による洗浄性を評価した。また、35 $^{\circ}\text{C}$ 条件でも同様の評価を行った。

評価結果の一部を写真-3 に示す。試験用サンプルの

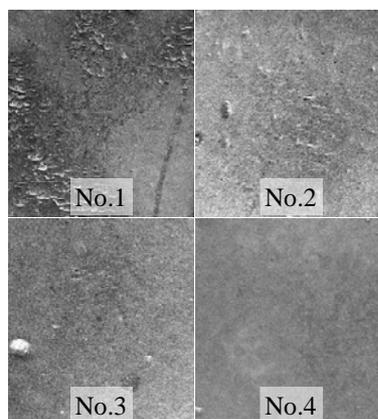


写真-3 フラッシング剤評価試験例

種類により噴霧後のモルタル表面の状況は明らかに異なり、No.3, 4 のようにあまり変化がないものに対し、No.1, 2 のように表面が流動化し波打つような状況が認められた。このような評価を経て、最終的にポリカルボン酸系の分散成分とオキシカルボン酸系の遅延成分を主成分とするフラッシング剤を選定した。本剤の推定される作用機構としては、分散成分の浸透・吸着によるモルタル表層部の流動化と遅延成分の深部のセメント粒子への吸着⁸⁾による洗浄性の保持が推測される。

2.4 フラッシング剤噴霧量の検討

(1) 室内における噴霧シミュレーション

本手法の効果を発揮するには、ドラム内に均一にフラッシング剤の微小粒子（ミスト）が浮遊する状態とする必要がある。そこで、試験室において、平均粒子径 10 μm 、噴霧効率 1.0 ml/sec の噴霧ノズルとコンクリート試験用ドラムミキサ 2 機（ドラム容積 0.258 m^3 , 0.063 m^3 ）を用いた噴霧シミュレーションを行った。噴霧ノズルはドラム開口側に内向きで設置し、ドラム最深部から約 20 mm の位置で相対湿度の測定を行った。なお、計測中のドラムは、シートにより密閉するとともに正転させ、環境温度は 20 $^{\circ}\text{C}$ （ドラム容積 0.258 m^3 , 0.063 m^3 ）、35 $^{\circ}\text{C}$ （ドラム容積 0.063 m^3 のみ）の 2 水準とした。

単位容積あたり噴霧量とドラム内湿度の関係を図-2 に示す。なお、横軸は、噴霧量をドラム容積で除した単位容積あたりの噴霧量である。ドラム内の湿度が 100%RH となる噴霧量は、20 $^{\circ}\text{C}$ で 90 ml/m^3 程度、35 $^{\circ}\text{C}$ で 180 ml/m^3 程度であった。ドラム内湿度が 100%RH の場合は、羽根裏を含むドラム内面表面での結露が確認された。また 20 $^{\circ}\text{C}$ の条件では、容積が異なる 2 機のドラムミキサで単位容積あたり噴霧量のほぼ同様の傾向が得られた。環境温度による差異については、各温度条件における飽和水蒸気量 17.2 g/m^3 (20 $^{\circ}\text{C}$) と 39.6 g/m^3 (35 $^{\circ}\text{C}$) の比に符合するものであり、温度が高いほどドラム内湿度が高くなりやすく、同時に結露しにくいと考えられる。

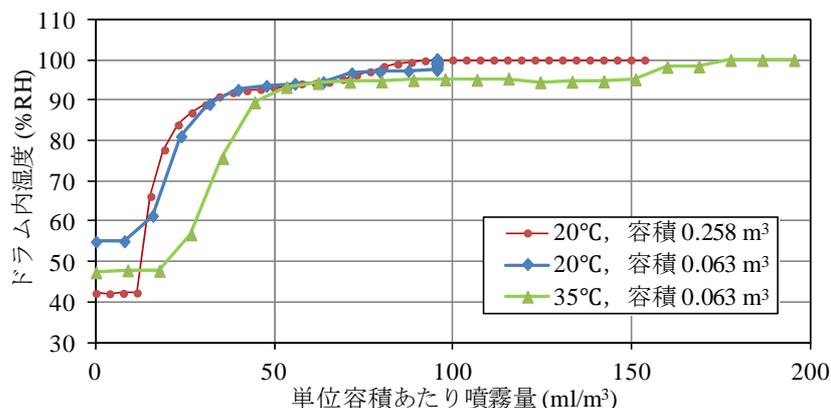


図-2 単位容積あたり噴霧量とドラム内湿度の関係

(2) 実機によるフラッシング剤噴霧量の検討

フラッシング剤噴霧量の違いによる付着モルタルの洗浄効果を確認するために、ドラム容積 6.3 m³ の中型トラックアジテータを用いて付着モルタル回収量の評価を行った。噴霧ノズル（平均粒子径 10 μm）は、トラックアジテータの開閉式ホッパカバーに取り付けたステーにドラム内部方向に向けて固定した。このような装置を用いて、生コンの荷卸しから 5 分後に一定量のフラッシング剤を噴霧し、付着モルタルの回収量を測定した。

フラッシング剤噴霧量による付着モルタルの洗浄効果の評価結果を表-2 に示す。なお、噴霧量は単位容積あたりの量である。また、回収率の計算では、実測に基づく当該トラックアジテータの付着モルタル量である 55 L を用いた。これらの結果より、フラッシング剤の噴霧量が多いほど、排出されたモルタルの流動性が高く、回収率も高いことが明らかとなった。また、噴霧量 150 ml/m³ では、90% 以上の付着モルタルが排出される結果が得られ、噴霧量 60~150 ml/m³ の範囲で本手法の効果が発揮されることが明らかとなった。この値は、室内で行った噴霧シミュレーションの結果とも符合するものであった。

3. 小型生コン工場における提案手法の運用・評価

提案したフラッシング剤の噴霧による付着モルタル

の洗浄方法の有効性を検証する目的で、実際の小型生コン工場においてトラックアジテータ 1 台を対象に本手法を 9 か月間運用した。提案手法と運搬ごとに水洗い洗浄する従来手法との比較により、本手法の種々のメリットを明らかにした。

3.1 生コン工場と出荷生コンの概要

提案手法の運用・評価を行った小型生コン工場と出荷生コンの概要を以下に示す。

- (1) ミキサー：水平二軸強制練り（容量 1,000 L）
- (2) 年間出荷量：40,000 m³
- (3) トラックアジテータ：8 t 車/6 台、4 t 車/4 台、3 t 車/2 台（そのうち提案手法の適用車は 8 t 車（ドラム容積 6.3 m³）1 台である。）
- (4) 使用セメント：普通ポルトランドセメント、または高炉セメント B 種
- (5) 使用細骨材：陸砂、茨城県鹿嶋市産
- (6) 使用粗骨材：砕石 2005、東京都青梅市産
- (7) 使用混和剤：高性能 AE 減水剤、または AE 減水剤
- (8) 配合の範囲：呼び強度 18~40 N/mm²

各手法の運用・評価においては、荷卸し後の付着モルタルの洗浄時間、帰着後のスラッジ水または流動化モルタルの排出時間および作業終了時の洗車に要する時間を記録した。また、従来手法では荷卸し後の付着モルタルの洗浄および作業終了時の洗車に要した水量および帰着

表-2 フラッシング剤噴霧量の違いによる付着モルタルの洗浄効果の評価結果

噴霧量 (ml/m ³)	付着モルタルの洗浄状況	排出量 (L)	回収率 (%)
0	ドラムの逆転を行っても付着モルタルは内部に付着したままで排出できない。	0	0
20	付着モルタルを一部排出できるが、排出されたモルタルは流動性が低い。	20	36
60	付着モルタルを排出でき、排出されたモルタルは良好な流動性を有する。	40	72
150	付着モルタルをほぼすべて排出でき、排出されたモルタルは過剰な流動性を有する。	50	91

表-3 運搬に関する従来手法と提案手法の比較（トラックアジテータ 8 t 車 1 車 1 日あたり）

区分	項目	従来水洗浄	フラッシング剤噴霧洗浄	差
作業時間	荷卸し後の洗浄（洗浄場所までの移動を含む）	15 分	2 分（シュートのみ）	-13 分
	帰社後のスラッジ水/流動化モルタルの排出	5 分	2 分	-3 分
	当日の作業終了時の洗車	30 分	30 分	0 分
	3~4 回/日運搬時の合計	90~110 分	42~46 分	-48~64 分
使用水量	荷卸し後の洗浄に使用した水量	30 L	5 L	-25 L
	3~4 回/日運搬時の合計	90~120 L	15~20 L	-75~100 L
使用フラッシング剤量	荷卸し後に噴霧したフラッシング剤	—	0.6 L	+0.6 L
	3~4 回/日運搬時の合計	—	1.8~2.4 L	+1.8~2.4 L
スラッジ水量	帰社後に排出されたスラッジ水	80 L	6 L（シュートのみ）	-74 L
	当日の作業終了時の洗車	200 L	100 L	-100 L
	3~4 回/日運搬	440~520 L	118~124 L	-322~396 L
排出モルタル量	帰社後に排出された流動化モルタル	—	40 L	+40 L
	3~4 回/日運搬時の合計	—	120~160 L	+120~160 L



写真-4 従来手法（水洗浄）のドラム内状況（左：ドラム底部，右：羽根の裏側）



写真-5 フラッシング剤噴霧洗浄の運用6か月後のドラム内状況（左：ドラム底部，右：羽根の裏側）

後の排出および作業終了時の洗車で生じるスラッジ水量を測定した。提案手法では、これに加えて、フラッシング剤の使用量および流動化されて排出されたモルタル量を測定した。

3.2 提案手法の運用・評価結果

各種作業時間の記録，および使用水量，使用フラッシング剤量，スラッジ水量，排出モルタル量の測定の結果を表-3に示す。

(1) 作業時間

提案手法の適用により，1日あたりのトラックアジテータの運転時間が1時間程度短縮可能であることが明らかとなった。これにより，輸送コストが低減可能であるばかりでなく，路上洗車がなくなるため，これに起因する渋滞，危険作業，洗浄水飛散の解消が期待される。

(2) スラッジ水量

提案手法では，トラックアジテータ1車あたり120～160 L程度のモルタルの硬化処理が必要となるが，従来手法に比べて比較的処理費の高いスラッジ水量を320～400 L程度低減可能であり，全般的に廃棄物処理費用の低減が期待される。

(3) 燃料消費量

当該トラックアジテータの走行100 kmあたりの燃料

消費量は，提案手法の適用前2か月間で37.7 L，適用後2か月間で32.2 Lであり，15%程度の燃料消費量の低減が確認された。これは，上述したトラックアジテータ運転時間の短縮に加えて，荷卸し後の洗浄時における高速回転が不要となることによる効果が高いと考えられる。

(4) ドラム内状況

本検討では，提案手法をトラックアジテータの新車時から適用した。そこで，約6か月経過後のドラム内の状況を目視観察により従来手法と比較した。ドラム内の状況を写真-4（従来手法），写真-5（提案手法）に示す。提案手法の適用によりドラム内部のモルタルの固着は明らかに低減され，従来手法で定期的に必須であったはつり作業を軽減可能であると考えられる。

しかし，提案手法を有効に活用するには，なるべく連続した荷卸しと積込みが重要であり，荷卸しや次回に積込みまでの待ち時間が長い場合は，従来の水洗浄を併用する必要がある。特に，夏期の高湿時では，付着モルタルの急速な凝結開始が予想される。よって，写真-5のような効果を得るには，荷卸し時の生コンの性状，次回積込みまでの待ち時間，気象条件（気温，湿度）などを考慮したドライバーの適切な判断による水洗浄の適宜併用が重要となる。

4. 今後の課題

本手法では、フラッシング剤の噴霧洗浄により流動化されたモルタルは、生コン工場に帰着後に全量排出され、低品位コンクリートとしての再利用やコンクリートがら（安定型廃棄物）としての廃棄処理を行うことを基本としている。

しかし、付着モルタルを洗浄したスラッジ水を再利用する JIS A 5308 附属書 D の考え方³⁾に基づくと、フラッシング剤の噴霧により流動化されたモルタルをそのままトラックアジテータのドラム内に残置し、次回の生コンを追加で積み込むことで再利用することも、実用上は可能であると考えられる。提案手法では、洗浄のための多量の水を使用しないため、次回生コンへの影響も少ないと考えられる。例えば、積載量 10 t のトラックアジテータを考えると、付着モルタル量は 30-80 L、多くても 100 L 程度である⁷⁾。また、ドラム容積は 10 m³ 程度であるため、フラッシング剤の噴霧量は 1~2 L 程度が想定される。このような残置された流動化モルタルに次回生コン 4 m³ を積み込んだ場合、残置モルタルによる影響は限定的であることが予想される。しかし、このような運用を行うには、JIS A 5308 に盛り込まれる必要であり、次期 JIS 改正での検討が望まれる。

5. まとめ

本研究では、トラックアジテータドラムの付着モルタルの新しい洗浄方法として、生コン排出後のドラム内にフラッシング剤を噴霧・充満させ、ドラム内壁および羽根の表裏に付着したモルタルを流動化させる手法を提案し、その適用性を検証した。得られた知見を以下に示す。

- 1) フラッシング剤の微小粒子（ミスト）は、粒子径が小さいほど高い洗浄効果が得られることが明らかとなり、平均粒子径 50 μm 以下（好ましくは 10 μm 程度）を発生させる噴霧ノズルが有用であることが確認された。
- 2) フラッシング剤は、コンクリート用化学混和剤の主成分であるポリカルボン酸系の分散成分とオキシカルボン酸系の遅延成分の組合せを選定した。その作用機構としては、分散成分の浸透・吸着によるモルタル表層部の流動化と遅延成分の深部セメント粒子への吸着による洗浄性の保持が推測される。
- 3) ドラム内を湿潤に保つためのフラッシング剤の噴霧量は、室内における噴霧シミュレーションの結果、20℃で 90 ml/m³ 程度、35℃で 180 ml/m³ 程度であり、そのとき、羽根裏を含むドラム内面表面での結露が確認された。
- 4) 実機トラックアジテータにおいて、付着モルタルを流動化させ回収率 70% 程度以上の高効率で排出するた

めのフラッシング剤噴霧量は、60~150 ml/m³ であった。

- 5) 小型生コン工場における提案手法の運用・評価の結果、トラックアジテータ 1 車 1 日あたり、作業時間で 1 時間程度、燃料消費量で 15% 程度、スラッジ水量で 320~400 L 程度の低減が可能であった。これにより、輸送コスト、燃料費、廃棄物処理費の低減のみならず、路上洗車に起因する各種リスクを回避することが可能である。
- 6) 提案手法を長期間運用したトラックアジテータのドラムの内部は、従来手法に比べてモルタルの固着が著しく低減された。よって、はつり作業を軽減可能であると考えられる。しかし、本手法を有効に活用するには、荷卸し時の生コンの性状、次回積み込みまでの待ち時間、気象条件などを考慮したドライバーの適切な判断による従来手法（水洗浄）の適宜併用が重要である。

謝辞：経済産業省産業技術環境局 産業基盤標準化推進室・基準認証ユニット基準認証政策課、全国生コンクリート工業組合連合会技術部会の関係各位には、本手法の標準化に対する貴重なご意見、ご助言をいただきました。ここに謹んで謝意を表します。

参考文献

- 1) 残コン・戻りコンの発生抑制及び有効利用に関する技術検討委員会報告書、日本コンクリート工学会、2012.1
- 2) 会沢賢一、西村 正、渡辺 清：超遅延剤添加による生コンスラッジの有効利用に関する一研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18, No.1, pp.387-392, 1996.
- 3) JIS A 5308 レディーミクストコンクリート 附属書 D（規定）トラックアジテータのドラム内に付着したモルタルの使用法、2014.
- 4) 金塚美喜男、香取恒雄、木間栄一、熊岡敏夫、長谷優司：生コン車の付着モルタルの安定化及び生コン工場の回収スラッジの改善について、第 13 回生コン技術大会研究発表論文集、pp.25-30, 2005
- 5) 中村修二、船越孝浩、川原 隆、島 弘：トラックアジテータの洗浄によって生じる液状化したモルタルの使用法、コンクリート工学年次論文集、Vol.36, No.1, pp.2176-2181, 2014.
- 6) 都屋建材 HP：http://www1.ocn.ne.jp/~miyakoya/car.html
- 7) 岩永豊司：スラッジ水の有効利用と環境への配慮、コンクリート工学、Vol.48, No.9, pp. 87-90, 2010.9
- 8) 日本材料学会編：コンクリート混和材料ハンドブック、pp.137-143, 2004.4