

論文 スラッジ水を積極的に使用したコンクリートの特性

佐藤 嘉昭^{*1}・竹田 吉紹^{*2}・薬師寺 照夫^{*3}・田口 茂久^{*4}

要旨:レディーミクストコンクリート工場で排出されるコンクリートスラッジの量を低減する一つの方法として、スラッジ水をコンクリートの練り混ぜ水として積極的に使用することが考えられる。本研究では、レディーミクストコンクリート工場から採取した固形分率が3,5,10%のスラッジ水を使用したコンクリート(水セメント比が50,55,60,65,70%で、スランプがそれぞれ8,18cm)のフレッシュな状態、および硬化後の特性を調べた。その結果、スラッジ固形分率が5%であれば全ての配(調)合で、場合によっては10%程度でも十分に良い性能を持つコンクリートを製造できることがわかった。

キーワード:レディーミクストコンクリート工場、産業廃棄物、スラッジ水、スラッジ固形分率

1. まえがき

全国5,300にものぼるレディーミクストコンクリート工場では、ミキサーや生コン車の洗浄、それに、戻りコン、残コンの処分によって生じる洗い排水中に含まれるスラッジ(以下、コンクリートスラッジ)の処理が問題となっている。コンクリートスラッジの大半はスラッジケーキ化され埋め立て処分されているのが実状であるが、産業廃棄物の汚泥として区分されているために、管理型の埋め立て処分場での処理が義務づけられている。しかしながら、地球環境の保全という観点から、今後は処分場の確保が困難になることは間違いなく、また、コンクリートスラッジを処理するための費用はさらに高騰することが予想される。コンクリートに携わる者としては、コンクリートスラッジの処理の方法、できれば有効利用の方法について検討し、実用化へと結びつけていく努力をしなければならない時期にさしかかっているようである。

コンクリートスラッジの処理過程は図-1のようにまとめることができるが[1]、本論文はスラッジ水の積極的な利用に関する実験、研究を述べたものである。現行のJIS規定(JIS A 5308「レディーミク

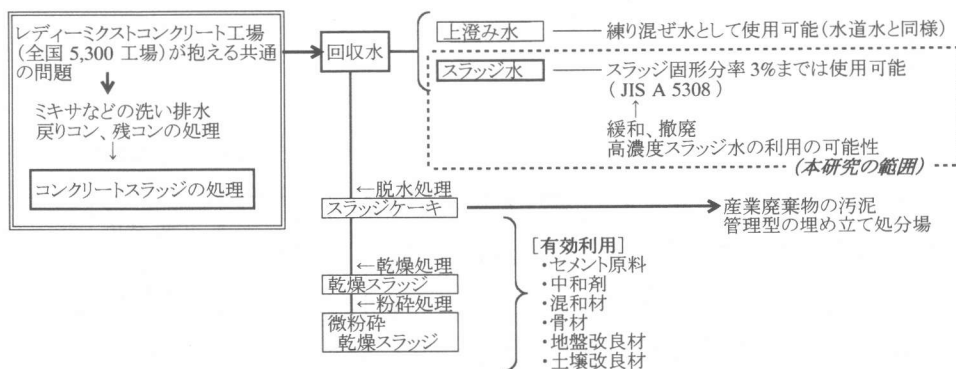


図-1 コンクリートスラッジの処理および有効利用

*1 大分大学助教授 工学部建設工学科、工博(正会員)
 *2 西日本工業大学助教授 工学部建築学科、工修(正会員)
 *3 大分県生コンクリート工業組合副理事長、(正会員)
 *4 全国生コンクリート工業組合連合会九州地区本部技術部長

ストコンクリート)では、スラッジ水に含まれる固形分量がセメント質量の3%までならばコンクリート用の練り混ぜ水として使用できる。しかしながら、全生連の「回収水利用の手引き」[2]によればスラッジ固形分量が1%を超える場合は配(調)合の修正が必要とされており、そのために、スラッジ水はほとんど使用されていないか、1%以内の使用というのが現状である。スラッジ固形分率を3~5%で使用すれば排出されるコンクリートスラッジを完全に消費できるという試算も報告[3,4]されており、スラッジ水を積極的に利用することはコンクリートスラッジの発生量を低減できる確実な方法といえる。スラッジ固形分率の限界値(3%)は日本コンクリート工学協会の回収水調査研究委員会[5]の提言に基づいて設定されたもので、その当時と比べて、現在のレディーミクストコンクリート工場のスラッジ濃度管理技術および精度、また、コンクリート技術には格段の進歩が認められることから、限界値の緩和、あるいは撤廃ということを視野にいれた研究が必要と思われる。

以上のことから、本研究では、高濃度のスラッジ水を使用した場合のコンクリートの諸特性に関する実験を行い、スラッジ水を練り混ぜ水として積極的に利用できるかどうかを検討した。

2. 実験

2.1 実験計画

水セメント比が50,55,60,65,70%で、スランブがそれぞれ8,18cm、空気量4.5%のコンクリートを基本コンクリートとして、スラッジ水濃度から換算した固形分量をセメント質量の外割で3,5,10%混入した配(調)合(W/C、スランブ、空気量は基本コンクリートと同一)について、混練時の状態の観察、ブリーディング試験、硬化したコンクリートについては圧縮強度試験、長さ変化試験、凍結融解試験、中性化試験、レイタンス層および気泡状態の観察を計画した。なお、水セメント比が70%のものについては基本コンクリートのみを試験することにした。また、圧縮強度試験は全配(調)合についておこなうことにしたが、その他については実験の都合上代表的な配(調)合を選んで実施することにした。実験概要を表-1に示す。

2.2 使用材料

使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は海砂と山砂の混合砂、粗骨材は砂岩碎石である。混和剤としてはAE減水剤を用いた。使用した材料の性質を表-2に示す。なお、スラッジ水はレディーミクストコンクリート工場の沈殿槽からコンクリート打設の前日の夕方に採取したもの(スラッジ水の材齢としては1日)を使用した。スラッジ固形分率はコンクリート打設の直前にスラッジ水の含水率を測定してから調整した。

表-1 実験概要

W/C(%)	50					55					60					65					70				
スランブ(cm)	8,18																								
混入率(%)	0	3	5	10	0	3	5	10	0	3	5	10	0	3	5	10	0	3	5	10	0				
(実験項目)																									
スランブ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
空気量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
単位容積質量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
ブリーディング	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
圧縮強度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
長さ変化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
凍結融解	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
中性化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
レイタンス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
気泡状態	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				

○:測定、-:測定せず

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重 3.16
細骨材	混合砂(海砂+山砂) 最大寸法 2.5mm 表乾比重 2.55 吸水率 2.88% 粗粒率 2.36
粗骨材	砂岩碎石 最大寸法 20mm 表乾比重 2.66 吸水率 0.62% 粗粒率 6.58
混和剤	AE減水剤 リグニンスルホン 酸化合物とポリオール の複合体

表-3 配(調)合表

番号	配(調)合			細骨材率 %	単位質量(kg/m ³)					スラン プ cm	空 気 量 %	単 位 容 積 量 kg/l	ブ リ ン グ レ ー ド 率 %		
	W / C %	ス ラ ン プ cm	ス 混 ラ 入 率 ジ %		単 位 水 量	セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材	ス 固 ラ 形 ツ 分 ジ					A E 減 水 剤	空 気 調 整 剤
1	50	8	0	41.0	165	330	719	1077	—	0.825	0.5A	8.0	4.4	2.32	2.59
2			3		172	344	694	1059	(10.3)	0.860	0.5A	9.0	4.5	2.31	—
3			5		174	348	684	1053	(17.4)	0.870	1A	8.5	4.7	2.30	1.22
4			10		176	352	660	1048	(35.2)	0.880	1A	6.0	3.7	2.31	1.08
5		18	0	42.0	189	378	694	998	—	0.945	0.5A	18.0	4.9	2.28	4.01
6			3		203	406	658	963	(12.2)	1.015	0.5A	19.0	3.6	2.29	—
7			5		206	412	643	955	(20.6)	1.030	1A	19.0	4.2	2.27	2.40
8			10		210	420	609	944	(42.0)	1.050	1.5A	18.0	6.0	2.23	1.54
9	55	8	0	42.0	164	298	750	1075	—	0.745	1A	10.0	6.0	2.28	—
10			3		170	309	730	1059	(9.27)	0.772	0.5A	8.5	4.7	2.30	—
11			5		172	313	717	1056	(15.6)	0.782	1A	9.0	5.0	2.29	—
12			10		174	316	696	1051	(31.6)	0.790	1A	7.0	4.5	2.29	—
13		18	0	43.0	188	342	724	1000	—	0.855	0.5A	18.5	4.7	2.28	—
14			3		196	356	699	979	(10.7)	0.890	0.5A	19.0	4.5	2.28	—
15			5		198	360	686	976	(18.0)	0.900	1A	19.0	5.3	2.26	—
16			10		201	365	660	968	(36.5)	0.912	1A	18.5	4.7	2.26	—
17	60	8	0	43.0	163	272	778	1069	—	0.680	0.5A	7.0	4.9	2.32	—
18			3		169	282	758	1056	(8.46)	0.705	0.5A	9.5	4.2	2.30	—
19			5		171	285	748	1053	(14.2)	0.712	1A	9.0	4.4	2.29	—
20			10		173	288	727	1048	(28.8)	0.720	1A	8.0	3.7	2.30	—
21		18	0	44.0	187	312	753	998	—	0.780	0.5A	19.5	4.7	2.27	—
22			3		194	323	732	982	(9.69)	0.808	0.5A	19.5	4.7	2.27	—
23			5		196	327	721	976	(16.4)	0.818	0.5A	19.0	4.1	2.27	—
24			10		199	332	694	971	(33.2)	0.830	1A	17.0	5.2	2.25	—
25	65	8	0	44.0	163	251	804	1061	—	0.628	0.5A	6.5	4.6	2.30	3.70
26			3		169	260	786	1048	(7.80)	0.650	0.5A	7.5	4.8	2.29	—
27			5		171	263	773	1045	(13.2)	0.658	0.5A	8.0	4.9	2.28	2.66
28			10		173	266	755	1040	(26.6)	0.665	0.5A	7.5	4.4	2.30	1.62
29		18	0	45.0	187	288	781	990	—	0.720	0.5A	19.5	4.8	2.26	5.06
30			3		194	298	758	976	(8.94)	0.745	0.5A	19.0	4.8	2.26	—
31			5		196	302	745	971	(15.1)	0.755	0.5A	20.0	4.9	2.26	4.77
32			10		199	306	724	963	(30.6)	0.765	0.5A	19.0	4.2	2.26	3.07
33	70	8	0	45.0	163	233	827	1051	—	0.582	0.5A	6.0	4.5	2.29	—
34		18	0	46.0	187	267	806	982	—	0.668	0.5A	18.0	5.2	2.26	—

注)スラッジ固形分の()は、スラッジ水の濃度から換算した固形分の量をあらわす

2.3 配(調)合

スラッジ水を使用したコンクリートの配(調)合設計の基本方針は、1)基本コンクリートの配(調)合を決定、2)「回収水利用の手引き」を参考にして単位水量を決定、3)空気量を4.5%として骨材量を決定、4)細骨材率は基本コンクリートと同一として細骨材量および粗骨材量を決定、5)AE減水剤の使用量はセメント量あたりとして計算、である。基本コンクリートを含めて全部で34配(調)合となったが、その詳細を表-3に示す。

2.4 実験方法

ブリーディング試験はJIS A 1123に準じておこなった。圧縮強度試験はφ10×20cmの円柱試験体を用いたが、材齢28日、1年で試験をおこなった。長さ変化試験には10×10×40cmの角柱試験体を用い、材齢1日で脱型後水中養生をおこない、材齢7日より乾燥開始した。凍結融解試験はJIS A 6204に、中性化試験は日本建築学会「高耐久性コンクリート造設計施工指針(案)」に準じておこなった。また、スラッジ水を大量に使用するためにレイタンス層が厚くなるのが懸念されたので、レイタンス層を調べるためにφ10×20cmの円柱試験体を作製し、カッターで切断してレイタンス層を目視で観察し、同時に画像解析装置により気泡状態の定量化をおこなった。

3. 実験結果

3.1 練り混ぜ状態

スラッジ固形分率が高くなるにつれてコンクリートの粘性は増し、若干もたついたコンクリートになるが、混入率が5%、場合によっては10%でも、適度に粘性のある、状態の良いコンクリートが得られることがわかった。

3.2 単位水量およびブリーディング率

スラッジ固形分率が増加するにつれて単位水量は増大し、基本コンクリートよりも4~7%の増加となった。ただし、水セメント比が50%でスランプが18cmの場合は基本コンクリートと同一のスランプを得るためには単位水量は著しく増加する(7~12%)という結果になった。ブリーディング率の結果は表-3に示すとおり、スラッジ固形分率が増大するにつれてブリーディング率は低下している。

3.3 圧縮強度

スラッジ固形分率と材齢28日、および1年における圧縮強度の関係を図-2に示す。これによると、材齢28日では水セメント比が同一であることから、水セメント比が50%でスランプ18cmの場合を除いて、スラッジ水の混入の有無にかかわらず強度は基本コンクリートとほぼ同じ値か若干大きな値を示している。また、材齢1年の強度はスラッジ水の混入によって明らかに増加する傾向を示している。

3.4 乾燥収縮ひずみ

スラッジ固形分率と乾燥収縮ひずみの関係を図-3に示す。これによると、スランプ、水セメント比の違いによらず、スラッジ水混入の有無による影響をほとんど受けていないことがわかる。基本コンクリートと比較して、単位水量が増大しているわりには乾燥収縮ひずみは増加しておらず、乾燥期間1年の場合で比較すると、一部水セメント比が50%の場合を除いて、5~8%程度の範囲の増加におさまっている。

3.5 凍結融解試験

凍結融解試験の結果を図-4に示す。スランプ8cmと18cmとは異なる試験機関で実施したもので、両者の絶対値の比較は出来ない。これによると、スランプ8cmの場合はサイクル数が増えるにつ

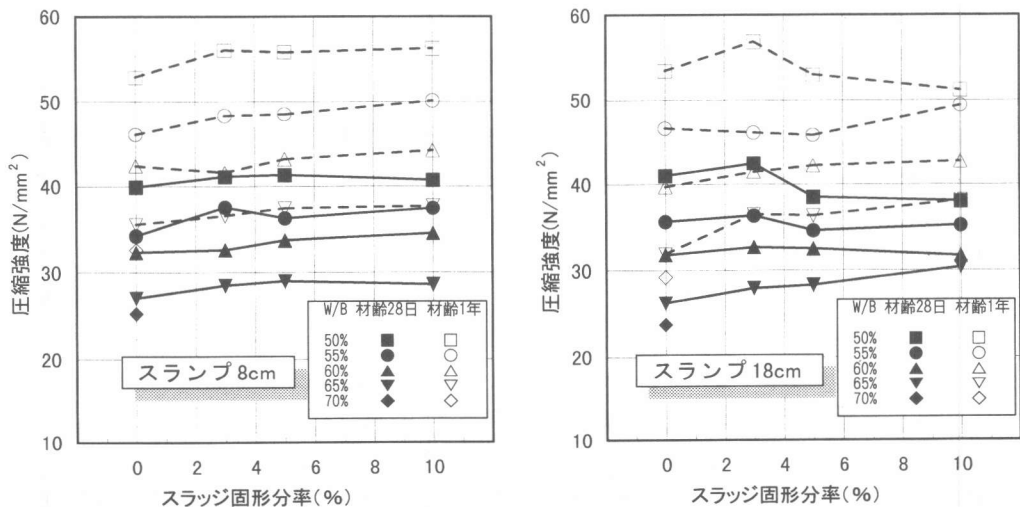


図-2 圧縮強度

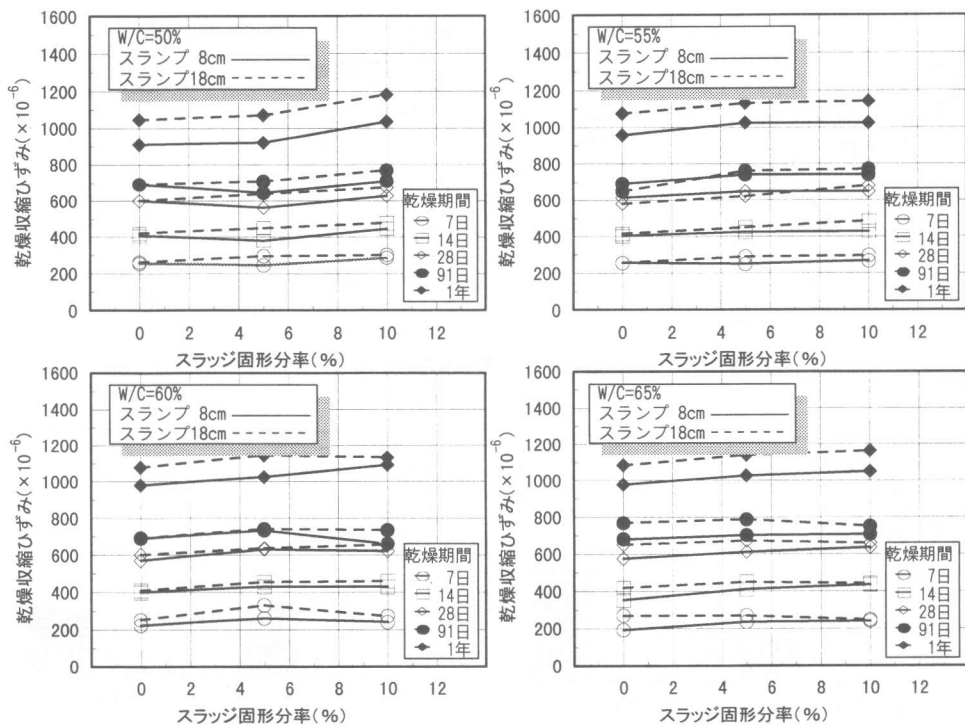


図-3 乾燥収縮ひずみ

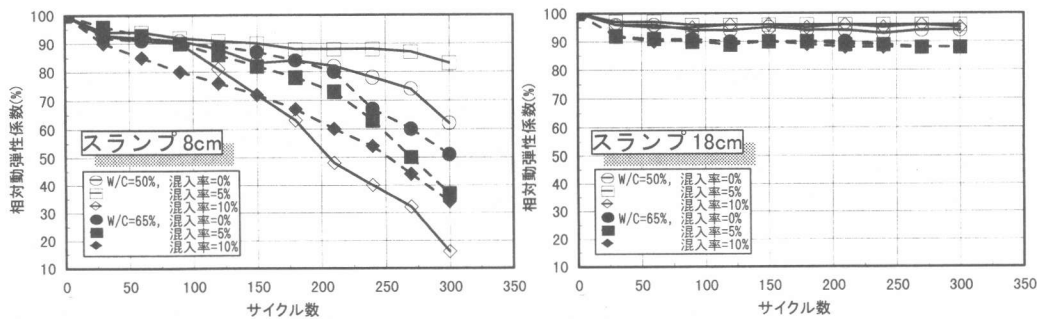


図-4 凍結融解試験

れて相対動弾性係数の低下が著しくなることがわかるが、200サイクルまででは、スラッジ固形分率10%の試験体は相対動弾性係数の低下は大きい、混入率5%のものは基本コンクリートとそれほど変わらない、逆に、水セメント比が50%の場合は基本コンクリートの方が低下率は大きくなっている。相対動弾性係数の低下はスラップ18cmの場合スラッジ水混入の影響はほとんどみられないが、水セメント比50%と比較して65%の方が低下は大きい。

3.6 中性化試験

中性化試験の結果を図-5に示す。これによると、スラップ8cm、18cmの場合ともにスラッジ固形分率が大きくなるほど中性化深さは小さくなる傾向を示しており、中性化に対してはスラッジ水の使用は効果があることがわかる。

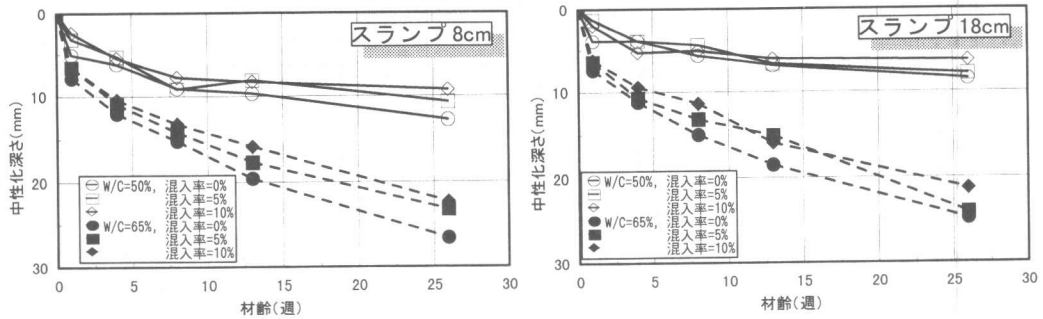


図-5 中性化試験

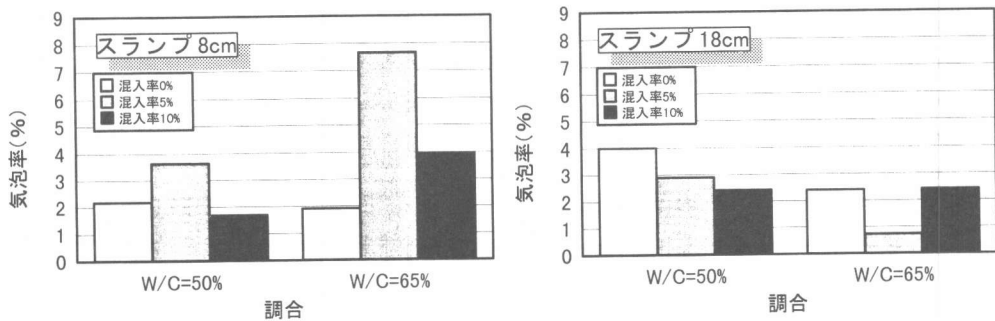


図-6 気泡状態

3.7 レイタンス層および気泡状態

レイタンス層は全ての試験体において観察されず、スラッジ水の影響は認められなかった。

スラッジ固形分率と気泡率(測定視野に対する気泡面積)の関係を図-6に示す。この測定方法では非常に微細な気泡(最小気泡径は等価円直径で0.34mm)はカウントされていないが、スラッジ水の混入が気泡径の分布や気泡状態に及ぼす影響は認められない。

4. あとがき

高濃度のスラッジ水を混練り水として使用した場合のコンクリートの特性を調べた結果、本研究の範囲内ではあるが、スラッジ固形分率が5%程度では全範囲の配(調)合について、また、場合によっては10%程度混入しても十分に良い性能を持つコンクリートを製造でき、スラッジ水を積極的に利用できることがわかった。

【謝辞】

本論文は大分大学、大分県生コンクリート工業組合(理事長・三浦良隆)および全国生コンクリート工業組合連合会との共同研究の一部をとりまとめたものです。なお、実験に協力していただいた大分県生コンクリート工業組合員の皆様、凍結融解試験を担当していただいたボツリス物産㈱ならびに竹本油脂㈱、中性化試験を担当していただいた(社)セメント協会・研究所、それに、レイタンス試験および気泡状態の画像解析を担当していただいた㈱トクヤマに謝意を表します。

【参考文献】

- [1]「コンクリートスラッジの有効利用研究委員会」報告書、JCI-C40、日本コンクリート工学協会、pp. I -78 ~ I -84、1996.5
- [2]全国生コンクリート工業組合連合会、回収水利用の手引き、1979
- [3]吉兼、生コン業界におけるスラッジの再利用・有効利用に向けた研究の取り組み状況、ZENMAMA、No.155、pp.10-11、1994
- [4]赤江機械工業㈱、私信、1996.1
- [5]日本コンクリート工学協会(旧、日本コンクリート会議)回収水研究委員会：回収水研究委員会報告書、1975