

論文 生コンスラッジのエコセメントとしての利用に関する実験的研究

佐々貴 敬^{*1}・三井 宜之^{*2}・村上 聖^{*3}・川野 哲史^{*4}

要旨：生コンスラッジをリサイクルする際に、脱水ケーキの発生量と供給量のバランスをとるために脱水ケーキをある期間貯蔵する必要が生じる。そこで、脱水ケーキのストック期間が脱水ケーキと高炉スラグ微粉末を混合し結合材としたエコセメントの強度性状に及ぼす影響を調べた結果、脱水後4日を限度として強度が低下することが判った。また、これを用いた製品の「軽量化」と「靱性付与」を目的として、軽量骨材や繊維を混入した場合の強度性状を調べた結果、軽量骨材無混入では、繊維混入により強度及び靱性の大きな向上が見られたが、軽量骨材と併用した場合繊維補強効果が大きく低下することが判った。

キーワード：産業廃棄物、脱水ケーキ、含水率、軽量骨材、繊維補強材

1. はじめに

搬送を終えたアジテータから排出される残りコン又は戻りコンから細・粗骨材を回収した残余のセメント分を含んだスラッジ水を空圧式脱水機にかけて脱水したまだ固化していないもの（以降、脱水ケーキと呼ぶ）に高炉スラグ微粉末を6：4の質量比で混入した結合材（エコセメント）は、セメントを全く使わなくても、圧縮強度 10N/mm^2 程度の発現は可能であることが判っている¹⁾。本研究では、以下のシリーズ1とシリーズ2の2つの実験結果を報告する。シリーズ1では、脱水ケーキは、脱水当日にリサイクルできずに屋外に放置せざるを得ない場合、日数が経過すれば乾燥固化してくる。その結果、脱水してからの経過日数により含水率は変化し、強度に影響することが考えられるので、脱水後の経過日数と強度の関係を調べ、貯蔵可能な最大経過日数について検討した。シリーズ2では、製品化の課題である重量の軽減化と靱性付与を目的に、軽量骨材及び繊維を混入した場合の軽量化と強度性状について検討した。

2. シリーズ1

ここでは、脱水ケーキと高炉スラグ微粉末よりなる結合材の強度発現に大きく影響する因子の一つである脱水後の経過日数と含水状態及び強度との関係を調べた。

2.1 使用材料

脱水ケーキは、脱水後24時間以内のもの（以降、当日脱水ケーキと呼ぶ）をポリ容器に保管したものを使用した。高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に適合するものを用い、比表面積は $4,200\text{cm}^2/\text{g}$ 、比重は2.89である。

2.2 実験方法

脱水ケーキは、当日脱水、脱水後2日、4日、7日、14日、及び28日間実験室内に放置したものをそれぞれ用意した。含水率測定のためにそれぞれの脱水ケーキ300gを 110°C の乾燥機に投入し、絶乾質量を求めた。また同時に、4週及び13週圧縮強度測定のために、直径50mm×高さ100mmの円柱供試体を各3個ずつ製作し、 20°C の恒温室内の水槽で所定の材齢まで

*1 熊本大学大学院 自然科学研究科環境科学専攻（正会員）

*2 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 工博（正会員）

*3 熊本大学助教授 工学部環境システム工学科 工博（正会員）

*4 熊本大学大学院 自然科学研究科建築学専攻

水中養生をした後に圧縮強度試験を行った。
 なお、脱水ケーキと高炉スラグ微粉末を結合材とするときの最適混入比に関しては、4週強度が約 10N/mm^2 以上を目標に、脱水ケーキの混入率は対結合材質量比で 50～70% まで許容できるので²⁾、本実験では 60% 一定とした。また、結合材は、脱水ケーキをエッジにより軽くスライスしたものに高炉スラグ微粉末を混合し、容量 5 l のオムニミキサーを用い練り混ぜ、フロー値が約 180～200mm になるように加水した。

2.3 実験結果及び考察

経時脱水ケーキの含水率と結合材の圧縮強度試験結果を表-1に、脱水後の経過日数と4週及び13週強度の関係を図-1にそれぞれ示す。なお、表-1には、加水量と加水率（対結合材質量比）も併記している。

表-1 経時脱水ケーキの含水率と圧縮強度

脱水後の経過日数	含水率 (%)	加水率 (%)	フロー値 (mm)	4週強度 N/mm^2	13週強度 N/mm^2
当日	147	5	180	11.2	21.7
2日	149	9	186	10.6	17.4
4日	139	12	203	12.3	21.1
7日	149	11	207	11.9	10.8
14日	126	15	198	8.9	6.4
28日	117	25	195	6.3	7.6

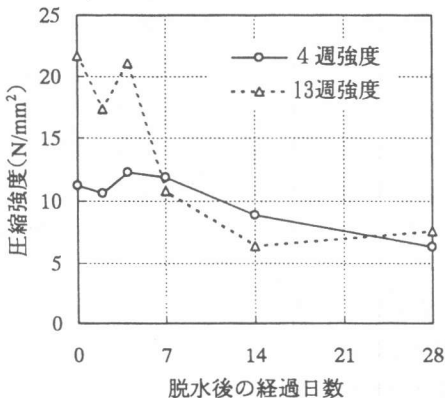


図-1 脱水後の経過日数と圧縮強度

4週強度については、経過日数7日まではほぼ一定で、目標の 10N/mm^2 を満足しているが、それ以上経過したものは含水率の減少と共に強度は低下している。また、13週強度は、経過日数が4日までは4週強度の約 1.6～2倍に増加しているが、7日以上経過したものは長期養生による強度発現は殆ど認められなかった。

以上の結果より、脱水後の経過日数は7日が限度であり、4日以内に使用してしまうのが最適と思われる。経過日数を延ばすためには、室内放置するのではなく、乾燥固化しないように密閉容器等に貯蔵するなどの処置を講ずる必要があり、その際の品質管理特性値として含水率が有効であると考えられる。

3. シリーズ2

脱水ケーキと高炉スラグ微粉末からなる結合材は、ボード類等の製品化を目的とした場合、比重が大きく、曲げ強度も小さい。比重は、スラグせっこう板(厚さ 12mm)で、かさ比重 0.9～1.7、けいカル板で 0.6～0.9 であるのに対して、本結合材は約 1.7 である。また、曲げ強度も約 3N/mm^2 と小さい。これらの欠点を改良するために、人工軽量骨材及び繊維を混入した場合の軽量化と強度性状について調べた。

3.1 使用材料

本実験に使用した人工軽量骨材の粒度分布を表-2に、使用材料を表-3に示す。なお、粒度分布は、細骨材の標準粒度の範囲で各粒径の混入率を表中に示すように定めた。

表-2 人工軽量骨材粒度分布表

名称	N-1	N-2	N-3	N-4
粒径 (mm)	4.75～2.36	2.36～1.18	1.18～0.6	0.6～0.3
比重	0.65	0.65	0.75	0.90
混入率 (%)	10	20	60	10

表-3 使用材料

脱水ケーキ	当日脱水
	比重 2.2
	含水率 140%
高炉スラグ微粉末	8000(JIS A 6206)
	比重 2.89
	比表面積 8,110cm ² /g
骨材	人工軽量骨材
	比重 0.735
繊維	ビニロン繊維
	比重 1.30
	繊維径 41 μ m
	繊維長さ 18mm
	引張強度 1.85GPa
混和剤	高性能減水剤
	ポリアルキルスルホン酸系

3.2 実験方法

使用調合は、シリーズ1と同様に脱水ケーキ混入率 60%一定とし、繊維及び減水剤無混入におけるフロー値が約 180mm になるように加水量を定めた。また、繊維を混入する場合にはフロー値の大きな低下を抑えるために、減水剤を標準使用量の範囲で結合材質量の 2.0%混入した。また、軽量骨材及び繊維の混入率は、対結合材質量比でそれぞれ 0、50、70、90%及び 0、0.5、0.75、1.0%とした。供試体は、圧縮強度試験用に直径 50mm ×高さ 100mm の円柱供試体、曲げ強度試験用に 40mm × 40mm × 160mm の三連形型枠による角柱供試体を用い、それぞれの調合ごとに各々3個ずつ作成し、20℃の恒温室内で水中養生し、材齢4週後に強度試験を行った。なお、曲げ強度試験は JIS R 5201 のセメントの物理試験方法に準拠し、荷重と試験機クロスヘッド変位の関係を測定した。

3.3 実験結果及び考察

表-4 及び図-2 に実験結果を示す。

表-4 使用調合と実験結果

軽量骨材 混入率 (%)	繊維 混入率 (%)	加水量 (%)	減水剤 混入率 (%)	フロー値 (mm)	表乾比重	圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	最大 たわみ (mm)
0	0	8	0	177	1.7	14.8	3.2	0.3
	0.5	8	2.0	208	1.6	16.6	5.3	3.3
	0.75	8	2.0	173	1.6	19.3	7.1	7.1
	1.0	8	2.0	170	1.6	16.8	7.6	7.6
50	0	25	0	182	1.2	14.9	2.2	0.2
	0.5	25	2.0	198	1.2	13.8	2.1	0.2
	0.75	25	2.0	183	1.2	13.9	1.9	0.3
	1.0	25	2.0	183	1.2	13.8	1.6	0.4
70	0	34	0	174	1.1	11.6	1.9	0.4
	0.5	34	2.0	184	1.1	12.7	2.3	0.3
	0.75	34	2.0	179	1.1	11.0	1.9	0.3
	1.0	34	2.0	179	1.1	11.0	1.9	0.3
90	0	49	0	167	1.1	10.5	1.6	0.1
	0.5	49	2.0	188	1.1	10.1	1.8	0.2
	0.75	49	2.0	180	1.1	8.4	1.5	0.2
	1.0	49	2.0	169	1.1	8.9	1.6	0.2

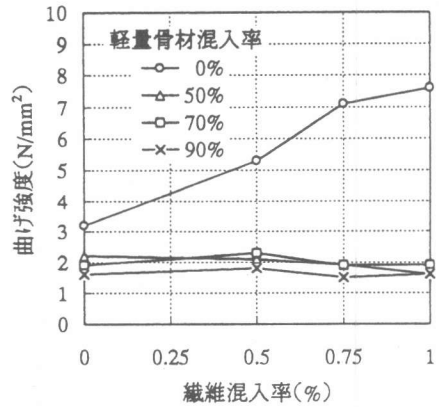
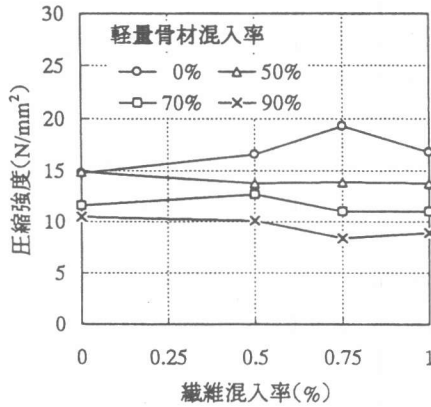


図-2 繊維混入率と曲げ及び圧縮強度

供試体の表乾比重は、軽量骨材を混入すると無混入の場合よりも約3割程度低減するが、軽量骨材混入率を50%以上に増やしてもそれ以上の軽量化は期待できない。また、圧縮及び曲げ強度はともに、軽量骨材の混入により大きく低下している。これは、本実験ではフロー値を一定に保つために軽量骨材の混入により加水量が増え、水結合材比が大きくなったためと考えられる。繊維混入の影響に関しては、軽量骨材無混入の場合、繊維混入率の増加に伴い圧縮及び曲げ強度はともに増加し、特に曲げ強度に対する補強効果が著しく大きくなっている。しかし、軽量骨材を混入した場合には、繊維を混入しても圧縮及び曲げ強度の増加は殆ど見られない。これは、前述のように水結合材比の増加によりマトリックス強度だけでなく繊維の附着強度も低下し、繊維が引き抜けやすくなるためと考えられる。図-3には、曲げ試験における荷重-変位曲線の測定値を軽量骨材率が0%及び50%の場合について示す。軽量骨材無混入の場合には、繊維混入により初ひび割れが発生し

た後も荷重が低下することなく、最大荷重に至るまで複数のひび割れを生じながら非常に大きな変形能力を示した(写真-1)。一方、軽量骨材を混入した場合、繊維を混入しても1本のひび割れが進展拡大することにより大きく荷重が低下した後若干の粘りがみられるものの、複数ひび割れの発生はみられず、靱性の向上は期待できない。以上の結果から、本実験の範囲内では軽量骨材混入率を50%以上に増やしてもそれに見合う軽量化は期待できず、強度も大きく低下すること、また繊維混入により軽量骨材無混入の場合には大きな強度及び靱性の向上が見られたが軽量骨材を併用すると繊維補強効果が大きく低下することが判った。ただし、今回の実験では、軽量骨材を混入した場合もフロー値を一定に保つことを前提に調合を行っているために、水結合材比の増加によるマトリックス強度の低下が繊維補強効果を低下させているものと考えられ、今後は施工可能な範囲で水結合材比を一定にした場合について軽量化及び靱性付与の可能性を調べる予定である。

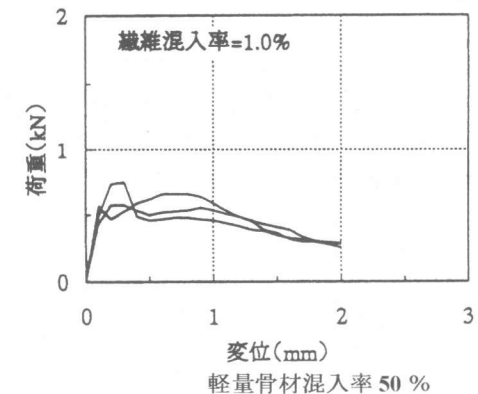
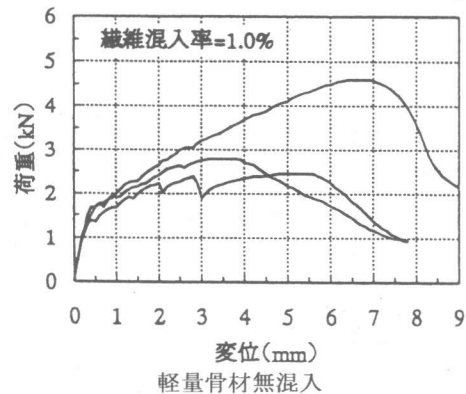
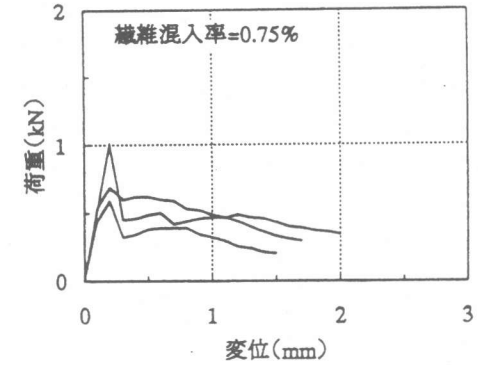
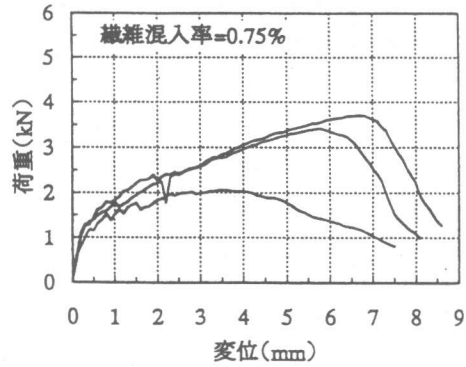
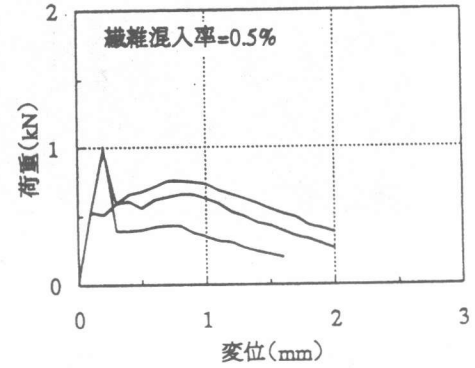
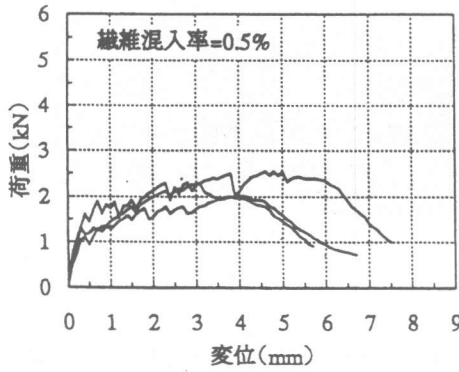
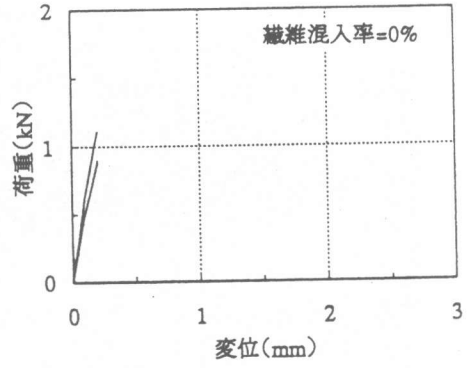
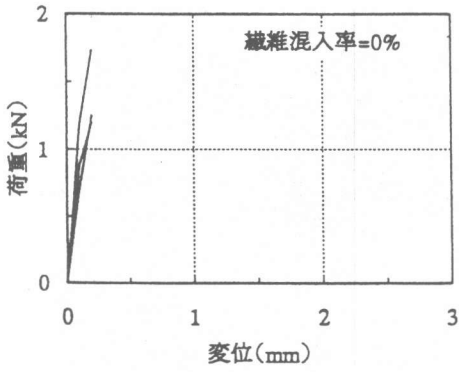


図-3 脱水ケーキと高炉スラグ微粉末を結合材としたビニロン繊維補強セメントの荷重-変位曲線

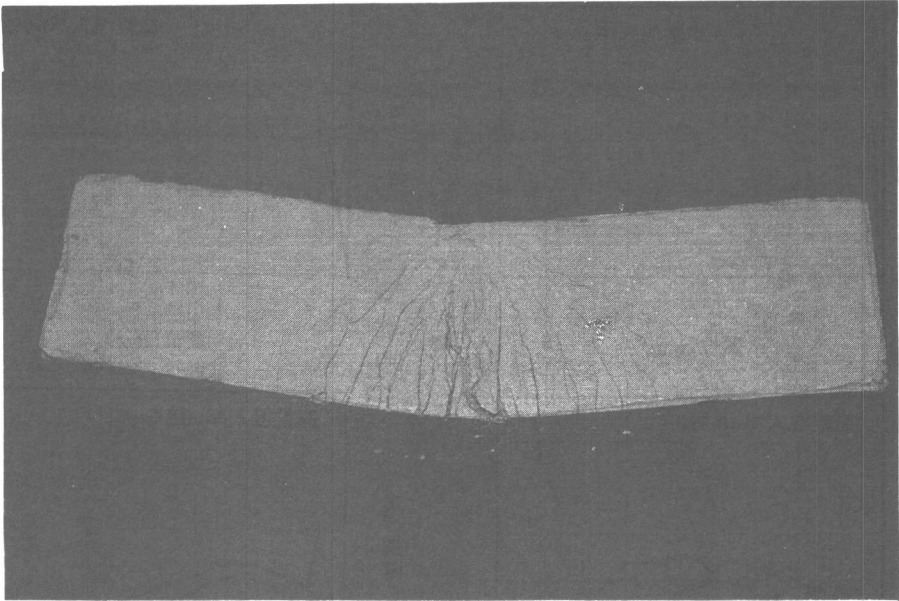


写真-1 軽量骨材無混入・繊維 1.0%混入の供試体側面

4. まとめ

脱水ケーキと高炉スラグ微粉末を結合材としたエコセメントに関して次のことがわかった。

- (1) 脱水ケーキ 60%、高炉スラグ微粉末 40%の結合材は、圧縮強度 10N/mm^2 程度を確保するための貯蔵期間は脱水後の経過日数は4日以内が最適で、7日が限度である。経過日数を延ばすためには、脱水ケーキを室内放置することなく、乾燥固化しないように、たとえば、密閉容器等に貯蔵することが必要であり、その際の品質管理特性値として含水率が有効であると考えられる。
- (2) このエコセメントを用いた製品の「軽量化」の目的に関しては、軽量骨材を混入すれば供試体の表乾比重は約3割程度低減するが、混入率を50%以上に増やしてもそれに見合う重量の軽減化は期待できない。また、強度は軽量骨材の混入により圧縮・曲げ強度ともに大きく低下している。
- (3) 補強繊維を混入すると、軽量骨材無混入の場合には強度及び靱性は共に大きな向上が見られたが、軽量骨材を併用すると繊維補強効果は大きく低下してしまうことが判った。

本研究の軽量骨材と繊維とを併用した実験結果から、今後、軽量化と靱性付与の双方が両立できる可能性を調べる予定である。

謝辞：

本研究に当たり、西原・益城生コン研究所から脱水ケーキを、新島物産から軽量骨材を、クラレからビニロンを提供していただきました。ここに記して各社に謝意を表します。

また、ご協力をいただいた熊本大学工学部 甲斐定夫技官、大学院生上杉英之、卒論生の 矢田部良、橋爪宏幸の諸氏に感謝します。

参考文献：

- 1) 佐々貴敬他：生コンスラッジの建材への有効利用に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.283-284、1999
- 2) 佐々貴敬他：生コンスラッジの有効利用に関する実験的研究、セメント・コンクリート論文集、No.53、pp.787-791、1999