

論文 フライアッシュを混和剤として用いた、ソイルセメント コンクリートの圧縮強度および密度に関する実験研究

川村政史*1・笠井芳夫*2

要旨: 本研究はセメントの代替として、フライアッシュを用いたソイルセメントコンクリートの圧縮強度および密度について実験研究したものである。実験は先ず、ソイルセメントコンクリートの品質のばらつきを小さくし、所要の強度を得るために、これまで明確にされていなかった使用土の表乾状態の判定試験を行った。次にフライアッシュがソイルセメントコンクリートの強度、密度に及ぼす効果について、単位水量を一定としてセメント-フライアッシュ比、粘性土-砂比、(セメント+フライアッシュ)-水比および材令を中心に実験研究した。

キーワード: ソイルセメントコンクリート、配(調)合、強度、密度、フライアッシュ

1. はじめに

本研究はセメントの代替としてフライアッシュを用いたソイルセメントコンクリートの圧縮強度および密度について実験研究したものである。

実験は2シリーズについて行った。すなわち、シリーズ1では所要強度のソイルセメントコンクリートを精度良く製造するために、乾燥加速法による表乾状態の判定試験を行って吸水率を求める実験をした。シリーズ2ではシリーズ1の実験結果の吸水率から求めた有効水量を考慮して水量一定条件でソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度、密度試験を行った。なお、土の含水率は絶乾状態を基準とした。本論で使用した記号を表-1に示した。

表-1 本論で使用した記号

F: フライアッシュ
C: セメント
W: 上水道水
Sa: 富士川砂(砂と呼ぶ)
So: 埼玉産土の関東ローム(粘性土と呼ぶ)

2. 実験計画

2.1 使用材料

粘性土は埼玉県上尾市近郊の地表面下3m付近から採取した関東ローム、砂は富士川上流産の建材用川砂である。セメントは普通ポルトランドセメント、フライアッシュはT社のものを使用した。水は上水道水を使用した。表-2に粘性土および砂の物理化学的性質を示した。

表-2 使用粘性土および砂の物理性状

試料	項目	密度	吸水率 (%)	含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	粒土組成 (%)		
								粘土分	シルト分	砂分
埼玉産土(粘性土)		2.95	26.4	80.3	77.4	55.8	21.6	18.0	42.0	42.0
富士川産砂(砂)		2.68	1.2	1.0	-	-	-	-	2.0	98.0

表-3 フライアッシュの化学分析

試料	項目	比重	比表面積 (m ² /g)	化学分析 (%)							
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O ₃	K ₂ O
フライアッシュ		2.08	3,540	52.1	25.9	4.5	5.3	1.9	1.0	3.1	1.2

*1 日本大学教授 生産工学部建築工学科 博士(工学) (正会員)

*2 日本大学名誉教授 工博 (正会員)

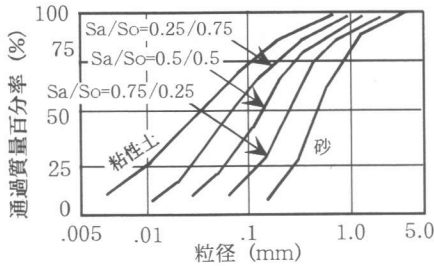


図-1 粘性土、砂およびそれらの混合土の粒度分布曲線

表-3 にフライアッシュの化学分析を示した。図-1 には粘性土、砂およびそれらを $S_o/S_a = 0.25/0.75, 0.5/0.5, 0.75/0.25$ の割合で混ぜ合わせた混合土の粒度分布を示した。

3. 実験

3.1 表乾状態判定試験 (シリーズ1)

粘性土、砂およびそれらの混合土の表乾状態判定試験は乾燥加速度法で行った。恒温恒湿槽内に置いた直立式の電子天秤 (最小表示目盛り 0.001 g) の上に内径 60 mm (断面積 28.26 cm^2)、厚さ 5 mm の蒸発皿に土試料を満たし、表面を均等に均して試料を作製した。水分は試料の上面のみから蒸発させるものとし、設定温度 40°C 、湿度 40% 、平均風速 1.28 m/sec の乾燥条件で平衡になるまで乾燥させた。測定は等時間間隔で粘性土は 30 分、砂は 10 分で自動読みとり方式とし、試料の乾燥時間と質量変化を記録した。それ等の実験結果から試料の乾燥速度勾配 (乾燥加速度) と含水率との関係より粘性土、砂および混合土の表乾状態を判定した。

3.2 水量一定条件によるソイルセメントコンクリートの配 (調) 合・強度、密度試験 (シリーズ2)

表乾状態試験により判定した粘性土、砂およびそれらの混合土の吸水率を考慮し、水量一定条件でソイルセメントコンクリートの配 (調) 合・強度、密度試験を行った。有効水量は (1) 式により求めた。

表-4 配 (調) 合表 (シリーズ2)

(C+F)/(Sa+So)	Sa/So	F/C	(C+F)/W	材齢
0.3/0.7	0/1.0	0/1.0	0.5	7日
0.5/0.5	0.3/0.7	0.2/0.8	0.7	28日
	0.55/0.45	0.4/0.6	1.0	91日

$$W_E = W_A + \{S_T - S_D(1+Q/100)\} \quad (1)$$

ここに、 W_E : 有効水量 (g)、 W_A : 練混ぜるために加えた水量 (g)、 S_T : 土の湿潤質量 (g)、 S_D : S_T の土を絶乾にした時の質量 (g)、 Q : 土の表乾状態の含水率 (%)

3.3 実験方法

(a) 試料調整 : 粘性土の含水率を $30 \sim 40$ (%) になるように日陰で自然乾燥させた。砂は自然状態の含水率で使用した。調合計算に際しては粘性土、砂ともに絶乾状態で計算し、表-4 に示す配 (調) 合比となるように各々計算した。別々に塩化ビニール袋に入れ、練混ぜ時までに $2 \sim 3$ 日間保存した。

(b) 練混ぜ、成形 : はじめに粘性土と砂 (湿潤状態で 1200 g) を 1 分間ホバート型モルタルミキサーで練混ぜた。これとは別に水 / (セメント + フライアッシュ) 比 ($W/(C+F)$) = 45% の結合材スラリーを 1 分間手練りして製造した。次に粘性土と砂の混合土に結合材スラリーを流し込み、 2 分間練混ぜた後、吸水率を考慮して求めた練混ぜ水を入れてさらに 7 分間練混ぜた。合計練混ぜ時間は 10 分間である。練混ぜ直後にフロー試験を行った。なお、フロー試験は結合材-水比の範囲が広いと、ソイルセメントコンクリートが軟らかすぎたり、硬すぎたりしてフロー試験ができないものも若干あった。成型は $\phi 50 \times h 100(\text{mm})$ の型枠を使用し、軟らかい場合はソイルセメントコンクリートをスプーンですくって型枠に入れた後、その型枠を手で持って底を床にトントン当て、硬い場合は 3 層に分けて充填し、各層当たり $\phi 9\text{ mm}$ の鋼棒を用いて 10 回突き固めた後、木槌を用いて型枠の外壁を 4 方向より 25 回づつ 1 層当たり 100 回たたいた。

て各々充填した。このようにして1バッチ当たり供試体を3～5個作製した。

(c) 養生：成型後、型枠上面をガラス板で覆い、3日間恒温恒湿室中に静置し、その後脱型し、強度試験時まで温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した。強度試験：ソイルセメントコンクリート上面をせつこうを用いてキャッピングした。強度試験は材令7日、28日、91日で行った。

4 結果および考察

4.1 表乾状態判定試験

図-2はSoとSaおよびそれらの混合土の乾燥加速度-含水率曲線を示した。(a)はSa/So=1.0/0、(b)は0.75/0.25、(c)は0.5/0.5、(d)は0.25/0.75、(e)は0/1.0の場合である。各粘性土、砂および混合土の乾燥加速度曲線においてピークを示す点の含水率が表乾状態と見なせることは既に報告¹⁾した。

図-3は、図-2より判定した表乾状態の含水率と粘性土、砂および混合土の混合割合との関係を示した。砂量に比して粘性土量が多くなると、表乾状態の含水率は大きくなるのが分かる。また、表乾状態と粘性土、砂の混合割合との関係は一次の式で示されることが分かる。なお、シリーズ2における粘性土と砂との混合割合に対する表乾状態の含水率はこの図-3により求めた。

4.2 ソイルセメントコンクリートの材齢と圧縮強度との関係

図-4は(C+F)/(Sa+So)の割合、Sa/Soの割合、F/Cの割合、(C+F)/Wの割合、それぞれ条件を変えた場合の材齢とソイルセメントコンクリートの圧縮強度との関係を示したものである。(C+F)/(Sa+So)=0.3/0.7におけるSa/So=0/1.0、F/C=0.4/0.6の場合を除き、材齢が長くなるほど強度が増大する。また、(C+F)/(Sa+So)が大きくなるほど、Sa/Soが大きくなるほど、(C+F)/Wが大きくなるほど強度が増大することが分かる。そして、F/C

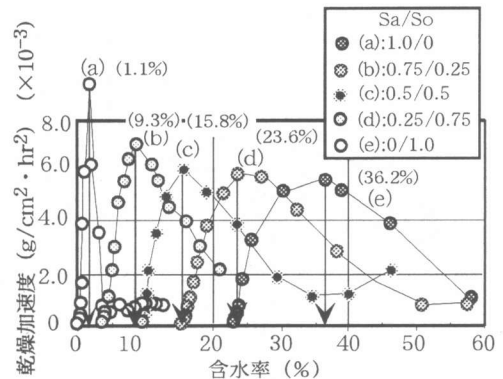


図-2 表乾状態判定試験結果

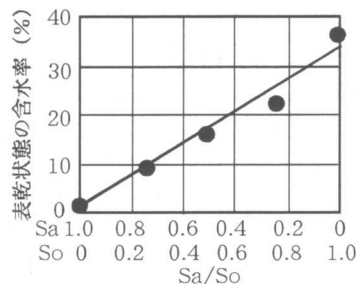


図-3 Sa/Soと表乾状態の含水率との関係

が大きくなるほど強度が減少することが分かる。すなわち、本実験の範囲では、フライアッシュの量がセメントに比し多くなると強度発現は期待できないと言える。

4.3 セメントとフライアッシュとの混合割合とソイルセメントコンクリートの圧縮強度との関係

図-5は(C+F)/(Sa+So)、Sa/Soの割合、(C+F)/Wの割合を変えてフライアッシュセメント比と材齢28日圧縮強度との関係を示した。図より(C+F)/(Sa+So)、Sa/Soの割合、(C+F)/Wいずれの組み合わせの場合もフライアッシュの代替量が多くなると強度は低下し、(C+F)/(Sa+So)=0.3/0.7の場合、F/C=0.2/0.8で単味のセメントを用いたソイルセメントコンクリート強度の25～50(%)、F/C=0.4/0.6で50～75%低下した。この強度低下は細骨材に相当する土粒子が構成する土塊の強度が非常に弱いこと、有機物などの不純物が土中に含ま

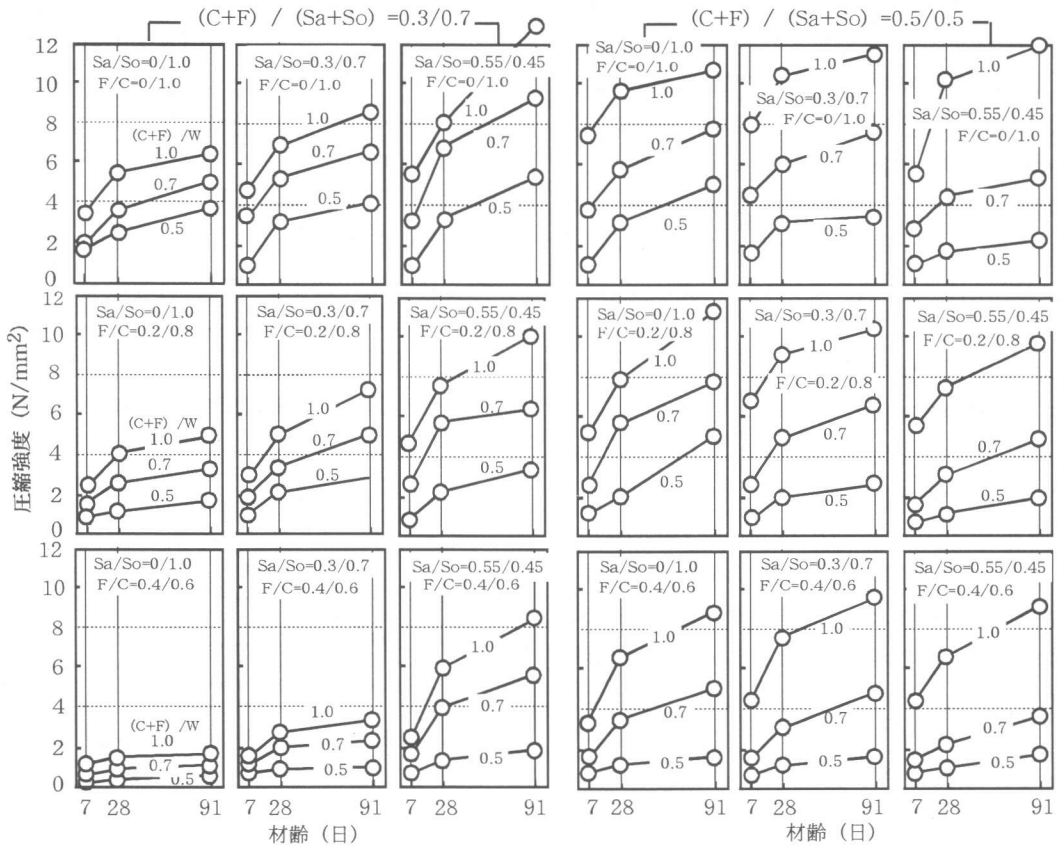


図-4 材齢と圧縮強度との関係

れていることが要因として挙げられる。

4.4 結合材-水比とソイルセメントコンクリートの圧縮強度との関係

図-6 は結合材-水比と圧縮強度との関係を示したものである。(C+F) / (Sa+So) = 0.3 / 0.7の場合、(C+F) / W=1.0において強度の増大する割合が若干鈍るが、全体の傾向として、砂の量が粘性土に比して大きくなると、また、(C+F) / Wが大きくなると圧縮強度は大きくなった。強度が鈍るのは練混ぜ水が少ないため良く混ざらなかつたためである。また、各Sa/SoにおいてF/C別に表され、同一(C+F) / Wの場合、F/Cが大きくなると圧縮強度は小さくなった。更に、(C+F) / (Sa+So) = 0.5 / 0.5の場合、Sa/So=0.55/0.45はSa/So=0/1.0および0.3/0.7に比し圧縮強度が小さくなった。これは、水量

一定の条件で練混ぜたため、Sa/Soが大きくなるに従ってフロー値が大きくなり、結果として結合材と(砂+粘性土)とが分離を起こしたためである。これらの図はフロー値を合わせる時の一応の目安となる。

4.5 ソイルセメントコンクリートの密度と圧縮強度との関係

図-7 はソイルセメントコンクリートの材齢 28日圧縮試験時における湿潤状態の密度と圧縮強度との関係を示したものである。(C+F) / (Sa+So) = 0.3 / 0.7, (C+F) / (Sa+So) = 0.5 / 0.5およびC/Fについて区別して示した。この図より(C+F) / (Sa+So) = 0.3 / 0.7および0.5 / 0.5の場合共にばらつきが見られるが、ソイルセメントコンクリートの圧縮強度(F_c)は密度(γ_{sc})の一次式で表される。図中の矢印で

示すように、同一密度を有する場合のソイルセメントコンクリートは $(C+F) / (Sa+So)$ が大きいほど圧縮強度は大きいことが分かる。また、 Sa/So の差異による圧縮強度と密度との関係に相関関係は見られなかったが、 $(C+F) / (Sa+So) = 0.5 / 0.5$ の場合においては $(C+F) / W$ の差異による圧縮強度と密度との関係は $(C+F) / W$ が大きくなれば強度、密度共に大きくなることが示された。これは、ソイルセメントコンクリートの作製において適度な水量を有したためである。従って、ソイルセメントコンクリートを製造する場合にはコンクリート工学同様に十分な水量管理が必要と言える。

4.6 フライアッシュセメント比とソイルセメントコンクリートの密度との関係

図-8はソイルセメントコンクリートの材齢28日圧縮試験時における湿潤状態の密度とフライアッシュの代

替量との関係を示したものである。 $(C+F) / (Sa+So) = 0.3 / 0.7$ 、および $0.5 / 0.5$ において F/C が $0 / 1.0$ から $0.4 / 0.6$ と大きくなるとソイル

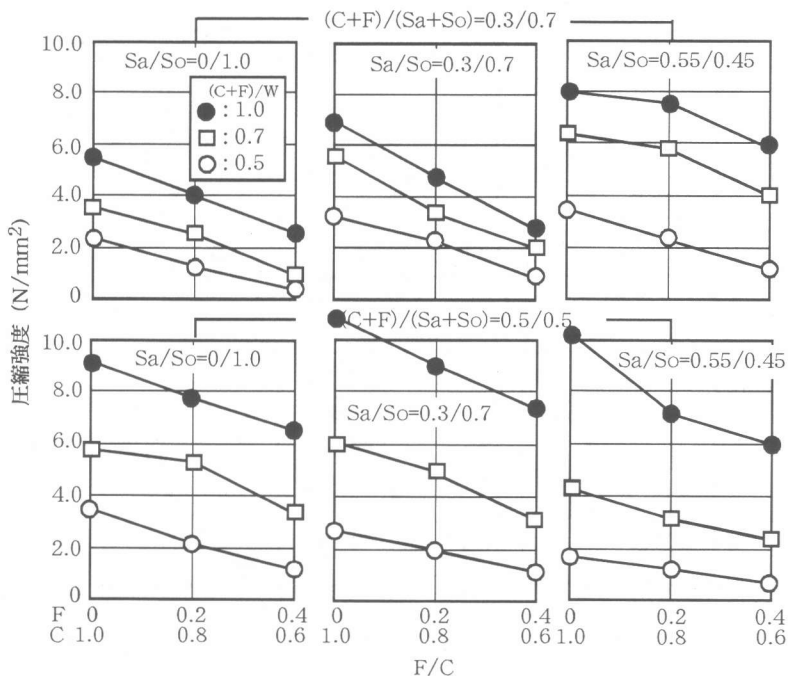


図-5 フライアッシュ/セメントと圧縮強度との関係 (材齢28日)

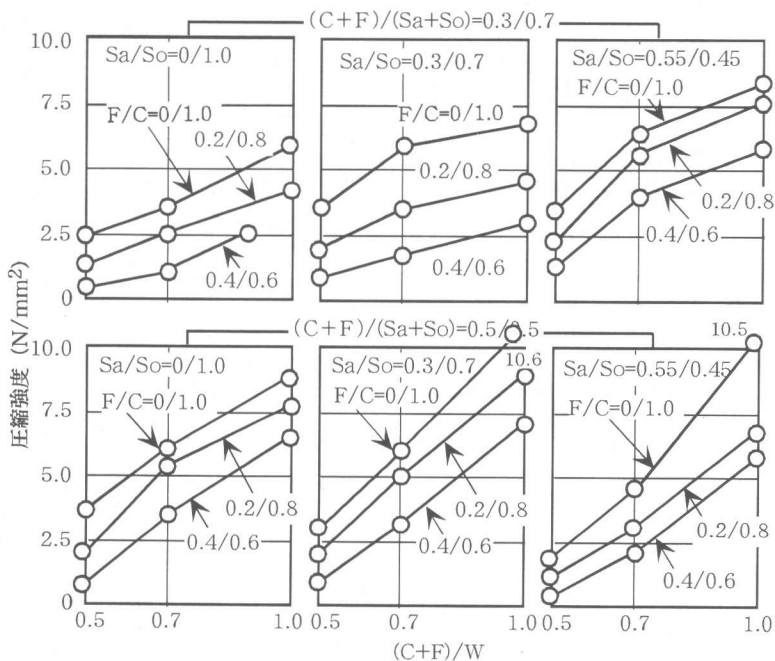


図-6 $(C+F)/W$ と圧縮強度との関係 (材齢28日)

セメントコンクリートの密度はセメントとフライアッシュの比重差分だけ(セメント単味を用いたソイルセメントコンクリートの1.5~3%程

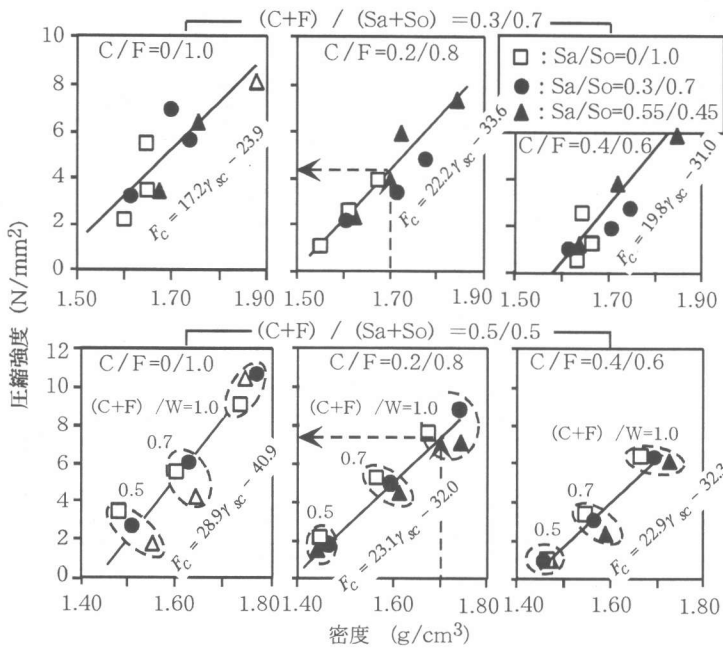


図-7 圧縮強度と密度との関係 (材齢28日圧縮試験時)

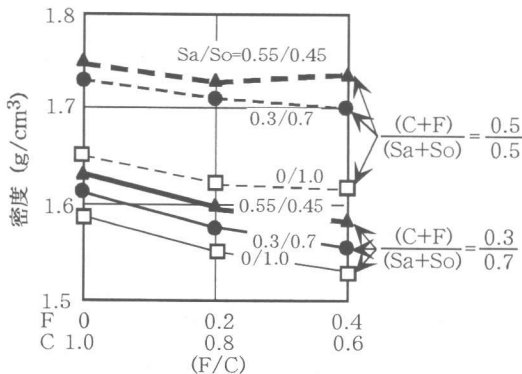


図-8 F/C比と実測密度との関係

度) 小さくなった。

5. まとめ

セメントにフライアッシュを代替し、粘性土、砂を用いたソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度、密度に関して、一般コンクリート工学における単位水量(有効水量)の考え方によって配(調)合を定め、ソイルセメントコンクリートを製造して強度と密度に関して水中養生後で試験した。

結果を要約すると次の通りである。

- 1) 材齢が長くなるほど、 $(C+F)/(Sa+So)$ が大きくなるほど、 Sa/So が大きくなるほど、 $(C+F)/W$ が大きくなるほど強度が増大する。そして、 F/C が大きくなるほど強度が減少する。
- 2) 結合材-水比と圧縮強度との関係はほぼ直線で示され、結合材が大きくなると圧縮強度も大きくなった。
- 3) セメントの代替としてフライアッシュを用いた場合のソイルセメントコンクリートの圧縮強度はフライアッシュを置き換えないソイルセメントコンクリートの強度に比し、大きく減少することが分かった。

た。

- 4) フライアッシュを代替した場合のソイルセメントコンクリートの圧縮強度と湿潤状態の密度との関係は、結合材(粘性土+砂)比およびフライアッシュ-セメント比別に一次式で表され、密度が増大すれば圧縮強度も増大する。 $(C+F)/(Sa+So) = 0.5/0.5$ の場合は結合材-水比が大きくなれば圧縮強度、密度共に大きくなった。

参考文献

- 1) 川村政史, 笠井芳夫: 粘性土と砂の混合土の表乾状態と吸水率試験方法, コンクリート工学論文集, 第8巻第1号, pp.205~214, 1997.1
- 2) 川村政史, 笠井芳夫: フライアッシュを混和材として用いた, ソイルセメントモルタルの圧縮強度および密度に関する実験研究, 日本大学生産工学部報告A 第24巻第2号, pp.31~41, 1991.12