

# 論文 混和剤を用いたソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度に関する実験研究

川村政史\*1・笠井芳夫\*2

**要旨：**粘性土と砂とセメントと水をミキサーにより練り混ぜて製造するソイルセメントコンクリートに関して、筆者らはこれまで土の表乾状態を定義し<sup>1)</sup>、有効水量を考慮した配(調)合・強度、密度<sup>2)</sup>について実験研究を続けてきた。

本報告はこれらの続報として、混和剤の減水効果をゼータ電位を測定することにより確認できることを明らかにした。次に、この混和剤を使用して粘性土と砂の混合土を用いたソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度について実験研究し、混和剤の減水効果を明らかにした。

**キーワード：**ソイルセメントコンクリート、配(調)合、強度、ゼータ電位、混和剤

## 1. はじめに

ソイルセメントコンクリートは製造の際に練り混ぜ水を多量に必要とする。水量は土の種類、性質によって異なっており、粘性土を使用する場合は水-セメント比が150~250%と試料土の液性限界以上の水量を必要とし、砂質土を使用する場合には80~100%程度必要とする。このことが原因でセメントと土の分離、プリーディング等が起こり、結果としてソイルセメントコンクリートの強度の発現を妨げることとなる。

本報告はソイルセメントコンクリートの製造に際し、混和剤の効果を検討するために関東ローム(千葉産土3)とオキシカルボン酸系の分散剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度を試験した結果について述べる。

実験は2つのシリーズから構成される。シリーズ1の予備実験1は、混和剤の効果をゼータ電位を測定することによって確認できることを明らかにし、予備実験2は混和剤を用いない場合の強度発現について実験した。シリーズ2では予備実験1および予備実験2で用い

た粘性土と砂を用い、オキシカルボン酸系の混和剤を用いた場合の配(調)合・強度について実験し、混和剤の減水効果を明らかにすると共に、混和剤を用いてソイルセメントコンクリートを製造する場合のノモグラムの一例を示した。

なお、含水率は試料を105~110℃で24時間以上恒量になるまで炉乾燥した値を基準としたものである。

## 2. 使用材料

土は千葉県船橋市内から採取した関東ローム(千葉産土3と呼称する)である。含水量は関東ローム特有の高含水量を有している。比重は2.78であった。砂は富士川(静岡県富士市産)より採取した建材用の川砂(富士川砂と呼称する)、セメントは普通ポルトランドセメント、水は上水道水を用いた。混和剤はオキシカルボン酸系の遅延型分散剤(A2分散剤と呼称する)をセメント量の1~3%を添加量として用いた。表-1に使用した千葉産土3および富士川砂の物理試験結果を示した。

\*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)

### 3. 実験計画

シリーズ1では予備実験1および予備実験2を行った。

予備実験1：ソイルセメントコンクリートの混和剤による減水効果に関する実験：混和剤添加に対するゼータ電位とフロー値との比較。  
予備実験2：混和剤を用いない場合（None）のソイルセメントコンクリートの配（調）合・強度、密度についての実験。

シリーズ2：シリーズ1の予備実験1および予備実験2の結果を基に、混和剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートの配（調）合・強度に関する実験。

各シリーズにおける実験計画を表-2に示した。

### 4. 実験方法

#### 4.1 シリーズ1（予備実験1）ゼータ電位による混和剤の減水効果<sup>3)</sup>

##### 4.1.1 試料および試料の作製

表-2に示すC/So=0.45/0.55の混合

表-1 使用土の物理性状

性状	土	
	千葉産土3	富士川砂
産地	千葉県船橋市深さ2m	静岡県富士市
絶乾比重	2.73	2.68
吸水率 (%)	27.6	1.1
採取時含水率 (%)	120	-
液性限界	57.6	Np
塑性限界	47.0	Np
塑性指数	10.6	-
pH	6.6	-
強熱減量 (%)	18.6	-
粘土分	26.0	0
シルト分	59.0	2.0
砂分	15.0	98.0

Np：実験不可能、-：実験しなかった。

割合より計算によって質量配分を決定した。

千葉産土3を乳鉢を用いて良くときほぐした後、所定量の千葉産土3とA2混和剤を標準水のリン酸緩衝液（pH：7.0、イオン濃度 $10^{-3} \text{ mol/l}$ ）中に入れ、均一な懸濁液を25ml作製した後、濾紙を通して粗粒子を取り除いた懸濁液の上澄み水約0.3~0.5ml

表-2 実験計画

実験シリーズ	内容	使用材料	実験計画													
シリーズ1	予備実験1： A2混和剤の減水効果を調べる実験	粘性土（So）： 千葉産土3 砂（Sa）： 富士川砂	(1) ゼータ電位の測定 (2) フロー試験 混合割合： C/So=0.45/0.55 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th colspan="2">添加量 (C×wt%)</th> </tr> <tr> <td>0 (None)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td></td> </tr> </table>	添加量 (C×wt%)		0 (None)		1.0		2.0		3.0				
	添加量 (C×wt%)															
0 (None)																
1.0																
2.0																
3.0																
シリーズ2のための予備的な実験	予備実験2： 混和剤を用いない場合のソイルセメントコンクリートの配（調）合・強度	セメント（C）： 普通ポルトランドセメント 水（W）： 水道水	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th>C/(So+Sa)</th> <th>So/Sa</th> <th>Flow</th> </tr> <tr> <td>0.3/0.7</td> <td>1.0/0</td> <td rowspan="3">150±10</td> </tr> <tr> <td>0.5/0.5</td> <td>}</td> </tr> <tr> <td>0.7/0.3</td> <td>0/1.0</td> </tr> </table>	C/(So+Sa)	So/Sa	Flow	0.3/0.7	1.0/0	150±10	0.5/0.5	}	0.7/0.3	0/1.0			
C/(So+Sa)	So/Sa	Flow														
0.3/0.7	1.0/0	150±10														
0.5/0.5	}															
0.7/0.3	0/1.0															
シリーズ2 シリーズ1より明らかになった結果を用いて混和剤を有効に使用するための実験	A2混和剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートの配（調）合・強度	A2混和剤： オキシポリカルボン酸系を主成分とする遅延型分散剤	<table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <th>C/(So+Sa)</th> <th>So/Sa</th> <th>添加量 (C×wt%)</th> <th>Flow</th> </tr> <tr> <td>0.2/0.8</td> <td rowspan="4">0.45/0.55</td> <td>0 (None)</td> <td rowspan="4">150±10</td> </tr> <tr> <td>}</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">0.4/0.6</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> </tr> </table>	C/(So+Sa)	So/Sa	添加量 (C×wt%)	Flow	0.2/0.8	0.45/0.55	0 (None)	150±10	}	1.0	0.4/0.6	2.0	3.0
C/(So+Sa)	So/Sa	添加量 (C×wt%)	Flow													
0.2/0.8	0.45/0.55	0 (None)	150±10													
}		1.0														
0.4/0.6		2.0														
		3.0														

を別途作製したリン酸緩衝液で満たされているセル中に滴下した。

#### 4.1.2 ゼータ電位の測定

顕微鏡電気泳動装置を組み込んだマイクロテック・ニチオン社製の測定装置を使用した。この装置は計測部と画像解析部からなり、計測部には顕微鏡が内蔵されている。計測部に付随するセルに試料を満した後、セルの電極に電圧を加え、液中の粒子が泳動する速度を顕微鏡を用いて測定し、(1)式で示す Smoluchowski の式を使ってゼータ電位を求めた。

$$\xi = \frac{4\pi\mu}{\epsilon} \times \frac{V}{(E/L)} \times 300^2 \times 1000 \quad (1)$$

ここで、 $\xi$ ：粒子のゼータ電位 (mV)、 $\mu$ ：リン酸緩衝液の粘性係数 (poise)、 $V$ ：粒子の移動速度 (cm/sec)、 $\epsilon$ ：リン酸緩衝液の誘電率 (F/m)、 $L$ ：電極間の距離 (cm)、 $E$ ：電圧の強さ (V) である。なお  $\mu$  と  $\epsilon$  は水溶液の温度によって変化する。

#### 4.2 シリーズ1 (予備実験2) 混和剤を用いない場合の配(調)合・強度、試験<sup>2)</sup>

混和剤を使用した場合と使用しない場合のソイルセメントコンクリートの減水効果および配(調)合・強度を比較検討するため、まず、混和剤を使用しない場合の配(調)合・強度試験を行った。千葉産土3と富士川砂と普通ポルトランドセメントそれぞれ1種類を用い、表-2の混合割合に準拠して、混合土の表乾状態を基準とし、フロー値一定として実験を行った。

なお、この実験に付随する吸水率、有効水量については、シリーズ2の4.3.2および4.3.3において述べるため、ここでは省略する。

#### 4.3 シリーズ2 混和剤を用いた場合の配(調)合・強度試験

##### 4.3.1 使用した土の調整および混和剤

予備実験2の結果より、混和剤を用いない場合のソイルセメントコンクリートにおいて、6.9 MPa程度の強度を示す混合割合を求め、それによって絶乾質量比で、千葉産土3/富士川砂=0.45/0.55と固定した。千葉産土3は気乾質量で600g (含水率：42.0%、乾燥質量：423g)、砂は523g (含水率：1.1%、気乾質量：517g)を正確に計量した。

A2混和剤の添加量はセメント質量の1~3%とした。

##### 4.3.2 吸水率試験<sup>4)</sup>

粘性土と砂の混合土 ( $S_o + S_a$ ) の吸水率は筆者等が提案した単味の土 ( $S_o$ ) と単味の砂 ( $S_a$ ) のそれぞれの表乾状態の含水率 (吸水率) より式(2)を用いて求めた。すなわち、図-1に示すように千葉産土3の表乾状態の含水率 (吸水率) 27.5%、富士川砂の吸水率1.1%から、それらの混合土の吸水率は13.0%となった。

$$Q_m = q_o \cdot S_o + q_a \cdot S_a \quad (2)$$

ただし、( $S_o + S_a$ ) とする。

ここに、

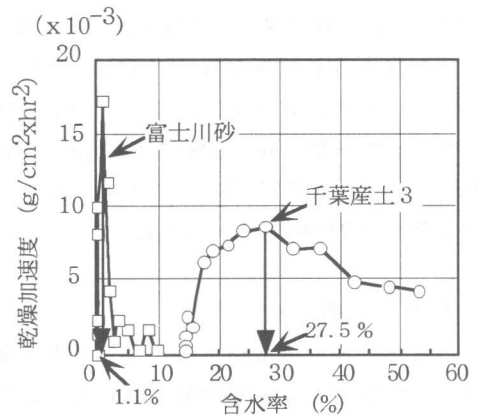


図-1 千葉産土3および富士川砂の表乾状態判定試験結果

- $Q_m$  : 混合土の吸水率 (%)
- $q_o$  : 粘性土の吸水率 (%)
- $q_a$  : 砂の吸水率 (%)
- $S_o$  : 粘性土の混合比
- $S_a$  : 砂の混合比

#### 4.3.3 有効水量

有効水量は式(3)より求めた。

$$W_E = W_A + \{S_T - S_D(1 + Q_m/100)\} \quad (3)$$

ここに、

- $W_E$  : 有効水量 (g)
- $W_A$  : 練り混ぜるために加えた水量 (g)
- $S_T$  : 混合土の湿潤質量 (g)
- $S_D$  :  $S_T$  の混合土を絶乾状態にした時の質量 (g)
- $Q_m$  : 混合土の吸水率 (%)

#### 4.3.4 練り混ぜ、成型

はじめに、千葉産土3 ( $S_o$ ) / 富士川砂 ( $S_a$ ) = 0.45 / 0.55 と固定した混合土 (気乾質量で 1123 g) を 1 分間ホバート型モルタルミキサーを用いて練り混ぜた。これとは別に所定量の A2 混和剤を混入したセメントスラリー (W/C=60%) を 1 分間手練りして作製した。次に、混合土にセメントスラリーを流し込み 2 分間練り混ぜた後、ソイルセメントコンクリートのフロー値が  $150 \pm 10$  になるように水量を調整しながら 4 分間練り混ぜた。合計練り混ぜ時間は 7 分間とした。

成型は  $\phi 50 \times h 100$  (mm) の型枠を使用し、ソイルセメントコンクリートをさじですくって入れた後、型枠を手で持って底を軽く床に当てて充填した。このようにして 1 バッチ当たり試験体を 3 個作製した。

#### 4.3.5 養生

供試体は成型後型枠上面をガラス板で覆い 3 日間室温 20℃、相対湿度 90% の恒温恒湿室中に静置し、その後脱型し、試験時まで温度  $20 \pm 3$  (℃) の水中で養生した。

#### 4.3.6 強度試験

強度試験はアムスラーダブルラム式 10 t 万能試験機を使用した。試験の際はソイルセメントコンクリートの上面をセッコウを用いてキャッピングした。

### 5. 結果と考察

#### 5.1 ゼータ電位とフロー値による混和剤の検討

一般に、土-水系の相互作用において、ゼータ電位 (mV) は正側、負側いずれからでも 0 (ゼロ) に近づくほど凝集性を示し、反対にゼロから正側、負側に値が大きくなれば分散性を示す。

千葉産土3を用いたソイルセメントコンクリートに対し、混和剤無添加 (None) の場合および A2 混和剤を添加した場合のゼータ電位およびフロー値との関係を 図-2 に示した。

None の場合、ソイルセメントコンクリートのゼータ電位は -11.6 mV であった。A2 混和剤を添加した場合のゼータ電位は添加量 1% で -12.8 mV、2% では -13.2 mV、3% では -15.4% と添加量が大きくなるとゼータ電位も混和剤無添加 (None) より負側に大きい値を示した。このように A2 混和剤を添加し

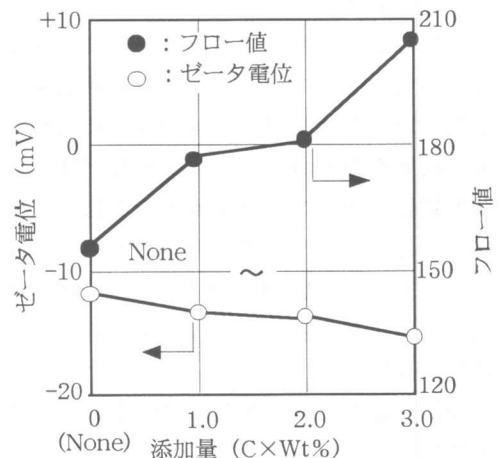


図-2 A2混和剤の添加量とソイルセメントコンクリートのゼータ電位およびフロー値との関係

たソイルセメントコンクリートは分散性を示すことが分かる。

一方、A2混和剤添加量とソイルセメントコンクリートのフロー値との関係は、添加量が大きくなるとフロー値が大きくなることが分かる。従って、ソイルセメントコンクリートを製造するために用いる土と混和剤との相性はゼータ電位を調べることにより判定できることが分かった。

## 5.2 混和剤を用いない場合のソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度

図-3に混和剤を用いない場合のソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度、密度の関係を圧縮強度比とセメント/水比( $f_c - C/W$ )、圧縮強度比と粘性土/砂比( $f_c - So/Sa$ )、圧縮強度比と密度( $f_c - \gamma_c$ )をセメント/混合土比( $C/(So+Sa)$ )別に一連の関係図にまとめた。 $f_c$ はモルタル強度を100%とした場合、ソイルセメントコンクリートを強度百分率で示したものである。このノモグラムにおいて $f_c - C/W$ との関係で $C/(So+Sa)$ の変動が既報<sup>2)</sup>で示した土に比し若干大きい、図中の実線で示す矢

印に従えば所要強度を得る配(調)合が決定できる。

なお、ノモグラムに関する詳細な考察は既報<sup>2)</sup>で詳述してあるのでここでは省略する。

## 5.3 A2混和剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートの配(調)合・強度

図-4は図-3の矢印に従って求めた配(調)合( $C/(So+Sa) = 0.3/0.7$ および $So/Sa = 0.45/0.55$ )に対してA2混和剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートの所要強度を得るためのセメント/水( $C/W$ )と単位水量との関係である。図中(□)印は混和剤を用いない場合である。一軸圧縮強度および $C/W$ は図-3の $f_c - C/W$ 関係における $C/(So+Sa) = 0.3/0.7$ の場合に対応している。

図-4より、同一所要強度を得るための $C/W$ に対し、混和剤の添加量が多くなると単位水量が減少することが分かる。

## 6. まとめ

減水効果のあると思われるオキシカルボン酸系の混和剤と粘性土との相性をゼータ電位

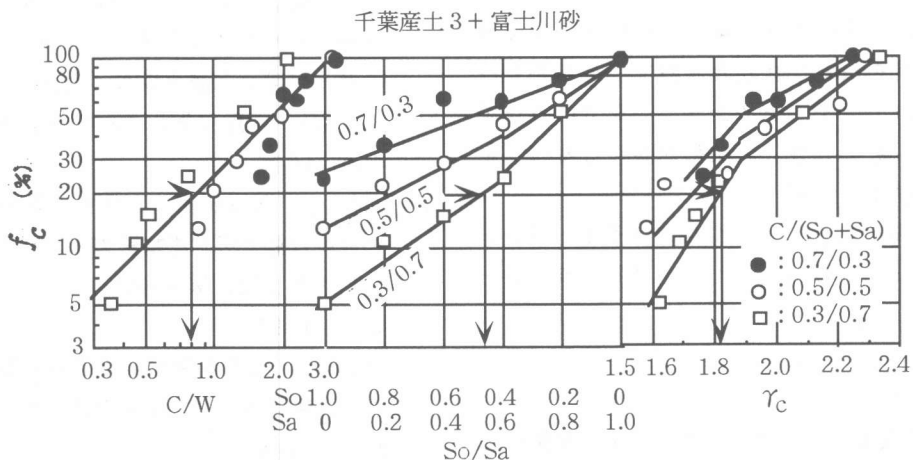


図-3 混和剤を使用しない場合のセメント/水比( $C/W$ )、粘性土/砂比( $So/Sa$ )、セメント/(粘性土+砂)比、および密度( $\gamma_c$ )と強度比( $f_c$ )との関係

により調べることが可能であることを述べた後、その混和剤と粘性土と砂の混合土を用いてソイルセメントコンクリートを製造し、減水効果があることを明らかにした。更に、その結果より、混和剤を用いたソイルセメントコンクリート製造のための配(調)合のノモグラムの一例を示した。

結果は以下のようにまとめることが出来る。

(1) ソイルセメントコンクリートのゼータ電位

は、混和剤無添加 (None) の場合、 $-11.6\text{ mV}$  であった。混和剤を添加すると負側にゼータ電位は変化した。

(2) ソイルセメントコンクリートのゼータ電位が0 (ゼロ) より負側に変わるとフロー値も大きくなった。

(3) 土のゼータ電位を測定した結果より、相性が良いと思われる千葉産土3とオキシカルボン酸系の混和剤1種を使用し、混和剤を用いない場合の所要強度を得るためのノモグラムから単位粘性土量、単位砂量、単位セメント量を決定した混合割合で、混和剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートを製造した。その結果、混和剤が多くなるほど単位水量が減少した。

(4) 混和剤を用いる場合のソイルセメントコンクリートの調合のためのノモグラムの一例を示した。

[参考文献]

1) 川村政史、笠井芳夫：新しい土の見掛けの表乾状態判定試験方法の提案－乾燥加速

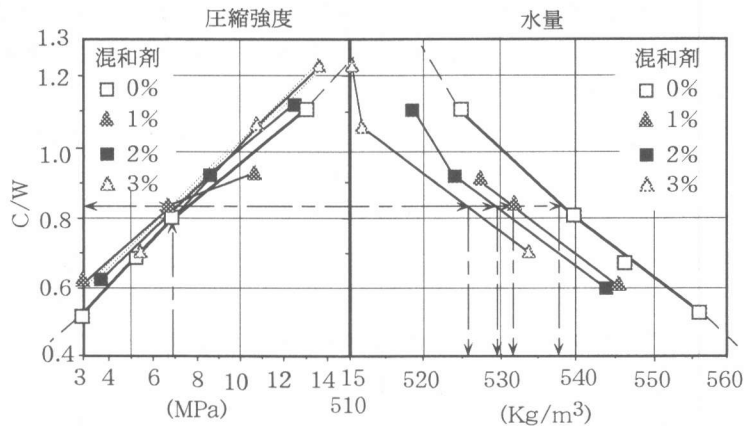


図-4 (千葉産土3+富士川砂)の混合土を使用し、A2混和剤を用いた場合のソイルセメントコンクリートのC/Wと圧縮強度、水量との関係 (混合比:  $C/(So+Sa)=0.3/0.7$ 、 $So/Sa=0.45/0.55$ の場合)

度法、シリカゲル散布法、比誘電率法、pF法の比較－、コンクリート工学論文集、第7巻第2号 pp.136～146、1996.7

2) 川村政史、笠井芳夫：粘性土および砂の見掛けの表乾状態に基づき配(調)合したソイルセメントコンクリートの強度、密度に関する実験研究、コンクリート工学論文集、第8巻第1号 pp.215～224 1997.1

3) 川村政史、笠井芳夫、岡田能彦：減水剤を用いたソイルセメントコンクリートのゼータ電位と減水効果、セメント・コンクリート論文集、No49、pp.644～649、1995

4) 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

5) 高岡恭三、海老名芳郎：粒子の分散効果の判定方法について、土と基礎、Vol.2、No.2、1980