

愛媛大学 工学部 正員 望 達朗
 愛媛大学 工学部 正員 榎 明繁
 中央コンサルタント(株) 正員 ○都 築弘 見

1. はじめに セメント混合による化学的深層地盤改良工法は、老朽における構造物基礎地盤の改良等で、既に多数の施工実績を有している。しかし強度発現の要因、処理土の特性等に関する本工法の基礎的研究は、遅れている。そこで本研究では、セメント混合土の強度発現の要因も、セメントの硬化反応と、それに伴って生じる消石灰と粘土鉱物の硬化の反応(ポゾラン反応等)の二者に大別し、実積率(硬化体の体積/全体積)および反応に伴う結合水量という観点から、室内混合試験による混合土の強度について考察を加える。

2. 実験方法 実験方法は概ね土質工学会基準策「締め固めを伴わない安定処理土の試験方法」¹⁾に基づいている。半径6cmの回転翼を180RPMで自転させる攪拌機を用い、攪拌容器(φ16x16cm)の中で粘土とポルトランドセメント、消石灰を混ぜ、混合土をモールド(φ5x10cm)に詰め、湿潤養生(20℃、湿度100%)したのち、7日、28日強度を各3個の一軸圧縮試験で求めた。試料粘土は表-1に示すA(高知県日高村で採取した圧成粘土)、B(愛媛県八幡浜老の浜底から採取した海成粘土)、C(カオリン)の3種を用いた。混合はこれらの試料粘土に対し、粘土の含水比 w_0 (70~100%)、セメント混合比 a_w (25~40%)などを組合わせた。水セメント比 θ は1である。またセメントの水和に伴って生成する消石灰(セメント乾燥重量の約30%)と粘土の反応を調べるのに使用する石灰は、あらかじめ水石灰比で消化させておき、石灰混合比 a_c (0.5~50%)で粘土と混合した。ここで混合比 a_w 、 a_c はそれぞれセメントまたは生石灰の乾燥粘土に対する重量比である。

3. 混合土の強度発現の要因とその探索法

(a) セメント硬化体の実積率 図-1は実験で求めたセメント硬化体の実積率 Γ (a_w より水セメント比 θ と仮定して求めたセメント硬化体の体積の全体積に対する比率)と7日強度 σ_7 の関係を図対数グラフ上に描いたものである。筆者らが従来より示している多孔体と同様の直線関係が見られる²⁾。しかし粘土の種類によってこの関係が異なっている。この原因としてセメント水和時に生成される消石灰と粘土の反応による強度発現、あるいは腐植によるセメント硬化の阻害等が考えられるが、これらの要因はセメント硬化体の実積率のみでは評価し得ない。

(b) セメント混合土の結合水量 混合土中で生じる各種の硬化反応は、一般に水和反応を伴うと考えられるので、反応の種類や量などはセメントと結合した水の重量比 θ_0 によって間接的に調べることが出来る³⁾。表-2に示した混合土中でのセメントの水との反応物の重量組成よりセメント硬化後の含水比 w を測れば、 θ_0 は次式で求められる。

$$\theta_0 = \left(\frac{2w_0 - w}{a_w} + \theta - w \right) / (w + 1) \quad (1)$$

図-2はセメント混合比と結合水の関係を示したものである。これより混合比が大きくなるにつれて θ_0 は、ほぼ、0.2に収束していることが分かる。ポルトランドセメント1gの完全水和反応には、約0.25gの結合水と0.15g

粘土	A	B	C
液性限界 w_L (%)	39.0	62.0	48.5
塑性限界 w_P (%)	26.3	28.2	31.2
流動性限界 w_F (%)	32.6	48.8	44.6
pH(H ₂ O)値	7.18	8.40	3.50
焼失重量(%)	6.04	8.99	4.04
灰燼含有量(%)	1.54	3.24	0.51
腐植含有量(%)	0.24	0.64	0.05

表-1 試料土の物性および化学成分

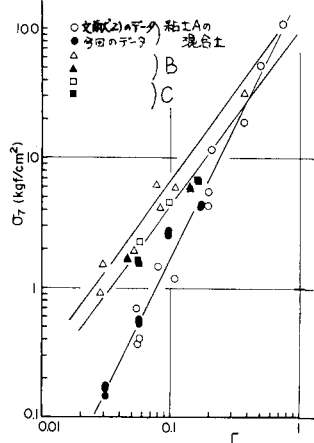


図-1 セメント混合土の実積率 Γ と強度 σ_7 の関係

	重量
空気	0
セメント	a_w
セメントと反応体	$a_w \theta_0$
余剰水	$(\theta - \theta_0) a_w$
水	w_0
粘土	1

表-2 セメント混合土中の重量成分

のゲル水が必要とされる。しかし、高温乾燥による含水比測定法ではゲル水は蒸発するものと考えられ、実験結果の $a_w \approx 0.2$ はセメントの水和反応として妥当な値であると考えられる。従って $a_w > 0.2$ ではセメント硬化反応が主である、換言するとセメント硬化体の実積率のみによって強度が評価され得ると考えられる。また $a_w < 0.2$ の領域では、断定はむずかしいが、他の反応も無視できなくなると考えられる。次にこのうちの消石灰と粘土との反応を、石灰混合土の強度から調べていく。

(c) 石灰混合比と強度 石灰混合比と強度の関係を図-3に示す。図よりどの試料土に対しても、強度が極大となる石灰混合比 a_{cp} が存在する。

(d) 石灰硬化体の実積率 図-4に a_{cp} の時の実積率を1とし、 a_c の時の相対的な実積率 Γ と強度の関係を示した。 $a_c < a_{cp}$ においては、石灰と粘土との反応に必要な粘土量が相対的に十分存在し、石灰が少ない状態である。この状態では石灰が増加すれば、実積率(石灰硬化体の体積/石灰混合土の総体積)が増加し、強度も増加する。 $a_c = a_{cp}$ において、反応する石灰と粘土の量が相対的に、つり合った状態であり、この時実積率、強度とも最大になる。 $a_c > a_{cp}$ においては反応に必要な石灰が増加し、実積率が徐々に低下し強度も低下する。しかし、 $\log \Gamma$ と $\log \sigma$ の勾配は $a_c \leq a_{cp}$ の場合と、 $a_c > a_{cp}$ の場合とでは異なっている。これは混合比の変化とともに反応生成物が異なる事を示している。

(e) 石灰混合土の結合水量 図-5に石灰混合比と結合水の関係を示す。 $a_c \leq a_{cp}$ の領域では、 $a_c > a_{cp}$ の領域において石灰と粘土と反応してでき生成物に対し、量的に多いかまたは質的に異なる生成物が生じたと考えられる。

(f) セメント混合土における石灰と粘土の反応による強度の割合(図-6) 図よりセメント混合比が小さい領域では、石灰と粘土の反応生成物による強度の占める割合が大きくなり、混合比が大きくなるにつれて、割合は小さくなる。

4. 結論 (1)セメント混合土の強度発現について、実積率と結合水量の2方法を同時に用いれば、強度発現については、かなり詳しく調べることが出来る。

(2)セメント混合土において、混合比の小さい所ほど石灰と粘土との反応によってできる硬化体の強度の占める割合は大きく、混合比が大きくなるにつれて、その強度の占める割合は小さくなっていく。

参考文献 (1)土質工学会基準策「締固めを伴わない安定処理土の試験方法」

(2)室達朗, 榎明繁, 藤井実; セメント混合土の圧縮強度について, 土木学会第36回年次学術講演会要録第3部 pp.676~677, 1981.

(3)室達朗, 榎明繁; セメント混合粘土土の施工と強度について, 愛媛大学工学部紀要 Vol.10, No.1, pp.271~280, 1982.

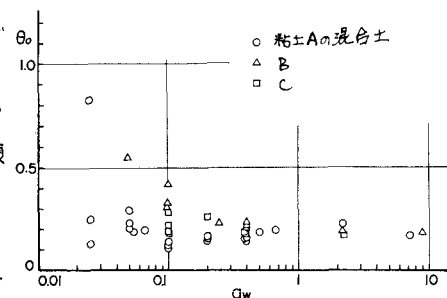


図-2 セメント混合比 a_w と結合水 θ の関係

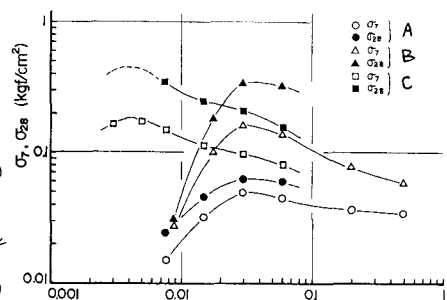


図-3 石灰混合比 a_c と強度 σ の関係

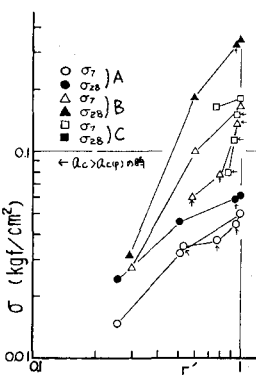


図-4 実積率 Γ と強度 σ の関係

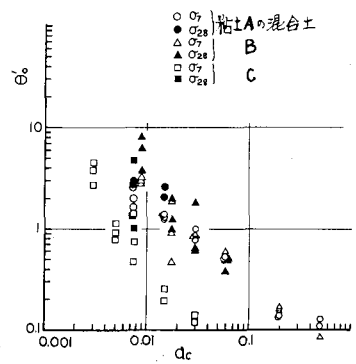


図-5 石灰混合比 a_c と結合水 θ の関係

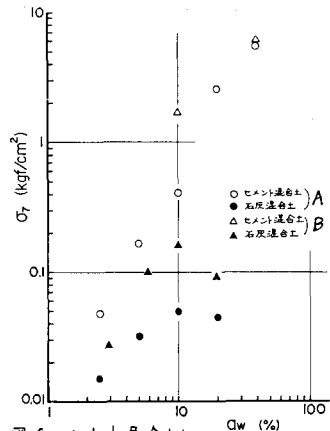


図-6 セメント混合土における石灰混合土の強度の割合