

粘性土のときほぐし程度がソイルセメントの力学的諸性質におよぼす影響に関する研究(第3報)

金沢大学工学部 正員 加場重正
 金沢大学工学部 " 川村満紀
 金沢大学工学部 " 大深伸尚
 金沢大学工学部 学生員 水口宗夫

1 まえがき

自然含水比が大きい粘性土をソイルセメントとして使用することは困難と考えられてきたが、ときほぐし機械を作製し粘性土塊をある程度の粒度にときほぐすことによって圧縮強度の点から見てソイルセメントとして十分使用可能であることや、ときほぐしの程度やときほぐし時の含水比が乾燥収縮ひずみに与える影響については先に報告を行った。本報告は粘性土を使用したソイルセメントのクリープについてソイルセメントの粘弾性的性質が粘性土のときほぐし程度、ときほぐし時の含水比と養生期間の違いにどのように関係しているかを明らかにするため分布関数と4要素模型の概念による解析によって粘性土塊の比表面積、含水比とソイルセメントの粘弾性的性質との関係を明らかにしたものである。

2 実験概要

a) 使用材料および配合

使用粘性土は金沢市卯辰山産の土でその土の物理的性質は Table-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(S社製)を使用し、28日養生のものは粘性土塊ときほぐし時の含水比を0%、10%、20%、30%(7日養生のものは20%を除く)とし、含水比とときほぐし程度(回転数、比表面積で表示)の組合せで12種類(7日養生のものは9種類)の粘性土試料を使用した。

b) 供試体

ソイルセメント供試体の使用セメント量はすべて試料土乾燥重量の10%で、締固めの時の含水比は最適含水比で、締固められたソイルセメントの単位容積あたりの突固めエネルギーとJIS A 1210の規定と同一になるように突固めた。供試体は同一含水比について乾燥収縮ひずみ測定用、クリープ測定用、圧縮強度測定用各2本計6本ずつ作製した。乾燥収縮ひずみ測定用供試体は直径8cm高さ37cmの円柱、クリープ、圧縮強度測定用供試体は直径8cm高さ30cmの円柱を用いた。

c) 実験方法と装置

供試体は成型後モールドのままビニール袋中に密封した状態で温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 湿度 $85\% \pm 5\%$ の恒温恒湿室中で1日保存し、型枠を外して再びビニール袋中に密封した状態で所定期間(7日および28日間)養生した。養生後乾燥収縮用供試体には軸方向に平行にプラグを貼り付けそのひずみをベリール

Table-1
Physical Properties

Properties	Soil
Size Range:	
>74 μ (%)	4
74—5 μ (%)	93
<5 μ (%)	3
L.L.(%)	63.4
P.L.(%)	30.9
P.I.(%)	32.5
Maximum Dry Density(g/cm ³)	1.37
Optimum Moisture Content(%)	31.5

み計(ゲージ長さ 30 cm)で測定した。クリープ測定用供試体には圧縮強度試験(載荷速度 $0.2 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$)によって得た圧縮強度の3割の応力を与え、そのひずみを上述のベリー-ひずみ計で測定した。なお載荷はスプリングで定載荷荷重を与える形式のものでひずみ量が1 mmをこすと初期の導入応力になるように再載荷を行なった。これらの供試体はいずれも恒温恒湿室中に静置した。実験結果は2本の測定値の平均である。

3 分布関数の考えによる解析法

各種のときほぐし粘性土を使用したソイルセメントの粘弾性的性質の特徴を把握するために、クリープ試験結果より Voigt element の遅延時間(τ_k)の分布を与える関数 $\Phi(\log \tau_k)$ の形を図式的に求めた。すなわち(Fig-1)に対応する基礎式は次式で与えられる。

$J_c(t) = \int_0^\infty \Phi(\tau_k) d\tau_k - \int_0^\infty \Phi(\tau_k) e^{-\frac{t}{\tau_k}} d\tau_k \dots\dots\dots ①$ 積分方程式①の核関数 $e^{-\frac{t}{\tau_k}}$ を step function で近似置換する($t \leq \tau_k$ に対して1, $t > \tau_k$ に対して0) T. Alfrey and P. Doty の解析方法によると、 $\Phi(\tau_k) \div \frac{d[J_c(t)]}{dt}$ によって分布関数の値が決定される。

4 4要素模型による解析法 (Fig-2 参照)

弾性係数 E は所定の応力を与えた時のひずみより求め、また η_3 は経過日数10日~20日の間で直線とみなせる部分より決定した。

5 分布関数による実験結果と考察

ときほぐし時の含水比0%のときほぐし粘性土を使用したソイルセメント(載荷時の材令7日および28日)の τ_k の分布関数 $\Phi(\log \tau_k)$ は(Fig-3)(7日材令)のようになる。これらよりときほぐし時の含水比、粒度(比表面積)載荷時の材令によって $\Phi(\log \tau_k)$ は特徴のある形を示す。それらについてまとめると次のようである。① ときほぐし時の含水比0%では、よくときほぐされて比表面積の大きいものの $\Phi(\log \tau_k)$ は鋭い「くさび型」(Fig-3の①)になり、比表面積の小さいものは「くさび型」と扁平な「箱型」を合成したような形(Fig-3の②)を示す。こ

れはよくときほぐされた粘性土を使用したソイルセメントはセメントが一様に分布して比較的均質な内部組織になり単一材料の性格をおび $\Phi(\log \tau_k)$ は単純な「くさび型」になるが、粗い粘性土塊を用いるとセメントにより結合されていない土粒子集合体部分が存在するため複合の性格をおび上述のよ

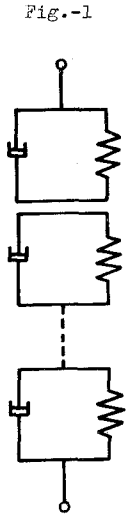


Fig.-2

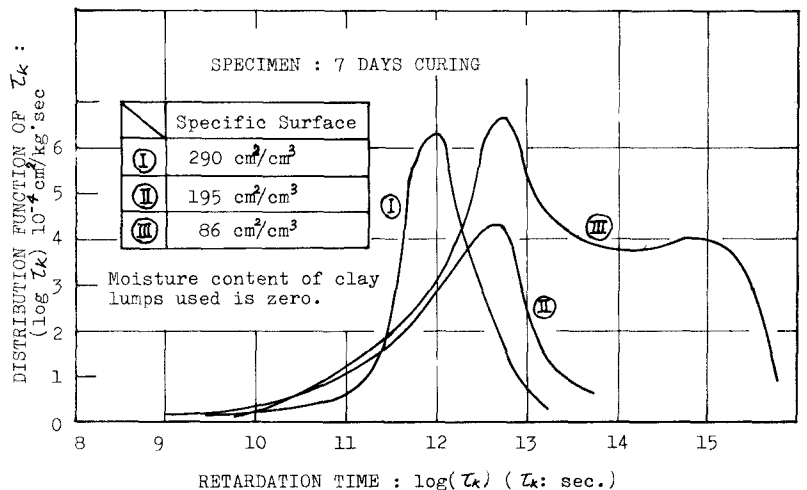
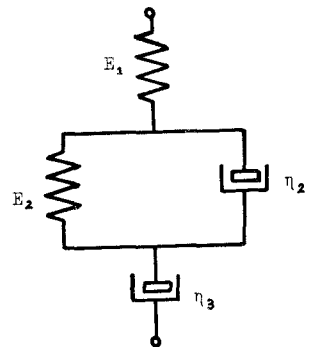


Fig. 3 Distribution function of τ_k in soil-cement

うな冷成型になると考えられる。② 両材令とも含水比10%のものは0%と同様な傾向を示すが、28日材令では比表面積の大小による $\Phi(\log \tau_k)$ の形の差は0%ほど顕著でない。③ 含水比30%、20%のものは0%、10%に比べて短時間領域で大きい関数値を持つ形になる。④ 材令7日の $\Phi(\log \tau_k)$ と28日のそれを比較すると、材令とともに全体にピークは $\log(\tau_k)$ の大なる方向に移行し、ピークの高さは小さくなる。ただし含水比30%では両材令の間でピークの高さにほとんど差がない。また30%の含水

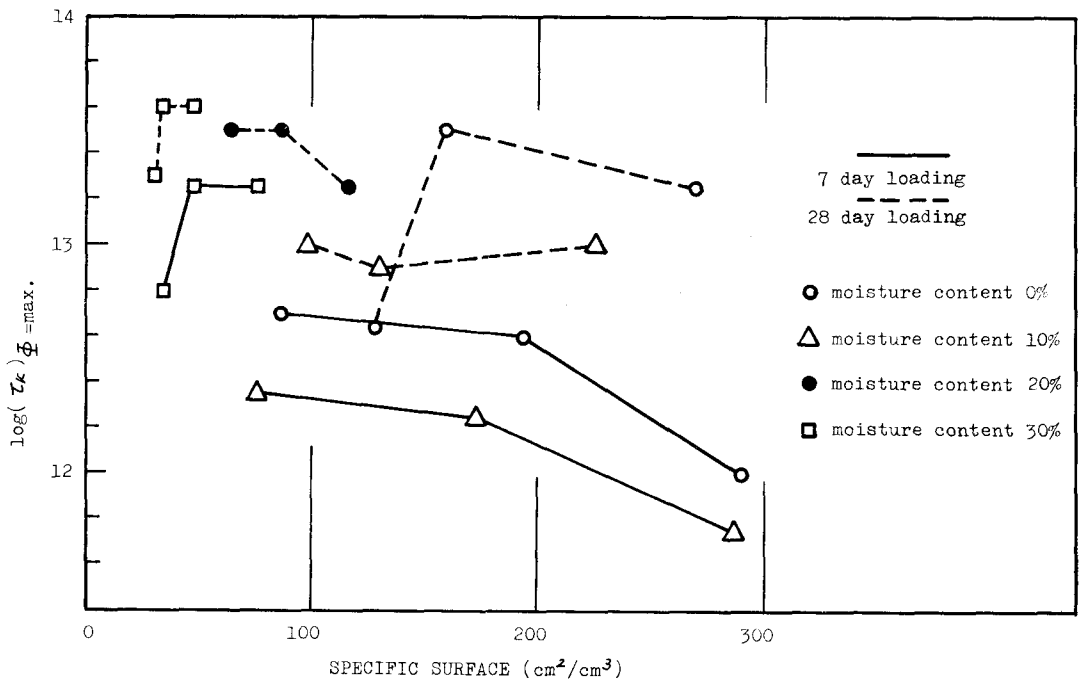


Fig.4 Relationship between specific surface of clay lumps and the retardation time($\log \tau_k$) at the maximum value of distribution function

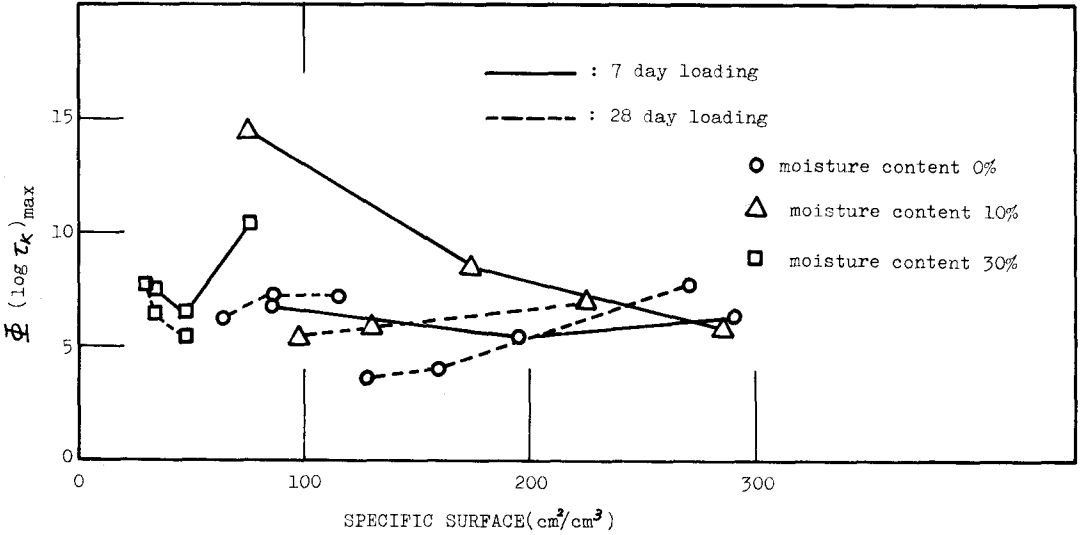


Fig.5 Relationship between specific surface of clay lumps and the maximum value of distribution function

比のものは粗い粘性土塊を含んでいるにもかかわらず、 $\bar{\epsilon}(\log \tau_k)$ の形は「合成型」にならないう。さらに30%は0%、10%のように材令にともなう分布関数の形に大きな変化を示さない。(Fig-4)(Fig-5)に比表面積と $\log(\tau_k)_{\bar{\epsilon}=\max}$ 、比表面積と $\bar{\epsilon}(\log \tau_k)_{\max}$ の関係を示す。それらについてまとめると次のようである。

- ① 両材令とも比表面積が大きくなると $\log(\tau_k)_{\bar{\epsilon}=\max}$ の値が小さくなる傾向がある。
- ② 比表面積に関係なく28日材令の $\log(\tau_k)_{\bar{\epsilon}=\max}$ の値が7日材令より大きい。
- ③ $\log(\tau_k)_{\bar{\epsilon}=\max}$ の値は材令に関係なく10%、0%、30%の順に大きくなる。
- ④ $\bar{\epsilon}(\log \tau_k)_{\max}$ の値は比表面積、材令がことなってもほとんど変化しない。

6 4要素模型による解析結果と

考察

a. 弾性係数と比表面積の関係

表-2に示すように弾性係数 E_1 と比表面積との関係から比表面積が大きくなれば E_1 も大きくなること、28日材令の方が7日材令より E_1 が大きくなることわかる。 E_2 と比表面積については7日材令では同様の結果が得られるが、28日材令では比表面積がかわってもほとんど変化がない。

b. 粘性係数(η_2, η_3)と比表面積の関係

η_2 と比表面積の関係においては7日材令では比表面積が変わっても η_2 はほとんど変化しないが28日材令では比表面積の小さい方が η_2 の値が大きい。 η_3 と比表面積との関係においては28日材令では比表面積が大きくなると粘性係数 η_3 も大きくなるが7日材令では η_3 と比表面積の関係は一定の傾向を示していない。

c. 遅延時間(τ_k)と比表面積の関係

7日、28日材令とも遅延時間(τ_k)は比表面積が大きくなるにつれて小さくなっている。

Table-2
SPECIMEN: 7 DAYS CURING

M.C.	R.N.	E_1	E_2	η_2	η_3	τ_k	S.S.	U.C.S.
0	125	0.79	0.98	3.27	0.43	3.37	86	115.9
	375	0.88	1.59	2.80	1.03	1.74	195	71.9
	625	0.67	1.00	1.50	1.12	1.46	290	89.6
10	125	0.58	0.39	0.96	0.78	2.45	78	145.5
	375	0.71	0.67	1.45	0.45	2.17	174	147.2
	625	0.95	1.38	2.97	0.48	2.15	286	46.4
30	125	0.72	0.70	2.06	1.30	2.91	33	55.8
	375	0.73	0.77	2.88	0.63	3.73	49	77.1
	625	0.62	0.66	2.68	0.57	4.02	75	62.7

SPECIMEN: 28 DAYS CURING

M.C.	R.N.	E_1	E_2	η_2	η_3	τ_k	S.S.	U.C.S.
0	125	0.87	1.44	6.00	1.39	4.16	128	70.0
	375	1.31	1.51	7.61	1.58	5.05	198	92.8
	625	1.38	1.06	5.00	0.95	4.70	270	108.4
10	125	1.31	1.15	3.84	1.21	3.34	98	103.3
	375	1.11	0.91	3.29	1.24	3.64	160	105.2
	625	1.30	0.89	2.88	1.78	3.25	224	123.0
20	125	1.26	1.11	4.28	0.96	3.88	56	109.4
	375	0.98	0.99	4.58	0.94	4.64	86	131.1
	625	1.14	0.91	4.06	0.84	4.46	116	106.3
30	125	0.99	0.94	5.04	0.48	5.38	33	149.7
	375	0.94	1.04	5.61	0.43	5.42	40	144.2
	625	0.93	0.81	4.72	1.14	5.79	48	151.5

M.C. : Moisture Content(%), R.N. : Revolution Number (r.p.m.)
 E_1 : (10^4 kg/cm^2)
 η_2 : (10^3 kg day/cm^2) E_2 : (10^3 kg/cm^2)
 τ_k : Retardation Time(days) η_3 : (10^5 kg day/cm^2)
S.S. : Specific Surface(cm^2/cm^3)
U.C.S. : Ultimate Creep Strain(10^{-4})