

京都大学 正員 工博 岡田 清
 京都大学 正員 工修 〇川村瑞紀
 京都大学 学生員 吉岡伸晃

I 目的

道路舗装にソイルセメントを使用する場合、施工後数日して交通開放することがきつて養生防止上良好の結果をもたらすといわれている。したがって材令1日、3日から14日までの初期におけるソイルセメントの変形係数について知ることは有意義なことと思われる。ここでは材令1日、3日といった初期材令におけるソイルセメントの動弾性係数と静弾性係数の関係、また材令ともなる変化状況について考え、さらに対数減衰率とどからソイルセメントの内部摩擦と非弾性について考察した。

II 実験の要旨

使用セメントは普通ポルトランドセメント(宇部興産 K.K.製)で、使用土層材は京都市の山手産の土と淡路産の粘土である。これら2つの土を混合して、Table 1 に示すA, B 2種類の土層材を作った。ただし土層材は $\phi 760\text{mm}$

Table 1

Designation of Soils	Composition of Soil		Optimum Water Content
	Sand	Silt, Clay	
A	93%	7%	10.8%
B	86	14%	13.9%

小さい通過部分である。円柱供試体寸法は直径 $\phi 75\text{cm}$ 、高さ 15.0cm で実固め回数は一層17回で、3層に実固めた。養生条件は温度 20°C 、湿度80%の恒温室中でポリエチレン袋による湿潤養生である。実験装置としては、動弾性係数および対数減衰率はJIS-A1127に準じて製作されたヤング率測定器、また静弾性係数を測定する場合のたて方向ひずみの測定には鏡式ひずみ測定装置を使用した。

III 粘弾性をもつはりのたわみ振動

ソイルセメントの動弾性係数(たわみ振動方法により求めた)および内部摩擦の係数を調べるために応力ひずみ関係がKelvin模型で表わされる粘弾性はりのたわみ振動解析を用いた。

動弾性係数 E_0 、対数減衰率 δ 、粘性係数 η (poise)、内部摩擦によるエネルギー損失の度合を示す尺度としての定数 C (dyn/cm^2)はおおのつぎの式(1), (2), (3), (4)で計算される。

$$E_0 = K_1 \cdot W \cdot f_0^2 \quad (1) \quad [\text{記号}]$$

$$\delta = \pi \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \quad (2) \quad K_1 = 3.676 \times 10^{-3}, \quad K_2 = 0.2728, \quad W: \text{供試体の重量 (KG)} \quad \text{2.16 (g)}$$

$$\eta = K_2 \cdot W \cdot \Delta f \quad (3) \quad f_0: \text{共振振動数 (cps/sec)}, \quad \Delta f = f_2 - f_1: \text{共振時の振中の1/2倍}$$

$$C = W \eta = 2\pi \cdot K_2 \cdot W \cdot f_0 \cdot \Delta f \quad (4) \quad W: \text{共振動数}, \quad E_0: \text{KG/cm}^2 \quad \text{と} \quad \text{なる2つの振動数} f_2 \text{と} f_1 \text{の差}$$

静弾性係数 E_s (KG/cm^2)は応力-ひずみ曲線で応力ゼロにおける接線がひずみ軸となす角の正切である。

IV 実験結果および考察

1. 初期材令における動弾性係数(E_0)と静弾性係数(E_s)

土Aについて初期材令(1日および3日)における E_0/E_s の値はTable 2に示すように最適含水比(w_{op})よりも2%湿潤側で締固めたものはセメント量が減少するにしたがって大きくなるが、それより乾燥側で締固めた場合、セメント量に関係なくほぼ一定のようである。

2. E_0 と E_s の関係についての考察

ソイルセメントの力学模型として、非常に早い振動に対して動くと考えらる水部分をFig. 1に示す。

この模型の応力(σ)とひずみ(ϵ)間
係は次のようになる。

$$\epsilon = \sigma \left[\frac{1}{E^*} + \frac{1}{E_0} (1 - e^{-\frac{\sigma}{\tau_0}}) \right] \quad (5)$$

$$\tau_0 = \frac{\eta_0}{E_0}$$

ここで τ_0 はソイルセメントでは
 10^{-6} 秒程度であるので、短時間載荷試験より求める静弾
性係数 E_0 と E^* および E^* の間に式(6)が成立する。

$$\frac{1}{E_s} = \frac{1}{E^*} + \frac{1}{E_0} \text{ 又は } \frac{E_0}{E_s} = \frac{E_0}{E^*} + 1 \quad (6)$$

各配合、各材令の供試体について E^* を求めるとFig. 2
Fig. 3のようである。これらの図から明らかにA
では材令とともに E^* が急速に大きくなるが、Bでは E^* の
材令による増大割合はAにくらべて非常にゆるやかであ
る。したがってソイルセメントの内部構造のうちでも E^*
は粘土シルト分によって強度特性が大きく左右される部
分の係数であると考えられる。

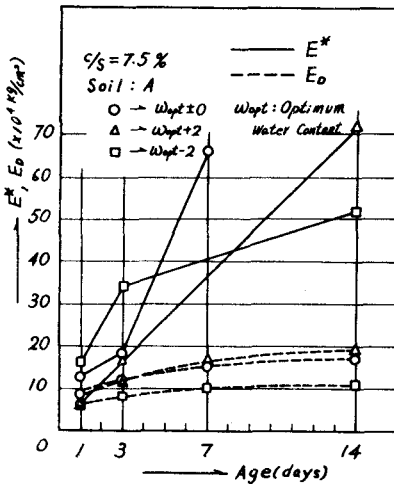


Fig. 2

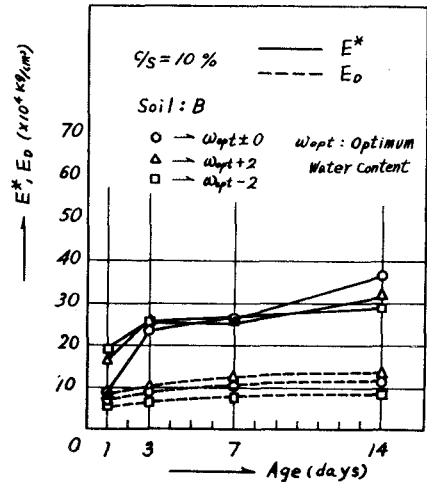


Fig. 3

3 内部摩擦と非弾性についての考察

3.1 材令による、Cの変化状況

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 は対数減衰率(δ)およびCが材令とともに変化する状況を示すもので、
いずれの供試体も材令とともに、Cは減少し、とくに δ は1日～3日において減少が1.5～3%し、
また粗粒子土Aのソイルセメントはシルト、粘土分の多い土Bにくらべて材令1日～3日における δ の減

Table 2

		1 day			
Mixing Ratio	σ_t	E_s	E_0	E_0/E_s	
(%w)	(kg/cm ²)	($\times 10^4$ kg/cm ²)	($\times 10^4$ kg/cm ²)		
10	Wopt-2	22.4	4.1	5.7	1.39
	Wopt±0	36.3	5.4	9.1	1.69
	Wopt+2	31.3	5.1	8.4	1.65
7.5	Wopt-2	18.2	4.3	5.9	1.37
	Wopt±0	31.8	5.1	8.5	1.67
	Wopt+2	19.7	3.8	6.7	1.76
5	Wopt-2	16.1	3.5	4.9	1.40
	Wopt±0	19.6	4.5	7.6	1.69
	Wopt+2	14.6	2.7	6.2	2.30
3 days					
10	Wopt-2	32.2	6.4	8.2	1.28
	Wopt±0	59.9	8.1	12.2	1.51
	Wopt+2	52.4	7.8	12.6	1.62
7.5	Wopt-2	31.0	6.4	7.9	1.23
	Wopt±0	57.1	7.2	12.0	1.66
	Wopt+2	42.5	6.8	11.7	1.72
5	Wopt-2	22.8	6.1	7.0	1.15
	Wopt±0	40.7	6.9	11.5	1.66
	Wopt+2	29.7	5.4	10.0	1.85

σ_t : Unconfined Compressive Strength
 E_s : Static Modulus of Elasticity
 E_0 : Dynamic Modulus of Elasticity
 Wopt: Optimum Water Content

少割合は大きく、
 全材令を通じて前
 者の δ は後者の δ
 よりも小さい。こ
 のように δ および
 Cが材令とともに
 小さくなっている
 のはセメントの水
 和がすすむにした
 がって土粒子相互
 の結合が材令とヒ
 もに強くなり、粒

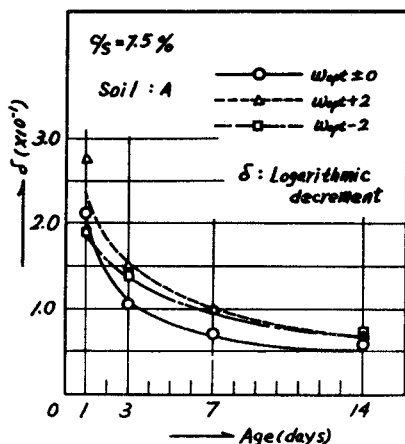


Fig. 4

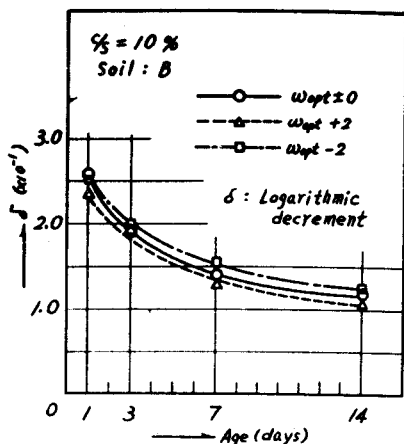


Fig. 5

子同志の摩擦に
 によるエネルギー
 損失が小さく
 なるためと考え
 られる。また粘
 土シルト分が多
 く含まれるBの
 方がAより δ ,
 Cが大きいのは
 , Bの方がAよ
 り土粒子の比表
 面積が大である

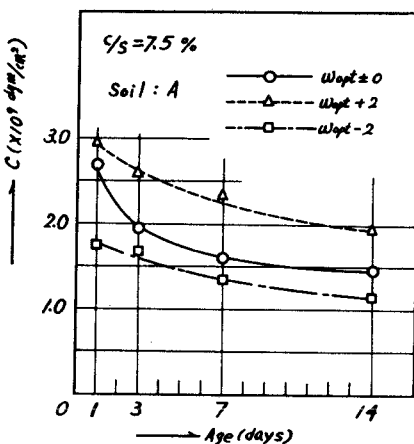


Fig. 6

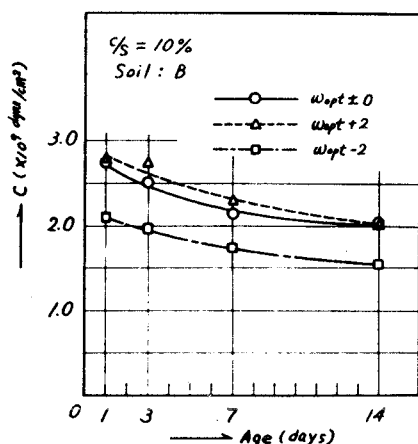


Fig. 7

ため粒子間の界面におけるエネルギー損失が大となるためと
 考えられる。

3.2 セメント量による δ の変化状況

Fig. 8が示すようにセメント量の増大とともに δ が小さく
 なるのは土粒子相互の結合の強さはセメント量が多いほど大
 きいことからして理解できる。

3.3 含水比による δ , Cの変化状況

(a) 細粒子土Bの場合

含水比の影響については全材令を通じて土BではCの値は
 含水比が大であるほど大きいが, δ は全く逆に含水比が大さ
 いほど小さい。 δ とCの間には(7)式が成立する。

シルト粘土分を多く含む土を用いたソイルセメントでは含水

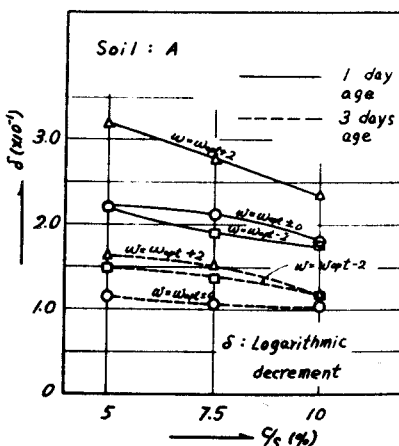


Fig. 8

此が大きいとセメントペーストと土粒子によって形成される層格に関与しは微細な土粒子と自由水とが一語に存在する結合のゆるい部分があり、自由水の影響もあって内部摩擦によるエネルギー損失は大きくなるが、一方では水分が多いのでセメントの水和による土粒子相互の結合も強く E_0 も大きい (Fig. 3 参照)。しかし含水量が小さいと自由水も少ない結合されては自由な土粒子間で消費されるエネルギーも小さいが、一方ではセメントの水和のすすみがゆるく E_0 がより以上に小さいため δ は大きくなる。

$$\delta = \pi \cdot \frac{C}{E_0} \quad (7)$$

(b) 粗粒子土 A の場合

Fig. 6 から明らかのように C は含水量が大きくなるにしたがって急に大きくなっている。これは自由水の増大にともない急に損失エネルギーが大きくなることを示している。しかし自由水が多いと材令とともにすすむセメントの水和反応に必要な水分が十分に供給されるので土粒子層格の剛性は急に増大し、Fig. 2 のように $W_{opt}+2$, $W_{opt} \pm 0$ の E_0 が材令とともに急に大きくなる。含水量の小さい $W_{opt}-2$ は材令による E_0 の増加割合は非常に小さい。したがって材令 1 日では δ の値は C の値と同様に含水量の大きさの順に大きくなっているが、材令がすすむにしたがって次第に逆になり、材令 14 日では材令 1 日とはほとんど逆の順序になっている。

(c) 結論

粗粒子土 A と細粒子土 B の間の大きな相違は前者では含水量が大きいと材令とともに δ は急速に減少するが、B では材令による減少割合は $W_{opt}+2$, $W_{opt}-2$, $W_{opt} \pm 0$ のいずれも同様である (Fig. 4, Fig. 5 参照)。これは少々自由水が多くてもミルト、粘土の影響で土粒子層格の剛性は材令とともにあまり急速には大きくならなためと考えられる。(7) 式から δ は非弾性的に費やされるエネルギーの弾性エネルギーに対する比と考えられるので、結局細粒子土 B では全材令を通じて含水量が小さいほど非弾性的な挙動を示し、粗粒子土 A では初期材令で含水量が大きいのほど非弾性ひずみによって消費されるエネルギーは大きい、材令とともに変化し、14 日以後では逆に含水量が小さいほど非弾性的な挙動を示すようになる。

4. クリープ試験結果との比較

すでに行なったクリープ試験の結果では、粗粒子土でも細粒子土でも、含水量が大きいほど最終クリープひずみが大きく、遅延時間も大きい。すなわち含水量が大きいほど非弾性的な変形挙動を示すといえる。したがって 3. における共振試験による結果とくらべた場合、ソイルセメントではクリープ試験のように長期にわたる応力が働くときと、共振法のようにごく短時間に応力が働くときとは非常に違った非弾性挙動を示すようである。