

ソイルセメントの振動特性

岡 田 清*
川 村 満 紀**

1. 概 要

近時道路舗装におけるソイルセメントの使用がさかんになり、欧米諸国においてはかなり多くの研究がなされている。

最近のセメント処理路盤上のコンクリート舗装版についての実験報告において、セメント処理路盤は砂利路盤よりも力学的に有利なことが指摘されている。

それによると、コンクリート舗装版のたわみやひずみを減少させる点で、8 in 厚のコンクリート舗装では、5 in 厚のセメント処理土層（セメント量は重量で 5.5% 用いている）は、15 in 厚の砂利路盤よりも効果的であるといわれている¹⁾。

しかしくり返し荷重下のソイルセメントの変形挙動など、その力学的性質についてはいまだ明らかにされていない点が多く、特に舗装設計においてソイルセメントの弾性係数や圧縮強度は重要なファクターであるが、本質的な研究は数少ない。

一方道路舗装にソイルセメントを使用する場合、施工後数日にして交通開放を要請されることが多くなっており、そのような点からも初期材令における動弾性係数、静弾性係数、圧縮強度について知る必要がある。

その場合ソイルセメントは内部摩擦による振動減衰がいちじるしく大きくなることが考えられるので、従来コンクリートで使用されている弾性体としての理論公式をそのまま適用してもよいかどうかは問題である。

すなわち、ソイルセメントの動弾性係数と静弾性係数の関係を振動時の減衰特性と結びつけて考えねばならず、1~14 日までの初期材令では振動時の減衰が大きという点が、動弾性係数の算出などにおいて重要な問題となることが考えられる。

これらの問題の解決にあたっては、ソイルセメント

の動力学的な基本性質が明らかにされねばならないが、これまでにソイルセメントの動弾性係数と静弾性係数について言及したものには Felt および M.S. Abrams の論文があるが、それも動弾性係数と静弾性係数の関係を十分に解明しているとはいいがたい。

Felt および M.S. Abrams がソイルセメントの弾性性質を静的、動的に試験した結果によると、表-1 のように動弾性係数 (E_d) は圧縮による終極荷重の 33% における接線係数 (E_s) よりも 60% 程度大きな値を示している²⁾。

表-1 動弾性係数と静弾性係数の関係 (Felt & Abrams)²⁾

土	セメント量 (%) (重量)	28 日 温 室 養 生 (kg/cm ²)		E_d/E_s
		E_d	E_s	
砂質ローム	3.8	0.98×10^5	0.63×10^5	1.55
	6.1	1.41 "	0.88 "	1.60
	8.6	1.83 "	1.16 "	1.58
シルトローム	8.0	0.63 "	0.39 "	1.61
	11.1	0.74 "	0.46 "	1.61
	14.2	0.88 "	0.53 "	1.66

このようにソイルセメントはコンクリートよりも非弾性的性質の強い材料であり、振動時の減衰も大きいので、コンクリートの場合よりも E_d/E_s の値は大きくなることは予想される。

また筆者らが先に行なったクリープ実験による結果では、締固め時の含水比が塑性性質に大きく影響することがわかった³⁾。

このことから動弾性係数と静弾性係数との比の値もセメント量よりはむしろ締固め時の含水比や土の粒度組成（特に含有粘土、シルト分量）によって大きく影響されると思われる。

ここでは以上のような問題点についてすべて考察しているわけではないが、特に初期材令（1~14 日）において、ソイルセメントの締固め時の含水比、セメント量、土の粒度組成などの配合要因と弾性係数の関係について実験的に明らかになった点について述べ、さらに動弾性試験における振動減衰特性から、ソイルセメントの非

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 京都大学助手 工学部土木工学科

弾性と内部摩擦の関係について、混合材料の配合割合の面から一つの考察を試みた。

2. 実験要項

(1) 使用材料

使用セメントは普通ポルトランドセメント(宇部興産KK製)で、使用土は京都市の山手産のものと淡路産の粘土の2種類を用い、粒度調整を行なって使用した。

(2) 使用材料の配合

配合はC/S, W/C+S(ここでC, S, Wはそれぞれセメント, 炉乾燥状態の土骨材, 水の重量である)の2つの配合因子を用い、使用土骨材については京都市山手産の土A(4760μふるい通過部分)と、これに淡路産の粘土を25%添加した土Bとした。粒度組成を表-2に示す。

表-2 使用土の粒度組成と最適含水比

土の種類	粒度組成		最適含水比 (%) (w_{opt})	最大乾燥密度 (g/cm^3)
	砂分 (%)	シルト・粘土分 (%)		
A	93	7	10.8	1.996
B	86	14	13.9	1.828

またC/Sは10%, 7.5%, 5%の3種, W/C+Sは最適含水比とそれより2%乾燥側および湿潤側の3種を用いた。

(3) 混合, 締固めおよび養生条件

混合時間は、まず土とセメント5kgにつき3分間スコップで混合し、その後水を加えながら10分間練り混ぜた。

本実験で用いた供試体の寸法は直径7.5cm, 高さ15.0cmの円柱体で、締固めはJIS A 1210に規定の2.5kgのランマーで総突固め回数51回とし、一層あたり17回の3層に突固めた。

供試体は打設後型わくのまま温度20°C, 湿度80%の恒温室に入れ、1日後脱型しポリエチレンの袋で密封して、上記恒温室中で試験まで所定期間養生した。

(4) 実験装置と実験方法

まず所定期間養生を終えた供試体について、JIS A 1127に準じて製作された動弾性係数測定器によって、共振振動数(f_0 cycle/sec)および振幅が最大振幅の $1/\sqrt{2}$ 倍となる2つの振動数(f_2, f_1 cycle/sec)を測定した。

つぎにアムスラー型圧縮試験機によって、各供試体の応力-ひずみ曲線と破壊強度を求めた。

ひずみ測定は改良マルテン式の鏡式ひずみ測定装置を用い、ゲージ長さは供試体高さの中央部分の10cmとした。

3. 粘弾性をもつはりのたわみ振動

コンクリートなどの動弾性係数や内部摩擦の測定には棒のたわみ振動がよく用いられるが、ここではソイルセメントの動弾性係数および内部摩擦の特性を調べるために、つぎに示す粘弾性を持つはりのたわみ振動を用いた。

応力-ひずみ関係はKelvinモデルで表わされる粘弾性材料で、長さにくらべて横方向寸法の小さい棒のたわみ振動の運動方程式は、式(1)のようになる³⁾。

$$\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + E_d \kappa^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \eta_d \kappa^2 \frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、つり合い位置でのはりの軸をx軸とし、それに垂直方向の軸をy軸とする。

t: 時間, ρ : 密度, E_d : 動弾性係数, η_d : 粘性係数, κ : 断面の回転半径

式(1)を両端自由の境界条件で解き、減衰は小さいものとして2次項を無視すると E_d (dyne/cm²)が求まる。

$$E_d = \frac{4 \pi^2 l^4 \rho}{m^4 \kappa^2} f_0^2 \dots\dots\dots (2)$$

l: 供試体の長さ (cm)

f_0 : 共振時の振動数 (cycle/sec)

m: 振動形式によって決まる定数で、両端自由の基本振動に対しては $m=4.7004\dots$

同様に、

$$\eta_d = \frac{2 \pi l^4 \rho}{m^4 \kappa^2} \Delta f \dots\dots\dots (3)$$

η_d : poise, $\Delta f = f_2 - f_1$

本実験では直径7.5cm, 高さ15.0cmの太短い円柱体を用いたたわみ振動を求めたので、それに対する動弾性係数の修正係数(T')はつぎの一般式を用い、ソイルセメントのポアソン比を $\nu=1/7$ として計算した。

$$T' = T \left[\frac{1 + (0.26 \nu + 3.22 \nu^2) \kappa / l}{1 + 0.1328 \kappa / l} \right] \dots\dots\dots (4)$$

T: κ/l の値より求まる定数で、ここでは $T=2.11$

T' : 式(4)で計算した結果 $T'=2.102$

実際には式(2)を工学単位に変換し、また式(3)は簡単に式(5), 式(6)を用いた。

$$E_d = K_1 \cdot W \cdot f_0^2 \dots\dots\dots (5)$$

$K_1 = 3.676 \times 10^{-3}$, E_d : kg/cm², W: 供試体重量(kg), f_0 : cycle/sec

$$\eta_d = K_2 \cdot W \cdot \Delta f \dots\dots\dots (6)$$

$K_2 = 0.2728$, W: 供試体重量(g), Δf : cycle/sec, η_d : poise

4. 内部摩擦によるエネルギー損失

粘弾性体に周期的な応力をあたえると、力学的エネルギーの一部は熱エネルギーに変わって消費されるが、Kelvin 体に正弦的応力をあたえるときの 1 サイクルあたりのエネルギー損失はつぎのようになる⁴⁾。

$$H = \pi \eta_d \omega \tau_0^2 = \pi C \tau_0^2$$

ここに $C = \eta_d \tau_0$

H : 1 サイクルあたりの消費エネルギー

τ_0 : 振幅, η_d : 粘性係数, ω : 角振動数

したがって, $C = \eta_d \tau_0$ は 1 サイクルあたりの消費エネルギーに比例する定数である。

たわみ振動に対しては, C の値は式 (7) によって求められる。

$$C = 2\pi K_s W \cdot f_0 \cdot \Delta f \dots \dots \dots (7)$$

また, 対数減衰率 δ は式 (8) であたえられる。

$$\delta = \pi \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \dots \dots \dots (8)$$

Kelvin 体では, δ と C の間に式 (9) たる関係が成立する。

$$\delta = \pi \cdot \frac{C}{E_d} \dots \dots \dots (9)$$

すなわち, δ は Kelvin 体に周期的応力をあたえた場合に, 内部摩擦によって消費されるエネルギーの弾性エネルギーに対する比を示す尺度と考えてよい。

5. 実験結果と考察

(1) 材令 1 日および 3 日における動弾性係数と静弾性係数

静弾性係数の決定にあたっては, 静的試験結果より応力-ひずみ曲線をえがき, 正確を期すためゼロ応力近傍の範囲で各応力における接線のひずみ軸となす角の正切を図式的に求め, 外そう法により応力ゼロにおける接線係数を求めて, 静弾性係数とした。

また, 動弾性係数は式 (5) より計算したもので, 実験値はすべて供試体 3 個の平均である。

このようにして決定された材令 1 日および 3 日における土 A (粗粒子土) を用いたソイル セメントの破壊強度 σ_f , 静弾性係数 E_s , 動弾性係数 E_d および E_d/E_s の値を表-3 に示す。

表-3 よりつぎのことがわかる。

- ① 一般にセメント量の相違による E_d/E_s の値の変化については一定の傾向は認められないが, 含水比が最適含水比よりも 2% 湿潤側のもは 1 日材令, 3 日

表-3 材令 1 日および 3 日における動弾性係数と静弾性係数

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

σ_f : 圧縮強度, E_s : 静弾性係数, E_d : 動弾性係数, w_{opt} : 最適含水比, 土の種類: A, w : 締固め時の含水比

材令のいずれにおいてもセメント量の減少とともに大となる。しかし, 最適含水比およびそれより 2% 乾燥側で締固めた場合は, セメント量に関係なくほぼ一定である。

- ② 各セメント量のいずれにおいても, 含水比の影響はいちじるしく, 含水比の減少とともに E_d/E_s の値は小となる。
- ③ したがって E_d/E_s は, 圧縮破壊強度よりは締固め時の含水比により大きく左右されることがわかる。

(2) 力学模型よりみた動弾性係数と静弾性係数の関係

筆者らは, さきにソイル セメントの力学模型として Kelvin 要素 3 個と, Hooke 要素 1 個を直列に連結したものを仮定し, 本実験と同様のソイル セメントにつきクリープ実験によりその模型定数を決定したが, その結果は図-1 のように $10^4 \sim 10^5$ kg/cm² のスプリング定数と $10^{16} \sim 10^{17}$ poise の粘性係数が得られた⁵⁾。

このクリープ実験による粘性係数は, 本実験の共振法により求めた動的粘性係数 η_d (10^5 poise) にくらべてはるかに大きい。

これは早い振動による測定に対しては, 図-1 に示す η_1, η_3 といった粘性係数の大きいダッシュポットをもつ Kelvin 要素 ($K_1 \sim K_3$) は動かず, 10^5 kg/cm² のスプリング定数 E^* をもつ Hooke 要素 (H) と 10^5 kg/cm² の E_d と

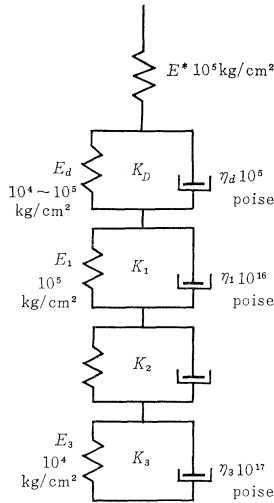
10⁵ poise の η_d もつ Kelvin 要素 (K_D) のみが働くためと考えられる。

この共振法試験や短時間荷試験において働くと考えられる Hooke 要素 (H) と, Kelvin 要素 (K_D) を直列に連結した模型においては, 応力 σ とひずみ ϵ の関係は次式で示される。

$$\epsilon = \sigma \left[\frac{1}{E^*} + \frac{1}{E_d} (1 - e^{-t/\tau_d}) \right] \dots (10)$$

ここで $\tau_d = \eta_d / E_d$
 このような力学模型の

図-1 力学模型



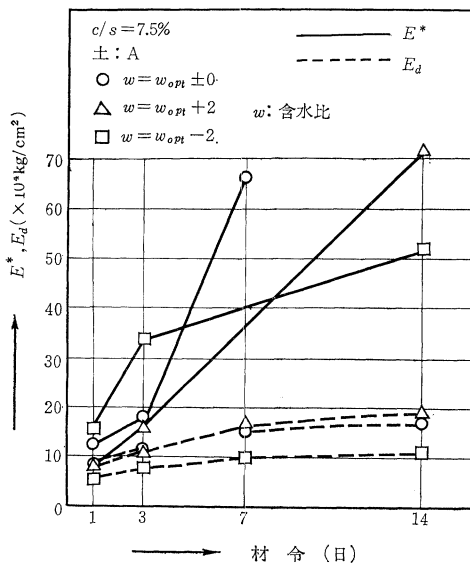
振動解析から E^* , E_d , η_d を一義的に決定することは不可能であるから, E^* は E_d にくらべて数倍大きいと仮定し, また E_d , η_d としては, 4. で求めた Kelvin 模型であらわされる棒の振動解析から定まる係数を近似的に用いて, 以下考察を行なった。

K_D 要素の遅延時間 τ_d は非常に小さく, 本実験の結果によると, ソイルセメントの τ_d は 10⁻⁶ 秒程度である。

したがって短時間荷試験における応力-ひずみ関係では, 式 (10) の e^{-t/τ_d} の値は無視できるほど小さい。

静弾性係数 E_s を, Hooke 要素と Kelvin 要素 (K_D) を直列に連結した模型の短時間荷による応力-ひずみ曲線より求める弾性係数であるとすると, 式 (11) が成

図-2 E_d, E^* の材令ともなう変化状況



立する。

$$\epsilon = \sigma \left(\frac{1}{E^*} + \frac{1}{E_d} \right) \doteq \sigma \frac{1}{E_s} \dots (11)$$

結局 E_s, E^*, E_d の間には, 式 (12) が成立する。

$$\frac{1}{E_s} \doteq \frac{1}{E^*} + \frac{1}{E_d} \dots (12)$$

式 (12) を変形して,

$$\frac{E_d}{E_s} \doteq \frac{E_d}{E^*} + 1 \dots (13)$$

材令にともなう E_d, E^* の変化状況の一例として, 土 A を用いた場合 ($C/S=7.5\%$) および土 B を用いた場合 ($C/S=10\%$) について示すと 図-2, 3 のようである。

E_d, E_s の関係をより明確にするために, E_d/E_s と材令の関係を 図-4, 5 に示す。

これらの図からわかるように, 全材令 (1~14 日) を通じて含水比が小さいほど E_d/E_s は小さく, 特に粗粒子土 A では, 材令が 7 日, 14 日と進むと E_d/E_s は急速に

図-3 E_d, E^* の材令ともなう変化状況

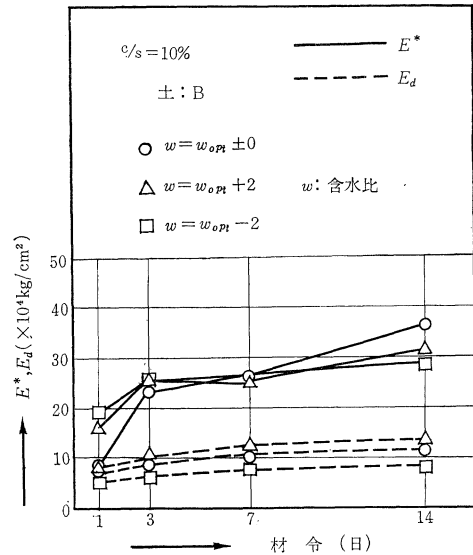


図-4 E_d/E_s の材令ともなう変化状況

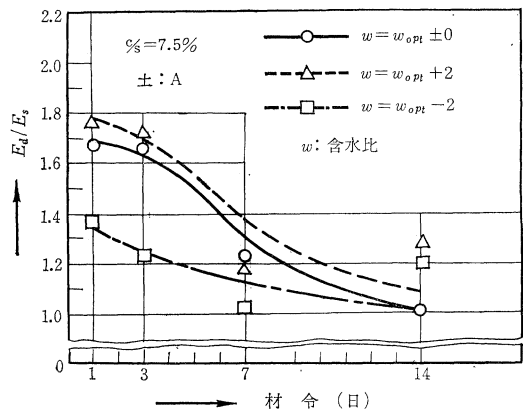
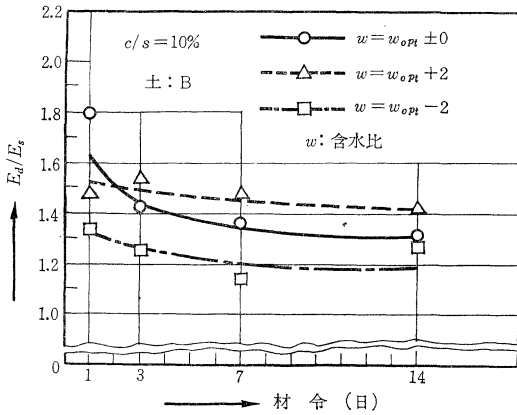


図-5 E_d/E_s の材令ともなう変化状況



1.0 に近づく。

すなわち式 (13) において E_d/E^* が材令が進むと急に小さくなるのが示されている。

一方 E_d, E_s から E^* を求め、 E^* の材令ともなう変化状況を示すと 図-2,3 のごとくである。

これらより、特に粗粒子土Aでは E_d/E^* が材令とともに急に小さくなるのは、 E^* が急に大きくなるためであることがわかる。

粘土、シルト分の多い土Bでは、図-5にみられるように1日、3日程度の初期材令では E_d/E_s の値は粗粒子土Aとほとんど差がないが、材令ともなう減少割合は小さく、材令が7日、14日に達しても $E_d/E_s=1.2\sim 1.4$ の範囲の値をもち、また図-3のように E^* の材令ともなう増加曲線はAにくらべて非常にゆるやかである。

土A,B間において、このように E^* の特性が相違する原因は、その含有する微細な土粒子分の多少によるものであると思われる。

一方上述の E^* の現象を 図-6,7 に示す圧縮強度の材令ともなう増加状況とあわせ考慮すると、 E^* はソイ

図-6 圧縮破壊強度と材令との関係

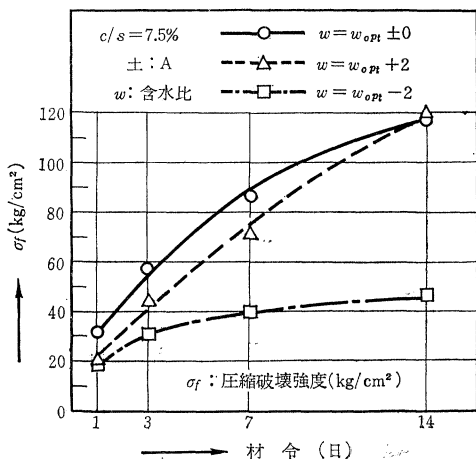
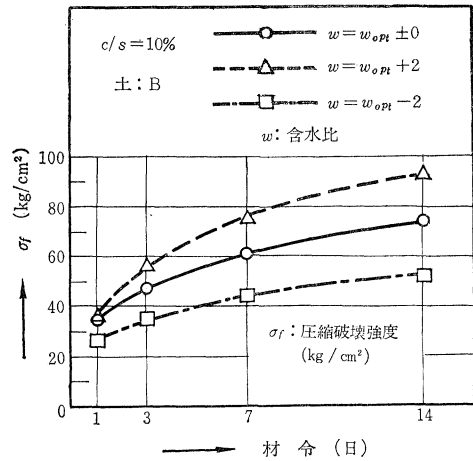


図-7 圧縮破壊強度と材令との関係



ルセメントの強度に関係する相をあらわすものと考えてよいであろう。

すなわち粘土シルト分の少ない粗粒子土Aの場合は、セメントの水和に十分な水和（最適含水比以上）が供給された場合に、材令ともなう剛性および強度の増加が望めるが、土Bのように粘土シルト分が多くなると、セメントの水和によるペースト相の硬化促進が妨げられ、材令ともなう剛性の増大割合は比較的小さいといえる。

(3) 振動時の減衰特性についての実験結果と考察

a) 材令ともなう C, δ の変化

振動時の減衰特性として式(7),(8)で定義される定数 C, δ の材令ともなう変化を 図-8,9 に示す。

δ および C が材令とともに小さくなっているのは、セメントの水和が進むにしたがって、土粒子相互の結合が材令とともに強くなり、土粒子同志の摩擦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ている土Bの方がAより δ, C が大きいのは、粘土、シルト分の少ないAにくらべて土粒子の比表面積が大であるため、粒子同志の界面におけるエネルギー損失が大なるからである。

図-10が示すように、セメント量の増加ともない 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十分理解できる。

b) C, δ におよぼす含水量の影響

含水比の影響については土Aと土Bで異なった傾向を示す。

① 土Bの場合（細粒子土の多い土）：図-9の破線が示すように、全材令を通じて C の値は含水比が大なるほど大きい、 δ の値はまったく逆の順序になる。

土Bのようにシルト、粘土分を多く含む土を用いたソイルセメントでは、セメントペーストと土粒子によ

図-8 対数減衰率 C の値と材令との関係

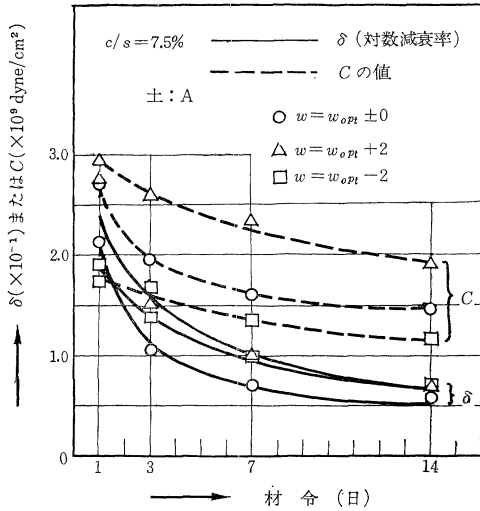
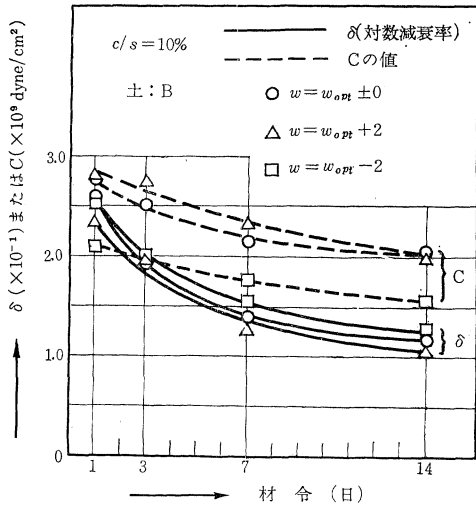


図-9 対数減衰率 C の値との関係



て形成される骨格に直接関与しない微細な土粒子と、自由水と一緒に存在する結合のゆるい相があると考えられ、その相では自由水が多いほど損失エネルギーが大きい(すなわち C が大となる)のであろう。

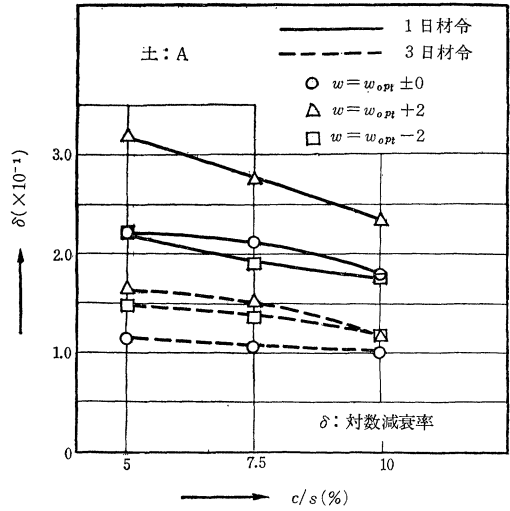
一方 δ は、式(9)が示すように応力を加えた場合非弾性的に費やされるエネルギーの弾性エネルギーに対する比と考えてよい。

δ の含水比による変化が C と逆になっているのは、含水比が大きいと内部摩擦による損失エネルギーも大きい、それ以上に E_d が大きくなるためである。

したがってソイルセメントでは、対数減衰率 δ のみによって内部摩擦特性を論ずると、現象を誤って把握する恐れがあるといえよう。

なお Hooke 要素と Kelvin 要素の直列結合模型のた

図-10 対数減衰率とセメント量との関係



て振動解析の結果では、 δ と C の間につきのような関係が成立するとされている^{6),7)}。

$$\delta = \pi \cdot C \cdot \frac{E_s}{E_d^2} \quad C/E^* \ll 1 \dots \dots \dots (14)$$

$$\delta = \pi \cdot \frac{E^*}{C} \quad C/E^* \gg 1 \dots \dots \dots (15)$$

ここでは C/E^* は 10^{-3} 程度であるので式(14)をとり、Kelvin 体の対数減衰率を δ_K 、式(14)の δ を δ_B とすると、 δ_K と δ_B の間には式(16)の関係が成立する。

$$\delta_B = \delta_K \cdot \frac{E_s}{E_d} \dots \dots \dots (16)$$

しかるに E_s/E_d は、含水比が大なるほど小さいから(図-5 参照)、厳密に Hooke 要素と Kelvin 要素の直列結合模型で解析すると、含水比が大きいものほど δ はさらに小さい値となることがわかる。

② 土Aの場合(粗粒子土の場合): 土Bの場合と異なり、材令1日での δ の値は C の値と同様に含水比の順に大きくなっているが、材令が進むと δ の値は次第に含水比の大きいものほど小さくなり、材令14日以後では材令1日とほとんど逆の順序になる傾向にある(図-8 参照)。

このことは結局粗粒子土A、細粒子土Bともに全材令を通じて含水比が小さいほど非弾性的に消費されるエネルギーは小さいという点では両者に差はないが、細粒子土分の少ない土でAは、細粒子土分の多い土Bにくらべて E_d の材令ともなう増大割合は、含水比が大きいものほど大きいことによるものである。

6. 結 論

(1) ソイルセメントの動弾性係数 (E_d) と静弾性

係数 (E_s) の関係は、コンクリートの場合と同様に前者の方が後者より大きな値となる。

ただソイルセメントでは E_d/E_s の値がコンクリートにくらべて大きく、特に細粒子土を多く含む供試体では材令 14 日においても E_d は E_s より 20~40% 程度大きな値をもつ。

(2) コンクリートの対数減衰率は 10^{-2} のオーダーであるが、ソイルセメントの δ は 10^{-1} である。

これはソイルセメントがコンクリートにくらべて、非弾性的に消費されるエネルギーがはるかに大きく、また動弾性係数がかなり小さいためである。

(3) ソイルセメントの振動減衰特性における粗粒子土 A と細粒子土 B の間の大きな相違は、前者では含水比が大きいと、材令とともに δ は急速に小さくなるが、後者では材令による δ の減少割合は各含水比間で差はない。

(4) 初期材令のソイルセメントでは、供試体内に自由水が多く存在し、この自由水が振動減衰の大きな原因となるようである。

参考文献

- 1) L.D. Childs: "Tests of Concrete Pavement Slabs on Cement-Treated Subbase", H.R.R. 60 Rigid Pavement Design, 1963, p. 50~53
- 2) F.J. Felt and M.S. Abrams: "Strength and Elastic Properties of Compacted Soil-Cement Mixtures", ASTM Spec. Tech. Publ. No. 206, 1957.
- 3) Horio, M. Onogi: "Forced Vibration of Reed as a Method of Determining Viscoelasticity", J. Applied Phys. 22, p. 977, 1951.
- 4) 小野木重治: "レオロジー要論", 槇書店, p. 90~91, 1957
- 5) 岡田 清・川村満紀: "ソイルセメントの荷重変形特性に関する 2,3 考察", 材料 Vol. 13, No. 132, p. 705~710, Sep. 1964
- 6) 小坂義夫: "モルタルの振動時における減衰特性に関する研究", 日本建築学会論文集, 第 63 号, 昭和 34 年 10 月
- 7) H. Kolsky: "Stress Wave in Solids", Dover, 1963

(1965.5.25・受付)

土質工学ハンドブック

土質工学会編

編集委員長 東大生研教授 工博 星 埜 和

B 5 判・豪華装幀 1,400 頁 定価 7,000 円

発売月日 11 月下旬

特別価格 6,500 円

特価 〆切 41 年 1 月末日

10 月末内容見本をお手許にお届けいたします。

本書の特色

- 最高の執筆陣を動員
土質工学会の総力を結集し、最高の執筆陣を動員した。
- 最新のデータを網羅
建設技術の進歩に則し、広汎な内外文献、最新のデータを網羅した。
- 豊富な内容と図表
重要な図表、図版を余すところなく集録、設計施工に役立つ実用的な解説
- 土質工学の決定版
土質工学の全般に亘り、その理論と実際を一大集成した決定版

技報堂

東京都港区赤坂溜池 5 振替東京 10