

(60) 不攪乱試料の動的変形特性

応用地質調査事務所 正員 今井常雄 ○横田耕一郎 今野政志

1. まえがき

良く知られている様に、土は非線型材料であり、せん断弾性係数 G 、減衰定数 h は歪の非常に小さい領域でも歪に依存する。このような微小歪領域での土の物性値を知ることは、地震時の土及び地盤の動的挙動を予測する上で極めて重要である。ここでは、等価線型モデルを念頭に置いて、各動の土の動的変形特性を調べた。

2. 試験装置及び試験方法

実験に用いた装置は共振法土質試験機及び繰り返しねじり試験機の2種類であり、せん断歪振幅 γ が $10^{-6} \sim 10^{-2}$ までを前者 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ までを後者の試験機を用いて試験した。但し、 h は後者のみ測定した。装置そのものの詳細は、文献1)を参照されたい。また、試験に用いた試料は、すべてボーリング孔より不攪乱採取されたものであり、ツイストサンプラー、シンウオールサンプラー、デニソンサンプラー等を用いてサンプリングしたものである。

3. 試験結果

全試料の $G \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ の関係をそれぞれ図-1、2に示す。相当幅広い範囲に分布していることがわかる。図-3には、この中から沖積土の $G \sim \gamma$ 関係のみを取り出してまとめたものを示す。図より粘土の方が砂よりも歪依存性が小さく、また砂の中では拘束圧 $\sigma_m' (\sigma_m' = \sigma_v', \sigma_v': \text{有効上載圧})$ が大きい方が歪依存性が大きい。図-4は、 $h \sim \gamma$ の関係を同じく沖積土について求めたものである。砂と粘土では粘土の方が

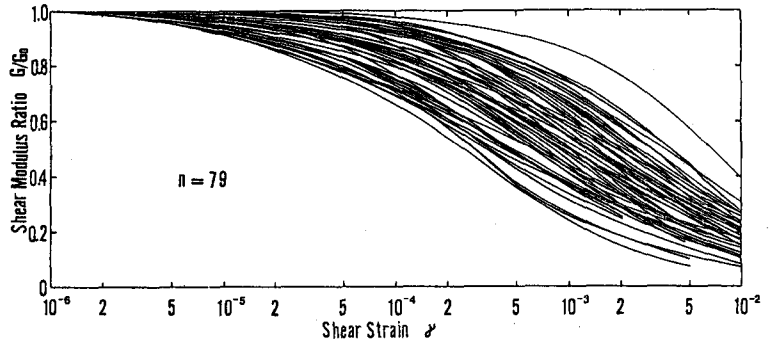


図-1 全試料の $G/G_0 \sim \gamma$ の関係

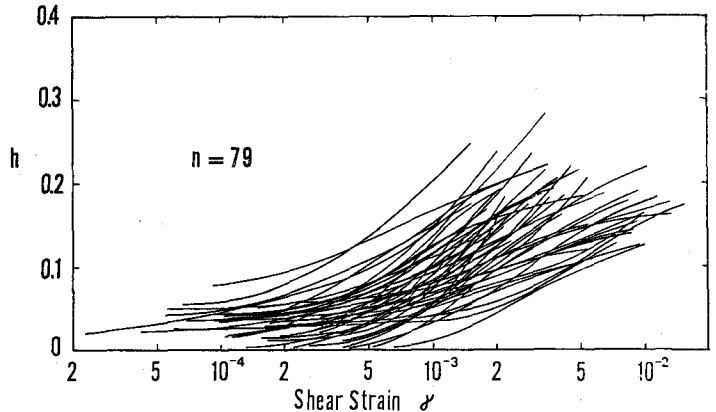


図-2 全試料の $h \sim \gamma$ の関係

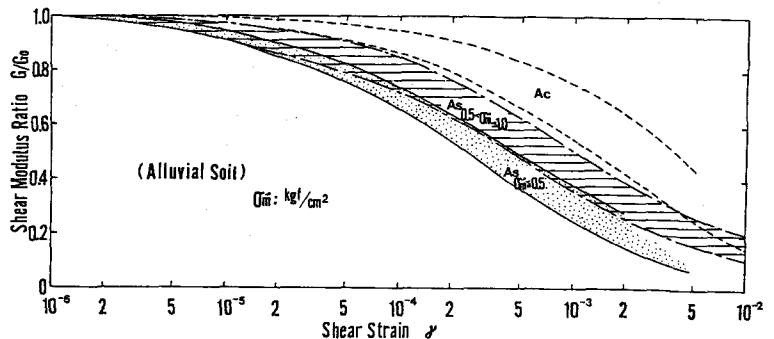


図-3 沖積土の $G/G_0 \sim \gamma$ の関係

hが全体に小さく、また、砂の中では、拘束圧の大きいものの方がhが小さい。図-5、図-6は、洪積土に対して同様のまとめを行なつたものである。全体の傾向は、図-3、図-4とよく似ていると言えよう。

4. 検討、考察
Hardin, Drnevichは、土の応力～歪の関係に双曲線モデルを適用した。²⁾この場合の τ と γ の関係は衆知の様に

$$\tau = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_0} + \frac{\gamma}{\tau_{max}}} \dots (1)$$

となる。
ここに、 G_0 : Gの最大値
 τ_{max} : せん断強度
 τ : せん断応力
 γ : せん断歪振幅

である。ここで $\gamma_r = \tau_{max}/G_0$ なる量(規準歪と呼ぶ)を考えると、(1)式は、

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_r} \dots (2)$$

と変形される。²⁾ γ_r は、一般的にはひとつの試料に対して定数となる。しかしながら、 $G/G_0 \sim \gamma$ の関係を実際に調べて見ると、(2)式にもとづく限り、 γ_r は一定とはならない。そこで γ_r を歪の函数 $A(\gamma)$ と考え、 $\gamma_r = A(\gamma) = \frac{1}{\alpha} \cdot \gamma^\beta$ とおく。即ち、(2)式は

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha \gamma^\beta} \quad (\text{但し } \beta = 1 - B) \dots (3)$$

となる。この根拠は、図-7に示した通り、 $G/G_0 \sim \gamma$ の実測結果を用いて γ_r を逆算し、 γ との関係を両対数方眼紙上にプロットすると、ほぼ直線となるからである。図-8、図-9、図-10は、(3)式における α 、 β と有効上載圧 σ_v 、塑性指数 I_p と

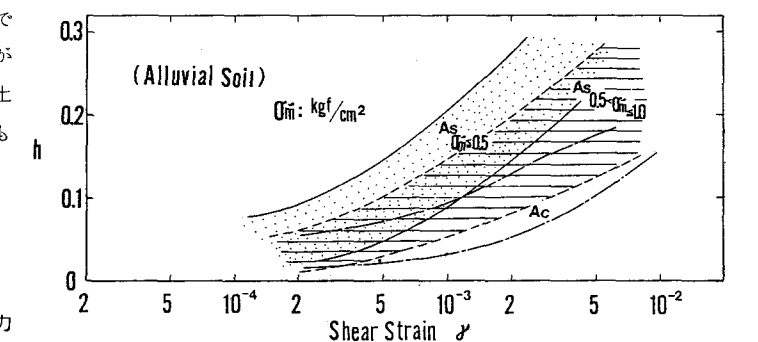


図-4 沖積土のh～γの関係

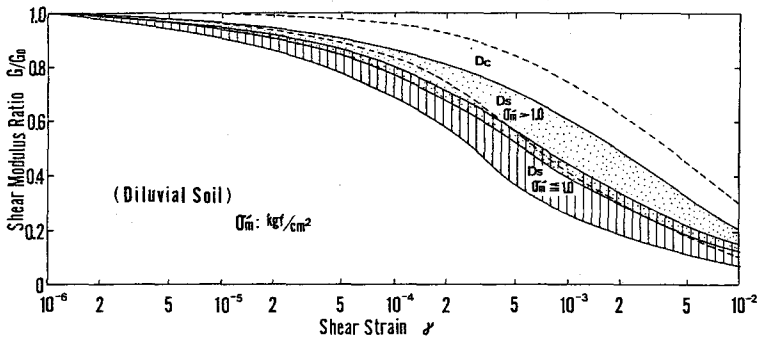


図-5 洪積土のG/G0～γの関係

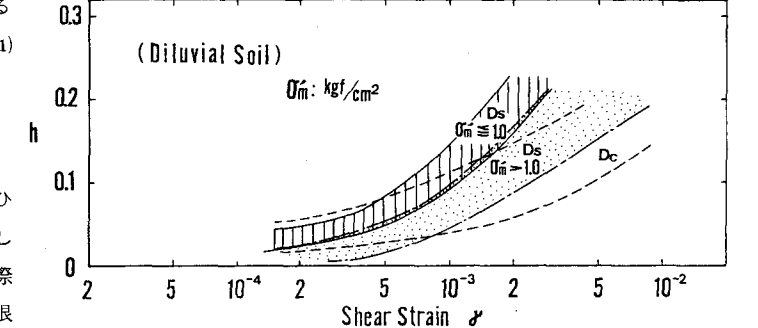


図-6 洪積土のh～γの関係

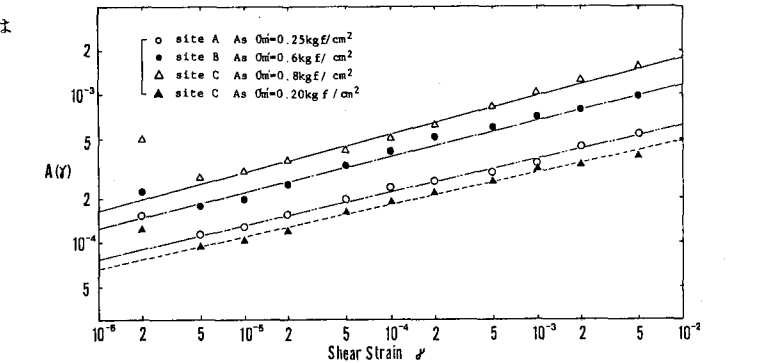


図-7 A(γ)とγの関係

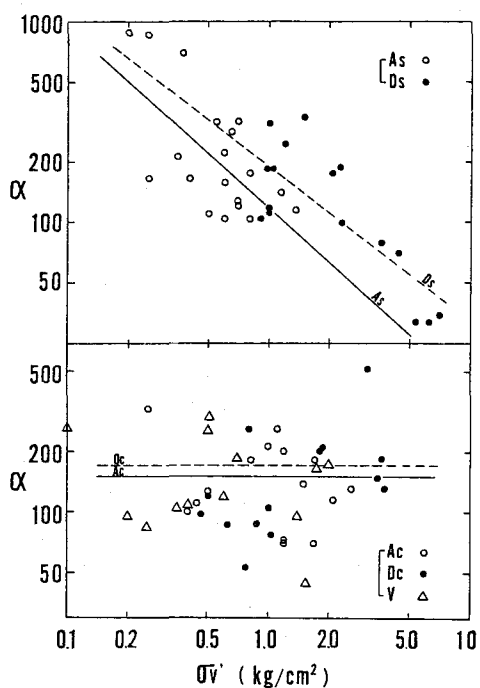


図-8 $\alpha \sim \sigma_v'$ の関係

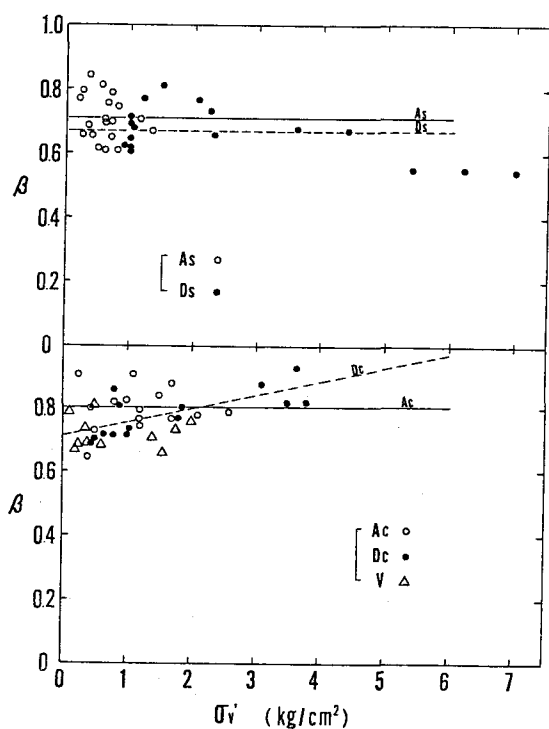


図-9 $\beta \sim \sigma_v'$ の関係

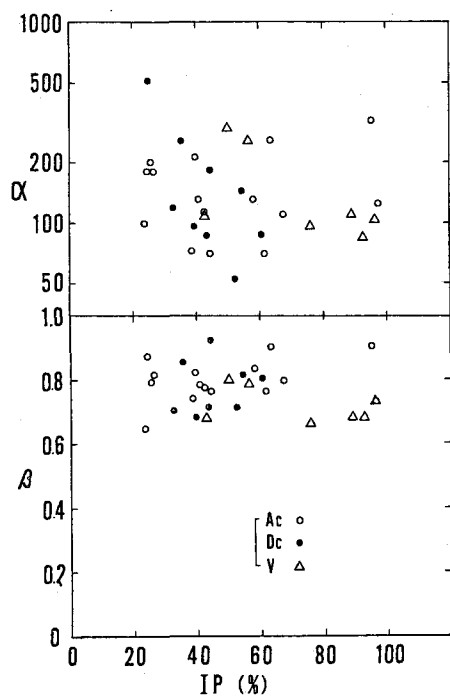


図-10 $\alpha, \beta \sim I_p$ の関係

Soil type	As	Ac	Ds	Dc
$\alpha \sim \sigma_v'$	-0.644	-0.274	-0.766	0.544
$\beta \sim \sigma_v'$	-0.235	0.0595	-0.585	0.737
$\alpha \sim I_p$	—	0.161	—	0.678
$\beta \sim I_p$	—	0.239	—	-0.691

図-11 $\alpha, \beta \sim \sigma_v', I_p$ の相関係数

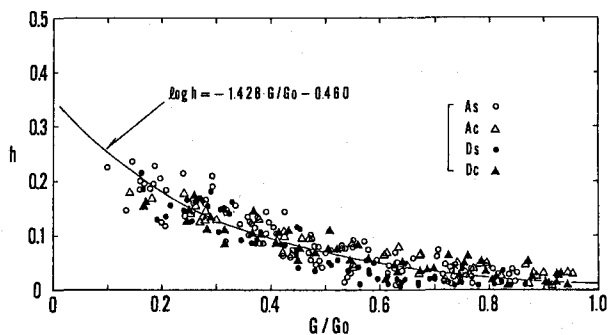


図-12 $h \sim G/Go$ の関係

の関係を調べたものである。図には参考までに火山灰質土の値もプロットしてある。これらの図より、 α 、 $\beta \sim \sigma_v'$ 、 I_p の相関係数についてまとめたものを図-11に示す。図-12は、 h と G/Go との関係をま

とめたものである。この関係は、Hardin、Drneovichによれば直線となるものであるが、実験的には図のように滑らかな曲線を描くと思われる。どちらにせよこの形にまとめると、通常、データはあるばらつきの範囲内におさまる。図-12のデータの平均的な曲線を考えるとその曲線の式は図に示したように

$$\log h = -1.43 G/G_0 - 0.460 \dots (4)$$

となる。表-1は、図-11の結果を参照し関数形を定め α 、 β の値を最小2乗法から計算し、 σ_v の関数として表わしたものである。但し、 σ_v との相関関係の小さいものについては平均値(算術平均)を採用した。 α 、 β と I_p の関係については省略する。

図-13、図-14は、以上の様に定めた α 、 β と(3)、(4)式を用いて各種の土の標準曲線を作成し示したものである。なお、既存の研究結果も併記した。

砂質土では、豊浦砂(攪乱)を除いては既存の結果と良く一致している。粘性土では、若干食い違いが見られるが、砂質土との比較でいえば、一般に粘性土の方が $G/G_0 \sim h$ は上方にずれ、 h は下方にずれることを考慮すれば、この結果は妥当なものと思われる。

表-1 α 、 β の採用値

Soil Type	α	β
As	$1200\dot{v}^{-0.89}$	0.71
Ac	150	0.80
Ds	$1900\dot{v}^{-0.77}$	0.67
Dc	170	$0.0425\dot{v}+0.71$

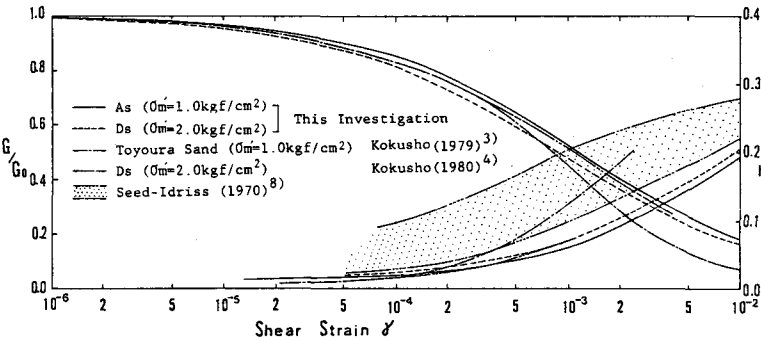


図-13 砂質土の標準曲線

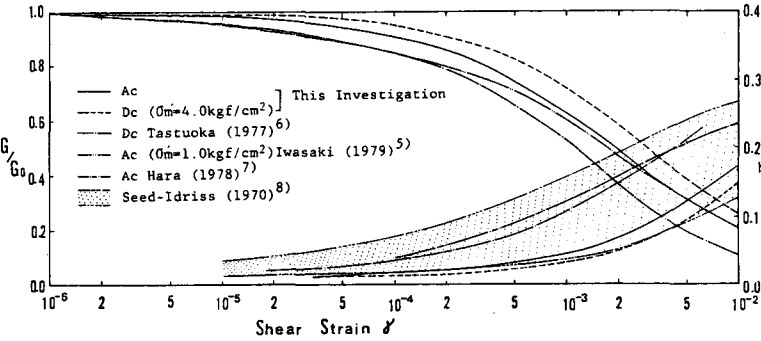


図-14 粘性土の標準曲線

5. 参考文献

- 1) 横田也、「粘土の動的変形特性(その1)」第15回土質工学研究発表会
- 2) Hardin, Drneovich "Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves" Proc. ASCE SM7
- 3) 国生也、「三軸試験装置を用いた微小歪から大歪までの土質試験法の開発と土の物性試験への適用」第14回土質工学研究発表会
- 4) 国生也、「くり返し三軸試験による不攪乱洪積砂の動的物性試験」第15回土質工学研究発表会
- 5) 沖積粘性土の動的変形特性、土木研究所資料第1504号 6) 龍岡也「不攪乱粘性土の変形係数についての室内実験結果」第12回土質工学研究発表会 7) 原也、「地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例」第5回地震工学シンポジウム 8) 「土と構造物の動的相互作用」土質工学会