

粘性土の動剛性率と減衰定数の挙動について（その1）

齋藤 二郎 鳥井原 誠
平間 邦興

Behaviors of Shear Modulus and Damping Ratio in Clay Soils (Part 1)

Jiro Saito Makoto Toriihara
Kunioki Hirama

Abstract

The approaches of dynamic analyses in evaluating responses of the soil are divided into two classes. One is the approach from vibration engineering and the other is that from soil engineering. This paper is based on the latter and is restricted to clay soil.

Today, it is said that one of the most important dynamic soil properties is the dynamic shear modulus (G), while another is the damping ratio (h). Meanwhile, these two values are extremely dependent on strain and are complicatedly influenced by confining pressure, void ratio, stress history, number of cycles of loading, degree of saturation, etc.

Therefore, in order to obtain the influences of the abovementioned factors on values of G and h , in-situ PS tests, dynamic triaxial tests and dynamic simple shear tests were carried out. And, in order to study the dynamic failure of clay soil under the same confining pressure and various stress ratios, long-time constant-amplitude dynamic tests were performed.

概 要

地盤の動的解析へのアプローチは、振動学からのものと、土質工学からのものと、大きく分けて二つに分類することができるが、この論文は土質工学からのアプローチを粘性土に限定して試みたものである。

現在、土の動的性質の中で大きく取り上げられているものは、変形特性を表わす指標としての動剛性率 (G) と減衰定数 (h) である。ところが、この二つの特性値には極端なひずみ依存性があり、しかも、拘束圧、間げき比、応力履歴、載荷回数、飽和度など数多くの因子が複雑に影響してくる。

そこで、今回、飽和粘性土について現場 PS 検層、動的三軸試験および動的単純せん断試験を実施し、 G 、 h に対する上記した因子の影響について検討を加えた。また、同一の拘束圧のもとで種々の応力比で長時間一定振幅試験を実施し、動的な破壊についても検討を試みた。

1. まえがき

地盤の動的解析へのアプローチは、振動学からのものと、土質工学からのものと、大きく分けて二つに分類することができるが、この論文は土質工学からのアプローチを粘性土に限定して試みたものである。この分野の研究は最近になってようやく活発性してきたが、依然として混沌とした部分が非常に多いのが現状のようである。動的土質試験そのものの原理的あるいは手法的な困難さが障害になっているのだろうが、要するに土の特性に関する基礎的な実験資料の着実な蓄積が、いまだ十分で

ないからであると思われる。

現在、土の動的性質の中で大きく取り上げられているものは、変形特性を表わす指標としての動剛性率 (G) と減衰定数 (h) である。また、動的破壊に関しては破壊そのものの定義づけが困難であるが、しいて分ければ、せん断破壊、疲労破壊、液状化破壊などであり、これらは静的な場合のように強度定数として表わすことが、非常に難しい現象である。これは地盤を構成する土が岩石から沖積粘土に至るまで広範囲な物理特性を有しているとともに、これらすべての力学特性が非線形性を有するためである。

このように土の動的性質が複雑になるのは、その動的変形特性値に極端なひずみ依存性があるためであり、この点が動的解析を実施する際に特に注目される事項である。さらに、動的変形特性値には、拘束圧、間げき比、応力履歴、載荷回数、飽和度などの数多くの因子が複雑に影響してくる。また、土の種類によっても大きな影響を受けるのはいうまでもない。

そこで、今回は当技術研究所で入手したある代表的な粘性土を用いて、小ひずみから破壊に至るまでの各種動的試験を実施し、Gおよびhに極端なひずみ依存性があることを念頭におきながら、以上のような因子による影響を把握しつつ土の動的性状をつかむことを研究の主眼においた。

さらに、乱さない試料の室内試験と現位置試験を並行して実施することにより、両者の対応を検討した。また動的強度(S_w , τ_f)とGおよびhとの関係についても若干の考察を加えた。

2. 試料

使用した試料は千葉県佐倉市白井産の乱した試料(白井試料)と東京都北区王子産の乱さない試験(王子試料)の2種であり、いずれも軟弱な沖積粘性土である。これらの物理的性質を表-1に示す。

3. 実験方法

動的三軸試験および動的単純せん断試験を実施したが、いずれも応力制御法を採用し、せん断応力を段階的に増加させる段階載荷試験と一定振幅応力を長時間加える一定振幅試験をCU条件下でおこなった。振動波形は正弦波、振動数は1Hzであり、一段階の載荷回数は30波である。供試体の形状寸法は、動的三軸試験の場合で、 $50\phi \times 125\text{ mm}$ 、動的単純せん断試験の場合で $70\phi \times 25\text{ mm}$ である。また、拘束圧としては、動的三軸試験と動的単純せん断試験の結果を比較するために平均有効応力(σ_m)で整理し、白井試料で0.5, 1.0, 2.0, 4.0 kg/cm^2 の4種、王子試料ではPS検層との比較のため、対応する土かぶ

| 試料名 | 土の組成(%) | | | 比重 | コンシステンシー | | | |
|------|---------|------|------|------|----------|------|------|------|
| | 砂 | シルト | 粘土 | | LL | PL | PI | |
| 白井試料 | 2.0 | 70.3 | 27.7 | 2.68 | 74.9 | 43.0 | 31.9 | |
| 王子試料 | 4m | 3.2 | 52.3 | 44.5 | 2.73 | 72.5 | 28.1 | 44.4 |
| | 6 | 2.1 | 51.7 | 46.2 | 2.70 | 72.5 | 31.8 | 40.7 |
| | 11 | 4.7 | 50.8 | 44.5 | 2.73 | 82.1 | 39.3 | 42.8 |
| | 15 | 11.0 | 48.0 | 41.0 | 2.63 | 73.0 | 33.9 | 39.1 |

表-1 試料の物理的性質

り圧を採用した。

G, hの算出には上記の試験より得られる応力-ひずみ履歴曲線を用いた。

4. 結果および考察

図-1は白井試料で得られたGとせん断ひずみ γ の関係を片対数紙上で示したものである。拘束圧がそれぞれ0.5, 1.0, 2.0, 4.0 kg/cm^2 の場合における両試験の結果を示している。当然のことながら、拘束圧が大きくなるほどGも大きくなる傾向が認められる。また、今回の試験では動的単純せん断試験で得られたGの方が若干小さな値を示している。この原因としては、拘束圧のかけ方の相異や動的三軸試験結果からGを求める手法などさまざまな要因が考えられるが、明確ではない。

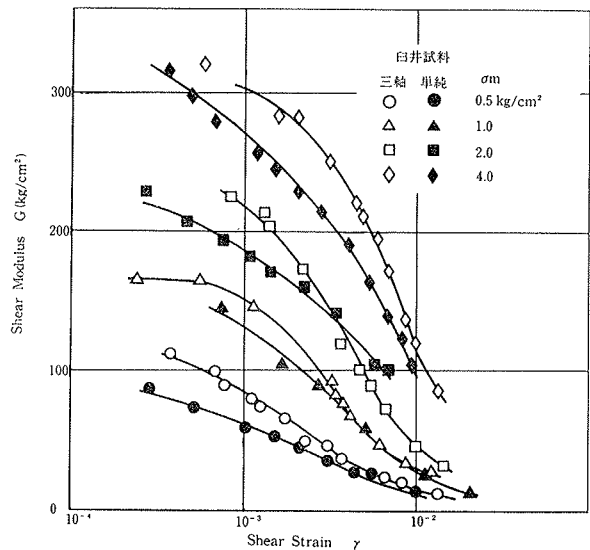


図-1 Gと γ の関係

図-2は拘束圧がGのひずみ依存性におよぼす影響を把握するために、各ひずみレベルにおけるGを $\gamma=5 \times 10^{-4}$ の時のG(以下 G_0 とする)で規準化し、 G/G_0 と γ の関係を片対数紙上で示したものである。この図から、拘束圧が小さくなるほどひずみの増加に対して G/G_0 が急激に減少してくる傾向がみられる。

図-3はひずみをパラメーターとしてGと拘束圧との関係を両対数紙上で示したものである。各ひずみレベルで両者の間に直線関係が認められる。また、その勾配はひずみが大きくなるほど増大している。

図-4は動的単純せん断試験を例に、一定振幅試験でGが繰り返し回数Nの増加とともに低下している様子を示してい

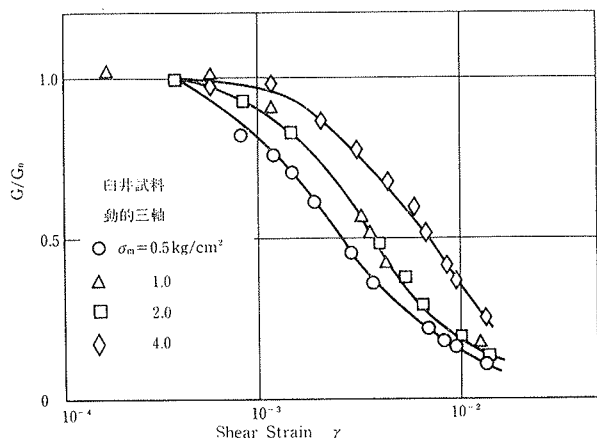


図-2 G/G₀とγの関係

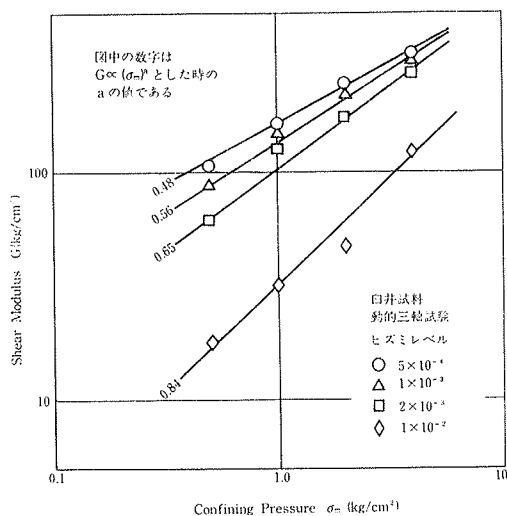


図-3 Gとσ_mの関係

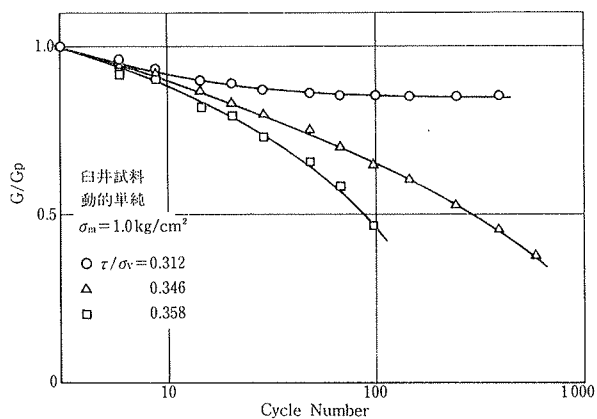


図-4 G/G_PとNの関係

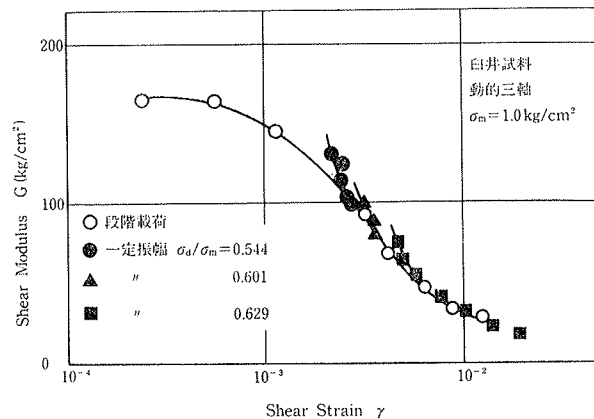


図-5 Gとγの関係

る。各繰り返し回数でのGを初期のG (以下G_Pとする) で規準化し、G/G_PとNとの関係を片対数紙上で示したものである。この図から応力比が小さい場合にはG/G_Pはほぼ一定の値に落ち着くが、応力比が大きくなるとG/G_Pが急激に減少しついに破壊に至る状況が予測される。

図-5は動的三軸試験を例に、同一の拘束圧のもとでの段階荷重試験および一定振幅試験の結果について、縦軸をG、横軸をγにとって片対数紙上で示したものである。一定振幅試験の場合には各応力比とも荷重初期で段階荷重の場合に比べて大きなGを示すが、最終的には一致している。この傾向は他の拘束圧のもとでも、また動的単純せん断試験においても同様に認められる。

図-6は王子試料における現場PS検層、動的三軸試験および動的単純せん断試験から得られたGを比較したものである。室内試験のGはγ=5×10⁻⁴の時の値である。ここでも、図-1の場合と同様に動的単純せん断試験から得られたGの方が小さな値を示している。

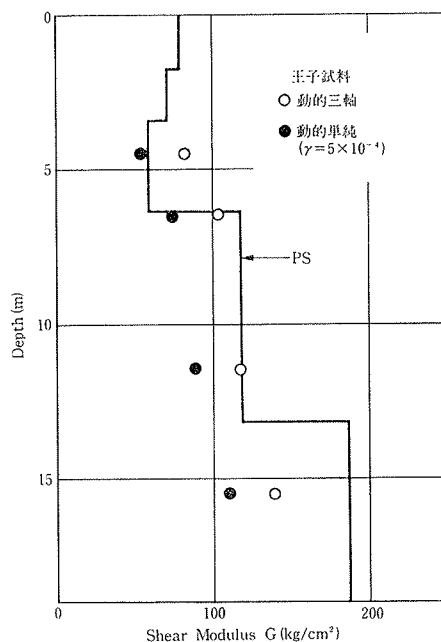


図-6 現場と室内でのGの比較

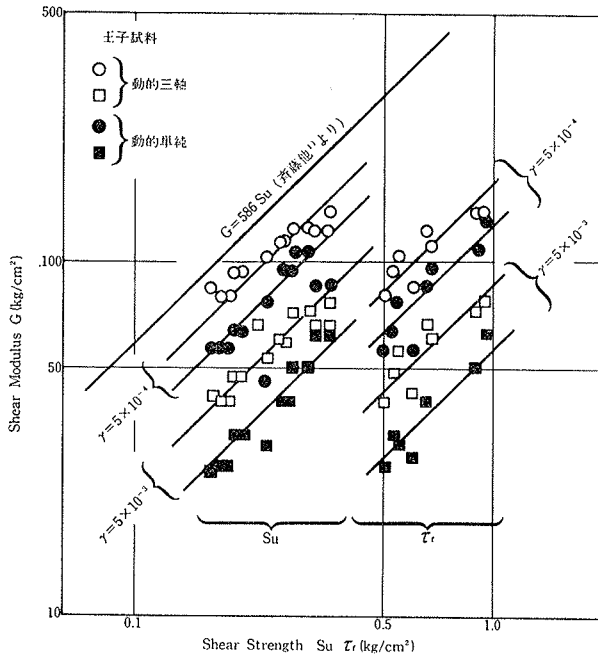


図-7 G と S_u , τ_f の関係

図-7は王子試料で得られたGと静的せん断強さ S_u (一軸圧縮強さの1/2), τ_f (三軸CU試験でのせん断つよさ)との関係を両対数紙上で示したものである。一般にPS検層から得られたGと S_u とが両対数紙上で直線関係にあることがいわれている。今回、これを拡大して室内試験から得られたGをひずみレベルごとに整理し、 S_u , τ_f との関係を検討した。その結果、Gと S_u , τ_f の間には各ひずみレベルで直線関係があり、しかもその勾配は、PS検層から求めた実験式¹⁾(図中に付記)にほぼ等しい状況が明らかである。

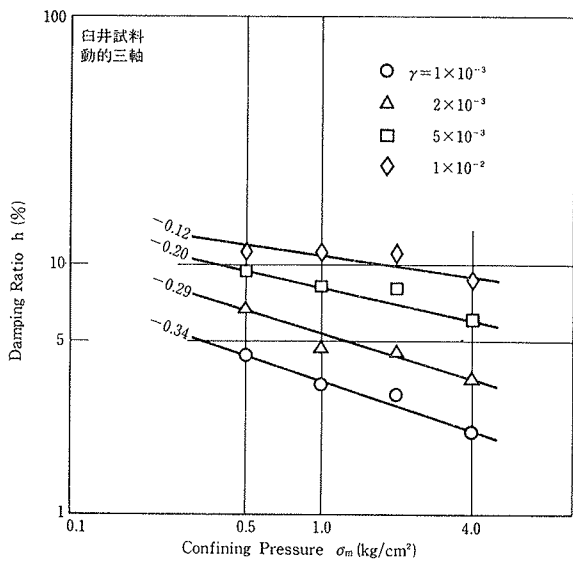


図-9 h と σ_m の関係

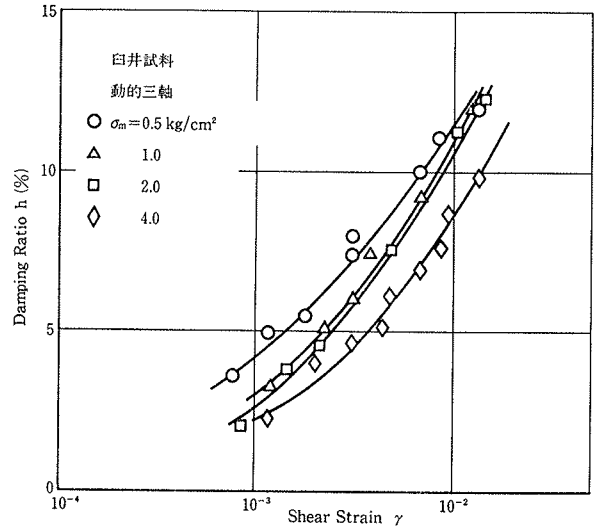


図-8 h と γ の関係

図-8は白井試料で得られたhと γ の関係を片対数紙上で示したものである。拘束圧0.5, 1.0, 2.0, 4.0 kg/cm²の場合について示しているが、拘束圧が大きくなるほどhの小さくなる傾向が明らかである。

図-9はひずみをパラメータとした時のhと拘束圧との関係を両対数紙上で示したものである。各ひずみレベルで、拘束圧が大きくなるほどhは直線的に減少し、その勾配はひずみが小さくなるほど大きくなるようである。

図-10は一定振幅試験においてhが繰り返し回数とともに変化していく様子を示したものである。応力比が大きくなるほど繰り返し回数の増加とともにhは急激に大

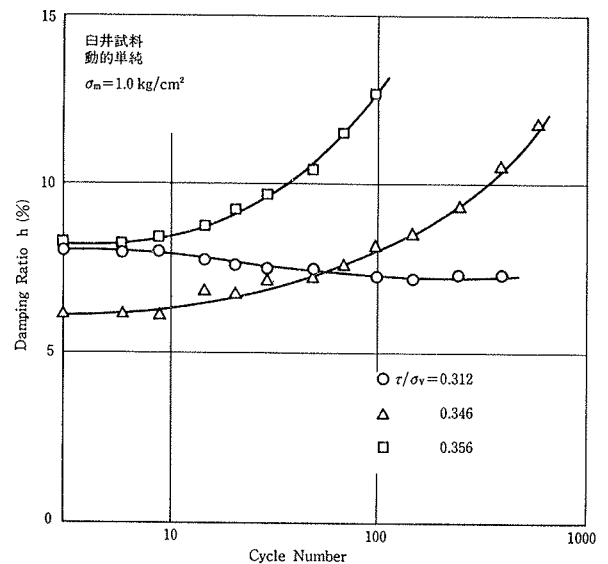


図-10 h と N の関係

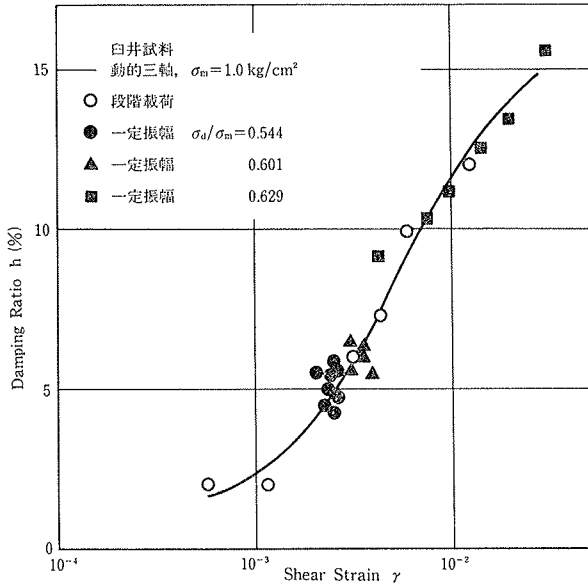


図-11 h と γ の関係

きくなる状況が明らかである。

図-11は同一の拘束圧のもとでの段階載荷試験および一定振幅試験の結果について、縦軸にh、横軸に γ をとり片対数紙上で示したものである。Gの場合には図-5に示すように段階載荷試験と一定振幅試験との間に明確な差異が認められたが、hについては図から明らかなように両者の間にはっきりした差異はみられず一本の線で代表されるようである。

図-12は王子試料から得られたhとせん断強さ S_u 、 τ_f との関係を示している。Gについては図-7のようにGと S_u 、 τ_f の間ではほぼ直線関係がみられたが、hの場合にはほぼ一定となる傾向が認められる。

5. あとがき

土の動的性状を調べるために各種の試験法が開発されてきているが、それらの結果の互換性については、いま

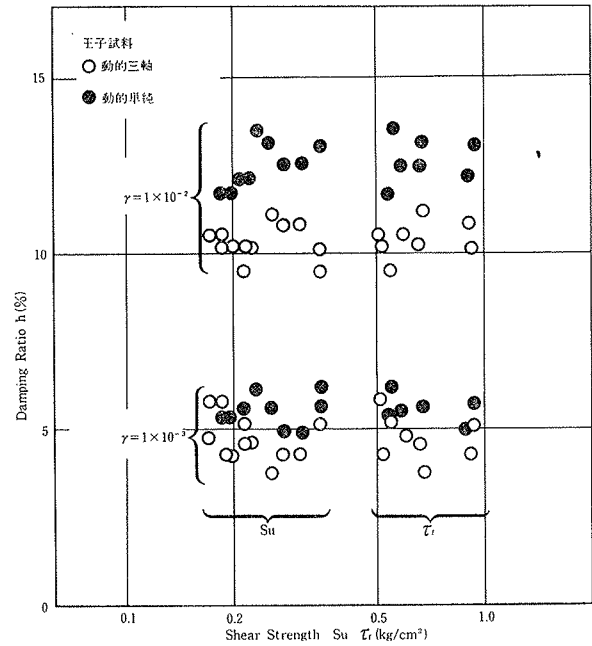


図-12 h と S_u 、 τ_f の関係

だ満足すべき段階には至っていない。今回の研究でも現場PS検層、動的三軸試験、動的単純せん断試験の3種類の試験法を採用したが、十分な互換性があるとは言い難い。これらについては今後の研究課題としたい。また、粘性土の性状変化に大きな影響をおよぼす過圧密比に関する検討や、応力-ひずみ関係のモデル化などについて、今後研究していく予定である。

最後に、この研究の実施にあたっては法政大学学生、仲基久、宮本隆司君の尽力に負うところが多いことを付記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 斎藤, 平間, 鳥井原: 粘性土の動剛性率と減衰定数のひずみ依存性について, 大林組技術研究所報, No. 18, (1979), pp. 80~84