

乱されていない砂の動的変形特性に関する実験的研究

奥村 哲夫 ・ 大根 義男

Experimental Study on Dynamic Deformation

Characteristics of Undisturbed Sands

Tetsuo OKUMURA ・ Yoshio OHNE

乱されていない砂質土に対し、動的三軸試験を行ない、その動的変形特性を論議した。この結果、乱されていない試料の主な特性として次の二点が知れた。すなわち、その1つは、乱されていない砂のせん断弾性係数は、試料の物理的性質や密度などが同じであっても各々の砂によって違った値を示し、その特性は乱した砂の場合とまったく異なることであり。他の1つは、乱された砂とそうでない砂の減衰比の相異はほとんど認められないことである。

1. はじめに

数年来、土構造物やその基礎の地震時応答を把握するために有限要素法を用いた動的応答解析が行なわれている。しかし応答解析の基礎となる土の動的諸係数を十分な精度で得られない限り、解析結果の信頼性は、非常に低いものとなり適切な結論を導くことはできない。

有限要素法に必要な土の動的諸係数とは、せん断弾性係数、減衰比およびポワソン比などであることは周知のとおりである。一般に、これらの諸係数はひずみの大きさに支配されることが知られている。ヒズミレベルが低いときは、土の粒子間の相対運動が小さいため、土は全体的に弾性的な挙動を呈し、せん断弾性係数の値は非常に高く、しかも減衰は少ない。一方、ヒズミレベルが高くなると土は非線形的な挙動を呈し、せん断弾性係数の値は減少し、逆に減衰は増大する。このように弾性領域から破壊領域に至る広範囲なヒズミレベルの土の動的性質を一種類の試験装置で調べることはできない。従って現在では必要とするヒズミレベルに合わせた種々の試験装置が開発され広範囲なひずみ領域における土の動的性質を求める研究が行なわれている。

せん断弾性係数および減衰比に影響を及ぼす要因としては、拘束圧、間げき比、繰返し回数、応力履歴、あるいは初期応力状態等が考えられ、また、これらの要因はひずみの大きさによって影響の度合が異なることが今日までの研究によって明らかとなって来た。しかしこの種

の研究は、現在まだ研究段階の過程にあり、未だ不明の点が多々ある。例えば、乱した砂とそうでない砂の弾塑性領域のヒズミレベルにおける動的変形特性の相違に関する研究はほとんどなされていない。そして、人工的に作成された供試体を用いて得られる結果は推積過程、応力履歴等の相異から、現位置の値をそのまま代表し得るものではない。

本論は乱されていない砂の動的変形特性（特にせん断弾性係数および減衰比）を知るために振動三軸圧縮試験装置を用いて、一連の動的試験を実施し、現時点までに得られた結果に関するものである。

2. 試料

実験に用いた試料は千葉市東金町に建設が予定されている東金ダム（アースフィルダム）の基礎および周辺地山から乱さないように採取した3種類の砂質土である。これらの試料の物理的、力学的性質を表1に、また粒度曲線を図1に示した。表1において一軸圧縮強度、変形係数および圧密降伏応力は自然含水、状態の乱されていない試料（以下、不攪乱試料と呼ぶ）の結果である。表に示した結果からわかるように、本実験に用いた3試料の砂は粒度的にほぼ似かよっており、細粒分（ 74μ 以下）を余り含まない比較的きれいな砂である。また、強度的にはA試料が最も低いようである。

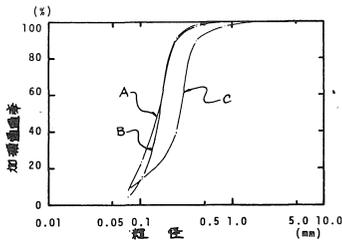
不攪乱試料は、現場でブロック状（ $20 \times 20 \times 30\text{cm}$ ）に切り出し、これを直径75mm、高さ200mmの円筒容器の中

へ挿入し採取した。そして採取後の含水比が変化しないように容器を密閉し実験室に運搬した。

表一 試料の性質

| 試料 | 比重 G_s | 砂分 | 粒度分 シルト分 | 粘土分 | 有効径 D_{10} | 平均粒径 D_{50} | 均等係数 U_c | 土質分類 (三角定規) | 自然含水比 W_f |
|-------------|----------|-------|-------------|-----|--------------|---------------|------------|----------------|-------------|
| A (地蔵堂層) | 2.711 | 92.6% | 7.4% | 0% | 0.077mm | 0.15mm | 2.16 | 砂 | 28.4% |
| B (成田層, 右岸) | 2.700 | 95.8 | 4.2 | 0 | 0.090 | 0.16 | 2.21 | 砂 | 26.1 |
| C (成田層, 左岸) | 2.675 | 92.2 | 7.8 | 0 | 0.080 | 0.27 | 3.98 | 砂 | 17.1 |

| 試料 | 一軸圧縮強度 q_u | 変形係数 E_{s0} | 圧密降伏応力 P_y |
|----|-------------------------|------------------------|------------------------|
| A | 0.362kg/cm ² | 28.8kg/cm ² | 2.09kg/cm ² |
| B | 0.477 | 39.3 | 3.20 |
| C | 0.342 | 44.6 | 2.25 |



図一 粒径加積曲線

3. 実験

3.1 実験装置

本実験に用いた装置は電気油圧サーボ方式の振動三軸圧縮試験機である。装置の概略については、文献1)に示すとおりである。

本装置から求め得るひずみの範囲は 10^{-4} 以上であり、従って弾塑性および破壊領域の土の動的変形特性を知ることが可能である。

3.2 供試体

実験は不攪括試料および乱した試料（以下攪括試料と呼ぶ）について行なった。

試料の状態は表.2に示すように、不攪乱試料の場合、飽和状態と自然含水比状態の2種類について、また攪乱

表二 実験数

| 試料 | 拘束圧 (σ_0) | 不攪括 (飽和) | 攪括 (自然含水比) | 攪括 (乾燥) |
|----|-----------------------|----------|------------|---------|
| A | 1.0kg/cm ² | 6本 | 5本 | 一本 |
| | 3.0 | 4 | 4 | 4 |
| | 5.0 | 4 | 4 | — |
| B | 1.0 | 5 | 4 | — |
| | 3.0 | 5 | 4 | 4 |
| | 5.0 | 4 | 3 | — |
| C | 1.0 | — | 4 | — |
| | 3.0 | — | — | 4 |
| | 5.0 | — | — | — |

試料では乾燥状態について行ない試料の含水状態の相異なる動的変形特性の影響も調べた。

供試体の作成は、不攪乱試料の場合、原位置から採取した試料を実験室内で成形し、自然含水比状態の試料の実験においては、そのまま三軸セル内にセットし、また、飽和状態の試料の実験においては献2)に示した液状化試験の場合と同様な方法で飽和させて行なった。また、攪乱試料の場合には乾燥状態の試料を三軸セル内に固定した供試体自立モールドにつめて作成した。なお、供試体の形状は直径50mm、高さ125mmの円柱供試体である。

3.3 載荷方法

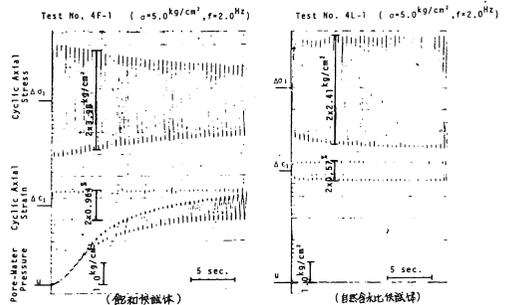
供試体への載荷は、1) 飽和試料の場合、所定の圧力で等方圧密した後非排水状態で振動数2 Hzの正弦波をひずみ振幅一定のもとで30回供試体に与えた。また、2) 自然含水比および乾燥試料の場合にはドレーンコックを開けて排水状態とし、他は上記と同様な方法で行なった。ここで、振動数を2 Hz、載荷回数を30回としたのは、他の同じような地層地盤上に建設されたアースダムで観測された地震動の平均的な振動周期が0.5秒前後であり、またその主要動は最大30サイクル程度で卓越しているからである。なお、実験条件を表3に示した。

表三 実験条件

| | 不攪括 (飽和) | 不攪括 (自然含水比) | 攪括 (飽和) |
|------|----------|-------------|---------|
| 排水条件 | 圧密・非排水 | 圧密・排水 | 圧密・排水 |
| 振動数 | 2.0Hz | 2.0Hz | 2.0Hz |
| 載荷回数 | 30回 | 30回 | 30回 |
| 制御方式 | ヒズミ制御 | ヒズミ制御 | ヒズミ制御 |
| 波形 | 正弦波 | 正弦波 | 正弦波 |

3.4 測定

上記の載荷方法によって得られる繰返し軸応力 $\Delta\sigma_1$ 、軸変位 $\Delta\epsilon_1$ および間げき水圧 u を電磁オシログラフおよびデータレコーダーに同時記録した。電磁オシログラフ



図二 電磁オシログラフ記録の一例 (A試料)

は実験中の载荷状態および記録状態の確認のために、またデータレコーダーは実際の解析用のデータを計算処理するためである。なお、図.2は電磁オシログラフに記録された不攪乱試料の記録の一例を示したものである。

ここで、せん断弾性係数および減衰比の算出方法に関しては文献(1)に示した方法によって行なっている。また、ポワソン比はいずれの試料においても0.45と仮定した値を用いている。

4 結果および考察

岩崎、龍岡らは乱した試料を使い砂質土の動的変形特性について詳細な研究を行なっている。この結果によると、弾塑性的挙動を示すヒズミレベルにおける砂のせん断弾性係数は主に拘束圧と間げき比の影響を受けることが判る。そしてこの関係は、次の実験式で表わされている。

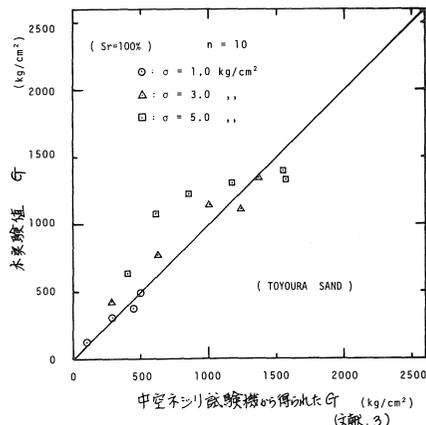
$$G = A(\gamma) \cdot f(e) \cdot \sigma'^m(\gamma)$$

ここで、 $A(\gamma)$ 、 $m(\gamma)$ はせん断ヒズミにより定まる定数、 $f(e)$ は間げき比の関数であり、砂については、 $f(e) = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$ で表わされる。また σ' は平均主応力であり $\sigma' = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3)$ である。また、減衰比については主に拘束圧の影響を受けることが知られている。

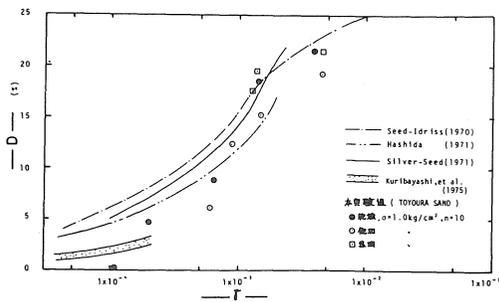
本実験から得られた不攪乱砂の動的変形特性を上述の不攪乱砂における場合と同様の手続に基づいて整理した。この結果は以下の通りである。

4.1 本実験値の検証

本実験装置から得られるせん断弾性係数および減衰比の信頼性を確認する意味で豊浦標準砂を用いて一連の実験を行なった。この結果と他の研究機関で得られた結果を比較し図.3および図.4に示した。



図一3 载荷機構の異なる試験機より得られたせん断弾性係数(G)の比較



図一4 減衰比(D)の比較(文献, 4)

図.3は本実験より求めたせん断弾性係数と高木らが中空ネジ試験から求めたせん断弾性係数の値とを比較して示したものである。すなわち豊浦標準砂を用いて振動三軸試験を行ない、これによって求めたせん断ひずみを用い、高木らの求めた $A(\gamma)$ 、 $m(\gamma)$ の値を読みとり式(1)を用いせん断弾性係数を求め両者を比較したものである。図から試験機の载荷機構等が異なっているにもかかわらず、両者の値はほぼ一致していることがみられる。

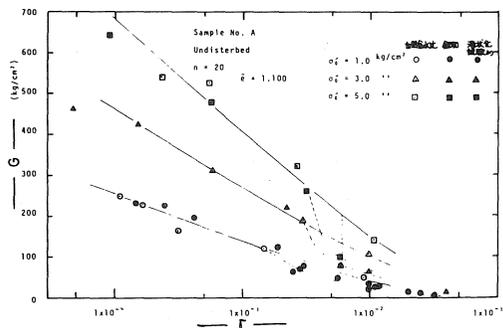
図.4は、減衰比の値を石原が整理した結果と比較したものである。本実験値には、飽和、湿潤および乾燥状態の供試体から求めた値を含んでいるがいずれの結果においても、他の値と良く一致していることがわかる。

以上のことから、本試験機から得られるせん断弾性係数および減衰比は妥当な値を示し、十分実用に供することができるものと考えられる。

4.2 不攪乱試料のせん断弾性係数および減衰比

(a) せん断弾性係数

本実験から得られた3種類の不攪乱砂質土のせん断弾性係数の値をせん断ひずみに対して示したのが図.5である。図には20サイクル目の自然含水状態および飽和状態の関係を示している。また、本実験とは別に行なった液状化試験より求めた結果も示している。なお、図中の間



図一5.1 せん断弾性係数(G)とせん断ヒズミ(gamma)の関係(不攪乱, A試料)

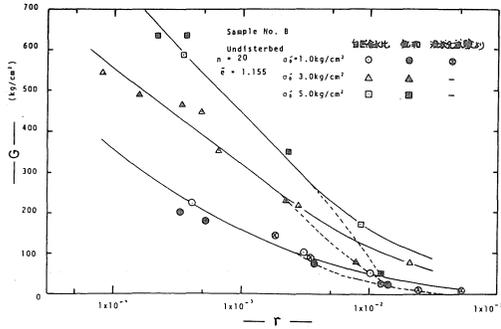


図-5.2 セン断弾性係数 (G) とせん断ひずみ (γ) の関係 (不攪乱, B 試料)

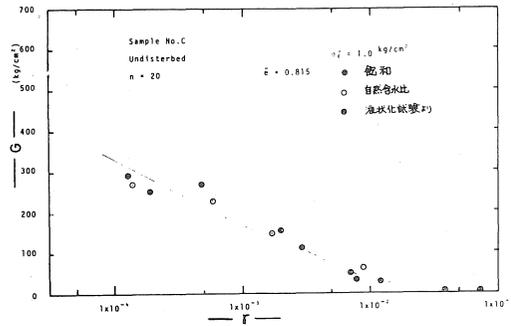


図-5.3 セン断弾性係数 (G) とせん断ひずみ (γ) の関係 (不攪乱, C 試料)

げき比は圧密後の値であり、飽和試料では圧密による体積変化量を測定して圧密後の間げき比を補正している。また、自然含水比試料については本装置から体積変化量を測定することはできないが、飽和状態の結果とほとんど差がないものと仮定して行なった。

図より自然含水比試料の試験結果は (図中の実線はこの平均的な値を示している) 一般に攪乱試料で言われていることと同様な傾向を示していることがうかがわれる。即ち、せん断弾性係数はせん断ひずみの大きさによって左右され、せん断ひずみが大きくなるとせん断弾性係数の値は低下する。また、拘束圧に対しては、その値が大きな供試体ほどせん断弾性係数の値は大きい。

図.6は拘束圧の影響を調べるために図.5に示したA, B 試料の平均的なせん断弾性係数の値を読みとってせん断弾性係数と拘束圧の関係を両対数グラフ上で示したものである。この図より拘束圧の増大に伴ってせん断弾性係数の値は増大し、せん断弾性係数と拘束圧の関係は各々のひずみレベルにおいて直線関係が認められる。従って、不攪乱試料においてもせん断弾性係数 (G) の実験式を

$$G = A(\gamma) \cdot f(e) \cdot \sigma'^m(\gamma)$$

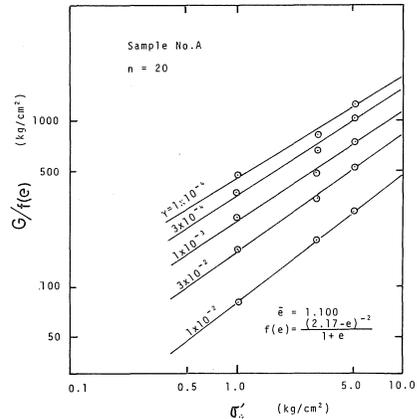


図-6.1 G/f(e) と有効拘束圧 (σ') の関係 (A 試料, 自然含水比)

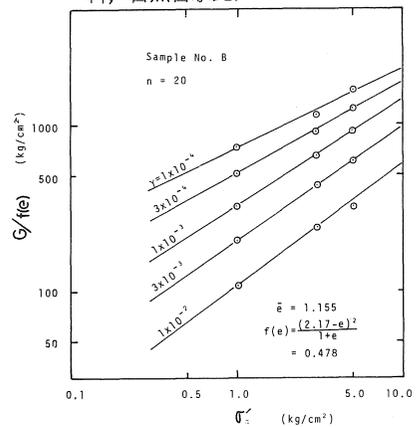


図-6.2 G/f(e) と有効拘束圧 (σ) の関係 (B 試料, 自然含水比)

の形で表わすことができる。ここで、A (γ) および m (γ) は図中の直線の切片および傾きの値であり、各試料のこれらの値をせん断ひずみの関係で図.7に示した。また、図には10サイクルおよび30サイクル目の値も示しているが、データのバラッキ等と考慮すると今回の不攪乱試料においては載荷回数による差はほとんどないものと考えられる。

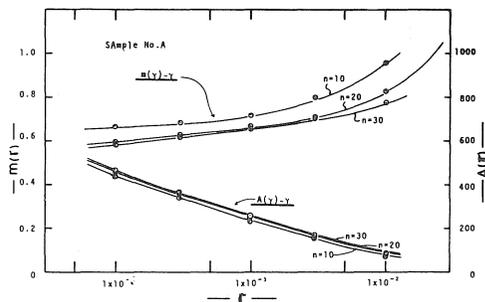


図-7.1 m(γ), A(γ) とせん断ひずみの関係 (A 試料, 自然含水比)

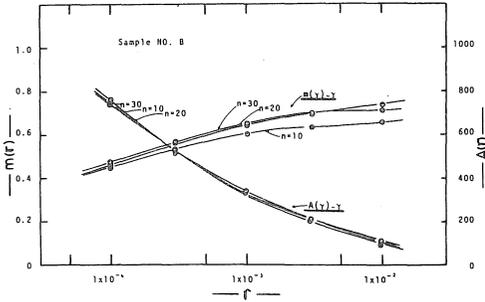


図7.2 $m(\gamma)$, $A(\gamma)$ とせん断ヒズミの関係 (B試料, 自然含水比)

攪乱試料の場合、試料の粒度など物理特性が同じであれば、 $A(\gamma)$, $m(\gamma)$ はほぼ一定の値を示すことが一般に知られている。今回の不攪乱試料の試験結果においては、図.7.1および図.7.2の値を比較してわかるように両者の物理特性がほとんど同じであるにもかかわらず(図.1および表.1参照), $A(\gamma)$, $m(\gamma)$ の値は著しく異なっている。このことは、あらゆる不攪乱試料のせん断弾性係数は単に式(1)で表し得ないことを示しているものと考えられる。

これまでに述べたことは、自然含水比試料の結果に関したものである。飽和試料では繰返し荷荷に伴って間げき水圧が発生する。従って、せん断弾性係数の値は当然低下するものと考えられる。

図.5の各々のぬりつぶした記号は飽和試料の値であり、データの多少のバラツキは認められるが、この平均値を破線で示した。これらの図より、せん断ひずみが 10^{-3} より小さい場合には飽和試料と自然含水比試料のせん断弾性係数の値に全く相異はみられない。しかし、せん断ひずみが 10^{-3} 以上となると、飽和試料では、せん断弾性係数は著しく減少することがわかる。このような飽和砂の特性は以下のように説明できよう。即ち、 10^{-3} 以下のひずみを供試体に与えた場合、その挙動は弾塑性的であり、ダイレイタンスー現象はほとんど現われず、荷荷回数や試料の状態に関係なしに定常的な現象を示すものと考えられる。一方、 10^{-3} 以上のひずみを供試体に与えるとダイレイタンスー現象が現われ始め、飽和砂の場合荷荷回数の増大、すなわち繰返しせん断の進行に従って過剰間げき水圧が発生して砂は軟弱化し、せん断弾性係数の値は低下する。さらに、この過程が続けば飽和砂は液状化し破壊に至る。

図.5の結果は全応力で示したものであるが、有効応力の立場でせん断弾性係数の変化を調べたのが図.8である。なお、図.8はB試料の自然含水比試料の結果(図6.2)とある飽和試料(B試料)にせん断ひずみ、 $\gamma = 1.3 \times 10^{-3}$ のひずみを与えたときの荷荷過程におけるせん断弾性係

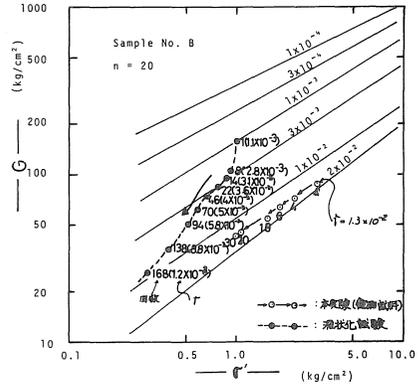


図8 飽和供試体のせん断弾性係数の変化 (B試料)

数の減少する様子を示したものである(図中の○印で示した)。図より、荷荷の進行と共に有効拘束圧が減少しせん断弾性係数の値も同時に低下してゆくことがわかり、また、自然含水比試料のせん断ひずみ、 $\gamma = 1 \times 10^{-3}$ の結果(図中の実線)と似かよった傾向で、せん断弾性係数の値は低下している。この傾向は他の飽和試料においても認められている。すなわち、このことはせん断弾性係数と拘束圧の関係を有効応力で整理すれば試料の状態に関係なく現わせ得ることを示している。

次に、本実験とは別に液状化試験から求めた同一試料のせん断弾性係数に関する結果が得られている。この結果は図.5および図.8に示したとおりである(図.5では田, △, ⊕の印、ただし20サイクル目の値、図.8では代表的にある試料の荷荷中の値を●印で示した)。これらの図から、液状化試験すなわち、繰返しせん断応力一定試験においては図中矢印で示すように繰返し荷荷に伴って有効応力が減少(間げき水圧が上昇)し、せん断弾性係数の値が低下すると同時にせん断ひずみの増大が見うけら

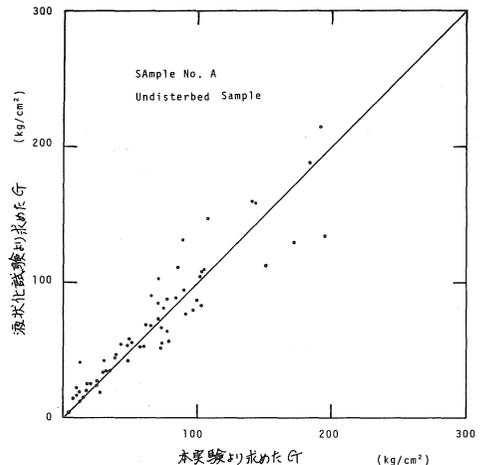
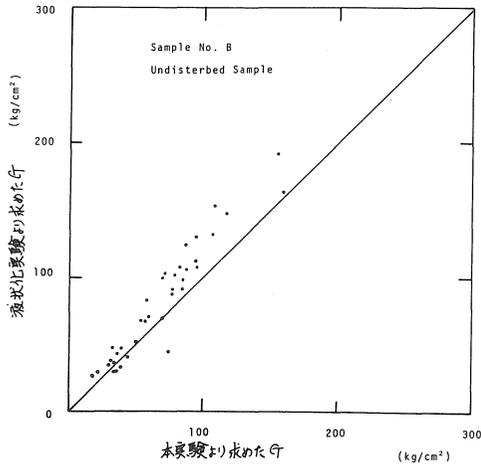


図9.1 液状化試験より求めたせん断弾性係数Gの値と本実験値の比較 (A試料, 不攪乱)

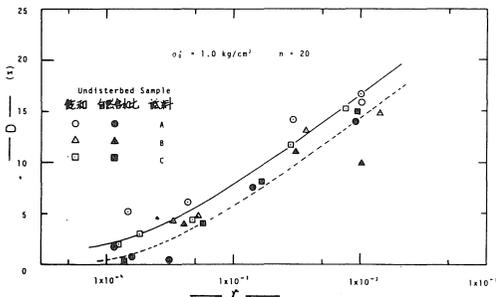


図—9.2 液状化実験より求めたせん断弾性係数Gの値と本実験値の比較 (B試料, 不攪乱)

れる。また、液状化試験から求めたせん断弾性係数の値は本実験値と非常に良く一致している様に見うけられる。そこで液状化試験から求めたA試料およびB試料のせん断弾性係数の値と本実験値を比較したのが、図.9である。図.9の縦軸は液状化試験から求めたせん断弾性係数の値であり、また横軸は図.7の値を使って式—(2)から求めたものである。この結果はAおよびB試料ともに非常に良く一致している。そしてこのことは液状化までの過程におけるせん断弾性係数の値は式—(2)によって表わし得るものと考えられる。

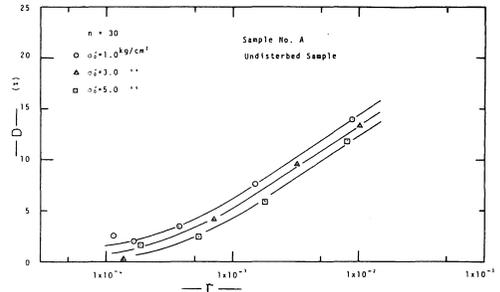
(b) 減衰比

3試料の飽和および不飽和状態の供試体から得られた減衰比とせん断ひずみの関係を、図.10に示した。図より、減衰比はせん断ひずみの増大と共に増大し、 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ の範囲のヒズミレベルでは減衰比のひずみ依存性が非常に高くなることを示している。また、砂の種類が異なっても減衰比の値はほとんどかわらないが試料の状態が異なると減衰比の値も異なってくるようである。例えば、図.10の実線は3種類の飽和材料の平均値を、また、破



図—10 不攪乱試料の減衰比(D)とせん断ヒズミ(γ)の関係

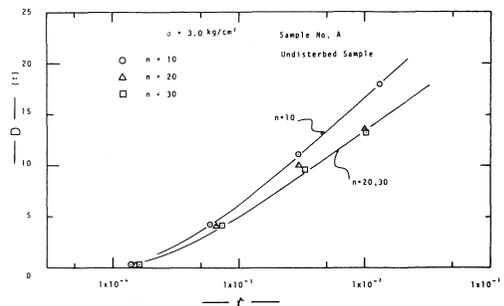
線は自然含水比試料の平均値を示しているが、両者を比較すると飽和材料の減衰比は2%ほど大きな値を示している。なお図は拘束圧 1.0 kg/cm^2 、載荷回数20回の結果を示しているが、この傾向は異なった拘束圧においても、また、載荷回数においても認められた。



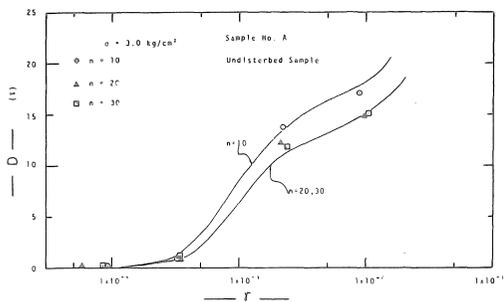
図—11 減衰比(D)に及ぼす拘束圧の影響 (A試料, 不攪乱, 自然含水比)

図.11は減衰比に及ぼす拘束圧の影響を調べるために、A試料の自然含水状態の代表的な結果を示したものである。図から拘束圧が高くなると減衰比の値は減少してることがわかる。また、他の試料においてもこの傾向は認められている。このように拘束圧によって減衰比の値が異なる理由は次のようであると考えられる。拘束圧が高くなると土粒子を押しつける力が大きくなり、粒子間の相対的な動きが小さくなるために損失エネルギーが小さくなって減衰比が減少するものと考えられる。

図.12は、減衰比に及ぼす載荷回数の影響を調べたものである。図は拘束圧 3.0 kg/cm^2 のもとで得られた自然含水比および飽和状態のA試料の結果である。図.12.1および図.12.2の結果をみると、せん断ひずみが 10^{-3} 以下では載荷回数の影響はあまりみられずほぼ一定の値を示している。しかし、 10^{-3} 以上のヒズミレベルにおいてはどちらの試料も載荷回数の影響を受け、減衰比の値は減少している。ところで、飽和砂が 10^{-3} 以上の繰返しひずみを受けた場合前項で述べたように間げき水圧が発生し、



図—12.1 減衰比(D)に及ぼす載荷回数の影響 (A試料, 不攪乱, 自然含水比)



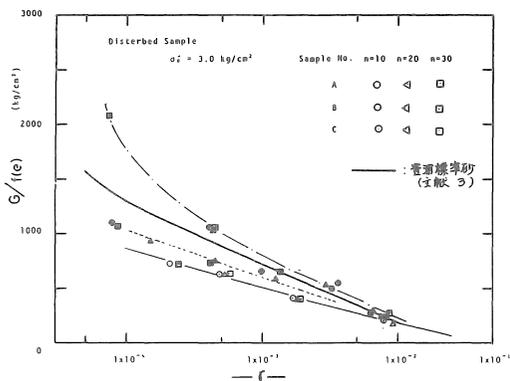
図一12.2 減衰比 (D) に及ぼす载荷回数の影響 (A試料, 不攪乱, 飽和)

砂はやわらかくなってせん断弾性係数の値は減少し逆に減衰比の値は増大するものと推察される。しかし、図12.2に示した結果は、これと全く逆の傾向を示している。この原因に関しては現在のところ明らかではない。

4.3 攪乱試料と不攪乱試料の比較

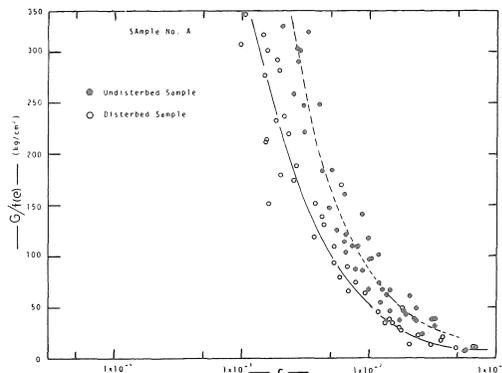
(a) せん断弾性係数

空気乾燥状態の供試体から得られた攪乱試料のせん断弾性係数とひずみとの関係を図13に示した。図には拘束



図一13 攪乱試料の $G/f(e)$ とせん断ヒズミの関係
 圧 3.0kg/cm^2 のもとで得られた3試料の10, 20および30サイクル目の結果を記号をかえて示している。また、各々の試料の供試体の間げき比は全て異なっているが、 $f(e) = (2.17 - e^2)/(1 + e)$ の関係を用いてせん断弾性係数に及ぼす間げき比の影響を取り除いている。なお、図中には龍岡らが低周波試験機を使って求めた豊浦標準砂の結果も示している。図より、せん断弾性係数に及ぼす载荷回数の影響はいずれの試料においても見られない。また、A, B 試料および豊浦標準砂の物理特性がほとんど同じであるにもかかわらず、せん断弾性係数は非常に異なった値を示している。この原因は供試体間げき比の推定に誤りがあったためと考えられる。即ち、本実験装置はセル内の水の体積変化を測定し得る構造となっていないため、乾燥砂の場合圧密による体積変化は別に行なった飽和試料の結果を使って推定している。従って、攪乱

砂では試料の状態(飽和と乾燥)の違いによる影響が現われ、推定した圧密による排水量が実際の値と大きく異なると図13のような結果となったものと推察される。このことから図13の結果は攪乱試料の正確な値を示しているとは言えない。

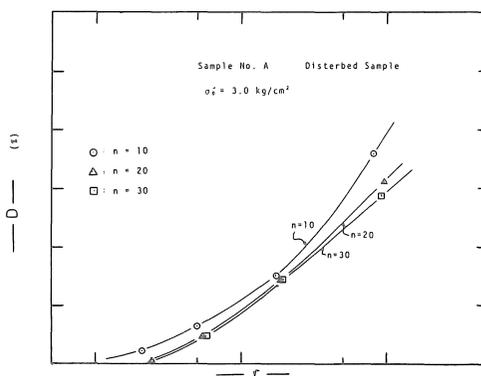


図一14 攪乱試料と不攪乱試料のせん断弾性係数の比較 (液状化試験)

図14は、液状化試験より求めたA試料の攪乱および不攪乱試料のせん断弾性係数の値を比較したものである。図より、不攪乱試料のせん断弾性係数の値は明らかに攪乱試料より大きくなっている。他の2試料においても同様の傾向が認められており、不攪乱試料では潜在的な個々の土粒子の結合力や過圧密等の影響を受けて攪乱試料よりせん断弾性係数の値は大きくなるものと考えられる。

(b) 減衰比

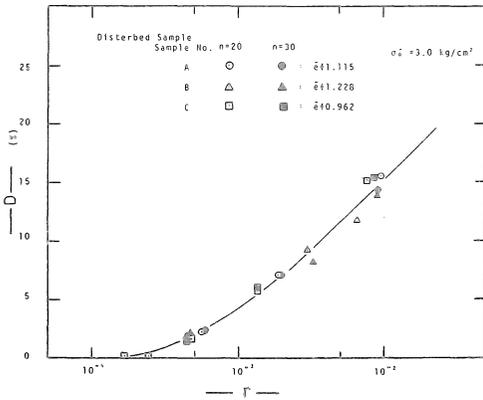
空気乾燥攪乱状態のA試料から求めた減衰比とひずみとの関係を図15に示した。図は、10, 20および30サイク



図一15 攪乱試料の減衰比 (D) とせん断ヒズミ (γ) の関係 (A試料)

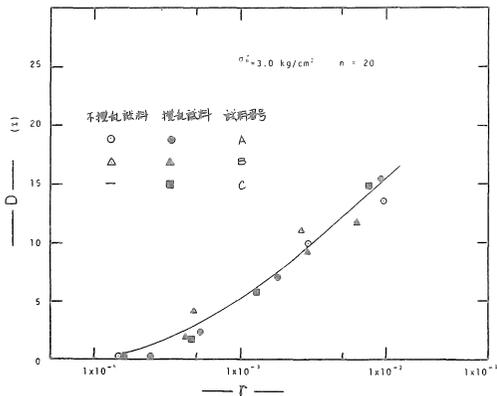
ル目の結果を示しており、载荷回数の増大と共に減衰比の値が減少することが図からうかがわれる。これは繰り返し载荷時において供試体は非排水態になっていたために载荷に伴って供試体の密度が増大したことによるものと考えられる。また、20サイクルと30サイクル目の減

衰比は同程度の値を示していることから（他の2試料においてはこの傾向はより明瞭となっている）载荷によって減衰比の値が変化するのは概ね20サイクルまでであると推定される。



図一16 A, BおよびC試料の減衰の比較 (攪乱試料)

図16は、3試料の攪乱砂の20および30サイクル目の減衰比とひずみの関係を示したものである。図より、本実験に用いた3種類の砂の減衰比はほとんど同じ値を示している。また、20サイクルと30サイクル目の値に差は見られず前述の推定と一致した結果を示している。



図一17 不攪乱試料と攪乱試料の減衰比の比較

図17は、拘束圧 3.0kg/cm²のもとで得られた不攪乱試料と攪乱試料の減衰比の値を比較したものである。図より、両者の差はほとんど見られず、また、他の回数においても同様の結果が認められた。従って減衰比に関しては攪乱、不攪乱の違いによる影響はほとんどないようである。

5 まとめ

本実験を通して得られた結果をまとめると以下のとおりである。

1) 本実験に用いた振動三軸試験装置から求められるせん断弾性係数および減衰比は他の機関で求めた値と良

好な一致を示している。このことから本装置を用いた試験結果は十分信頼し得るものと考えられる。

- 2) 不攪乱試料のせん断弾性係数に関する実験式は攪乱試験の場合と同様に $G = A(\gamma) f(e) \sigma^{m(\gamma)}$ で表わすことができる。しかし、不攪乱砂では試料が異なると $A(\gamma)$, $m(\gamma)$ は、粒土組成等の物理特性が同じであっても異なった値を示す。また、不攪乱試料と攪乱試料のせん断弾性係数の値を比較した結果、不攪乱試料の方が大きな値を示すことが知れた。これらのことは不攪乱試料が保持していると考えられる潜在的な粒子結合や過圧密等の影響によるものと考えられる。
 - 3) 飽和試料では $\gamma > 0.3$ 以上のひずみを受けると間き水圧が発生してせん断弾性係数の値は減少する。しかし、有効応力の立場で整理すると試料の状態、即ち飽和試料でも湿潤試料でも両者に相異のないことがわかる。
 - 4) 液状化試験から求めたせん断弾性係数の値は本実験値と非常に良く一致している。また、液状化までの過程におけるせん断弾性係数の値は式(2)の形で表わし得ることが知れた。
 - 5) 不攪乱試料の減衰比は試料の含水状態によって異なった値を示す。即ち、飽和材料の減衰比は自然含水比試料の値と比べて2%程度大きな値を示す。また、拘束圧によっても影響を受け拘束圧が高くなると減衰比の値は減少する。
 - 6) 不攪乱試料と攪乱試料との減衰比の差はほとんど見られず、したがって減衰比に及ぼす攪乱と不攪乱の違いによる影響は無視できるものと考えられる。
- 以上、攪乱および不攪乱砂のせん断弾性係数と減衰比を求め、不攪乱砂の特性を調べた。現段階ではまだデータが不足しており十分な整理が出来なかった。今後さらに多くのデータを得て内容を充実したいと考えられる。

参考文献

- 1) 奥村, 大根: “不飽和粘性土の動的変形特性に関する実験的研究” 愛知工業大学研究報告 第13号 1978
- 2) 奥村, 大根: “不攪乱砂質土の液状化に関する実験的研究” 愛知工業大学研究報告 第13号 1978
- 3) 高木, 岩崎, 龍岡: “室内実験による砂の動的変形特性の歪依存性” 土木学会第31回年次学術講演会概要集 第3部 1976
- 4) 石原研而: “土質力学の基礎” 鹿島出版会 1977

- 5) M. L. Silver, and T. P. Park, : "Testing Procedure Effects on Dynamic Soil Behavior" ASCE, GT-10, 1975
- 6) M. A. Sherif, I. Ishihara, and A. H. Gaddah : "Damping Ratio for Dry Sands" ASCE, GT-7, 1977
- 7) 奥村, 大根: "砂質土の剛性率に関する実験的考察" 土木学会中部支部研究発表会概要集 1976
- 8) 奥村, 大根: "砂質土の剛性率に関する実験的考察 (第2報)" 土木学会中部支部研究発表会概要集 1977