

土 研 資 料
第 1504 号
金 沢 大 学

土木研究所資料

沖積粘性土の動的変形特性

—せん断剛性率のヒズミ依存性—

昭和54年 8 月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

ま え が き

近年、東京湾、大阪湾、伊勢湾等の湾岸地域に大規模な橋梁やトンネル等が計画・建設される事例が多くなってきている。これらの湾岸地域は一般に軟質な地盤(砂質地盤または粘性地盤)で構成されているため、当該地域に建設される構造物の地震時の安定性は、それらの構造物の基礎地盤の地震時安定性に著しく影響されるものと思われる。

かかる軟弱地盤の地震時の安定性を検討する場合、地震荷重に対する地盤材料の動的特性(動的変形特性および動的強度特性)を適確に把握することが重要となる。砂質土の動的特性に関しては、新潟地震以来数多くの研究が実施されており、当研究室においてもその成果を地盤の耐震性調査等に反映させるまでに至っている。^{1)~3)}

しかしながら、粘性土に関しては未解明の部分も多く、近年、その詳細かつ多様な動的諸特性の把握が要求されるようになり、多方面で研究が行なわれるようになってきている。振動研究室においても、ここ数年来砂質土と同様に粘性土の動的特性の解明のための試験・研究・調査を実施しており、次第にその成果も得られてきている。^{4)~7)}

本報告書は粘性土の動的特性に関する研究成果のうち、沖積粘性土の動的変形特性(主にせん断剛性率のヒズミ依存性)に関する成果をとりまとめたものである。ここでは原位置より採取した不攪乱沖積粘性土に対して共振法土質試験機および振動三軸試験機を用いた室内動的土質試験を実施した。そして、圧密条件(正規圧密、過圧密および長期圧密)に応じた沖積粘性土の動的変形特性に関する諸検討を行い、地盤の諸特性(圧密拘束圧および間ゲキ比)を考慮した沖積粘性土のせん断剛性率のヒズミ依存性の標準曲線の提案を行っている。

昭和54年8月

建設省土木研究所

地震防災部振動研究室 室長 岩崎敏男

“ 研究員 常田賢一

“ 吉田精一

目 次

まえがき	
1. 実験概要	1
1.1 実験対象試料	1
1.2 実験方法	11
1.2.1 試験機	11
1.2.2 正規圧密 (Normal Consolidation)	16
1.2.3 過圧密 (Over Consolidation)	20
1.2.4 長期圧密 (Long-term Consolidation)	20
2. 実験結果	22
2.1 正規圧密下の動的変形特性	22
2.1.1 低ヒズミ領域における動的変形特性	22
2.1.2 中・高ヒズミ領域における動的変形特性	52
2.2 過圧密および長期圧密下の動的変形特性	67
2.2.1 低ヒズミ領域における動的変形特性	67
2.2.2 中・高ヒズミ領域における動的変形特性	76
3. 動的変形特性 ($G/G_0 \sim \tau$) の標準曲線	83
3.1 概 要	83
3.2 原位置平均有効主応力 (σ'_p) および原位置間ゲキ比 (e) を考慮した標準曲線	83
3.3 原位置平均有効主応力 (σ'_p) , 塑性指数 (I_p) および原位置間ゲキ比 (e) を考慮した標準曲線	85
4. まとめ	87
あとながき	88
参考文献	89
付属資料	91
I 正規圧密下の実験データ一覧	93
II 過圧密下・長期圧密下の実験データ一覧	101
III 共振法土質試験用データシート	107
IV 振動三軸試験用データシートおよびデータ整理用シート	113

1. 実験概要

1.1 実験対象試料

室内動的土質試験の対象とした土試料は原位置から乱さぬように注意を払って採取された不攪乱沖積粘性土である。これらの不攪乱粘性土はシンウォールサンプラー⁸⁾で採取が行われ、採取直後にドライアイスで凍結保存される砂質土の場合と異なり、サンプラー両端をパラフィンでシールをして衝撃力等の外力を与えぬように注意を払って試験室に搬入する。搬入された試料は押抜いた後に適当な長さに切断し、供試体として実験に用いられる。

本報告で使用した不攪乱粘性土は、次に示す8地点で採取されたものである。

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| (1) 浮島 A ^{9), 10)} | (神奈川県川崎市川崎区浮島町) |
| (2) 千鳥町 ¹¹⁾ | (神奈川県川崎市川崎区東扇島) |
| (3) 境川 ¹²⁾ | (千葉県市川市浦安町) |
| (4) 荒川 A ¹³⁾ | (東京都江戸川区小松川町1丁目) |
| (5) ポートアイランド ¹⁴⁾ | (兵庫県神戸市神戸港) |
| (6) 荒川 B ¹⁵⁾ | (東京都江戸川区東小松川町1・2丁目) |
| (7) 荒川 C ¹⁶⁾ | (" " 小島町1丁目) |
| (8) 浮島 B ¹⁷⁾ | (神奈川県川崎市川崎区浮島町) |

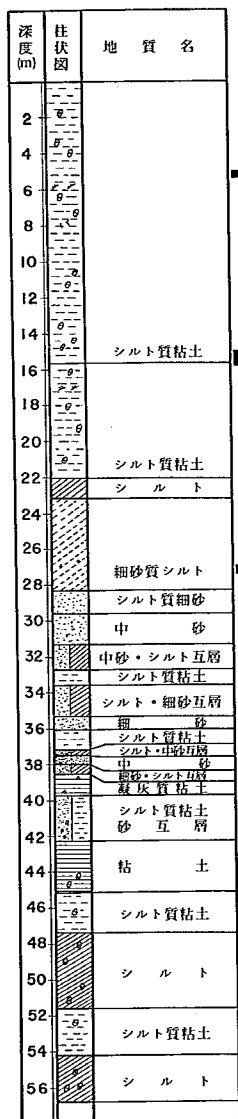
これらの採取地点の概要は以下の通りである。

1) 浮島 A (UKISHIMA -A)

当該地点では川崎市浮島公園 (ボーリング $\#$ 61), その沖合の約 500 m (ボーリング $\#$ 63) および約 5 km (ボーリング $\#$ 60) の3地点で採取された不攪乱粘性土試料を実験対象としている。図-1.1.1 (A), (B) は各々, $\#$ 60, $\#$ 63 の地盤柱状図を示すが, 同地域では表層に厚く軟弱な沖積粘性土が堆積している。また, 同地点の不攪乱試料の採取深度は 5.0 ~ 5.4 (m), 15.0 ~ 15.8 (m) および 27.0 ~ 27.4 (m) の3箇所である。

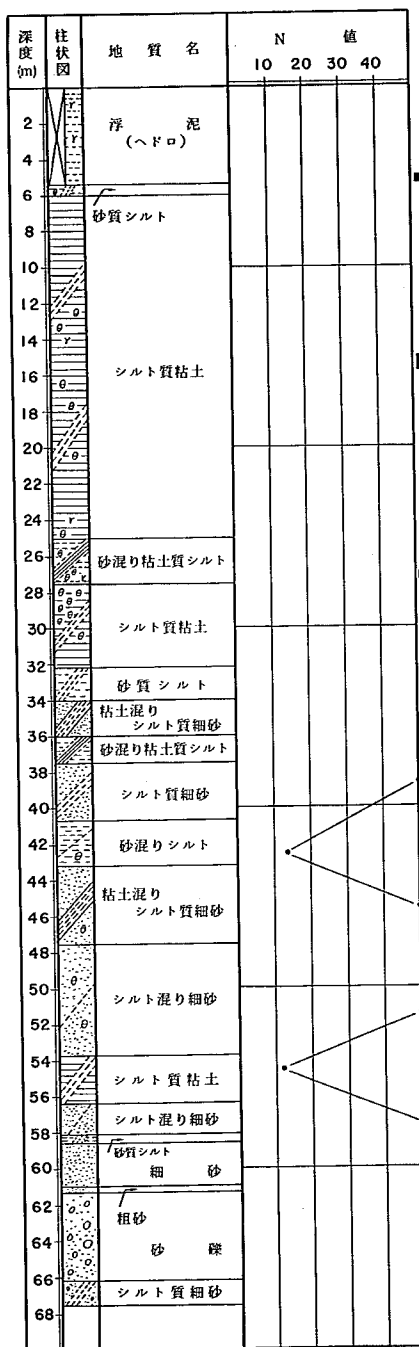
2) 千鳥町 (CHIDORICHO)

川崎市川崎区の臨海工業地域の沖合に埋立て造成された東扇島の東端付近で不攪乱粘性土の採取が行われた。同地点は, 東京湾岸道路が川崎航路を横断する海底トンネルの西側換気塔付近に位置する。図-1.1.2 は当該地点付近で実施された地盤調査結果であり, 土質柱状図の他に標準貫入試験 (N 値), PS 検層の各結果を示す。同地点は, 上部から埋立砂, 沖積砂, 粘土互層, 沖積粘性土, 沖積~洪積粘性土, 砂互層, 洪積砂, 礫層と続いている。当地点で試験対象とした粘性土試料は約 23m ~ 38m の深度に形成された N 値 10 以下の軟質なシルト質粘性土層より採取されたものである。採取深度は, 図-1.1.2 に示すように 23.0 ~ 23.88 (m), 27.0 ~ 27.89 (m) および 33.0 ~ 33.8 (m) の3箇所である。



■ 不攪乱試料採取位置

図 - 1.1.1(A) 地盤柱状図
(浮島 A, № 60)



■ 不攪乱試料採取位置

図 - 1.1.1(B) 地盤柱状図 (浮島 A, № 63)

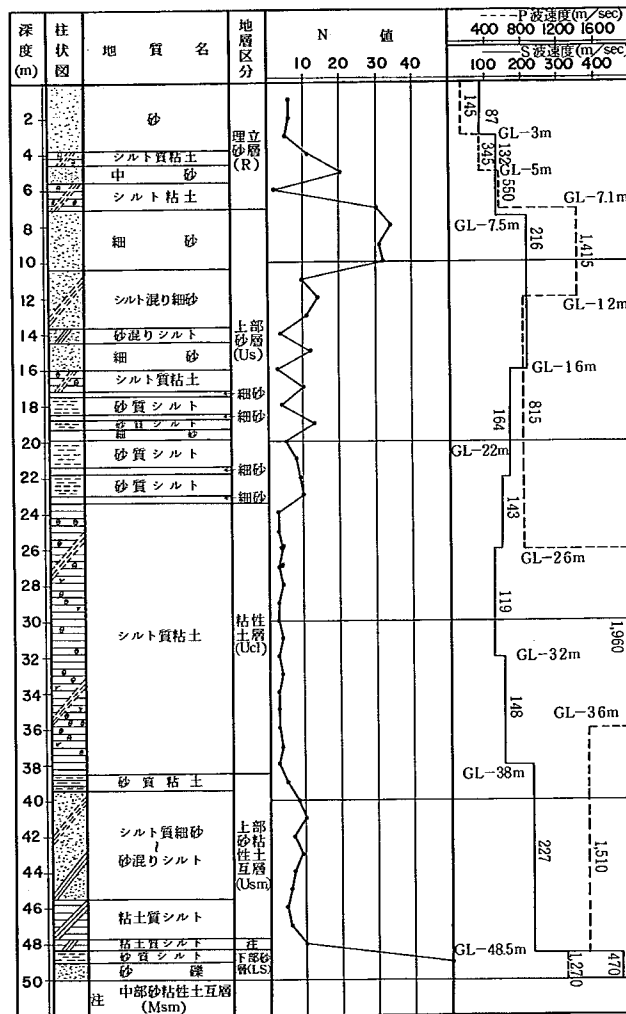


図 - 1.1.2 地盤柱状図 (千鳥町)

3) 境川 (SAKA IGAWA)

千葉県市川市浦安町の埋立地内の境川の低水敷で不攪乱粘性土の採取が行われている。同地点は東京湾環状道路および首都高速道路高速湾岸線の建設地点である。図-1.1.3は当該地点付近の地盤調査結果であり、土質柱状図、標準貫入試験結果を示す。当地点は、表層に砂層があり、その下にシルト、シルト質粘土、砂質シルト等のシルト質層が続いているが、これらの土層は N 値がほぼ10以下の軟弱層である。実験対象とした試料は18.0～18.8(m) (P-13-A地点)および22.0～22.85(m)、25.0～25.85(m) (P-16-B地点)の3深度から採取したものである。

4) 荒川A (ARAKAWA-A)

不攪乱粘性土の採取地点は東京都江戸川区内の荒川放水路の低水敷である。当該地点の地盤柱状図を図-1.1.4に示すが、地表面下約30～40 mに N 値が50以上の中間砂層があり、この砂層を境にして沖積層は上部層と下部層に分けられる。上部層は更に上部砂質土層(A_{S1})と上部粘性土層(A_{C1})に分けられ、上部砂層の表面は河川堆積物や埋土が覆っている。実験対象とした試料は砂質シルトであり、深度9.0～9.7(m)から採取したものである。

5) ポートアイランド (PORT ISLAND)

不攪乱粘性土の採取地点は、神戸市の神戸港第1防波堤東付近の海底である。図-1.1.5に当該地点の地盤柱状図、標準貫入試験結果、P.S.検層結果を示すが、当該地点の土質構成は上部より、上部粘土層、上部砂・粘土互層、中部粘土層、中部砂・粘土互層となっている。実験対象とした不攪乱粘性土は、上部粘土層の深度6.5～7.5(m)および12.5～13.5(m)の2箇所から採取されたものである。この上部粘土層は貝ガラ片や腐植物を混入する粘土層であり、 N 値は極めて低く0～1程度である。

6) 荒川B (ARAKAWA-B)

不攪乱粘性土の採取地点は東京都江戸川区1・2丁目の荒川放水路と中川放水路の境となる中堤堤防上であり、荒川河口より約5km上流の位置である。当該地点の地盤柱状図等の調査結果を図-1.1.6に示すが、当地点は沖積層が厚く分布する軟弱地盤地帯である。地層構成は上部に埋立・盛土層、上部有楽町層(砂質土)、下部有楽町層(粘性土)といった沖積層があり、その下に七号地層(砂質土、粘性土)、東京層(粘性土、砂質土)、東京礫層(砂質土、礫)から成る洪積層が続いている。実験対象とした試料は、6.0～6.9(m)、12.0～12.7(m)および22.0～22.86(m)の3箇所から採取されたものである。

7) 荒川C (ARAKAWA-C)

不攪乱粘性土の採取地点は、東京都江戸川区小島町1丁目の荒川放水路と中川放水路の境界となる中堤堤防上である。試料採取地点の地盤柱状図、標準貫入試験、P.S.検層の調査結果を図-1.1.7に示す。同地点一帯は広大な沖積底地が広がっており、軟弱な沖積粘土層を主体とする沖積層が厚く分布している。当地点では江戸川層と呼ばれる密な洪積砂層を基盤とし、その上位には東京層である礫層、砂層が分布し、更に七号地層と称される粘性土層及び砂層が分布する。これらの洪積砂層の上位を有楽町層と呼ばれる軟弱な沖積粘土層及び緩い砂層が覆っている。実験対象とした不攪乱試料は N 値が

10 以下である沖積粘性土層の 18.0～18.5 (m) および 30.0～30.38 (m) の 2箇所の深度より採取したものである。

8) 浮島B (UKISHIMA-B)

不攪乱試料の採取地点は、川崎市川崎区浮島町の沖合 1.8 (km) 付近の海底である。図- 1.1.8 に採取地点の地盤柱状図等を示すが、同地点の地層構成の海底下 20m 程度迄は沖積の粘土、シルト質粘土が厚く堆積している。これらの沖積層の下位には N 値 50 以上の砂層、 N 値が 4～12 程度の粘性土層が続き、深度 55m～62m 程に N 値 70 以上の礫層がある。これらの洪積層の下位は N 値 70 以上の第 3 紀層となっている。当該地点で実験対象とした不攪乱粘性土は 2.0～2.85, 5.0～5.9, 8.0～8.9, 11.0～11.9, 14.0～14.83, 21.0～21.87, 22.0～22.87 および 26.45～27.50 (m) の各深度から採取した 8 試料である。

以上のように本報告で実験対象とした試料は全体で 25 ライナー (試料) であるが、これらの試料を整形して実験に用いた供試体の一覧は表- 1.2.1 (その 1, その 2) および表- 1.2.2 に示すとおりである。同表からも明らかなように、供試体数は 1) 浮島 A (17 本), 2) 千鳥町 (8 本), 3) 境川 (7 本), 4) 荒川 A (1 本), 5) ポートアイランド (7 本), 6) 荒川 B (3 本), 7) 荒川 C (2 本) および 8) 浮島 B (8 本) であり、総数 53 供試体である。

また、表- 1.2.1 および 1.2.2 には供試体毎の物理特性を示しているが、試験項目は次のとおりである。

- ① W (%) : 実験時含水比
- ② W_L (%) : 液性限界
- ③ W_P (%) : 塑性限界
- ④ I_P (%) : 塑性指数
- ⑤ D_{50} (mm) : 平均粒径
- ⑥ 粒度分布 (礫, 砂, シルト, 粘土)
- ⑦ G : 比重

同表において浮島 B の試料については実験供試体の物理特性が得られていないので、採取位置の上下方向に隣接する土層の物理特性試験結果を基にして推定している。その他の供試体については、実験に用いられた供試体の物理特性試験結果を示す。

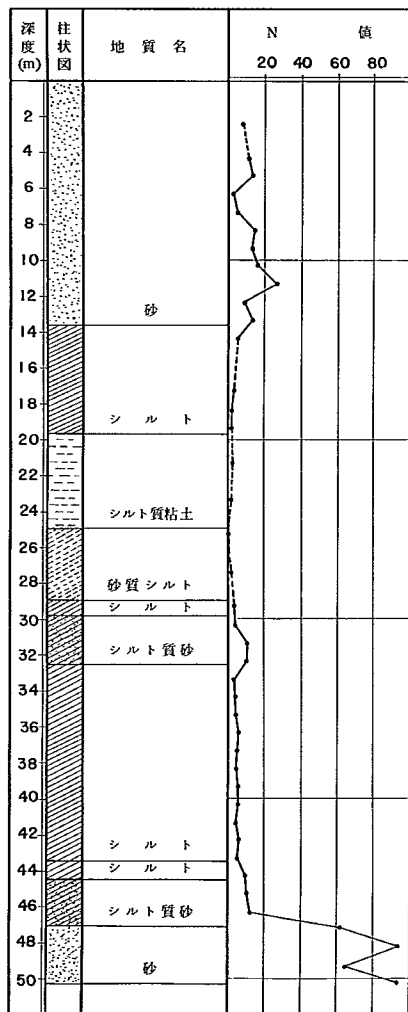
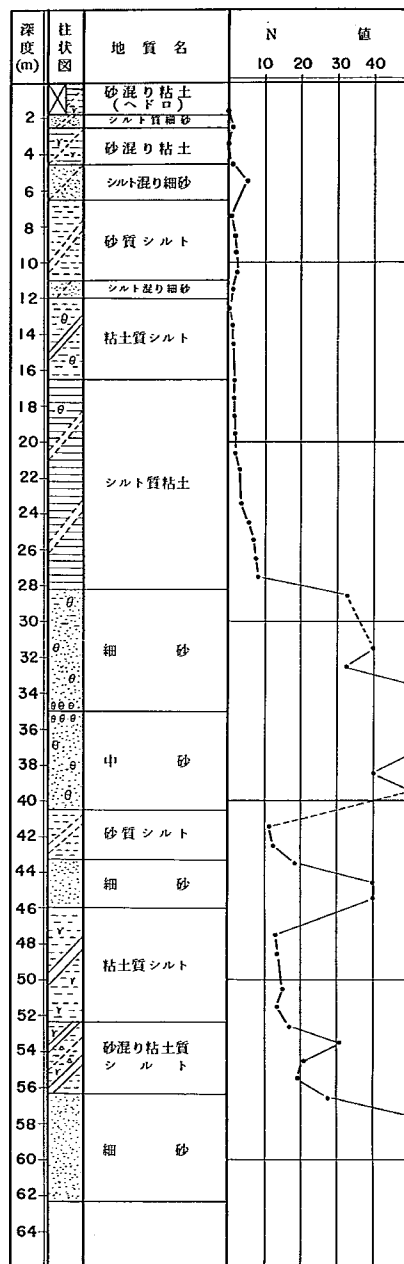


図 - 1.1.3 地盤柱状図 (境川)



■ ; 不攪乱試料採取位置

図 - 1.1.4 地盤柱状図 (荒川 A)

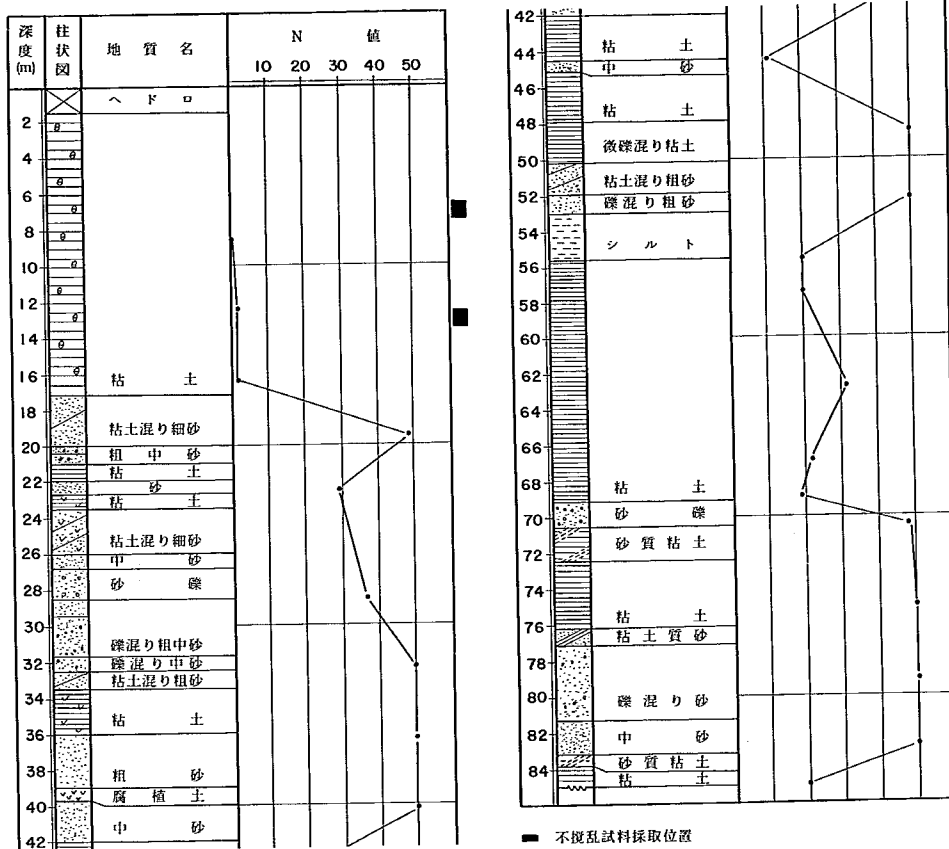
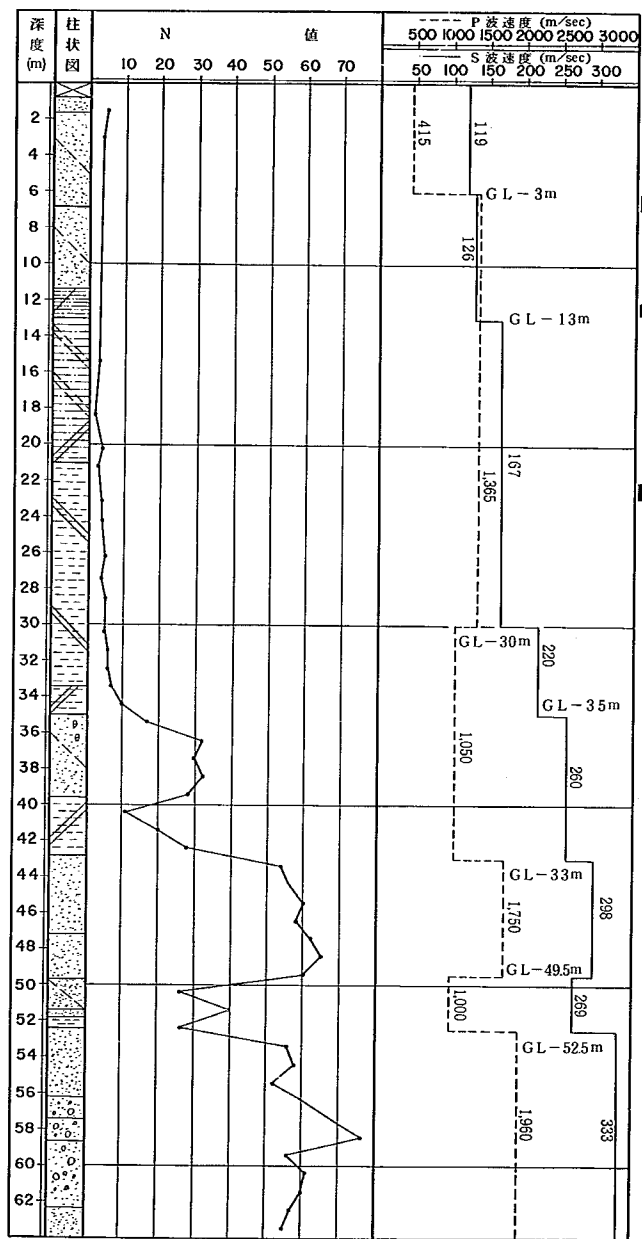
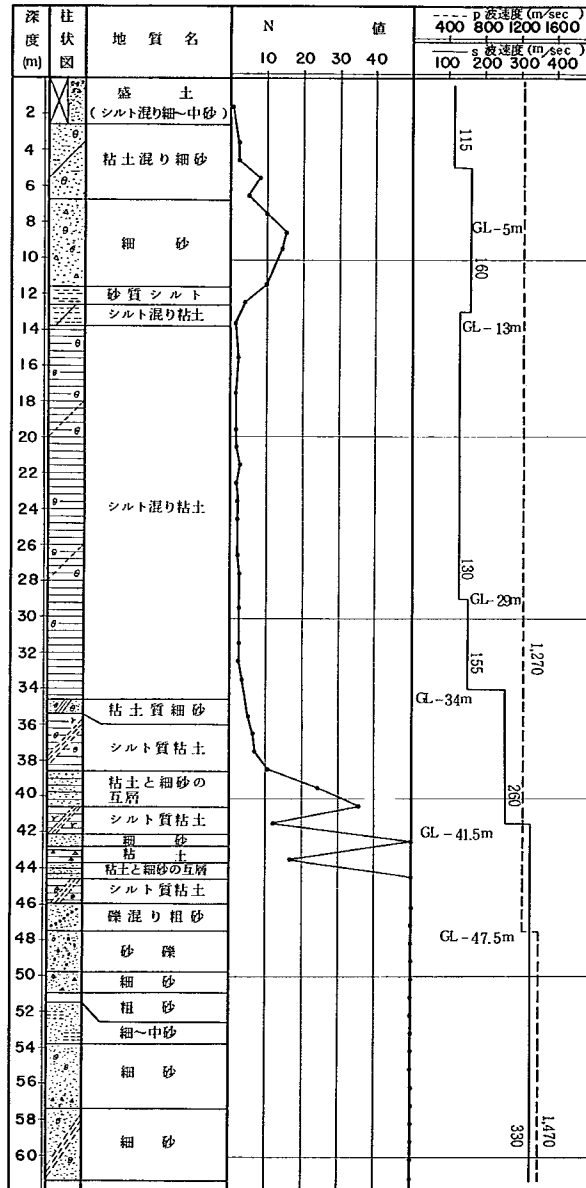


図-1.1.5 地盤柱状図 (ポートアイランド)



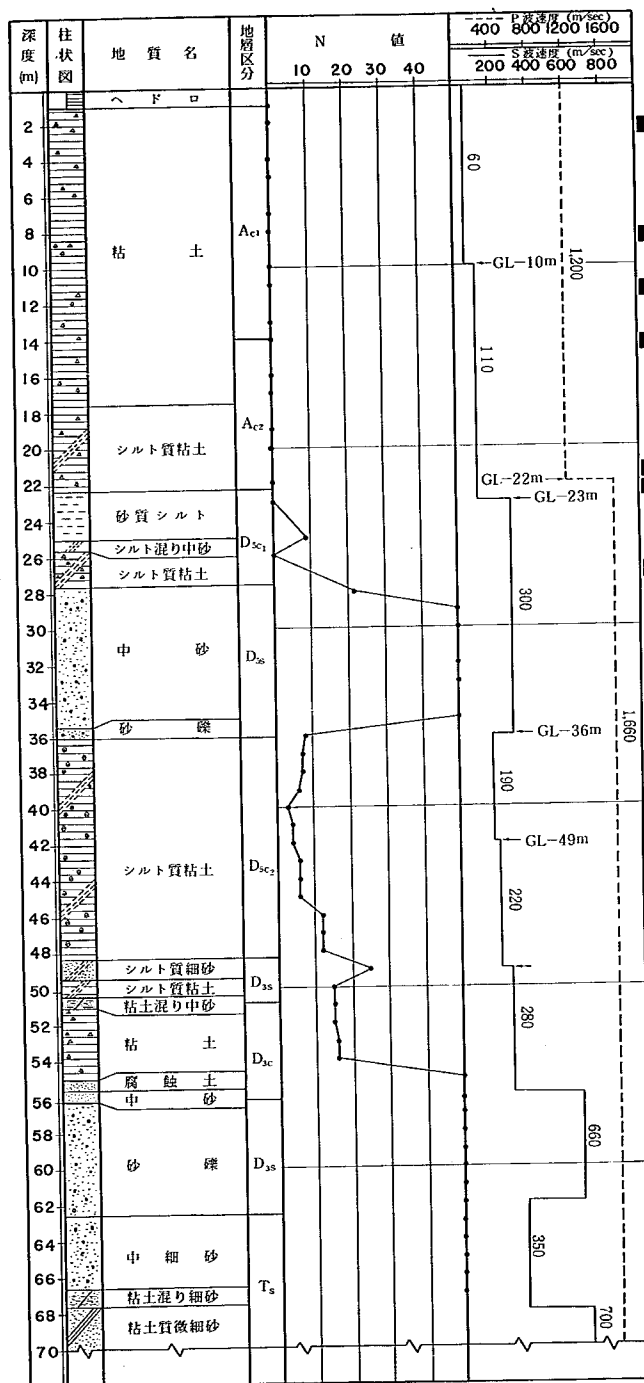
■ 不擾乱試料採取位置

図 - 1.1.6 地盤柱状図 (荒川B)



■ 不揃乱試料採取位置

図 - 1.1.7 地盤柱状図 (荒川C)



■ 不攪乱試料採取位置

図 - 1.1.8 地盤柱状図 (浮島B)

1.2 実験方法

1.2.1 試験機

不攪乱粘性土の動的変形特性を得るために用いた室内動的土質試験機は、1) 共振法土質試験機および2) 振動三軸試験機の2機種である。

共振法土質試験機の構造概要図を図-1.2.1に、また、その全景を写真-1.2.1に示す。当試験機ではペDESTAL(上・下台座)間にセットされた供試体の下端を固定し排水状態で、上端に高周波数のねじり振動荷重を載荷する。そして、載荷外力を順次上げてゆき、その都度供試体の共振々動数を測定する。この時、載荷外力(実験時は上部ペDESTAL部の加速度を測定する)に対応して供試体にはねじりせん断力あるいはせん断ヒズミ(r)が加えられる。また、供試体の共振々動数から、その時の供試体の剛性〔この場合はせん断剛性率(G)〕が算定される。従って、共振法土質試験機によれば、せん断ヒズミ(r)の大きさに対応

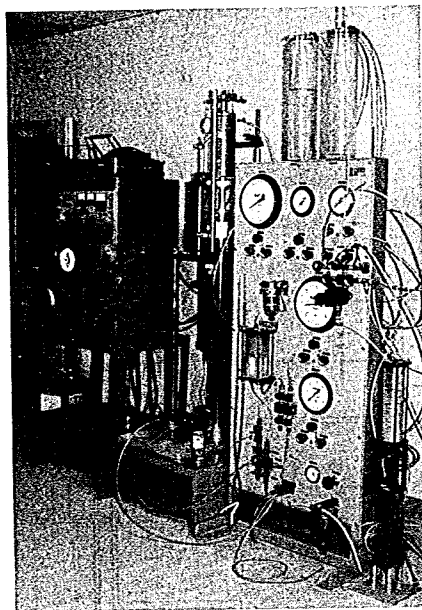


写真-1.2.1 共振法土質試験機的全景

したせん断剛性率(G)の関係〔 $G \sim r$ 〕が得られる。ただし、試験機の載荷機能の限界があるため、当試験機により計測可能であり、妥当な結果の得られるせん断ヒズミの領域は $r \div 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$ 程度であり、 $r \geq 5 \times 10^{-4}$ のヒズミ領域については別種の試験機によらなければならない。つまり共振法土質試験では、低ヒズミ領域($r \div 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$)でのせん断剛性率(G) $\sim$ せん断ヒズミ(r)の関係が得られる。履歴減衰 $\eta \sim r$ も自由振動載荷により計測されるが本報告では対象としていない。次に、データの計測およびその取扱いに関してであるが、共振法土質試験においては、1つの実験条件下で入力する加速度値(あるいはせん断ヒズミ)を段階的に上げ、順次共振々動数を計測することを2回ずつ行っている。1回目および2回目の測定結果にはそれ程顕著な差異は見られないが、2回目の結果の方が比較的1回目のそれよりバラツキも小さく安定している。従って、本報告では2回目の載荷時における変形特性を統一的に各供試体の実験データとして使うことにした。試験機および試験方法等の詳細は参考文献(18)を参照されたい。

次に振動三軸試験機の構造概要図を図-1.2.2に、また、その全景を写真-1.2.2に示す。振動三軸試験機ではペDESTAL間にセットした非排水状態の供試体の上端に軸方向正弦波振動荷重を載荷する。そして、軸方向荷重の応力制御により順次軸力を増加してゆき、その時の軸差応力(軸力と横圧の差)および軸方向変位の変動を計測する。この時、当実験では各荷重段階毎に10回の繰返し載荷(入力周波数=0.3Hz)を行っている。図-1.2.3に載荷方法の概念図を示す。実験で記録された軸差応力($\Delta \sigma$)および軸ヒズミの変動量(ϵ)から、ポアソン比(ν)を媒介としてせん断剛性率(G)とせん断ヒズミ(r)が算定される。その時の算定式は(1.2.1)、(1.2.1)に基いている。

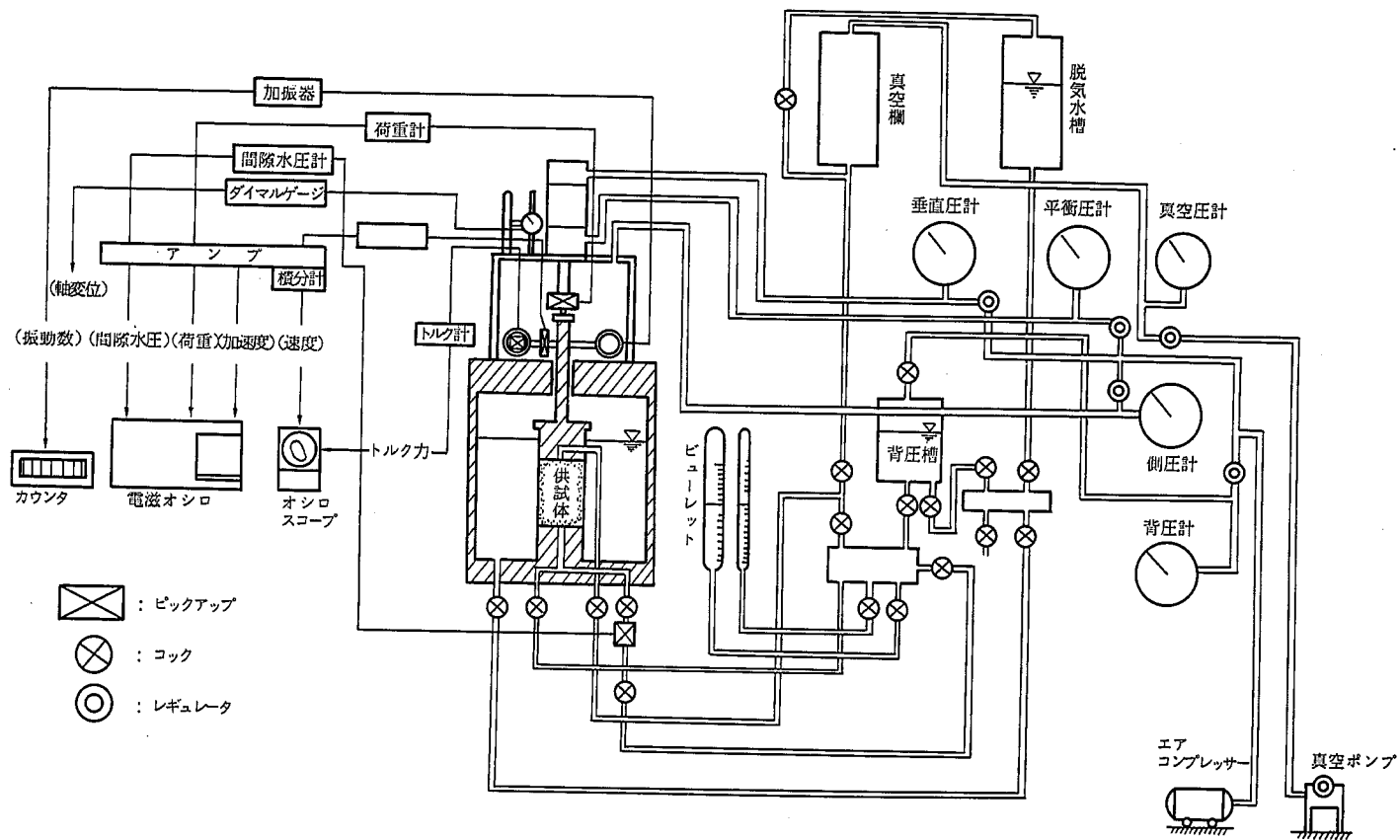


図-1.2.1 共振法土質試験機構造概要図

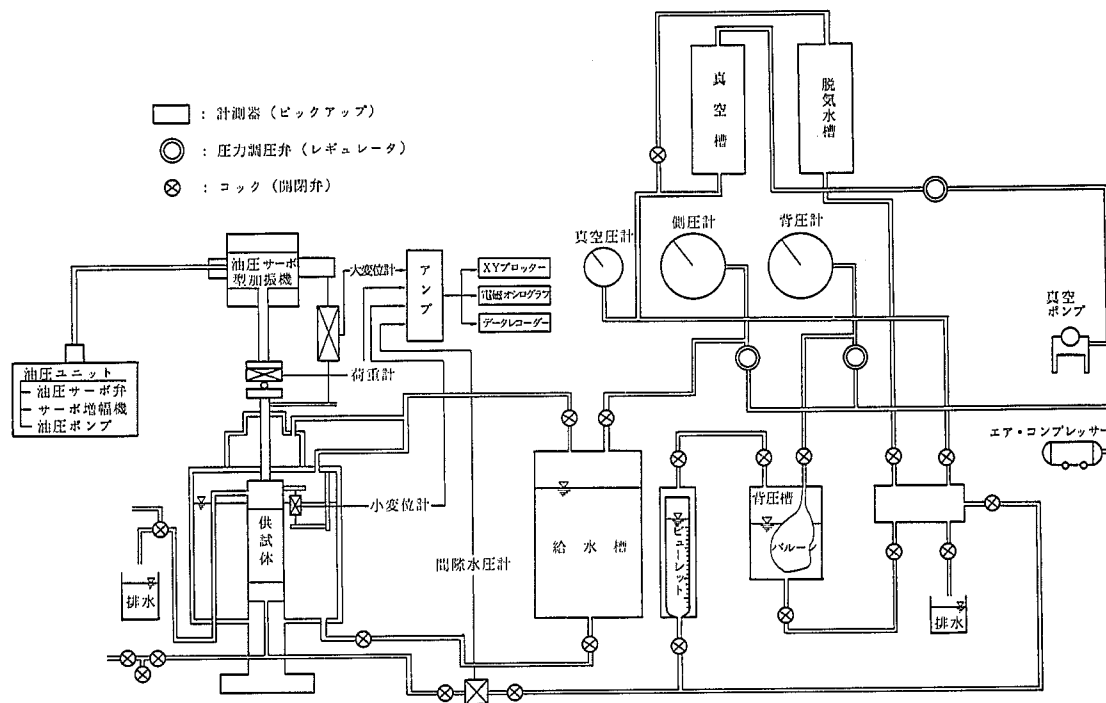


図 - 1.2.2 振動三軸試験機構造概要図

$$\text{せん断剛性率 } G = E/2(1+\nu) \dots\dots (1.2.1)$$

$$\text{せん断ヒズミ } \gamma = (1+\nu)\epsilon \dots (1.2.1)$$

ここに、 E : ヤング剛性率 ($=\Delta\sigma/\epsilon$)

ν : ポアソン比

ϵ : 軸方向ヒズミの片振幅
($=\Delta\ell/\ell_0$)

$\Delta\sigma$: 軸差応力 ($=\Delta P/A_0$)

$\Delta\ell$: 軸方向変位の片振幅

A_0 : 載荷前の供試体断面積

ℓ_0 : 載荷前の供試体長

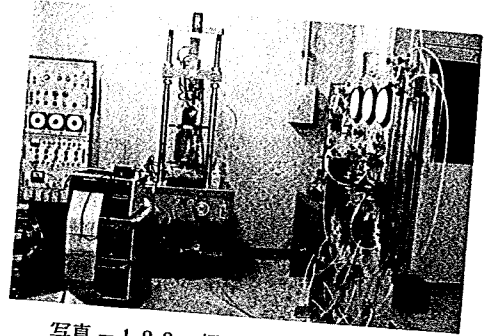


写真 - 1.2.2 振動三軸試験機の全景

振動三軸試験機を用いた場合は、試験機の特徴から共振法土質試験機のように低ヒズミ領域での載荷は不可能であり、共振法土質試験機より大きなヒズミ領域での動的変形特性が得られる。振動三軸試験機により計測可能であり、かつ、妥当な結果の得られるせん断ヒズミの領域は $\gamma \div 5 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$ 程度である。つまり、振動三軸試験では、中・高ヒズミ領域 ($\gamma \div 5 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$) でのせん断剛性率 (G) ~ せん断ヒズミ (γ) の関係が得られる。 $\eta \sim \gamma$ も実験時に X-Y レコーダ上に記録した $\Delta P \sim \Delta\ell$ のヒステリシスループあるいはデータレコーダに記録した ΔP および $\Delta\ell$ を X-Y レコーダ上に再出力したヒステリシスループから算定できるが、共振法土質試験と同様にここでは対象外とした。

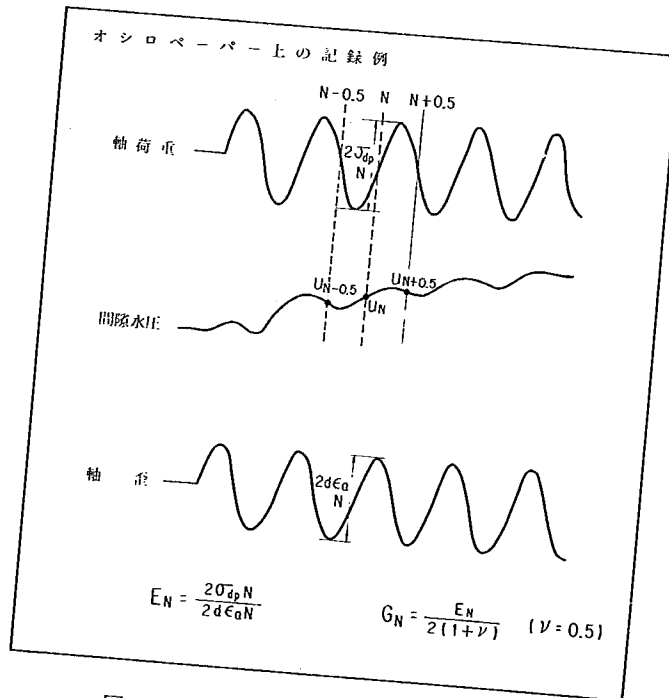


図 - 1.2.3 実験結果例 (振動三軸試験)

振動三軸試験では、各裁荷段階（軸力）毎に 10 個のデータが得られるが、繰返し回数が 2 回目 ($N_c = 2$) および 10 回目 ($N_c = 10$) の両者の測定結果の 1 例を図 - 1.2.4 に示す。同図から明らかなように、圧密拘束圧、圧密条件等に拘わらず、10 回程度の繰返し回数ではほとんど同様な結果の得られることがわかる。従って、 $G/(\dot{G})r = 10^{-6} \sim r$ 関係を地盤の地震応答解析に反映させることを考えると、高ヒズミ領域における $G/(\dot{G})r = 10^{-6}$ が相当小さいため、繰返し回数のせん断剛性率のヒズミ依存特性に与える影響に顕著な差は無いと考えられる。従って、本報告では繰返し回数が 2 回目 ($N_c = 2$) での結果を各裁荷毎の代表値として取扱い、データの整理を行っている。

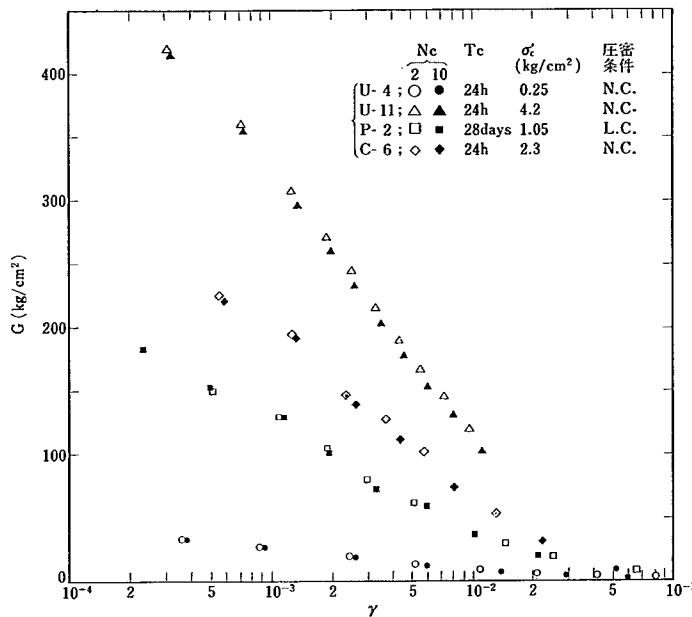


図 - 1.2.4 繰返し回数による測定結果の比較例（振動三軸試験）

以上に示すように、共振法土質試験機および振動三軸試験機の両試験機を用いることにより、低ヒズミ領域 ($r \div 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$) および中・高ヒズミ領域 ($r \div 5 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$) を統合した広範囲なヒズミ領域 ($r \div 10^{-6} \sim 10^{-1}$) におけるせん断剛性率 (G) のせん断ヒズミ (r) の依存特性 [$G \sim r$] を得ることが可能となる ($\eta \sim r$ 関係についても同様である。)。本報告においてもこのような両試験機の特長を生かし、また、相互の短所を相補うように実験を実施し、広範囲なヒズミ領域におけるせん断剛性率のヒズミ依存性を明らかにすることを目的としている。

ここで留意しなければならないことは、両試験機の裁荷方法の差異である。つまり、共振法土質試験機では高周波数 (数 + Hz $\sim$ 200 Hz 程度) のねじり振動を多くの繰返し回数 (数百回 $\sim$ 数千回) で裁荷を行うのに対して、振動三軸試験機では低周波 (0.3 Hz) の軸方向圧縮・伸張振動裁荷を 10 回程度の繰返し回数で行っている。まず、裁荷速度 (振動数) の影響であるが、 $r = 10^{-3}$ 以下の微小ヒズミ領域では振動数が変わってもセン断定数は不変であることが確かめられている¹⁹⁾。しかし、 $r = 10^{-3}$ 以上では裁荷速度の影響を受けるとされている¹⁹⁾。従って、共振法土質試験の結果は振動数に

無関係であると考えられ、他方、振動三軸試験に関しては振動数の影響が入ってくるものと考えられる。しかし、ここでは通常、繰返し試験で採用されている入力振動数（0.1～5 Hz）を参考にして0.3 Hzとした。次に、繰返し回数の影響であるが、その度合はヒズミの大きさにより異なり、共振法土質試験のような微小ヒズミ領域では影響は少ないものと思われる。ただ、共振法土質試験ではその載荷機構上繰返し回数が多くなるのは致し方ないとも言える。他方、中・高ヒズミ領域では繰返し回数の影響を受け、繰返し回数の増加に伴いせん断定数が低下してくる。ここでは、地震時に地盤が受ける繰返し回数（これはヒズミの大きさにより異なるが数回～数十回）を踏えて、実験時の繰返し回数を決めている。さらに大きな問題はねじりせん断振動（共振法土質試験機）と軸方向圧縮・伸張振動（振動三軸試験）の載荷方向の違いであるが、載荷機構の同じ試験機を開発する等により解決できるものと思われる。本報告では、実験結果に対する載荷機構等の諸条件の影響を考慮することはしていない。

1.2.2 正規圧密 (Normal Consolidation, N.C.)

正規圧密の実験対象とした供試体の一覧は表－1.2.1に示すとおりであり、浮島A（14供試体）、ポートアイランド（3供試体）、千鳥町（4供試体）、境川（4供試体）、荒川B（3供試体）、荒川C（2供試体）、浮島B（8供試体）および荒川A（1供試体）の総数で39供試体である。

本報告で正規圧密（N.C.）として取扱った供試体は、図－1.2.5に説明するように原位置における各供試体の採取深度から算定した原位置有効上載圧力 σ_v' （kg/cm²）に基き設定した圧密拘束圧 σ_m' （kg/cm²）で等方圧密（ $\sigma_m' \geq \sigma_v'$ ）を行っている。ここで、表－1.2.1でも示すように、共振法土質試験（試験方法：R.C.）では同一供試体に対して、数種類の圧密圧力 σ_m' で圧密を行っているが、これは、圧密→計測→圧密→計測→……と数段階に分け σ_m' を変えて連続的に実験を行ったものである。また、正規圧密下とした供試体に対する圧密時間については、24時間を基準としたが表－1.2.1に示すように、48時間圧密のものが一例（P－7）含まれ、また、荒川B、荒川Cおよび浮島Bの3地点の供試体では1次圧密終了時間以上の圧密時間（6時間～21.3時間）で圧密を行っている。

表－1.2.1中の e_c は圧密後の実験時における供試体の間ゲキ比である。また、同表には、各採取深度毎あるいは各供試体毎に実施した物理特性試験の結果も併記している。

表-1.2.1 (その1) 実験対象供試体の一覧 (正規圧密)

試料名				物理特性							実験条件					{G}r=10 ⁻⁶ または {G}r=10 ⁻³ (kg/cm ²)		
Data No.	地点	供試体 No.	採取深度 (m)	(%) W	(%) W _L	(%) W _P	(%) I _P	(mm) D ₅₀	粘土分 (%)	G _S	(kg/cm ²) σ' _v	(kg/cm ²) σ' _m = σ' _c	圧密時間	e _c	試験方法			
1	浮島A	U-1	5.00~5.40	110.5	69.4	34.9	34.5	0.0034	53	2.69	0.25	0.25	24h	2.81	D.T.	35.2		
2		U-3		96.8	80.2	43.7	36.5	0.0113	39	2.62				2.56	D.T.	34.8		
3		U-4		107.1	73.2	35.3	37.9	0.019	37	2.69				3.02	D.T.	26.5		
4		U-5		105.4	58.4	29.1	29.3	0.007	46	2.54				2.74	D.T.	35.0		
5		U-6		108.9	60.0	27.4	32.6	0.0055	47	2.75				2.93	D.T.	31.8		
6		U-7	15.00~15.80	111.7	89.5	56.9	32.6	0.002	22	2.60	0.70	0.70	24h	3.11	D.T.	62.6		
7		U-11		109.0	81.1	38.4	42.7	0.014	32	2.59				4.2	D.T.	33.1		
8		U-12		95.5	80.1	37.2	42.9	0.0135	24					1.4	D.T.	90		
9		U-13		111.9	79.6	37.8	41.8	0.0026	55	2.62				2.1	D.T.	153		
10		U-14	27.0~27.4	43.7	39.3	17.2	22.1	0.031	29	2.69	1.25	1.25	24h	1.21	D.T.	177		
11		U-17	5.0~5.4	113.5	81.7	38.3	42.9	0.0076	43	2.66	0.25	0.25	24h	0.25	R.C.	1.88	143	
12														0.25		2.77		100
13														0.5		2.58		156
14		U-18		108.5	76.4	35.0	41.4	0.012	37	2.67				1.0		2.48		320
15														2.0		1.88		700
16										4.0				1.43	1700			
17											0.7	0.70	24h	2.92	R.C.	138		
18		U-19	15.0~15.8	120.9	78.5	35.4	43.1	0.015	34	2.65	1.4			2.67		220		
19										2.8	2.32			460				
20										4.9	2.06			870				
21											1.25	1.25	24h	1.18	R.C.	425		
22		U-20	27.0~27.4	48.1	39.8	19.1	20.7	0.016	38	2.67	2.5			1.06		700		
23										4.9	0.85			1280				
24	ボイトラン千島町境川	P-4	6.5~7.8	71.9	46.7	30.7	16.0	0.0068	-	2.54	0.35	1.05	29h	1.51	D.T.	118		
25		P-7		71.3	46.7	30.7	16.0	0.0097	-	2.69			24h	1.520	R.C.	320		
26													48h	1.516		330		
27		P-3	12.5~13.5	68.8	46.0	26.8	19.2	0.0072	-	2.69	0.65	1.5	29h	1.37	D.T.	180		
28		A-4	23.0~23.88	-	47.1	36.9	10.2	0.043	-	2.65	2.1	2.1	24h	1.52	D.T.	83		
29		A-5		-	53.2	33.3	19.9	0.038	-	2.63				2.1	1.42	R.C.	435	
30														4.2	1.26		740	
31		C-6	27.0~27.89	-	55.0	38.0	17.0	0.025	-	2.50				2.3	2.3	24h	1.89	D.T.
32											2.3	1.96					R.C.	367
33		C-7		-	58.2	37.7	20.5	0.019	-	2.51	4.6	1.62						596
34		13A-I-1	18.0~18.8	-	58.5	37.9	20.6	0.023	24.0	2.60	1.55	1.55	24h				1.38	D.T.
35		16B-II-5	22.0~22.85	-	65.2	47.9	17.3	0.024	21.0	2.59	1.8	1.8		1.67	R.C.		430	
36		16B-II-6		87.6	64.1	34.7	29.4	0.015	24.0	2.58				1.90	D.T.		190	
37		16B-III-6	25.0~25.85	73.3	65.3	36.9	28.4	0.023	22.0	2.60	2.5	2.5			1.77	D.T.	150	

表-1.2.1 (その2) 実験対象供試体の一覧 (正規圧密)

試 料 名				物 理 特 性					実 験 条 件					{G} r=10 ⁻⁶ (kg/cm ²)	備 考
Data No.	地点	供試体 No.	採取深度 (m)	(%) I _p	(%) 粒 度 (%)				(kg/cm ²) σ _v	(kg/cm ²) σ _m =σ _c	圧密 時間 T _c	e _c	試験 方法		
					礫	砂	シルト	粘土							
38	荒川 B	T 4-2	6.0 ~ 6.9	28	1	6	52	41	0.75	0.75	19 h	1.10	R. C.	455	首都高速道路公団： KE45 工区 (その 1) 地質調 査報告書，S 53.12
39		S 4-1	12.0 ~ 12.7	18	0	6	59	35	1.28	1.28	188h	1.08	R. C.	405	
40		S 4-3	22.0 ~ 22.86	19	0	5	56	39	2.07	2.07	213h	1.18	R. C.	615	
41	荒川 C	1-18	18.0 ~ 18.85	40.2	0	4.0	52.5	43.5	1.60	1.60	20 h	2.32	R. C.	305	同上：KE56 工区地質調査報告 書，S 53.12
42		1-30	30.0 ~ 30.38	54	0	1.0	33.5	65.5	2.4	2.4	20 h	2.08	R. C.	415	
43	浮島 B	No. 1	2.0 ~ 2.85	87.2*	0	-	-	-	0.025	0.1	15 h	3.08	R. C.	84.0	日本道路公団： 昭和 53 年度 東京湾横断道路 土質調査報告書 S 54.1
44		No. 4	5.0 ~ 5.9	84.7*	0	15**	34.5**	64.0**	0.18	0.18	15 h	3.18	R. C.	68.3	
45		No. 7	8.0 ~ 8.9	76.1*	0	10**	35.0**	64.0**	0.25	0.25	15 h	2.98	R. C.	148	
46		No. 10	11.0 ~ 11.9	66.5*	0	40**	32.0**	64.0**	0.37	0.37	15 h	2.92	R. C.	196	
47		No. 13	14.0 ~ 14.83	48 *	0	15**	36.0**	62.5**	0.50	0.50	16 h	2.50	R. C.	248	
48		No. 20	21.0 ~ 21.87	20 *	0	16.0**	38.0**	46.0**	0.90	0.90	6 h	1.10	R. C.	400	
49		No. 21	22.0 ~ 22.87	15.6*	0	16.0	38.0	46.0	0.97	0.97	6 h	1.20	R. C.	265	
50		No. 26	26.45 ~ 27.50	15.6*	0	10.0	61.0	29.0	1.35	1.35	15 h	1.12	R. C.	567	
51	荒川A	Z'-4	9.0 ~ 9.7	-	0	36.0	43.0	21.0	0.55	1.47	24 h	-	R. C.	655	

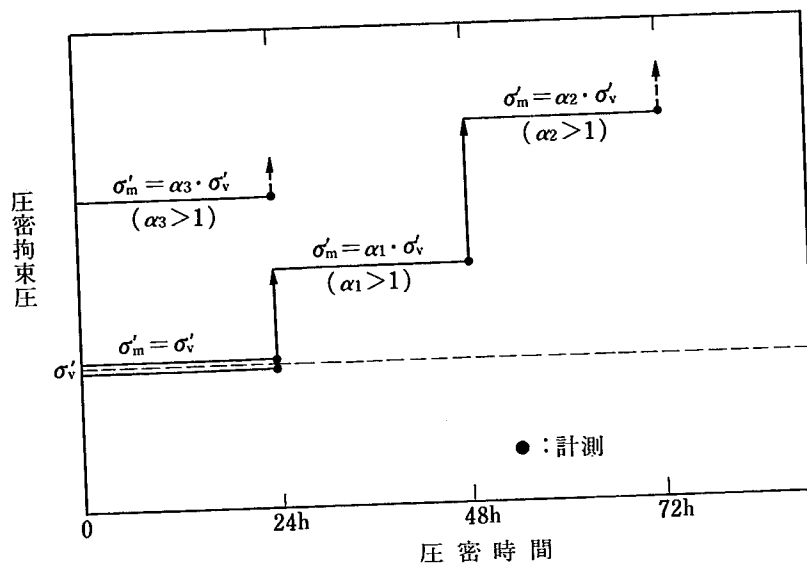


図 - 1.2. 5. 正規圧密 (N.C.) 実験の圧密概念図

1.2.3 過圧密 (Over Consolidation, O.C.)

過圧密の実験対象とした供試体は、表 - 1.2.2 の圧密条件 O.C. で示される供試体であり、浮島 A (6 供試体)、ポートアイランド (3 供試体) および千鳥町 (2 供試体) の計 11 供試体である。

ここで過圧密として取扱った供試体は、図 - 1.2.6 に示すように、原位置有効上載圧 σ'_v より小さい圧密圧力 σ'_m で圧密するかあるいは σ'_m で圧密 (圧密時間: T_{C1}) した後、 σ'_c に拘束圧を上げて圧密 (圧密時間: T_{C2}) した条件下のものである。共振法土質試験 (R.C.) で同一供試体に対して数段階の実験条件を与えているのは、正規圧密と同様に連続的に実験を行っているからであり、また、表 - 1.2.1 の供試体と重複しているのは、正規圧密 (N.C.) に引続いて過圧密の実験を行っていることを示す。

また、圧密時間 (T_{C1}) は 24 時間を標準としたが、実際においては $T_{C1} = 20.25 \sim 24h$ であり、圧密時間 (T_{C2}) は 24 時間あるいは 48 時間としている。

1.2.4 長期圧密 (Long-term Consolidation, L.C.)

長期圧密の実験対象とした供試体は、表 - 1.2.2 内の圧密条件 L.C. で示される供試体であり、ポートアイランド (3 供試体)、千鳥町 (4 供試体) および境川 (2 供試体) の 9 供試体である。

ここで定義する長期圧密とは、圧密時間 (T_{C1}) が 48 時間を越える場合とし、表 - 1.2.2 に示すように本報告では $T_{C1} = 4$ 日 ~ 62 日の圧密時間の設定を行った。また、圧密過程での力学特性の変化を把握するために、長期圧密を行っている供試体の $T_{C1} < 24 \sim 48$ 時間でのデータも L.C. として取扱っている。共振法土質試験 (R.C.) で同一供試体に対して数種の T_{C1} におけるデータが得られているのは、圧密を継続する過程で計測を実施していることを示す。

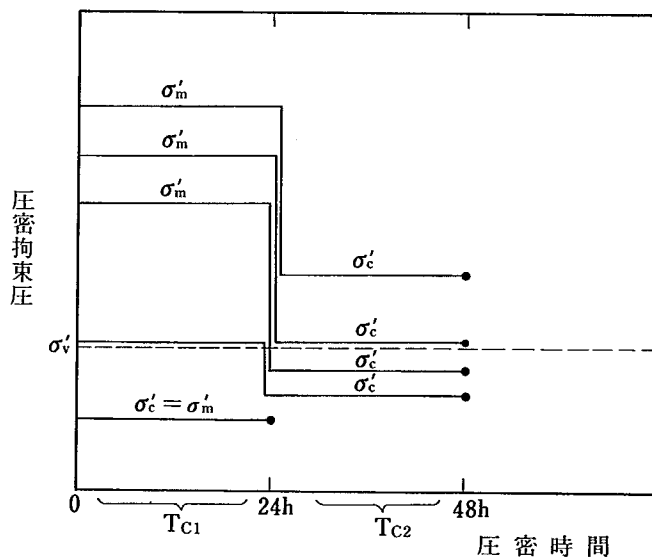


図 - 1.2.6 過圧密 (O.C.) 試験の圧密概念図

表 1.2.2 実験対象供試体の一覧 (過圧密, 長期圧密)

試料名				物理特性		実験条件										{G} r=10 ⁻⁶ または {G} r=10 ⁻³ (kg/cm ²)	
No.	地点	供試体 No.	採取深度 (m)	I _p (%)	D ₅₀ (mm)	σ' _v (kg/cm ²)	d _m (kg/cm ²)	T _{c1}	σ' _c (kg/cm ²)	T _{c2}	e _c	O.C.R.	圧密条件	試験方法			
1	浮島 A	U-10	15.0~15.8	4.69	0.0165	0.7	0.35	24h	0.35		2.99	20	** O.C.	D.T.	36.7		
2		U-15	27.0~27.4	2.15	0.025	1.25	0.6	20,28h	0.6		1.06	2.08			100.0		
3		U-16		2.23	0.028		0.35	20,25h	0.35		1.28	3.57			78.0		
4		U-18	5.0~5.4	4.14	0.012	0.25	0.25	2h	0.25		2.79		* N.C.	R.C.	95.0		
5							0.24h			2.77					100.0		
6							4.0	48h		24h	1.40	16.0			O.C.	54.0	
7							14h			3.21	2.0	O.C.			89.0		
8							48h			3.12	2.0				95.0		
9							4.9	24h		48h	2.03				14.0	37.0	
10		U-20	27.0~27.8	20.7	0.016	1.25	1.25	0.24h	1.25		1.18		N.C.		42.5		
11							4.9	48h		24h	1.05	3.92	O.C.		46.0		
12		ポートアイランド	P-2	6.5~7.8	16.0	0.0068	1.05	28日	1.05		1.77		** L.C.		D.T.	133	
13	P-5		2.55			24h	24h	1.77		2.43	Q.C.	175					
14	P-7		0.0095			0.35	1h	1.05		1.61		L.C.	R.C.	230			
15							0.24h			152				320			
16							15日			1.49				360			
17							28日			1.46				442			
18			4.9			24h	0.7	48h	1.08	7.0	O.C.	563					
19	P-1		12.5~13.5			192	0.0072	0.65	1.5	28日	1.5		1.42		L.C.	D.T.	220
20	P-6	3.75		24h	24h		1.48		25	O.C.		315					
21	千鳥町	A-5	23.0~23.8	19.9	0.038	2.1	2.1	0.24h	2.1		1.42		N.C.	R.C.	435		
22		C-7	27.0~27.89	20.5	0.019	2.3	4.2	24h		24h	1.30	2.0	O.C.		485		
23							2.3	0.24h	2.3		1.96		N.O.		367		
24							4.6	24h		24h	1.58	2.0	O.C.		515		
25		D-3	33.0~33.8	20.9	0.0044	2.5		14日	2.5		1.92		L.C.	D.T.	242		
26		D-4		20.4	0.0027			60日			1.99				310		
27		D-5		18.8	0.055			11日			1.94				420		
28								62日		2.5	1.87					514	
29							0.0	24h			24h	1.79	N.C.	R.C.	480		
30		D-6		23.6	0.040			4日			24h	1.81				445	
31							2.5	14日			1.81					445	
32	境川	13A-I-2	18.0~18.8	19.8	0.018	1.55	1.55	1.5h	1.55		1.40		N.C.	R.C.	470		
33								6h			1.38					440	
34								4日			1.36					690	
35		13A-I-5								7日		0.92		L.C.	D.T.	265	
36		16B-II-5	22.0~22.85	17.3	0.024	1.8	1.8	1h	1.6		1.83		290				
37								4h			1.71					360	
38								0.24h			1.67		N.C.	R.C.	430		
39		16B-III-7	25.0~25.85	27.6	0.028	2.5	2.5	1h	2.5		1.88				340		
40								4h			1.84					350	

(注) ○ ; 正規圧密試料の一覧表と重複
R.C. ; 共振法土質試験

* 正規圧密 ** 過圧密 *** 長期圧密
D.T. ; 振動三軸試験

2. 実験結果

2.1 正規圧密下の動的変形特性

2.1.1 低ヒズミ領域における動的変形特性

共振法土質試験から、せん断剛性率 (G) とせん断ヒズミ (γ) との関係、つまり、せん断剛性率のヒズミ依存性が得られるが、その一例を示したのが図-2.1.1である。同図に示すような離散的なデータをもとにして、図中に示すような平均的な変化特性曲線を描くことにより、 $\gamma = 10^{-6}$ でのせん断性率 (G_0 あるいは $\{G\}$ $\gamma = 10^{-6}$ とする) が推定できる。このように、本報告においては、 $\gamma = 10^{-6}$ でのせん断剛性率を低ヒズミ領域における基準せん断剛性率としているが、それは主として次のような理由による。

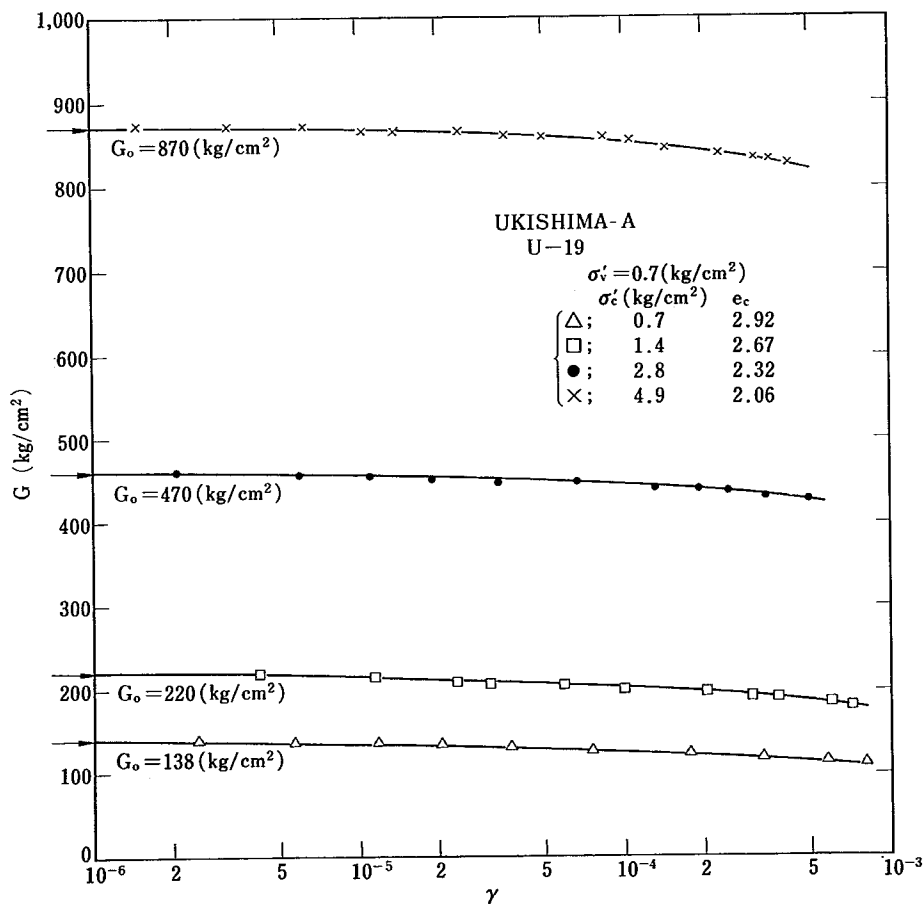


図 2.1.1 $G \sim \gamma$ の結果例 (浮島 A ; U-19)

① 通常、 $r \leq 10^{-6}$ の土は線形であり、せん断剛性率も一定であるとみなされており、 $r = 10^{-6}$ でのせん断剛性率が微小ヒズミでの土のせん断剛性率を代表する値として一般に用いられる。従って、原位置で実施されるPS検層の際、地盤に加えられるせん断ヒズミは高々 $r \leq 10^{-6}$ 程度であるため、PS検層から弾性論により推算されるせん断剛性率が、共振法土質試験等の室内試験から得られる $r = 10^{-6}$ 程度のせん断剛性率とほぼ同一のものであるとみなすことができ、原位置および室内試験の結果を相互比較する際の基準値としても $r = 10^{-6}$ のせん断剛性率を用いることができる。

② 土のせん断剛性率のヒズミ依存性に関する実験結果は、等価線形化法による土の非線形性を考慮した地盤の地震応答解析等において、地盤の非線形性を表わすデータとして用いられるのが通例であり²⁰⁾、そのためには、 $G \sim r$ よりむしろ $G/(G)r = 10^{-6} \sim r$ でせん断剛性率のヒズミ依存性を評価しておく方が汎用性が高い。

以上のように、本報告では実験の結果を基準化されたせん断剛性率 $G/(G)r = 10^{-6}$ のヒズミ依存特性に主眼を置いて整理し、検討・考察を加えることにする。

図-2.1.2～図-2.1.13は、表-1.2.1の供試体のうち、試験方法の分類がR.C. (共振法土質試験)である供試体の実験結果を $G/(G)r = 10^{-6} \sim r$ の関係で整理したものである。同図中の個々のデータ (せん断剛性率 G 、せん断ヒズミ r 、基準せん断剛性率 $(G)r = 10^{-6}$ 、基準化されたせん断剛性率 $G/(G)r = 10^{-6}$) は、「付属資料I、正規圧密下実験データ一覧」を参照されたい。

これらの離散的なデータに対して平均的な変化曲線を適宜描くことにより、或るせん断ヒズミ (r) に対する $G/(G)r = 10^{-6}$ の値が外挿的に推定できる。図-2.1.2～図-2.1.13の平均曲線を用いて、代表的なせん断ヒズミ ($r = 10^{-6}, 2 \times 10^{-6}, 5 \times 10^{-6}, 10^{-5}, 2 \times 10^{-5}, 5 \times 10^{-5}, 10^{-4}, 2 \times 10^{-4}, 5 \times 10^{-4}$) に対する $G/(G)r = 10^{-6}$ 値を求めた結果の一覧が表-2.1.1である。

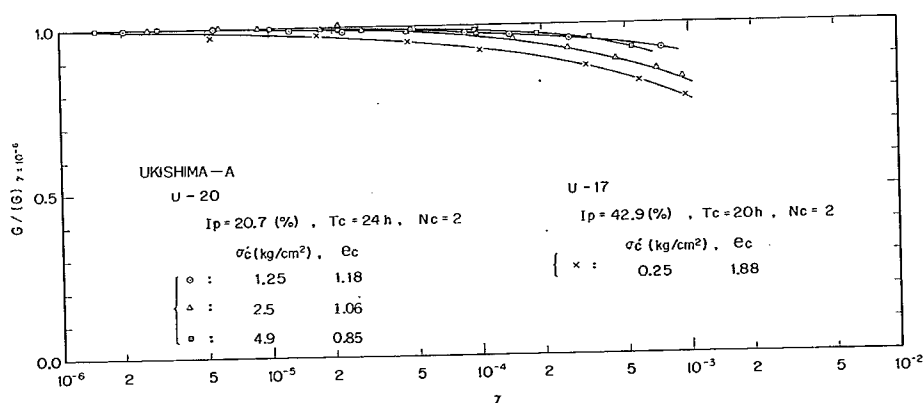


図-2.1.2 $G/(G)r = 10^{-6} \sim r$ (浮島A ; U-17, U-20)

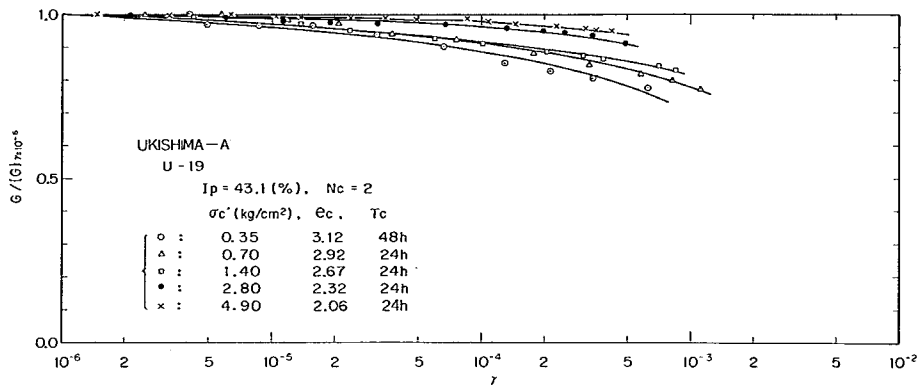


図-2.1.3 $G/(G)_{\gamma=10^{-6}} \sim \gamma$ (浮島A; U-19)

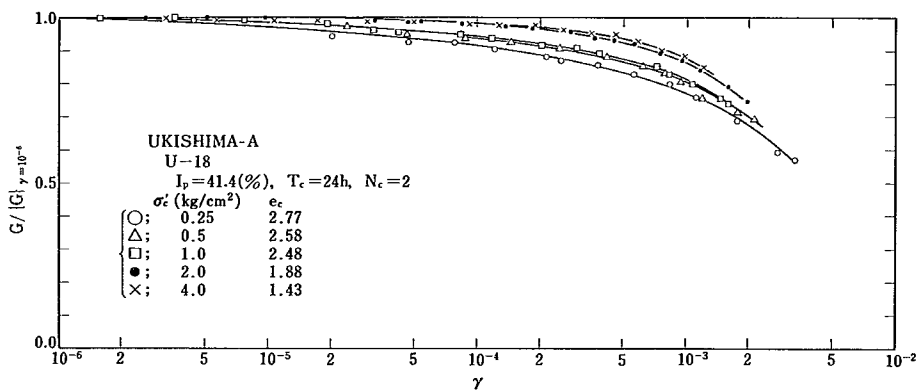


図-2.1.4 $G/(G)_{\gamma=10^{-6}} \sim \gamma$ (浮島A; U-18)

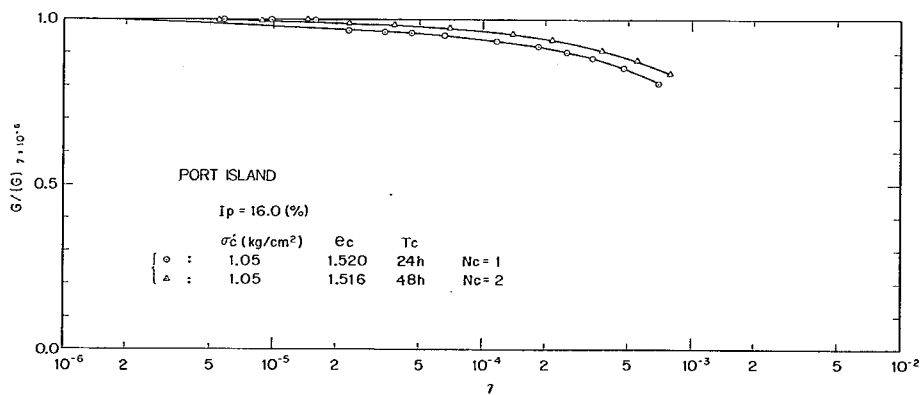


図-2.1.5 $G/(G)_{\gamma=10^{-6}} \sim \gamma$
(ポートアイランド; P-7)

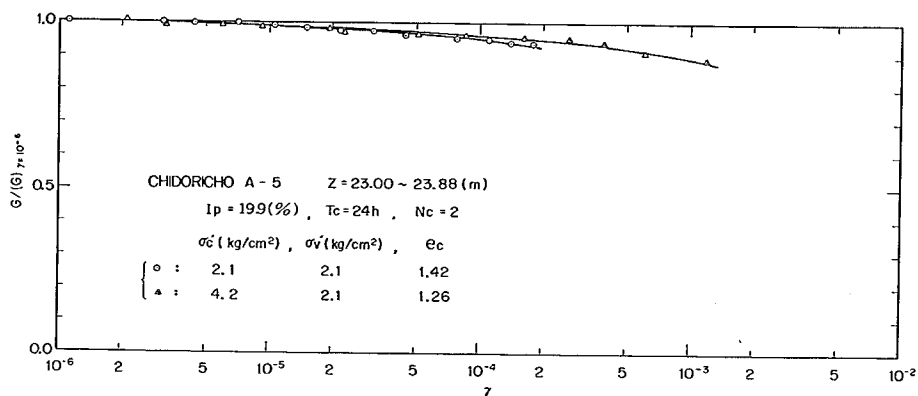


図 -2.1.6 $G/(G)_{\gamma=10^{-6}} \sim r$ (千鳥町 ; A-5)

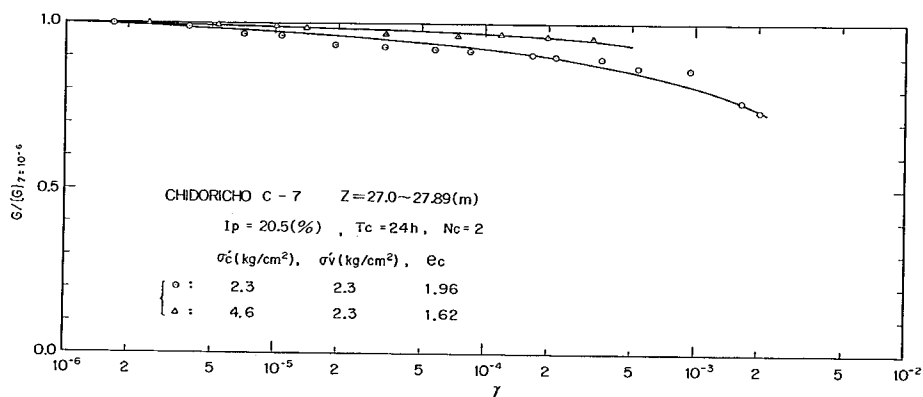


図 -2.1.7. $G/(G)_{\gamma=10^{-6}} \sim r$ (千鳥町 ; C-7)

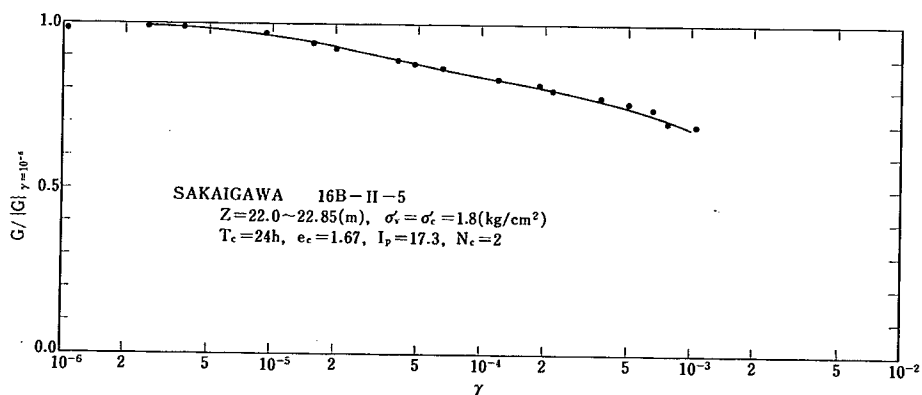


図 -2.1.8 $G/(G)_{\gamma=10^{-6}} \sim r$ (鏡川 ; 16B-II-5)

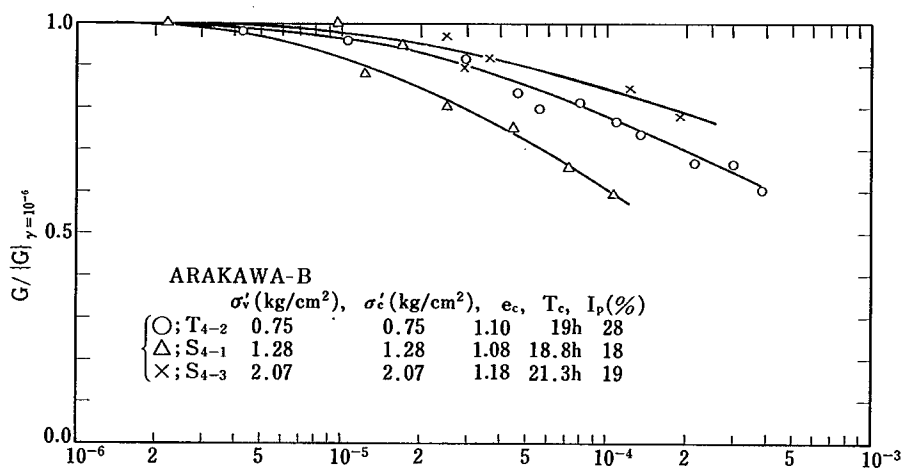


図 2.1.9 $G/|G| r=10^{-6} \sim r$ (荒川 B ; T₄₋₂, S₄₋₁, S₄₋₃)

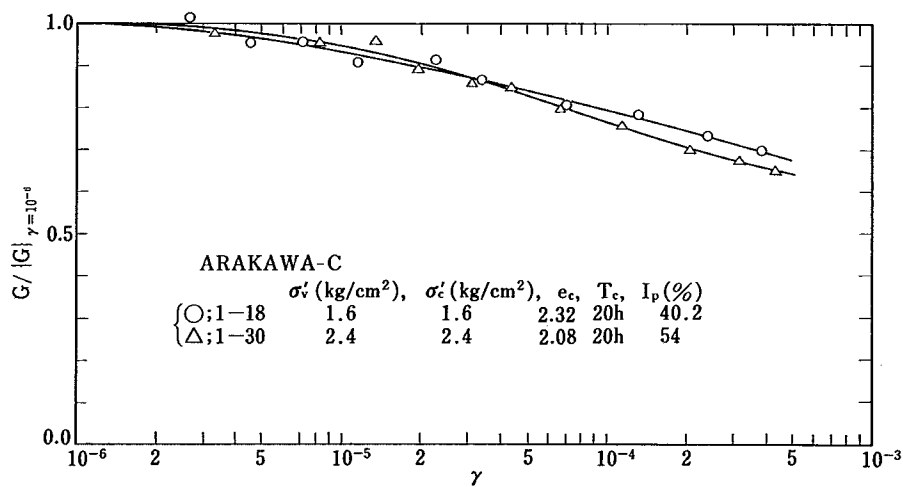


図 2.1.10 $G/|G| r=10^{-6} \sim r$ (荒川 C ; 1-18, 1-13)

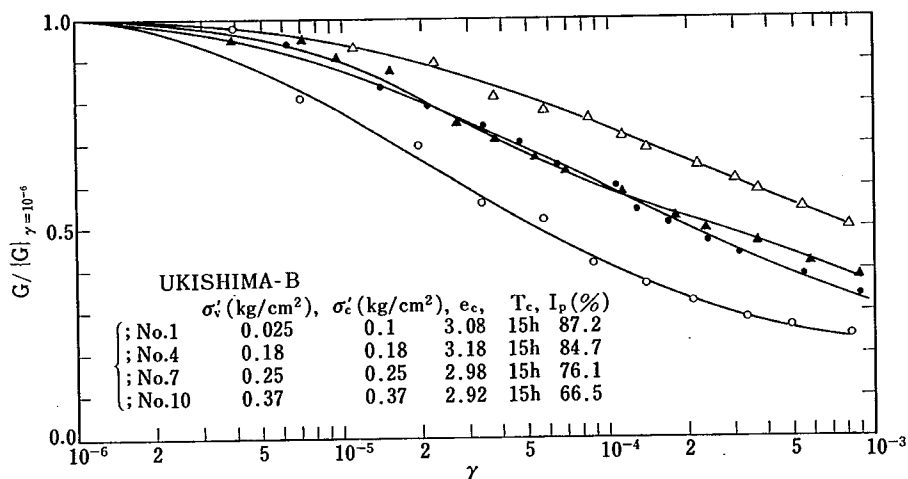


図 2.1.11 $G/|G|_{\gamma=10^{-6}} \sim \gamma$ (浮島 B ; № 1, № 4, № 7, № 10)

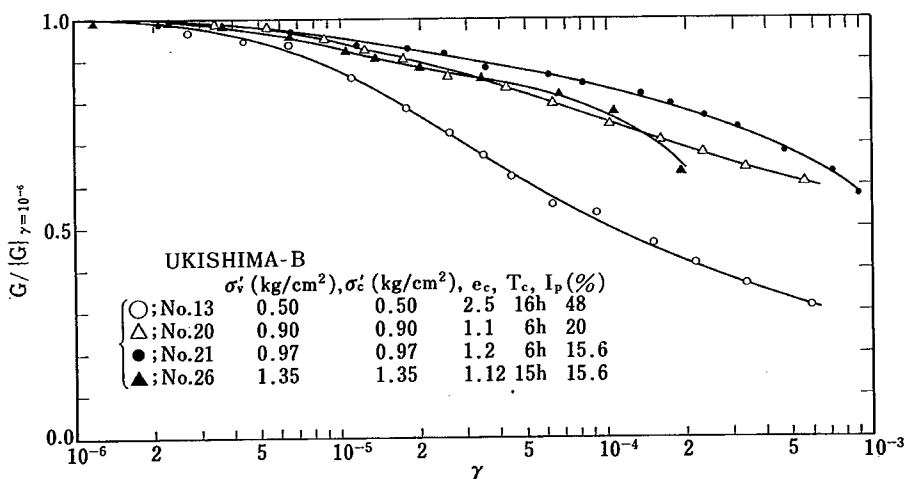


図 2.1.12 $G/|G|_{\gamma=10^{-6}} \sim \gamma$ (浮島 B ; № 13, № 20, № 21, № 26)

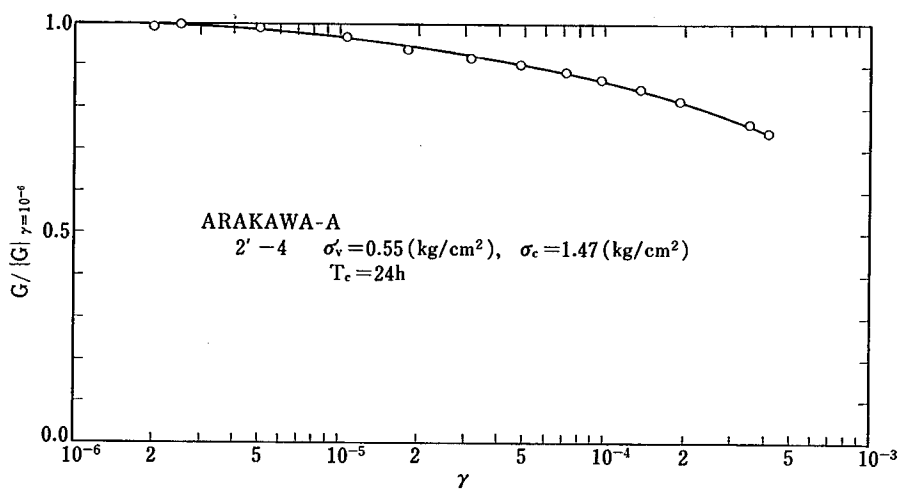


図-2.1.13 $G/|G|_{\gamma=10^{-6}} \sim \gamma$ (荒川A ; 2'-4)

表-2.1.1 (その1)

供試体 No.	(kg/cm ²) σ'_c	(%) I_p	e_c	G/[G] $r=10^{-6}$							
				$r=10^{-6}$	5×10^{-6}	10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}
U-17	* 0.25	42.9	1.88	1.00	0.988	0.981	0.972	0.952	0.928	0.898	0.838
U-18	* 0.25	41.4	2.77	1.00	0.980	0.969	0.958	0.937	0.916	0.887	0.834
	0.5		2.58	1.00	0.988	0.980	0.970	0.953	0.937	0.914	0.866
	1.0		2.48	1.00	0.992	0.985	0.976	0.960	0.945	0.922	0.875
	2.0		1.88	1.00	1.00	1.00	0.998	0.990	0.980	0.964	0.924
	4.0		1.43	1.00	1.00	1.00	0.998	0.992	0.983	0.970	0.936
U-19	* 0.7	43.1	2.92	1.00	0.985	0.973	0.960	0.935	0.914	0.886	0.833
	1.4		2.67	1.00	0.988	0.977	0.962	0.938	0.918	0.896	0.853
	2.8		2.32	1.00	0.993	0.990	0.985	0.974	0.963	0.946	0.908
	4.9		2.06	1.00	0.998	0.995	0.992	0.987	0.980	0.965	0.938
U-20	* 1.25	20.7	1.18	1.00	0.996	0.992	0.989	0.980	0.972	0.961	0.937
	2.5		1.06	1.00	0.995	0.991	0.987	0.978	0.964	0.937	0.882
	4.9		0.85	1.00	1.00	0.998	0.995	0.990	0.982	0.967	0.928
P-7	* 1.05	16.0	1.52	1.00	0.990	0.984	0.974	0.958	0.938	0.913	0.848
	1.05		1.52	1.00	0.998	0.995	0.990	0.978	0.963	0.938	0.880
A-5	* 2.1	19.9	1.42	1.00	0.994	0.988	0.980	0.967	0.950	0.927	—
	4.2		1.26	1.00	0.995	0.990	0.986	0.973	0.964	0.950	0.923
C-7	* 2.3	20.5	1.96	1.00	0.984	0.974	0.962	0.942	0.924	0.900	0.882
	4.6		1.62	1.00	0.995	0.990	0.988	0.978	0.970	0.958	0.951
16B-II-5	1.8	17.3	1.67	1.00	0.986	0.965	0.932	0.878	0.840	0.806	0.748

(その2)

供試体 No.	(kg/cm ²) σ'_c	割合 I_p	e_c	$G/\{G\} \quad r = 10^{-6}$								
				$r = 10^{-6}$	2×10^{-6}	5×10^{-6}	10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}
T 4-2	0.75	28	1.10	1.00	1.00	0.984	0.964	0.932	0.856	0.782	0.700	0.581
S 4-1	1.28	18	1.08	1.00	1.00	0.970	0.918	0.986	0.725	0.616	—	—
S 4-3	2.07	19	1.18	1.00	1.00	0.994	0.977	0.952	0.896	0.848	0.792	—
1-18	1.6	40.2	2.32	1.00	0.990	0.962	0.933	0.897	0.840	0.793	0.744	0.675
1-30	2.4	54.0	2.08	1.00	0.998	0.976	0.949	0.905	0.830	0.769	0.710	0.645
No. 1	0.1	87.2	3.08	1.00	0.970	0.882	0.781	0.663	0.511	0.412	0.332	0.255
No. 4	0.18	84.7	3.18	1.00	0.994	0.968	0.938	0.887	0.805	0.731	0.653	0.546
No. 7	0.25	76.1	2.98	1.00	0.982	0.933	0.874	0.803	0.692	0.595	0.500	0.388
No. 10	0.37	66.5	2.92	1.00	0.994	0.950	0.897	0.810	0.675	0.590	0.518	0.428
No. 13	0.50	48	2.50	1.00	0.990	0.942	0.869	0.765	0.606	0.504	0.422	0.336
No. 20	0.90	20	1.10	1.00	0.998	0.980	0.943	0.896	0.820	0.752	0.687	0.616
No. 21	0.97	15.6	1.20	1.00	0.992	0.972	0.952	0.926	0.877	0.836	0.784	0.681
No. 26	1.35	1.56	1.12	1.00	0.992	0.968	0.934	0.896	0.831	0.765	0.653	—
27-4	1.47	—	—	1.00	0.999	0.988	0.970	0.945	0.903	0.865	0.814	0.708

(注) * ;図 - 2.2.8において $\sigma'_m/\sigma'_c = 1.0$ のデータ

図-2.1.2～図-2.1.13の結果から、せん断ヒズミの増加に伴い $G/[G]r=10^{-6}$ 値が低減することが定性的にわかる。しかし、例えば、図2.1.3の結果をみれば圧密拘束圧 σ'_c の増加につれて、 $G/[G]r=10^{-6}$ 値の低減する程度が緩慢となることが知られるように、せん断ヒズミ以外の条件によっても $G/[G]r=10^{-6} \sim r$ 関係が変わってくるのが推定される。そこで、本報告では $G/[G]r=10^{-6} \sim r$ 関係に対する影響因子として、①圧密拘束圧 σ'_c 、②塑性指数 I_p および③圧密時間ゲキ比 e'_c の3つを取り上げ、個々の因子の影響あるいはこれらの因子を組み合わせた場合の影響について検討を加え、 $G/[G]r=10^{-6} \sim r$ 関係の定性的評価および定量的評価を行なった。

本報告で行った定量的評価の方法は、表-2.1.1のように整理したデータを用いて、各せん断ヒズミ(γ_i)毎に影響因子と $G/[G]r=10^{-6}$ 値の関係を調べ、その定性的傾向をもとにして平均的な変化特性を想定して定量的評価を行うのを基本としている。

図-2.1.14(A)～(G)、図-2.1.15(A)～(G)および図-2.1.16(A)～(G)は、せん断ヒズミ $\gamma_i=5 \times 10^{-6}$ 、 10^{-5} 、 2×10^{-5} 、 5×10^{-5} 、 10^{-4} 、 2×10^{-4} および 5×10^{-4} において、 σ'_c 、 I_p および e'_c の各因子と $G/[G]r=10^{-6}$ 値との関係を整理したものである。

図-2.1.14(A)～(G)から、どのヒズミにおいても実験時拘束圧 σ'_c が小さくなる程 $G/[G]r=10^{-6}$ の値が小さくなる($G/[G]r=10^{-6}$ の値の低限の度合いが大きい)ことがわかる。また、せん断ヒズミが増加する程 $G/[G]r=10^{-6}$ の値が小さくなるのは図-2.1.2～図-2.1.13の結果からも明白である。

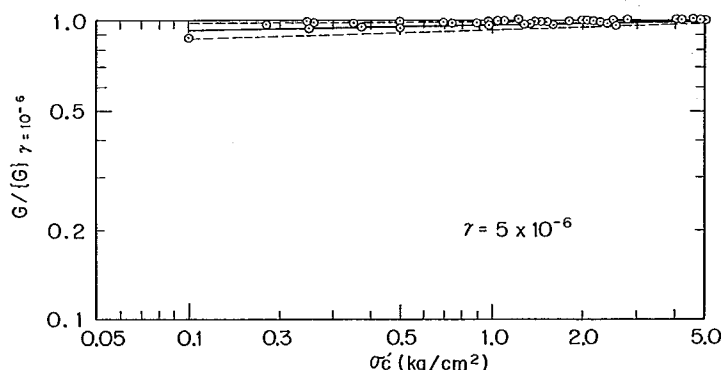


図-2.1.14(A) $G/[G]r=10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($r=5 \times 10^{-6}$)

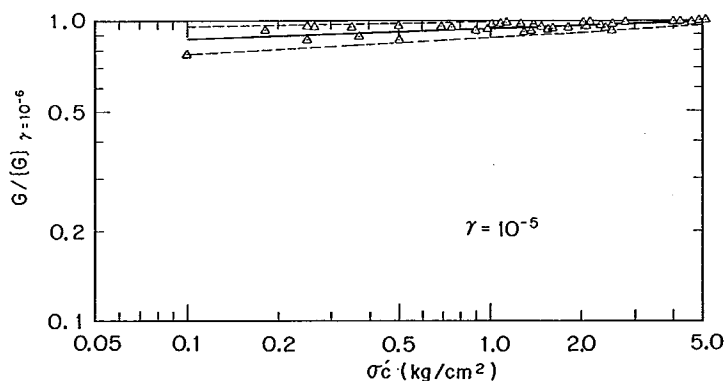


図-2.1.14(B) $G/[G]r=10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($r=10^{-5}$)

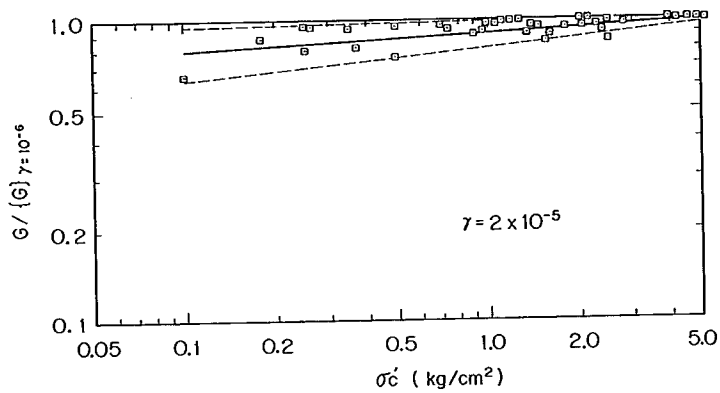


図 - 2.1.14(C) $G/\{G\} \gamma = 10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)

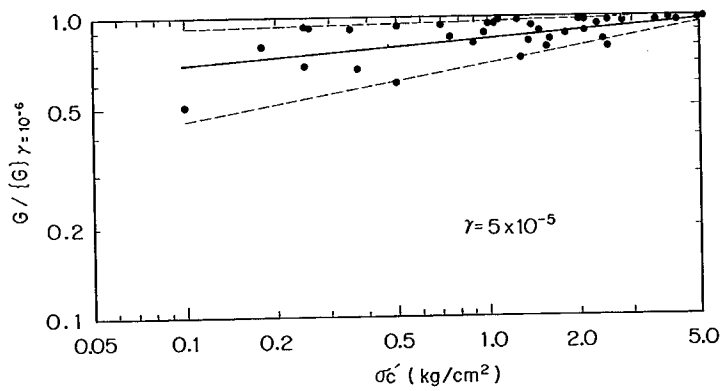


図 - 2.1.14(D) $G/\{G\} \gamma = 10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-5}$)

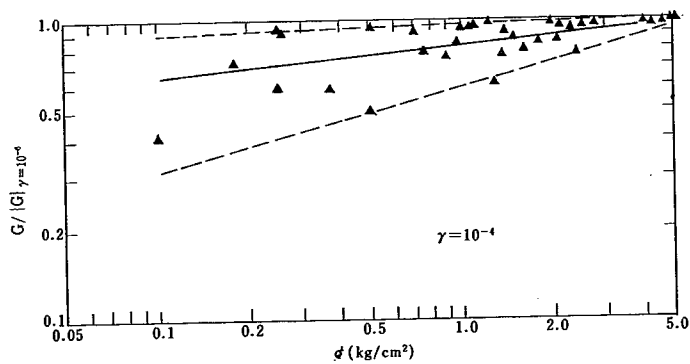


図 - 2.1.14(E) $G/\{G\} \gamma = 10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 10^{-4}$)

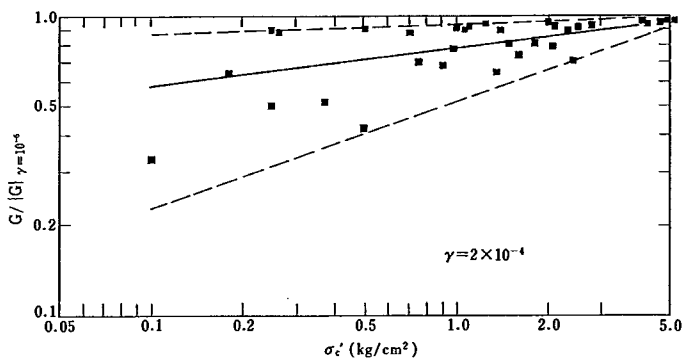


図-2.1.14(F) $G/[G] \gamma = 10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-4}$)

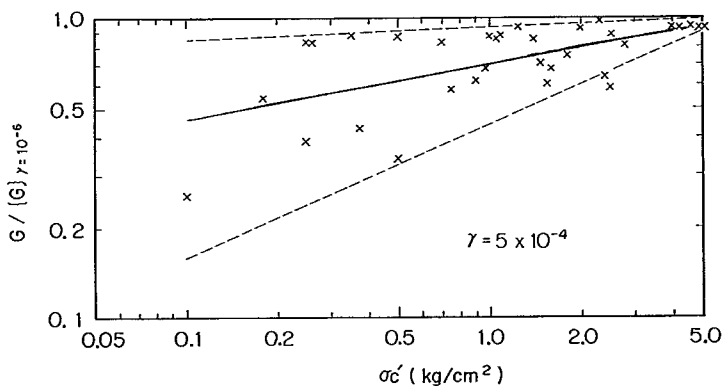


図-2.1.14(G) $G/[G] \gamma = 10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-4}$)

図-2.1.15(A)~図-2.1.15(G)は I_p の影響を示しているが、どのヒズミにおいても I_p が大きい程 $G/[G] \gamma = 10^{-6}$ の値が小さくなっている。この傾向は善等²¹⁾の結果と逆であり、現在のところ原因は明らかでない。

図-2.1.16(A)~(G)は e_c の影響を整理したものであるが、同図から明らかなように、 e_c の増加に伴い $G/[G] \gamma = 10^{-6}$ の値が小さくなる。

以上は、個々の因子が $G/[G] \gamma = 10^{-6}$ の値に及ぼす影響を定性的に捕えたものであるが、これらの傾向を踏えて定量的評価を行うために、図-2.1.14、図-2.1.15および図-2.1.16の図中に示すように平均曲線を想定した。従って、平均曲線は因子 σ'_c 、 I_p および e_c に応じて、各々(2.1.1)式、(2.1.2)式および(2.1.3)式の型与えられる。

$$\left[G/[G] \gamma = 10^{-6} \right]_{\sigma'_c} = f(\sigma'_c) = A \cdot \sigma'_c{}^B \quad \dots\dots\dots (2.1.1)$$

$r=r_i$

$$\left[G/[G] \gamma = 10^{-6} \right]_{I_p} = G(I_p) = a \cdot 10^b (I_p/100) \dots\dots\dots (2.1.2)$$

$r=r_i$

$$\left[G/(G) r = 10 \right]_{e_c} = H(e_c) = c \cdot 10^{d \cdot e_c} \quad \dots\dots\dots (2.1.3)$$

$$r = r_i$$

ここに、定数 A, B, a, b, c および d はヒズミ毎に決まる。

σ'_c : 実験時拘束圧 (kg/cm²)

I_p : 塑性指数 (%)

e_c : 動的载荷時間ゲキ比

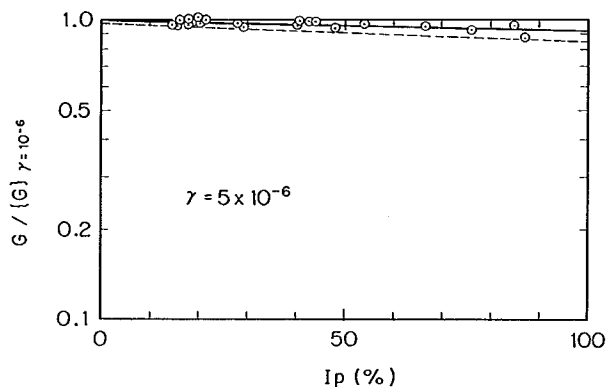


図 -2.1.15(A) $G/(G) r = 10^{-6} \sim I_p$ ($r = 5 \times 10^{-6}$)

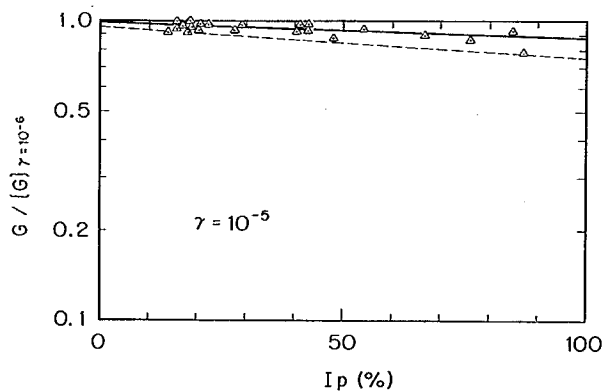
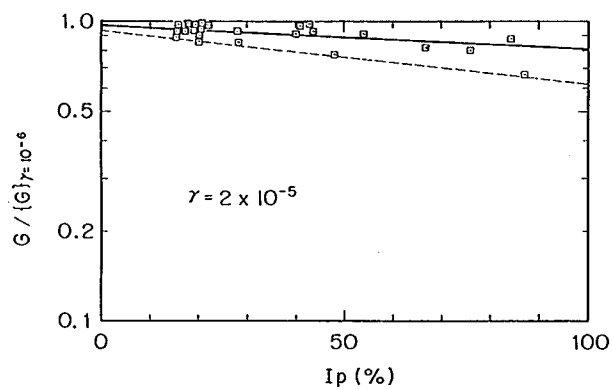
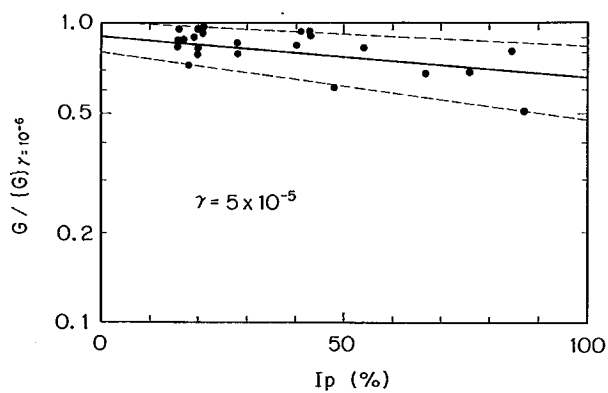


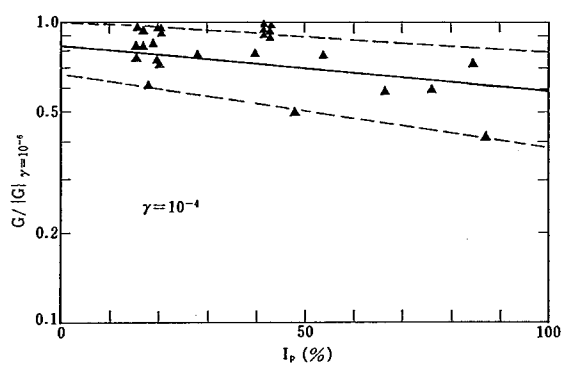
図 -2.1.15(B) $G/(G) r = 10^{-6} \sim I_p$ ($r = 10^{-5}$)



⊠ - 2.1.15(C) $G / \{G\} \gamma = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)



⊠ - 2.1.15(D) $G / \{G\} \gamma = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 5 \times 10^{-5}$)



⊠ - 2.1.15(E) $G / \{G\} \gamma = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 10^{-4}$)

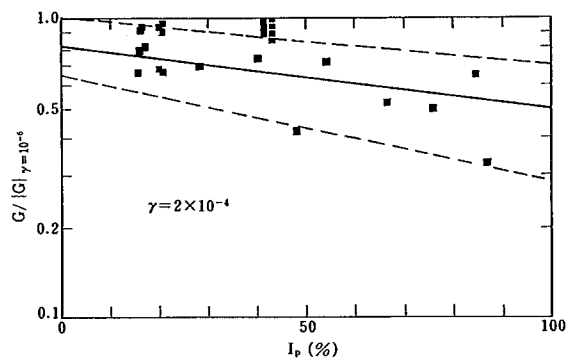


図-2.1.15(F) $G/\{G\} \gamma=10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma=2 \times 10^{-4}$)

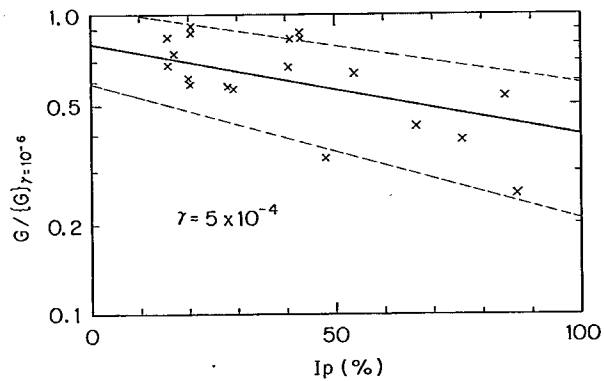


図-2.1.15(G) $G/\{G\} \gamma=10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma=5 \times 10^{-4}$)

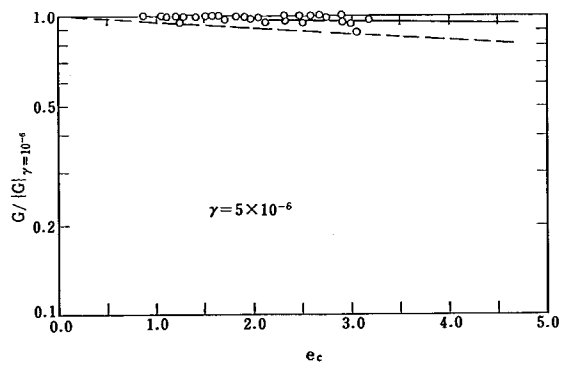


図-2.1.16(A) $G/\{G\} \gamma=10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma=5 \times 10^{-6}$)

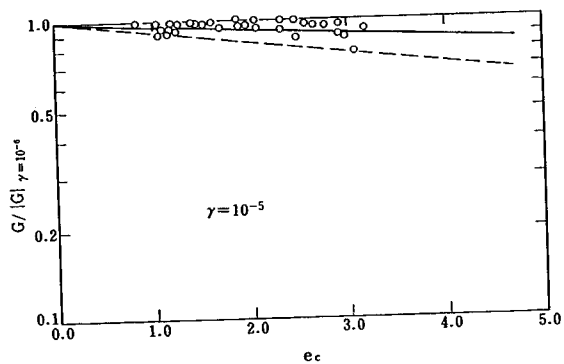


图 -2.1.16(B) $G/\{G\} \gamma = 10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 10^{-5}$)

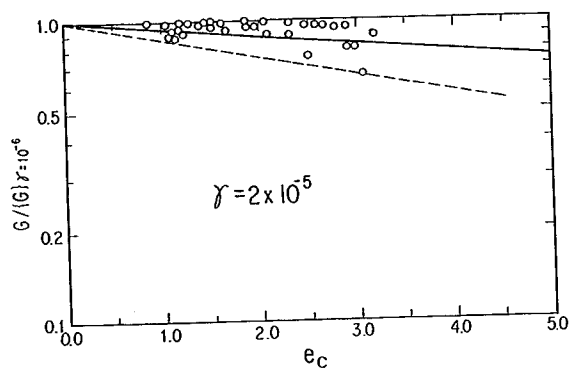


图 -2.1.16(C) $G/\{G\} \gamma = 10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)

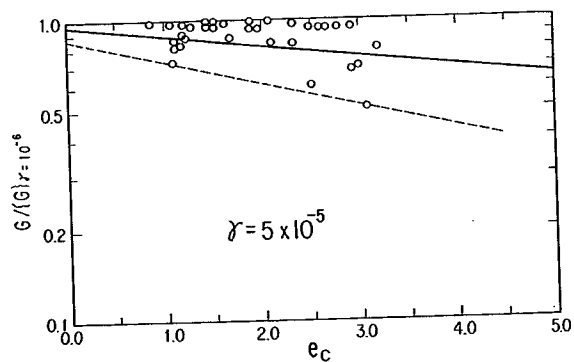


图 -2.1.16(D) $G/\{G\} \gamma = 10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-5}$)

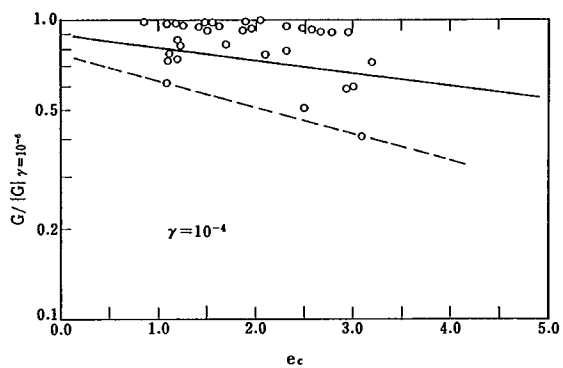


图 2.1.16(E) $G/|G| r = 10^{-6} \sim e_c$ ($r = 10^{-4}$)

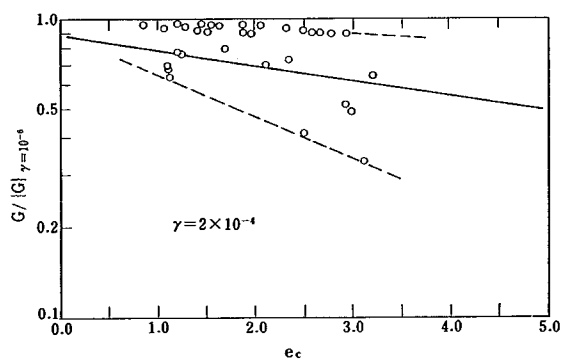


图 2.1.16(F) $G/|G| r = 10^{-6} \sim e_c$ ($r = 2 \times 10^{-4}$)

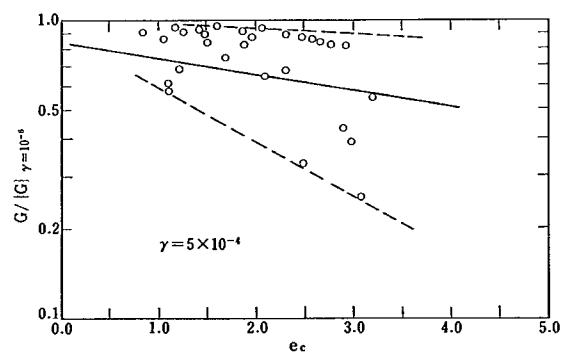


图 2.1.16(G) $G/|G| r = 10^{-6} \sim e_c$ ($r = 5 \times 10^{-4}$)

図-2.1.17, 図-2.1.18および図-2.1.19は, 各々, σ'_c , I_p および e_c の因子毎に, 図-2.1.14~16で想定した平均曲線を決定するための $G/(G)r=10^{-6}$ の代表値をヒズミに対応して整理したものである。つまり, 図-2.1.17では, 想定曲線の $\sigma'_c = 0.1$ および 5.0 (kg/cm^2) における $G/(G)r=10^{-6}$ 値を, 図-2.1.18では $I_p = 0$ および 100 (%) における $G/(G)r=10^{-6}$ 値を, また, 図-2.1.19では $e_c = 0.0$ および 5.0 における $G/(G)r=10^{-6}$ 値を与えている。代表的なヒズミ値における $G/(G)r=10^{-6}$ 値をもとにして, 図-2.1.17, 図-2.1.18および図-2.1.19に示すように変化曲線を設定すれば, 任意のヒズミに対する2組の $G/(G)r=10^{-6}$ 値が得られ (2.1.1) ~ (2.1.3) 式での定数を決定することができる。

代表的なヒズミ値に対して, (2.1.1) ~ (2.1.3) 式中の定数を求めた結果を表-2.1.2に示す。同表中で推算式の適用範囲は, 用いた実験データの範囲を踏えて決めている。

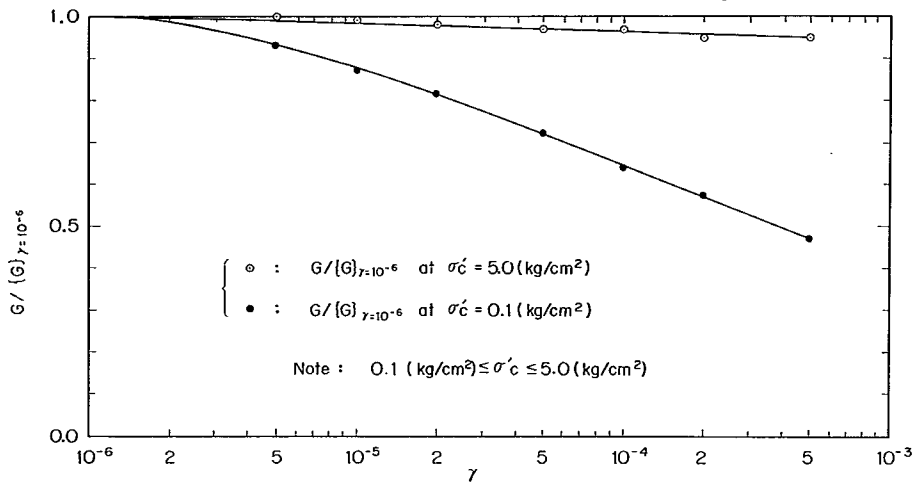


図-2.1.17 (2.1.1) 式の定数A, Bを決定するための代表値

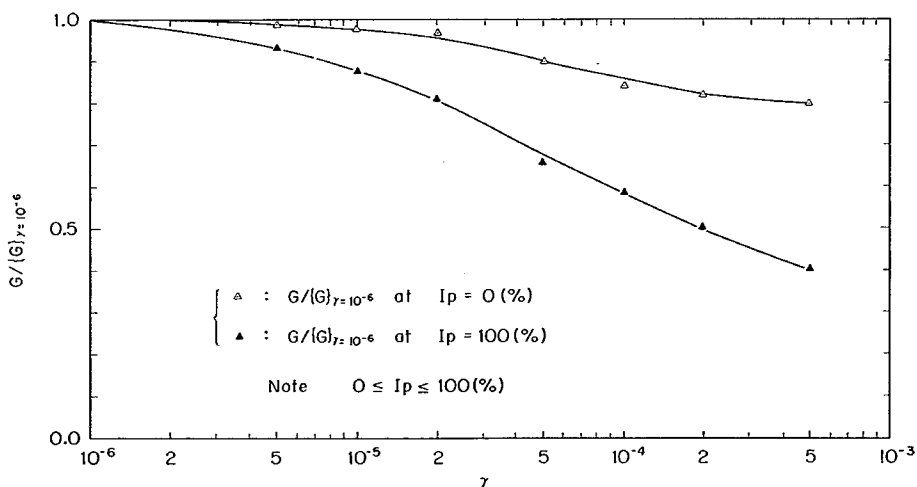


図-2.1.18 (2.1.2) 式の定数a, bを決定するための代表値

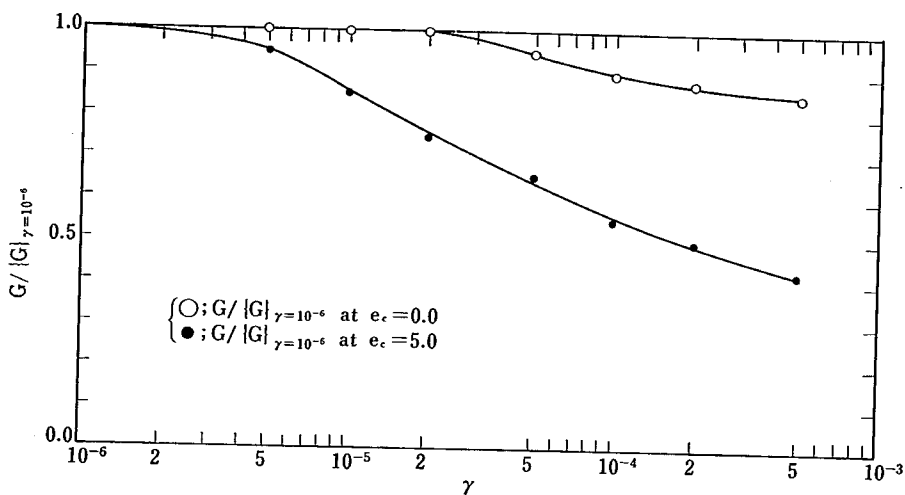


図 - 2.1.19 (2.1.3) 式の定数 c, d を決定するための代表値

表 - 2.1.2 定数 A, B, a, b, c および d の代表値一覧

r	$f(\sigma'_c) = A \cdot d_c B$ $r = r_i$		$G(I_p) = a \cdot$ $r = r_i$ $10^b \cdot (I_p/100)$		$H(e_c) = C \cdot 10^d \cdot e_c$ $r = r_i$		$g_1(I_p)_c$ $r = r_i$ $= C \cdot 10^D \cdot (I_p/100)$	
	A	B	a	b	c	d	C	D
2×10^{-6}	0.991	0.00258	0.999	-0.0101	1.000	-0.00087	1.000	0.000
5×10^{-6}	0.965	0.0160	0.990	-0.0272	1.000	-0.00446	1.000	0.000
10^{-5}	0.938	-0.0275	0.975	-0.0470	1.000	-0.0141	1.000	0.000
2×10^{-5}	0.908	-0.0443	0.955	-0.0742	1.000	-0.0250	1.018	-0.0253
5×10^{-5}	0.863	-0.0727	0.900	-0.125	0.950	-0.0357	1.046	-0.0654
10^{-4}	0.820	0.101	0.855	-0.169	0.900	-0.0428	1.095	-0.131
2×10^{-4}	0.780	0.129	0.820	-0.219	0.875	-0.0504	1.158	-0.212
5×10^{-4}	0.705	0.185	0.800	-0.301	0.850	-0.0552	1.292	-0.371
適用範囲	$\sigma'_c = 0.1 \sim 5.0$ (kg/cm^2)		$I_p = 0 \sim 100(\%)$		$e = 0.50 \sim 3.50$		$I_p = 30 \sim 100(\%)$ *	

* ; $g_1(I_p) = 1.00$ for $I_p = 0 \sim 30(\%)$

以上は、個々の因子に関する $G/\{G\}r=10^{-6} \sim r$ 関係の定量的評価を行ったものであるが、次に、これらの因子を組合わせた場合の定量的評価について検討する。

(推定法A) 実験時拘束圧 σ'_c と間ゲキ比 e_c を考慮した場合

実験時拘束圧 σ'_c を考慮した $G/\{G\}r=10^{-6} \sim r$ 関係は (2.1.1) 式の $f(\sigma'_c)$ で近似できることを示したが、この関係に間ゲキ比 e_c の影響を加味するために、(2.1.4) 式で定義される $G/\{G\}r=10^{-6}$ の推定値 $f(\sigma'_c)$ に対する $G/\{G\}r=10^{-6}$ の実測値の比 $(h_1(e_c))$ と間ゲキ比 e_c の関係を調べた。

$$h_1(e_c) = \left[G/\{G\}r=10^{-6} \right]_{\text{measured}} / f(\sigma'_c) \dots\dots\dots (2.1.4)$$

$r=r_i$

図-2.1.20(A)~(G)は、各々、せん断ヒズミの代表値 $r=5 \times 10^{-6}$, 10^{-5} , 2×10^{-5} , 5×10^{-5} , 10^{-4} , 2×10^{-4} および 5×10^{-4} における間ゲキ比 e_c の影響を示す。同図から特に e_c による影響はみられておらず、(2.1.4) 式の値は e_c およびせん断ヒズミの大きさは左右されず 1.0 と考えて差支えないと思われる。従って、(2.1.5) 式が成立つ。

$$\left[G/\{G\}r=10^{-6} \right]_{\text{measured}} / f(\sigma'_c) = h_1(e_c) = 1.0 \dots\dots\dots (2.1.5)$$

$r=r_i$ $r=r_i$

以上から、実験時拘束圧 σ'_c と間ゲキ比 e_c を考慮した場合の $G/\{G\}r=10^{-6}$ の推定値は (2.1.6) 式〔(2.1.1) 式と同型〕で表わされる。

$$\left[G/\{G\}r=10^{-6} \right]_{\sigma'_c} = f(\sigma'_c) = A \cdot \sigma'_c{}^B \dots\dots\dots (2.1.6)$$

$r=r_i$

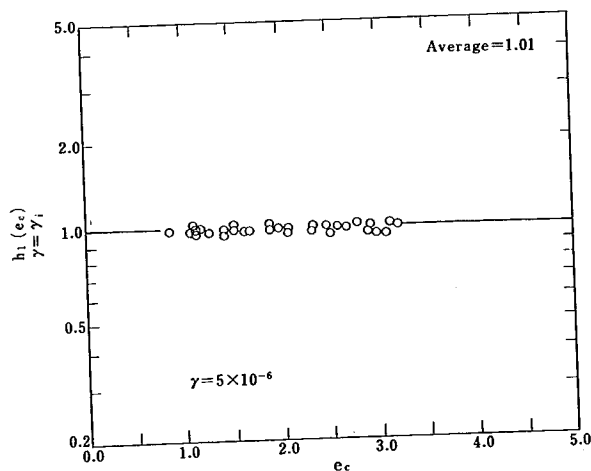
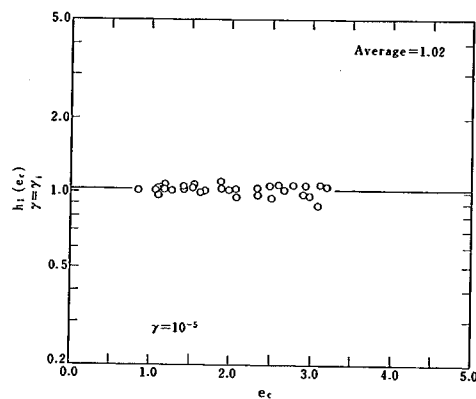
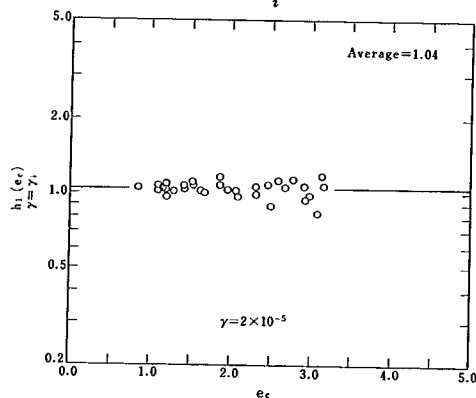


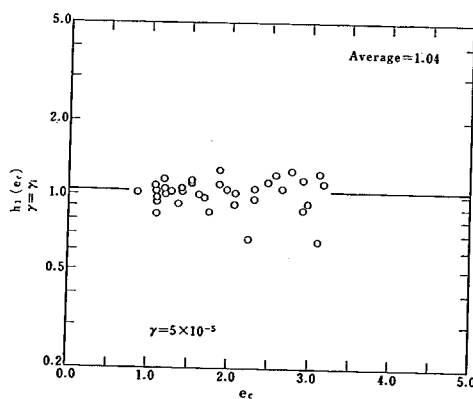
図-2.1.20(A) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($r=5 \times 10^{-6}$)
 $r=r_i$



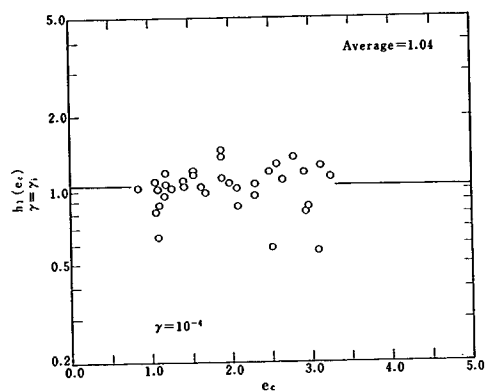
☒ - 2.1.20(B) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($r=10^{-5}$)
 $r=r_i$



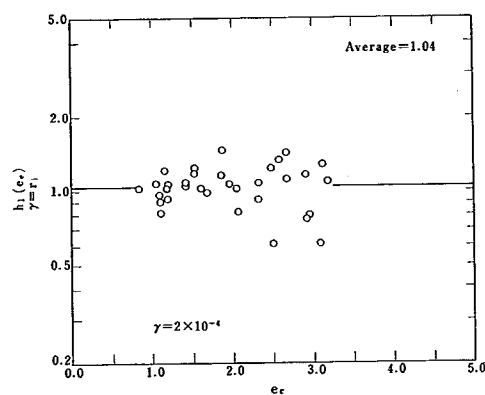
☒ - 2.1.20(C) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($r=2 \times 10^{-5}$)
 $r=r_i$



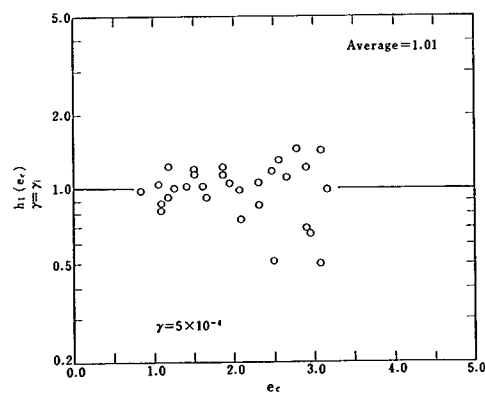
☒ - 2.1.20(D) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($r=5 \times 10^{-5}$)
 $r=r_i$



☒ - 2. 1.20 (E) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 10^{-4}$)
 $\gamma = \gamma_i$



☒ - 2. 1.20 (F) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-4}$)
 $\gamma = \gamma_i$



☒ - 2. 1.20 (G) $h_1(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-4}$)
 $\gamma = \gamma_i$

推定式を仮定する場合、実測値に対する推定値の近似度が問題となるが、図-2.1.21は(2.1.6)式による推定値と実測値との関係を $r = 2 \times 10^{-5}$ 、 10^{-4} および 5×10^{-4} の場合を例にとり示したものである。

また、(2.1.6)式および表-2.1.2を用いて、 $\sigma'_c = 0.1, 0.25, 1.0, 2.5$ および 5.0 (kg/cm^2)の場合について $G/(G)r = 10^{-6} \sim r$ 関係の推算例を図-2.1.22に示す。

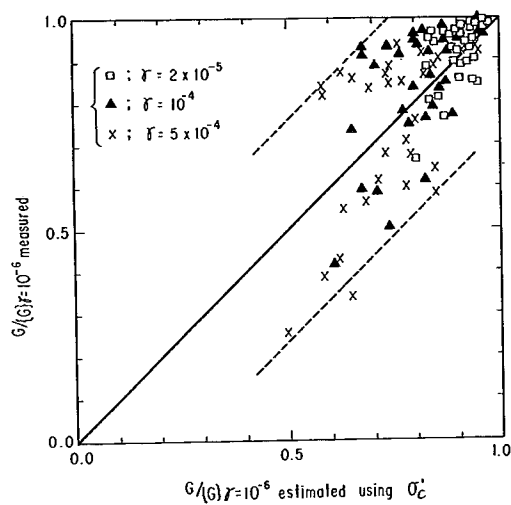


図-2.1.21 $G/(G)r = 10^{-6}$ の実測値と σ'_c を考慮した推定値との比較図

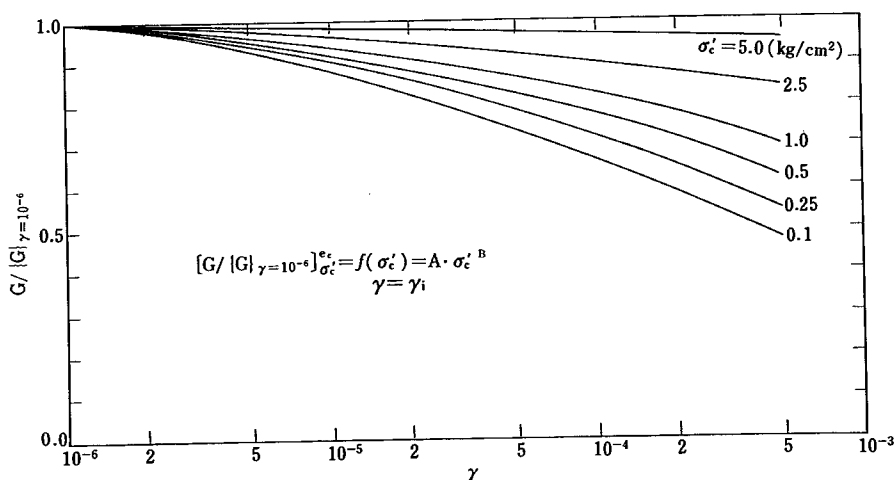


図-2.1.22 σ'_c を考慮した推定式による推定例

(推定法B) 実験時拘束圧 σ'_c 、塑性指数 I_p および間ゲキ比 e_c を考慮した場合

実験時拘束圧 σ'_c を考慮した $G/(G)\gamma=10^{-6} \sim \gamma$ 関係の近似式 (2.1.1) に対する塑性指数 I_p の影響を調べるために、(2.1.1) 式で定義される $G/(G)\gamma=10^{-6}$ の推定値 $f(\sigma'_c)$ に対する $G/(G)\gamma=10^{-6}$ の実測値の比 $g_1(I_p)$ と塑性指数 I_p との関係を示したのが図-2.1.23 (A)~(G)である。

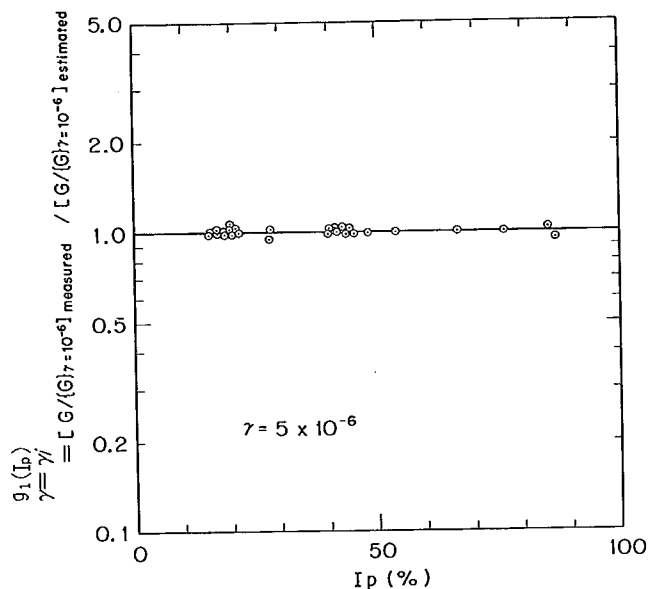


図-2.1.23(A) $g_1(I_p) \sim I_p$ ($r=5 \times 10^{-6}$)
 $r=r_i$

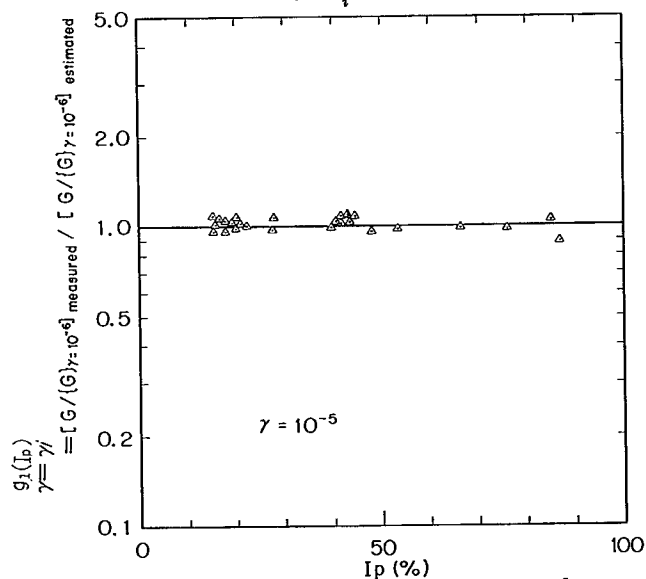
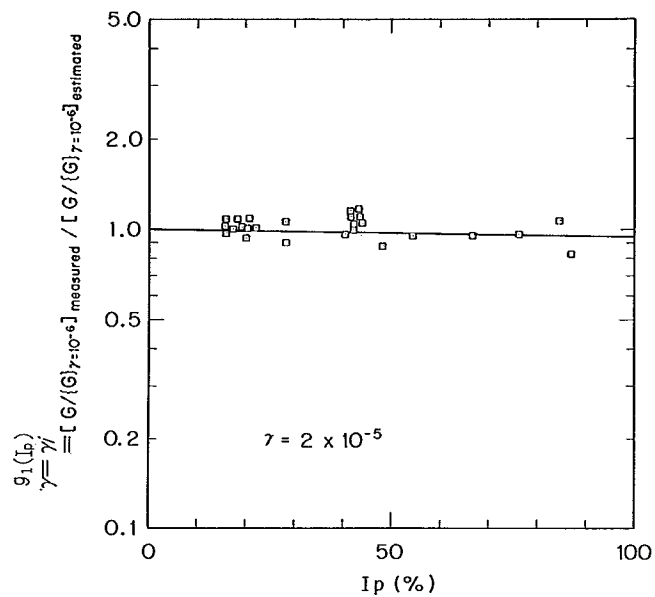
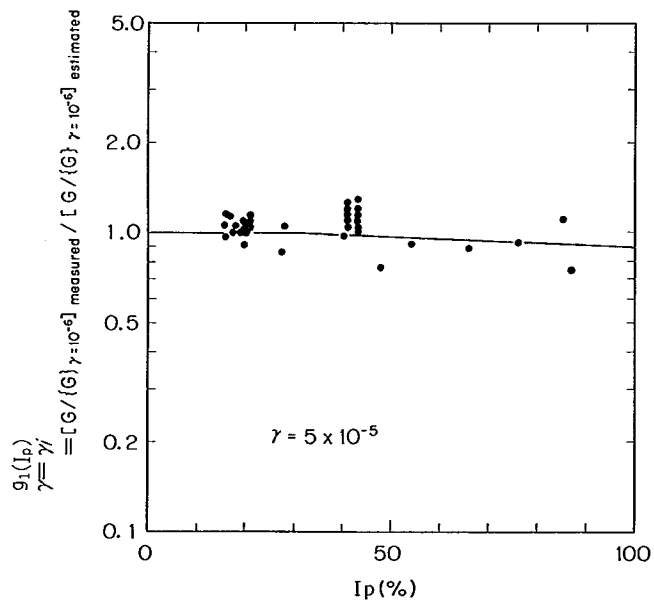


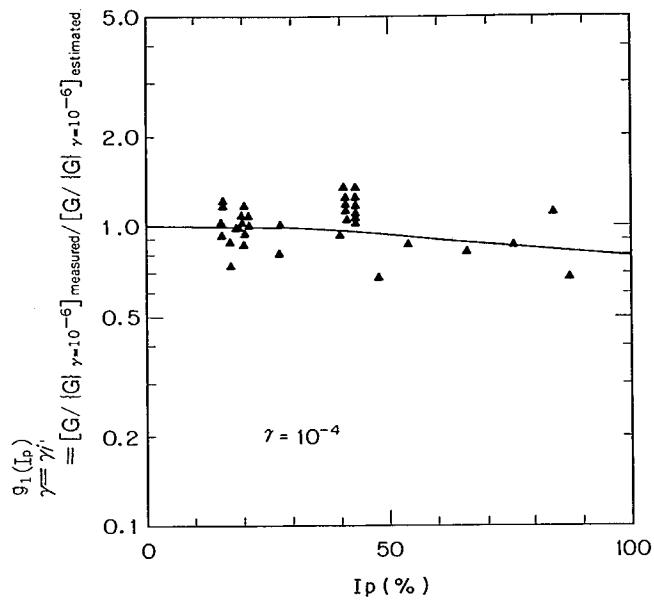
図-2.1.23(B) $g_1(I_p) \sim I_p$ ($r=10^{-5}$)
 $r=r_i$



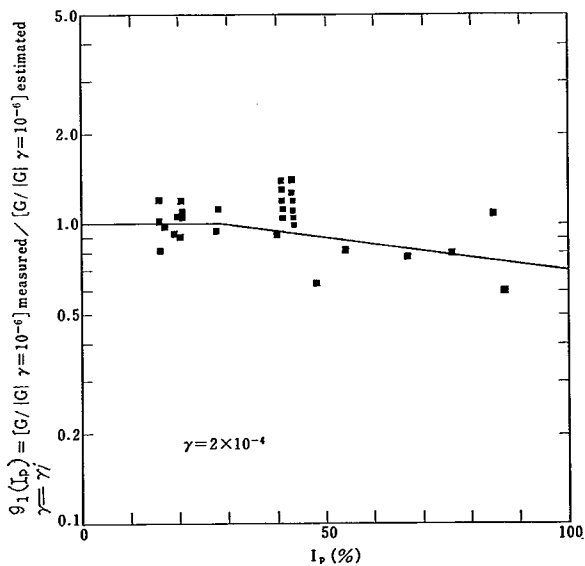
⊠ - 2. 1.23 (C) $\frac{g_1(I_p)}{r=r_i} \sim I_p$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)



⊙ - 2. 1.23 (D) $\frac{g_1(I_p)}{r=r_i} \sim I_p$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)



☒ - 2. 1. 23 (E) $g_1(I_p) \sim I_p$ ($\gamma = 10^{-4}$)
 $\tau = \tau_i$



☒ - 2. 1. 23 (F) $g_1(I_p) \sim I_p$ ($\gamma = 2 \times 10^{-4}$)
 $\tau = \tau_i$

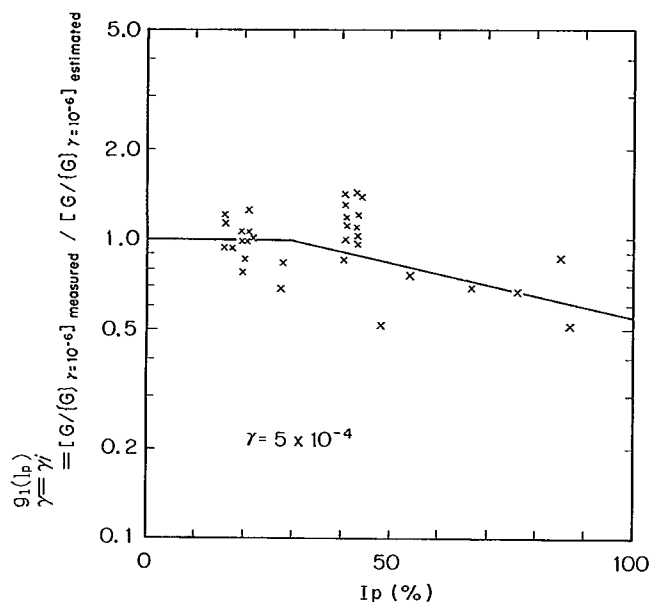


図-2.1.23(G) $g_1(I_p) \sim I_p$ ($r = 5 \times 10^{-4}$)
 $r = r_i$

$$g_1(I_p) = \left[\frac{G}{(G)} r = 10^{-6} \right]_{\text{measured}} / f(\sigma'_c) \quad (2.1.7)$$

$r = r_i$

これらの図から、ヒズミ (r) が大きくなるに伴い、 I_p の影響が出てくることが知られる。つまり、 I_p の増加に従って、(2.1.7) 式で定義される $g_1(I_p)$ が小さくなる。このような傾向を踏えて図中に示す平均変化曲線を設定したが、 $I_p \leq 30$ (%) および $I_p = 100$ (%) における $g_1(I_p)$ の値を要約したのが図 2.1.24 である。また、設定した代表曲線は (2.1.8) 式で表わされる。
 $r = r_i$

$$g_1(I_p) = \left[\frac{G}{(G)} r = 10^{-6} \right] / f(\sigma'_c) \quad \begin{cases} = 1.0 & [0\% \leq I_p \leq 30\%] \\ = C \cdot 10^{D(I_p/100)} & [30\% \leq I_p \leq 100\%] \end{cases} \quad (2.1.8)$$

ここに、定数 C , D はヒズミ (r) の大きさに応じて決まる値であり、図-2.1.24 から $I_p = 30$ (%) および 100 (%) での $g_1(I_p)$ を求めることにより得られる。その結果の一例を表-2.1.2に示す。
 $r = r_i$

なお、図-2.1.23(A)~(G)に示された I_p の影響は、善、梅原等²¹⁾の結果と逆の傾向を示すが、この原因は現在の所不明である。

(2.1.8) 式より、 σ'_c および I_p を考慮した $G/(G) r = 10^{-6}$ の推定式は (2.1.9) で表わされる。

$$\left[\frac{G}{(G)} r = 10^{-6} \right] \frac{I_p}{\sigma'_c} = \frac{f(\sigma'_c)}{r = r_i} \cdot g_1(I_p) \quad (2.1.9)$$

$r = r_i$

ここに、 $f(\sigma'_c)$: (2.1.1) 式による。

$g_1(I_p)$: (2.1.8) 式による。
 $r=r_i$

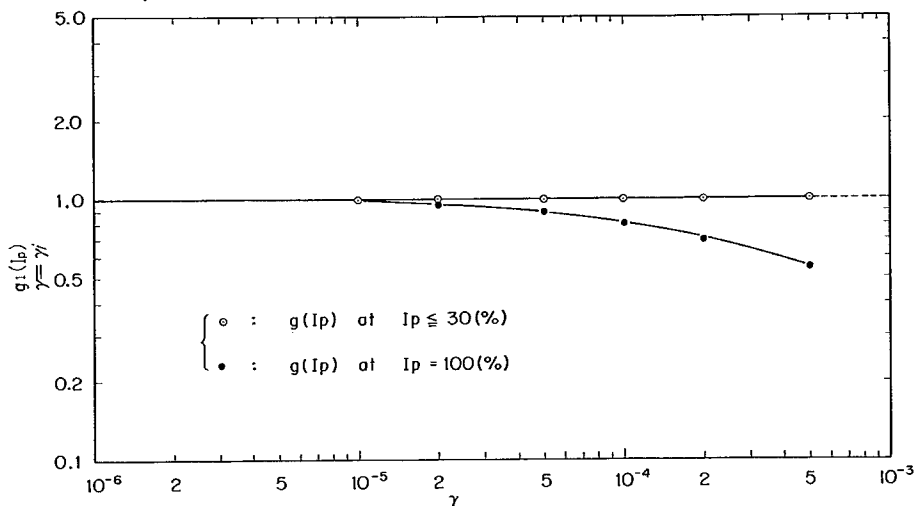


図-2.1.24. (2.1.8) 式の定数 C, D を決定するための代表値

次に、(2.1.9) 式の推定値に対する間ゲキ比 e_c の影響を調べるために、(2.1.10) 式で定義されるような (2.1.9) 式による推定値に対する実測値の比 ($h_2(e_c)$ と間ゲキ比 e_c の関係を調べた。

$$h_2(e_c) = \left[\frac{G}{G} r = 10^{-6} \right]_{\text{measured}} / \frac{f(\sigma'_c)}{r=r_i} \cdot g_1(I_p) \quad (2.1.10)$$

その結果を代表的なヒズミに対して示したのが図-2.1.25(A)~(G)である。同図からは、明確な e_c の影響はみられず、(2.1.10) 式で定義される値はほぼ 1.0 と考えて差支えないと思われる。従って、(2.1.11) 式が成立つ。

$$h_2(e_c) = \left[\frac{G}{G} r = 10^{-6} \right]_{\text{measured}} / \frac{f(\sigma'_c)}{r=r_i} \cdot g_1(I_p) = 1.0 \quad (2.1.11)$$

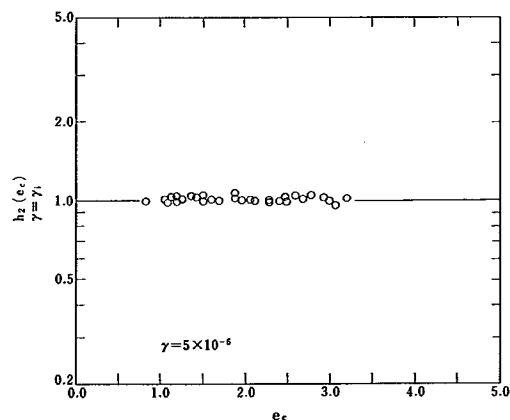
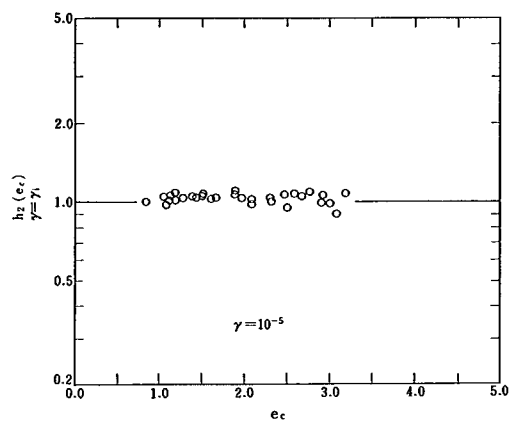
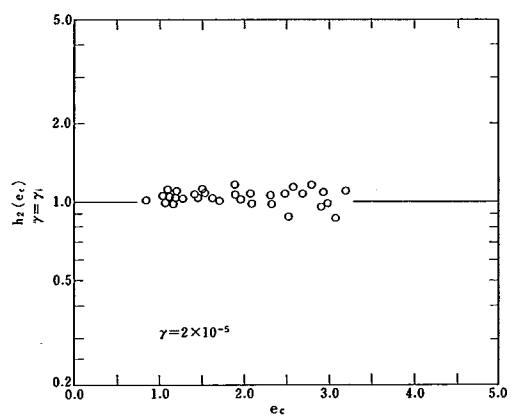


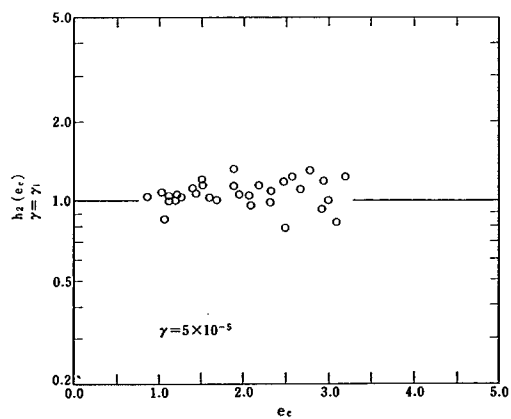
図-2.1.25(A) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 5 \times 10^{-6}$)
 $r=r_i$



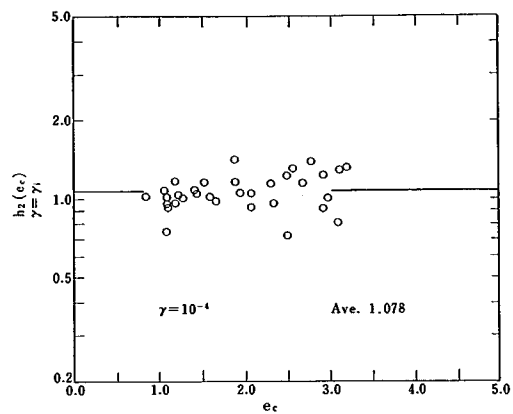
☒ - 2. 1. 25 (B) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 10^{-5}$)
 $r = r_i$



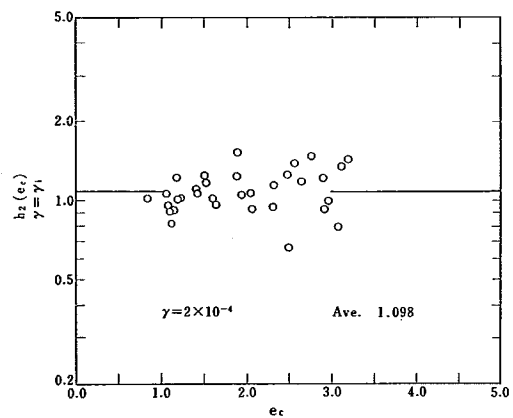
☒ - 2. 1. 25 (C) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 2 \times 10^{-5}$)
 $r = r_i$



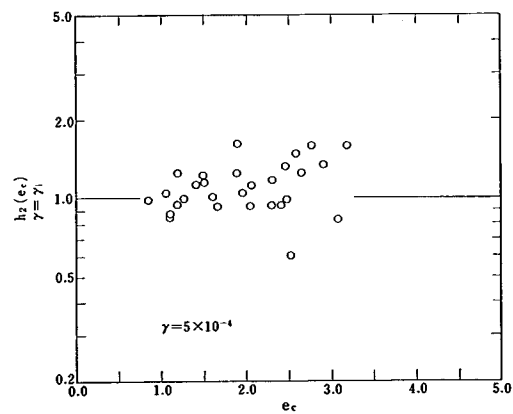
☒ - 2. 1. 25 (D) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 5 \times 10^{-5}$)
 $r = r_i$



☒ - 2.1.25(E) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 10^{-4}$)
 $r = r_i$



☒ - 2.1.25(F) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 2 \times 10^{-4}$)
 $r = r_i$



☒ - 2.1.25(G) $h_2(e_c) \sim e_c$ ($r = 5 \times 10^{-4}$)
 $r = r_i$

以上から、実験時拘束圧 σ'_c 、塑性指数 I_p および間ゲキ比 e_c を考慮した $G/(G)r=10^{-6} \sim r$ の推定値は (2.1.12) 式で表わされる。

$$\left[\frac{G}{(G)r=10^{-6}} \right]_{\sigma'_c, I_p}^{e_c} = f \left(\frac{\sigma'_c}{r=r_i} \right) \cdot g_1 \left(\frac{I_p}{r=r_i} \right) \dots\dots\dots (2.1.12)$$

ここに、 $f(\sigma'_c)$ および $g_1(I_p)$ は (2.1.9) 式に準ずる。

(2.1.12) 式による推定値と実測値との関係を $r=2 \times 10^{-5}$ 、 10^{-4} および 5×10^{-4} の場合について例示したのが図-2.1.26 である。

また、(2.1.12) 式および表-2.1.2 を用いて、 $I_p \leq 30$ (%) および $I_p=100$ (%) の場合について、代表的な σ'_c に対する $G/(G)r=10^{-6} \sim r$ 関係を推算した結果の一例を図-2.1.27 に示す。

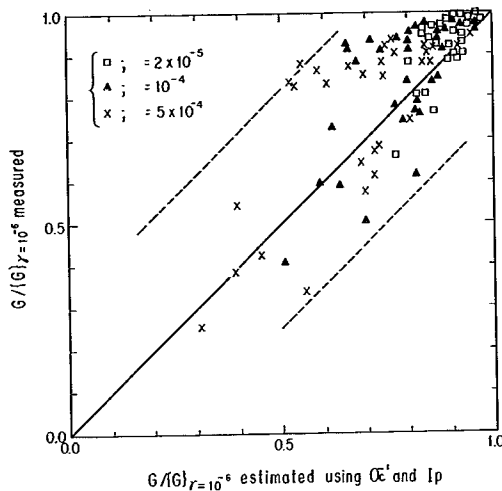


図-2.1.26 $G/(G)r=10^{-6}$ の実測値と σ'_c および I_p を考慮した推定値との比較図

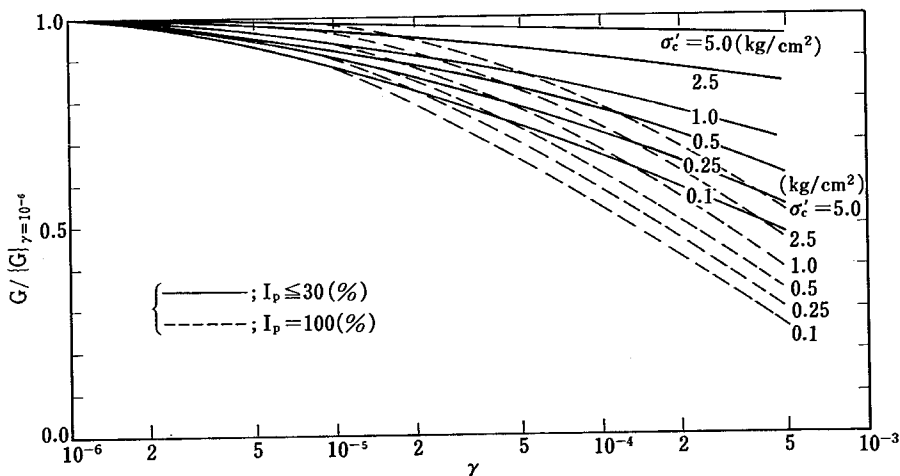


図-2.1.27 σ'_c および I_p を考慮した推定式による推定例

以上の結果を要約すると次のとおりである。

(推定法 A)

$$\left[G/(G) \right]_{r=10^{-6}}^{e_c} = f(\sigma'_c) = A \cdot \sigma_c'^B \quad \dots\dots\dots (2.1.6)$$

ここに、定数 A, B は図 -2.1.17 を用いて決める (表 -2.1.2 参照)。 $\sigma'_c = 0.1 \sim 5.0$ (kg/cm²)、 $e_c \div 1.0 \sim 3.5$

(推定法 B)

$$\left[G/(G) \right]_{\sigma'_c, I_p}^{e_c} = f(\sigma'_c) \cdot g_1(I_p) \quad \dots\dots\dots (2.1.12)$$

$$\begin{cases} = A \cdot \sigma_c'^B \\ = (A \cdot \sigma_c'^B) (C \cdot 10^{D(I_p/100)}) \end{cases} \begin{matrix} [0 \leq I_p \leq 30] \\ [30 \leq I_p \leq 100] \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (2.1.12)$$

ここに、定数 A, B は (2.1.6) 式に準じ、定数 C, D は図 -2.1.24 を用いて決める。(表 -2.1.2 参照)

本説では、(2.1.6) 式および (2.1.12) 式で諸要因 (σ'_c, I_p, e_c) を考慮した $G/(G)_{r=10^{-6}}$ ~ r の定量的評価を行っているが、現在の所、 I_p の影響が明確でないため推定法 B はあくまで考え方の例示に止め、実用的には σ'_c および e_c を考慮した推定法 A が妥当であると思われる。

2.1.2 中・高ヒズミ領域における動的変形特性

振動三軸試験から、せん断剛性率 (G) とせん断ヒズミ (r) との関係が得られるが、その一例を図 -2.1.28 に示す。これらのデータに基いて、図中に示すように平均的な変化特性曲線を描くことにより、任意のせん断ヒズミ ($r=5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$) におけるせん断剛性率が推定できる。

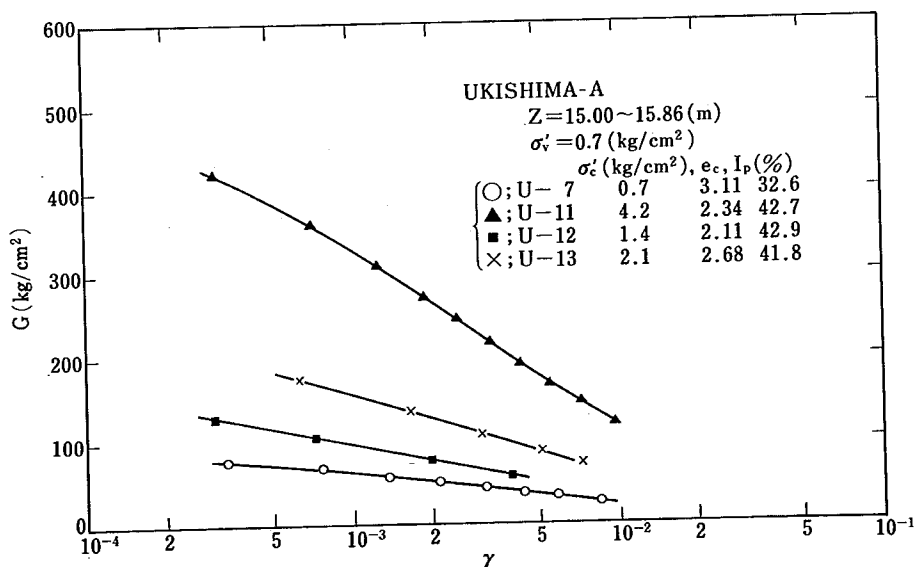


図 -2.1.28 G-r の結果例 (浮島 A; U-7, U-11, U-12, U-13)

本節では、まず $r = 10^{-3}$ でのせん断剛性率を基準値 ($G/G_r = 10^{-3}$) として、得られたデータを $G/G_r = 10^{-3} \sim r$ 関係で整理した。図 -2.1.29 ~ 2.1.34 は、表 -2.1.1 の供試体のうち、試験方法の分類が D.T. (振動三軸試験) である供試体の実験結果を示したものである。同図中の個々のデータ (せん断剛性率 G , せん断ヒズミ r , 基準せん断剛性率 $G_r = 10^{-3}$, 基準化されたせん断剛性率 $G/G_r = 10^{-3}$) は、「付属資料 I, 正規圧密下の実験データ一覧」を参照されたい。

図 -2.1.29 ~ 34 に示すように平均曲線を適宜仮定すると、任意のせん断ヒズミに対する $G/G_r = 10^{-3}$ の値が推定できる。個々の供試体について、代表的なせん断ヒズミ ($r = 5 \times 10^{-4}$, 10^{-3} , 2×10^{-3} , 5×10^{-3} , 10^{-2} および 2×10^{-2}) での $G/G_r = 10^{-3}$ の値の一覧を表 -2.1.3 に示す。

また、表 -2.1.3 に基いて $r = 5 \times 10^{-4}$ でのせん断剛性率 $G_r = 5 \times 10^{-4}$ を基準として整理したのが表 -2.1.4 である。

以下、表 -2.1.4 を用いて $G/G_r = 5 \times 10^{-4} \sim r$ 関係に対する諸因子 (実験時拘束圧 σ'_c , 塑性指数 I_p , 間ゲキ比 e_c) の影響を調べ、 $G/G_r = 5 \times 10^{-4} \sim r$ の定量的評価を行うことにする。

表 -2.1.3 r に対応した $G/G_r = 10^{-3}$ の外挿値の一覧

供試体 No.	(kg/cm^2) σ'_c	I_p (%)	e_c	$G/G_r = 10^{-3}$					
				$r = 5 \times 10^{-4}$	10^{-3}	2×10^{-3}	5×10^{-3}	10^{-2}	2×10^{-2}
U-1	0.25	345	281	1205	1.00	0.794	0.543	—	—
U-3		365	256	1216	1.00	0.805	0.578	0.442	—
U-4		379	302	1180	1.00	0.803	0.542	0.378	0.230
U-5		293	274	1230	1.00	0.755	0.466	0.296	0.188
U-6		326	293	1215	1.00	0.780	0.500	0.326	0.215
U-7	0.7	326	311	1155	1.00	0.806	0.532	0.348	—
U-11	4.2	427	234	1176	1.00	0.806	0.532	0.348	—
U-12	1.4	429	211	1258	1.00	0.840	0.558	—	—
U-13	2.1	418	268	1205	1.00	0.828	0.570	0.360	—
U-14	12.5	22.1	121	1258	1.00	0.744	0.433	0.244	—
P-4	10.5	16.0	151	1170	1.00	0.750	0.465	0.286	0.162
P-3	15	19.2	137	1252	1.00	0.750	0.465	0.286	0.162
A-4	2.1	10.2	152	1188	1.00	0.792	0.532	0.357	0.228
C-6	2.3	17.0	189	1188	1.00	0.806	0.575	0.372	—
13A-I-1	15.5	20.6	138	1270	1.00	0.750	0.472	0.326	0.224
16B-II-6	18	29.4	190	1185	1.00	0.767	0.486	0.308	0.172
16B-III-6	25	28.4	177	1137	1.00	0.825	0.567	0.392	0.255
平均				1205	1.00	0.788	0.519	0.338	0.204

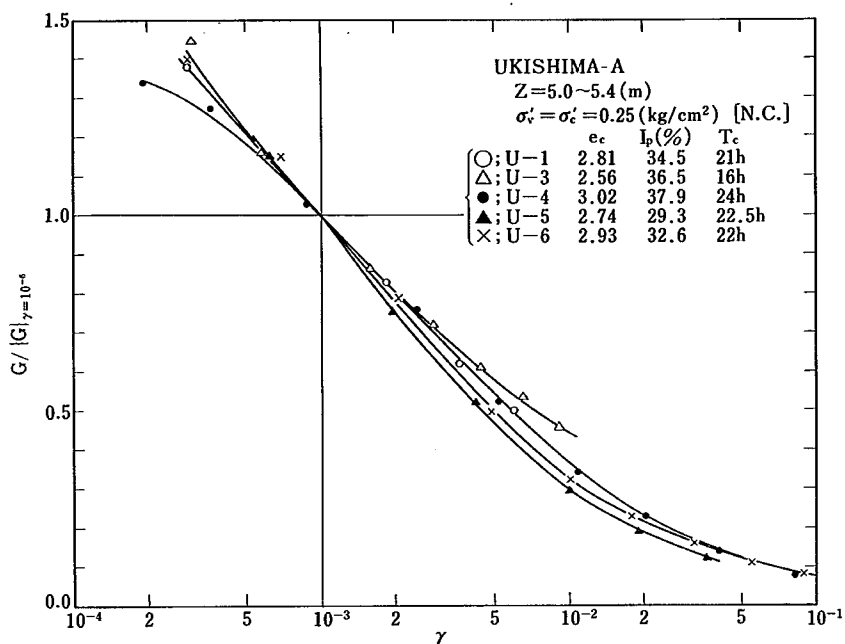


図-2.1.29 $G/(G|_{\gamma=10^{-3}}) \sim \gamma$ (浮島A ; U-1, U-3, U-4, U-5, U-6)

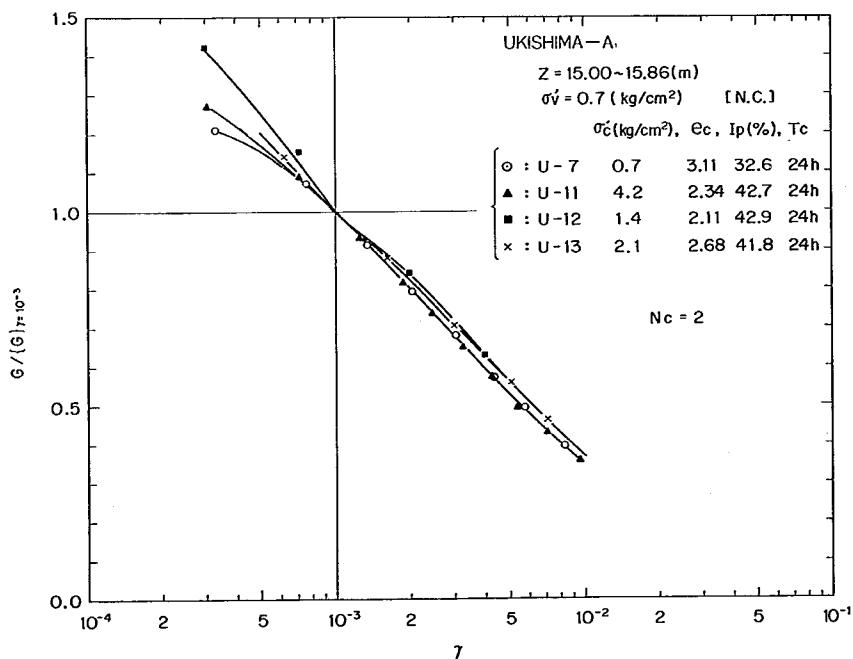


図-2.1.30 $G/(G|_{\gamma=10^{-3}}) \sim \gamma$ (浮島A ; U-7, U-11, U-12, U-13)

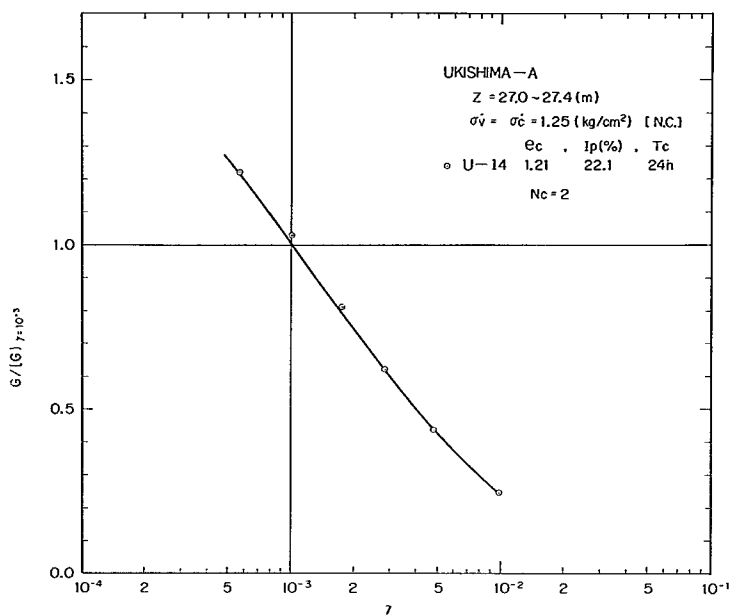


図 - 2.1.31 $G/(G) r=10^{-3} \sim \gamma$ (浮島 A ; U-14)

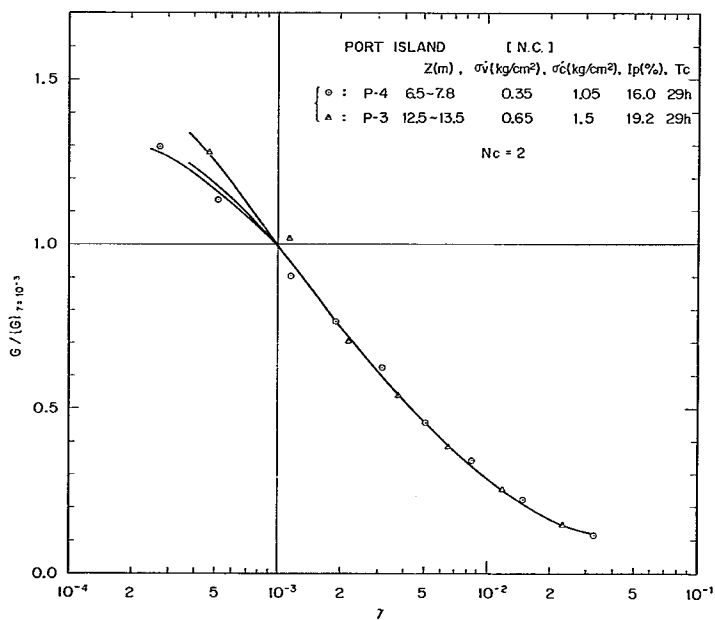


図 - 2.1.32 $G/(G) r=10^{-3} \sim \gamma$ (ポートアイランド ; P-4, P-3)

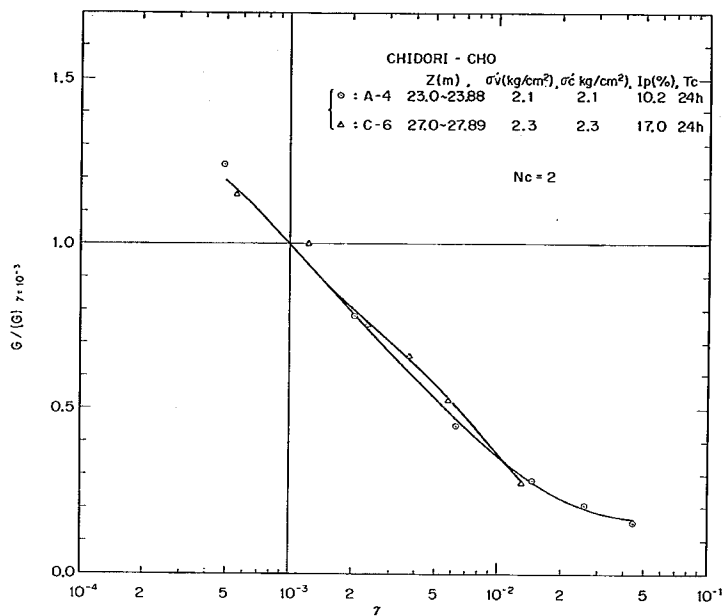


図 -2.1.33. $G/(G)r=10^{-3} \sim r$ (千鳥町 ; A-4, C-6)

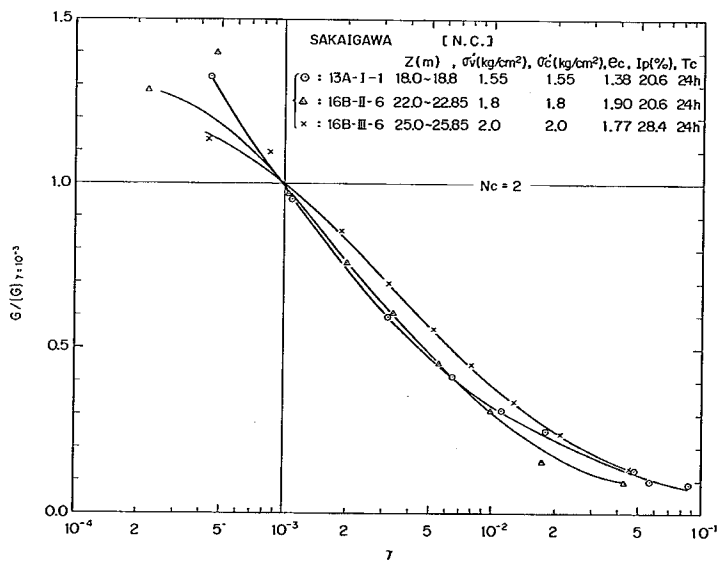


図 -2.1.34 $G/(G)r=10^{-3} \sim r$ (境川 ; 13A-I-1, 16B-II-6, 16B-III-6)

表-2.1.4 r に対応した $G/(G)r=5 \times 10^{-4}$ の外挿値の一覧

供試体 No.	σ'_c (kg/cm ²)	I_p (%)	e_c	$G/(G)r=5 \times 10^{-4}$					
				5×10^{-4}	10^{-3}	2×10^{-3}	5×10^{-3}	10^{-2}	2×10^{-2}
U-1	0.25	34.5	2.81	1.00	0.830	0.659	0.451	—	—
U-3		36.5	2.56	1.00	0.822	0.662	0.475	0.363	—
U-4		37.9	3.02	1.00	0.847	0.681	0.459	0.320	0.195
U-5		29.3	2.74	1.00	0.813	0.614	0.379	0.241	0.153
U-6		32.6	2.93	1.00	0.823	0.642	0.412	0.268	0.177
U-7	0.7	32.6	3.11	1.00	0.866	0.698	0.461	0.301	—
U-11	4.2	42.7	2.34	1.00	0.850	0.685	0.452	0.296	—
U-12	1.4	42.9	2.11	1.00	0.795	0.668	0.444	—	—
U-13	2.1	41.8	2.68	1.00	0.830	0.687	0.473	0.299	—
U-14	1.25	22.1	1.21	1.00	0.795	0.591	0.344	0.194	—
P-4	1.05	16.0	1.51	1.00	0.855	0.641	0.397	0.244	0.138
P-3	1.5	19.2	1.37	1.00	0.799	0.599	0.371	0.228	0.129
A-4	2.1	10.2	1.52	1.00	0.842	0.667	0.448	0.301	0.192
C-6	2.3	17.0	1.89	1.00	0.842	0.678	0.484	0.313	—
13A-I-1	1.55	20.6	1.38	1.00	0.787	0.591	0.372	0.257	0.176
16B-II-6	1.8	29.4	1.90	1.00	0.844	0.647	0.410	0.260	0.145
16B-III-6	2.5	28.4	1.77	1.00	0.880	0.726	0.499	0.345	0.224
平均値				1.00	0.831	0.655	0.431	0.282	0.170

図-2.1.35は、 $G/(G)r=5 \times 10^{-4}$ に対する σ'_c の影響を代表的なヒズミについて整理したものである。同図より $\sigma'_c \div 0.1 \sim 5.0$ (kg/cm²) の範囲では、 $G/(G)r=5 \times 10^{-4}$ は σ_c に左右されないで、ヒズミ毎に一定値 ($Kr=r_i$) を示すものとみなせる。この値を $F(\sigma'_c)$ とすると (2.1.13) 式が成り立つ。

$$\left[G/(G)r=5 \times 10^{-4} \right]_{r=r_i}^{\sigma=\sigma'_c} = F(\sigma'_c) = K_{r=r_i} \quad (2.1.13)$$

ここに、代表的なヒズミに対する $Kr=r_i$ の値は表-2.1.5 および図-2.1.36 に示すとおりであり、図-2.1.36 を用いれば任意のヒズミに対する $F(\sigma'_c)$ が推定できる。

ここで、(2.1.14) 式で定義する $h_3(e_c)$ と間ゲキ比 (e_c) との関係を調べたのが図-2.1.37 (A)~(E) である。同図からも明らかなように $h_3(e_c)$ の値は間ゲキ比に拘わらず平均的にはほぼ 1.0 であるとみなせる。従って、(2.1.13) 式を用いて推定する $G/(G)r=5 \times 10^{-4}$ は間ゲキ比に無関係であると言える。

$$h_3(e_c)_{r=r_i} = \left[G/(G)r=5 \times 10^{-4} \right]_{\text{measured}} / K_{r=r_i} \quad (2.1.14)$$

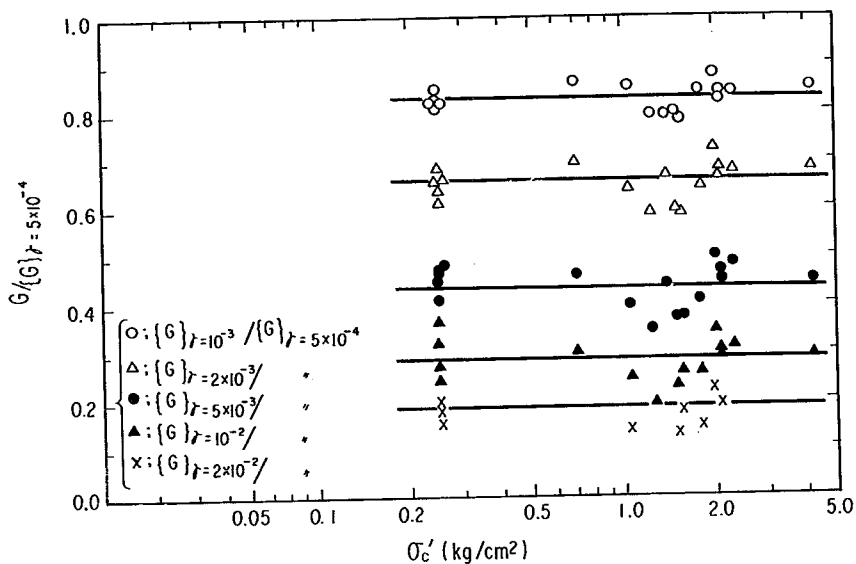


図-2.1.35 $G/\{G\}r=5 \times 10^{-4} \sim \sigma'_c$

表-2.1.5 $G/\{G\}r=5 \times 10^{-4}$ の推定式の定数例一覧表

r	$F(\sigma'_c)$ $r=r_i$ $= \frac{K}{r=r_i}$	G $G(I_p) = \frac{G}{\{G\}r=5 \times 10^{-4}}$ $= e \cdot I_p + f$		$g_2(I_p) = E \cdot I_p + F$ $r=r_i$	
		e	f	E	F
10^{-3}	0.831	0.108	0.800	0.14	0.96
2×10^{-3}	0.655	0.210	0.595	0.36	0.90
5×10^{-3}	0.431	0.272	0.350	0.72	0.80
10^{-2}	0.282	0.300	0.200	0.90	0.75
2×10^{-2}	0.170	0.300	0.100	1.02	0.72
適用範囲	(kg/cm ²) $\sigma'_c = 0.1 \sim 5.0$	(%) $I_p = 0 \sim 50$		(%) $I_p = 0 \sim 50$	

* ; $I_p = I_p(\%) / 100$

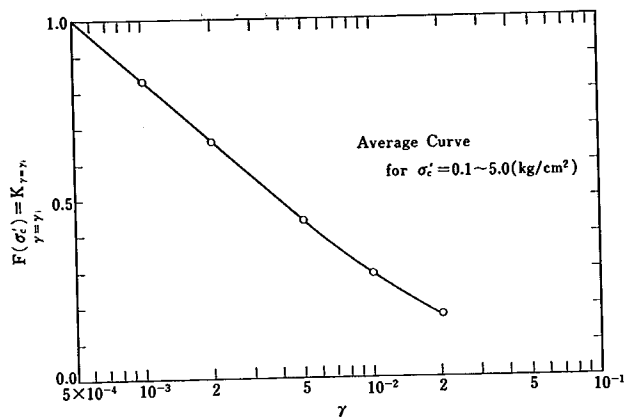


図 - 2. 1. 36 $F(\sigma'_c) = K$ のヒズミ依存性
 $r=r_i$ $r=r_i$

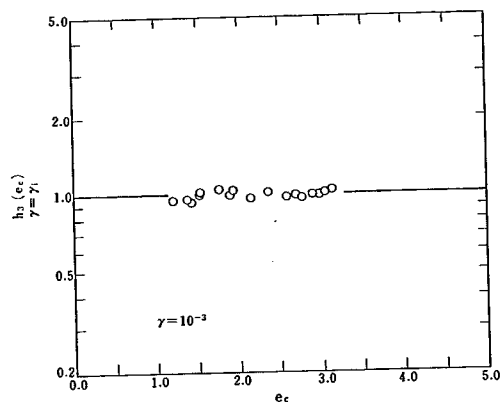


図 - 2. 1. 37(A) $h_3(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 10^{-3}$)
 $r=r_i$

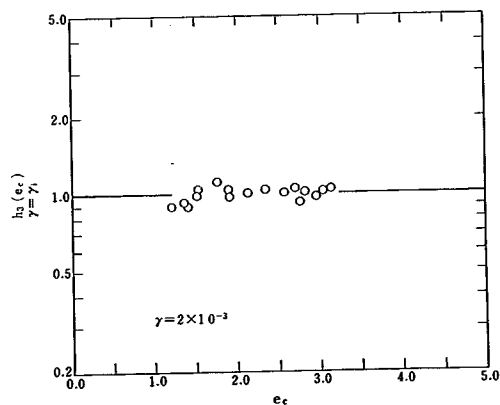
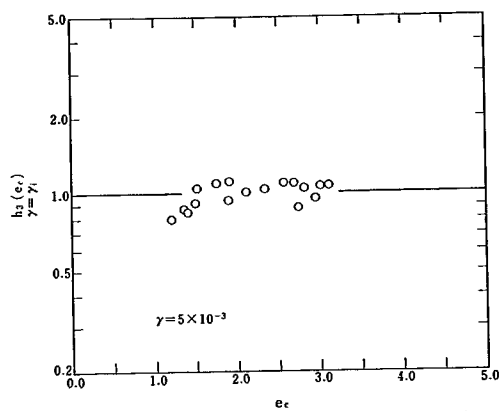
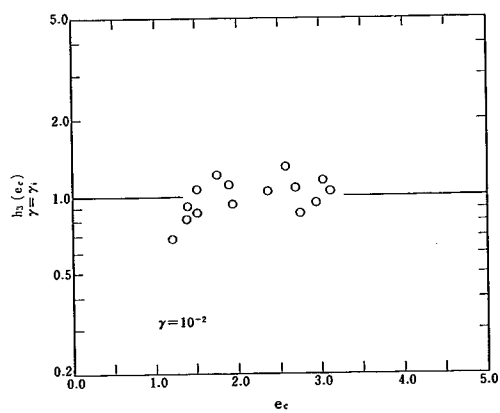


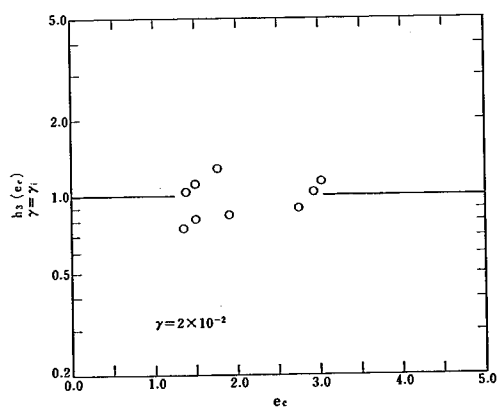
図 - 2. 1. 37(B) $h_3(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-3}$)
 $r=r_i$



☒ - 2. 1. 37(C) $h_3(e_c) \sim e_c$ ($r = 5 \times 10^{-3}$)
 $r = r_i$



☒ - 2. 1. 37(D) $h_3(e_c) \sim e_c$ ($r = 10^{-2}$)
 $r = r_i$



☒ - 2. 1. 37(E) $h_3(e_c) \sim e_c$ ($r = 2 \times 10^{-2}$)
 $r = r_i$

図-2.1.38 は、 $G/\{G\}r=5 \times 10^{-4}$ に対する I_p の影響を代表的なヒズミに対して示したものであるが、 $I_p=0 \sim 50$ (%) の範囲では各ヒズミにおいて、 I_p の増加に伴い $G/\{G\}r=5 \times 10^{-4}$ 値が増加することがわかる。この傾向は石原等の研究²²⁾でも見られている。また、ヒズミが大きくなるにつれて I_p の影響が大きくなる傾向がある。そこで、同図に示すようにこれらの変化特性を代表的な曲線で定量的に評価したが、この曲線の $I_p=0$ (%) および 50 (%) での $G/\{G\}r=5 \times 10^{-4}$ 値をヒズミ毎に整理したのが図-2.1.39 である。図-2.1.38 の曲線は (2.1.15) 式で表わされる。

$$\left[\frac{G}{\{G\}r=5 \times 10^{-4}} \right]_{r=r_i}^{I_p} = G(I_p) = e \cdot I_p + f \quad \dots\dots\dots (2.1.15)$$

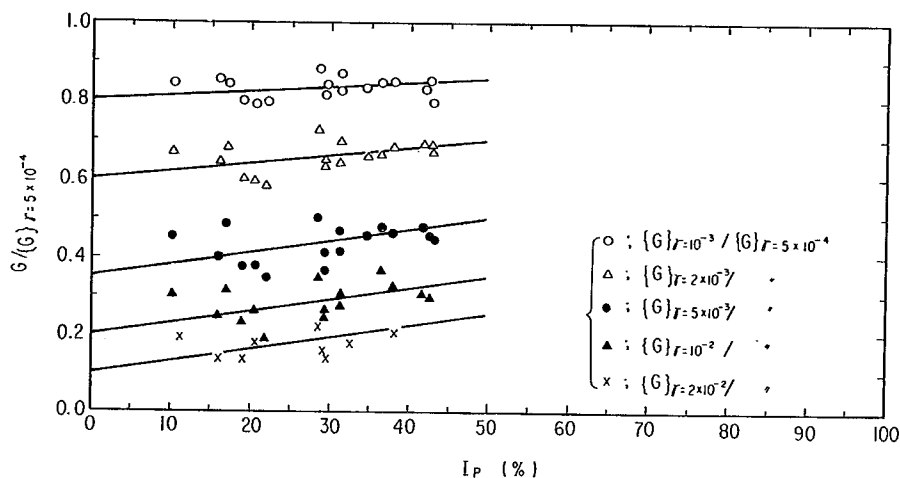


図-2.1.38 $G/\{G\}r=5 \times 10^{-4} \sim I_p$

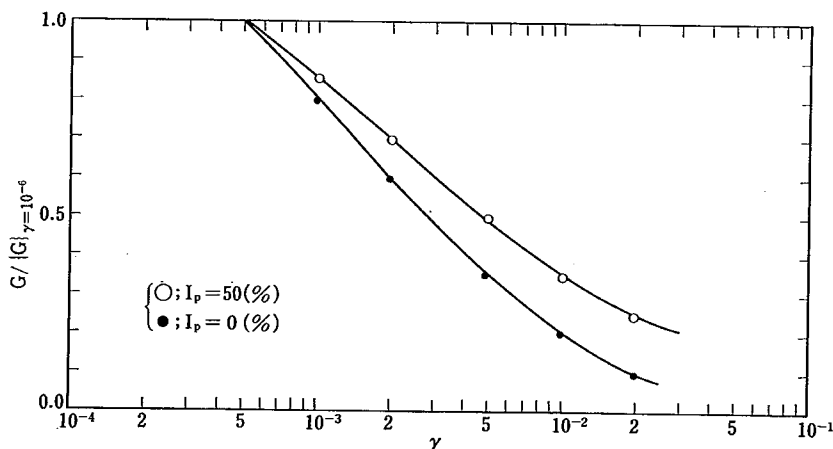


図-2.1.39 (2.1.14) 式の定数 e, f を決定するための代表値のヒズミ依存性

ここに、 e および f は図-2.1.39の $I_p = 0$ (%)および50 (%)での $G/(G)r = 5 \times 10^{-4}$ 値を求めることにより、ヒズミに応じて決められる定数であるが、代表的なヒズミに対するこれらの定数を表-2.1.5に示す。

図-2.1.40は、 $G/(G)r = 5 \times 10^{-4}$ と e_c の関係を示しているが、特に顕著な関係はないと思われる。

以上は、 $G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \sim r$ 関係 に対する個々の諸因子の影響を定量的に評価したものであり、(2.1.12)式あるいは(2.1.14)式を用いることにより、 σ'_c あるいは I_p の影響を考慮した $G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \sim r$ 関係を得ることができる。

次に、 σ_c および I_p の影響を考慮した定量的評価式を求めることにする。図-2.1.41は(2.1.16)式で定義した $g_2(I_p)$ と I_p との関係を示したものである。

$$g_2(I_p)_{r=r_i} = \left[G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \right]_{\text{measured}} / \left[G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \right]_{\text{estimated}} \quad \cdots (2.1.16)$$

ここに、 $[G/(G)r = 5 \times 10^{-4}]_{\text{estimated}} = F(\sigma'_c)$ であり、 $g_2(I_p)$ は、 $[G/(G)r = 5 \times 10^{-4}]$ の実測値と(2.1.13)式による推定値との比である。

図-2.1.41のデータには相当の開きがあるが、 $g_2(I_p)_{r=r_i}$ が I_p の増加に伴い増加し、また、ヒズミが大きくなる程 I_p の影響が大きくなる傾向があることを踏えて、図中に示す曲線で代表させた。このように設定された曲線の $I_p = 0$ (%)および50 (%)における $g_2(I_p)_{r=r_i}$ 値をヒズミ毎に整理したのが図-2.1.42である。図-2.1.41で設定した曲線は(2.1.17)式の形で表わされる。

$$g_2(I_p)_{r=r_i} = E \cdot I_p + F \quad \cdots (2.1.17)$$

ここに、 E および F はヒズミ毎に決まる定数であり、図-2.1.42から $I_p = 0$ (%)および50 (%)での $g_2(I_p)_{r=r_i}$ 値を求めることにより決定されるものである。代表的なヒズミに対する E および F の値は表-2.1.5に示すようになる。

以上の(2.1.13)式～(2.1.17)式で得られた結果から、 σ'_c および I_p を考慮した $G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \sim r$ 関係は(2.1.18)式から推定できることになる。

$$\left[G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \right]_{\sigma'_c}^{I_p} = F(\sigma'_c)_{r=r_i} \cdot g_2(I_p)_{r=r_i} \quad \cdots (2.1.18)$$

ここに、 $F(\sigma'_c)_{r=r_i}$: (2.1.13)式

$g_2(I_p)_{r=r_i}$: (2.1.17)式

ここで、(2.1.18)式による推定値の実測値に対する適合性を検討するために、実測値と(2.1.18)式で推算した値との関係を描いたのが図-2.1.43である。同図からも明らかなように、(2.1.18)式による推定値は相当精度よく実測値を再現し得るものであることがわかる。

次に、(2.1.18)式に σ'_c 、 I_p のみならず、 e_c の影響を加味するために、(2.1.19)式で定義される値と e_c との関係を調べた。

$$E(e_c)_{r=r_i} = \left[G/(G)r = 5 \times 10^{-4} \right]_{\text{measured}} / \frac{F(\sigma'_c)_{r=r_i} \cdot g_2(I_p)_{r=r_i}}{r=r_i} \quad \cdots (2.1.19)$$

代表的なヒズミに対する結果例を図2-2.1.44(A)～(E)に示すが、同図から $E(e_c)$ の値は e_c あるいはヒズミの大きさに拘わらずほぼ1.0とみなしてよいと思われる。

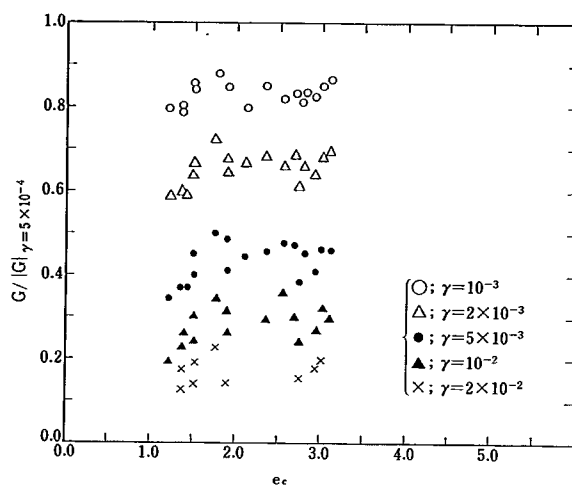


図-2.1.40 $G/[G]_{\gamma=5 \times 10^{-4}} \sim e_c$

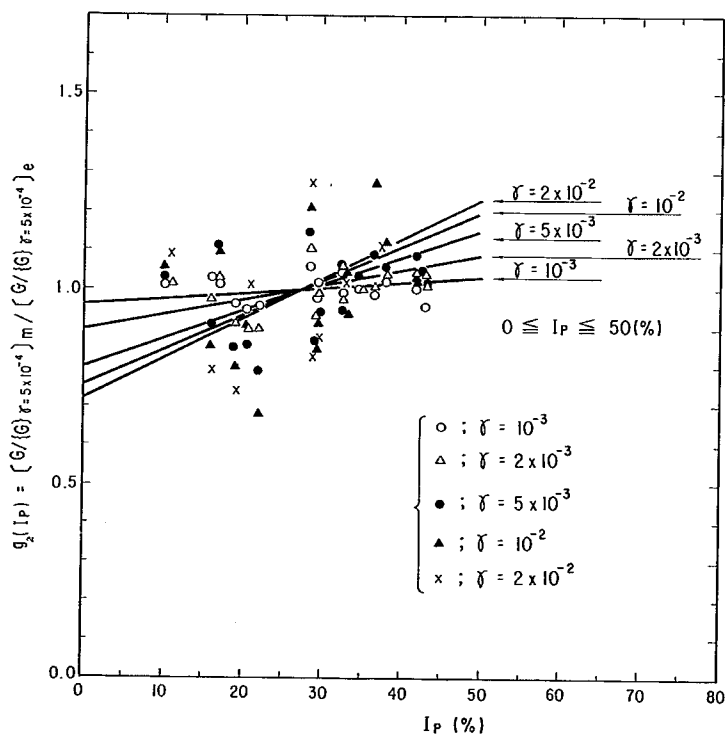


図-2.1.41 $g_2(I_p) \sim I_p$
 $\gamma = \gamma_i$

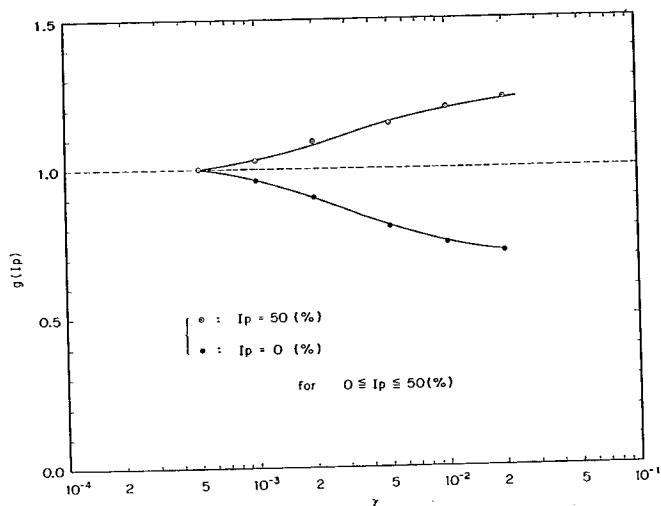


図-2.1.42 (2.1.16)式の定数 E , F を決定するための代表値のヒズミ依存性

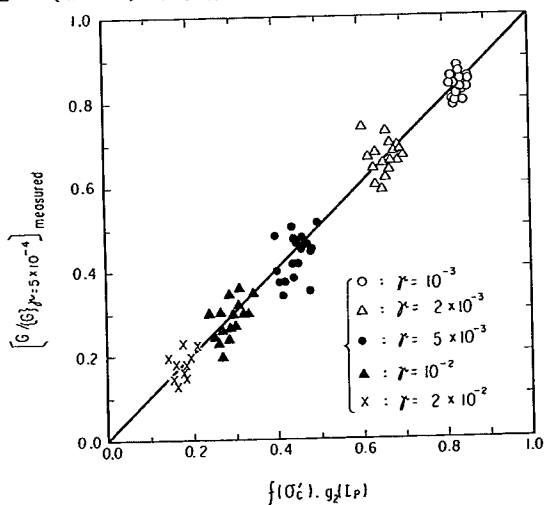


図-2.1.43 $G/(G)_{\gamma=5 \times 10^{-4}}$ の実測値と推定値の比較

$$E(e_c) \doteq 1.0 \quad \text{for } r=r_i \quad (2.1.20)$$

以上のことから、 σ'_c , I_p および e_c を考慮した $G/(G)_{\gamma=5 \times 10^{-4}}$ の推定式としても、(2.1.18)式を使うことができる。

以上の結果から、中・高ヒズミ領域 ($\gamma=5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$) における $G/(G)_{\gamma=5 \times 10^{-4}} \sim r$ 関係の評価法としては、次の2法があげられる。

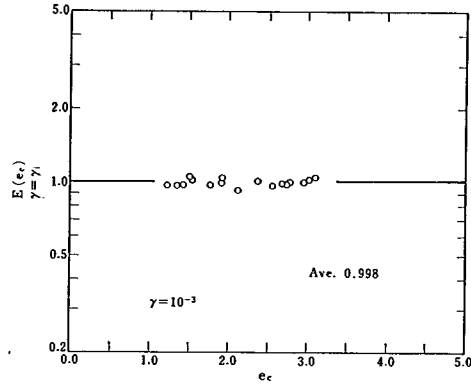


图 -2.1.44(A) $E(e_c) \sim e_c (\gamma = 10^{-3})$
 $r = r_i$

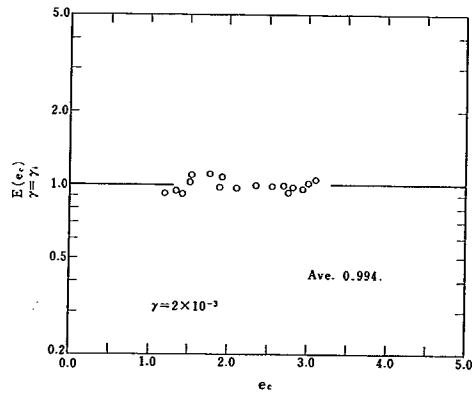


图 -2.1.44(B) $E(e_c) \sim e_c (\gamma = 2 \times 10^{-3})$
 $r = r_i$

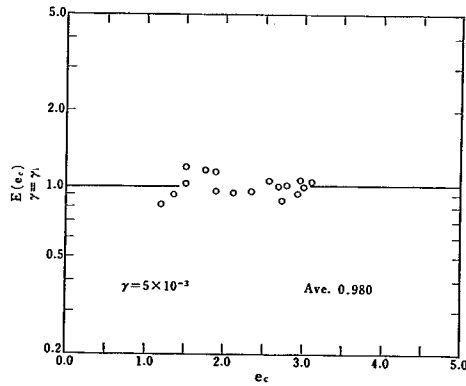


图 -2.1.44(C) $E(e_c) \sim e_c (\gamma = 5 \times 10^{-3})$
 $r = r_i$

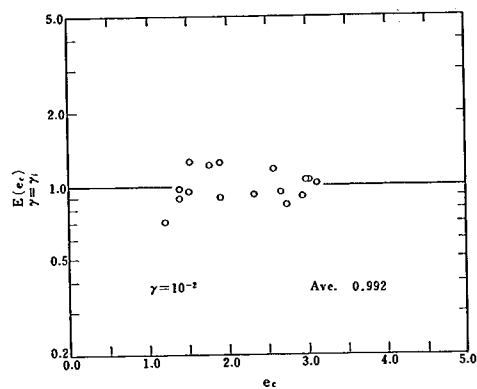


図 - 2.1.44 (D) $E(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 10^{-2}$)
 $r = r_2$

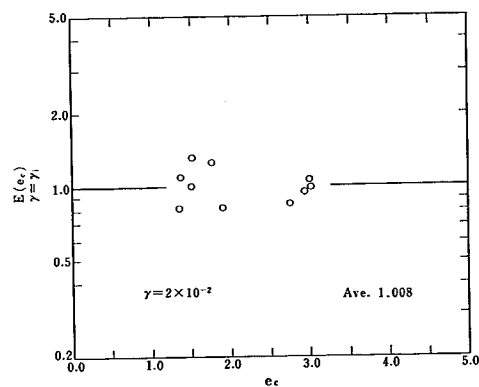


図 - 2.1.44 (E) $E(e_c) \sim e_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-2}$)
 $r = r_i$

(推定法 A)

$$\left[G/(G) \right]_{r=5 \times 10^{-4}}^{e_c} = \frac{F(\sigma_c)}{r=r_i} = K \quad \dots\dots\dots (2.1.21)$$

ここに、定数 K は図 - 2.1.36 を用いて求める (表 - 2.1.5 参照)。

$$\sigma'_c \doteq 0.1 \sim 5.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)}, \quad e_c \doteq 1.0 \sim 3.5$$

(推定法 B)

$$\left[G/(G) \right]_{r=5 \times 10^{-4}}^{e_c} = \frac{F(\sigma'_c) \cdot g(I_p)}{r=r_i} = K \quad \dots\dots\dots (2.1.22)$$

ここに、 K は (2.1.20) 式に準じ、 E および F は図 - 2.1.39 を用いて決める (表 - 2.1.5 参照)。

$$I_p = 0 \sim 50 \text{ (\%)}, \quad e_c \doteq 1.0 \sim 3.5$$

2.2 過圧密および長期圧密下の動的変形特性

2.2.1 低ヒズミ領域における動的変形特性

表 -1.2.2 の中で共振法土質試験 [R.C.] による実験を行っている供試体について、その結果を $G/[G]r=10^{-6} \sim r$ 関係で整理したのが図 -2.2.1 ~ 4 である。同図中の圧密時間 T_c は、過圧密条件 [O.C.] および長期圧密条件 [L.C.] に対して、各々、表 -1.2.2 の T_{c1} および T_{c2} を示すものである。また、過圧密の場合は圧密拘束圧 (σ'_m) に対する実験時拘束 (σ'_m) の比 (σ'_m/σ'_c)

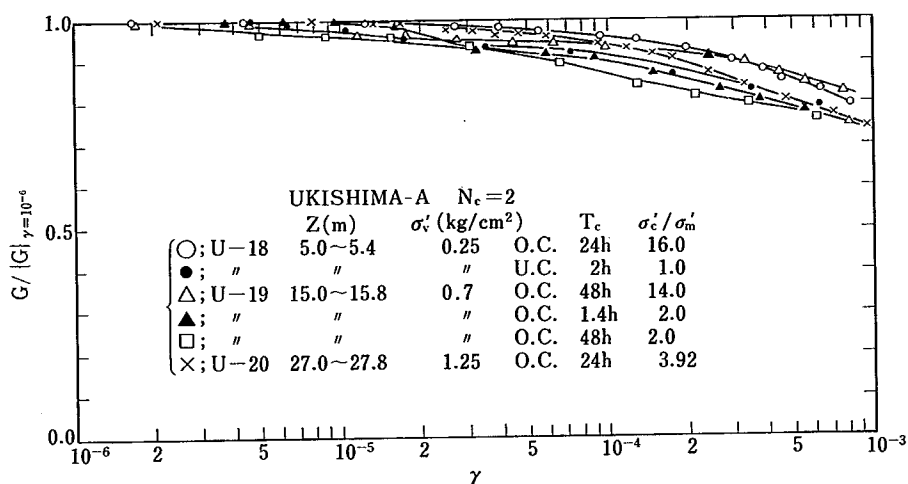


図 -2.2.1 $G/[G]r=10^{-6} \sim r$ (浮島 A ; U-18, U-19, U-20)

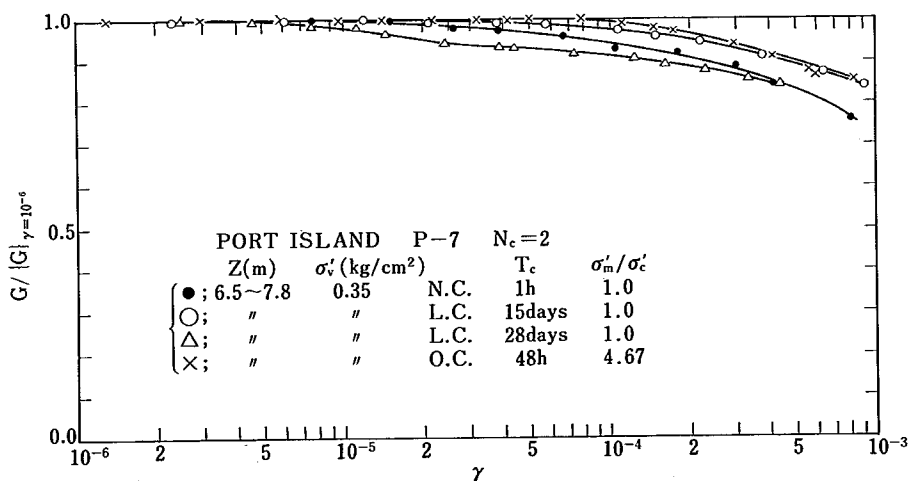


図 -2.2.2 $G/[G]r=10^{-6} \sim r$ (ポートアイランド ; P-7)

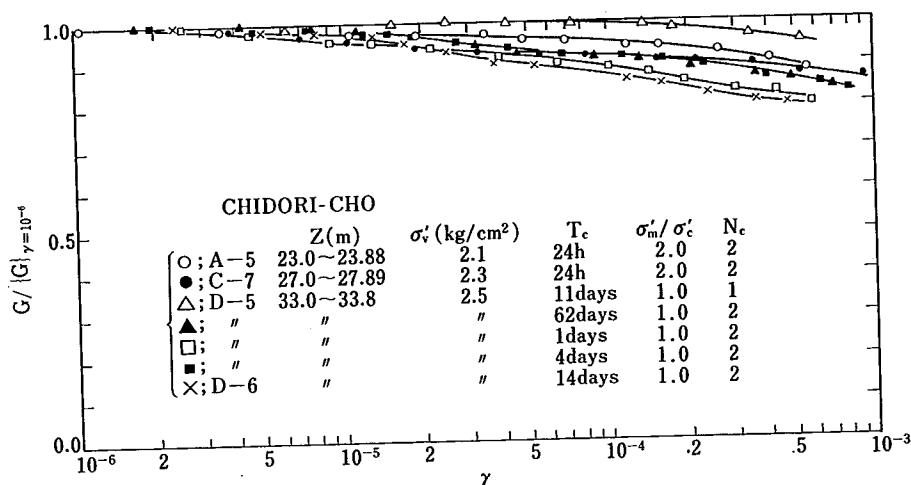


図-2.2.3 $G/(G)r=10^{-6} \sim r$ (千鳥町 ; A-5, C-7, D-5, D-6)

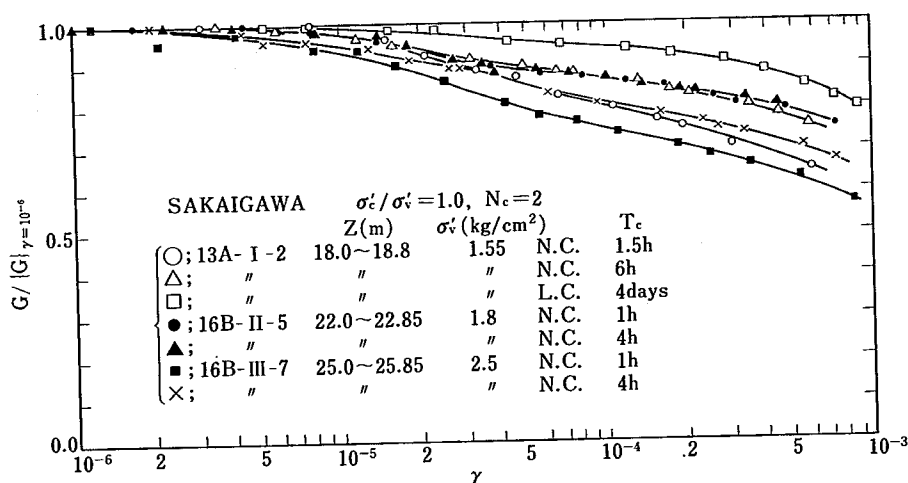


図-2.2.4 $G/(G)r=10^{-6} \sim r$ (境川 ; 13A-I-2, 16B-II-5, 16B-III-7)

(σ'_m/σ'_c), つまり, 過圧密比をも示す。なお, 実験から得た生データ (せん断剛性率 G , ヒズミ r , $(G)r=10^{-6}$ および $G/(G)r=10^{-6}$) は, 「付属資料Ⅱ, 過圧密下・長期圧密下の実験データ一覧」を参照されたい。

これらの図からでは, 動的変形特性の定量的評価が難しいので, 正規圧密と同様に同図に示すような個々のデータの平均的变化曲線を設定した。そして, 代表的なヒズミに対して $G/(G)r=10^{-6}$ の値を読取った結果が表 2.2.1 である。同表を用いて, 正規圧密の場合と同様に諸因子 (実験時拘束圧 σ'_c , 塑性指数 I_p , 間ゲキ比 e_0) の影響を調べることにし, 合わせて正規圧密との比較・検討を行う

表 -2.2.1 r に対応した $G/(G)r=10^{-6}$ の外挿値一覧 (過圧密, 長期圧密)

No.	供試体	No.	σ'_m/σ'_c	T_c	圧密条件	r								
						10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-6}	10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-4}
1	U-18		1.0	2h	N.C.	1.00	1.00	0.989	0.976	0.954	0.931	0.912	0.872	0.806
2			16.0	24h	O.C.	1.00	1.00	1.00	0.997	0.986	0.978	0.954	0.925	0.850
3	U-19		2.0	14h	O.C.	1.00	1.00	1.00	0.993	0.970	0.918	0.898	0.855	0.787
4			2.0	48h	O.C.	1.00	0.990	0.977	0.960	0.942	0.917	0.888	0.850	0.778
5			7.0	48h	O.C.	1.00	1.00	0.988	0.970	0.960	0.946	0.935	0.915	0.860
6	U-20		3.92	24h	O.C.	1.00	1.00	1.00	0.997	0.985	0.964	0.938	0.893	0.800
7	P-7		1.0	1h	N.C.	1.00	1.00	1.00	0.995	0.987	0.968	0.945	0.908	0.830
8			1.0	15 days	L.C.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.998	0.988	0.974	0.949	0.888
9			1.0	28 days		1.00	1.00	0.994	0.979	0.952	0.929	0.910	0.882	0.835
10			4.67	48h	O.C.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.992	0.964	0.894
11	A-5		2.0	24h	O.C.	1.00	0.995	0.986	0.976	0.972	0.961	0.959	0.932	0.890
12	C-7		2.0	24h	O.C.	1.00	0.995	0.984	0.963	0.942	0.925	0.918	0.906	0.880
13	D-5		1.0	11 days	L.C.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.998	0.992	0.982	0.951
14			1.0	62 days		1.00	1.00	0.995	0.985	0.968	0.926	0.917	0.900	0.558
15			1.0	24h	N.C.	1.00	0.990	0.974	0.957	0.942	0.918	0.882	0.855	0.812
16			1.0	24h		1.00	0.998	0.995	0.980	0.967	0.932	0.918	0.898	0.860
17	D-6		1.0	14 days	L.C.	1.00	1.00	0.985	0.973	0.942	0.900	0.873	0.838	0.796
18	13A-II-2		1.0	15h	N.C.	1.00	1.00	0.994	0.977	0.932	0.856	0.800	0.748	0.666
19			1.0	6h		1.00	1.00	0.990	0.970	0.940	0.898	0.865	0.830	0.768
20			1.0	4 days	L.C.	1.00	1.00	0.998	0.992	0.983	0.963	0.947	0.924	0.860
21	16B-II-5		1.0	1h	N.C.	1.00	1.00	0.992	0.975	0.940	0.988	0.865	0.832	0.786
22			1.0	4h		1.00	1.00	0.993	0.978	0.942	0.890	0.866	0.838	0.795
23	16B-III-7		1.0	1h	N.C.	1.00	0.992	0.968	0.933	0.884	0.796	0.748	0.703	0.530
24			1.0	4h		1.00	0.993	0.975	0.948	0.913	0.856	0.810	0.770	0.704

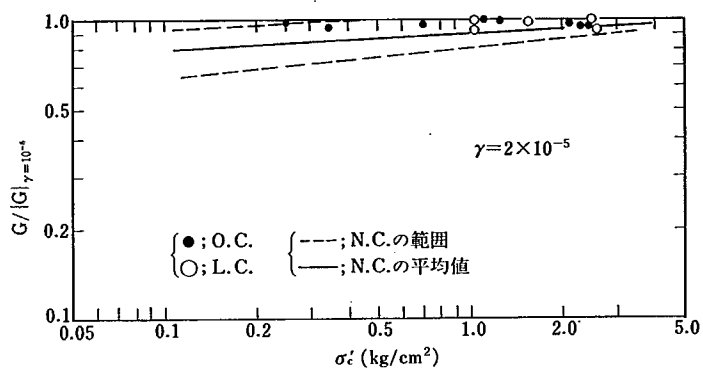


図 - 2.2.5 (A) $G/[G]_{\gamma=10^{-6}} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)

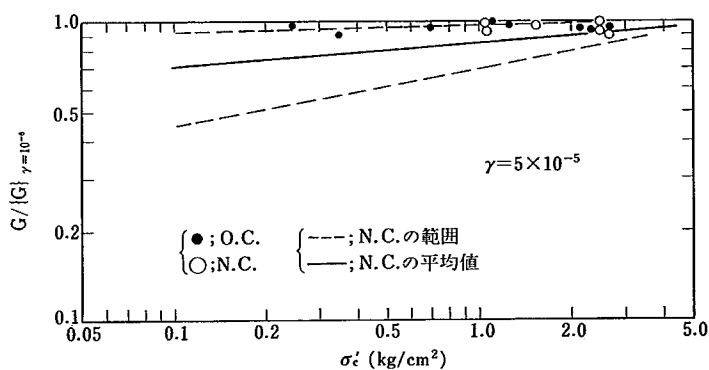


図 - 2.2.5 (B) $G/[G]_{\gamma=10^{-6}} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-5}$)

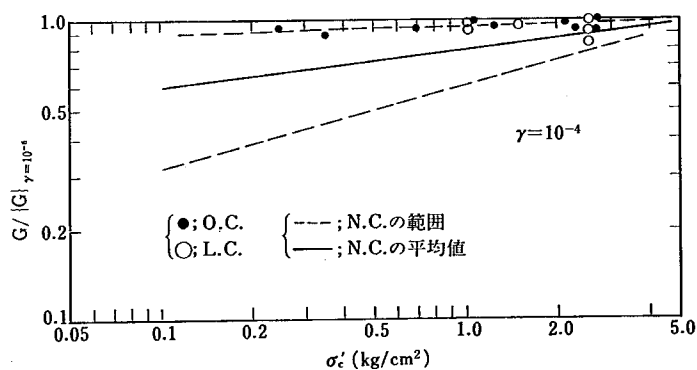


図 - 2.2.5 (C) $G/[G]_{\gamma=10^{-6}} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 10^{-4}$)

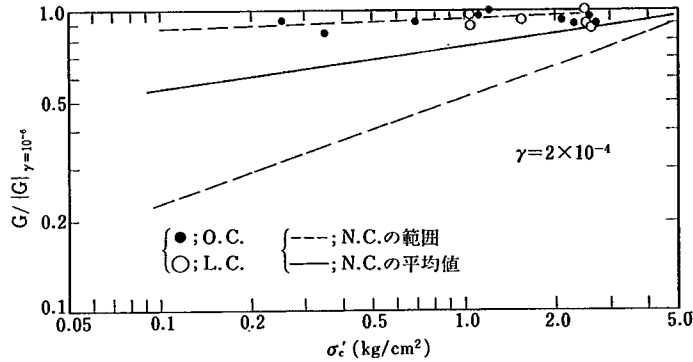


図 - 2.2.5(D) $G/(G)r=10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-4}$)

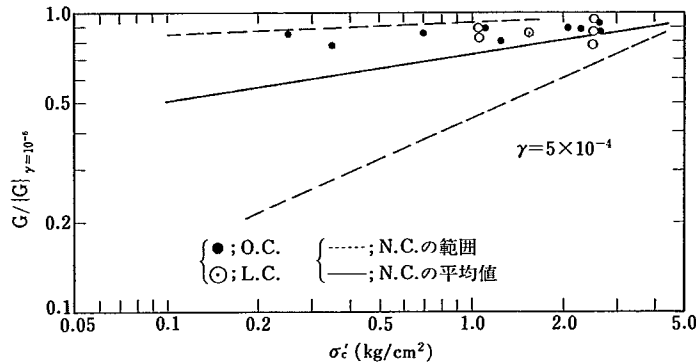


図 - 2.2.5(E) $G/(G)r=10^{-6} \sim \sigma'_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-4}$)

ことにする。

図 - 2.2.5(A)~(E)は、各々、 $\gamma = 2 \times 10^{-5}$ 、 5×10^{-5} 、 10^{-4} 、 2×10^{-4} および 5×10^{-4} の場合について、 $G/(G)r=10^{-6}$ と σ'_c の関係を示している。同図中には過圧密下〔O.C.〕および長期圧密下〔L.C.〕の結果を併記しているが、O.C. のデータは $T_c=24$ h あるいは 48h の供試体を、また、L.C. のデータは $T_c \geq 24$ h の供試体を対象としている。また、同図中には正規圧密下での実験結果(図 - 2.1.14(C)~(G))も示し、比較ができるようにしている。データの数が少ないが、 σ'_c あるいはヒズミ(ϵ)に対する傾向は捕えられる。つまり、過圧密下と長期圧密下の結果には明確な差はみられずほぼ同様な傾向を示し、正規圧密下と同様に σ'_c が増加するに伴い $G/(G)r=10^{-6}$ の値は小さくなる。しかし、過圧密下および長期密下での $G/(G)r=10^{-6}$ の値は、正規圧密に比較して大きく σ'_c あるいは r に影響される度合いが小さいと言える。

図 - 2.2.6(A)~(E)および図 - 2.2.7(A)~(E)は、各々、 $G/(G)r=10^{-6}$ に対する I_p および e_c の影響を代表的なヒズミ ($\gamma=2 \times 10^{-5}$ 、 5×10^{-4} 、 2×10^{-4} および 5×10^{-4}) の場合において示したものである。同図から明らかなように、過圧密下と長期圧密下との関係、 I_p 、 e_c およびヒズミ(ϵ) による影響の傾向には σ'_c の場合と同様なことが言える。つまり、 I_p による影響は過圧密下および

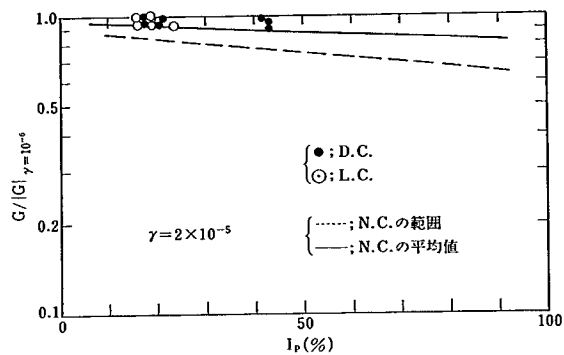


図 -2.2.6(A) $G/|G| \gamma = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)

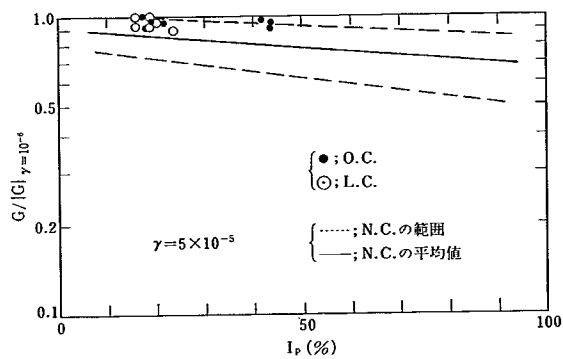


図 -2.2.6(B) $G/|G| \gamma = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 5 \times 10^{-5}$)

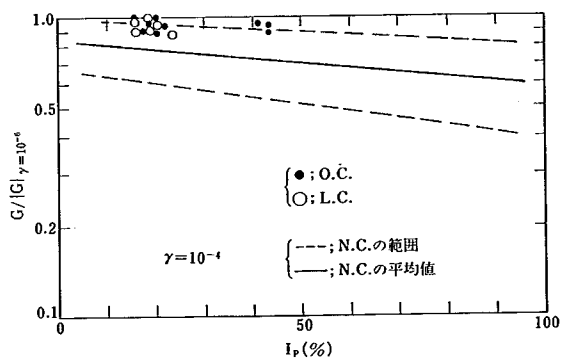


図 -2.2.7(C) $G/|G| \gamma = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 10^{-4}$)

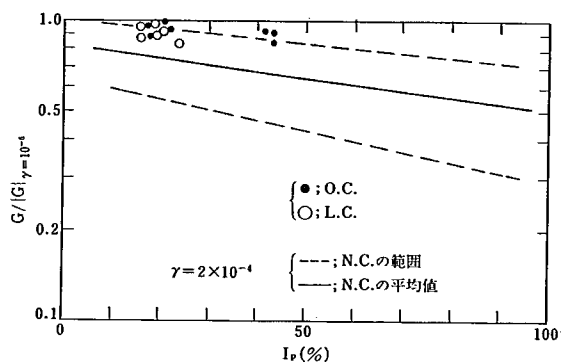


図 -2.2.6(D) $G/|G| r = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 2 \times 10^{-4}$)

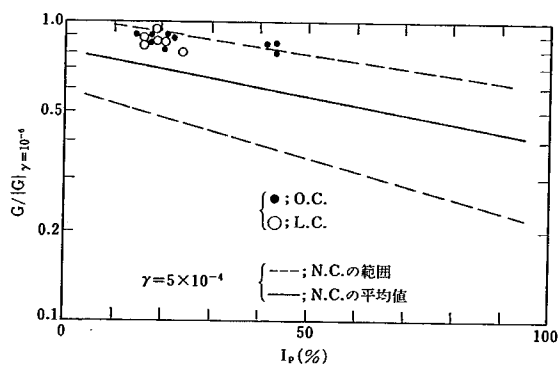


図 -2.2.6(E) $G/|G| r = 10^{-6} \sim I_p$ ($\gamma = 5 \times 10^{-4}$)

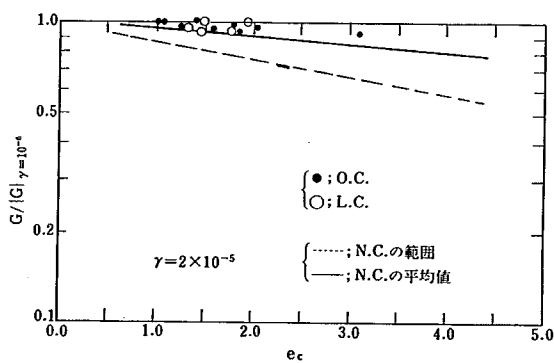


図 -2.2.7(A) $C/|G| r = 10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-5}$)

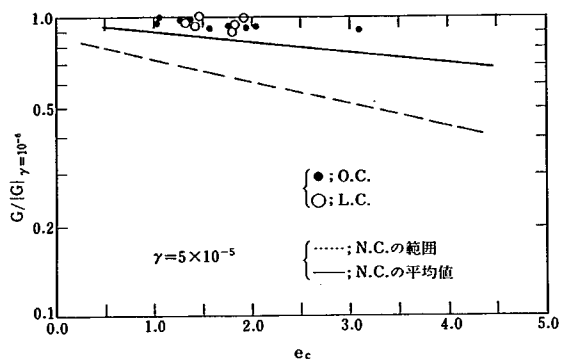


図-2.2.7(B) $G/(G) \gamma = 10^{-5} \sim e_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-5}$)

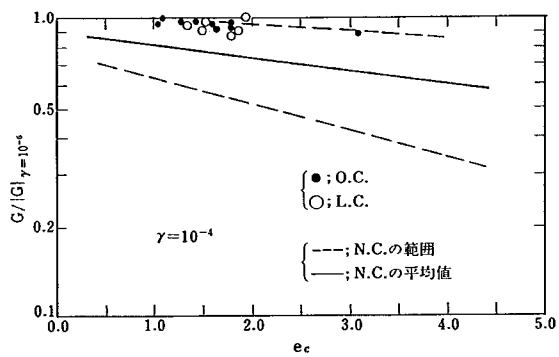


図-2.2.7(C) $G/(G) \gamma = 10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 10^{-4}$)

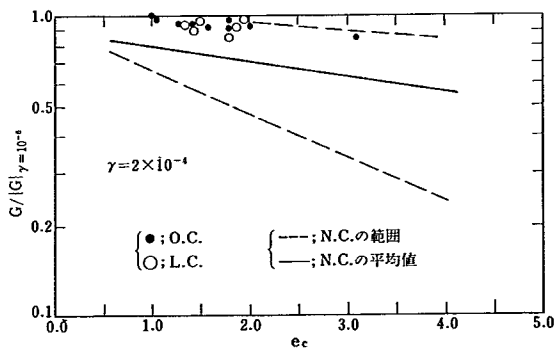


図-2.2.7(D) $G/(G) \gamma = 10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 2 \times 10^{-4}$)

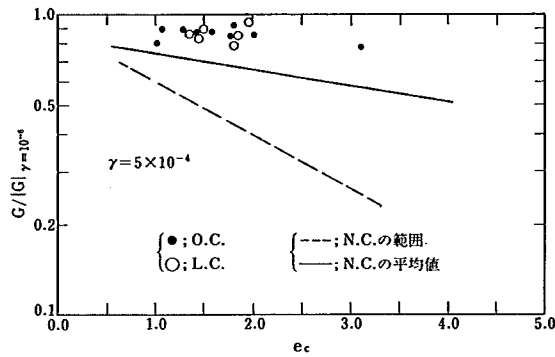


図 -2.2.7(E) $G/(G)r=10^{-6} \sim e_c$ ($\gamma = 5 \times 10^{-4}$)

長期圧密下の間に差はみられず、 I_p あるいはヒズミの増加に伴い $G/(G)r=10^{-6}$ の値は低下するが、同一条件における正規圧密下の値(図-2.1.15(C)~(G)参照)より大きく、 I_p による影響は小さい。また、 e_c による影響も同様な結果であり、 e_c あるいはヒズミの増加に伴い $G/(G)r=10^{-6}$ の値は低下するが、正規圧密下の値(図-2.1.16(C)~(G))より大きく、 e_c の影響は小さい。

過圧密条件下での動的変形特性が過圧密比(ここでは σ'_m/σ'_c で定義)によりどのように影響をうけるかが問題となる。図-2.2.8は $G/(G)r=10^{-6}$ に対する過圧密化($\sigma'_m/\sigma'_c = 1.0 \sim 16.0$)の関係を示したものである。 $\sigma'_m/\sigma'_c = 1.0$ のデータは範囲で与えているが、このデータは正規圧密下での実験結果のうち、 $\sigma'_c = \sigma'_m (= \sigma'_v)$ および $T_c = 24h$ の条件を満足する供試体(表-2.

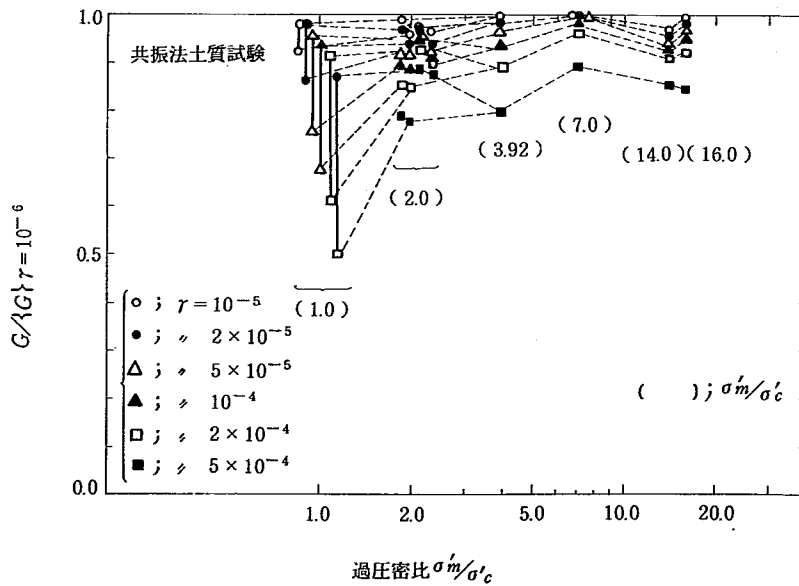


図 -2.2.8 $G/(G)r=10^{-6} \sim \sigma'_m/\sigma'_c$ (過圧密)

1.1で※を付けたもの)の結果を示している。同図から、 $\sigma'_m = \sigma'_c = 1.0$ でのデータのばらつきを考えると σ'_m / σ'_c による $G/\{G\}r=10^{-6}$ による影響はほとんどないと考えてよいと思われる。

長期圧密下での動的変形特性については、その圧密時間 T_c が問題となるが、図-2.2.9は $G/\{G\}r=10^{-6}$ に対する圧密時間($T_c=1h \sim 62days$)の影響を示している。同図中の $T_c=24h$ のデ-

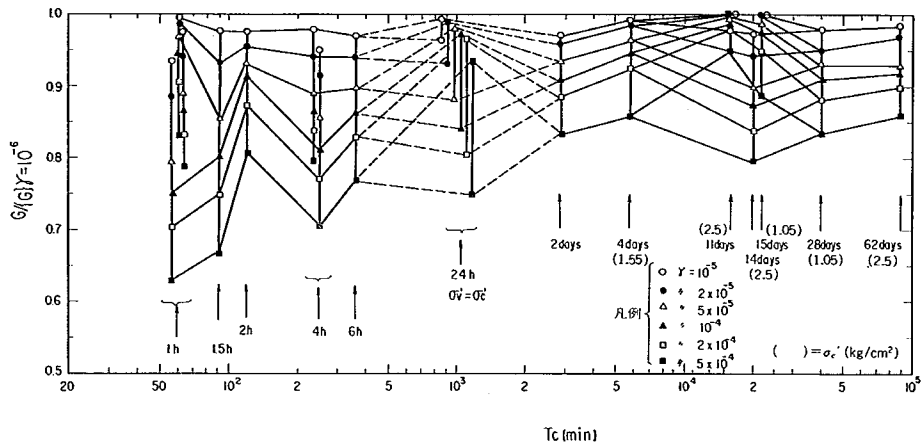


図-2.2.9 $G/\{G\}r=10^{-6} \sim T_c$ (長期圧密)

タは正規圧密下での実験結果のうち、 $\sigma'_v = \sigma'_c$ の条件下の供試体(表-1.2.1参照)の結果を範囲で示している。この図から、 $T_c=24h$ までは $G/\{G\}r=10^{-6}$ の値は増加する傾向を示すが、 $T_c \geq 24h$ では $T_c=24h$ でのデータのばらつきを考えるとほとんど T_c の影響がないものとみなせるようである。

図-2.2.10および図-2.2.11は圧密時間の増加に伴うせん断剛性率(G)のヒズミ依存性の変化を示したものである。同一供試体の場合、圧密時間が増加するに従って、せん断剛性率が増加し、 $T_c=24h$ を過ぎても増加を続けることがわかる。しかし、図-2.2.10の結果からも明らかであるように、 $G/\{G\}r=10^{-6} \sim r$ 関係は、平均的には $T_c=24h$ のそれと同様なものとみなせると考えられる。

低ヒズミ領域における過圧密および長期圧密下での基準化されたせん断剛性率($G/\{G\}r=10^{-6}$)のヒズミ依存性をまとめると次のようである。

- 1) 過圧密下と長期圧密下との圧密条件による差異はほとんどみられない。
- 2) 圧密拘束(σ'_c)、塑性指数(I_p)および間ゲキ比(e_c)による影響は、正規圧密下のそれと同様な傾向を示すが影響度合は小さく、また、ヒズミによる低減も小さい。
- 3) 過圧密比が1.0を越える場合でも、過圧密比が1.0の場合とはほぼ同様とみなせる。
- 4) 圧密時間が24hまでは、 $G/\{G\}r=10^{-6}$ の値は圧密が進行するにつれて増加するが、24hを越えてもその値はほぼ $T_c=24h$ での値と同様とみなせる。

2.2.2 中・高ヒズミ領域における動的変形特性

表-1.2.2に示すように、振動三軸試験により過圧密下および長期圧密下での実験を実施したのは10供試体であるが、図-2.2.12~図-2.2.15にその結果を示す。同図は、ヒズミ(r)が 10^{-3} であるときの G 、つまり、 $\{G\}r=10^{-3}$ を基準としたときの基準化されたせん断剛性率 $G/\{G\}r=10^{-3}$

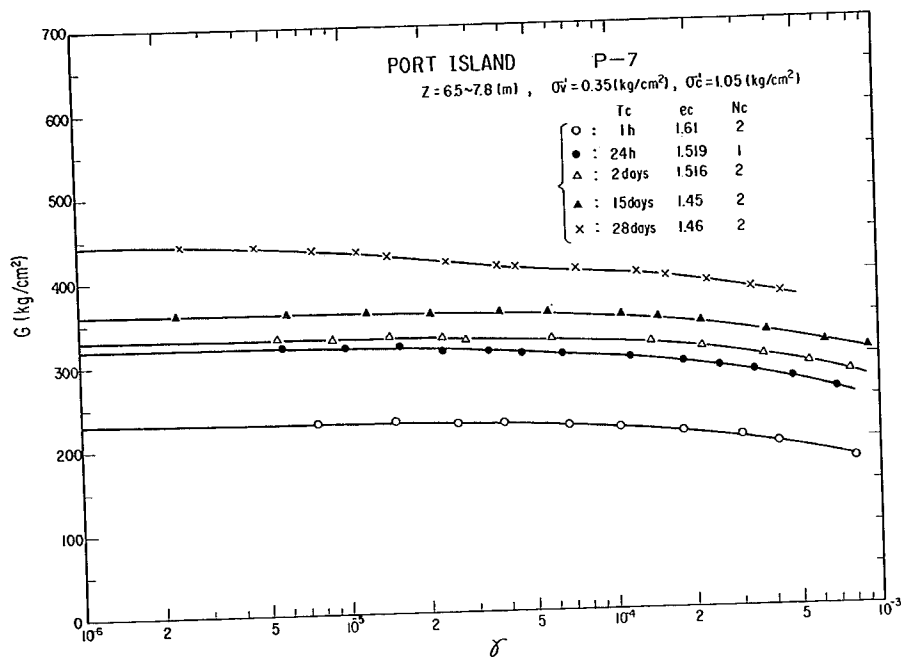


図-2.2.10 $G \sim T_c \sim r$ (ポートアイランド; P-7)

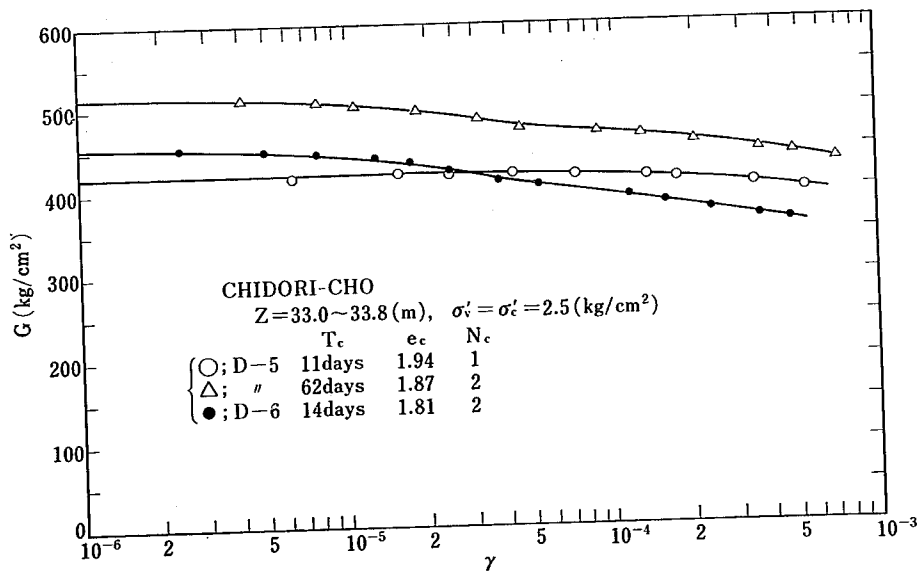


図-2.2.11 $G \sim T_c \sim r$ (千鳥町; D-5, D-6)

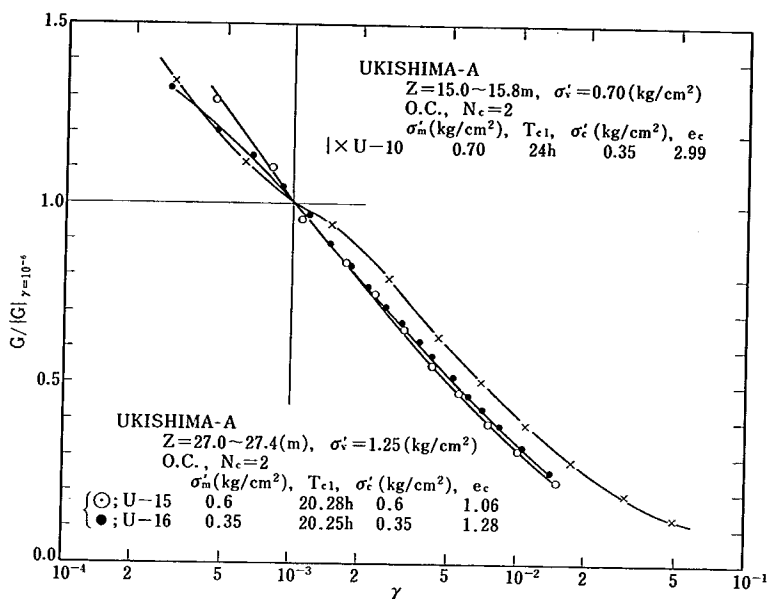


図 -2.2.12 $G/|G|_{\gamma=10^{-3}} \sim \gamma$ (浮島 A ; U-10, U-15, U-16)

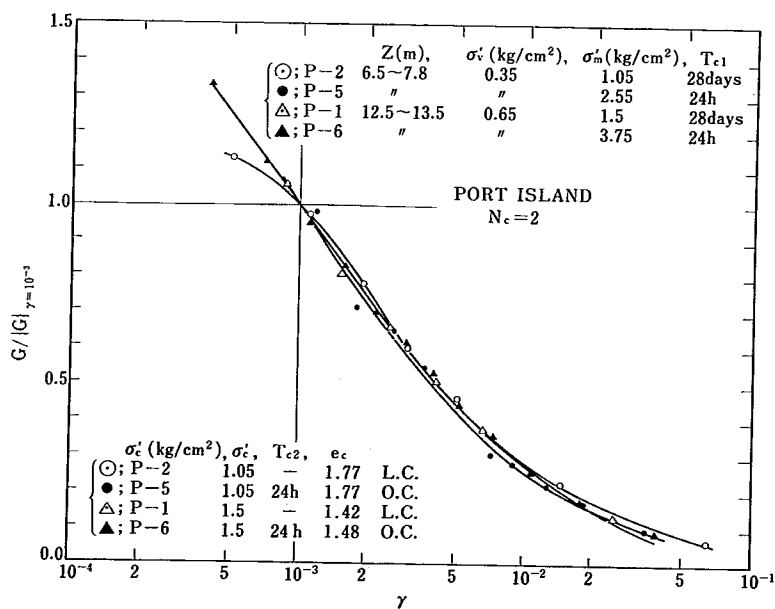


図 -2.2.13 $G/|G|_{\gamma=10^{-3}} \sim \gamma$ (ポートアイランド ;
 P-2, P-5, P-1, P-6)

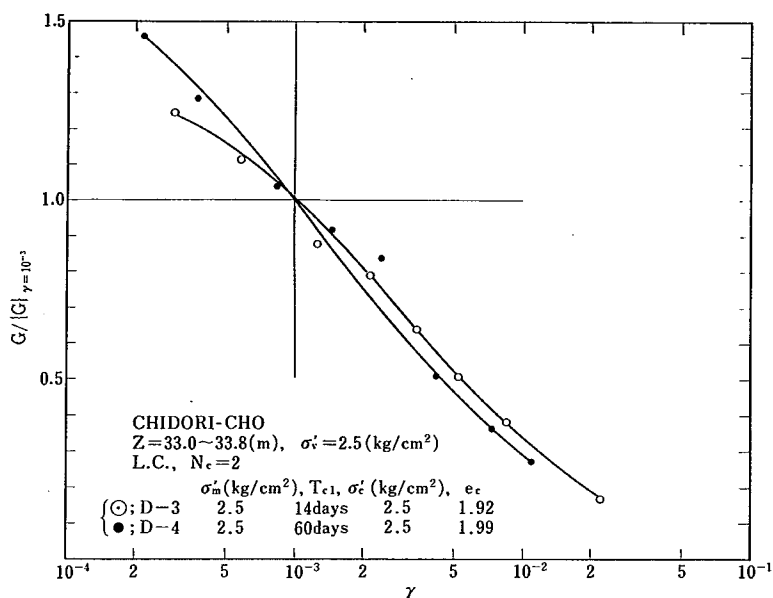


図-2.2.14 $G/[G]_{\gamma=10^{-3}} \sim \gamma$ (千鳥町; D-3, D-4)

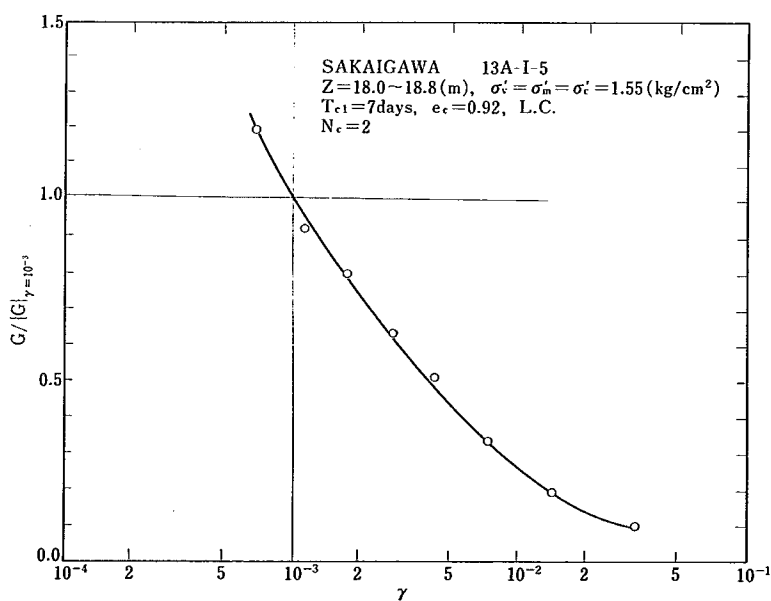


図-2.2.15 $C/[G]_{\gamma=10^{-3}} \sim \gamma$ (鏡川; 13A-I-5)

表 2.2.2 r に対応した $G/(G)r=10^{-3}$ の外挿値一覧

No.	供試体 No.	σ'_v/σ'_c	T_c	圧密条件	$G/(G)r=10^{-3}$						
					$r=5 \times 10^{-4}$	10^{-3}	2×10^{-3}	5×10^{-3}	10^{-2}	2×10^{-2}	5×10^{-2}
1	U-10	2.0	24 h	O.C.	1.168	1.00	0.866	0.594	0.406	0.260	—
2	U-15	2.08 *	20.28 h	O.C.	1.263	1.00	0.783	0.504	0.316	—	—
3	U-16	3.57 *	20.25 h	O.C.	1.194	1.00	0.788	0.520	0.334	—	—
4	P-2	1.0	28 days	L.C.	1.128	1.00	0.765	0.450	0.286	0.182	0.087
5	P-5	2.43	24 h	O.C.	—	1.00	0.727	0.430	0.260	0.160	—
6	P-1	1.0	28 days	L.C.	—	1.00	0.742	0.448	0.278	0.160	—
7	P-6	2.5	24 h	O.C.	1.250	1.00	0.743	0.450	0.280	0.160	—
8	D-3	1.0	14 days	L.C.	1.156	1.00	0.812	0.526	0.344	0.194	—
9	D-4	1.0	60 days	L.C.	1.226	1.00	0.752	0.464	0.292	—	—
10	13A-I-5	1.0	7 days	L.C.	—	1.00	0.738	0.432	0.256	0.138	—

* ; σ'_v/σ'_c

とヒズミ (r) との関係を示している。なお、同図を得るために用いた生データは「附属資料Ⅱ 過圧密下・長期圧密下の実験データ一覧」を参照されたい。

表-2.2.2 はこれらの図に設定された平均曲線を用いて、代表的なヒズミにおける $G/(G)r=10^{-3}$ の値を整理したものである。解析対象となる供試体の過圧密比 (σ'_m/σ'_c , σ'_v/σ'_c) は 1.0~3.57 であり、また、圧密時間は $T_c = 20.25 h \sim 60 \text{ days}$ である。

過圧密比が $G/(G)r=10^{-3}$ に及ぼす影響を調べたのが図-2.2.16 である。図中に示した $\sigma'_m/\sigma'_c = 1.0$ の範囲は、正規圧密下での実験結果 (表-2.1.3) を示している。同図から、過密比による $G/(G)r=10^{-3}$ への影響は小さいと考えられる。

また、圧密時間による $G/(G)r=10^{-3}$ に対する影響の有意を調べたのが図-2.2.17 である。図中の $T_c = 24 h$ の平均は表-2.1.3 の正

規密下での結果を引用したものである。データの数が少ないが、 T_c による $G/(G)r=10^{-3}$ に対する影響はほとんど無いものとみなし得ると考えられる。

図-2.2.18 はせん断剛性率 G のヒズミ依存性の圧密時間効果を示した一例であるが、圧密が進行するにつれて G の値が増加することがわかる。しかし、低ヒズミ領域での関係と同様に、 $G/(G)r=$

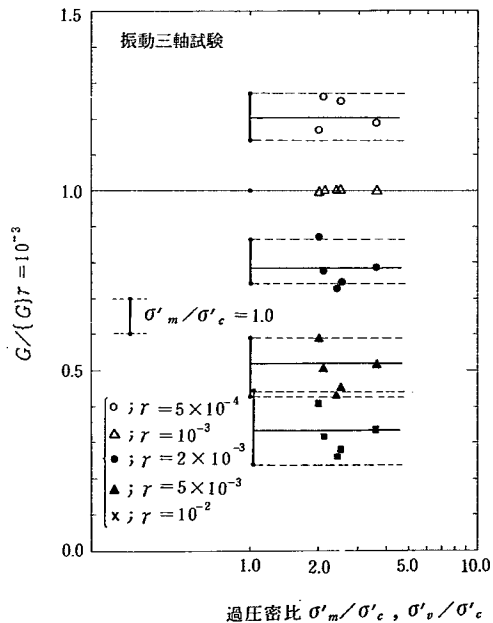


図-2.2.16 $G/(G)r=10^{-3} \sim \sigma'_m/\sigma'_c, \sigma'_v/\sigma'_c$ (過圧密)

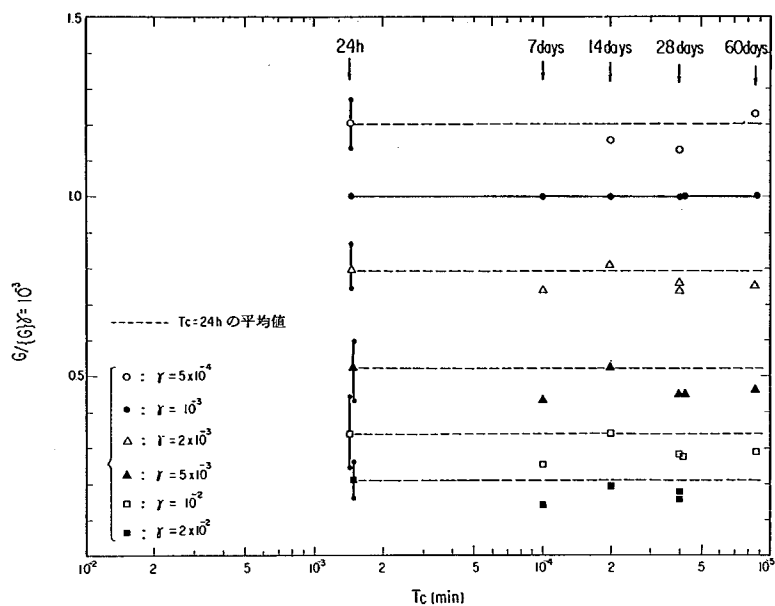


図 - 2.2.17 $G/(G)\gamma = 10^{-3} \sim T_c$ (長期圧密)

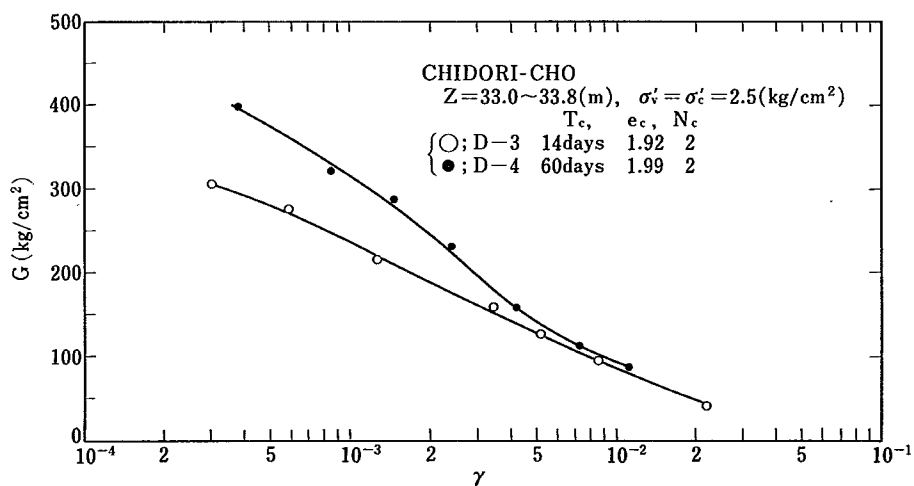


図 - 2.2.18 $G \sim T_c \sim \gamma$ (千鳥町; D-3, D-4)

10^{-3} といった基準化されたせん断剛性率のヒズミ依存性には圧密時間の影響を考えなくともよいことになる(図-2.2.17参照)。

中・高ヒズミ領域における過圧密下および長期圧密下での基準化されたせん断剛性率 ($G/(G)r = 10^{-3}$) のヒズミ依存性をまとめると次のようである。

- 1) $G/(G)r = 10^{-3}$ に対する過圧密比の影響は少なく, 過圧密比 = 1.0 での $G/(G)r = 10^{-3}$ で代表させることができる。
- 2) $G/(G)r = 10^{-3}$ に対する圧密時間の影響は少なく, 圧密時間が 24 h での $G/(G)r = 10^{-3}$ で代表させることができる。

3. 動的変形特性 ($G/G_0 \sim r$) の標準曲線

3.1 概 要

前章において、正規圧密、過圧密および長期圧密の各条件下における沖積粘性土の動的変形特性 (せん断剛性率 G のヒズミ依存性) に関する実験結果を、低ヒズミ領域 ($r \doteq 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$) および中・高ヒズミ領域 ($r \doteq 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$) といったヒズミレベルに対応して個別に検討 (定量的評価) したが、本章ではこれらの結果を相互に結びつけることにより、広範囲なヒズミ領域 ($r \doteq 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-2}$) において、諸パラメータを踏えたせん断剛性率のヒズミ依存性の標準曲線の提案を行う。

この際、2章の実験結果の整理においては、影響因子を実験時等方向束圧 (σ'_c)、塑性指数 (I_p) および実験時間ゲキ比 (I_p) の形で表わし、それらのパラメータを用いた動的変形特性の定量的評価を行ったが、本実験の結果を原位置における動的特性として適用する場合は、これらのパラメータを各々、原位置平均有効主応力 (σ'_p)、塑性指数 (I_p) および原位置間ゲキ比 (e) とみなして取扱うことができる。

3.2 原位置平均有効主応力 (σ'_p) および原位置間ゲキ比 (e) を考慮した標準曲線

低ヒズミ領域および中・高ヒズミ領域において、 σ'_p ($=\sigma'_v$) および e ($=e_c$) を考慮した標準曲線は、(2.1.6) 式および (2.1.19) 式を基にして、各々 (3.2.1) 式および (3.2.2) 式で表わされる。

$$[r = 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} r = 10^{-6} \right]_{\sigma'_p}^e = f(\sigma'_p) = A \cdot \sigma'^B_{p_i} \quad \dots\dots\dots (3.2.1)$$

$$[r = 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} r = 5 \times 10^{-4} \right]_{\sigma'_p}^e = F(\sigma'_p) = K \quad \dots\dots\dots (3.2.2)$$

ここに、定数 A , B および K は (2.1.6) 式および (2.1.19) 式に準ずる。

$r = 10^{-6}$ でのせん断剛性率 $\{G\}r = 10^{-6} = G_0$ を基準としたせん断剛性率 G/G_0 のヒズミ依存性は、 $r = 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$ の場合は (3.2.1) 式から推算でき、 $r = 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$ の場合は (3.2.1) で推算した $r = 5 \times 10^{-4}$ での G/G_0 値に対して (3.2.2) で得られる値を乗じれば推算できる。これを式で表わすと (3.2.3) 式および (3.2.4) 式を意味する。

$$[r = 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} \right]_{\sigma'_p}^e = A \cdot \sigma'^B_{p_i} \quad \dots\dots\dots (3.2.3)$$

$$[r = 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} \right]_{\sigma'_p}^e = \left[\frac{G}{G_0} \right]_{\sigma'_p}^e \cdot K \quad \dots\dots\dots (3.2.4)$$

$$r=r_i \quad r=r_i$$

ここに、定数 A, B および K は (2.1.6) 式および (2.1.20) 式に準ずる。

(3.2.3) 式および (3.2.4) 式を用いて、代表的原位置平均有効主応力 $\sigma'_p = 0.1, 0.25, 1.0, 2.5$ および $5.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ の場合 ($e \div 1.0 \sim 3.5$) について標準曲線の計算を行った結果が図-3.2.1 である。同図を用いれば、任意の原位置平均有効主応力 $\sigma'_p (\div 0.1 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2)$ に対する $G/G_0 \sim r$ 関係が得られる。なお、表-3.2.1 に代表値の一覧を示す。

図-3.2.2 は、本報告で提案した標準曲線と Seed and Idriss (1970)²³⁾ および 善, 梅原, 浜田 (1978)²¹⁾ の結果を比較した図である。Seed 等の結果は他の研究者によるデータをも含めて代表的な曲線を設定したものであるが、全般的にヒズミによる依存性が大きいのが特徴である。また、善等

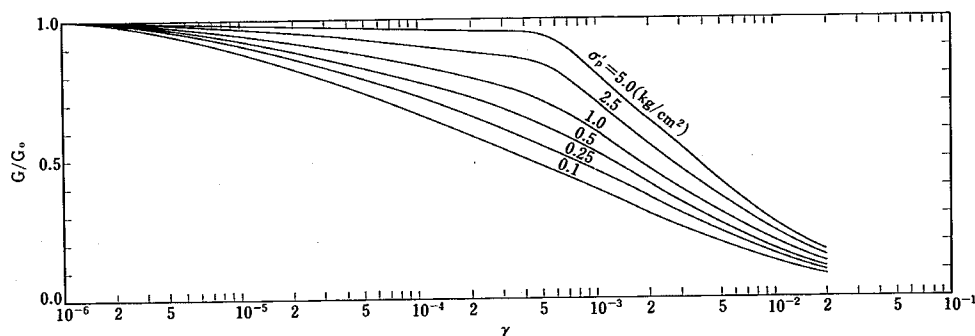


図-3.2.1 σ'_p を考慮した $G/G_0 \sim r$ の推定標準曲線例

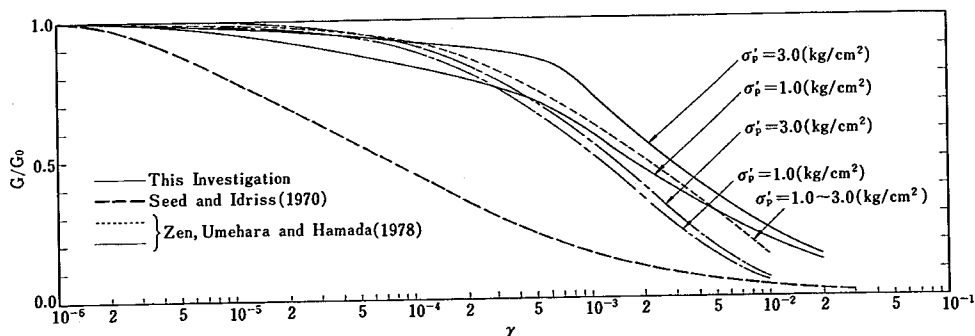


図-3.2.2 他の研究成果との比較例

表-3.2.1 σ'_c を考慮した $G/G_0 \sim r$ の推定標準曲線の代表値一覧

σ'_p (kg/cm ²) r	0.1	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
10^{-6}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2×10^{-6}	0.985	0.987	0.989	0.991	0.993	0.995
5×10^{-6}	0.930	0.944	0.954	0.965	0.979	0.990
10^{-5}	0.880	0.903	0.920	0.938	0.962	0.980
2×10^{-5}	0.820	0.854	0.881	0.908	0.946	0.975
5×10^{-5}	0.734	0.785	0.825	0.868	0.928	0.970
10^{-4}	0.650	0.713	0.765	0.820	0.900	0.965
2×10^{-4}	0.580	0.652	0.713	0.780	0.878	0.960
5×10^{-4}	0.460	0.546	0.620	0.705	0.835	0.950
10^{-3}	0.383	0.454	0.516	0.587	0.695	0.790
2×10^{-3}	0.303	0.360	0.409	0.465	0.550	0.626
5×10^{-3}	0.201	0.238	0.270	0.307	0.364	0.414
10^{-2}	0.132	0.156	0.177	0.202	0.239	0.272
2×10^{-2}	0.081	0.096	0.109	0.123	0.146	0.166

の結果は原位置から採取した2種類のremold sample [($I_p = 37.9(\%)$, 砂分=22.1(%), シルト分=38.9(%), 粘土分=39.0(%)) および ($I_p = 25.1(\%)$, 砂分=40.9(%), シルト分=30.4(%), 粘土分=28.7(%))] に対して, 平均有効主応力を1.0, 2.0および3.0 (kg/cm²) とした場合の結果であるが, 平均有効主応力が増加すると同一ヒズミに対する G/G_0 の値が大きくなる傾向があるものの, 1.0~3.0 (kg/cm²) では $G/G_0 \sim r$ に明確な差はみられていない。

3.3 原位置平均有効主応力 (σ'_p), 塑性指数 (I_p) および原位置間ゲキ比 (e) を考慮した標準曲線

2.1.1で説明したように低ヒズミ領域における塑性指数の影響については, 本研究では明確な結果は得られていないので, 本節はあくまで試算例であり, 考え方を示すことに止めることにする。

低ヒズミ領域および中・高ヒズミ領域において, $\sigma'_p (= \sigma'_v)$, I_p および $e (= e_c)$ を考慮した標準曲線は, (2.1.12) 式および (2.1.21) 式を基にして, 各々, (3.3.1) 式および (3.3.2) 式で表わされる。

$$[r = 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} r = 10^{-6} \right]_{\sigma'_p, I_p}^e = f(\sigma'_p) \cdot g_1(I_p) \quad r = r_i$$

$$\begin{cases} = A \cdot \sigma'_p{}^B & [0 \leq I_p \leq 30] \\ = (A \cdot \sigma'_p{}^B) (C \cdot 10^{D(I_p/100)}) & [30 \leq I_p \leq 100] \end{cases} \quad (3.3.1)$$

$$[r = 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} \right]_{r=r_i}^e \sigma'_p, I_p = \frac{F(\sigma'_p)}{r=r_i} \cdot \frac{g_2(I_p)}{r=r_i} = K(E \cdot I_p + F) \dots (3.3.2)$$

ここに、定数 A, B, C, D, K, E および F は (2.1.12) 式および (2.1.21) 式に準ずる。

前節 3.2 と同様な考え方により、 $r = 5 \times 10^{-4}$ において両 結果を結びつけるとすると $G/G_0 \sim r$ 標準曲線は (3.3.3) 式および (3.3.4) 式で推算できる。

$$[r = 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} \right]_{\sigma'_p, I_p}^e \begin{cases} = A \cdot \sigma'_p{}^B & [0 \leq I_p \leq 30] \\ = (A \cdot \sigma'_p{}^B) (C \cdot 10^{D(I_p/100)}) & [30 \leq I_p \leq 100] \end{cases} \dots (3.3.3)$$

$$[r = 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}]$$

$$\left[\frac{G}{G_0} \right]_{r=r_i}^e \sigma'_p, I_p = \left[\frac{G}{G_0} \right]_{r=5 \times 10^{-4}}^e \sigma'_p, I_p \cdot K(E I_p + F) [0 \leq I_p \leq 50] \dots (3.3.4)$$

ここに、定数 A, B, C, D, K, E および F は (2.1.12) 式および (2.1.21) 式に準ずる。

(3.3.3) 式および (3.3.4) 式を用いて、 $\sigma'_p = 0.1, 1.0$ および $5.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ で、 $I_p = 0, 30$ および $50(\%)$ の場合 ($e = 1.0 \sim 3.5$) について、標準曲線の計算を行った結果は図-3.3.1 に示すとおりである。同図を用いれば、任意の原位置有効主応力 $\sigma'_p (\div 0.1 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2)$ 、塑性指数 ($I_p = 0 \sim 50(\%)$) に対する $G/G_0 \sim r$ 関係が得られる。

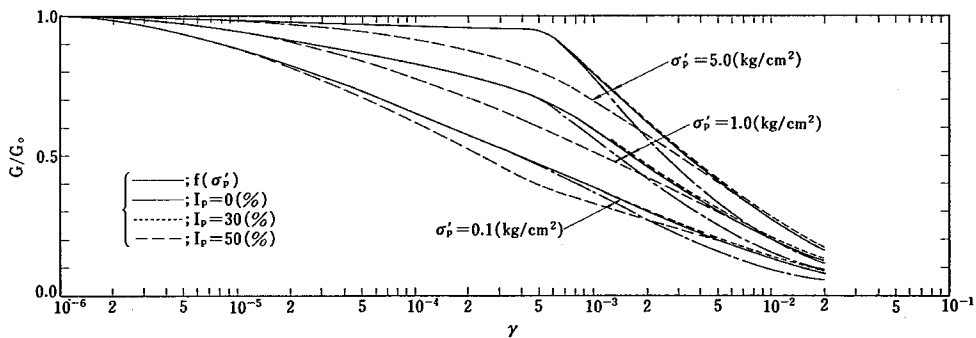


図-3.3.1 σ'_p および I_p を考慮した $G/G_0 \sim r$ の推定標準曲線例

4. ま と め

沖積粘性土の圧密条件（正規圧密，過圧密，長期圧密）による動的変形特性（せん断剛性率のヒズミ依存性）に関する実験的研究の結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 正規圧密された不攪乱沖積粘性土の低ヒズミ領域 ($r \div 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$) では、 G/G_0 のヒズミ依存性は実験時等方拘束圧 (σ'_c) および実験時間ゲキ比 (e_c) の影響を受け、これらの因子毎の $G/G_0 \sim r$ の推定式は、各々、(2.1.1)，および (2.1.3) 式で表わされる。ここで、(2.1.1) 式による推定値は間ゲキ比の影響を受けず、 σ'_c と e_c を考慮した $G/G_0 \sim r$ の推定式として (2.1.6) 式が成立する ($\sigma'_c \div 0.1 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$, $e_c \div 1.0 \sim 3.5$)。なお、塑性指数 (I_p) の影響に関しては、不明な部分があり、今後のデータの蓄積により明らかにしてゆく必要がある。
- 2) 正規圧密された不攪乱沖積粘性土の低ヒズミ領域 ($r \div 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$) では、 $G/\{G\}$ $r = 5 \times 10^{-4}$ のヒズミ依存性に対する I_p の影響は (2.1.15) 式で表わされるが、 σ'_c および e_c の影響は少なく、ヒズミに応じた一定値をとり、 σ'_c による $G/\{G\} r = 5 \times 10^{-4}$ の推定式は (2.1.13) 式で表わされる。ここで、(2.1.13) 式による推定値は e_c の影響を受けず、 σ'_c と e_c を考慮した推定式として (2.1.19) 式が成立する ($\sigma'_c \div 0.1 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$, $e_c \div 1.0 \sim 3.5$)。また、 σ'_c および I_p を考慮した推定式は (2.1.16) 式で表わされるが、この推定式は e_c に影響を受けないため、 σ'_c , I_p および e_c を考慮した推定式として (2.1.20) 式が成立する ($\sigma'_c \div 0.1 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$, $I_p \div 0 \sim 50 \%$, $e_c \div 1.0 \sim 3.5$)。
- 3) 正規圧密された不攪乱沖積粘性土の広範囲なヒズミ領域 ($r \div 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-2}$) における $G/G_0 \sim r$ 関係は、原位置平均有効主応力 (σ'_p) をパラメータとして、(3.2.3) 式および (3.2.4) 式で推定できる ($\sigma'_p \div 0.1 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$)。この推定式は原位置での間ゲキ比の影響を受けない。
- 4) 低ヒズミ領域における過圧密条件（過圧密比 = 1.0 ~ 16.0）および長期圧密条件（圧密時間 = 2日 ~ 62日）の $G/G_0 \sim r$ に対する影響はほとんど類似している。また、 σ'_c , I_p および e_c による影響は、正規圧密のそれと同様な傾向を示すが、影響度は小さく、また、ヒズミによる低減も小さい。
- 5) 広範囲なヒズミ領域において、 $G/G_0 \sim r$ に対する過圧密比の影響はほとんど無視し得る程度であり、過圧密比 = 1.0 の場合の $G/G_0 \sim r$ を適用できる。
- 6) 広範囲なヒズミ領域において、 $G/G_0 \sim r$ に対する圧密時間の影響はほとんど無視し得る程度であり、圧密時間 = 24 h の場合の $G/G_0 \sim r$ を適用できる。

あ と が き

本調査の結果、圧密条件（正規圧密，過圧密，長期圧密）に拘わらず，原位置平均有効主応力(σ'_p)を考慮した沖積粘性土の $G/G_0 \sim r$ ($r \doteq 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-2}$) の推定式を提案することができた。塑性指数の影響，減衰定数のヒズミ依存性等に関しては，今後詳細な調査を進める予定である。

なお，本調査を実施するに際して，関東地方建設局東京湾岸調査事務所，同首都国道工事々務所，近畿地方建設局阪神国道工事々務所，東京都交通局，首都高速道路公団第1建設部調査課，同浦安工事々務所工事第二課および日本道路公団企画調査部東京湾横断道路調査室の協力を得ている。関係各位に御礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) 大橋, 岩崎, 龍岡, 宮田: 地震時における地盤流動化判定法の検討, 土木技術資料 vol. 19 №4, April 1977
- 2) 岩崎, 龍岡, 常田: 地盤流動化の判定方法, 土木技術資料 vol. 20 №4, April 1978
- 3) 小島, 有川, 高垣, 松石: 基礎地盤の液状化予測について, 昭和53年度(第32回)建設省技術研究会, 1978. 11
- 4) 岩崎, 龍岡, 横田: 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, 昭和52年5月
- 5) 横田, 龍岡: 不攪乱洪積粘土のセン断変形係数について, 土木学会第32回年次学術講演会講演概要集第3部, 1977. 10,
- 6) 岩崎, 龍岡, 常田, 吉田: 共振法・振動三軸試験による沖積粘性土の動的変形係数, 第13回土質工学研究発表会, 1978. 6
- 7) 吉田, 龍岡, 常田: 沖積粘性土の動的変形特性に及ぼす過圧密・長期圧密の影響, 土木学会第33回年次学術講演会講演概要集第3部, 1978. 9
- 8) 土質工学会(1972年): サンプリングマニュアル, 昭和47年10月
- 9) 関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所: 昭和50年度東京湾地質調査(その3)報告書
- 10) 関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所: 昭和51年度東京湾地質調査(その2)報告書
- 11) 関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所: 昭和52年度東京湾地質調査(その1)報告書, 昭和53年1月
- 12) 関東地方建設局道都国道工事事務所: 一般国道14号(湾岸道路)浦安地区地質調査報告書
- 13) 東京都交通局: 地下鉄10号線荒川・中川地質調査工事報告書, 昭和53年5月
- 14) 近畿地方建設局阪神国道工事事務所: 昭和51年度大阪湾岸道路第1防波堤東附近地質調査作業報告書, 昭和51年8月
- 15) 首都高速道路公団第1建設部: KE45工区(その1)地質調査報告書, 昭和53年12月
- 16) 首都高速道路公団第1建設部: KE56工区地質調査報告書, 昭和53年12月
- 17) 日本道路公団東京湾横断道路調査室: 昭和53年度東京湾横断道路土質調査報告書, 昭和54年1月
- 18) 栗林, 岩崎, 龍岡, 堀内: 土の動的変形特性(共振法土質試験機による測定), 土木研究所資料第912号, 昭和49年5月
- 19) 石原: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, 昭和51年8月
- 20) Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B. (1972), "SHAKE A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", Report No. EERC 72-12, University of California, Berkeley, December 1972
- 21) 善, 梅沢, 浜田: "Laboratory Tests and In-Situ Seismic Survey on Vibratory Shear Modulus of Clayey Soils with Various Plasticities," Proc. of the 5th. J.E.E.S.- 1978, Nov. 1978, Tokyo, Japan
- 22) 石原, 根井, 竹原: 不攪乱粘性土のセン断定数と減衰比, 第11回土質工学研究発表会, 1976. 6

- 23) Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1970), "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis", Report No. EERC 70-10, University of California, Berkeley, December 1970

付属資料

- I 正規圧密下の実験データ一覧
- II 過圧密下・長期圧密下の実験データ一覧
- III 共振法土質試験用データシート
- IV 振動三軸試験用データシート

I 正規圧密下の実験データ一覧

データ NO.	供試体 NO.	α_c	試験 方法	G_s (kg/cu)		$r \sim G \sim G/G_s$																
				$(G)r=10^{-4}$	$(G)r=10^{-2}$																	
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	U-1	2.81	D.T.	—	35.2	r	2.92×10^{-4}	1.84×10^{-3}	3.65	6.03												
						G (kg/cu)	48.6	2.92	2.19	1.76												
						G/G_s	1.381	0.830	0.622	0.500												
2	U-3	2.56	D.T.	—	34.8	r	2.51×10^{-4}	5.75	1.53×10^{-3}	2.82	4.41	6.47	9.14									
						G (kg/cu)	50.1	4.08	3.01	2.51	2.14	1.87	1.59									
						G/G_s	1.440	1.172	0.865	0.721	0.615	0.537	0.457									
3	U-4	3.02	D.T.	—	26.5	r	1.91×10^{-4}	3.59	8.87	2.44×10^{-3}	5.27	1.09×10^{-2}	2.09	4.08	8.26							
						G (kg/cu)	35.5	3.36	27.2	20.1	13.9	9.1	6.0	3.7	2.1							
						G/G_s	1.340	1.268	1.026	0.758	0.525	0.343	0.226	0.140	0.079							
4	U-5	2.74	D.T.	—	35.0	r	2.03×10^{-4}	6.23	1.95×10^{-3}	4.20	1.00×10^{-2}	1.93	3.62									
						G (kg/cu)	58.5	40.1	26.2	18.3	10.3	6.7	4.3									
						G/G_s	1.671	1.146	0.749	0.523	0.294	0.191	0.123									
5	U-6	2.93	D.T.	—	31.8	r	2.90×10^{-4}	6.91	2.07×10^{-3}	4.86	1.01×10^{-2}	1.79	3.12	5.51	8.89							
						G (kg/cu)	44.4	36.4	2.48	1.60	10.3	7.3	5.0	3.4	2.5							
						G/G_s	1.396	1.145	0.780	0.503	0.324	0.230	0.157	0.107	0.079							
6	U-7	3.11	D.T.	—	62.6	r	3.36×10^{-4}	7.76	1.36×10^{-3}	2.09	3.06	4.33	5.85	8.4								
						G (kg/cu)	75.8	67.0	57.3	4.96	42.5	35.9	31.0	24.7								
						G/G_s	1.211	1.070	0.915	0.792	0.679	0.573	0.495	0.395								
7	U-11	2.34	D.T.	—	331	r	3.12×10^{-4}	7.16	1.27×10^{-3}	1.89	2.48	3.31	4.29	5.53	7.23	9.62						
						G (kg/cu)	41.95	360.2	308.7	270.8	244.1	214.3	190.1	166.3	145.2	119.6						
						G/G_s	1.267	1.088	0.933	0.818	0.737	0.647	0.574	0.502	0.432	0.361						
8	U-12	2.11	D.T.	—	90	r	3.03×10^{-4}	7.24	1.97×10^{-3}	3.95												
						G (kg/cu)	12.80	103.8	7.61	5.69												
						G/G_s	1.422	1.154	0.846	0.632												
9	U-13	2.68	D.T.	—	153	r	2.20×10^{-4}	6.28	1.64×10^{-3}	3.04	5.10	7.17										
						G (kg/cu)	25.04	173.7	134.3	107.4	85.4	71.1										
						G/G_s	1.637	1.135	0.878	0.702	0.558	0.465										
10	U-14	1.21	D.T.	—	177	r	2.24×10^{-4}	5.67	1.02×10^{-3}	1.74	2.82	4.84	9.75									
						G (kg/cu)	27.35	216.3	182.5	143.5	110.1	77.3	43.8									
						G/G_s	1.545	1.222	1.031	0.811	0.622	0.437	0.247									

データ NO	供試体 NO.	ϵ_c	試験 方法	G_s (kg/cm ²)		$r \sim G \sim G/G_s$														
				(G) $r=10^{-4}$	(G) $r=10^{-1}$															
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11	U-17	1.88	R.C.	143	—	r	5.14×10^{-4}	1.71×10^{-3}	4.61	1.02×10^{-4}	3.27	5.88	9.74							
						G (kg/cm ²)	139.7	140.2	136.4	132.4	124.6	117.8	110.4							
						G/G_s	0.977	0.980	0.954	0.926	0.871	0.824	0.772							
12	U-18	2.77	"	100	—	r	4.35×10^{-4}	2.01×10^{-3}	4.62	7.59	1.19×10^{-4}	2.10	2.48	3.78	5.59	8.24	1.12×10^{-3}	1.77	2.71	3.16
						G (kg/cm ²)	99.1	94.7	93.1	92.7	90.7	88.2	87.2	85.7	82.9	79.6	75.9	68.8	59.5	57.1
						G/G_s	0.991	0.947	0.931	0.927	0.907	0.882	0.872	0.857	0.829	0.796	0.759	0.688	0.595	0.571
13	"	2.58	"	156	—	r	2.38×10^{-5}	4.63	8.69	1.43×10^{-4}	2.47	4.16	6.06	7.81	9.37	1.19×10^{-3}	1.78	2.12		
						G (kg/cm ²)	152.1	14.82	147.3	144.7	141.5	137.6	133.9	130.1	125.8	117.9	111.5	108.1		
						G/G_s	0.975	0.950	0.944	0.928	0.907	0.882	0.858	0.834	0.806	0.756	0.715	0.693		
14	"	2.48	"	320	—	r	1.6×10^{-4}	3.55	7.71	1.99×10^{-4}	3.18	4.21	8.19	1.16×10^{-4}	2.02	2.98	3.79	7.14	8.05	1.07×10^{-3}
						G (kg/cm ²)	320.6	323.2	316.7	314.7	308.8	308.1	305.0	300.5	295.0	291.8	286.3	273.7	267.6	256.3
						G/G_s	1.002	1.010	0.990	0.983	0.965	0.963	0.953	0.939	0.922	0.912	0.895	0.855	0.830	0.801
15	"	1.88	"	700	—	r	2.6×10^{-4}	5.09	9.69	1.66×10^{-4}	3.20	4.47	5.47	8.49	1.37×10^{-4}	1.85	2.77	3.65	4.56	5.68
						G (kg/cm ²)	706.2	701.3	700.3	700.2	695.8	694.6	693.1	688.1	682.1	678.2	670.2	660.4	652.5	642.8
						G/G_s	1.009	1.002	1.000	1.000	0.994	0.992	0.990	0.983	0.974	0.969	0.957	0.943	0.932	0.918
16	"	1.43	"	1700	—	r	3.04×10^{-4}	7.66	1.08×10^{-3}	1.68	2.59	3.39	4.56	7.23	1.4×10^{-4}	2.11	3.82			
						G (kg/cm ²)	172.10	1700.0	1701.6	1694.6	1688.7	1678.7	1668.7	1662.9	1638.6	1627.7	1595.7			
						G/G_s	1.012	1.000	1.001	0.997	0.993	0.988	0.982	0.978	0.964	0.957	0.939			
17	U-19	2.92	"	138	—	r	2.47×10^{-4}	5.72	1.18×10^{-3}	2.07	3.78	7.55	1.77×10^{-4}	3.28	5.81	8.10	1.12×10^{-3}			
						G (kg/cm ²)	138.5	135.8	135.9	134.6	130.3	127.4	122.0	117.3	113.2	110.3	106.4			
						G/G_s	1.004	1.000	0.985	0.975	0.944	0.923	0.884	0.850	0.820	0.799	0.771			
18	"	2.67	"	220	—	r	4.22×10^{-4}	1.34×10^{-3}	2.35	3.20	5.98	1.02×10^{-4}	2.06	3.05	3.83	6.04	7.37			
						G (kg/cm ²)	218.5	213.6	209.4	206.5	203.3	200.1	194.6	191.4	189.9	185.2	182.2			
						G/G_s	0.993	0.971	0.952	0.939	0.924	0.910	0.885	0.870	0.863	0.842	0.828			
19	"	2.32	"	460	—	r	2.1×10^{-4}	6.0	1.12×10^{-3}	1.90	3.22	6.72	1.31×10^{-4}	1.94	2.48	3.42	4.94			
						G (kg/cm ²)	457.6	456.0	451.2	449.0	447.2	444.4	440.4	436.5	433.8	431.2	423.3			
						G/G_s	0.995	0.991	0.981	0.976	0.972	0.966	0.957	0.949	0.943	0.938	0.920			
20	"	2.06	"	870	—	r	1.48×10^{-4}	3.26	6.3	1.05×10^{-3}	1.39	2.40	3.53	4.49	8.58	1.08×10^{-4}	1.47	2.3	3.19	3.60
						G (kg/cm ²)	873.0	872.1	870.0	866.5	864.6	863.7	860.4	858.8	858.1	851.8	845.6	839.5	833.3	831.3
						G/G_s	1.003	1.002	1.000	0.996	0.994	0.993	0.989	0.989	0.987	0.979	0.972	0.965	0.958	0.956

序 号 NO.	供試体 NO.	e_c	試驗 方法	G_s (kg/cm ²)		$r \sim G \sim G_s$														
				(G) $r=10^{-3}$	(G) $r=10^{-2}$	$r \sim G \sim G_s$														
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	U-20	1.18	R.C.	425	—	r	2.02×10^{-3}	545	1.25×10^{-2}	2.24	865	1.42×10^{-1}	2.71	7.47						
						G (kg/cm ²)	4243	4250	4217	4193	4165	4144	4070	3934						
						G/G_s	0.998	1.000	0.992	0.987	0.980	0.974	0.958	0.926						
22	"	1.06	"	700	—	r	2.64×10^{-3}	553	879	1.78×10^{-2}	2.77	456	970	1.47×10^{-1}	2.64	453	7.04	9.17		
						G (kg/cm ²)	7014	7025	7007	6962	6925	6874	6798	6683	6475	6242	6014	5816		
						G/G_s	1.002	1.004	1.001	0.995	0.989	0.982	0.971	0.955	0.925	0.892	0.859	0.831		
23	"	0.85	"	1280	—	r	1.50×10^{-3}	301	1.04×10^{-2}	2.16	468	969	1.91×10^{-1}	3.42	5.45					
						G (kg/cm ²)	1292.9	12932	12864	12802	12773	12699	12492	12245	11940					
						G/G_s	1.002	1.002	0.997	0.993	0.990	0.984	0.969	0.948	0.926					
24	P-4	1.51	D.T.	—	118	r	2.71×10^{-4}	521	1.17×10^{-2}	1.91	315	513	854	1.49×10^{-1}	3.24					
						G (kg/cm ²)	153.1	133.6	106.7	90.2	73.7	55.2	40.2	26.6	14.1					
						G/G_s	1.297	1.132	0.904	0.764	0.625	0.468	0.341	0.225	0.119					
25	P-7	1.520	R.C.	320	—	r	5.09×10^{-3}	981	1.59×10^{-2}	2.28	342	458	649	1.16×10^{-1}	1.85	2.49	3.35	4.77	6.91	
						G (kg/cm ²)	319.5	320.0	320.1	310.6	309.0	307.1	305.7	300.0	294.4	289.1	282.3	273.0	259.4	
						G/G_s	0.998	1.000	1.000	0.971	0.966	0.960	0.955	0.938	0.920	0.903	0.882	0.853	0.810	
26	"	1.516	"	330	—	r	5.53×10^{-3}	884	1.45×10^{-2}	2.32	382	694	1.40×10^{-1}	2.16	3.70	5.47	7.84			
						G (kg/cm ²)	329.2	329.2	329.6	327.5	324.9	322.9	316.5	309.8	298.7	288.7	277.8			
						G/G_s	0.998	0.998	0.999	0.992	0.985	0.978	0.959	0.939	0.905	0.875	0.842			
27	P-3	1.37	D.T.	—	180	r	2.42×10^{-4}	479	1.22×10^{-2}	2.31	423	810	1.52×10^{-1}	4.19						
						G (kg/cm ²)	2835	230.9	171.4	120.8	86.6	56.3	33.7	14.8						
						G/G_s	1.573	1.283	0.952	0.671	0.481	0.313	0.187	0.082						
28	A-4	1.52	"	—	83	r	3.2×10^{-4}	490	2.03×10^{-2}	6.31	1.46×10^{-1}	2.60	4.41							
						G (kg/cm ²)	135.0	103.0	64.5	37.3	23.5	17.4	13.1							
						G/G_s	1.626	1.241	0.777	0.449	0.283	0.209	0.158							
29	A-5	1.42	R.C.	435	—	r	1.12×10^{-4}	308	440	704	1.04×10^{-3}	1.50	2.18	3.08	4.42	7.78	1.10×10^{-2}	1.42	1.79	
						G (kg/cm ²)	434.1	434.6	434.2	434.3	431.9	429.0	426.3	423.5	418.8	415.2	413.2	410.2	408.1	
						G/G_s	0.998	0.999	0.998	0.998	0.993	0.986	0.980	0.974	0.963	0.954	0.950	0.943	0.938	
30	"	1.26	"	740	—	r	2.04×10^{-4}	425	591	920	1.90×10^{-3}	2.24	503	849	1.03×10^{-2}	2.67	3.87	6.16	1.20×10^{-2}	
						G (kg/cm ²)	739.7	732.1	732.4	729.0	722.8	717.5	715.6	713.4	706.5	702.4	692.9	671.4	620.4	
						G/G_s	1.000	0.989	0.990	0.985	0.977	0.970	0.967	0.964	0.955	0.949	0.936	0.907	0.838	

データ NO.	供試体 NO.	ϵ_c	試験 方法	G_a (kg/cm ²)		$T \sim G \sim G/G_a$																
				(G) $T=10^4$	(G) $T=10^5$																	
						r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
31	C-6	1.8.9	D.T.	—	195	r	5.60×10^{-4}	1.24×10^{-3}	2.3.8	3.7.7	5.8.5	1.32×10^{-2}										
						G (kg/cm ²)	2.25.2	1.95.3	1.47.0	1.2.9.7	1.0.2.7	5.4.5										
						G/G_a	1.15.5	1.0.0.2	0.75.4	0.6.6.5	0.5.2.7	0.2.7.9										
						r	1.69×10^{-3}	3.8.5	7.1	1.06×10^{-2}	1.9.0	3.3.2	5.6.7	8.4.5	1.67×10^{-2}	2.1.5	3.5.5	5.3.4	8.3.0			
32	C-7	1.9.6	R.C.	3.6.7	—	G (kg/cm ²)	3.6.7.3	3.6.1.6	3.55.0	3.5.1.2	3.4.2.5	3.3.9.4	3.3.7.2	3.3.5.8	3.3.1.3	3.2.9.5	3.2.6.0	3.1.8.0	3.0.5.1			
						G/G_a	1.0.0.5	0.9.9.1	0.9.7.3	0.9.6.2	0.9.3.8	0.9.3.0	0.9.2.4	0.9.2.0	0.9.0.8	0.9.0.3	0.8.9.5	0.8.7.1	0.8.6.4			
						r	2.49×10^{-4}	5.3.0	9.9.2	1.39×10^{-3}	3.3.7	7.4.3	1.19×10^{-2}	1.9.7	3.2.7							
						G (kg/cm ²)	5.9.6.6	5.9.2.8	5.9.0.8	5.8.7.4	5.7.9.8	5.7.9.4	5.7.7.0	5.7.4.6	5.7.2.2							
33	"	1.5.2	"	5.9.6	—	G/G_a	1.0.0.1	0.9.9.5	0.9.9.1	0.9.8.6	0.9.7.3	0.9.7.2	0.9.6.8	0.9.6.4	0.9.6.0							
						r	4.54×10^{-4}	1.09×10^{-3}	3.1.3	6.6.4	1.11×10^{-2}	1.7.8	4.8.6	5.6.6	8.8.8							
						G (kg/cm ²)	1.4.7.0	1.0.6.0	6.5.8	4.6.1	3.4.7	2.8.0	1.4.3	1.0.9	9.8							
						r	1.03×10^{-3}	2.5.7	3.7.8	9.2.2	1.55×10^{-2}	2.0.3	4.0.0	4.7.1	6.6.2	1.21×10^{-2}	1.8.8	2.2.3	3.6.9	5.0.4	6.5.4	
34	13A-I-1	1.3.8	D.T.	—	111	G (kg/cm ²)	1.3.2.4	0.9.5.5	0.5.9.3	0.4.1.5	0.3.1.3	0.2.5.2	0.1.2.9	0.0.9.8	0.0.8.8							
						G/G_a	1.0.3.3	0.9.3.3	0.5.9.3	0.4.1.5	0.3.1.3	0.2.5.2	0.1.2.9	0.0.9.8	0.0.8.8							
						r	1.03×10^{-3}	2.5.7	3.7.8	9.2.2	1.55×10^{-2}	2.0.3	4.0.0	4.7.1	6.6.2	1.21×10^{-2}	1.8.8	2.2.3	3.6.9	5.0.4	6.5.4	
						G (kg/cm ²)	4.2.7.1	4.3.1.7	4.3.2.5	4.2.3.0	4.0.9.2	4.0.1.2	3.8.6.5	3.8.1.7	3.7.9.0	3.6.3.1	3.5.4.4	3.4.8.6	3.3.8.1	3.2.9.5	3.2.1.2	
35	16B-II-5	1.6.7	R.C.	4.3.0	—	G/G_a	0.9.9.3	1.0.0.4	1.0.0.6	0.9.8.4	0.9.5.2	0.9.3.3	0.8.9.9	0.8.8.8	0.8.7.7	0.8.4.4	0.8.2.4	0.8.1.1	0.7.9.6	0.7.8.7	0.7.4.7	
						r	2.24×10^{-4}	4.8.7	1.06×10^{-3}	1.9.9	3.3.5	5.5.7	9.7.7	1.72×10^{-2}	4.2.5							
						G (kg/cm ²)	2.4.4.1	2.6.7.1	1.8.4.4	1.4.4.3	1.1.6.3	8.7.0	5.9.5	2.9.7	1.8.6							
						G/G_a	1.2.8.5	1.4.0.6	0.9.7.1	0.7.6.0	0.6.1.2	0.4.5.8	0.3.1.3	0.1.5.6	0.0.9.8							
36	16B-II-6	1.9.0	D.T.	—	190	r	4.32×10^{-4}	8.5.5	1.88×10^{-3}	3.1.9	5.1.3	8.0	1.28×10^{-2}	2.1.3	4.6.3							
						G (kg/cm ²)	1.7.0.2	1.6.3.7	1.2.8.7	1.0.4.6	8.3.8	6.7.7	5.1.6	3.6.7	1.9.6							
						G/G_a	1.1.3.5	1.0.9.1	0.8.5.8	0.6.9.7	0.5.5.9	0.4.5.1	0.3.4.4	0.2.4.5	0.1.3.1							
						r	1.06×10^{-4}	1.2.1	2.9.4	4.6.2	5.6.3	8.0.0	1.12×10^{-3}	1.3.5	2.2	3.0.6	3.9					
37	16B-III-6	1.7.7	"	—	150	G (kg/cm ²)	4.3.7.7	3.9.4.9	4.1.7.7	3.8.2.2	3.6.4.0	3.6.8.6	3.5.0.4	3.3.5.8	3.0.5.8	3.0.2.1	2.7.4.8					
						G/G_a	0.9.6.2	0.8.6.8	0.9.1.8	0.8.4.0	0.8.0.0	0.8.1.0	0.7.7.9	0.7.3.8	0.6.7.2	0.6.6.4	0.6.0.4					
						r	2.25×10^{-4}	4.0.3	9.9	1.24×10^{-3}	1.7.1	2.5.2	4.4.5	7.2	1.08×10^{-2}							
						G (kg/cm ²)	4.0.5.8	4.0.0.1	4.0.5.4	3.5.7.2	3.8.5.2	3.2.4.8	3.0.3.8	2.6.5.7	2.3.9.8							
38	T ₄ -2	1.1.0	R.C.	4.5.5	—	G/G_a	1.0.0.2	0.9.8.8	1.0.0.1	0.8.8.2	0.9.5.1	0.8.0.2	0.7.5.0	0.6.5.6	0.5.9.2							
						r	2.48×10^{-4}	2.9.6	3.6.3	1.23×10^{-3}	1.9.2											
						G (kg/cm ²)	5.9.6.6	5.5.2.3	5.6.4.6	5.1.9.7	4.8.0.9											
						G/G_a	0.9.7.0	0.8.9.8	0.9.1.8	0.8.4.5	0.7.8.2											
39	S ₄ -1	1.0.8	"	4.0.5	—	r	2.48×10^{-4}	2.9.6	3.6.3	1.23×10^{-3}	1.9.2											
						G (kg/cm ²)	5.9.6.6	5.5.2.3	5.6.4.6	5.1.9.7	4.8.0.9											
						G/G_a	0.9.7.0	0.8.9.8	0.9.1.8	0.8.4.5	0.7.8.2											
						r	2.48×10^{-4}	2.9.6	3.6.3	1.23×10^{-3}	1.9.2											
40	S ₄ -3	1.1.8	"	6.1.5	—	G (kg/cm ²)	5.9.6.6	5.5.2.3	5.6.4.6	5.1.9.7	4.8.0.9											
						G/G_a	0.9.7.0	0.8.9.8	0.9.1.8	0.8.4.5	0.7.8.2											
						r	2.48×10^{-4}	2.9.6	3.6.3	1.23×10^{-3}	1.9.2											
						G (kg/cm ²)	5.9.6.6	5.5.2.3	5.6.4.6	5.1.9.7	4.8.0.9											

デ 1 タ NO.	供試体 NO.	α_c	試験 方法	G_s (kg/cm ²)		$r \sim G \sim G_s$															
				(G) $r=10^{-4}$	(G) $r=10^{-3}$																
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
41	1-18	2.32	R.C.	305	-	r	270×10 ⁴	4.53	71.1	1.14×10 ⁴	2.25	34.1	7.07	131×10 ⁴	2.37	3.80					
						G (kg/cm ²)	31.09	291.9	291.4	27.75	279.2	264.8	247.0	239.4	223.3	212.8					
						G/G _s	1.019	0.957	0.955	0.910	0.915	0.868	0.810	0.785	0.732	0.698					
42	1-30	2.08	"	415	-	r	3.36×10 ⁴	8.26	1.36×10 ⁴	1.94	3.13	4.42	6.91	1.14×10 ⁴	2.04	3.12	4.32				
						G (kg/cm ²)	406.7	395.6	397.9	373.2	357.0	352.6	334.1	314.8	292.5	282.1	271.0				
						G/G _s	0.980	0.953	0.959	0.899	0.860	0.850	0.805	0.759	0.705	0.680	0.653				
43	NO. 1	3.08	"	840	-	r	4.08×10 ⁴	7.26	1.96×10 ⁴	3.35	5.73	8.81	1.38×10 ⁴	2.08	3.30	4.88	8.17				
						G (kg/cm ²)	82.1	67.9	58.4	47.0	43.8	35.0	30.9	27.6	24.3	22.2	20.4				
						G/G _s	0.977	0.808	0.695	0.560	0.521	0.417	0.368	0.329	0.289	0.264	0.243				
44	NO. 4	3.18	"	683	-	r	1.11×10 ⁴	2.23	37.7	5.74	8.49	1.16×10 ⁴	1.40	2.15	2.98	3.64	5.16	7.96			
						G (kg/cm ²)	63.5	61.1	55.6	53.4	51.0	48.9	47.1	44.2	41.8	40.1	37.4	34.3			
						G/G _s	0.930	0.895	0.814	0.782	0.760	0.716	0.690	0.647	0.612	0.587	0.548	0.502			
45	NO. 7	2.98	"	148	-	r	6.33×10 ⁴	1.42×10 ⁵	21.3	3.42	4.69	6.45	1.06×10 ⁴	1.30	1.69	2.35	3.10	5.40	8.66		
						G (kg/cm ²)	139.3	124.3	117.6	110.1	104.3	96.6	89.0	80.7	76.3	69.6	65.1	56.5	50.0		
						G/G _s	0.941	0.840	0.795	0.744	0.705	0.653	0.601	0.545	0.516	0.470	0.440	0.382	0.338		
46	NO. 10	2.92	"	196	-	r	3.90×10 ⁴	7.12	9.64	1.53×10 ⁴	2.71	37.9	5.33	6.98	1.13×10 ⁴	1.81	2.32	3.65	5.77	8.78	
						G (kg/cm ²)	18.62	18.64	177.2	17.12	14.69	13.90	13.01	12.44	11.40	10.29	9.75	9.08	8.14	7.43	
						G/G _s	0.950	0.951	0.904	0.873	0.749	0.709	0.664	0.635	0.582	0.525	0.497	0.463	0.415	0.379	
47	NO. 13	2.50	"	248	-	r	2.73×10 ⁴	6.38	1.11×10 ⁵	1.77	2.57	3.42	4.40	6.26	9.23						
						G (kg/cm ²)	240.3	232.4	212.4	195.5	181.6	167.4	154.4	138.9	133.9						
						G/G _s	0.969	0.937	0.856	0.789	0.732	0.675	0.623	0.560	0.540						
48	NO. 20	1.10	"	400	-	r	1.66×10 ⁴	3.54	54.7	8.98	1.27×10 ⁵	1.78	2.61	42.7	6.37	103×10 ⁴	1.60	2.33	3.36	5.57	
						G (kg/cm ²)	307.7	39.64	393.3	38.23	370.9	362.3	346.0	334.9	319.2	300.8	284.7	271.5	257.9	242.9	
						G/G _s	0.994	0.991	0.983	0.956	0.927	0.906	0.865	0.837	0.798	0.752	0.712	0.679	0.645	0.607	
49	NO. 21	1.20	"	265	-	r	2.07×10 ⁴	4.35	67.1	1.16×10 ⁵	1.79	2.47	3.57	5.96	8.13	13.6	23.2	3.11	4.66	6.93	8.70
						G (kg/cm ²)	261.8	252.3	257.5	248.9	246.6	243.8	235.7	230.1	225.1	217.7	205.4	196.9	181.2	167.4	153.5
						G/G _s	0.988	0.952	0.972	0.939	0.931	0.920	0.889	0.868	0.849	0.822	0.775	0.743	0.684	0.632	0.579
50	NO. 26	1.12	"	567	-	r	1.19×10 ⁴	2.32	3.62	6.54	1.05×10 ⁵	1.37	2.03	3.43	6.63	1.07×10 ⁴	1.93				
						G (kg/cm ²)	560.7	561.7	557.7	541.0	524.0	514.5	503.1	486.2	464.1	441.8	370.1				
						G/G _s	0.989	0.991	0.984	0.954	0.924	0.907	0.887	0.857	0.819	0.779	0.635				

データ NO.	供試体 NO.	e _c	試験 方法	G _s (kg / cm ³)		r ~ G ~ G / G _s															
				(G) r = 10 ⁻⁴	(G) r = 10 ⁻³																
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
51	2'-4	—	R.C.	655	—	r	2×10 ⁻⁴	2.56	5.0	1.07×10 ⁻⁵	1.82	3.18	4.82	7.16	9.9	1.38×10 ⁻⁴	1.9	3.5	4.2		
						G (kg / cm ³)	648.5	652.4	650.4	634.0	613.7	601.3	594.1	578.4	568.5	551.5	535.8	498.5	486.0		
						G / G _s	0.990	0.996	0.993	0.968	0.937	0.918	0.907	0.883	0.868	0.842	0.818	0.761	0.742		
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															
						r															
						G (kg / cm ³)															
						G / G _s															

II 過圧密下・長期圧密下の 実験データ一覧

データ NO.	供試体 NO.	c _c	試験 方法	G _s (kg/cm ³)		r ~ G ~ G _s														
				(G) r = 10 ⁻⁴	(G) r = 10 ⁻³															
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	U-10	2.99	D.T.	—	36.7	r	1.42×10 ⁻⁴	2.95	6.07	1.49×10 ⁻³	2.69	4.42	6.91	1.09×10 ⁻²	1.73	2.98	4.93			
						G (kg/cm ³)	56.7	48.9	41.7	34.6	29.1	23.1	18.6	14.2	10.4	7.0	4.7			
						G/G _s	1.545	1.332	1.136	0.943	0.793	0.629	0.507	0.387	0.283	0.191	0.128			
2	U-15	1.06	"	—	100.0	r	4.61×10 ⁻⁴	8.09	1.23×10 ⁻³	1.74	2.34	3.14	4.17	5.55	7.49	1.03×10 ⁻²	1.53			
						G (kg/cm ³)	128.7	109.6	95.6	83.5	74.7	65.2	55.9	47.6	39.1	31.4	23.0			
						G/G _s	1.287	1.096	0.956	0.835	0.747	0.652	0.559	0.476	0.391	0.314	0.230			
3	U-16	1.28	"	—	78.0	r	2.86×10 ⁻⁴	4.51	6.67	8.93	1.16×10 ⁻³	1.46	1.87	2.19	2.64	3.13	3.68	5.13	7.05	8.44
						G (kg/cm ³)	103.1	93.7	87.9	81.7	75.6	69.6	64.7	60.2	55.9	52.0	48.3	40.4	33.6	30.1
						G/G _s	1.313	1.202	1.127	1.047	0.969	0.892	0.829	0.771	0.717	0.667	0.619	0.518	0.431	0.386
4	U-18	2.79	R.C.	95.0	—	r	4.48×10 ⁻⁴	6.23	1.06×10 ⁻³	1.76	3.45	7.26	1.78×10 ⁻³	3.53	6.27					
						G (kg/cm ³)	96.3	93.7	92.8	90.7	89.0	87.3	82.5	78.7	75.1					
						G/G _s	1.014	0.986	0.977	0.955	0.932	0.919	0.868	0.828	0.791					
5	"	2.77	"	100.0	—	r	4.35×10 ⁻⁴	2.01×10 ⁻³	4.62	7.59	1.19×10 ⁻³	2.10	2.48	3.78	5.59	8.24	1.12×10 ⁻²	1.77	2.71	3.16
						G (kg/cm ³)	99.1	94.7	93.1	92.7	90.7	88.2	87.2	85.7	82.9	79.6	75.9	68.8	59.5	57.1
						G/G _s	0.991	0.947	0.931	0.927	0.907	0.882	0.872	0.857	0.829	0.796	0.759	0.688	0.595	0.571
6	"	1.40	"	54.0	—	r	1.65×10 ⁻³	4.38	1.26×10 ⁻²	2.67	3.88	5.43	8.42	1.30×10 ⁻²	1.98	2.94	3.84	4.50	6.39	8.18
						G (kg/cm ³)	54.02	54.25	53.77	53.03	52.74	52.44	51.60	51.19	49.98	48.57	47.58	46.60	44.67	42.60
						G/G _s	1.000	1.005	0.996	0.982	0.976	0.971	0.956	0.948	0.926	0.899	0.881	0.863	0.827	0.789
7	U-19	3.21	"	89.0	—	r	3.72×10 ⁻⁴	6.12	9.44	1.53×10 ⁻³	3.22	5.94	8.84	1.49×10 ⁻²	2.65	3.75	5.54	8.04		
						G (kg/cm ³)	88.8	88.9	88.6	87.6	82.4	81.6	80.6	77.3	74.0	71.7	69.5	66.8		
						G/G _s	0.998	0.999	0.996	0.984	0.926	0.917	0.906	0.869	0.831	0.806	0.781	0.751		
8	"	3.12	"	95.0	—	r	4.03×10 ⁻⁴	4.90	8.66	1.56×10 ⁻³	3.16	6.63	1.30×10 ⁻²	2.12	3.43	6.21				
						G (kg/cm ³)	95.6	92.3	92.1	91.9	89.2	85.6	80.8	78.5	76.6	73.4				
						G/G _s	1.006	0.972	0.969	0.967	0.939	0.901	0.851	0.826	0.806	0.773				
9	"	2.03	"	37.0	—	r	1.70×10 ⁻⁴	4.65	1.16×10 ⁻³	1.75	2.75	4.40	6.30	9.87	2.42×10 ⁻²	3.15	4.44	5.62	7.84	
						G (kg/cm ³)	366.7	366.1	357.1	354.9	353.2	350.3	348.5	345.6	336.8	332.0	322.0	315.0	305.5	
						G/G _s	0.992	0.989	0.965	0.959	0.955	0.947	0.942	0.934	0.910	0.897	0.870	0.852	0.826	
10	U-20	1.18	"	425	—	r	2.02×10 ⁻⁴	5.45	1.25×10 ⁻³	2.24	8.65	1.42×10 ⁻²	2.71	7.47						
						G (kg/cm ³)	424.3	425.0	421.7	419.3	416.5	414.4	407.0	393.4						
						G/G _s	0.998	1.000	0.992	0.987	0.980	0.974	0.958	0.926						

デ イ ク NO.	供試体 NO.	e _c	試 験 方 法	G _s (kg/cm ³)		r ~ G ~ G/G _s																	
				(G) r = 10 ⁴	(G) r = 10 ³																		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
11	U-20	1.05	R.C.	460	—	r	2.01×10 ⁴	78.1	1.37×10 ³	1.68	250	3.85	4.66	5.86	9.23	1.21×10 ⁴	1.78	2.41	3.28	4.66	6.11		
						G (kg/cm ³)	457.6	459.2	457.5	448.9	448.9	444.8	446.2	443.0	435.6	428.8	415.2	402.2	389.2	370.1	358.7		
						G/G _s	0.995	0.998	0.995	0.976	0.976	0.966	0.970	0.963	0.947	0.932	0.903	0.874	0.846	0.805	0.780		
12	P-2	1.77	D.T.	—	133	r	5.06×10 ⁴	1.13×10 ³	1.88	3.04	5.09	1.46×10 ³	2.49	64.8									
						G (kg/cm ³)	149.6	129.2	103.5	79.7	60.6	29.9	19.9	8.6									
						G/G _s	1.125	0.971	0.778	0.599	0.456	0.225	0.150	0.066									
13	P-5	1.77	"	—	175	r	1.18×10 ³	1.82	2.64	3.64	7.25	8.93	1.26×10 ³	1.87	34.6								
						G (kg/cm ³)	171.7	124.6	113.6	95.2	53.2	48.7	38.8	29.1	17.2								
						G/G _s	0.981	0.712	0.649	0.544	0.304	0.298	0.222	0.166	0.098								
14	P-7	1.61	R.C.	230	—	r	7.7×10 ⁴	1.52×10 ³	25.8	3.86	6.77	1.04×10 ⁴	1.81	30.2	4.19	8.07							
						G (kg/cm ³)	229.3	229.3	225.4	22.42	22.11	21.69	21.09	20.35	19.68	17.62							
						G/G _s	0.988	0.997	0.980	0.975	0.961	0.931	0.917	0.885	0.845	0.766							
15	"	1.52	"	320	—	r	5.69×10 ⁴	98.1	1.59×10 ³	2.28	34.2	45.8	64.9	1.16×10 ⁴	1.85	24.9	33.5	47.7	69.1				
						G (kg/cm ³)	319.5	320.0	320.1	310.6	309.0	307.1	305.7	300.0	294.4	289.1	282.3	273.0	259.4				
						G/G _s	0.998	1.000	1.000	0.971	0.966	0.960	0.955	0.938	0.920	0.903	0.882	0.853	0.810				
16	"	1.49	"	360	—	r	2.32×10 ⁴	60.2	1.22×10 ³	2.08	3.75	5.76	1.08×10 ³	1.50	2.17	3.84	6.38	9.13					
						G (kg/cm ³)	358.6	358.2	359.7	357.4	356.0	355.5	350.8	346.2	340.4	327.9	313.4	301.4					
						G/G _s	0.996	0.995	0.999	0.993	0.989	0.988	0.974	0.962	0.946	0.911	0.871	0.837					
17	"	1.46	"	442	—	r	2.44×10 ³	4.60	75.9	1.13×10 ³	1.45	2.42	3.78	4.42	7.38	1.24×10 ⁴	1.62	2.28	3.36	4.37			
						G (kg/cm ³)	442.8	440.7	435.1	432.8	426.2	418.0	412.4	411.3	405.8	399.5	394.6	388.4	379.8	372.5			
						G/G _s	1.002	0.997	0.984	0.979	0.964	0.946	0.933	0.931	0.919	0.904	0.893	0.879	0.859	0.843			
18	"	1.08	"	563	—	r	1.30×10 ⁴	2.93	59.5	9.62	1.41×10 ³	2.14	3.18	4.03	50.3	7.76	1.11×10 ³	1.73	29.5	40.4	62.1		
						G (kg/cm ³)	560.5	564.4	562.4	564.9	566.2	563.7	564.5	563.3	563.8	561.3	556.5	546.8	529.3	513.7	487.6		
						G/G _s	0.996	1.002	0.999	1.004	1.006	1.001	1.003	1.000	1.001	0.997	0.988	0.971	0.940	0.912	0.866		
19	P-1	1.42	D.T.	—	220	r	8.60×10 ⁴	1.54×10 ³	25.0	40.6	6.68	2.51×10 ³											
						G (kg/cm ³)	231.2	177.6	144.5	111.9	83.1	29.7											
						G/G _s	1.051	0.807	0.657	0.509	0.378	0.135											
20	P-6	1.48	"	—	315	r	4.07×10 ⁴	70.6	1.11×10 ³	1.59	2.20	2.96	3.96	5.23	7.33	1.06×10 ⁴	1.82	3.86					
						G (kg/cm ³)	419.0	362.7	297.5	260.1	220.3	194.1	168.3	139.5	112.9	84.2	54.6	28.3					
						G/G _s	1.330	1.151	0.944	0.829	0.700	0.616	0.534	0.443	0.358	0.267	0.173	0.090					

データ NO.	供試体 NO.	e _c	試験 方法	G _s (kg/cu)		γ ~ G ~ G/G _s																
				(G) γ=10 ³	(G) γ=10 ³																	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
21	A-5	1.42	R.C.	435	—	r	1.12×10 ⁻⁴	3.08	7.04	1.04×10 ⁻³	1.50	2.18	3.08	4.42	7.78	1.10×10 ⁻⁴	1.42	1.79	3.06	4.79	6.22	
						G (kg/cu)	434.1	434.6	434.3	431.9	429.0	426.3	423.5	418.8	415.2	413.2	41.02	408.1	399.1	390.1	381.3	
						G/G _s	0.998	0.999	0.998	0.993	0.986	0.980	0.974	0.963	0.954	0.950	0.943	0.938	0.917	0.897	0.877	
						r	1.05×10 ⁻⁴	3.54	7.22	1.09×10 ⁻³	1.91	3.50	4.84	6.99	1.18×10 ⁻⁴	1.60	2.65	4.12	5.65			
22	"	1.30	"	485	—	G (kg/cu)	485.2	479.8	474.4	473.0	471.0	471.7	465.4	462.5	460.3	456.0	448.4	438.7	426.0			
						G/G _s	1.000	0.989	0.978	0.975	0.971	0.973	0.960	0.954	0.949	0.940	0.925	0.905	0.878			
						r	1.69×10 ⁻⁴	3.85	7.1	1.06×10 ⁻³	1.90	3.32	5.67	8.45	1.67×10 ⁻⁴	2.15	3.55	5.34	9.30			
						G (kg/cu)	367.3	361.6	355.0	351.2	342.5	339.4	337.2	335.8	331.3	329.5	326.0	318.0	305.1			
23	C-7	1.96	"	367	—	G/G _s	1.005	0.991	0.973	0.962	0.938	0.930	0.924	0.920	0.908	0.903	0.895	0.871	0.864			
						r	2.58×10 ⁻⁴	5.11	9.47	1.46×10 ⁻³	2.38	4.42	7.77	1.49×10 ⁻⁴	1.86	3.64	7.42					
						G (kg/cu)	51.45	507.5	503.6	501.9	495.7	495.2	492.4	489.1	486.9	480.3	465.1					
						G/G _s	0.999	0.985	0.978	0.975	0.963	0.962	0.956	0.950	0.945	0.933	0.903					
24	"	1.58	"	515	—	r	2.98×10 ⁻⁴	5.76	1.24×10 ⁻³	2.16	3.41	5.27	8.51	2.21×10 ⁻⁴								
						G (kg/cu)	306.9	275.3	216.7	196.2	159.6	126.9	95.0	42.3								
						G/G _s	1.243	1.115	0.877	0.794	0.646	0.514	0.385	0.171								
						r	3.77×10 ⁻⁴	8.45	1.45×10 ⁻³	2.40	4.24	7.30	1.11×10 ⁻³									
25	D-3	1.92	D.T.	—	242	G (kg/cu)	398.3	321.2	284.0	228.5	156.8	112.8	85.1									
						G/G _s	1.285	1.036	0.916	0.737	0.506	0.364	0.276									
						r	6.37×10 ⁻⁴	1.57×10 ⁻³	2.47	4.26	7.38	1.37×10 ⁻³	1.78	3.46	5.38							
						G (kg/cu)	416.0	421.0	422.6	418.2	417.7	415.8	413.9	406.2	398.5							
26	D-4	1.99	"	—	310	G/G _s	0.990	1.002	1.006	0.996	0.995	0.990	0.985	0.967	0.949							
						r	4.16×10 ⁻⁴	7.91	1.10×10 ⁻³	1.87	3.19	4.54	8.90	1.32×10 ⁻⁴	2.07	3.63	4.90	7.02				
						G (kg/cu)	512.9	508.1	501.9	495.6	485.5	475.4	469.8	465.7	455.5	445.4	440.4	432.4				
						G/G _s	0.998	0.986	0.976	0.964	0.945	0.925	0.914	0.906	0.886	0.867	0.857	0.841				
27	D-5	1.94	R.C.	420	—	r	2.50×10 ⁻⁴	4.54	9.07	1.32×10 ⁻³	2.17	3.90	6.54	1.02×10 ⁻⁴	1.44	1.97	3.07	4.29	5.79			
						G (kg/cu)	478.2	470.3	458.8	458.3	450.7	441.1	433.6	428.7	420.8	411.1	400.6	397.7	384.5			
						G/G _s	0.996	0.980	0.956	0.955	0.939	0.919	0.903	0.893	0.877	0.856	0.835	0.829	0.801			
						r	1.94×10 ⁻⁴	47.1	74.6	1.20×10 ⁻³	1.51	27.1	4.28	6.92	1.16×10 ⁻⁴	1.62	2.29	3.96	6.28	8.04		
28	"	1.87	"	514	—	G (kg/cu)	444.4	439.1	440.0	433.0	433.6	423.2	417.8	410.5	407.6	404.7	398.0	383.9	376.4	370.0		
						G/G _s	0.999	0.987	0.989	0.973	0.974	0.951	0.939	0.922	0.916	0.909	0.894	0.863	0.846	0.831		
						r	1.94×10 ⁻⁴	47.1	74.6	1.20×10 ⁻³	1.51	27.1	4.28	6.92	1.16×10 ⁻⁴	1.62	2.29	3.96	6.28	8.04		
						G (kg/cu)	444.4	439.1	440.0	433.0	433.6	423.2	417.8	410.5	407.6	404.7	398.0	383.9	376.4	370.0		
29	"	1.79	"	480	—	G/G _s	0.999	0.987	0.989	0.973	0.974	0.951	0.939	0.922	0.916	0.909	0.894	0.863	0.846	0.831		
						r	1.94×10 ⁻⁴	47.1	74.6	1.20×10 ⁻³	1.51	27.1	4.28	6.92	1.16×10 ⁻⁴	1.62	2.29	3.96	6.28	8.04		
						G (kg/cu)	444.4	439.1	440.0	433.0	433.6	423.2	417.8	410.5	407.6	404.7	398.0	383.9	376.4	370.0		
						G/G _s	0.999	0.987	0.989	0.973	0.974	0.951	0.939	0.922	0.916	0.909	0.894	0.863	0.846	0.831		
30	"	1.81	"	445	—	r	1.94×10 ⁻⁴	47.1	74.6	1.20×10 ⁻³	1.51	27.1	4.28	6.92	1.16×10 ⁻⁴	1.62	2.29	3.96	6.28	8.04		
						G (kg/cu)	444.4	439.1	440.0	433.0	433.6	423.2	417.8	410.5	407.6	404.7	398.0	383.9	376.4	370.0		
						G/G _s	0.999	0.987	0.989	0.973	0.974	0.951	0.939	0.922	0.916	0.909	0.894	0.863	0.846	0.831		
						r	1.94×10 ⁻⁴	47.1	74.6	1.20×10 ⁻³	1.51	27.1	4.28	6.92	1.16×10 ⁻⁴	1.62	2.29	3.96	6.28	8.04		

デ イ タ NO.	供 試 体 NO.	σ_c	試 験 方 法	G_s (kg/cm ²)		$\tau \sim G \sim G/G_s$																
				$(G)\tau=10^3$	$(G)\tau=10^3$																	
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
31	D-6	1.81	R. C.	455	—	r	2.38×10 ⁻⁴	5.03	78.7	1.29×10 ⁻³	1.75	25.0	3.79	5.32	1.19×10 ⁻⁴	1.61	2.36	3.62	4.69			
						G (kg/cm ²)	454.9	44.87	445.5	439.3	433.3	424.2	412.2	407.4	390.2	385.2	375.3	366.5	361.7			
						G/G_s	1.000	0.986	0.979	0.965	0.952	0.932	0.906	0.895	0.858	0.847	0.825	0.805	0.795			
						r	2.07×10 ⁻⁴	3.00	8.11	1.53×10 ⁻³	2.08	32.4	4.60	6.61	1.06×10 ⁻⁴	1.57	1.97	2.96	5.96			
32	13A-1-2	1.40	"	470	—	G (kg/cm ²)	464.4	46.96	471.2	452.7	434.5	419.0	410.0	388.7	374.5	360.7	352.8	331.8	304.1			
						G/G_s	0.988	0.999	1.003	0.963	0.924	0.891	0.872	0.827	0.797	0.767	0.751	0.706	0.647			
						r	2.20×10 ⁻⁴	3.52	5.86	1.16×10 ⁻³	1.60	31.0	4.97	7.65	1.35×10 ⁻⁴	1.75	2.09	3.48	4.48	5.86		
						G (kg/cm ²)	440.5	44.73	43.66	42.60	41.94	40.32	39.55	38.87	37.75	36.95	36.45	35.08	34.40	33.16		
33	"	1.38	"	440	—	G/G_s	1.001	1.017	0.992	0.968	0.953	0.916	0.899	0.883	0.858	0.840	0.828	0.797	0.782	0.754		
						r	1.98×10 ⁻⁴	3.61	5.25	7.84	1.20×10 ⁻³	2.12	3.0	4.18	6.74	9.65	1.48×10 ⁻⁴	1.64	2.75	4.21		
						G (kg/cm ²)	690.3	69.61	69.81	68.36	66.00	63.47	60.26	57.13	54.84	51.15	48.01	47.10	43.44	42.14		
						G/G_s	1.000	1.009	1.012	0.991	0.957	0.920	0.873	0.828	0.795	0.741	0.696	0.683	0.630	0.611		
34	"	1.36	"	690	—	r	6.98×10 ⁻⁴	1.13×10 ⁻³	1.72	2.69	4.24	71.5	1.39×10 ⁻⁴	3.24								
						G (kg/cm ²)	318.2	24.55	21.16	16.79	13.48	8.83	5.14	2.64								
						G/G_s	1.201	0.926	0.798	0.634	0.509	0.333	0.194	0.100								
						r	1.69×10 ⁻⁴	4.36	7.76	1.42×10 ⁻³	3.71	5.69	8.18	1.20×10 ⁻⁴	1.72	2.66	3.12	4.82	7.25			
35	13A-1-5	0.92	D. T.	—	265	G (kg/cm ²)	289.1	29.28	28.60	27.92	25.97	25.53	25.33	24.93	24.53	23.75	23.31	22.62	21.87			
						G/G_s	0.997	1.010	0.986	0.963	0.896	0.880	0.873	0.860	0.846	0.819	0.804	0.780	0.754			
						r	1.00×10 ⁻⁴	3.99	5.88	8.02	1.42×10 ⁻³	18.3	2.67	3.43	5.57	7.43	1.01×10 ⁻⁴	1.37	2.15	3.39	4.40	
						G (kg/cm ²)	360.0	36.53	36.13	35.79	35.46	34.82	33.34	32.91	32.31	32.07	31.79	30.98	30.53	29.82	29.09	
36	16B-II-5	1.83	R. C.	290	—	G/G_s	1.000	1.001	0.990	0.981	0.972	0.954	0.913	0.902	0.886	0.879	0.871	0.849	0.836	0.817	0.797	
						r	1.03×10 ⁻⁴	2.57	3.78	9.22	1.55×10 ⁻³	2.03	4.00	4.71	6.62	1.21×10 ⁻⁴	1.88	3.69	5.04	6.54	7.86	
						G (kg/cm ²)	427.1	43.17	43.25	42.30	40.92	40.12	38.65	38.17	37.70	36.31	35.44	33.81	32.96	32.12	30.75	
						G/G_s	0.993	1.004	1.006	0.984	0.952	0.933	0.899	0.888	0.877	0.844	0.824	0.786	0.767	0.747	0.715	
37	"	1.71	"	360	—	r	1.17×10 ⁻⁴	2.10	4.10	7.99	1.18×10 ⁻³	2.47	4.20	5.65	7.83	1.12×10 ⁻⁴	1.87	2.47	3.49	5.42	8.68	
						G (kg/cm ²)	347.4	32.43	33.35	32.06	31.89	29.36	27.53	26.43	25.98	25.11	24.03	23.27	22.45	21.36	19.38	
						G/G_s	1.021	0.954	0.981	0.942	0.938	0.864	0.810	0.777	0.764	0.740	0.707	0.684	0.660	0.628	0.570	
						r	1.97×10 ⁻⁴	3.21	5.21	7.54	1.29×10 ⁻³	18.6	2.60	3.83	6.09	9.28	1.62×10 ⁻⁴	2.32	3.34	5.55	7.30	
38	"	1.67	"	430	—	G (kg/cm ²)	349.8	34.55	33.48	33.47	32.89	31.95	31.37	29.58	29.12	28.32	27.46	26.67	25.74	24.63	23.39	
						G/G_s	0.999	0.987	0.957	0.956	0.940	0.913	0.896	0.845	0.832	0.809	0.776	0.762	0.735	0.704	0.668	
						r	1.97×10 ⁻⁴	3.21	5.21	7.54	1.29×10 ⁻³	18.6	2.60	3.83	6.09	9.28	1.62×10 ⁻⁴	2.32	3.34	5.55	7.30	
						G (kg/cm ²)	349.8	34.55	33.48	33.47	32.89	31.95	31.37	29.58	29.12	28.32	27.46	26.67	25.74	24.63	23.39	
39	16B-III-7	1.88	"	340	—	G (kg/cm ²)	349.8	34.55	33.48	33.47	32.89	31.95	31.37	29.58	29.12	28.32	27.46	26.67	25.74	24.63	23.39	
						G/G_s	0.999	0.987	0.957	0.956	0.940	0.913	0.896	0.845	0.832	0.809	0.776	0.762	0.735	0.704	0.668	
						r	1.97×10 ⁻⁴	3.21	5.21	7.54	1.29×10 ⁻³	18.6	2.60	3.83	6.09	9.28	1.62×10 ⁻⁴	2.32	3.34	5.55	7.30	
						G (kg/cm ²)	349.8	34.55	33.48	33.47	32.89	31.95	31.37	29.58	29.12	28.32	27.46	26.67	25.74	24.63	23.39	
40	"	1.84	"	350	—	G (kg/cm ²)	349.8	34.55	33.48	33.47	32.89	31.95	31.37	29.58	29.12	28.32	27.46	26.67	25.74	24.63	23.39	
						G/G_s	0.999	0.987	0.957	0.956	0.940	0.913	0.896	0.845	0.832	0.809	0.776	0.762	0.735	0.704	0.668	
						r	1.97×10 ⁻⁴	3.21	5.21	7.54	1.29×10 ⁻³	18.6	2.60	3.83	6.09	9.28	1.62×10 ⁻⁴	2.32	3.34	5.55	7.30	
						G (kg/cm ²)	349.8	34.55	33.48	33.47	32.89	31.95	31.37	29.58	29.12	28.32	27.46	26.67	25.74	24.63	23.39	

III 共振法土質試験用データシート

試験年月日 (DATE)

実験者 ()

6A4

土の名前 (TYPE)

5A4

土粒子の比重 (GS)

F 10.0

4

間ゲキ水圧キャリブレーション
100 μ でのオシロペーパー上

軸荷重キャリブレーション
S1 (%)

軸荷重キャリブレーション
SMJCRD (u)

S2 (cm)

バックプレッシャー
SBACK (kg/cm²)

ビューレットの初期値
S3 (cc)

5 F10.0 アッテネータ (1/)

デミーサンプルでのキャリブレーション (上段: 側圧, 下段: ダイアルゲージ)						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

7 F10.0

7 F10.0

体積変化の計算法
METHOD { 1: ビューレットの読みより
2: 上ダイアルゲージの読みとり
3: 不飽和粘性土の場合

◎ 実験時の各応力状態でキャリを行うこと

I 5

ノギスで測定した供試体初期外径 HI (cm)

4 F10.0

ノギスで測定した供試体初期外径 DI (cm)

供試体+ 付属物重量
WTPREP (g)

残存重量
WTLEFT (g)

乾燥重量
DRYWT

6 F10.0

3 F10.0

ノギスで測定した供試体最終高さ HL (cm)

(1)	(2)	(3)	(4)	4 F 10.0
-----	-----	-----	-----	----------

ノギスで測定した供試体最終外径 DL (cm)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	6 F 10.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----------

供試体+付属物重量
WALL (g)

付属物重量
WATT (g)

2 F 10.0

パンチの必要ナシ

項目 容器No	湿润重量(g)	乾燥重量(g)	容器重量(g)	備考

測定用紙 NO. 1

試験開始年月日時分

年	月	日	時	分

5 I (5) ……時間の不必要な時はBlank Card.

[illegible]

5 10 15 20 27 34 41 48 55 62

[illegible]

IV 振動三軸試験用データシートおよび データ整理用シート

振動三軸試験データシート

セルNO. _____

試料名 _____ BNO. _____ 試料NO. _____

試験期日 _____ 年 _____ 月 _____ 日 試験者 _____

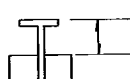
 $\sigma'_v =$ _____ kg/cm^2 Dep = _____ m ~ _____ m Load cell _____ kg 用 $\sigma'_c =$ _____ kg/cm^2 目標 $\sigma_{dp} / 2\sigma'_c =$ _____ 目標 $\sigma_{dp} =$ _____ kg/cm^2 融解時間 _____ 分 負圧 _____ kg/cm^2 N value = _____

()

$$\begin{cases} \phi 5.0 = 19.6 \text{ cm}^2 \\ \phi 7.0 = 38.5 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

1. 供試体寸法 ($\phi =$ _____ cm) $A \div$ _____ cm^2 ダミーサンプル高さ $h_D =$ _____ cm設定動荷重 (SA) = $\sigma_{dp} \times A =$ _____ kg

設定目盛 (SA) = _____

 $l_D =$ _____ cm } 平均 _____ cm

ATT 1 で

$$\begin{cases} 500 \text{ kg ロードセルで } 1 \text{ 目盛 } 0.5 \text{ kg} \\ 100 \text{ kg } \quad \quad \quad \quad \quad \quad 0.1 \text{ kg} \end{cases}$$
供試体設置後 $l_s =$ _____ cm } 平均 _____ cm

等方圧 Cal

$$\begin{cases} \text{Pr} = \text{_____ } \text{kg/cm}^2 \\ \text{Po} = \text{_____ } \text{kg} \end{cases}$$
○ 供試体初期高さ $h_0 = h_D - l_D + l_s =$ _____ cm○ ゴムの厚さ $4t =$ _____ cm (2枚使用時)

○ 外 径

1. _____ cm	1. _____ cm	平均 $d' =$ _____ cm
2. _____ cm	2. _____ cm	
3. _____ cm	3. _____ cm	

○ 供試体初期直径 $d_0 = d' - 4t =$ _____ cm

~~~~~ クランプ 微小変位計 三軸室組立 ~~~~~

負圧 → 横圧

○ 初期ダイヤルゲージ  $DG_0 =$  \_\_\_\_\_ mm — クランプ解放 —CO<sub>2</sub> 供給 ———→ 供給時間 \_\_\_\_\_ 分 ( )

脱気水供給 ———→ 供給時間 \_\_\_\_\_ 分 ( )

備 考 \_\_\_\_\_

## 2. B 値測定

|               |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |
|---------------|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|
| Pr            |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |
| $\sigma_{BP}$ |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |
| B 値           | — |  | — |  | — |  | — |  | — |  | — |  |

放置時間 (      )      (      )      (      )      (      )      (      )

## 3. 圧 密

$$\sigma'_t = \text{      } \text{ kg/cm}^2$$

ダイヤルゲージ読み DG<sub>1</sub> =      mm

チューブ読み Co =      cc

圧密時間      分 (      )

ダイヤルゲージ読み DG<sub>2</sub> =      mm

チューブ読み Cc =      cc

## 4. 油圧载荷

F. B. GAIN     

静的バランス時のSTATIC PLACE 目盛     

軸圧      →      油圧

## 5. 動的载荷

ダイヤルゲージ読み DG<sub>3</sub> =      mm

チューブ読み C<sub>1</sub> =      cc

DYNAMIC PLACER 目盛 DP =     

周波数      Hz

容器NO. \_\_\_\_\_

供試体重量 容器+供試体重量  $W_a = \underline{\hspace{2cm}} g$   $W_a = \underline{\hspace{2cm}} g$

容 器 重 量  $W_b = \underline{\hspace{2cm}} g$   $W_b = \underline{\hspace{2cm}} g$

供試体乾燥重量  $DW = \underline{\hspace{2cm}} g$   $DW = \underline{\hspace{2cm}} g$

データ整理 (供試体寸法等は動的試験開始時)

$$\text{供試体体積 } V = \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot h_0 - C_0 + C_1$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot ( \quad )^2 \cdot ( \quad ) - ( \quad ) + ( \quad )$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{cm}^3$$

$$\text{供試体高さ } L = h_0 + (DG_0 - DG_3) / 10$$

$$= ( \quad ) + \{ ( \quad ) - ( \quad ) \} / 10$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{cm}$$

$$\text{供試体断面積 } A = V / L = \underline{\hspace{2cm}} \text{cm}^2$$

$$\text{軸荷重 } P = \left( \frac{\quad}{\quad} \right) \times ( \quad ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{kg} \longrightarrow \text{オシロから}$$

$$\sigma_a' = Pr + \frac{P - P_0}{A} - \sigma_{BP}$$

$$= ( \quad ) + \frac{( \quad ) - ( \quad )}{( \quad )} - ( \quad )$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_m' = \frac{1}{3} ( \sigma_a' + 2\sigma_r' ) = \frac{1}{3} \{ ( \quad ) + 2 ( \quad ) \}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{kg/cm}^2$$

$$\text{動的軸荷重 } (DA) = \Delta P = \left( \frac{\quad}{\quad} \right) \times ( \quad ) = \underline{\hspace{2cm}} \text{kg} \longrightarrow \text{オシロから}$$

$$\sigma_{\Phi} = \frac{\Delta P}{2A} = \frac{( \quad )}{2 \times ( \quad )} = \underline{\hspace{2cm}} \text{kg/cm}^2$$

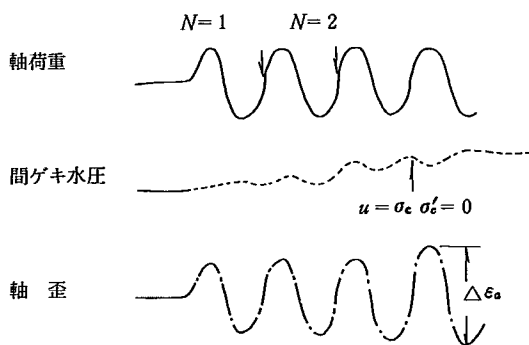
$$\frac{\sigma_{\Phi}}{2\sigma_m'} = \frac{( \quad )}{2 \times ( \quad )} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_a (DA) &= 1\% = L \times 0.01 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \times \frac{\text{オシロ上で}}{2.5 \text{ cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \\ 2\% &= L \times 0.02 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \times \text{ " } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \\ 5\% &= L \times 0.05 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \times \text{ " } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \\ 6\% &= L \times 0.06 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \times \text{ " } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \\ 10\% &= L \times 0.1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \times \text{ " } = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}\end{aligned}$$

液状化回数の判定

$$\begin{aligned}u = \sigma_e, \sigma'_e = 0 \text{ までの回数 } N_1 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ \Delta \varepsilon_a (DA) = 1\% \text{ " } N_1 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ \Delta \varepsilon_a (DA) = 2\% \text{ " } N_2 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ \Delta \varepsilon_a (DA) = 5\% \text{ " } N_5 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ \Delta \varepsilon_a (DA) = 6\% \text{ " } N_6 &= \underline{\hspace{2cm}} \\ \Delta \varepsilon_a (DA) = 10\% \text{ " } N_{10} &= \underline{\hspace{2cm}}\end{aligned}$$

判定方法



振動三軸試験（粘性土、応力比変化）

試料名

BNO

深 度

$\sigma'_m =$  (kg/cm<sup>2</sup>)

$A =$  (cm<sup>2</sup>)

$$\alpha_1 = \frac{\text{cm}}{(*)} \times \frac{1}{(L = )}$$

$$\alpha_2 = \frac{\text{cm}}{(*)} \times \frac{1}{(L = )}$$

$$B_1 = \frac{\text{kg}}{(*)} =$$

(\*) はオシロ上でのキャリブの読み

$$B_2 = B_1 \times \frac{1}{A} =$$

$$\eta = \frac{\text{kg}}{(*) \text{ cm}} =$$

注 ATTを変えた場合は読取値を1日のATT時に換算する。

| 荷重段階                                                                                                                                                                                                          | 応 力 比<br>$\frac{\sigma_{dp}}{2\sigma'_m}$ | N  | ① $\epsilon_a$<br>読取 (cm) | $\Delta \epsilon_a^{DA}$<br>② $\times \{ \alpha_1$<br>$\alpha_2$ | $r (SA)$<br>③ $\times 0.75$ | ④ $\sigma_{dp}^{DA}$<br>読取 (cm) | $\sigma_{dp}^{DA}$<br>⑤ $\times B_2$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E = \frac{⑥}{③}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $G = \frac{⑦}{③}$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $u$<br>読取 (cm) | ⑨ $u \times \eta$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\epsilon_a$<br>小変位 | Max<br>(cm) |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|---------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|---------------------|-------------|--|
| 動的軸荷重読取<br>(DA)<br>$\Delta P = B \times (DA) = \frac{\text{cm}}{\text{kg}}$<br>$\sigma_{dp} = \frac{\Delta P}{2A} = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$<br>$\frac{\sigma_{dp}}{2\sigma'_m} =$                      |                                           | 2  |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
|                                                                                                                                                                                                               |                                           | 5  |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
|                                                                                                                                                                                                               |                                           | 10 |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
| (DA)<br>$\Delta P = B \times (DA) = \frac{\text{cm}}{\text{kg}}$<br>$\sigma_{dp} = \frac{\Delta P}{2A} = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$<br>$\frac{\sigma_{dp}}{2\sigma'_m} =$                                 |                                           | 2  |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
|                                                                                                                                                                                                               |                                           | 5  |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
|                                                                                                                                                                                                               |                                           | 10 |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
| (DA) = $\frac{\text{cm}}{\text{kg}}$<br>$\Delta P = B \times (DA) = \frac{\text{cm}}{\text{kg}}$<br>$\sigma_{dp} = \frac{\Delta P}{2A} = \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$<br>$\frac{\sigma_{dp}}{2\sigma'_m} =$ |                                           | 2  |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
|                                                                                                                                                                                                               |                                           | 5  |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |
|                                                                                                                                                                                                               |                                           | 10 |                           |                                                                  |                             |                                 |                                                               |                                            |                                            |                |                                            |                     |             |  |

振動三軸試験による動的特性試験時の荷重設定

試料名； \_\_\_\_\_

実験日；      月      日

$\left\{ \begin{array}{l} \sigma c' = \\ A = \end{array} \right.$  (kg / cm<sup>2</sup>)  
(cm<sup>2</sup>)

Load Cell  
{ 100 kg 用  
500

|                                                                                                         | $\frac{\sigma_{dp}}{2\sigma c'}$ | $\frac{\sigma_{dp}}{(\text{kg} / \text{cm}^2)}$ | $\frac{\sigma_{dp} \times A}{(\text{kg})}$ | kg<br>設 定 | kg<br>設 定 | kg<br>設 定 |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--|
|                                                                                                         |                                  |                                                 |                                            | (目盛 / kg) | (目盛 / kg) | (目盛 / kg) |  |
| 1                                                                                                       | 0.0125                           |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 2                                                                                                       | 0.025                            |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 3                                                                                                       | 0.05                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 4                                                                                                       | 0.10                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 5                                                                                                       | 0.15                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 6                                                                                                       | 0.20                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 7                                                                                                       | 0.25                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 8                                                                                                       | 0.30                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 9                                                                                                       | 0.35                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 10                                                                                                      | 0.40                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 11                                                                                                      | 0.45                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 12                                                                                                      | 0.50                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 13                                                                                                      | 0.55                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 14                                                                                                      | 0.60                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 15                                                                                                      | 0.65                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 16                                                                                                      | 0.70                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 17                                                                                                      | 0.75                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 18                                                                                                      | 0.80                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 19                                                                                                      | 0.85                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| 20                                                                                                      | 0.90                             |                                                 |                                            |           |           |           |  |
| <p>※ 等方圧力の置換 (付表参照)</p> <p><math>P_c =</math> (kg / cm<sup>2</sup>) <math>\longrightarrow</math> 目盛</p> |                                  |                                                 |                                            |           |           |           |  |