

土 木 研 究 所 資 料

ロック材料の動的変形特性とせん断強度

——— ねじり単純せん断と三軸試験の比較 ———

平成3年3月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

「Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、
複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

ロック材料の動的変形特性とせん断強度

—— ねじり単純せん断と三軸試験の比較 ——

フィルダム研究室 室 長 松 本 徳 久
主任研究員 安 田 成 夫
部外研究員 木 下 靖*)
大久保 雅 彦

要 旨

本報告は、大型せん断試験装置により以下の試験結果についてとりまとめたものである。

- ① 豊浦標準砂を用いた繰返しねじり単純せん断試験 (CTSS) および繰返し三軸試験 (CTX)
- ② 粗粒材料を用いた繰返しねじり単純せん断試験 (CTSS) および繰返し三軸試験 (CTX)
- ③ 粗粒材料を用いた単調載荷のねじり単純せん断試験 (MTSS) および単調載荷の三軸圧縮試験 (MTX)

①は予備試験でありこの試験により、今回新たに導入した高精度の微小変位計によって動的物性値 (せん断弾性係数 G , 減衰定数 h) は微小ひずみ領域 (10^{-5} 以下) まで精度良く測定できることが確認できた。②の試験により、粗粒材料の G , h は、砂と同様に各種要因の中でも特にせん断ひずみ、間隙比、拘束圧の3要因に大きく依存していることが判明した。そこで、この3要因を用いた G , h の関数式を提案した。③の試験結果は、MTSS と MTX の両試験結果の比較を中心にまとめたが、粗粒材料のせん断強度は前者による方法が後者に比し大きくなることが明かとなった。また、微小ひずみ領域における弾性係数に着目し単調載荷、繰返し載荷の両試験の結果を比較したところ、割線弾性係数は一致することが判明した。

キーワード：ねじり単純せん断試験，三軸試験，粗粒材料，ロック材料，せん断強度，せん断弾性係数，減衰定数

*) 現(株)建設技術研究所

DYNAMIC DEFORMATION CHARACTERISTICS AND SHEAR STRENGTH OF ROCKFILL MATERIALS

— Torsional Simple Shear and Triaxial Tests —

Norihisa MATSUMOTO
Head, Filltype Dam Division
Nario YASUDA
Senior Research Engineer
Yasushi KINOSHITA*)
Research Engineer
Masahiko OHKUBO

Synopsis

This report mainly describes the following three test results by using a large-scale testing apparatus.

- ① Cycle torsional simple shear and cyclic triaxial tests of Toyoura Sands.
- ② Cyclic torsional simple shear (CTSS) and cyclic triaxial (CTX) tests of rockfill materials.
- ③ Monotonic torsional simple shear (MTSS) and monotonic triaxial (MTX) tests of rockfill materials.

In tests of ①, it is recognized that dynamic deformation characteristics (shear modulus G , damping ratio h) of wide shear strain range from very small strain (less than 10^{-5}) to large strain are measured by using displacement transducers of high accuracy. In tests of ②, it is indicated that G and h of rockfill materials depend on several factors, especially shear strain, void ratio and confining stress.

The functions of G and h relating to these three factors are proposed here. In item ③, the results of torsional simple shear tests are compared with those of triaxial compression tests. It is confirmed that shear strength of rockfill materials by the former is larger than that by the later.

Secant elastic modulus of very small strain range of cyclic and monotonic loading tests coincided with each other.

Key Words: Torsional shear test, Triaxial test, Gravels, Rockfill materials, Shear modulus, Shear strength, Damping ratio

*) Consulting Engineer, C.T.I. Engineering, Co., Ltd.

Formerly visiting Research Engineer of P.W.R.I. from November of 1987 to June of 1989.

ま え が き

地震に対するロックフィルダムの応答は有限要素法等を用いた堤体の動的解析により求められるが、そのためには築堤材料の動的変形特性（せん断弾性係数 G ，ポアソン比 ν ，減衰定数 h ）が既知でなければならない。ロックフィルダムは、ロック、フィルタおよびコアの3ゾーンより構成されているが、特に築堤材料の過半を占めるロック材料の動的特性を精度良く把握しておくことは、動的応答解析全体の精度向上に寄与する。しかし、ロック材料等の粒径の大きな粗粒材料を対象とした室内試験は、供試体および試験装置が大がかりになることから、その試験例が少ないのが現状である。また、これら数少ない試験例のほとんどは、直径30～60cm高さ60～120cmの円柱の中実供試体を用いた繰返し三軸試験によるものである。

ところで、実際の堤体の地震時の応力ひずみ状態について考えてみると、地震によるランダムな繰返し荷重によりせん断応力が増減し、主応力方向が連続的に回転する単純せん断変形（高さ方向のせん断ひずみ分布が一様であるような変形）で近似される（図－I.1参照）。これに対して、前述の繰返し三軸試験（CTX）の場合、主応力方向は鉛直と水平に固定され軸対称変形が繰返される状態であることから、実際の堤体の応力ひずみ状態とはかなり異なっている（図－I.2(a)参照）。原位置の応力ひずみ状態を室内でよりよく再現できる試験としては、繰返しねじり単純せん断試験がある（図－I.2(b)参照）。この試験は、主応力方向が連続的に回転する単純せん断変形を再現できると同時に、円筒の中実供試体を用いるため、比較的良く普及している単純せん断試験（SGI型、Cambridge型等）の問題点である供試体側面の影響（供試体側面のせん断応力不足、供試体隅角部の応力集中）がない。

そこで、当研究室では、昭和58年度に粗粒材料を対象とした繰返しねじりせん断試験（CTSS）（供試体寸法；外径80cm，内径40cm，高さ80cm）ができる大型せん断試験装置を開発した。当試験装置は、CTSSの他に、従来法であるCTX（供試体寸法；直径40cm，高さ80cm）も行うことができ、また、これら繰返し載荷試験の他にそれぞれ単調載荷試験も可能である。

開発当初に実施した繰返し載荷試験では、当試験装置のシステムとしての信頼性が確認され、粗粒材料の動的特性がある程度明らかになった（松本，渡辺ら（1984）¹⁾）。その後、試験装置の改良や検出器の精度向上が図られ、昭和61年度にはパーソナルコンピュータの導入により、試験値の計測・記録・整理が自動化された。この間に行われた試験では、いずれも安定したデータが得られているものの、検出器の精度の限界から微小ひずみ領域（ $\epsilon < 10^{-5}$ ）のデータは得られていなかった。通常、これら微小ひずみ領域の物性値は、高周波を用いた共振法等により得られている。しかしながら、共振法と繰返し法との境界付近においては、両試験から得られるデータは必ずしも一致していない。よって、試験値の信頼性向上を図り、作業効率よくデータを得るためには、1つの試験方法で広範囲のひずみレベルの物性値を得る必要がある。そこで、昭和63年度は、広範囲のひずみレベルの物性値を繰返し法のみで測定可能とするために、高精度の微小変位計を導入し試験を実施した。そこで本報告では、微小ひずみ領域からそれよりもやや大きなひずみ（ 5×10^{-4} 程度）領域までの粗粒材料の変形特性をCTSSとCTXの

2方法で求め比較したものである。

なお、既に示されているものもあるが本報告では単調载荷あるいは繰返し载荷の三軸およびねじりせん断による各試験を以下のように略記する。

MTX ; 単調三軸試験 (Monotonic Triaxial)

MTSS ; 単調ねじりせん断試験 (Monotonic Torsional Simple Shear)

CTX ; 繰返し三軸試験 (Cyclic Triaxial)

CTSS ; 繰返しねじりせん断試験 (Cyclic Torsional Simple Shear)

目 次

まえがき

記号の説明

1. 目 的	1
2. 大型せん断試験装置	3
2.1 装置の概要	3
2.2 検出器の検定	4
2.3 せん断弾性係数 G ・減衰定数 h の計算	5
3. 試験材料	22
3.1 試験粒度の設定	22
3.2 物理試験	22
3.3 締固め試験	23
4. 試験方法	30
4.1 せん断試験方法	30
4.2 試験ケース	30
5. 予備試験	34
5.1 試験材料ならびに試験方法	34
5.2 試験結果	34
6. ロック材料の繰返し載荷試験結果	51
6.1 繰返しねじりせん断試験 (CTSS) の結果	51
6.2 繰返し三軸試験 (CTX) の結果	56
6.3 CTSS および CTX 結果の比較	60
7. ロック材料の単調載荷試験結果	123
7.1 単調載荷試験結果	123
7.2 繰返し載荷試験結果との比較	127
8. 結論および今後の問題点	140
8.1 予備試験結果	140
8.2 粗粒材料の試験結果	141
参考文献	144
付録 データ編	147

記号の説明

CTSS ; 繰返しねじりせん断試験

CTX ; 繰返し三軸試験

MTSS ; 単調ねじりせん断試験

MTX ; 単調三軸試験

$D_{\max}$; 材料の最大粒径

E ; 弾性係数

e ; 間隙比

e_c ; 圧密後間隙比 (試験中間隙比)

$e_{\max}$; 最大間隙比

$e_{\min}$; 最小間隙比

e_0 ; 初期間隙比

G ; せん断弾性係数

G_a ; 表乾比重

G_b ; 絶乾比重

G_g ; 真比重

$G_{\max}$; せん断弾性係数の最大値 ($\Rightarrow G_0$)

G_0 ; 初期せん断弾性係数

h ; 減衰定数

$h_{\max}$; $G = 0$ のときの減衰定数

Q ; 吸水率

R_o ; 中空供試体の外半径

R_i ; 中空供試体の内半径

T ; トルク

ν_d ; 動的ポアソン比

V_p ; P波速度

V_s ; S波速度

γ ; せん断ひずみ

γ_{at} ; CTSSとMTSSにおけるせん断ひずみ

γ_r ; 基準ひずみ

ϵ_a ; 軸ひずみ

ϵ_r ; 半径方向ひずみ

ϵ_v ; 体積ひずみ

σ_c ; 拘束圧

σ_n ; 破壊面の垂直応力
 σ_m ; 平均主応力
 σ_t ; 中空供試体の接統方向の水平応力
 σ_1 ; 最大主応力
 σ_2 ; 中間主応力
 σ_3 ; 最小主応力
 τ ; せん断応力
 σ_a ; 軸応力
 τ_{at} ; CTSS と MTSS におけるせん断応力
 τ_f ; 破壊面のせん断応力
 ϕ ; 内部摩擦角

1. 目 的

本報告は以下の項目を研究目的としている。

- ・ CTSS と CTX により、微小ひずみ ($\epsilon < 10^{-5}$) から中ひずみ ($\epsilon = 5 \times 10^{-5}$) までの広範囲のひずみレベルの変形性に関する物性値 (G, h) を、繰返し载荷で精度良く測定し、CTSS と CTX の試験方法のロック材料の動的変形特性に与える影響を明らかにする。
- ・ MTSS と MTX において、粗粒材料の静的強度および応力～ひずみ関係に試験方法が与える影響を明らかにする。
- ・ 繰返し载荷試験結果と単調载荷試験結果を比較し、両者の関連性を検討する。

そこで、微小変位計を導入した大型せん断試験装置により、粗粒材料の G, h を明らかにすべく、以下に示す試験を実施した。

- ① 予備試験として豊浦標準砂を用いた CTSS と CTX
- ② ロック材料を用いた CTSS および CTX
- ③ ロック材料を用いた MTSS および MTX

これらのうち、①は、新たに導入した微小変位計を含めた大型せん断試験装置およびそれより得られるデータの信頼性を確認する目的で実施したものであり、予備試験としての性格を持つ。②は動的変形特性の CTSS と CTX の比較、③は、単調载荷の場合の MTSS と MTX の比較を目的で実施した試験である。

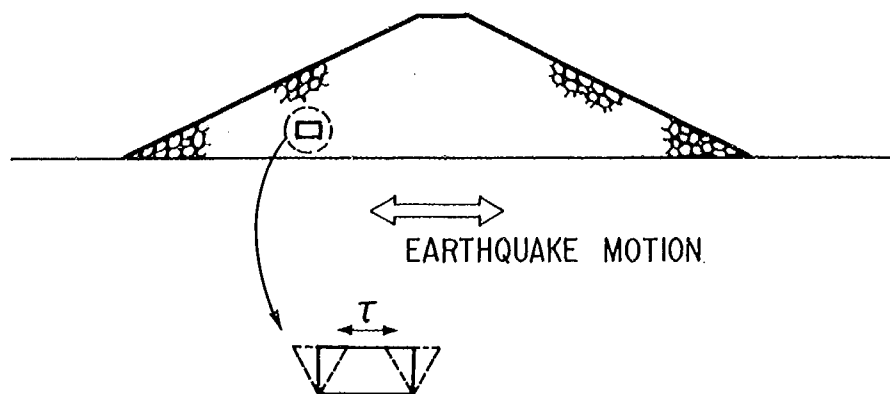
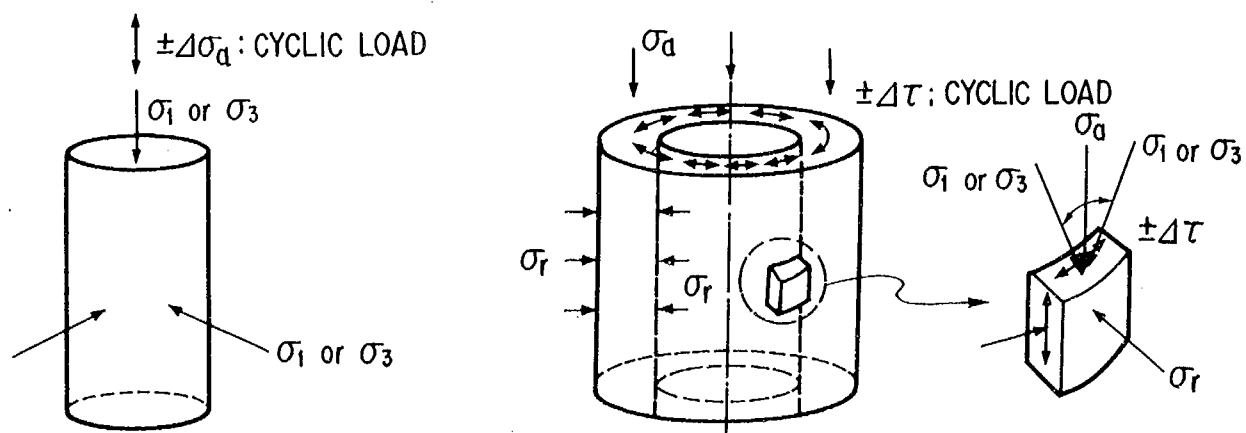


図-I.1 フィルダム堤体における地震時の応力～ひずみ状態



(a) 繰返し三軸試験 (CTX)

(b) 繰返しねじり単純せん断試験 (CTSS)

図-I.2 室内試験における応力ひずみひずみ状態

2. 大型せん断試験装置

2.1 装置の概要

本試験に用いた大型せん断試験装置は、昭和58年度に当研究室で開発されたものである。本試験装置は、内径40cm・外径80cm・高さ80cmの円筒の中実供試体による MTS および最大 0.3 Hz の正弦波形のねじりせん断応力を載荷する繰返し載荷試験を行うことができる。さらにペデスタル等を交換することにより、同一セル内で直径 40 cm、高さ 80 cm の中実供試体による単調載荷の圧縮または伸張試験および最大 0.3 Hz の正弦波形軸方向応力による繰返し載荷試験を行うことができる。

本試験装置の構造概略を図－2.1 に示す。装置の基本構成は、以下の通りである。

- ・三軸室
- ・軸力載荷装置
- ・ねじり力載荷装置
- ・側圧載荷装置
- ・制御装置
- ・動力装置
- ・計測装置

以下に、各装置ごとの概要を述べる。

2.1.1 軸力載荷装置

軸力載荷装置は、図－2.1 に示したように装置中心の最下部に固定されている。装置は往復運動タイプの油圧シリンダーであり、電気油圧サーボ方式によって制御している。中実供試体の場合には軸載荷用ロッドに荷重が伝達されて供試体下部ペデスタルより上向きに載荷する。中空供試体の場合には、軸力載荷用ロッドとトルク・軸力計および上部ペデスタルに荷重が伝達されて、上部ペデスタルより下向きに載荷する。

2.1.2 ねじり力載荷装置

ねじり力載荷装置は、中空供試体の下部端面にねじり力を作用させるために、図－2.2 に示すように、下部ペデスタルにトルク載荷アームを2本取り付けたものである。トルク発生用の載荷油圧シリンダーは、繰返し載荷試験を考慮して一方のシリンダーが伸びると片方のシリンダーが縮む、複動タイプの構造となっており、電気油圧サーボ方式により制御している。なお、中空供試体端面にねじりせん断力を与えて、供試体の高さ方向に一定のせん断ひずみが生じるようにするために、上下ペデスタル表面には鋼製のねじり力伝達刃を取付けている。

2.1.3 側圧載荷装置

側圧載荷装置は、図－2.1 の⑩に示すように中央に水圧発生用のシリンダーがあり、その両側に油圧シリンダーが設けてある。両側の複動タイプの油圧シリンダーによって発生した力を中央のシリンダーに伝達することによって水圧を発生させ、供試体に側圧を与える方式となっている。装置の制御

は、電気油圧サーボ方式によっている。

2.1.4 制御装置

载荷装置の制御は、電気油圧サーボ方式を採用している。これは、試験時に変動する値をそれぞれ専用の検出器によって検出し、検出されてくる電圧から制御に必要な値をアナログ演算器で算出して制御電圧として、出力することによって、電気油圧サーボ弁をコントロールする方式である。また、繰返し载荷試験時（正弦波形）の場合にはファンクションジェネレータ（関数発生器）（表－2.1 参照）によって、制御電圧をコントロール出力している。試験時の制御は応力制御とひずみ制御の2種である。制御の項目とその設定範囲を表－2.2 に示す。

2.1.5 動力装置

動力装置として用いている油圧ポンプの定格を表－2.3 に示す。吐出量の異なる大小の油圧ポンプを装備しており、試験に必要な吐出量に合わせて選択し使用している。トルク発生装置を図－2.2 に示す。

2.1.6 計測装置

各計測装置の仕様とその測定位置をまとめて表－2.4 に示す。軸力計と軸変位計は、ねじりせん断試験用と三軸試験用のものが各々あり、測定位置も異なる。昭和58年度に設置した当初の変位計では、せん断ひずみ $\gamma < 5 \times 10^{-4}$ の微小ひずみ領域で、G や h 等の動的物性値が精度の限界のため計測できなかった。そのため、これを改善するために、今回、新たにより高精度の微小変位計を導入した。図－2.3 は微小変位計をねじり角計測用に取り付けたものである。また、容量20tfの軸力計を精度向上のためCTX用として新たに導入した。各計測装置から得られるデータは、各検出器からの電気信号を増幅器を介して増幅し、マルチコーダ、X-Yレコーダ、パーソナルコンピュータを用いて自動記録している。表－2.5 に各記録器の仕様を示す。記録例を図－2.4 に示す。また、パーソナルコンピュータは、各検出器からの電氣的なアナログ信号をデジタル値に変換し、各計測項目を自動記録している。

2.2 検出器の検定

CTX用として、最大計測容量が4mmの渦電流型の微小変位計と最大容量が20tfの差動トランス型ロードセルの検定結果について述べる。その他の検出器については、昭和58年度に検定済であるので、その仕様ならびに検定結果をまとめて表－2.6 に示す。

微小変位計の検定には、マイクロメーター（最小目盛り0.001mm）を基準として用いた（図－2.6 参照）。マイクロメーターの目盛りを0～4.0mmまで0.05mm刻みに変化させ、その時々微小変位計からの出力電圧をデジタルマルチメータで読み取った。両者の関係を図－2.7 に示す。また、図－2.8 には、微小変位計の精度とマイクロメーターの読みとの関係を示す。精度は、次のようにして求めた。

- ① 測定値から図－2.5 に示すように1次回帰直線を求める。

$$f(x) = ax + b$$

- ② 誤差 = 測定値 - 1次回帰直線値

$$dy_i = y_i - f(x_i)$$

$$\textcircled{3} \text{ 精度} = \frac{dy_i}{F.S.} \times 100 (\%) \quad (F.S. = 4.0 \text{ mm})$$

図-2.8により精度は、 $\pm 0.16\% / F.S.$ である。

次に、装置全体の検定を行うために、鋼管製の模擬試料（配管用炭素鋼鋼管SGP450 A, 外径457.2 mm, 内径441.4 mm, 内厚7.9 mm, 長さ1135 mm）を試験装置に組み込み、ねじり応力振幅を与え、その時の鋼管のねじり変位量を微小変位計で計測した。また、中空供試体におけるねじり変位量は、測定棒を基準として測定している。したがって、この影響の程度を調べるために、測定棒に影響されないように模擬試料に直接ヒズミゲージを貼り付け、同時に変位量を測定した。

図-2.9は、微小変位計およびトルク計からの出力をX-Yレコーダに記録し、その履歴曲線からG、hを算出しプロットしたものである。これよりGの値は、 $8 \sim 9 \times 10^{+5} \text{ kgf/cm}^2$ であり、鋼材のGとして妥当な値である。一方、hについては、供試体が極めて弾性体に近いものであるにもかかわらず $r > 10^{-5}$ の範囲において1%前後生じており、 5×10^{-5} では0.5%程度減少している。ひずみの小さい領域でやや大きなhとなっている原因は検出器そのものの電氣的な位相差によるヒステリシスではないかと考えられる。

また、図-2.10は、微小変位計から求められたひずみ量 r_1 とひずみゲージから求められたひずみ量 r_0 の関係を示したものである。これより、微小変位計のひずみ量は、ひずみゲージのそれよりも若干大きめに出ている（ $r_1 / r_0 = 1.1$ ）。つまり、微小変位計による測定値には測定棒の影響が含まれている。これは、測定棒に軸変位・回転角計のロッドが固定されているために、トルクが作用すると測定棒にゆがみが生じるからである。そこで、その影響度合いを調べるために、繰返しねじりせん断時に測定棒に軸変位・回転角計のロッドを取り付けた場合とはずした場合の各々について測定されるひずみ量を比較してみた。その結果を図-2.11に示す。これより、いずれの供試体においても、せん断ひずみの大きさに無関係に、ロッドを測定棒から取りはずした時のひずみ量 r_0 と取り付けた時のひずみ量 r の比 r_0 / r は、約0.9である。この結果を踏まえロッドが測定棒に点接触する軸変位計を新たに製作した。そのため、既にロッドが測定棒に固定型の軸変位・回転角計を用いて得られている試験結果では、その影響を補正するために、繰返し载荷試験中に測定されるひずみ量が、補正係数 $f=0.9$ を乗ずることで補正して整理された。

図-2.12には最大容量20 tのCTX用軸力計の検定結果を示す。検定は、万能アムスラー試験機によって行った。これより、精度は $\pm 0.16\% / F.S.$ である。

2.3 せん断弾性係数G・減衰定数hの計算

繰返し载荷試験の結果として得られるGおよびhは、検出器より得られる繰返し荷重と変位のアナログ記録をデジタル記録に変換し、パーソナルコンピューターを用いて以下のように計算している。

2.3.1 CTSSの場合

せん断応力振幅とせん断ひずみ振幅から得られる図-2.13ヒステリシスループより以下のように算出する。

$$\left. \begin{aligned} G &= \frac{d\tau}{d\gamma} \\ h &= \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{dw}{w} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、 $d\tau$: せん断応力振幅

$d\gamma$: せん断ひずみ振幅

dw : ヒステリシスループで囲まれた面積

$w/2$: 三角形の面積

ところで、供試体の半径方向のせん断応力の分布は、図-2.14に示すように材料の非線型特性のため非一様となる。この非一様性は、せん断ひずみ γ が小さいほど大きく、また、 γ が大きいほど小さくなる。福島(1982)²⁾によれば「せん断ひずみ γ が5%以上になればせん断ひずみの分布はほとんど一様とみなせる。」とされる。繰返し载荷試験における γ は、大きくて $\gamma = 10^{-3}$ (0.1%)程度である。よって、供試体半径方向のせん断応力の分布は、図-2.15に示すような弾性分布を仮定して、供試体平均半径位置でのせん断応力を求めた。

測定される繰返し荷重(トルク T)とせん断応力 τ の関係は、

$$T = \int_{R_i}^{R_o} 2\pi R \cdot \tau R \cdot dR \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで、 R_o : 供試体外側の半径

R_i : 供試体内側の半径

となる。弾性分布とした時の $\tau = K \cdot R$ を式(2.2)に代入して

$$\begin{aligned} T &= 2\pi K \int_{R_i}^{R_o} R^3 \cdot dR \\ &= \frac{\pi K}{2} (R_o^4 - R_i^4) \\ \therefore K &= \frac{2T}{\pi (R_o^4 - R_i^4)} \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

求める供試体平均半径位置 ($\bar{R} = \frac{R_o + R_i}{2}$) でのせん断応力は、

$$\begin{aligned} \tau &= K \cdot \bar{R} \\ &= \frac{2T}{\pi (R_o^4 - R_i^4)} \cdot \frac{(R_o + R_i)}{2} \quad (\because (2.3)) \\ &= \frac{T}{\pi (R_o^2 + R_i^2) (R_o - R_i)} \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

となる。前述のせん断応力 $\Delta\tau$ は、トルク T から式 (2.4) を用いて算出した。

なお、単調载荷試験の場合は、 γ が 15% 程度生じるため、供試体半径方向のせん断応力の分布は、図-2.16 に示すように剛-塑性分布とみなし、供試体半径中心位置でのせん断応力 τ は、以下のように算出した。

$$\begin{aligned} T &= \int_{R_i}^{R_o} 2 \pi R \cdot \tau \cdot R \cdot dR \\ &= \frac{2}{3} \pi \cdot \tau \cdot (R_o^3 - R_i^3) \\ \therefore \tau &= \frac{3T}{2 \pi (R_o^3 - R_i^3)} \dots\dots\dots (2.5) \end{aligned}$$

一方、 γ は、今回導入した微小変位計から得られる変位を以下に示すように供試体平均半径位置での変位に換算することによって求めている (図-2.17 参照)。

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{\bar{R}}{R'} \cdot \Delta L' \\ &= 0.641 \cdot \Delta L' \\ \gamma &= \frac{\Delta L}{H_c} \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

ここで、 ΔL : 供試体平均半径位置での変位量

$\Delta L'$: 微小変位計取り付け位置での変位量

$\bar{R}$: 供試体平均半径

R' : 微小変位計の取り付け位置

H_c : 圧密後の供試体高さ

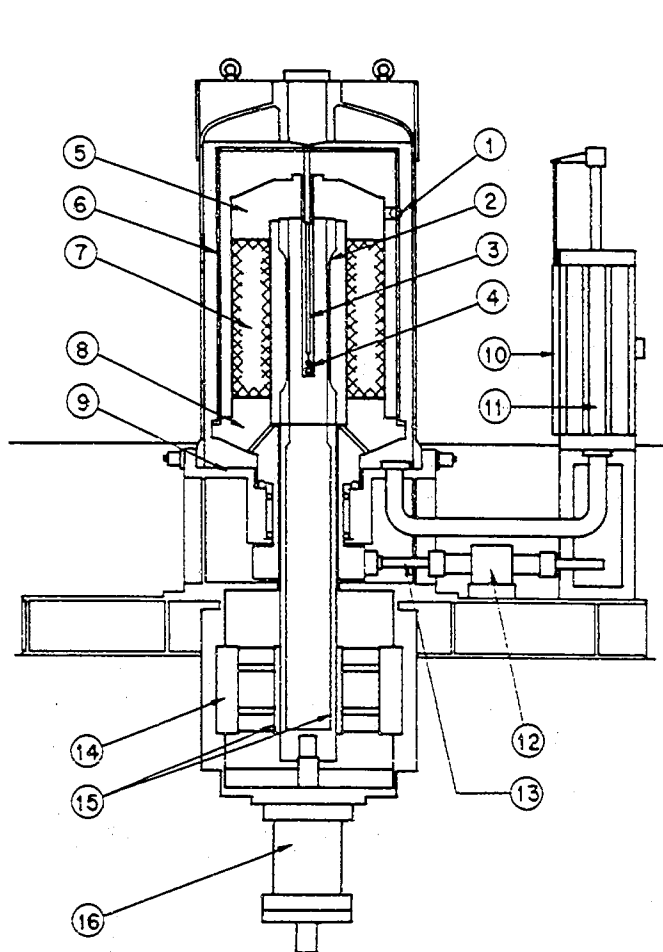
2.3.2 CTX の場合

三軸試験は、単純せん断試験とは異なり、せん断応力 τ ・せん断ひずみ γ が直接求まらないので軸力～軸ひずみ関係から得られるヒステリシスループより (図-2.18 参照)、以下に示すように動的ポアソン比 ν_d を介して G ならびに h を算出する。

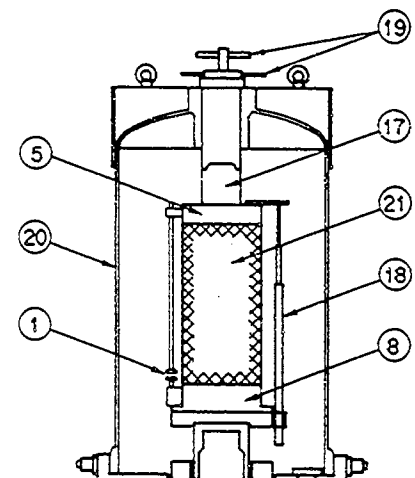
$$\left. \begin{aligned} G &= \frac{E}{2(1 + \nu_d)} \\ E &= \frac{\Delta \sigma_a}{\Delta \epsilon_a} \\ \nu_d &= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta \epsilon_v}{\Delta \epsilon_a} \right) \\ h &= \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta w}{w} \\ \gamma &= (1 + \nu_d) \cdot \Delta \epsilon_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

ここで、 $\Delta \sigma_a$: 軸応力振幅

$\Delta \epsilon_a$: 軸ひずみ振幅
 $\Delta \epsilon_v$: 体積ひずみ振幅
 ν_d : 動的ポアソン比
 E : 弾性係数
 Δw : ループで囲まれた面積
 $w/2$: 三角形の面積
 r : せん断ひずみ



(a) ねじり単純せん断用 (CTSS and MTSS)



(b) 三軸試験用 (CTX and MTX)

図-2.1 大型せん断試験装置

- ① GAP SENSOR
- ② AXIAL LOAD AND TORQUE PICKUP
- ③ DISPLACEMENT TRANSDUCER
- ④ ROTARY DEGREE PICKUP
- ⑤ CAP
- ⑥ MEASUREMENT FRAME
- ⑦ HALLOW CYLINDRICAL SPECIMEN (φ80-40cm x H80cm)
- ⑧ PEDESTAL
- ⑨ CELL BOTTOM
- ⑩ OUTER VOLUME CHENGE PICKUP
- ⑪ CELL PRESSURE EQUIPMENT
- ⑫ TORQUE LOADING EQUIPMENT
- ⑬ TORQUE ARM
- ⑭ TORQUE REACTION
- ⑮ LOADING AND REACTION ROD
- ⑯ AXIAL LOADING EQUIPMENT
- ⑰ LOAD CELL
- ⑱ DISPLACEMENT TRANSDUCER
- ⑲ LORD CELL STOPPER
- ⑳ TRIAXIAL CELL
- ㉑ SPECIMEN (φ40cm x H80cm)

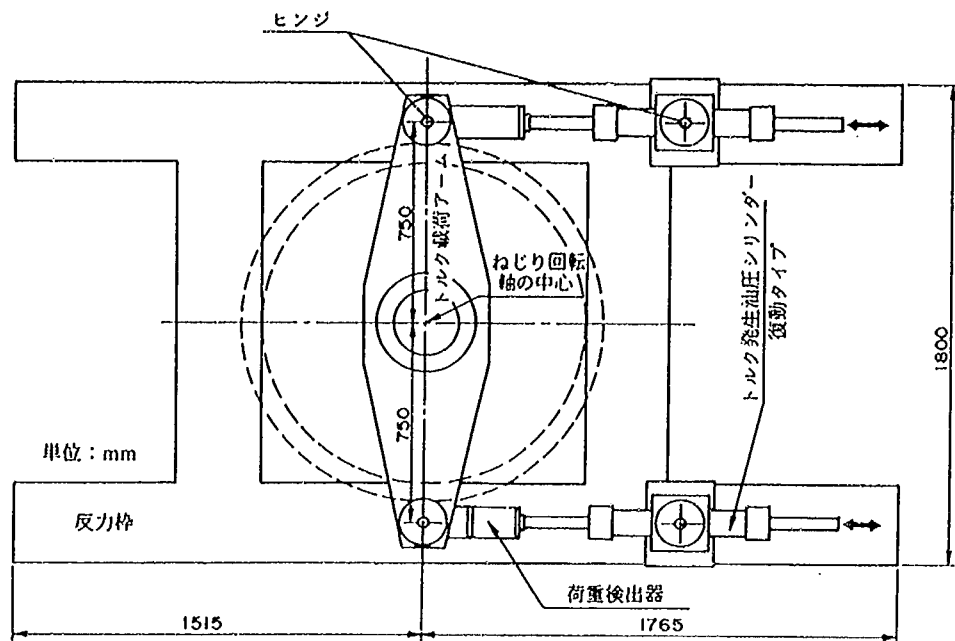


図- 2.2 トルク載荷発生装置

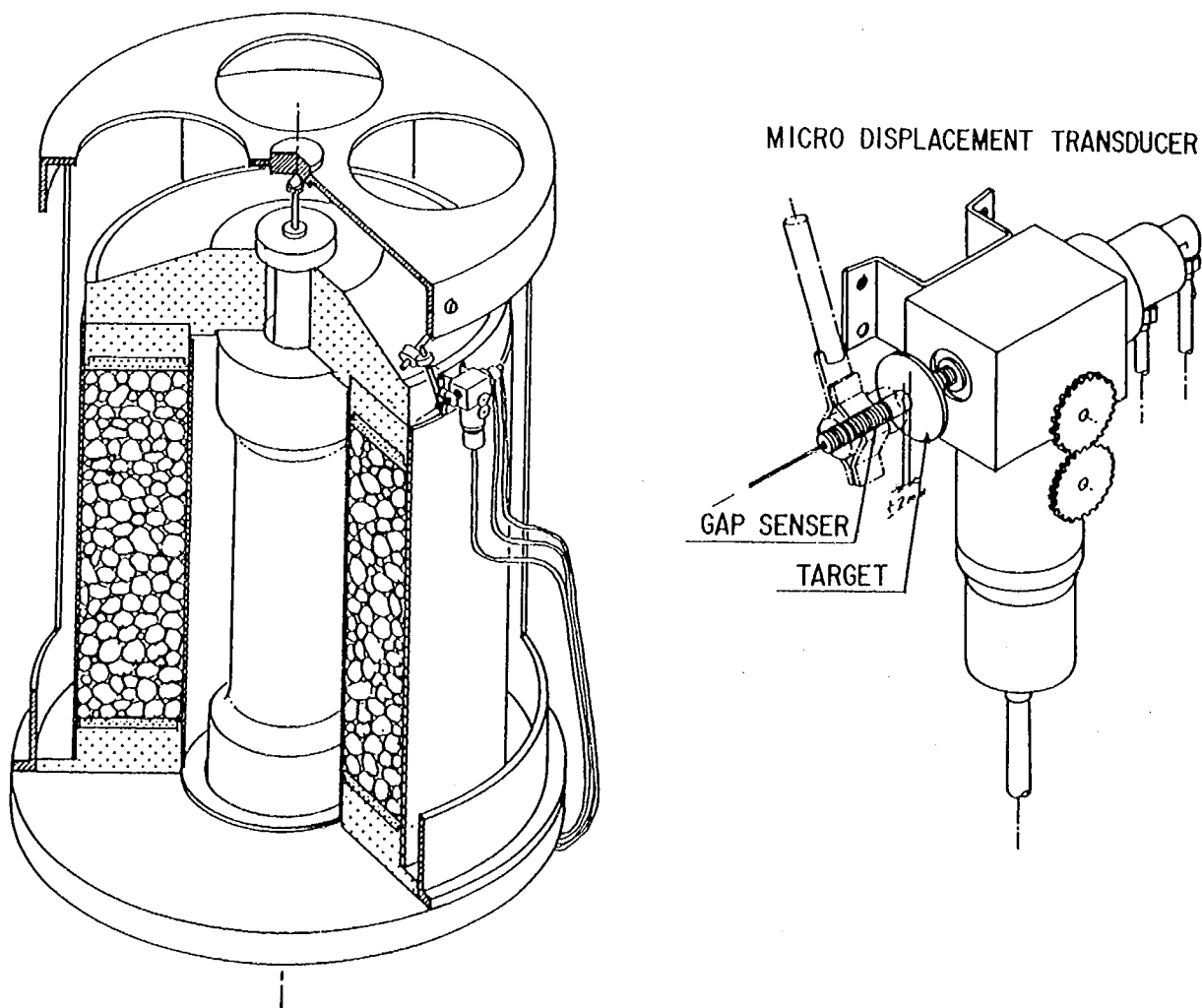
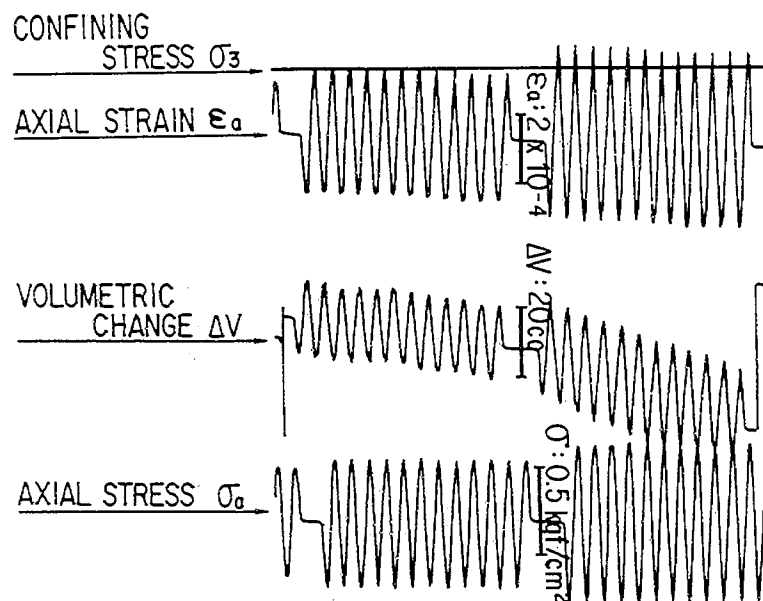
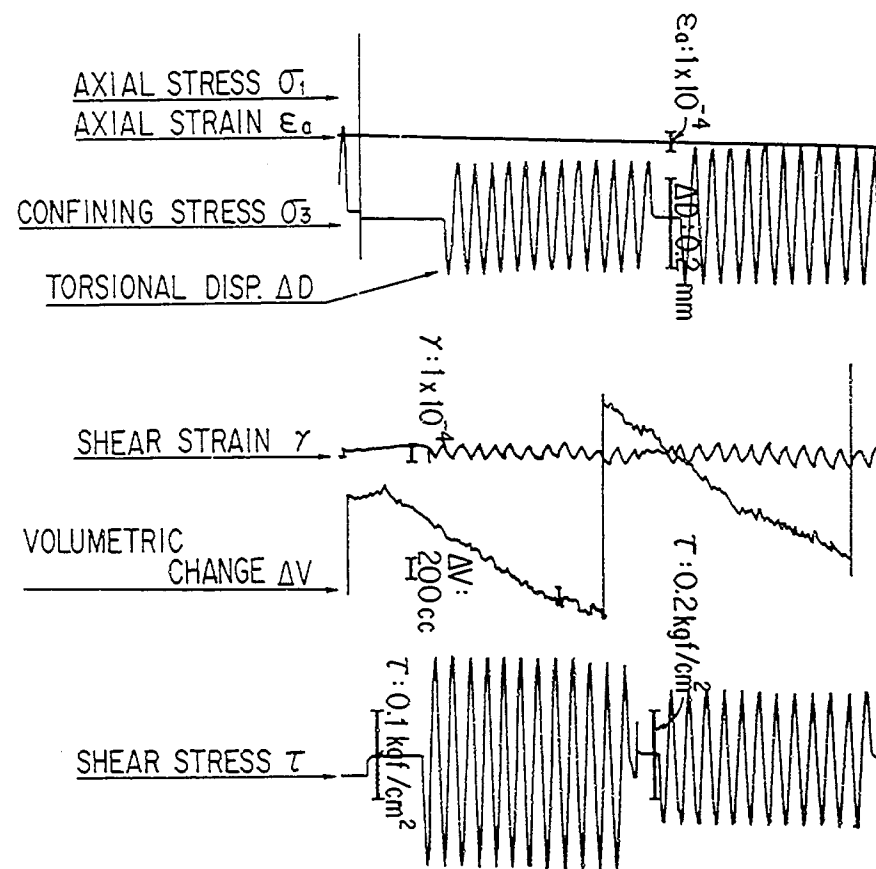


図- 2.3 微小変位計（ギャップセンサ）とその取付け（繰返しねじり単純せん断試験の場合）

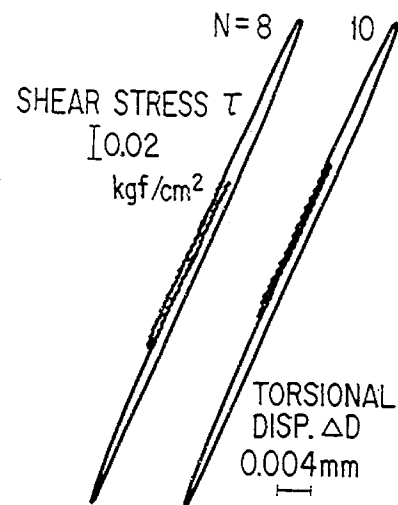


(1) 中実A ($e_0 = 0.42$, $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$, $\Delta\sigma = \pm 0.38 \text{ kgf/cm}^2$)

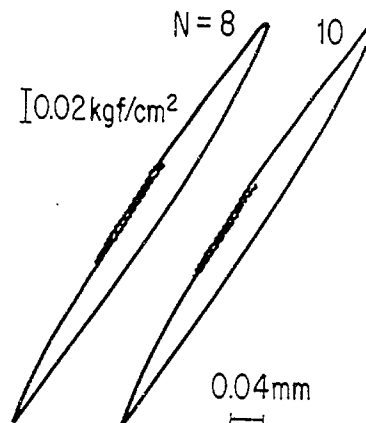


(2) 中空A ($e_0 = 0.42$, $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$, $\Delta\tau = \pm 0.12 \text{ kgf/cm}^2$)

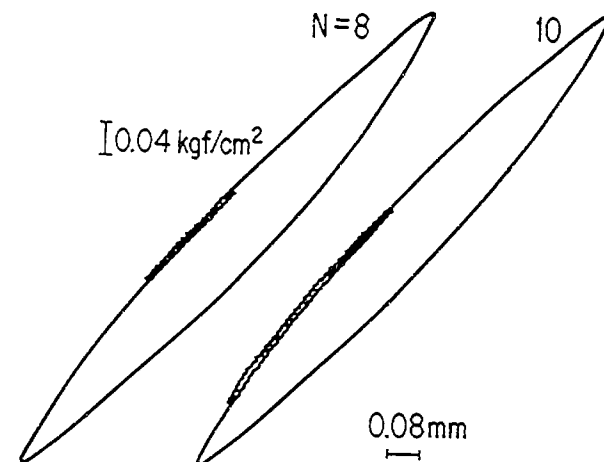
図-2.4(a) 時刻歴記録例



$\gamma = 1.10 \times 10^{-5}$
 $G = 1268 \text{ kgf/cm}^2$
 $h = 1.7 \%$



$\gamma = 1.30 \times 10^{-4}$
 $G = 884 \text{ kgf/cm}^2$
 $h = 5.8 \%$



$\gamma = 4.14 \times 10^{-4}$
 $G = 634 \text{ kgf/cm}^2$
 $h = 8.3 \%$

図—2.4(b) 応力・ひずみ履歴ループの記録例 (中空A. $e_0 = 0.42$, $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$)

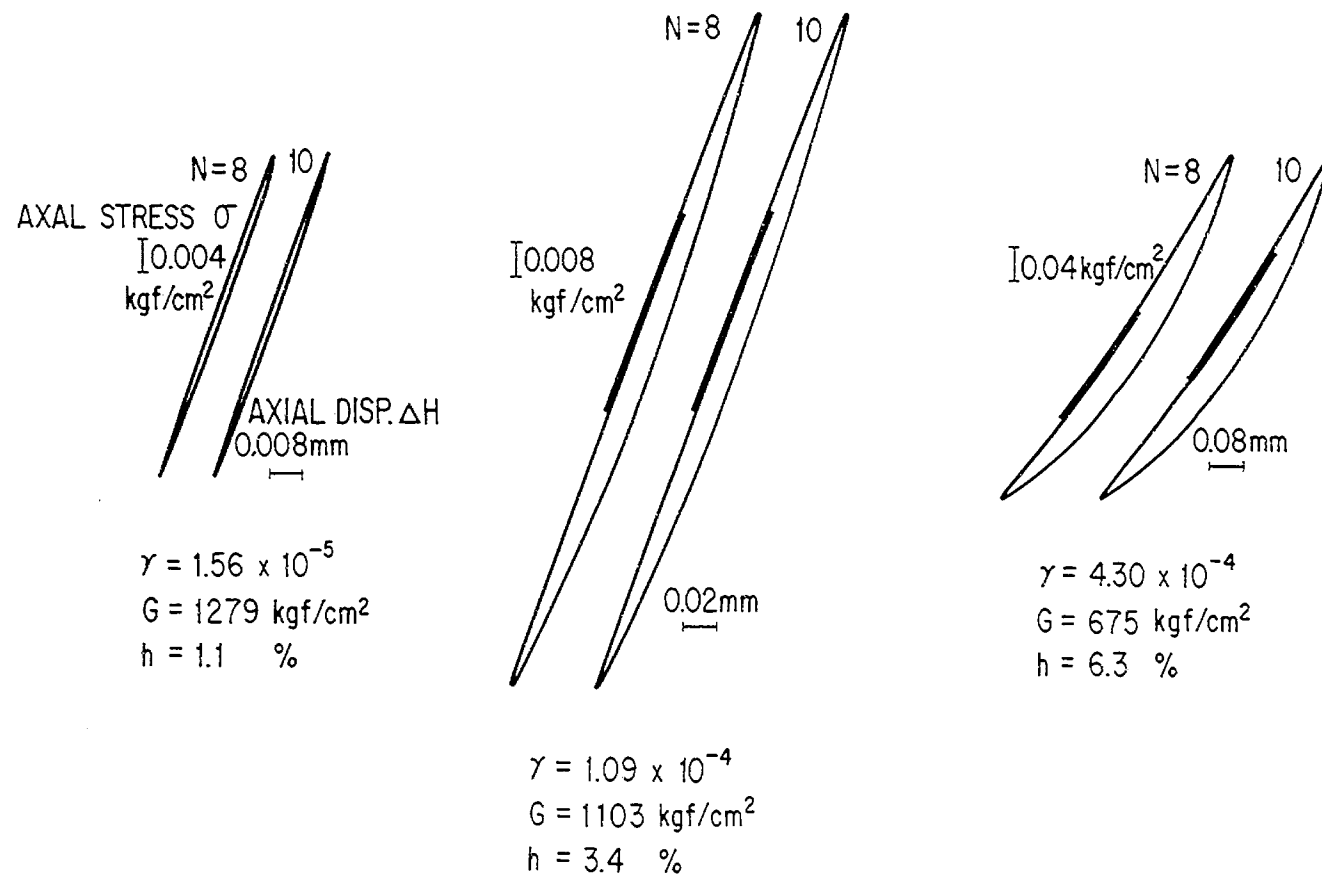


図-2.4(c) 応力・ひずみ履歴ループの記録例 (中実A, $e_0 = 0.42$, $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$)

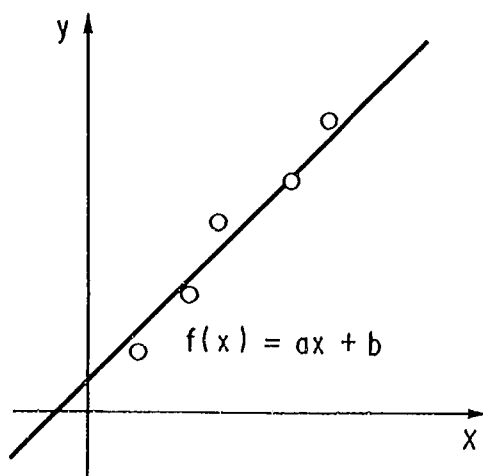


図- 2. 5 一次回帰直線

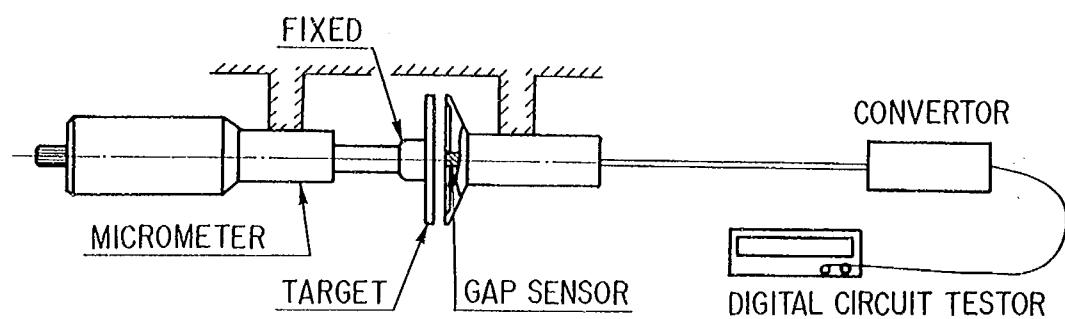


図- 2. 6 微小変位計の検定概要図

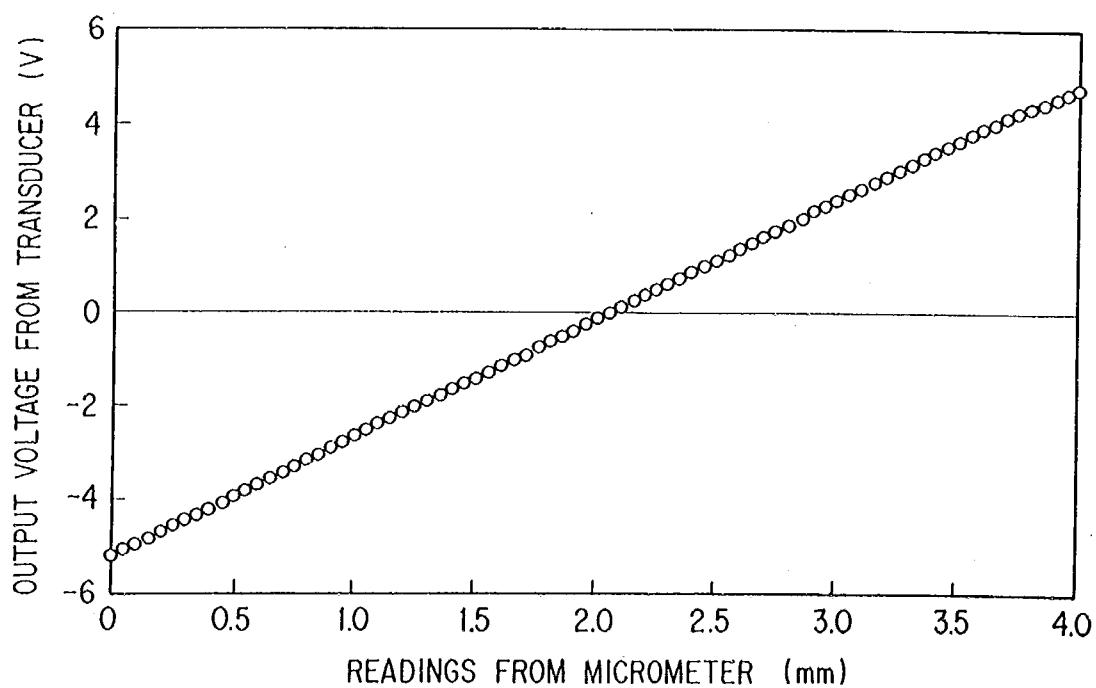


図- 2. 7 微小変位計出力電圧 ~ マイクロメーターの読み

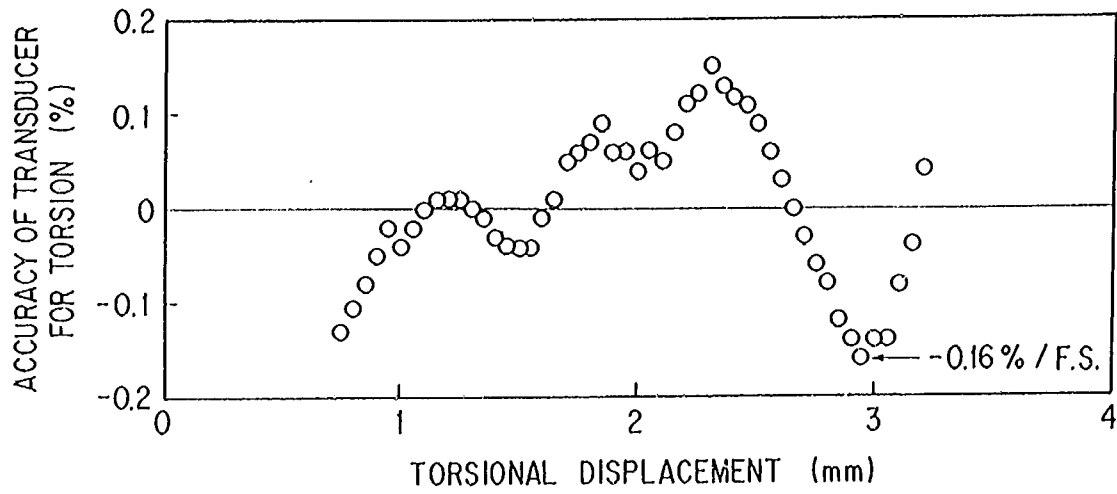


図- 2.8 微小ねじり変位計の検定結果

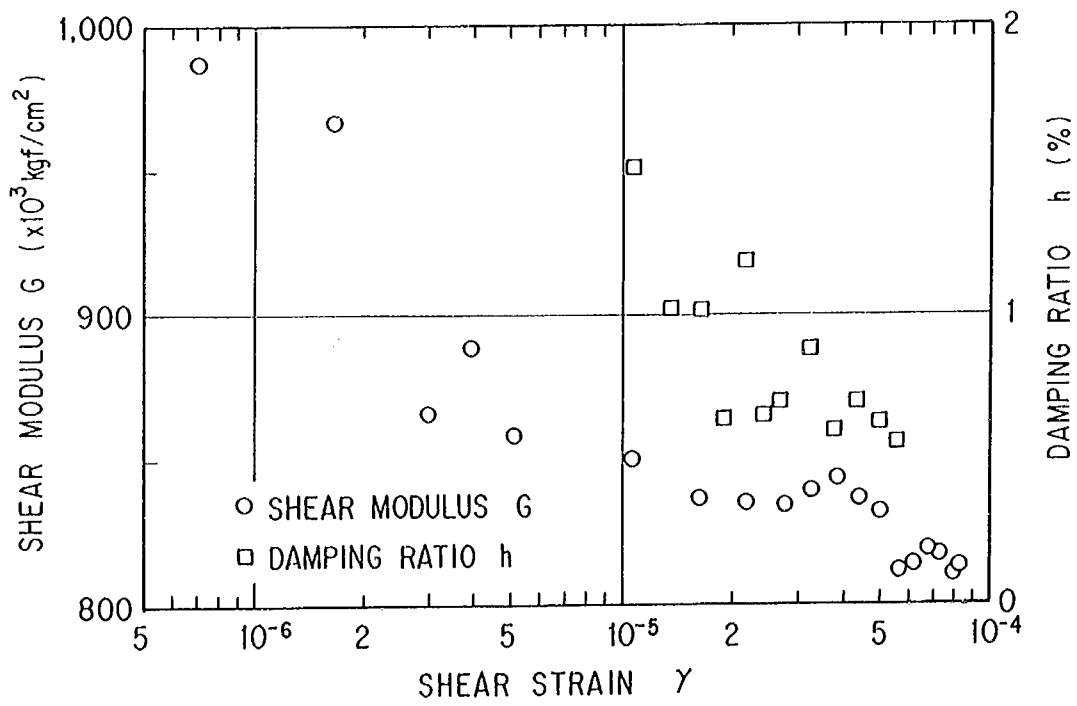


図- 2.9 鋼管ダミーを用いた検定結果

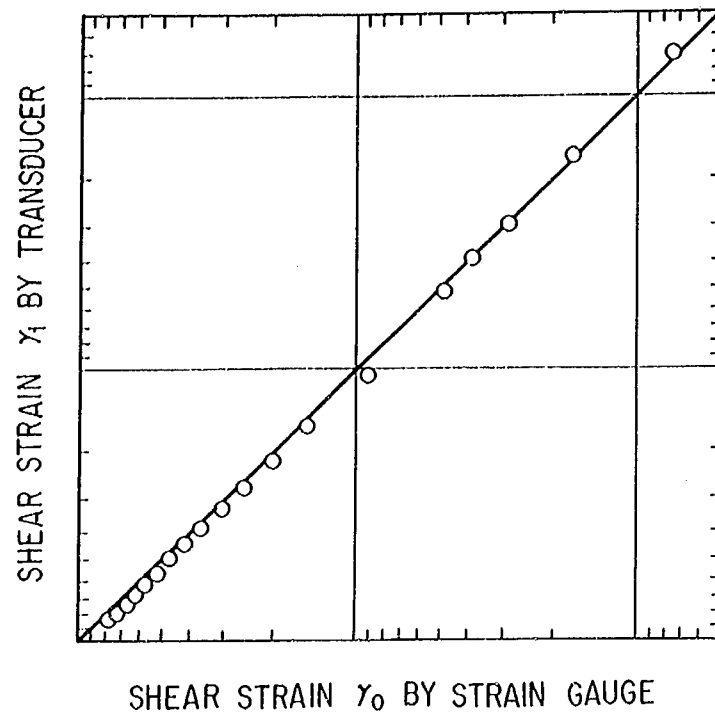


図- 2.10 微小変位計とひずみゲージの測定ひずみ量の比較

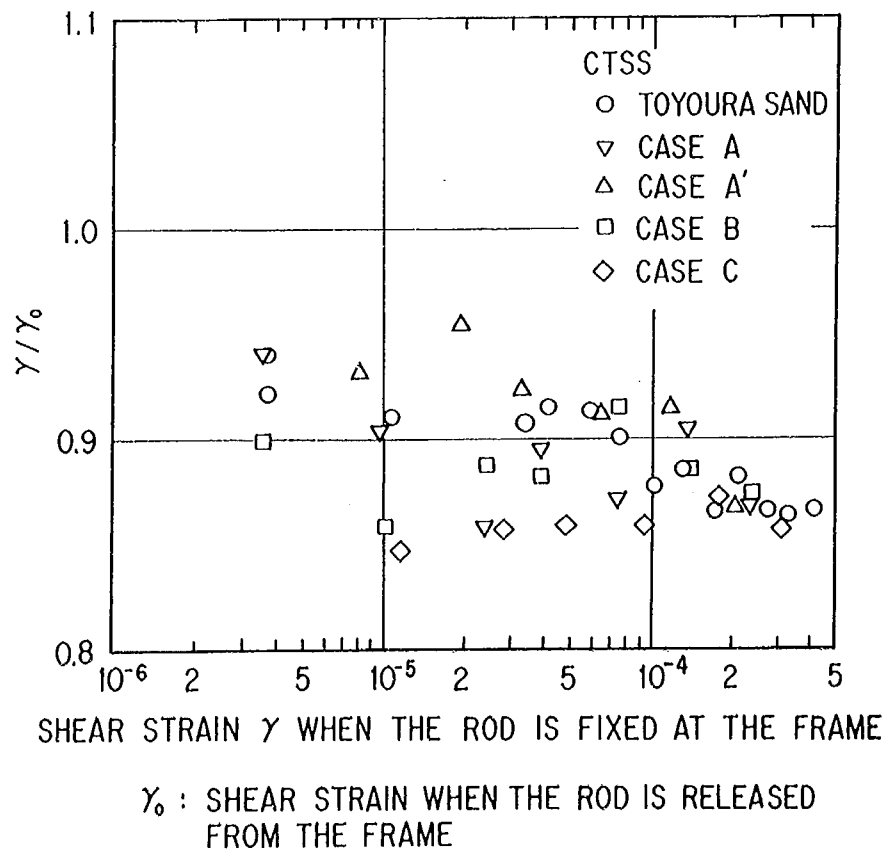


図- 2.11 ロッドを測定棒に取り付けることによる影響

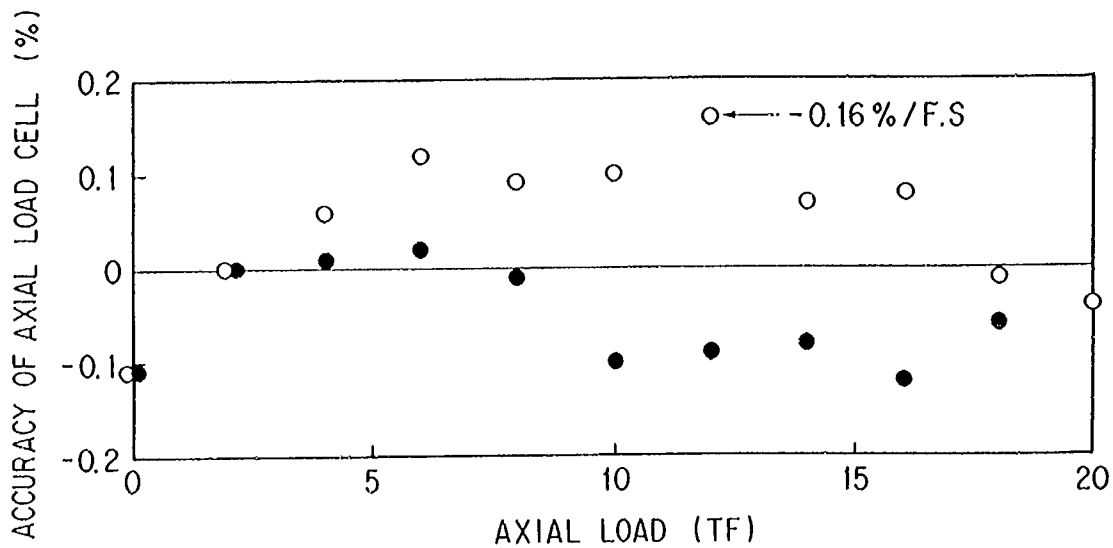


図-2.12 CTX用軸力計 (20tf) の検定結果

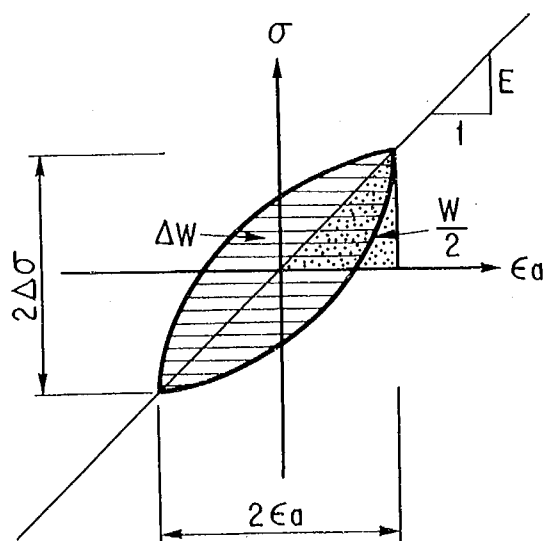


図-2.13 応力・ひずみヒステリシスループ
(繰返しねじり単純せん断試験)

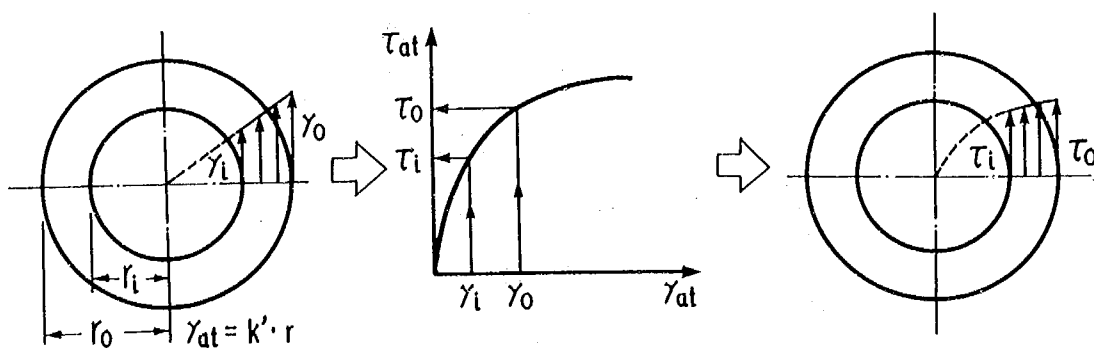
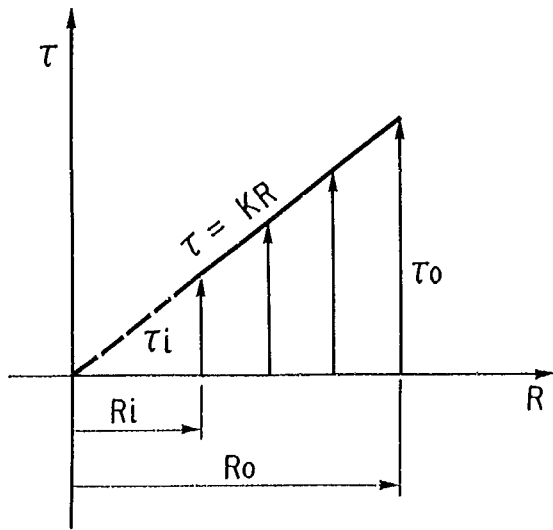
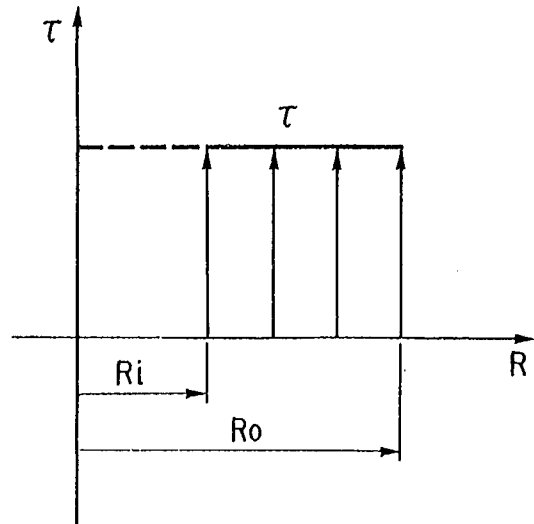


図-2.14 せん断応力, せん断ひずみの非一様性²⁾



R_i ; INNER RADIUS
 R_o ; OUTER RADIUS

図-2.15 せん断応力・弾性分布



R_i ; INNER RADIUS
 R_o ; OUTER RADIUS

図-2.16 せん断応力、剛-塑性分布

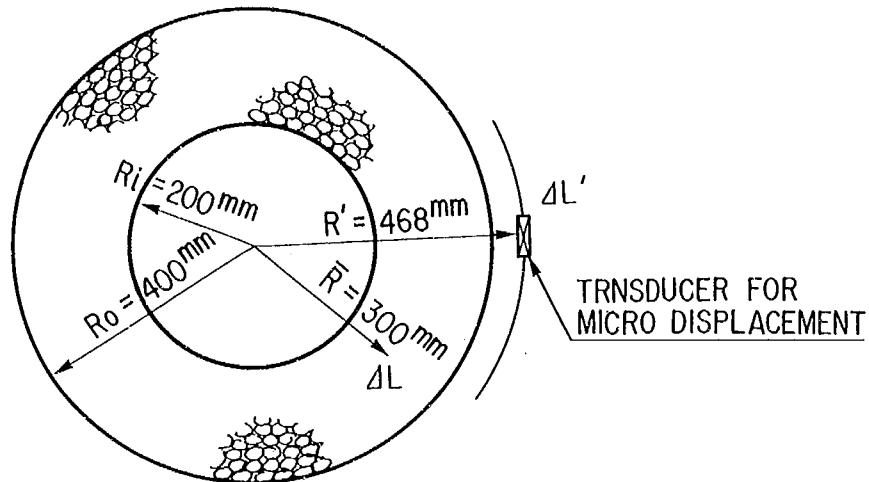


図-2.17 せん断変位の検出位置

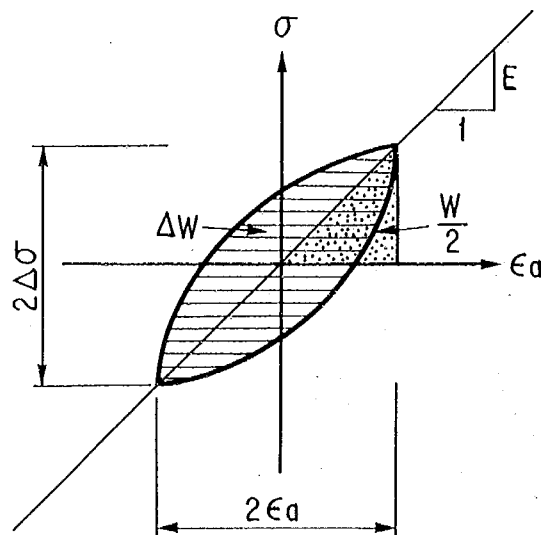


図-2.18 応力・ひずみヒステリシスループ
 (繰返し三軸試験)

表-2.1 ファンクションジェネレータの仕様

発振周波数	0.001~100kHz
正弦波ひずみ率	10kHz以下0.5%以内
出力電圧	最大10V/50Ω抵抗負荷
出力減衰器	0, 20, 40dB
DCオフセット	ON, OFFの2モード
備 考	(株)エヌエフ回路設計ブロック

表-2.2 制御設定範囲

項 目	範 囲
1. 軸方向載荷 (1) 変位制御の時 (2) 軸歪振幅 (3) 軸応力振幅 (4) 振幅周波数	2~8mm/min 最大 $\pm 1 \times 10^{-2}$ 最大 $\pm 20 \text{ kgf/cm}^2$ D. C~0.3 Hz
2. 軸方向応力(σ_1) (1) 載荷保持の時 (2) 応力制御の時	0~21 kgf/cm ² 0.2~3 kgf/cm ² /min
3. 側 圧(σ_3) (1) 加圧保持の時 (2) 側圧制御の時	0~7 kgf/cm ² 0.2~1 kgf/cm ² /min
4. σ_1/σ_3	0.2~3
5. ねじり速度 (1) 変位制御の時 (2) 応力制御の時	0.8~8 mm/min (半径30cmの円周上) 0.2~1 kgf/cm ² /min
6. ねじりせん断歪振幅	$\pm 1 \times 10^{-4} \sim \pm 1 \times 10^{-2}$
7. ねじりトルク振幅	0~ $\pm 6 \text{ tf} \cdot \text{m}$
8. ねじりトルク及び せん断歪振幅周波数	D. C~0.3Hz
9. ねじりトルク力	0~8 tf·m
10. 供試体の高さ制御	$\pm 1 \text{ mm}$
11. その他	K ₀ 圧密

表-2.3 使用油圧ポンプ

ポンプ回転数	960 r · P · m
定 格 油 圧	210kgf/cm ²
吐出量・電力	最大 45.5ℓ/min, 22kW 最大 11.9ℓ/min, 5.5kW
電 源	AC200V, 50Hz
使 用 油	一般鉱物油

表-2.4 計測装置の仕様と計測位置

計測項目	仕 様			計 測 位 置	
	最大容量	検出方式	製作会社	中空試験時	中実試験時
軸 力	20tf (動的中実用) 80tf (静的用)	差動トランス式	坂田電気	供試体中心 ²	供試体上端
トルク	2tf・m (動的用) 8tf・m (静的用)	差動トランス式	坂田電気	供試体中心 ²	—————
側 圧	7kgf/cm ²	ひずみゲージ式	日本アドテック	三軸室底盤	
間隙圧	-1~7kgf/cm ²	ひずみゲージ式	日本アドテック	三軸室底盤	
軸変位	120mm	差動トランス式	SCHAEVITZ	測定枠を基準として 供試体中心 ²	供試体上下の ベディスタル間
ねじり角	30度	差動トランス式	SCHAEVITZ	測定枠を基準として 供試体中心 ²	—————
ねじり変位	210mm	ポテンショメータ式	緑測器	トルク載荷盤の円周上	—————
微小変位	4mm	渦電流型	電子応用	測定材の円周上	供試体上下の ベディスタル間
外体積変化	50ℓ	ポテンショメータ式	緑測器	側圧加圧装置の水圧シリンダーの変位	

表-2.5 記録器の仕様

	マルチコーダ	X-Yレコーダ	パーソナルコンピュータ
チャンネル数	8	1ペン	CPU μPD70116-10 ROM N88-BASIC (36) モニタ96KB RAM ユーザーズメモリ640KB VRAM テキスト用12KB グラフィック用256KB
記 録 幅	250mm	380mm×254mm	
紙送り速度	最大 1200mm/min	—————	
直 線 性	F.Sの±0.3%以内	F.Sの±0.25%以内	
最大ペン速度	1300mm/sec	X:1500mm/sec Y:2000mm/sec	
入力フィルタ	-40dB	-40dB	
備 考	グラフィック		NEC

表-2.6 検定結果一覧表

検定項目	検出器の概要				最大容量の検定		最小容量の検定	
	最大容量	検出方法	型式	製作会社	精度	検定器	誤差	検定器
中空用軸力計	80tf	差動トランス式	———	坂田電機	$\pm 0.36\% / FS$	精度 $\pm 0.15\% / FS$ の 模擬試料	———	———
中実用軸力計 (静的用)	80tf	差動トランス式	PV-160L	坂田電機	$\pm 0.11\% / FS$	精度0.2tfの 万能アムスラー試験機	$\pm 20\text{kgf}$	死荷重($\sim 340\text{kgf}$)
中実用軸力計 (動的用)	20tf	差動トランス式	PV-160L-20	坂田電機	$\pm 0.16\% / FS$		———	———
トルク計 (静的用)	8 tf·m	差動トランス式	PV-300T	坂田電機	$\pm 0.25\% / FS$	精度 $\pm 0.13\% / FS$ の 検証用荷重計	$\pm 8\text{kgf}\cdot\text{m}$	死荷重($\sim 360\text{kgf}$)
トルク計 (動的用)	2 tf·m	差動トランス式		坂田電機	$\pm 0.5\% / FS$			
中空用軸変位計	120mm	差動トランス式	LV-1202W	SCHAEVITZ	$\pm 0.08\% / FS$	精度0.1mmの測長器	———	———
中実用軸変位計	120mm	差動トランス式	LV-1201W	SCHAEVITZ	$\pm 0.13\% / FS$	精度0.1mmの測長器	$\pm 0.07\text{mm}$	ダイヤゲージ(1/100mm) ($\sim 1\text{mm}$)
ねじり角度計	30度	差動トランス式	FV-30T	SCHAEVITZ	$\pm 0.04\% / FS$	精度 $\pm 10^\circ$ の ロータリーエンコーダー	———	———
ねじり変位計	200mm	ポテンショメータ式	CPP-45B	緑測器	$\pm 0.29\% / FS$	精度 $\pm 0.04\% / FS$ の ねじり角度計	$\pm 0.09\text{mm}$	ダイヤゲージ(1/100mm) ($\sim 30\text{mm}$)
微小ねじり変位計	4mm	渦電流型	AEC-09	電子応用	$\pm 0.16\% / FS$	精度1/100mmの マイクロメーター	———	———
側圧計	7 kgf/cm ²	ひずみゲージ型	KP/7B	日本アドテック	$\pm 0.25\% / FS$	精度 $\pm 0.25\% / FS$ の 精密ブルドン管式圧力計	$\pm 0.02\text{kgf}/\text{cm}^2$	精度 $\pm 0.05\% / FS$ の 圧力検定器($\sim 7\text{kgf}/\text{cm}^2$)
間隙水圧計	-1 $\sim$ 7 kgf/cm ²	ひずみゲージ型	KP/7B	日本アドテック	$\pm 0.10\% / FS$	精度 $\pm 0.25\% / FS$ の 精密ブルドン管式圧力計	$\pm 0.01\text{kgf}/\text{cm}^2$	精度 $\pm 0.05\% / FS$ の 圧力検定器($\sim 7\text{kgf}/\text{cm}^2$)
外体積変化計	50ℓ	ポテンショメータ式	LP-750FX	緑測器	$\pm 0.21\% / FS$	精度0.1mmの測長器	———	———
内体積変化計	50ℓ	ダイヤフラム型	HP1000	大倉電気	$\pm 0.13\% / FS$	精度10ccの メスシリンダー	$\pm 70\text{cc}$	精度10ccの メスシリンダー($\sim 7\ell$)

3. 試験材料

試験材料は、七ヶ宿ダム（東北地方建設局）の原石山より採取した石英安山岩を使用した。材料の物性値を求めるため試験項目、試験方法および試験結果を以下に示す。ただし、予備試験では、豊浦標準砂を使用した。その物性値については、予備試験の項で述べる。

3.1 試験粒度の設定

搬入材料は、天日乾燥によって気乾状態（含水比3%以下）とし、各粒径毎にふるい分け（JIS.A. 1204）、供試体作製のための試料調整を行った。

一般に、三軸圧縮試験の許容最大粒径 D_{max} は、ある範囲内の均等係数において供試体直径の1/5程度以内が適当である（松本、渡辺ら（1983）³⁾）。そこで本試験においても、最大粒径 D_{max} は、最小寸法である単純せん断試験用の中空供試体の断面幅20cmの1/5ということから $D_{max} = 38.1\text{mm}$ とした。また、供試体の最大粒径が試験に及ぼす影響を検討するために $D_{max} = 38.1\text{mm}$ のA粒度のほかに $D_{max} = 25.4\text{mm}$ になるB粒度も設定した。

なお、試験粒度分布は、原石山で採取した時に得られた粒度分布を基本として、最大粒径 $D_{max} = 38.1\text{mm}$ と $D_{max} = 25.4\text{mm}$ の相似粒度分布になるようにした。粒径加積曲線を図-3.1に示す。

3.2 物理試験

試験材料の物性値を求めるための物理試験として、比重試験、吸水試験および含水量試験を実施した。比重・含水量試験は、粒径4.76mm以上については、粗骨材の比重および含水量試験 JIS.A. 1110 に準拠して実施し、また、粒径4.76mm以下については、土粒子の比重試験 JIS.A. 1202 に準拠して実施した。含水量試験は、全粒径を対象として、JIS.A. 1203 に準拠して実施した。

試験結果一覧表を表-3.1に示す。なお、表中の比重・吸水率は、以下の定義によるものである。

$$\cdot \text{表乾比重} \quad G_a = \frac{B}{B - C} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\cdot \text{絶乾比重} \quad G_b = \frac{A}{B - C} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\cdot \text{真比重} \quad G_g = \frac{A}{A - C} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\cdot \text{吸水率} \quad Q = \frac{B - A}{A} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで、A：絶乾重量

B：表乾重量

C：水中重量

表-3.1より、測定結果をまとめると次のようになる。

表乾比重 G_a 2.557 ~ 2.593

絶乾比重	G_b	2.429 ~ 2.506
真比重	G_g	2.745 ~ 2.089
吸水率	Q	3.471 ~ 5.277 (%)

代表物性値は、粒径別重量百分率による重みつき平均値として求め、表－3.2に示す。また、粒径別物性値を図－3.2に示す。粒径別のバラツキをみると、真比重 G_g は、粒度が大きくなるにつれ僅かに減少傾向にあり、表乾比重 G_a 、絶乾比重 G_b は、逆に増加する傾向にある。また吸水率 Q は、粒径が大きくなると小さくなる傾向を示している。一般に絶乾比重 G_b と真比重 G_g 及び吸水率 Q の間には、式(3.1)～(3.4)より、

$$G_b = \frac{1}{Q + 1/G_g} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

なる関係が成り立ち、岩石を構成する鉱物粒子の真比重がほぼ同じである場合には、吸水率が大きいほど絶乾比重は小さくなる。即ち岩石中の空隙が大きくなることにより、絶乾比重が小さくなる(土質工学会(1982))¹⁾。このような相関性は、今回の試験結果にも表われている。図－3.2には、同じ石英安山岩であるが昭和58年度に行った物理試験結果(PREVIOUS)も同時に示してある。上述のような傾向は、それらの結果にも現れている。今回の試験結果は、以前の結果に比べ、比重については小さく、吸水率・含水比については逆に大きくなっていることから、材料そのものが以前に比べてやや脆弱になっていることが考えられる。

3.3 締固め試験

粗粒材料の締固め特性を求め供試体作製時の密度設定の参考とする目的で締固め試験を実施した。また、締固め試験の前後で材料の破碎率を知るために粒度試験を実施した。

締固め試験は、電気ハンマを用いて表－3.3に示す仕様で行った。以下に締固め試験の手順を述べる。使用したモールドは直径40cm、高さ80cmで三軸試験供試体作製用である。

- ① 図－3.1に示した粒度分布になるように調整した試料を、絶乾重量で150kgf用意する。
- ② 試料台(ペデスタル)にゴムスリーブ及び供試体作製用モールド(径40cm×高さ80cm)をセットしモールドの内径と初期高さを鋼尺(スケール)で測定する。ただし、測定は直接試料に鋼尺をあてて実施した。
- ③ 締固め層数は6層とし、1層の試料を16等分してハンドスコップで落差を与えないように静かにモールド内に投入する。
- ④ 1層当りの締固めは、図－3.3に示すように、7点(周囲6点、中央1点)所定の時間、できるだけ均等になるように締固める。締固め時間は、0, 2, 4, 6, 8, 12, 14秒のケースを設定した。0秒は材料を投入だけで締固めは行わない。
- ⑤ 締固めた試料は次層投入前にエッチ等で締固め表面を乱し、次層とのなじみを良くした。
- ⑥ 締固め後の試料高さは、図－3.4に示す9点で測定し、その平均値とする。最終層まで締固めた

後、最終高さを測り、モールド直径、試料の絶乾重量から密度・間隙比を求める。

図- 3.5 に間隙比 e と乾燥密度 γ_d と設定した締固め時間との関係を示す。これより、 $D_{max} = 38.1$ mm の試料について $e_{max} = 0.722$, $e_{min} = 0.296$, $D_{max} = 25.4$ mm の試料については、 $e_{max} = 0.706$, $e_{min} = 0.279$ が得られた。 $D_{max} = 25.4$ mm の試料の方が $D_{max} = 38.1$ mm の試料に比べて細粒分が多いために、 e は小さく γ_d は大きくなっている。

破碎率を求める粒度試験は、以下の4試料について実施した。ただし、いずれも $D_{max} = 38.1$ mm の試料である。

- ・最小間隙比 ($e_{min} = 0.296$) を求めた締固め試験後の試料 (三軸試験用供試体作製モールド)
- ・単調載荷試験前の三軸試験供試体 ($e_0 = 0.42$)
- ・単調載荷試験 ($\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$) 後の三軸試験供試体 ($e_0 = 0.42$)
- ・単調載荷試験 ($\sigma_c = 4.0 \text{ kgf/cm}^2$) 後の三軸試験供試体 ($e_0 = 0.42$)

各々の試料の粒径別破碎を図- 3.6 に示す。なお、破碎率は、締固め前後の試料の粒度分布の差から Marsal (1972)⁵⁾ の定義により求めた。

最小間隙比を求めた締固め試験後の試料の破碎率は、 $\pm 6.6\%$ であり、過去に同じダム建設現場からの石英安山岩を用いた試験粒度の破碎率 (松本ら (1984)¹⁾, (1983)⁶⁾, (1984)⁷⁾) $\pm 3.6 \sim \pm 5.5\%$ に比べてやや大きい。これは、物理試験の項で述べたように、今回の材料そのものが以前のものに比べてやや劣っていることに起因すると考えられる。

また、単調載荷試験前後の供試体の破碎率についてみると $\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、試験前が $\pm 1.8\%$ 、試験後が $\pm 3.5\%$ で、単調載荷試験を行うことにより $\pm 1.7\%$ の破碎率の増加があった。また、単調載荷試験中の拘束圧の違いによる破碎率の違いは、ほとんどなく、 $\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ で $\pm 3.5\%$ 、 $\sigma_c = 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ で $\pm 3.9\%$ と、 $\sigma_c = 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の方が若干大きい。

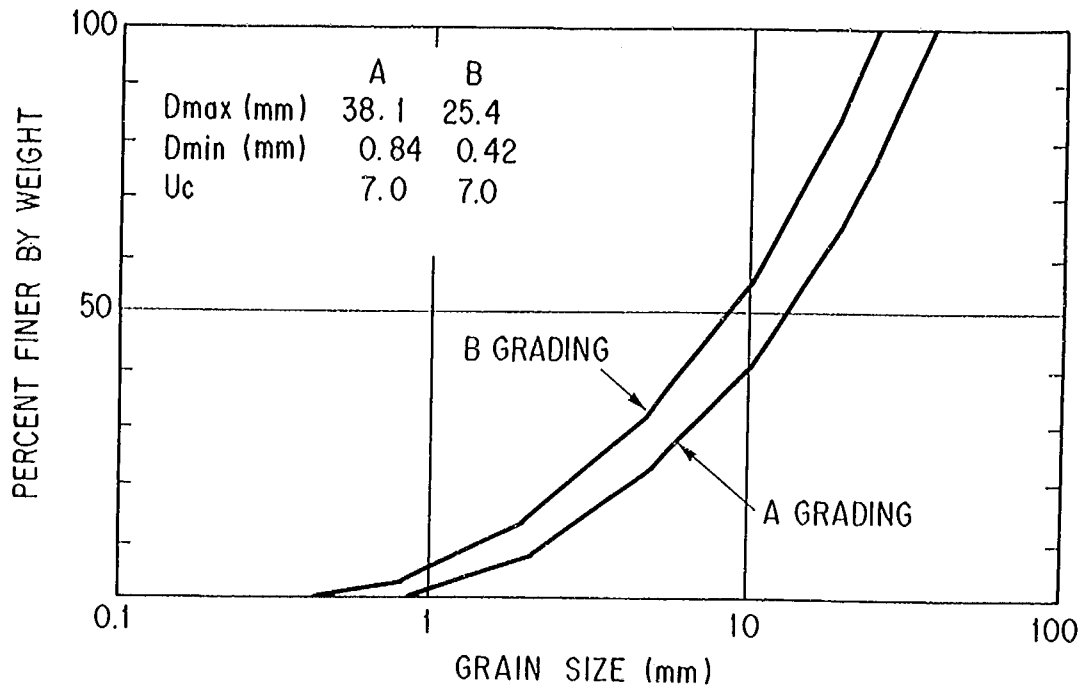


図- 3.1 粗粒材料の粒径加積曲線

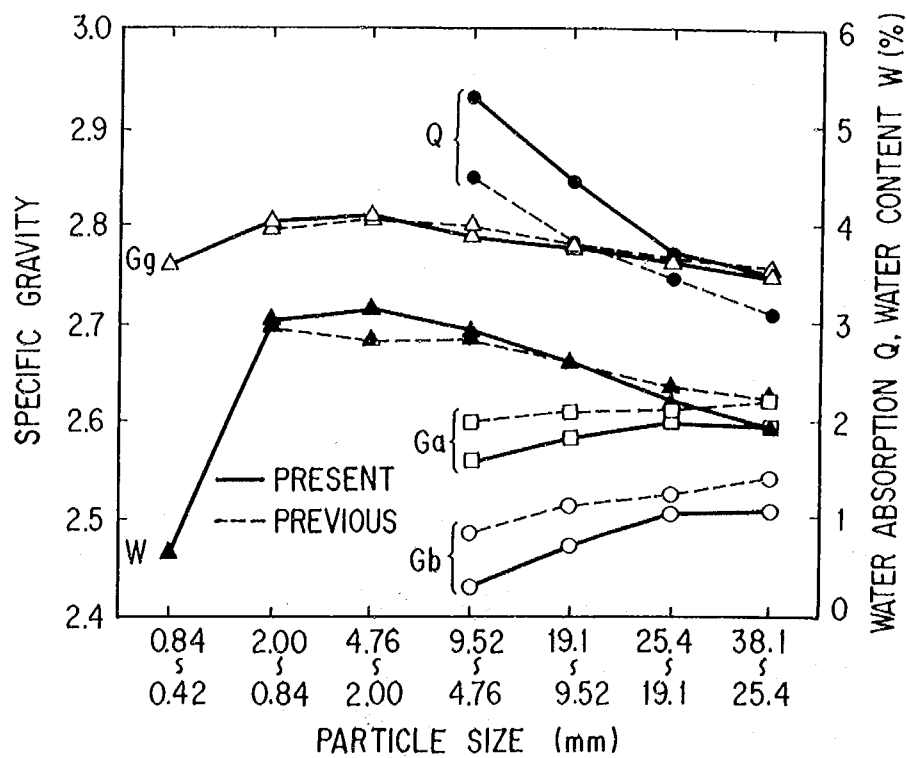


図- 3.2 比重, 吸水率, 含水比と粒径の関係

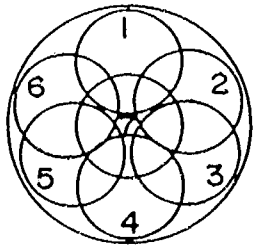


図-3.3 電気ハンマによる締固め位置

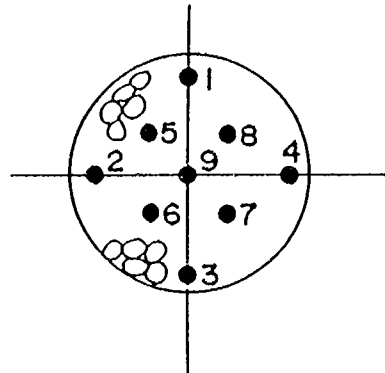


図-3.4 試料高さの測定位置

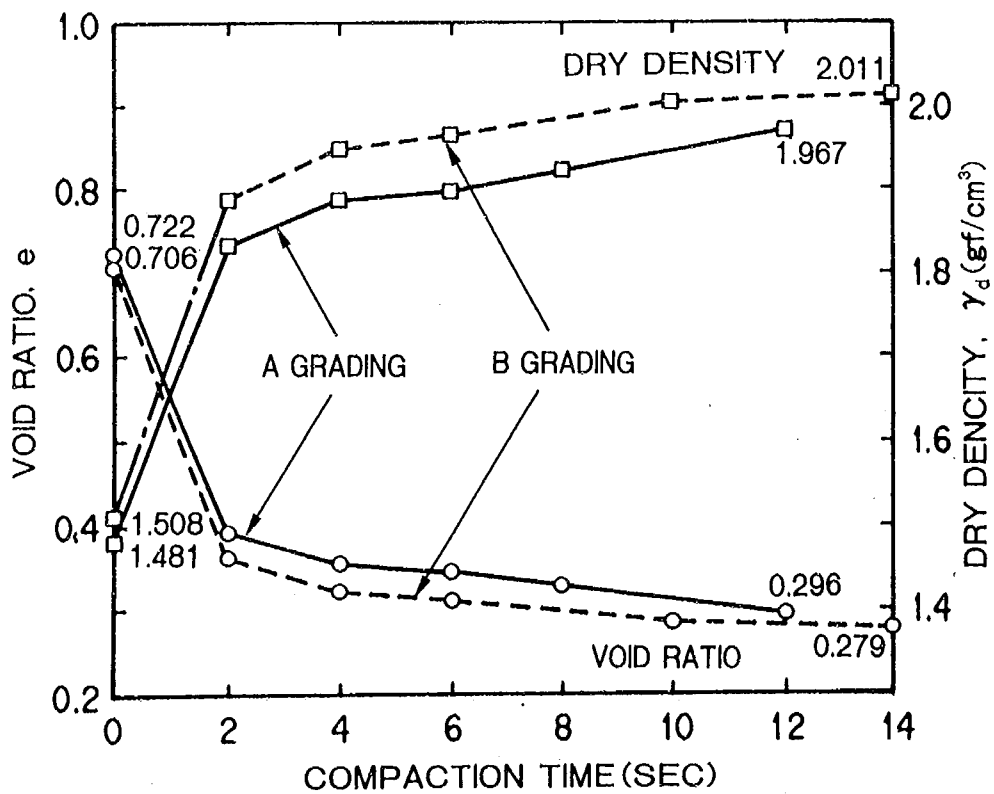


図-3.5 間隙比, 乾燥密度と締固め時間の関係

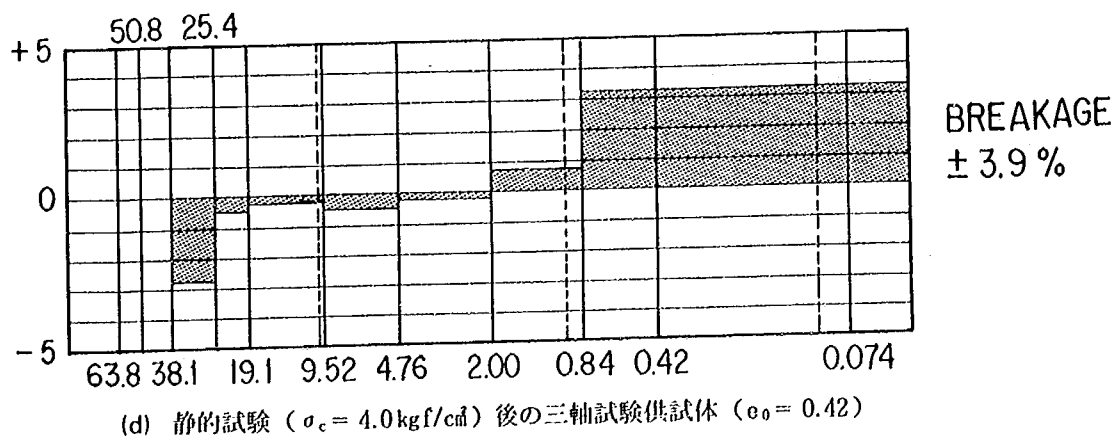
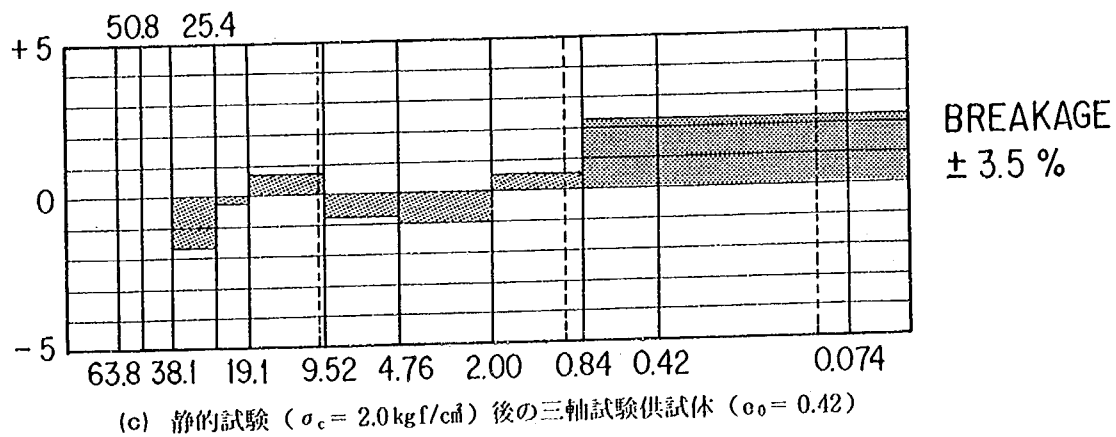
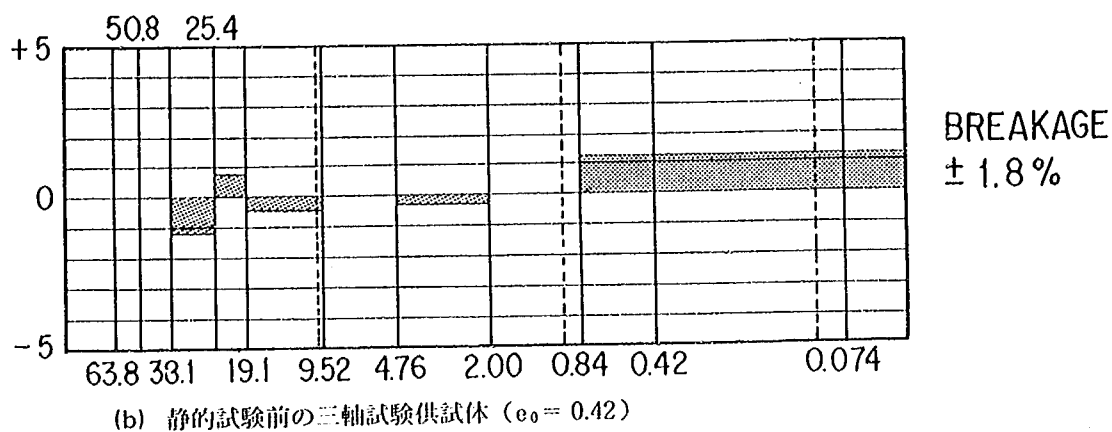
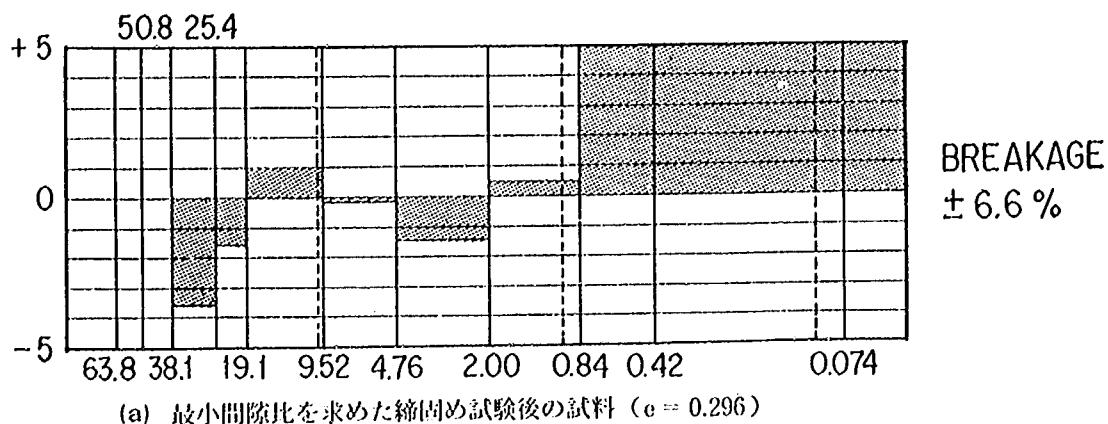


図-3.6 粒径別の破砕率

表-3.1 物理試験結果一覧表

粒 径 (mm)	通過百分率 (%)		表乾比重	絶乾比重	真比重	吸水率	含水比
	D _{max} =38.1	D _{max} =25.4	G _s	G _b	G _r	Q (%)	w (%)
38.1~25.4	23	—	2.593	2.506	2.745	3.471	1.96
25.4~19.1	13	16	2.597	2.504	2.760	3.699	2.18
19.1~9.52	25	30	2.581	2.471	2.776	4.441	2.59
9.52~4.76	17	22	2.557	2.429	2.786	5.277	2.90
4.76~2.00	15	18	—	—	2.809	—	3.12
2.00~0.84	7	11	—	—	2.802	—	3.01
0.84~0.42	—	3	—	—	2.757	—	0.63
加重平均値 (D _{max} =38.1)				G _s =2.550		4.214	2.55
加重平均値 (D _{max} =25.4)				G _s =2.573		4.537	2.68

※) 比重の加重平均値G_sは、粒径38.1~4.76mmではG_bの値、4.76~0.42mmではG_rの値を用いて算出した値である。

表－ 3.2 粗粒材料の物性値

項 目	物 性 値	
	$D_{\max}=38.1$	$D_{\max}=25.4$
比 重 G_s	2.550	2.573
含 水 比 $W\%$	2.55 %	2.68 %
吸 水 率 $Q\%$	4.214 %	4.537 %
最大間隙比 $e_{\max}$	0.722	0.706
最小間隙比 $e_{\min}$	0.296	0.279
最 大 粒 径	38.1 mm	25.4 mm
最 小 粒 径	0.84 mm	0.42 mm
D 10 粒 径	2.38 mm	1.46 mm
D 30 粒 径	6.60 mm	4.32 mm
D 50 粒 径	12.9 mm	8.39 mm
D 60 粒 径	17.1 mm	10.9 mm
均 等 係 数 U_c	7	7
曲 率 係 数 U_c'	1.1	1.2

表－ 3.3 締固めの仕様

電 気 ラ ン マ ー	全負荷打撃数：950打／分 本 体 重 量：63kgf
試 料 絶 乾 重 量	150kgf
締 固 め 層 数	6 層
モ ー ル ド 寸 法	径40cm×高さ80cm
締固めエネルギー	締固め時間で調節
締固め時間(一層)	0, 2, 4, 6, 8, 12×7秒／層

4. 試験方法

4.1 せん断試験方法

4.1.1 繰返し载荷試験

繰返し载荷試験は、図－4.1に示すように、各拘束圧段階で圧密し、圧密完了後に繰返し荷重を载荷した。繰返し応力は、1つの拘束圧段階で徐々に増加させ、発生する γ が 5×10^{-4} 付近まで達すると、次の拘束圧段階へと進み、同様の試験を繰返した。また、試験条件をまとめて表－4.1に示す。繰返し回数は、応力制御試験の場合、1つの繰返し応力につき12波とし、10波目の記録を採用した。これは、これまでの他の研究から G 、 h は、载荷回数の影響を受けるが10波目以降では G に対する影響は小さくなるとされていることによる（龍岡ら（1979）⁸⁾、岩崎ら（1977）⁹⁾）。

4.1.2 単調载荷試験

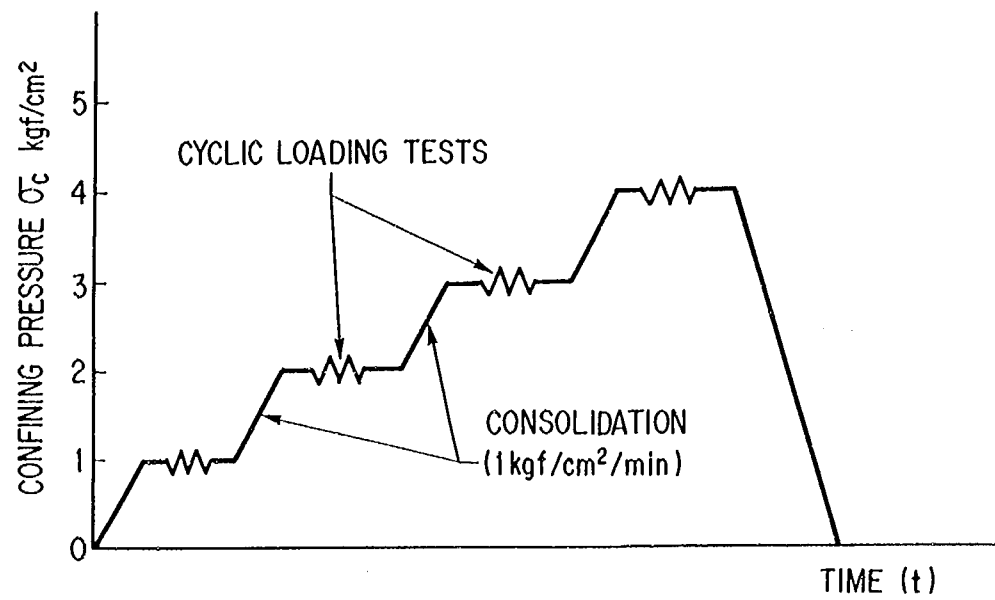
MTXは、土質工学会基準「土の三軸試験方法（案）」¹⁰⁾に準拠して実施した。また、MTSSは、三軸試験に準じて実施した。単調载荷試験の試験条件を表－4.2に示す。

4.2 試験ケース

試験ケースは、繰返し载荷試験がCTSS・CTX各々9ケース、計18ケース、単調载荷試験がMTSS・MTX各々3ケースの計6ケース全部で24ケースである。

試験ケースA'は、試験の再現性を確認するためケースAと同じ条件で実施した試験である。また、試験ケースDは、繰返し周波数の影響をみるために、応力制御で繰返し周波数を0.2, 0.1, 0.05, 0.01 Hzと変えて試験を実施したものである。なお、この時の供試体初期間隙比は、試験ケースAと同じとしている。さらに、試験ケースE, Fは、主応力比の影響をみるために、試験ケースG, Hは、最大粒径の違いによる影響をみるためにそれぞれ実施したケースである。なお、E, F, G, Hは、ケースA～Dを実施した後に行った追加実験であり、三軸供試体の場合、ロードセルの精度が向上している。（表－6.1, 6.2参照）

単調载荷試験は、MTSS・MTXをそれぞれ3拘束圧ずつ実施した。なお、ケースKの試験は、ケースI, Jの試験後に実施した追加実験であり、MTSSのケースKは、破壊時のせん断面に働く直応力 σ_n をMTXの破壊せん断面上の σ_n に等しくなるように拘束圧を設定した。また、MTXのケースKは、同様にMTSのケースJの σ_n に等しくなるように拘束圧を設定している（表－7.1参照）。



図－ 4. 1 繰返し試験の手順

表-4.1 繰返し载荷試験の試験条件

試験の種類		繰返しねじり単純せん断試験 (中空試験)					繰返し三軸圧縮試験 (中実試験)				
供試体	供試体寸法	直径80-40cm×高さ80cm					直径40cm×高さ80cm				
	供試体の状態	不飽和・気乾 (w<1%)					不飽和・気乾 (w<1%)				
	初期間隙比 e ₀	0.42, 0.47, 0.52の3ケースを設定					0.42, 0.47, 0.52の3ケースを設定				
圧密	主応力比σ ₁ /σ ₃	1.0, 1.5, 2.0の3ケースを設定					1.0, 1.5, 2.0の3ケースを設定				
	試験拘束圧	σ _c =1, 2, 3, 4kgf/cm ²					σ _c =1, 2, 3, 4kgf/cm ²				
	圧密速度	1kgf/cm ² /min					1kgf/cm ² /min				
	圧密完了基準	体積変化量が0か50cc/min以下					体積変化量が0か50cc/min以下				
繰返し 載荷	排水条件	圧密排水試験					圧密排水試験				
	制御条件	せん断応力制御		せん断ひずみ制御			軸応力制御		軸ひずみ制御		
	入力波	正弦波					正弦波				
	周波数 (Hz)	0.2	0.2	0.1	0.05	0.01	0.2	0.2	0.1	0.05	0.01
	波数	12	12	6	3	3	12	12	6	3	3
	記録波	10波目	10	5	2	2	10波目	10	5	2	2

表-4.2 単調載荷試験の試験条件

試験の種類		ねじり単純せん断試験 (中空試験)	三軸圧縮試験 (中実試験)
供試体	供試体寸法	直径80-40cm×高さ80cm	直径40cm×高さ80cm
	供試体の状態	不飽和・気乾 ($w < 1\%$)	不飽和・気乾 ($w < 1\%$)
	初期間隙比 e_0	0.42	0.42
圧密	主応力比	$\sigma_1 / \sigma_3 = 1$	$\sigma_1 / \sigma_3 = 1$
	試験拘束圧	$\sigma_c = 2.0, 4.0, 7.582 \text{ kgf/cm}^2$ の3ケースを設定	$\sigma_c = 0.562, 2.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の3ケースを設定
	圧密速度	$1 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$	$1 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$
	圧密完了基準	体積変化量が0か50cc/min以下	体積変化量が0か50cc/min以下
静的載荷	排水条件	圧密排水試験	圧密排水試験
	制御条件	せん断ひずみ制御	軸ひずみ制御
	載荷速度	$\gamma = 1\%/\text{min}$	$\varepsilon_a = 1\%/\text{min}$

5. 予 備 試 験

5.1 試験材料ならびに試験装置

当研究室で開発した大型せん断試験装置により得られる試験値 (G , h) と、従来より用いられている通常サイズの三軸装置やねじり単純せん断装置等から得られる試験値とを比較検討しておくことは、試験機の信頼性を確認するために重要なことである。豊浦標準砂を用いた強度・変形試験が他の研究者らによって実施されており、本研究でも豊浦標準砂（豊浦砂）を用いて予備試験を行った。

豊浦砂の物性値を表－5.1に示す。また、試験条件を表－5.2にまとめて示す。試験のケースは、CTSS・CTX を1ケースずつとし、いずれも供試体の設定間隙比は、同じ試験装置を用いた昭和58年度の試験結果と比較するために、当時と同じ $e = 0.74$ とした。供試体の作製方法は、基本的にはロック材料の場合と同じであるが、試料の締固めは、ハドバイプレタを用いて行った。また、繰返し載荷試験の方法ならびに手順については、ロック材料の場合と同じである。

5.2 試験結果

砂質土の動的変形特性 (G , h) に影響を及ぼす要因には、せん断ひずみ γ 、拘束圧 σ_c 、間隙比 e 等があることが、これまでの多くの研究結果から知られている（龍岡ら（1979）⁸⁾）。そこでここでは、予備試験の結果を各要因ごとに過去の試験結果と比較することによって、試験装置の信頼性を確認することとする。

5.2.1 せん断弾性係数 G および減衰定数 h

5.2.1.1 せん断ひずみ γ の影響

図－5.1にやや密な ($e_0 = 0.74$) 豊浦砂について、 $\sigma_c = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ を設定して繰返し載荷試験を実施した時の G と γ の関係を示す。砂の $G \sim \log \gamma$ 曲線の一般的な傾向として、 $\gamma = 10^{-4}$ までは G の γ の増加に対する低下率は小さく、 $\gamma = 10^{-4}$ を越えるとその低下率は急増し、 G は急激に減少していく。一方、微小ひずみ領域では、CTSS・CTX とともに、 G は、一定値（初期せん断弾性係数 G_0 ）に収束している。

図－5.2は、 γ の増加に対する G の減少率をみるために、 G を初期せん断弾性係数 G_0 で基準化した G/G_0 と γ の関係を示したものである。 G_0 については、 $\gamma = 2 \times 10^{-6}$ の時の G を $G \sim \log \gamma$ 曲線から外挿して求め、その値を G_0 とした。

CTSS・CTX とともに $\gamma = 10^{-4}$ 付近を境として、 γ の増加に対する G の減少率は、大きくなっており、また、その傾向は、 σ_c が小さいほど顕著である。

一方、 h と γ の関係を図－5.3に示す。 h は、 γ の増大と共に G とは逆に急増しており、 γ が小さくなれば、一定値に収束している。 $\gamma > 10^{-4}$ 以上では、CTSS・CTX とともに σ_c が小さいほど h の増加率は、大きくなっている。

図－5.4は、 $\sigma_c = 1.0, 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ における $G \cdot h$ のひずみ依存曲線を、他の研究結果と比較した

ものである。他の研究機関の試験例は、今回の試験とほぼ同一の条件で行われているものを選んである（大岡ら（1979）¹¹⁾，中川ら（1979）¹²⁾）。試験条件等をまとめて表－5.3に示す。また、同図には、昭和58年度に当研究室で今回と同じ試験装置を用いて、同一の供試体（豊浦砂 $e_0 = 0.74$ ）について繰返し載荷試験を行った結果も合わせてプロットしてある。

$G \sim \log r$ 関係については、CTSS・CTXともに、 r の大きいレベル（ $r > 3 \sim 5 \times 10^{-4}$ ）において今回の試験結果（○，△印）は、昭和58年度の試験結果（●，▲印）にはほぼ一致しており、 r の小さいレベルにおいては、昭和58年当時よりも今回の結果は、上に滑らかな曲線上にプロットされている。これは、変位計の精度向上により、前回測定できなかった微小ひずみ領域の G の値が、精度よく測定できたことによる。一般に、測定精度が悪いと図－5.4(a)のCTSSのように微小領域の G は一定値には収束せず、かえって増加する傾向にある（国生ら（1979）¹³⁾）。また、図－5.4(a)からわかるようにCTSSの結果は、 $r < 10^{-4}$ では、高周波数で行う共振法の試験結果に、 $r > 10^{-4}$ では、低周波数のCTSSの試験結果によく一致している。

従来、 G は、測定装置の能力の限界から、 $r < 10^{-4}$ の微小ひずみ領域は共振法によって、 $r > 10^{-4}$ では繰返し法によって求められており、それらの結果は、両者の接合部において必ずしも一致しなかった。今回、高精度の微小変位計の導入により、このことが解消され、 r が 10^{-5} から 10^{-3} までの広範囲な領域において、繰返し法のみで G が求められるようになったことは、試験値の精度の点からも望ましいことである。

また、 $h \sim \log r$ 関係は、他の研究結果と同じような傾向にあり、微小ひずみ領域の h の値は、共振法の試験結果と一致し、特に松本ら（1986）²⁰⁾の結果とは広いひずみ領域に亘って一致している。なお、松本らの使用している $\phi 30 \times H 60$ の試験機は、微小ひずみ領域の変形特性が計測可能な変位計とロードセルを用いている。

5.2.1.2 拘束圧 σ_c の影響

G と σ_c の関係を、 r をパラメータとして両対数グラフ上にプロットしたものを図－5.5に示す。図中の縦軸は、間隙比 e の影響を除くために、次項で述べる e の関数 $\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$ で除した G/α としている。また図－5.6は、同様の関係を龍岡ら（1979）⁸⁾，（1983）¹⁵⁾あるいは国生ら（1979）¹³⁾が示したものである。一般には、この図に示すように広い範囲の r に対して、 G と σ_c の関係は、両対数グラフ上で近似的に直接関係にあり、 r が大きいほど、 G は、その絶対値が低下するとともに、 σ_c に対する勾配が大きくなる。今回の試験結果も同様の傾向が確認でき、これらの事は、 G と σ_c が次式で示すような比例関係で表わせることに他ならない。

$$G \propto (\sigma_c)^{m(r)} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

指数 $m(r)$ は、図－5.5，5.6における直線の勾配であり r の関数である。 $m(r)$ の r の関係を、岩崎ら（1877）⁹⁾，国生ら（1979）¹³⁾の結果と比較したのが図－5.7である。試験結果はほぼ一致しており、 $r = 10^{-4}$ 以上で $m(r)$ は急増し、それ以下では約0.4に収束する。

次に h と σ_c の関係を、 G の場合と同様、 r をパラメータとして、図－5.8に示す。 σ_c の増加に伴

い h は、 G とは逆に減少しており、 $h \sim \sigma_c$ の近似直線の勾配は、 r が増加すると大きくなる傾向にある。

5.2.1.3 間隙比 e の影響

予備試験は、CTSS・CTX とともに各 1 ケースであり、表-5.4 に示すように繰返し载荷試験中の圧密によって間隙比 e が、CTSS では 0.740 ~ 0.728, CTX では 0.740 ~ 0.733 とわずかな変動である。従って、ここでは今回の結果と他の研究による G と e の関係とを比較する。

岩崎ら (1976)¹⁵⁾, Iwasaki et al. (1977)¹⁶⁾ や国生ら (1979)¹³⁾ による豊浦砂の研究によれば Hardin et al. (1963)¹⁷⁾ の提案した e の関数 $\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$ を用いて次式のように表わし、 G の e に対する変化を、かなり広いひずみにわたって良く説明できるとしている。

$$G = K(r) \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \sigma_c^{m(r)} \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

図-5.9 には、岩崎ら (1976)¹⁵⁾, Iwasaki et al. (1977)¹⁶⁾ や国生ら (1979)¹³⁾ の提案した式を実線で示すと同時に、今回の試験結果をプロットしてある。ただし、拘束圧 $\sigma_c = 1 \text{ kgf/cm}^2$ である。今回の結果は、提案式に比べ G が若干大きくなっている。表-5.5 に、今回の試験結果を式 (5.2) に示す関数形で表わした場合の定数 $K(r)$, $m(r)$ を示す。 $K(r)$ は、図-5.5 の $\sigma_c = 1 \text{ kgf/cm}^2$ の時の G/α の値、 $m(r)$ は同じく図-5.5 の直線の傾きから求めた。

5.2.1.4 せん断弾性係数 G と減衰定数 h の関係

Hardin and Drnevich (1972)¹⁸⁾ は、 G と h の関係について、Lazan (1968)²⁴⁾ の弾塑性体の $G \sim h$ 関係の理論を適用して次式を導いている。

$$h = h_{\max} \left(1 - \frac{G}{G_{\max}} \right) \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

ここで、 $G_{\max}$: せん断弾性係数の最大値

$h_{\max}$: 減衰定数の最大値

この関係によると、 $G \sim h$ 関係は、 e , σ_c , r の大きさによらず、一義的に決まる直線関係にあることがわかる。

豊浦砂の $h \sim G/G_{\max}$ 関係を図-5.10 に示した。ただし、 $G_{\max}$ は、初期せん断弾性 G_0 とした。図中に示す直線は、プロットしている全データから最小自乗法により求めた $G/G_0 = 1.0$, $h = 0$ を通る直線である。また R は、その時の相関係数を示す。なお、図において右下にプロットされているものほど小さいせん断ひずみ領域の値である。

試験結果は、ほぼ直線的に分布しており、相関係数は、CTSS・CTX とともに相関係数 $R = 0.95$ と良好な相関を示していることから $h \sim G/G_{\max}$ 関係は、 e , σ_c , r によらず一義的な関係にあることがわかる。また、図-5.10 には、Tatsuoka et al.¹⁹⁾ の CTSS による豊浦砂の $h \sim G/G_{\max}$ の関係も同時に示している。

CTSS の結果は、Tatsuoka et al.¹⁹⁾ の平均値とほぼ一致し、CTX よりも大きめで、今回の試

験において $h_{\max}$ は約 2 倍である。

5.2.2 動的ポアソン比 ν_d

ν_d は、CTX から動的変形特性を求めようとする場合、すなわち軸ひずみ ϵ_a から r を、あるいは弾性係数から G を算出する際に必要となる。今回の CTX では、繰返し載荷時の軸ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_a$ と体積ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_v$ を測定することにより、次式から ν_d を算出した。

$$\nu_d = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta\epsilon_v}{\Delta\epsilon_a} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

図-5.11 に、本試験から求めた ν_d と r の関係を示す。 ν_d は、 r の大きさによらず 2×10^{-5} から 5×10^{-4} のひずみ領域で 0.1 前後となっている。

同図には、他の研究者ら（土質工学会（1982）⁴¹、松本ら（1986）²⁰¹、酒井ら（1976）²¹¹、今井ら（1979）²²¹）によって得られた豊浦砂の ν_d も同時に示しているが ν_d は、試験法の違いあるいは供試体の飽和、不飽和の違いによりかなりばらついている。今回の結果は、これら他の研究結果に比べてやや小さめである。

また、同図には、微小な体積変化を計測する体積変化計を用いた、 $\phi 30 \times H 60 \text{ cm}$ の CTX の結果も示してある。この時の試験条件は、供試体寸法を除き本試験と同じである。 ν_d は本試験と同じく体積ひずみから式（5.4）を用いて算出している。体積変化量は、内部にフロートを浮かせた 2 重セルを三軸室に接続し、繰返し載荷試験時に供試体の体積変化に伴うフロートの上下移動量を非接触型変位計で測定することにより、その移動量とフロート室内セルの断面積との積から体積変化量を求めている。本実験から求めた ν_d は、ひずみの小さなところでは体積変化計の精度の限界から ν_d は得られていないものの、 2×10^{-5} から 5×10^{-4} のひずみレベルにおける ν_d は、 $\phi 30 \times H 60 \text{ cm}$ の CTX の結果に一致している。

ところで、現場における ν_d は、物理探査で測定される S 波速度 V_s 、P 波速度 V_p から次式により求められる。

$$\nu_d = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2 \{ (V_p/V_s)^2 - 1 \}} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

三保ダムの例（松本ら（1983）²³¹）では、 V_p/V_s は深度によらずほぼ 2.08 で、式（5.5）より求める ν_d は、0.35 であった。この横波、縦波は、それぞれ CTSS におけるせん断方向振動、CTX における軸方向振動に相当する。そこで、現場と同様の見地から CTSS・CTX の各々から測定された G 、 E を用いて次式により ν_d を算出した。

$$\nu_d = \frac{E}{2 \cdot G} - 1 \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

ただし、上式により ν_d を算出する場合、計算に用いる G と E は、同じひずみにおけるものでなければならない。試験から直接求まるひずみは、CTX 試験では軸ひずみ ϵ_a と CTSS 試験では r であり、ひずみを統一しようとするれば ν_d を用いなければならず、式（5.6）によって ν_d を求める以前にある

ν_d を仮定しておく必要がある。そこで計算は、仮定したポアソン比 ν'_d と式(5.6)によって求まる ν_d が一致するまで繰返し行い、 ν_d を求めた。計算のフローを図-5.12に示す。図-5.11には、上記の方法で求めた ν_d を示している(◆■▲○印)が、測定値(◇□△○印)に比べかなり小さい。これは、供試体が完全な等方、弾性体ではないこと、また実験精度の問題によるものと考えられる。

以上、豊浦砂を用いて、今回の試験装置から得られた動的変形特性と過去の試験結果とを、物性値に影響を及ぼすと考えられている要因ごとに比較してきた。その結果、 G 、 h のひずみ依存性については、過去の試験結果によく一致しており、特にひずみの小さいレベルでは、従来、共振法で求められていた結果に一致している。拘束圧依存性については、過去の試験結果と同様、 G を $\sigma_e^{m(r)}$ という比例式で表現できることが明らかとなり、 σ_e への依存度を示す $m(r)$ は、過去の結果と比較したところ、ほぼ一致している。また、 e の影響に関して同一間隙比で比較するとCTSS・CTXともに過去の提案式よりも G が若干大きめである。なお今回の $G \sim h$ 関係はCTSSでは、他の研究者による豊浦砂の結果と同様の傾向にあり、CTXでは、それより h_{max} が下回る結果となった。

以上より、今回の試験結果は、豊浦砂を用いたこれまでの研究結果と定性的に良く似た傾向を示しており、従来から用いられてきた通常サイズの三軸試験や中空ねじり単純せん断試験・共振法等から得られた動的物性値と基本的には整合性が確保されている。したがって、当試験装置の信頼性について確認できたと判断した。

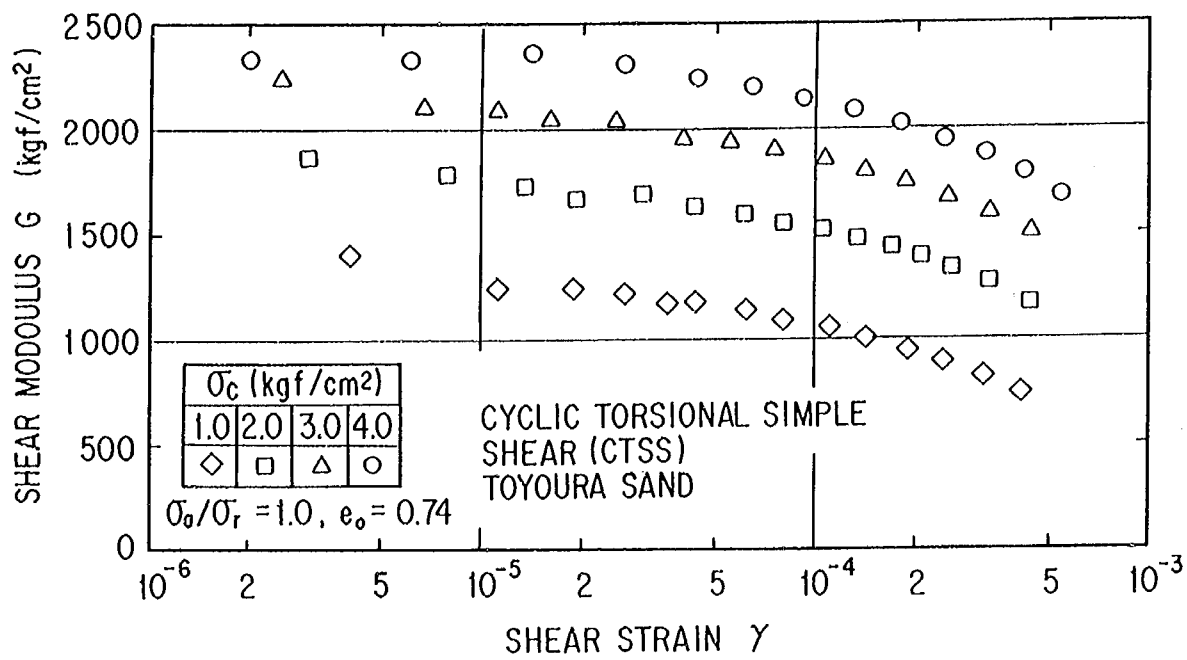


図-5.1(a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, 豊浦砂 $e_0 = 0.74$

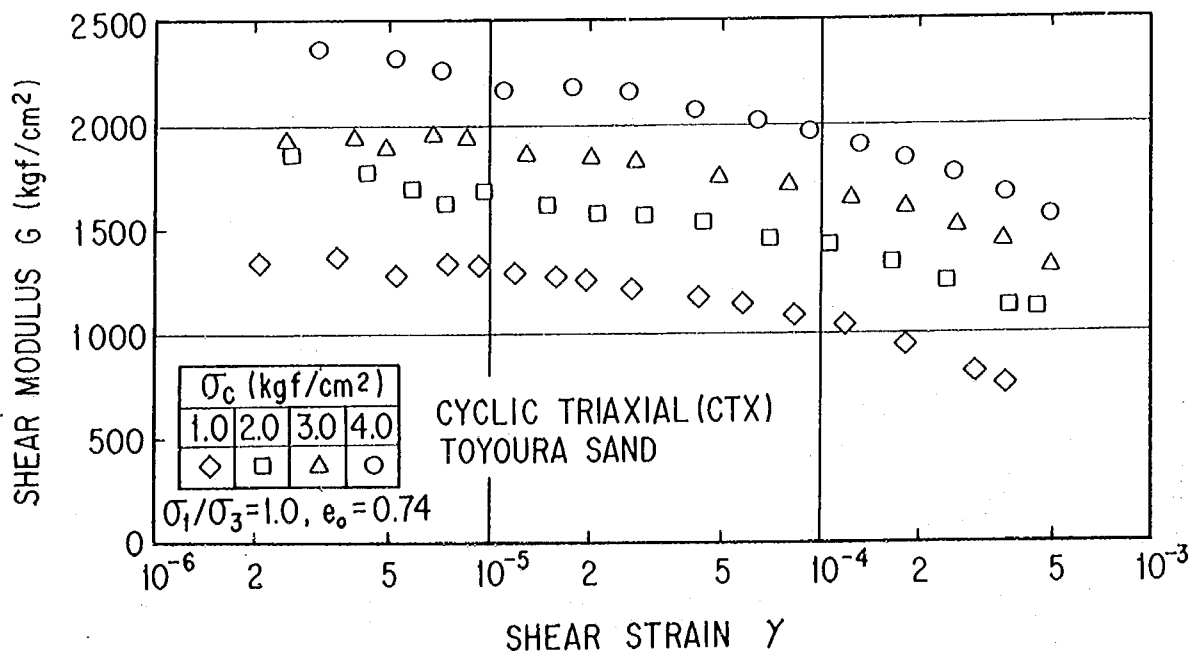


図-5.1(b) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTX, 豊浦砂 $e_0 = 0.74$

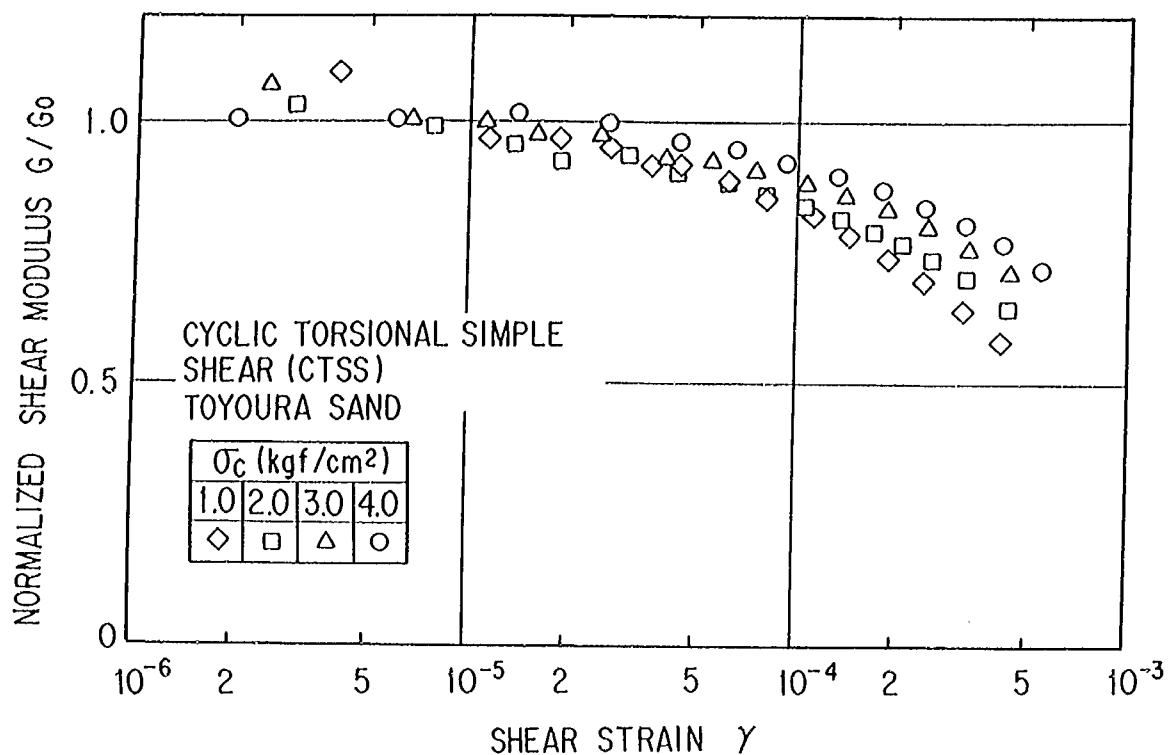


図- 5.2 (a) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, 豊浦砂 $e_0 = 0.74$

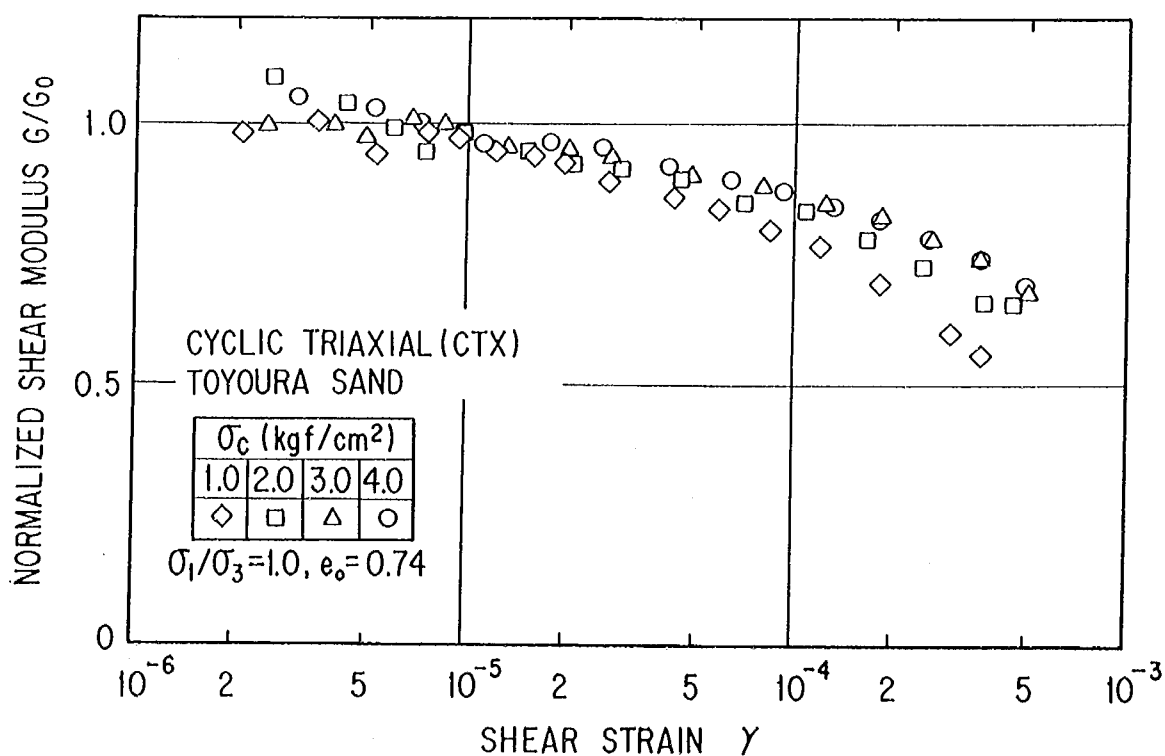


図- 5.2 (b) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTX, 豊浦砂 $e_0 = 0.74$

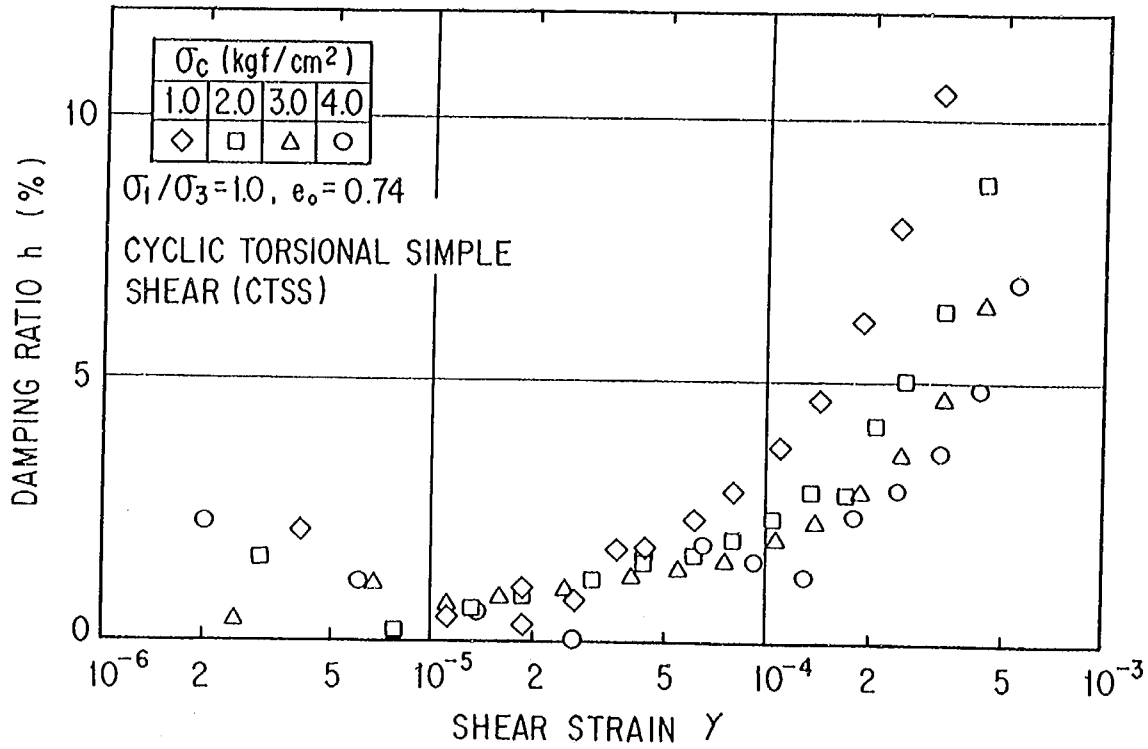


図- 5.3(a) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS, 豊浦砂 $e_0 = 0.74$

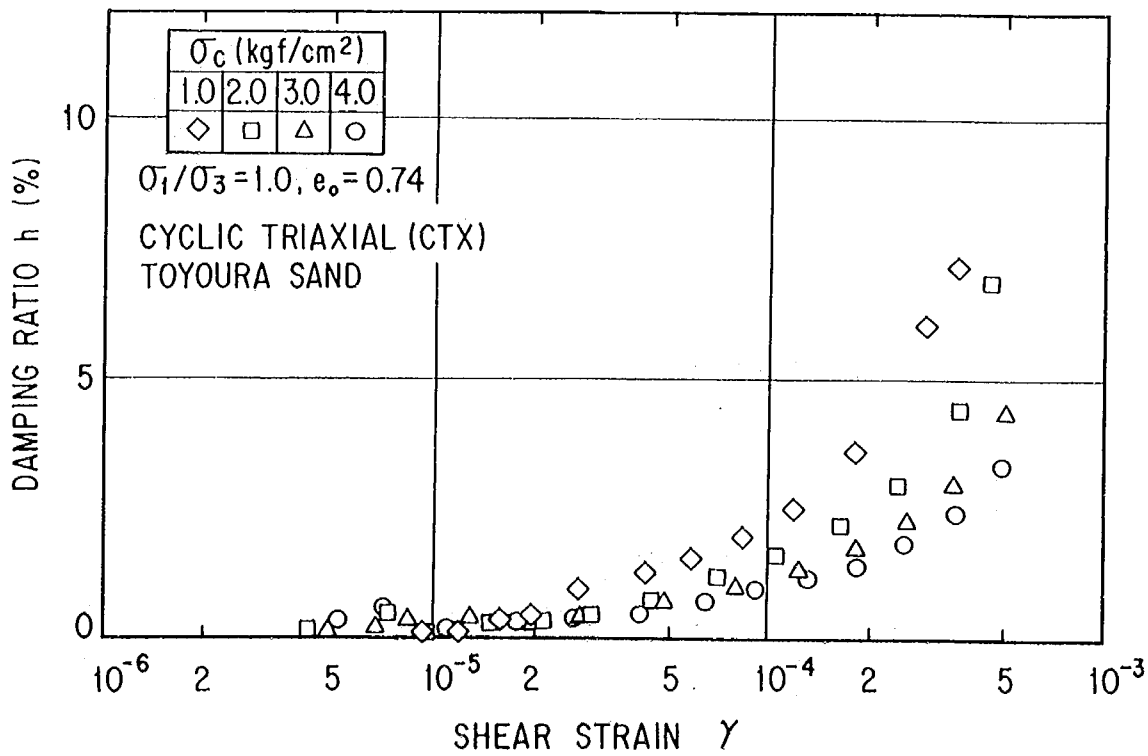


図- 5.3(b) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTX, 豊浦砂 $e_0 = 0.74$

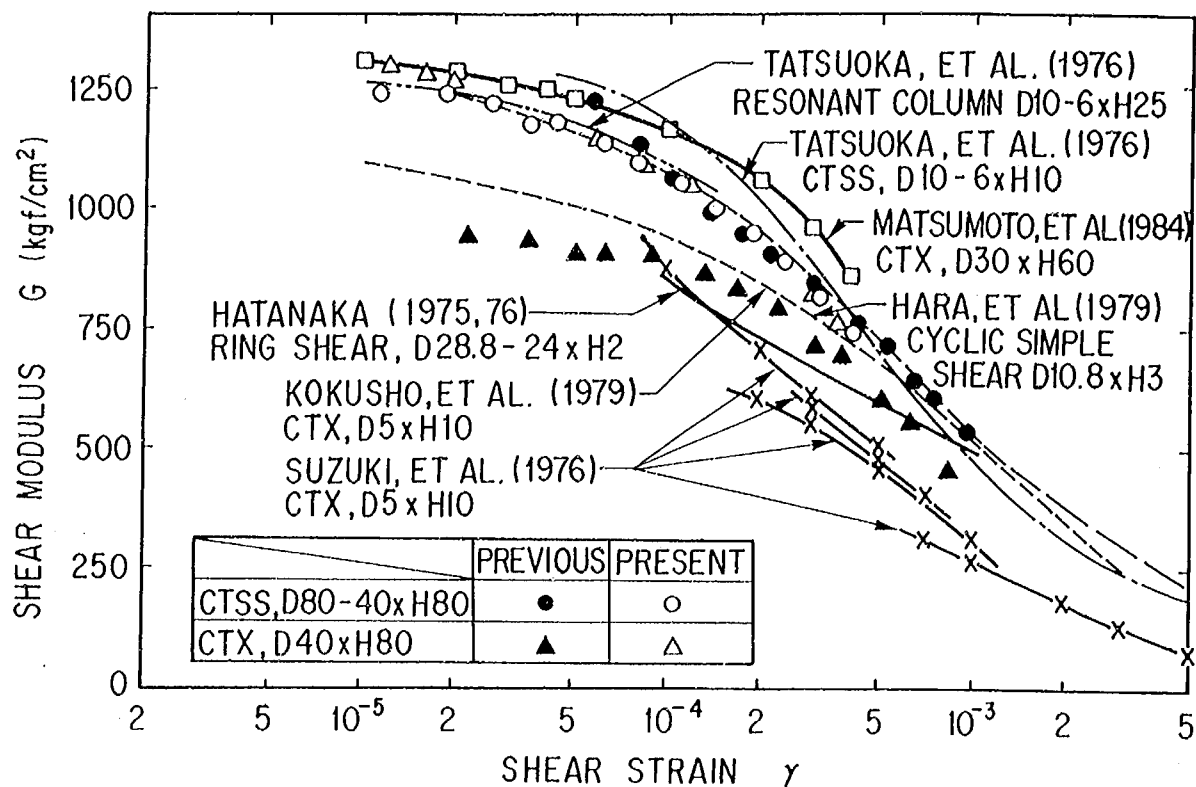


図-5.4(a) 他の研究事例との比較 (せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, 豊浦砂 $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$)

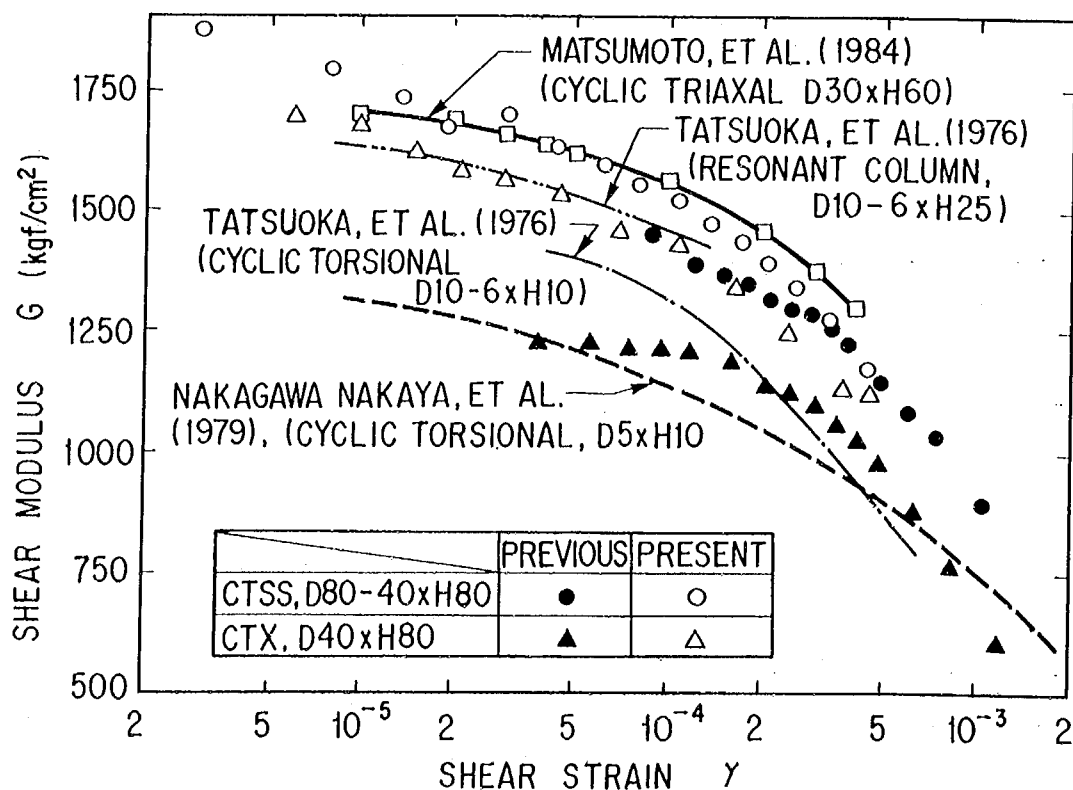


図-5.4(b) 他の研究機関の試験例との比較 ($\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$, $G \sim \log \gamma$)

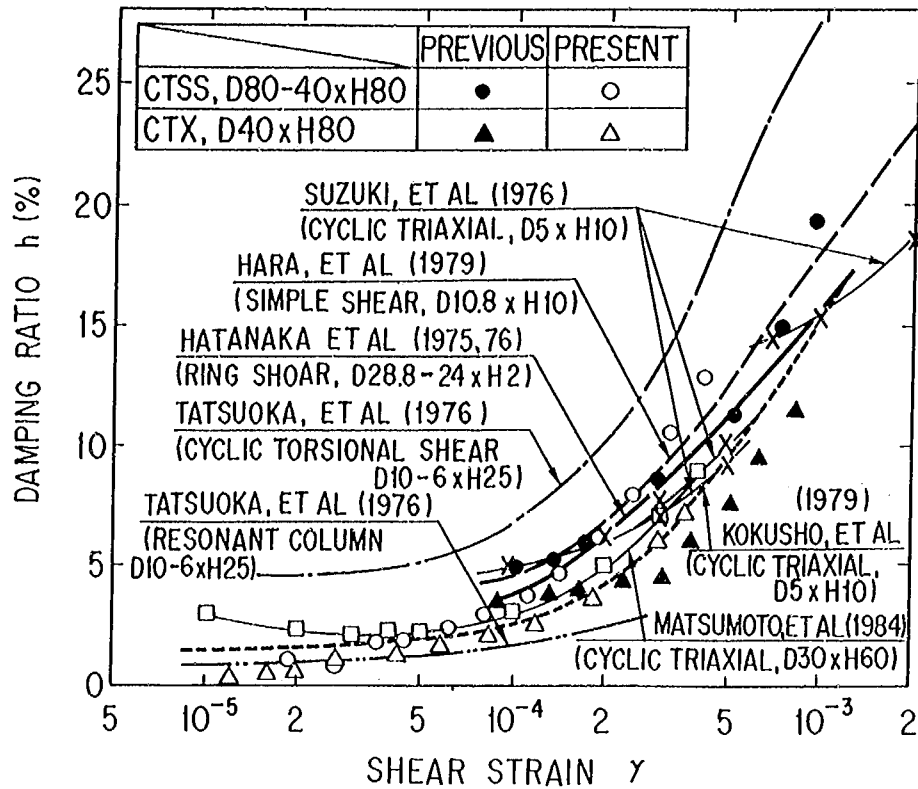


図- 5.4 (c) 他の研究事例との比較 (減衰定数とせん断ひずみの関係, 豊浦砂 $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$)

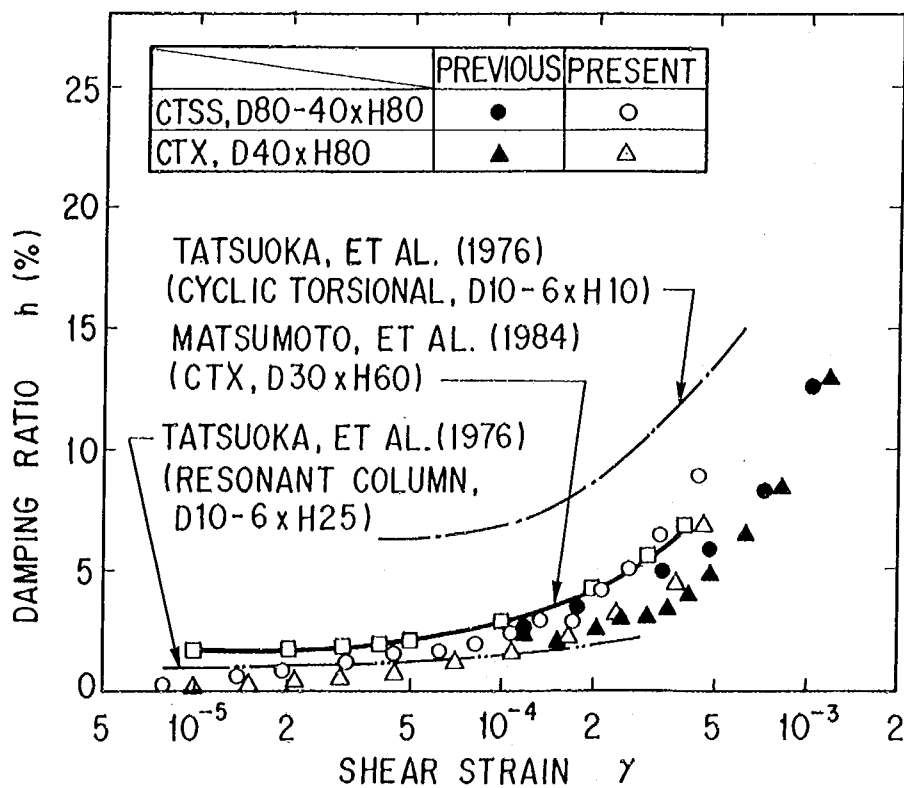


図- 5.4 (d) 他の研究機関の試験例との比較 ($\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$, $h \sim \log r$)

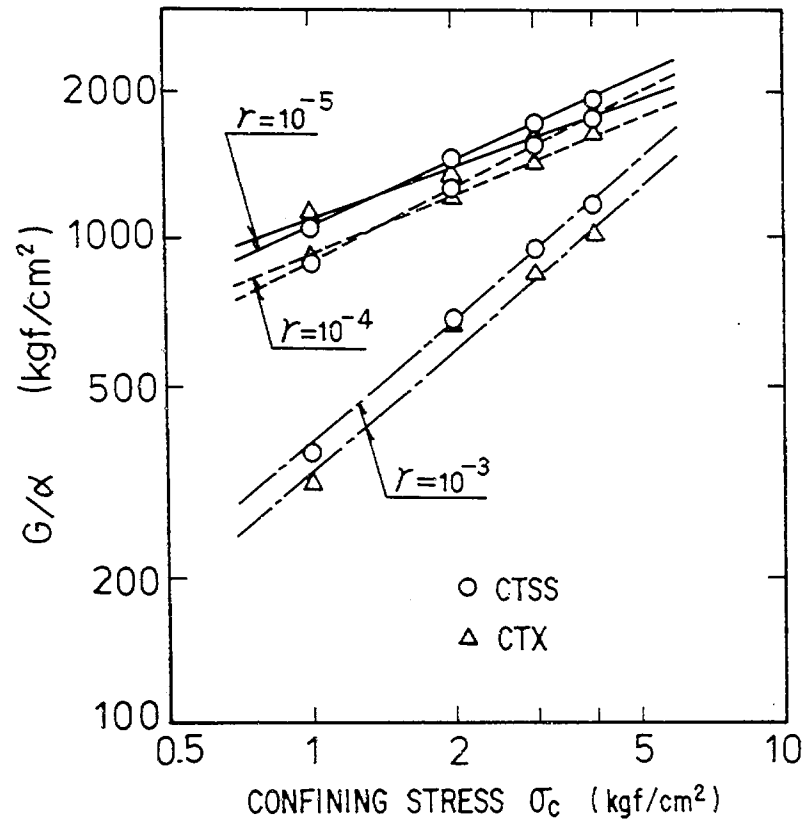


図-5.5 せん断弾性係数と拘束圧の関係,
CTSSとCTX, 豊浦砂

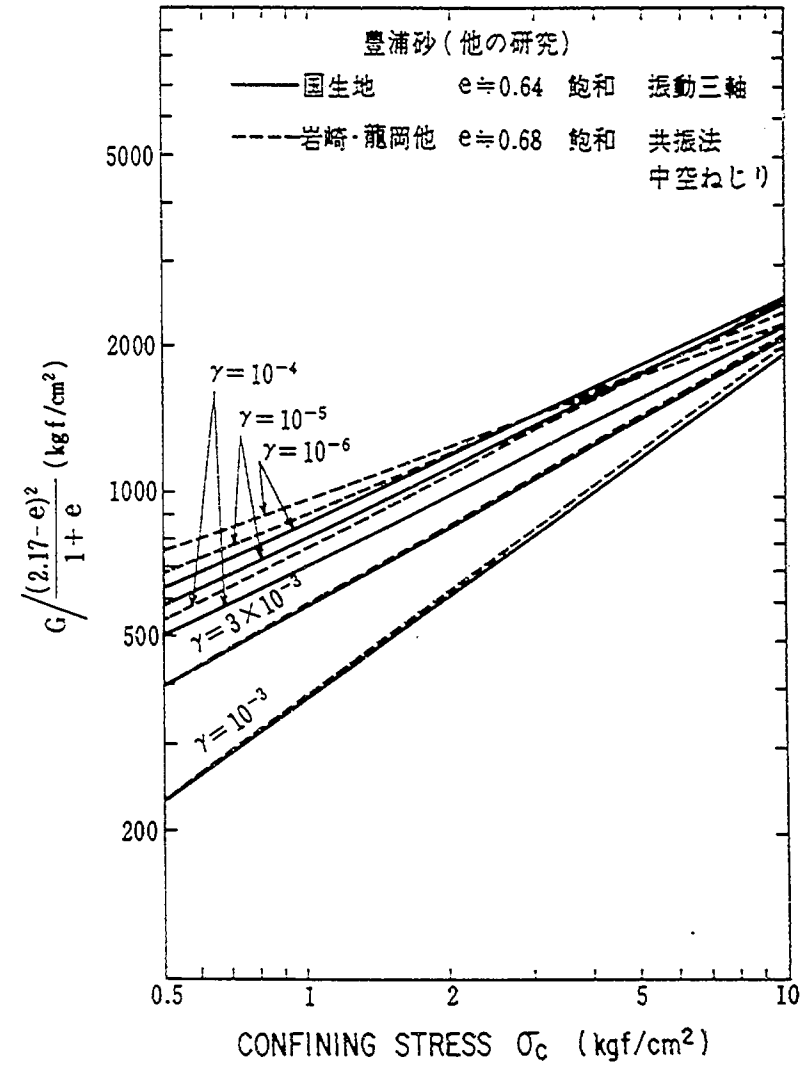


図-5.6 せん断弾性係数と拘束圧の関係, 豊浦砂

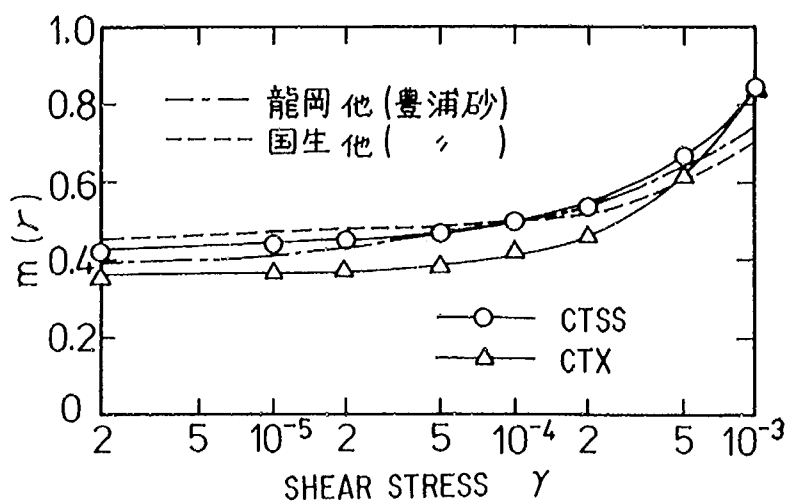


図-5.7 指数 m とせん断ひずみの関係, CTSS と CTX, 豊浦砂

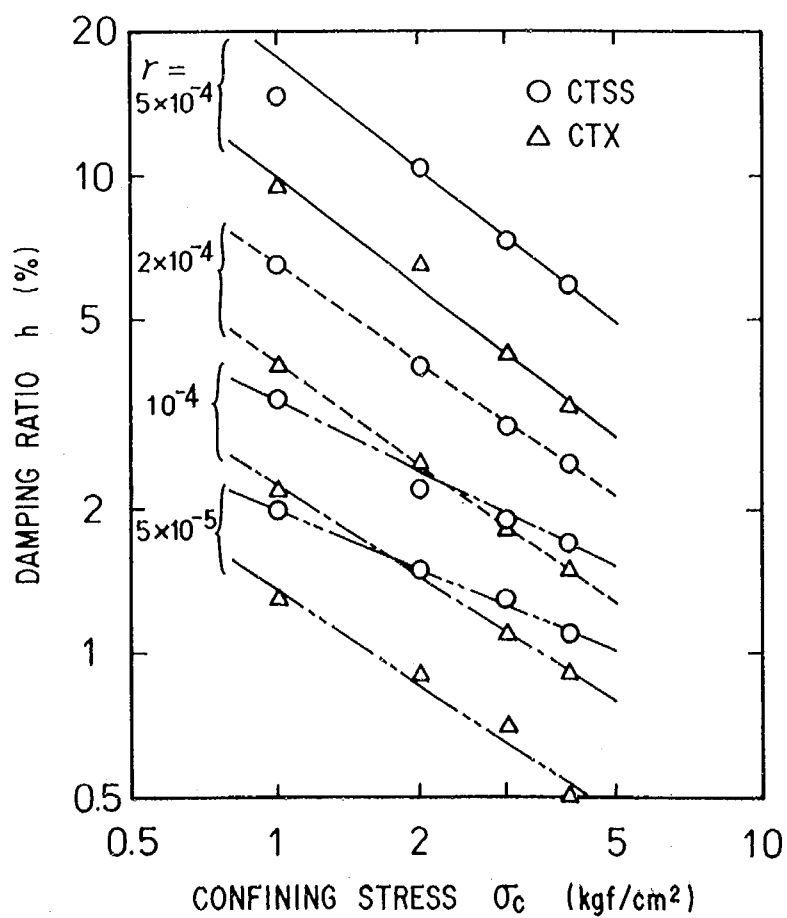


図-5.8 減衰定数と拘束圧の関係, CTSS と CTX, 豊浦砂

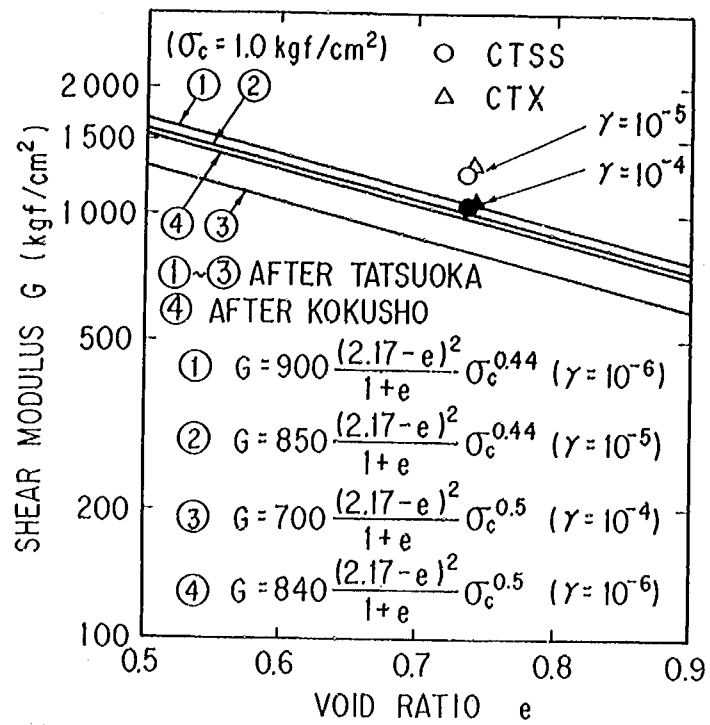


図-5.9 $\log G \sim e$

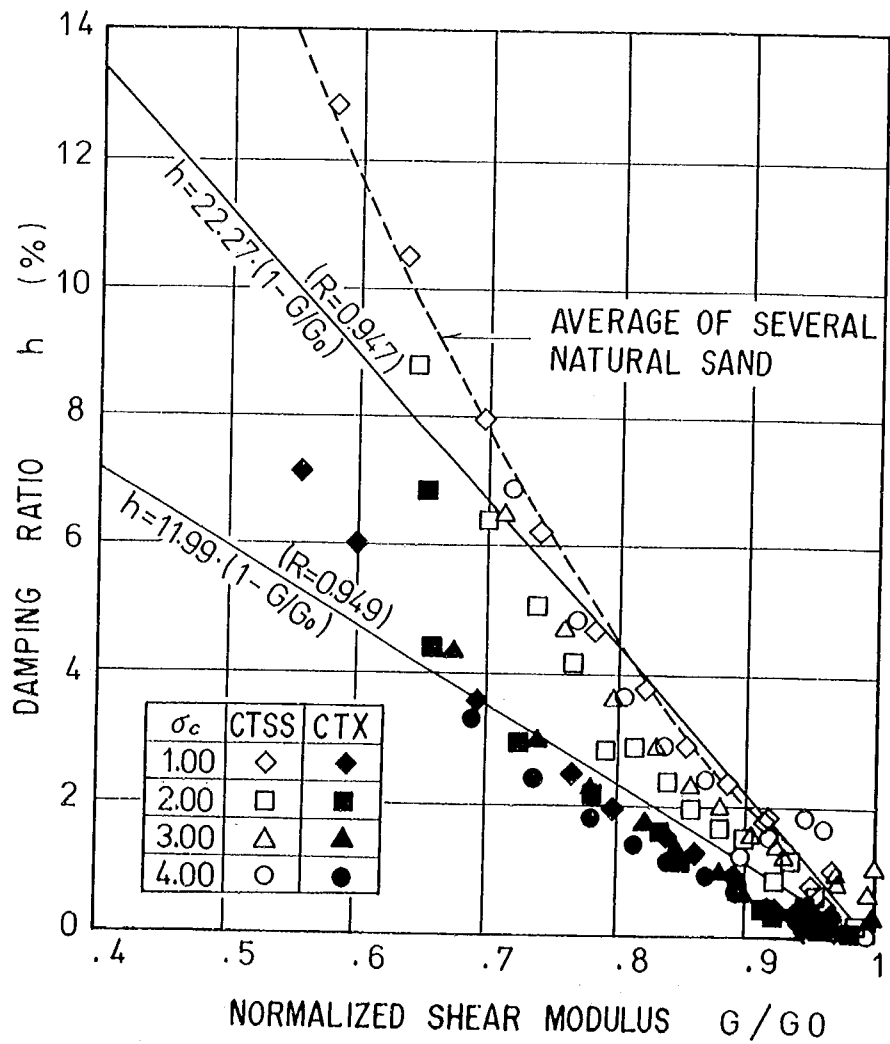
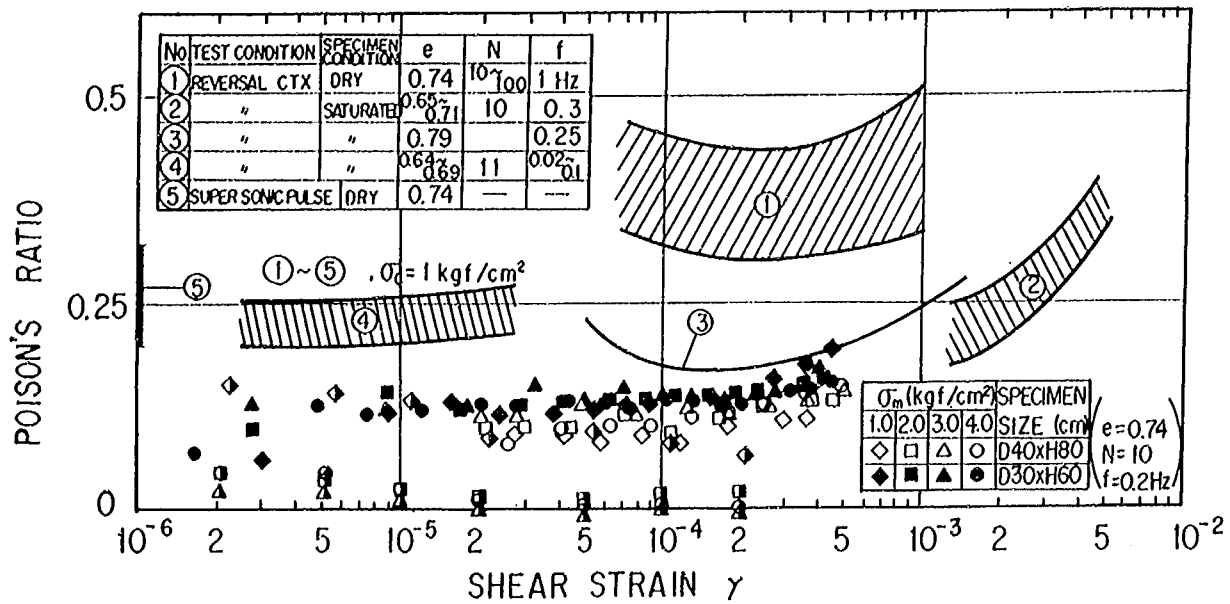


図-5.10 減衰定数と正規化したせん断弾性係数, CTSSとCTX, 豊浦砂



- ①⑤ SUZUKI, SUGIMOTO
 ② SAKAI, YASUDA
 ③ IMAI, ET AL
 ④ KOKUSHO, ET AL

図-5.11 ポアソン比とせん断ひずみの関係, CTX, 豊浦砂

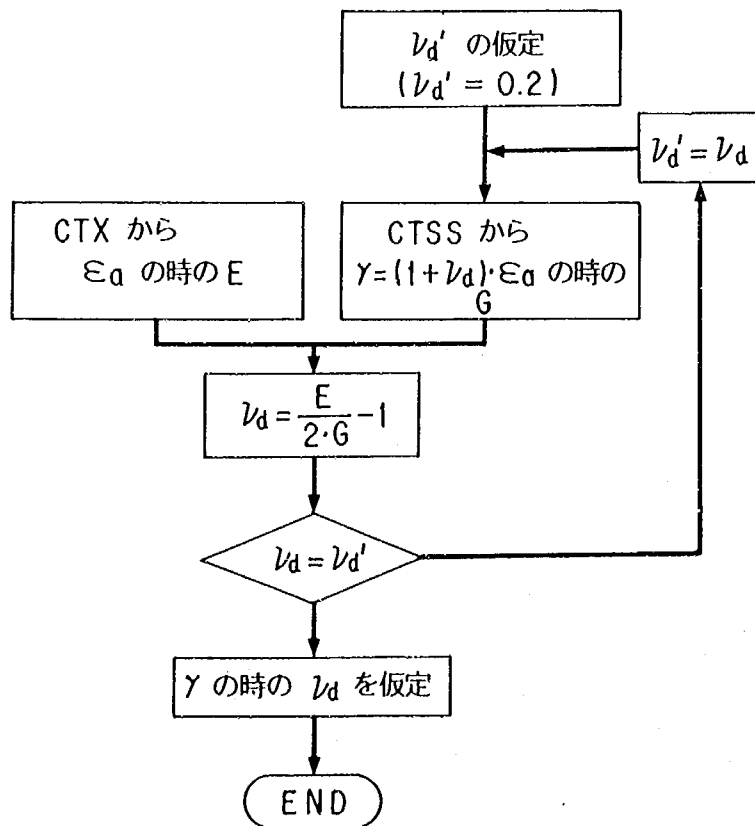


図-5.12 ν_dの算出フロー

表-5.1 豊浦標準砂の物性値

項 目	単 位	物 性 値	備 考
比 重 G_s		2.65	JIS.A.1202による
含 水 比 w	%	0.11	JIS.A.1203による
最大間隙比 e_{max}		0.981	漏斗法による
最小間隙比 e_{min}		0.632	水平打撃法による
平均粒径 D_{50}	mm	0.162	文献2)より
均等係数 U_c		1.46	文献2)より

表-5.2 予備試験の試験条件

試 験 の 種 類		繰返しねじり単純せん断試験	繰返し三軸圧縮試験
供 試 体	供試体寸法	直径80-40cm×高さ80cm	直径40cm×高さ80cm
	供試体の状態	不飽和・気乾 ($w < 1\%$)	
	初期間隙比	$e_0 = 0.74$	
圧 密	主 応 力 比	$\sigma_1 / \sigma_3 = 1$	
	試験拘束圧	$\sigma_c = 1, 2, 3, 4 \text{ kgf/cm}^2$	
	圧 密 速 度	$1 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$	
	圧密完了基準	体積変化量が0か50cc/min以下	
繰 返 し 載 荷	排 水 条 件	圧密排水試験	
	制 御 条 件	せん断応力制御	軸応力制御
	入 力 波	正 弦 波	
	周 波 数	0.2 Hz	
	波 数	12 波	
	記 録 波	10 波目	

表-5.3 他の研究機関の試験例

No.	研究機関名	試験法	試料	飽和 乾燥	供試体寸法	σ'_m	σ_1/σ_3	e_c	文 献 名
1	建設省土研 (龍岡, 岩崎ら)	共振法	豊浦砂	乾燥	D10-6, H25	1.0 2.0	1.0	0.690	建設省土研資料1080号
2	建設省土研 (龍岡, 岩崎ら)	ねじりせん断	豊浦砂	乾燥	D10-6, H10	1.0 2.0	1.0	0.709	建設省土研資料1080号
3	建設省土研 (松本ら)	繰返し三軸	豊浦砂	飽和	D30, H60	1.0 2.0 3.0 4.0	1.0	0.735	第21回土質工学会研究会
4	電 中 研 (国生, 桜井ら)	三 軸	豊浦砂	飽和	D5, H10	1.0	1.0	0.696	電中研報告379002号
5	鹿 島 建 設 (原, 清田)	単純せん断	豊浦砂	乾燥	D10.8, H3	1.0	1.0	0.715~0.733	日米天然会議 耐風耐構造専門部会 第11回合同部会
6	東 工 大 (畑中)	リングせん断	豊浦砂	乾燥	D28.8-24 H2	1.0	1.0	0.715~0.760	日米天然会議 耐風耐構造専門部会 第11回合同部会
7	竹中工務店 (鈴木, 杉本)	三 軸	豊浦砂	乾燥	D5, H10	1.0	1.0	約0.73	日米天然会議 耐風耐構造専門部会 第11回合同部会
8	大阪市立大学 (中川, 中屋ら)	ねじりせん断	豊浦砂	飽和	D5, H10	2.0	1.0	0.688	第14回土質工学研究発表会

表-5.4 繰返し試験時の間隙比の変化

試験ケース	初期乾燥密度 γ_d	初期間隙比 e_o	圧密後間隙比			
			$\sigma_c=1.0\text{kgf/cm}^2$	$\sigma_c=2.0\text{kgf/cm}^2$	$\sigma_c=3.0\text{kgf/cm}^2$	$\sigma_c=4.0\text{kgf/cm}^2$
CTSS	1.523	0.740	0.735	0.732	0.730	0.728
CTX	1.525	0.740	0.739	0.737	0.735	0.733

表-5.5 $k(r)$ と $m(r)$

せん断ひずみ r	CTSS		CTX	
	$k(r)$	$m(r)$	$k(r)$	$m(r)$
10^{-5}	1065	0.44	1093	0.36
10^{-4}	899	0.50	904	0.42
10^{-3}	369	0.85	334	0.84

6. ロック材料の繰返し載荷試験結果

6.1 繰返しねじりせん断試験 (CTSS) の結果

6.1.1 試験結果の再現性

ロック材料の繰返し試験においては、各ケースの試験を行うに先立って、試験結果の再現性を確認するため、比較的密な2本の供試体 ($e_0 = 0.42$) について、同一の条件で試験を行った。まず図-6.1(a)に示すGのひずみ依存曲線は、 $\sigma_c = 2.0, 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ での再現性に僅かのばらつきがあるだけで全体的に良好な一致を示している。一方、図-6.1(b)に示すhのひずみ依存曲線には、いずれも、ほぼ帯状の範囲内に分布しており、各拘束圧段階ごとの再現性は、 $G \sim \log r$ 曲線ほどではないが一致している。

以上のことから、試験結果に再現性のあることが確認された。

6.1.2 各種要因の影響

砂質土や粘性土の動的変形特性 (G, h) に影響を与える要因については、予備試験のところで述べたように、これまで多くの研究がなされている。これら要因のうち、 r, σ_c, e 、主応力比、粒度分布および載荷速度等に着目し、粗粒材料に対するそれらの影響度合いを調べ以降に順を追って述べる。

6.1.2.1 せん断ひずみ r の影響

図-6.2は、 e を変えた各CTSSのGと r の関係を示したものである。いずれのケースにおいても、Gは、 r の増加に伴い上に凸の曲線をなして低下している。また、 10^{-5} 以下の微小ひずみ領域においては、Gの値はほぼ一定になっており、初期せん断弾性係数 G_0 に収束していると考えられる。

図-6.3は、Gの r の増加に対する減少率をみるために、 $r = 2 \times 10^{-6}$ のときのGを G_0 とし、基準化したせん断弾性係数 G/G_0 と r の関係を示したものである。いずれのケースにおいても r が 2×10^{-5} 以上においては、 σ_c の影響が現れており、 σ_c が小さいほど r の増加に対するGの減少率が大きい傾向がみられる。

一方、 h と r の関係を示したものが図-6.4である。 h は、 r の増加に伴い、下に凸な曲線で増加しており、 5×10^{-5} 以上のひずみ領域においては、いずれのケースにおいても σ_c の影響が若干現われており、同一の r に対して、 σ_c が小さいほど h が大きくなる傾向がある。また、 10^{-5} 以下の微小ひずみ領域は弾性領域であり、 h は一定値 (1%前後) に収束している。なお、微小ひずみ領域の $h = 1\%$ は、2.2 検出器の検定で明らかになっているようにシステム全体の器械的および電氣的誤差ではないかと考えられる。

6.1.2.2 間隙比 e の影響

砂質土の場合、緩詰めなものほど強度や弾性係数が小さいことは良く知られている。よって、ロック材料のGも、密度の減少と共に小さくなることが予想される。図-6.5は、Gと圧密後間隙比

e_c の関係は、 r をパラメータとして示したものである。また、表-6.1 には繰返し載荷試験中の供試体の e_c の変化をまとめて示す。図-6.5 より、 G は、 e_c の増大と共に直線的に減少している。また、同一ひずみの直線に着目すると、 σ_c の大きいものほど G は、大きくなっている。

図-6.6 は σ_c の影響を除くために、 G を次項で述べる σ_c の関数 $\sigma_c^{m(r)}$ で除した $G/\sigma_c^{m(r)}$ と e_c の関係を示したものである。同図には、当材料を用いた既往の研究（松本ら（1984）¹⁾、（1984）²⁾）において提案されている間隙比の関数 $\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$ の曲線 $K(r) \cdot \alpha$ ($K(r)$ は次項参照) も示している。これより、データは、 r ごとに図中に示した近似曲線付近に分布しており、 G に対する e_c の影響は、この関数 α で良く説明できるといえよう。

一方、 h と e_c の関係を、 r をパラメータとして表したのを図-6.7 に示す。 e_c の増加に伴い h は増加しており、同一 r のデータに着目すると、 σ_c が小さいものほど h は大きくなっている。この σ_c の影響を除き、 e_c だけの影響をみるために、 G の場合と同様、 h を次項で述べる σ_c の関数 $\sigma_c^{n(r)}$ で除した $h/\sigma_c^{n(r)}$ と e_c の関係を図-6.8 に示す。既往の研究では、ロック材料 h に対する e_c の影響は、 h 自身の測定値のばらつきもあり、明確ではなかった。今回の結果では、 e_c の増大に伴う h の増大は明らかであり、その増加の程度は r が大きいほど顕著である。これは、 e_c が大きいほど同じ繰返し荷重に対して変形し易くなるため、その分エネルギーロスが大きくなることに起因しているものと考えられる。この傾向は、同図中に示したように関数 $\beta = (0.4 + 1.5 \cdot e_c)$ で良く説明できる。

6.1.2.3 拘束圧 σ_c の影響

砂質土の G は、豊浦砂を用いた予備試験の章で述べたように、 $r \cdot \sigma_c \cdot e$ の関係として、一般に次式のように表される。

$$G = K(r) \cdot \alpha \cdot \sigma_c^{m(r)} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

ただし、

$$\left(\alpha = \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \right)$$

ここで、 $K(r)$ 、 $m(r)$ は、 r の大きさによって変化する係数である。

そこで、ロック材料についても上式の関係が成立するものと仮定し、 σ_c の G に対する影響を検討した。式 (6.1) を変形すると、

$$\log (G/\alpha) = \log K(r) + m(r) \cdot \log \sigma_c \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

と表せることから、式 (6.2) が成立するならば、 e の影響を除いた G/α と σ_c は、両対数グラフ上で、 $K(r)$ を切片とし傾き $m(r)$ の直線関係になると考えられる。今回の試験結果を、 r をパラメータとして G/α と σ_c の関係を両対数グラフ上にプロットしたものを図-6.9 に示す。ある r におけるプロット値に着目すると、 G/α の値は、 e が異なるにもかかわらず、 σ_c の増加に伴い同一の直線上に分布している。図中に示した直線は、同一 r のデータから最小自乗法により求めた直線である。相関係数は、いずれの r レベルにおいても 0.9 以上であり、かなり良好な相関を示して

いることから、粗粒材料についても式(6.1)の関係が成立する。

図-6.10は、Gの拘束圧依存度合いを示す $m(r)$ と r の関係である。 $m(r)$ は、 r が小さくなるにつれ減少しており、 $r = 2 \times 10^{-6}$ で0.6付近に収束する傾向がみられる。以上のことからGに対する σ_c の影響は、 r が大きいほど大きく、 r が微小になると r の大きさには無関係に一定になるといえる。同図には、国生ら(1979)¹³⁾、岩崎ら(1976)¹⁵⁾による豊浦砂の $m(r)$ も示してあるが、広いせん断ひずみ領域に亘って、ロック材料の m は、豊浦砂よりも大きめの値になっている。このことから、ロック材料のGは豊浦砂よりも拘束圧依存性が高いと判断される。

一方、砂質土の h は、次式で表される。

$$h = L(r) \cdot \sigma_c^{n(r)} \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

ここで、 $L(r)$ 、 $n(r)$ は、 r の大きさによって変化する係数である。前述のGの場合の関係式と異なるところは、 h が e の関数となっていない点である。

図-6.11に、Gの場合と同様、 r をパラメータとして、 h と σ_c の関係を両対数グラフ上にプロットしたものを示す。 h は σ_c の増加と共に直線的に減少し、 r が小さいほど減少の程度は大きい。また、同一 r に対しては、 e が大きいほど h も大きくなっており、図-5.8に示した豊浦砂の場合よりも e の影響が大きく現れている。前項6.1.2.2で述べたように、 e の影響は、 β で良く説明できる。そこで、Gと同様、 e の影響を除いた h/β と σ_c の関係を r をパラメータとして、両対数グラフ上にプロットしたものを図-6.12に示す。ある r に着目すると、各ケースの h/β の値は、 e が異なるにもかかわらず、同一直線上に分布している。

図中に示した直線は、Gと同様、最小自乗法により求めた直線であり、相関係数 R は、いずれの r においても0.9以上であり、良好な相関関係が認められる。

したがって、粗粒材料の h は、式(6.3)に e の関数 β を加えた次式で表せると考えられる。

$$h = L(r) \cdot \beta \cdot \sigma_c^{n(r)} \quad (\beta = 0.4 + 1.5 \cdot e) \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

図-6.13には、 h の拘束圧依存度合いの指標となる $n(r)$ と r の関係を示す。 $n(r)$ は、 r の増大と共に増加しており(絶対値は小さくなっている) r が小さくなれば $n(r)$ は、約-0.3に収束しているようである。つまり、 h は約 $r = 5 \times 10^{-5}$ 以下では r の大きさに関係なく拘束圧依存性を示し、逆に r が大きくなると $n(r)$ が0に近づくためしだいに σ_c の影響を受けなくなる。

6.1.2.4 主応力比の影響

原位置の地盤中の土の要素は、図-6.14に示すように鉛直方向の有効応力 σ'_v と水平方向の有効応力 σ'_h で拘束されている。通常、静止土圧係数 $K_0 = \sigma'_h / \sigma'_v$ は、正規圧密応力状態で K_0 は約0.5程度である。そこで、より原位置に近い応力状態を再現し、そのときの動的物性値を求めるため、圧密主応力比 σ_1 / σ_3 を1.5($K_0 = 0.67$)、2.0($K_0 = 0.5$)として繰返し載荷試験を実施した。

図-6.15に σ_1 / σ_3 を1.0、1.5、2.0とした時の $G \sim \log r$ の関係を示す。いずれのケースも供試体の初期間隙比は、 $e_0 = 0.42$ であり、

平均主応力 $\sigma_m (= \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3}{3})$ は $\sigma_m = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の4種類とした。

図-6.16は、各せんずみレベルごとに主応力比の影響を示したものである。図の縦軸は、異方状態で得られたGを同じせんずみレベルの等方状態で得られたGで除した $R = G(\sigma_1/\sigma_3 \neq 1.0) / G(\sigma_1/\sigma_3 = 1.0)$ としている。図中には、岩崎ら(1977)²⁶⁾、龍岡ら(1978)²⁷⁾による試験から得られた豊浦砂の場合の平均値を破線で示してある。これは、内径6cm、外径10cm、高さ10cmのCTSSの結果である。豊浦砂の場合、主応力比 σ_1/σ_3 が1~3の場合のR値はいずれの r においても1.0よりやや大きいか1.0以下である。今回の試験も σ_1/σ_3 はこの範囲であり、R値は0.9~1.0であり、主応力比の影響があると言えなくもないが試験の再現性を考慮すれば、豊浦砂と同様、この範囲における主応力比の影響はないと判断される。

図-6.17に $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0, 1.5, 2.0$ とした時の $h \sim \log r$ 関係を示す。Gの場合と同様、主応力比の違いによる影響は現れておらず、試験結果は、ある範囲内にプロットされている。豊浦砂を用いたCTSSの結果(Tatsuoka et al. (1979)²⁸⁾)によると、平均主応力を 1.0 kgf/cm^2 の一定に保った状態で、主応力比を0.2~5.0まで変化させた場合 h は $r = 5 \times 10^{-5}$ から 3×10^{-3} の範囲で大きく変化せず、主応力比よりも r による影響の方がはるかに大きいことが報告されている。 h は粗粒材料においても豊浦砂と同様の傾向が得られた。

実際に現位置の地盤あるいは盛土の応力状態は等方よりもむしろ異方状態と考えられるが、それらのG、 h は $1 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 2$ の範囲では、ほぼ同じ値になることが確認された。

6.1.2.5 粒度分布の影響

粒度分布の影響、特に最大粒径 $D_{\max}$ の違いによる影響をみるため $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ の試料(A粒度)の他に、それと相似粒度になるよう調整した $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料(B粒度)についても繰返し載荷試験を実施した。但し均等係数 U_c はA・B粒度とも7である。

図-6.18は、供試体の初期間隙比 e_0 が同じで最大粒径が異なる2つの試料の $G \sim \log r$ 関係を示したものである。 $e_0 = 0.42, e_0 = 0.52$ のいずれの場合も $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料の方が $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ の試料に比べてGの値は小さくなっており、全拘束圧、全ひずみにわたって $G(D_{\max} = 25.4 \text{ mm}) / G(D_{\max} = 38.1 \text{ mm}) \approx 0.8$ である。

図-6.19は、 $G/G_0 \sim \log r$ 関係を示したものである。この図では $D_{\max}$ の違いによる影響が現れておらず、両者のデータはほぼ重なっていることから、Gの r の増加に対する減少率は、 $D_{\max}$ が異なっても同じである。

$\log G/\alpha \sim \log \sigma_c$ 関係を図-6.20に示す。試験結果は直線的にプロットされており、良好な相関を示していることから、 $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料についても $G = K(r) \cdot \alpha \cdot \sigma_c^{m(r)}$ が成立する。同図には、 $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ の試料の近似直線も破線で示してある。同一ひずみで比較すると、実線は破線に対して平行におよそ2割減少した位置にある。つまり、 $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料の $K(r)$ は、 $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ のその約8割となっているが、直線の勾配である $m(r)$ はほぼ同じである。よっ

て、 G そのものは、 $D_{\max}$ の違いにより変化するが、拘束圧の依存度合いは、 $D_{\max}$ が異なっても同じである。

次に、 $\log G/\sigma_c^{m(r)} \sim e_c$ 関係を図-6.21に示す。データ（◆◇～●○印）は、いずれのひずみにおいても実線の近似曲線付近にプロットされており、 $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料についても e の影響を関数 $\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$ で表わされる。ところで、3.3 締固め試験の項で述べたように、 $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料は、 $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ の試料に比べて締固まり易くなっている。したがって e が同じでも、相対密度で比較すると $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料の方が、実際には緩詰めとなっている。このために、 $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料の G が $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ 試料のそれに比べて小さくなったと考えられる。

同様のことが砂質土についても示されており、西垣ら(1976)²⁹⁾が用いた自然砂は、豊浦標準砂に比べて均等係数が大きく、同一間隙比に対しては相対的に緩詰めとなるため G が小さくなっている。

次に $h \sim \log r$ 関係を図-6.22に示す。 $A \cdot B$ 粒度の値は、ほぼ同一の帯状の範囲にプロットされており、 h は $D_{\max}$ の相違に影響されないといえる。なお図-6.22(a)で $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ のときの h が他の拘束圧段階に比べて大きな値となっているが、供試体内の材料同志あるいは端面と試験機との馴染みが、試験初期のために良くなかったことが考えられる。

6.1.2.6 载荷速度の影響

一般に、きれいな砂の動的物性値は、クリープを伴うような大きなひずみでなければ繰返し荷重の载荷速度の影響を受けないことが知られている。そこで、粗粒材料についてもこのことを確認するために繰返し荷重の周波数を種々変えて、応力制御で試験を行った。周波数は0.2, 0.1, 0.05, 0.01 Hzの4種類を設定した。

図-6.23 (a)は、 G と r の関係を示したものであるが、これより0.2~0.01 Hzの範囲においては、 G の値に周波数依存性がないことが確認できる。また、図-6.23(b)は、 h と r の関係を示したものであるが h は、周波数の相違に無関係に同一の帯上に分布していることから、 G と同様、周波数依存性はないものといえる。

6.1.2.7 セン断弾性係数 G と減衰定数 h の関係

式(5.3)によると、 G と h は、 $e \cdot \sigma_c \cdot r$ の値によらない一義的な関係が示唆されている。

図-6.24は、今回の試験結果について供試体の初期間隙比 e_0 別に式(5.3)の h と $G/G_{\max}$ の関係を示したものである。ただし、 $G_{\max}$ は初期せん断弾性係数 G_0 とした。図中の直線は、 $G/G_0 = 1.0$, $h = 0$ の点を通りかつプロットしている全データから最小自乗法により求めた直線である。

図において右下にプロットされているデータほど r が小さくなっている。図-6.24より、いずれの間隙比においても $h \sim G/G_0$ 関係は、 σ_c に無関係に直線的に分布しており、相関係数も0.98以上と非常に高い値を示している。また、図-6.24(a)には主応力比の異なるデータが、図-6.24(b), (d)には、最大粒径の異なるデータがプロットされているが、いずれも主応力比、最大粒径の相違に

無関係にデータは、同一直線上にプロットされている。

さらに、これら e_0 の異なる全てのデータを、プロットしたものを図-6.25 に示す。図中には、 e_0 ごとの近似直線を破線で示したが、その傾きは、緩詰めのものほど大きくなっている。砂質土の場合、 G と h の間には、式(6.5)で示される直線関係が成立し h_{max} も e によらず一義的であることから、 e_0 の異なる試験は、1本の直線にプロットされる。しかし、粗粒材料の場合、砂質土と異なり、 h が e_0 の影響を受けるために、 $h \sim G/G_0$ も e_0 による相違があらわれた。

なお間隙比によらず全データを平均した関係式としては $h = 18.0(1 - G/G_0)$ が得られた。

6.2 繰返し三軸試験 (CTX) の結果

6.2.1 試験結果の再現性

CTX も CTSS と同様、各ケースの試験の実施に先立って、試験の再現性を確認するため、比較的に密な供試体 ($e_0 = 0.42$) について、同じ供試体条件で同一の試験を行った。

図-6.26 の G と h のいずれのひずみ依存曲線も、2つの試験結果はほぼ一致しており、再現性のあることが確認できた。ただ、 $\sigma_c = 1.0, 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の試験結果は、他の拘束圧段階に比べてやや乱れている。これは、供試体作製時における密度の初期不均一性が、せん断試験の進行に伴い消散していくためと考えられる。

6.2.2 各種要因の影響

ここでは、6.1節で述べたように、粗粒材料の動的物性値に影響を与えられられる r , σ_c , e , 主応力比, 粒度分布, 載荷速度の各種要因に着目し、CTX に及ぼすこれらの影響度合いについて以下に述べる。

6.2.2.1 せん断ひずみ r の影響

図-6.27 は、間隙比をそれぞれ変えた各三軸供試体について、CTX を実施した時の G と r の関係を示したものである。いずれのケースにおいても、 G の値は、 r の増加に伴い減少している。ロードセルの精度の限界から、CTX の場合 CTSS ほども微小なひずみ領域まで結果は得られていないが、 r が 5×10^{-5} 以下では、 G は一定値に収束する傾向を示し、初期せん断弾性係数 G_0 に近づいていると考えられる。

一方、 h と r の関係を示したものが、図-6.28 である。 h は、 r の増加に伴い下に凸な曲線で増加しており、逆に r が小さくなると h は、一定値に収束している。また、 σ_c の違いによる影響は、 G ほど明確には現れていない。

6.2.2.2 間隙比 e の影響

図-6.29 は、 G と圧密後間隙比 e_c の関係を、 r をパラメータとして示したものである。また、表-6.2 には、繰返し試験中の供試体の e_c の変化をまとめて示す。図-6.29 より、 G は、 e_c の増大と共に直線的に減少している。

CTSS の 6.1 節で述べたように、 G は、 e_c の関数であると同時に σ_c の関数でもある。そこで σ_c

の影響を除いた、 G と間隙比の関係をみるために G の値を $\sigma_c^{m(r)}$ で除した $G/\sigma_c^{m(r)}$ と e_c の関係を図- 6.30 に示す。図中には、近似曲線 $K(r) \cdot \alpha$ も同時に示した。これより、いずれの r においても、試験結果は、CTSS (図- 6.6) と同様、近似曲線付近にプロットされていることから、CTX から、粗粒材料の G に対する e_c の影響は、この関数 α で良く説明できると言えよう。

一方、 h と e_c の関係を示したのが図- 6.31 である。豊浦砂、浅間山砂、オタワ砂などの砂質土では、 h は、間隙比の影響を受けないとされている。しかし、粗粒材料については、 e_c の増加に伴い h も増加しているケースがある。同一ひずみに着目すると σ_c が小さいものほど h は大きくなっている。

この σ_c の影響を除き、 e だけの影響をみるために G の場合と同様、 h を $\sigma_c^{n(r)}$ で除した $h/\sigma_c^{n(r)}$ と e_c の関係を図- 6.32 に示す。同図には、CTSS の 6.1 節で提案した h に対する e の関数 β の直線を示している。直線近似は、CTSS ほど良好な一致を示していないものの、 h は e_c の増加に伴い増加傾向を表わしている。

6.2.2.3 拘束圧 σ_c の影響

CTSS と同様、 G と拘束圧 σ_c の間に、

$$\log (G/\alpha) = \log K(r) + m(r) \cdot \log \sigma_c \quad \cdots \cdots \cdots (6.5)$$

の関係が成立するものとし、両対数グラフ上に r をパラメータとして G/α と σ_c の関係をプロットしたものを図- 6.33 に示す。これより、あるひずみにおける G/α の値は、 σ_c の増加に伴い直線的に増加しており、最小自乗法によって求めた近似直線付近にプロットされている。相関係数も 0.9 以上であり、良好な相関を示していることから、CTX においても式 (6.5) の関係が成立することが確認できた。

図- 6.34 に、 $m(r)$ と r の関係を示す。 $m(r)$ は、 r の増大と共に増加しており、 r が小さくなると約 0.5 に収束している。

一方、 h と σ_c の関係も G と同様に、式 (6.4) を変形し次式で得られる。

$$\log (h/\beta) = \log (r) + n(r) \cdot \log \sigma_c \quad \cdots \cdots \cdots (6.6)$$

式 (6.6) に基づき、両対数グラフ上に両者の関係を図- 6.35 に示す。これより、 h は、 G ほど強い拘束圧依存性はないものの、 σ_c の増加と共に直線的に減少している。これは、 σ_c が増えることによって、供試体変形の自由度が拘束され、繰返し荷重に対してエネルギーロスが低くなり h が減少することが推察される。また、 r が小さいほど、その減少度合いは大きく現れている。

図- 6.35 の直線の傾き $n(r)$ と r の関係を図- 6.36 に示す。 $n(r)$ の値は、 r の増大と共に増加し、(絶対値としては小さくなっている)、 r が小さくなると約 -0.2 に収束している。よって、 h は、 r がある程度小さくなれば (約 $r = 5 \times 10^{-5}$ 以下)、 r の大きさに無関係な一定の拘束圧依存性を示し、逆に r が大きくなると、しだいに σ_c の影響を受けなくなるといえる。

6.2.2.4 主応力比の影響

CTXにおいてもCTSSと同様に、主応力比の影響を検討するため圧密主応力比 $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0, 1.5, 2.0$ の3ケースについて繰返し載荷試験を実施した。

図-6.37に、 $G \sim \log r$ 関係を示す。いずれのケースも供試体の初期間隙比は、 $e_0 = 0.42$ であり、拘束圧は平均主応力 ($\sigma_m = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$) が各ケース同じになるように、ケースごとに σ_1, σ_3 を設定した。いずれの拘束圧においても広いひずみ領域にわたって異方圧密した時の G は、等方圧密に比べて大きくなっている。しかし、 $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5$ と $\sigma_1/\sigma_3 = 2.0$ では G の差は小さい。また、図-6.38に $G/G_0 \sim \log r$ 関係を示す。3ケースの間に G の低減率に大差はないが、異方圧密の場合は等方圧密の場合に比べて G の r の増加に対する減少率はやや小さい。 σ_1/σ_3 が1~3の範囲で平均主応力が一定であれば、いずれのせん断ひずみレベルにおいても G は高々1割程度の増加であり主応力比の影響はなく、また $G/G_0 \sim \log r$ 関係も主応力比の値に依らないとされている(龍岡ら(1978)²⁷⁾)。一方、粗粒材料のCTXは、砂とは異なり主応力比の影響が現れている。

図-6.39は、 G に対する主応力比の影響をせん断ひずみレベルごとに示したものである。図の縦軸は、等方圧密と異方圧密の各々の状態で得られた G の比 $R = G(\sigma_1/\sigma_3 \neq 1.0)/G(\sigma_1/\sigma_3 = 1.0)$ である。いずれのひずみレベルにおいても主応力比の影響が現れており $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5, 2.0$ の R 値は1.0以上となっている。拘束圧ごとに R 値をみてゆくと、 $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の R 値は、いずれの r においても $\sigma_1/\sigma_3 = 2.0$ の時よりも $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5$ の方が大きくなっている。 $\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合は、 $r = 2 \times 10^{-4}$ 以下で $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合と同じ傾向にあり、それより大きなひずみでは、 $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5, 2.0$ の順で R 値は大きくなっている。 $\sigma_c = 3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ では、いずれの r においても $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5, 2.0$ の順で R 値が大きくなっている。また、 $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5$ の時の R 値のみに着目すれば、 R 値は σ_c に依存しており、 σ_c が大きくなるにつれ R 値は小さくなっている。さらに、全ひずみを通して R 値の変動をみると、ひずみが大きくなるにつれ R 値は大きくなっている。したがって、 G に対する主応力比の影響は、 σ_c が小さいほど、また r が大きいほど大きいといえよう。

G/α と σ_c の関係を図-6.40に示す。いずれの r においても異方圧密の G/α は等方圧密の場合に比べて大きい。直線の傾き $m(r)$ は、等方圧密の方が大きいため、両者の G/α の差は σ_c が大きくなるにつれ小さくなっている。 $\sigma_c = 3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ では $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5, 2.0$ の順で G/α は、大きくなっている。また、 r が大きくなると、いずれの主応力比においても G/α そのものは小さくなり、直線の傾き $m(r)$ は大きくなっている。図-6.41に $m(r) \sim \log r$ 関係を示す。等方圧密のときの $m(r)$ は異方の場合に比べて大きく、 r が小さくなると $m(r)$ は一定値に収束する傾向を示している。

以上、 G に対する主応力比の影響は、 σ_c が小さいほど、また r が大きくなるほど大きくなるようである。CTSSでみられなかった傾向がCTXにおいて現れたのは、CTXでは、繰返し応力の載荷方向が異方圧密した際の第1主応力(軸方向)に一致しているために、繰返し載荷により供試体が締固まり易く、このような傾向が現れたものと考えられる。いま、図-6.42に試験中の空隙比の変

化を示す。図中の折れ線グラフは初期間隙比から試験中の間隙比を差し引いた間隙比の変化量 $d e$ を示しており、棒グラフは、圧密あるいは、繰返し載荷試験により減少したその時々の間隙比の単位変化量 $d d e$ を示している。主応力比の影響が定性的に現れていた $\sigma_c = 3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の間隙比の単位変化量 $d d e$ に着目すると $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0, 1.5, 2.0$ の順に大きくなっており、主応力比が大きいほど良く締固まる傾向がうかがえる。

次に、図-6.43 に $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5, 2.0$ とした時の $h \sim \log r$ 関係を示す。試験結果は、1つの帯状の範囲に重なっており、 h に対する主応力比の影響はない。また、図-6.44 に $\nu_d \sim \log r$ 関係を示す。これも試験結果は、1つの帯状に分布しており、 h と同様、 ν_d に対する主応力比の影響はない。

6.2.2.5 粒度分布の影響

CTX においても、粒度分布の影響をみるため、 $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ の試料 (A 粒度) と相似粒度になるよう調整した $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料 (B 粒度) (ともに均等係数 $U_c = 7$) を用いて繰返し載荷試験を実施した。供試体の初期間隙比は CTSS と同じ $e_0 = 0.42$ と $e_0 = 0.52$ の 2 ケースを設定した。なお、この試験も、主応力比の影響を確かめたケース E, F と同様、ケース A ~ D の後に実施した追加実験であり、ロードセルの精度は向上しており動変形特性は微小ひずみ領域まで精度良く測定されている。

図-6.45 に、 $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ と $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料のそれぞれの $G \sim \log r$ 関係を示す。いずれの e においても粒径の違いによる影響は現れておらず、両者の試験結果は σ_c ごとに重なっている。

図-6.46 に同じく $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ と $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料の $G/G_0 \sim \log r$ 関係について比較した結果を示す。密詰め ($e_0 = 0.42$) の試料の場合、両者の結果は重なっており、 $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$ と $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$ の試料の r の増加に対する G の減少度合いは同じであるといえよう。

このように CTX においては、CTSS でみられたような G に対する粒径の違いによる影響は現れなかった。

次に、 $h \sim \log r$ 関係を図-6.47 に示す。 h に関しては、CTSS と同じく粒度の違いによる影響は現れておらず、両者の試験結果は重なり帯状になっている。

図-6.48 には、 $\nu_d \sim \log r$ 関係を示す。両者の試験結果は重なっており、 h と同様、粒径の違いによる影響は現れていない。

6.2.2.6 載荷周波数の影響

CTX においても CTSS と同様、粗粒材料における繰返し荷重の周波数の影響を調べるために、同一ひずみにおいて軸荷重の載荷周波数を $0.2, 0.1, 0.05, 0.01 \text{ Hz}$ と変化させ、ひずみ制御で繰返し載荷試験を行った。図-6.49(a)に、 G と r の関係を示す。4 種類の試験結果は、各拘束圧ごとにはほぼ一致していることから、 G は周波数が $0.2 \sim 0.01 \text{ Hz}$ の範囲において、載荷周波数の影響を受けないことが確認できた。

また、図-6.49(b)は、 h と r の関係を示したものである。 h は、周波数の違いに無関係にある範囲内に分布していることから、 G と同じく、載荷周波数に依存しないことが確認できた。

以上の結果から、動的変形特性が本実験のように小さなひずみであれば、繰返し荷重の周波数の影響を受けないという砂質土の一般的性質が、0.2～0.05 Hzの繰返し周波数、粗粒材料についても当てはまる。

6.2.2.7 せん断弾性係数 G と減衰定数 h の関係

CTSSの場合と同様、Hardin and Drnevich (1972)¹⁸⁾ の提案した G と h の関係式(式(6.5))に基づいて、両者の関係を整理するものとする。

図-6.50に供試体の初期間隙比 e_0 別に $h \sim G/G_0$ 関係を示す。図-6.50(a)には主応力比の異なる結果(ケースE, F)を、図-6.50(b), (d)にはそれぞれ最大粒径の異なる結果(ケースGならびにケースH)を合わせて示してある。いずれの試験ケースも $h \sim G/G_0$ 関係は、 σ_c の大きさに無関係にデータは直線的に分布している。よって、CTXの結果においても粗粒材料の G と h の間に、式(6.5)で示される直線関係が成立することが確認できる。また、図-6.50(b), (d)では、粒径の違いによる影響は $h \sim G/G_0$ 関係に現れていない。しかし、図-6.50(a)では、主応力比の影響が現れており、異方圧密の結果は、等方圧密の結果の上側にプロットされている。これは、「6.2.2.4 主応力比の影響」で述べたように、 h に関しては主応力比の影響が見受けられなかったのに対して、 G に関しては図-6.38に示した $G/G_0 \sim \log r$ 関係から理解されるように、異方圧密の方が、 r の増加に対する G/G_0 の減少が小さかったことによるものである。 $h \sim G/G_0$ の関係において両者を比較すると、同一の h (h に関しては主応力比の影響がなかったので同一の r ともいえる)に対しては、異方圧密した場合の方が G/G_0 が大きく、データは等方圧密のそれよりも右側にシフトし、結果として等方圧密の上側に異方圧密のデータがプロットされる。

図-6.50からすると緩詰め供試体ほど $h \sim G/G_0$ の傾きは大きくなっており、間隙比によらず全データを平均した関係式としては $h = 15.0 \cdot (1 - G/G_0)$ が得られた。

6.3 CTSSおよびCTX結果の比較

今回の粗粒材料を用いた繰返し載荷試験は、供試体条件および試験条件を統一して、CTSSおよびCTXを各々行っている。ここでは、両者の試験結果を比較し、試験方法の相違による動的変形特性の違いについて述べる。比較の対象は、本実験の基本となっているケースA, B, Cとした。

6.3.1 せん断弾性係数 G

図-6.51にCTSSとCTXの各々から得られた G と r の関係を3種類の e_0 について示す。試験ケースAの $\sigma_c = 1.0, 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ では両者の G はほぼ一致しているが、 $3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ ではCTSS結果の方が大きい。試験ケースBでは、両者はほぼ一致している。さらに試験ケースCでは、 $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ においては一致しているが $\sigma_c = 2.0, 3.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ ではCTSSの方が大きく、 σ_c が大きくなるに従って、両者の差は大きくなっている。全ケースを通してみると、CTSSの方がCTXの場合に比べて G は大きく、その差は、 σ_c が大きくなるほど大きい。また、同一拘束圧の結果についてみると r が大きくなるに従い、その差は小さくなっている。

CTSSとCTXのGの差については、上述のような傾向にあるが、図-6.52には、両者のGの比率を示す。図の縦軸は、CTXから求めたGのCTSSから求めたGに対する比率である。また、図中には、各 σ_c ごとに試験ケースA～Cの平均値を実線で示した。各 σ_c ごとの平均線は $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ を除き $\sigma_c = 2.0 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、試験結果の再現性を考慮すれば σ_c の大きさに無関係に0.9前後に分布している。ただし、CTXによるGは、ポアソン比を介して求められるために、CTXとCTSSのGを厳密に比較しようとする場合、ポアソン比の検討が必要である。

図-6.53は、 $G/G_0 \sim \log r$ 関係について両試験結果を比較したものである。図-6.53(a)はロードセルの精度向上後に実施したCTXのケースAとCTSSのケースAを比較した結果を示しているが、両試験結果は、よく一致している。図-6.53(b), (c)も $r > 10^{-5}$ について両試験結果は一致しており G/G_0 は、両者の間で差異はないといえる。

Gに対する σ_c の影響をみるために、図-6.54に r をパラメータとした $\log(G/\alpha) \sim \log \sigma_c$ 関係を示す。 $r < 10^{-4}$ では、CTXはCTSSに比べて図中の近似直線の傾きが小さいことから、CTSSの方が σ_c の依存性が高い。また、 r が大きくなると、両者の直線の傾きはほぼ平行になり、Gの差は小さくなっている。

図-6.55には、この傾き $m(r)$ と r の関係を示す。 r が小さくなると、CTSSでは約0.6にCTXでは約0.5にそれぞれ収束している。逆に r が大きくなると両者の傾きは近づいている。したがって、ひずみの小さいところでは、CTSSから得られるGの拘束圧依存性は、CTXの場合に比べて大きくなるといえる。

図-6.56には、 σ_c の影響を除くため、Gを $\sigma_c^{m(r)}$ で除した $G/\sigma_c^{m(r)}$ と圧密後間隙比 e_c の関係を、 r をパラメータとして示す。CTSS・CTXとも、いずれの r においても、 e_c の大きさに無関係にはほぼ同じ値になっており、試験方法の違いによる両者の差異はみられない。

以上の結果をまとめるとGについては、同一 σ_c 、同一 r で比較すると、CTSSの方がCTXの結果より大きく、両者の差は、 σ_c が大きいほど、 r が小さいほど大きくなる。つまり、Gが大きくなるほど両者の差が大きくなっている。そこで、両者の比についてみると、図-6.52に示したように、 $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合を除いて $\sigma_c = 2.0 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ については、 σ_c の大きさ、 r の大きさに関係なく、CTXから得られたGは、CTSSから得られたGの約9割となっている。

このように、試験方法の違いによって変形特性に差が生じた原因は、強度と変形性の間に正の相関関係があることを考慮すれば、単調載荷試験における強度差の原因とから推定されるであろう。

すなわち原因としては、以下の事が考えられる。

- i) 中間主応力の影響：砂の強度特性は、中間主応力の大小に大きく左右される。図-6.57に示すように内部摩擦角 ϕ は、中間主応力の大きさを表わす。

パラメータ $b \left(= \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \right)$ が $b = 0$ あるいは $b = 1$ の時に最も小さく、 $0 < b < 1$ で大きくなる(山田(1980)³⁰⁾)。

ii) 異方性の影響：土質材料は、一般に異方性を示し、このことは変形強度特性に影響する。図-6.58は小田・西(1978)³¹⁾による空中落下法で作製した供試体で平面ひずみ試験を行った結果であるが、主応力の方向が供試体の堆積面に対し $\delta = 30^\circ$ の時に破壊主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は最も小さくなっている。

以上の2点について、今回の試験を考えてみるとCTXでは、 $\sigma_2 = \sigma_3$ なので $b = 0$ であり、CTSSでは、 $\sigma_1 = \sigma_2 + \tau$ 、 $\sigma_3 = \sigma_2 - \tau$ より $b = 0.5$ である。したがってi)の中間主応力の影響という点では、CTSSで得られる強度は、CTXのそれに比べて大きくなると考えられる。一方、CTXでは、最大主応力の方向は、供試体の堆積面に対して $\delta = 90^\circ$ の方向にあり、CTSSでは、 σ_1 の方向は、 $\sigma_a \neq \sigma_r$ のときはせん断応力が大きくなるに従って鉛直方向から傾いてゆき、その方向は、供試体にとって最も弱い方向 ($\delta = 30^\circ$) に近くなる。 $\sigma_a = \sigma_r$ のときは 45° 、したがって、ii)の異方性の影響という点では、i)の場合とは逆にCTSSの方が強度が小さくなると考えられる。

これらの2つの相反する傾向をまとめたものを図-6.59に示す(福島ら(1981)³²⁾)。図-6.59は、供試体条件が同じである豊浦砂について、ねじり単純せん断試験(MTSS)、平面ひずみ圧縮試験(Plane Strain Compression Tests PSC)およびMTXを行い、各々の試験から得られた

内部摩擦角 $\phi (= \arcsin (\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3})_f)$ と平均主応力 $\sigma_m (= \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3})$ の関係を示したも

のである。これより、MTSSとMTXの結果を比べた場合、異方性の影響という観点からみるとMTSSでは $\delta = 45^\circ$ 、MTXでは、 $\delta = 90^\circ$ あるいは $\delta = 0^\circ$ で、MTXの方が強度が大きくなる要因があるにもかかわらず、それにも増して中間主応力の影響(ここでは b 値で示してある。)が大きいため、MTSSの方が強度が大きくなっている。つまり、中間主応力の相違による強度差は、供試体の初期構造の異方性に起因する強度より大きいといえる。このような理由により、今回のCTSSより求めた G が、CTXのそれより大きくなったものと推定できる。

6.3.2 減衰定数 h

図-6.60に、CTSSとCTXの各々から得られた h と r の関係を示す。いずれの試験ケースにおいてもCTSSから得られた h の方がCTXのそれに比べて大きく、その差は、 r が大きくなるほど大きい。

G の場合と同様、CTSSとCTXの h の差を比率に直したものを図-6.61に示す。図の縦軸は、CTSSの h に対するCTXの h の比率となっている。いずれのケースも、 r が大きくなるにつれて比率は小さくなっている。

次に、 σ_c の影響をみるために、図-6.62に $\log(h/\beta) \sim \log \sigma_c$ 関係を示す。図-6.63には、図-6.64の直線の傾き $n(r)$ と r の関係を示す。 $n(r)$ は、 $r < 5 \times 10^{-5}$ でCTSSは -0.3 に、CTXは -0.2 にそれぞれ収束しており、 $r > 2 \times 10^{-4}$ で両者の $n(r)$ は重なっている。したがって、 σ_c の影響度合いは、小さいひずみレベルではCTSSの方がやや大きく、逆にひずみが大きくなると同程度である。

間隙比の影響については、図-6.64に h から σ_c の影響を除いた $h/\sigma_c^{n(r)}$ と圧密後間隙比 e_c の関係を示す。図中に示した近似直線との一致度は、CTSSの方が良好である。また、CTSS・CTX結果ともに、 r が大きくなるにしたがい e_c の影響は大きい。

6.3.3 セン断弾性係数 G と減衰定数 h の関係

Hardin and Drnevich (1972)¹⁸⁾が導いた G と h の関係式に基づき h と初期せん断弾性係数 G_0 で G を基準化した G/G_0 の関係を図-6.65に示す。

図-6.65(a)~(c)は、各試験ケース（ケースA, B, C）ごとにCTSS結果の $h \sim G/G_0$ 関係とCTSSのそれとを示したものである。これより、いずれのケースにおいてもCTSS・CTXともに、試験結果は、1つの狭い帯状に分布しており、Hardin and Drnevichの関係式が成立することを示している。また、図中にはCTSS・CTXの各々の試験結果から最小自乗法を用いて求めた近似直線を示しているが、いずれのケースにおいても、CTXの近似直線の方がCTSSのそれよりも下側にある。これは、同一ひずみレベルにおいて、CTXから求まる h が、CTSSから求まるそれより小さいことによるものである。 e_c の異なる供試体毎にCTSSとCTXの h_{max} を比較すると、CTSSの方がケースAでは2.5%、ケースBでは3.4%、ケースCでは4.4%大きい。

図-6.65(d)は、 $h \sim G/G_0$ の関係についてCTSS・CTXの全試験ケースの結果を同時に示したものである。図中の破線は、CTSS・CTXごとに求めた試験ケースA~Cの近似直線である。これより、全ケースのデータによる平均的な G と h の関係は、 $h = 16.6 (1 - G/G_0)$ で表せる。

6.3.4 セン断弾性係数 G および減衰定数 h のひずみ依存曲線

図-6.66はCTSSおよびCTXの G , h のひずみ依存曲線である。 $\sigma = 1.0 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ で $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0 \sim 2.0$ であるが、CTSS・CTXとも、 $G \cdot h$ は帯状に分布している。

図-6.67(a)に本実験で得られた G のひずみ依存曲線の平均値を他の研究結果と合わせて示す。Matsumoto et al. (1985)³³⁾は角礫材を用いた $\phi 30 \times H 60 \text{ cm}$ のCTXを、Hatanaka et al. (1988)³⁴⁾および杜本ら(1986)³⁵⁾は攪乱した砂礫を材料として同じ寸法の供試体を用いCTXを実施した。Seed et al. (1984)³⁶⁾の平均ひずみ依存曲線はアースダム・ロックフィルダム材料である円礫材、角礫材から求めたものである。Hynes et al. (1988)³⁷⁾はFolsomダムの円礫材から求めている。日本の研究者によって求められたひずみ依存曲線はほぼ一致していると考えられるが、SeedとHynesの曲線と比較して 1×10^{-4} のせん断ひずみで約30%大きい。

h のひずみ依存曲線は、図-6.67(b)に示すように $r = 1 \times 10^{-5} \sim 10^{-4}$ のひずみ範囲において $\phi 40 \text{ cm} \times H 80 \text{ cm}$ 以外は全て同じ傾向にある。しかし、SeedとHynesの h は他に比べて r の増加に伴う増加が大きい。なお G も h も実際には図-6.66で示したように帯状となるがここでは平均値で示している。

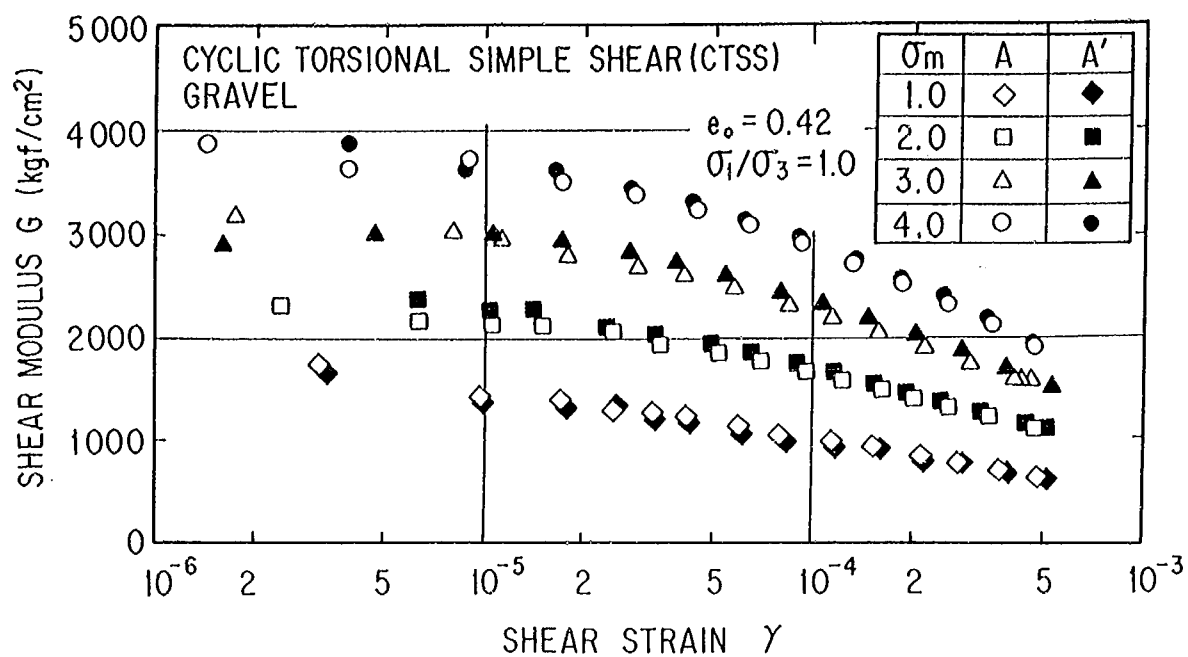


図- 6.1 (a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_o = 0.42$

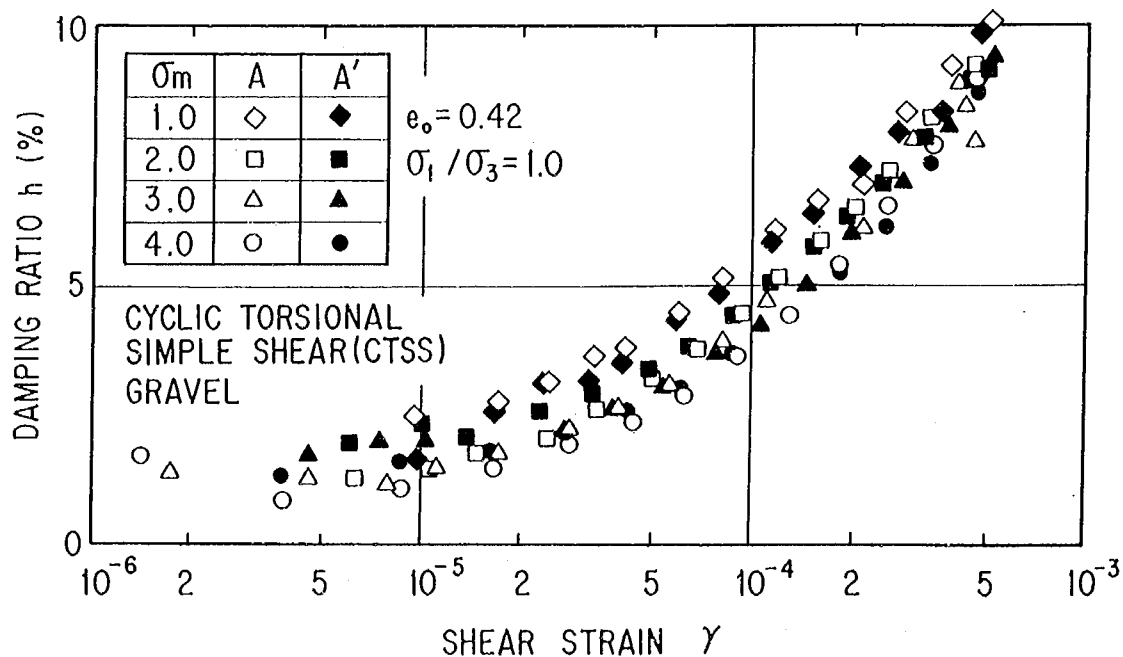


図- 6.1 (b) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_o = 0.42$

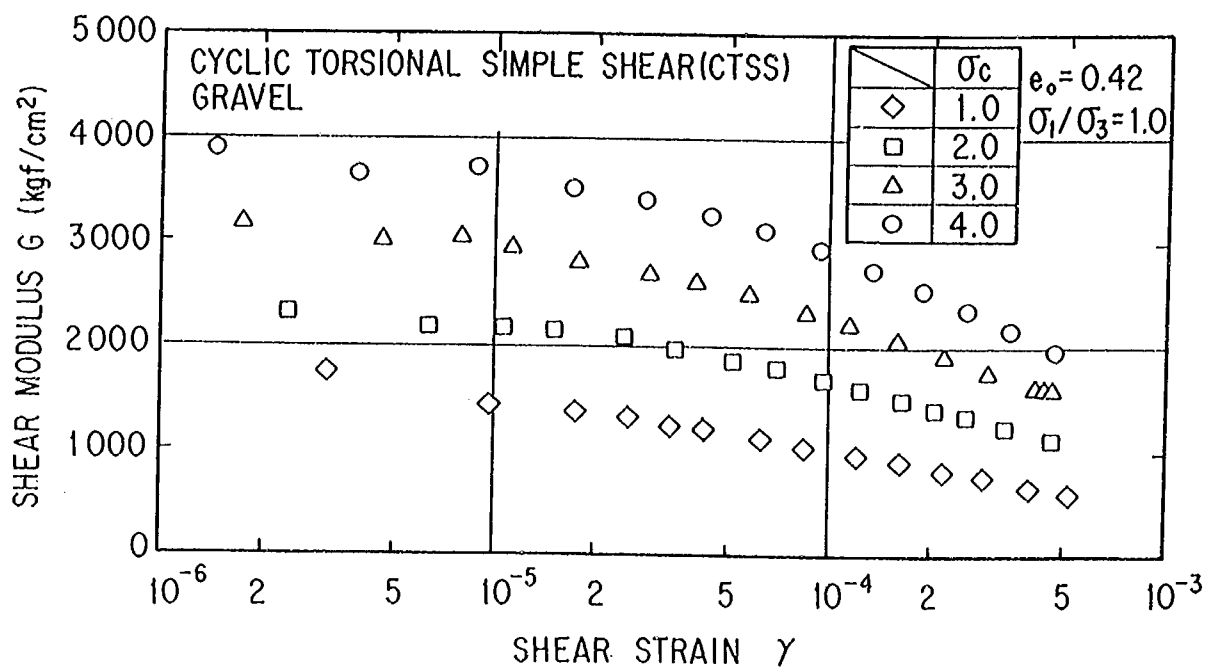


図-6.2(a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.42$

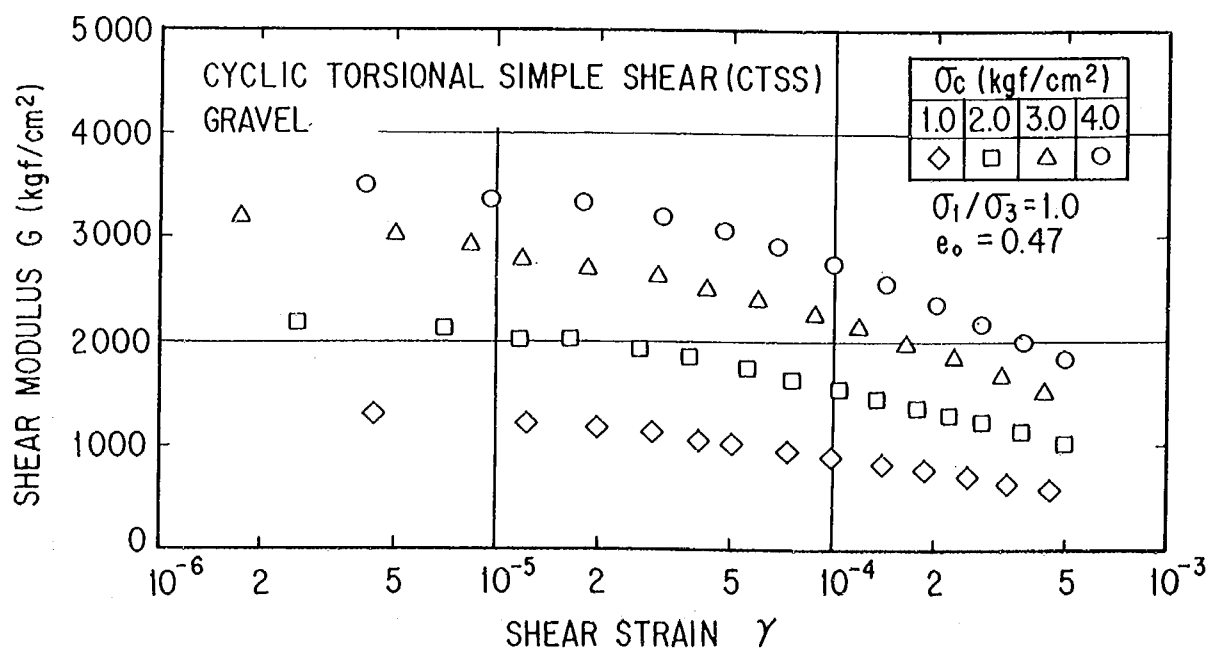


図-6.2(b) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.47$

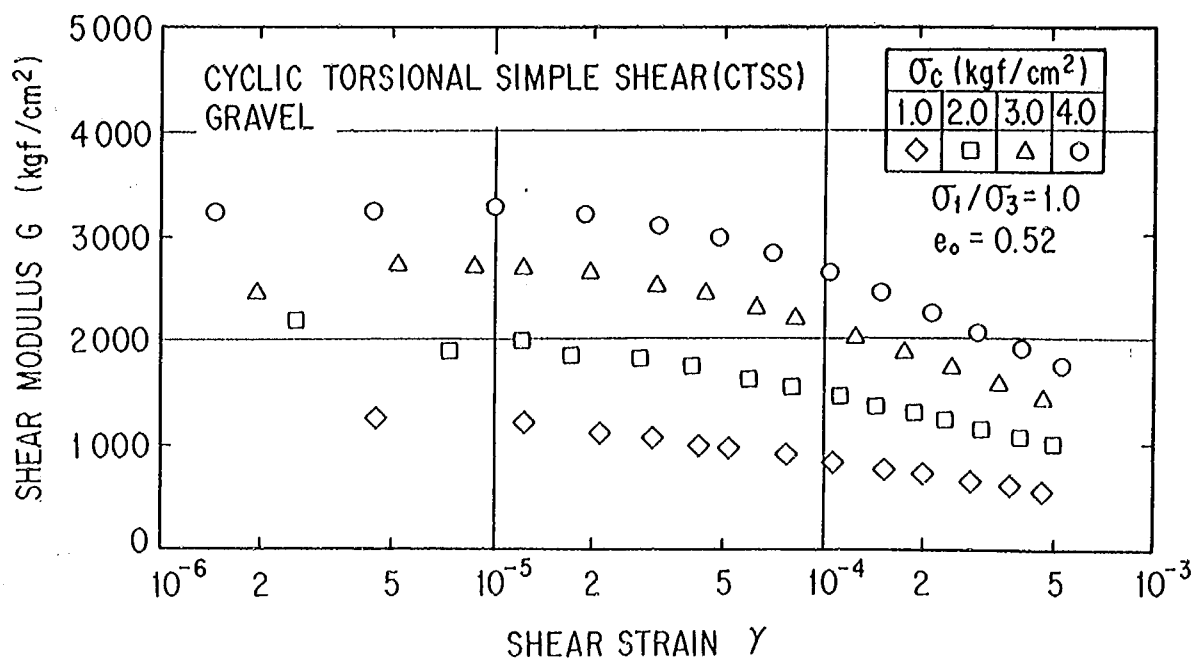


図- 6.2 (c) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.52$

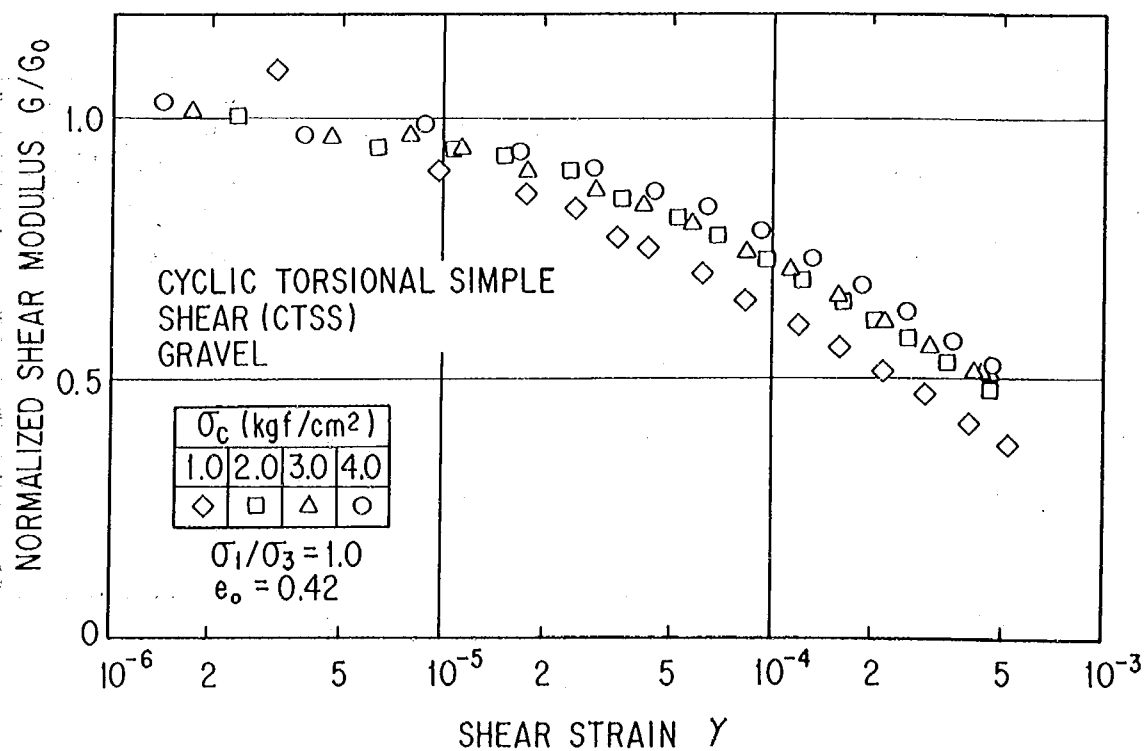


図- 6.3 (a) 正規化したせん断弾性係数とひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.42$

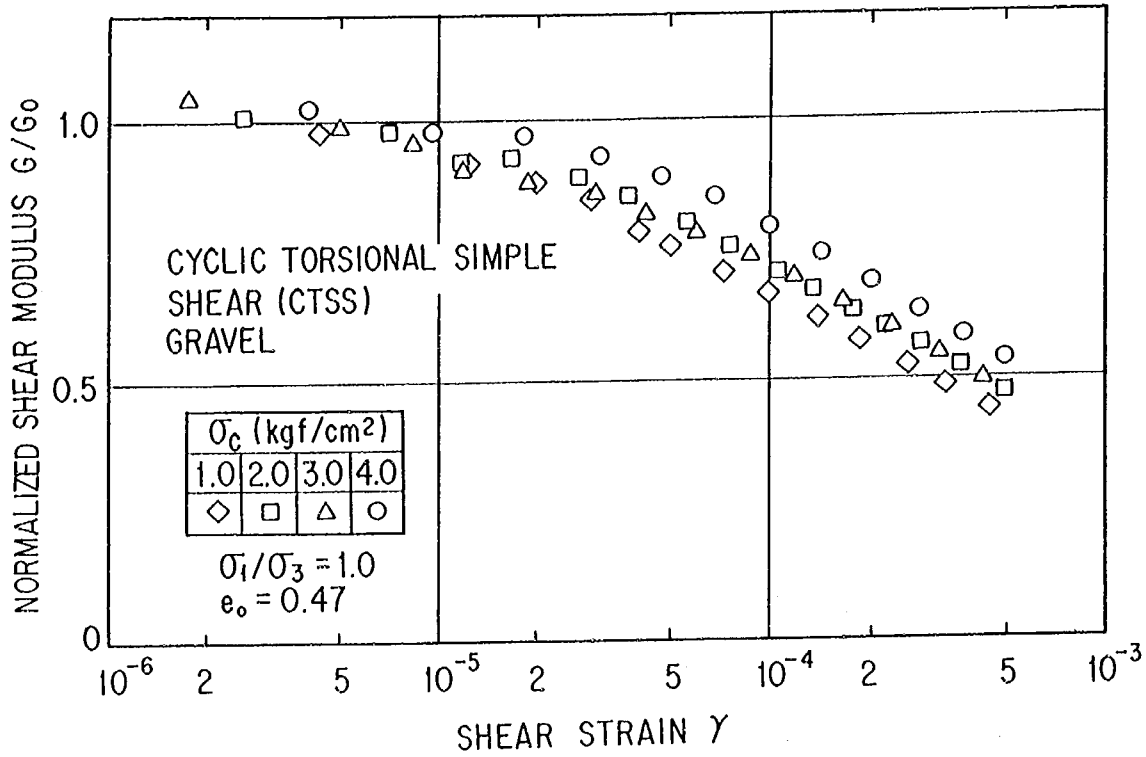


図- 6.3 (b) 正規化したせん断弾性係数とひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.47$

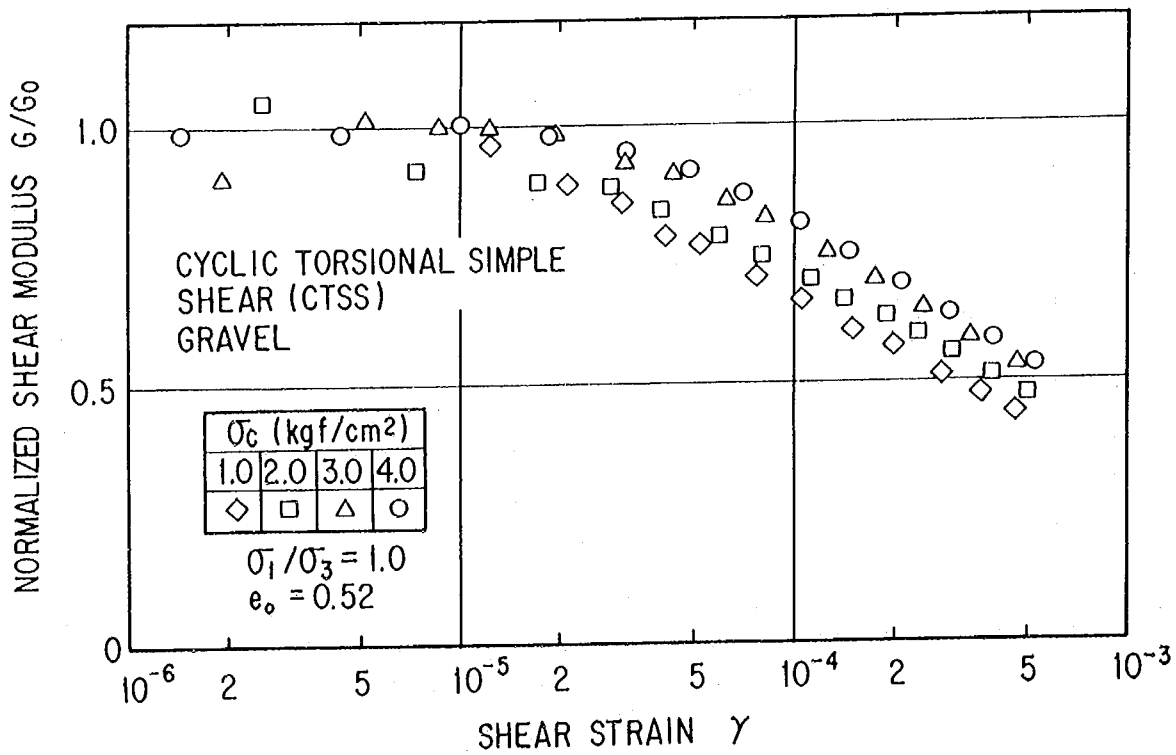


図- 6.3 (c) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.52$

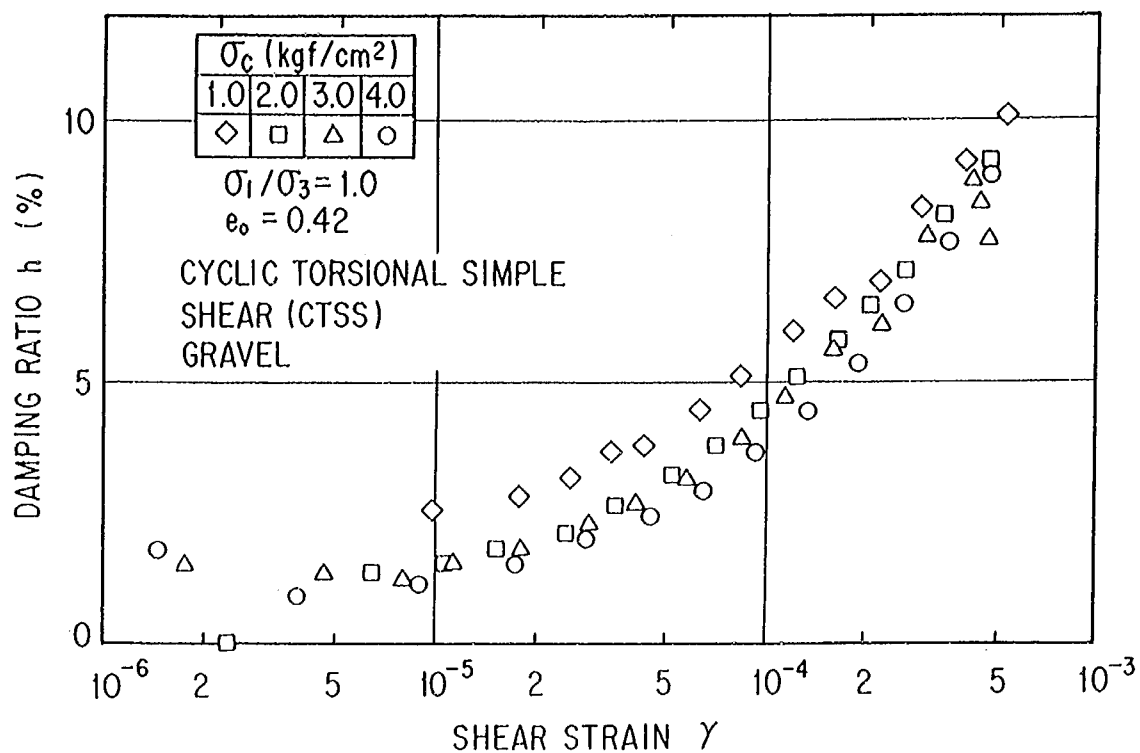


図-6.4(a) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.42$

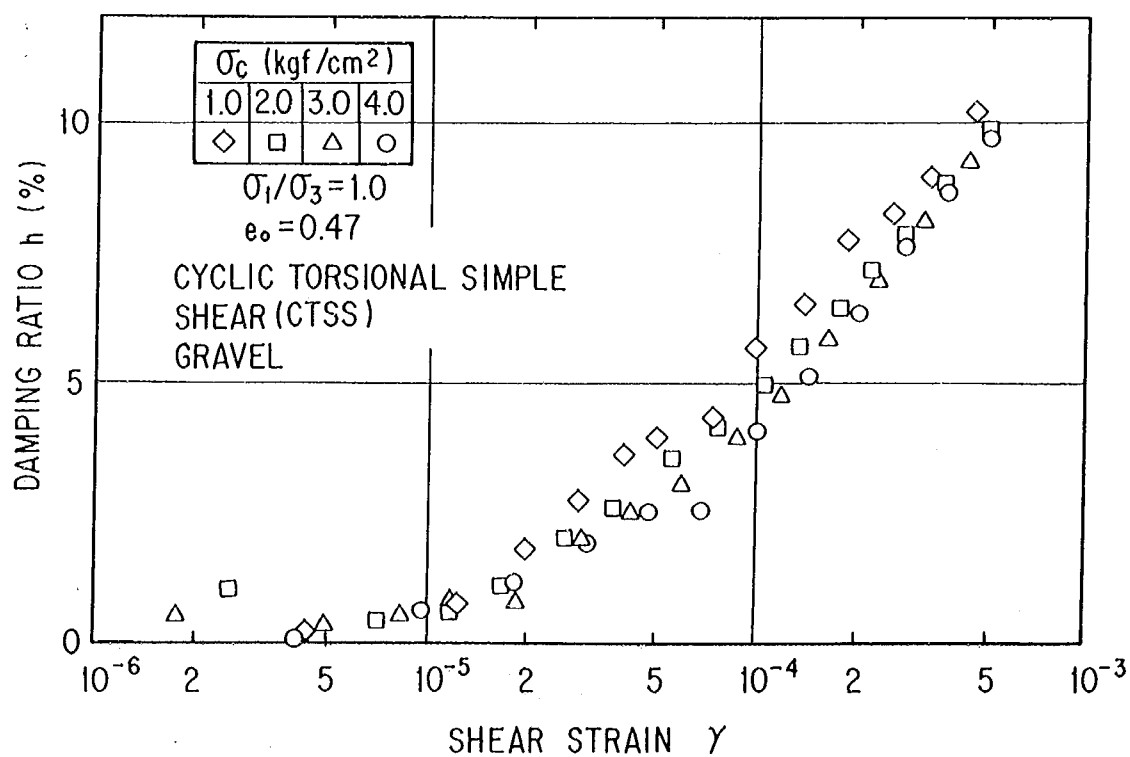


図-6.4(b) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.47$

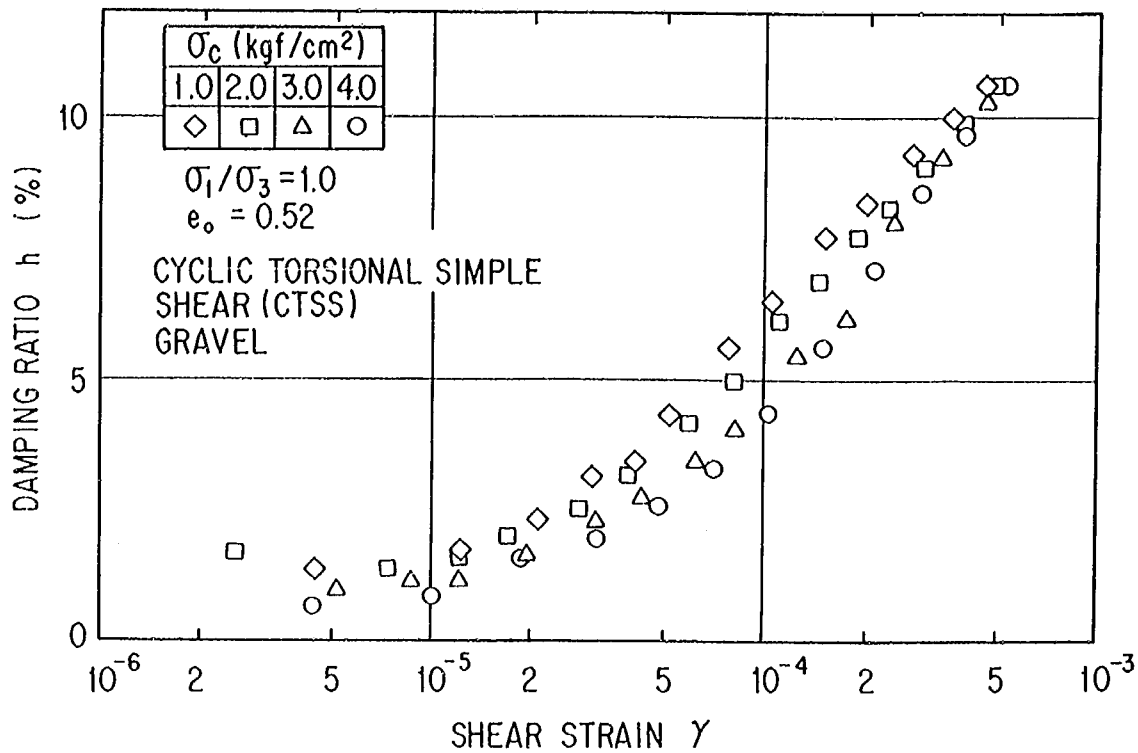


図- 6.4 (c) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS, $e_0 = 0.52$

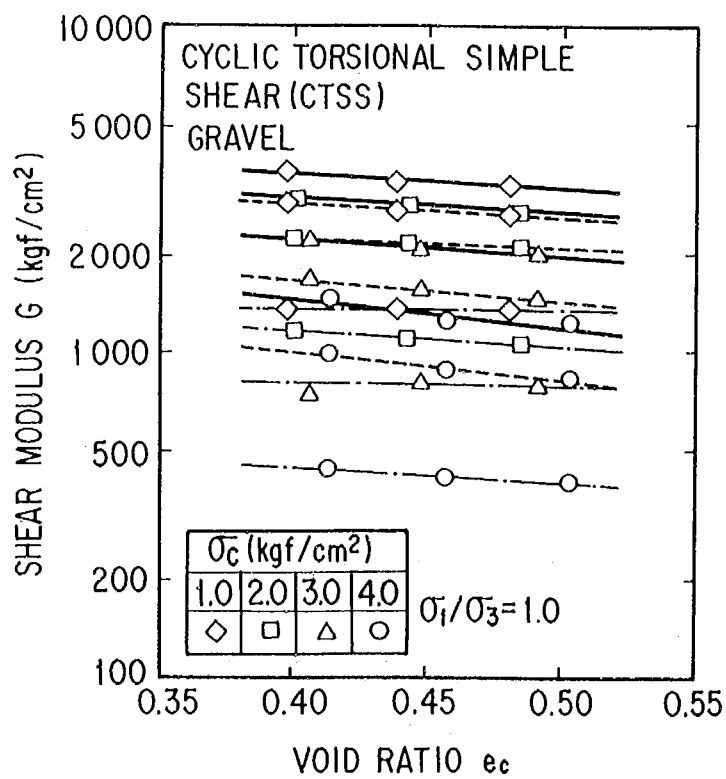


図- 6.5 せん断弾性係数と間隙比の関係, CTSS

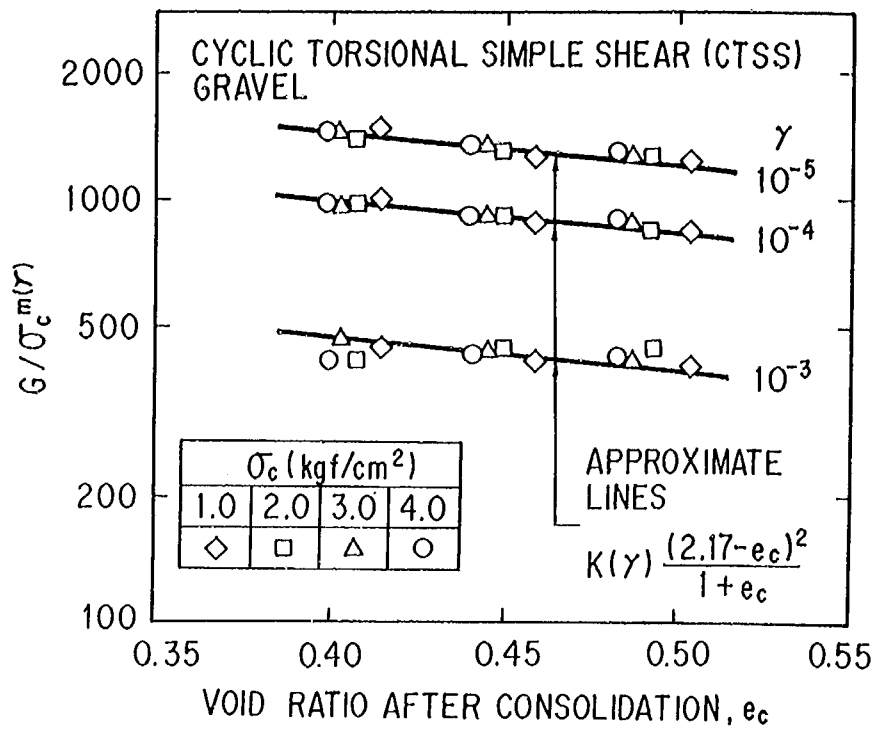


図-6.6 せん断弾性係数と圧密後間隙比の関係, CTSS

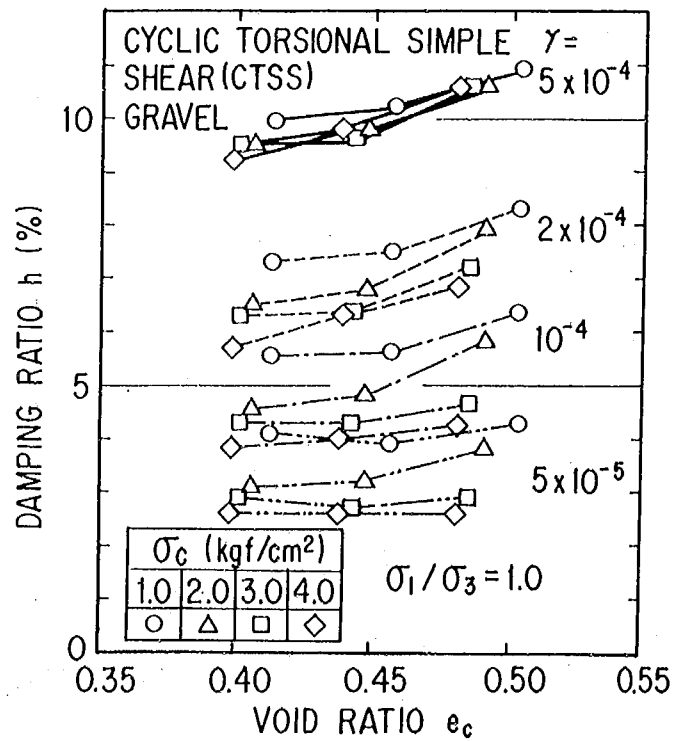


図-6.7 減衰定数と間隙比の関係, CTSS

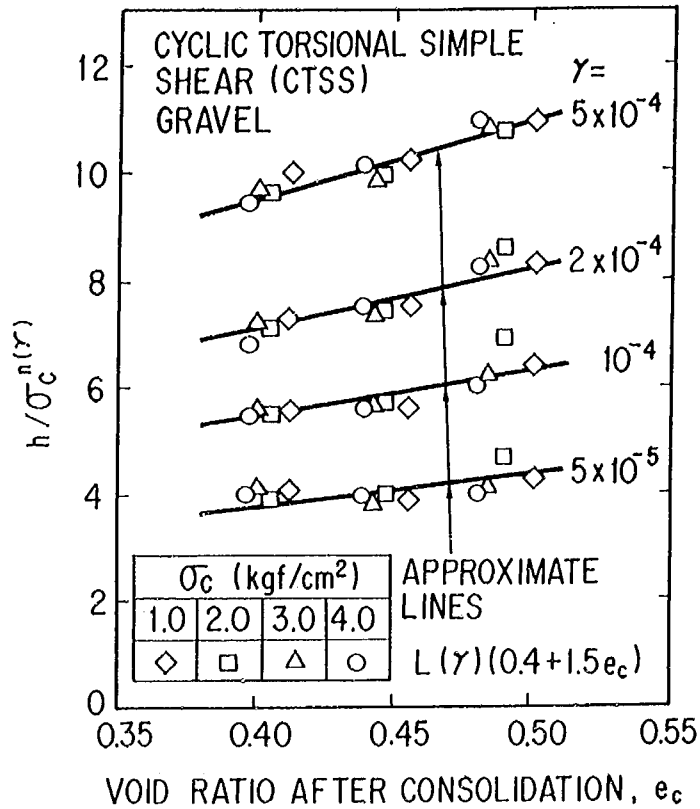


図- 6.8 減衰定数と圧密後間隙比の関係, CTSS

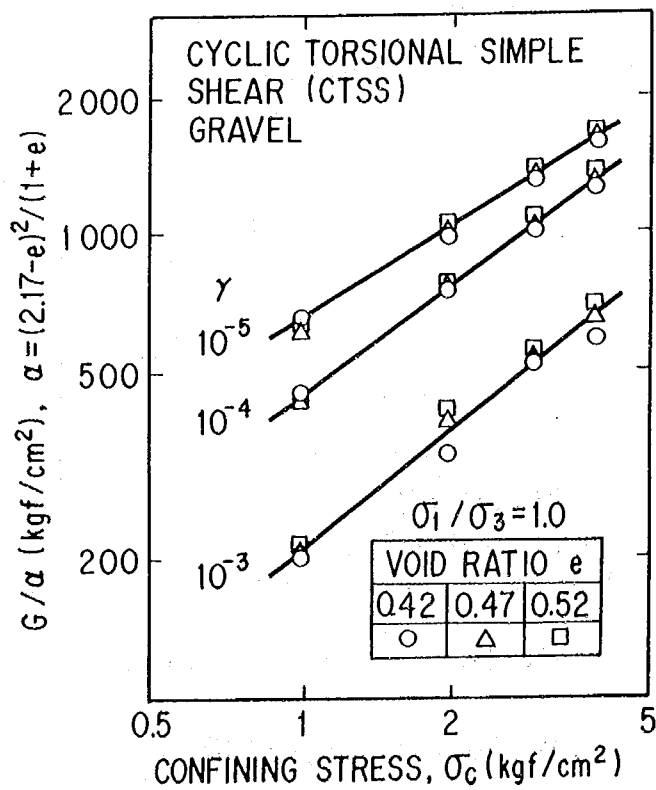


図- 6.9 せん断弾性係数と拘束圧との関係, CTSS

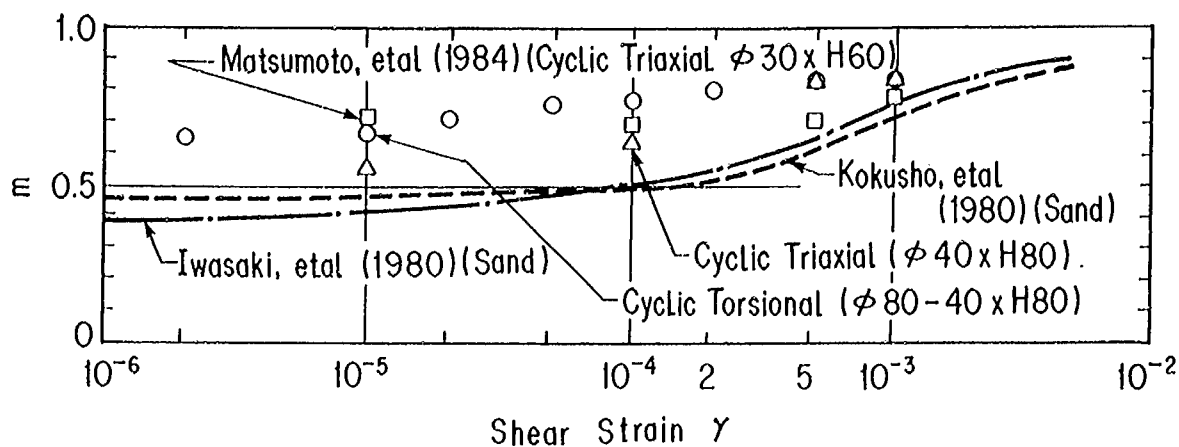


図- 6.10 $m(\gamma)$ とせん断ひずみの関係

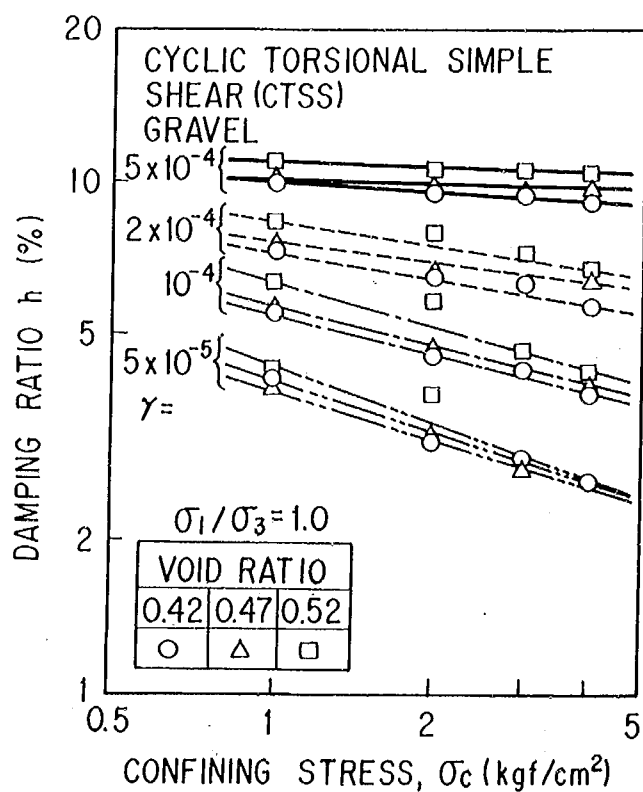


図- 6.11 減衰定数と拘束圧の関係, CTSS

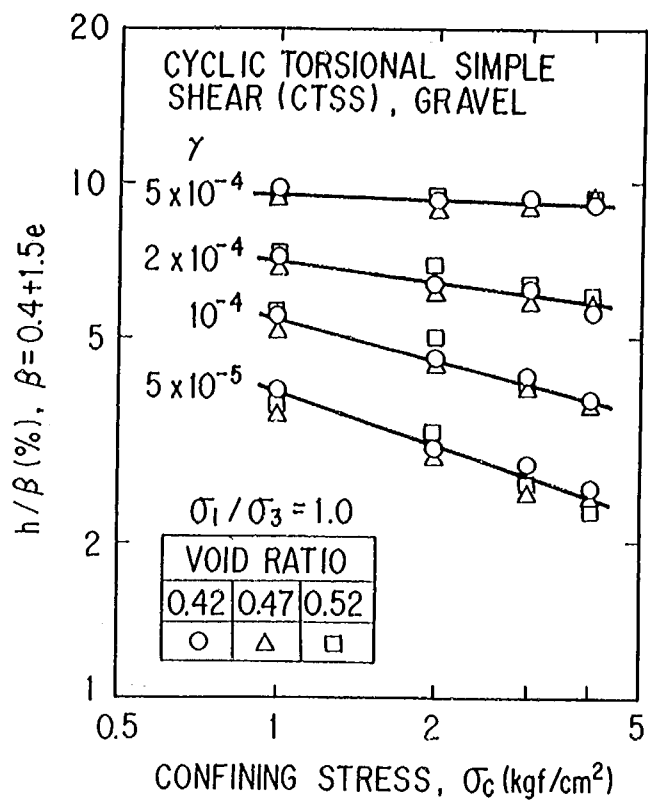


図-6.12 減衰定数と拘束圧の関係, 間隙比の影響, CTSS

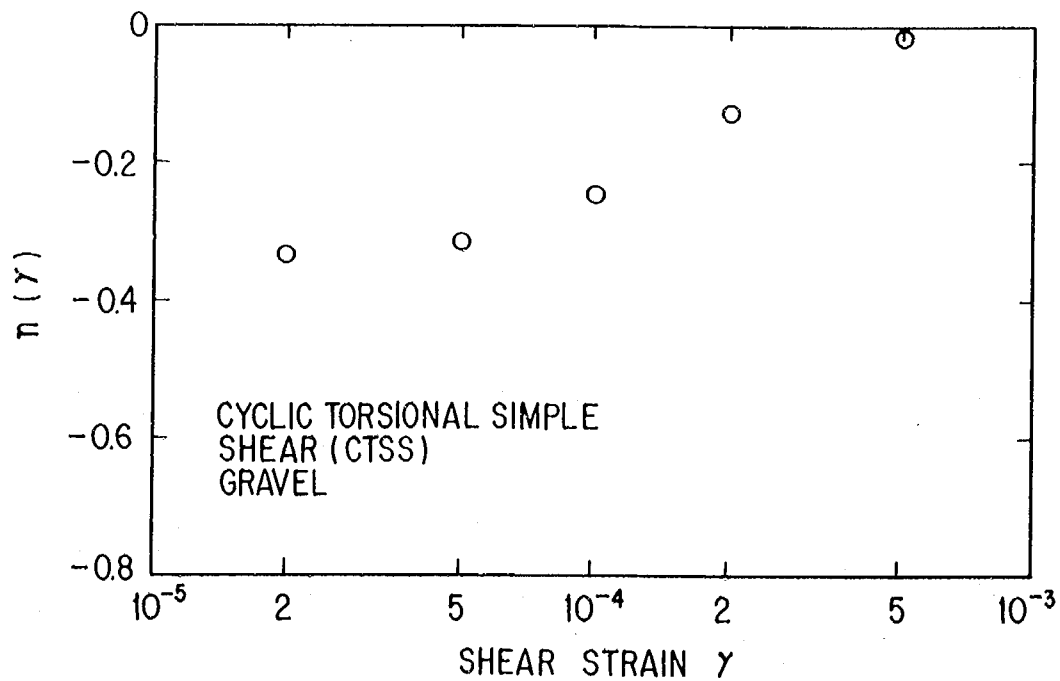


図-6.13 減衰定数の指数とせん断ひずみの関係, CTSS

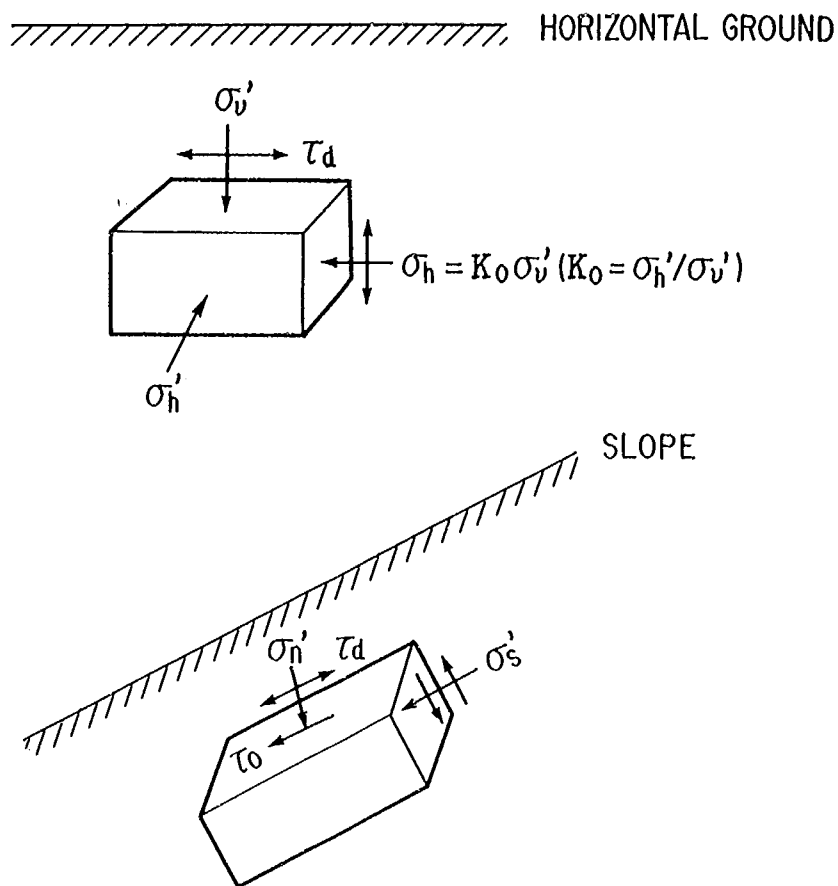


図- 6.14 地盤中の土の要素の応力状態

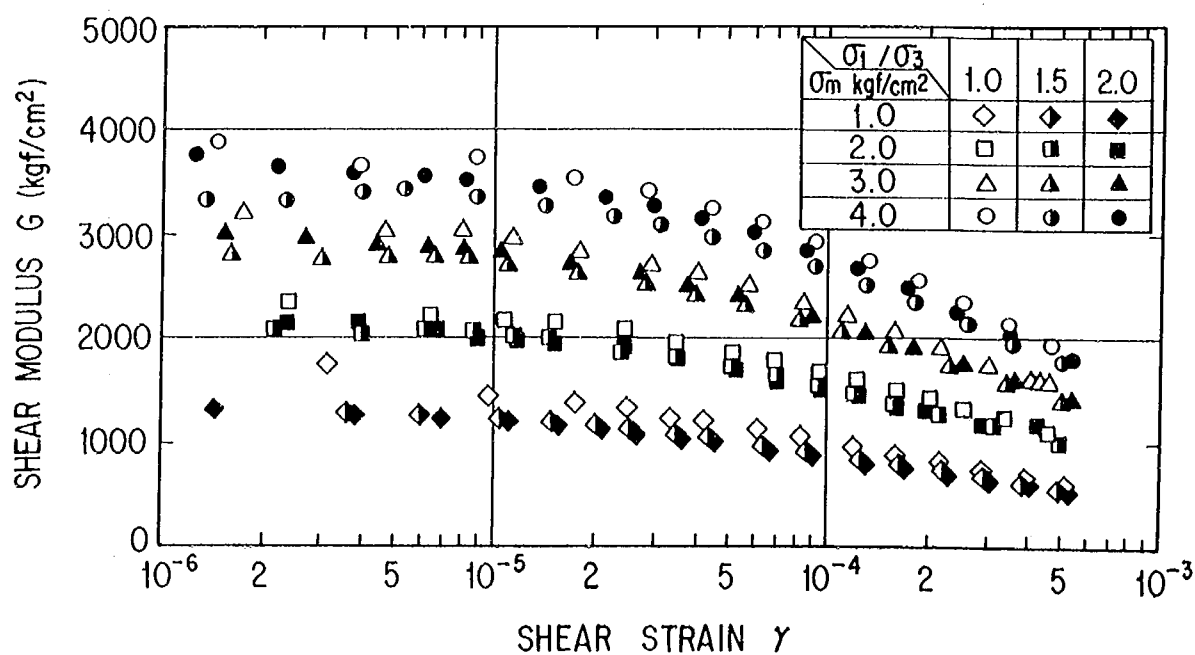


図- 6.15 せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, 主応力比の影響, CTSS, $e_0 = 0.42$

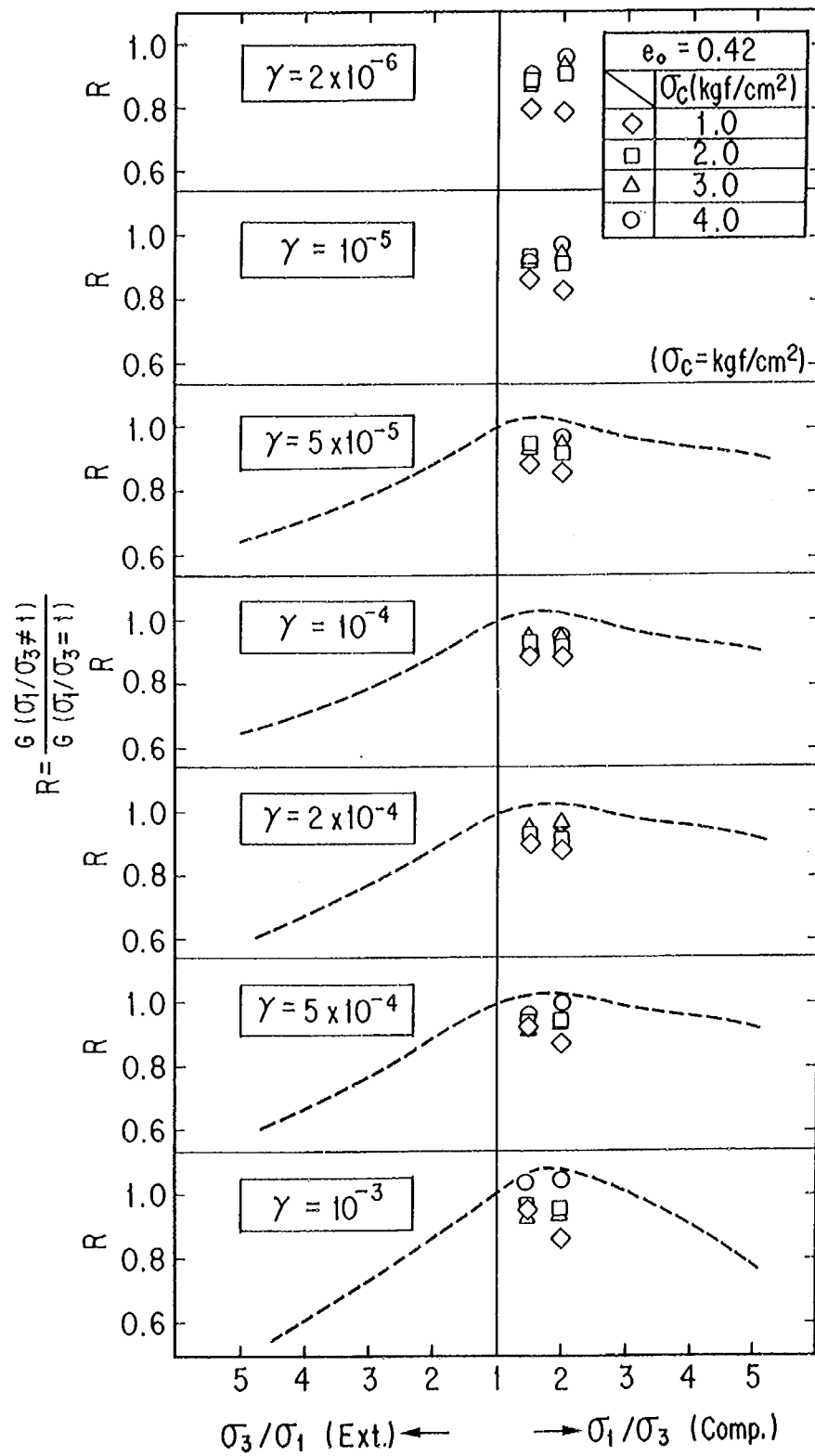
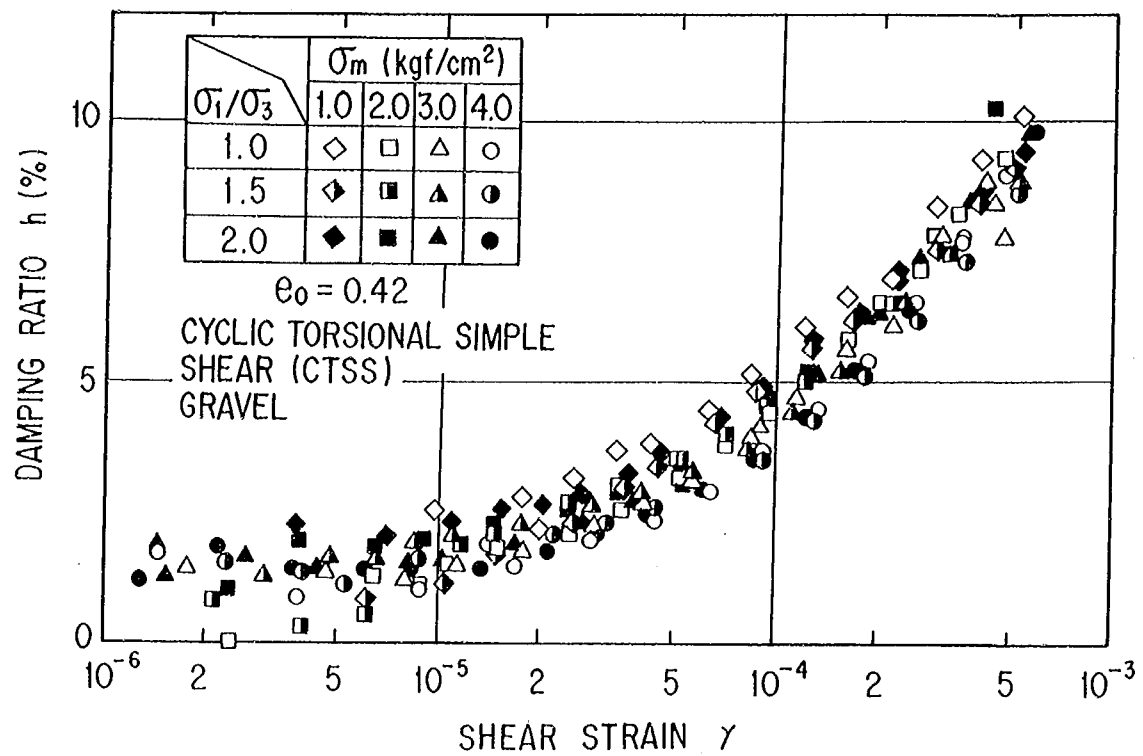


図- 6.16 G に与える σ_1/σ_3 の影響, CTSS



図－6.17 減衰定数とせん断ひずみの関係，主応力比の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

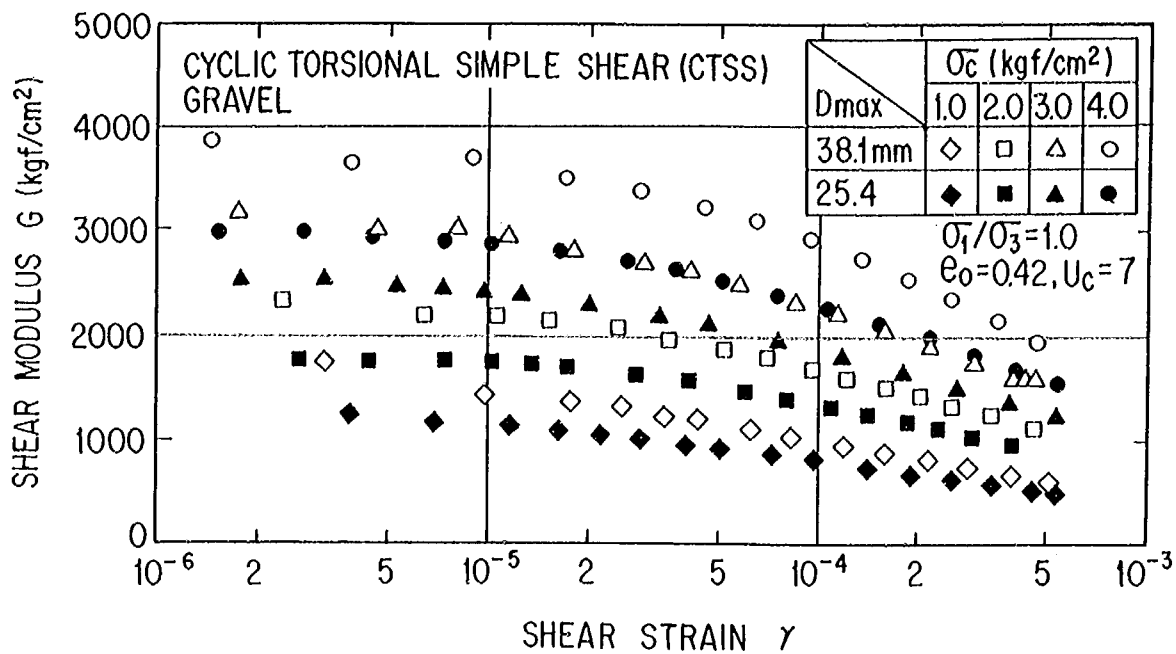


図- 6.18 (a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，粒度分布の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

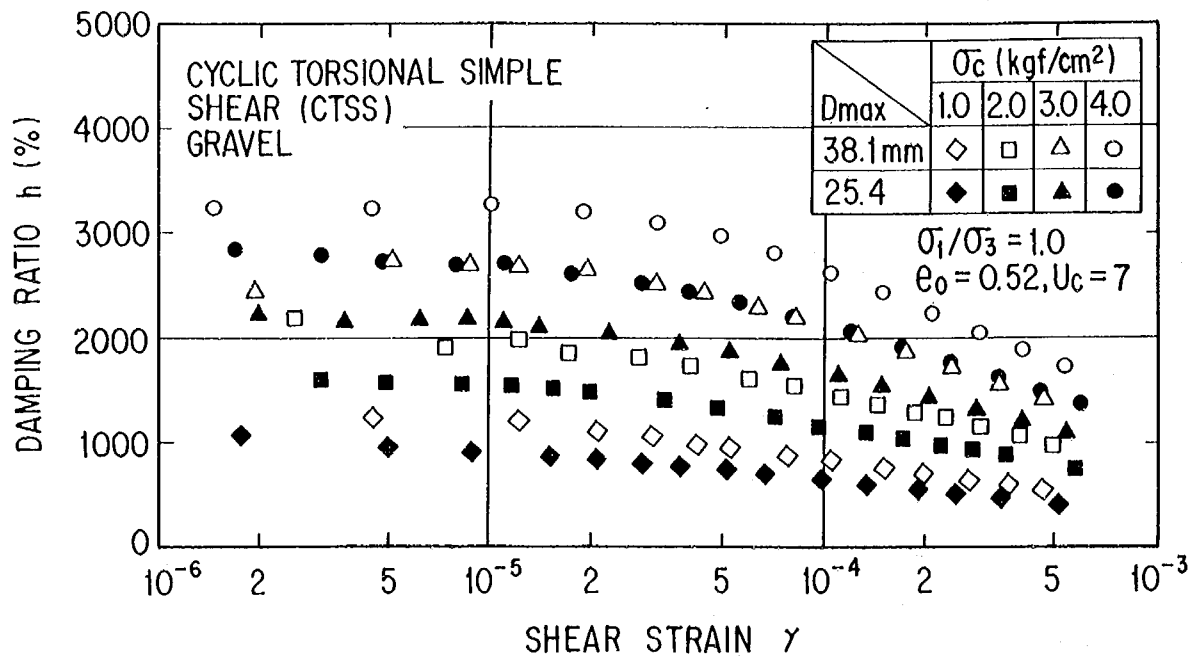


図- 6.18 (b) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，粒度分布の影響，CTSS， $e_0 = 0.52$

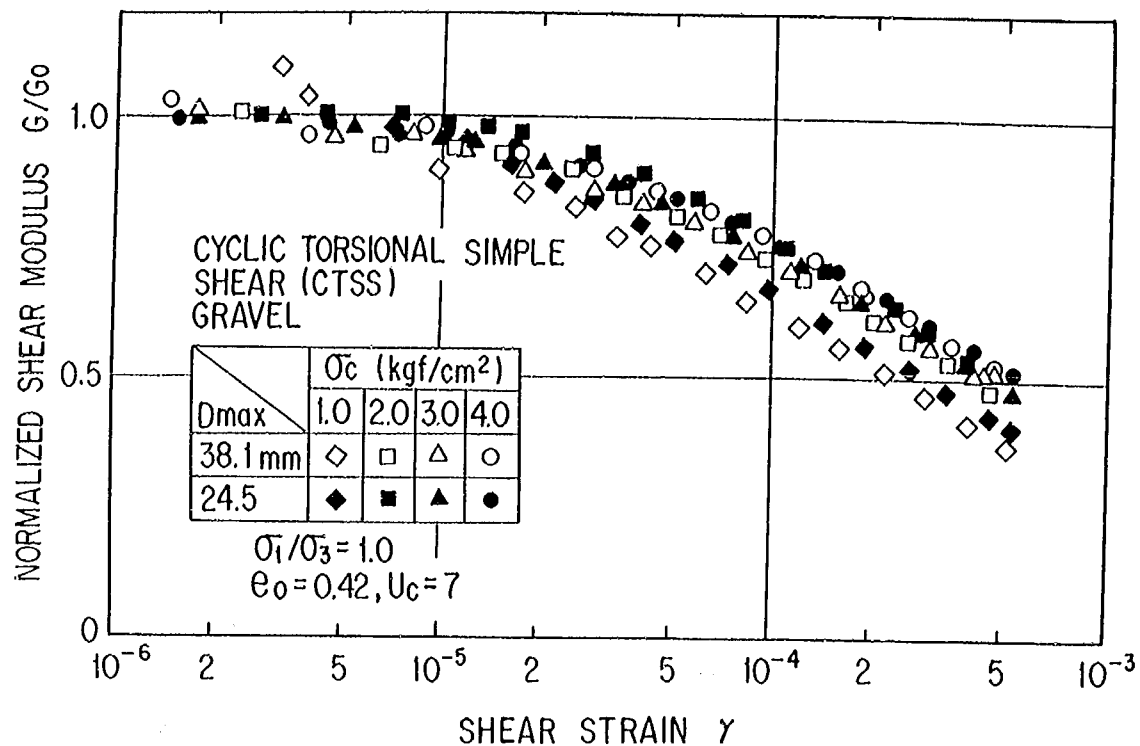


図- 6.19 (a) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, 粒度分布の影響, CTSS, $e_0 = 0.42$

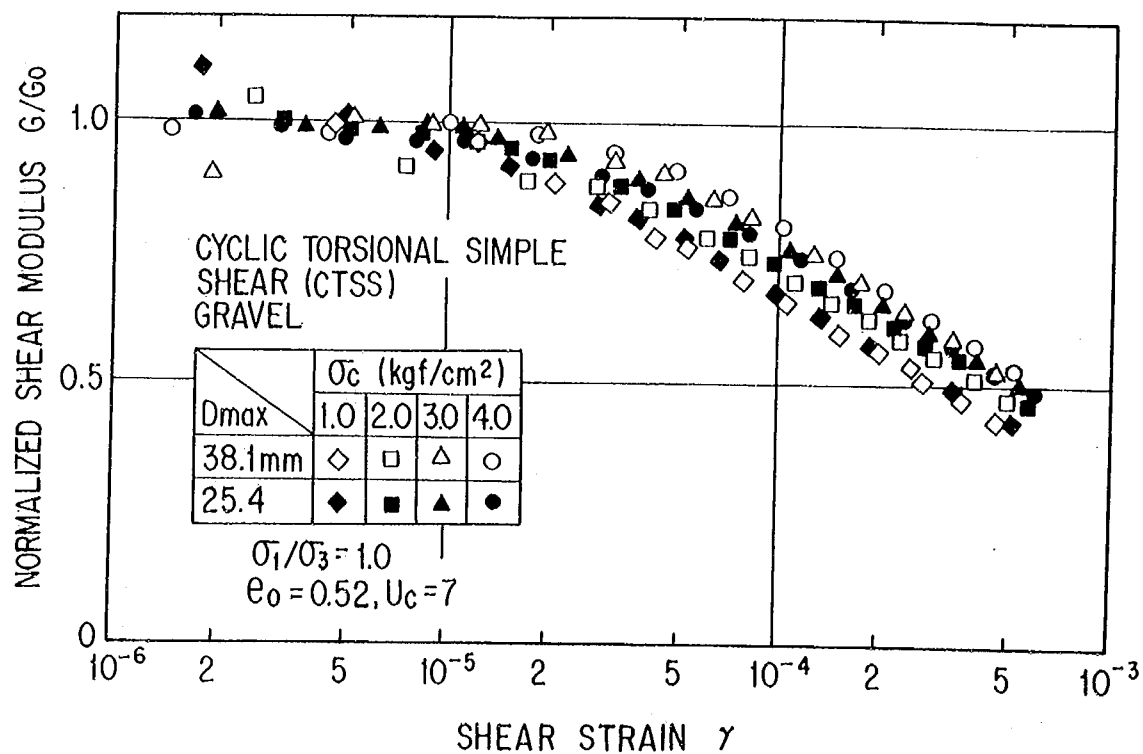


図- 6.19 (b) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, 粒度分布の影響, CTSS, $e_0 = 0.52$

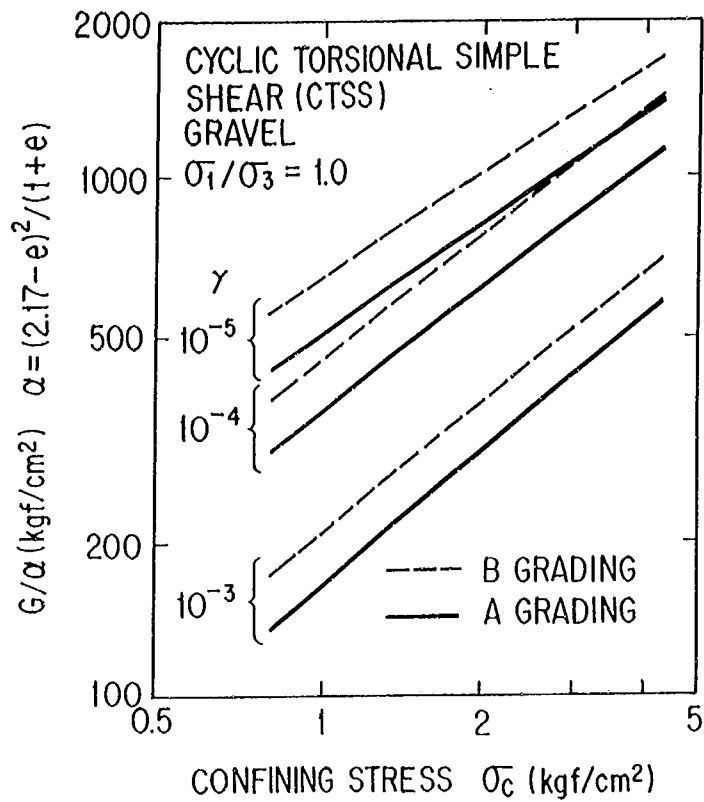


図- 6.20 せん断弾性係数と拘束圧の関係，粒度分布の影響，CTSS

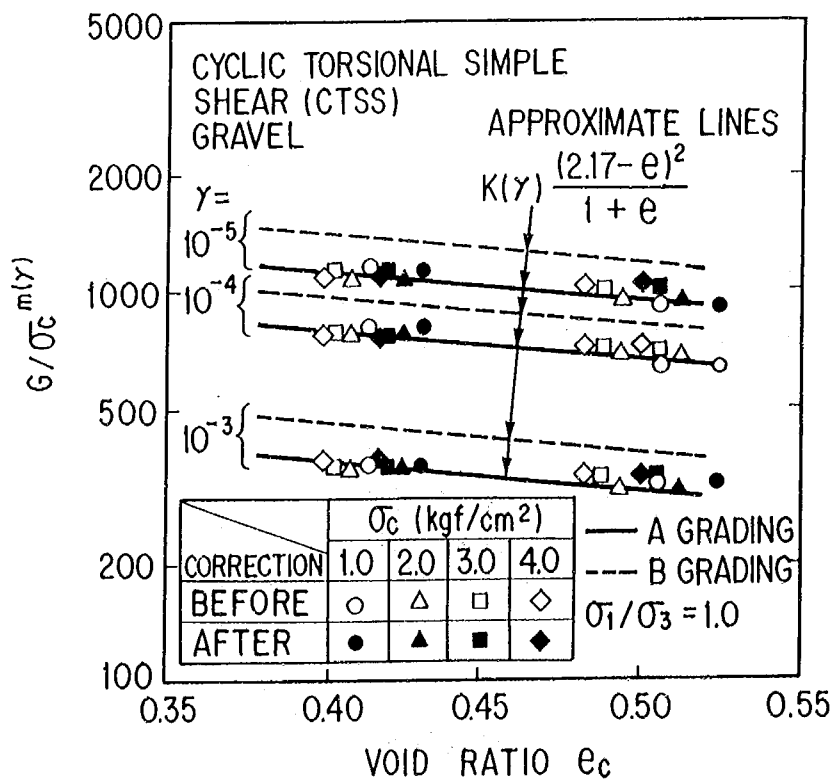


図- 6.21 せん断弾性係数と間隙比の関係，CTSS

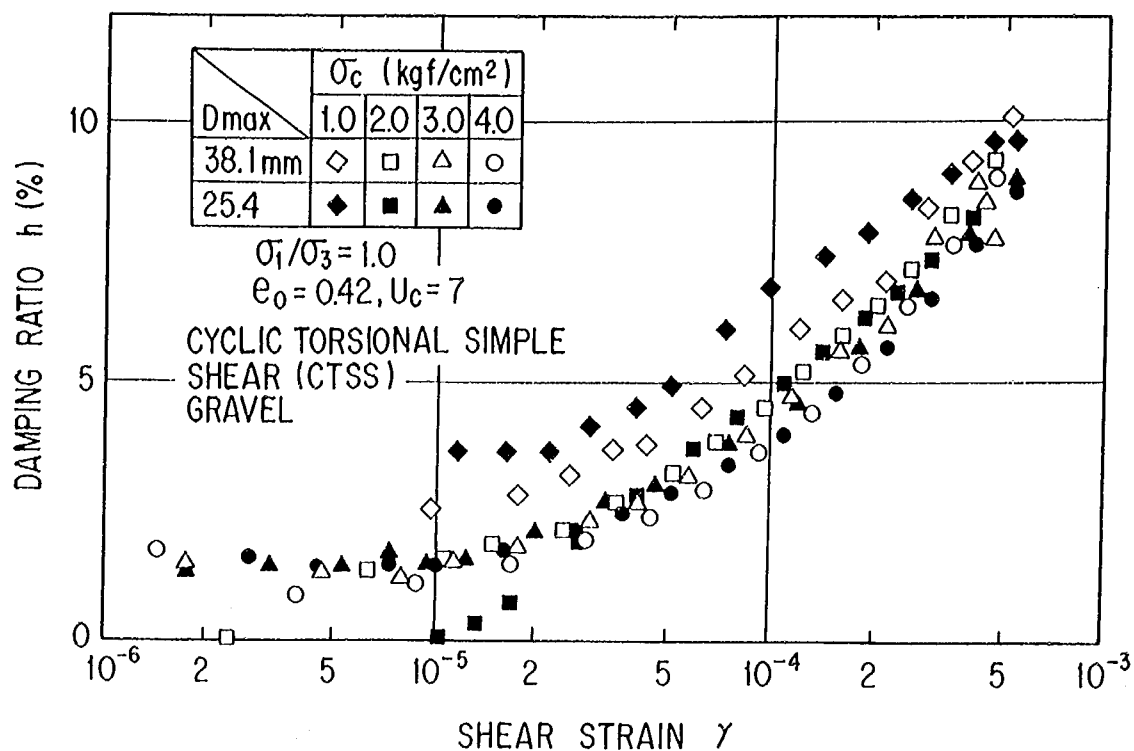


図- 6.22 (a) 減衰定数とせん断ひずみの関係，粒度分布の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

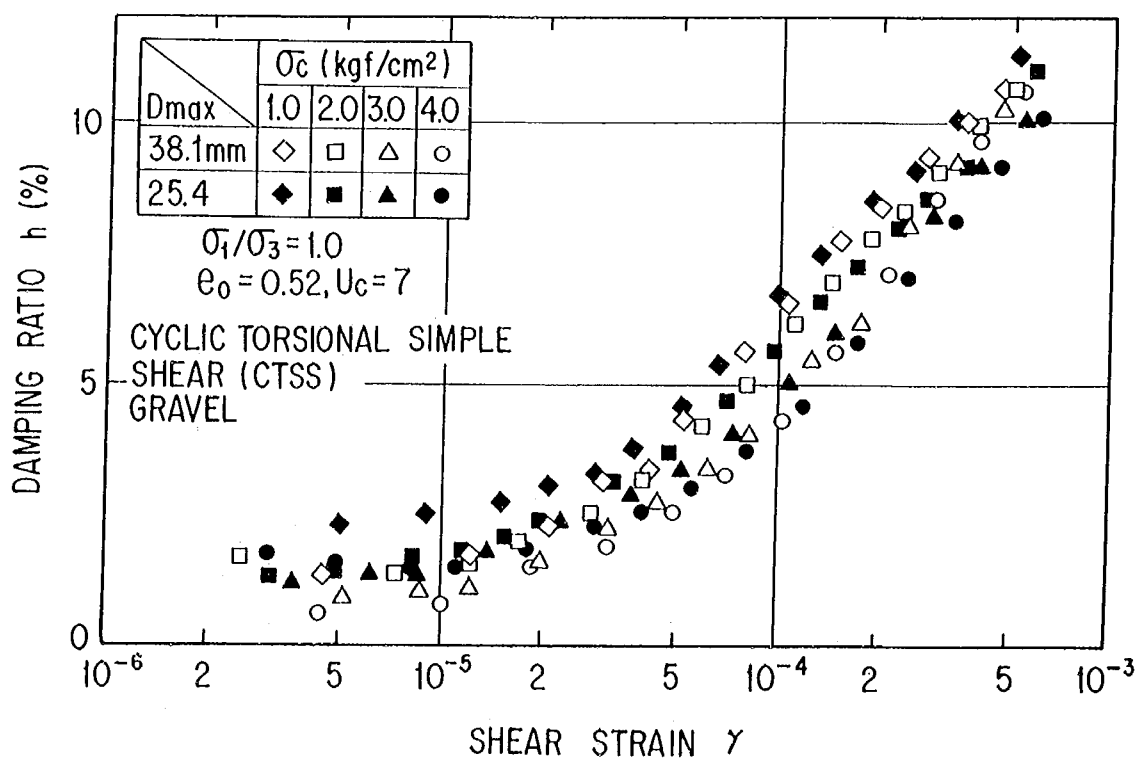


図- 6.22 (b) 減衰定数とせん断ひずみの関係，粒度分布の影響，CTSS， $e_0 = 0.52$

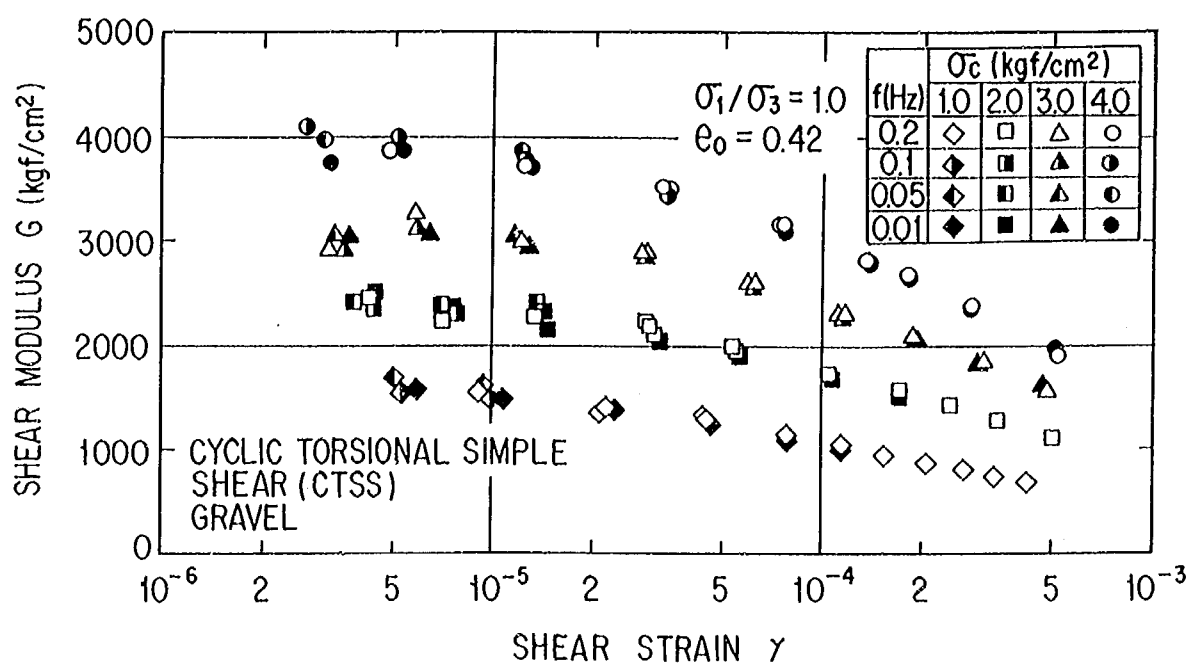


図- 6.23 (a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，繰返し周波数の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

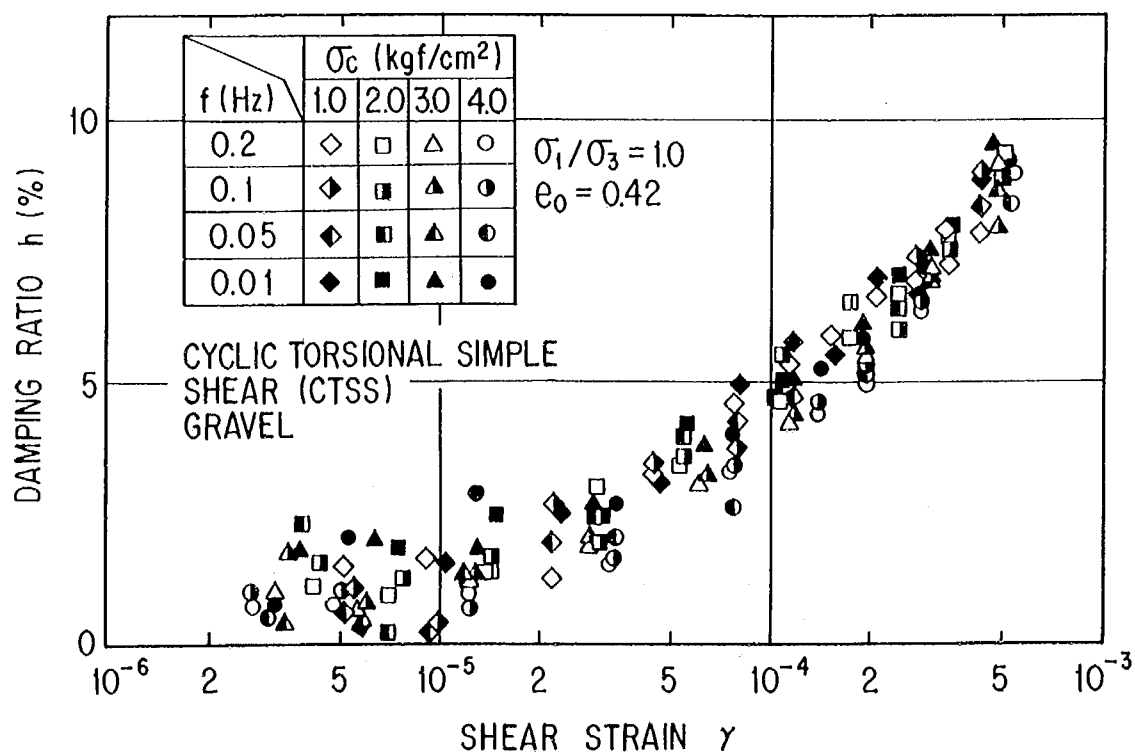


図- 6.23 (b) 減衰定数とせん断ひずみの関係，繰返し周波数の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

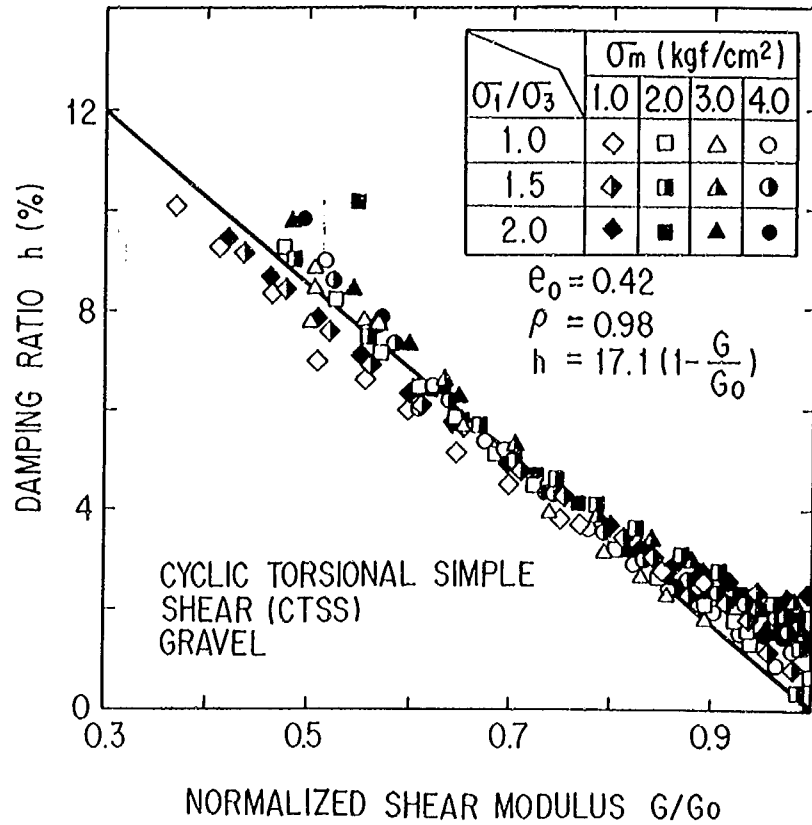


図- 6.24 (a) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係，主応力比の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

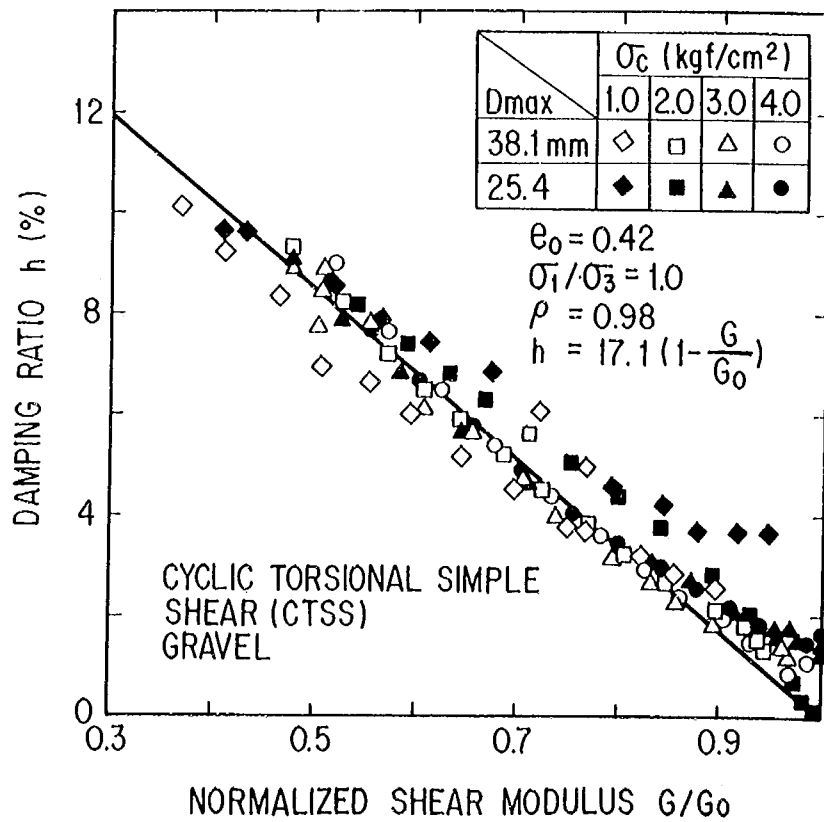


図- 6.24 (b) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係，粒度分布の影響，CTSS， $e_0 = 0.42$

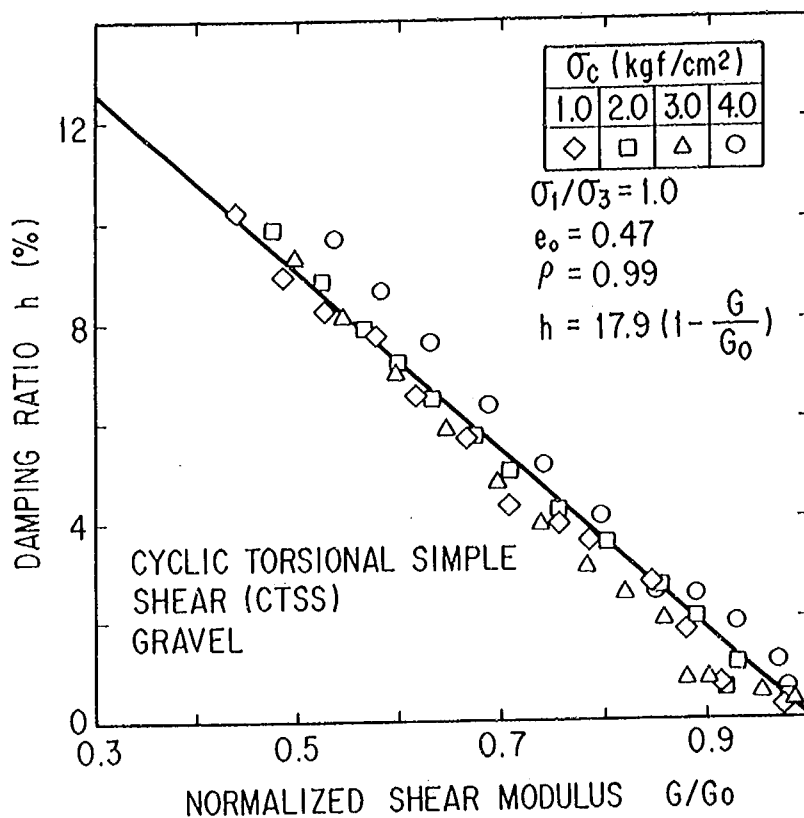


図- 6.24 (c) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, CTSS, $e_0 = 0.47$

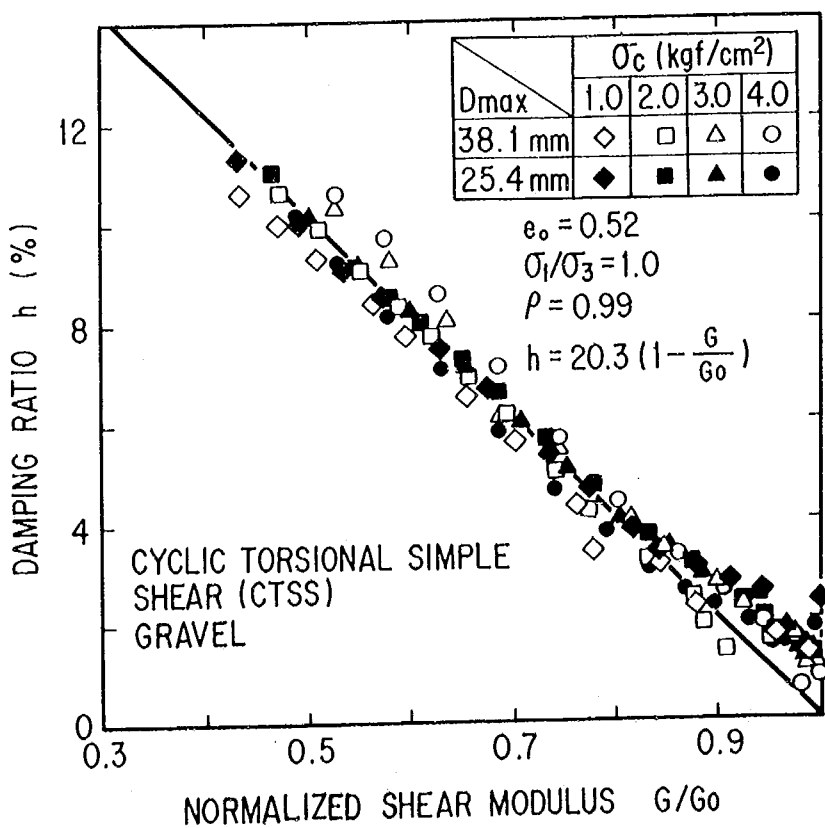
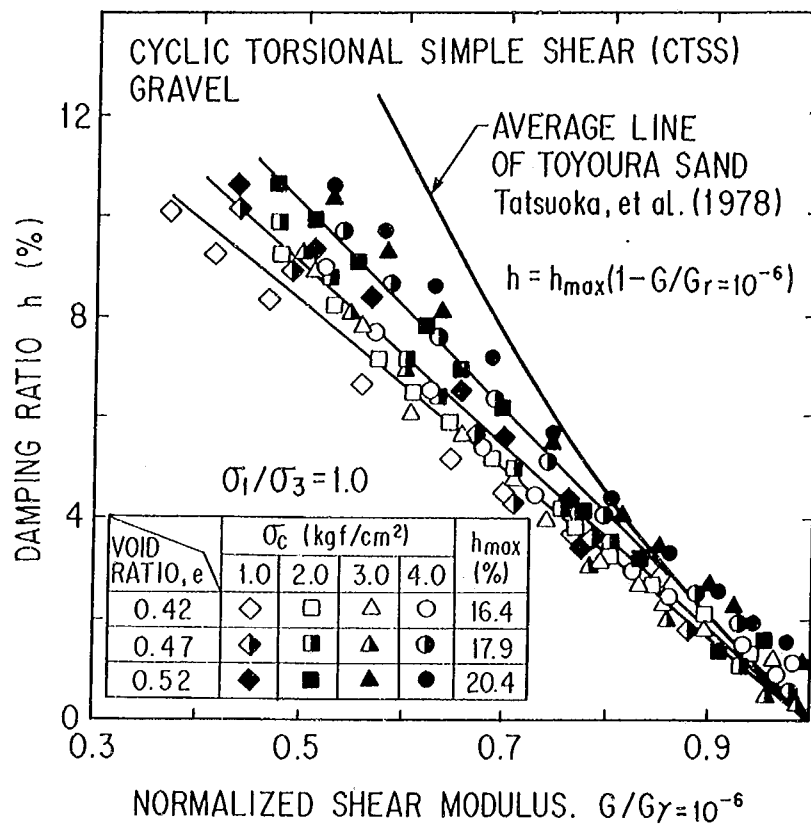


図- 6.24 (d) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数, 粒度分布の影響, CTSS, $e_0 = 0.52$



図一 6.25 減衰定数と正規化したせん断弾性係数，間隙比の影響，CTSS

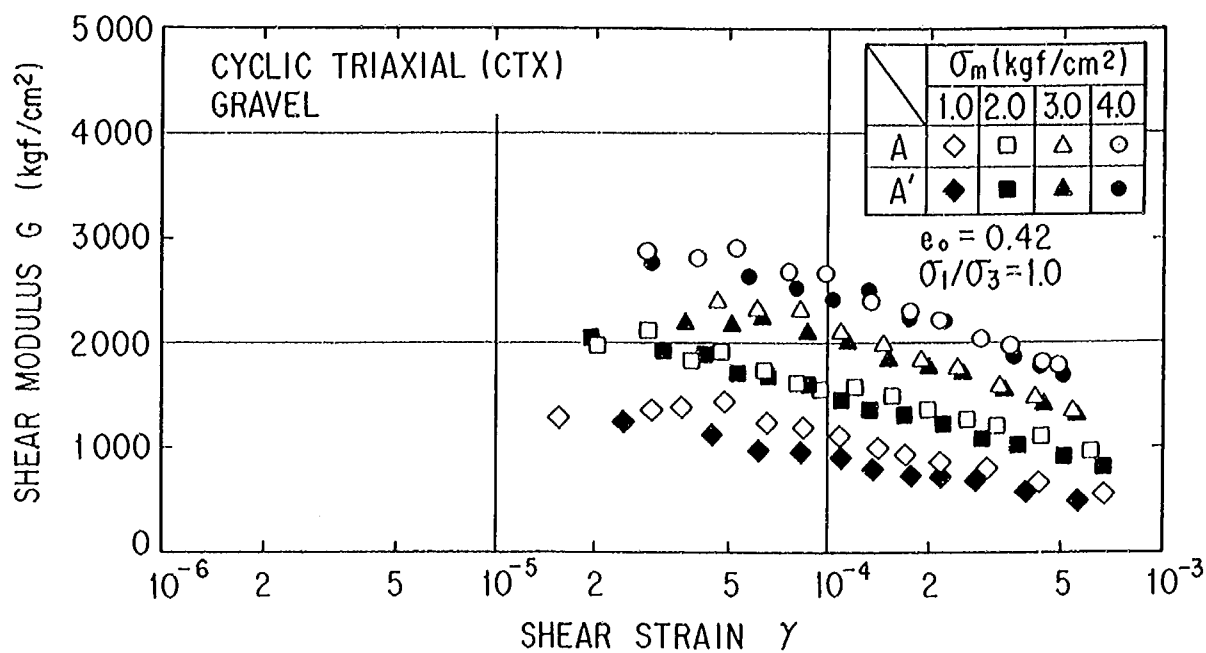


図- 6.26 (a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, 再現性, CTX, $e_0 = 0.42$

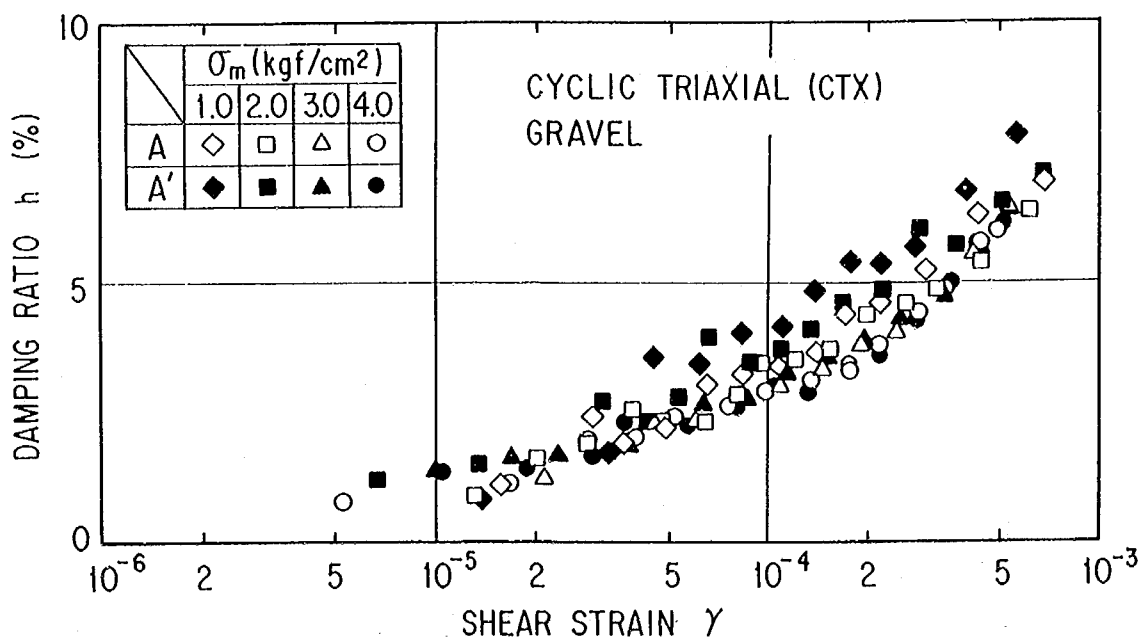


図- 6.26 (b) 減衰定数とせん断ひずみの関係, 再現性, CTX, $e_0 = 0.42$

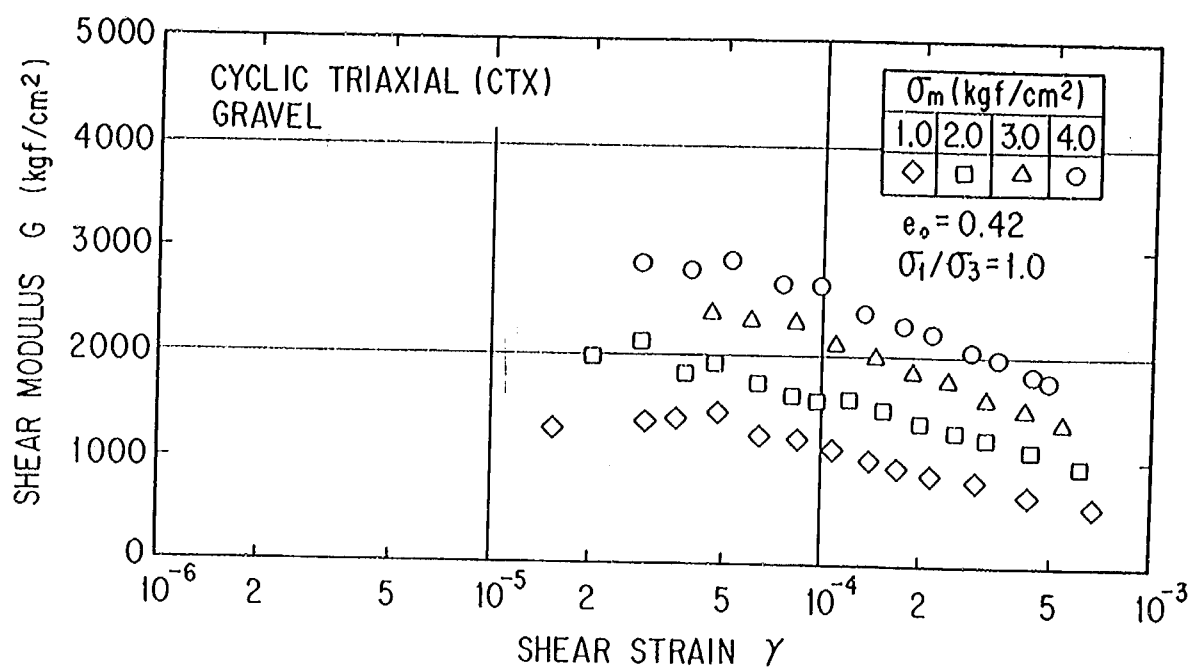


図- 6.27 (a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTX, $e_0 = 0.42$

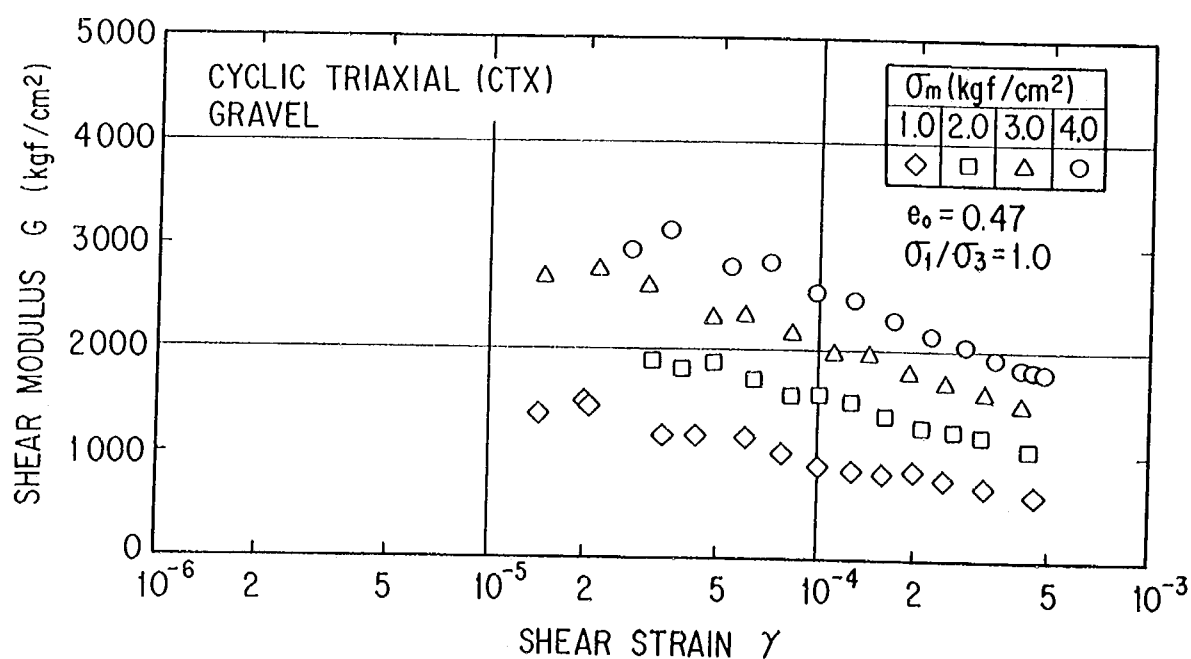


図- 6.27 (b) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTX, $e_0 = 0.47$

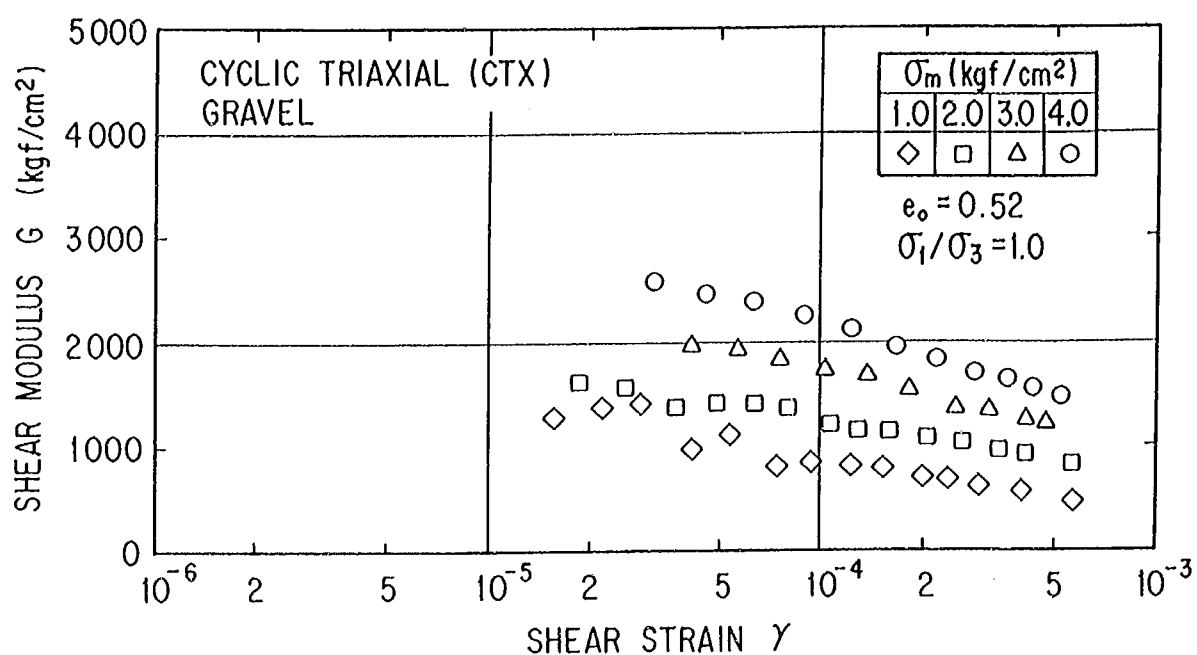


図- 6.27 (c) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTX, $e_o = 0.52$

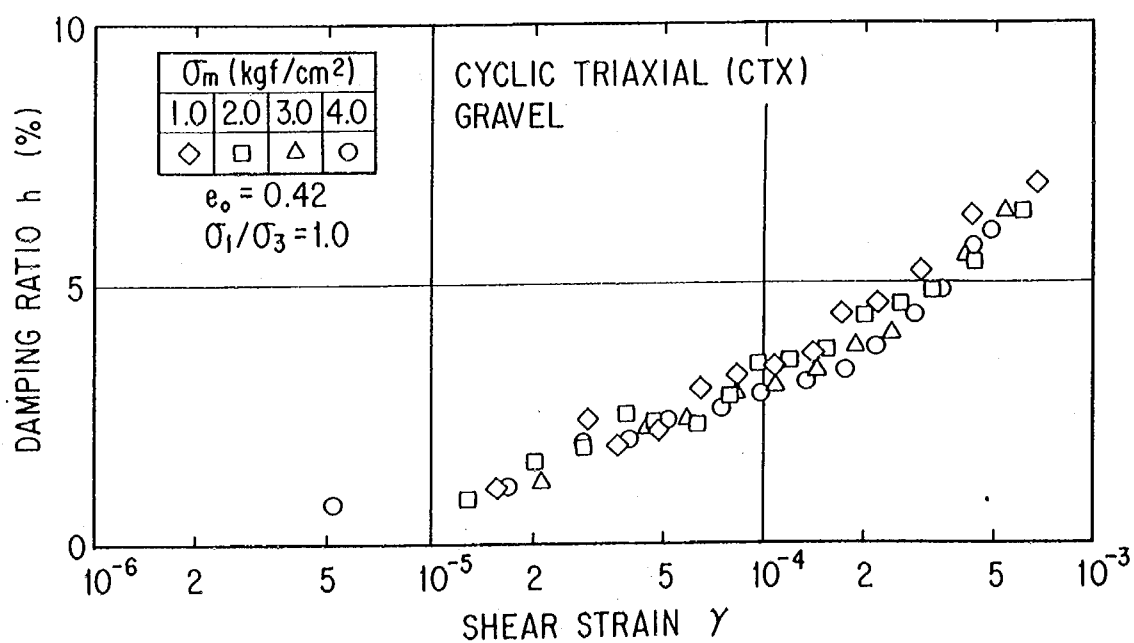


図- 6.28 (a) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTX, $e_o = 0.42$

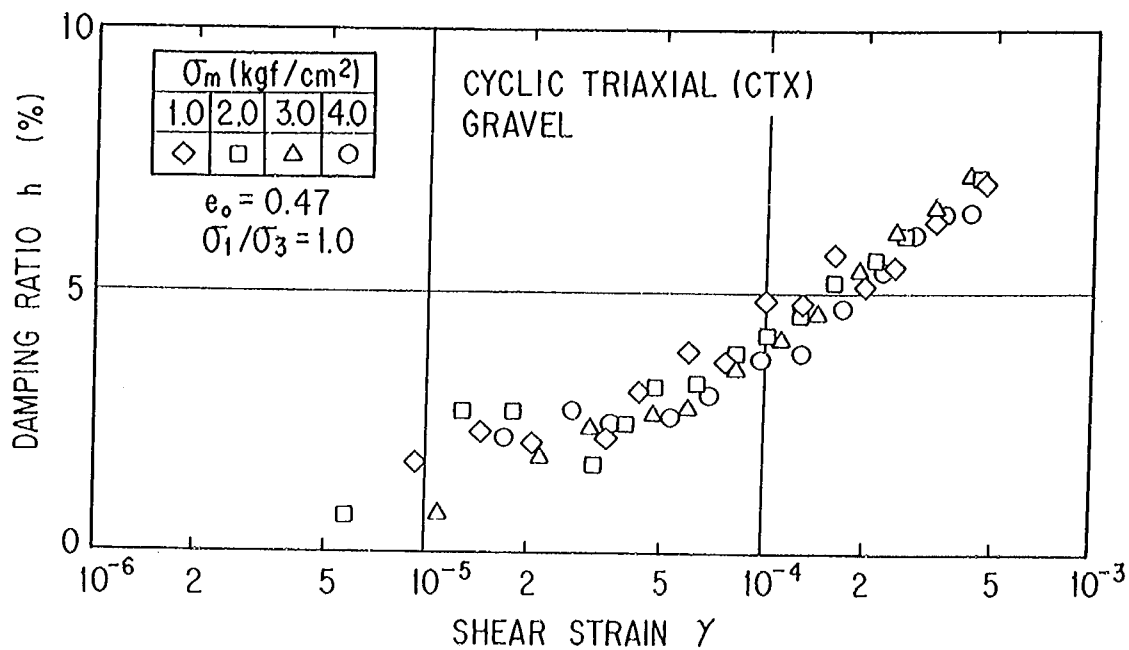


図- 6.28 (b) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTX, $e_0 = 0.47$

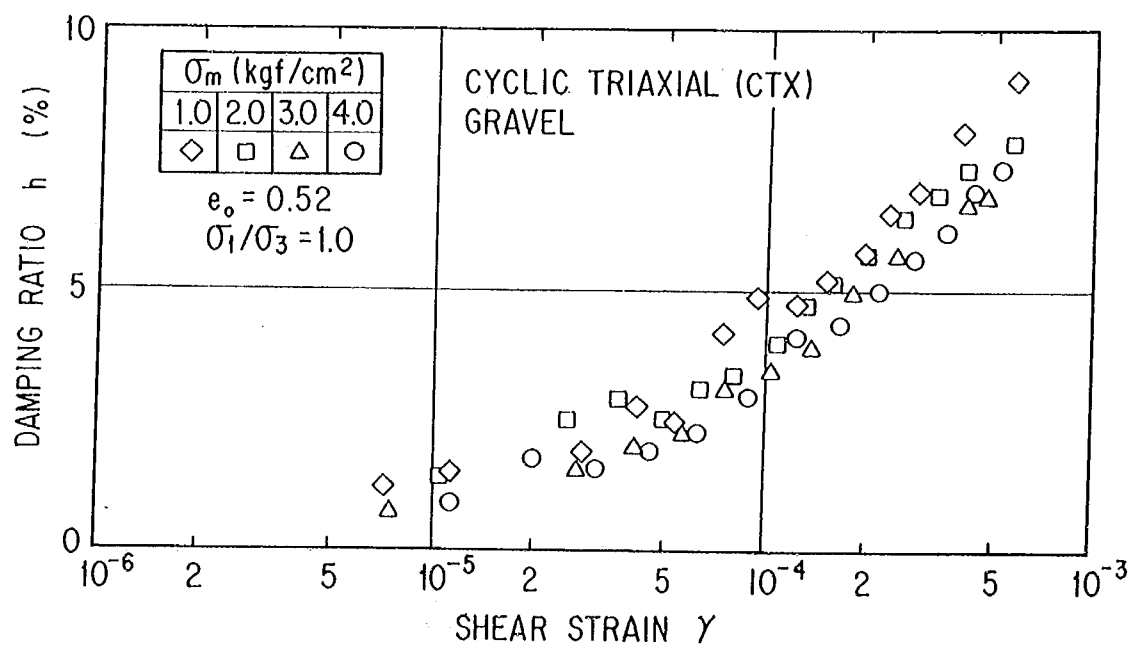


図- 6.28 (c) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTX, $e_0 = 0.52$

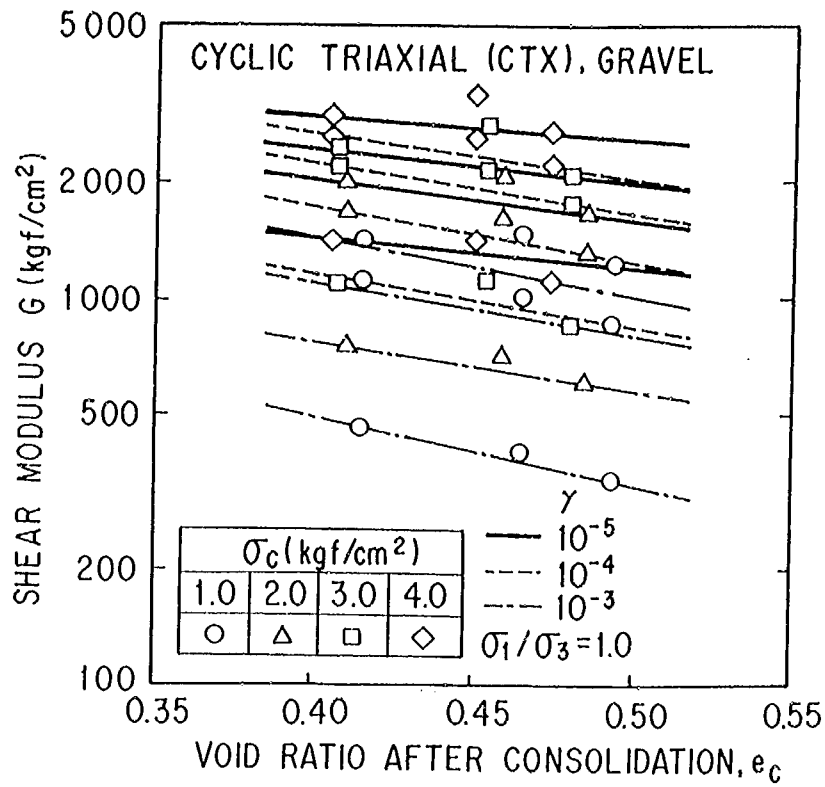


図- 6.29 セン断弾性係数と圧密後間隙比の関係, CTX

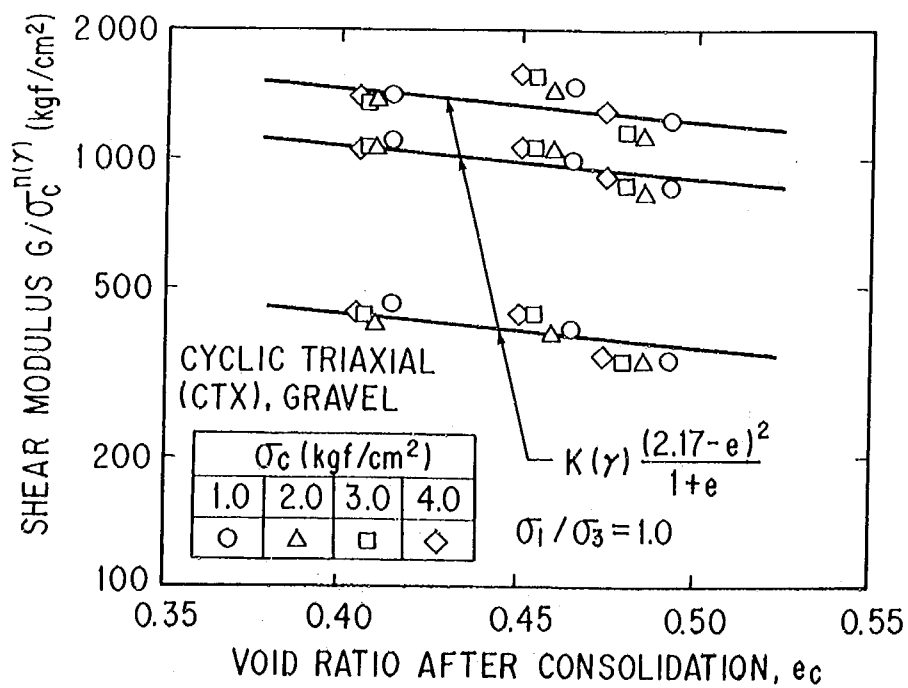


図- 6.30 セン断弾性係数と圧密後間隙比の関係, CTX

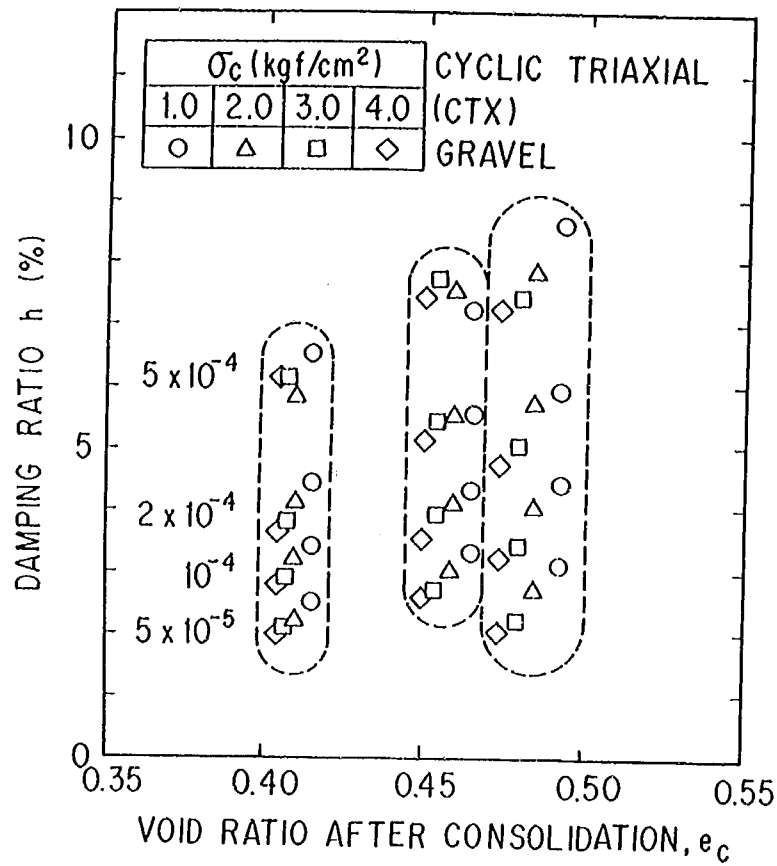


図- 6.31 減衰定数と圧密後間隙比の関係, CTX

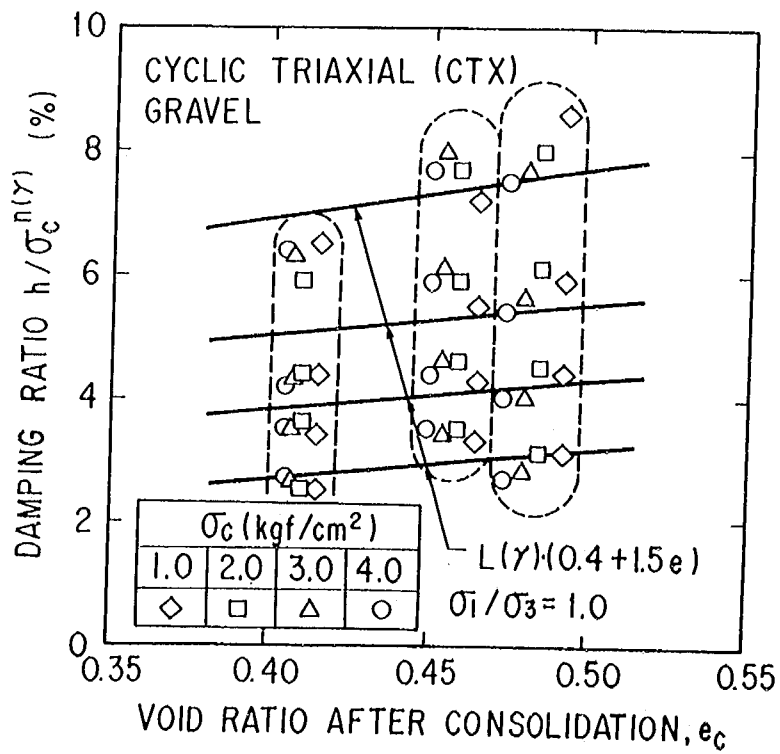


図- 6.32 減衰定数と圧密後間隙比の関係, CTX

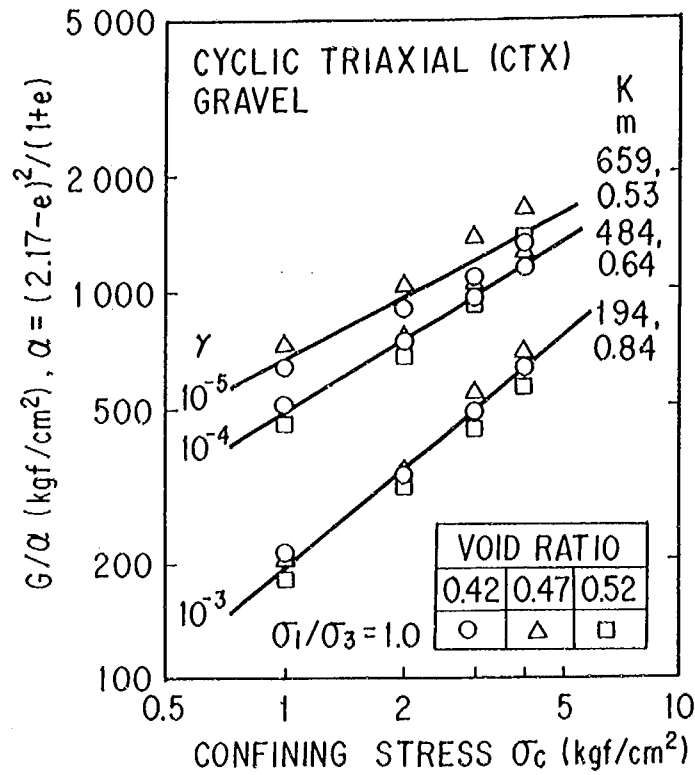


図-6.33 せん断弾性係数と拘束圧の関係, CTX

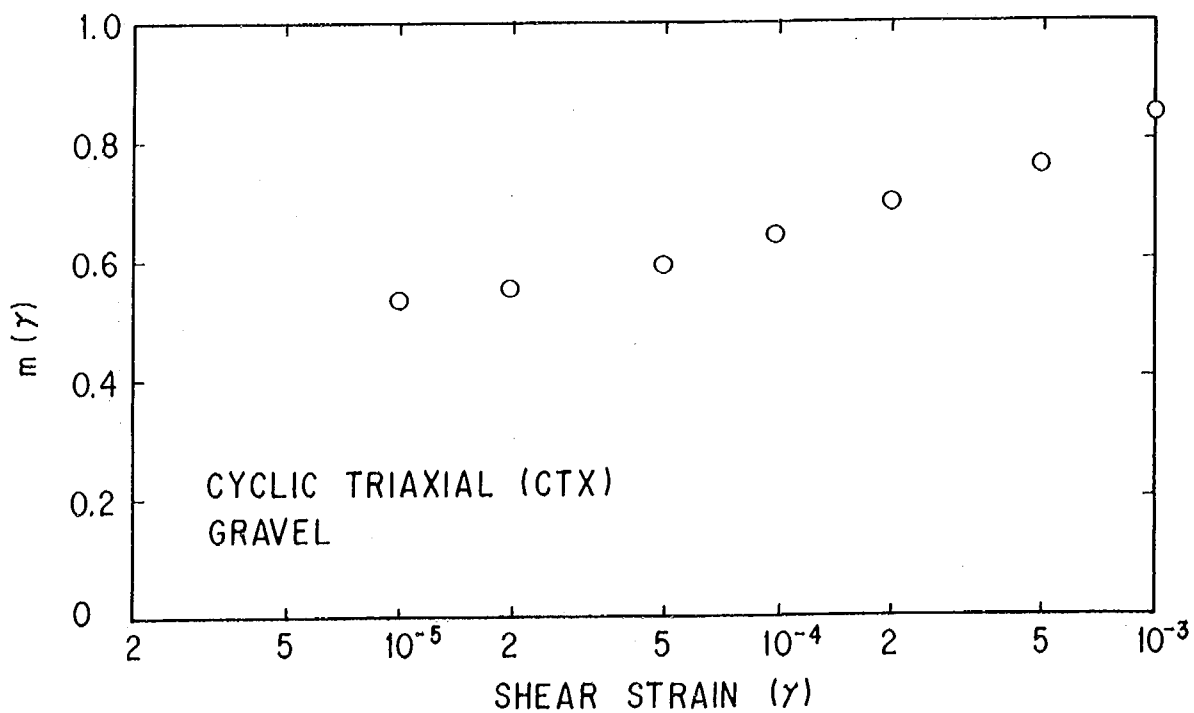


図-6.34 $m(r)$ とせん断ひずみの関係, CTX, $e_0 = 0.42 \sim 0.52$

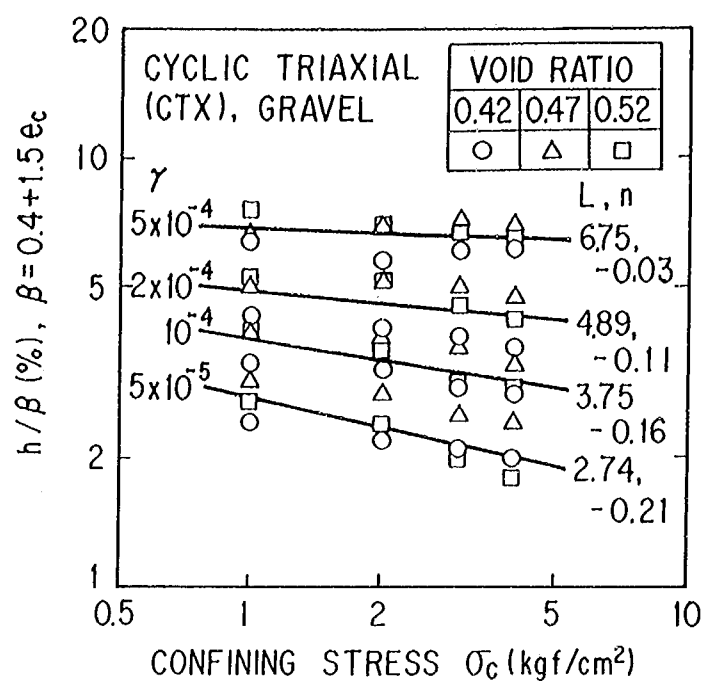


図- 6.35 減衰定数と拘束圧の関係, CTX

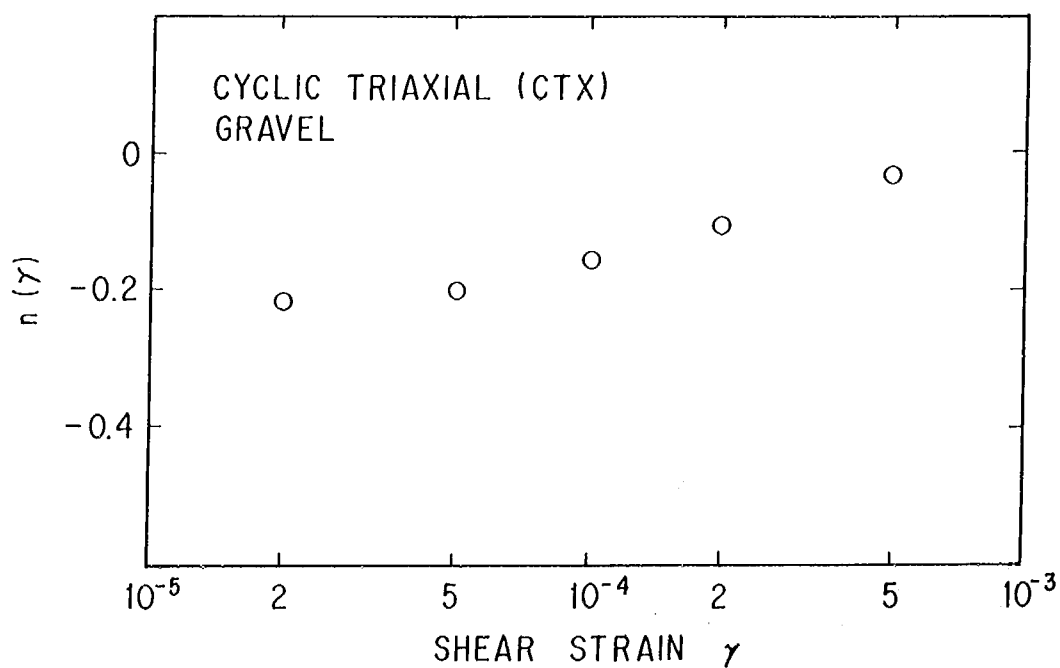


図- 6.36 $n(\gamma)$ とせん断ひずみの関係, CTX, $e_0 = 0.42 \sim 0.52$

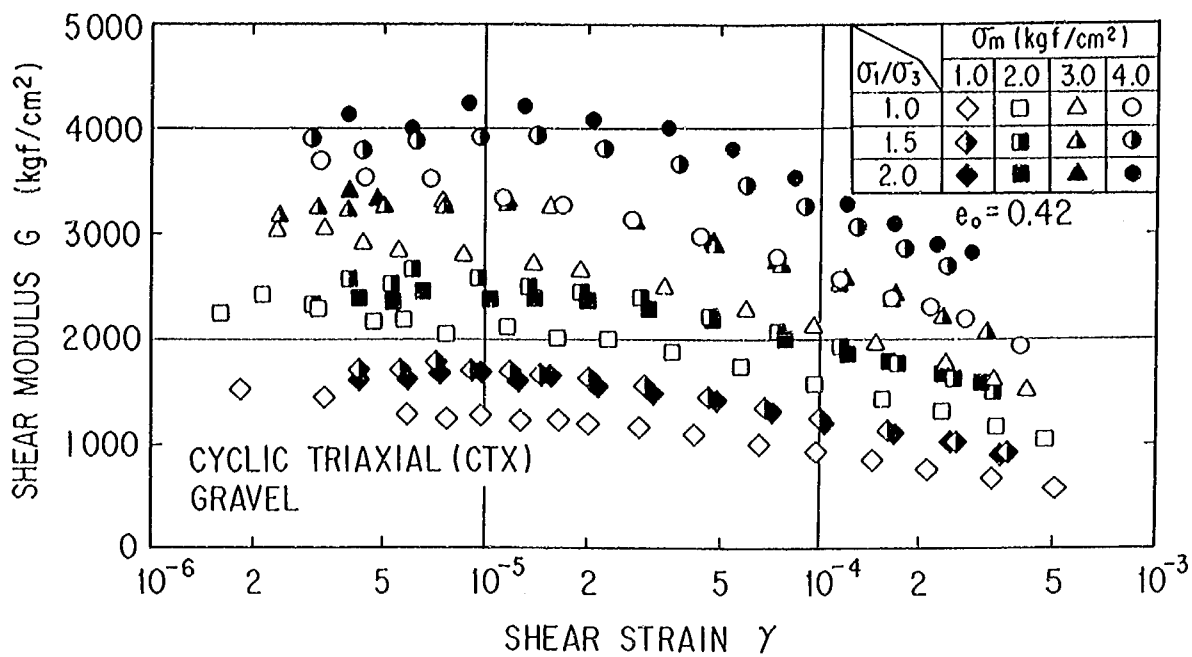


図- 6.37 セン断弾性係数とせん断ひずみの関係，主応力比の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

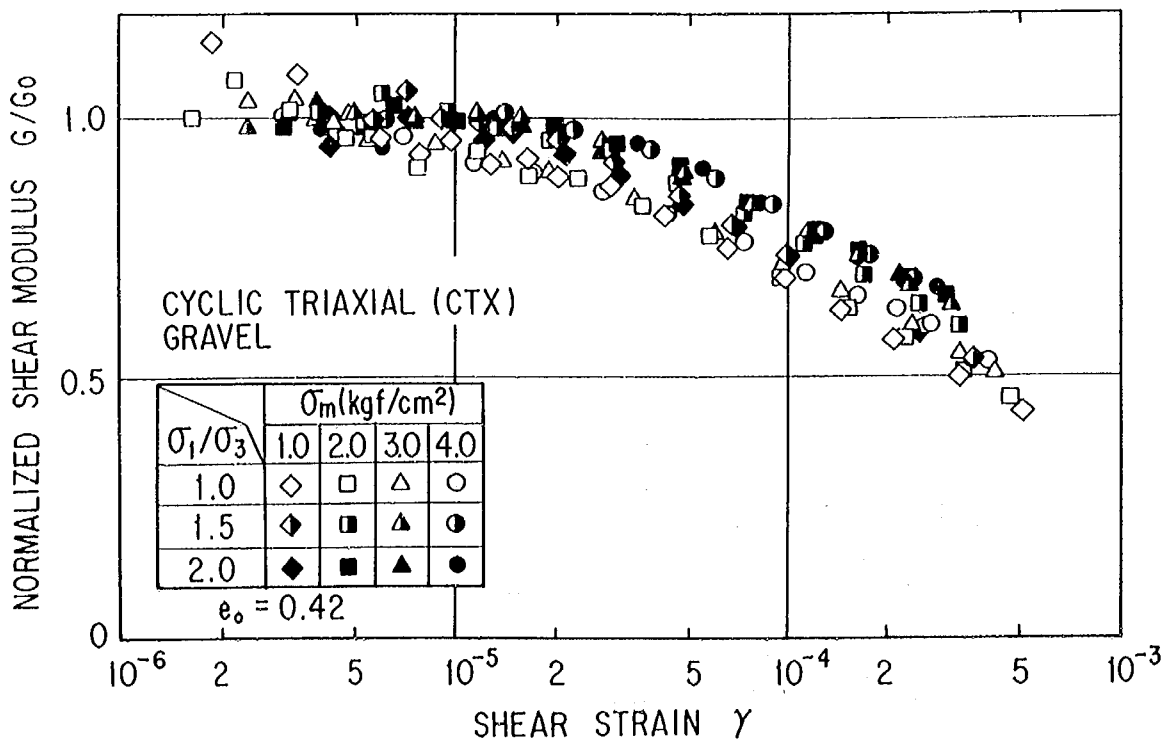


図- 6.38 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係，主応力比の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

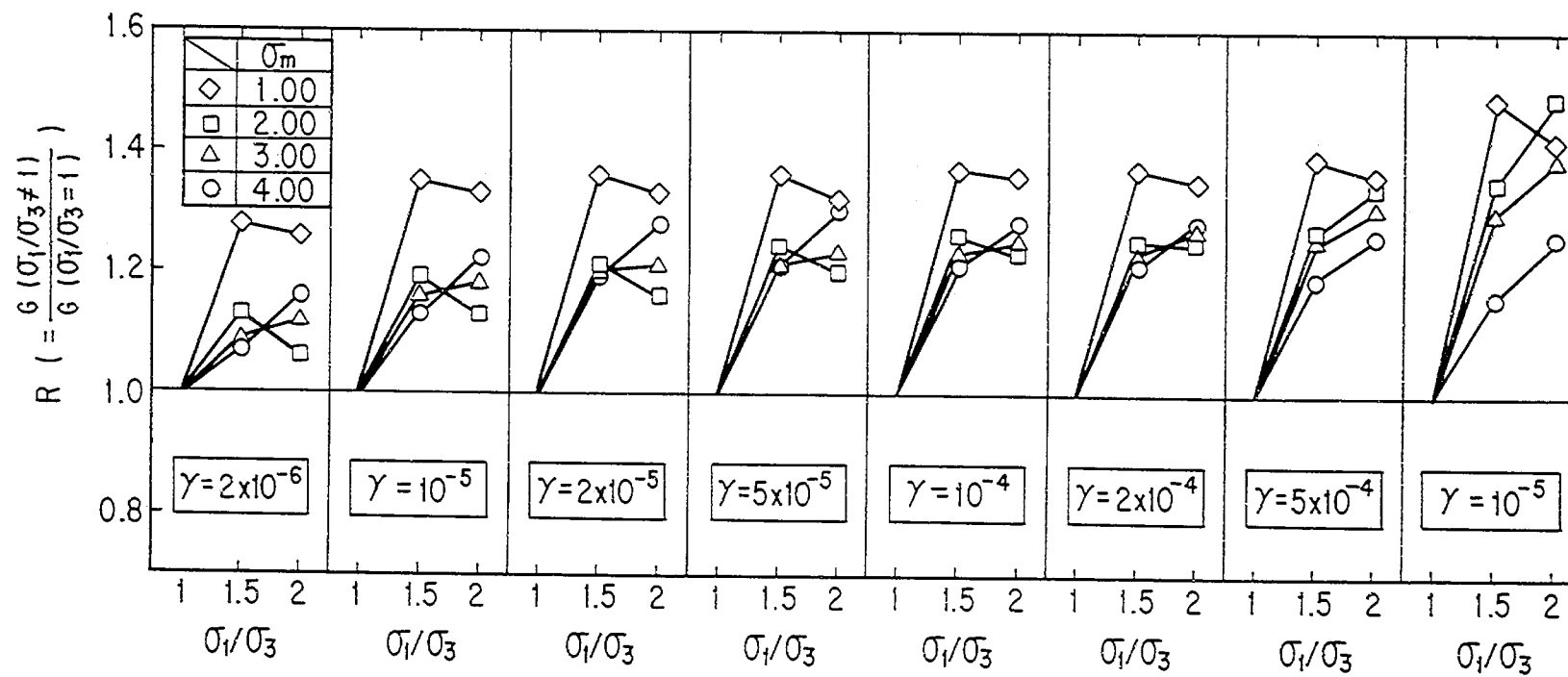


図- 6.39 G に与える σ_1/σ_3 の影響, CTX

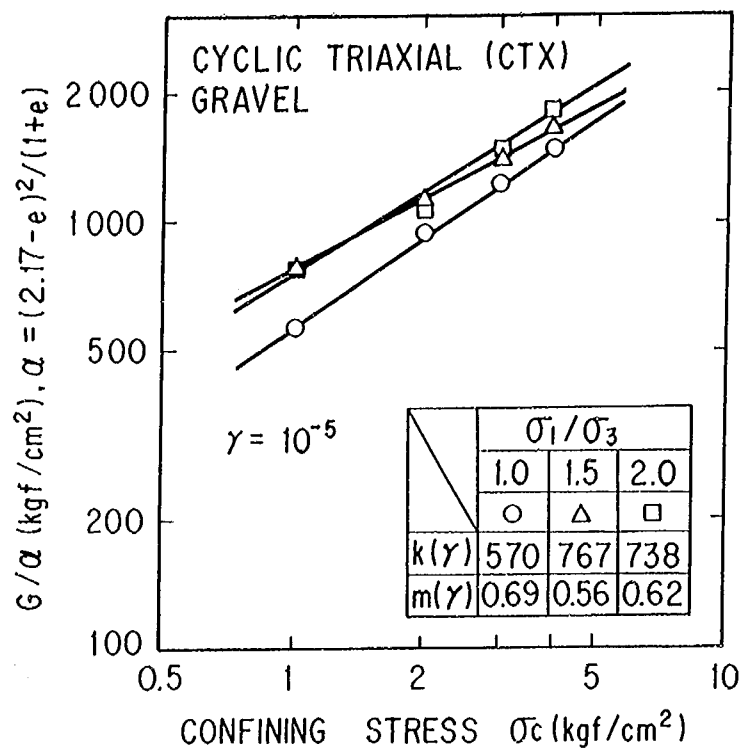


図-6.40(a) せん断弾性係数と拘束圧の関係，主応力比の影響，CTX, $\gamma = 10^{-5}$

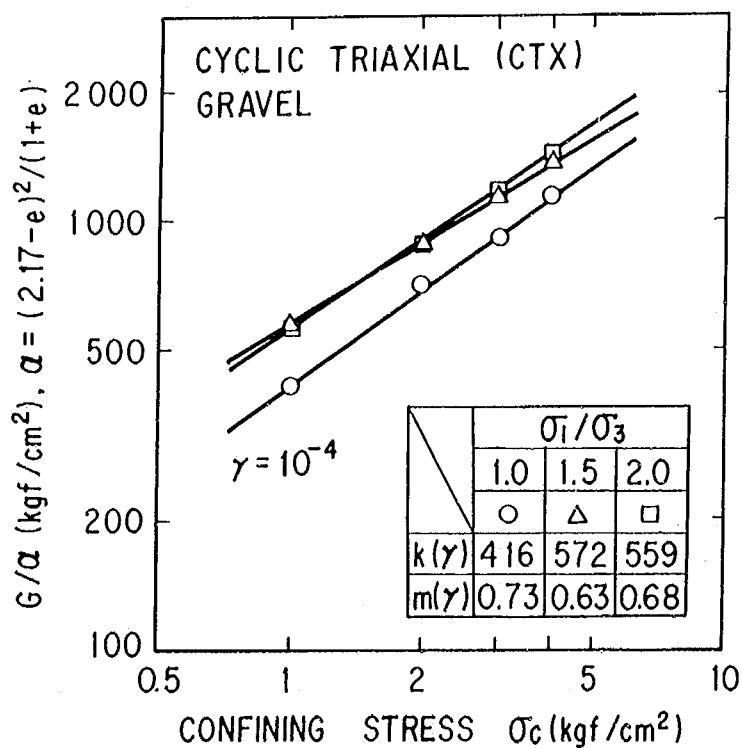


図-6.40(b) せん断弾性係数と拘束圧の関係，主応力比の影響，CTX, $\gamma = 10^{-4}$

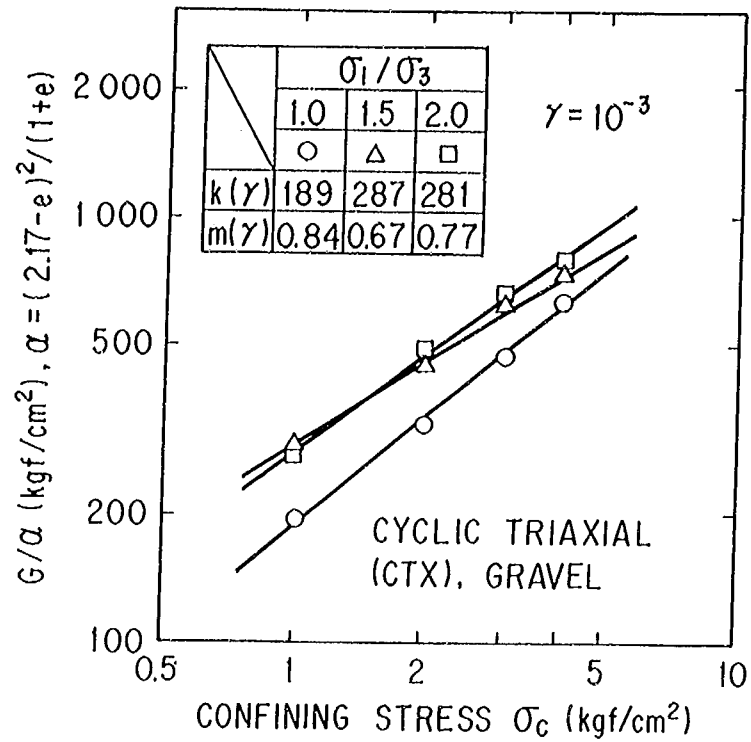


図-6.40(c) せん断弾性係数と拘束圧の関係，主応力比の影響，CTX, $\gamma = 10^{-3}$

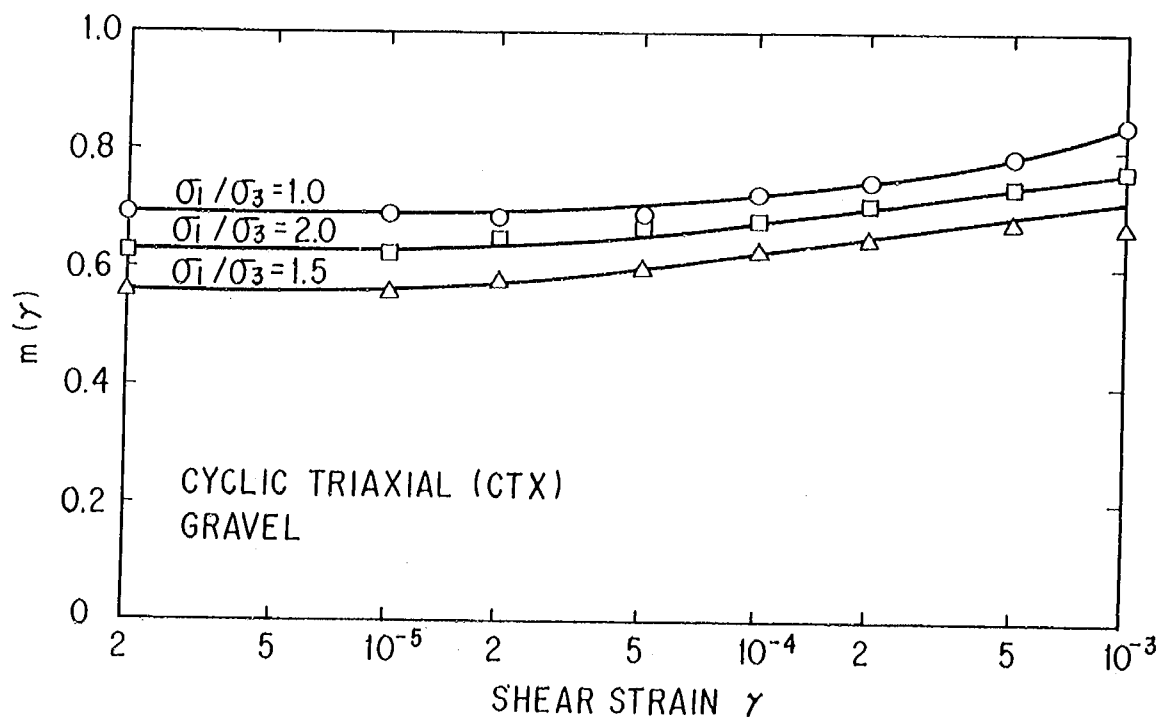


図-6.41 $m(\gamma)$ とせん断ひずみの関係，CTX

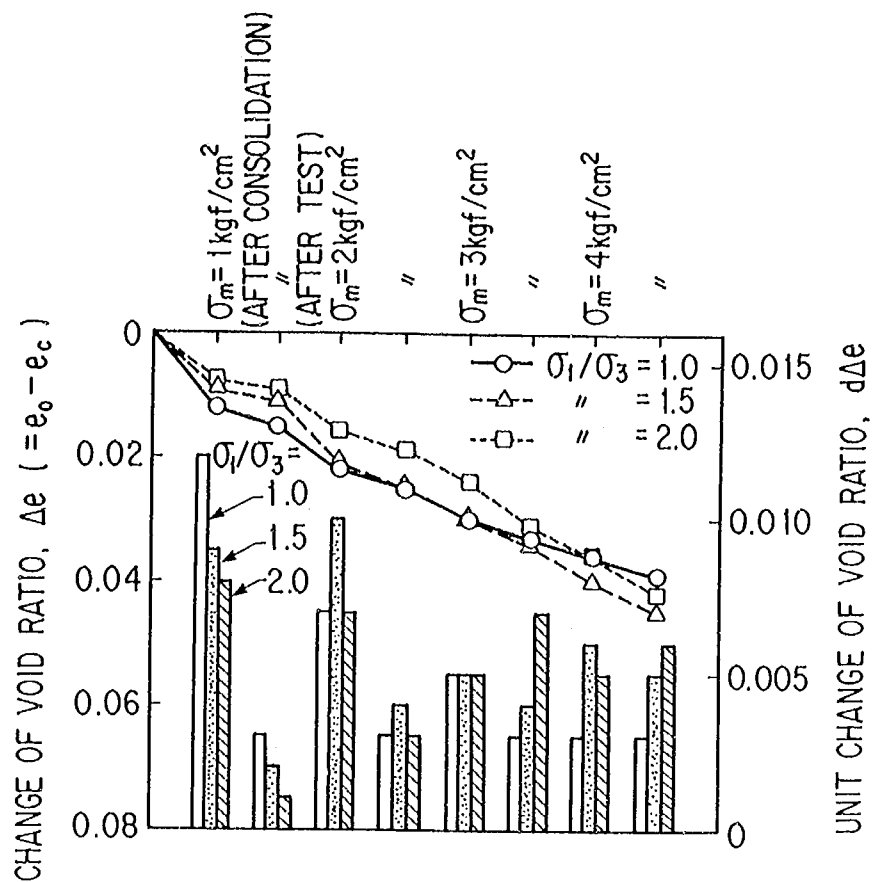


図-6.42 試験中の間隙比の変化 (CTX)

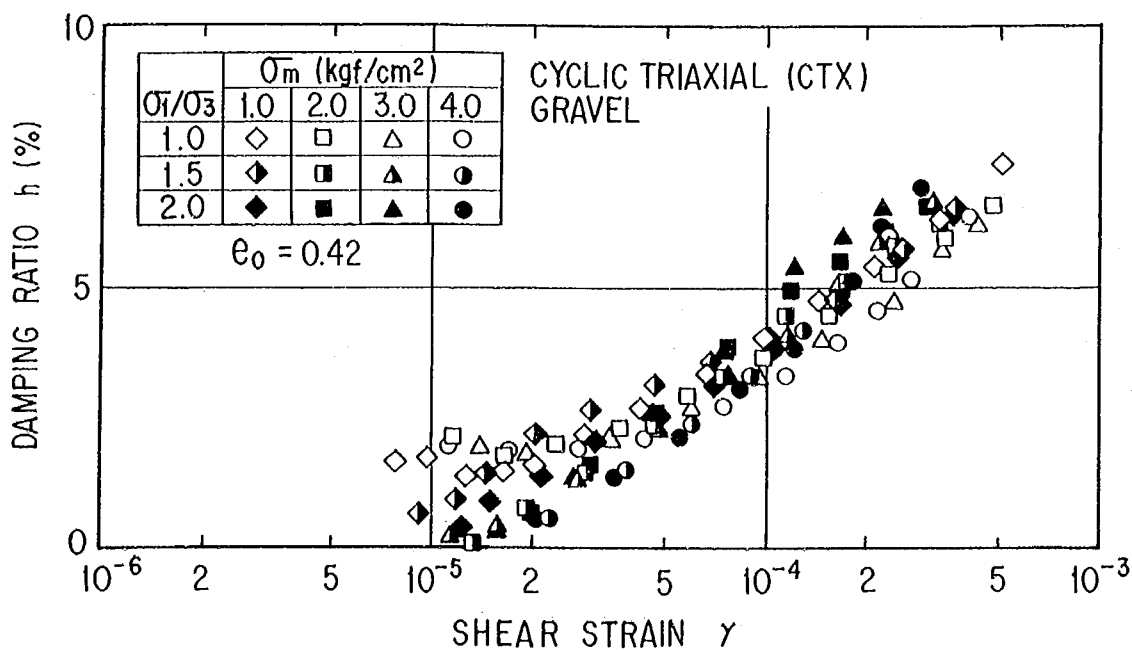


図-6.43 減衰定数とせん断ひずみの関係, 主応力比の影響, CTX, $e_0 = 0.42$

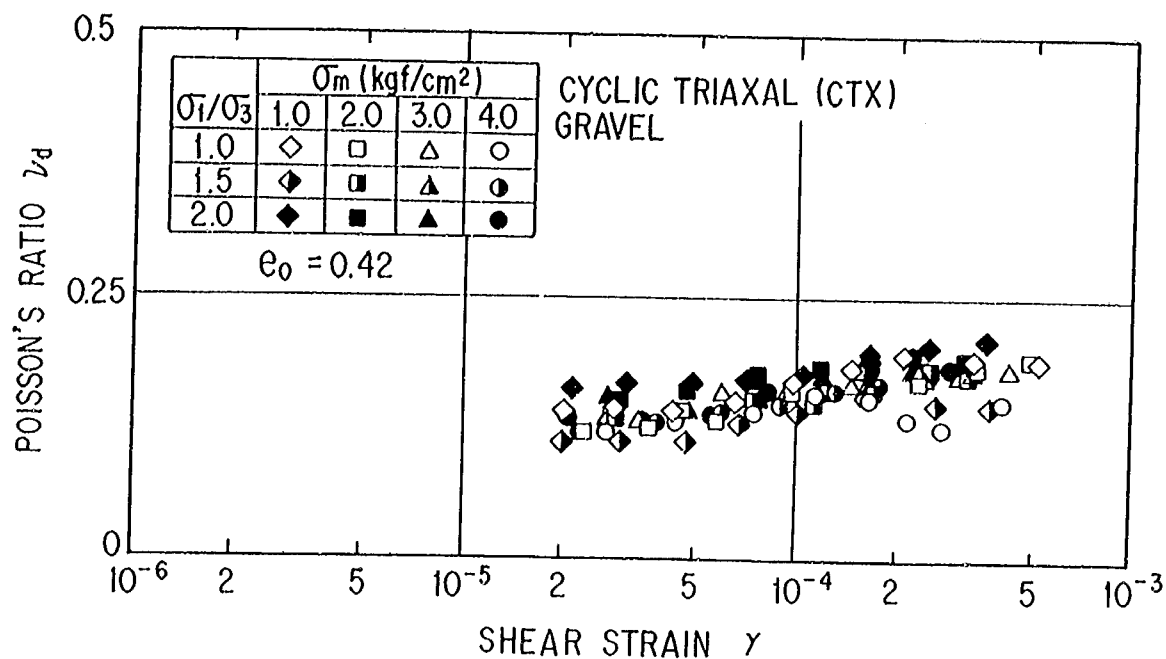


図-6.44 ポアソン比とせん断ひずみの関係，主応力比の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

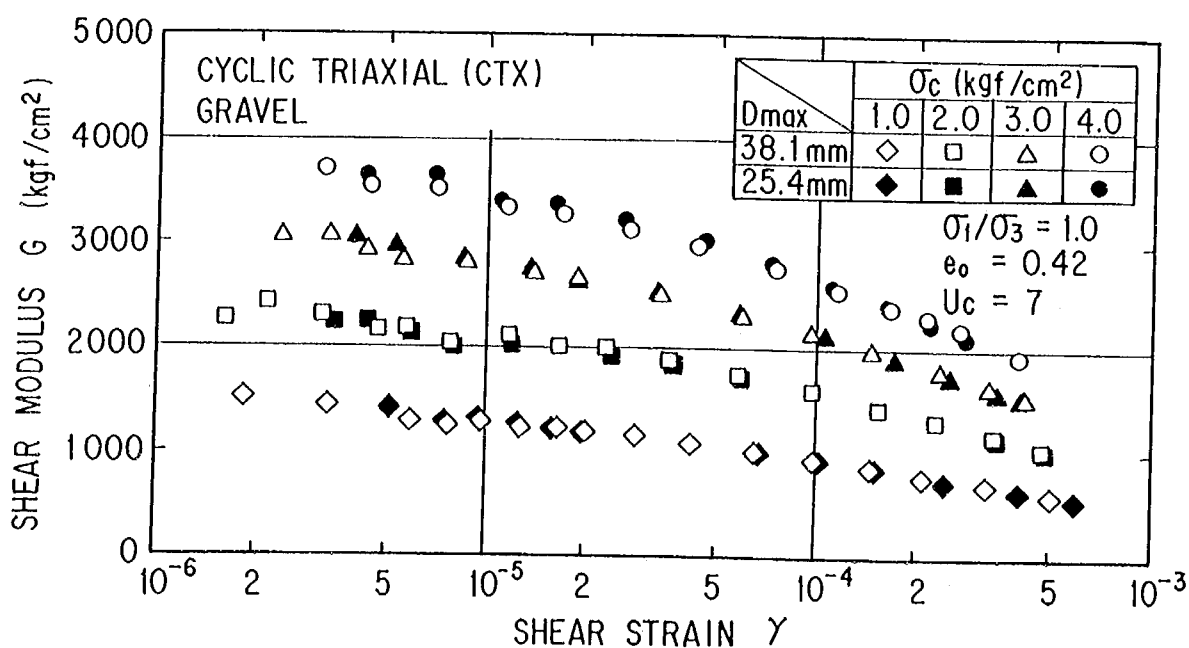
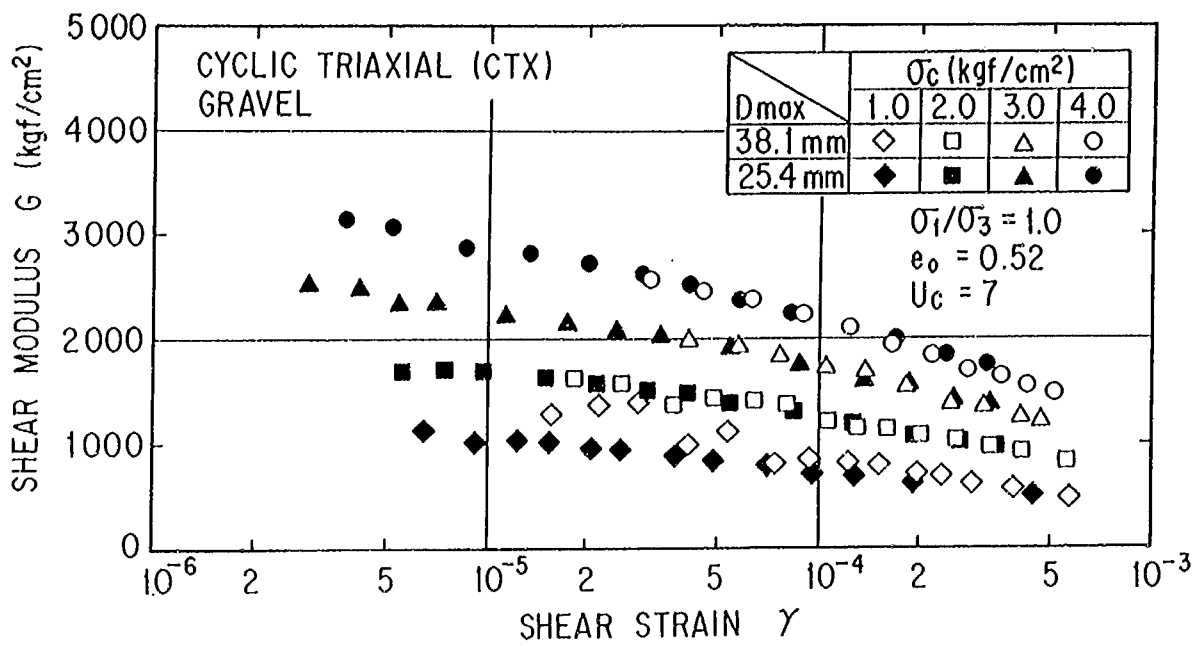
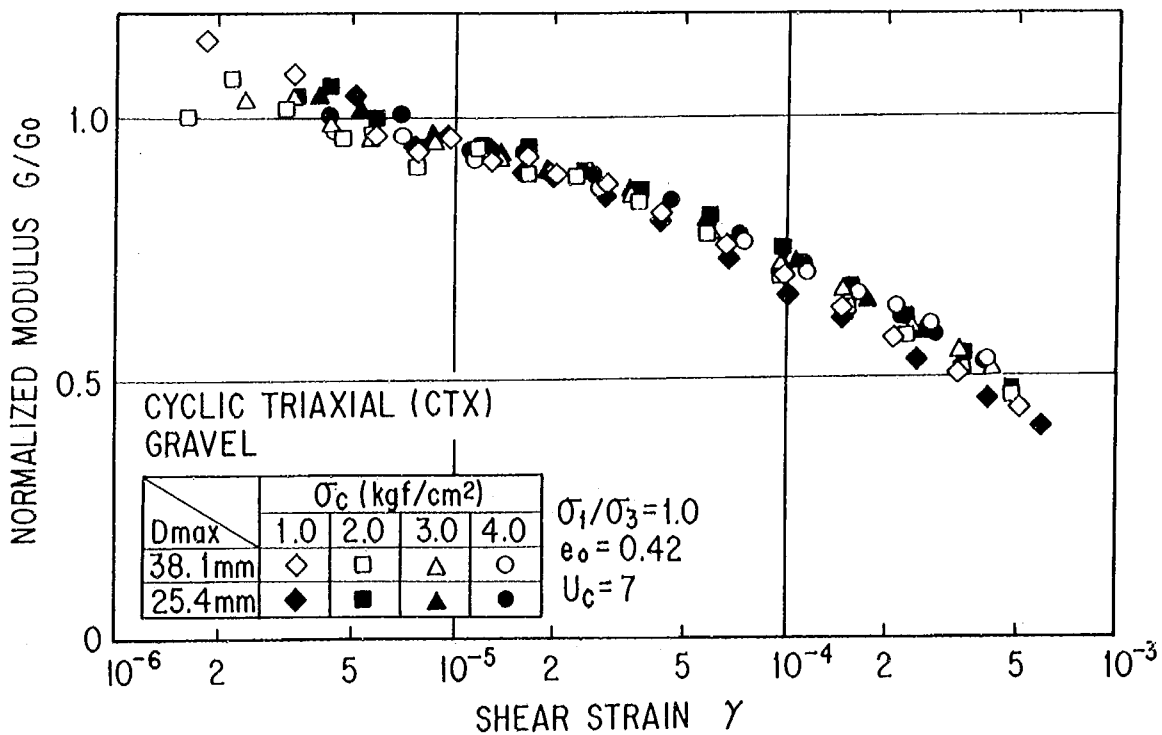


図-6.45(a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.42$



図一 6.45(b) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.52$



図一 6.46 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

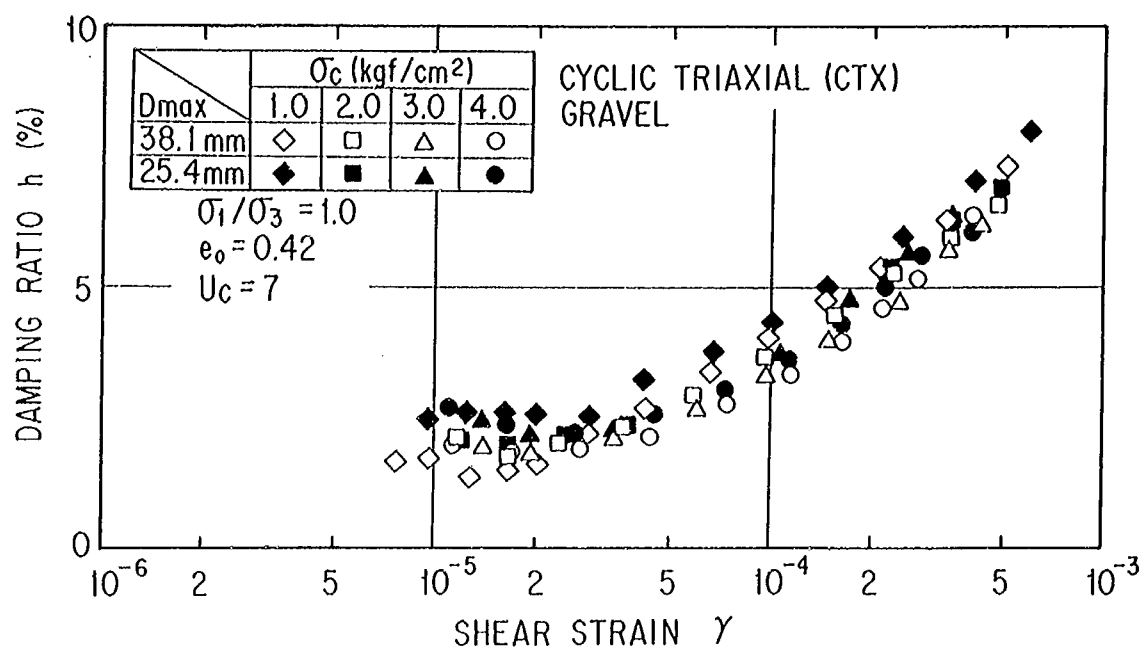


図- 6.47 (a) 減衰定数とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

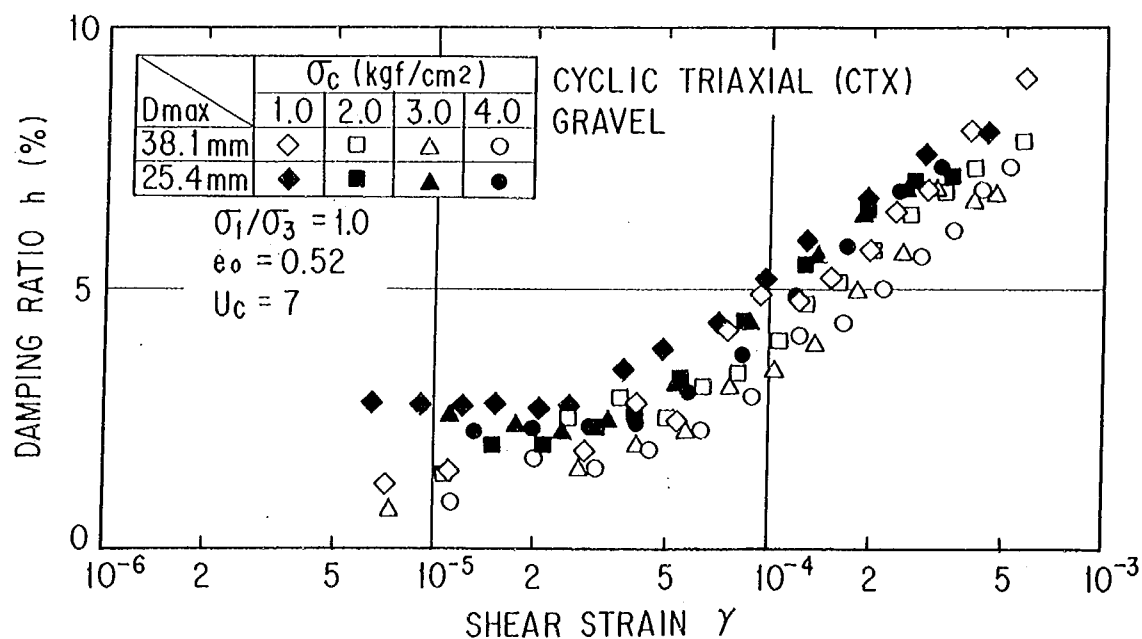


図- 6.47 (b) 減衰定数とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.52$

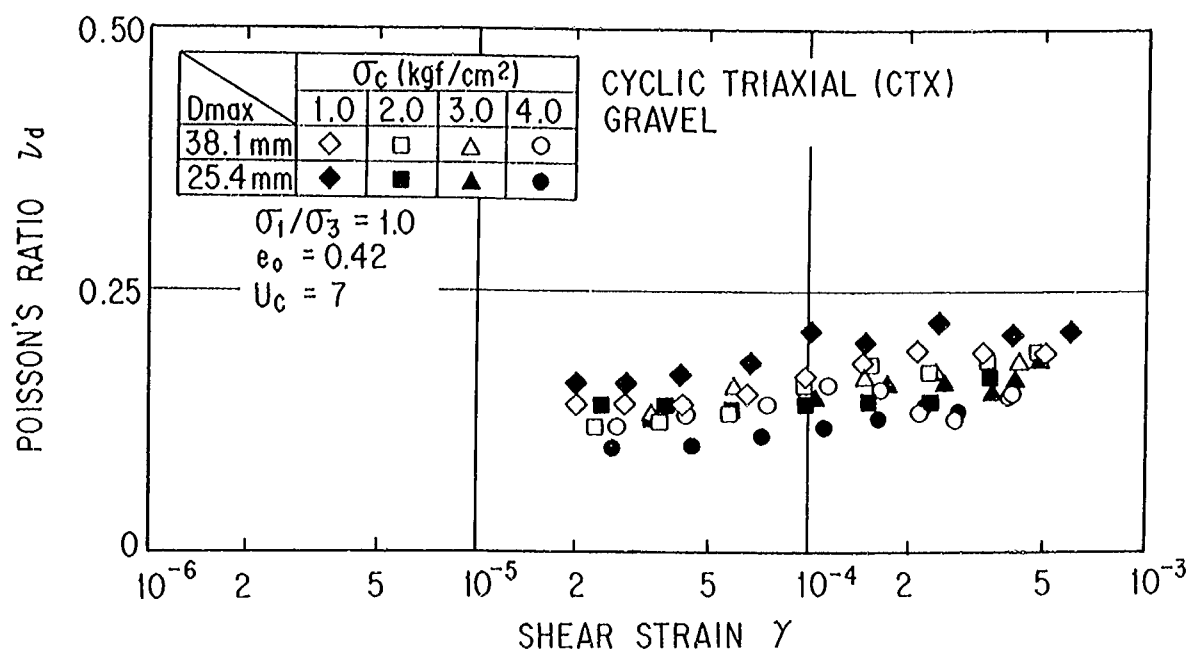


図- 6.48(a) ポアソン比とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

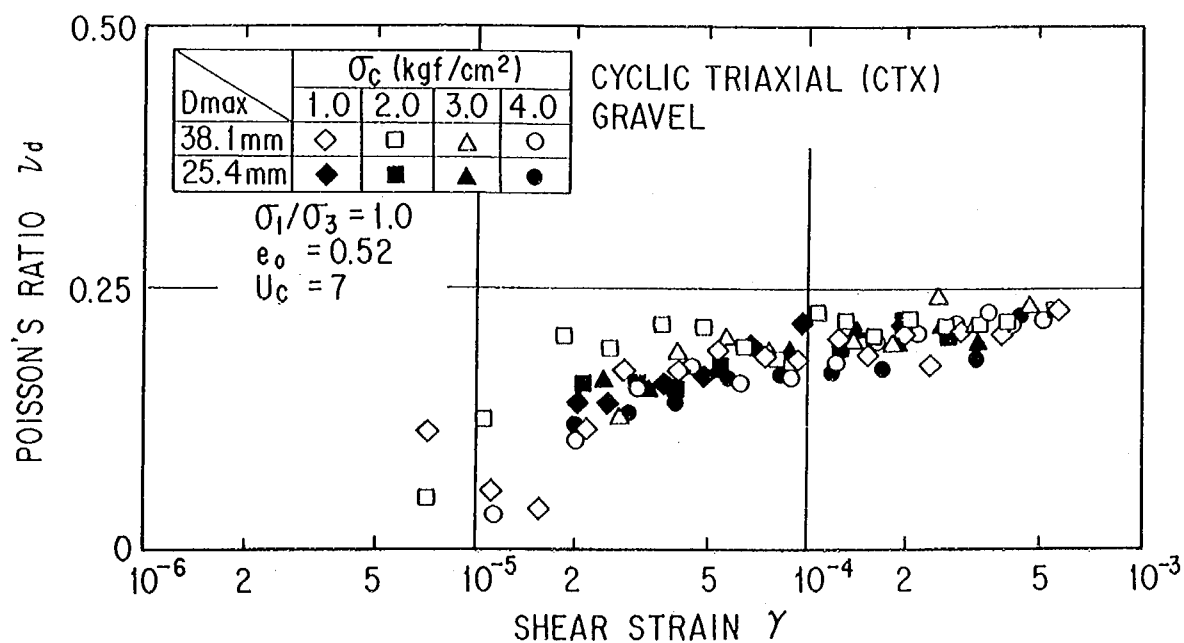


図- 6.48(b) ポアソン比とせん断ひずみの関係，最大粒径の影響，CTX， $e_0 = 0.52$

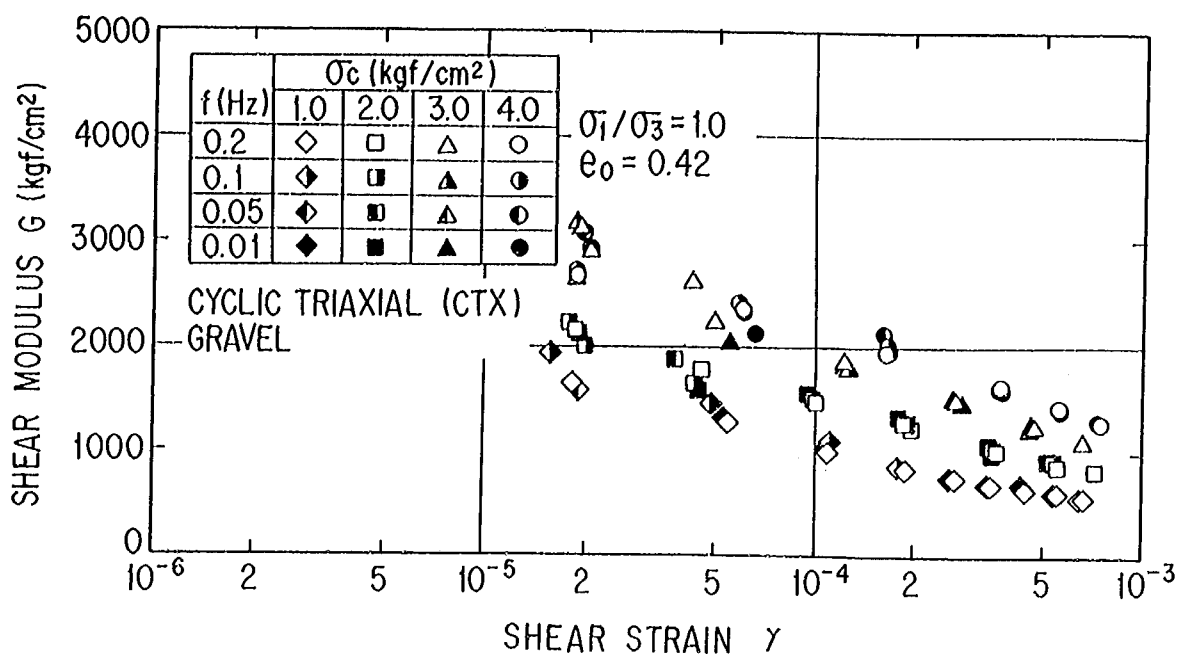


図- 6.49(a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，繰返し周波数の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

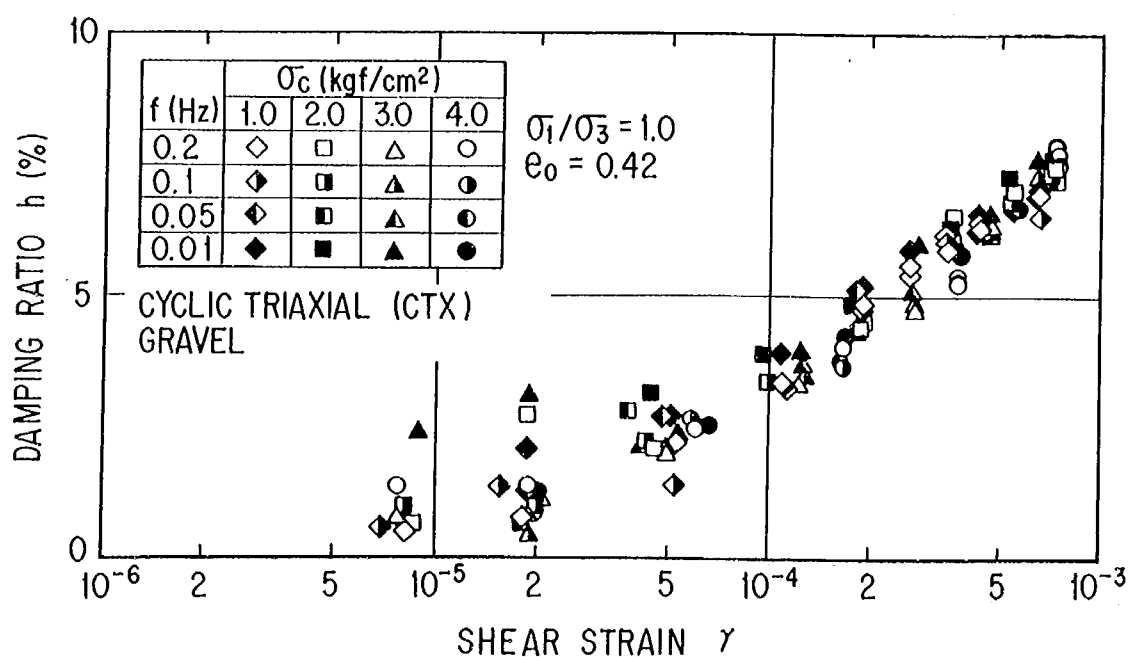


図- 6.49(b) 減衰定数とせん断ひずみの関係，繰返し周波数の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

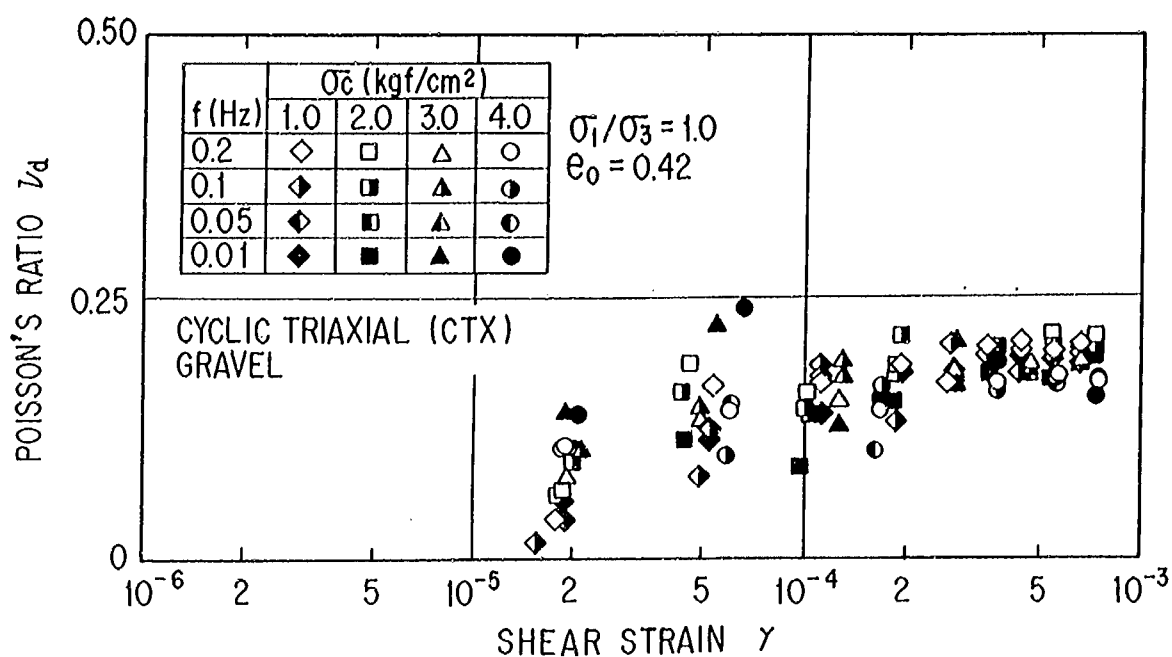


図- 6.49(c) ポアソン比とせん断ひずみの関係，繰返し周波数の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

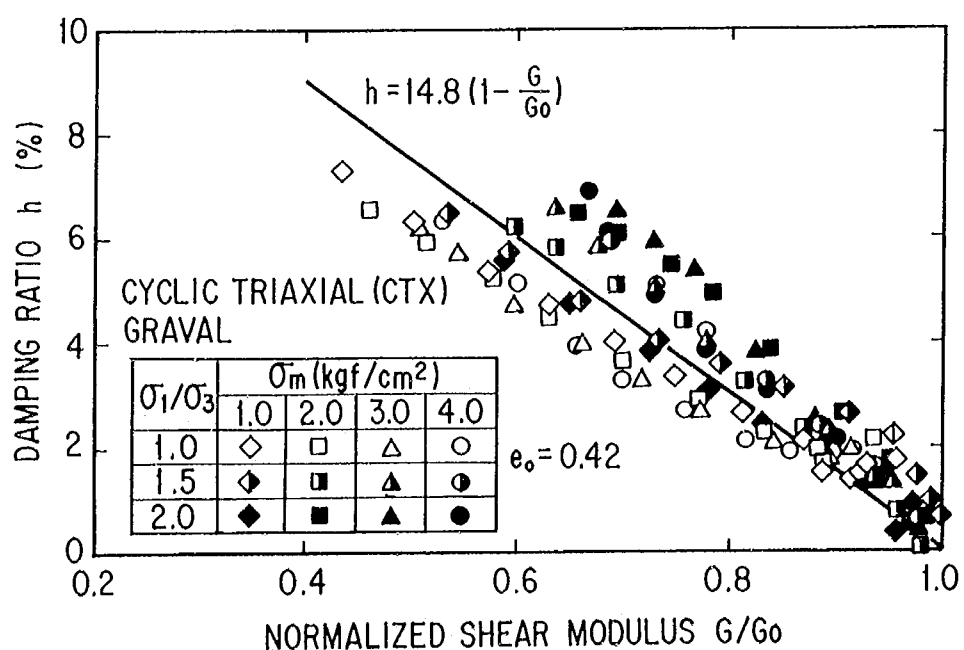


図- 6.50(a) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係，主応力比の影響，CTX， $e_0 = 0.42$

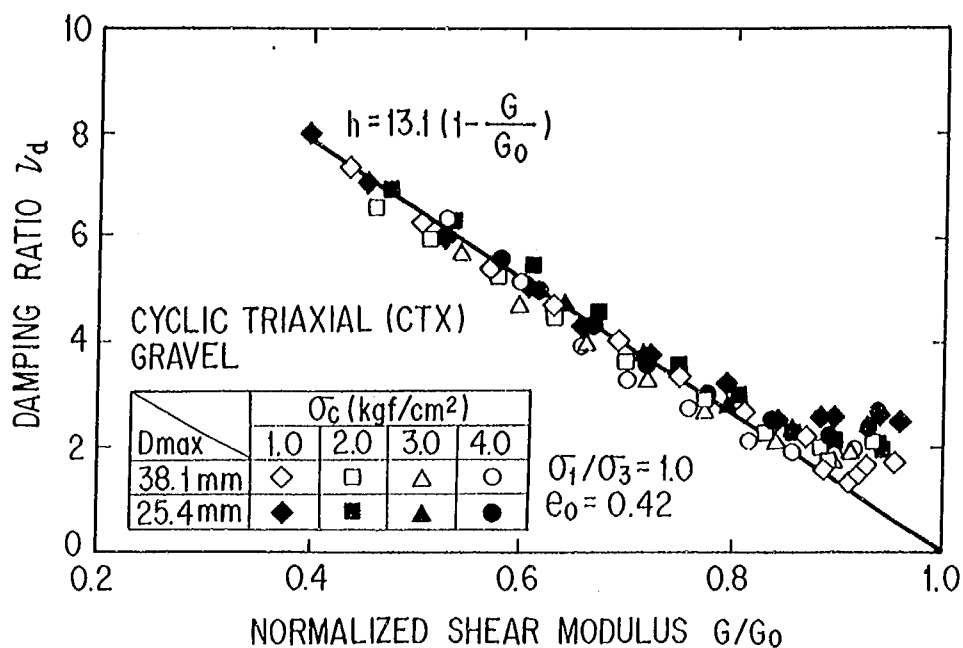


図-6.50(b) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, 粒度分布の影響, CTX, $e_0 = 0.42$

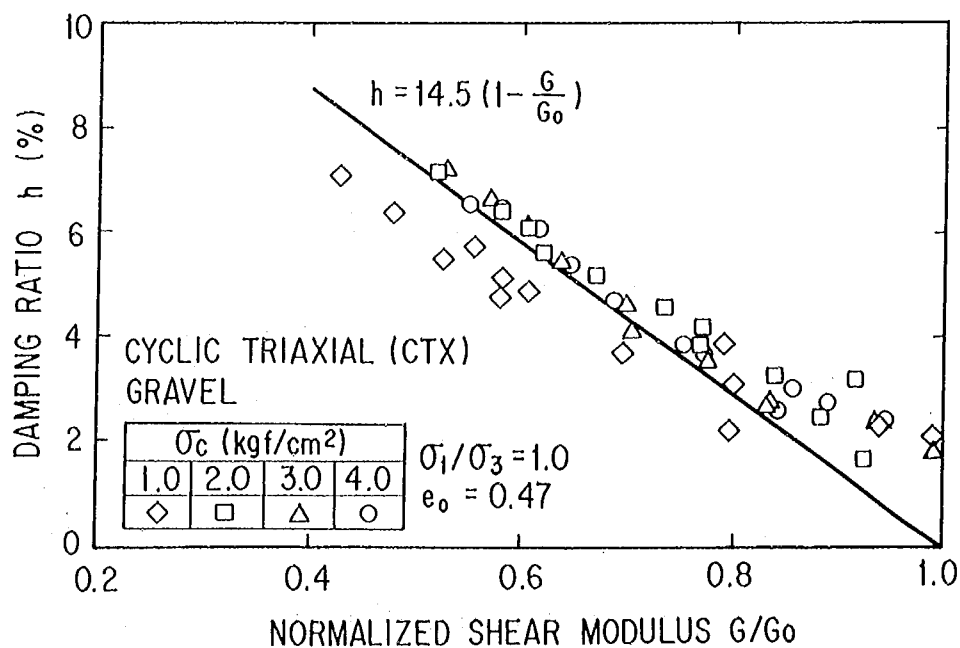


図-6.50(c) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, CTX, $e_0 = 0.47$

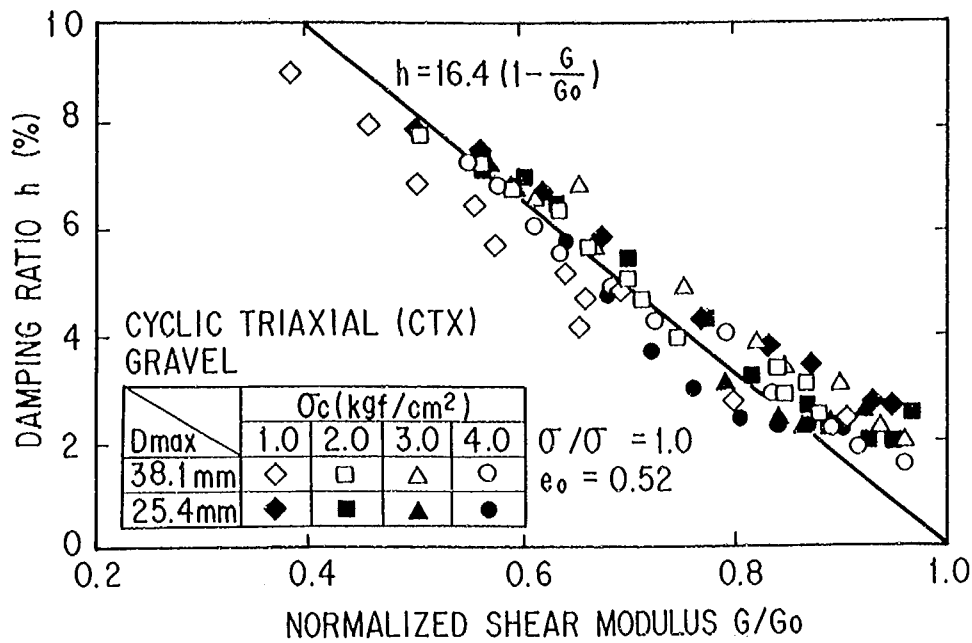


図- 6.50(d) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係，粒度分布の影響，CTX, $e_0 = 0.52$

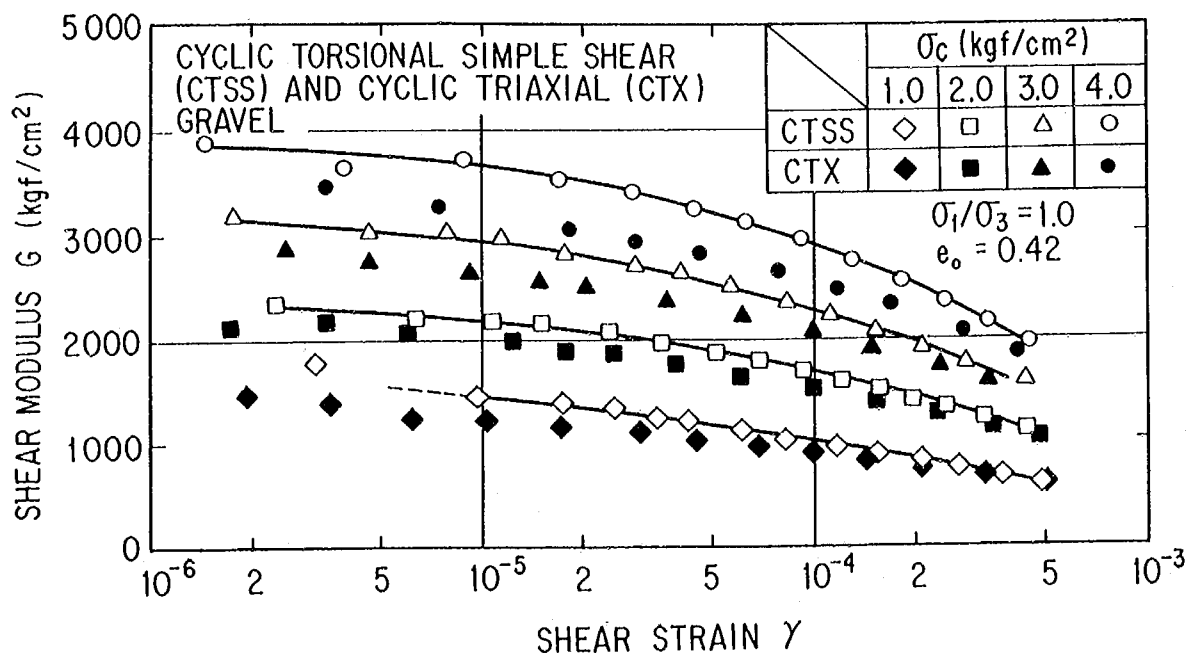


図- 6.51(a) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係，CTSSとCTX, $e_0 = 0.42$

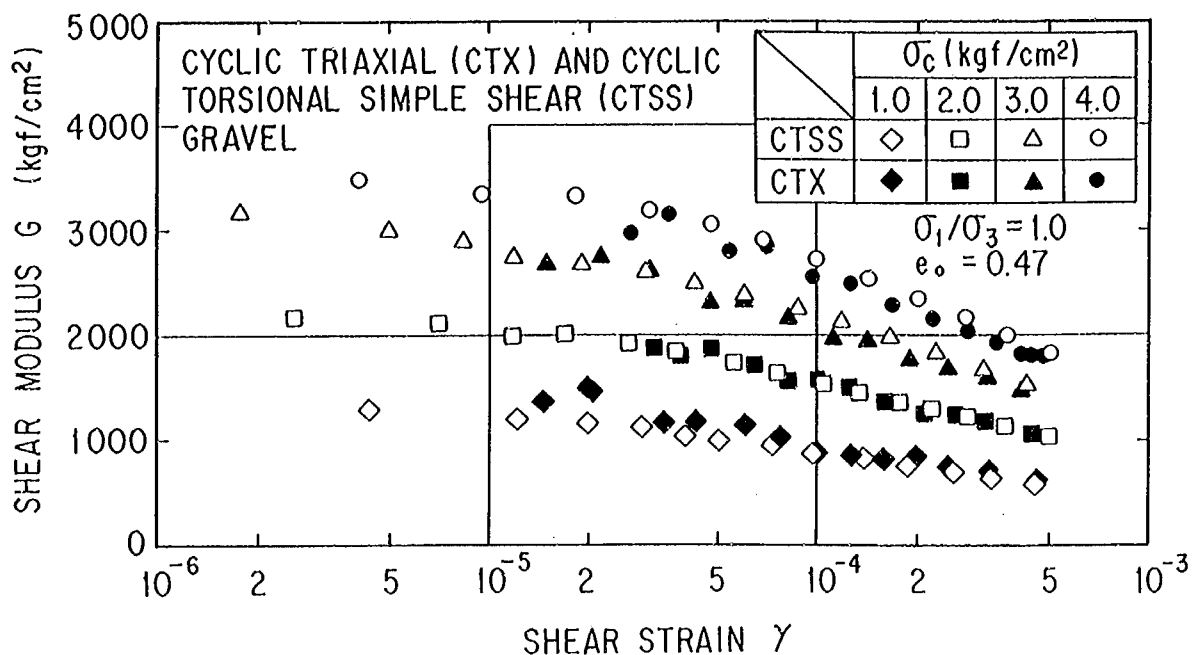


図- 6.51(b) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSSとCTX, $e_0 = 0.47$

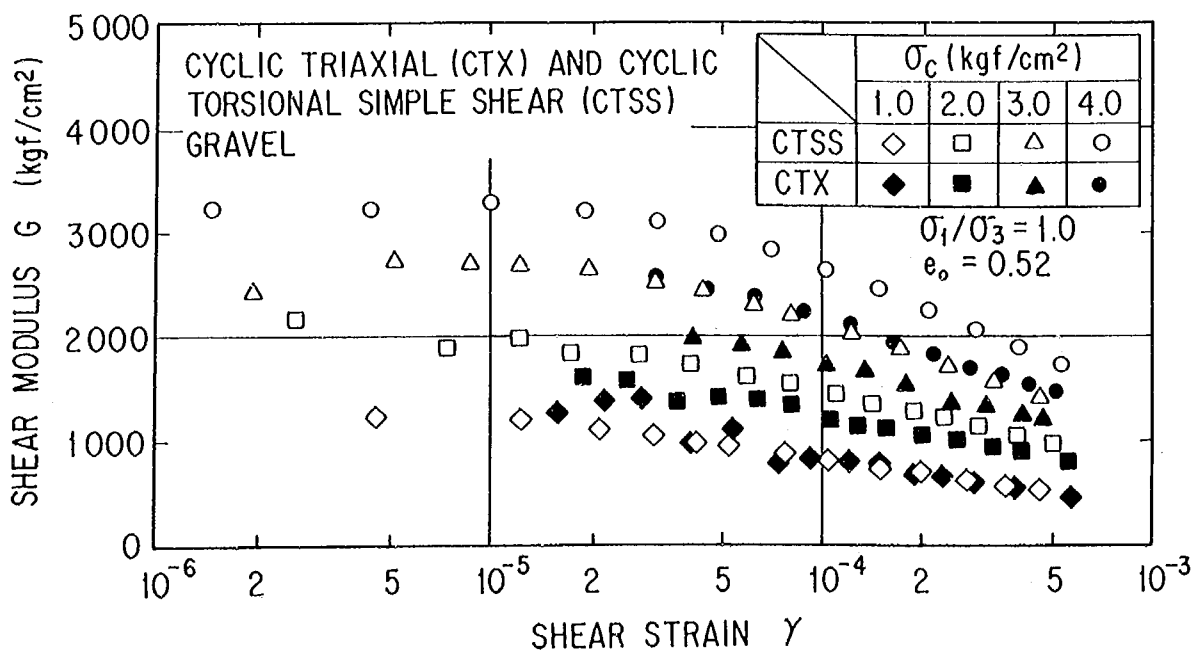


図- 6.51(c) せん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSSとCTX, $e_0 = 0.52$

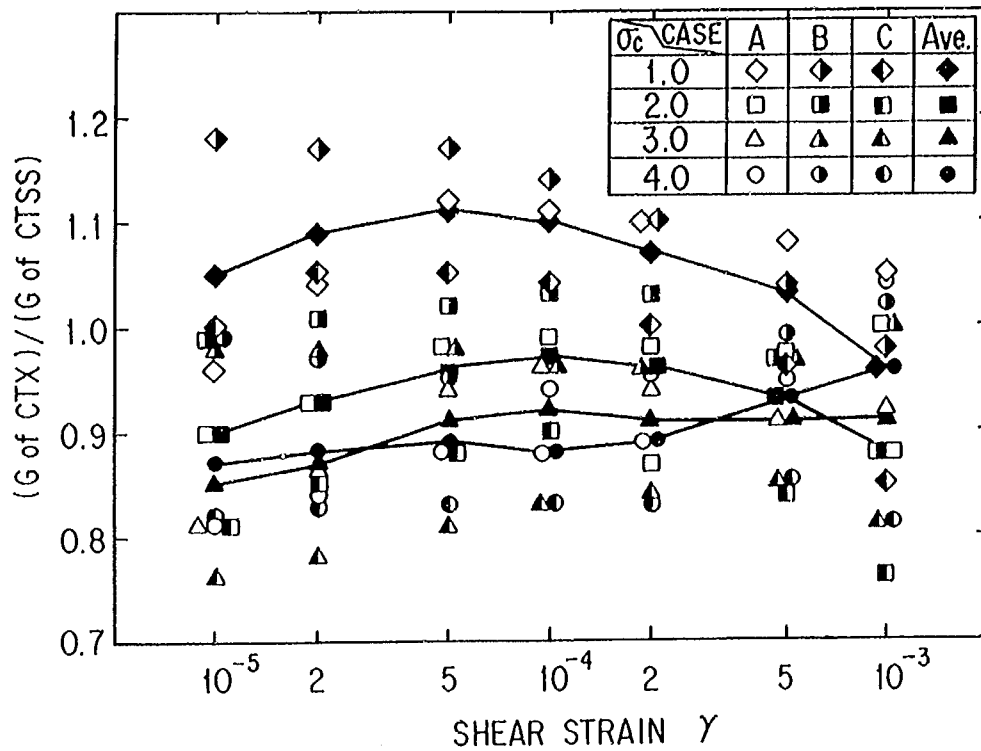


図-6.52 (CTXのG)/(CTSのG) ~ log γ

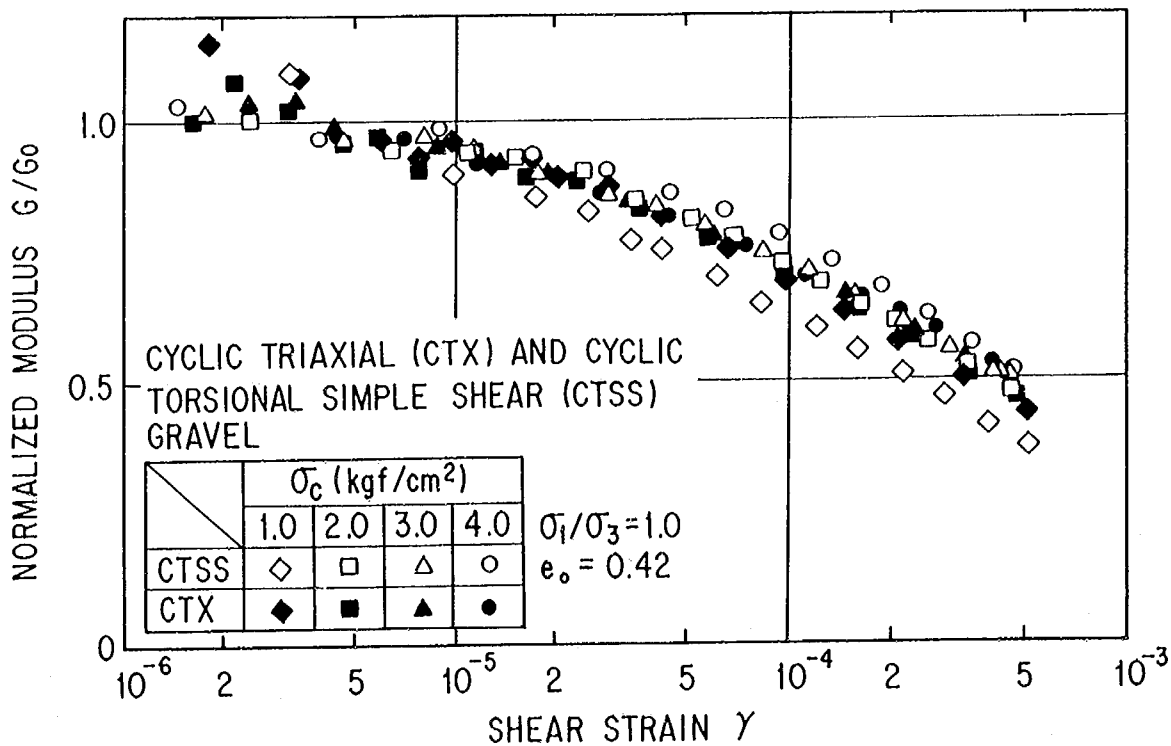


図-6.53(a) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSSとCTX, $e_o = 0.42$

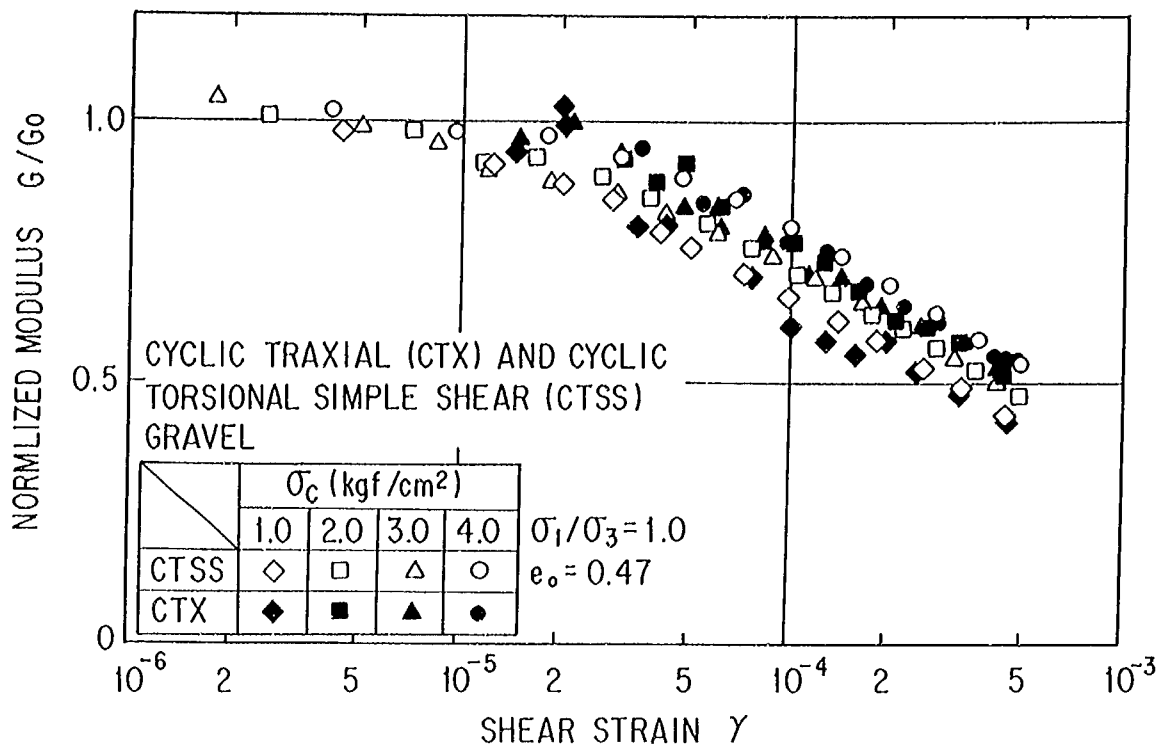


図- 6.53(b) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS と CTX, $e_o = 0.47$

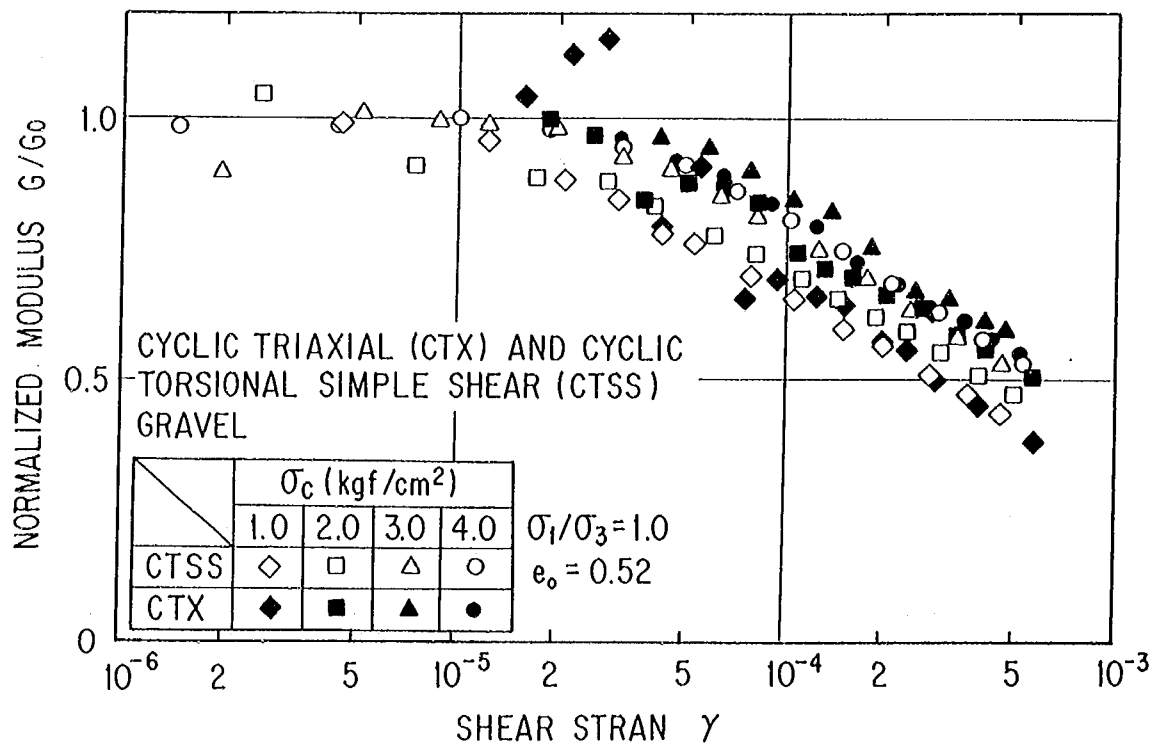


図- 6.53(c) 正規化したせん断弾性係数とせん断ひずみの関係, CTSS と CTX, $e_o = 0.52$

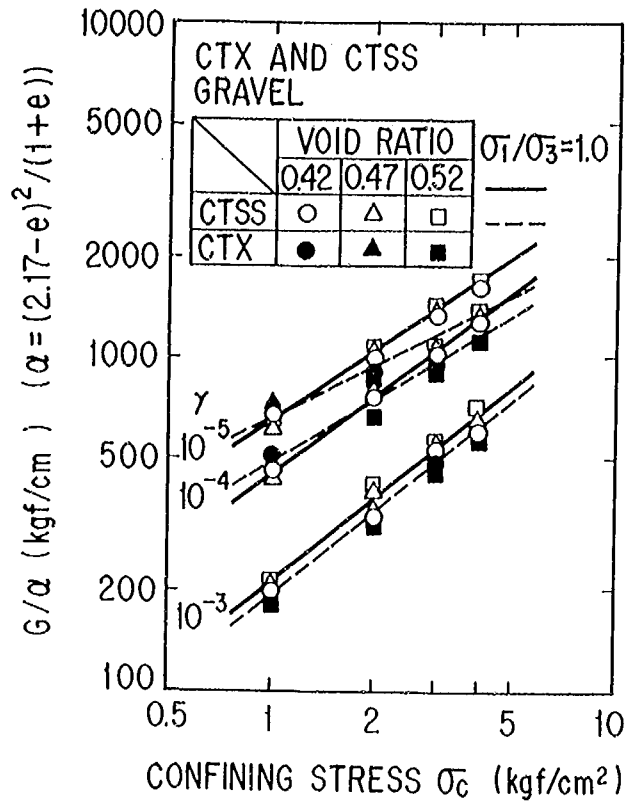


図-6.54 せん断弾性係数と拘束圧の関係，間隙比の影響，CTSSとCTX

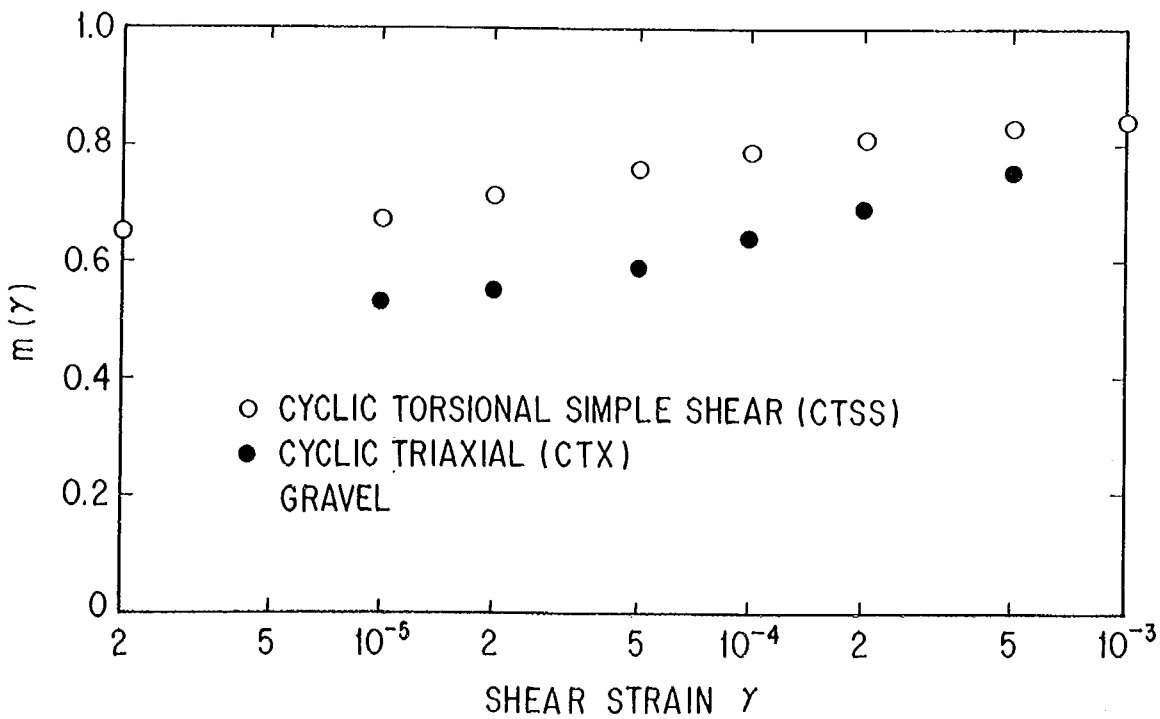


図-6.55 $m(\gamma)$ とせん断ひずみの関係，CTSSとCTX， $e_0 = 0.42 \sim 0.52$

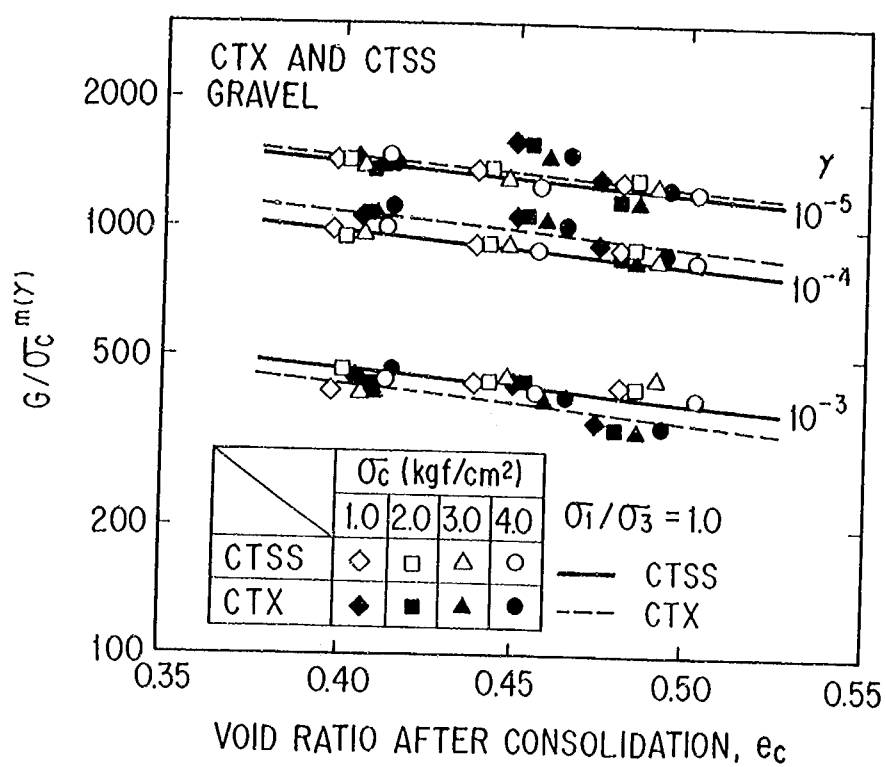
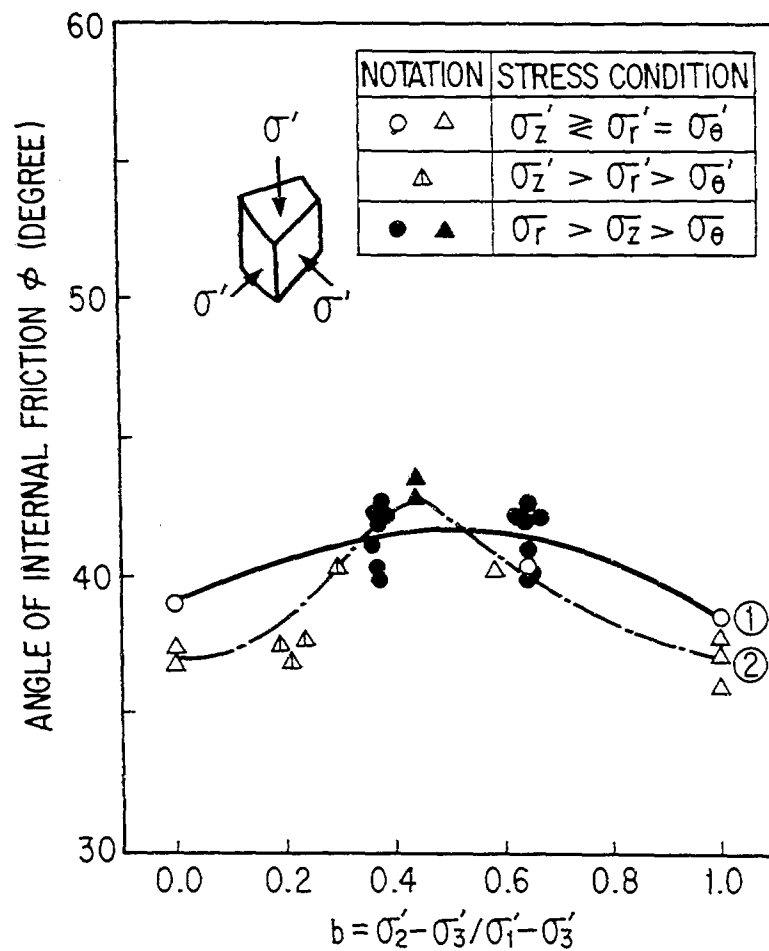
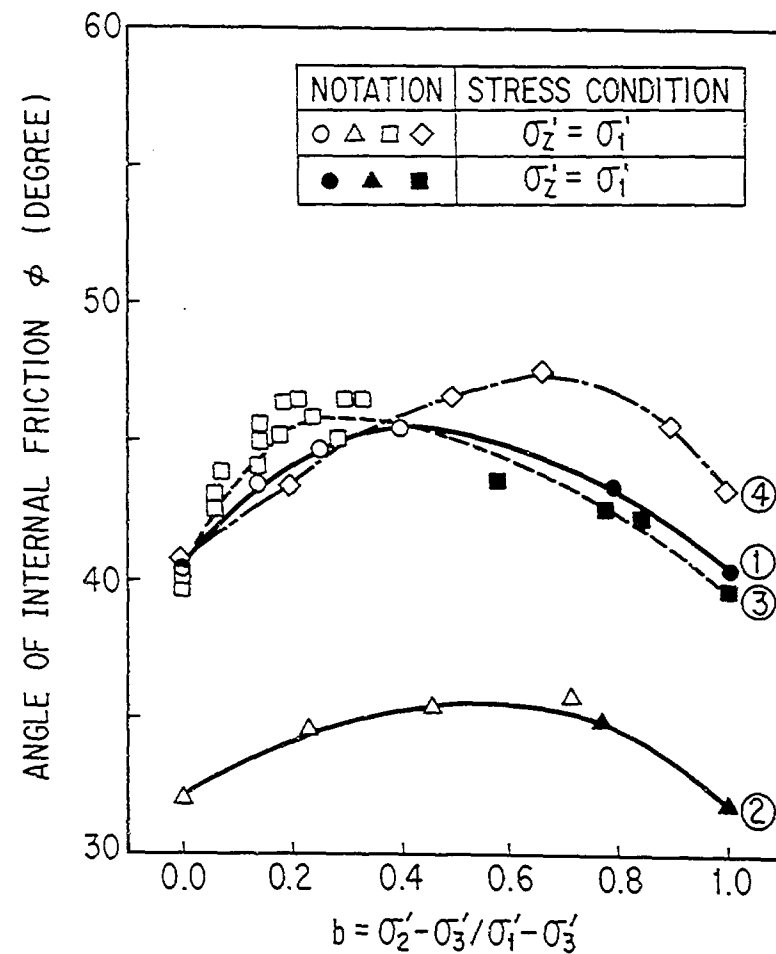


図- 6.56 せん断弾性係数と圧密後間隙比の関係, CTSS と CTX



NO.	NOTATION	SAND	Dr (%)	REFERENCE
①	$\circ \bullet$	LOCH ALINE	DENSE	KIRK PATRICK (1957)
②	$\triangle \blacktriangle$	OTTAWA	DENSE	WU ET. AL. (1963)

(a) 中空円筒せん断試験機による実験結果



NO	NOTATION	SAND	Dr (%)	REFERENCE
①	$\circ \bullet$	LOCH ALINE	80	SUTHERLAND & MESDARY (1973)
②	$\triangle \blacktriangle$		30	
③	$\square \blacksquare$	OTTAWA	85	RAMAMURPHY & RAWART (1973)
④	$\diamond$	ENNORE		NAGARA & SOMASHAKAR (1977)

(b) 三軸試験機による実験結果

図-6.57 砂の内部摩擦角 ϕ と b 値の関係 (山田, 1980)³⁰⁾

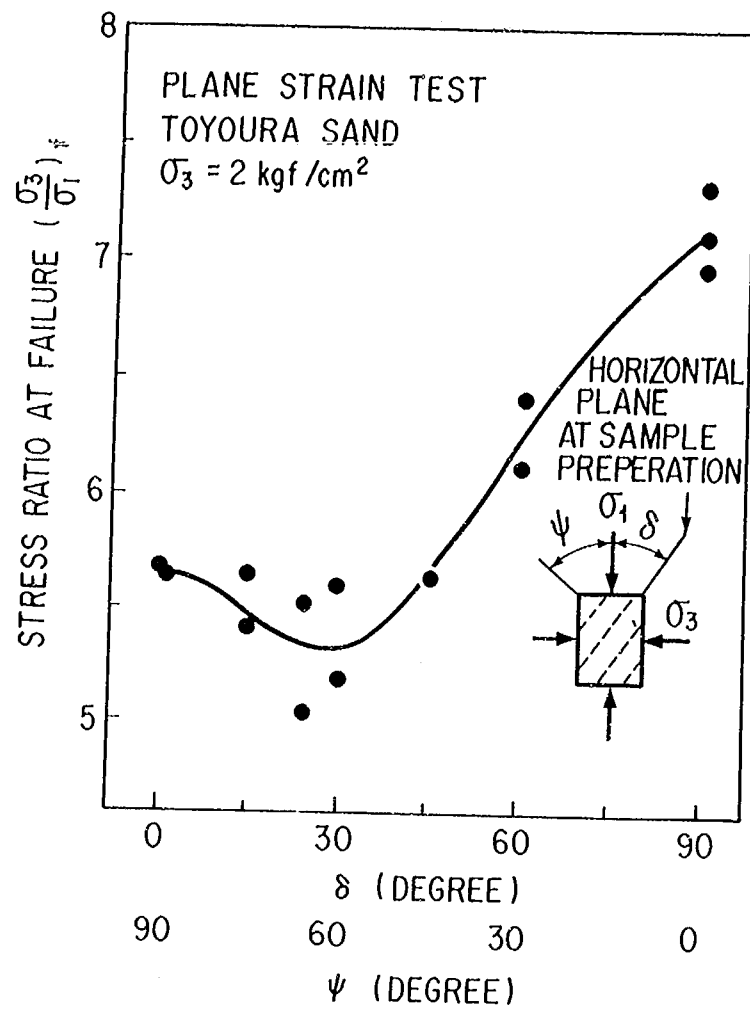
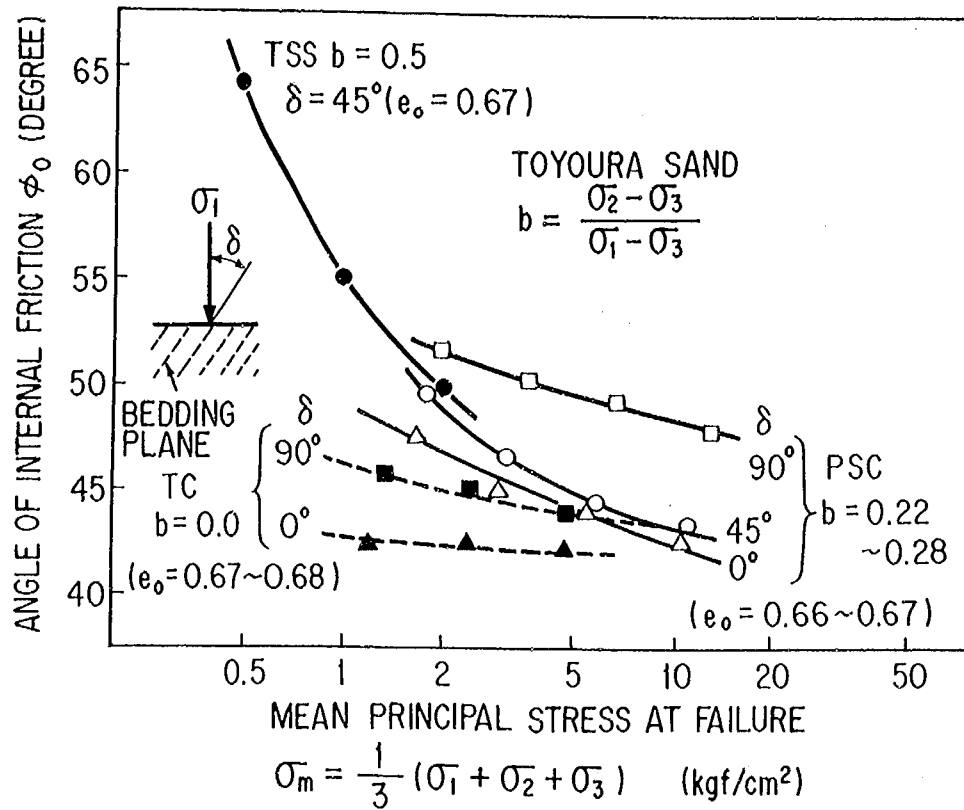


図-6.58 豊浦砂の $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ と δ の関係 (小田, 西, 1978)³¹⁾



TSS : TORSIONAL SIMPLE SHEAR TEST
 PSC : PLANE STRAIN COMPRESSION TEST
 TC : TRIAXIAL COMPRESSION TEST

図-6.59 ねじり単純せん断試験，平面ひずみ試験，三軸圧縮試験における ϕ_0 の比較(福島ら，1981)³²⁾

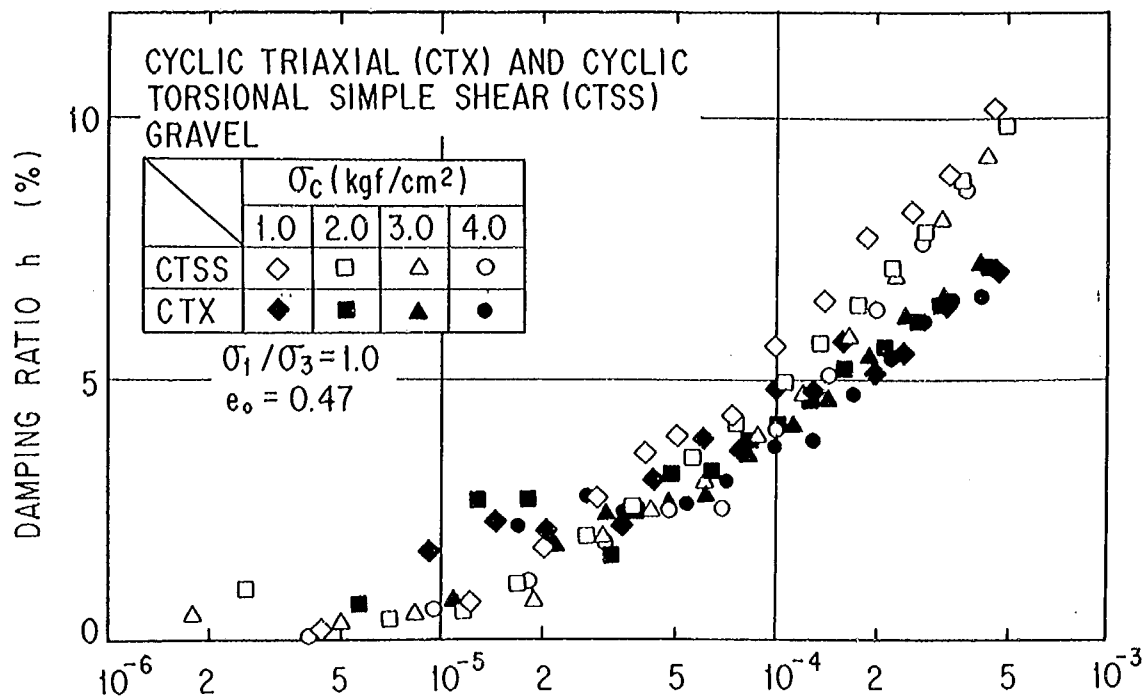


図- 6.60(a) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS と CTX, $e_0 = 0.47$

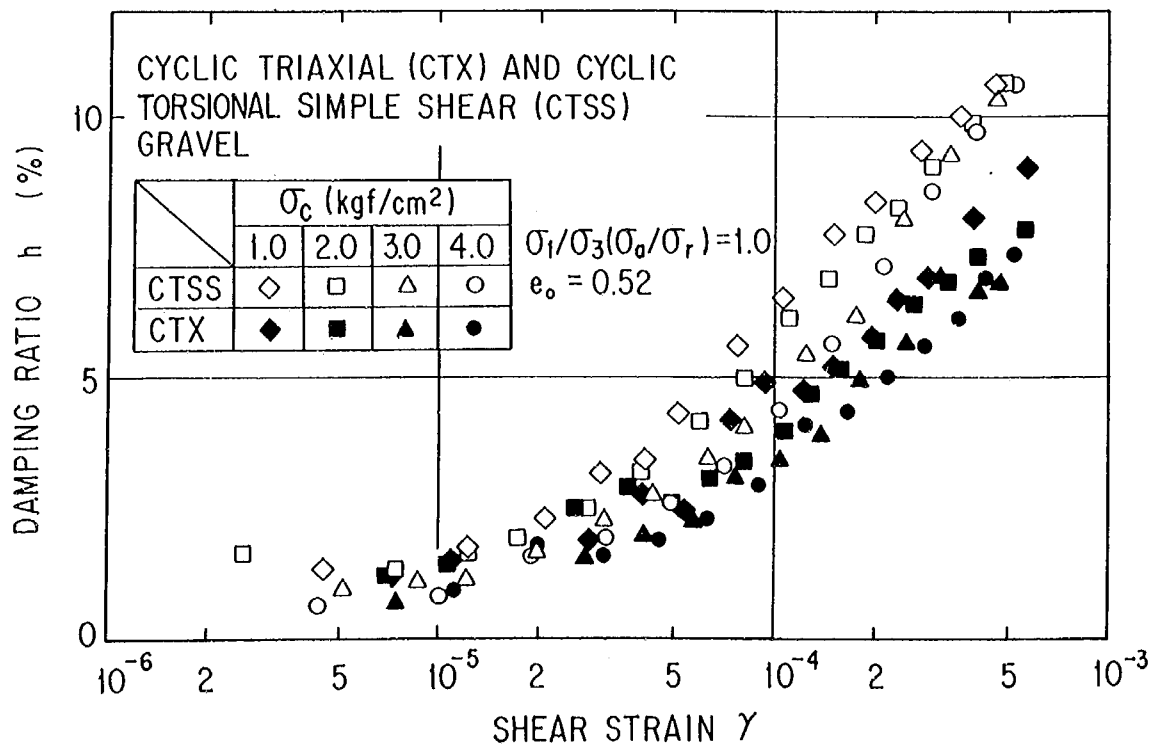


図- 6.60(b) 減衰定数とせん断ひずみの関係, CTSS と CTX, $e_0 = 0.52$

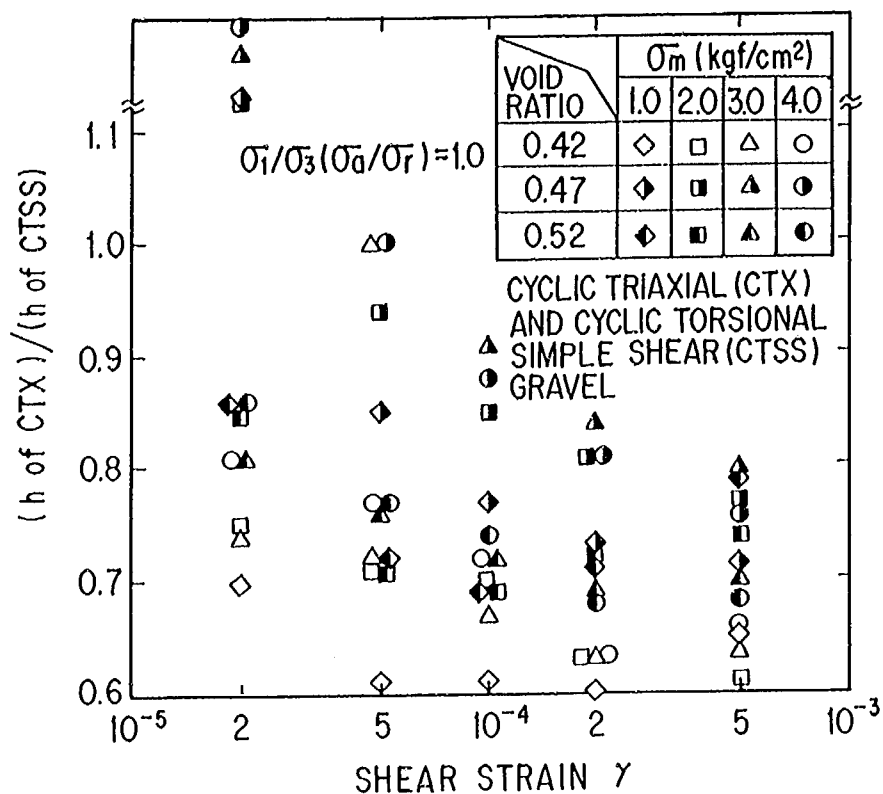


図-6.61 CTSS と CTX の減衰定数の比とせん断ひずみの関係, $e_0 = 0.42 \sim 0.52$

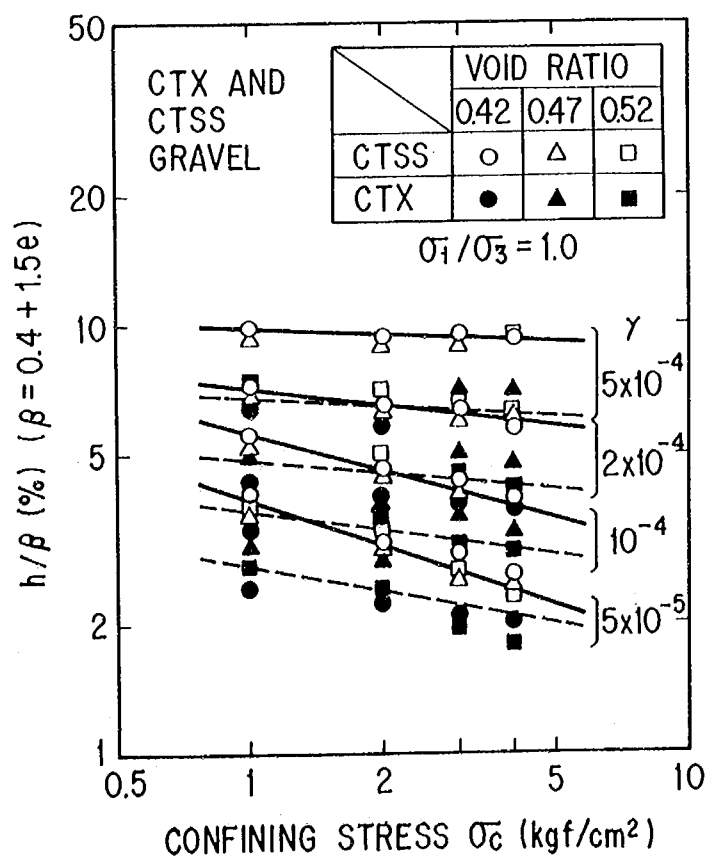


図-6.62 減衰定数と拘束圧の関係, CTSS と CTX

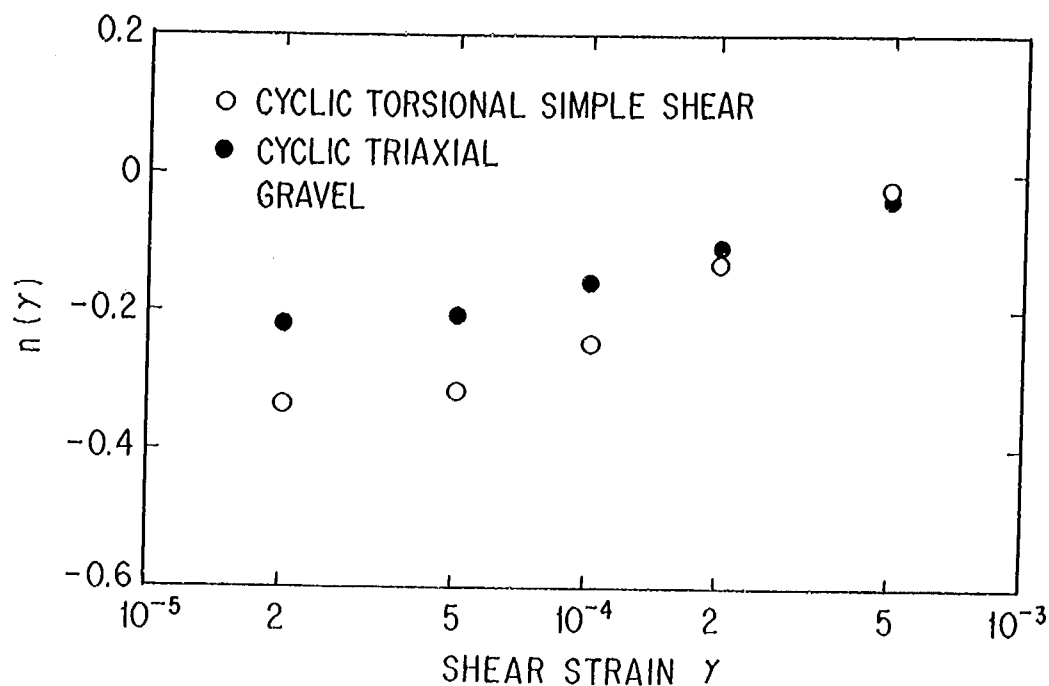


図-6.63 $n(\gamma)$ とせん断ひずみの関係, CTSS と CTX, $e_0 = 0.42 \sim 0.52$

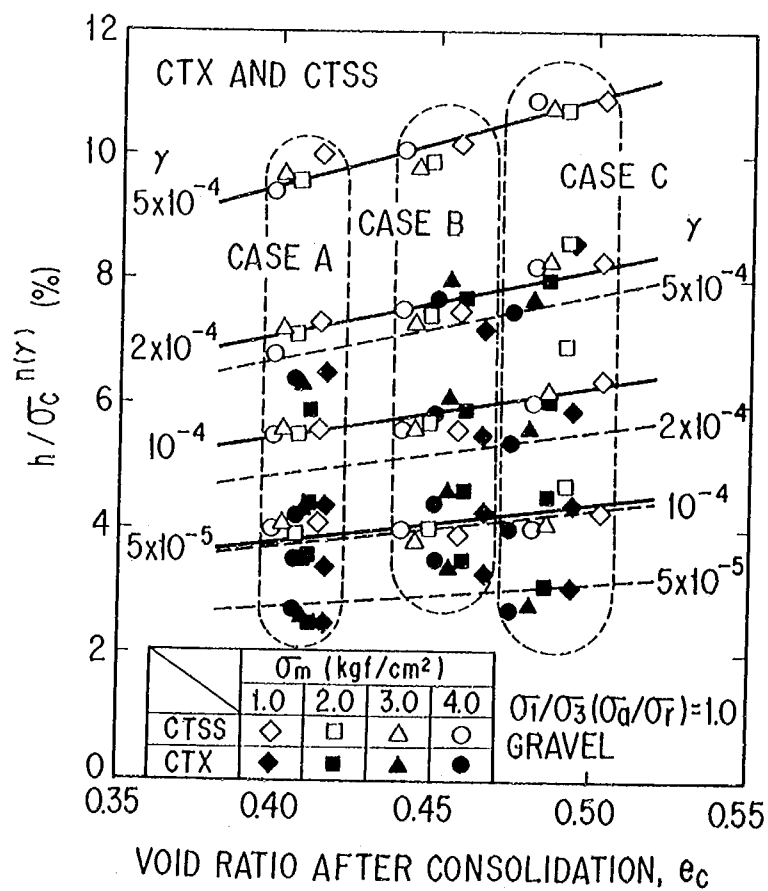


図-6.64 $h/\sigma_c n(\gamma) \sim e_c$

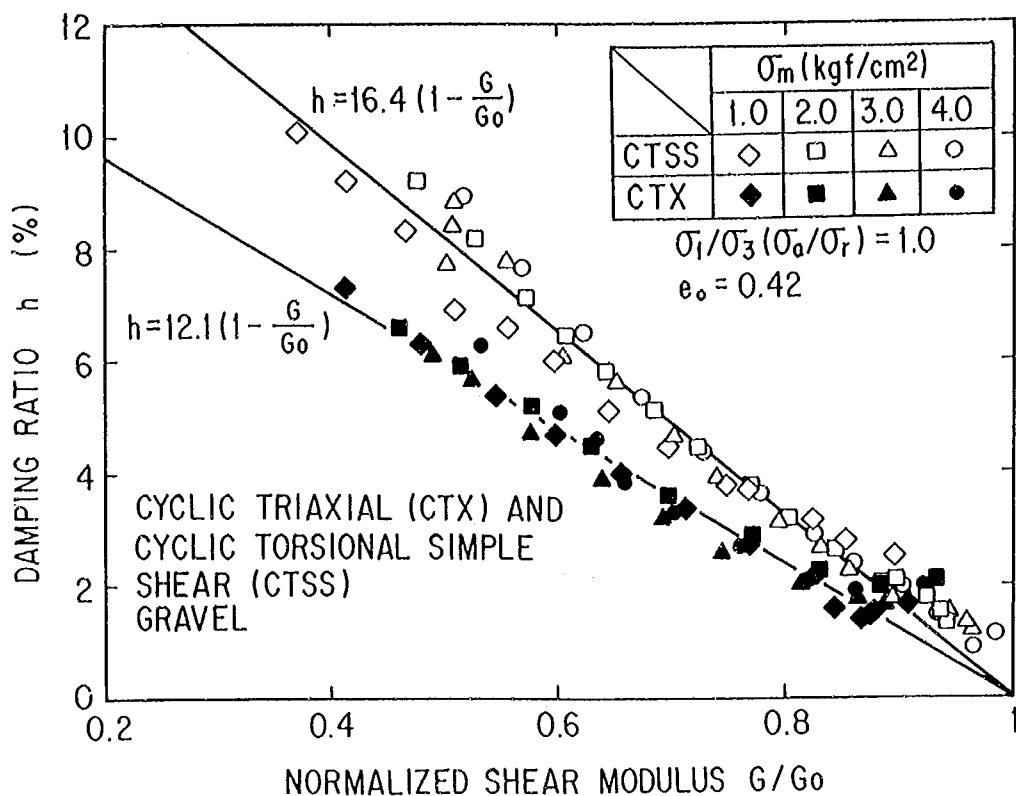


図- 6.65(a) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, CTSS と CTX, $e_0 = 0.42$

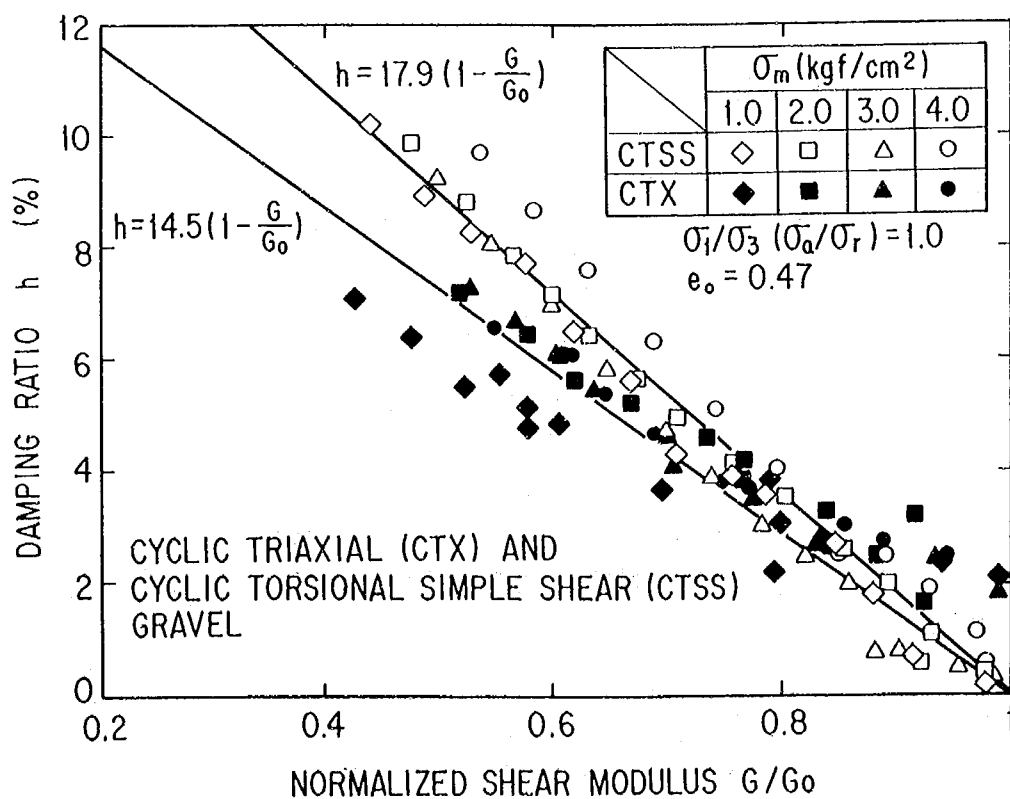


図- 6.65(b) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, CTSS と CTX, $e_0 = 0.47$

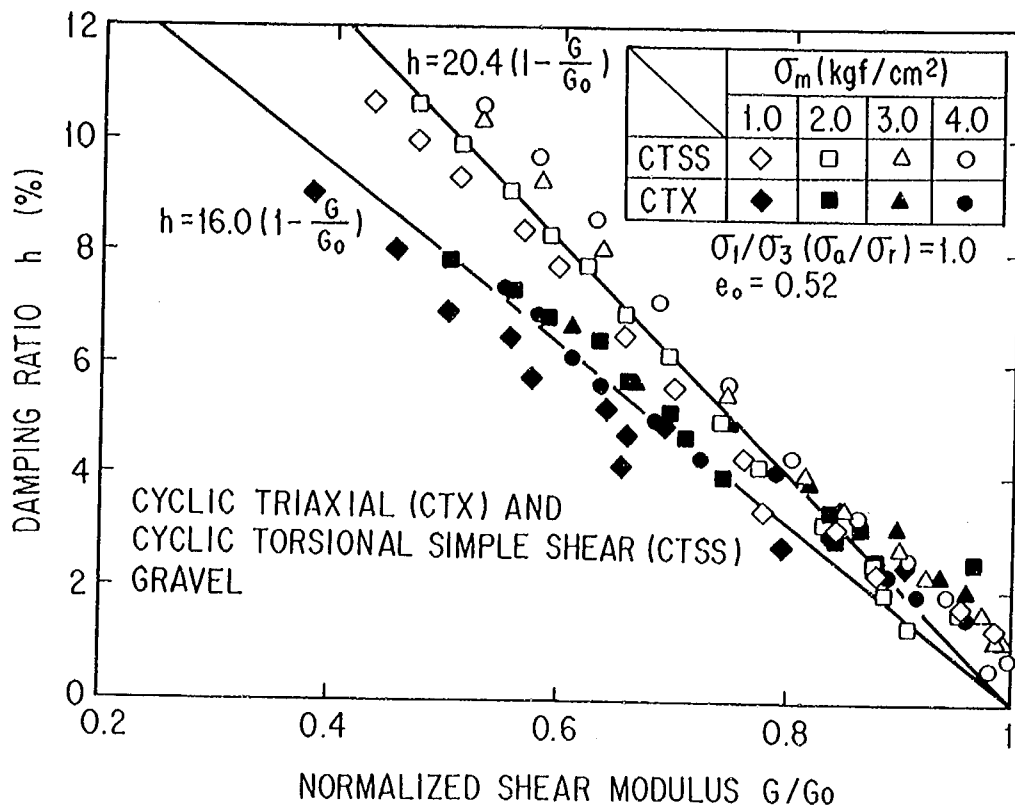


図- 6.65(c) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, CTSS と CTX, $e_o = 0.52$

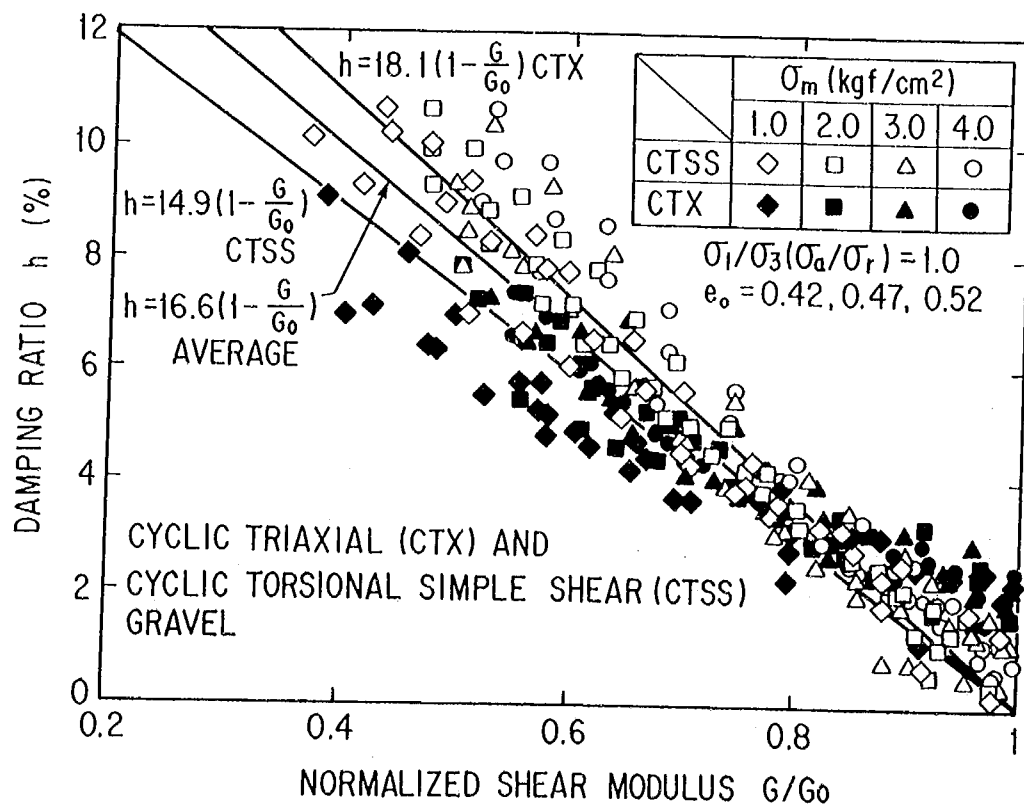


図- 6.65(d) 減衰定数と正規化したせん断弾性係数の関係, CTSS と CTX, $e_o = 0.42 \sim 0.52$

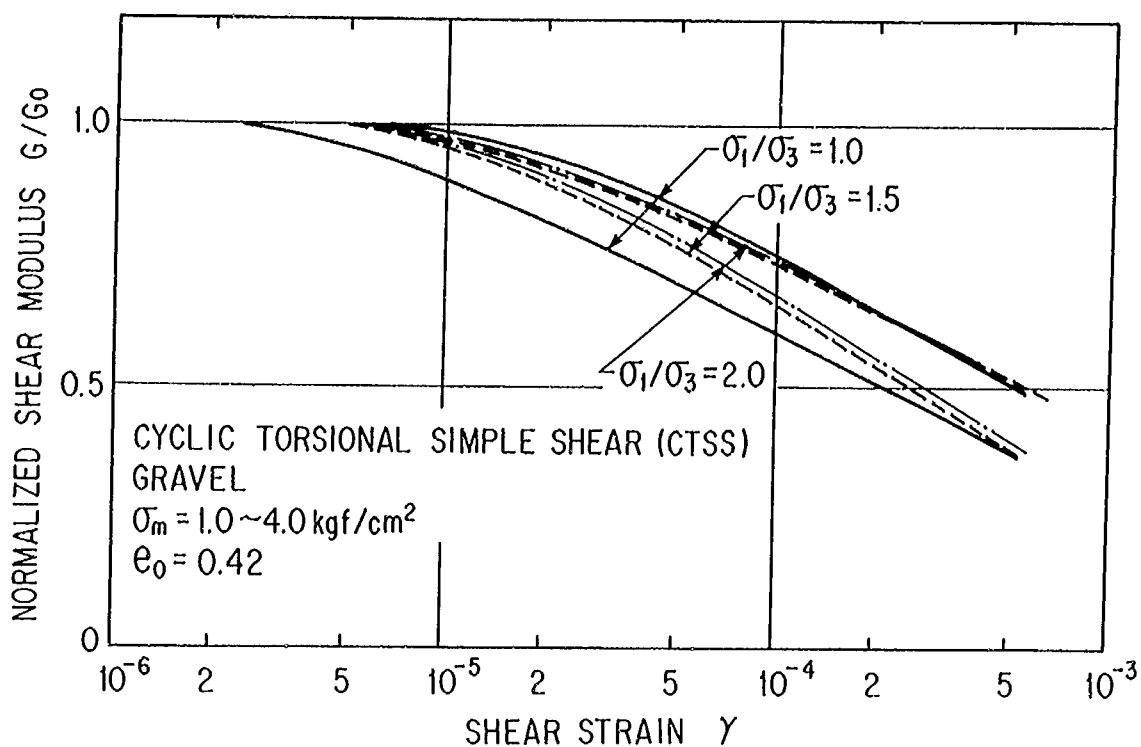


図- 6.66(a) 正規化したせん断弾性係数のひずみ依存曲線, CTSS, $e_0 = 0.42$

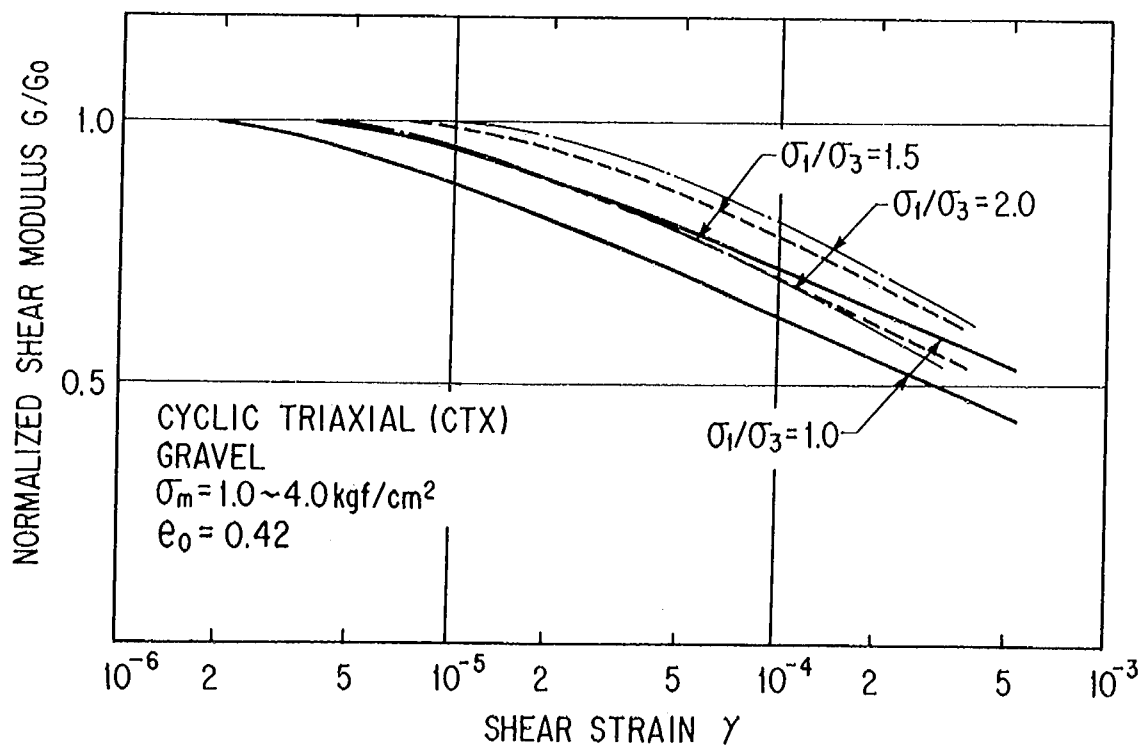


図- 6.66(b) 正規化したせん断弾性係数のひずみ依存曲線, CTX, $e_0 = 0.42$

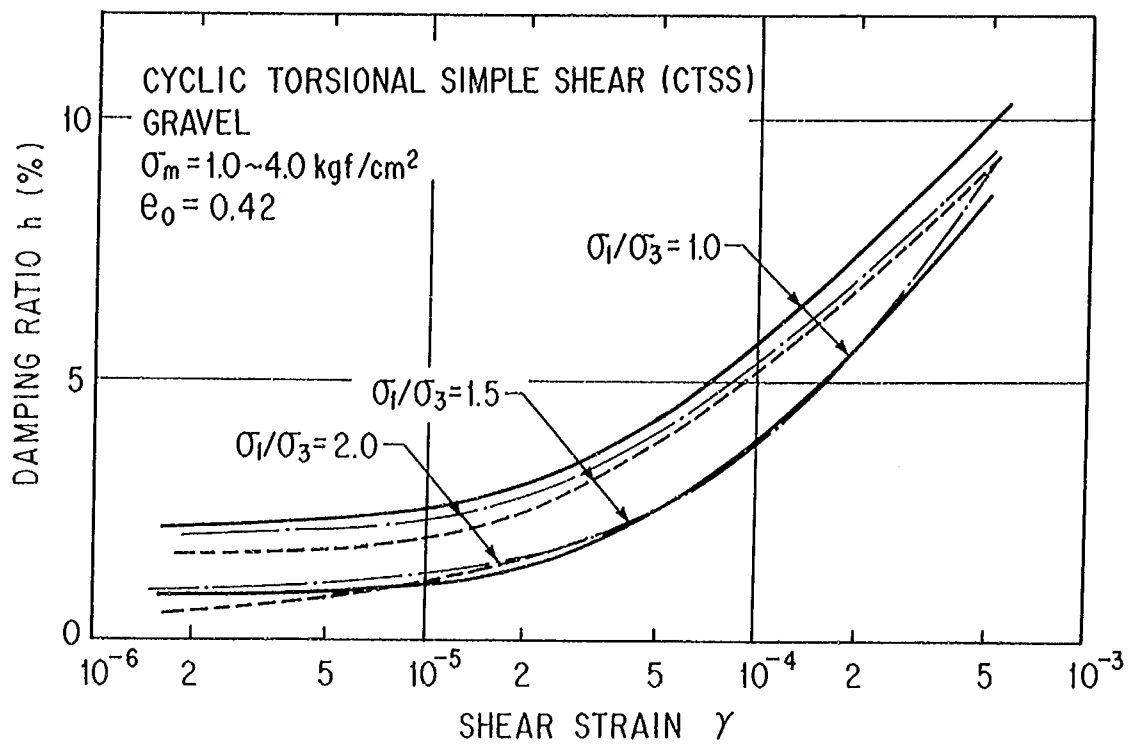


図- 6.66(c) 減衰定数のひずみ依存曲線, CTSS, $e_0 = 0.42$

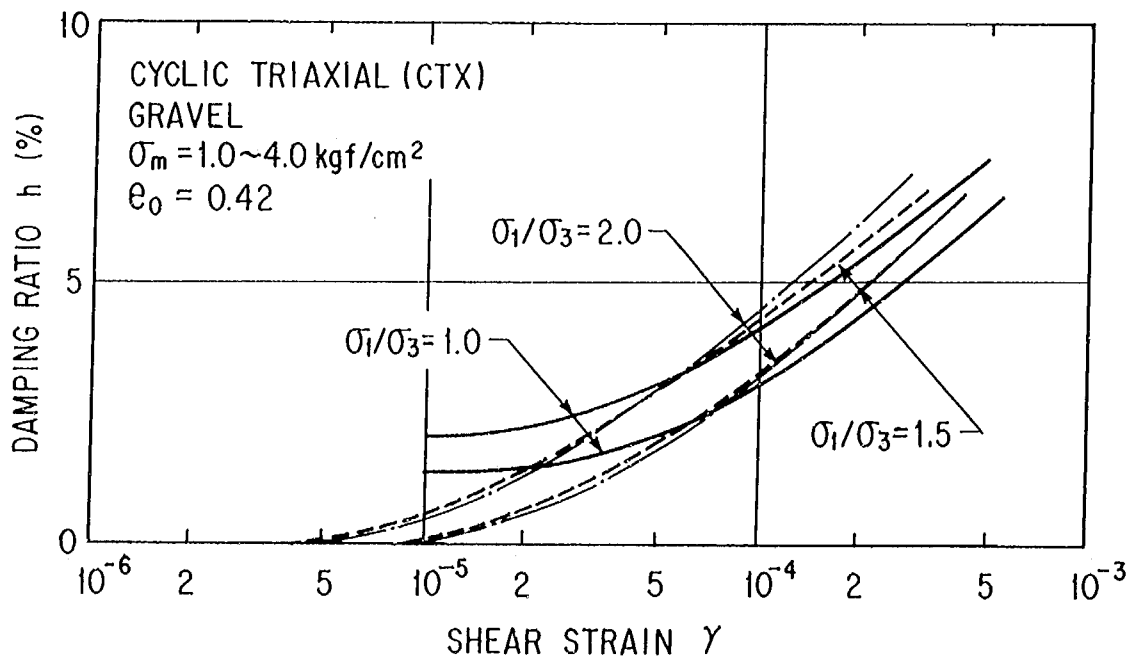


図- 6.66(d) 減衰定数のひずみ依存曲線, CTX, $e_0 = 0.42$

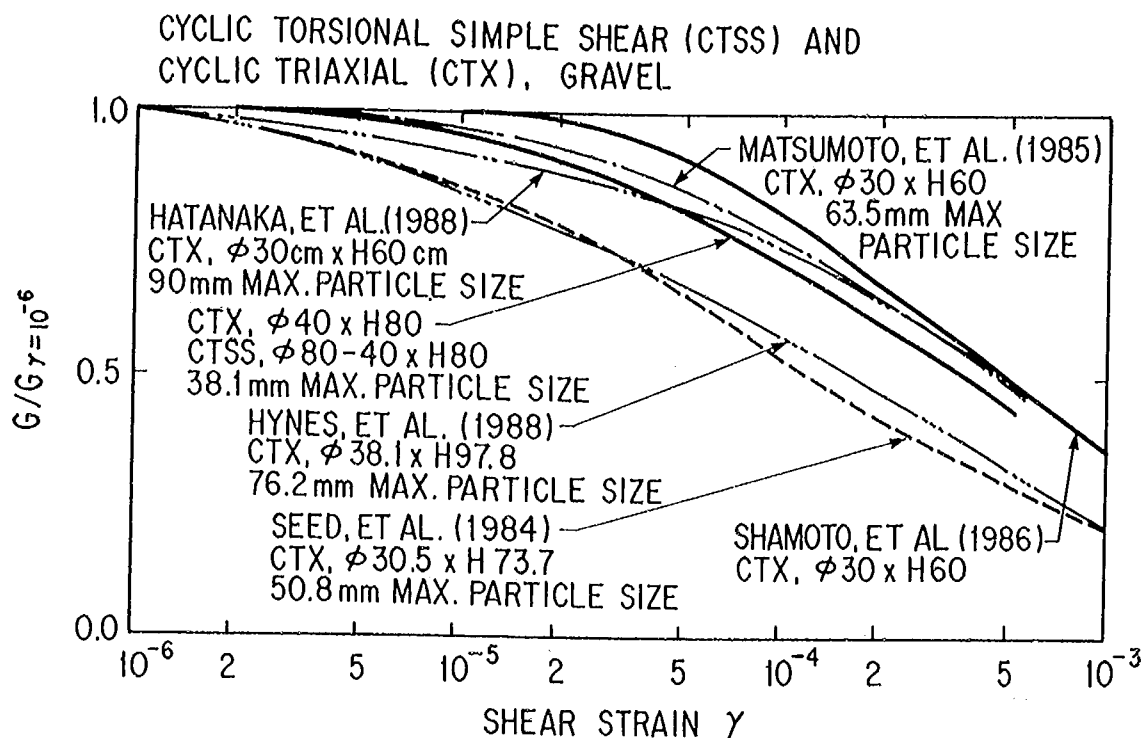


図- 6.67(a) 正規化したせん断弾性係数のひずみ依存曲線, 他の研究事例との比較

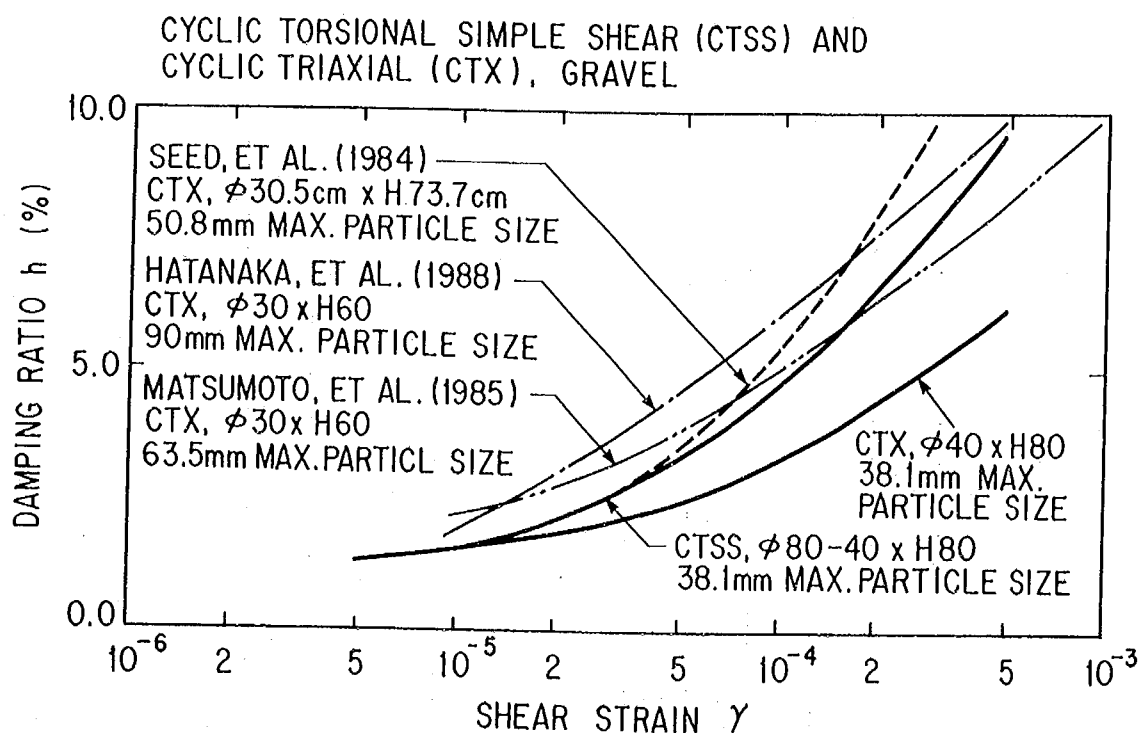


図- 6.67(b) 減衰定数のひずみ依存曲線, 他の研究事例との比較

表- 6.1 繰返し試験時の間隙比の変化

試験ケース	初期乾燥密度 γ_d	初期間隙比 e_o	圧 密 後 間 隙 比			
			$\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_c = 3.0 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_c = 4.0 \text{ kgf/cm}^2$
CTSS A	1.797	0.419	0.413	0.406	0.401	0.398
CTSS A'	1.800	0.417	0.404	0.394	0.389	0.384
CTSS B	1.741	0.464	0.457	0.448	0.443	0.439
CTSS C	1.687	0.512	0.503	0.491	0.485	0.481
CTSS D	1.799	0.417	0.410	0.403	0.398	0.395

表- 6.2 繰返し試験時の間隙比の変化

試験ケース	初期乾燥密度 γ_d	初期間隙比 e_o	圧 密 後 間 隙 比			
			$\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_c = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_c = 3.0 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_c = 4.0 \text{ kgf/cm}^2$
CTX A	1.803	0.414	0.415	0.410	0.407	0.405
CTX A'	1.800	0.417	0.411	0.404	0.399	0.395
CTX B	1.743	0.463	0.465	0.459	0.454	0.450
CTX C	1.689	0.510	0.493	0.485	0.480	0.474
CTX D	1.806	0.412	0.415	0.411	0.408	0.403

7. 粗粒材料の単調載荷試験結果

盛立材料の内部摩擦角 ϕ は、ロックフィルダムの設計において重要な因子である。これまで、粗粒材料の内部摩擦角 ϕ を室内で求める場合、供試体の作製が面倒でなく、試験時の供試体の応力状態が理解し易いことから、主に MTX が実施されてきた。

ところで、図-7.1 に示すような滑り面を仮定した場合 MTX は、滑り線と地表面が交わる付近の要素の応力状態を再現していると考えられる。これに対して滑り線の接線が水平に近づくところでは、単純せん断状態となっており、この応力状態を再現するには、単純せん断試験を行う必要がある。しかし、粗粒材料を対象とした場合、材料の個々の粒子が大きいために試験装置そのものも大がかりになるため、その試験例は少ない。

そこで、本実験では、繰返し載荷試験の他に当試験装置を用いて単調載荷試験も実施した。試験は、MTX、MTSS 各々 3 拘束圧ずつの全部で 6 供試体（いずれも初期間隙比 $e_0 = 0.42$ ）実施した。また、材料試験の単純化を考えれば、単調載荷試験のみでその材料の動的変形特性をも把握できれば、好ましいことである。そこで、静的弾性係数と動的弾性係数の関係を確認する目的で単調載荷試験結果と繰返し載荷試験結果を比較したので、それについても述べる。

7.1 単調載荷試験結果

7.1.1 応力～ひずみ関係

図-7.2(a) に中実供試体による MTX の軸差応力（せん断応力） $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ 、体積ひずみ ϵ_v とせん断ひずみ $\gamma = (\epsilon_a - \epsilon_r)$ の関係を示す。 γ は ϵ_v と軸ひずみ ϵ_a から次式によって求めた。

$$\begin{aligned}(\epsilon_a - \epsilon_r) &= \epsilon_a - 0.5 (\epsilon_v - \epsilon_a) \\ &= 0.5 (3 \epsilon_a - \epsilon_v) \quad \dots\dots\dots (7.1)\end{aligned}$$

ただし、 ϵ_r は半径方向ひずみ。 $\sigma_r = 0.56 \text{ kgf/cm}^2$ の MTX の γ は 2% 以上ではポアソン比が 0.5 以上となるため正確ではなくなる。

図-7.2(b) に MTX の軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 、 ϵ_v と ϵ_a の関係を示す。軸差応力は、 σ_c が大きい方が各粒子間のすべりに対する抵抗が大きくなることによって、その値は大きくなっており、破壊時の ϵ_{af} は、 σ_c が大きいほど大きい。また、 ϵ_v はせん断試験当初は、圧縮方向の値を示し、最大に達した後、供試体中の粒子同志がお互いに乗り越えるため体積膨張を示している。体積圧縮量は、 σ_c が大きい方が大きく、それが最大となる時の ϵ_a は、軸差応力の場合と同じく、 σ_c が大きいほど大きい。

一方、中空供試体による MTSS のせん断応力 τ_{at} ・体積ひずみ ϵ_v ・軸ひずみ ϵ_a とせん断ひずみ γ_{at} の関係を図-7.2(c) に示す。 σ_c の大きさの違いによる τ_{at} および ϵ_v の大きさの違いは、MTX の場合と同じ傾向であるが、 ϵ_v の絶対値は、例えば $\sigma_c = 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、MTX が 2.3% であるのに対して、MTSS では 0.6% とかなり小さい。

平面ひずみ試験では、第 1 主応力に垂直な供試体の断面積が一定になるようにせん断を行う。中空

供試体を用いたMTSSでは、 σ_c を制御することにより、供試体の半径方向のひずみを微少に抑えることができる（福島ら（1981）⁴¹⁾）。しかし、本試験では、 σ_c の操作をせずにせん断を行った。図-7.2(d)に断面積ひずみと τ_{at} の関係を示すが、断面積ひずみは最大1%であった。

MTSSにおける主応力軸の回転について検討する。主応力 σ_1 、 σ_3 は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_a \sin^2 \varphi + \sigma_t \cos^2 \varphi + 2 \tau_{at} \sin \varphi \cdot \cos \varphi \\ \sigma_3 &= \sigma_a \sin^2 \varphi + \sigma_t \cos^2 \varphi - 2 \tau_{at} \sin \varphi \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.2)$$

但し、 σ_a 、 σ_t 、 τ_{at} 、 φ は図-7.3に示されているように、それぞれ軸方向応力、側方向応力、せん断応力、および最大主応力が鉛直となす角度である。

いま、せん断応力 τ_{at} と φ の関係を求めると（7.3）式で表される。その関係を図-7.4に示す。

$$\varphi = \tan^{-1} \left[\frac{-(\sigma_a - \sigma_t) + \sqrt{(\sigma_a - \sigma_t)^2 + 4 \tau_{at}^2}}{2 \tau_{at}} \right] \dots\dots\dots (7.3)$$

$\sigma_a/\sigma_t = 1.0$ は等方応力状態を示すが、せん断の進行に伴う主応力軸の回転はない。一方、他の異方応力状態では、せん断の進行に伴い、主応力軸は回転するが、最終的に45°に収束する。

本報告の試験では、等方応力状態で主応力軸は鉛直と45°の一定値であり、せん断面の水平面となす角度 ω は（7.4）式となる。

$$\begin{aligned} \omega &= 45^\circ + 1/2 \phi_0 - \varphi \\ &= 1/2 \phi_0 \quad (\varphi = 45^\circ) \dots\dots\dots (7.4) \end{aligned}$$

ここで ϕ_0 は内部摩擦である。

ところで、単調載荷試験のせん断過程で測定される応力には、せん断のみに用いた応力以外に、メンブレンが分担した応力および体積変化（ダイレイタンス）に費やしたエネルギーが含まれている。そこで、その補正方法を以下に示す。また、図-7.2には、補正後の応力・ひずみ曲線も同時に示してある。

MTXの場合の補正は以下の通りである。

① メンブレン力の補正

軸方向応力は、せん断中は常に圧縮となるので補正は行わず、せん断に伴い断面積の増加によるメンブレンの伸張があるので、側方向応力についてのみ以下のような補正を行う。

$$\sigma_3' = \sigma_3 - \Delta \sigma_{3m} \dots\dots\dots (7.5)$$

ここで、 σ_3' ；メンブレン力補正後の側方向応力

σ_3 ；計測される側方向応力

$\Delta \sigma_{3m}$ ；メンブレンによる側方向応力

ただし、 $\Delta \sigma_{3m}$ は、以下の式による。

$$\Delta \sigma_{3m} = \frac{2 \cdot E_m \cdot t \cdot \epsilon_r}{d} \dots\dots\dots (7.6)$$

ここで、 E_m ；メンブレンの弾性係数（= 30 kgf/cm²）

t ; メンブレンの厚さ ($= 3 \text{ mm}$)

ϵ_r ; 半径方向のひずみ ($= (\epsilon_v - \epsilon_a) / 2$)

ϵ_v ; 体積ひずみ

ϵ_a ; 軸ひずみ

d ; せん断中の供試体直径 ($= (\frac{4 V_c (1 - \epsilon_v)}{\pi H_c (1 - \epsilon_a)})^{1/2}$)

$V_c \cdot H_c$; 圧密後の供試体体積および高さ

② ダイレイタンスによるエネルギーの補正

エネルギー補正は、以下に示す Taylor - Bishop の補正法 (Bishop (1953)³⁸⁾) を用いて行う。

$$(\sigma_1 - \sigma_3)'' = (\sigma_1 - \sigma_3)' - \sigma_3' \frac{\delta \epsilon_v}{\delta \epsilon_a} \dots\dots\dots (7.7)$$

ここで、 $(\sigma_1 - \sigma_3)''$; エネルギー補正後の軸差応力

$(\sigma_1 - \sigma_3)'$; メンブレン力補正後の軸差応力

σ_3' ; メンブレン力補正後の側方向応力

$\delta \epsilon_v$; 体積ひずみ増分

$\delta \epsilon_a$; 軸ひずみ増分

MTSS の場合の補正は以下のように行った。

① メンブレンの分担を除く補正

軸応力とせん断応力の両者について以下のように補正を行う。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_a' &= \sigma_a - \Delta \sigma_{am} \\ \tau' &= \tau - \Delta \tau_m \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.8)$$

ここで、 σ_a' ; メンブレン力の補正後の軸応力

σ_a ; 計測される軸応力

$\Delta \sigma_{am}$; メンブレンが負担する軸応力 (引張のみを対象とする)

τ' ; メンブレン力補正後のせん断応力

τ ; 計測されるせん断応力

$\Delta \tau_m$; メンブレンが負担するせん断応力

$\Delta \sigma_{am}$ 、 $\Delta \tau_m$ は、以下の式による。

$$\left. \begin{aligned} \Delta \sigma_{am} &= \frac{2 \cdot \epsilon_a \cdot E_m \cdot t}{R_o - R_i} \\ \Delta \tau_m &= \frac{3 \cdot G_m \cdot t \cdot (R_o^2 r_{m0} + R_i^2 r_{mi})}{R_o^3 - R_i^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.9)$$

ここで、 R_o 、 R_i ; 供試体の外半径及び内半径

r_{m0} 、 r_{mi} ; 供試体外半径および内半径位置でのせん断ひずみ

G_m ; メンブレンのせん断弾性係数 (= 10 kgf/cm²)

② ダイレイタンスーによるエネルギーを除く補正

エネルギー補正は、Taylor-Bishop の補正法を用いて行う。

$$\tau'' = \tau' - \sigma_a' \frac{\delta \epsilon_a}{\delta \gamma} \dots\dots\dots (7.10)$$

ここで、 τ'' ; エネルギー補正後のせん断応力

τ' ; メンブレン力補正後のせん断応力

σ_a' ; メンブレン力補正後の軸応力

$\delta \epsilon_a$; 軸ひずみ増分

$\delta \gamma$; せん断ひずみ増分

表-7.1 に単調載荷試験の結果をまとめて示したが、同表には、最大応力発生時（破壊時）のメンブレン補正後、エネルギー補正後の応力の値も同時に示している。図-7.5 に補正による破壊時の応力の減少率を示す。これより、メンブレン補正による応力の補正前の応力に対する減少率は、いずれも 0.05 未満と小さいが、エネルギー補正によるそれは、MTSS では 0.2 前後と大きい。

7.1.2 せん断強度

図-7.7 に本試験ケースの破壊時のモールの応力円を示す。MTX・MTSS の同一 σ_c (ケース I, J $\sigma_c = 2.0, 4.0$ kgf/cm²) の結果をみると、モールの応力円は MTSS の方が小さくなっている。

これは、同一の σ_c で圧密しても図 7.6 に示すように、破壊に至るまでの応力経路が両試験で異なるために生じた結果である。そこで、破壊時のモールの応力円が一致するように σ_c を設定し、両試験とも 1 ケースずつ (ケース K) 追加実験を実施している。MTX では、 σ_c を MTSS の σ_{3f} (= 0.562 kgf/cm²) に、MTSS では、 σ_c を CTX の $(\sigma_{1f} + \sigma_{3f})/2$ (= 7.58 kgf/cm²) にそれぞれ一致させたケースである。結果は、図-7.7 に示すようにいずれもモールの応力円は一致せず、MTSS の方が大きくなっている。この差を明確にするため ϕ_0 法 (粘着力 C をゼロとして内部摩擦角を求める方法) を用いて、破壊時のせん断面に働くせん断応力 τ_f と垂直応力 σ_n を求めた (図-7.8 参照)。両者の関係を図-7.9 に示す。同図には、当材料を用いた過去の試験結果 (松本ら (1987)³⁹⁾) もプロットしている。また、図中には、これらの結果を MTX, MTSS 別に近似した曲線 (破壊包絡線) も示している。一般に、粗粒材料の破壊包絡線は、粒子破砕の影響等により上に凸な曲線を呈する (松本・渡辺 (1987)⁴⁰⁾) が、当材料においてもその傾向がみられる。両試験の破壊包絡線に着目すると、図-7.7 における両試験結果の差が表れており、 $\sigma_n = 0 \sim 2$ kgf/cm² の範囲で MTSS の τ_f の方が平均 0.5 kgf/cm² ほど大きくなっている。

このような差が生じた原因は、両試験の繰返し載荷試験結果を比較した際に述べたように (6.3 参照) 異方性と中間主応力の双方の影響が考えられる。つまり、異方性の面では、MTX の方が強度が大きくなる要因を持っているにもかかわらず、中間主応力の影響がそれにも増して大きいために MTSS の方が強度が大きくなったと考えられる。図-7.10 に、 ϕ_0 と σ_3 の関係を示す (福島・龍岡 (1981)³²⁾、

龍岡・園田(1985)⁴¹⁾, Tatsuoka, et al.(1986)⁴³⁾)。同図には、今回の結果もプロットしているが、材料に違いはあるものの MTX と MTSS の相対的な関係は図中の豊浦砂の MTX と MTSS の関係と定性的には同様の傾向を示している。龍岡らによれば、メンブレン力の補正をきちんと行えば、低拘束圧下の ϕ_0 は一定値に収束するとしている。しかし、粗粒材料については、メンブレン力の影響は拘束圧の低い場合でも僅かであり、豊浦砂のような傾向はないと考えられる。

7.2 繰返し載荷試験結果との比較

Kondner (1963)¹²⁾ は、単調載荷試験により得られる非線型材料の応力ひずみ曲線は、双曲線の形で近似し得るとし応力とひずみの関係を次式で示した。

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\epsilon}{a + b \cdot \epsilon} \quad \text{あるいは,} \quad \tau = \frac{r}{a + b \cdot r} \quad \dots\dots\dots (7.11)$$

(MTX)
(MTSS)

ここに、 a , b は、材料の種類・せん断時のひずみの速さ等によって決まる定数である。式(7.11)は、図-7.11に示すように初期傾度 $1/a$ を持ち $\epsilon \rightarrow \infty$ で $\sigma_1 - \sigma_3 = 1/b$ あるいは $\gamma \rightarrow \infty$ で $\tau = 1/b$ に漸近する双曲線を表すものである。

一方、Hardin and Drnevich (1972)¹⁸⁾ は、この Kondner の双曲線を非線型材料の繰返し載荷試験から得られる G のひずみ依存曲線 ($G \sim \log \gamma$ 関係) に適用している。従来より、非線型材料の動的変形特性は、応力解析の便を図るためにモデル化される試みがなされており、その際、繰返し載荷試験から得られるヒステリシスループは、図-7.12 に示すように弾性的挙動を示す骨格曲線と減衰特性を示す履歴ループに分けられモデル化されるのが一般的である。

Hardin and Drnevich は、モデル化にあたって、この骨格曲線に Kondner の提案した双曲線を適用し、 $G \sim \log r$ 関係を次式のように示している。

$$\text{式 (7.11) を変形して } \tau/r = \frac{1/a}{1 + b/a \cdot r}$$

$$G = \frac{1/a}{1 + b/a \cdot r}$$

ここで, $1/a = G_0$, $b/a = 1/r_c$ とおくと

$$G = \frac{G_0}{1 + r/r_f} \dots\dots\dots (7.12)$$

ここで、 G_0 ；初期せん断弾性係数

 r_r : 基準ひずみ

このように、繰返し載荷試験から得られる骨格曲線は単調載荷試験から得られる応力-ひずみ曲線に相当するものであるから図-7.11に示すように、単調載荷、繰返し載荷試験のそれぞれからきまる初期弾性係数 E_0 とあるひずみ ϵ_a における弾性係数 E_a (せん断弾性係数 G_a) は、ともに両試験で

一致するものと予想された。ここでは、この点に着目し、両試験結果を比較し、両者の関連性を検討した。なお、比較はCTXとMTXで行った。

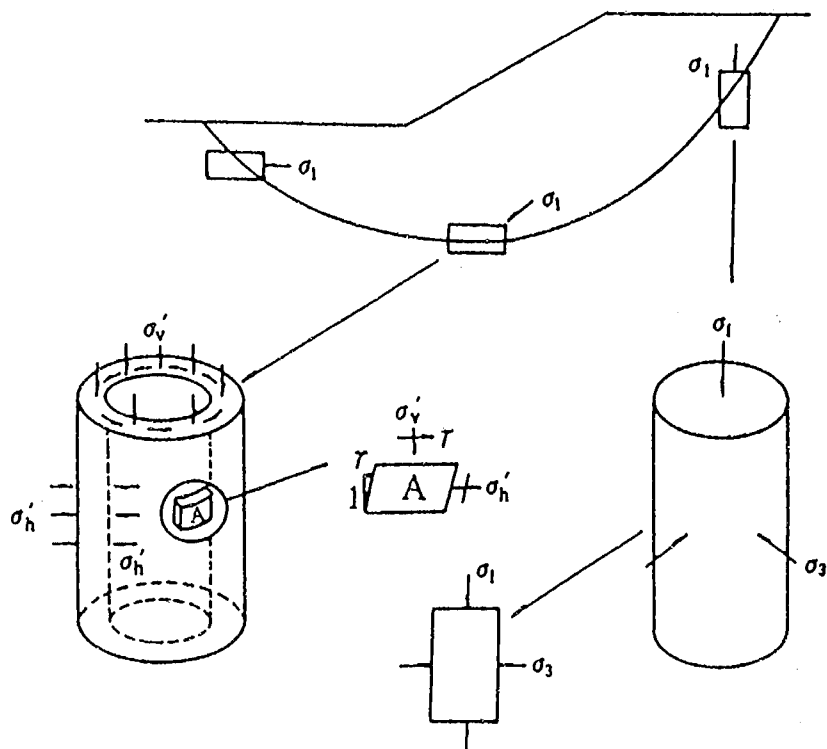
乾燥砂の場合、ダイレイタンスーを伴うようなひずみレベル(10^{-3} 以上)の時、繰返しによって供試体が締め固まり繰返し回数(応力履歴)の増加に伴いEやGは増加する。本報告の繰返し試験の場合、ひずみは最大でも 5×10^{-4} 程度であるため、試験前後の間隙比の変化量は0.01と小さく、繰返しによる供試体の締め固まりはEやGに影響を及ぼすほどではない。よって、繰返し载荷試験においても単調载荷試験と同様、材料は応力履歴を受けていないとみなされる。

そこで単調载荷試験のデータサンプル数を多くし(1/500秒に1個)豊浦標準砂を用いて同様の試験を実施した。その結果を図-7.14に示す。

$\epsilon_a = 10^{-6}$ のときの単調载荷試験結果は、前述の初期弾性係数 E_0 であり、 $\epsilon_a / (\sigma_1 - \sigma_3)$ と ϵ_a の関係をプロットした時に得られる直線の切片から求めたものである。サンプル数を増やしたことにより単調载荷試験から求めた E_0 は $\epsilon_a = 2 \times 10^{-6}$ の微小ひずみ領域まで得られており、 $\sigma_c = 2.0, 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ ともに単調、繰返し载荷の両試験から得られた E_0 は $2 \times 10^{-6} < \epsilon < 5 \times 10^{-5}$ の範囲で一致している。

次に粗粒材料に付いて同様の試験を行った結果が図-7.15である。何れの σ_c においても、軸ひずみ ϵ_a が小さいところでは、単調载荷試験結果と繰返し载荷試験結果はよく一致している。

従って、これらの結果をみる限りでは単調载荷試験によって求まる弾性係数がある程度推定できそうである。



MONOTONIC LOADING

図-7.1 滑り面の応力状態と室内試験との関係

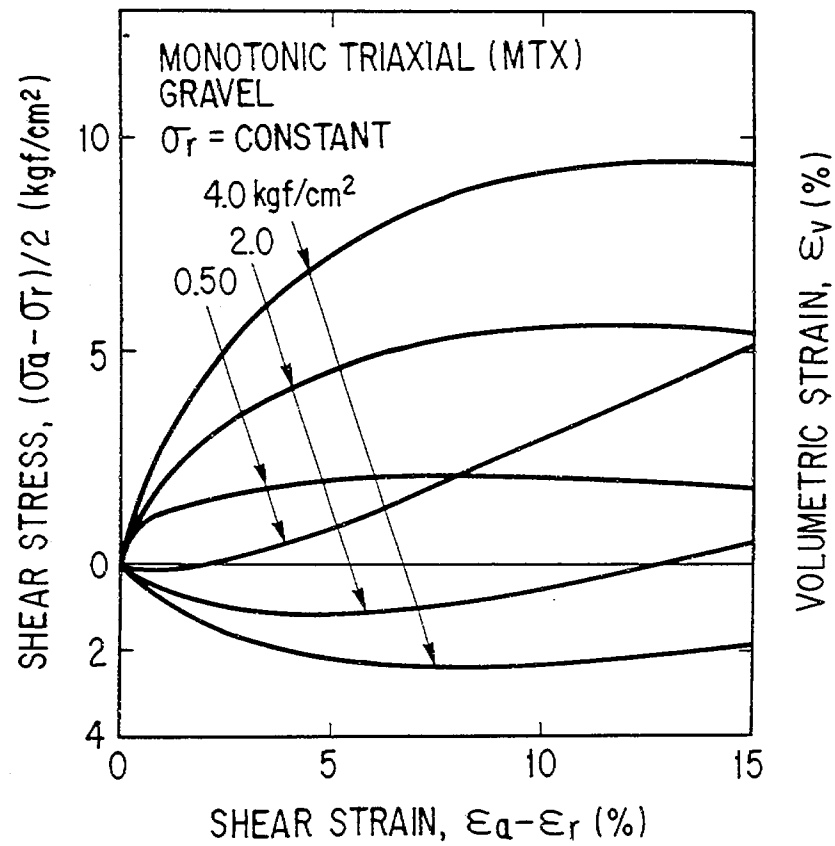


図-7.2(a) 三軸圧縮試験結果 ($\epsilon_a - \epsilon_r$ で整理)

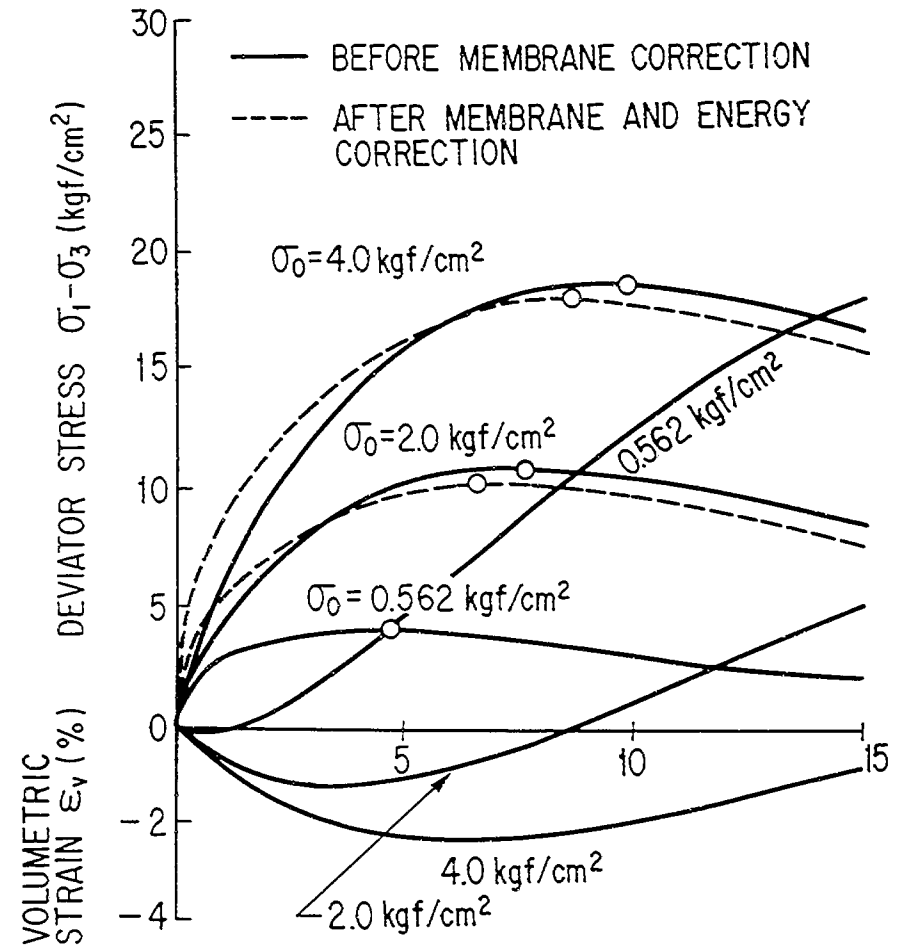


図-7.2(b) 三軸圧縮試験結果 (ϵ_a で整理)

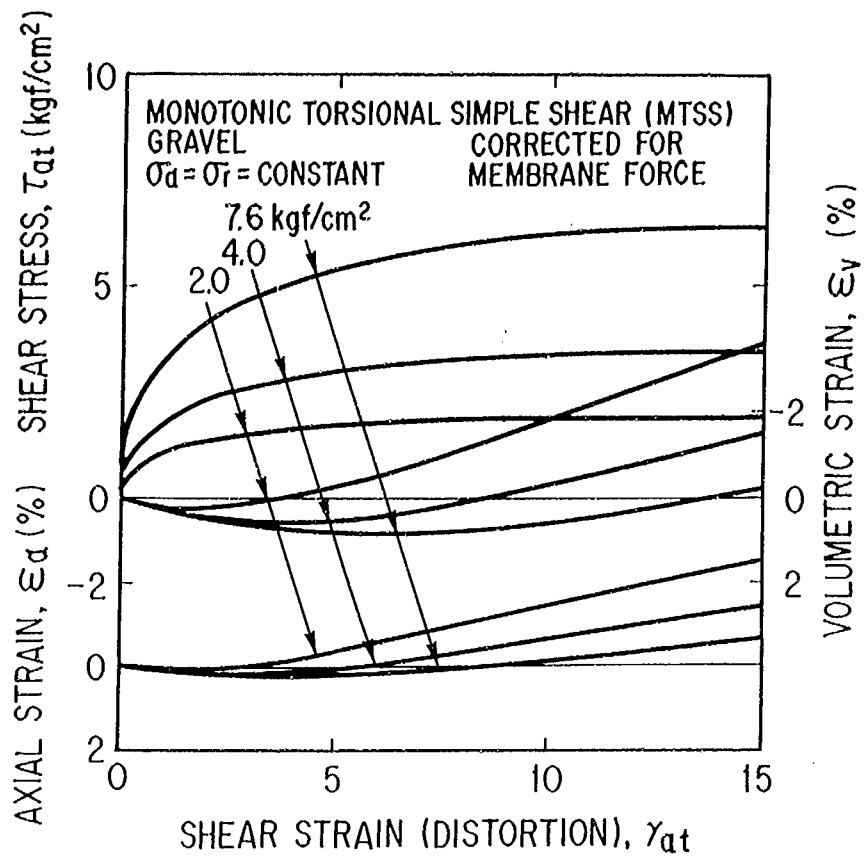


図-7.2(c) ねじり単純せん断試験結果，メンブレン力補正後

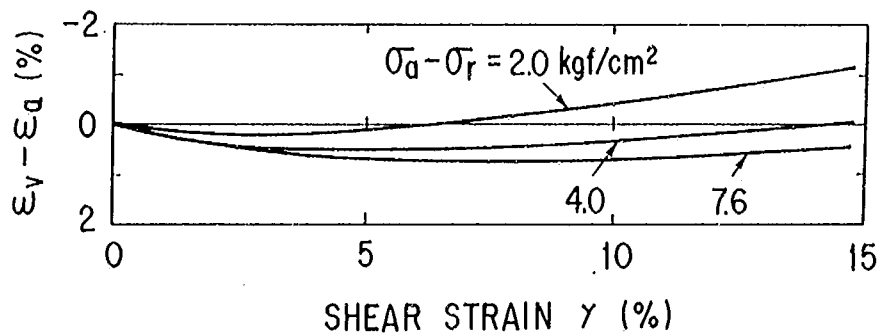


図-7.2(d) ねじり単純せん断試験結果，面積ひずみとせん断ひずみの関係，メンブレン力補正後

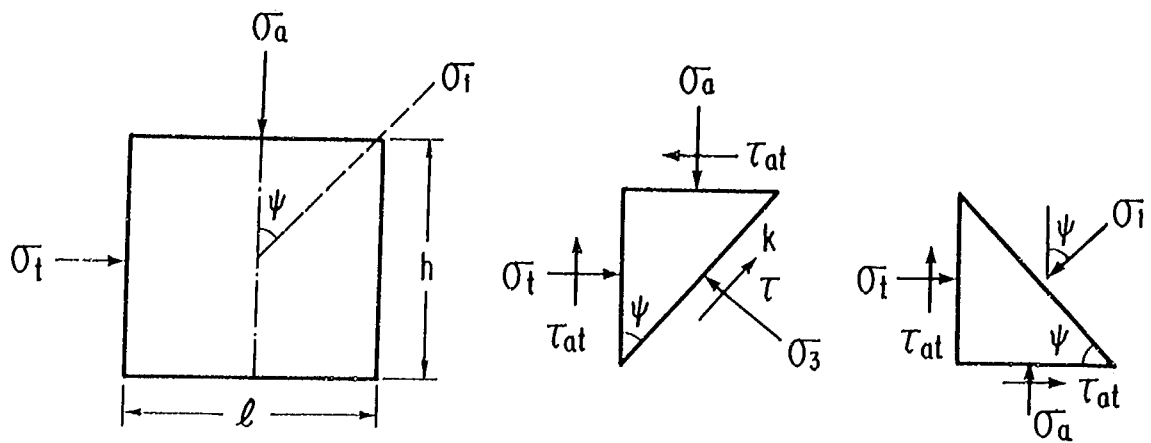


図-7.3 単純せん断試験における応力状態

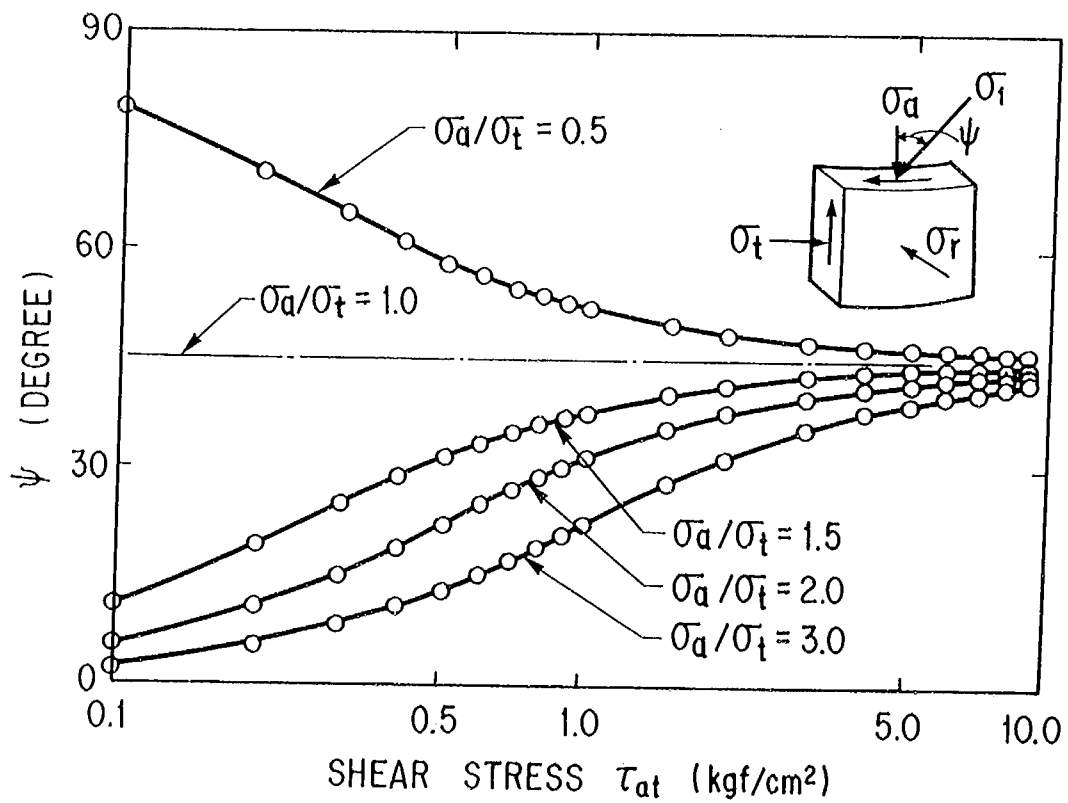


図-7.4 単純せん断試験における主応力軸の回転

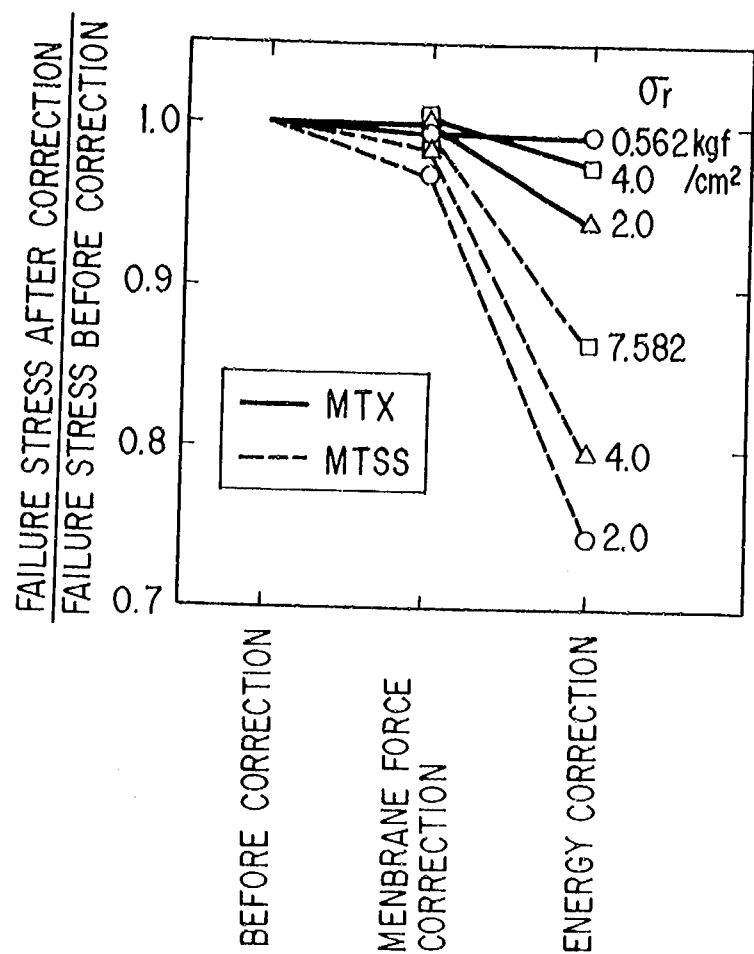


図- 7.5 メンブレン力およびエネルギー補正後の破壊時応力

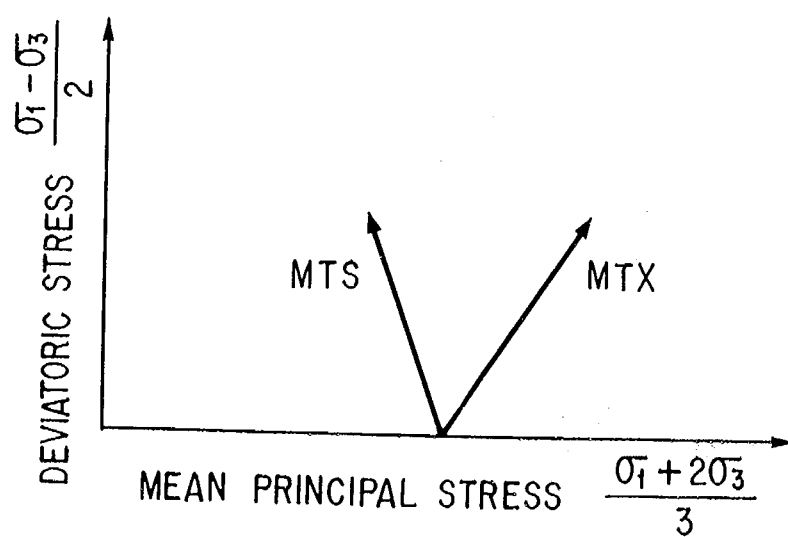


図- 7.6 MTSとMTXの応力経路

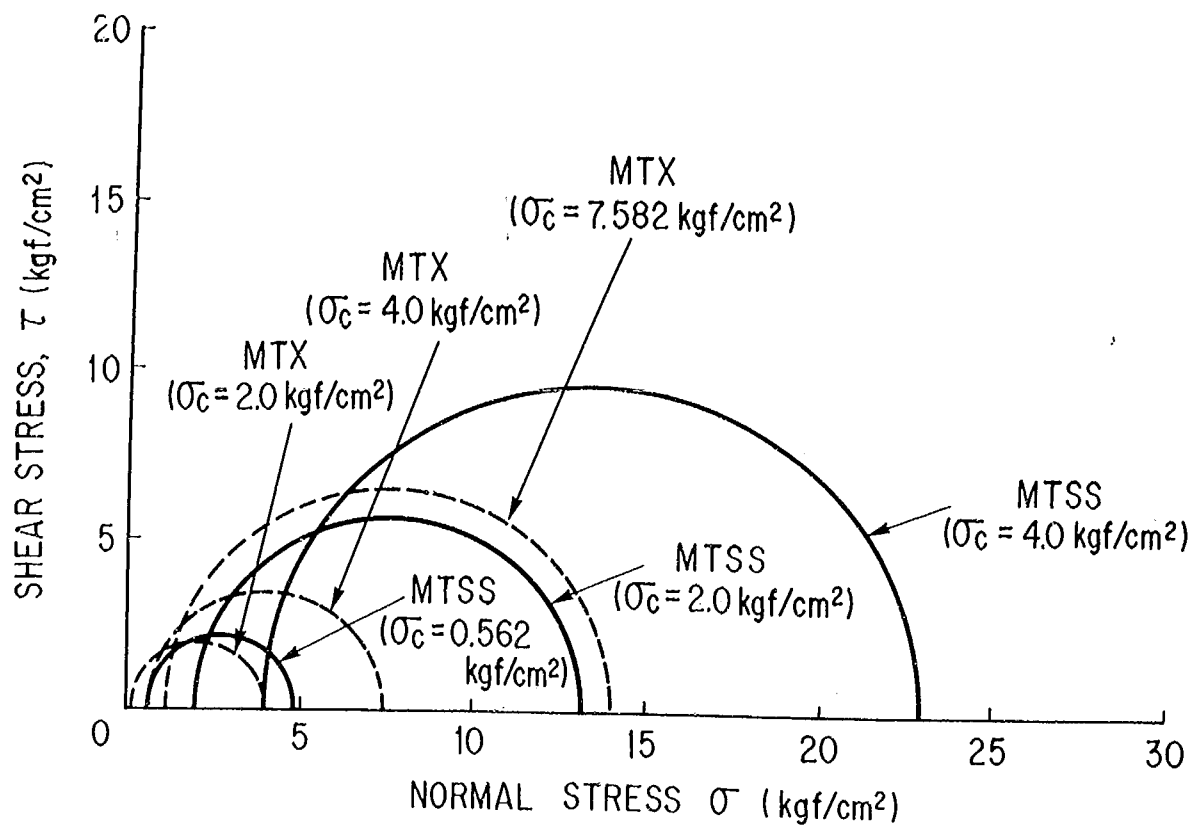
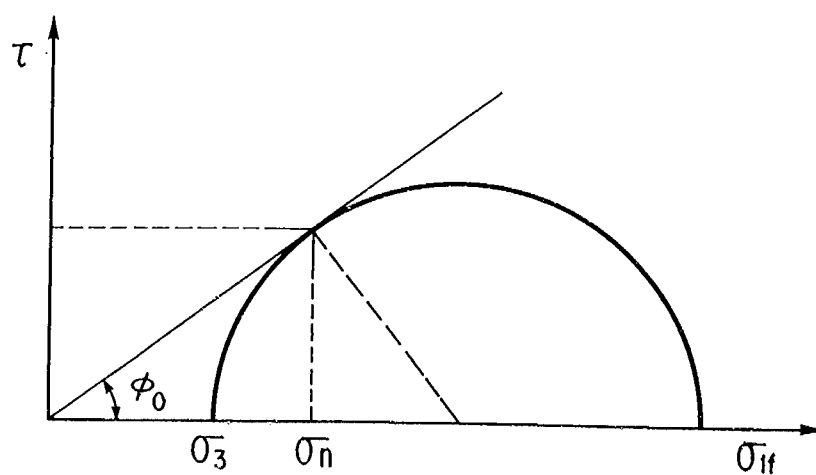


図-7.7 破壊時のモールの応力円



$$\tau_f = \frac{\sigma_{if} - \sigma_3}{2} \cdot \cos \phi_0$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_{if} + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_{if} - \sigma_3}{2} \sin \phi_0$$

$$\phi_0 = \sin^{-1} \frac{\sigma_{if} - \sigma_3}{\sigma_{if} + \sigma_3}$$

図-7.8 ϕ_0 法による破壊面の応力

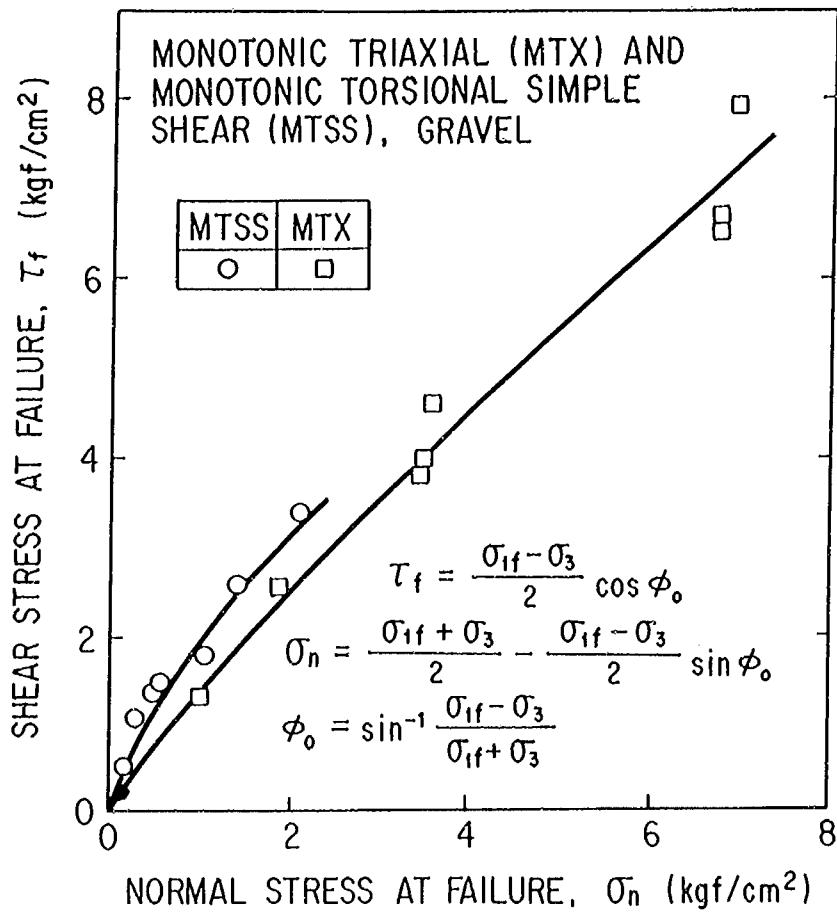


図-7.9 破壊時のせん断応力と垂直応力の関係

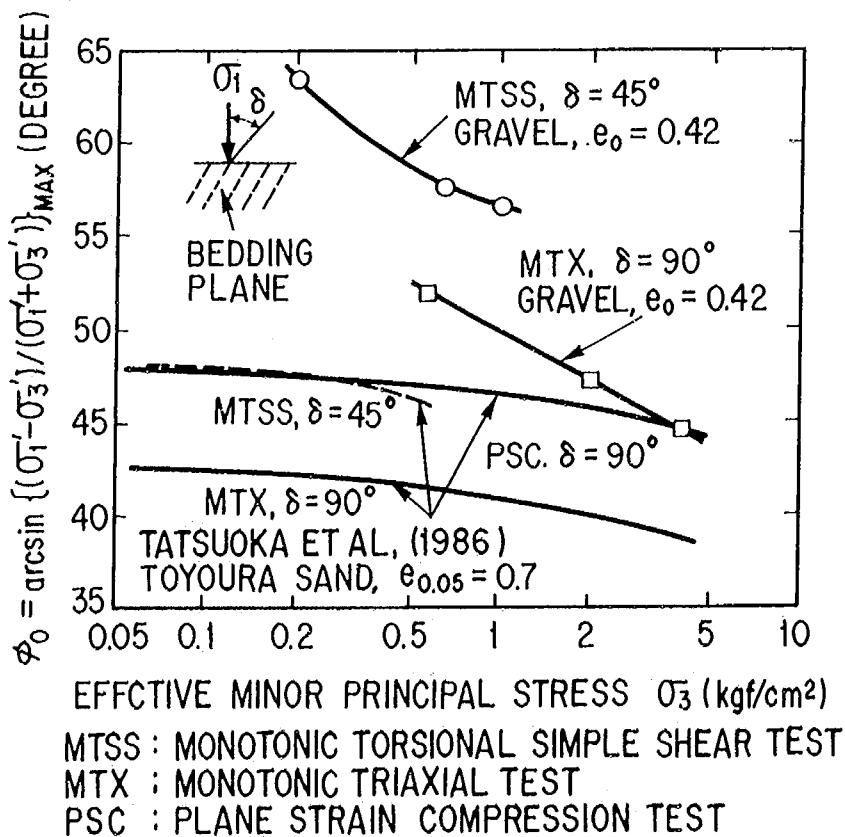


図-7.10 せん断抵抗角と有効最小主応力との関係

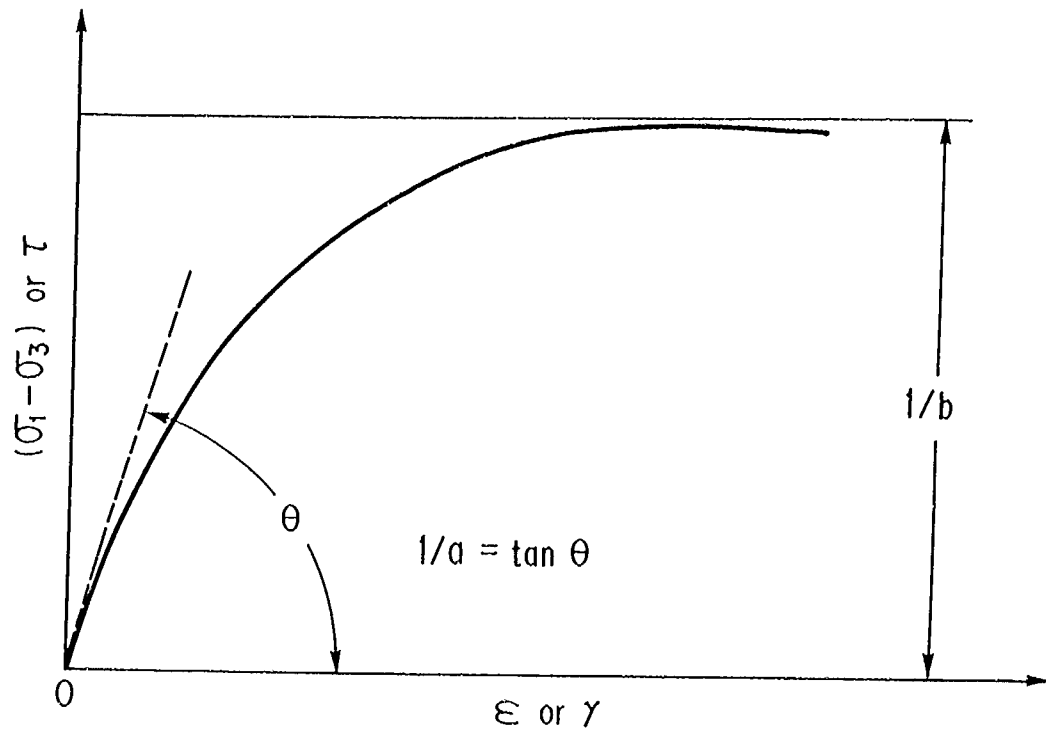


図-7.11 応力とひずみの近似曲線

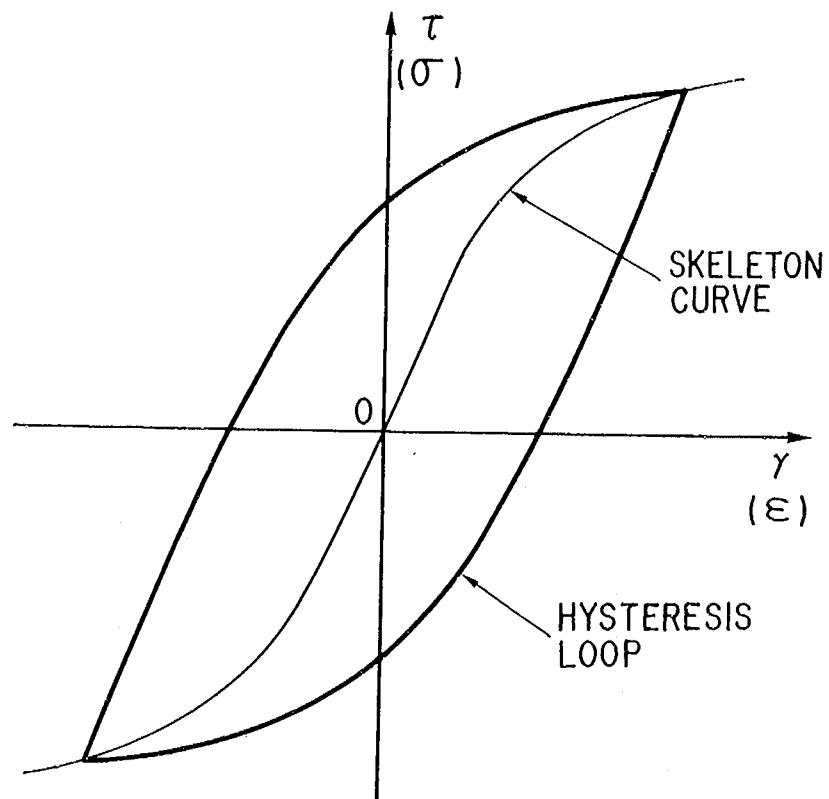


図-7.12 骨格曲線と履歴ループ

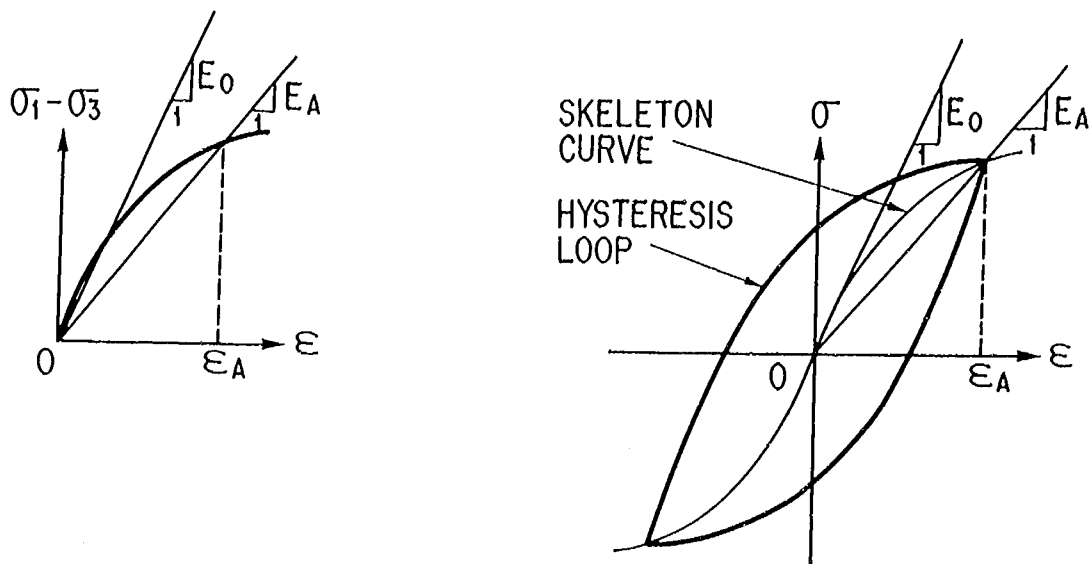


図-7.13 応力とひずみの関係

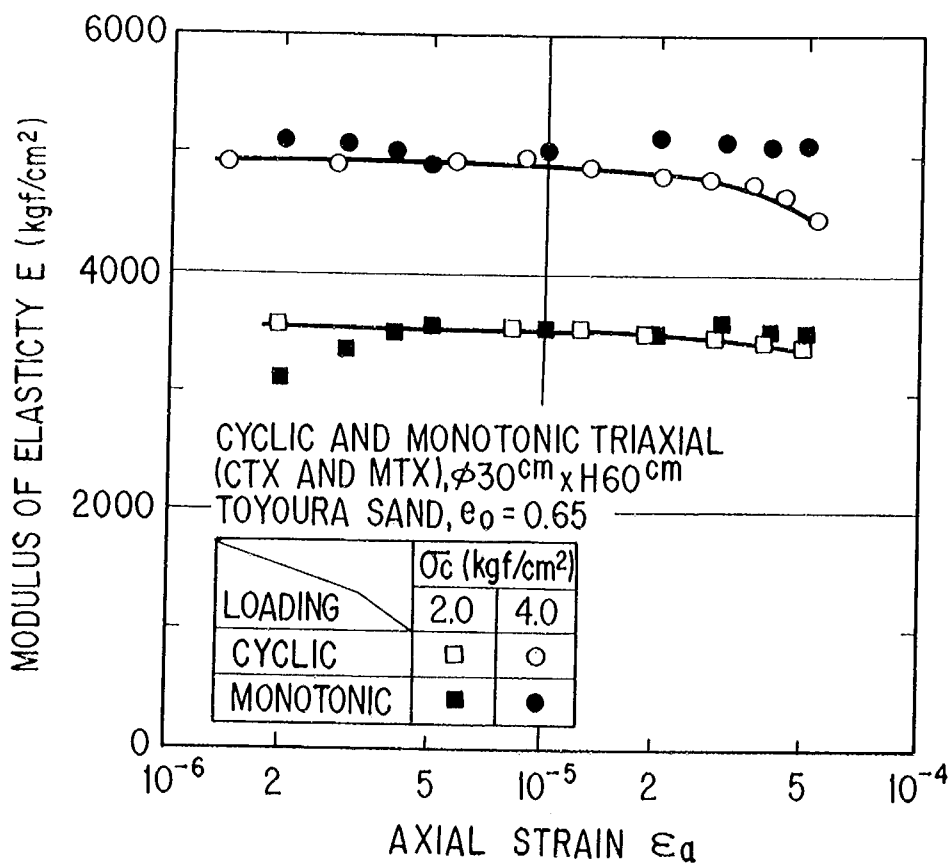


図-7.14 静的試験と繰返し試験による弾性係数の比較 (豊浦標準砂)

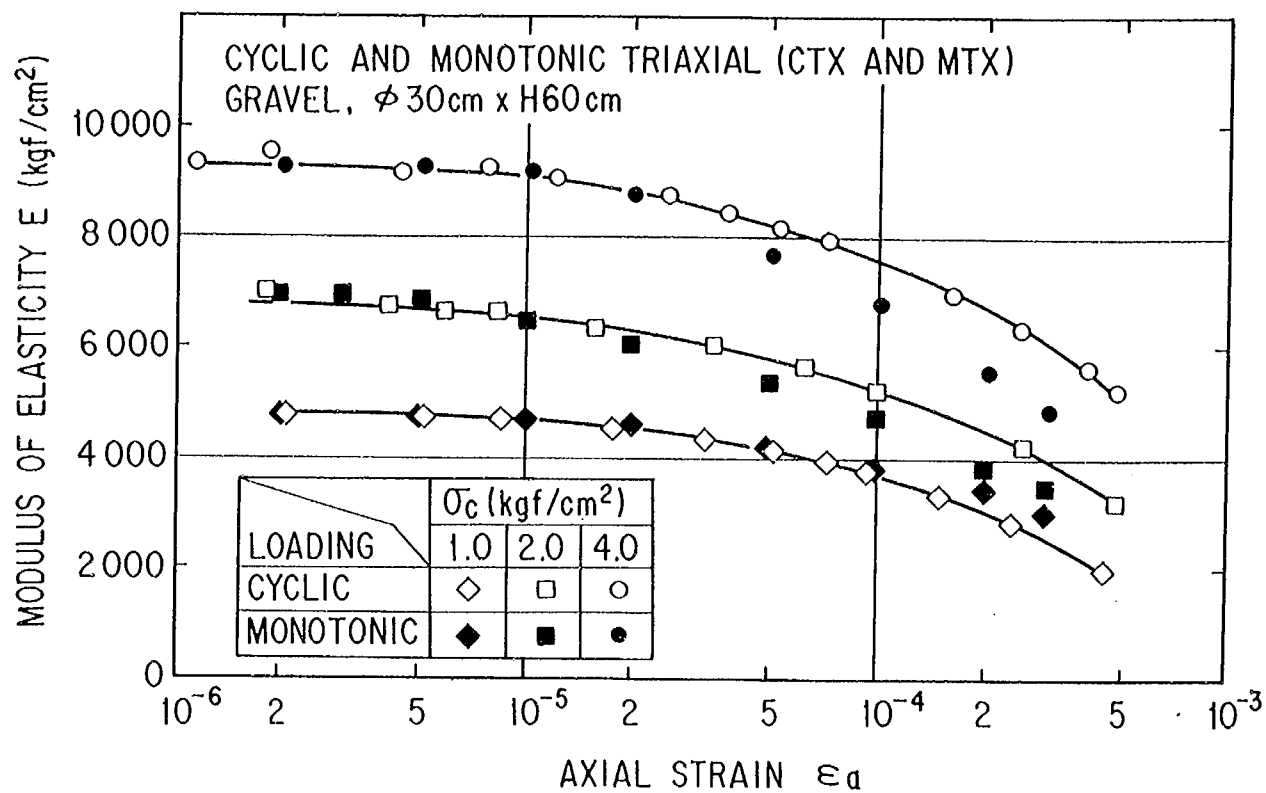


図-7.15 静的試験と繰返し試験による弾性係数の比較 (粗粒材料)

表-7.1 静的試験結果一覧表

		MTX K			MTX I			MTX J			MTSS I			MTSS J			MTSS K		
		$\sigma_c=0.562\text{kgf/cm}^2$			2.0			4.0			2.0			4.0			7.582		
		A*	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
供試体条件	初期乾燥密度 γ_d (g/cm ³)	1.784			1.803			1.804			1.799			1.805			1.812		
	初期間隙比 e_o	0.429			0.414			0.414			0.417			0.413			0.408		
	圧密後間隙比 e_c	0.422			0.400			0.390			0.394			0.374			0.345		
試験結果	$(\sigma_1 - \sigma_3)_z$ or τ_z (kgf/cm ²)	4.24	4.22	4.21	11.16	11.14	10.50	18.86	18.85	18.39	1.92	1.86	1.43	3.43	3.38	2.73	6.44	6.38	5.57
	ε_{vz} (%)	-2.18	-2.18	-2.18	0.31	0.31	0.61	1.97	1.97	2.15	-3.09	-3.09	-3.09	-0.93	-0.93	-0.93	0	0	0
	ε_{az} or γ_z (%)	4.70	4.70	4.70	7.59	7.59	6.60	9.82	9.82	8.61	13.70	13.70	13.70	12.85	12.85	12.85	13.64	13.64	13.64
ϕ_o による強度	τ_z (kgf/cm ²)	1.298	1.296	1.294	3.777	3.772	3.621	6.714	6.712	6.595	0.538	0.684	1.000	1.767	1.808	1.995	3.397	3.445	3.778
	σ_n (kgf/cm ²)	1.006	1.006	1.006	3.472	3.472	3.448	6.809	6.808	6.787	0.157	0.270	0.978	1.059	1.144	2.137	2.109	2.210	3.487
	ϕ_o (度)	52.221	52.184	52.147	47.404	47.375	46.397	44.601	44.592	44.175	73.740	68.435	45.643	59.037	57.672	43.039	58.169	57.319	47.293

*) Aは補正前、Bはメンブレン補正後、Cはエネルギー補正後を意味する。

8. 結論および今後の問題点

ロック材の動的変形特性を求める室内試験は、供試体および試験装置が大がかりになることから、その研究例は砂に比し少なかった。その中でも、応力状態が明確で精度が良く構造も簡単なことから、中実供試体を用いたCTXは、比較的多く行われてきたが、この試験は、主応力方向が鉛直又は水平に固定され、軸対称のひずみ状態であり、必ずしも原位置の応力状態を再現しているとは言い難い。そこで、昭和58年度には当研究室において、現実の応力状態である単純せん断状態を再現できる中空供試体を用いたCTSSが可能な大型せん断試験装置が開発された。

本報告では、さらに当試験装置に高精度の微小変位計（渦電流型、最大容量4mm、精度0.16% F.S）を導入することにより、微小ひずみ領域（ $\gamma < 10^{-4}$ ）の動的物性値を精度良く測定し、粗粒材料の動的変形特性を明確にする目的で、CTSSおよびCTXを実施した。本試験では、この粗粒材料の繰返し载荷試験を含めて、次の4種類の試験を行った。

- ① 予備試験として豊浦標準砂を用いた繰返し载荷試験
- ② ロック材料を用いた繰返し载荷試験
- ③ ロック材料を用いた単調载荷試験

ここでは、これらの試験結果をまとめて、以下に順を追って述べるものとする。

8.1 予備試験結果

試験は豊浦砂について、CTSS・CTX各1ケース行い、試験結果は、 γ 、 σ_c 、 e の各要因ごとに、過去の試験結果と比較した。その結果、以下の事柄が明らかになった。

- (a) G 、 h のひずみ依存性は、他の研究者によってなされた試験結果に良く一致しており、特にひずみの小さいレベル $\gamma < 10^{-4}$ ではこれまで共振法で求められていた結果に一致しており、微小変位計の導入により広範囲なひずみ領域に亘って動的物性値が繰返し法のみで得られるようになった。
- (b) 拘束依存性については、 G を $K(\gamma) \cdot \alpha \cdot \sigma_c^{m(\gamma)}$ ($\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)$) という式で表現できる。
- (c) CTSSの $G \sim h$ 関係は、各種自然砂の平均線と一致し、CTXでは、それよりやや下回る結果となった。
- (d) CTXで得られた動的ポアソン比 ν_d は、本実験と試験条件が同じで $\phi 30 \times H60$ の供試体を用いた過去の試験結果に一致した。

以上より、今回の予備試験結果は、豊浦砂を用いたこれまでの研究結果と定性的に良く一致しており、従来用いられてきた小型の三軸試験や中空ねじり単純せん断試験・共振法等から得られた動的物性値との整合性が確認された。

8.2 粗粒材料の試験結果

粗粒材料の動的変形物性を明確にするため、東北地建七ヶ宿ダムのロック材を用いて大型せん断試験装置により、CTSSおよびCTXを実施した。両試験ともに、微小変位計の導入により動的物性値は、従来、繰返し法で得られなかった。微小ひずみ領域 ($\gamma < 10^{-4}$) まで精度よく測定できるようになった。ここでは、これらの試験結果と、CTSSとCTXの両者を比較した結果について述べる。なお、各ケースの試験を実施する前にCTSS・CTXともに、試験結果の再現性を確認するために、同一条件の試験を2回ずつ実施したが、両試験ともに試験の再現性の良いことが確認された。

8.2.1 CTSSおよびCTX

試験結果は、砂質土の動的変形特性を基本として、粗粒材料の動的物性値 (G, h) に影響を及ぼすと考えられる要因ごとに整理した。

その結果CTSS・CTXのいずれも、 r, σ_c, e の G, h に対する影響が他の要因に比べて大きい。したがって、粗粒材料の動的物性値は r, σ_c, e の3つに大きく依存しており、 G, h は、次式で表しうるといえる。

$$\left. \begin{aligned} G &= K(r) \cdot \alpha \cdot \sigma_c^{m(r)} \quad (\alpha = (2.17 - e)^2 / (1 + e)) \\ h &= L(r) \cdot \beta \cdot \sigma_c^{m(r)} \quad (\beta = 0.4 + 1.5 \cdot e) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8.1)$$

砂質土の場合と異なるところは h が e の関数となっている点である。 h が e の影響を受けていることは今回の試験結果から明白であるが、関数 β は、今回の結果から提案したものであり、その汎用性の有無については、今後の検証が必要である。

また、 G と h の関係について、Hardin and Drnevich (1972)¹⁸⁾ の提案した式 ($h = h_{\max} (1 - G/G_0)$) に則り、 $h \sim G/G_0$ 関係で整理したところ、各間隙比ごとに、 σ_c の大きさに無関係に相関性の高い直線関係が得られた。よって、粗粒材についても G と h の間に上式の関係が成立するといえる。

8.2.2 CTSSとCTXの比較

8.2.2.1 せん断弾性係数 G

G に大きく影響すると考えられる r, σ_c, e の3要因に着目して両試験結果を比較した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(a) G は、同一間隙比の試験ケースで比較するとCTSSの方がCTXより大きく出ており、 $G \sim \log r$ 関係で比較すると両者の差は、 σ_c が大きいほど大きく、同一 σ_c においては r が小さいほど大きい。また、両者の G の比率については、いずれのケースも $\sigma_c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合を除いて、 r の大きさに関係なく、(CTSSの G) : (CTXの G) = 1 : 0.9 である。なお、 $G/G_0 \sim \log r$ 関係は、両者の間に差はなかった。

(b) $m(r) \sim \log r$ については、 r の大きいレベルでは、両者の $m(r)$ はほぼ一致しており、 r が小さくなるとCTSSでは約0.6に、CTXでは約0.5に収束していることから、微小ひずみ領域においては、 G 値の拘束圧の依存度合いはCTSSの方が大きい。

(c) $\log G/\sigma_c^{n(r)} \sim e_c$ 関係については、いずれの r においても両者の結果はほぼ同じ近似直線上にプロットされていることから、 e の影響度合いについては、両者の間に差はない。

CTSS と CTX の間に違いが生じた原因として、中間主応力と異方性の 2 つの影響が考えられる。これらは、前者の影響により CTSS から得られる G の方が CTX よりも大きくなり、後者の影響では逆に小さくなるという相反する関係にあるが、豊浦砂を用いた単調載荷試験により、両試験法を比較した結果では、中間主応力の影響による強度差の方が異方性に比べて大きかったために、CTSS で求める強度の方が大きくでていた。よって、同様の理由で繰返し載荷試験においても、CTSS で求まる G の方が大きくなったと推定できる。

8.2.2.2 減衰定数 h

G と同様、 r 、 σ_c 、 e の 3 要因に着目して両試験から得られた h を比較した。

(a) いずれのケースも CTSS の h の方が大きく、その差は r が大きくなるほど大きい。

(b) $n(r) \sim \log r$ についてみると、 $n(r)$ は、 $r < 5 \times 10^{-5}$ では CTSS は -0.3 に、CTX は -0.2 にそれぞれ収束しており、 $r > 2 \times 10^{-4}$ で両者の $n(r)$ は重なっている。したがって σ_c の影響度合いは、ひずみの小さいレベルでは CTSS の方がやや大きく、ひずみの大きいレベルでは、同程度である。

(c) $\log h/\sigma_c^{n(r)} \sim e_c$ 関係について両者を比較すると、近似直線との一致度は CTSS の方が良好である。また、CTSS・CTX とともに、ひずみが大きくなるに従い、 e_c の影響は大きい。

8.2.2.3 G と h の関係

Hardin and Drnevich の直線式 $h = h_{\max} (1 - G/G_0)$ について、両試験の同一間隙比のケースで比較すると、いずれにおいても、直線の傾きは、CTSS の方が大きかった。 $h_{\max}$ で両者を比較すると、CTSS から求まる h が、CTX から求まる h よりもケース A ($e_0 = 0.42$) では、2.5%、ケース B ($e_0 = 0.47$) では 3.4%、ケース C ($e_0 = 0.52$) では 4.4% の差があった。

8.2.3 粗粒材料の単調載荷試験と繰返し載荷試験の比較

微小ひずみ領域の弾性係数 E に着目して両試験結果を比較した。

(a) 10^{-5} 以下のひずみで求まる E は、豊浦砂・粗粒材料とも一致するが、そのひずみより大きくなると一致しない。単調載荷試験の結果が大きめか小さめかは明かではない。

以上述べたように、大型せん断試験装置により、粗粒材料の動的変形特性 (G , h) が三軸供試体を用いた CTX の他に、原位置の応力状態を再現している中空供試体を用いた CTSS により求められた。しかも、高精度の微小変位計を導入したことにより、その物性値は、微小ひずみ領域まで繰返し法だけで測定可能となり、その特性がある程度明らかになった。しかし、フィルダムのより合理的な設計や動的解析に資するためには、今後、以下に示す様な問題点を解決してゆく必要がある。

(a) 今回の微小変位計の導入により、CTX においては、微小ひずみ領域の軸ひずみ ϵ_a が精度良く求められるようになったが、体積変化計の精度にまだ不十分な点があり、微小ひずみ領域の動的ポアソン比 ν_d が測定できなかった。CTX で微小ひずみ領域の動的物性値と精度良く測定するためには、

この体積変位計の精度向上が不可欠である。

- (b) 今回の試験により、粗粒材料の動的物性値は、式(8.1)に示したように、 $K(r)$ 、 $m(r)$ および $l(r)$ 、 $n(r)$ を用いて表しうることがわかった。これらの定数は材料特有の定数と考えられるので、今後、材料の特性(強度や形状など)とこれら定数との関連性の検討が必要である。
- (c) 粗粒材料の減衰定数 h は、空隙比の関数となっていることがわかり、今回の結果から $\beta = (0.4 + 1.5 \cdot e)$ という関数を提案した。今後、 e をパラメータとした試験を実施することにより、この関数 β の検証を行う必要がある。
- (d) MTSS と CTSS によって、単調载荷試験と繰返し载荷試験の弾性係数を比較する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 松本徳久, 渡辺和夫, 大野一昭 (1984); 「大型せん断試験装置を用いた標準砂とロック材料の動的変形特性試験」, 土木研究所資料, 第2132号
- 2) 福島伸二 (1982); 「ねじりせん断試験による砂の変形・強度特性の実験的研究」, 東京大学博士論文
- 3) 松本徳久, 渡辺和夫, 村上清基 (1983); ロック材料の最大粒径に着目した三軸圧縮比較試験・その2」, 土木研究所資料, 第2006号
- 4) 土質工学会 (1982); 「ロックフィル材料の試験と設計強度」
- 5) R. J. Marsal (1972); 「Mechanical Properties of Rockfill」, Embankment-Dam Engineering, Casagrande Volume, pp. 130 ~ 132
- 6) 松本徳久, 渡辺和夫, 小川 俊 (1983); 「七ヶ宿ダムフィル材料試験報告」, 土木研究所資料, 第1974号
- 7) 松本徳久, 安田成夫, 境野典夫 (1984); 「大型繰返し三軸試験機を用いた粗粒材料の動的物性試験」, 土木研究所資料, 第2146号
- 8) 龍岡文夫, 足立紀尚 (1979); 「新体型土木工学 18, 土の力学 (Ⅲ) —圧密・せん断・動的解析—」, 技報堂, pp. 195 ~ 256
- 9) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 吉田精一 (1977); 「地盤の動的変形特性に関する実験的研究 (I) —微小ひずみ領域における砂の動的変形特性—」, 土木研究所報告, 第148号
- 10) 土質工学会 (1979); 「土質試験法」, pp. 495 ~ 522
- 11) 大岡 弘, 伊東幸爾朗 (1979); 「乾燥砂と正規圧密粘土を用いた動的一斉試験結果」, UJNR, 第11回合同部会, (実験は鈴木善雄・杉本三千雄による)
- 12) 中川康一, 中屋真司, 島本 清 (1979); 「砂質土のヤング率および剛性率の動的測定」, 第14回土質工学研究発表会, pp. 553 ~ 556
- 13) 国生剛治, 桜井彰雄, 江刺靖生 (1979); 「三軸試験装置を用いた微小ひずみから大ひずみまでの土質動的試験法の開発と砂の物性試験への適用」, 電力中央研究所報告, No. 379002号
- 14) 龍岡文夫, 山田真一 (1983); 「土の動的性質および実験法 (第2回) —講義と実習—」, 生研セミナーテキスト (コース 89)
- 15) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 高木義和 (1976); 「広範囲なひずみ領域での砂の動的変形特性」, 土木研究所資料, 第1080号
- 16) Iwasaki, T., Tatsuoaka, F. (1977); 「Effect of grain size and grading on dynamic shear moduli of sands」, Soils and Foundations, Vol. 17, No. 3, pp. 19 ~ 35
- 17) Hardin, B. O., Richart, F. E. Jr. (1963); 「Elastic wave velocities in granular soils」, Jour. of SMFD, Proc. ASCE, Vol. 89, No. SMI, pp. 33 ~ 65

- 18) Hardin, B.O., V.P. Drnevich (1972); 「Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves」, Jour. of SMFD, Proc. ASCE, Vol. 98, No. SM 7, pp. 667 ~ 692
- 19) Tatsuoka, F., Iwasaki, T., Takagi, Y. (1978); 「Hysteretic damping of sands and its relation to shear modulus」, Soils and Foundations, Vol. 18, No. 2, pp. 25 ~ 40
- 20) 松本徳久, 安田成夫, 大久保雅彦 (1986); 「豊浦標準砂を用いた動的ポアソン比の検討」, 第21回土質工学研究発表会, pp. 555 ~ 556
- 21) 酒井運雄, 安田 進 (1976); 「振動三軸試験で求めた土の動的変形特性」, 第11回土質工学研究発表会, pp. 423 ~ 426
- 22) 今非常雄, 横田耕一朗, 今野政志, 栗田好文 (1979); 「振動三軸試験機を用いた動的ポアソン比の測定について」, 第14回土質工学研究発表会, pp. 517 ~ 520
- 23) 松本徳久, 豊田光雄, 志賀三智 (1983); 「実物ロックフィルダムにおける動的変形係数分布」, UJNR, 第15回合同部会
- 24) Lazan, B. J. (1968); 「Damping of materials and members in structural mechanics」
Pergamon Press
- 25) 石原研而 (1976); 「土質動力学の基礎」, 鹿島出版会
- 26) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 須藤秀雄 (1977); 「砂のせん断変形係数に与える応力条件の影響」, 第12回土質工学研究発表会, pp. 413 ~ 416
- 27) 龍岡文夫, 福島伸二 (1978); 「中空ねじり試験による砂の変形係数に及ぼす拘束圧力及び応力履歴の影響」, 第13回土質工学研究発表会, pp. 481 ~ 488
- 28) Tatsuoka, F., T. Iwasaki, S. Fukushima and H. Sudo (1979); 「Stress conditions and stress histories affecting shear modulus and damping of sand under cyclic loading」, Soils and Foundations, Vol. 19, No. 2
- 29) 西垣好彦, 中川康一, 奥田庸雄 (1976); 「砂の横波速度の圧力効果」, 第11回土質工学研究発表会, pp. 319 ~ 322
- 30) 山田恭央 (1980); 「三次元応力状態におけるゆるい砂の変形特性」, 東京大学博士論文, p. 595
- 31) 小田国寛, 西 寿三男 (1978); 「砂の強度異方性」, 第13回土質工学研究発表会, pp. 389 ~ 392
- 32) 福島伸二, 龍岡文夫 (1981); 「砂の平面ひずみねじり単純せん断試験」, 第16回土質工学研究発表会
- 33) Matsumoto, N., N. Yasuda and M. Ohkubo (1985); 「Behaviors of a rockfill dam during earthquakes」, The 17th Joint Meeting of U.S.- Japan Panel on Wind and Seismic Effects
- 34) Hatanaka, M., Y. Suzuki, T. Kawasaki and M. Endo (1988); 「Cyclic undrain ed shear properties of high quality undisturbed gravel」, Soils and Foundations, Vol. 28, No. 4, JSSMFE, pp. 57 - 68

- 35) 杜本康広, 西尾伸也, 馬場幸吉 他 (1986); 「凍結採取された不攪乱砂礫試料の動的強度変形特性」, 粗粒材料の変形・強度特性とその試験法に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 89 - 94
- 36) Seed, H. B., R. T. Wong, I. M. Idriss and K. Tokimatsu (1984); 「Moduli and damping factors for Dynamic Analysis of Cohesionless soils」, Report No. EERC 84 - 14. Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley, CA.
- 37) Hynes, M. E., R. E. Wahl, R. T. Donaghe, and T. Tsuchida (1988); 「Seismic stability evaluation of Folsome Dam and reservoir project, Report No. 4, Mormon Island auxiliary dam-phase I」, Technical report GL-87-14, Department of Army, WES, Corps of Engineers, 1988
- 38) Bishop, A. W. (1953); 「Discussion on A. D. M. Penncur」, Geotechnique, Vol. 4, No. 1, p. 43
- 39) 松本徳久, 安田成夫, 大久保雅彦 (1987); 「粗粒材料のせん断変形の相違による静的強度・変形への影響」, 第22回土質工学研究発表会, pp. 499 ~ 500
- 40) 松本徳久, 渡辺和夫 (1987); 「ロック材料のせん断強度」, 土と基礎, Vol. 35 - 12, pp. 49 ~ 54
- 41) 龍岡文夫, 園田昭二 (1985); 「ねじりせん断と平面ひずみ圧縮せん断における砂の変形強度の関係」, 第20回土質工学研究発表会, pp. 403 ~ 406
- 42) Kondner, R. L. (1963); 「Hyperbolic Stress-strain Response: Cohesive Soils」, Proc. ASCE, Vol. 89, No. SM 1, pp. 115 - 143
- 43) Tatsuoka, F., S. Sonoda, K. Hara, S. Fukusima and T. B. S. Pradhan (1986); 「Failure and deformation of sand in torsional shear」, Vol. 26, No. 4, Soils and Foundations, JSSMFE, pp. 79 - 97
- 44) 福島伸二, 龍岡文夫, 木下効志 (1981); 「ねじり単純せん断試験における砂とガラスビーズの強度の拘束圧依存性」, 第16回土質工学研究発表会, pp. 501 - 504
- 45) 国生剛治, 江刺靖生, 桜井彰雄 (1980); 「広いひずみ範囲における粗粒材料の動的変形特性と減衰特性」, 電力中央研究所報告, No. 380002号

付録・データ編

付表－1.1～1.27

豊浦標準砂およびロック材料
の繰返し載荷試験

付表－2.1～2.6

ロック材料の単調載荷試験

付表-1.1 CTSS, 豐浦標準砂, $e_0 = 0.74$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.068		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.735		es= 0.735			eb= 0.732		es= 0.732		eb= 0.730		es= 0.730		eb= 0.728		es= 0.728	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	4.00E-06	1400	0.00	2.1	3.00E-06	1866	0.00	1.6	2.50E-06	2239	0.00	0.4	2.00E-06	2332	0.00	2.3
2	1.13E-05	1235	0.00	0.5	7.84E-06	1787	0.00	0.2	6.67E-06	2099	0.00	1.1	6.00E-06	2332	0.00	1.1
3	1.88E-05	1239	0.00	1.0	1.35E-05	1728	0.00	0.6	1.12E-05	2088	0.00	0.7	1.38E-05	2360	0.00	0.6
4	1.88E-05	1239	0.00	0.3	1.90E-05	1670	0.00	0.9	1.60E-05	2041	0.00	0.8	2.62E-05	2317	0.00	0.1
5	2.68E-05	1217	0.00	0.8	3.03E-05	1692	0.00	1.2	2.52E-05	2039	0.00	1.0	4.34E-05	2238	0.00	1.7
6	3.58E-05	1172	0.00	1.8	4.30E-05	1627	0.00	1.5	3.97E-05	1952	0.00	1.2	6.44E-05	2204	0.00	1.8
7	4.37E-05	1176	0.00	1.8	6.15E-05	1593	0.00	1.7	5.49E-05	1939	0.00	1.4	9.21E-05	2139	0.00	1.5
8	6.17E-05	1135	0.00	2.3	8.00E-05	1551	0.00	2.0	7.52E-05	1899	0.00	1.5	1.30E-04	2088	0.00	1.2
9	8.03E-05	1092	0.00	2.9	1.06E-04	1518	0.00	2.4	1.07E-04	1848	0.00	2.0	1.79E-04	2023	0.00	2.4
10	1.11E-04	1051	0.00	3.8	1.35E-04	1471	0.00	2.9	1.41E-04	1799	0.00	2.3	2.43E-04	1949	0.00	2.9
11	1.43E-04	1000	0.00	4.7	1.71E-04	1431	0.00	2.8	1.88E-04	1743	0.00	2.9	3.21E-04	1875	0.00	3.7
12	1.90E-04	947	0.00	6.2	2.10E-04	1385	0.00	4.2	2.50E-04	1672	0.00	3.6	4.18E-04	1789	0.00	4.8
13	2.43E-04	891	0.00	7.9	2.58E-04	1334	0.00	5.0	3.32E-04	1593	0.00	4.7	5.44E-04	1675	0.00	5.9
14	3.21E-04	817	0.00	10.5	3.31E-04	1268	0.00	6.4	4.38E-04	1497	0.00	6.5	0.00E+00	0	0.00	0.0
15	4.15E-04	742	0.00	12.8	4.37E-04	1167	0.00	8.8	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.2 CTX, 豐浦標準砂, $e_0 = 0.74$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.739		es= 0.739			eb= 0.737		es= 0.737		eb= 0.735		es= 0.735		eb= 0.733		es= 0.733	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	2.09E-06	1336	0.09	0.0	2.57E-06	1860	0.10	0.0	2.48E-06	1927	0.11	0.0	3.04E-06	2367	0.08	0.0
2	3.49E-06	1367	0.09	0.0	4.27E-06	1775	0.10	0.1	3.92E-06	1933	0.11	0.0	5.16E-06	2322	0.08	0.3
3	5.28E-06	1281	0.09	0.0	5.88E-06	1695	0.10	0.0	4.86E-06	1888	0.11	0.1	7.07E-06	2260	0.08	0.5
4	7.45E-06	1336	0.09	0.1	7.38E-06	1619	0.10	0.5	6.74E-06	1954	0.11	0.2	1.10E-05	2169	0.08	0.2
5	9.35E-06	1321	0.09	0.1	9.74E-06	1678	0.10	0.1	8.45E-06	1936	0.11	0.3	1.76E-05	2181	0.08	0.3
6	1.21E-05	1288	0.09	0.1	1.50E-05	1619	0.10	0.3	1.29E-05	1853	0.11	0.4	2.57E-05	2158	0.08	0.4
7	1.59E-05	1275	0.09	0.3	2.10E-05	1575	0.10	0.3	2.02E-05	1841	0.11	0.3	4.09E-05	2069	0.10	0.5
8	1.96E-05	1257	0.09	0.4	2.93E-05	1562	0.10	0.4	2.76E-05	1821	0.11	0.4	6.35E-05	2017	0.10	0.7
9	2.70E-05	1211	0.09	0.9	4.43E-05	1529	0.10	0.7	4.83E-05	1751	0.12	0.7	9.10E-05	1965	0.10	1.0
10	4.26E-05	1169	0.09	1.2	6.98E-05	1456	0.11	1.2	7.96E-05	1709	0.11	1.0	1.30E-04	1898	0.11	1.2
11	5.86E-05	1142	0.08	1.6	1.07E-04	1426	0.09	1.6	1.25E-04	1642	0.12	1.3	1.82E-04	1832	0.12	1.4
12	8.41E-05	1084	0.09	1.9	1.65E-04	1333	0.11	2.2	1.82E-04	1593	0.11	1.7	2.53E-04	1756	0.13	1.8
13	1.20E-04	1041	0.08	2.5	2.45E-04	1237	0.13	2.9	2.58E-04	1515	0.12	2.3	3.58E-04	1662	0.14	2.4
14	1.83E-04	942	0.10	3.6	3.70E-04	1127	0.13	4.4	3.55E-04	1431	0.13	3.0	4.91E-04	1553	0.15	3.3
15	2.96E-04	812	0.11	6.0	4.54E-04	1118	0.13	6.8	5.00E-04	1309	0.14	4.3	0.00E+00	0	0.00	0.0
16	3.64E-04	755	0.11	7.1	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.3 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.074		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.404		es= 0.404			eb= 0.394		es= 0.394		eb= 0.389		es= 0.389		eb= 0.384		es= 0.384	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	3.37E-06	1664	0.00	0.0	6.25E-06	2388	0.00	2.0	1.60E-06	2910	0.00	0.0	3.85E-06	3879	0.00	1.3
2	9.94E-06	1409	0.00	1.7	1.03E-05	2274	0.00	2.4	4.65E-06	3010	0.00	1.8	8.66E-06	3663	0.00	1.6
3	1.73E-05	1402	0.00	2.6	1.43E-05	2289	0.00	2.1	7.54E-06	0	0.00	2.0	1.65E-05	3615	0.00	1.8
4	2.48E-05	1315	0.00	3.1	2.36E-05	2138	0.00	2.6	1.06E-05	2998	0.00	2.0	2.81E-05	3458	0.00	2.2
5	3.29E-05	1278	0.00	3.2	3.37E-05	2051	0.00	2.9	1.72E-05	2937	0.00	0.0	4.30E-05	3322	0.00	2.6
6	4.17E-05	1232	0.00	3.5	4.97E-05	1953	0.00	3.4	2.77E-05	2825	0.00	2.3	6.22E-05	3149	0.00	3.0
7	6.08E-05	1137	0.00	4.4	6.66E-05	1865	0.00	3.8	3.87E-05	2728	0.00	2.6	9.08E-05	2981	0.00	3.7
8	8.19E-05	1071	0.00	4.8	9.19E-05	1757	0.00	4.5	5.49E-05	2603	0.00	3.0	1.32E-04	2733	0.00	4.4
9	1.17E-04	982	0.00	5.8	1.19E-04	1657	0.00	5.1	8.02E-05	2456	0.00	3.7	1.85E-04	2563	0.00	5.2
10	1.56E-04	911	0.00	6.4	1.57E-04	1557	0.00	5.7	1.08E-04	2326	0.00	4.2	2.49E-04	2405	0.00	6.1
11	2.14E-04	844	0.00	7.2	1.96E-04	1477	0.00	6.3	1.49E-04	2188	0.00	5.0	3.41E-04	2188	0.00	7.3
12	2.77E-04	775	0.00	7.9	2.47E-04	1389	0.00	6.9	2.06E-04	2026	0.00	6.0	4.70E-04	1933	0.00	8.7
13	3.72E-04	704	0.00	8.3	3.27E-04	1277	0.00	7.8	2.84E-04	1858	0.00	6.9	0.00E+00	0	0.00	0.0
14	4.84E-04	636	0.00	9.8	4.40E-04	1156	0.00	9.0	3.87E-04	1689	0.00	8.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
15	0.00E+00	0	0.00	0.0	5.09E-04	1106	0.00	9.1	5.29E-04	1512	0.00	9.4	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.4 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.072		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.413		es= 0.413			eb= 0.406		es= 0.406		eb= 0.401		es= 0.401		eb= 0.398		es= 0.398	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	3.20E-06	1749	0.00	0.0	2.40E-06	2331	0.00	0.0	1.76E-06	3178	0.00	1.4	1.44E-06	3883	0.00	1.8
2	9.76E-06	1434	0.00	2.5	6.41E-06	2186	0.00	1.3	4.65E-06	3014	0.00	1.3	3.85E-06	3641	0.00	0.9
3	1.78E-05	1366	0.00	2.8	1.07E-05	2175	0.00	1.5	8.01E-06	3030	0.00	1.2	8.81E-06	3707	0.00	1.1
4	2.55E-05	1320	0.00	3.2	1.52E-05	2147	0.00	1.8	1.14E-05	2954	0.00	1.5	1.70E-05	3517	0.00	1.5
5	3.41E-05	1232	0.00	3.7	2.47E-05	2082	0.00	2.1	1.79E-05	2809	0.00	1.8	2.85E-05	3403	0.00	2.0
6	4.27E-05	1201	0.00	3.8	3.52E-05	1960	0.00	2.6	2.92E-05	2689	0.00	2.3	4.41E-05	3241	0.00	2.4
7	6.26E-05	1118	0.00	4.5	5.19E-05	1871	0.00	3.2	4.07E-05	2615	0.00	2.6	6.36E-05	3111	0.00	2.9
8	8.39E-05	1035	0.00	5.1	6.98E-05	1791	0.00	3.8	5.75E-05	2499	0.00	3.1	9.25E-05	2938	0.00	3.7
9	1.21E-04	958	0.00	6.0	9.59E-05	1683	0.00	4.5	8.46E-05	2328	0.00	3.9	1.32E-04	2743	0.00	4.4
10	1.61E-04	892	0.00	6.6	1.24E-04	1593	0.00	5.1	1.14E-04	2211	0.00	4.7	1.86E-04	2549	0.00	5.4
11	2.20E-04	816	0.00	6.9	1.63E-04	1496	0.00	5.8	1.59E-04	2058	0.00	5.6	2.56E-04	2351	0.00	6.5
12	2.90E-04	746	0.00	8.3	2.05E-04	1414	0.00	6.4	2.20E-04	1903	0.00	6.1	3.48E-04	2147	0.00	7.7
13	3.95E-04	662	0.00	9.2	2.58E-04	1330	0.00	7.1	3.02E-04	1748	0.00	7.8	4.66E-04	1954	0.00	9.0
14	5.20E-04	593	0.00	10.1	3.40E-04	1226	0.00	8.2	4.10E-04	1598	0.00	8.8	0.00E+00	0	0.00	0.0
15	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.62E-04	1105	0.00	9.2	4.35E-04	1594	0.00	8.4	0.00E+00	0	0.00	0.0
16	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.61E-04	1581	0.00	7.7	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.5 CTSS, $e_0 = 0.47$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.072		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.457		es= 0.457			eb= 0.448		es= 0.448		eb= 0.443		es= 0.443		eb= 0.439		es= 0.439	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	4.33E-06	1292	0.00	0.2	2.57E-06	2179	0.00	1.0	1.77E-06	3169	0.00	0.5	4.02E-06	3484	0.00	0.1
2	1.24E-05	1208	0.00	0.7	7.07E-06	2113	0.00	0.4	4.98E-06	2998	0.00	0.3	9.48E-06	3347	0.00	0.6
3	2.01E-05	1163	0.00	1.8	1.17E-05	1990	0.00	0.6	8.36E-06	2904	0.00	0.5	1.80E-05	3318	0.00	1.1
4	2.92E-05	1118	0.00	2.7	1.67E-05	2011	0.00	1.1	1.19E-05	2747	0.00	0.8	3.05E-05	3179	0.00	1.9
5	4.05E-05	1038	0.00	3.6	2.67E-05	1925	0.00	2.0	1.88E-05	2681	0.00	0.8	4.69E-05	3043	0.00	2.5
6	5.04E-05	1000	0.00	3.9	3.74E-05	1846	0.00	2.6	3.00E-05	2609	0.00	2.0	6.81E-05	2904	0.00	2.5
7	7.38E-05	935	0.00	4.3	5.59E-05	1737	0.00	3.5	4.23E-05	2496	0.00	2.5	9.95E-05	2721	0.00	4.0
8	9.94E-05	883	0.00	5.6	7.60E-05	1634	0.00	4.2	5.99E-05	2383	0.00	3.0	1.43E-04	2535	0.00	5.1
9	1.40E-04	817	0.00	6.5	1.05E-04	1532	0.00	5.0	8.81E-05	2247	0.00	3.9	2.01E-04	2352	0.00	6.3
10	1.89E-04	762	0.00	7.7	1.36E-04	1458	0.00	5.7	1.19E-04	2122	0.00	4.7	2.78E-04	2157	0.00	7.6
11	2.59E-04	697	0.00	8.2	1.78E-04	1366	0.00	6.4	1.66E-04	1972	0.00	5.8	3.75E-04	1993	0.00	8.6
12	3.37E-04	643	0.00	8.9	2.24E-04	1297	0.00	7.1	2.30E-04	1820	0.00	7.0	4.97E-04	1834	0.00	9.7
13	4.54E-04	580	0.00	10.2	2.82E-04	1223	0.00	7.8	3.18E-04	1660	0.00	8.1	0.00E+00	0	0.00	0.0
14	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.69E-04	1133	0.00	8.8	4.33E-04	1515	0.00	9.2	0.00E+00	0	0.00	0.0
15	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.97E-04	1027	0.00	9.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.6 CTSS, $e_0 = 0.52$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.074		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.503		es= 0.503			eb= 0.491		es= 0.491		eb= 0.485		es= 0.485		eb= 0.481		es= 0.481	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	4.50E-06	1244	0.00	1.3	2.58E-06	2175	0.00	1.7	1.93E-06	2415	0.00	0.0	1.45E-06	3219	0.00	0.0
2	1.24E-05	1206	0.00	1.7	7.40E-06	1891	0.00	1.3	5.15E-06	2717	0.00	0.9	4.35E-06	3219	0.00	0.6
3	2.11E-05	1108	0.00	2.3	1.22E-05	1984	0.00	1.6	8.70E-06	2683	0.00	1.1	9.99E-06	3271	0.00	0.8
4	3.07E-05	1064	0.00	3.1	1.72E-05	1843	0.00	1.9	1.22E-05	2669	0.00	1.1	1.87E-05	3197	0.00	1.5
5	4.18E-05	982	0.00	3.4	2.82E-05	1823	0.00	2.5	1.95E-05	2635	0.00	1.6	3.14E-05	3090	0.00	1.9
6	5.24E-05	962	0.00	4.3	3.99E-05	1730	0.00	3.2	3.14E-05	2497	0.00	2.2	4.83E-05	2974	0.00	2.6
7	7.81E-05	884	0.00	5.6	5.96E-05	1614	0.00	4.2	4.38E-05	2429	0.00	2.7	7.01E-05	2824	0.00	3.3
8	1.06E-04	827	0.00	6.5	8.05E-05	1543	0.00	5.0	6.26E-05	2295	0.00	3.4	1.03E-04	2634	0.00	4.3
9	1.53E-04	752	0.00	7.7	1.12E-04	1446	0.00	6.1	8.15E-05	2199	0.00	4.0	1.48E-04	2446	0.00	5.6
10	2.02E-04	713	0.00	8.4	1.44E-04	1364	0.00	6.9	1.25E-04	2016	0.00	5.4	2.11E-04	2246	0.00	7.1
11	2.78E-04	642	0.00	9.3	1.89E-04	1294	0.00	7.7	1.75E-04	1866	0.00	6.1	2.91E-04	2063	0.00	8.5
12	3.63E-04	596	0.00	10.0	2.36E-04	1227	0.00	8.3	2.44E-04	1715	0.00	8.0	3.95E-04	1895	0.00	9.7
13	4.61E-04	549	0.00	10.6	2.99E-04	1151	0.00	9.0	3.37E-04	1569	0.00	9.2	5.26E-04	1735	0.00	10.6
14	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.95E-04	1062	0.00	9.9	4.60E-04	1425	0.00	10.3	0.00E+00	0	0.00	0.0
15	0.00E+00	0	0.00	0.0	5.00E-04	984	0.00	10.6	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.7 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.05					MEAN SIG = 2.05				MEAN SIG = 3.05				MEAN SIG = 4.06			
SIG3= 0.926		SIG1= 1.31			SIG3= 1.78		SIG1= 2.59		SIG3= 2.64		SIG1= 3.88		SIG3= 3.50		SIG1= 5.17	
S1/S3= 1.415		M.SIG= 1.05			S1/S3= 1.45		M.SIG= 2.05		S1/S3= 1.47		M.SIG= 3.05		S1/S3= 1.48		M.SIG= 4.06	
eb= 0.406		es= 0.406			eb= 0.399		es= 0.399		eb= 0.394		es= 0.394		eb= 0.391		es= 0.391	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	9.29E-07	1406	0.00	2.1	6.98E-07	2141	0.00	1.4	5.01E-07	3167	0.00	3.3	2.51E-07	4085	0.00	6.2
2	3.68E-06	1268	0.00	-0.4	2.15E-06	2088	0.00	0.8	1.61E-06	2782	0.00	3.3	1.35E-06	3328	0.00	5.0
3	6.09E-06	1256	0.00	0.8	3.97E-06	2045	0.00	0.3	3.04E-06	2731	0.00	1.3	2.33E-06	3320	0.00	1.6
4	1.05E-05	1228	0.00	1.2	6.13E-06	2069	0.00	0.6	4.76E-06	2765	0.00	1.6	3.95E-06	3403	0.00	1.4
5	1.50E-05	1198	0.00	1.8	8.73E-06	2053	0.00	1.2	6.59E-06	2778	0.00	1.6	5.30E-06	3419	0.00	1.1
6	2.01E-05	1167	0.00	2.2	1.15E-05	2021	0.00	1.9	8.43E-06	2758	0.00	1.9	8.74E-06	3352	0.00	1.6
7	2.56E-05	1125	0.00	2.3	1.47E-05	1991	0.00	2.0	1.11E-05	2705	0.00	2.1	1.40E-05	3271	0.00	1.9
8	3.55E-05	1080	0.00	3.0	2.48E-05	1880	0.00	2.6	1.77E-05	2608	0.00	2.3	2.26E-05	3173	0.00	2.1
9	4.42E-05	1042	0.00	3.4	3.51E-05	1806	0.00	3.0	2.86E-05	2500	0.00	2.6	3.12E-05	3083	0.00	2.3
10	6.53E-05	968	0.00	4.2	5.12E-05	1710	0.00	3.5	3.99E-05	2415	0.00	2.9	4.37E-05	2976	0.00	2.6
11	8.74E-05	911	0.00	4.8	6.99E-05	1630	0.00	4.0	5.63E-05	2306	0.00	3.3	6.32E-05	2846	0.00	3.0
12	1.25E-04	838	0.00	5.6	9.49E-05	1542	0.00	4.5	8.25E-05	2174	0.00	3.8	9.14E-05	2694	0.00	3.6
13	1.66E-04	782	0.00	6.2	1.22E-04	1466	0.00	5.0	1.11E-04	2063	0.00	4.4	1.30E-04	2532	0.00	4.3
14	2.24E-04	722	0.00	6.9	1.59E-04	1384	0.00	5.6	1.53E-04	1933	0.00	5.2	1.81E-04	2360	0.00	5.2
15	2.91E-04	669	0.00	7.6	2.18E-04	1283	0.00	6.4	2.37E-04	1740	0.00	6.5	2.59E-04	2165	0.00	6.2
16	3.87E-04	612	0.00	8.4	3.11E-04	1162	0.00	7.5	3.47E-04	1570	0.00	7.6	3.58E-04	1983	0.00	7.3
17	4.98E-04	560	0.00	9.1	4.92E-04	1004	0.00	9.0	5.06E-04	1401	0.00	8.9	5.08E-04	1786	0.00	8.6

附表-1.8 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 2.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.00					MEAN SIG = 2.00				MEAN SIG = 3.00				MEAN SIG = 4.00			
SIG3= 0.750		SIG1= 1.50			SIG3= 1.50		SIG1= 3.00		SIG3= 2.25		SIG1= 4.50		SIG3= 3.00		SIG1= 5.99	
S1/S3= 2.000		M.SIG= 1.00			S1/S3= 2.00		M.SIG= 2.00		S1/S3= 2.00		M.SIG= 3.00		S1/S3= 2.00		M.SIG= 4.00	
eb= 0.408		es= 0.408			eb= 0.400		es= 0.400		eb= 0.394		es= 0.394		eb= 0.390		es= 0.390	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	1.43E-06	1305	0.00	1.9	7.70E-07	2182	0.00	0.0	4.11E-07	3183	0.00	0.0	3.39E-07	3576	0.00	0.0
2	3.79E-06	1256	0.00	2.3	2.38E-06	2117	0.00	1.1	1.53E-06	2980	0.00	1.3	1.27E-06	3754	0.00	1.2
3	6.97E-06	1231	0.00	2.1	3.89E-06	2114	0.00	1.9	2.68E-06	2929	0.00	1.7	2.18E-06	3642	0.00	1.8
4	1.11E-05	1194	0.00	2.3	6.61E-06	2077	0.00	1.8	4.46E-06	2866	0.00	1.4	3.71E-06	3593	0.00	1.4
5	1.55E-05	1159	0.00	2.6	8.81E-06	2024	0.00	2.0	6.26E-06	2846	0.00	1.4	6.04E-06	3557	0.00	1.4
6	2.10E-05	1122	0.00	2.7	1.15E-05	2003	0.00	1.9	8.21E-06	2820	0.00	1.6	8.29E-06	3515	0.00	1.4
7	2.70E-05	1090	0.00	2.9	1.49E-05	1957	0.00	2.3	1.05E-05	2779	0.00	1.6	1.34E-05	3447	0.00	1.5
8	3.66E-05	1045	0.00	3.3	2.46E-05	1872	0.00	2.5	1.72E-05	2688	0.00	1.9	2.14E-05	3341	0.00	1.8
9	4.57E-05	1010	0.00	3.7	3.52E-05	1800	0.00	2.9	2.76E-05	2578	0.00	2.3	2.96E-05	3255	0.00	2.1
10	6.73E-05	940	0.00	4.3	5.19E-05	1704	0.00	3.4	3.86E-05	2488	0.00	2.7	4.14E-05	3140	0.00	2.5
11	9.03E-05	886	0.00	4.9	7.01E-05	1618	0.00	4.1	5.44E-05	2376	0.00	3.1	5.98E-05	2996	0.00	3.0
12	1.29E-04	815	0.00	5.7	9.52E-05	1531	0.00	4.6	8.92E-05	2189	0.00	4.2	8.68E-05	2836	0.00	3.5
13	1.71E-04	758	0.00	6.4	1.23E-04	1454	0.00	5.2	1.29E-04	2037	0.00	5.2	1.23E-04	2666	0.00	4.3
14	2.32E-04	699	0.00	7.1	1.60E-04	1373	0.00	5.9	1.82E-04	1887	0.00	6.2	1.72E-04	2492	0.00	5.2
15	3.03E-04	644	0.00	7.8	2.01E-04	1306	0.00	6.4	2.56E-04	1739	0.00	7.3	2.45E-04	2284	0.00	6.4
16	4.05E-04	584	0.00	8.6	2.91E-04	1183	0.00	7.7	3.64E-04	1584	0.00	8.4	3.51E-04	2071	0.00	7.8
17	5.24E-04	532	0.00	9.4	4.28E-04	1154	0.00	10.2	5.39E-04	1407	0.00	9.7	5.50E-04	1798	0.00	9.8

附表-1.9 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.072		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.413		es= 0.413			eb= 0.407		es= 0.407		eb= 0.402		es= 0.402		eb= 0.399		es= 0.399	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	3.83E-06	1243	0.00	0.0	2.71E-06	1758	0.00	0.0	6.95E-07	2553	0.00	0.0	5.88E-07	3175	0.00	0.0
2	6.93E-06	1172	0.00	0.0	4.38E-06	1768	0.00	0.0	1.78E-06	2515	0.00	1.3	1.53E-06	2985	0.00	0.0
3	1.17E-05	1137	0.00	3.6	7.46E-06	1763	0.00	0.0	3.19E-06	2518	0.00	1.5	2.74E-06	2994	0.00	1.6
4	1.64E-05	1099	0.00	3.7	1.04E-05	1744	0.00	0.1	5.31E-06	2462	0.00	1.4	4.49E-06	2952	0.00	1.4
5	2.19E-05	1053	0.00	3.7	1.35E-05	1724	0.00	0.3	7.32E-06	2435	0.00	1.7	7.36E-06	2905	0.00	1.5
6	2.89E-05	1013	0.00	4.2	1.72E-05	1709	0.00	0.7	9.69E-06	2408	0.00	1.5	1.02E-05	2885	0.00	1.5
7	3.98E-05	952	0.00	4.5	2.83E-05	1636	0.00	2.0	1.24E-05	2394	0.00	1.6	1.64E-05	2816	0.00	1.7
8	5.04E-05	920	0.00	4.9	4.03E-05	1571	0.00	2.8	2.01E-05	2296	0.00	2.1	2.63E-05	2715	0.00	2.1
9	7.30E-05	865	0.00	6.0	5.97E-05	1481	0.00	3.7	3.28E-05	2189	0.00	2.7	3.65E-05	2631	0.00	2.5
10	9.84E-05	808	0.00	6.8	8.03E-05	1408	0.00	4.3	4.59E-05	2099	0.00	3.0	5.11E-05	2534	0.00	2.9
11	1.44E-04	732	0.00	7.4	1.10E-04	1323	0.00	5.0	7.52E-05	1946	0.00	3.8	7.45E-05	2401	0.00	3.4
12	1.91E-04	679	0.00	7.9	1.43E-04	1253	0.00	5.6	1.18E-04	1790	0.00	4.6	1.08E-04	2261	0.00	4.0
13	2.60E-04	623	0.00	8.5	1.88E-04	1175	0.00	6.3	1.81E-04	1628	0.00	5.7	1.55E-04	2114	0.00	4.8
14	3.41E-04	572	0.00	9.0	2.35E-04	1113	0.00	6.7	2.68E-04	1473	0.00	6.8	2.19E-04	1961	0.00	5.7
15	4.59E-04	516	0.00	9.6	3.00E-04	1041	0.00	7.3	3.84E-04	1328	0.00	7.8	3.00E-04	1815	0.00	6.6
16	5.33E-04	491	0.00	9.6	3.95E-04	956	0.00	8.1	5.35E-04	1200	0.00	8.9	4.04E-04	1671	0.00	7.6
17	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	5.35E-04	1539	0.00	8.6

付表- 1.10 CTSS, $e_0 = 0.52$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.072		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.505		es= 0.505			eb= 0.494		es= 0.494		eb= 0.488		es= 0.488		eb= 0.483		es= 0.483	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	1.78E-06	1046	0.00	3.0	6.97E-07	1741	0.00	1.8	7.51E-07	2237	0.00	2.4	3.76E-07	2982	0.00	4.7
2	5.01E-06	949	0.00	2.3	3.13E-06	1582	0.00	1.3	1.98E-06	2211	0.00	1.6	1.68E-06	2831	0.00	2.4
3	8.98E-06	894	0.00	2.5	4.93E-06	1552	0.00	1.4	3.65E-06	2150	0.00	1.2	3.09E-06	2775	0.00	1.8
4	1.52E-05	868	0.00	2.7	8.31E-06	1539	0.00	1.6	6.15E-06	2155	0.00	1.4	4.87E-06	2705	0.00	1.5
5	2.11E-05	838	0.00	3.0	1.18E-05	1532	0.00	1.8	8.55E-06	2163	0.00	1.3	7.91E-06	2692	0.00	1.5
6	2.89E-05	804	0.00	3.3	1.54E-05	1503	0.00	2.1	1.10E-05	2146	0.00	1.5	1.11E-05	2685	0.00	1.5
7	3.71E-05	778	0.00	3.8	1.99E-05	1470	0.00	2.4	1.39E-05	2110	0.00	1.8	1.77E-05	2604	0.00	1.9
8	5.16E-05	737	0.00	4.6	3.31E-05	1392	0.00	3.1	2.27E-05	2034	0.00	2.4	2.85E-05	2508	0.00	2.3
9	6.60E-05	700	0.00	5.4	4.76E-05	1325	0.00	3.7	3.69E-05	1934	0.00	2.9	3.95E-05	2431	0.00	2.6
10	9.88E-05	641	0.00	6.7	7.12E-05	1238	0.00	4.7	5.17E-05	1861	0.00	3.4	5.56E-05	2337	0.00	3.0
11	1.33E-04	599	0.00	7.5	9.72E-05	1163	0.00	5.6	7.38E-05	1761	0.00	4.1	8.10E-05	2212	0.00	3.7
12	1.92E-04	546	0.00	8.5	1.34E-04	1091	0.00	6.6	1.09E-04	1642	0.00	5.0	1.18E-04	2071	0.00	4.6
13	2.54E-04	511	0.00	9.1	1.72E-04	1036	0.00	7.2	1.48E-04	1541	0.00	5.9	1.71E-04	1922	0.00	5.8
14	3.44E-04	470	0.00	10.0	2.26E-04	974	0.00	8.0	2.07E-04	1426	0.00	7.1	2.43E-04	1764	0.00	7.0
15	5.14E-04	411	0.00	11.3	2.83E-04	926	0.00	8.5	2.88E-04	1311	0.00	8.2	3.36E-04	1618	0.00	8.1
16	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.57E-04	872	0.00	9.1	3.97E-04	1202	0.00	9.1	4.55E-04	1485	0.00	9.2
17	0.00E+00	0	0.00	0.0	5.78E-04	740	0.00	11.0	5.38E-04	1100	0.00	10.0	6.01E-04	1370	0.00	10.1

付表- 1.11 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.2 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.410		es= 0.410			eb= 0.403		es= 0.403		eb= 0.398		es= 0.398		eb= 0.395		es= 0.395	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	5.14E-06	1636	0.00	1.4	4.17E-06	2459	0.00	1.1	3.21E-06	2906	0.00	1.0	2.73E-06	4102	0.00	0.8
2	9.15E-06	1530	0.00	1.6	7.06E-06	2246	0.00	0.9	5.78E-06	3229	0.00	0.8	4.82E-06	3874	0.00	0.7
3	2.20E-05	1358	0.00	1.2	1.35E-05	2284	0.00	1.3	1.22E-05	2982	0.00	1.2	1.22E-05	3747	0.00	1.0
4	4.38E-05	1257	0.00	3.2	2.97E-05	2137	0.00	2.9	2.83E-05	2873	0.00	2.0	3.29E-05	3515	0.00	1.5
5	7.78E-05	1115	0.00	4.6	5.36E-05	1949	0.00	3.4	6.18E-05	2581	0.00	3.1	7.58E-05	3164	0.00	3.3
6	1.14E-04	1020	0.00	5.3	1.08E-04	1709	0.00	4.7	1.16E-04	2309	0.00	4.2	1.38E-04	2848	0.00	4.4
7	1.54E-04	939	0.00	5.9	1.72E-04	1524	0.00	5.8	1.86E-04	2078	0.00	5.4	1.83E-04	2697	0.00	5.0
8	2.08E-04	855	0.00	6.7	2.43E-04	1389	0.00	6.7	3.06E-04	1805	0.00	7.1	2.82E-04	2396	0.00	6.4
9	2.73E-04	784	0.00	6.9	3.45E-04	1244	0.00	7.7	4.86E-04	1543	0.00	9.0	5.28E-04	1918	0.00	9.0
10	3.37E-04	731	0.00	7.9	5.08E-04	1083	0.00	9.3	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
11	4.27E-04	676	0.00	7.8	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表- 1.12 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.1 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.410		es= 0.410			eb= 0.403		es= 0.403		eb= 0.398		es= 0.398		eb= 0.395		es= 0.395	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	5.14E-06	1636	0.00	0.7	3.85E-06	2422	0.00	2.3	3.37E-06	3044	0.00	0.4	3.05E-06	3976	0.00	0.5
2	9.47E-06	1577	0.00	0.3	7.06E-06	2378	0.00	0.2	5.94E-06	3142	0.00	0.5	4.82E-06	3874	0.00	0.7
3	2.20E-05	1358	0.00	1.9	1.38E-05	2366	0.00	1.4	1.20E-05	3022	0.00	1.3	1.22E-05	3823	0.00	1.2
4	4.45E-05	1260	0.00	3.2	2.95E-05	2148	0.00	2.4	2.87E-05	2857	0.00	2.0	3.39E-05	3498	0.00	2.0
5	7.86E-05	1104	0.00	4.3	5.48E-05	1943	0.00	4.0	6.18E-05	2581	0.00	3.1	7.65E-05	3150	0.00	2.6
6	1.16E-04	1010	0.00	4.7	1.07E-04	1708	0.00	4.7	1.15E-04	2310	0.00	4.3	1.38E-04	2838	0.00	4.4
7	1.54E-04	939	0.00	5.8	1.72E-04	1528	0.00	5.8	1.87E-04	2077	0.00	5.5	1.83E-04	2688	0.00	5.0
8	2.10E-04	854	0.00	6.6	2.42E-04	1397	0.00	6.5	3.05E-04	1820	0.00	7.0	2.83E-04	2400	0.00	6.5
9	2.75E-04	785	0.00	7.4	3.42E-04	1255	0.00	7.5	4.83E-04	1570	0.00	8.6	5.22E-04	1957	0.00	8.4
10	3.38E-04	731	0.00	7.9	5.04E-04	1097	0.00	8.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
11	4.27E-04	669	0.00	8.4	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表-1.13 CTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.05 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.410		es= 0.410			eb= 0.403		es= 0.403		eb= 0.398		es= 0.398		eb= 0.395		es= 0.395	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	5.46E-06	1539	0.00	1.0	4.34E-06	2368	0.00	1.5	3.53E-06	2906	0.00	1.7	2.73E-06	4102	0.00	0.9
2	9.79E-06	1525	0.00	0.4	7.71E-06	2301	0.00	1.2	5.94E-06	3142	0.00	0.8	5.14E-06	3995	0.00	1.0
3	2.23E-05	1381	0.00	2.7	1.41E-05	2312	0.00	1.6	1.25E-05	2980	0.00	1.3	1.24E-05	3773	0.00	0.8
4	4.49E-05	1225	0.00	3.4	3.02E-05	2103	0.00	1.9	2.87E-05	2825	0.00	2.1	3.36E-05	3448	0.00	1.6
5	7.86E-05	1104	0.00	3.8	5.46E-05	1932	0.00	3.5	6.26E-05	2563	0.00	3.2	7.74E-05	3135	0.00	3.4
6	1.16E-04	1008	0.00	5.3	1.08E-04	1693	0.00	5.5	1.17E-04	2298	0.00	4.4	1.39E-04	2832	0.00	4.6
7	1.56E-04	937	0.00	5.8	1.74E-04	1527	0.00	6.5	1.88E-04	2073	0.00	5.6	1.84E-04	2684	0.00	5.2
8	2.09E-04	854	0.00	6.6	2.43E-04	1395	0.00	6.0	3.05E-04	1825	0.00	7.0	2.83E-04	2400	0.00	6.6
9	2.74E-04	784	0.00	7.3	3.43E-04	1258	0.00	7.5	4.79E-04	1583	0.00	8.0	5.19E-04	1973	0.00	9.0
10	3.42E-04	728	0.00	7.2	5.04E-04	1105	0.00	8.8	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
11	4.30E-04	666	0.00	8.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.14 CTSS, $e_0=0.42$ $\sigma_1/\sigma_3=1.0$, $D_{\max}=38.1\text{mm}$, $f=0.01\text{Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.410		es= 0.410			eb= 0.403		es= 0.403		eb= 0.398		es= 0.398		eb= 0.395		es= 0.395	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	5.94E-06	1572	0.00	0.4	4.50E-06	2491	0.00	0.0	3.69E-06	3032	0.00	1.7	3.21E-06	3777	0.00	0.7
2	1.04E-05	1521	0.00	1.5	7.55E-06	2350	0.00	1.8	6.42E-06	3051	0.00	2.0	5.30E-06	3874	0.00	2.0
3	2.33E-05	1364	0.00	2.5	1.48E-05	2148	0.00	2.5	1.30E-05	2942	0.00	1.8	1.29E-05	3705	0.00	2.9
4	4.56E-05	1229	0.00	3.1	3.10E-05	2078	0.00	2.5	2.89E-05	2809	0.00	2.6	3.41E-05	3426	0.00	2.7
5	7.99E-05	1086	0.00	5.0	5.57E-05	1893	0.00	4.2	6.34E-05	2531	0.00	3.8	7.77E-05	3098	0.00	4.0
6	1.17E-04	999	0.00	5.8	1.10E-04	1674	0.00	5.0	1.18E-04	2279	0.00	5.1	1.41E-04	2796	0.00	5.3
7	1.57E-04	929	0.00	5.5	1.74E-04	1507	0.00	6.5	1.89E-04	2057	0.00	6.1	1.86E-04	2652	0.00	5.8
8	2.11E-04	851	0.00	7.0	2.44E-04	1390	0.00	7.0	3.06E-04	1817	0.00	7.5	2.85E-04	2381	0.00	7.2
9	2.73E-04	790	0.00	6.7	3.45E-04	1255	0.00	7.9	4.81E-04	1585	0.00	9.5	5.16E-04	1980	0.00	9.3
10	3.41E-04	728	0.00	7.4	5.03E-04	1109	0.00	9.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
11	4.28E-04	669	0.00	8.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.15 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.415		es= 0.415			eb= 0.410		es= 0.410		eb= 0.407		es= 0.407		eb= 0.405		es= 0.405	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	1.56E-05	1279	0.09	1.1	1.29E-05	0	0.08	0.9	2.13E-05	0	0.02	1.2	5.22E-06	0	0.00	0.8
2	2.94E-05	1359	0.20	2.4	2.03E-05	1966	0.17	1.6	4.60E-05	2393	0.15	2.3	1.66E-05	0	0.07	1.1
3	3.62E-05	1382	0.15	1.9	2.83E-05	2120	0.19	1.9	6.04E-05	2319	0.14	2.3	2.80E-05	2856	0.20	2.0
4	4.86E-05	1441	0.10	2.2	3.84E-05	1825	0.22	2.5	8.24E-05	2305	0.16	2.9	3.93E-05	2799	0.21	2.0
5	6.51E-05	1229	0.15	3.0	4.70E-05	1914	0.12	2.3	1.09E-04	2102	0.16	3.0	5.18E-05	2898	0.12	2.4
6	8.39E-05	1191	0.14	3.2	6.37E-05	1728	0.18	2.3	1.46E-04	1989	0.17	3.3	7.49E-05	2669	0.16	2.6
7	1.09E-04	1103	0.16	3.4	8.06E-05	1614	0.19	2.8	1.90E-04	1839	0.17	3.8	9.80E-05	2652	0.13	2.9
8	1.40E-04	997	0.19	3.6	9.62E-05	1560	0.15	3.4	2.45E-04	1758	0.18	4.0	1.34E-04	2396	0.16	3.1
9	1.71E-04	937	0.18	4.4	1.20E-04	1578	0.17	3.5	3.22E-04	1581	0.19	4.8	1.75E-04	2291	0.18	3.3
10	2.19E-04	867	0.21	4.6	1.54E-04	1489	0.19	3.7	4.18E-04	1483	0.19	5.5	2.16E-04	2220	0.15	3.8
11	2.99E-04	802	0.22	5.2	2.00E-04	1350	0.20	4.4	5.40E-04	1351	0.20	6.4	2.84E-04	2045	0.19	4.4
12	4.30E-04	675	0.22	6.3	2.59E-04	1272	0.21	4.6	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.46E-04	1965	0.19	4.9
13	6.74E-04	564	0.24	6.9	3.22E-04	1211	0.21	4.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.35E-04	1818	0.20	5.7
14	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.36E-04	1102	0.20	5.4	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.86E-04	1769	0.18	6.0
15	0.00E+00	0	0.00	0.0	6.09E-04	952	0.22	6.4	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.16 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.411		es= 0.411			eb= 0.404		es= 0.404		eb= 0.399		es= 0.399		eb= 0.395		es= 0.395	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	2.43E-05	1236	0.16	0.0	1.96E-05	2037	0.08	0.0	3.66E-05	2188	0.19	1.9	2.91E-05	2750	0.17	1.7
2	4.46E-05	1121	0.15	3.6	3.14E-05	1915	0.18	2.7	5.08E-05	2166	0.21	2.4	5.69E-05	2638	0.19	2.3
3	6.13E-05	978	0.14	3.4	4.25E-05	1884	0.21	2.3	6.24E-05	2243	0.12	2.7	8.00E-05	2499	0.19	2.6
4	8.31E-05	962	0.18	4.0	5.25E-05	1714	0.12	2.8	8.57E-05	2101	0.15	2.7	1.04E-04	2410	0.14	3.0
5	1.10E-04	912	0.17	4.2	6.55E-05	1678	0.11	3.9	1.14E-04	2010	0.15	3.2	1.33E-04	2486	0.11	2.9
6	1.37E-04	803	0.17	4.8	8.77E-05	1596	0.16	3.4	1.51E-04	1851	0.15	3.6	1.74E-04	2241	0.13	3.4
7	1.77E-04	734	0.18	5.4	1.09E-04	1466	0.16	3.7	1.97E-04	1775	0.14	3.9	2.20E-04	2225	0.13	3.6
8	2.18E-04	736	0.17	5.3	1.34E-04	1346	0.15	4.1	2.52E-04	1704	0.14	4.3	2.84E-04	2044	0.15	4.3
9	2.77E-04	686	0.18	5.7	1.68E-04	1313	0.14	4.6	3.37E-04	1541	0.16	4.7	3.55E-04	1885	0.17	5.0
10	3.91E-04	588	0.20	6.8	2.21E-04	1221	0.16	4.8	4.45E-04	1394	0.18	5.5	4.26E-04	1783	0.16	5.7
11	5.62E-04	498	0.20	7.8	2.91E-04	1101	0.18	6.0	5.44E-04	1306	0.17	6.3	5.07E-04	1696	0.17	6.2
12	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.69E-04	1028	0.20	5.7	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
13	0.00E+00	0	0.00	0.0	5.10E-04	922	0.19	6.5	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
14	0.00E+00	0	0.00	0.0	6.69E-04	822	0.19	7.1	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表- 1.17 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07					MEAN SIG = 3.07					MEAN SIG = 4.07				
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07			SIG3= 3.07		SIG1= 3.07			SIG3= 4.07		SIG1= 4.07		
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07		
eb= 0.403		es= 0.400			eb= 0.393		es= 0.390			eb= 0.385		es= 0.382			eb= 0.379		es= 0.376		
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)			
1	1.84E-06	1526	0.14	0.0	1.61E-06	2248	0.12	0.0	2.39E-06	3041	0.12	0.0	3.17E-06	3704	0.11	0.0			
2	3.34E-06	1441	0.14	0.0	2.17E-06	2415	0.12	0.0	3.31E-06	3052	0.12	0.0	4.36E-06	3532	0.11	0.0			
3	5.94E-06	1282	0.14	0.0	3.17E-06	2288	0.12	0.0	4.31E-06	2905	0.12	0.0	6.92E-06	3511	0.11	0.0			
4	7.77E-06	1237	0.14	1.6	4.67E-06	2156	0.12	0.0	5.59E-06	2819	0.12	0.0	1.14E-05	3335	0.11	2.0			
5	9.76E-06	1273	0.14	1.7	5.73E-06	2180	0.12	0.0	8.68E-06	2794	0.12	0.0	1.70E-05	3266	0.11	1.9			
6	1.29E-05	1214	0.14	1.4	7.73E-06	2032	0.12	0.0	1.39E-05	2697	0.12	1.9	2.71E-05	3120	0.12	1.9			
7	1.66E-05	1225	0.14	1.5	1.17E-05	2104	0.12	2.1	1.91E-05	2639	0.12	1.8	4.32E-05	2972	0.13	2.1			
8	2.04E-05	1181	0.14	1.6	1.67E-05	2004	0.12	1.7	3.40E-05	2485	0.13	2.0	7.44E-05	2765	0.14	2.7			
9	2.87E-05	1157	0.14	2.2	2.33E-05	1988	0.12	2.0	5.99E-05	2281	0.16	2.6	1.14E-04	2550	0.16	3.3			
10	4.22E-05	1082	0.14	2.7	3.62E-05	1871	0.12	2.3	9.64E-05	2120	0.16	3.2	1.64E-04	2397	0.15	3.9			
11	6.62E-05	1000	0.15	3.4	5.81E-05	1740	0.13	2.9	1.48E-04	1957	0.17	3.9	2.15E-04	2301	0.13	4.6			
12	9.82E-05	923	0.17	4.0	9.68E-05	1578	0.16	3.6	2.40E-04	1763	0.17	4.7	2.72E-04	2187	0.13	5.1			
13	1.46E-04	841	0.18	4.7	1.55E-04	1422	0.18	4.5	3.37E-04	1604	0.18	5.7	4.03E-04	1930	0.15	6.3			
14	2.13E-04	763	0.19	5.4	2.32E-04	1302	0.17	5.2	4.26E-04	1500	0.18	6.1	0.00E+00	0	0.00	0.0			
15	3.33E-04	672	0.19	6.3	3.45E-04	1158	0.18	5.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0			
16	5.10E-04	580	0.19	7.3	4.77E-04	1038	0.19	6.6	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0			

附表-1.18 CTX, $e_0 = 0.47$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.465		es= 0.465			eb= 0.459		es= 0.459		eb= 0.454		es= 0.454		eb= 0.450		es= 0.450	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	9.32E-06	0	0.01	1.7	5.72E-06	0	0.00	0.7	1.09E-05	0	0.00	0.7	1.69E-05	0	0.08	2.2
2	1.45E-05	1375	0.06	2.3	1.28E-05	0	0.01	2.7	1.49E-05	2680	0.00	0.0	2.71E-05	2954	0.17	2.7
3	2.00E-05	1499	0.13	0.0	1.80E-05	0	0.02	2.7	2.18E-05	2756	0.07	1.8	3.50E-05	3141	0.07	2.5
4	2.07E-05	1448	0.03	2.1	3.18E-05	1888	0.18	1.7	3.08E-05	2599	0.08	2.4	5.37E-05	2795	0.15	2.6
5	3.44E-05	1163	0.16	2.2	3.88E-05	1803	0.12	2.5	4.76E-05	2312	0.17	2.7	7.04E-05	2843	0.08	3.0
6	4.27E-05	1170	0.13	3.1	4.81E-05	1871	0.05	3.2	6.03E-05	2324	0.12	2.8	9.76E-05	2561	0.11	3.7
7	6.06E-05	1155	0.17	3.9	6.42E-05	1712	0.12	3.3	8.35E-05	2157	0.14	3.5	1.28E-04	2492	0.10	3.8
8	7.86E-05	1017	0.18	3.7	8.30E-05	1567	0.13	3.8	1.12E-04	1961	0.15	4.1	1.70E-04	2287	0.11	4.7
9	1.01E-04	888	0.17	4.9	1.02E-04	1572	0.14	4.2	1.44E-04	1949	0.12	4.6	2.24E-04	2147	0.13	5.4
10	1.30E-04	848	0.19	4.8	1.27E-04	1501	0.15	4.6	1.92E-04	1773	0.14	5.4	2.83E-04	2050	0.13	6.1
11	1.60E-04	811	0.16	5.7	1.61E-04	1368	0.16	5.2	2.50E-04	1681	0.14	6.1	3.49E-04	1919	0.15	6.5
12	2.00E-04	849	0.19	5.1	2.13E-04	1266	0.20	5.6	3.28E-04	1586	0.15	6.6	4.16E-04	1827	0.16	6.6
13	2.48E-04	767	0.20	5.5	2.67E-04	1237	0.17	6.1	4.22E-04	1470	0.15	7.2	4.45E-04	1819	0.15	0.0
14	3.30E-04	697	0.20	6.4	3.22E-04	1181	0.16	6.4	0.00E+00	0	0.00	0.0	4.81E-04	1787	0.15	0.0
15	4.66E-04	623	0.22	7.1	4.45E-04	1056	0.18	7.2	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表- 1.19 CTX, $e_0 = 0.52$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.493		es= 0.493			eb= 0.485		es= 0.485		eb= 0.480		es= 0.480		eb= 0.474		es= 0.474	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	7.19E-06	0	0.11	1.2	7.04E-06	0	0.05	1.2	7.47E-06	0	0.00	0.7	1.13E-05	0	0.03	0.9
2	1.13E-05	0	0.06	1.5	1.06E-05	0	0.13	1.4	2.74E-05	0	0.12	1.5	2.01E-05	0	0.11	1.7
3	1.57E-05	1270	0.04	0.0	1.86E-05	1615	0.20	0.0	4.08E-05	1960	0.19	2.0	3.11E-05	2574	0.16	1.6
4	2.19E-05	1368	0.12	0.0	2.55E-05	1568	0.19	2.5	5.74E-05	1917	0.20	2.2	4.48E-05	2455	0.18	1.9
5	2.85E-05	1402	0.17	1.9	3.65E-05	1368	0.21	2.9	7.64E-05	1832	0.19	3.1	6.29E-05	2384	0.16	2.3
6	4.11E-05	974	0.17	2.8	4.92E-05	1423	0.21	2.5	1.04E-04	1723	0.22	3.4	8.93E-05	2239	0.17	2.9
7	5.42E-05	1107	0.19	2.4	6.42E-05	1403	0.19	3.1	1.37E-04	1673	0.20	3.9	1.23E-04	2119	0.18	4.1
8	7.51E-05	799	0.18	4.2	8.09E-05	1360	0.18	3.4	1.83E-04	1531	0.19	4.9	1.65E-04	1940	0.20	4.3
9	9.46E-05	846	0.18	4.9	1.08E-04	1207	0.23	4.0	2.50E-04	1362	0.24	5.7	2.18E-04	1831	0.21	5.0
10	1.24E-04	806	0.20	4.7	1.30E-04	1154	0.22	4.7	3.16E-04	1330	0.21	6.9	2.82E-04	1703	0.22	5.6
11	1.53E-04	783	0.19	5.2	1.59E-04	1130	0.20	5.1	4.10E-04	1244	0.22	6.6	3.54E-04	1638	0.23	6.1
12	1.99E-04	703	0.21	5.7	2.05E-04	1074	0.22	5.7	4.70E-04	1213	0.23	6.8	4.26E-04	1548	0.21	6.9
13	2.36E-04	678	0.18	6.5	2.62E-04	1029	0.21	6.4	0.00E+00	0	0.00	0.0	5.17E-04	1470	0.22	7.3
14	2.95E-04	611	0.21	6.9	3.34E-04	959	0.22	6.8	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
15	3.95E-04	558	0.21	8.0	4.08E-04	906	0.22	7.3	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
16	5.75E-04	469	0.23	9.0	5.64E-04	816	0.23	7.8	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.20 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.5$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.04					MEAN SIG = 2.05				MEAN SIG = 3.04				MEAN SIG = 4.04			
SIG3= 0.927		SIG1= 1.28			SIG3= 1.78		SIG1= 2.57		SIG3= 2.64		SIG1= 3.85		SIG3= 3.50		SIG1= 5.13	
SI/S3= 1.381		M.SIG= 1.04			SI/S3= 1.44		M.SIG= 2.04		SI/S3= 1.46		M.SIG= 3.04		SI/S3= 1.47		M.SIG= 4.04	
eb= 0.408		es= 0.406			eb= 0.396		es= 0.392		eb= 0.387		es= 0.383		eb= 0.377		es= 0.372	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	4.25E-06	1696	0.11	0.0	3.93E-06	2559	0.13	0.0	2.42E-06	3167	0.12	0.0	3.01E-06	3905	0.11	0.0
2	5.68E-06	1690	0.11	0.0	5.28E-06	2515	0.13	0.0	3.12E-06	3236	0.12	0.0	4.28E-06	3788	0.11	0.0
3	7.17E-06	1786	0.11	0.0	6.07E-06	2654	0.13	0.0	3.90E-06	3211	0.12	0.0	6.27E-06	3880	0.11	0.0
4	9.18E-06	1699	0.11	0.6	9.55E-06	2571	0.13	0.0	4.98E-06	3240	0.12	0.0	9.72E-06	3920	0.11	0.0
5	1.19E-05	1679	0.11	0.9	1.34E-05	2488	0.13	0.1	7.63E-06	3228	0.12	0.0	1.41E-05	3935	0.11	0.0
6	1.47E-05	1660	0.11	1.4	1.93E-05	2437	0.13	0.7	1.17E-05	3253	0.12	0.2	2.23E-05	3809	0.12	0.6
7	2.04E-05	1625	0.11	2.2	2.87E-05	2384	0.13	1.4	1.57E-05	3234	0.12	0.4	3.76E-05	3656	0.13	1.5
8	2.98E-05	1555	0.11	2.6	4.64E-05	2214	0.14	2.3	2.76E-05	3091	0.13	1.3	5.97E-05	3545	0.14	2.4
9	4.64E-05	1447	0.11	3.1	7.44E-05	2073	0.15	3.2	4.75E-05	2888	0.14	2.3	8.98E-05	3255	0.15	3.3
10	6.82E-05	1348	0.13	3.6	1.15E-04	1927	0.15	4.4	7.64E-05	2694	0.15	3.3	1.29E-04	3052	0.16	4.2
11	1.01E-04	1252	0.14	4.0	1.73E-04	1767	0.16	5.1	1.16E-04	2516	0.16	4.0	1.80E-04	2860	0.17	5.1
12	1.63E-04	1127	0.16	4.8	2.51E-04	1621	0.18	5.8	1.66E-04	2369	0.16	5.0	2.41E-04	2690	0.17	5.9
13	2.60E-04	1009	0.15	5.7	3.33E-04	1519	0.18	6.2	2.33E-04	2191	0.18	5.8	0.00E+00	0	0.00	0.0
14	3.72E-04	912	0.15	6.5	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.18E-04	2058	0.17	6.6	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表- 1.21 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 2.0$, $D_{max} = 38.1 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.04					MEAN SIG = 2.04				MEAN SIG = 3.04				MEAN SIG = 4.04			
SIG3= 0.822		SIG1= 1.48			SIG3= 1.57		SIG1= 2.97		SIG3= 2.32		SIG1= 4.47		SIG3= 3.07		SIG1= 5.97	
S1/S3= 1.800		M.SIG= 1.04			S1/S3= 1.89		M.SIG= 2.04		S1/S3= 1.93		M.SIG= 3.04		S1/S3= 1.94		M.SIG= 4.04	
eb= 0.408		es= 0.407			eb= 0.400		es= 0.397		eb= 0.392		es= 0.385		eb= 0.380		es= 0.374	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	4.27E-06	1589	0.16	0.0	3.08E-06	2343	0.15	0.0	3.92E-06	3386	0.14	0.0	3.91E-06	4123	0.13	0.0
2	5.94E-06	1612	0.16	0.0	4.22E-06	2375	0.15	0.0	4.85E-06	3312	0.14	0.0	6.05E-06	3998	0.13	0.0
3	7.36E-06	1682	0.16	0.0	5.30E-06	2343	0.15	0.0	7.52E-06	3259	0.14	0.0	8.95E-06	4235	0.13	0.0
4	9.52E-06	1677	0.16	0.0	6.55E-06	2445	0.15	0.0	1.18E-05	3283	0.14	0.0	1.30E-05	4208	0.13	0.0
5	1.24E-05	1609	0.16	0.4	1.03E-05	2369	0.15	0.0	1.58E-05	3228	0.14	0.4	2.07E-05	4088	0.13	0.5
6	1.51E-05	1634	0.16	0.9	1.41E-05	2362	0.15	0.0	2.76E-05	3087	0.15	1.3	3.45E-05	3997	0.13	1.4
7	2.12E-05	1560	0.16	1.4	1.99E-05	2350	0.15	0.6	4.71E-05	2904	0.16	2.5	5.44E-05	3794	0.14	2.1
8	3.10E-05	1492	0.16	2.0	2.98E-05	2271	0.15	1.6	7.57E-05	2730	0.17	3.7	8.30E-05	3519	0.16	3.1
9	4.81E-05	1401	0.17	2.5	4.71E-05	2171	0.16	2.6	1.21E-04	2536	0.17	5.3	1.20E-04	3289	0.18	3.8
10	7.03E-05	1317	0.17	3.1	7.67E-05	2001	0.18	3.8	1.69E-04	2415	0.17	5.9	1.66E-04	3081	0.18	5.0
11	1.03E-04	1222	0.17	3.8	1.18E-04	1877	0.18	4.9	2.23E-04	2294	0.18	6.5	2.24E-04	2890	0.20	6.1
12	1.67E-04	1098	0.19	4.7	1.66E-04	1785	0.17	5.5	0.00E+00	0	0.00	0.0	2.84E-04	2815	0.18	6.9
13	2.51E-04	987	0.20	5.6	2.33E-04	1667	0.18	6.1	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
14	3.65E-04	892	0.21	6.3	3.06E-04	1573	0.19	6.5	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.22 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.407		es= 0.404			eb= 0.397		es= 0.391		eb= 0.386		es= 0.380		eb= 0.375		es= 0.369	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	5.13E-06	1405	0.16	0.0	3.45E-06	2212	0.14	0.0	4.00E-06	3030	0.13	0.0	4.24E-06	3631	0.10	0.0
2	7.52E-06	1278	0.16	0.0	4.30E-06	2242	0.14	0.0	5.34E-06	2949	0.13	0.0	6.89E-06	3644	0.10	0.0
3	9.56E-06	1298	0.16	2.5	5.89E-06	2117	0.14	0.0	8.58E-06	2822	0.13	0.0	1.10E-05	3390	0.10	2.7
4	1.26E-05	1272	0.16	2.6	7.81E-06	2007	0.14	0.0	1.38E-05	2713	0.13	2.4	1.62E-05	3366	0.10	2.4
5	1.62E-05	1209	0.16	2.6	1.21E-05	2000	0.14	2.1	1.91E-05	2622	0.13	2.1	2.62E-05	3219	0.10	2.2
6	2.01E-05	1193	0.16	2.5	1.66E-05	2005	0.14	2.0	3.37E-05	2500	0.13	2.3	4.48E-05	3027	0.10	2.5
7	2.88E-05	1140	0.16	2.5	2.43E-05	1903	0.14	2.1	5.84E-05	2327	0.13	2.8	7.25E-05	2807	0.11	3.0
8	4.21E-05	1073	0.17	3.2	3.71E-05	1818	0.14	2.3	1.06E-04	2098	0.14	3.7	1.11E-04	2600	0.12	3.6
9	6.75E-05	979	0.18	3.8	5.93E-05	1709	0.14	3.0	1.72E-04	1873	0.16	4.7	1.61E-04	2413	0.13	4.3
10	1.02E-04	888	0.21	4.3	9.63E-05	1583	0.14	3.6	2.58E-04	1698	0.16	5.6	2.20E-04	2228	0.14	5.0
11	1.49E-04	823	0.20	5.0	1.53E-04	1431	0.14	4.6	3.54E-04	1560	0.15	6.3	2.80E-04	2103	0.13	5.6
12	2.49E-04	715	0.22	5.9	2.32E-04	1297	0.14	5.4	4.16E-04	1485	0.16	6.3	3.95E-04	1911	0.15	6.0
13	4.11E-04	614	0.21	7.0	3.49E-04	1139	0.17	6.3	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
14	5.98E-04	538	0.21	8.0	4.86E-04	1011	0.18	6.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.23 CTX, $e_0 = 0.52$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 25.4 \text{ mm}$

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.070		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.502		es= 0.497			eb= 0.488		es= 0.484		eb= 0.478		es= 0.474		eb= 0.470		es= 0.466	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	6.45E-06	1118	0.14	2.8	5.54E-06	1671	0.15	0.0	2.88E-06	2522	0.16	0.0	3.73E-06	3148	0.12	0.0
2	9.14E-06	1008	0.14	2.8	7.37E-06	1694	0.15	0.0	4.10E-06	2467	0.16	0.0	5.15E-06	3066	0.12	0.0
3	1.22E-05	1018	0.14	2.7	9.60E-06	1678	0.15	0.0	5.39E-06	2323	0.16	0.0	8.44E-06	2880	0.12	0.0
4	1.53E-05	1019	0.14	2.8	1.50E-05	1608	0.15	2.0	6.92E-06	2335	0.16	0.0	1.32E-05	2817	0.12	2.3
5	2.07E-05	950	0.14	2.7	2.13E-05	1567	0.16	2.0	1.11E-05	2214	0.16	2.5	2.01E-05	2719	0.12	2.3
6	2.54E-05	932	0.14	2.8	3.06E-05	1503	0.16	2.3	1.76E-05	2138	0.16	2.3	2.93E-05	2617	0.13	2.3
7	3.72E-05	872	0.16	3.4	4.04E-05	1466	0.15	2.7	2.44E-05	2068	0.16	2.2	4.06E-05	2514	0.14	2.4
8	4.86E-05	833	0.16	3.8	5.48E-05	1381	0.18	3.2	3.34E-05	2019	0.15	2.5	5.75E-05	2373	0.16	3.0
9	6.90E-05	767	0.20	4.3	8.38E-05	1303	0.17	4.3	5.35E-05	1897	0.17	3.1	8.31E-05	2247	0.17	3.7
10	9.69E-05	703	0.22	5.2	1.27E-04	1183	0.19	5.5	8.77E-05	1743	0.19	4.3	1.20E-04	2122	0.17	4.8
11	1.29E-04	676	0.20	5.9	1.94E-04	1070	0.22	6.5	1.38E-04	1586	0.21	5.6	1.70E-04	1996	0.17	5.8
12	1.91E-04	619	0.21	6.7	2.68E-04	1015	0.20	7.0	1.88E-04	1521	0.19	6.4	2.42E-04	1845	0.18	6.9
13	2.90E-04	561	0.00	7.6	3.45E-04	952	0.22	7.1	2.53E-04	1423	0.21	6.9	3.22E-04	1751	0.18	7.3
14	4.43E-04	500	0.22	8.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	3.30E-04	1365	0.20	7.3	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表-1.24 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.2 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.069		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.415		es= 0.415			eb= 0.411		es= 0.411		eb= 0.408		es= 0.408		eb= 0.403		es= 0.403	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	8.21E-06	2436	0.00	0.5	8.71E-06	3443	0.00	0.6	7.97E-06	3765	0.00	0.7	7.72E-06	3886	0.00	1.4
2	1.81E-05	1653	0.04	0.8	1.86E-05	2149	0.07	2.7	1.93E-05	3105	0.08	0.8	1.88E-05	2662	0.11	1.4
3	5.36E-05	1306	0.16	2.2	4.55E-05	1760	0.19	2.1	4.96E-05	2217	0.13	1.9	5.97E-05	2346	0.14	2.5
4	1.11E-04	990	0.17	3.4	1.02E-04	1474	0.16	3.4	1.25E-04	1844	0.15	3.3	1.65E-04	1940	0.14	4.0
5	1.94E-04	825	0.18	4.8	1.89E-04	1273	0.18	4.4	2.74E-04	1461	0.18	4.8	3.70E-04	1623	0.17	5.2
6	2.67E-04	750	0.17	5.6	3.62E-04	1023	0.19	6.5	4.74E-04	1225	0.19	6.3	5.61E-04	1391	0.17	6.7
7	3.48E-04	689	0.20	5.9	5.52E-04	869	0.21	7.0	6.68E-04	1078	0.19	7.2	7.38E-04	1287	0.17	7.5
8	4.44E-04	631	0.20	6.3	7.31E-04	794	0.21	7.4	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
9	5.51E-04	599	0.20	6.6	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
10	6.66E-04	555	0.20	7.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

附表-1.25 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.1 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.069		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.415		es= 0.415			eb= 0.411		es= 0.411		eb= 0.408		es= 0.408		eb= 0.403		es= 0.403	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	7.22E-06	2772	0.00	0.6	8.21E-06	2435	0.00	1.0	7.47E-06	4016	0.00	0.0	7.22E-06	4154	0.00	0.0
2	1.57E-05	1916	0.02	1.4	2.01E-05	1989	0.09	1.0	1.92E-05	3130	0.00	0.4	1.84E-05	2712	0.11	0.8
3	5.29E-05	1324	0.12	1.4	4.32E-05	1619	0.16	2.2	4.98E-05	2211	0.14	2.1	5.82E-05	2404	0.10	2.7
4	1.12E-04	983	0.17	3.3	1.01E-04	1485	0.14	3.4	1.30E-04	1774	0.19	3.5	1.69E-04	2015	0.16	3.6
5	1.92E-04	835	0.18	4.8	1.88E-04	1274	0.18	4.4	2.73E-04	1467	0.17	4.9	3.68E-04	1603	0.16	5.3
6	2.74E-04	730	0.20	5.4	3.65E-04	1014	0.20	6.0	4.74E-04	1203	0.18	6.3	5.61E-04	1407	0.17	6.7
7	3.46E-04	666	0.19	6.1	5.45E-04	898	0.19	6.8	6.68E-04	1078	0.19	7.2	7.52E-04	1277	0.17	7.5
8	4.42E-04	633	0.19	6.4	7.26E-04	812	0.20	7.3	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
9	5.53E-04	597	0.20	6.7	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
10	6.62E-04	559	0.19	6.5	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表-1.26 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.05 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.069		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.415		es= 0.415			eb= 0.411		es= 0.411		eb= 0.408		es= 0.408		eb= 0.403		es= 0.403	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	8.46E-06	2364	0.00	0.0	7.72E-06	2592	0.00	0.0	8.71E-06	3442	0.00	0.0	9.46E-06	4227	0.00	0.0
2	1.91E-05	1567	0.04	1.3	1.83E-05	2191	0.06	0.7	2.08E-05	2880	0.10	1.1	1.98E-05	3034	0.10	0.8
3	4.88E-05	1435	0.08	2.7	3.78E-05	1850	0.00	2.8	4.26E-05	2584	0.00	2.1	6.03E-05	2323	0.15	2.5
4	1.13E-04	1063	0.18	3.3	1.03E-04	1463	0.14	3.3	1.29E-04	1790	0.17	3.7	1.61E-04	2112	0.10	3.7
5	1.86E-04	860	0.13	5.0	1.95E-04	1231	0.21	4.5	2.75E-04	1457	0.17	5.0	3.69E-04	1599	0.16	5.5
6	2.71E-04	738	0.18	5.4	3.63E-04	992	0.20	6.1	4.72E-04	1229	0.17	6.2	5.60E-04	1410	0.17	6.7
7	3.47E-04	662	0.19	6.2	5.49E-04	892	0.20	6.7	6.68E-04	1078	0.18	7.2	7.49E-04	1269	0.17	7.7
8	4.36E-04	665	0.18	6.3	7.33E-04	804	0.21	7.3	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
9	5.48E-04	602	0.19	6.6	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
10	6.68E-04	554	0.19	6.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表- 1.27 CTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_1/\sigma_3 = 1.0$, $D_{\max} = 38.1 \text{ mm}$, $f = 0.01 \text{ Hz}$ (歪制御)

MEAN SIG = 1.07					MEAN SIG = 2.07				MEAN SIG = 3.07				MEAN SIG = 4.07			
SIG3= 1.069		SIG1= 1.07			SIG3= 2.07		SIG1= 2.07		SIG3= 3.07		SIG1= 3.07		SIG3= 4.07		SIG1= 4.07	
S1/S3= 1.000		M.SIG= 1.07			S1/S3= 1.00		M.SIG= 2.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 3.07		S1/S3= 1.00		M.SIG= 4.07	
eb= 0.415		es= 0.415			eb= 0.411		es= 0.411		eb= 0.408		es= 0.408		eb= 0.403		es= 0.403	
No	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)	GAMMA	G	POIS	h(%)
1	9.46E-06	1058	0.00	0.0	8.96E-06	2232	0.00	0.0	8.96E-06	3347	0.00	2.4	9.71E-06	3089	0.00	0.0
2	1.89E-05	1587	0.06	2.1	1.89E-05	2114	0.00	0.0	1.90E-05	2634	0.14	3.0	2.07E-05	2903	0.14	1.2
3	5.23E-05	1337	0.11	2.7	4.46E-05	1569	0.11	3.1	5.50E-05	1999	0.22	2.3	6.63E-05	2110	0.24	2.6
4	1.11E-04	990	0.14	3.9	9.70E-05	1546	0.09	3.9	1.26E-04	1821	0.13	4.0	1.68E-04	1959	0.15	4.2
5	1.93E-04	828	0.18	5.1	1.85E-04	1294	0.15	4.8	2.81E-04	1421	0.20	6.0	3.76E-04	1568	0.19	5.8
6	2.70E-04	741	0.18	5.9	3.60E-04	1028	0.18	6.3	4.77E-04	1215	0.18	6.5	5.66E-04	1379	0.18	7.1
7	3.47E-04	663	0.19	6.2	5.37E-04	894	0.17	7.2	6.69E-04	1076	0.18	7.5	7.36E-04	1290	0.15	7.9
8	4.43E-04	632	0.19	6.5	7.22E-04	803	0.19	7.6	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
9	5.49E-04	601	0.18	6.9	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0
10	6.73E-04	549	0.20	7.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0	0.00E+00	0	0.00	0.0

付表- 2.1 MTSS, $c_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その1)

RO = 40.00 (CM) RI = 20.30 (CM)				VOLUME COMPRESSIBILITY = 4510.00 (CC)					
			INITIAL CONDITION				AFTER CONSOLIDATION		
HEIGHT (CM)			71.90				71.50		
VOLUME (CC)			268326.00				263816.00		
DRY DENSITY (g/cm3)			1.80				1.83		
WEIGHT UNDER OVEN DRY CONDITION				= 482330.00 (g)					
MEAN SPECIFIC GRAVITY UNDER OVEN DRY CONDITION				= 2.550					
MEAN PERCENTAGE OF ABSORPTION				= 4.21 (%)					
CONFINING PRESSURE				= 2.07 (Kg/cm2)					
COEFFICIENT OF CALIBRATION				= 0.0002710					
No	HENI-1 (cm)	HENI-2 (cm)	VOL.CHANGE (cc)	TAU (k/cm2)	EA (%)	EV (%)	GAMMA1 (%)	GAMMA2 (%)	GAMMA1/TAU (x/kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.0	0.000	-0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000
2	0.06	0.059	50.9	0.387	0.01	0.02	0.089	0.0832	0.2289
3	0.16	0.131	152.6	0.557	0.02	0.06	0.221	0.1835	0.3977
4	0.24	0.205	254.3	0.680	0.02	0.10	0.332	0.2872	0.4883
5	0.32	0.265	356.0	0.780	0.03	0.13	0.443	0.3703	0.5674
6	0.40	0.298	406.9	0.857	0.03	0.15	0.553	0.4167	0.6456
7	0.47	0.316	457.7	0.919	0.04	0.17	0.664	0.4418	0.7228
8	0.55	0.326	508.6	0.980	0.04	0.19	0.775	0.4557	0.7904
9	0.63	0.332	559.4	1.026	0.05	0.21	0.886	0.4640	0.8628
10	0.71	0.335	610.3	1.072	0.05	0.23	0.996	0.4689	0.9290
11	0.79	0.338	610.3	1.111	0.05	0.23	1.107	0.4723	0.9966
12	0.87	0.339	610.3	1.157	0.05	0.23	1.218	0.4746	1.0526
13	0.97	0.340	661.1	1.187	0.05	0.25	1.350	0.4760	1.1375
14	1.04	0.341	661.1	1.218	0.05	0.25	1.461	0.4769	1.1999
15	1.12	0.342	661.1	1.248	0.05	0.25	1.572	0.4777	1.2592
16	1.20	0.342	661.1	1.279	0.04	0.25	1.683	0.4783	1.3157
17	1.28	0.342	661.1	1.302	0.04	0.25	1.793	0.4786	1.3777
18	1.36	0.342	661.1	1.324	0.03	0.25	1.904	0.4789	1.4376
19	1.44	0.343	661.1	1.347	0.03	0.25	2.015	0.4791	1.4954
20	1.52	0.343	661.1	1.370	0.02	0.25	2.125	0.4794	1.5513
21	1.60	0.343	610.3	1.393	0.02	0.23	2.236	0.4794	1.6054
22	1.68	0.343	610.3	1.408	0.01	0.23	2.347	0.4794	1.6668
23	1.76	0.343	559.4	1.423	-0.00	0.21	2.457	0.4797	1.7270
24	1.84	0.343	559.4	1.446	-0.01	0.21	2.568	0.4797	1.7763
25	1.92	0.343	559.4	1.461	-0.02	0.21	2.679	0.4797	1.8338
26	1.99	0.343	508.6	1.476	-0.03	0.19	2.790	0.4797	1.8901
27	2.07	0.343	457.7	1.491	-0.04	0.17	2.900	0.4797	1.9453
28	2.17	0.343	406.9	1.514	-0.06	0.15	3.033	0.4797	2.0038
29	2.25	0.343	356.0	1.521	-0.07	0.13	3.144	0.4800	2.0670
30	2.33	0.343	305.1	1.536	-0.09	0.12	3.254	0.4800	2.1188
31	2.41	0.343	305.1	1.551	-0.10	0.12	3.365	0.4800	2.1696
32	2.49	0.343	203.4	1.558	-0.12	0.08	3.476	0.4800	2.2304
33	2.56	0.343	203.4	1.573	-0.13	0.08	3.587	0.4800	2.2794
34	2.64	0.343	152.6	1.581	-0.15	0.06	3.697	0.4800	2.3389
35	2.72	0.343	101.7	1.596	-0.17	0.04	3.808	0.4800	2.3862
36	2.80	0.343	0.0	1.603	-0.19	0.00	3.919	0.4800	2.4444
37	2.88	0.343	-50.8	1.610	-0.21	-0.02	4.029	0.4800	2.5020
38	2.96	0.343	-101.7	1.618	-0.23	-0.04	4.140	0.4800	2.5591
39	3.05	0.343	-203.4	1.633	-0.25	-0.08	4.273	0.4800	2.6170
40	3.13	0.343	-254.3	1.640	-0.27	-0.10	4.384	0.4800	2.6729
41	3.20	0.343	-305.1	1.647	-0.29	-0.12	4.472	0.4800	2.7146
42	3.29	0.343	-356.0	1.655	-0.31	-0.13	4.605	0.4800	2.7830

付表-2.1 MTSS, $c_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その2)

43	3.37	0.343	-457.7	1.662	-0.33	-0.17	4.716	0.4800	2.8374
44	3.45	0.343	-508.5	1.669	-0.35	-0.19	4.826	0.4800	2.8913
45	3.53	0.343	-610.3	1.677	-0.37	-0.23	4.937	0.4800	2.9447
46	3.61	0.343	-661.1	1.684	-0.39	-0.25	5.048	0.4800	2.9976
47	3.69	0.343	-711.9	1.691	-0.41	-0.27	5.158	0.4800	3.0501
48	3.77	0.343	-813.7	1.699	-0.43	-0.31	5.269	0.4800	3.1021
49	3.85	0.343	-864.5	1.706	-0.45	-0.33	5.380	0.4800	3.1537
50	3.93	0.343	-966.2	1.705	-0.47	-0.37	5.490	0.4800	3.2194
51	4.00	0.343	-1017.1	1.713	-0.49	-0.39	5.601	0.4800	3.2703
52	4.08	0.343	-1118.8	1.720	-0.51	-0.42	5.712	0.4800	3.3208
53	4.18	0.343	-1220.5	1.727	-0.53	-0.46	5.845	0.4800	3.3838
54	4.26	0.343	-1322.2	1.735	-0.55	-0.50	5.955	0.4800	3.4333
55	4.34	0.343	-1373.1	1.734	-0.57	-0.52	6.066	0.4800	3.4980
56	4.42	0.343	-1474.8	1.741	-0.60	-0.56	6.177	0.4797	3.5469
57	4.50	0.343	-1525.6	1.749	-0.62	-0.58	6.287	0.4800	3.5954
58	4.57	0.343	-1627.3	1.748	-0.64	-0.62	6.398	0.4797	3.6596
59	4.65	0.343	-1729.0	1.756	-0.66	-0.66	6.509	0.4797	3.7074
60	4.73	0.343	-1830.8	1.755	-0.68	-0.69	6.620	0.4800	3.7713
61	4.81	0.343	-1932.5	1.763	-0.70	-0.73	6.730	0.4797	3.8185
62	4.89	0.343	-2034.2	1.762	-0.72	-0.77	6.841	0.4800	3.8822
63	4.97	0.343	-2085.0	1.769	-0.74	-0.79	6.952	0.4797	3.9288
64	5.07	0.343	-2186.7	1.777	-0.77	-0.83	7.084	0.4800	3.9875
65	5.14	0.343	-2288.5	1.776	-0.79	-0.87	7.195	0.4797	4.0508
66	5.22	0.343	-2339.3	1.776	-0.81	-0.89	7.306	0.4797	4.1141
67	5.30	0.343	-2441.0	1.783	-0.83	-0.93	7.417	0.4797	4.1593
68	5.38	0.343	-2542.7	1.790	-0.86	-0.96	7.527	0.4797	4.2042
69	5.46	0.343	-2644.4	1.790	-0.88	-1.00	7.638	0.4797	4.2670
70	5.54	0.343	-2746.2	1.790	-0.90	-1.04	7.749	0.4797	4.3299
71	5.62	0.343	-2847.9	1.797	-0.92	-1.08	7.859	0.4797	4.3739
72	5.70	0.343	-2949.6	1.796	-0.95	-1.12	7.970	0.4797	4.4366
73	5.78	0.343	-3051.3	1.804	-0.97	-1.16	8.081	0.4797	4.4799
74	5.86	0.343	-3153.0	1.803	-0.99	-1.20	8.191	0.4797	4.5424
75	5.94	0.343	-3203.8	1.811	-1.01	-1.21	8.302	0.4797	4.5852
76	6.03	0.343	-3356.4	1.810	-1.04	-1.27	8.435	0.4797	4.6599
77	6.09	0.343	-3458.1	1.818	-1.06	-1.31	8.524	0.4797	4.6896
78	6.17	0.343	-3559.8	1.817	-1.08	-1.35	8.634	0.4797	4.7516
79	6.27	0.343	-3661.5	1.817	-1.11	-1.39	8.767	0.4797	4.8261
80	6.35	0.343	-3763.2	1.824	-1.13	-1.43	8.878	0.4797	4.8675
81	6.43	0.343	-3865.0	1.823	-1.16	-1.47	8.988	0.4797	4.9293
82	6.51	0.343	-3966.7	1.823	-1.18	-1.50	9.099	0.4797	4.9912
83	6.58	0.343	-4068.4	1.823	-1.20	-1.54	9.210	0.4797	5.0531
84	6.66	0.343	-4119.2	1.830	-1.23	-1.56	9.321	0.4797	5.0934
85	6.74	0.343	-4271.8	1.829	-1.25	-1.62	9.431	0.4797	5.1551
86	6.82	0.343	-4373.5	1.829	-1.27	-1.66	9.542	0.4797	5.2168
87	6.90	0.343	-4475.2	1.836	-1.30	-1.70	9.653	0.4797	5.2564
88	6.98	0.343	-4576.9	1.836	-1.32	-1.73	9.763	0.4797	5.3179
89	7.06	0.343	-4678.6	1.836	-1.34	-1.77	9.874	0.4797	5.3794
90	7.14	0.343	-4780.3	1.835	-1.37	-1.81	9.985	0.4797	5.4410
91	7.23	0.343	-4882.1	1.842	-1.40	-1.85	10.118	0.4797	5.4917
92	7.31	0.343	-4983.7	1.842	-1.42	-1.89	10.228	0.4797	5.5531
93	7.39	0.343	-5085.5	1.841	-1.45	-1.93	10.339	0.4797	5.6145
94	7.47	0.343	-5187.2	1.849	-1.47	-1.97	10.450	0.4797	5.6522
95	7.55	0.343	-5339.7	1.848	-1.50	-2.02	10.560	0.4797	5.7134
96	7.63	0.343	-5441.5	1.848	-1.52	-2.06	10.671	0.4797	5.7746
97	7.71	0.343	-5543.2	1.855	-1.55	-2.10	10.782	0.4797	5.8115
98	7.79	0.343	-5644.9	1.847	-1.57	-2.14	10.892	0.4797	5.8972
99	7.87	0.343	-5746.6	1.854	-1.60	-2.18	11.003	0.4797	5.9336

付表-2.1 MTSS, $c_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その3)

100	7.95	0.343	-5848.3	1.854	-1.62	-2.22	11.114	0.4797	5.9947
101	8.03	0.343	-5950.0	1.854	-1.65	-2.26	11.225	0.4797	6.0558
102	8.10	0.343	-6051.7	1.853	-1.67	-2.29	11.335	0.4797	6.1170
103	8.18	0.343	-6153.4	1.860	-1.70	-2.33	11.446	0.4797	6.1524
104	8.26	0.343	-6306.0	1.860	-1.72	-2.39	11.557	0.4797	6.2134
105	8.36	0.343	-6407.7	1.859	-1.75	-2.43	11.689	0.4797	6.2865
106	8.44	0.343	-6509.4	1.859	-1.78	-2.47	11.800	0.4797	6.3475
107	8.52	0.343	-6611.1	1.859	-1.80	-2.51	11.911	0.4797	6.4085
108	8.60	0.343	-6712.8	1.866	-1.83	-2.54	12.022	0.4797	6.4427
109	8.67	0.343	-6814.5	1.865	-1.85	-2.58	12.132	0.4797	6.5035
110	8.75	0.343	-6916.2	1.865	-1.88	-2.62	12.243	0.4797	6.5644
111	8.83	0.343	-7018.0	1.865	-1.91	-2.66	12.354	0.4797	6.6253
112	8.91	0.343	-7119.6	1.864	-1.93	-2.70	12.464	0.4797	6.6862
113	8.99	0.343	-7272.2	1.864	-1.96	-2.76	12.575	0.4794	6.7471
114	9.07	0.343	-7323.1	1.863	-1.98	-2.78	12.686	0.4797	6.8081
115	9.15	0.343	-7424.8	1.863	-2.01	-2.81	12.796	0.4794	6.8691
116	9.23	0.343	-7577.4	1.862	-2.03	-2.87	12.907	0.4794	6.9301
117	9.31	0.343	-7679.1	1.862	-2.06	-2.91	13.018	0.4794	6.9912
118	9.40	0.343	-7780.8	1.862	-2.09	-2.95	13.151	0.4794	7.0645
119	9.47	0.343	-7882.5	1.861	-2.11	-2.99	13.239	0.4794	7.1133
120	9.56	0.343	-7984.2	1.861	-2.14	-3.03	13.372	0.4794	7.1867
121	9.64	0.343	-8085.9	1.860	-2.16	-3.06	13.483	0.4794	7.2479
122	9.72	0.343	-8187.6	1.860	-2.19	-3.10	13.593	0.4794	7.3091
123	9.80	0.343	-8289.3	1.867	-2.21	-3.14	13.704	0.4794	7.3397
124	9.88	0.343	-8391.0	1.859	-2.24	-3.18	13.815	0.4794	7.4316
125	9.96	0.343	-8492.8	1.859	-2.26	-3.22	13.925	0.4794	7.4928
126	10.04	0.343	-8645.3	1.858	-2.29	-3.28	14.036	0.4794	7.5541
127	10.11	0.343	-8747.0	1.858	-2.32	-3.32	14.147	0.4794	7.6155
128	10.19	0.343	-8848.7	1.857	-2.34	-3.35	14.258	0.4794	7.6768
129	10.27	0.343	-8899.6	1.857	-2.37	-3.37	14.368	0.4794	7.7382
130	10.35	0.343	-9001.3	1.856	-2.39	-3.41	14.479	0.4794	7.7997
131	10.43	0.343	-9103.0	1.856	-2.42	-3.45	14.590	0.4797	7.8611
132	10.51	0.343	-9204.7	1.855	-2.43	-3.49	14.700	0.4794	7.9226
133	10.61	0.343	-9306.4	1.855	-2.45	-3.53	14.833	0.4794	7.9964
134	10.68	0.343	-9459.0	1.855	-2.48	-3.59	14.944	0.4794	8.0579
135	10.76	0.343	-9560.7	1.846	-2.50	-3.62	15.055	0.4794	8.1536
136	10.84	0.343	-9611.5	1.846	-2.52	-3.64	15.165	0.4794	8.2154
137	10.92	0.343	-9713.3	1.846	-2.55	-3.68	15.276	0.4794	8.2773
138	11.00	0.343	-9815.0	1.845	-2.57	-3.72	15.387	0.4797	8.3393
139	11.08	0.343	-9916.7	1.837	-2.58	-3.76	15.497	0.4794	8.4366
140	11.16	0.343	-9967.5	1.836	-2.60	-3.78	15.608	0.4794	8.4989
141	11.24	0.343	-10069.2	1.828	-2.62	-3.82	15.719	0.4794	8.5974
142	11.32	0.343	-10170.9	1.828	-2.64	-3.86	15.829	0.4794	8.6600
143	11.40	0.343	-10272.7	1.820	-2.67	-3.89	15.940	0.4794	8.7597
144	11.49	0.343	-10374.4	1.819	-2.67	-3.93	16.073	0.4794	8.8352
145	11.56	0.343	-10425.2	1.819	-2.70	-3.95	16.162	0.4794	8.8855
146	11.63	0.343	-10526.9	1.811	-2.72	-3.99	16.272	0.4794	8.9868
147	11.73	0.343	-10577.8	1.810	-2.74	-4.01	16.405	0.4794	9.0627
148	11.81	0.343	-10679.5	1.810	-2.75	-4.05	16.516	0.4794	9.1261
149	11.89	0.343	-10781.2	1.802	-2.77	-4.09	16.626	0.4794	9.2289
150	11.92	0.343	-10832.1	1.763	-2.77	-4.11	16.671	0.4794	9.4577
151	11.93	0.343	-10781.2	1.755	-2.77	-4.09	16.693	0.4794	9.5124
152	11.93	0.343	-10730.3	1.755	-2.77	-4.07	16.693	0.4794	9.5124
153	11.92	0.343	-10730.3	1.747	-2.77	-4.07	16.671	0.4794	9.5415
154	11.92	0.343	-10730.3	1.747	-2.77	-4.07	16.671	0.4797	9.5415
155	11.92	0.343	-10730.3	1.739	-2.77	-4.07	16.671	0.4794	9.5840

付表- 2. 1 MTSS, $c_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その 4)

156	11.92	0.343	-10730.3	1.739	-2.77	-4.07	16.671	0.4794		9.5840
157	11.92	0.343	-10730.3	1.739	-2.77	-4.07	16.671	0.4794		9.5840
158	11.93	0.343	-10730.3	1.739	-2.77	-4.07	16.693	0.4794		9.5972
159	11.92	0.343	-10730.3	1.732	-2.77	-4.07	16.671	0.4794		9.6268
160	11.92	0.343	-10730.3	1.732	-2.77	-4.07	16.671	0.4794		9.6268
161	11.92	0.343	-10730.3	1.732	-2.77	-4.07	16.671	0.4794		9.6268
162	11.90	0.343	-10628.6	1.577	-2.77	-4.03	16.649	0.4794		10.5576
163	11.68	0.343	-9865.8	1.253	-2.62	-3.74	16.339	0.4794		13.0406
164	11.46	0.343	-9103.0	1.061	-2.45	-3.45	16.029	0.4794		15.1138
165	11.25	0.343	-8391.0	0.899	-2.28	-3.18	15.741	0.4794		17.5085
166	11.03	0.343	-7729.9	0.769	-2.13	-2.93	15.431	0.4794		20.0764
167	10.83	0.343	-7119.6	0.646	-2.00	-2.70	15.143	0.4794		23.4473

付表- 2.2 MTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その1)

RO = 40.00 (CM) RI = 20.30 (CM)				VOLUME COMPRESSIBILITY = 7300.00 (CC)					
			INITIAL CONDITION				AFTER CONSOLIDATION		
HEIGHT (CM)			71.80				71.15		
VOLUME (CC)			267952.00				260652.00		
DRY DENSITY (g/cm3)			1.80				1.85		
WEIGHT UNDER OVEN DRY CONDITION							= 482347.00 (g)		
MEAN SPECIFIC GRAVITY UNDER OVEN DRY CONDITION							= 2.550		
MEAN PERCENTAGE OF ABSORPTION							= 4.21 (%)		
CONFINING PRESSURE							= 4.07 (Kg/cm2)		
COEFFICIENT OF CALIBRATION							= 0.0002730		
No	HENI-1 (cm)	HENI-2 (cm)	VOL. CHANGE (cc)	TAU (k/cm2)	EA (%)	EV (%)	GAMMA1 (%)	GAMMA2 (%)	GAMMA1/TAU (%/kg/cm2)
1	0.00	0.000	0.0	0.000	0.02	0.00	0.000	0.0000	0.0000
2	0.06	0.049	51.4	0.619	0.03	0.02	0.089	0.0685	0.1437
3	0.14	0.115	205.6	0.890	0.04	0.08	0.200	0.1621	0.2251
4	0.24	0.184	308.4	1.091	0.06	0.12	0.334	0.2591	0.3060
5	0.32	0.247	411.2	1.260	0.07	0.16	0.445	0.3474	0.3530
6	0.40	0.285	565.4	1.392	0.08	0.22	0.556	0.4012	0.3997
7	0.47	0.307	668.2	1.507	0.09	0.26	0.667	0.4314	0.4428
8	0.55	0.319	771.0	1.608	0.09	0.30	0.779	0.4488	0.4844
9	0.63	0.327	873.8	1.708	0.10	0.34	0.890	0.4591	0.5211
10	0.71	0.331	925.2	1.785	0.11	0.35	1.001	0.4654	0.5609
11	0.79	0.334	1028.0	1.862	0.12	0.39	1.112	0.4697	0.5975
12	0.87	0.336	1079.4	1.931	0.12	0.41	1.224	0.4722	0.6337
13	0.95	0.337	1130.8	2.000	0.13	0.43	1.335	0.4739	0.6673
14	1.04	0.338	1233.6	2.054	0.14	0.47	1.468	0.4754	0.7149
15	1.11	0.339	1285.0	2.108	0.14	0.49	1.557	0.4762	0.7388
16	1.20	0.339	1336.4	2.162	0.15	0.51	1.691	0.4768	0.7822
17	1.28	0.340	1336.4	2.208	0.15	0.51	1.802	0.4774	0.8163
18	1.36	0.340	1387.8	2.254	0.15	0.53	1.913	0.4777	0.8490
19	1.44	0.340	1439.2	2.300	0.16	0.55	2.025	0.4779	0.8804
20	1.52	0.340	1490.6	2.338	0.16	0.57	2.136	0.4782	0.9135
21	1.60	0.340	1542.0	2.376	0.16	0.59	2.247	0.4782	0.9456
22	1.68	0.340	1542.0	2.414	0.16	0.59	2.358	0.4785	0.9767
23	1.76	0.340	1542.0	2.445	0.16	0.59	2.469	0.4785	1.0100
24	1.84	0.340	1593.4	2.476	0.16	0.61	2.581	0.4785	1.0425
25	1.92	0.340	1593.4	2.506	0.16	0.61	2.692	0.4785	1.0742
26	1.99	0.341	1644.8	2.537	0.16	0.63	2.803	0.4788	1.1051
27	2.07	0.341	1644.8	2.567	0.16	0.63	2.914	0.4788	1.1353
28	2.17	0.341	1644.8	2.598	0.16	0.63	3.048	0.4788	1.1734
29	2.25	0.341	1644.8	2.628	0.15	0.63	3.159	0.4788	1.2020
30	2.33	0.341	1644.8	2.651	0.15	0.63	3.270	0.4788	1.2337
31	2.41	0.341	1644.8	2.674	0.15	0.63	3.382	0.4788	1.2648
32	2.49	0.341	1644.8	2.697	0.14	0.63	3.493	0.4788	1.2953
33	2.56	0.341	1644.8	2.719	0.14	0.63	3.604	0.4788	1.3254
34	2.64	0.341	1644.8	2.742	0.13	0.63	3.715	0.4788	1.3549
35	2.72	0.341	1644.8	2.765	0.13	0.63	3.827	0.4788	1.3840
36	2.80	0.341	1644.8	2.780	0.12	0.63	3.938	0.4788	1.4165
37	2.88	0.341	1644.8	2.803	0.11	0.63	4.049	0.4788	1.4447
38	2.96	0.341	1644.8	2.826	0.11	0.63	4.160	0.4788	1.4724
39	3.04	0.341	1593.4	2.841	0.10	0.61	4.272	0.4788	1.5037
40	3.12	0.341	1593.4	2.863	0.09	0.61	4.383	0.4788	1.5306
41	3.20	0.341	1542.0	2.879	0.08	0.59	4.494	0.4788	1.5612
42	3.28	0.341	1542.0	2.894	0.07	0.59	4.605	0.4788	1.5916

付表-2.2 MTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その2)

43	3.37	0.341	1542.0	2.909	0.06	0.59	4.739	0.4788	1.6293
44	3.45	0.341	1490.6	2.924	0.06	0.57	4.850	0.4788	1.6589
45	3.53	0.341	1490.6	2.939	0.05	0.57	4.961	0.4788	1.6883
46	3.61	0.341	1439.2	2.954	0.04	0.55	5.072	0.4788	1.7173
47	3.69	0.341	1439.2	2.969	0.03	0.55	5.184	0.4788	1.7461
48	3.77	0.341	1439.2	2.984	0.02	0.55	5.295	0.4788	1.7746
49	3.85	0.341	1387.8	2.999	0.01	0.53	5.406	0.4788	1.8027
50	3.93	0.341	1336.4	3.006	-0.01	0.51	5.517	0.4788	1.8354
51	4.00	0.341	1285.0	3.021	-0.02	0.49	5.629	0.4788	1.8630
52	4.08	0.341	1285.0	3.036	-0.03	0.49	5.740	0.4788	1.8904
53	4.18	0.341	1233.6	3.051	-0.04	0.47	5.873	0.4788	1.9249
54	4.26	0.341	1233.6	3.059	-0.05	0.47	5.985	0.4788	1.9567
55	4.34	0.341	1182.2	3.074	-0.07	0.45	6.096	0.4788	1.9833
56	4.42	0.341	1130.8	3.081	-0.08	0.43	6.207	0.4788	2.0147
57	4.50	0.341	1079.4	3.096	-0.09	0.41	6.318	0.4788	2.0408
58	4.57	0.341	1028.0	3.103	-0.10	0.39	6.430	0.4788	2.0719
59	4.65	0.341	1028.0	3.111	-0.12	0.39	6.541	0.4788	2.1028
60	4.73	0.341	976.6	3.126	-0.13	0.37	6.652	0.4788	2.1282
61	4.81	0.341	925.2	3.133	-0.14	0.35	6.763	0.4788	2.1588
62	4.89	0.341	873.8	3.140	-0.16	0.34	6.875	0.4788	2.1891
63	4.97	0.341	822.4	3.148	-0.17	0.32	6.986	0.4788	2.2194
64	5.05	0.341	771.0	3.155	-0.19	0.30	7.097	0.4788	2.2495
65	5.13	0.341	719.6	3.162	-0.20	0.28	7.208	0.4788	2.2795
66	5.21	0.341	668.2	3.170	-0.21	0.26	7.319	0.4788	2.3093
67	5.29	0.341	616.8	3.177	-0.23	0.24	7.431	0.4788	2.3390
68	5.38	0.341	565.4	3.192	-0.25	0.22	7.564	0.4788	2.3699
69	5.46	0.341	514.0	3.199	-0.26	0.20	7.675	0.4788	2.3992
70	5.54	0.341	462.6	3.206	-0.28	0.18	7.787	0.4788	2.4285
71	5.62	0.341	462.6	3.214	-0.29	0.18	7.898	0.4788	2.4576
72	5.70	0.341	359.8	3.221	-0.31	0.14	8.009	0.4788	2.4865
73	5.78	0.341	308.4	3.228	-0.32	0.12	8.120	0.4788	2.5153
74	5.86	0.341	257.0	3.228	-0.34	0.10	8.232	0.4788	2.5501
75	5.94	0.341	205.6	3.235	-0.36	0.08	8.343	0.4788	2.5788
76	6.01	0.341	154.2	3.243	-0.37	0.06	8.454	0.4788	2.6072
77	6.09	0.341	102.8	3.250	-0.39	0.04	8.565	0.4788	2.6356
78	6.17	0.341	51.4	3.257	-0.41	0.02	8.677	0.4788	2.6638
79	6.25	0.341	-51.4	3.257	-0.42	-0.02	8.788	0.4788	2.6984
80	6.35	0.341	-102.8	3.264	-0.44	-0.04	8.921	0.4788	2.7333
81	6.41	0.341	-154.2	3.271	-0.46	-0.06	9.010	0.4788	2.7543
82	6.51	0.341	-205.6	3.271	-0.48	-0.08	9.144	0.4788	2.7955
83	6.58	0.341	-257.0	3.278	-0.49	-0.10	9.255	0.4788	2.8232
84	6.66	0.341	-308.4	3.285	-0.51	-0.12	9.366	0.4788	2.8508
85	6.74	0.341	-411.2	3.293	-0.53	-0.16	9.478	0.4788	2.8783
86	6.82	0.341	-462.6	3.292	-0.55	-0.18	9.589	0.4788	2.9124
87	6.90	0.341	-514.0	3.300	-0.56	-0.20	9.700	0.4788	2.9397
88	6.98	0.341	-565.4	3.307	-0.58	-0.22	9.811	0.4788	2.9668
89	7.06	0.341	-668.2	3.307	-0.60	-0.26	9.922	0.4788	3.0009
90	7.14	0.341	-719.6	3.314	-0.62	-0.28	10.034	0.4788	3.0278
91	7.22	0.341	-771.0	3.313	-0.63	-0.30	10.145	0.4788	3.0618
92	7.31	0.341	-822.4	3.321	-0.66	-0.32	10.278	0.4788	3.0953
93	7.39	0.341	-873.8	3.328	-0.67	-0.34	10.390	0.4788	3.1219
94	7.47	0.341	-976.6	3.328	-0.69	-0.37	10.501	0.4788	3.1558
95	7.55	0.341	-1028.0	3.335	-0.71	-0.39	10.612	0.4788	3.1822
96	7.63	0.341	-1130.8	3.334	-0.73	-0.43	10.723	0.4788	3.2160
97	7.71	0.341	-1182.2	3.342	-0.75	-0.45	10.835	0.4788	3.2422
98	7.79	0.341	-1233.6	3.341	-0.76	-0.47	10.946	0.4788	3.2759
99	7.87	0.341	-1336.4	3.341	-0.78	-0.51	11.057	0.4788	3.3097

100	7.95	0.341	-1387.8	3.348	-0.80	-0.53	11.168	0.4788	3.3357
101	8.03	0.341	-1439.2	3.355	-0.82	-0.55	11.280	0.4788	3.3615
102	8.10	0.341	-1542.0	3.355	-0.84	-0.59	11.391	0.4788	3.3951
103	8.18	0.341	-1593.4	3.355	-0.86	-0.61	11.502	0.4788	3.4287
104	8.26	0.341	-1644.8	3.362	-0.87	-0.63	11.613	0.4788	3.4544
105	8.34	0.341	-1747.6	3.361	-0.89	-0.67	11.725	0.4788	3.4879
106	8.42	0.341	-1799.0	3.361	-0.91	-0.69	11.836	0.4788	3.5214
107	8.52	0.341	-1901.8	3.368	-0.93	-0.73	11.969	0.4788	3.5535
108	8.60	0.341	-1953.2	3.368	-0.95	-0.75	12.081	0.4788	3.5870
109	8.67	0.341	-2056.0	3.367	-0.97	-0.79	12.192	0.4788	3.6205
110	8.75	0.341	-2107.4	3.375	-0.99	-0.81	12.303	0.4788	3.6456
111	8.83	0.341	-2210.2	3.382	-1.01	-0.85	12.414	0.4788	3.6706
112	8.91	0.341	-2261.6	3.382	-1.02	-0.87	12.525	0.4788	3.7040
113	8.99	0.341	-2364.4	3.381	-1.04	-0.91	12.637	0.4788	3.7374
114	9.07	0.341	-2415.8	3.381	-1.06	-0.93	12.748	0.4788	3.7707
115	9.15	0.341	-2467.2	3.388	-1.08	-0.95	12.859	0.4788	3.7954
116	9.23	0.341	-2570.0	3.388	-1.10	-0.99	12.970	0.4788	3.8288
117	9.32	0.341	-2621.4	3.387	-1.12	-1.01	13.104	0.4788	3.8688
118	9.40	0.341	-2724.2	3.387	-1.14	-1.05	13.215	0.4788	3.9021
119	9.48	0.341	-2775.6	3.386	-1.16	-1.06	13.326	0.4788	3.9354
120	9.56	0.340	-2878.4	3.386	-1.17	-1.10	13.438	0.4785	3.9688
121	9.64	0.340	-2929.8	3.385	-1.19	-1.12	13.549	0.4785	4.0022
122	9.72	0.341	-2981.2	3.385	-1.21	-1.14	13.660	0.4788	4.0355
123	9.80	0.341	-3084.0	3.385	-1.23	-1.18	13.771	0.4788	4.0689
124	9.88	0.341	-3135.4	3.384	-1.25	-1.20	13.883	0.4788	4.1023
125	9.96	0.341	-3238.2	3.384	-1.27	-1.24	13.994	0.4788	4.1357
126	10.04	0.340	-3289.6	3.375	-1.28	-1.26	14.105	0.4785	4.1787
127	10.11	0.340	-3341.0	3.375	-1.30	-1.28	14.216	0.4785	4.2122
128	10.19	0.340	-3443.8	3.375	-1.32	-1.32	14.328	0.4785	4.2457
129	10.27	0.340	-3495.2	3.374	-1.34	-1.34	14.439	0.4785	4.2792
130	10.35	0.340	-3598.0	3.366	-1.36	-1.38	14.550	0.4785	4.3226
131	10.45	0.340	-3649.4	3.365	-1.35	-1.40	14.663	0.4785	4.3629
132	10.53	0.340	-3700.8	3.365	-1.35	-1.42	14.795	0.4785	4.3966
133	10.61	0.340	-3752.2	3.357	-1.37	-1.44	14.906	0.4785	4.4404
134	10.68	0.340	-3855.0	3.349	-1.38	-1.48	15.017	0.4785	4.4845
135	10.76	0.340	-3906.4	3.348	-1.38	-1.50	15.128	0.4785	4.5183
136	10.84	0.340	-3957.8	3.340	-1.38	-1.52	15.240	0.4785	4.5626
137	10.92	0.340	-4009.2	3.340	-1.40	-1.54	15.351	0.4785	4.5965
138	11.00	0.340	-4112.0	3.324	-1.40	-1.58	15.462	0.4785	4.6520
139	11.08	0.340	-4112.0	3.323	-1.42	-1.58	15.573	0.4785	4.6861
140	11.16	0.340	-4163.4	3.331	-1.42	-1.60	15.685	0.4785	4.7092
141	11.18	0.340	-4163.4	3.253	-1.42	-1.60	15.707	0.4785	4.8283
142	11.19	0.340	-4163.4	3.230	-1.40	-1.60	15.729	0.4785	4.8700
143	11.18	0.340	-4163.4	3.222	-1.40	-1.60	15.707	0.4785	4.8747
144	11.19	0.340	-4163.4	3.214	-1.42	-1.60	15.729	0.4785	4.8935
145	11.18	0.340	-4112.0	3.207	-1.42	-1.58	15.707	0.4785	4.8982
146	11.19	0.340	-4112.0	3.207	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9053
147	11.19	0.340	-4112.0	3.199	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9172
148	11.19	0.340	-4112.0	3.199	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9172
149	11.19	0.340	-4112.0	3.191	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9291
150	11.18	0.340	-4112.0	3.183	-1.42	-1.58	15.707	0.4785	4.9340
151	11.19	0.340	-4112.0	3.191	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9291
152	11.18	0.340	-4112.0	3.183	-1.40	-1.58	15.707	0.4785	4.9340
153	11.19	0.340	-4112.0	3.183	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9411
154	11.19	0.340	-4112.0	3.183	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9411
155	11.19	0.340	-4112.0	3.176	-1.40	-1.58	15.729	0.4785	4.9531

付表－ 2. 2 MTSS, $c_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その 4)

156	11.18	0.340	-4112.0	3.176	-1.40	-1.58	15.707	0.4785		4.9460
157	11.18	0.340	-4060.6	3.176	-1.40	-1.58	15.707	0.4785		4.9460
158	11.18	0.340	-4112.0	3.176	-1.40	-1.58	15.707	0.4785		4.9460
159	11.18	0.340	-4112.0	3.168	-1.40	-1.58	15.707	0.4785		4.9581
160	11.18	0.340	-4112.0	3.168	-1.40	-1.58	15.707	0.4785		4.9581
161	11.18	0.340	-4112.0	3.168	-1.40	-1.58	15.707	0.4785		4.9581
162	11.19	0.340	-4060.6	3.168	-1.40	-1.56	15.729	0.4785		4.9652
163	11.19	0.340	-4060.6	3.160	-1.40	-1.56	15.729	0.4785		4.9774
164	11.10	0.340	-3855.0	2.712	-1.35	-1.48	15.596	0.4785		5.7516
165	11.02	0.340	-3649.4	2.449	-1.30	-1.40	15.484	0.4785		6.3236
166	10.94	0.340	-3392.4	2.232	-1.25	-1.30	15.373	0.4785		6.8867
167	10.86	0.340	-3135.4	2.047	-1.20	-1.20	15.262	0.4785		7.4561

付表-2.3 MTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 7.58 \text{ kgf/cm}^2$ (その1)

RO = 39.95 (CM) RI = 20.04 (CM)				VOLUME COMPRESSIBILITY = 11730.00 (CC)						
				INITIAL CONDITION			AFTER CONSOLIDATION			
HEIGHT (CM)				71.80			70.76			
VOLUME (CC)				269417.00			257686.00			
DRY DENSITY (g/cm ³)				1.98			2.07			
WEIGHT UNDER OVEN DRY CONDITION				= 534462.00			(g)			
MEAN SPECIFIC GRAVITY UNDER OVEN DRY CONDITION				= 2.550						
MEAN PERCENTAGE OF ABSORPTION				= 2.55			(%)			
CONFINING PRESSURE				= 7.58			(Kg/cm ²)			
COEFFICIENT OF CALIBRATION				= 0.0002746						
No	HENI-1 (cm)	HENI-2 (cm)	VOL CHANGE (cc)	TAU (k/cm ²)	EA (%)	EV (%)	GAMMA1 (%)	GAMMA2 (%)		GAMMA1/TAU (%/kg/cm ²)
1	0.00	0.000	0.0	0.000	0.00	0.00	0.000	0.0000		0.0000
2	0.08	0.003	52.3	1.006	0.02	0.02	0.111	0.0042		0.1106
3	0.16	0.008	104.6	1.656	0.03	0.04	0.223	0.0114		0.1344
4	0.24	0.014	209.1	2.066	0.04	0.08	0.334	0.0196		0.1616
5	0.31	0.020	365.9	2.360	0.06	0.14	0.445	0.0277		0.1886
6	0.39	0.023	418.2	2.569	0.07	0.16	0.556	0.0325		0.2166
7	0.47	0.026	522.8	2.777	0.08	0.20	0.668	0.0362		0.2404
8	0.55	0.027	627.3	2.970	0.09	0.24	0.779	0.0385		0.2622
9	0.63	0.028	731.9	3.140	0.11	0.28	0.890	0.0399		0.2835
10	0.71	0.029	836.4	3.295	0.12	0.32	1.001	0.0408		0.3040
11	0.79	0.029	941.0	3.434	0.13	0.37	1.113	0.0414		0.3241
12	0.87	0.030	1045.5	3.557	0.14	0.41	1.224	0.0418		0.3441
13	0.94	0.030	1097.8	3.665	0.15	0.43	1.335	0.0420		0.3643
14	1.02	0.030	1202.4	3.719	0.16	0.47	1.447	0.0422		0.3890
15	1.10	0.030	1254.6	3.842	0.17	0.49	1.558	0.0423		0.4054
16	1.18	0.030	1306.9	3.935	0.17	0.51	1.669	0.0424		0.4242
17	1.26	0.030	1359.2	4.020	0.18	0.53	1.780	0.0425		0.4429
18	1.35	0.030	1411.5	4.089	0.19	0.55	1.914	0.0425		0.4681
19	1.43	0.030	1516.0	4.166	0.20	0.59	2.025	0.0426		0.4862
20	1.51	0.030	1568.3	4.235	0.20	0.61	2.137	0.0426		0.5045
21	1.59	0.030	1620.6	4.297	0.21	0.63	2.248	0.0426		0.5232
22	1.67	0.030	1672.8	4.374	0.21	0.65	2.359	0.0426		0.5394
23	1.75	0.030	1672.8	4.427	0.22	0.65	2.470	0.0426		0.5580
24	1.83	0.030	1777.4	4.497	0.22	0.69	2.582	0.0426		0.5741
25	1.91	0.030	1829.7	4.063	0.23	0.71	2.693	0.0426		0.6629
26	1.98	0.030	1829.7	4.565	0.23	0.71	2.804	0.0426		0.6142
27	2.06	0.030	1829.7	4.611	0.23	0.71	2.915	0.0426		0.6322
28	2.14	0.030	1881.9	4.650	0.23	0.73	3.027	0.0427		0.6509
29	2.22	0.030	1934.2	4.711	0.24	0.75	3.138	0.0427		0.6661
30	2.30	0.030	1934.2	4.757	0.24	0.75	3.249	0.0427		0.6830
31	2.38	0.030	1986.5	4.796	0.24	0.77	3.361	0.0427		0.7008
32	2.47	0.030	1986.5	4.849	0.24	0.77	3.494	0.0427		0.7205
33	2.54	0.030	2038.8	4.895	0.24	0.79	3.583	0.0427		0.7319
34	2.63	0.030	2091.1	4.941	0.24	0.81	3.717	0.0427		0.7522
35	2.71	0.030	2091.1	4.980	0.24	0.81	3.828	0.0427		0.7687
36	2.79	0.030	2091.1	5.018	0.24	0.81	3.939	0.0427		0.7850
37	2.87	0.030	2143.3	5.056	0.23	0.83	4.050	0.0427		0.8011
38	2.94	0.030	2143.3	5.102	0.23	0.83	4.162	0.0427		0.8157
39	3.02	0.030	2195.6	5.140	0.23	0.85	4.273	0.0427		0.8313
40	3.10	0.030	2195.6	5.179	0.23	0.85	4.384	0.0427		0.8466
41	3.18	0.030	2195.6	5.209	0.22	0.85	4.496	0.0427		0.8630
42	3.26	0.030	2195.6	5.248	0.22	0.85	4.607	0.0427		0.8779

付表-2.3 MTSS, $e_0 = 0.42$, $\sigma_a = \sigma_r = 7.58 \text{ kgf/cm}^2$ (その2)

43	3.34	0.030	2247.9	5.278	0.22	0.87	4.718	0.0427	0.8939
44	3.42	0.030	2247.9	5.301	0.22	0.87	4.829	0.0427	0.9111
45	3.50	0.030	2247.9	5.339	0.21	0.87	4.941	0.0427	0.9254
46	3.57	0.030	2247.9	5.370	0.21	0.87	5.052	0.0427	0.9408
47	3.65	0.030	2247.9	5.400	0.21	0.87	5.163	0.0427	0.9561
48	3.75	0.030	2247.9	5.431	0.20	0.87	5.297	0.0427	0.9753
49	3.83	0.030	2300.1	5.454	0.20	0.89	5.408	0.0427	0.9917
50	3.91	0.030	2247.9	5.484	0.19	0.87	5.519	0.0427	1.0064
51	3.98	0.030	2247.9	5.515	0.19	0.87	5.631	0.0427	1.0210
52	4.06	0.030	2300.1	5.530	0.18	0.89	5.742	0.0427	1.0384
53	4.14	0.030	2247.9	5.552	0.18	0.87	5.853	0.0427	1.0542
54	4.22	0.030	2300.1	5.591	0.18	0.89	5.964	0.0427	1.0668
55	4.30	0.030	2247.9	5.614	0.17	0.87	6.076	0.0427	1.0823
56	4.38	0.030	2247.9	5.636	0.17	0.87	6.187	0.0427	1.0977
57	4.46	0.030	2247.9	5.659	0.16	0.87	6.298	0.0427	1.1129
58	4.54	0.030	2247.9	5.666	0.15	0.87	6.410	0.0427	1.1311
59	4.61	0.030	2247.9	5.697	0.15	0.87	6.521	0.0427	1.1446
60	4.69	0.030	2247.9	5.704	0.14	0.87	6.632	0.0427	1.1626
61	4.79	0.030	2195.6	5.743	0.14	0.85	6.766	0.0427	1.1782
62	4.87	0.030	2195.6	5.758	0.13	0.85	6.877	0.0427	1.1944
63	4.94	0.030	2195.6	5.780	0.12	0.85	6.988	0.0427	1.2089
64	5.02	0.030	2195.6	5.795	0.12	0.85	7.099	0.0427	1.2250
65	5.10	0.030	2143.3	5.826	0.11	0.83	7.211	0.0427	1.2377
66	5.18	0.030	2143.3	5.841	0.10	0.83	7.322	0.0427	1.2535
67	5.26	0.030	2143.3	5.848	0.10	0.83	7.433	0.0427	1.2710
68	5.34	0.030	2091.1	5.871	0.09	0.81	7.545	0.0427	1.2850
69	5.42	0.030	2091.1	5.878	0.08	0.81	7.656	0.0427	1.3024
70	5.50	0.030	2091.1	5.909	0.07	0.81	7.767	0.0427	1.3145
71	5.57	0.030	2038.8	5.916	0.07	0.79	7.878	0.0427	1.3316
72	5.65	0.030	2038.8	5.939	0.06	0.79	7.990	0.0427	1.3453
73	5.73	0.030	1986.5	5.954	0.05	0.77	8.101	0.0427	1.3606
74	5.81	0.030	1986.5	5.977	0.04	0.77	8.212	0.0427	1.3740
75	5.89	0.030	1934.2	5.984	0.03	0.75	8.323	0.0427	1.3909
76	5.98	0.030	1934.2	5.999	0.02	0.75	8.457	0.0427	1.4097
77	6.06	0.030	1881.9	6.014	0.02	0.73	8.568	0.0427	1.4247
78	6.14	0.030	1881.9	6.029	0.01	0.73	8.680	0.0427	1.4396
79	6.22	0.030	1881.9	6.044	-0.00	0.73	8.791	0.0427	1.4544
80	6.30	0.030	1829.7	6.052	-0.01	0.71	8.902	0.0427	1.4710
81	6.38	0.030	1777.4	6.075	-0.02	0.69	9.013	0.0427	1.4838
82	6.46	0.030	1725.1	6.082	-0.03	0.67	9.125	0.0427	1.5003
83	6.54	0.030	1725.1	6.089	-0.04	0.67	9.236	0.0427	1.5168
84	6.61	0.030	1672.8	6.104	-0.05	0.65	9.347	0.0427	1.5313
85	6.69	0.030	1672.8	6.119	-0.06	0.65	9.458	0.0427	1.5457
86	6.77	0.030	1620.6	6.127	-0.07	0.63	9.570	0.0427	1.5620
87	6.85	0.030	1568.3	6.142	-0.08	0.61	9.681	0.0427	1.5763
88	6.93	0.030	1568.3	6.157	-0.09	0.61	9.792	0.0427	1.5905
89	7.01	0.030	1516.0	6.164	-0.10	0.59	9.904	0.0427	1.6067
90	7.10	0.030	1463.7	6.179	-0.11	0.57	10.037	0.0427	1.6244
91	7.17	0.030	1463.7	6.179	-0.12	0.57	10.126	0.0427	1.6389
92	7.26	0.030	1411.5	6.194	-0.13	0.55	10.260	0.0427	1.6565
93	7.34	0.030	1359.2	6.209	-0.14	0.53	10.371	0.0427	1.6704
94	7.42	0.030	1359.2	6.216	-0.15	0.53	10.482	0.0427	1.6863
95	7.50	0.030	1306.9	6.223	-0.17	0.51	10.594	0.0427	1.7022
96	7.57	0.030	1254.6	6.231	-0.18	0.49	10.705	0.0427	1.7181
97	7.65	0.030	1202.4	6.246	-0.19	0.47	10.816	0.0427	1.7318
98	7.73	0.030	1150.1	6.253	-0.20	0.45	10.927	0.0427	1.7476
99	7.81	0.030	1097.8	6.245	-0.21	0.43	11.039	0.0427	1.7677

100	7.89	0.030	1097.8	6.280	-0.22	0.43	11.150	0.0427	1.7812
101	7.97	0.030	1045.5	6.259	-0.24	0.41	11.261	0.0427	1.7991
102	8.05	0.030	993.3	6.282	-0.25	0.39	11.372	0.0427	1.8103
103	8.13	0.030	941.0	6.282	-0.26	0.37	11.484	0.0427	1.8281
104	8.22	0.030	888.7	6.297	-0.27	0.34	11.617	0.0427	1.8450
105	8.30	0.030	836.4	6.304	-0.29	0.32	11.729	0.0427	1.8605
106	8.38	0.030	784.1	6.304	-0.30	0.30	11.840	0.0427	1.8783
107	8.46	0.030	784.1	6.311	-0.31	0.30	11.951	0.0427	1.8937
108	8.54	0.030	731.9	6.318	-0.32	0.28	12.062	0.0427	1.9091
109	8.61	0.030	679.6	6.326	-0.33	0.26	12.174	0.0427	1.9245
110	8.69	0.030	627.3	6.333	-0.35	0.24	12.285	0.0427	1.9399
111	8.77	0.030	575.0	6.340	-0.36	0.22	12.396	0.0427	1.9552
112	8.85	0.030	522.8	6.348	-0.37	0.20	12.508	0.0427	1.9705
113	8.93	0.030	470.5	6.355	-0.38	0.18	12.619	0.0427	1.9857
114	9.01	0.030	418.2	6.347	-0.39	0.16	12.730	0.0427	2.0058
115	9.09	0.030	365.9	6.362	-0.41	0.14	12.841	0.0427	2.0185
116	9.16	0.030	313.7	6.361	-0.42	0.12	12.953	0.0427	2.0362
117	9.24	0.030	261.4	6.361	-0.43	0.10	13.064	0.0427	2.0538
118	9.34	0.030	209.1	6.384	-0.45	0.08	13.197	0.0427	2.0674
119	9.42	0.030	156.8	6.375	-0.46	0.06	13.309	0.0427	2.0875
120	9.50	0.030	104.6	6.375	-0.47	0.04	13.420	0.0426	2.1051
121	9.57	0.030	52.3	6.382	-0.48	0.02	13.531	0.0427	2.1201
122	9.65	0.030	0.0	6.390	-0.49	0.00	13.643	0.0427	2.1351
123	9.73	0.030	-52.3	6.389	-0.51	-0.02	13.754	0.0426	2.1527
124	9.81	0.030	-104.6	6.381	-0.52	-0.04	13.865	0.0426	2.1729
125	9.89	0.030	-156.8	6.381	-0.53	-0.06	13.976	0.0426	2.1905
126	9.97	0.030	-209.1	6.380	-0.54	-0.08	14.088	0.0426	2.2080
127	10.05	0.030	-261.4	6.380	-0.55	-0.10	14.199	0.0426	2.2256
128	10.13	0.030	-313.7	6.372	-0.57	-0.12	14.310	0.0426	2.2460
129	10.20	0.030	-365.9	6.379	-0.58	-0.14	14.421	0.0426	2.2608
130	10.28	0.030	-470.5	6.371	-0.59	-0.18	14.533	0.0426	2.2812
131	10.36	0.030	-470.5	6.370	-0.60	-0.18	14.644	0.0426	2.2988
132	10.44	0.030	-575.0	6.354	-0.61	-0.22	14.755	0.0426	2.3221
133	10.52	0.030	-627.3	6.338	-0.63	-0.24	14.867	0.0426	2.3455
134	10.61	0.030	-627.3	6.346	-0.64	-0.24	15.000	0.0426	2.3639
135	10.69	0.030	-731.9	6.330	-0.64	-0.28	15.111	0.0426	2.3874
136	10.77	0.030	-731.9	6.337	-0.64	-0.28	15.223	0.0426	2.4022
137	10.85	0.030	-836.4	6.329	-0.66	-0.32	15.334	0.0426	2.4229
138	10.93	0.030	-888.7	6.321	-0.66	-0.34	15.445	0.0426	2.4436
139	11.01	0.030	-941.0	6.305	-0.66	-0.37	15.556	0.0426	2.4674
140	11.09	0.030	-993.2	6.297	-0.68	-0.39	15.668	0.0426	2.4883
141	11.16	0.030	-1045.5	6.288	-0.68	-0.41	15.779	0.0426	2.5092
142	11.24	0.030	-1097.8	6.280	-0.68	-0.43	15.890	0.0426	2.5302
143	11.32	0.030	-1150.1	6.272	-0.68	-0.45	16.002	0.0426	2.5513
144	11.40	0.030	-1202.4	6.264	-0.68	-0.47	16.113	0.0426	2.5723
145	11.48	0.030	-1202.4	6.256	-0.68	-0.47	16.224	0.0426	2.5935
146	11.57	0.030	-1254.6	6.247	-0.68	-0.49	16.358	0.0426	2.6183

付表- 2.4 MTX, $e_o = 0.42$, $\sigma_c = 0.56 \text{ kgf/cm}^2$ (その1)

MEAN DIAMETER = 20.00 (CM)					VOLUME COMPRESSIBILITY = 480.00 (CC)					
				INITIAL CONDITION			AFTER CONSOLIDATION			
HEIGHT (CM)				80.90			80.78			
VOLUME (CC)				101665.00			101185.00			
DRY DENSITY (g/cm3)				1.79			1.80			
WEIGHT UNDER OVEN DRY CONDITION					= 181680.00 (g)					
MEAN SPECIFIC GRAVITY UNDER OVEN DRY CONDITION					= 2.550					
MEAN PERCENTAGE OF ABSORPTION					= 2.55 (%)					
CONFINING PRESSURE					= 0.56 (Kg/cm2)					
COEFFICIENT OF CALIBRATION					= 0.0007983					
No	AXIAL (cm)	LOAD (kgf)	VOL. CHANGE (cc)	DEV. SIG (k/cm2)	EA (%)	EV (%)	Q/P'	ER/EA	ER (%)	EA/DEV. SIG (k/kg/cm2)
1	0.00	0.0	0.0	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0000	0.00	0.0000
2	0.08	1312.8	-8.4	1.048	0.10	-0.008	1.150	-0.5430	-0.05	0.0916
3	0.16	1985.6	-19.7	1.585	0.20	-0.019	1.454	-0.5477	-0.11	0.1287
4	0.24	2358.9	-31.5	1.883	0.30	-0.031	1.583	-0.5519	-0.17	0.1593
5	0.32	2643.2	-44.9	2.110	0.40	-0.044	1.668	-0.5561	-0.22	0.1877
6	0.41	2839.3	-62.0	2.267	0.50	-0.061	1.720	-0.5608	-0.28	0.2224
7	0.48	3010.5	-78.9	2.403	0.60	-0.078	1.763	-0.5650	-0.34	0.2497
8	0.57	3156.0	-99.8	2.519	0.71	-0.099	1.797	-0.5697	-0.40	0.2810
9	0.65	3312.5	-120.2	2.644	0.80	-0.119	1.832	-0.5738	-0.46	0.3040
10	0.73	3445.4	-142.1	2.750	0.90	-0.140	1.860	-0.5780	-0.52	0.3272
11	0.80	3588.6	-165.7	2.865	1.00	-0.164	1.889	-0.5822	-0.58	0.3477
12	0.89	3695.6	-194.1	2.950	1.10	-0.192	1.909	-0.5869	-0.65	0.3742
13	0.97	3801.1	-221.2	3.034	1.20	-0.219	1.928	-0.5911	-0.71	0.3955
14	1.05	3908.1	-249.8	3.120	1.30	-0.247	1.948	-0.5952	-0.77	0.4154
15	1.13	4012.4	-284.0	3.203	1.40	-0.281	1.965	-0.5999	-0.84	0.4383
16	1.21	4092.3	-316.1	3.267	1.50	-0.312	1.979	-0.6041	-0.91	0.4592
17	1.29	4186.2	-349.8	3.342	1.60	-0.346	1.994	-0.6083	-0.97	0.4776
18	1.38	4252.8	-389.7	3.395	1.70	-0.385	2.005	-0.6130	-1.04	0.5019
19	1.45	4332.0	-426.8	3.458	1.80	-0.422	2.017	-0.6172	-1.11	0.5205
20	1.54	4422.5	-470.6	3.530	1.91	-0.465	2.030	-0.6219	-1.19	0.5404
21	1.62	4488.9	-511.2	3.583	2.00	-0.505	2.040	-0.6260	-1.25	0.5592
22	1.70	4542.9	-553.4	3.627	2.10	-0.547	2.048	-0.6302	-1.32	0.5791
23	1.78	4620.5	-602.9	3.689	2.21	-0.596	2.059	-0.6349	-1.40	0.5986
24	1.86	4686.3	-648.6	3.741	2.30	-0.641	2.068	-0.6391	-1.47	0.6159
25	1.94	4739.7	-695.9	3.784	2.40	-0.688	2.075	-0.6433	-1.54	0.6343
26	2.03	4804.4	-751.0	3.835	2.51	-0.742	2.084	-0.6480	-1.63	0.6539
27	2.10	4857.4	-801.8	3.878	2.60	-0.792	2.091	-0.6521	-1.70	0.6715
28	2.18	4898.2	-854.1	3.910	2.70	-0.844	2.096	-0.6563	-1.77	0.6905
29	2.27	4947.8	-915.0	3.950	2.81	-0.904	2.103	-0.6610	-1.86	0.7109
30	2.35	4988.3	-970.8	3.982	2.90	-0.959	2.108	-0.6652	-1.93	0.7293
31	2.42	5028.6	-1028.3	4.014	3.00	-1.016	2.113	-0.6694	-2.01	0.7473
32	2.51	5068.1	-1094.8	4.046	3.11	-1.082	2.118	-0.6741	-2.10	0.7682
33	2.59	5105.6	-1155.7	4.076	3.20	-1.142	2.122	-0.6782	-2.17	0.7861
34	2.67	5133.5	-1218.3	4.098	3.30	-1.204	2.126	-0.6824	-2.25	0.8053
35	2.75	5172.6	-1290.5	4.129	3.41	-1.275	2.130	-0.6871	-2.34	0.8253
36	2.83	5197.7	-1356.5	4.149	3.50	-1.341	2.133	-0.6913	-2.42	0.8445
37	2.92	5200.8	-1432.6	4.152	3.61	-1.416	2.134	-0.6960	-2.51	0.8700
38	3.00	5225.7	-1502.0	4.172	3.71	-1.484	2.137	-0.7002	-2.60	0.8889
39	3.07	5241.2	-1573.1	4.184	3.80	-1.555	2.138	-0.7043	-2.68	0.9092
40	3.15	5242.3	-1645.7	4.185	3.90	-1.626	2.138	-0.7085	-2.76	0.9319
41	3.24	5266.2	-1729.4	4.204	4.01	-1.709	2.141	-0.7132	-2.86	0.9534
42	3.32	5269.7	-1805.5	4.207	4.10	-1.784	2.142	-0.7174	-2.94	0.9756

付表- 2.4 MTX, $\sigma_0 = 0.42$, $\sigma_c = 0.56 \text{ kgf/cm}^2$ (その2)

43	3.40	5269.9	-1893.1	4.207	4.21	-1.871	2.142	-0.7221	-3.04	1.0012
44	3.48	5282.6	-1972.6	4.217	4.31	-1.950	2.143	-0.7263	-3.13	1.0216
45	3.56	5285.9	-2053.8	4.220	4.40	-2.030	2.144	-0.7304	-3.22	1.0437
46	3.64	5274.3	-2147.1	4.210	4.51	-2.122	2.142	-0.7351	-3.32	1.0716
47	3.72	5289.4	-2231.7	4.222	4.61	-2.206	2.144	-0.7393	-3.41	1.0913
48	3.80	5290.1	-2317.9	4.223	4.70	-2.291	2.144	-0.7435	-3.50	1.1139
49	3.89	5281.0	-2416.9	4.216	4.81	-2.389	2.143	-0.7482	-3.60	1.1414
50	3.96	5258.4	-2506.6	4.198	4.91	-2.477	2.140	-0.7524	-3.69	1.1692
51	4.04	5259.1	-2597.9	4.198	5.00	-2.567	2.140	-0.7565	-3.79	1.1919
52	4.13	5238.5	-2702.6	4.182	5.11	-2.671	2.138	-0.7612	-3.89	1.2224
53	4.21	5239.2	-2797.3	4.182	5.21	-2.765	2.138	-0.7654	-3.99	1.2452
54	4.29	5227.6	-2905.9	4.173	5.32	-2.872	2.137	-0.7701	-4.09	1.2739
55	4.37	5216.7	-3004.1	4.164	5.41	-2.969	2.135	-0.7743	-4.19	1.2996
56	4.45	5208.4	-3102.9	4.158	5.51	-3.067	2.134	-0.7784	-4.29	1.3247
57	4.54	5162.4	-3213.4	4.121	5.62	-3.176	2.129	-0.7827	-4.40	1.3627
58	4.61	5163.2	-3311.1	4.122	5.71	-3.272	2.129	-0.7864	-4.49	1.3858
59	4.69	5143.5	-3408.3	4.106	5.81	-3.368	2.127	-0.7900	-4.59	1.4145
60	4.78	5132.1	-3517.0	4.097	5.92	-3.476	2.125	-0.7938	-4.70	1.4440
61	4.86	5098.6	-3612.9	4.070	6.01	-3.571	2.121	-0.7970	-4.79	1.4771
62	4.93	5099.4	-3708.3	4.071	6.11	-3.665	2.121	-0.8000	-4.89	1.5004
63	5.02	5079.2	-3814.8	4.055	6.22	-3.770	2.119	-0.8033	-4.99	1.5331
64	5.10	5046.0	-3908.9	4.028	6.31	-3.863	2.115	-0.8060	-5.09	1.5670
65	5.18	5037.9	-4002.2	4.022	6.41	-3.955	2.114	-0.8086	-5.18	1.5934
66	5.26	5004.1	-4106.4	3.995	6.52	-4.058	2.110	-0.8114	-5.29	1.6311
67	5.34	4982.4	-4198.3	3.977	6.61	-4.149	2.107	-0.8138	-5.38	1.6624
68	5.42	4940.7	-4289.4	3.944	6.71	-4.239	2.102	-0.8160	-5.47	1.7008
69	5.51	4907.3	-4391.0	3.917	6.82	-4.340	2.097	-0.8183	-5.58	1.7399
70	5.58	4885.9	-4480.5	3.900	6.91	-4.428	2.095	-0.8203	-5.67	1.7722
71	5.66	4866.8	-4569.2	3.885	7.01	-4.516	2.092	-0.8222	-5.76	1.8038
72	5.75	4822.5	-4668.0	3.850	7.12	-4.613	2.086	-0.8242	-5.86	1.8484
73	5.83	4801.3	-4754.9	3.833	7.21	-4.699	2.084	-0.8258	-5.96	1.8816
74	5.90	4758.0	-4841.0	3.798	7.31	-4.784	2.078	-0.8273	-6.05	1.9240
75	5.99	4727.5	-4936.7	3.774	7.42	-4.879	2.074	-0.8289	-6.15	1.9651
76	6.07	4695.5	-5020.9	3.748	7.51	-4.962	2.069	-0.8303	-6.24	2.0041
77	6.15	4663.6	-5104.1	3.723	7.61	-5.044	2.065	-0.8315	-6.33	2.0436
78	6.23	4620.1	-5196.6	3.688	7.72	-5.136	2.059	-0.8328	-6.43	2.0921
79	6.31	4601.6	-5277.7	3.673	7.81	-5.216	2.056	-0.8338	-6.51	2.1266
80	6.40	4580.4	-5367.9	3.656	7.92	-5.305	2.053	-0.8349	-6.61	2.1660
81	6.47	4559.8	-5446.9	3.640	8.02	-5.383	2.050	-0.8358	-6.70	2.2022
82	6.55	4530.5	-5524.9	3.617	8.11	-5.460	2.046	-0.8365	-6.79	2.2429
83	6.63	4499.2	-5601.8	3.592	8.21	-5.536	2.042	-0.8372	-6.87	2.2853
84	6.72	4480.4	-5687.0	3.577	8.32	-5.620	2.039	-0.8379	-6.97	2.3251
85	6.79	4449.2	-5761.6	3.552	8.41	-5.694	2.034	-0.8385	-7.05	2.3684
86	6.88	4430.5	-5844.1	3.537	8.52	-5.776	2.032	-0.8389	-7.15	2.4089
87	6.96	4388.7	-5916.3	3.503	8.62	-5.847	2.025	-0.8393	-7.23	2.4593
88	7.04	4349.1	-5987.3	3.472	8.71	-5.917	2.019	-0.8396	-7.31	2.5093
89	7.12	4317.7	-6065.7	3.447	8.82	-5.995	2.015	-0.8398	-7.41	2.5589
90	7.20	4297.9	-6134.1	3.431	8.92	-6.062	2.012	-0.8400	-7.49	2.5987
91	7.28	4269.4	-6201.3	3.408	9.01	-6.129	2.007	-0.8400	-7.57	2.6442
92	7.37	4238.3	-6275.3	3.383	9.12	-6.202	2.002	-0.8400	-7.66	2.6955
93	7.44	4218.7	-6339.8	3.368	9.22	-6.266	1.999	-0.8399	-7.74	2.7365
94	7.52	4177.7	-6403.0	3.335	9.31	-6.328	1.993	-0.8398	-7.82	2.7922
95	7.61	4159.7	-6472.4	3.321	9.42	-6.397	1.990	-0.8395	-7.91	2.8368
96	7.69	4118.9	-6532.7	3.288	9.52	-6.456	1.983	-0.8392	-7.99	2.8941
97	7.77	4090.3	-6599.0	3.265	9.62	-6.522	1.978	-0.8388	-8.07	2.9474
98	7.85	4051.8	-6656.3	3.234	9.72	-6.578	1.972	-0.8384	-8.15	3.0051
99	7.93	4034.5	-6712.3	3.221	9.82	-6.634	1.969	-0.8379	-8.22	3.0477

付表-2.4 MTX, $c_0 = 0.42$, $\sigma_c = 0.56 \text{ kgf/cm}^2$ (その3)

100	8.02	4004.3	-6773.5	3.197	9.92	-6.694	1.964	-0.8373	-8.31	3.1046
101	8.09	3987.2	-6826.4	3.183	10.02	-6.746	1.961	-0.8366	-8.38	3.1480
102	8.17	3936.6	-6878.5	3.143	10.12	-6.798	1.952	-0.8360	-8.46	3.2191
103	8.25	3909.1	-6930.6	3.121	10.21	-6.849	1.948	-0.8354	-8.53	3.2725
104	8.34	3891.6	-6989.3	3.107	10.32	-6.907	1.945	-0.8347	-8.61	3.3220
105	8.41	3862.4	-7041.4	3.083	10.42	-6.959	1.939	-0.8341	-8.69	3.3782
106	8.50	3803.1	-7100.1	3.036	10.52	-7.017	1.929	-0.8334	-8.77	3.4665
107	8.58	3795.0	-7152.2	3.030	10.62	-7.068	1.927	-0.8328	-8.84	3.5055
108	8.66	3766.1	-7204.3	3.006	10.72	-7.120	1.922	-0.8322	-8.92	3.5643
109	8.73	3749.5	-7256.4	2.993	10.81	-7.171	1.919	-0.8316	-8.99	3.6122
110	8.82	3709.8	-7315.1	2.962	10.92	-7.229	1.912	-0.8310	-9.07	3.6873
111	8.90	3672.5	-7367.2	2.932	11.02	-7.281	1.905	-0.8305	-9.15	3.7575
112	8.99	3633.1	-7425.9	2.900	11.12	-7.339	1.897	-0.8299	-9.23	3.8355
113	9.06	3606.4	-7478.0	2.879	11.22	-7.390	1.892	-0.8293	-9.31	3.8972
114	9.14	3569.5	-7530.1	2.849	11.32	-7.442	1.885	-0.8288	-9.38	3.9713
115	9.23	3542.4	-7588.8	2.828	11.42	-7.500	1.879	-0.8283	-9.46	4.0398
116	9.31	3514.3	-7640.9	2.805	11.52	-7.551	1.874	-0.8278	-9.54	4.1064
117	9.38	3477.6	-7693.0	2.776	11.62	-7.603	1.866	-0.8273	-9.61	4.1843
118	9.47	3440.5	-7751.7	2.747	11.72	-7.661	1.859	-0.8267	-9.69	4.2687
119	9.55	3404.0	-7803.8	2.717	11.82	-7.712	1.851	-0.8262	-9.77	4.3498
120	9.63	3377.4	-7862.5	2.696	11.93	-7.770	1.846	-0.8257	-9.85	4.4241
121	9.71	3371.7	-7914.6	2.692	12.02	-7.822	1.845	-0.8253	-9.92	4.4672
122	9.79	3355.9	-7966.7	2.679	12.12	-7.873	1.841	-0.8248	-10.00	4.5241
123	9.88	3339.6	-8025.4	2.666	12.23	-7.931	1.838	-0.8243	-10.08	4.5867
124	9.95	3334.0	-8077.5	2.662	12.32	-7.983	1.837	-0.8239	-10.15	4.6305
125	10.03	3306.6	-8129.6	2.640	12.42	-8.034	1.831	-0.8234	-10.23	4.7052
126	10.12	3280.3	-8188.3	2.619	12.53	-8.092	1.825	-0.8230	-10.31	4.7842
127	10.20	3254.6	-8240.4	2.598	12.62	-8.144	1.819	-0.8226	-10.38	4.8590
128	10.27	3239.0	-8292.5	2.586	12.72	-8.195	1.816	-0.8221	-10.46	4.9195
129	10.36	3223.0	-8351.2	2.573	12.83	-8.253	1.812	-0.8217	-10.54	4.9859
130	10.44	3197.4	-8403.3	2.552	12.92	-8.305	1.807	-0.8213	-10.61	5.0634
131	10.52	3192.0	-8455.4	2.548	13.02	-8.356	1.805	-0.8209	-10.69	5.1096
132	10.60	3146.0	-8514.1	2.511	13.13	-8.414	1.795	-0.8205	-10.77	5.2273
133	10.68	3120.7	-8566.2	2.491	13.22	-8.466	1.789	-0.8201	-10.84	5.3083
134	10.76	3115.4	-8618.4	2.487	13.32	-8.517	1.788	-0.8197	-10.92	5.3559
135	10.85	3109.6	-8677.0	2.482	13.43	-8.575	1.787	-0.8193	-11.00	5.4093
136	10.92	3074.4	-8729.1	2.454	13.52	-8.627	1.778	-0.8189	-11.08	5.5103
137	11.01	3060.2	-8787.8	2.443	13.63	-8.685	1.775	-0.8185	-11.16	5.5802
138	11.09	3035.1	-8839.9	2.423	13.73	-8.736	1.769	-0.8182	-11.23	5.6659
139	11.17	3010.1	-8892.0	2.403	13.82	-8.788	1.763	-0.8178	-11.31	5.7529
140	11.24	2985.2	-8944.2	2.383	13.92	-8.839	1.757	-0.8175	-11.38	5.8413
141	11.33	2959.8	-9002.8	2.363	14.03	-8.897	1.751	-0.8171	-11.46	5.9370
142	11.41	2935.0	-9055.0	2.343	14.12	-8.949	1.745	-0.8168	-11.54	6.0282
143	11.50	2919.7	-9113.6	2.331	14.23	-9.007	1.741	-0.8164	-11.62	6.1062
144	11.57	2904.8	-9165.7	2.319	14.33	-9.058	1.737	-0.8161	-11.69	6.1788
145	11.65	2890.0	-9217.9	2.307	14.42	-9.110	1.733	-0.8158	-11.77	6.2521
146	11.74	2884.6	-9276.5	2.303	14.53	-9.168	1.732	-0.8154	-11.85	6.3107
147	11.82	2879.7	-9328.6	2.299	14.63	-9.219	1.731	-0.8151	-11.92	6.3633
148	11.89	2866.3	-9380.8	2.288	14.72	-9.271	1.727	-0.8148	-12.00	6.4350
149	11.98	2821.8	-9439.4	2.253	14.83	-9.329	1.716	-0.8145	-12.08	6.5844
150	12.06	2818.2	-9491.5	2.250	14.93	-9.380	1.715	-0.8142	-12.15	6.6354
151	12.14	2793.9	-9543.7	2.230	15.02	-9.432	1.708	-0.8139	-12.23	6.7362
152	12.15	2599.0	-9379.8	2.075	15.04	-9.270	1.655	-0.8083	-12.15	7.2471
153	12.15	2560.0	-9379.8	2.044	15.04	-9.270	1.644	-0.8083	-12.15	7.3574
154	12.15	2541.8	-9329.9	2.029	15.04	-9.221	1.639	-0.8066	-12.13	7.4101
155	12.15	2511.3	-9379.8	2.005	15.04	-9.270	1.630	-0.8083	-12.15	7.5001

付表- 2.4 MTX, $c_0 = 0.42$, $\sigma_c = 0.56 \text{ kgf/cm}^2$ (その4)

156	12.15	2521.1	-9379.8	2.013	15.04	-9.270	1.632	-0.8083	-12.15	7.4711
157	12.15	2501.6	-9379.8	1.997	15.04	-9.270	1.627	-0.8083	-12.15	7.5293
158	12.15	2491.9	-9379.8	1.989	15.04	-9.270	1.624	-0.8083	-12.15	7.5587
159	12.14	2472.8	-9379.8	1.974	15.02	-9.270	1.618	-0.8085	-12.15	7.6110
160	12.15	2472.4	-9379.8	1.974	15.04	-9.270	1.618	-0.8083	-12.15	7.6183
161	12.15	2462.1	-9379.8	1.981	15.04	-9.270	1.621	-0.8083	-12.15	7.5884
162	12.15	2462.6	-9379.8	1.966	15.04	-9.270	1.615	-0.8083	-12.15	7.6484
163	12.15	2483.4	-9329.9	1.982	15.04	-9.221	1.621	-0.8066	-12.13	7.5845
164	12.14	2464.3	-9329.9	1.967	15.02	-9.221	1.615	-0.8069	-12.12	7.6373
165	12.15	2463.9	-9329.9	1.967	15.04	-9.221	1.615	-0.8066	-12.13	7.6445
166	12.15	2483.4	-9329.9	1.982	15.04	-9.221	1.621	-0.8066	-12.13	7.5845
167	12.15	2463.9	-9329.9	1.967	15.04	-9.221	1.615	-0.8066	-12.13	7.6445

付表-2.5 M'T'X, $c_0 = 0.42$, $\sigma_c = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その1)

MEAN DIAMETER = 20.00 (CM)				VOLUME COMPRESSIBILITY = 0.99 (CC)						
				INITIAL CONDITION			AFTER CONSOLIDATION			
HEIGHT (CM)				80.50			80.50			
VOLUME (CC)				101159.00			101158.00			
DRY DENSITY (g/cm3)				1.80			1.80			
WEIGHT UNDER OVEN DRY CONDITION				= 181680.00 (g)						
MEAN SPECIFIC GRAVITY UNDER OVEN DRY CONDITION				= 2.550						
MEAN PERCENTAGE OF ABSORPTION				= 4.21 (%)						
CONFINING PRESSURE				= 2.07 (Kg/cm2)						
COEFFICIENT OF CALIBRATION				= 0.0007958						
No	AXIAL (cm)	LOAD (kgf)	VOL. CHANGE (cc)	DEV. SIG (k/cm2)	EA (%)	EV (%)	Q/P'	ER/EA	ER (%)	EA/DEV. SIG (x/kg/cm2)
1	0.00	0.0	73.9	0.000	0.00	0.073	0.000	0.0000	0.04	0.0000
2	0.08	1306.2	134.7	1.039	0.10	0.133	0.431	0.1936	0.02	0.0924
3	0.15	1959.4	193.8	1.559	0.19	0.192	0.603	-0.0010	-0.00	0.1231
4	0.23	2561.0	251.3	2.038	0.29	0.248	0.742	-0.0687	-0.02	0.1413
5	0.31	3113.5	307.1	2.478	0.38	0.304	0.857	-0.1047	-0.04	0.1550
6	0.40	3563.2	367.9	2.836	0.49	0.364	0.942	-0.1304	-0.06	0.1735
7	0.47	4015.0	420.1	3.195	0.59	0.415	1.020	-0.1469	-0.09	0.1840
8	0.55	4414.4	470.7	3.513	0.68	0.465	1.085	-0.1599	-0.11	0.1947
9	0.64	4812.7	525.6	3.830	0.79	0.520	1.146	-0.1720	-0.14	0.2068
10	0.71	5161.1	572.6	4.107	0.89	0.566	1.196	-0.1813	-0.16	0.2162
11	0.79	5559.3	618.0	4.424	0.98	0.611	1.249	-0.1896	-0.19	0.2224
12	0.88	5906.3	667.0	4.700	1.09	0.659	1.294	-0.1981	-0.22	0.2323
13	0.96	6203.6	708.9	4.937	1.19	0.701	1.330	-0.2051	-0.24	0.2406
14	1.03	6550.6	749.0	5.213	1.28	0.740	1.371	-0.2117	-0.27	0.2463
15	1.12	6896.4	792.2	5.488	1.39	0.783	1.409	-0.2187	-0.30	0.2536
16	1.20	7189.1	828.9	5.721	1.49	0.819	1.440	-0.2247	-0.33	0.2601
17	1.28	7534.9	863.8	5.996	1.58	0.854	1.475	-0.2305	-0.37	0.2642
18	1.36	7779.6	901.1	6.191	1.69	0.891	1.499	-0.2368	-0.40	0.2733
19	1.44	8020.9	932.6	6.383	1.79	0.922	1.522	-0.2422	-0.43	0.2801
20	1.53	8265.0	965.9	6.577	1.90	0.955	1.545	-0.2482	-0.47	0.2883
21	1.60	8555.2	993.8	6.808	1.99	0.982	1.570	-0.2534	-0.50	0.2926
22	1.68	8749.8	1020.0	6.963	2.09	1.008	1.587	-0.2585	-0.54	0.2999
23	1.77	8988.3	1047.5	7.153	2.20	1.035	1.607	-0.2642	-0.58	0.3070
24	1.85	9132.8	1070.1	7.268	2.29	1.058	1.619	-0.2692	-0.62	0.3154
25	1.92	9371.5	1091.1	7.458	2.39	1.079	1.638	-0.2742	-0.65	0.3202
26	2.01	9559.1	1112.8	7.607	2.50	1.100	1.653	-0.2796	-0.70	0.3281
27	2.09	9801.9	1130.2	7.800	2.59	1.117	1.672	-0.2845	-0.74	0.3323
28	2.16	10039.4	1146.0	7.989	2.69	1.133	1.689	-0.2893	-0.78	0.3365
29	2.25	10176.2	1161.8	8.098	2.80	1.148	1.699	-0.2946	-0.82	0.3453
30	2.33	10363.4	1174.0	8.247	2.89	1.161	1.713	-0.2993	-0.87	0.3507
31	2.41	10500.8	1184.6	8.356	2.99	1.171	1.722	-0.3040	-0.91	0.3576
32	2.49	10691.4	1194.5	8.508	3.10	1.181	1.736	-0.3093	-0.96	0.3639
33	2.57	10877.5	1201.6	8.656	3.19	1.188	1.748	-0.3139	-1.00	0.3688
34	2.66	11012.6	1207.5	8.764	3.30	1.194	1.757	-0.3191	-1.05	0.3766
35	2.73	11148.8	1211.0	8.872	3.40	1.197	1.766	-0.3237	-1.10	0.3828
36	2.81	11328.1	1212.8	9.015	3.49	1.199	1.778	-0.3283	-1.15	0.3874
37	2.89	11463.6	1213.0	9.122	3.59	1.199	1.786	-0.3329	-1.19	0.3933
38	2.98	11597.3	1211.2	9.229	3.70	1.197	1.795	-0.3380	-1.25	0.4005
39	3.05	11732.2	1207.8	9.336	3.79	1.194	1.803	-0.3426	-1.30	0.4062
40	3.14	11865.3	1202.0	9.442	3.90	1.188	1.811	-0.3477	-1.36	0.4130
41	3.22	11950.8	1195.1	9.510	4.00	1.181	1.816	-0.3522	-1.41	0.4202

42	3.29	12084.9	1186.5	9.617	4.09	1.173	1.824	-0.3567	-1.46	0.4255
43	3.38	12217.1	1174.8	9.722	4.20	1.161	1.832	-0.3617	-1.52	0.4320
44	3.46	12301.9	1162.7	9.790	4.30	1.149	1.837	-0.3662	-1.57	0.4388
45	3.54	12435.2	1148.9	9.896	4.39	1.136	1.845	-0.3707	-1.63	0.4438
46	3.61	12616.6	1133.4	10.040	4.49	1.120	1.855	-0.3752	-1.68	0.4470
47	3.70	12595.7	1114.1	10.023	4.60	1.101	1.854	-0.3802	-1.75	0.4565
48	3.78	12679.5	1095.1	10.090	4.69	1.083	1.858	-0.3846	-1.80	0.4650
49	3.86	12810.0	1071.7	10.194	4.80	1.059	1.866	-0.3896	-1.87	0.4709
50	3.94	12886.8	1049.1	10.255	4.90	1.037	1.870	-0.3941	-1.93	0.4774
51	4.02	12970.1	1024.9	10.321	4.99	1.013	1.874	-0.3985	-1.99	0.4837
52	4.11	13044.8	995.7	10.381	5.10	0.984	1.878	-0.4035	-2.06	0.4913
53	4.18	13079.4	967.9	10.408	5.20	0.957	1.880	-0.4079	-2.12	0.4992
54	4.26	13162.1	938.5	10.474	5.29	0.928	1.885	-0.4123	-2.18	0.5052
55	4.35	13284.1	903.4	10.571	5.40	0.893	1.891	-0.4173	-2.25	0.5108
56	4.42	13318.3	871.4	10.599	5.50	0.861	1.893	-0.4216	-2.32	0.5186
57	4.51	13398.5	835.7	10.662	5.60	0.826	1.897	-0.4263	-2.39	0.5256
58	4.59	13425.7	804.2	10.684	5.70	0.795	1.899	-0.4303	-2.45	0.5335
59	4.67	13507.3	772.9	10.749	5.80	0.764	1.903	-0.4341	-2.52	0.5392
60	4.74	13534.1	741.8	10.770	5.89	0.733	1.904	-0.4378	-2.58	0.5471
61	4.83	13566.0	707.0	10.796	6.00	0.699	1.906	-0.4418	-2.65	0.5558
62	4.91	13640.0	676.3	10.855	6.10	0.669	1.910	-0.4452	-2.71	0.5616
63	4.98	13720.9	645.7	10.919	6.19	0.638	1.914	-0.4485	-2.78	0.5671
64	5.07	13697.8	611.4	10.901	6.30	0.604	1.913	-0.4520	-2.85	0.5780
65	5.15	13771.4	581.0	10.959	6.40	0.574	1.916	-0.4551	-2.91	0.5836
66	5.23	13804.3	550.7	10.985	6.49	0.544	1.918	-0.4581	-2.97	0.5910
67	5.31	13875.6	516.7	11.042	6.60	0.511	1.921	-0.4613	-3.04	0.5977
68	5.39	13860.9	486.5	11.030	6.70	0.481	1.921	-0.4641	-3.11	0.6071
69	5.47	13886.6	456.4	11.051	6.79	0.451	1.922	-0.4668	-3.17	0.6146
70	5.55	13863.1	422.5	11.032	6.90	0.418	1.921	-0.4697	-3.24	0.6255
71	5.63	13942.6	392.3	11.095	7.00	0.388	1.925	-0.4723	-3.30	0.6305
72	5.72	13919.0	358.4	11.077	7.10	0.354	1.924	-0.4751	-3.37	0.6414
73	5.80	13944.2	328.2	11.097	7.20	0.324	1.925	-0.4775	-3.44	0.6489
74	5.87	13976.3	297.9	11.122	7.30	0.295	1.926	-0.4798	-3.50	0.6560
75	5.96	13952.6	263.8	11.103	7.40	0.261	1.925	-0.4824	-3.57	0.6668
76	6.04	13977.5	233.4	11.123	7.50	0.231	1.927	-0.4846	-3.63	0.6743
77	6.11	14009.4	202.8	11.148	7.60	0.200	1.928	-0.4868	-3.70	0.6814
78	6.20	13985.6	168.3	11.130	7.70	0.166	1.927	-0.4892	-3.77	0.6922
79	6.28	13963.7	137.4	11.112	7.80	0.136	1.926	-0.4913	-3.83	0.7019
80	6.36	13902.5	106.4	11.063	7.90	0.105	1.923	-0.4933	-3.90	0.7137
81	6.44	13878.9	71.3	11.045	8.00	0.071	1.922	-0.4956	-3.97	0.7247
82	6.52	13903.4	39.9	11.064	8.10	0.039	1.923	-0.4976	-4.03	0.7321
83	6.60	13881.6	8.3	11.047	8.20	0.008	1.922	-0.4995	-4.09	0.7419
84	6.68	13864.9	-27.6	11.033	8.30	-0.027	1.921	-0.5016	-4.17	0.7526
85	6.76	13843.2	-59.7	11.016	8.40	-0.059	1.920	-0.5035	-4.23	0.7625
86	6.84	13775.4	-92.1	10.962	8.50	-0.091	1.916	-0.5054	-4.29	0.7750
87	6.93	13797.8	-128.9	10.980	8.60	-0.127	1.918	-0.5074	-4.37	0.7836
88	7.00	13783.1	-162.0	10.968	8.70	-0.160	1.917	-0.5092	-4.43	0.7932
89	7.08	13807.1	-195.3	10.987	8.80	-0.193	1.918	-0.5110	-4.49	0.8006
90	7.17	13783.5	-233.3	10.969	8.90	-0.231	1.917	-0.5130	-4.57	0.8118
91	7.24	13853.1	-267.4	11.024	9.00	-0.264	1.920	-0.5147	-4.63	0.8164
92	7.32	13740.1	-301.9	10.934	9.10	-0.298	1.915	-0.5164	-4.70	0.8319
93	7.41	13807.6	-341.2	10.988	9.20	-0.337	1.918	-0.5183	-4.77	0.8377
94	7.49	13747.3	-376.5	10.940	9.30	-0.372	1.915	-0.5200	-4.84	0.8501
95	7.57	13723.7	-416.8	10.921	9.41	-0.412	1.914	-0.5219	-4.91	0.8615
96	7.65	13701.9	-453.1	10.904	9.50	-0.448	1.913	-0.5236	-4.98	0.8716
97	7.73	13635.1	-489.8	10.851	9.60	-0.484	1.909	-0.5252	-5.04	0.8847

付表- 2.5 MTX, $c_0 = 0.42$, $\sigma_c = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その3)

98	7.81	13568.3	-527.0	10.797	9.70	-0.521	1.906	-0.5269	-5.11	0.8980
99	7.89	13544.9	-569.5	10.779	9.80	-0.563	1.905	-0.5287	-5.18	0.9096
100	7.97	13478.5	-607.8	10.726	9.90	-0.601	1.901	-0.5303	-5.25	0.9230
101	8.05	13502.1	-646.6	10.745	10.00	-0.639	1.903	-0.5320	-5.32	0.9303
102	8.13	13440.6	-690.7	10.696	10.10	-0.683	1.899	-0.5338	-5.39	0.9447
103	8.21	13419.2	-729.8	10.679	10.20	-0.721	1.898	-0.5354	-5.46	0.9552
104	8.30	13351.4	-773.8	10.625	10.31	-0.765	1.895	-0.5371	-5.54	0.9702
105	8.38	13374.8	-812.9	10.643	10.40	-0.804	1.896	-0.5386	-5.60	0.9775
106	8.45	13284.3	-852.0	10.556	10.50	-0.842	1.890	-0.5401	-5.67	0.9947
107	8.54	13292.5	-896.0	10.578	10.61	-0.886	1.892	-0.5417	-5.75	1.0028
108	8.62	13226.9	-935.1	10.526	10.70	-0.924	1.888	-0.5432	-5.81	1.0169
109	8.69	13161.3	-974.2	10.474	10.80	-0.963	1.885	-0.5446	-5.88	1.0312
110	8.78	13182.9	-1018.2	10.491	10.91	-1.007	1.886	-0.5461	-5.96	1.0398
111	8.86	13161.8	-1057.4	10.474	11.00	-1.045	1.885	-0.5475	-6.02	1.0506
112	8.94	13096.6	-1096.5	10.422	11.10	-1.084	1.881	-0.5488	-6.09	1.0651
113	9.01	13031.5	-1135.6	10.370	11.20	-1.123	1.878	-0.5501	-6.16	1.0796
114	9.10	13008.9	-1179.6	10.352	11.30	-1.166	1.877	-0.5516	-6.24	1.0919
115	9.18	12944.0	-1218.7	10.301	11.40	-1.205	1.873	-0.5528	-6.30	1.1067
116	9.26	12877.6	-1262.7	10.248	11.51	-1.248	1.869	-0.5542	-6.38	1.1230
117	9.34	12863.4	-1301.8	10.236	11.60	-1.287	1.869	-0.5555	-6.45	1.1336
118	9.43	12790.7	-1345.8	10.179	11.71	-1.330	1.865	-0.5568	-6.52	1.1507
119	9.51	12732.8	-1385.0	10.133	11.81	-1.369	1.861	-0.5580	-6.59	1.1654
120	9.58	12668.7	-1424.1	10.082	11.90	-1.408	1.858	-0.5591	-6.66	1.1808
121	9.67	12559.4	-1468.1	9.995	12.01	-1.451	1.852	-0.5604	-6.73	1.2019
122	9.75	12545.4	-1507.2	9.983	12.11	-1.490	1.851	-0.5615	-6.80	1.2128
123	9.82	12481.8	-1546.3	9.933	12.20	-1.529	1.847	-0.5626	-6.87	1.2287
124	9.90	12418.2	-1585.4	9.882	12.30	-1.567	1.844	-0.5637	-6.93	1.2447
125	9.99	12396.5	-1629.4	9.865	12.41	-1.611	1.842	-0.5649	-7.01	1.2578
126	10.07	12382.6	-1668.5	9.854	12.50	-1.649	1.842	-0.5660	-7.08	1.2690
127	10.15	12317.6	-1712.6	9.802	12.61	-1.693	1.838	-0.5671	-7.15	1.2867
128	10.23	12254.6	-1751.7	9.752	12.71	-1.732	1.834	-0.5681	-7.22	1.3031
129	10.31	12234.7	-1790.8	9.736	12.80	-1.770	1.833	-0.5691	-7.29	1.3151
130	10.39	12170.2	-1834.8	9.685	12.91	-1.814	1.829	-0.5702	-7.36	1.3332
131	10.47	12107.7	-1873.9	9.635	13.01	-1.852	1.826	-0.5712	-7.43	1.3501
132	10.55	12088.0	-1913.0	9.619	13.10	-1.891	1.824	-0.5722	-7.50	1.3623
133	10.64	12023.9	-1957.0	9.568	13.21	-1.935	1.821	-0.5732	-7.57	1.3808
134	10.71	12053.0	-1996.1	9.592	13.31	-1.973	1.822	-0.5741	-7.64	1.3875
135	10.79	11990.8	-2035.3	9.542	13.40	-2.012	1.819	-0.5751	-7.71	1.4047
136	10.88	11927.0	-2079.3	9.491	13.51	-2.055	1.815	-0.5761	-7.78	1.4236
137	10.95	11865.0	-2118.4	9.442	13.61	-2.094	1.811	-0.5769	-7.85	1.4412
138	11.03	11809.2	-2157.5	9.398	13.70	-2.133	1.808	-0.5778	-7.92	1.4583
139	11.12	11745.8	-2201.5	9.347	13.81	-2.176	1.804	-0.5788	-7.99	1.4777
140	11.20	11684.2	-2240.6	9.298	13.91	-2.215	1.800	-0.5796	-8.06	1.4958
141	11.27	11665.3	-2279.7	9.283	14.00	-2.254	1.799	-0.5805	-8.13	1.5086
142	11.36	11608.1	-2323.7	9.237	14.11	-2.297	1.795	-0.5814	-8.20	1.5277
143	11.44	11546.9	-2362.9	9.189	14.21	-2.336	1.792	-0.5822	-8.27	1.5462
144	11.51	11528.0	-2402.0	9.174	14.30	-2.374	1.790	-0.5830	-8.34	1.5592
145	11.60	11471.2	-2446.0	9.129	14.41	-2.418	1.787	-0.5839	-8.41	1.5788
146	11.68	11410.4	-2485.1	9.080	14.51	-2.457	1.783	-0.5847	-8.48	1.5978
147	11.77	11390.1	-2529.1	9.064	14.62	-2.500	1.782	-0.5855	-8.56	1.6125
148	11.84	11287.7	-2568.2	8.983	14.71	-2.539	1.775	-0.5863	-8.63	1.6378
149	11.92	11227.4	-2607.3	8.935	14.81	-2.577	1.771	-0.5870	-8.69	1.6574
150	12.01	11207.4	-2651.3	8.919	14.92	-2.621	1.770	-0.5879	-8.77	1.6725
151	12.08	11152.8	-2690.4	8.875	15.01	-2.660	1.766	-0.5886	-8.84	1.6915
152	12.16	11051.3	-2700.0	8.794	15.11	-2.669	1.760	-0.5883	-8.89	1.7179
153	12.25	11031.5	-2750.0	8.779	15.22	-2.719	1.758	-0.5893	-8.97	1.7333
154	12.33	11013.3	-2800.0	8.764	15.31	-2.768	1.757	-0.5904	-9.04	1.7471

付表- 2.5 MTX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_c = 2.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その4)

155	12.40	11000.5	-2800.0	8.754	15.41	-2.768	1.756	-0.5898	-9.09	1.7601
156	12.49	10939.4	-2850.0	8.705	15.52	-2.817	1.752	-0.5908	-9.17	1.7823
157	12.57	10880.1	-2900.0	8.658	15.61	-2.867	1.748	-0.5918	-9.24	1.8032
158	12.64	10826.2	-2900.0	8.615	15.71	-2.867	1.745	-0.5913	-9.29	1.8233
159	12.73	10765.6	-2950.0	8.567	15.82	-2.916	1.741	-0.5922	-9.37	1.8461
160	12.81	10712.0	-2950.0	8.524	15.91	-2.916	1.737	-0.5916	-9.41	1.8666
161	12.89	10653.2	-3000.0	8.478	16.01	-2.966	1.733	-0.5926	-9.49	1.8883
162	12.90	9831.8	-3000.0	7.824	16.02	-2.966	1.674	-0.5926	-9.49	2.0476
163	12.90	9708.8	-3000.0	7.726	16.02	-2.966	1.665	-0.5926	-9.49	2.0735
164	12.90	9667.8	-3000.0	7.693	16.02	-2.966	1.661	-0.5926	-9.49	2.0823
165	12.90	9626.8	-3000.0	7.661	16.02	-2.966	1.658	-0.5926	-9.49	2.0912
166	12.91	9584.4	-3000.0	7.627	16.03	-2.966	1.655	-0.5925	-9.50	2.1020
167	12.90	9503.8	-3000.0	7.563	16.02	-2.966	1.649	-0.5926	-9.49	2.1182

付表- 2.6 MTX, $\alpha_0 = 0.42$, $\sigma_c = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その1)

MEAN DIAMETER = 20.00 (CM)				VOLUME COMPRESSIBILITY = 1680.00 (CC)						
				INITIAL CONDITION			AFTER CONSOLIDATION			
HEIGHT (CM)				80.15			79.71			
VOLUME (CC)				100725.00			99044.90			
DRY DENSITY (g/cm3)				1.80			1.83			
WEIGHT UNDER OVEN DRY CONDITION				= 181680.00			(g)			
MEAN SPECIFIC GRAVITY UNDER OVEN DRY CONDITION				= 2.550						
MEAN PERCENTAGE OF ABSORPTION				= 4.21			(%)			
CONFINING PRESSURE				= 4.07			(Kg/cm2)			
COEFFICIENT OF CALIBRATION				= 0.0008048						
No	AXIAL (cm)	LOAD (kgf)	VOL. CHANGE (cc)	DEV. SIG (K/cm2)	EA (%)	EV (%)	Q/P'	ER/EA	ER (%)	EA/DEV. SIG (K/kg/cm2)
1	0.00	0.0	72.2	0.000	0.00	0.073	0.000	0.0000	0.04	0.0000
2	0.08	1789.4	150.1	1.440	0.10	0.152	0.316	0.2894	0.03	0.0667
3	0.16	2584.5	236.1	2.080	0.20	0.238	0.437	0.0842	0.02	0.0981
4	0.24	3330.2	311.0	2.680	0.30	0.314	0.540	0.0233	0.01	0.1119
5	0.32	3976.5	384.5	3.200	0.40	0.388	0.623	-0.0099	-0.00	0.1237
6	0.40	4619.8	465.5	3.718	0.50	0.470	0.700	-0.0338	-0.02	0.1356
7	0.48	5216.2	536.0	4.198	0.60	0.541	0.768	-0.0490	-0.03	0.1429
8	0.56	5858.5	613.7	4.715	0.71	0.620	0.836	-0.0624	-0.04	0.1502
9	0.64	6404.9	681.2	5.155	0.80	0.688	0.891	-0.0723	-0.06	0.1560
10	0.72	7001.1	747.4	5.634	0.90	0.755	0.947	-0.0808	-0.07	0.1597
11	0.79	7543.7	812.1	6.071	1.00	0.820	0.996	-0.0884	-0.09	0.1641
12	0.88	8134.3	883.2	6.546	1.10	0.892	1.047	-0.0961	-0.11	0.1686
13	0.96	8630.7	945.0	6.946	1.20	0.954	1.088	-0.1025	-0.12	0.1728
14	1.04	9121.2	1012.8	7.341	1.31	1.023	1.126	-0.1091	-0.14	0.1782
15	1.12	9612.4	1071.6	7.736	1.40	1.082	1.164	-0.1147	-0.16	0.1815
16	1.20	10053.6	1129.0	8.091	1.50	1.140	1.196	-0.1201	-0.18	0.1854
17	1.28	10498.5	1191.8	8.449	1.61	1.203	1.227	-0.1258	-0.20	0.1903
18	1.36	10883.8	1246.2	8.759	1.70	1.258	1.253	-0.1308	-0.22	0.1945
19	1.43	11280.0	1299.2	9.078	1.80	1.312	1.279	-0.1356	-0.24	0.1983
20	1.52	11668.8	1357.1	9.391	1.91	1.370	1.304	-0.1409	-0.27	0.2032
21	1.60	12009.2	1407.1	9.665	2.00	1.421	1.325	-0.1455	-0.29	0.2074
22	1.67	12349.2	1455.7	9.938	2.10	1.470	1.346	-0.1501	-0.32	0.2113
23	1.76	12680.7	1508.7	10.205	2.21	1.523	1.366	-0.1551	-0.34	0.2164
24	1.84	13019.9	1554.4	10.478	2.30	1.569	1.386	-0.1594	-0.37	0.2199
25	1.92	13357.1	1604.0	10.750	2.41	1.619	1.405	-0.1643	-0.40	0.2244
26	2.00	13695.6	1646.7	11.022	2.51	1.663	1.423	-0.1686	-0.42	0.2275
27	2.08	14033.7	1687.9	11.294	2.60	1.704	1.442	-0.1728	-0.45	0.2306
28	2.15	14371.5	1727.7	11.566	2.70	1.744	1.459	-0.1770	-0.48	0.2334
29	2.24	14650.2	1770.9	11.790	2.81	1.788	1.474	-0.1816	-0.51	0.2382
30	2.31	14987.1	1807.7	12.061	2.90	1.825	1.491	-0.1858	-0.54	0.2408
31	2.40	15321.8	1847.5	12.331	3.01	1.865	1.507	-0.1904	-0.57	0.2443
32	2.48	15608.9	1881.4	12.562	3.11	1.900	1.521	-0.1944	-0.60	0.2474
33	2.55	15936.4	1913.9	12.825	3.20	1.932	1.537	-0.1985	-0.64	0.2498
34	2.64	16220.8	1948.7	13.054	3.31	1.968	1.550	-0.2030	-0.67	0.2537
35	2.72	16449.3	1978.2	13.238	3.41	1.997	1.561	-0.2070	-0.71	0.2574
36	2.80	16732.8	2009.7	13.466	3.52	2.029	1.573	-0.2115	-0.74	0.2611
37	2.88	16960.2	2036.2	13.649	3.61	2.056	1.583	-0.2154	-0.78	0.2646
38	2.96	17196.2	2061.3	13.839	3.71	2.081	1.594	-0.2194	-0.81	0.2679
39	3.03	17422.9	2085.0	14.022	3.80	2.105	1.604	-0.2233	-0.85	0.2713
40	3.12	17656.1	2110.0	14.209	3.91	2.130	1.614	-0.2277	-0.89	0.2753
41	3.19	17891.2	2130.7	14.398	4.01	2.151	1.623	-0.2316	-0.93	0.2784
42	3.28	18065.6	2152.4	14.539	4.12	2.173	1.631	-0.2360	-0.97	0.2831

付表-2.6 M'IX, $e_0 = 0.42$, $\sigma_c = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その2)

43	3.36	18339.2	2170.1	14.759	4.21	2.191	1.642	-0.2399	-1.01	0.2854
44	3.43	18573.3	2186.4	14.947	4.31	2.208	1.651	-0.2438	-1.05	0.2882
45	3.52	18794.9	2203.1	15.126	4.42	2.224	1.660	-0.2481	-1.10	0.2920
46	3.60	18979.7	2216.5	15.274	4.51	2.238	1.667	-0.2520	-1.14	0.2954
47	3.67	19154.4	2228.5	15.415	4.61	2.250	1.674	-0.2559	-1.18	0.2989
48	3.76	19374.8	2240.2	15.592	4.72	2.262	1.682	-0.2602	-1.23	0.3025
49	3.84	19548.5	2249.2	15.732	4.81	2.271	1.689	-0.2640	-1.27	0.3059
50	3.91	19722.0	2256.8	15.872	4.91	2.279	1.696	-0.2679	-1.31	0.3092
51	4.00	19902.9	2263.6	16.017	5.02	2.285	1.702	-0.2722	-1.37	0.3132
52	4.07	20075.7	2268.2	16.156	5.11	2.290	1.709	-0.2760	-1.41	0.3164
53	4.15	20247.9	2271.4	16.295	5.21	2.293	1.715	-0.2798	-1.46	0.3196
54	4.24	20369.1	2273.3	16.393	5.32	2.295	1.719	-0.2841	-1.51	0.3243
55	4.31	20503.2	2273.5	16.501	5.41	2.295	1.724	-0.2879	-1.56	0.3280
56	4.40	20671.8	2273.1	16.636	5.52	2.295	1.730	-0.2921	-1.61	0.3318
57	4.48	20794.7	2272.9	16.735	5.62	2.295	1.735	-0.2957	-1.66	0.3356
58	4.55	20917.3	2272.9	16.834	5.71	2.295	1.739	-0.2991	-1.71	0.3393
59	4.64	21084.8	2273.0	16.969	5.82	2.295	1.745	-0.3028	-1.76	0.3430
60	4.72	21254.6	2273.3	17.105	5.92	2.295	1.750	-0.3060	-1.81	0.3459
61	4.79	21376.2	2273.6	17.203	6.01	2.295	1.755	-0.3091	-1.86	0.3495
62	4.88	21494.7	2274.0	17.298	6.12	2.296	1.759	-0.3124	-1.91	0.3538
63	4.95	21615.7	2274.3	17.396	6.22	2.296	1.763	-0.3153	-1.96	0.3573
64	5.03	21784.1	2274.7	17.531	6.31	2.297	1.768	-0.3181	-2.01	0.3600
65	5.12	21853.9	2275.0	17.587	6.42	2.297	1.771	-0.3211	-2.06	0.3650
66	5.19	21974.0	2275.2	17.684	6.52	2.297	1.775	-0.3237	-2.11	0.3685
67	5.27	22046.3	2275.4	17.742	6.61	2.297	1.777	-0.3263	-2.16	0.3727
68	5.36	22162.9	2275.3	17.836	6.72	2.297	1.781	-0.3291	-2.21	0.3768
69	5.43	22234.7	2275.1	17.894	6.82	2.297	1.783	-0.3315	-2.26	0.3809
70	5.51	22306.3	2274.8	17.952	6.91	2.297	1.786	-0.3339	-2.31	0.3850
71	5.60	22374.7	2274.0	18.007	7.02	2.296	1.788	-0.3365	-2.36	0.3899
72	5.67	22446.0	2273.1	18.064	7.12	2.295	1.790	-0.3387	-2.41	0.3939
73	5.75	22564.1	2272.0	18.159	7.21	2.294	1.794	-0.3410	-2.46	0.3972
74	5.83	22584.8	2270.3	18.176	7.32	2.292	1.795	-0.3434	-2.51	0.4027
75	5.91	22702.5	2268.4	18.270	7.42	2.290	1.798	-0.3456	-2.56	0.4059
76	6.00	22769.9	2265.8	18.325	7.52	2.288	1.800	-0.3480	-2.62	0.4106
77	6.07	22828.1	2263.2	18.371	7.62	2.285	1.802	-0.3501	-2.67	0.4148
78	6.15	22898.0	2260.0	18.428	7.72	2.282	1.804	-0.3521	-2.72	0.4187
79	6.24	22964.8	2256.0	18.482	7.82	2.278	1.807	-0.3544	-2.77	0.4233
80	6.31	23034.2	2251.8	18.537	7.92	2.274	1.809	-0.3565	-2.82	0.4272
81	6.39	23103.6	2247.2	18.593	8.02	2.269	1.811	-0.3585	-2.87	0.4311
82	6.48	23110.8	2241.3	18.599	8.12	2.263	1.811	-0.3607	-2.93	0.4368
83	6.55	23179.8	2235.4	18.655	8.22	2.257	1.813	-0.3627	-2.98	0.4406
84	6.63	23201.8	2228.9	18.672	8.32	2.250	1.814	-0.3647	-3.03	0.4454
85	6.71	23220.8	2220.9	18.688	8.42	2.242	1.814	-0.3669	-3.09	0.4508
86	6.79	23230.6	2213.0	18.695	8.52	2.234	1.815	-0.3689	-3.14	0.4557
87	6.87	23345.3	2204.5	18.788	8.62	2.226	1.818	-0.3708	-3.20	0.4586
88	6.95	23363.8	2194.0	18.803	8.72	2.215	1.819	-0.3730	-3.25	0.4640
89	7.03	23385.3	2183.9	18.820	8.82	2.205	1.820	-0.3750	-3.31	0.4687
90	7.11	23360.5	2172.9	18.800	8.92	2.194	1.819	-0.3770	-3.36	0.4743
91	7.19	23412.8	2159.7	18.842	9.02	2.181	1.820	-0.3792	-3.42	0.4789
92	7.27	23434.0	2147.0	18.859	9.12	2.168	1.821	-0.3812	-3.48	0.4836
93	7.36	23405.8	2131.7	18.836	9.23	2.152	1.820	-0.3834	-3.54	0.4899
94	7.43	23414.7	2117.1	18.844	9.32	2.138	1.820	-0.3854	-3.59	0.4948
95	7.51	23435.6	2101.6	18.860	9.42	2.122	1.821	-0.3874	-3.65	0.4995
96	7.59	23441.1	2083.0	18.865	9.53	2.103	1.821	-0.3896	-3.71	0.5051
97	7.67	23416.0	2065.4	18.845	9.62	2.085	1.820	-0.3917	-3.77	0.5107
98	7.75	23436.6	2046.8	18.861	9.72	2.066	1.821	-0.3937	-3.83	0.5153
99	7.83	23442.0	2024.6	18.866	9.83	2.044	1.821	-0.3960	-3.89	0.5210

付表-2.6 M'T'X, $c_0 = 0.42$, $\sigma_c = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その3)

100	7.91	23416.7	2003.7	18.845	9.92	2.023	1.820	-0.3981	-3.95	0.5266
101	7.99	23425.0	1981.6	18.852	10.02	2.001	1.821	-0.4002	-4.01	0.5315
102	8.07	23396.6	1956.3	18.829	10.13	1.975	1.820	-0.4025	-4.08	0.5379
103	8.15	23371.4	1933.7	18.809	10.22	1.952	1.819	-0.4045	-4.14	0.5436
104	8.23	23334.0	1911.1	18.779	10.32	1.930	1.818	-0.4065	-4.20	0.5496
105	8.31	23305.5	1885.7	18.756	10.43	1.904	1.817	-0.4087	-4.26	0.5560
106	8.39	23313.6	1863.1	18.762	10.52	1.881	1.817	-0.4106	-4.32	0.5609
107	8.47	23239.9	1837.7	18.703	10.63	1.855	1.815	-0.4127	-4.39	0.5685
108	8.55	23259.9	1815.2	18.719	10.73	1.833	1.816	-0.4146	-4.45	0.5731
109	8.63	23222.6	1792.6	18.689	10.82	1.810	1.815	-0.4164	-4.51	0.5792
110	8.71	23239.2	1767.2	18.702	10.93	1.784	1.815	-0.4184	-4.57	0.5845
111	8.79	23156.9	1744.6	18.636	11.03	1.761	1.812	-0.4201	-4.63	0.5918
112	8.87	23176.6	1722.1	18.652	11.12	1.739	1.813	-0.4219	-4.69	0.5964
113	8.95	23136.1	1696.7	18.619	11.23	1.713	1.812	-0.4237	-4.76	0.6032
114	9.03	23066.0	1674.1	18.563	11.33	1.690	1.810	-0.4254	-4.82	0.6102
115	9.11	23073.6	1651.5	18.569	11.42	1.667	1.810	-0.4270	-4.88	0.6152
116	9.19	23045.2	1626.1	18.546	11.53	1.642	1.809	-0.4288	-4.95	0.6218
117	9.27	22963.4	1603.6	18.480	11.63	1.619	1.806	-0.4304	-5.00	0.6292
118	9.35	22893.6	1581.0	18.424	11.72	1.596	1.804	-0.4319	-5.06	0.6363
119	9.43	22853.4	1555.6	18.392	11.83	1.571	1.803	-0.4336	-5.13	0.6433
120	9.51	22828.3	1533.0	18.372	11.93	1.548	1.802	-0.4351	-5.19	0.6493
121	9.58	22791.4	1510.4	18.342	12.02	1.525	1.801	-0.4366	-5.25	0.6555
122	9.67	22718.7	1485.1	18.283	12.13	1.499	1.799	-0.4382	-5.32	0.6636
123	9.75	22738.0	1462.5	18.299	12.23	1.477	1.799	-0.4396	-5.38	0.6682
124	9.82	22701.1	1439.9	18.269	12.32	1.454	1.798	-0.4410	-5.44	0.6746
125	9.91	22584.6	1414.5	18.176	12.43	1.428	1.794	-0.4426	-5.50	0.6840
126	9.99	22547.9	1391.9	18.146	12.53	1.405	1.793	-0.4439	-5.56	0.6904
127	10.07	22475.7	1366.5	18.088	12.64	1.380	1.791	-0.4454	-5.63	0.6986
128	10.15	22439.1	1344.0	18.058	12.73	1.357	1.790	-0.4467	-5.69	0.7050
129	10.23	22370.3	1321.4	18.003	12.83	1.334	1.788	-0.4480	-5.75	0.7125
130	10.31	22330.8	1296.0	17.971	12.94	1.309	1.786	-0.4494	-5.81	0.7198
131	10.39	22305.8	1273.4	17.951	13.03	1.286	1.786	-0.4507	-5.87	0.7260
132	10.46	22225.8	1250.9	17.887	13.13	1.263	1.783	-0.4519	-5.93	0.7340
133	10.55	22186.5	1225.5	17.855	13.24	1.237	1.782	-0.4533	-6.00	0.7413
134	10.63	22118.0	1202.9	17.800	13.33	1.214	1.779	-0.4545	-6.06	0.7490
135	10.70	22049.7	1180.3	17.745	13.43	1.192	1.777	-0.4556	-6.12	0.7567
136	10.79	22010.5	1154.9	17.714	13.54	1.166	1.776	-0.4569	-6.18	0.7642
137	10.87	21985.8	1132.4	17.694	13.63	1.143	1.775	-0.4581	-6.24	0.7704
138	10.95	21903.4	1107.0	17.627	13.74	1.118	1.772	-0.4593	-6.31	0.7795
139	11.03	21878.7	1084.4	17.607	13.84	1.095	1.772	-0.4604	-6.37	0.7858
140	11.11	21842.9	1061.8	17.579	13.93	1.072	1.770	-0.4615	-6.43	0.7926
141	11.19	21772.0	1036.4	17.522	14.04	1.046	1.768	-0.4627	-6.50	0.8013
142	11.27	21704.2	1013.8	17.467	14.14	1.024	1.766	-0.4638	-6.56	0.8093
143	11.34	21625.5	991.3	17.404	14.23	1.001	1.763	-0.4648	-6.62	0.8178
144	11.43	21641.1	965.9	17.416	14.34	0.975	1.764	-0.4660	-6.68	0.8234
145	11.51	21476.6	943.3	17.284	14.44	0.952	1.758	-0.4670	-6.74	0.8352
146	11.59	21438.2	917.9	17.253	14.54	0.927	1.757	-0.4681	-6.81	0.8430
147	11.67	21371.0	895.3	17.199	14.64	0.904	1.754	-0.4691	-6.87	0.8512
148	11.75	21293.0	872.8	17.136	14.74	0.881	1.752	-0.4701	-6.93	0.8599
149	11.83	21265.7	847.4	17.114	14.84	0.856	1.751	-0.4712	-6.99	0.8674
150	11.91	21145.4	824.8	17.017	14.94	0.833	1.747	-0.4721	-7.05	0.8779
151	11.99	21121.2	802.2	16.998	15.04	0.810	1.746	-0.4731	-7.11	0.8846
152	12.06	21043.7	745.8	16.936	15.13	0.753	1.743	-0.4751	-7.19	0.8935
153	12.15	21016.6	745.8	16.914	15.24	0.753	1.742	-0.4753	-7.24	0.9010
154	12.20	19591.7	696.1	15.767	15.30	0.703	1.691	-0.4770	-7.30	0.9704
155	12.20	19125.4	696.1	15.392	15.30	0.703	1.673	-0.4770	-7.30	0.9940

付表-2.6 MTX, $c_0 = 0.42$, $\sigma_c = 4.07 \text{ kgf/cm}^2$ (その4)

156	12.20	19040.6	696.1	15.323	15.30	0.703	1.670	-0.4770	-7.30	0.9985
157	12.20	18871.0	696.1	15.187	15.30	0.703	1.663	-0.4770	-7.30	1.0075
158	12.20	18743.8	696.1	15.085	15.30	0.703	1.658	-0.4770	-7.30	1.0143
159	12.20	18711.1	745.8	15.058	15.30	0.753	1.657	-0.4754	-7.27	1.0161
160	12.20	18626.2	745.8	14.990	15.30	0.753	1.653	-0.4754	-7.27	1.0207
161	12.20	18668.7	745.8	15.024	15.30	0.753	1.655	-0.4754	-7.27	1.0184
162	12.20	18541.4	745.8	14.922	15.30	0.753	1.650	-0.4754	-7.27	1.0254
163	12.20	18456.6	745.8	14.853	15.30	0.753	1.647	-0.4754	-7.27	1.0301
164	12.20	18329.3	745.8	14.751	15.30	0.753	1.641	-0.4754	-7.27	1.0372
165	12.20	18286.9	745.8	14.717	15.30	0.753	1.640	-0.4754	-7.27	1.0396
166	12.20	18329.3	745.8	14.751	15.30	0.753	1.641	-0.4754	-7.27	1.0372
167	12.20	18202.1	745.8	14.649	15.30	0.753	1.638	-0.4754	-7.27	1.0445

ロック材料の動的変形特性と
せん断強度

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2932号
平成3年3月(1991)

要 旨

松本徳久, 安田成夫, 木下 靖, 大久保雅彦

本報告は、大型せん断試験装置により以下の試験結果についてとりまとめたものである。
① 豊浦標準砂を用いた繰返しねじり単純せん断試験(CTSS)および繰返し三軸試験(CTX)
② 粗粒材料を用いた繰返しねじり単純せん断試験(CTSS)および繰返し三軸試験(CTX)
③ 粗粒材料を用いた単調载荷のねじり単純せん断試験(MTSS)および単調载荷の三軸圧縮試験(MTX)
①は予備試験でありこの試験により、今回新たに導入した高精度の微小変位計によって動的物性値(せん断弾性係数G, 減衰定数h)は微小ひずみ領域(10^{-5} 以下)まで精度良く測定できることが確認できた。②の試験により、粗粒材料のG, hは、砂と同様に各種要因の中でも特にせん断ひずみ、間隙比、拘束圧の3要因に大きく依存していることが判明した。そこで、この3要因を要したG, hの関数式を提案した。③の試験結果は、MTSとMTXの両試験結果の比較を中心にまとめたが、粗粒材のせん断強度は前者による方法が後者に比し大きくなることが明かとなった。また、微小ひずみ領域における弾性係数に着目し単調载荷、繰返し载荷の両試験の結果を比較したところ、割線弾性係数は一致することが判明した。

キーワード: ねじり単純せん断試験, 三軸試験, 粗粒材料, ロック材料,
せん断強度, せん断弾性係数, 減衰定数

郵便はがき

下を41
さいは
いて手

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
ファイルダム研究室
行

No. 3

No. 3

配布先氏名

○

配布先住所

土木研究所資料第 2932 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印