

土のネジリ振動試験装置の試作と2, 3の試験結果について

齋藤二郎　鳥井原　誠
平間邦興

Trial Manufacture of Torsional Vibration Testing Apparatus in Soil and a Few Test Results

Jiro Saito　Makoto Toriihara
Kunioki Hirama

Abstract

No matter how much progress may be made in analysis techniques for such items as response against dynamic loading, unless the dynamic deformation factors used for soils are appropriate, correct results will be impossible to obtain. The greatest problem is the extreme dependence on strain of the dynamic shear modulus and damping constant of soil. Accordingly, testing apparatus and techniques are much varied.

The purpose of the apparatus trial-manufactured by the authors was to grasp the dynamic deformation factors of soil in the range of strains of medium degree of 10^{-5} to 10^{-3} produced in ground especially by earthquake motions. The mechanism of this apparatus makes use of electromagnetic force to apply torsional vibration in the circumferential direction of a solid cylindrical specimen by a non-contact driving system. In effect, the aim is to investigate dynamic characteristics by finding strain response of a specimen when the bottom of the specimen is fixed and the top is subjected to a known torque, and the apparatus is capable of performing torsional vibration tests and free vibration tests under any confining pressure.

In this report, the authors give an outline of the testing apparatus including the merits of its mechanism and operation, and show a few results of tests.

概　要

動的荷重に対する応答などの解析手法がいかに進歩しても、用いられる土の動的な変形係数が適切でなければ正しい結果は得られない。最大の問題点は土の動剛性率と減衰定数の極端なヒズミ依存性にあり、したがって試験装置および手法もきわめて多様となっている。

今般、筆者らが試作した装置は、特に地震動によって地盤中に生ずる 10^{-5} ～ 10^{-3} の中程度のヒズミ範囲における土の動的変形係数の把握を目的としている。その機構は電磁力を利用して中実円柱供試体の円周方向にネジリ振動を非接触駆動方式によって与える。すなわち、供試体の底部を固定し上部に既知のトルクを与えたとき、その供試体のヒズミ応答を知ることによって動的特性を調べようとするものであり、任意の抱束圧の下で強制ネジリ振動試験と自由振動試験が可能となっている。

この報文では機構・操作上のメリットを含めて試作した装置の概要を紹介し、2, 3の試験結果を示したい。

1. まえがき

地盤および構造物の振動特性と動的荷重に対する応答などの解析手法の進歩には目覚しいものがあるが、解析に用いられる土の諸性質が適切でなければ、どんな精巧な手法によっても正しい結果が得られないことは明らかである。

最大の問題点は土の動剛性率と減衰定数の極端なヒズ

ミ依存性にあり、したがって試験手法もきわめて多様となる。例えば 10^{-6} ～ 10^{-5} の微少なヒズミ範囲では、弾性波探査などによって動剛性率や減衰定数が求められ、一方、 10^{-3} 前後の大きなヒズミ範囲では動的三軸圧縮試験動的単純せん断試験などで求めることができる。そこで、地震動によって地盤中に生ずる 10^{-5} ～ 10^{-3} の中程度のヒズミ範囲における土の変形係数を直接測定することを目的として室内試験装置を試作した。

これまでにも、動剛性率や減衰定数をはじめとする土の動的特性を把握するために、我が国においてもこれまで数多くの試験装置および試験方法が開発されてきている。

今般、筆者らが試作した装置は電磁力を利用した非接触駆動を特徴とする上部加振型のネジリ振動試験装置であり、強制振動試験と自由振動試験が可能となっている。このたぐいの試験装置についても、これまでいくつかの報告がなされているが、この報文では機構・操作上のメリットを含めて試作した装置の概要を紹介し、不かく乱試料について2, 3の試験結果を示したい。

2. 試験装置

2.1. 装置の機構と試験方法

この装置の全体を示したのが図-1である。その概要は中実円柱供試体の底部を固定し、電磁力によって任意の交番する動的トルクを与えたとき、その供試体のヒズミ応答を知ることによって土の動的特性を調

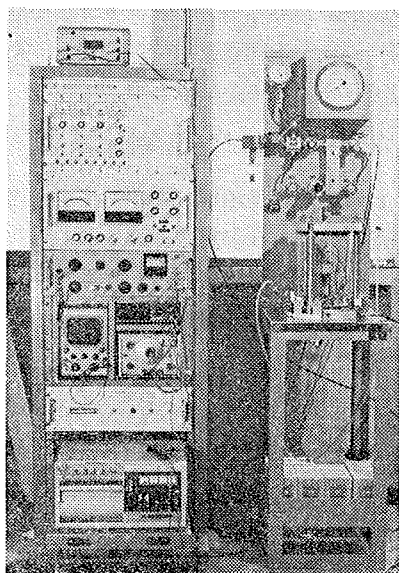


図-1 装置全景

べようとするものである。供試体寸法はφ30mm, H60mm, であって比較的小さいが、これは不かく乱試料を使用する際の不均一性、採取試料のかく乱条件などを配慮したためである。

装置の主たる構成は加速度計内臓の加振部と測定および増幅部より成るが、その加振部概要を示したのが図-2であり、装置の機構を示したのが図-3である。さらに図-4からも明らかなように加振部はドーナツ型のドライバーと供試体の上端に固定されたリジットマスからなる。ドライバーに内臓されたドライブコイルに外部よ

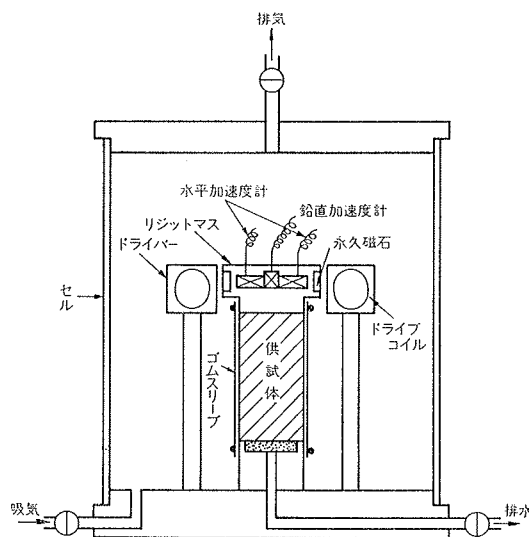


図-2 加振部の概要

り信号電流を流すとリジットマス内部に取り付けてある永久磁石の力で信号電流に比例したネジリ力が発生し、リジットマスと供試体との定着が保たれる範囲で供試体にネジリ変形が生じる。試料台とリジットマスには針状の刃がとりつけてあり、供試体との定着性をよくしてある。供試体に生じた変位はリジットマスに内蔵された加速度計で円周方向の応答角加速度として測定し、この出力を二重積分することにより得られる。また供試体および加振部全体が小型化され、セルの中にセットされているので空気圧により任意の抱束圧を与えることができる。しかし、現在のところ軸差応力を任意に制御することは機能的に不可能である。飽和供試体の場合の圧密による体積変化は、供試体からの水の出入をビューレットで測定することによって求める。

この装置では任意の加振トルクのもとでの応力制御に

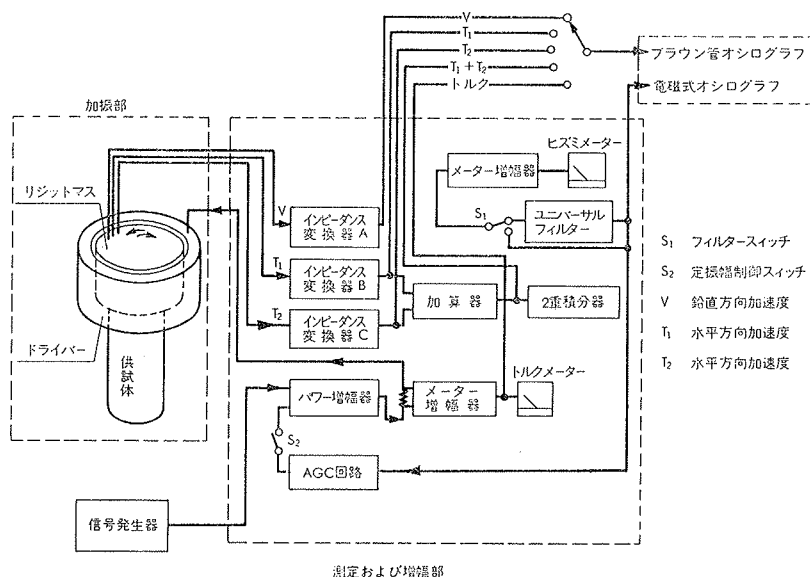
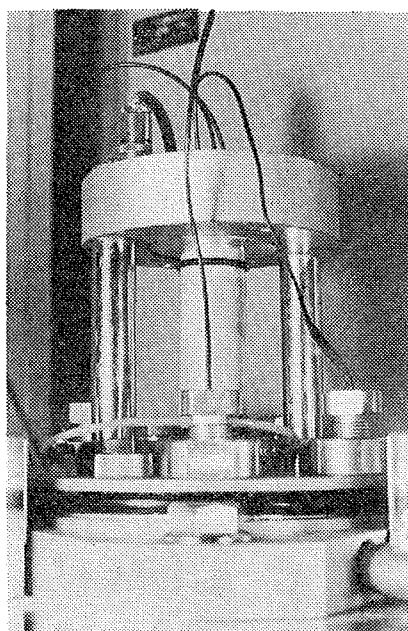


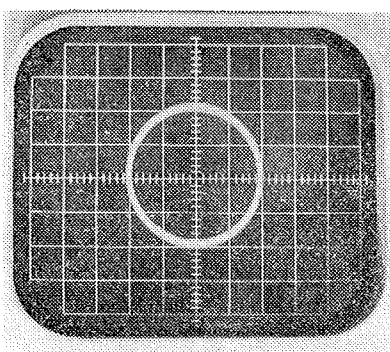
図-3 装置の機構系統図

よる強制ネジリ振動試験と、一定トルクを加えた後にその応力を瞬時的に解放することにより自由振動試験が可能である。強制ネジリ振動試験より得られる共振々動数と共振曲線から動剛性率、減衰定数が求められ、加振時の



図—4 供試体と加振部

応力レベルを変化させることによりそれらのヒズミ依存性を調べることができる。また自由振動試験からも動剛性率、減衰定数を求めることが可能である。



図—5 リサーチ(共振時)

この装置を使用し、筆者らはこれまでにヒズミについては $r=2 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-6}$ で、振動数については $20 \sim 160$ Hz の範囲で試験が可能であることを確認してきている。

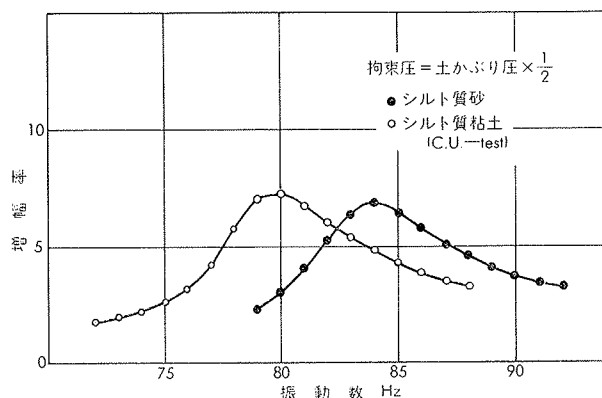
試験結果の観測は2つの手法によっており、1つはブラウン管オシログラフによるモニター、他の1つは電磁オシログラフによる記録およびメータ指示である。主として供試体の共振状態を知るための振動モードのモニターについては前者、変位およびトルクの測定については後者を適用している。ブラウン管オシログラフによるモニターではX軸にネジリ振動力を、Y軸には応答加速度を入れてリサーチを作ることによって判定する。共振時のリサーチを示したのが図—5である。この装置では共振時に入力と応答加速度の間に π の位相差があり、さらにリジットマスには2個の加速度計が設置されているので測定および増幅部で加算される時に $\pi/2$ の位相差が生じ、全体として $3\pi/2$ の位相差になるよう設定されている。したがってリサーチ図形は軸に対称な楕円となり、共振状態では円形のリサーチが得られる。

2.2. 装置の特徴概要

これまで述べてきたごとく、この装置では中実円柱供試体を用いるため、ヒズミ分布の不均一性などの欠点を有するが、供試体の上部加振部に機械的接触を全く無くした自由端であること、装置が単純化・小型化できること、成形が容易で不カク乱試料の試験も可能であること粘性土および砂質土のいずれの試験も可能であることなどの利点がある。特に供試体上端のリジットマスが全くの自由端であるということは大きな利点であり、例えば、供試体とそれに付帯する装置が隔離しているため外部からの影響を受けないこと、解析に必要なリジットマスの極二次慣性モーメントの検定が容易なこと、加振機構にフリクションを受ける部分が無いためトルクの測定が正確であること、操作が簡便であることなどの特徴を有している。しかし、機構的に加振時には回転軸が偏心する危険性があるため、リジットマス中心部に上下方向の変位を測定する加速度計を埋め込んであり、必要に応じてチェックすることができる。

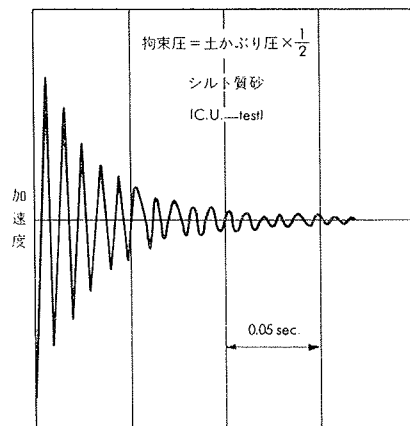
3. 2, 3の試験結果について

これまで、その概要を示してきたネジリ振動試験装置を使用した2,3の試験結果を示したい。試験に供した試料は東京都太田区で採取したシルト質砂・シルト質粘土および東京都荒川区で採取した粘土の、それぞれ不カク乱試料である。

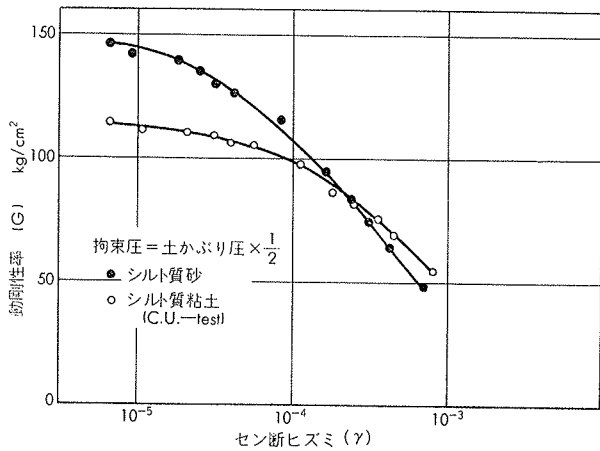


図—6 共振曲線

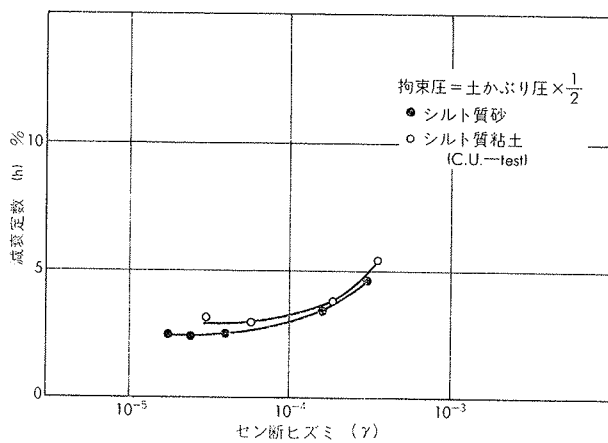
強制ネジリ振動試験において振動数を順次変えながら求めた共振曲線の一例を示したのが図—6であり、この図から共振々動数と減衰定数を得ることができる。また供試



図—7 減衰曲線



図一8 動剛性率のヒズミ依存性



図一9 減衰定数のヒズミ依存性

体に一定トルクを負荷した後、その応力を瞬間的に解放することによる自由振動試験から得られた減衰曲線の一例を示したのが図一7である。いずれも、目的を十分に満足する程度の曲線が得られている。

共振々動数から得られる動剛性率Gと対応するせん断ヒズミ振幅 γ の関係を示したのが図一8である。 γ の増加とともにGは大きく減少し、ヒズミ依存性の大きな状況が明白である。また粘性土に比して砂質土の減少率の方が大きい傾向が認められる。

共振曲線から得られた減衰定数hを共振時の γ に対応して示したのが図一9である。 γ の増加とともにhも増加し、ヒズミ依存性は明らかであるが、土質による定量的な違いはあまり大きいものではない。

共振々動数から得られたGと減衰曲線から得られたhとの対応を示したのが図一10である。Gとhとの関係はほぼ直線的に変化し、Gの減少とともにhの増加する傾向が明らかに認められる。

一般に弾性波探査から求めたGと標準貫入試験結果(N値)との間には直線性があるといわれているが、共振動数から求めたGと静的三軸圧縮強さの $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ との関係を示したのが図一11である。多少のバラツキはあるものの、直線性は明確である。

4. あとがき

地震動によって地盤中に生ずる $10^{-5} \sim 10^{-3}$ の中程度のヒズミ範囲における土の動的変形係数の把握を目的として、筆者らが試作検討してきたネジリ振動試験装置の概要を紹介し、2, 3の試験結果を示した。

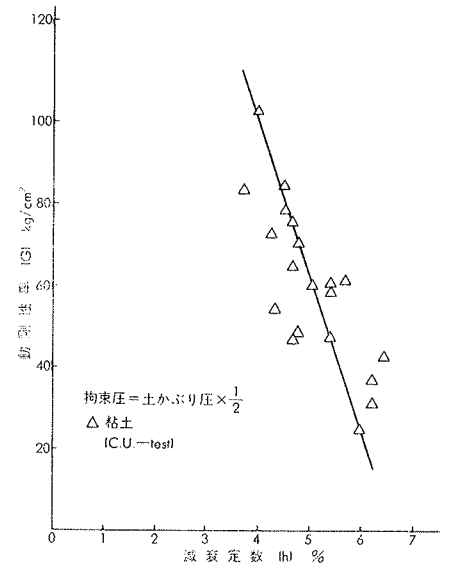
この装置については、現在どうか定常的な稼動状態に入るところであり、いまだ満足できるものではなく改良および検討をかさねている。大方の御叱正を賜われば幸甚である。

この装置の開発研究にあたっては、法政大学、山門明雄教授、

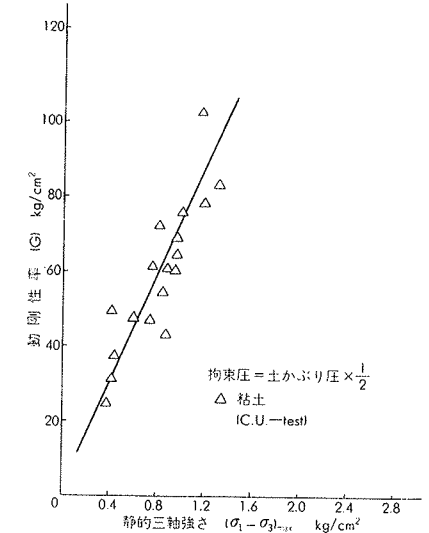
東京大学、石原研而教授をはじめ数多くのかたたちから有意義な御指導、御助言を賜わった。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- Hall J. R. Jr. and Richart, F. E. Jr.: Dissipation of Elastic Wave Energy in Granular Soils, J. Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE, Vol. 89, No. 6, (1963)
- Hardin, B. O. and Music, J.: Apparatus for Soil Specimens during the Triaxial Test, Instruments and Apparatus for Soil and Rock Mechanics, ASTMSTP No. 392, (1965)
- 栗林栄一ほか: 土の動的変形特性(共振法土質試験機による測定), 土木研究所資料, No. 912, (1974)
- 石原研而: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, (1976)



図一10 動剛性率と減衰定数



図一11 動剛性率と静的せん断強さ