

原位置動的ねじりせん断試験システム「ジオダイナ」の開発

Insite Dynamic Torsional Shear Testing System

浅田 毅*

溝口 義弘*

要 旨

従来、地盤の液状化時におけるせん断強度などの動的特性を求める場合、対象地盤から試料を採取し、その試料について室内で繰返し非排水三軸試験、繰返し中空ねじりせん断試験等を行っている。今回開発した原位置動的ねじり試験システム「ジオダイナ」は、原位置で乱さない試料について動的ねじり試験を行って、信頼性の高い地盤の動的特性データを即時的に得ることができる試験システムである。

キーワード：原位置試験／動的ねじりせん断試験／効率化／データの信頼性

1. はじめに

従来行われている地盤の液状化判定方法では、対象地盤から試料を採取し、その試料について室内で繰返し非排水三軸試験、繰返し中空ねじりせん断試験を行って液状化強度を求め、その結果と地震応答解析等から得られた地震時のせん断強度とを比較して液状化判定を行っている。この方法では、試料の採取やその後の室内試験に多大な費用と作業日数を要する上に、試料採取による試験データのばらつきが大きいことや、試験体の応力状態が原地盤内での状態と異なるなどの問題がある。

この度開発した原位置動的ねじりせん断試験システム「ジオダイナ」は、対象地盤の所定位置までケーシングオーガーによって無泥水で掘削し、試験用プローブを挿入して動的ねじりせん断試験を行う試験システムである。このシステムはオーガーにより掘削し、深さ方向に連続して試験を行うことができるので、従来の試験に比べ安価で、しかも精度の良い試験結果が得られ、信頼性の高い液状化判定などを行うことができる。

2. 試験システムの構成

この試験システムは、(1)オーガー掘削機械、(2)試験プローブ、(3)プローブ制御部から構成されている。それらについて順次述べる。

2.1 オーガー掘削機械

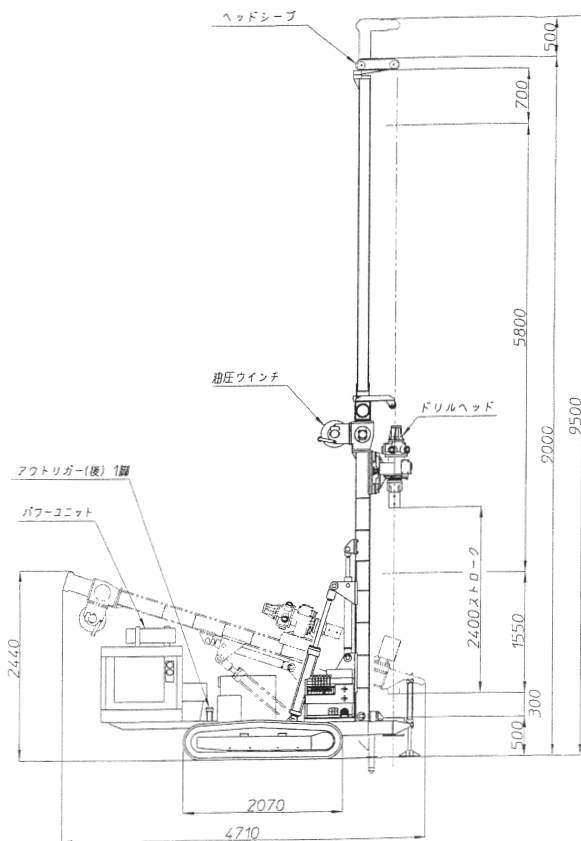
オーガー掘削機械の全景を、写真－１に示す。図－１にその全体図を示す。掘削機械には、ケーシングオーガー・試験プローブ等吊り上げ用ウィンチ、掘削用駆動モーター、油圧ユニットなどが搭載されており、掘削機械は自走して移動することができる。

図－２に、ケーシングオーガーの構造図を示す。オーガーはスクリー付き中空ケーシングとインナーロッドとから構成されており、それらを同時に回転させ、オーガー内に掘削土が入らないように地盤を掘削する。オールケーシングによって掘削を行うため、掘削孔壁保護のためのベントナイト泥水を必要としない。また、インナーロッドの先端ビットを交換することによって、粘性土地盤から比較的固い礫質土地盤まで掘削が可能である。ケーシングオーガーからインナーロッドを取り外すと、その内部は空洞となり、試料採取、および動的ねじりせん断試験の他、三成分コーン貫入試験などの多様な試験を並

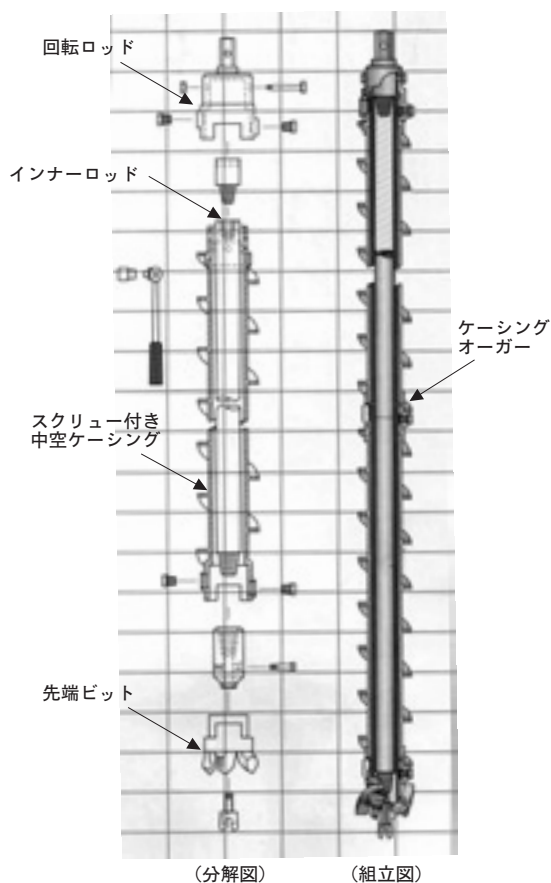


写真－１ 掘削機械全景

*土木構造研究室



図－１ オーガー掘削機械



図－２ 掘削用オーガーの構造



写真－２ プローブの全景



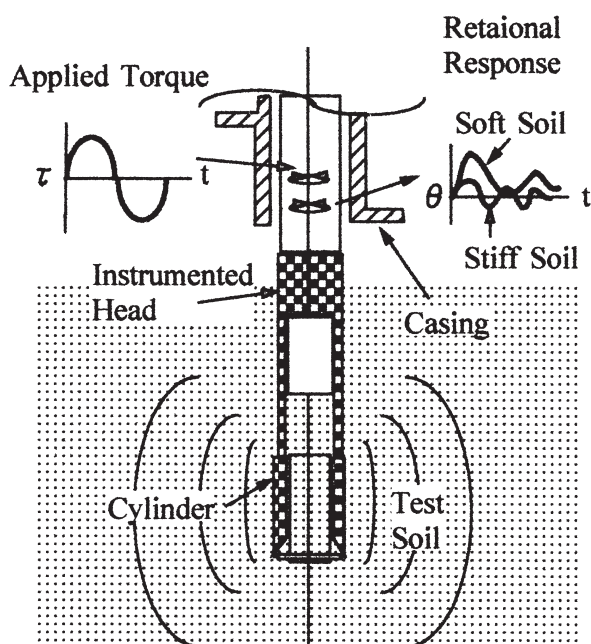
写真－３ プローブ挿入状況

行して行うことができる。

2.2 試験プローブ

写真－２に、試験プローブの全景を示す。また、プローブを組み立ててケーシング内に挿入している状況を写真－３に示す。プローブの全長は5.74mであり、その中には先端中空シリンダー貫入用電動ジャッキ及び回転用電磁パルスモーター、トルク計、ロードセル、加速度計、間隙水圧計、変位計等の動的ねじりせん断試験を行うのに必要な計測・駆動機器類が全て内蔵されている。

図－３に、地盤に貫入させた先端中空シリンダーを電磁パルスモーターで回転させ、ねじりせん断試験を行って



図－3 ねじりせん断試験状況

いる状況を示す。

2.3 プローブ制御部

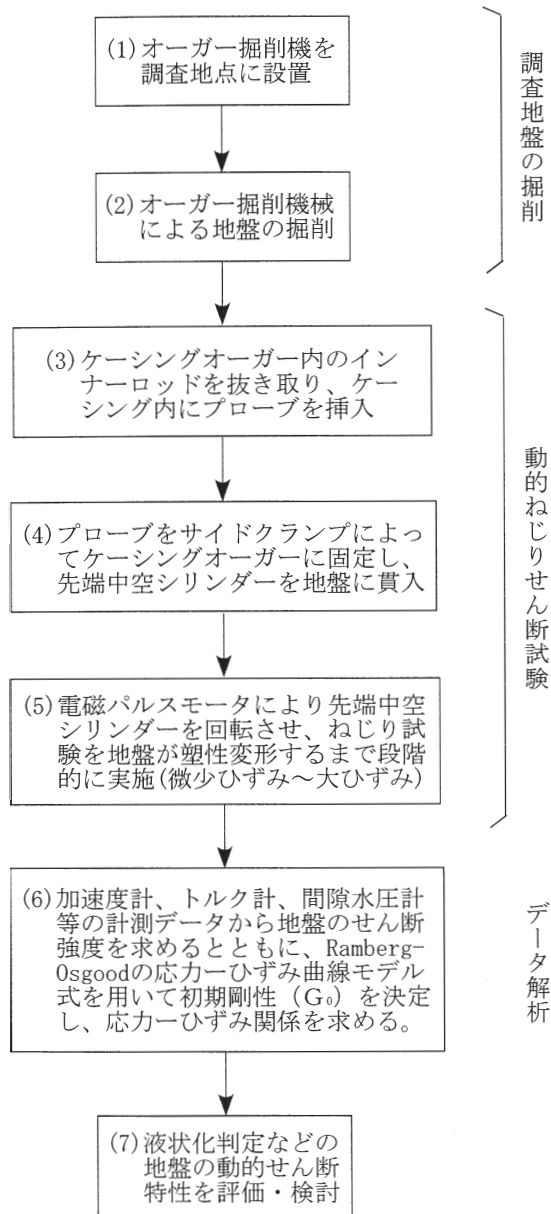
試験プローブとプローブ制御部とは1本のアーモードケーブルで接続されており、ケーシングオーガー内に挿入したプローブの位置制御、プローブ先端部の地盤への貫入・抜き取り等の動作制御、先端部の回転制御などの操作をパソコンのディスプレイ画面上で対話形式で行うシステムとなっている。

また、試験中の計測機器からのデータはディスプレイ画面上にリアルタイムで表示され、パソコンに収録される。

3. 動的ねじりせん断試験の作業フロー

動的ねじりせん断試験の作業フローチャートを、図－4に示す。作業は以下の手順で行われる。

- (1) 掘削機械を自走させ、調査地点に設置する。
- (2) ケーシングオーガーを掘削機械にセットし、深度を確認しながら所定の位置まで地盤を掘削する。
- (3) インナーロッドをケーシングオーガーから抜き取り、プローブを挿入する。
- (4)～(7)の操作についてはパソコンのディスプレイ画面上において対話形式で制御しながら行う。
- (4) プローブの設置位置を確認後、プローブをサイドクランプでケーシングに固定し、先端中空シリンダーを電動ジャッキにより地盤に貫入する。



図－4 動的ねじり試験の作業フロー

- (5) 電磁パルスモータを駆動させ、先端中空シリンダーを回転して、微小ひずみから塑性ひずみまでねじりせん断試験を順次行う。
- (6) 加速度計、トルク計、間隙水圧計等の計測データから、Ramberg-Osgoodの応力-ひずみ式を用いてシミュレーション解析を行い、初期剛性 (G_0) を決定して、応力-ひずみ関係、地盤のせん断強度などの地盤の動的特性を求める。
- (7) 液状化判定など地盤の動的せん断特性を評価検討する。

4. 従来試験との比較

作業内容、作業日数について、従来試験と本システム

とを比較したものを表－１に示す。従来試験では、試料の採取試験の実施、解析完了まで2ヶ月以上を要するのに対して、本システムでは10日程度で完了することができ、試験費用も安価である。また、本システムは原位置で行うので、試料採取に伴う試験データの乱れ等がなく、信頼性の高いデータが得られる。

5. 実施例

大阪府枚方市内の淀川スーパー堤防でジオダイナによる動的ねじり試験を行い、地盤の初期剛性、せん断強度等を求めたので、それらについて述べる。

図－５に、ねじり試験の模式図とRamberg-Osgoodモデルの応力とひずみとの関係式を示す。このモデル式を用いて、計測結果を整理し、塑性変形に至るまでの応力－ひずみ関係を求める。

図－６に、载荷パルストルク7Nmを地盤に与えて得られた角加速度および応答トルクの時刻歴を示す。これらの図から、周期1msecの三角パルスのトルクを地盤に与えると同時に応答ひずみ（角加速度）が発生し、その後、

ひずみは周期がやや伸びながら、振幅が急速に減衰していることが分かる。また、ひずみの繰り返し周期が12msec付近から大きくなっているのは、地盤と先端中空シリンダーとの相互干渉と、地盤の粘性による影響であると考えられる。

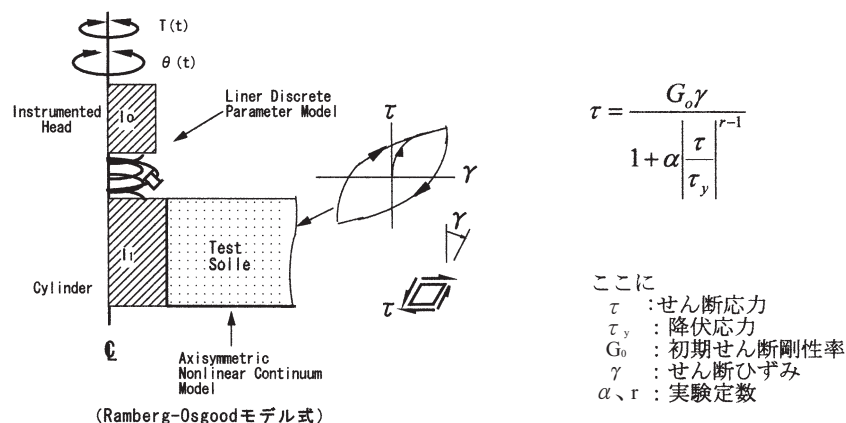
Ramberg-Osgoodモデル式に降伏せん断応力（ τ_y ）、実験定数（ α , r ）を代入し、地盤の初期剛性を $G_0=10\text{MPa}$ から $G_0=60\text{MPa}$ まで10MPaずつ変化させ、図－６の応答トルクから計算した応答ひずみ（角加速度）波形と実測した波形とを比較したものを、図－７に示す。図中、実測した波形を細線で、計算した波形を太線で示す。

これらから、実測波形の繰り返し周期に最も近いシミュレーション波形が得られる $G_0=50\text{MPa}$ をこの地盤の初期剛性とした。

図－８に、 $T=79\text{Nm}$ のパルストルクを地盤に载荷した時の応力－ひずみ関係を示す。この図から、地盤の最大せん断応力が $\tau=20\text{kN/m}^2$ であり、このひずみ領域では、地盤の剛性値が初期剛性に比べてかなり小さな値となっていることが分かる。

表－１ 従来試験との比較

	従来の調査方法	本システム
作業試験内容	(1) 調査ボーリングを行い、地層ごとに試料を採取する。採取方法には対象地盤を凍結させて試料サンプリングする凍結サンプリング方式と、対象地盤からサンドサンプラーによって採取するサンドサンプリング方式などがある。 (2) 不攪乱で採取した試料について、室内振動三軸試験、繰返し中空ねじりせん断試験等の液状化試験を行う。	対象地盤をオーガー掘削しながら、地層ごとまたは任意の位置で動的ねじりせん断試験を行うことができる。 ○1深度当たり掘削・試験 約60分 ○1孔で多深度の試験が可能 ○原地盤の応力を乱さない状態で試験が可能
作業日数	○試料採取と室内試験（深度20m、4ヶ所） 1. 凍結サンプリング方式 作業日数 1ヶ月、試験日数 約4週間 2. サンドサンプリング方式 作業日数 4日、試験日数約 4週間 ○解析日数 約1週間	○掘削・試験 2日 （深度20m、4～6ヶ所） ○解析日数 約1週間



図－５ 解析モデル

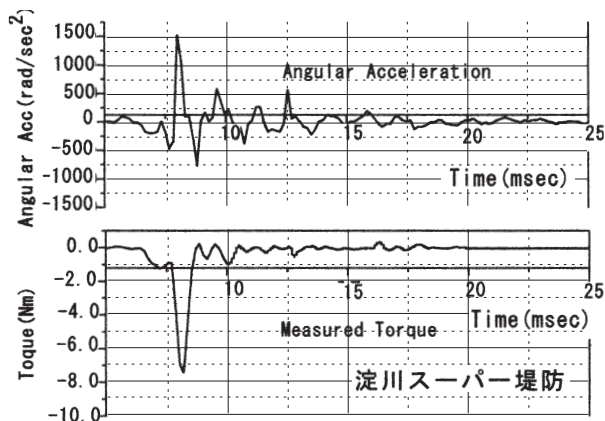


図-6 角加速度とトルクの時刻歴

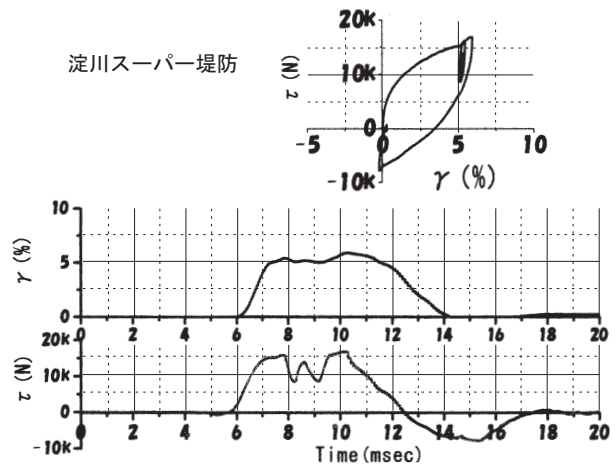


図-8 応力-ひずみ関係 (T=79Nm)

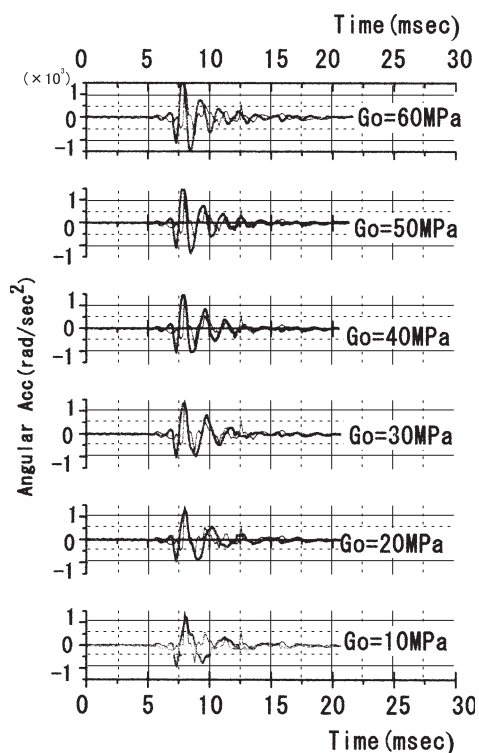


図-7 角加速度の実測値と計算値との比較

このように、原位置において地盤の初期剛性、せん断応力による剛性の変化、降伏せん断応力等の精度の良い値を短時間に得られるので、これらの数値を用いて地震応答解析を行うことによって、信頼性の高い地盤の動的変形特性を求めることができる。

6. まとめ

この度開発したジオダイナは、原位置において動的ねじり試験を行えるので、従来の試験法に比べ、地盤の液化強度などの動的特性を速やかに精度良く求めることができる。

今後、液化化対象地盤などの調査にジオダイナによる試験を従来試験と併用して行い、両者の試験結果を比較検討することによって、より信頼性の高い試験システムを構築していきたいと考える。

最後に、この開発に当たり、懇切にご指導いただいた(財)地域地盤環境研究所の岩崎所長、本郷部長はじめ関係各位に感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 岩崎好則, 本郷隆夫, 赤井俊文, 浅田毅, 溝口義弘: 原位置動的ねじり試験機, 土木学会第56回年次学術講演会概要集, pp632~633, 2001年10月
- 2) Tani, K: Measurement of shear deformation of geomaterials-Field test, Proc.Int.Sym. on Pre-failure Deformation of Geomaterials, Vol.2. pp1116~1131, 1995