

Ⅲ-A100

遠心実験装置を用いた地盤材料の動的変形特性の評価

(株) 大林組技術研究所 正会員○松田 隆 樋口俊一

(財) 発電設備技術検査協会 黒坂敏正

1. はじめに

本研究は、大型遠心実験装置を用いてLNG地上式タンクの耐震性を実証するためのタンクー杭ー地盤の連成振動試験を計画するにあたり、地盤材料に用いる砂および粘土の動的変形特性（せん断剛性～せん断ひずみ関係、減衰定数～せん断ひずみ関係）を事前に把握し、実験計画に役立てる事を目的に、

表1 遠心実験での相似則

項目	模型の縮尺率
長さ	1/N
応力	1
ひずみ	1
力	1/(N*N)
質量	1/(N*N*N)
加速度	N
速度	1
密度	1
時間	1/N (動的問題) 1/(N*N) (静的問題)
振動数	N
透水係数	1 (動的問題) 1/N (静的問題)

凡例
 加速度計
 間隙水圧計

2. 研究の背景

遠心実験では、表1に示した相似則が適用されるが、地震波入力を想定した動実験の場合には、空間縮尺1/nに対し、遠心重力がn、時間縮尺が1/n、地震波の振動数はn倍となる。今回、遠心重力50Gでの遠心振動試験を計画し、地盤構成等を検討するための予備解析を実施するにあたり、振動三軸試験装置による地盤材料の動的変形試験結果を調査した。その際、既往データは載荷振動数が1Hz程度で実施された実験結果であることから特に粘土についてはその適用性に問題があると思われた。そこで、動的変形試験を遠心振動実験装置により実施し、遠心実験で実際に用いる振動数領域での地盤材料のせん断ひずみ～せん断剛性、せん断ひずみ～減衰定数関係を求めることにした。

3. 実験方法

実験には有効半径1mの小型遠心実験装置を用い、振動試験用せん断土槽に図1に示すような地盤模型を作製して、遠心重力100Gにおいて遠心振動実験を実施した。表2に実験ケースを示す。加振実験に用いた入力波形は、主に正弦波を用いた。地盤の変形に影響を与えると考えられる地震波の振動数成分は1Hz～数Hzの範囲であることから、加振は相似則を考慮して50Hz～300Hzの振動数を対象とした。

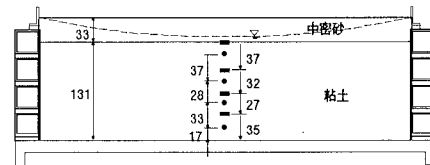


図1 小型遠心振動実験地盤模型（粘土地盤）

表2 小型遠心振動実験装置を用いた試験ケース

試験ケース	地盤条件	試験目的
ケース1	砂地盤	地盤定数の把握（逆解析による地盤のせん断剛性と減衰定数の同定）
ケース2	粘土地盤	

4. 地盤の動的変形特性

実験により得られた時刻歴加速度波形を用いて、地盤材料のせん断剛性～せん断ひずみの関係、減衰定数～せん断ひずみの関係を逆解析した。地盤のせん断応力 τ 及びせん断ひずみ γ は図2のように算定した。ここで、変位時刻歴は加速度時刻歴に適当なハイパスフィルターをかけた後、数値積分を実施して算定した。このようにして求めたせん断応力時刻歴とせん断ひずみ時刻歴より求めた各層の応力～ひずみ曲線を用いて、図3に示す要領で各ひずみでの等価せん断剛性

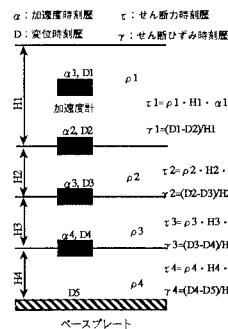
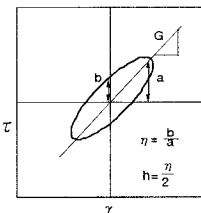
図2 地盤のせん断応力 τ 及びせん断ひずみ γ の算定方法

図3 等価せん断剛性と減衰定数の定義

遠心載荷試験、動的変形特性

と減衰定数を求めた。

図4、図5に実験の逆解析により得られた砂のせん断剛性比～せん断ひずみ関係と減衰比～ひずみ関係を示す。計測器の大きさに比べて模型の寸法が小さいため、相対的に各加速度計の距離の誤差が大きく影響し、算定値にばらつきが生じているが、実験で用いた砂に関する既往の室内試験結果における動的変形特性¹⁾（点線）と比較しても、本実験結果は概ね整合していることがわかった。

図6に正弦波100Hzで模型を加振した場合の時刻歴加速度波形から求めた粘土のせん断剛性～せん断ひずみ関係を示す。データを考察したところ、粘土のせん断剛性～せん断ひずみ関係は拘束圧に依存していないと判断し、本図には全ての層のデータを想定初期せん断剛性で正規化せずにプロットした。この逆解析データを最小二乗法にてH-Dモデルにフィッティングすると、次式が得られる。

$$G=G_0 \cdot (1 + \gamma / 0.0016) \quad (式 1)$$

$$G_0=23,000 \text{ kPa}, \gamma: \text{せん断ひずみ}$$

図7には実験結果より求めた粘土の減衰定数～せん断ひずみ関係を示した。小さいひずみ領域においてはせん断剛性と比較して減衰定数の読みとり誤差が大きいためデータがばらつく傾向にあるが、実験結果は類似の粘土の室内試験結果と概ね整合している。

5. 粘土の動的変形特性の振動数依存性

図8に100Hz以外の振動数による正弦波で模型を加振した場合の時刻歴加速度波形から求めた粘土のせん断剛性～せん断ひずみ関係を示す。実線は先に求めた正弦波100Hzでのせん断剛性～ひずみ関係のフィッティング関数であるが、他の振動数の正弦波加振から得られたデータと正弦波100Hz加振のデータとの有為な差は認められない。即ち、この実験結果からは粘土のせん断剛性～せん断ひずみ関係は加振振動数に依存しないと考えられる。

図9に100Hz以外の振動数の正弦波で模型を加振した場合の時刻歴加速度波形から求めた粘土の減衰定数～せん断ひずみ関係を示す。他の振動数の正弦波加振から得られたデータと正弦波100Hz加振のデータとの有為な差は認められないため、粘土の減衰定数～せん断ひずみ関係も加振振動数に依存しないと考えられる。

6. あとがき

本研究は（財）発電設備技術検査協会が国の委託を受けて実施した「発電設備耐震信頼性実証試験」のうち、LNG地上式タンクの耐震実証試験の一環として実施したものである。ここに記して関係各位に謝意を表する。

参考文献・

1) G. L. Fiegel, Centrifugal and Analytical Modeling of Soft Soil Sites Subjected to Seismic Shaking, PhD Dissertation, Univ. of California, Davis, 1995.

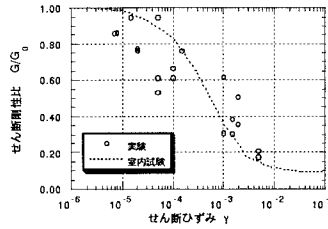


図4 砂のせん断剛性比～ひずみ関係

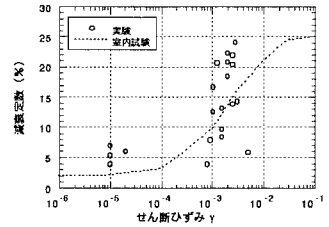


図5 砂のせん断剛性比～ひずみ関係

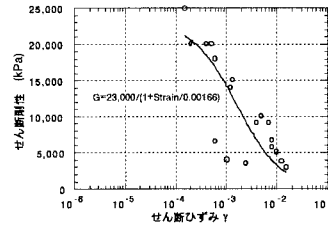


図6 粘土のせん断剛性～ひずみ関係

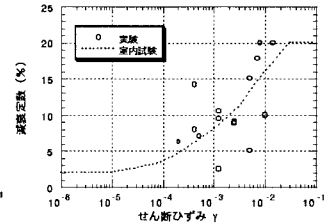


図7 粘土のせん断剛性比～ひずみ関係

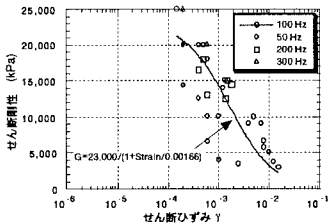


図8 粘土のせん断剛性～ひずみ関係への加振振動数の影響

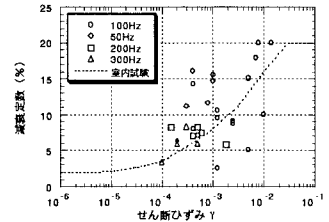


図9 粘土の減衰比～ひずみ関係への加振振動数の影響