

I-602

液状化地盤の動特性の推定

(株)フジタ 技術研究所 正会員 小林範之 中野浩之 斉藤悦郎

1. はじめに

液状化が発生すると過剰間隙水圧の上昇に伴い、地盤の特性は強い非線形性を示し、地盤の剛性も劣化する。また過剰間隙水圧蓄積過程が終了すると、地盤の密度増加がおり、剛性が回復すると考えられる。このような液状化時の地盤の特性を調べるために、飽和砂の模型振動実験を実施し、その実験結果から地盤の固有円振動数および減衰定数を同定し、せん断ひずみと地盤の動特性、および間隙水圧との関係を調べた。

2. 飽和砂地盤の模型実験

2-1 実験概要

模型振動実験のモデルおよび実験方法を示す。

- 模型地盤の砂として浜岡砂 ( $G_s : 2.67, \rho_{dmax} : 1.687, \rho_{dmin} : 1.37, D_{50} : 0.29mm$ ) を用いた。
- 砂地盤は 50% と 70% の 2 種類の相対密度を目標とし、せん断土槽 (幅 120cm, 奥行 60cm, 高さ 60cm) 内で水中落下法により作成した。図-1 に模型概要を示す。
- 入力動は通常の地震動が含む振動数 (2 ~ 5 Hz 程度) に対し時間縮尺  $\lambda^{0.75}$  倍<sup>1)</sup> (幾何学的縮尺  $\lambda = 20$ ) した振動数を持ち、かつ微小ひずみ領域での模型地盤の一次固有振動数までを含むように 30 Hz までの周波数帯域を持つホワイトノイズに地震動の包絡形状を表す形状関数を掛合わせて作成した。
- 実験ケースは入力波形の最大振幅をパラメータにとり非液状化から完全液状化までの各実験をそれぞれの目標相対密度について実施した。実験ケースの一部を表-1 に示す。
- 計測器は図-1 に示すように地盤の深さ方向に 6 点の加速時計と 5 点の間隙水圧計を設置した。この場合に設置位置と方向が変化しないように治具と糸で固定した。また変位計は地盤内変位の測定が難しいためせん断土槽のフレームに 5 点設置した。

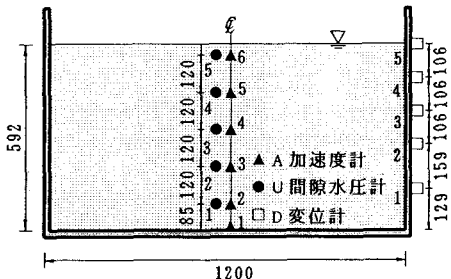


図-1 実験模型の概要

表-1 実験ケース

No.	相対密度 (%)		入力動		実験 No.
	目標値	測定値	最大値 (gal)	帯域 (Hz)	
1	50.0	49.4	34.8	0~30	5.1
2	( $e=0.77$ )	49.4	55.5	0~30	5.2
3	$\rho_t=1.95$	49.4	76.1	0~30	5.3
4	50.0	49.4	77.5	0~30	5.4
5	50.0	49.4	95.9	0~30	5.5
6	50.0	50.2	120.0	0~30	5.6

2-2 実験結果

図-2 および図-3 に Case 5.6 の収録波形と相対密度 50% の場合の各ケースでの最大過剰間隙水圧の深度分布を示す。一般に地盤が液状化すると密度  $\rho_t$  の液体圧となることが知られており、ここでも入力振幅が大きくなるにつれ間隙水圧比が上昇している様子がみられ、本条件下では入力加速度 120gal で地盤中心部までが完全液状化の状態になることがわかる。

3. 地盤動特性の同定

ここでは地盤を線形モデルで表現することを考え、観測波形を等価線形系 (粘弾性体) の入出力データとみなし、この等価地盤モデルを構成する特性値の固有円振動数  $\omega_{eq}$  と粘性減衰定数  $h_{eq}$  を同定した。同定手法は多変数最小値探索法の一つである Simplex 法で、目的関数を式 (1) とした。

$$\sum_{n=1}^N \{ \ddot{x}(t)_{obs} - \ddot{x}(t)_{cal} \}^2 \rightarrow \min, \tag{1}$$

ここに、 $t : n \cdot \Delta t$ ,  $\ddot{x}(t)_{obs}$  : 観測応答加速度,  $\ddot{x}(t)_{cal}$  : 計算応答加速度

入力加速度波形、観測応答加速度波形としてそれぞれ A1、A6 を使い、これを一質点系のモデルに与えた。また液状化地盤では強い非線形性を示すので、振動継続時間に対して 2sec ずつ時間区分してそれを時刻歴方向

に0.2secずつ移動させて時間関数として $\omega_{eq}(t)$ と $h_{eq}(t)$ を同定した。

図-4には図-2示すCase5.6の実験結果から同定した $f_{eq}(=\omega_{eq}/2\pi)$ と $h_{eq}$ を示す。また、図5にはCase5.2とCase5.4について実験結果の加速度波形(A1とA6)から求めた伝達関数の時間変化と同定した固有振動数 $f_{eq}$ を比較して示す。また図には各ケースでの過剰間隙水圧発生と消散の時間を併記した。同定結果は伝達関数で推定される $f$ の変化とほぼ一致しており、模型地盤の液状化時における動特性をうまく推定できているといえる。過剰間隙水圧比 $(\Delta u/\sigma'_{vo})$ の小さいCase5.2は、 $f_{eq}$ がほとんど変化していないが、Case5.4では間隙水圧の発生と同時に地盤の剛性が劣化していく。さらにCase5.4では、間隙水圧が最大に達し消散過程に入ると $f_{eq}$ の値が大きくなり、地盤の圧密現象と同様に地盤の剛性が回復していくことがわかる。図-6には、過剰間隙水圧の蓄積過程までの同定結果として、同定時刻までの最大せん断ひずみと剛性低下率、減衰定数、および過剰間隙水圧比の関係を示し、その回帰曲線を併記した。時間関数として $f_{eq}(t)$ と $h_{eq}(t)$ を同定した場合、過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_{vo}$ が大きく、通常の等価線形解析の適用範囲をこえるようなひずみ領域に対応する動特性が推定可能となった。特に過剰間隙水圧比が0.25をこえるような場合には、減衰定数が0.4程度にまで大きくなり、通常のひずみ依存性で考えられる0.2の値を大きく上回っている。このことから液状化時の地盤の動特性を等価な物性 $(f_{eq}, h_{eq})$ で表した場合には、固有振動数よりむしろ減衰性の変化が大きく現れることがわかる。

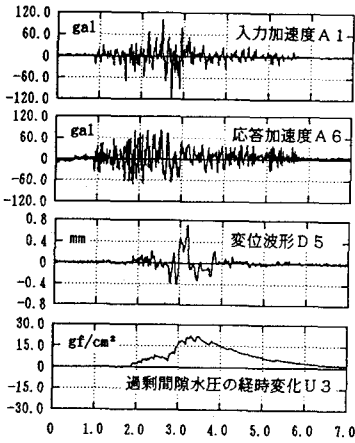


図-2 収録波形 (Case5.6)

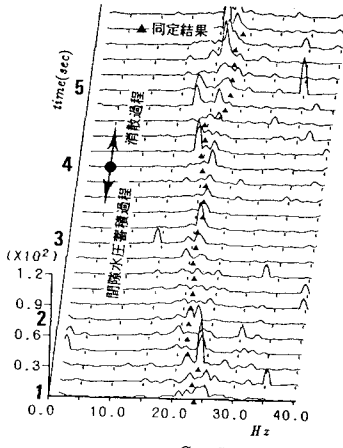


図-3 最大過剰間隙水圧の深度分布 (Dr = 50%)

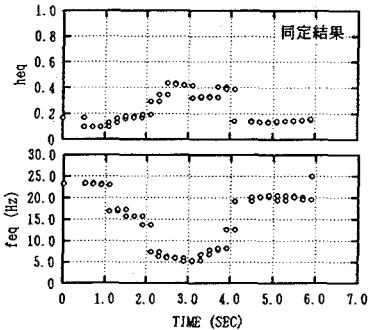


図-4 同定結果 (Case5.6)

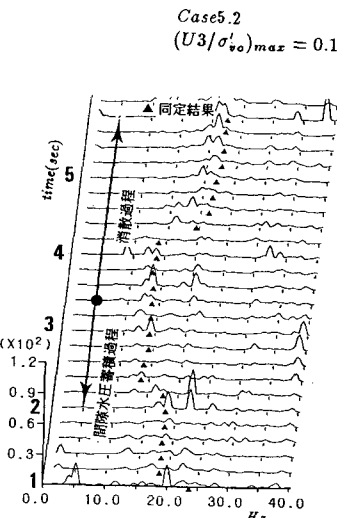


図-5 同定結果と伝達関数の比較  
Case5.4  
(U3/σ'vo)max = 0.4

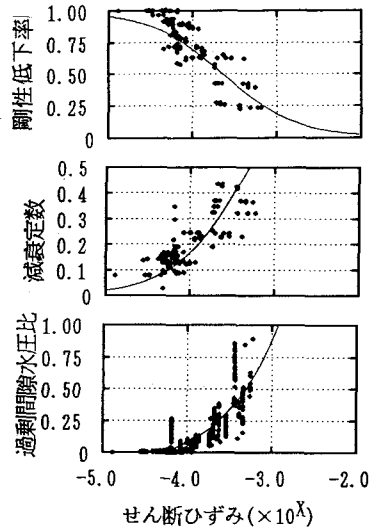


図-6 せん断ひずみ～剛性低下率  
減衰定数  
過剰間隙水圧比

参考文献

- 1) 1g場での地盤—構造物—流体系の模型振動実験の相似則：港湾技術研究所報告, Vol. 27, No.3, 1988.