

(株)奥村組 技術研究所 正会員 塚本 耕治
電算センター 正会員 森尾 敏

1. まえがき 著者ら¹⁾は、これまでに地盤の液状化におけるパイルド・ラフト基礎²⁾（ベタ基礎に沈下低減用の摩擦杭を併用した基礎）の支持力、沈下特性を明らかにするため、西らの解析手法³⁾に基づいた数値解析を実施してきた。本報告では、液状化時における摩擦杭の沈下抑制効果と基礎底面での排水条件による影響について検討したので、以下に述べる。

2. 全体の計算フロー 計算フローを図-1に示す。地震時の地盤支持力の減少に伴う摩擦杭に発生する軸力を評価するため、西らの方法に④の自重計算を追加している。

3. 解析モデルと解析ケース 解析は図-2に示す地盤モデルを対象として、次の3ケースについて実施した。

- { CASE 1 ; ベタ基礎、基礎底面は非排水条件
- { CASE 2 ; パイルド・ラフト基礎、基礎底面は非排水条件
- { CASE 3 ; パイルド・ラフト基礎、基礎底面は排水条件

上部建物は3質点モデルに、地下階・摩擦杭はビーム要素にモデル化した。解析に用いた地盤定数および摩擦杭の材料定数を表-1と表-2に示す。

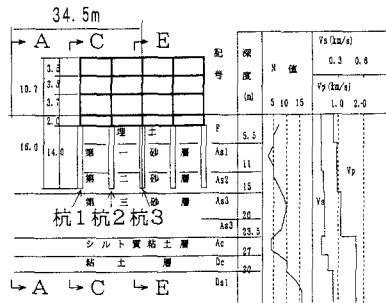


図-2 解析対象地盤

表-1 地盤定数

地層番号	土質記号	層厚(m)	単位体積重量(t/m ³)	ポアソン比	せん断弾性係数(t/m ²)
①~⑤	F	5.5	1.70	0.491	1950
⑥~⑧	AS1	3.5	1.75	0.493	2265
⑨~⑪	AS2	4.0	1.75	0.489	3540
⑫~⑭	AS3	5.0	1.80	0.490	4130
⑮	AS3	3.5	1.80	0.490	4700
⑯	AC	3.5	1.50	0.497	2590
⑰	DC	3.0	1.50	0.493	6120
半無限	DS1		1.70	0.488	12760

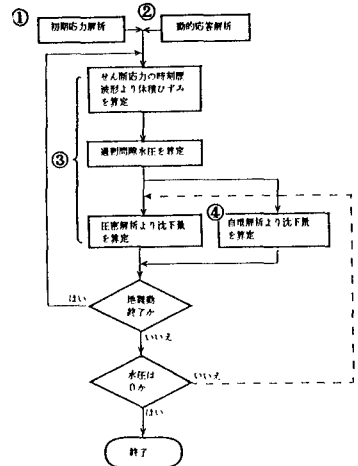


図-1 計算フロー

表-2 摩擦杭の材料定数

杭番号	ポアソン比	せん断弾性係数(t/m ²)	断面慣性矩(m ⁴)	断面2次モーメント(m ⁴)
杭1	0.3	8080000.0	0.002183	2.69
杭2	0.3	8080000.0	0.003192	7.34
杭3	0.3	8080000.0	0.003392	7.34

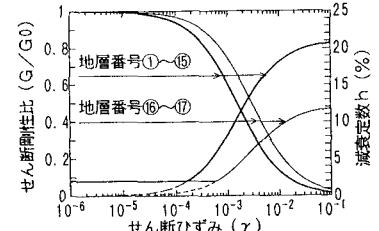


図-3 地盤物性のひずみ依存特性

4. 動的応答解析（図-1の②） せん断応力の時刻歴の算定には等価線形解析手法による解析コードSuperFLUSHを用いた。せん断弾性係数Gと減衰定数hのひずみ依存性は動的変形試験結果に基づき、図-3のように設定した。図-4は、解析に用いた加速度入力波形で最大加速度125gal（2Eで250gal）、継続時間35秒の地震波である。動的応答解析はベタ基礎とパイルド・ラフト基礎の2種類について実施した。しかし、摩擦杭の材料定数は奥行き単位幅に換算されることもあり、地盤のせん断応力の時刻歴結果には、基礎形式の違いによる差異は、ほとんど見られなかった。

5. 過剰間隙水圧の発生と消散解析（図-1の③）

5.1 計算条件 過剰間隙水圧発生モデルの各パラメータは、図-5に示すF、AS₁層の液状化試験結果（◎印）およびAS₂、

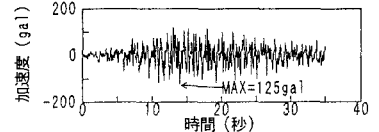


図-4 入力波形

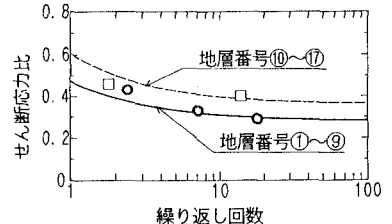


図-5 液状化強度曲線

A_{ss}層の試験結果(□印)を表せるように決定した。拘束条件としては側面を鉛直ローラに底面を固定とし、間隙水圧に対しては地表面を排水、その他のモデル境界を非排水条件とした。透水係数は全地層一定で $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ とし、砂質土のポアソン比を0.33, 粘性土には0.4を用いた。計算は地盤内の過剰間隙水圧が消散するまでの1000秒間について行った。

5. 2 計算結果と考察

(過剰間隙水圧比の深度分布について)

図-6は建物中心での過剰間隙水圧比の深度分布を各時刻について示したものである。基礎直下の地盤から液状化し、時間の経過とともに液状化の範囲は地盤深部まで拡大している。15秒後について見ると、完全液状化の領域がCASE1ではGL-10mであるのに対し、CASE2、3ではGL-15m程度と深くなっている。これは、パイルド・ラフト基礎では建物荷重の約57%を摩擦杭で支持しており、摩擦杭に挟まれた地盤は初期拘束圧が小さく液状化しやすいためである¹⁾。

(沈下量の経時変化について)

建物中心での過剰間隙水圧による沈下量の経時変化を図-7に示す。間隙水圧の消散に伴い、沈下は比例的に増加している。最終沈下量はCASE1が2cmと最も大きく、CASE3、CASE2の順に1.85cm、1.65cmとなっている。このことから摩擦杭を併用した場合にはベタ基礎の場合に比べ、20%程度の沈下抑制効果を期待できる結果となった。また、基礎底面を非排水条件にした場合より排水条件とした場合の沈下が大きくなった原因として、次の2つが考えられる。1つは基礎底面を非排水条件とした場合にその直下では上昇した水圧のために側方に水流が生じるのに対し、排水条件とした場合には上方に向かう流れが支配的で、それに伴う圧縮変形が大きいこと、もう1つは基礎底面を排水条件とした場合には地表近くでの有効応力の回復が早く、地震中に発生した間隙水圧量が大きかったことが挙げられる。

(摩擦杭の軸力変化について)

CASE2(図-8)では地盤の液状化により、杭頭で最大軸力を発生している。12.5秒後には、摩擦杭3本に生じる軸力の合計は、 67 t_f となり、建物荷重の約90%を負担することになる。また、基礎底面を排水条件にしたCASE3(図-9)の場合には、地震後の過剰間隙水の消散が早いと、早い時期に地盤支持力が回復し摩擦杭への負担が減少する様子が伺える。

6. あとがき 液状化時における摩擦杭の沈下低減効果と基礎底面での排水条件の違いによる影響について数値解析により検討した。本解析では、摩擦杭を併用すると、杭に挟まれた地盤は液状化しやすくなるという結果が得られたが、沈下の抑制効果を期待できること、また、基礎底面での排水性を良くすれば、液状化後の摩擦杭への支持力負担が軽減できることが確認された。現在、静的な建物沈下や摩擦杭の支持力特性についても検討中である。

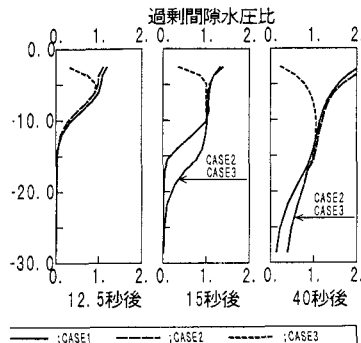


図-6 過剰間隙水圧比の深度分布

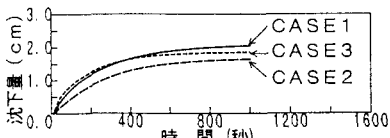


図-7 建物沈下の経時変化

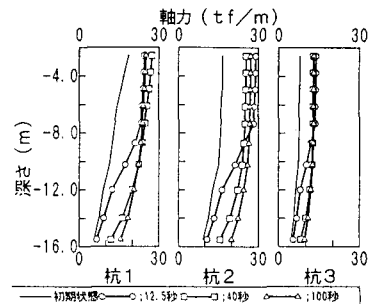


図-8 摩擦杭の軸力分布(CASE2)

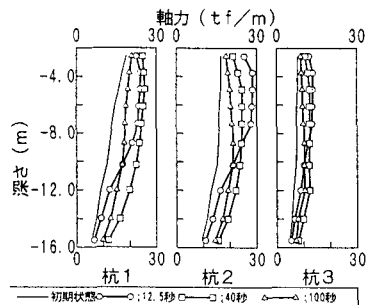


図-9 摩擦杭の軸力分布(CASE3)

(参考文献)

- 1) 塚本ほか(1994)地盤の液状化時におけるパイル・ラフト基礎の残留沈下解析、第29回土質研究発表会
- 2) 山田ほか(1993)パイルド・ラフト基礎の沈下挙動と解析、第28回土質工学研究発表会
- 3) 西 ほか(1986)「地震時における基礎地盤の安定性評価(その1)動的解析に基づく砂・砂礫地盤の安定性評価手法の開発」電中研究報告 U86002