

杭基礎が地盤の液状化に及ぼす効果に関する一考察

京都大学工学部 正員 山田善一

京都大学工学部 正員 古川浩平

京都大学大学院 学生員 大脇 崇

1. まえがき 地震発生時に液状化を起こす恐れのある軟弱地盤に築かれた杭基礎が地盤の液状化に及ぼす効果に関しては不明な点が多い。本研究では有限要素法によってモデル化した杭基礎-地盤系と液状化モデルを組み合わせシミュレーションを行ない、地盤の液状化に及ぼす杭基礎の効果について考察した。

2. 液状化モデルと地盤の劣化 液状化モデルとして兵動¹⁾の方法を取り入れた。すなわち Seed による実験式
$$\frac{u}{\sigma'_v} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cdot \sin^{-1} \{ 2r_n^{1.4} - 1 \}$$
における等価繰り返し回数比 r_n をせん断応力の実効値の82%で評価するものである。したがって等価せん断応力は各サイクルごとに $\tau_{eq} = 0.82 \sqrt{\frac{\sum [x_i(t)]^2}{n}}$ を求め Fig.1 より r_n を得る。

地盤の剛性率は間隙水圧上昇に伴う有効応力の低下とせん断ひずみの双方に依存するものとし、Fig.2より得られる K_2 なる値を $G = 69.27 K_2 (\sigma'_m)^{1/2}$ に代入して求める。

減衰定数はせん断ひずみにのみ依存するとして Fig.3より求めることにする。尚、砂の相対密度は一定で45~50%とする。

3. 動的応答解析 杭基礎-地盤系を有限要素法によってモデル化し、Fig.4のように地盤を長方形平面要素、杭をはり要素に分割した。また、応答計算は固有値解析によって得られる非連成方程式をニューマークの β 法で解いて行なった。さらにいま考えているような液状化の恐れのある地盤では各要素で減衰定数の変化が異なるので要素ごとに異なった減衰定数をもつ減衰行列[C]を作ることを考えた。減衰行列は内部粘性減衰を考え、Voigt型の粘弾性モデルに置きかえる²⁾。 $[k]$ も各要素の剛性マトリクスとすると減衰マトリクスは $[c] = \alpha [k]$ 、補助係数 α は各要素の減衰定数 γ とポアソン比 ν によって

$$\alpha = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{\omega(1-\nu)} \cdot \sin \tan^{-1}(2h)$$
で得られる。 ω を第一次の固有円振動数にとれば、Fig.3から得られる減衰定数 γ をもとにして各要素の減衰マトリクス $[c]^e$ が求められる。これを全体系に組み込んで[C]を作る。固有値計算は減衰を無視して行ない、得られたモーダルマトリクス $[Q]$ によって $[Q]^T[C][Q]$ を計算しその対角成分のみを取り出して非連成方程式に代入するという操作を行なった。

間隙水圧の上昇は各サイクル(基本固有周期)の応答が終了するごとに起こるものとし

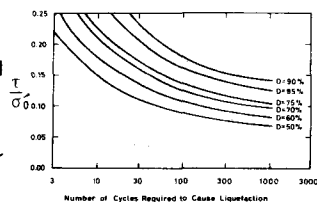


Fig.1

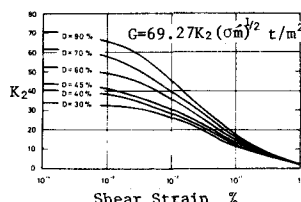


Fig.2

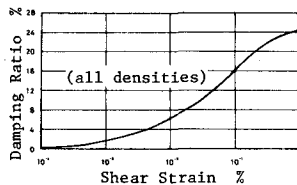


Fig.3

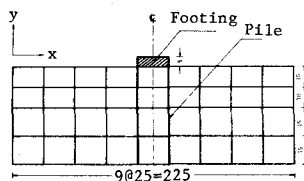


Fig.4

それに伴う剛性率や減衰定数の急激な変化もおきなうために各サイクル内で繰り返し計算を実行した。そのフローチャートをFig.5に示した。また、計算を安定させるために液状化時の有効応力を初期有効応力の1%とした。

4. 解析例と考察 El Centro NS成分を最大加速度200 galに修正して入力地震波に用いた場合の計算結果をFig.6,7に示した。Fig.6は杭のない場合の最上層中央の応答。Fig.7は杭のある場合の杭頭および杭間要素の応答である。これらを比べて次のような考察ができる。

(1) Fig.7のように杭を導入しても杭間の地盤では間隙水圧比が上昇して杭のない場合と同様に1.0に達している。したがって、地震発生後の数秒間は杭の応答が地盤の応答に支配されるので、それによって生じる繰り返しせん断応力は間隙水圧を蓄積するのに充分であり、たとえ杭によって拘束されていても飽和条件によっては液状化の可能性が充分あることになる。その意味では、杭は液状化そのものの防止にはそれほど有効でないと考えられる。

(2) 杭頭の応答加速度を見ると(Fig.7)、液状化後に液状化層から受ける水平力はかなり減少してほとんど杭自身の剛性によって応答していることがわかる。しかも、このモデルでは液状化後も地盤の平面要素は杭のハリ要素と密着しているものとして扱っており、実際には液状化層が杭に及ぼす水平力はより小さいものと思われる。したがって、ある程度の剛性を持つ杭基礎を用いることによって液状化しても上部構造物の転倒を防止することが可能であると考えられる。

以上のほかに杭基礎周辺の地盤では、液状化後の応答加速度が、杭のない場合に比べて卓越周期が短くなるなどの傾向も認められた。

5. おわりに 本解析では、圧密については考慮せず非排水条件で解析を行なったが、圧密も考慮し、あるいはもっと多くの地震波に対して検討を加える必要があると考ええる。

<参考文献> 1) 山内, 兵衛, 後藤: 砂地盤の液状化過程における応答解析, 第14回土質工学会発表会講演集, E-8, pp.1307-1312, 1979年。 2) 土質工学会編: 土と構造物の動的相互作用, 第4章第4節, pp.165-257, 1973年10月。

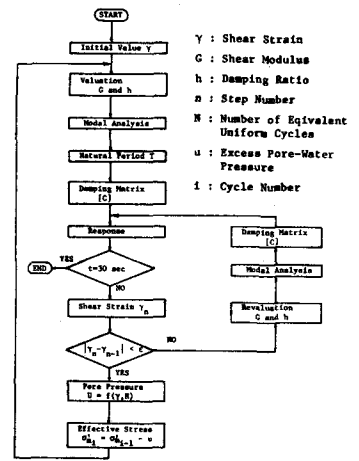


Fig.5 flow chart

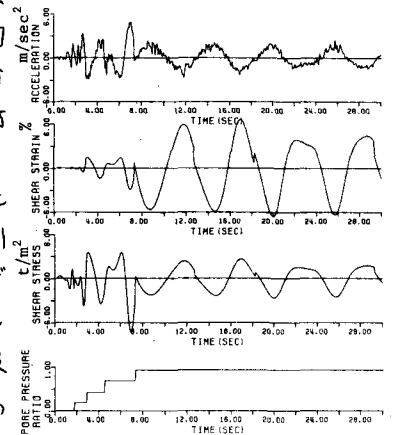


Fig.6 without piles

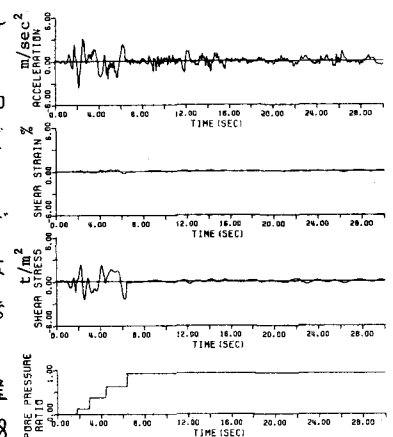


Fig.7 with piles