

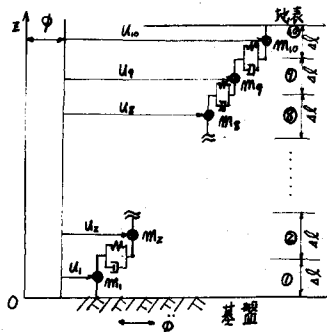
九州大学工学部 正員 山内 豊隆
 " " 後藤 忠之輔
 九州大学大学院 学生員 〇兵動 正幸

1. まえがき

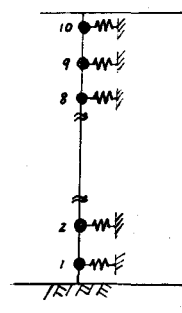
地震時の飽和砂の液状化に関する研究では、作用外力として地盤加速度あるいは繰返しセン断応力を取り取られている。Seed・Idriss(1971)は、この両者の関係を明らかにするものとして、最大地表加速度から繰返しセン断応力を算定する方法を示し、これを一様な外力として液状化の予測を行なった。また、石原・安田(1975)は、実際の地震記録を用いた室内実験結果から換算係数を示し、この関係をより明らかにした。しかし、実際、間引き水圧の上昇に伴って地盤の振動性状が変化するため、地盤加速度やセン断応力を初期の地盤の状態で一義的に決定することは、多少無理があるのではないかとと思われる。筆者らは前報¹⁾において、液状化防止に対する杭の有効性が、杭の地下速散減衰作用による加速度の減少にあると考え、減衰定数の違いによる液状化発生状態の差違を示した。今回はさらに、過剰間引き水圧の発生に伴って刻々変化する地盤の振動性状および地盤諸定数を追跡しつつ、地盤の各状態における応答加速度を求め、これを作用外力として液状化の基本式に逐次取り入れ、過剰間引き水圧の値を算定した。また同時に、地中のセン断応力の道を概算し、過剰間引き水圧の発生に伴う変化の状況を調べた。

2. 地盤加速度について

地盤と杭を、図-1,2に示すように10個の要素に等分割し、その中点に質量が集中するものとして多質点系にモデル化した。地盤は、厚さ20mで各質点がバネ・ダッシュポット系によって接続されていると仮定した。また杭は場所打ちコンクリート杭で、先端が基礎に支持されている状態を想定した。地震による外力として基礎から正弦波が加わるものとして、その加速度振幅は2.0秒後に一定値50gal



(図-1) 地盤の多質点系モデル



(図-2) 杭の多質点系モデル

に達し、それまでは直線的に増大するものと仮定した。また、入力の変数周数を0.5Hzとした。応答計算には振動型解析法を使って定常解を求めた。また、杭周辺の地盤は、杭と同じ挙動をするものと仮定し、杭が入った地盤では杭の応答加速度をもって地盤加速度とした。

3. 地盤の弾性定数の決定

地盤の動的セン断弾性定数 G はRichart²⁾により求められた次の実験式を用いた。

$$G = \frac{2205(Z/17 - e)^2}{1 + e} \sqrt{\sigma'_m} \quad (1)$$

ここに σ'_m は平均有効主応力であり、 $\sigma'_m = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)$ で表わされる。この場合には $\sigma'_1 = \sigma'_2 = K_0 \sigma'_3$ 、 $\sigma'_m = (1 + 2K_0)\sigma'_3/3$ となる。 K_0 は土圧係数であり、 σ'_3 は鉛直有効応力を表わす。したがって(1)式から、過剰間引き水圧発生による σ'_3 の低下に伴い、 G が減少していくことが想像できる。また、図-1において、 u と v の要素の中での G の値が一定であると仮定すれば、各要素のバネ定数 K_i ($i=1, 2, \dots, 9$)は次のように表わされる。

$$K_i = G_i / \Delta l \quad (i=1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

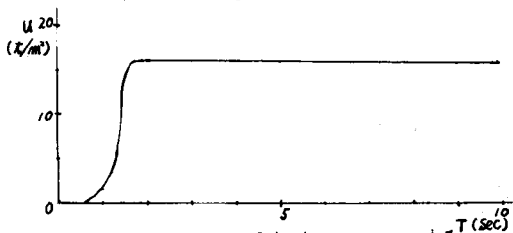
次に杭に対する地盤の横方向反力係数は、三次元波動理論により R を杭の半径として次のようになる。

$$K_R = 7\pi G/4r$$

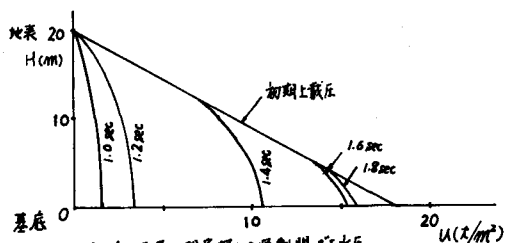
(3)

4. 計算結果および考察

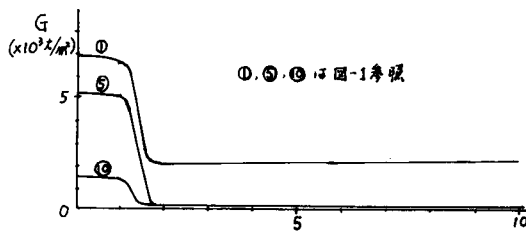
図-3, 4に過剰間げき水圧の発生状況を示す。図-5は、地盤のせん断弾性定数の時間的変化を示している。図-3, 5からせん断弾性定数が過剰間げき水圧の発生により急激に低下している状況がわかる。ただし、実際は完全液状化状態になると拘束圧が失われてしまうが、この場合計算の都合上拘束圧に下限をもうけ、その値を 0.01 t/m^2 とした。図-6から地盤の振動型の時間的推移がうみとれる。図-7は、表層地盤の固有円振動数の時間的変化を示すもので、図中一点鎖線は入力の円振動数である。地盤はこの入力の円振動数と液状化発生に伴って減少する地盤の固有円振動数との交点で共振状態に入り、このとき地盤加速度は極めて増大している。また、地盤・杭系の固有円振動数の初期値は、地盤のそれより大きな値を示し、杭のない場合より共振点から遠ざかるため、同じ入力に対しては応答がより小さく、杭の効果はこのような意味でとらえることもできよう。図-8は、地中のせん断応力の変化の様子を示している。図-3との対応でわかるように、過剰間げき水圧とせん断応力と、それぞれピークに到達する時間がほぼ一致していることがみうけられる。また、せん断応力が液状化発生後も高い値として残っているのは、この計算において地盤が液状化時にほぼ共振状態となって地盤加速度が大きくなっているためと思われる。なお、図はすべて杭のない地盤についての計算結果であり、杭のある場合については講演時に発表する予定である。



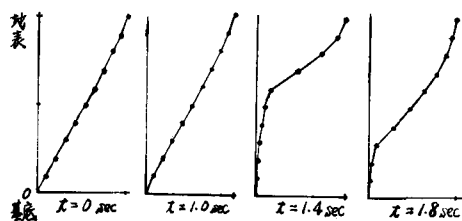
(図-3) 厚20m表層地盤底部の過剰間げき水圧



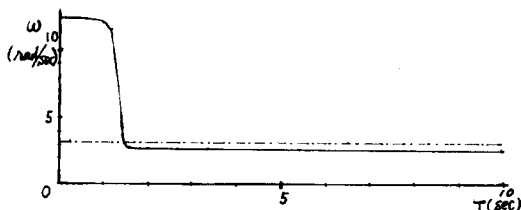
(図-4) 表層地盤表面の過剰間げき水圧



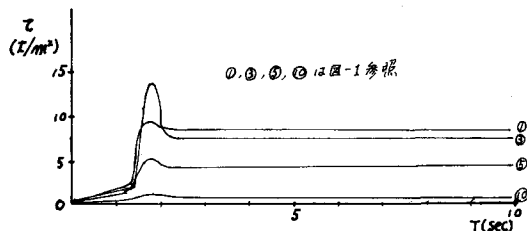
(図-5) セン断弾性定数の時間的変化



(図-6) 地盤の振動型



(図-7) 表層地盤の固有円振動数の時間的変化



(図-8) 地中せん断応力の時間的変化

参考文献 1) 山内豊昭・兵動正章：砂の液状化に対する杭の作用について，土木学会第30回年次学術講演会講演要録集，PP.108～109

2) 長島 勝：飽和砂の液状化に関する理論的研究，土木学会論文報告集，第184号，1970.12，PP.79～89

3) 土質工学会編：土と構造物の動的相互作用，1974，PP.19～20