

九州大学工学部 正員 山内豊隆
後藤恵之輔
学生員 〇兵衛正幸

1. まえがき

砂地盤の液状化に関しては、現在まで個々の室内実験結果からその発生機構や現象を支配する諸要因について、多くの点が解明されてきた。また、地震時の地盤の挙動を左右する地盤の剛性率や減衰定数などが、液状化による有効拘束圧の低下、ヒズミの増大などによって変化していくことも知られている。しかし、現状ではかかる諸事実を十分に包摂した定式が存在しないので、液状化を生ずる地盤の挙動を正確に把握することは困難なことである。しかるに、地盤の液状化を判定する上において、地盤に作用する外力をより正確に評価することは重要なことであり、この操作は上記の事柄を踏まえた応答解析により行なう必要があると思われる。本文は、液状化発生地盤の挙動の解析を試みたものであるが、解析にあたっては表層地盤を多層に分割して集中質量モデルを採用し、その弾性定数を有効拘束圧と間ゲキ比の関数で表わして、液状化に伴う両者の深さ方向と時間変化に對照している。その結果、表層地盤の液状化発生に伴う面有振動数と振動型の時間的変換傾向が把握できたので、ここに報告するものである。

2. 解析方法

図-1に示すように表層地盤を25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た多質点系モデルに置換し、セン断振動に対する評価を行なった。バネ定数 K_i ($i=1, 2, \dots, 25$)は、地盤の剛性率 G と次のような関係を持つ。 $K_i = G_i / \Delta l$ ----- (1)

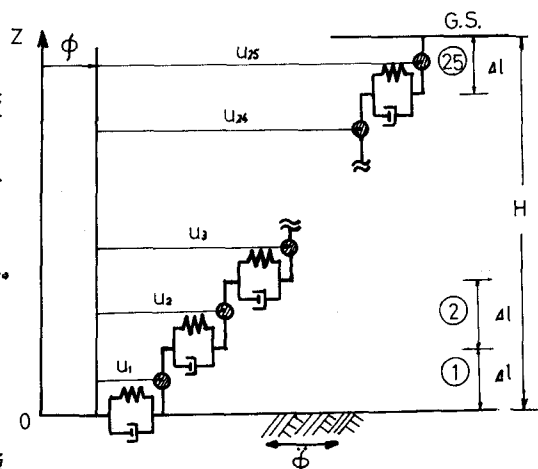
地盤の剛性率は次に示すRichartの実験式²⁾を使用した。

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

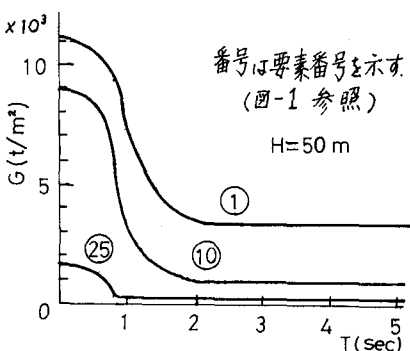
ここに σ'_m は平均有効主応力、 e は間ゲキ比である。

液状化に伴う σ'_m の低下に對照する過剰間ゲキ水圧の値は、その発生機構を地盤加速度による砂粒子の構造崩壊に起因するとして導かれた液状化の基本式²⁾から求め、地盤加速度には応答解析による結果を適用した。また、間ゲキ比は過剰間ゲキ水圧 u の変化に對する間ゲキ率 λ の变化を表わす次式²⁾に基づいて変化させた。

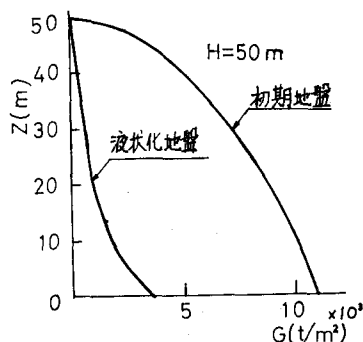
$$\lambda(z, t + \Delta t) = \lambda(z, t) \left[1 + \frac{k}{2\lambda_w} \times \frac{\partial u}{\partial z^2}(z, t) \Delta t - \frac{\beta}{2} \frac{\partial u}{\partial t}(z, t) \Delta t \right] \text{ ----- (3)}$$



(図-1) 地盤の集中質量モデル



(図-2) 地盤の剛性率の時間的変化



(図-3) 剛性率の深さ分布

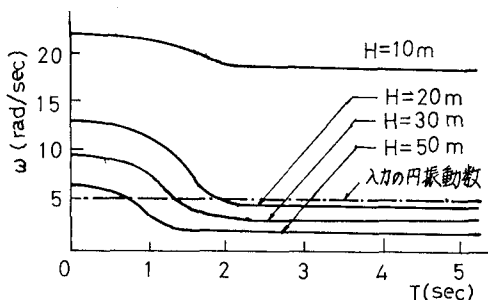
ここに、 k は透水係数、 β は水の体積圧縮率、 γ_w は水の単位体積重量を表す。基礎における入力加速度は加振開始後2.0秒で一定値50 galに達しそれまでは直線的に増大する正弦波を仮定し、入力円振動数は一定値5 rad/secとした。以上の点を考慮して地盤の応答解析を行なったわけであるが、諸定数の時間的変化に対しては、まず初期値を与え次に時間を0.01秒刻みに分割してその時間間隔を繰返し計算を行なった。応答解析にはModal Analysisを用い、地盤の固有振動数と振動型の変化も逐次追跡した。

3. 計算結果および考察

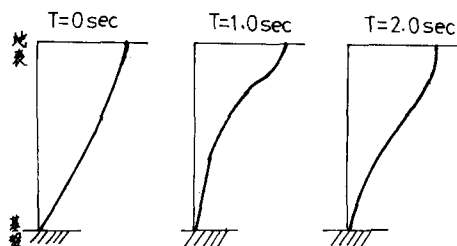
表層地盤厚50m, 30m, 20m, 10mの4通りの場合について計算を行なった。計算に使用した砂の物理的諸量は次のとおりである。 k : 0.01 m/sec, M_v (体積圧縮率): 9×10^{-4} / γ_w , G_0 (比重): 2.60, λ_0 (初期間げき率): 0.44。図-2, 3に地盤厚50mの場合の剛性率の時間的変化を示す。図-4は表層地盤の固有円振動数の時間的変化を示している。当然のことながら表層地盤が厚い程固有円振動数は小さくなるが、図からわかるように地盤厚50mの場合が初期状態で最も入力円振動数に近く、ついで30m, 20m, 10mの順になっている。したがって、共振帯付近で応答が増大することを考えるならば、地盤厚50mの場合が最初最も大きな加速度を持つことがうかがえる。さらに、地盤厚10mを除く他の3つの場合は、いずれも液状化によって固有円振動数が急減し入力円振動数と一致するところが存在しており、極めて危険な状態を経ていることがわかる。図-5に地盤の振動型が変化していく様子を示している。この変化は主として図-3に示した地盤の剛性率の深さ分布に対応するものであるが、形状の特徴を見るに、 $T=1.0$ sec付近からまず下部の動きに比べて上部の動きが大きくなり、さらに時間が経つにつれて下部の動きも大きくなってきていることがわかる。図-6は地表の応答加速度であり、地盤厚20m, 30m, 50mの場合について共振点でピークがでてくることが認められる。図-7は、各表層厚における表層最下部の過剰間げき水圧を示したものである。これから液状化度を求めると、地盤厚50mで89%, 30mの場合で84%, 20mの場合で83%, 10mの場合では3%となる。この結果は、10mの場合を除いてほぼ似たような値を示しており、10mの場合だけが特殊化されたのは、図-4, 6にみられるように地盤が終始共振点から大きく離れた状態にあり、地盤加速度が他の3つの場合に比べてかなり低かったためと考えられる。

参考文献 1) 土質工学会編: 土と構造物の動的相互作用, 1973, PP. 19~20.

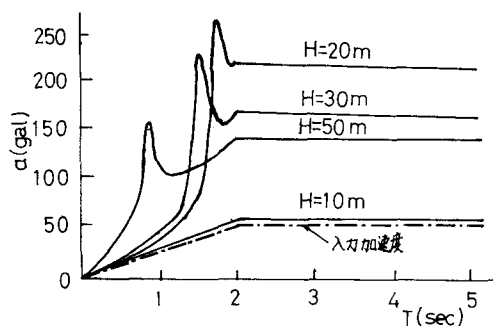
2) 尾島勝: 飽和砂の液状化機構に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第184号, 1970, 12, PP. 79~90.



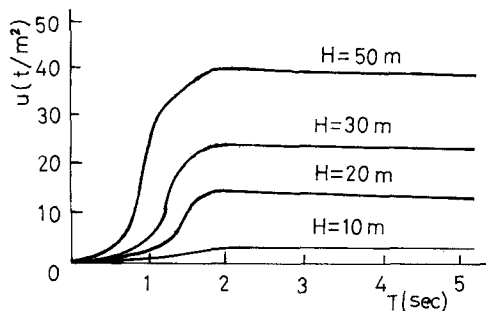
(図-4) 地盤の固有円振動数の時間的変化



(図-5) 地盤の振動型



(図-6) 地表面の応答加速度



(図-7) 表層最下部における過剰間げき水圧