

○ 東京大学大学院 学 東畑郁生
東京大学工学部 正 石原研而

1 まえがき 水で飽和した砂地盤の地震応答計算の特徴は、間隙水圧の発生と有効応力の低下に伴う、剪断定数の減少を考慮せねばならない事である。本研究では、振動する剛体基盤に載った無限に広がる水平な砂地盤を対象として、計算を行なった。

2 体積ヒズミと圧力 砂の体積ヒズミ v は、有効応力の変化による成分 v_p と、剪断、ダイレイタンシーによる成分 v_s との和である、と仮定する。

$$v = v_p + v_s \quad (a)$$

v_p は有効応力が一定である限りは0に等しく、 v_s は剪断変形の結果であって排水非排水には無関係である。非排水剪断では $v = 0$ だから、 $v_s = -v_p$ である。定数 C と有効応力の変化量 $\Delta\sigma'$ を用いて $v_p = C\Delta\sigma'$ と表わせば、非排水剪断時の $\Delta\sigma'$ は測定できるから、任意の剪断変形に伴う v_s も推定できる。水平な砂地盤では v と鉛直ヒズミは等しい、と考えてよいので、 v としては鉛直有効応力 σ_z が適当である。本研究では、龍岡と安田による、中空ねじり剪断に適用した弾塑性モデルを用いて、 v_s を推定した。さて透水性の地盤では必ずしも v は0でない。鉛直下向きに z 軸を設け、砂の鉛直上向き変位を w で表わすと、 $v = \frac{\partial w}{\partial z}$ (圧縮正)となるので、(a)より、

$$\frac{\partial w}{\partial z} = C\Delta\sigma_z + v_s$$

砂の鉛直上向き速度 $W = \frac{\partial w}{\partial t}$ 、鉛直方向全応力 σ 、間隙水圧 P を導入し、上式を時刻 t で微分すると、

$$\frac{\partial W}{\partial z} = C \left(\frac{\partial \sigma}{\partial t} - \frac{\partial P}{\partial t} \right) + \frac{\partial v_s}{\partial t} \quad (b)$$

間隙水は砂中を流れており、砂に対する水の見かけの速度を Q 、間隙率を n とおくと、水の真の速度は $W + \frac{\partial Q}{\partial t}$ である。ここで流れの連続条件式、C.P. Liouの用いた砂全体と間隙水の運動方程式を示すと、

$$\frac{\partial W}{\partial z} + \frac{\partial Q}{\partial z} = 0 \quad (c)$$

$$\rho \frac{\partial W}{\partial t} + n \rho_w \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{n} \right) = \frac{\partial \sigma}{\partial z} - \rho g \quad (d)$$

$$n \rho_w \frac{\partial W}{\partial t} + n \rho_w \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{n} \right) + \frac{n \rho_w g}{k} Q - \frac{\partial}{\partial z} (n P) = -n \rho_w g \quad (e)$$

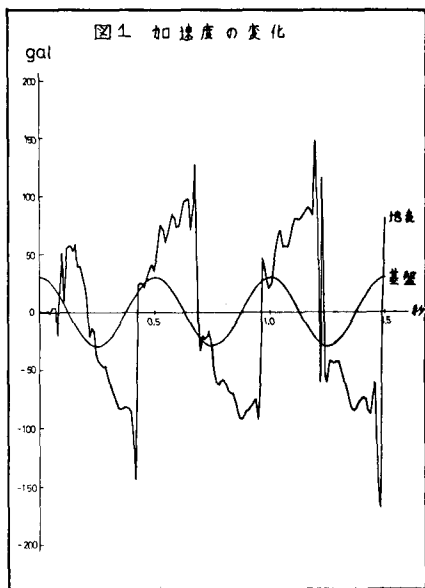
ここで、 ρ は土の密度、 ρ_w は水の密度、 g は重力加速度である。

3 計算の手順 飽和砂層の剪断履歴は v_s を通じて有効応力に影響し、そのために剪断定数が変化する。従って剪断変形の時間変化を追う過程で、時々刻々に剪断定数を修正せねばならない。ここでは、以下のよう手順を用いた。

- ① 静止した状態を想定して、 σ 、 P 、 W 、 Q 、剪断応力 τ 、剪断ヒズミ γ 、剪断定数等の初期値を定める。
- ② 有限要素法を用いて、微小時間 Δt 後の新しい σ 、 τ を求める。 τ と γ の関係としては、初期載荷、履歴ループのいずれについても、双曲線を用いる。
- ③ 新旧の τ を弾塑性モデルに適用して、地盤中の $\frac{\partial v_s}{\partial t}$ の分布を求める。
- ④ 重み付き残差法に従って(b)~(e)を解き、新しい σ 、 P 、 W 、 Q を求める。
- ⑤ 新しい有効応力 $\sigma - P$ を用いて、微小ヒズミに於ける剪断定数 G_{max} を修正する。 G_{max} は有効応力の平方根に比例するものとする。

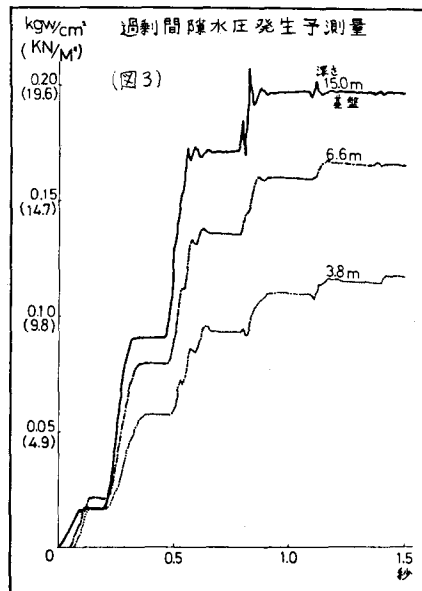
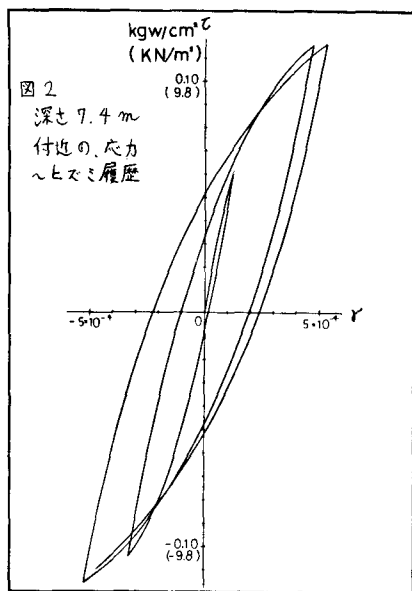
⑥②に行く。

4 計算例 対象とした地盤は、厚さ15mのゆるい砂層で、地下水面は地表面と一致している。透水係数は



0.01 $\frac{cm}{sec}$ 、間隙率は0.4、式(6)中のCは、 G_{max} の初期値 G_{max}^0 を用いて、 $C = 0.4 / G_{max}^0$ と推定した。剛体基礎から2 Hz、30ガルの正弦波が上向きに伝わって来た時の挙動を求めたところ、図2のような材料非線形性のために、地表での加速度は図1のような変化を示した。地表での加速度が最大値150ガルに達しているのに、砂のヒズミ振幅は 5×10^{-4} 程度にすぎないのは、面白い。また、弾塑性モデルでは、砂が塑性変形を起こしている時のみ過剰間隙水圧が発生する、と考えるので、図3は階段状となった。

以上が現在迄の結果であるが、今後は大型振動台を用いて実験を行ない、その記録と計算値とを比べてみよう、と考えている。



参考文献

- Liou, C.P. (1977): Numerical Model for Liquefaction. Proc. of A.S.C.E. vol.103 No. GT6, 589~606
- Ishihara, K., Lysmer, J., Yasuda, S., and Hirao, H. (1976): Prediction of Liquefaction in Sand Deposits during Earthquakes. Soils and Foundations vol.16, No.1, 1~16