

清水建設 大崎研究室 正員 ○ 楠本 太
同 正員 近藤 司
同 正員 渡辺浩平

1. はじめに

地盤を土粒子骨格部分と間隙水部分の二相系でモデル化する手法は、地盤の体積ひずみの影響を考慮する必要のある弾塑性応答解析や液状化解析などに有効な手法であると考えられる。本報告は、既報¹⁾に続き、二相系地盤モデルによる動的解析についての基礎的資料を得ることを目的として検討を行ったものであり、ここでは地盤の圧縮性、非圧縮性による動的解析結果について報告する。

2. 運動方程式

運動方程式は、式-(1)のものとした。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}^s & \mathbf{o} \\ \mathbf{o} & \mathbf{M}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}^s \\ \ddot{\mathbf{u}}^f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}^{ss} & \mathbf{C}^{sf} \\ \mathbf{C}^{fs} & \mathbf{C}^{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{u}}^s \\ \dot{\mathbf{u}}^f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{o} \\ \mathbf{o} & \mathbf{o} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}^s \\ \mathbf{u}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F}^s \\ \mathbf{F}^f \end{bmatrix} \quad (1)$$

添字sは土粒子骨格部分、fは間隙水部分を示す。Mは質量、Kは剛性マトリックスである。Cは、地盤の透水性および体積変化を評価したマトリックスである。また、過剰間隙水圧 p は、土粒子骨格および間隙水部分の体積ひずみ $\varepsilon_v^s, \varepsilon_v^f$ を用いて、式-(2)により算定する。なお、数値解析はNewmarkの β 法を用いた。

$$p = -K_v((\alpha - n)\varepsilon_v^s + n\varepsilon_v^f) \quad \frac{1}{K_v} = \frac{n}{K_f} + \frac{\alpha - n}{K_s} \quad (2)$$

K_s, K_f は、土粒子および間隙水自身の体積圧縮係数、 n は間隙率、 α は体積圧縮に関わる定数である。

3. 地盤の圧縮性、非圧縮性の定数設定

地盤の圧縮性、非圧縮性は、式-(2)における K_v 値によって設定することができる。すなわち、土粒子および間隙水自身の体積圧縮係数 K_s, K_f に実際の測定値を代入して K_v 値を設定すれば圧縮性を、 K_s, K_f を無限大と考え K_v 値を無限大とすれば非圧縮性地盤を表現することになる。

ここでは、 $K_v = 4.19 \times 10^5 \text{ t/m}^2$ ($K_s = 3.70 \times 10^6 \text{ t/m}^2$, $K_f = 2.08 \times 10^5 \text{ t/m}^2$)を圧縮性地盤、 $K_v = 1.0 \times 10^{10} \text{ t/m}^2$ を非圧縮性地盤とした。

4. 解析モデルおよび解析ケース

解析モデルは、図-1に示す飽和土柱地盤とする。地盤物性は、土粒子および間隙水の単位体積重量 γ は2.0, 1.0 t/m³、ポアソン比 ν は0.4、間隙率 n は0.41、せん断波速度 V_s は150.0 m/sとした。

解析ケースは透水係数 k をパラメータとして表-1に示す8ケースとした。また、入力地震波はEL-CENTRO, N-S成分、入力最大加速度は150 galとした。

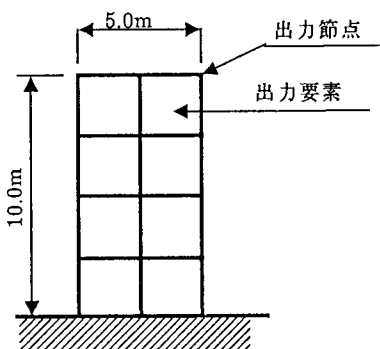


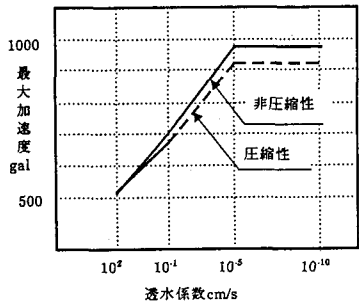
図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

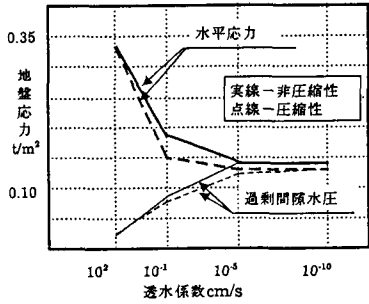
透水係数	1.0×10^2 (cm/s)	1.0×10^{-1} (cm/s)	1.0×10^{-5} (cm/s)	1.0×10^{-10} (cm/s)
地盤モデル				
圧縮性地盤	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
非圧縮性地盤	ケース11	ケース12	ケース13	ケース14

5. 解析結果

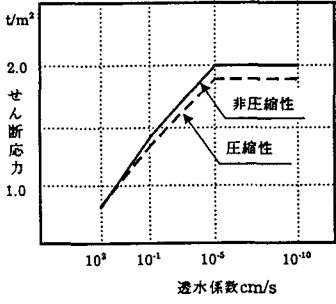
図一2に各々のケースの最大加速度を示す。この図より、透水係数が小さくなる程最大加速度は大きくなる傾向にあり、また、圧縮性、非圧縮性の比較では非圧縮性とした方が加速度は大きく、その傾向は、透水係数が小さくなる程つまり地盤が非排水状態になる程、大きくなることからわかる。図一3に水平応力と過剰間隙水圧およびせん断応力の最大値を示す。圧縮性、非圧縮性の比較では加速度と同様に3成分とも非圧縮性の方が大きくなる傾向にある。また、透水係数による比較では、水平応力は透水係数が小さくなる程小さくなり、透水係数が $k=1.0^{-5} \sim k=1.0^{-10} \text{cm/s}$ では、動的増加応力=間隙水圧となる。また、せん断応力、間隙水圧は透水係数が小さくなる程大きくなる傾向にある。



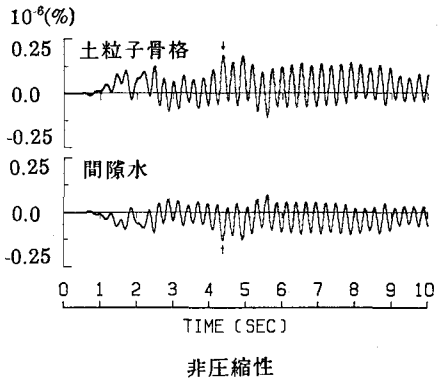
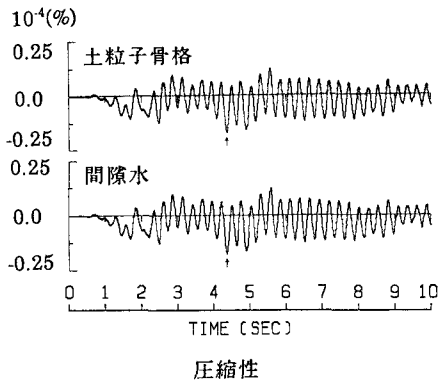
図一2 最大加速度



図一3 地盤応力の最大値



つぎに、圧縮性、非圧縮性による間隙水圧発生の差異を検討するために、非排水状態に近い場合(ケース3と13)の土粒子骨格と間隙水部分の体積ひずみ波形を比較する。図一4に示すように、地盤を圧縮性としたケース3では両体積ひずみは同位相、非圧縮性としたケース13では逆位相となっている。このことより、地盤を圧縮性とする地盤の体積変化は土粒子および水自身の体積変化を示し、それに対応する間隙水圧が発生していることになる。それに対し、非圧縮性と仮定すれば、地盤の体積変化は、ほぼ排水状況のみに依存し、両者の差異が間隙水圧に変換されていると考えられる。



図一4 体積ひずみ波形

6. おわりに

地盤の圧縮性、非圧縮性について二相系地盤モデルによりその特性を明らかにした。今後は地盤の非線形挙動についても検討を加える予定である。

参考文献

- 1) 楠他「二相系地盤モデルの動的解析に及ぼす地盤定数の影響について」第20回土質工学研究発表会