

1. まえがき

地中の耐震構造物を設計する場合、地震時における地中の応力、ひずみ、速度や間げき水圧等を推定しておくことは重要である。特に、間げき水圧の発生は飽和土の場合、有効応力を減少させる原因にもなる。また、地震記録のほとんどは地表でとれたものであり、地中での記録はまれである。本報告は、層状の粘性土地盤を対象とし、地表面での振動より地中での地盤の運動を推定したものである。

2. 地盤の構成関係と応力状態

地盤のモデルは図-1のような場合を考える。さらに、地盤の初期応力状態として K_0 -圧密状態を仮定する。

$$\sigma'_{11(0)}, \sigma'_{22(0)} = K_0 \sigma'_{33(0)}, \sigma'_{33(0)} = K_0 \sigma'_{11(0)} \quad (1)$$

σ'_{ij} : 有効応力テンソル (0): 初期状態であることを示す。LKがって、

$$\sigma'_{ij} = \sigma'_{ij(0)} + \Delta \sigma'_{ij} \quad (2), \quad \Delta \sigma'_{ij} = \Delta \sigma'_{ij} - \Delta u \delta_{ij} \quad (3)$$

運動方程式

圧縮を正とすると、 x_2 方向の運動方程式ならびに、ひずみと変位の関係は、(4)と(5)であらわされる。

$$\rho \partial^2 u_2 / \partial t^2 = -(\partial \sigma'_{11} / \partial x_1 + \partial \sigma'_{22} / \partial x_2 + \partial \sigma'_{33} / \partial x_3) \quad (4)$$

$$-e_{12} = \frac{1}{2} (\partial u_1 / \partial x_1 + \partial u_2 / \partial x_2) \quad (5) \quad (u_i: \text{速度ベクトル成分}, u_i: \text{変位ベクトル成分}, \sigma'_{ij}: \text{応力テンソル})$$

ϵ_{ij} : 微小ひずみテンソル (4)と(5)の近似として、右辺オ-項のみ残すと、 x_1 方向の一次元問題となる。

$$\rho \partial^2 u_2 / \partial t^2 = -\partial \sigma'_{12} / \partial x_1 \quad (4') \quad -e_{12} = \frac{1}{2} \partial u_2 / \partial x_1 \quad (5')$$

応力-ひずみ関係

弾性層(表層)は線形弾性体と仮定する。 $\sigma'_{ij} = \lambda e_{kk} \delta_{ij} + 2\mu e_{ij}$, $e_{kk} = 0$ と仮定して、 $\sigma'_{12} = 2\mu e_{12}$ (6)

弾-粘塑性層においては、

$$\dot{e}_{ij} = \gamma_i \dot{\sigma}_{ij} + \frac{1}{2} \gamma_{12} \dot{\sigma}_{12} \frac{\sigma_{12}}{\sqrt{e_{12}}} + \beta^{(1)} \left\{ M^* - \frac{\sqrt{e_{12}}}{\sigma_m^{(1)}} + M^* \ln \sigma_m^{(1)} / \sigma_m^{(1)} \right\} \frac{1}{2} \dot{\sigma}_{ij} \quad (7)$$

(7)は、すでに報告している粘性土の応力-ひずみ関係を異方圧密時に対称拡大適用し得たものである。LKがって、静的降伏

$$\text{面} \sigma_s = 0 \text{ は, } \sigma_s = \pm (\sqrt{e_{12}} / \sigma_m^{(1)} - \sqrt{e_{12}} / \sigma_m^{(1)}) + M^* \ln \sigma_m^{(1)} / \sigma_m^{(1)} = 0 \quad (8)$$

(7)における $(\sigma_m^{(1)}, \sqrt{e_{12}})$ は動態時と等しい粘塑性体積ひずみを持つ静的経路上の点である。

$$\sigma_m^{(1)} = \sigma_m^{(0)} \exp \left\{ -\frac{(1+e_0)}{K} \frac{e_{kk}^{(0)}}{e_{kk}^{(1)}} \right\}, \quad \sqrt{e_{12}}^{(1)} = \left\{ \frac{\sqrt{e_{12}}^{(0)}}{\sigma_m^{(1)}} \pm \frac{(1+e_0)\lambda}{(\lambda-K)K} \frac{e_{kk}^{(0)}}{e_{kk}^{(1)}} \right\} \sigma_m^{(1)} \quad (9)$$

(8)に対して、粘塑性ポテンシャル ψ は $\psi = \sqrt{e_{12}} - \gamma_0^* \sigma_m^{(1)} + M^* \ln \sigma_m^{(1)} / \sigma_m^{(1)} - F$ (9)と(10)が導かれる。

$$\beta^{(1)}, \beta^{(2)} \text{ の関数形は, } \beta^{(1)} = C_1 \exp \left\{ m (\sqrt{e_{12}} - \sqrt{e_{12}}^{(1)}) / \sigma_m^{(1)} \right\} \quad (10)$$

$$\beta^{(2)} = C_2 \exp \left\{ m (\sqrt{e_{12}} - \sqrt{e_{12}}^{(1)}) / \sigma_m^{(1)} \right\}$$

LKがって、現在の問題に対しては $C_1 = C_2$ と仮定して、

$$\partial e_{12} / \partial t = \frac{1}{2\gamma} \partial \sigma_{12} / \partial t + \beta^{(1)} \sigma_{12} / \sqrt{e_{12}} \quad (11)$$

$$\partial e_{kk} / \partial t = \frac{K}{(1+e_0)\sigma_m^{(1)}} \frac{\partial \sigma_m}{\partial t} + \beta^{(2)} \left\{ (M^* \pm \sqrt{e_{12}} / \sigma_m^{(1)}) F M^* \ln \sigma_m^{(1)} / \sigma_m^{(1)} \right\} \quad (12)$$

解析にあたっては、非排水条件を考慮して $\dot{e}_{kk} = 0$ とした。

(4)', (5') と(11)よりなる偏微分方程式系は $dx = 0$ と $dx/dt = \pm C$ ($C = \sqrt{K/\rho}$) の2つの特性曲線を持つ、LKがって、次の微分関係が成立している。この微分関係を積するこにより解を求める。

$$dx = 0 \text{ に対して, } d e_{12} = \frac{1}{2\gamma} d \sigma_{12} + \beta^{(1)} \sigma_{12} / \sqrt{e_{12}} \quad (13)$$

$$dx/dt = \pm C \text{ に対して, } d \sigma_{12} = \mp \rho C d u_2 - 2\gamma \beta^{(1)} \sigma_{12} / \sqrt{e_{12}} \quad (14)$$

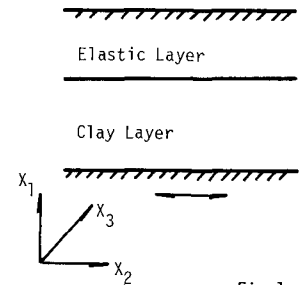


Fig.1

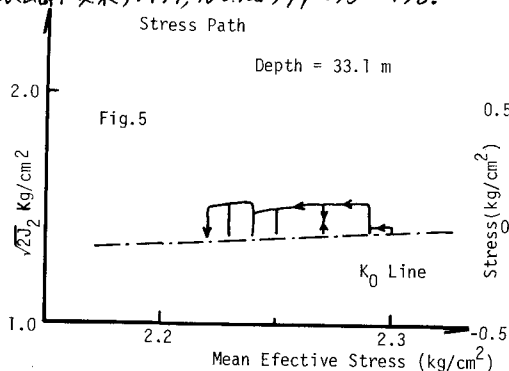
解析モデルは表-1のような上部に弾性層がある場合を考えた。
また、 m とはば突速せん断試験より求まるひずみの関数として次式を使
った。 $m=49$ ($\varepsilon_r < 10^{-3}$)

$$m = 40 \quad (\epsilon_{12} > 10^{-2})$$

方が速度の絶対値は大きくなっている。すなわち、この差は、時間がたつにつれて小さくなっている。これに図4は応力変形であるが、同様にすべても弾性層と考えた場合との差は時間がたつにつれて小さくなっている。図4で時間軸の部分に斜線を引いた区間では、粘土が粘塑性状態に入っていること表示し、他の区間では弾性域に入っている。これより粘塑性状態へ入る応力の絶対値は時間が立つにつれて大きくなっていることがわかる。これは粘土が硬化するのことのあらわれであると考えられる。図5は応力経路図である。 σ_v が減少し、残留間隙水圧が増加している様子がわかる。

5. 謝辞 本研究について、終始御指導くださいました京都大学教授、赤井浩一先生に感謝いたします。

6. 参考文献 1) 赤井, 国. 北 "Shock-tube による土中の波動伝播に関する研究" 札幌工科大学研究発表会講演集, 1977, No. 121, pp. 473~476.



	Layer	H	G	ρ	C_0
H_1	1	3.0	440	196	0
H_2	2	3.1	480	200	0
H_3	3	3.2	520	204	0
H_4	4	3.28	560	208	10^{-6}
H_5	5	3.36	600	212	10^{-5}
H_6	6	36.12	640	216	10^{-4}

Table 1

C_0 ; parameter in Eq.(10), $C_0=C_1$ (1/sec)

