

Ⅲ-12

複合地盤の動的変形特性に関する実験的研究

東北大学工学部 学員 ○土田研一

東北大学大学院 学員 志田智之

東北大学工学部 正員 柳沢栄司

1. はじめに

地盤改良効果の評価には、従来、土の強さや支持力などのいわゆる静的な力学量が用いられてきた。しかし近年では、動的応答も重要視されるようになってきており、地盤改良の施工地点においてPS検層などを実施することにより、地盤の改良効果を評価するというも行なわれている。本研究は砂柱を含む粘性土供試体を用いて複合地盤である砂柱改良地盤を再現し、動的変形特性に及ぼす砂柱の体積率、圧密時間、圧密圧力等の影響を実験的に考察するものである。

2. 実験方法

本実験で用いた試料は、空気乾燥青森山ローム土の850μmふるい通過分 ($G_s=2.658$, $W_L=48.97\%$, $W_p=22.67\%$, $I_p=26.30\%$, $w=32\sim35\%$) と豊浦標準砂 ($G_s=2.640$, $e_{max}=0.989$, $e_{min}=0.593$) である。直径7.0cm、高さ17.5cmのモールドを用いて作成した円柱供試体を圧力室に設置し、各拘束圧 ($\sigma_c=1, 2\text{kgf/cm}^2$) で4回づつ供試体下部のベDESTALにプラスチック棒で鉛直 (P波)、水平 (S波) 方向に衝撃を与えて自由振動させ、ストレージオシロスコープで記録された入・出力加速度波形の立ち上がり時間差 Δt を求め、測定時の供試体高さ H とから、弾性波速度を $V=H/\Delta t$ で決定した。

3. 複合地盤の巨視的弾性係数

砂柱を含む粘性土円柱供試体を複合体とみなしたときの全体の平均的弾性係数 (巨視的弾性係数) をヤング係数 E とせん断弾性係数 G について求めてみると下記のようなになる。

$$E = nE_s + (1-n)E_c + \frac{0.2916n(1-n)}{\frac{0.18n}{E_c} + \frac{1.8(1-n)}{E_s} + \frac{1}{G_c}} \quad (1)$$

$$G = nG_s + (1-n)G_c \quad (2)$$

また、供試体全体の密度 ρ_w は

$$\rho_{tot} = n\rho_s + (1-n)\rho_c \quad (3)$$

ここに、置換率 $n=As/A$ であり、 As 、 A は砂柱及び供試体の断面積を、添字 tot, s, c は、それぞれ全体・砂・粘性土を表わし、(1)式において、 $\nu_c=0.47$, $\nu_s=0.20$ と仮定した。

実験から直接求めた G の値、すなわち、 $G=\rho_w V_s^2$ (実験値) と、(2)式から求めた G の値 (解析値) の比較を行なったのが図1、図2である。紙面の都合上 $n=40\%$ のものについてだけ示す。解析値は、 $n=0\%$ の粘性土のみからなる供試体の $\rho_c G_c (= \rho_c V_{sc}^2)$ 曲線と、 $n=100\%$ の砂のみからなる供試体の $\rho_s G_s (= \rho_s V_{ss}^2)$ 曲線から、各置換率の供試体の粘性土部分の密度 ρ_c と砂柱部分の密度 ρ_s に対する G_c と G_s を求め、(2)式によって算出したものである。図1、図2を見ると、実験値と解析値はほぼ一致することかわかる。これより、S波は砂、粘土両者を伝播していると考えられる。また、拘束圧が増加すると、 ρ_w - G 曲線の傾きが增加することかわかる。

4. 複合地盤の弾性波速度

各置換率における砂柱部分の密度 ρ_s と粘性土部分の密度 ρ_c を参考にして、各拘束圧において3段階にわたり ρ_s と ρ_c を仮定して、任意の置換率 n の時の弾性波速度を推定してみる。

まず、 $\sigma_c=1\text{kgf/cm}^2$ について考える。実験において砂柱部分の密度は $\rho_s=1.970\text{g/cm}^3$ 程度でありほぼ一定とみなせる。このとき、 $n=100\%$ の砂のみからなる供試体の $\rho_s E_s$ 、 $\rho_s G_s$ 曲線から、 $E_s=7943\text{kgf/cm}^2$ 、 $G_s=1670\text{kgf/cm}^2$ が求まる。また、粘性土部分については、圧密により密度が $\rho_c=1.880, 1.920, 1.960\text{g/cm}^3$ の3段階に変化すると考え、 $n=0\%$ の粘性土のみからなる供試体の $\rho_c E_c$ 、 $\rho_c G_c$ 曲線から、それぞれ、 $\{E_c, G_c\} = \{2281, 620\}, \{3683, 864\}, \{5084, 1109\} (\text{kgf/cm}^2, \text{kgf/cm}^2)$ と求まる。

同様に、 $\sigma_c=2\text{kgf/cm}^2$ の場合、砂柱部分については、 $\{\rho_s, E_s, G_s\} = \{1.977, 12174, 2662\} (\text{g/cm}^3, \text{kgf/cm}^2, \text{kgf/cm}^2)$ 、粘性土部分については、 $\{\rho_c, E_c, G_c\} = \{2.000, 7310, 1506\}, \{2.015, 9728, 1686\}, \{2.030, 12147, 1867\} (\text{g/cm}^3, \text{kgf/cm}^2, \text{kgf/cm}^2)$ の3つの場合を考える。

これらの値を (1), (2), (3) 式に代入して、任意の置換率 n のときの $V_p=(E/\rho_w)^{1/2}$ と $V_s=(G/\rho_w)^{1/2}$ の値を描いたものが図3

～6の曲線である。図3～6には合わせて ρ_c の値が仮定した値と $\pm 0.015 \text{ g/cm}^3$ の範囲にある実験値をプロットしてある。同一置換率に対して、実験値の弾性波速度が増加していることより密度の増加に伴い弾性波速度も増加することがわかる。 $\sigma_c = 1 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、 V_p, V_s ともほぼ理論曲線は実験値を再現できると思われる。 $\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$ については理論曲線と実験値の再現性があまりよくない。これは空気圧で拘束圧をかけているために空気がメンブレンを透過して供試体中に侵入してくるという現象に起因しているものと思われる。

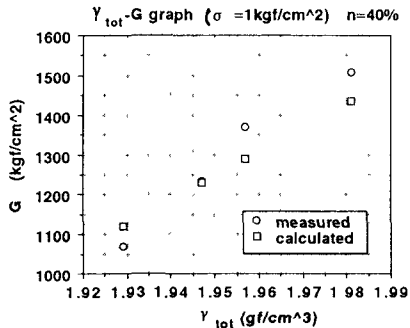


図1. $\gamma - G$ ($\sigma_c = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

n-Vp graph ($\sigma = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

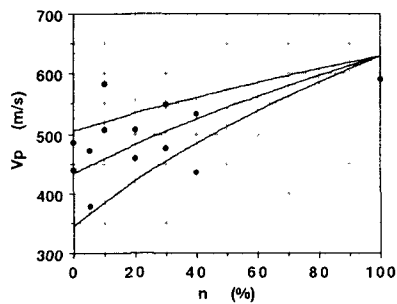


図3. n - V_p ($\sigma_c = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

n-Vs graph ($\sigma = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

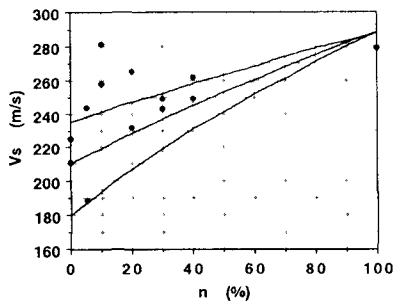


図5. n - V_s ($\sigma_c = 1 \text{ kgf/cm}^2$)

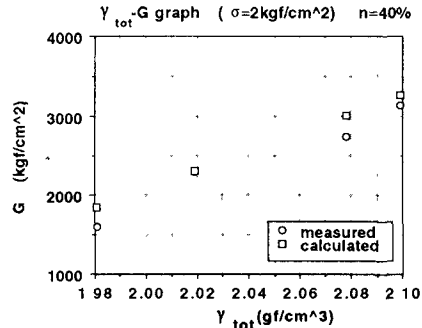


図2. $\gamma - G$ ($\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$)

n-Vp graph ($\sigma = 2 \text{ kgf/cm}^2$)

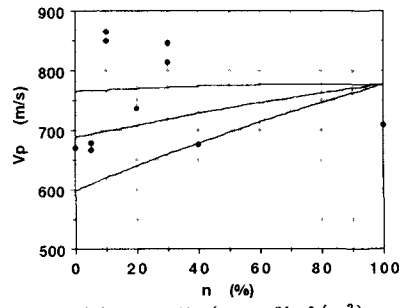


図4. n - V_p ($\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$)

n-Vs graph ($\sigma = 2 \text{ kgf/cm}^2$)

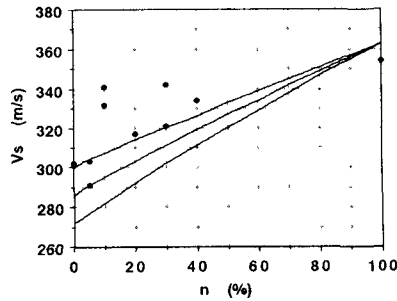


図6. n - V_s ($\sigma_c = 2 \text{ kgf/cm}^2$)

5 まとめ 本実験の結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 拘束圧が増加するとヤング係数とせん断弾性係数は大きくなる。
- (2) 弾性波は砂・粘土両者を伝播していると思われる。
- (3) 圧密が進行し密度が増加するにつれ弾性波速度は増加する。
- (4) 置換率が大きくなると弾性波速度は増加する傾向がある。

参考文献 岩崎、嶋津共訳：土と基礎の振動 p162～p170
に関する研究 第45回年次学術講演会講演概要集第3部 p660～p661

志田他：砂柱により改良された地盤の動的特性