

鋭敏粘土地盤の振動荷重に対する応力・ 変形・強度特性に関する研究

京都大学 正会員 足立 紀尚
京都大学 正会員 堀田 政國
京都大学 学生会員 O小田 俊之

1. はじめに

鋭敏粘土上に低盛土で、道路・鉄道等の交通路が敷かれ、地盤沈下を呈している箇所は多数報告されている。今回実験に用いた有明粘土が広範囲にわたって分布している佐賀平野の国道207号、34号、208号線に沿う多数の水準点においても地盤沈下が報告され、佐賀市中心部の八幡神社の水準点では昭和40年12月から昭和41年12月の1年間に96.3mmの沈下を示すに至った。これらの沈下を、繰返し載荷による粘土の強度低下に起因するものと判断し、与えられる振動荷重によるあつ圧密沈下料を定量的に捉えようとする場合、以下の3つのステップが考えられる。(1)振動荷重特性および地盤内の応力伝播についてしらべる。(2)地盤材料の応力-変形特性を調べる。(3)現場の初期条件および境界条件を考慮し、(2)の地盤に(1)の荷重が作用した場合の地盤の応答を解析する。本研究では、(2)の応力-変形特性、特に鋭敏粘土に作用した振動荷重が後の圧密特性に与える影響に主眼をおいて進めていった。振動特性から粘土に与えられた攪乱の大きさを導きだし、その後の圧密特性を推測するということが可能となれば、それぞれの現場に応じてシュミレートした振動荷重を現地より採取した試料に載荷することによって、現場における沈下量を実験室内で推測することができよう。

2. 実験試料及び実験方法

本研究に用いた試料は先に述べた有明粘土で、長崎県諫早市本明川の河口付近の河床から深さ2,00-6,00mの均質な粘土層から採取したものである。これをミキサーを用いて攪乱した後、1カ月間圧密した再圧密試料である。物理試験の結果土粒子の比重 $G_s = 2.654$ 、液性限界 $w_L = 163.7\%$ 、塑性限界 $w_P = 57.6\%$ 、塑性指数 $IP = 106.1\%$ である。含水率は140%程度であった。この試料をサンプラー及びワイヤーソーを用いて直径5cm、高さ10cmに整形したものを三軸セル内で24時間等方圧密して間隙比 e_1 を得る。さらに非排水状態で繰返し載荷を与え試料を攪乱した後再び24時間の等方圧密を行って間隙比 e_2 を得る。この間隙比の差 $\Delta e = e_1 - e_2$ は振動荷重によって試料の構造骨格が乱されたことにより促進された圧密量であると判断し、これを正規化した $\Delta e / e_1$ を振動載荷後の過剰間隙水圧の発生量 Δu に対して定量的に捉えた。ここで e_1 は標準圧密試験に於て再圧密試料と繰返し試料の間隙比の差であり、 σ_{*}' は有効拘束圧である。図-1で、上側の曲線は再圧密試料の間隙比 e_1 を示し、 e_2 は攪乱が大きくなるにつれて $\bigcirc \rightarrow \Delta \rightarrow \square$ と移行する。また、振動載荷中の過剰間隙水圧の時間的な上昇特性は、横軸に載荷継続時間 t (min)、縦軸に有効拘束圧で正規化した過剰間隙水圧をとると、(1)原点を通ること、(2) t を無限大にすると平衡値が存在するであろうこと、などを加味して双曲線近似が妥当であるとの判断を下した。図-2にその例を示した。各々の双曲線の形状は、正規化した応力振幅 $\Delta \sigma / \sigma_{*}'$ に依存するものと考え、 $\Delta \sigma / \sigma_{*}'$ を用いて定量的に捉える試みを行った。表-1に各々の実験で与えた有効拘束圧 σ_{*}' 及び有効応力振幅 $\Delta \sigma / \sigma_{*}'$ 及び載荷時間を示した。これらの結果を基に、振動載荷後の間隙比の変化量を定量的に捉えるアプローチについて以下に考察を行う。

	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	4-1	4-2
σ_{*}'	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0
$\Delta \sigma / \sigma_{*}'$	0.2	0.5	0.6	1.3	0.4	0.5	0.7	1.0	0.4	0.7	0.5	0.5
載荷時間	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	8

Toshihisa Adachi Masakuni Horita Toshiyuki Oda

3. 考察

振動载荷中の過剰間隙水圧を

$$\Delta u / \sigma_m' = \frac{t^{1/2}}{\alpha t^{1/2} + \beta} \quad - \quad (1)$$

なる双曲線関数で近似した理由は先に述べたがここで t ではなく $t^{1/2}$ を用いるのは、この方が長時間载荷（例えば 8 hr）のデータを的確にトレースできるからである。(1) で t を無限大にした場合 $\Delta u_{max} / \sigma_m'$ は $1/\alpha$ なる平衡値に達する。これは、松井、小原、伊東らが述べた過剰間隙水圧の平衡値に相当するものであり、この場合有効応力振幅 $\Delta \sigma / \sigma_m'$ に依存する。 $\Delta u_{max} / \sigma_m'$ が $\Delta \sigma / \sigma_m'$ に依存することは図-3 からも明かであり、両者を直線関係とみなすと $\Delta u_{max} / \sigma_m' (= 1/\alpha) = a \cdot \Delta \sigma / \sigma_m'$ として推定できる。また、(1) 式の定数 β は曲線の形状を支配するものであり、 $1/\beta$ と $\Delta \sigma / \sigma_m'$ の関係を図-4 にしめす。これも同様に $\Delta \sigma / \sigma_m'$ を用いて $1/\beta = b \cdot \Delta \sigma / \sigma_m'$ として推定できる。ここに a 及び b は試料によって異なる材料定数である。これらが定まれば、そこに有効応力振幅を代入することによって振動载荷中に発生する過剰間隙水圧の時間的な上昇特性を求めることができる。次に振動载荷後の間隙比の変化量について考える。振動载荷による攪乱が大きい程、土粒子の構造骨格が乱れ、後の圧密沈下量が増大することは容易に察しがつく。そこで土粒子の構造骨格の乱れを過剰間隙水圧の発生量として捉え、振動载荷後の圧密沈下量と対応させる。横軸に有効拘束圧で正規化した過剰間隙水圧の発生量、縦軸に先に述べた e_1 で正規化した間隙比の変化量をとると（図-5）、明かに両者の相関関係が見いだされ、これを直線関係と見なし近似すると $\Delta e / e_1 = S \cdot \Delta u / \sigma_m'$ - (2) として両者の関係を定量的に表すことができる。(2) 式を変形して $\Delta e = e_1 \cdot S \cdot \Delta u / \sigma_m'$ - (2)' が導ける。 S は試料によって異なる材料定数である。式(2)' に式(1)を代入すると、

$$\Delta e = e_1 \cdot S \cdot \frac{t^{1/2}}{\alpha t^{1/2} + \beta} \quad - \quad (3)$$

が得られる。これは振動载荷後の圧密沈下量を応力比及び時間をパラメータとして表した式に他ならない。

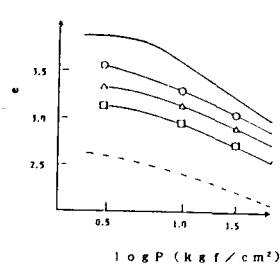


図-1 模式図

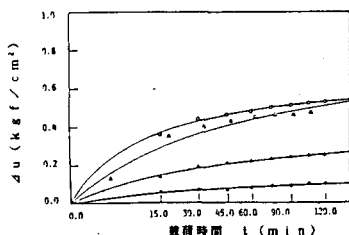


図-2 双曲線近似

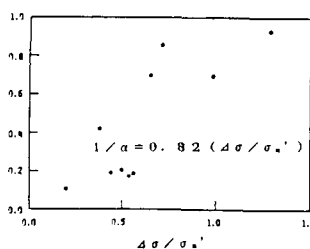


図-3 有効応力振幅 - $1/\alpha$

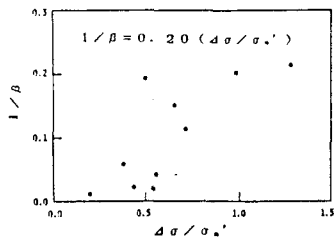


図-4 有効応力振幅 - $1/\beta$

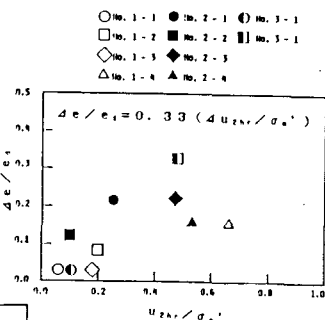


図-5 $u_{max} / \sigma_m' - \Delta e / e_1$