

II-41 粘弾性体としての地山中の素掘円形トンネルの変形挙動の実験的研究について

正員 徳島大学工学部 小田 英一

地山が粘土の如く粘弾性体とみなされるとき水平な地表面の下かなり深い所に掘削した素掘円形トンネル内孔及びその周辺の変形形式を地山の応力歪、時間関係式をVoigt型であるとして、その理論式を先に導いたのであるが、これを検証するために模型実験をなした。また同時に用いた土の三軸圧縮試験機による粘弾性の諸係数を求めて理論式に代入してえられる変形量と上記の模型実験により測定せられた変形量を比較研究せんとした。

1. 三軸圧縮試験機による粘弾性諸係数の決定法

粘土の如き地山材料の変形挙動を表わす粘弾性体の equation of state は

$$P_0 = 2\sigma e_0 + 2\eta_s \dot{e}_0 \quad \text{----- (1)}$$

で表わされる。但し e_0 : 歪の deviator P_0 : 応力の deviator

η_s : 粘性係数 σ : 常断弾性係数 とする。上式の dot は時間 t についての微分を表わしている。いま三軸圧縮試験機を用いて側液圧を零として定荷重試験装置で鉛直荷重一定のものをある時刻に載荷して、この時刻より各時間毎に鉛直方向の圧縮量を dial/gauge により測定して鉛直方向の圧縮歪を求める。第1図に於て i, j, k の直交座標もとりの方向の歪を夫々 e_i, e_j, e_k とする。 Δ : 体積歪として

$$e_m = \frac{e_i + e_j + e_k}{3} = \frac{\Delta}{3}$$
 として歪の deviator は $e_{0i} = e_i - \frac{\Delta}{3}$, $e_{0j} = e_j - \frac{\Delta}{3}$, $e_{0k} = e_k - \frac{\Delta}{3}$ となる。また主応力を P_i, P_j, P_k として $P_m = \frac{P_i + P_j + P_k}{3}$ とする。応力の deviator は $P_{0i} = P_i - P_m$, $P_{0j} = P_j - P_m$, $P_{0k} = P_k - P_m$ となる。側液圧零の場合は ν を poisson's ratio として鉛直圧力 P_k により e_i を定め、 $P_j = P_k = 0$, $e_j = e_k = -\nu e_i$ となり $\Delta = e_i(1-2\nu)$, $e_{0i} = \frac{2(1+\nu)}{3} e_i$, $P_{0i} = \frac{2}{3} P_i$ となる。これらの値を(1)式に代入すれば

$$\eta_s \frac{\partial e_i}{\partial t} + \sigma e_i = \frac{P_i}{2(1+\nu)} \quad \text{----- (2)}$$

がえられる。 $P_i = \text{const.}$ で $t=0$ のとき $e_i=0$ なる条件により(2)式の解は次式となる。

$$e_i = \frac{P_i}{2(1+\nu)\sigma} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\sigma}{\eta_s} t\right) \right\} \quad \text{----- (3)}$$

$t=\infty$ のときの e_i の値を $(e_i)_{t=\infty}$ とすれば $(e_i)_{t=\infty} = \frac{P_i}{2(1+\nu)\sigma}$ となる。 σ が判明すれば

$$\sigma = \frac{P_i}{2(1+\nu)(e_i)_{t=\infty}} \quad \text{----- (4)}$$

として σ を求めることができる。また(3)式を変形して対数をとって

$$\log_{10} \{ (e_i)_{t=\infty} - e_i \} = \log_{10} (e_i)_{t=\infty} - 0.434 \frac{\sigma}{\eta_s} t \quad \text{----- (5)}$$

となり、これより時間 t を横軸に普通目盛にとり $(e_i)_{t=\infty} - e_i$ を測定値より計算して対数目盛で縦軸にとり半対数座標を用いると第2図に示すような曲線を得て、その中の直線部分の傾斜 $\frac{\Delta \log_{10} \{ (e_i)_{t=\infty} - e_i \}}{\Delta t}$ を求めて

$$\eta_s = - \frac{\sigma}{2.303 \frac{\Delta \log_{10} \{ (e_i)_{t=\infty} - e_i \}}{\Delta t}} \quad \text{----- (6)}$$

によつて η_s を求めることができる。この値を前回に発表した理論式に代入して素掘円形トンネルの半径方向の変形の時間的变化を計算する。

2. 実験概要

写真1に示すように高さ70cm、幅60cm、厚さ10cmの木製容器を作り、その70x60cmの前面は硬度カラステンプライトを使用し、この中にsilty loamの土を含水比34.21%にして均等につめ0.291 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ で圧密させ、圧密完了した後三軸圧縮試験用の試料を上部よりとり、その後写真2に示す如く印刷用インキで網目の線を引き、中央に直径16cmの内孔を穿つて0.191 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ の荷重を土冠り荷重として加えた時刻より一定時刻毎に写真2の如き写真撮映をなした。このフィルムをスライドにより拡大してトンネル内孔周縁の時間的変形を測定したのがオ3図である。また先にとつた試料より高さ9cm、直径3.5cmの内堀試料をとつて三軸圧縮試験機に設置し、側液圧密として鉛直荷重0.208 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ を定荷重試験装置によつてかさクリープ試験を行つた結果 $\sigma=2.689\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 、 $\nu=0.500$ となり、オ2図より $\tau_s=37.93\frac{\text{kg sec}}{\text{cm}^2}$ が得られた。土の単位容積重量 $\rho g=0.0019\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ と測定され、これを理論式²⁾に代入してトンネル内孔周縁の時間的変形量を計算したものをオ3図に示す。さきの実験と比較して時間的変形の様相は相似しており、その差は模型実験が実際の地山条件を完全に現れしにくい結果と考えられる。

1), 2) オ13回土木学会年次学術講演会講演概要エ-31の(19)式 u_r の理論式参照

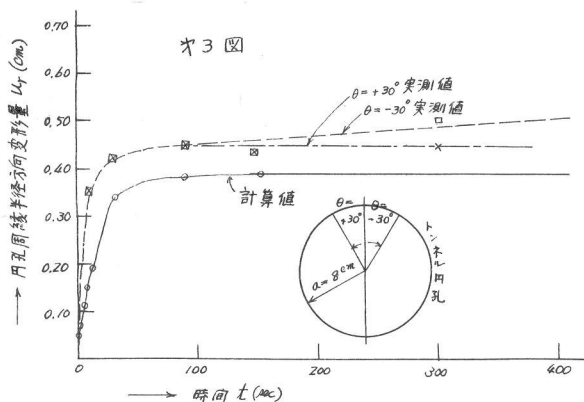


写真1

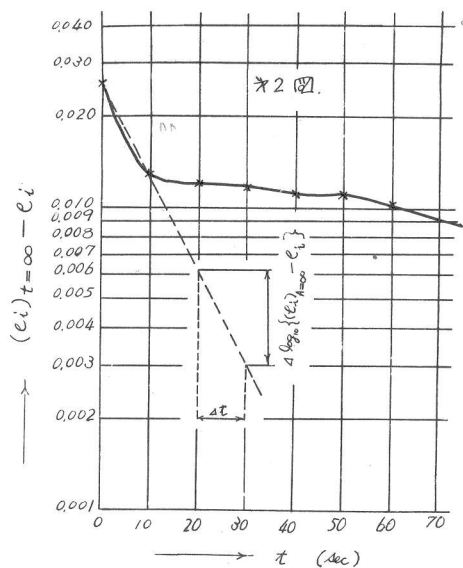
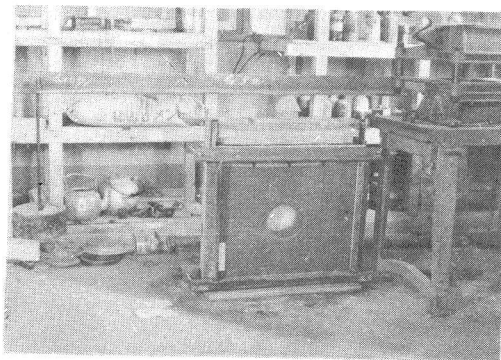


写真2

