

土の破壊前後の弾性率の低下について

長崎大学工学部 学生員○中村 誠一
同 上 上山 孝徳
正 員 伊勢田哲也

1. まえがき

ランキンは、無限の広がりをもった土中に仮想的な摩擦のない鉛直面を考え、土がまさに破壊しようとするときの共役応力から土圧を算定した。これに対しクーロンは、直線的な壁背面を一つのすべり面と考え、クサビ状の土塊の自重と二つのすべり面の反力との力の釣合いから土圧を求めている。土圧の表現についてクラフ¹⁾は、FEMを用いて重力式擁壁と地盤一体物で解析し、擁壁の変位によって生じる裏込土が破壊するものについて、裏込土のせん断弾性係数Gの値を1/1000に低下させることで土圧を表現し、地盤を含めての重力式擁壁について解析している。我々は、同様にGの値を1/1000に低下させ、L型擁壁を取扱っている²⁾。

2. 目的

前述のGの値を1/1000に低下させるのはあくまで仮定であるので、実験により砂質土と標準砂を用いて破壊前後のこれらの仮定の定数値を確かめようとするものである。

3. 実験方法

ひずみ制御方式三軸圧縮試験機を使用し、排水条件の下で側圧を0.5, 0.7, 1.0(kg/cm²)と変化させて砂質土と標準砂について軸対称三軸圧縮試験($\sigma_2 = \sigma_3$)を行った。また、含水比はそれぞれ砂質土30%前後、標準砂0%とした。

4. 解析方法

この実験では軸対称三軸圧縮試験($\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3$)であるので、主ひずみ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$)と体積ひずみ($\Delta V/V$)の関係は次のように表わされる。

$$\begin{aligned}\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 &= \epsilon_1 + 2\epsilon_3 = \Delta V/V \quad (\because \epsilon_2 = \epsilon_3) \\ \therefore \epsilon_2 = \epsilon_3 &= 1/2 \times (\Delta V/V - \epsilon_1)\end{aligned}$$

8面体面法線応力およびせん断応力に対する表現は、

$$\begin{aligned}\sigma_{oct} &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ \tau_{oct} &= 1/3 \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sqrt{2/3} (\sigma_1 - \sigma_3)\end{aligned}$$

同じような関係はひずみにも適用され、

$$\begin{aligned}\epsilon_{oct} &= (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3)/3 \\ \gamma_{oct} &= \sqrt{2/3} (\epsilon_1 - \epsilon_3) = \sqrt{2/3} (3\epsilon_1 - \Delta V/V)\end{aligned}$$

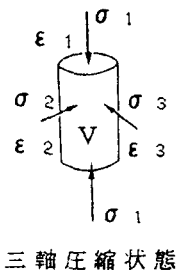
従って、せん断弾性係数Gは以下のように導かれる。

$$G = \frac{\tau_{oct}}{\gamma_{oct}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{3\epsilon_1 - \Delta V/V}$$

次に、 $\sigma_1 + 2\sigma_3 = (3\lambda + 2G) \times \Delta V/V$ より、

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{1}{3} \left\{ \frac{1}{\Delta V/V} (\sigma_1 + 2\sigma_3) - \frac{2(\sigma_1 - \sigma_3)}{3\epsilon_1 - \Delta V/V} \right\} \\ \mu &= \frac{\lambda}{2(\lambda + G)} \quad E = 2G(1 + \mu)\end{aligned}$$

上記の関係式を用いて実験結果の考察を行った。



5. 実験結果

表-1に砂質土と標準砂の試験開始前の含水比、間隙比、乾燥密度を示している。また図-1に側圧 $0.5(\text{kg}/\text{cm}^2)$ での砂質土と標準砂の軸差応力-軸ひずみ曲線を示している。軸差応力の最大値 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ を破壊時とし、各試料の土質定数 (C, ϕ) を求めると、砂質土では $C=1.35(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 、 $\phi=18.4^\circ$ 標準砂では $C=0(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 、 $\phi=35^\circ$ となった。図-2にせん断弾性係数 G と8面体面せん断ひずみ γ_{oct} との関係を示している。砂質土と標準砂の載荷直後のせん断弾性係数を G_0 、 G_0' とすると、 $G_0=112.87(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 、 $G_0'=91.38(\text{kg}/\text{cm}^2)$ となる。砂質土では G_0 の1/3で破壊を生じ、最終的に G_0 の1/11である $10(\text{kg}/\text{cm}^2)$ に収束している。また、標準砂では G_0' の1/5で破壊を生じ、 G_0' の1/10である $9(\text{kg}/\text{cm}^2)$ に収束している。表-2に各試料における破壊時の G の値を基準とした破壊前後の G の減少率を示している。図-3にヤング率 E と γ_{oct} との関係を示している。砂質土と標準砂の載荷前後のヤング率を E_0 、 E_0' とすると、 $E_0=314.62(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 、 $E_0'=263.53(\text{kg}/\text{cm}^2)$ となる。砂質土では E_0 の1/3で破壊を生じ、最終的に E_0 の1/10の $34(\text{kg}/\text{cm}^2)$ に収束している。また、標準砂では E_0' の1/5で破壊を生じ、 E_0' の1/10の $24(\text{kg}/\text{cm}^2)$ に収束している。表-3に各試料における破壊時の E の値を基準とした破壊前後の E の値を示している。図-4に砂質土と標準砂のポアソン比の関係を示している。砂質土はほぼ0.475であり、標準砂は0.341である。

6. あとがき

今回の実験では、 G の値は砂質土で1/11、標準砂で1/10に低下した。

表-2. 砂質土と標準砂の破壊前後の G の減少率

	破壊前	破壊後
砂質土	0.559	0.376
標準砂	0.309	0.231

表-3. 砂質土と標準砂の破壊前後の E の減少率

	破壊前	破壊後
砂質土	0.514	0.363
標準砂	0.347	0.238

表-1. 各試料の状態(試験開始前)

	砂質土	標準砂
含水比(%)	20.52	0.0
間隙比	1.09	0.37
$\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.237	1.590

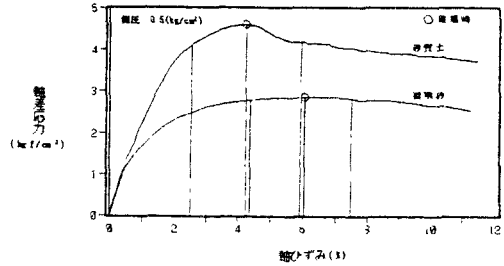


図-1. 軸差応力と軸ひずみの関係

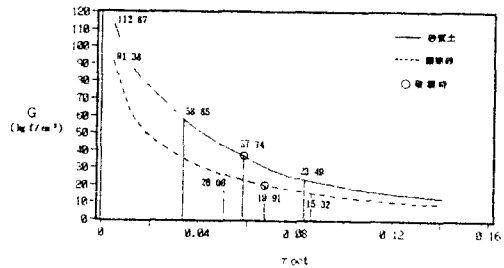


図-2. $G - \gamma_{oct}$ の関係

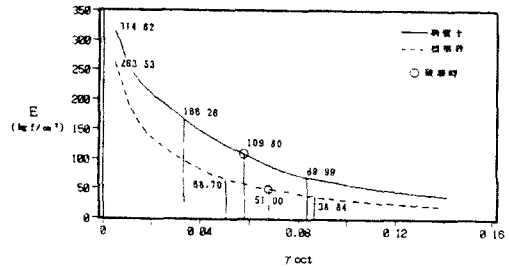


図-3. $E - \gamma_{oct}$ の関係

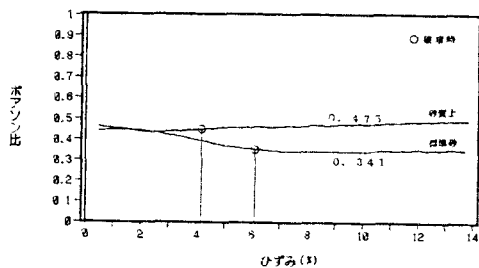


図-4. ポアソン比と軸ひずみの関係

【参考文献】

- 1) W.Clough and J.M.Duncan: Finite element analysis of retaining wall behavior(1971)
- 2) 樋口 敏昭: 摩擦力を考慮したFEM解析, 修士論文 (1979)