

Ⅲ-A18

一面せん断試験のひずみの推定

名古屋工業大学 正会員 松岡 元・○劉 斯宏
 “ 学生会員 佐藤 忍・柴原 健人
 関西電力（株）正会員 西方 卯佐男
 関電興業（株）正会員 井尻 健嗣

室内と原位置の一面せん断試験によって砂からロックフィル材までの粒状体のせん断強度を簡便かつ正確に求められることがすでに確認されているが^{1)~4)}、一面せん断試験ではひずみの測定ができないという欠点がある。しかし、一面せん断試験のせん断領域では近似的に単純せん断的な変形をしていると考えられるので、ここでは一面せん断試験のせん断領域の厚さが求められれば、滑動面（潜在スベリ面）上のせん断ひずみ γ 、垂直ひずみ ε_N を算定することや、さらには主応力比 $\sim$ 主ひずみ関係に変換することができることを示す。

1 アルミ丸棒積層体の簡易一面せん断試験と二軸圧縮試験の応力 $\sim$ ひずみ関係の比較

簡易一面せん断試験とは、従来の一面せん断試験の上箱をなくし、試料の上に載荷板（載荷枠）を直接置き、それをフレキシブルなワイヤーかチェーンで水平に引張ることによってせん断する試験である^{1)~4)}。まず、直径3mmと5mm、長さ50mm、混合重量比3:2のアルミ丸棒積層体を用いて簡易一面せん断試験および単純せん断試験を行い、二軸圧縮試験結果と比較検討した。写真-1(a)より、両端の部分を除いて載荷板直下のある深さの領域における変形は、写真-1(b)に示す単純せん断変形とよく似ていることが観察される。この領域をせん断領域と呼ぶが、その厚さ L は約3cmだった。従って、簡易一面せん断試験の水平面（滑動面）上のせん断ひずみ γ 、垂直ひずみ ε_N は $\gamma=D/L$ 、 $\varepsilon_N=h/L$ より算定することができる。ここに、 D 、 h 、 L はそれぞれ水平変位、垂直変位、せん断領域の厚さである。一方、単純せん断試験では水平ひずみ増分 $d\varepsilon_x=0$ という境界条件があるので（図-1(a)参照）、主ひずみ $d\varepsilon_1$ 、 $d\varepsilon_3$ は図-1(b)のモールのひずみ増分円より次式で計算することができる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\gamma}{2} &= \frac{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3}{2} \cos \psi, & d\varepsilon_N &= \frac{d\varepsilon_1 + d\varepsilon_3}{2} - \frac{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3}{2} \sin \psi \\ d\varepsilon_1 &= d\varepsilon_N + \frac{d\gamma}{2} \left(\frac{\sin \psi + 1}{\cos \psi} \right), & d\varepsilon_3 &= d\varepsilon_N + \frac{d\gamma}{2} \left(\frac{\sin \psi - 1}{\cos \psi} \right) \\ d\varepsilon_N &= d\varepsilon_1 + d\varepsilon_3, & \psi &= \tan^{-1} \left(-\frac{d\varepsilon_N}{d\gamma} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

簡易一面せん断試験のせん断領域の変形は単純せん断試験の変形と似ているので同じく $d\varepsilon_x=0$ という仮定を用いれば、主ひずみ増分 $d\varepsilon_1$ 、 $d\varepsilon_3$ は同様に式(1)で計算することができる。また、簡易一面せん断試験の主応力比 σ_1/σ_3 は直接モールの応力円より次式で計算できる。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_N \cos \phi_{mo} + \tau(\sin \phi_{mo} + 1)}{\sigma_N \cos \phi_{mo} + \tau(\sin \phi_{mo} - 1)}, \quad \phi_{mo} = \tan^{-1} \left(\frac{\tau}{\sigma_N} \right) \quad (2)$$

図-2はアルミ丸棒積層体を用いた簡易一面せん断試験結果（せん断領域の厚さ $L=3\text{cm}$ ）から上記の式で算定した主応力比 $\sim$ 主ひずみ $\sim$ 体積ひずみ関係と二軸圧縮試験の関係（参考までに単純せん断試験からの関係も）の比較を示したものである。3つの異なる試験より得られた主応力比 $\sim$ 主ひずみ $\sim$ 体積ひずみ関係がほぼ一致しているのが見られる。

2 原位置大型簡易一面せん断試験と室内大型三軸圧縮試験の応力 $\sim$ ひずみ関係の比較

以上は2次元粒状体の場合について簡易一面せん断試験のひ

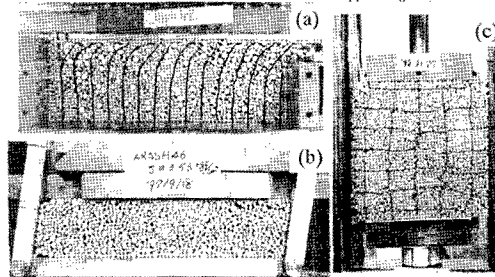


写真-1 (a) 簡易一面せん断試験、(b) 単純せん断試験、(c) 二軸圧縮試験

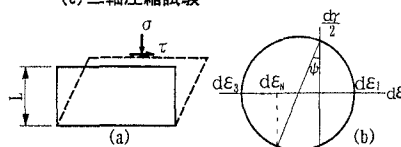


図-1 単純せん断の変形モードとモールのひずみ増分円

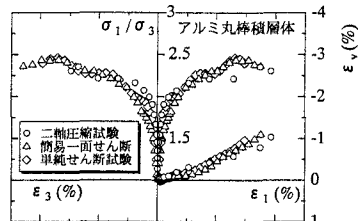


図-2 アルミ丸棒積層体に対して主応力比 $\sim$ 主ひずみ $\sim$ 体積ひずみ関係

Key Words : ひずみ, せん断強度, 一面せん断試験, 三軸圧縮試験, 単純せん断試験

〒466-8555 名古屋市長和区御器所町 TEL 052-735-5483, FAX 052-735-5483, 5503

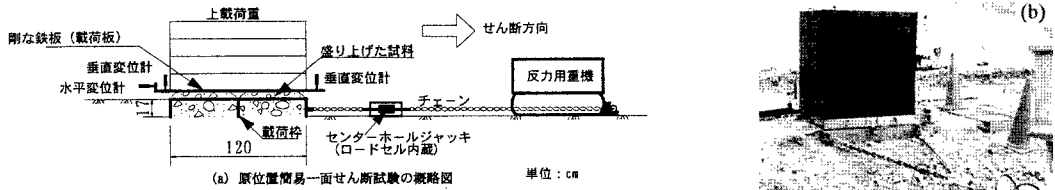


図-3 原位置大型簡易一面せん断試験の概略図と現場試験の状況

ずみの推定を試みたものであるが、実際の砂礫、ロックフィル材などは当然3次元的なものであり、推定した応力～ひずみ関係は通常三軸圧縮試験結果と比較しなければならない。図-3は原位置大型簡易一面せん断試験の概略図とある現場試験の状況の写真を示したものである^{2)～4)}。原位置大型簡易一面せん断試験のひずみを推定するために、複合滑動面（CMP）の考え方⁵⁾を導入した。図-4は各2主応力間の2次元的な主ひずみ増分とその重ね合せの考え方を示したものである。もし、 $\sigma_1 \sim \sigma_3$ 間の σ_1 方向、 σ_3 方向の2次元的な主ひずみ増分を $d\varepsilon_{1(13)}$ 、 $d\varepsilon_{3(13)}$ と名付けば、複合滑動面の考え方により3次元応力下での主ひずみ増分は重ね合せの原理によって次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} d\varepsilon_1 &= d\varepsilon_{1(12)} + d\varepsilon_{1(13)} \\ d\varepsilon_2 &= d\varepsilon_{2(12)} + d\varepsilon_{2(23)} \\ d\varepsilon_3 &= d\varepsilon_{3(23)} + d\varepsilon_{3(13)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

等方的な試料であれば、三軸圧縮条件（ $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ ）下の主ひずみ増分は式(3)より式(4)のように表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} d\varepsilon_1 &= 2d\varepsilon_{1(13)} \\ d\varepsilon_2 &= d\varepsilon_3 = d\varepsilon_{3(13)} + d\varepsilon_{3(33)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

原位置大型簡易一面せん断試験結果から式(1)より得られた主ひずみ増分は $d\varepsilon_{1(13)}$ 、 $d\varepsilon_{3(13)}$ であると考えられるので、三軸圧縮試験結果と比較するために式(4)より $d\varepsilon_1$ 、 $d\varepsilon_3$ に変換する必要がある。なお、式(4)中で $d\varepsilon_{3(33)} \approx 0$ （せん断中の平均主応力の増加による等方圧縮のひずみ増分）と近似した。原位置大型簡易一面せん断試験のせん断領域の厚さを測定するために、針金を鉄棒と共に載荷枠内の地盤中に打ち込んで、鉄棒だけを抜き出してせん断試験を行った。せん断試験後に、その針金の変形形状からせん断領域の厚さを推定した。写真-2はN地点CL級Iでの原位置大型簡易一面せん断試験の変形後の針金であり、これよりせん断領域の厚さLは約15cmとした。図-5(a)はN地点CL級Iでの原位置大型簡易一面せん断試験結果（ $\sigma = 104\text{kPa}$ ）を、せん断領域の厚さ $L = 15\text{cm}$ として、図-5(b)はK地点CH級での原位置大型簡易一面せん断試験結果（ $\sigma = 85\text{kPa}$ ）を、せん断領域の厚さ $L = 40\text{cm}$ として滑動面上のせん断ひずみ γ 、垂直ひずみ ε_N を算定し、上記の方法で変換した主応力比～主ひずみ関係と室内大型三軸圧縮試験結果を比較したものである。なお、図-5(a)、(b)共に $L/D_{50} \approx 11 \sim 12$ 程度である。図-5より、上述の方法で算定した原位置大型簡易一面せん断試験の主応力比～主ひずみ～体積ひずみ関係は室内大型三軸圧縮試験結果とおおむね対応しているのが見られる。

鉄棒だけを抜き出してせん断試験を行った。せん断試験後に、その針金の変形形状からせん断領域の厚さを推定した。写真-2はN地点CL級Iでの原位置大型簡易一面せん断試験の変形後の針金であり、これよりせん断領域の厚さLは約15cmとした。図-5(a)はN地点CL級Iでの原位置大型簡易一面せん断試験結果（ $\sigma = 104\text{kPa}$ ）を、せん断領域の厚さ $L = 15\text{cm}$ として、図-5(b)はK地点CH級での原位置大型簡易一面せん断試験結果（ $\sigma = 85\text{kPa}$ ）を、せん断領域の厚さ $L = 40\text{cm}$ として滑動面上のせん断ひずみ γ 、垂直ひずみ ε_N を算定し、上記の方法で変換した主応力比～主ひずみ関係と室内大型三軸圧縮試験結果を比較したものである。なお、図-5(a)、(b)共に $L/D_{50} \approx 11 \sim 12$ 程度である。図-5より、上述の方法で算定した原位置大型簡易一面せん断試験の主応力比～主ひずみ～体積ひずみ関係は室内大型三軸圧縮試験結果とおおむね対応しているのが見られる。

謝辞：現場試験で協力頂いた関西電力（株）および関電興業（株）関係者に謝意を表する。

参考文献 1) Matsuoka, H. and Liu, S.H. (1998): Simplified direct box shear test on granular materials and its application to rockfill materials, Soils and Foundations, Vol. 38, No. 4, pp. 275-284. 2) 松岡他 (1998): 大粒径粗粒材の室内と現場簡易一面せん断試験法の開発, 「大ダム」第165号, pp. 81-93. 3) 松岡他 (1999): ロックフィル材のような大粒径粗粒材の原位置簡易一面せん断試験, 土と基礎, Vol. 47 No. 3 Ser. No. 494, pp. 25-28. 4) 松岡他 (1999): 粗粒材の原位置大型簡易一面せん断試験, 第34回地盤工学研究発表会（発表予定）. 5) Matsuoka, H. (1983): Deformation and strength of granular materials based on the theory of "compounded mobilized planes" (CMP) and "spatial mobilized plane" (SMP), Advances in the Mechanics and the Flow of Granular Materials (II), pp. 813-836.

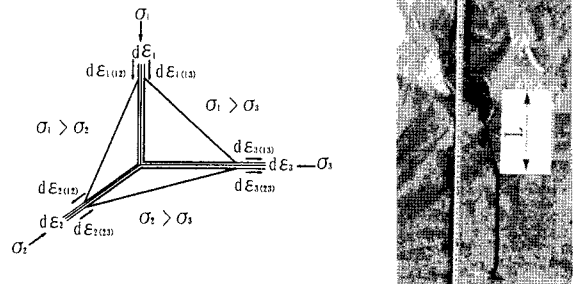


図-4 各2主応力間の2次元的な主ひずみ増分とその重ね合せの概念

写真-2 変形後の針金 (N地点CL級I)

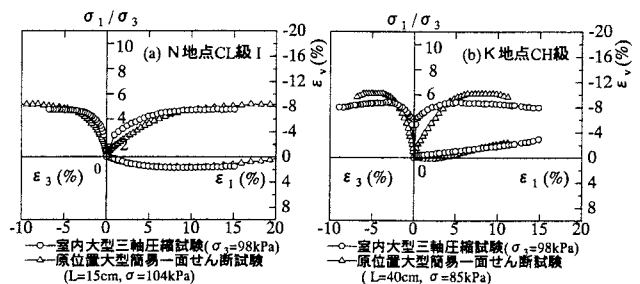


図-5 主応力比～主ひずみ～体積ひずみ関係