

III-405

せん断履歴の影響を考慮した粒状体の任意応力下の「十字」経路繰返しせん断試験の解析

名古屋工業大学 学生会員 ○赤司 有三

名古屋工業大学 正会員 松岡 元

名古屋工業大学 学生会員 竹内 章博

アルミ丸棒積層体($\phi 1.6\text{mm}$, $\phi 3\text{mm}$, 混合重量比3:2, 長さ50mm)を試料とする、(σ_x , σ_y , τ_{xy})を独立に载荷可能な2次元任意応力試験機(供試体寸法18cm×18cm)を用いて、1回のせん断载荷・除荷毎に主応力方向を $\alpha = 45^\circ$ ずつ変化させる繰返しせん断試験を行った。そのとき、その1回毎のせん断载荷が過去に受けたせん断履歴にどのような影響を及ぼすかを検討し、解析を試みた。検討にあたっては、粒子接点角分布の概念を用い、また、図-1に示すイメージより直交する方向(90° 方向)からせん断を受けると、粒子接点が消滅する「せん断履歴の消滅」という考え方を新たに導入している。

1. 「十字」経路繰返しせん断における応力経路と粒子接点角分布の関係¹⁾

図-2(a)は、モールの応力円表示による任意応力経路(σ_x , τ_{xy})を示している。ここでは、図-2(a)に示す応力経路図が十字に見えることから、「十字」経路と呼ぶことにする。なお、対となる任意応力(σ_y , τ_{xy})は平均主応力($(\sigma_x + \sigma_y)/2$, 0)を中心とした対称点に位置している。図-2(b)は、粒子接点角分布の概念図である。破線の円は等方状態、破線のくびれた円は前回までの履歴を表している。この①～④の次は最初の①のせん断载荷・除荷経路に戻る。よって、この①～④の4回のせん断载荷・除荷を組として「1巡」と呼ぶことにする。ここでは3巡、すなわちせん断载荷・除荷を12回行っている。

図-2(b)の粒子接点角分布の概念図から、図-2(a)①のせん断により、図-2(b)①の斜線部分の面積が増加する。次に図-2(a)②のせん断により、図-2(b)②の斜線部分の面積が新たに増加する。その面積比率は①の斜線部分の面積を1とすれば、②の斜線部分の面積は0.72となる。また、図-1に示すイメージよりその直交する方向である図-2(b)②の網線部分の履歴が消滅すると考える。図-2(a)③のせん断の場合も、その増加面積比率は0.72となる。また、その直交する方向である図-2(b)③の網線部分の履歴が消滅すると考える。ここで注目すべきは、このせん断により図-2(a)①のせん断によるせん断履歴が完全に消滅することである。図-2(a)④のせん断の場合は、図-2(a)①のせん断履歴が消滅していることより、図-2(b)④の斜線部

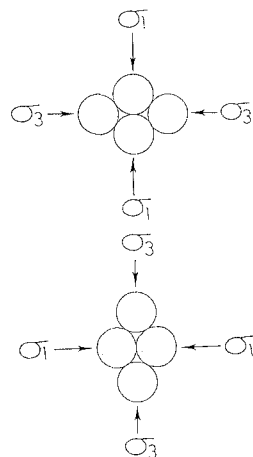


図-1 粒子接点消滅のイメージ図

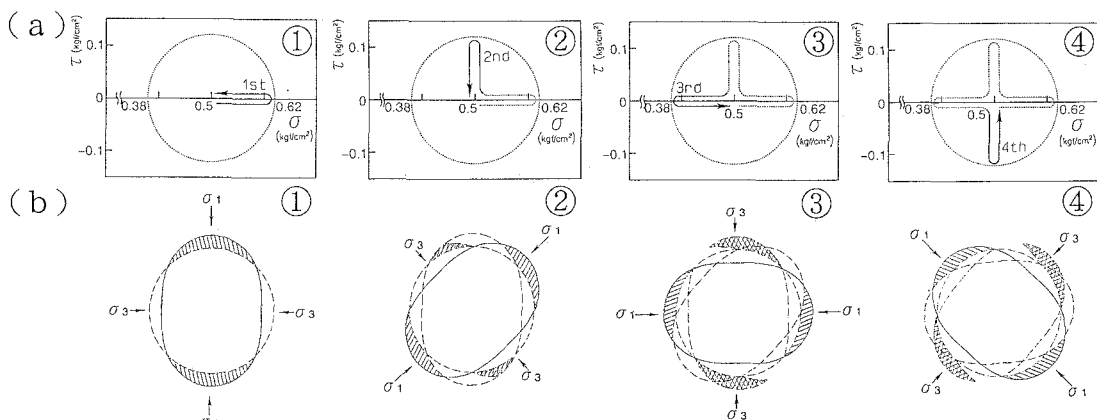


図-2 モールの応力円表示による応力経路図と粒子接点角分布の概念図

分の面積が増加する。その増加面積比率も0.72である。そして、このせん断により図-2(a)②のせん断履歴が完全に消滅する。2巡目以降は、せん断履歴の消滅によりその増加面積比率はすべて0.72となる。解析²⁾にあたって、パラメータの中でひずみの大きさを規定する k_s に関しては、この増加面積比率の割合により低減を行った。応力比 $\sim$ ひずみ増分比関係を規定する λ , μ に関しては、再載荷の場合には弾性的と考え、図-3に示すようなダイレタンシーの生じない $d\varepsilon_v=0$ ($\lambda=2, \mu=0$) となる値を用いた。

2. 「十字」経路繰返しせん断における実測値と解析値

ここでは、平均主応力 $(\sigma_x + \sigma_y)/2 = 0.5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、最大せん断時の主応力 $\sigma_1 = 0.62 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、 $\sigma_3 = 0.38 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ の「十字」経路繰返しせん断載荷を行った。図-4(a), (b) は主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3) \sim$ 主ひずみ $(\varepsilon_1, \varepsilon_3)$ 関係の実測値と解析値の比較を示したものである。なお、見やすくするために、1回のせん断毎に主ひずみの値を0に戻して描いてある。また、解析に用いた構成式中のアルミ丸棒積層体のパラメータを表-1に示す。図-4(a)の2巡目以降の実測値を見てみると、1巡目で1度せん断を受けているにもかかわらず、塑性的と考えられるひずみが発生している。これは、せん断履歴の消滅によるものと考えられる。また、図-5(a), (b) は主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3) \sim$ 体積ひずみ (ε_v) 関係の実測値と解析値を示している。ここで注目すべきは、図-5(a)の実測値を見ると、最初の1巡目の4回のせん断で発生した体積ひずみが大きく、それと比べて2巡目(5回目)以降の体積ひずみが急に発生しにくくなっていることである。これは、1度せん断を受けて構造が変化すると、たとえせん断履歴が消滅しても完全にもとの粒子配置には戻らないことによるものと考えられる。解析値は、実測値の傾向をほぼ表現している。

3. 結論

ここでは、粒状体の構造変化を表現するものとして粒子接点角分布の変化とせん断によるその消滅といった考えを構成式に組み込むことにより、「十字」経路繰返しせん断試験結果を妥当に評価した。このことより、粒状体の変形挙動を考えるにあたって、粒状体の構造変化を考えることの重要性が認識された。図-5 「十字」経路試験による主応力比 $\sim$ 体積ひずみ関係

参考文献

- 1) 松岡・水谷・竹内・本田(1992):第27回土質工学研究発表会講演集, 188, pp. 483-486
- 2) Matsuoka, H. and Sakakibara, K. (1987): S&F, Vol. 27, No. 4, pp. 73-88

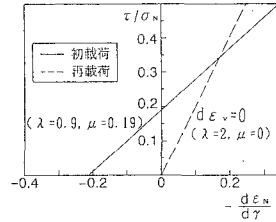


図-3 滑動面上の応力比 $\sim$ ひずみ増分比関係

表-1 アルミ丸棒積層体のパラメータ

ϕ	24°
$C_c/(1+e_0)$	1.2%
$C_s/(1+e_0)$	0.7%
k_s	0.5%
λ	0.9
μ	0.19
δ	30°

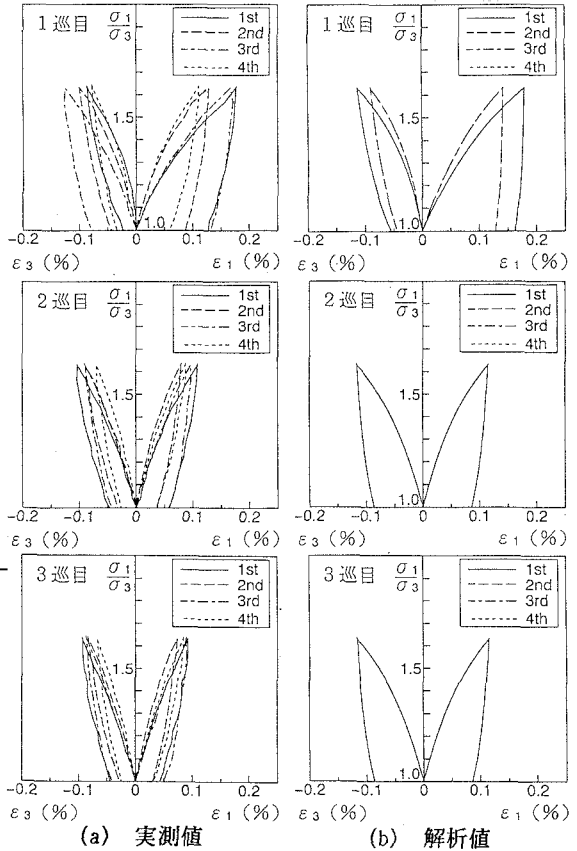


図-4 「十字」経路試験による主応力比 $\sim$ 主ひずみ関係

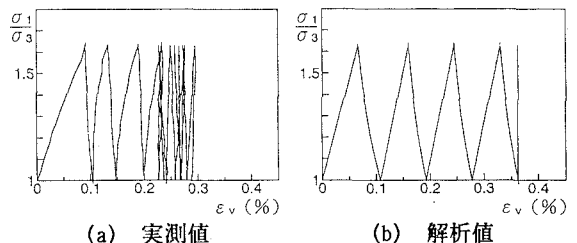


図-5 「十字」経路試験による主応力比 $\sim$ 体積ひずみ関係