

九州大学 工学部 正会員 ○ 林 重徳

" " " 山内 豊聡

電源開発株式会社 " 田中 孝則

1. ま え が き

Coulombが摩擦則をまとめて約200年、さらにMohr-Coulomb則となつてはほぼ100年になるが、今日なお土のせん断定数 (c, ϕ) は、土質力学の根幹をなす。本質的に粒状体である土の変形・破壊現象は、粒子相互のせん断変位に基づくものであり、土が基本的に摩擦則に従う材料であることは間違いない。しかし同時に土がある強さを発揮するためには、相応したひずみが必要であること、及び三主応力下においては、中間主応力の影響を無視し得ないことも多くの実験事実が示しており、これらは従来の摩擦則 (Mohr-Coulomb則) に残された重大な問題点である。数年来筆者らは、三軸(軸対称)圧縮及び平面ひずみ試験の結果を巨視的・統計的に考察し、土のせん断抵抗はせん断ひずみに対応してモビライズされるものであるととらえ、摩擦則のひずみ依存性を明らかにしてきた¹⁾。ここでは、種々の三主応力下に発展・拡張し、最大応力円だけでなく第2、第3の応力円についての等せん断ひずみ三次元包絡線の存在とその特性を明らかにする。三次元包絡線に基づいて得られ、 π 平面に描かれる三次元摩擦角の形状は粒状体(砂)における摩擦則の三主応力依存性を証明するものである。さらにこの三次元摩擦角の概念に基づく降伏条件式は、完全な意味でCoulomb則の三次元化と言ひ得るものである。

2. 三主応力制御試験

2.1 試験方法

供試体は、気乾標準砂を角型マイターボックス内に突固めて作製した。

三主応力は、 σ_1 を上下載荷板、 σ_2 を

〕型の金属板を介したメッシュラバ

バッグ、そして σ_3 をセル圧によって負荷される。試験方法は、圧縮排気条件下で軸ひずみ(ϵ_1)制御の b 値(Bishopの中間主応力係数： $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$)並びに σ_3 一定試験である。 b 値を0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0の5段階に変化させ、各々について σ_3 を3~4段階に変化させて実施した。

2.2 応力-ひずみ関係

試験結果の1例を図-1及び図-2に示す。図-1は3つの平均主応力を、図-2は3つの平均主ひずみを最大せん断ひずみに関してプロットしたものである。平均主ひずみの和が体積ひずみであり、体積ひずみは明らかに方向性をもっていることがとらえることができる。

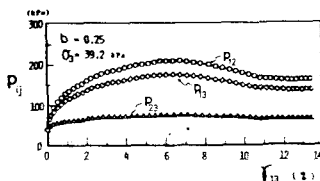


図-1

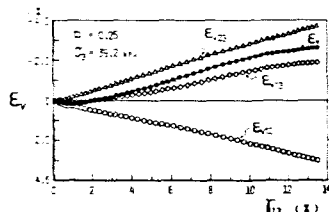


図-2

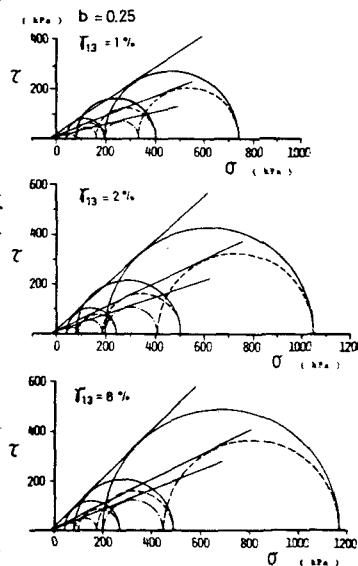


図-3

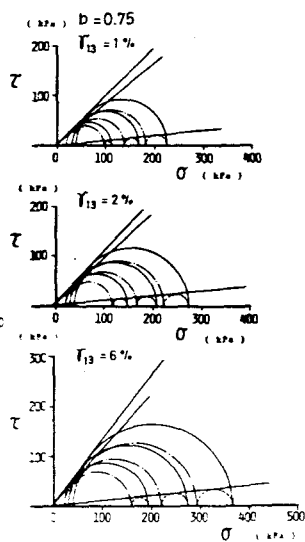


図-4

2.3 等せん断ひずみの三次元包絡線

図-3及び図-4は、任意の等せん断ひずみにおける三次元応力円とそれぞれに対して包絡線を描いたもので、 $b=0.25$ 及び 0.75 の例である。最大応力円についてだけでなく第2,第3の応力円に対しても十分な精度で直線の包絡線が求められ、しかも3本の包絡直線は σ 軸と

同一点で会することが理解される。これら3本の包絡線の傾きは、三次元摩擦角と呼ぶことができる。

3. 三次元摩擦角の特性

3.1 三次元摩擦角のひずみ依存性

初期応力からピーク、軟化さらに残留まで総てのひずみ状態において等せん断ひずみの三次元包絡線を描き求めた三次元摩擦角のモビライジング・プロセスを $b=0.25$ 及び $b=0.75$ の2例について図-5及び図-6に示す。

3.2 三次元摩擦角の応力

依存性

種々のひずみ段階における三次元摩擦角に及ぼす中間主応力の影響を図-7, 8及び9に示す。図-7の ϕ_{13} は従来の摩擦角に準じるものであり、Ko & Scott や Lade & Duncan らの実験結果と類似している。

3.3 円平面上の三次元摩擦角

等方性材料の降伏曲線とその係数は、円平面上で図-10のような幾何学的特性を有する。一方、図-7, 8及び9の三次元摩擦角 ($\gamma_{13}=6\%$ の場合)を円平面上に表示したものが図-11である。さらに、図-10の対称性の原理を適用すると円平面上の三次元摩擦角は、完全な形状として図-12のように表現される。図中には従来の Mohr-Coulomb則及び Bishopにより修正された摩擦角 ϕ 及び ϕ_0 をも示す。また、図-13は、種々のひずみ段階における三次元摩擦角 ϕ_{13} の形状を示したものである。

4. あとがき

この三次元包絡線の概念は、砂に限らず本質的には粒状体である総ての土に適用できるものであり、今後粘性土への適用・検証を試みたい。

参考文献:

- (1) 林・内田：軸圧縮試験における土のせん断破綻のモビライジング・プロセス、土木工学集報、第53巻、第2号、昭53.3
- (2) 林・山内：三次元包絡線に基づく土の降伏条件式、第16回土質工学研究発表会（発表予定）、昭56.5

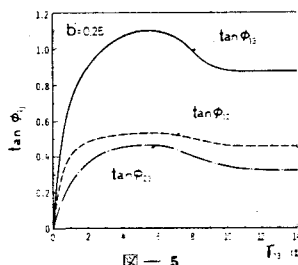


図-5

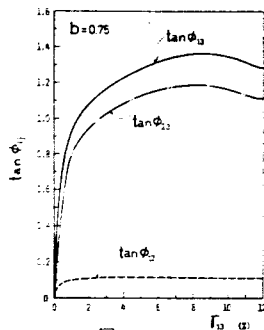


図-6

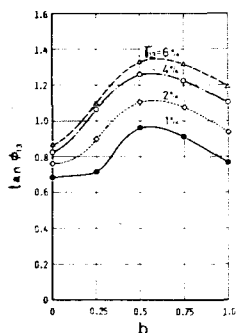


図-7

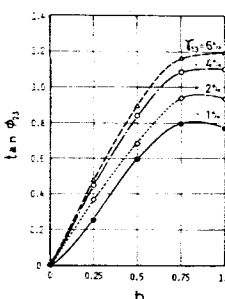


図-8

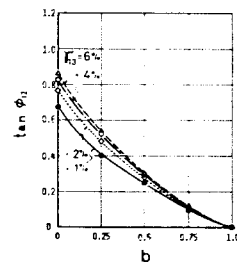


図-9

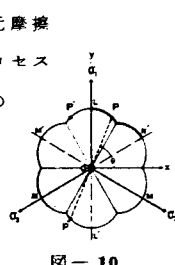


図-10

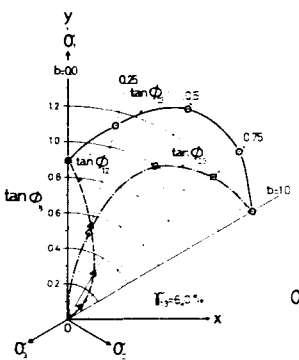


図-11

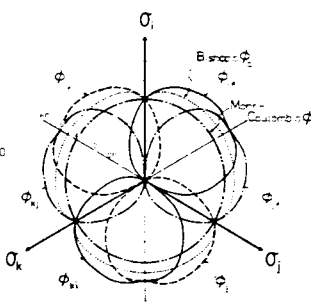


図-12

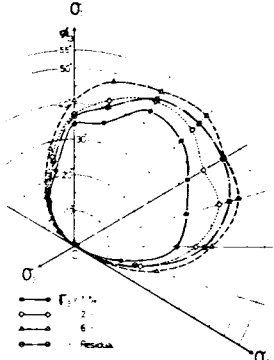


図-13