

III-13

砂の三軸圧縮試験における供試体形状効果について

東北大学工学部（学） ○清水 範浩
 東北大学工学部（正） 池田 清宏
 東北大学工学部（正） 柳沢 栄司

1 はじめに

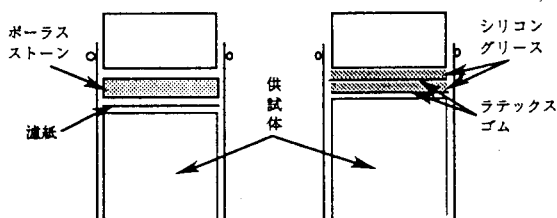
粒状体滑り線形成に関する広範な研究により、そのメカニズムが分岐により支配されていることが明らかになって来ており、砂の滑り破壊現象についても分岐現象の一種であると思われる。また、全ての供試体は初期不整（境界の不整や粒状体の不均質さ、また取り除くことのできない人為的な誤差等）を有する不完全系であるといえる。この初期不整が構造系の耐荷力に及ぼす影響は、近年幅広く研究されている。三軸圧縮試験の応力比-ひずみ曲線の軟化も、分岐に伴うものであり、構成関係ではないと提案されている。本研究は、三軸圧縮試験における供試体の寸法効果や形状効果を分岐理論を用いて考察するものである。

2 実験について

砂の圧密排水三軸圧縮試験（CD試験）を行い、円柱形の供試体の直径を変化させた実験（シリーズ1）と高さ及び端面を変化させた実験（シリーズ2）を行った。それぞれの供試体寸法は表-1に示す。試料は豊浦標準砂（ $G_s=2.640$ 、 $e_{max}=0.966$ 、 $e_{min}=0.592$ ）を用い、供試体は空中落下法で作成し、圧密後の間隙比が0.670から0.679の狭い範囲のものを採用することにより、品質管理を行った。供試体作成後、二酸化炭素・脱気水を通して飽和させ、有効拘束圧 $P_c=1 \text{ kgf/cm}^2$ のもとで30分程度圧密を行い、排水三軸圧縮試験を側圧一定（ $P=1 \text{ kgf/cm}^2$ ）、ひずみ制御（ $\dot{\epsilon}_a=0.18\%/min$ ）の条件で行った。シリーズ2の端面については、端面摩擦を特に軽減しない方法（Regular end：図-1(a)）と端面摩擦を軽減する方法（二層のLubricated end：図-1(b)）の2通り行い比較した。

供試体の 直径(mm)	供試体の 高さ(mm)	データ本数	
		Lub	Reg
5.0	5.0	5	5
5.0	7.5	5	5
5.0	10.0	10	5
3.5	10.0	10	
7.0	10.0	10	

表-1 供試体寸法及び本数



(a) Regular end (b) Lubricated end

図-1 端面条件

3 結果および考察

シリーズ1およびシリーズ2の実験結果の応力比-ひずみ曲線を図-2に示す。（縦軸：応力比 横軸：ひずみ（単位：%））これらのデータはそれぞれの寸法における中央値である。

シリーズ1に関しては、明らかに直径の大きい供試体の方が応力の最大値は大きい。シリーズ2に関しては、Regular endの方は非常に大きな差が認められ、高さが低いほど応力の最大値が大きい。一方 Lubricated

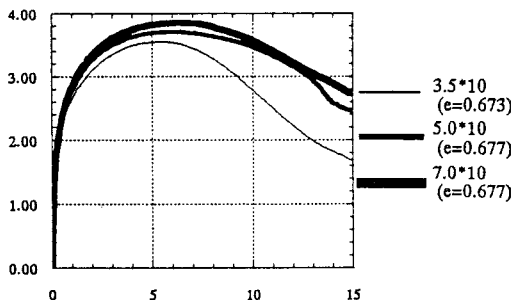


図-2 (a) シリーズ(1)

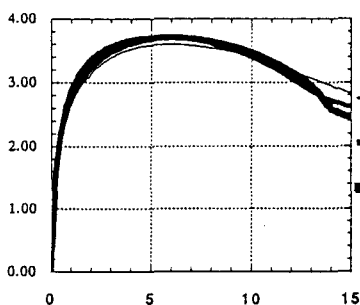


図-2 (b) シリーズ (2) (Lub)

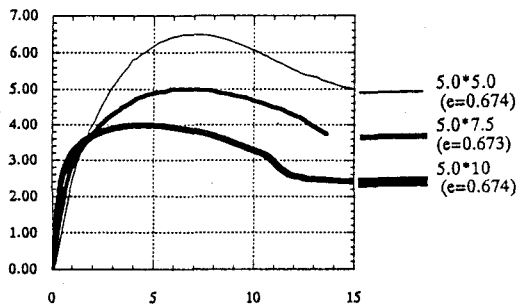


図-2 (c) シリーズ (2) (Reg)

end は Regular end に比べてそれほど大きな差はみられないが低い方が若干弱いと言える。このことに関してストレス・ダイレイタンス関係調べてみると Regular end の低いものは他のものよりはずれていることが確認でき、端面における摩擦の影響は、低いもの程強く現われており、特に低いものに関しては Lubricated end の値の方が本当の応力値に近いと思われる。よって高さの高いもの程応力の最大値が大きいと言える。

初期不整が構造系の耐力に及ぼす影響に関して、Koiter は耐力は初期不整の 2/3 乗に比例することを発見した。(式-1 の初期不整感度則 (2/3 乗則))

$$\bar{f}_c = -\beta \varepsilon^{\frac{2}{3}} + O\left(\varepsilon^{\frac{4}{3}}\right) \quad (\text{式-1})$$

今回の実験結果や従来の寸法効果、形状効果の研究より、供試体の高さ及び直径の増加により耐力 (応力の最大値) が大きくなることが確認された。つまり供試体の高さ及び直径の増加は初期不整を見掛け上減少させるように働き、初期不整は高さ及び直径に反比例すると推論される。(式-2)

$$\varepsilon = \alpha_1 \left(\frac{\Delta}{H}\right) + \alpha_2 \left(\frac{\Delta}{D}\right) + \varepsilon^* \quad (\text{式-2})$$

ここに、 Δ は初期不整の代表的な大きさを、 ε^* は高さや直径の増減に対して相対的な影響が不変に保たれる初期不整を表す。現在の研究段階では、 ε^* の値を知ることは不可能である。

また初期不整は確率変数であり、結果として得られる強度も必然的に確率変数になると考えられる。そこで今回の結果の中から、<直径:5 cm 高さ:10 cm 端面:Lubricated end> の供試体の強度に関する確率密度関数を求め、初期不整のない状態つまり完全系の強度 (この強度を理想強度と呼ぶ) を求めた。確率密度関数は、二重分岐を基にして求めた。(図-3)

参考文献1)池田清宏:

初期不整感度則による軟化特性の漸近近似法

2)Satosi Goto:

STRENGTH AND DEFORMATION

CHARACTERISTICS OF GRANULAR MATERIALS IN TRIAXIAL TEST

3)Kiyohiro Ikeda,Kazuo

Murota: STATISTICS OF NORMALLY DISTRIBUTED INITIAL IMPERFECTIONS

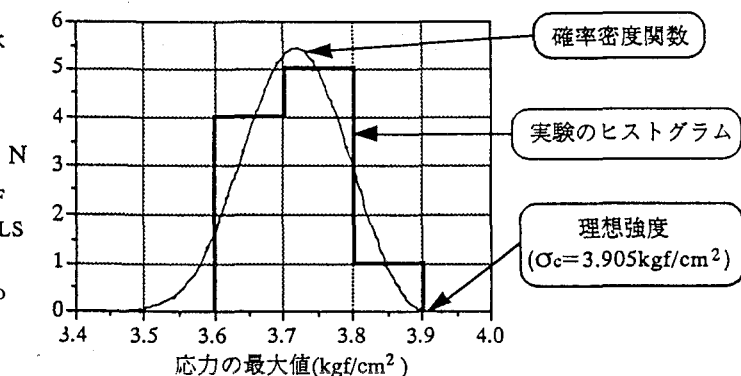


図-3 確率密度関数