

III-190

体積最大圧縮時の応力比Mの異方性について

㈱奥村組 電算センター ○正会員 森尾 敏 日下部 伸
山口大学 工学部 正会員 安福 規之 兵動 正幸

1. まえがき

筆者ら¹⁾は、塑性ポテンシャル曲面(流れ則)を定義する体積最大圧縮時の応力比Mの π 平面での形状を任意に選定できるモデルを提案し、このモデルは、飽和砂の非排水三軸圧縮と伸張挙動の大きな違い(異方性)をうまく表現できることを示した。

本報では、砂のせん断過程における体積変化特性に関する既往の実験結果を、構造的な異方性に着目して整理すると共に、平均主応力 p 一定排水せん断試験結果との比較から、モデルの適用性を調べる。

2. 実験結果に基づく体積変化特性の評価

表-1は、筆者らの実験を含めて既往のデータから得られた三軸圧縮および伸張時の体積最大圧縮時の内部摩擦角 ϕ_{mc} 、 ϕ_{me} を示したものである。表中の R_m は、構造的な異方性の程度を定量的に表すために新たに導入した指標であり、次式で定義される。

$$R_m = \eta_{me} (3 + \eta_{mc}) / (3 \eta_{mc}) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 η_{mc} 、 η_{me} は三軸圧縮および伸張時の体積最大圧縮時の応力比(q/p)の絶対値、 q は軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)で、応力はすべて有効応力である。

図-1は、表-1の R_m を η_{mc} に対してプロットしたものであり、図中の数字は表-1の実験番号である。同図にはモール・クーロン規準を適用したときの $R_m (= 1)$ を実線で、Lade規準を適用したときの R_m を破線で併記している。Lade規準は、やや右上りの曲線である。また、Drucker-Prager規準は同図の

範囲より上方にあり、同じく右上り(勾配 1/3)の直線である。

同図において、MSP法(実験番号7)、Pradhanらの実験(実験番号10)および秋穂砂(実験番号12)では $R_m \approx 1$ であり、 η_{me} がモール・クーロン規準にほぼ一致していることが分かる。また、これらの実験では、供試体作成時に強い構造的な異方性が形成されていることが予測される。

一方、山田らの実験(実験番号1、2)とWet Rodding法(実験番号9)の R_m は、Lade規準の R_m よ

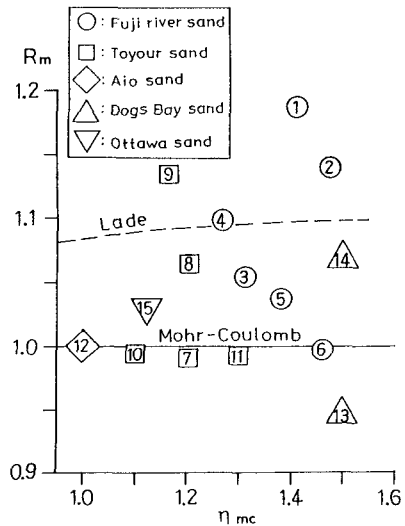


図-1 $R_m \sim \eta_{mc}$ 関係

表-1 既往の実験から得られた ϕ_{mc} 、 ϕ_{me} および R_m

実験番号	文献名	砂の種類	供試体の作成方法	試験方法	p, σ_r (kPa)	D_r (%)	ϕ_{mc} (deg.)	ϕ_{me} (deg.)	R_m
1	山田ら ²⁾	富士川砂	Pouring	p 一定	98	34	34.9	44.7	1.186
2					98	34	36.3	43.8	1.138
3	石原ら ³⁾	富士川砂	pouring	p 一定	98	38	32.5	34.8	1.053
4	龍岡ら ⁴⁾	富士川砂	水中落下	p 一定	98	53	31.6	35.8	1.098
5					196	53	34.1	35.8	1.037
6					294	53	36.0	35.8	0.998
7	三浦ら ⁵⁾	豊浦砂	MSP	σ_r 一定	196	55	30.1	29.7	0.990
8			Dry Tapping		196	55	30.1	32.6	1.064
9			Wet Rodding		196	55	29.2	34.4	1.133
10	Pradhanら ⁶⁾	豊浦砂	空中落下	p 一定	24.5 ~ 147	30 ~ 90	27.7	27.5	0.994
11	著者ら ⁷⁾	豊浦砂	水中落下	p 一定 σ_r 一定	980 784 ~ 1764	40	32.3	32.0	0.992
12	著者ら ⁸⁾	秋穂砂	空中落下	p 一定	98	60	25.4	25.4	1.000
13	著者ら	カーボネイド砂 (Dogs Bay砂)	空中落下	p 一定	98	40	36.9	34.4	0.950
14					98	80	36.9	40.6	1.070
15	Vaidら ⁹⁾	Ottawa砂	水中落下	非排水	196 ~ 2500	33 ~ 43	28.2	29.2	1.028

り大きく、 η_{me} がLade規準とDrucker-Prager規準の間にあることを示している。また、これらの実験では供試体作成時に砂の構造的な異方性が取り除かれていることが予測される。

龍岡らの実験（実験番号4～6）から平均主応力 p の影響をみると、 p が大きくなるのに伴って R_m は次第に低下し、モール・クーロン規準に接近している。このことは、高圧下の豊浦砂（実験番号11）の R_m が1より小さいこととも整合してようである。

これらの結果は、中間主応力係数（ b 値）に応じて体積最大圧縮時の応力比 M が任意に設定できること、すなわち、 M の π 平面での形状を任意に設定できる必要があることを示している。

3. 弾塑性構成モデル¹⁾の提案

提案したモデルは、上の結果に基くもので、破壊応力比 A の π 平面での形状と独立に、 M の π 平面での形状を任意に選定できるモデルである。このモデルは、ダイレイタンシーとせん断強度は直接には関係のない現象とする軽部ら¹⁰⁾の結論とも整合するものである。

4. 実験結果と解析結果の比較

表-1（実験番号12）に示した筆者ら⁹⁾が行った平均主応力 p 一定（98 kPa）、Lode角 θ 一定排水せん断試験の解析を行う。用いた材料は $D_r=60\%$ の秋穂砂で、供試体の作成方法は空中落下法である。

図-2～4は、本モデルで予測される応力比～塑性ひずみ増分比関係、応力比～体積ひずみ関係および応力比～せん断ひずみ関係と実験結果を比較したもので、図中には、 θ が 30° （三軸圧縮）、 15° 、 0° 、 -15° 、 -30° （三軸伸張）の場合の比較が示されている。ただし、図-2の実験結果では、全ひずみを塑性ひずみとしてプロットしている。

解析に用いた材料定数は、表-2に示している。図-2～4において、予測値はストレス-ダイレイタンシー関係、体積変化特性および応力比～ひずみ関係の θ 依存性をうまく表現しているといえる。

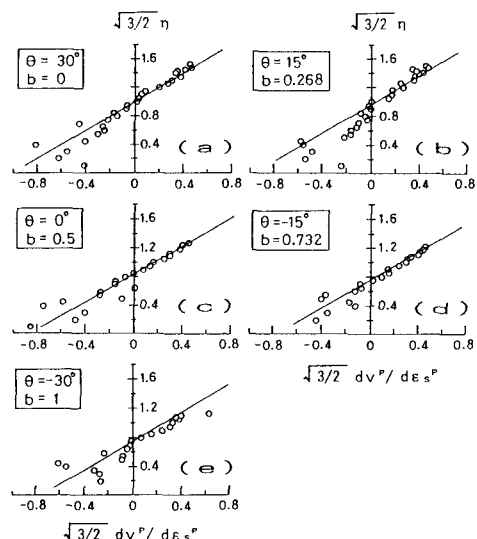


図-2 応力比～塑性ひずみ増分比関係

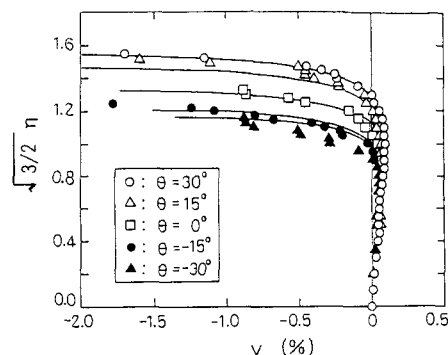


図-3 応力比～体積ひずみ v 関係

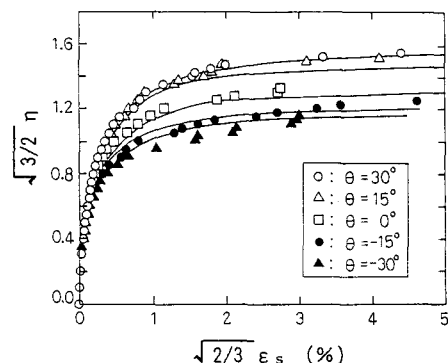


図-4 応力比～せん断ひずみ関係

表-2 解析に用いた材料定数

G_r (kPa)	ν	ϕ_c (deg.)	ϕ_{mc} (deg.)	r	A_m	A_f
25000	1/4	39.2	25.4	2.0	0.751	0.750

参考文献

- 1) 森尾敏ほか：飽和砂の非排水三軸圧縮および伸張挙動の解析的検討、第29回土質工学研究発表会、1994（投稿中）
- 2) Yamada, Y. and Ishihara, K., S&F, Vol. 19, No. 2, 1979
- 3) 石原研而、山田恭央、北川久雄、第10回土質工学研究発表会、pp. 161-164, 1975
- 4) 龍岡文夫、東京大学学位論文、1972
- 5) Miura, S. and Toki, S., S&F, Vol. 22, No. 1, 1982
- 6) Pradhan, T. B. S., Tatsuoka, F., S&F, Vol. 29, No. 1, 1989
- 7) Miura, N., Murata, H. and Yasufuku, N., S&F, Vol. 24, No. 1, 1984
- 8) 安福規之、九州大学学位論文、1990
- 9) Vaid, Y. P. et. al., S&F, Vol. 29, No. 4, 1989
- 10) 軽部大蔵、栗原剛夫、土木学会論文集、第135号、1966