

九州大学 工学部 正 林 重徳 正 落合 英俊
学○井口 公一

1. はじめに

筆者らはこれまで、異方圧密粘性土および構造異方性を有する砂についての種々の b 値一定(三主応力制御)試験により、異方性土の三次元摩擦則を明らかにするとともにそれに基づく異方降伏条件式を提案した。本研究では異方圧密粘性土を用いて、ひずみに伴って b 値を種々変化させる三主応力制御試験を行い、応力・変形特性に及ぼす応力経路の影響を調べ、さらに b 値一定試験結果とも比較対照し、最大せん断ひずみで規定している提案異方降伏条件式の適合性を検証した。

2. 供試体及び応力とひずみの表示法

試料は白色粘土(カオリン)を用い含水比100%で練り返した後、 6.0 kgf/cm^2 まで段階的に圧密を行った。圧密に15日、除荷に1日要した後、所定の寸法に切り出して供試体とした。供試体の表示に用いる座標は、図-1に示すように試料の圧密方向を X 軸とした。円平面上のせん断応力の方向は、図-2のように X 軸から反時計回りに θ と示し、 θ と各主応力との関係は(1)式で、また、中間主応力の相対的な大きさは中間主応力係数 b を用いて(2)式で表わされる。

$$\tan \theta = \sqrt{3}(\sigma_y - \sigma_z) / \{(\sigma_x - \sigma_y) + (\sigma_x - \sigma_z)\} \cdots (1) \quad b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) \cdots (2)$$

3. 試験方法

試験は、最小主応力 σ_3 一定の圧密非排水試験である。ひずみ速度($\dot{\epsilon}_1 = 0.17\%/min$)一定で最大主応力 σ_1 を載荷し検出された σ_1 と σ_3 に応じて所定の b 値が得られるよう中間主応力 σ_2 を制御した。応力経路は、最大せん断ひずみ $\theta_0 = (\epsilon_1 - \epsilon_3)$ の発現に伴って所定の b 値となるように変化させるものとし、表-1に示す4種類の経路を設定した。3種類の主応力方向($0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ, 60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ, 120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)に一致する個々の供試体に対し各 60° 内各経路No.1とNo.2の試験を実施し、経路No.3とNo.4の試験は $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ の範囲についてのみ実施した。表-1に示す b 値は、対応する θ_0 の1%前からコントロールし、所定の θ_0 に達した後は次の θ_0 の1%まで、円平面上で b 値が直線的に変化するように σ_2 を制御する。図-3は、 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ の供試体に対する応力経路No.1とNo.2を、円平面上に描いたものである。

4. 実験結果と異方降伏条件式の比較及び考察

4-1 提案している異方降伏条件式

異方性土についての種々の三主応力制御試験結果より、図-4に示す三次元包絡線の θ 軸切片 b は等せん断ひずみにおいて θ によらず一定であること、また、任意のせん断ひずみにおける三次元摩擦角($\phi_{rxz}, \phi_{ryz}, \phi_{ryx}$)は図-5のように円弧で精度良く近似でき、各円弧の直径に異方性の影響が現われていることを明らかにした。これらの実験事実に基づいて誘導・提案した異方性土の降伏条件式は、三次元摩擦角 ϕ_{rxz} 及び粘着力成分 c を係数として、平均偏差応力: $\sigma_r = (\sigma_0, \theta)$ の形で、(3)式のように表わされる。

$$\sigma_r = 2\sqrt{3} \frac{\sin \phi_{rxz}}{3 + (2b - 1) \cdot \sin \phi_{ryz}} \cdot \{(1 - b)^2 + b^2 + 1\}^{1/2} \cdot (\sigma_0 + dr) \cdots (3)$$

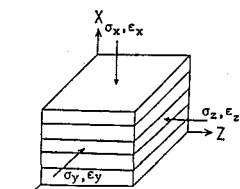


図-1 応力とひずみの方向表示

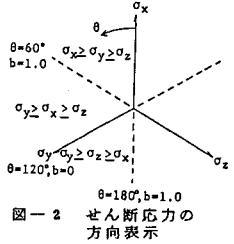


図-2 せん断応力の方向表示

表-1 各経路

Y13 (%)	b 値			
	経路 No.1	経路 No.2	経路 No.3	経路 No.4
1	0.268	0.732	0.732	0.268
3	0.500	0.500	1.000	0.000
5	0.732	0.268	0.732	0.268
8	1.000	0.000	0.500	0.500
10	0.732	0.268	0.268	0.732
12	0.500	0.500	0.000	1.000
14	0.268	0.732	0.268	0.732
16	0.000	1.000	0.500	0.500

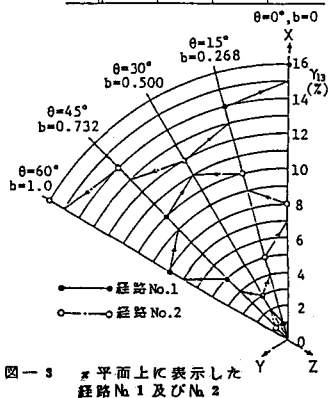


図-3 Y13平面上に表示した経路No.1及びNo.2

4-2 実験結果と考察

図-6(a), (b), (c)は、 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ の供試体についての経路No.2の試験より得られた最大せん断ひずみ ϕ_{13} が、5%、8%及び12%における三次元のモール円である。また、図-6(a), (b), (c)は、それぞれ(a), (b), (c)に対応する b 値一定試験より得られた同じひずみ段階におけるモール円である。これらにはいずれも、精度よく三本の包絡直線を引くことができる。いま、等しいひずみ段階における経路No.2の試験と b 値一定の試験結果を比較すると、いずれも各ひずみレベルにおいて、ほぼ等しい ϕ_{13} （三本の包絡線の O 軸上の収束点）をもつことがわかる。これは、他の経路、及び θ の範囲、 $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ 、 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ の供試体についての試験結果においても同様であった。

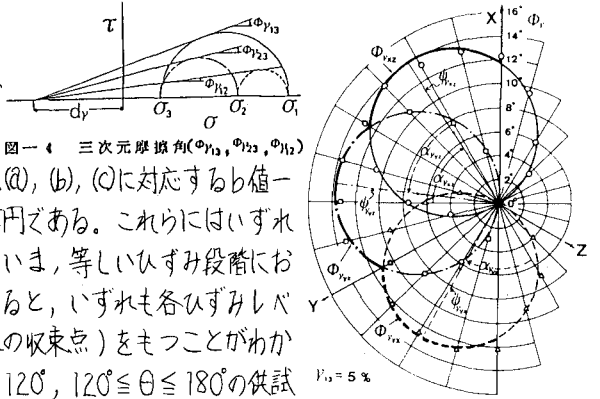


図-5 円弧近似した三次元摩擦角

図-7は、上記と同じ主応力方向及び経路の初期ひずみから残留に到る各ひずみ段階での三次元包絡線より得られた三次元摩擦角 $(\phi_{13}, \phi_{23}, \phi_{12})$ 中の ϕ_{13} と、この経路の各ひずみ段階の θ に一致した b 値一定試験より得られた ϕ_{13} を比較したものである。この図をみると各ひずみ段階の経路No.2の ϕ_{13} と b 値一定のものとは、 $\phi_{13} = 12\%$ 以降においてやや差がみられるものの、全体的に大きな差はみられない。

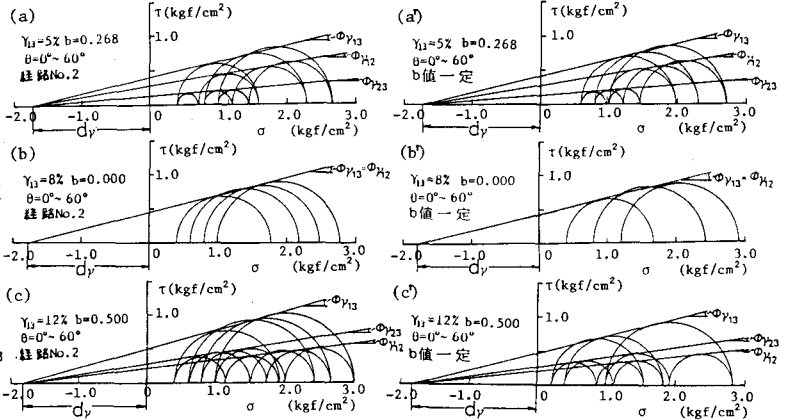


図-6 各ひずみ段階における三次元のモール円及び破壊包絡線

これは、 ϕ_{23}, ϕ_{12} についても、さらに他の経路及び他の主応力方向の供試体についても同様であった。

図-8は、前回行、た b 値一定試験の結果に基づいて提案している異方降伏曲線と、今回の8種類の応力経路の実験結果を $\phi = 3, 5, 8$ 及び12%の最大ひずみ段階について、 $\sigma_0 = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の π 平面上に描いたものである。この図より各ひずみ段階のプロット点はいずれも、そのひずみにおける異方降伏曲線とよく一致し、かつ各経路間に差はみられないことがわかる。

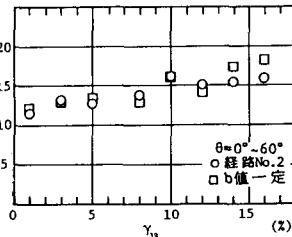


図-7 経路No.2における三次元摩擦角

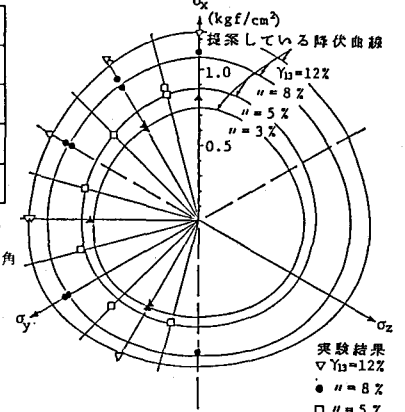


図-8 π 平面上の異方降伏曲線と実験結果

5. おわりに

今回、 θ が各 60° 範囲内の8種類の応力経路を設定し実験した結果、最大せん断ひずみ ϕ が規定された三次元包絡線の収束点 ϕ_{13} 及び三次元摩擦角に経路の影響は認められず、さらに種々の応力経路の実験結果は提案降伏曲線とよく一致を示した。したがって ϕ が規定している提案降伏条件式は少なくともそれぞれの 60° の範囲では、応力経路にかかわらず適用可能であることが検証された。

(参考文献) 1) 林:「土の三次元摩擦則とその応用に関する研究」 学位請求論文; 2) 山内, 林, 本木, 井口:「異方圧密粘性土の三次元応力変形特性」 第19回土質工学研究発表会講演集, pp. 431-pp. 432 3) 林, 落合, 井口:「異方圧密粘性土の三次元応力ひずみ特性に及ぼす応力経路の影響」 第20回土質工学研究発表会, 於:名古屋