

三主応力試験における載荷方法の影響

九州大学工学部 正 林 重徳 正 落合 英俊
学○井口 公一 学 山本 隆宣

1. はじめに

当研究室でこれまで用いてきた三主応力制御試験機においては、長方供試体(9744×3059×97759mm)に対して、最大、中間および最小の各主応力を、それぞれ剛な載荷板、軽金属板を介したプレッシャーバッグおよび三軸室液圧というように、相異なる方法によって載荷している。従って、これまで応力経路の設定に当っては、供試体の切出し方向を変えることによって常に最大主応力軸と剛板載荷軸を一致させ、 $\theta=0^\circ\sim60^\circ$ 、 $60^\circ\sim120^\circ$ および $120^\circ\sim180^\circ$ のそれぞれ 60° の範囲に亘って試験を行い、供試体形状の効果ならびに載荷方法の影響の排除を図ってきた。今回、 θ が各 60° の領域を越えた $0^\circ\sim180^\circ$ の範囲での連続的な応力経路を設定するため、正立方供試体(57×57×57mm)を用い、上記の相異なる3つの載荷方法の影響を調べ、応力経路の拡大が十分可能であることを明らかにした。

2. 供試体及び応力とひずみの表示法

供試体は、6.0kgf/cm²まで段階的にK₀圧密したカオリンを、5.7cmの立方体に切り出したものを使用した。供試体の表示に用いる座標は図-1に示すように圧密方向をX軸とし、対応する主応力及びひずみは同図に示すとおりとする。また、元平面上のせん断応力の方向は、図-2に示すようにX軸から反時計回りに、 θ で表わされ、 θ と各主応力の関係は(1)式で、中間主応力の相対的な大きさはBishopの中間主応力係数 b を用いて(2)式で表わされる。

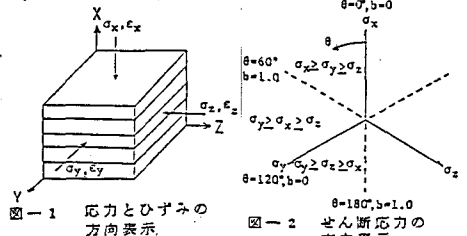


図-1 応力とひずみの方向表示

図-2 せん断応力の方向表示

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

最大、中間、最小の各主応力を各々、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 で表わし、試験機における各主応力は、図-3に示すように鉛直方向に載荷台を上下させて剛板で載荷するものを σ_a 、金属アレートを介したプレッシャーバッグで載荷するものを σ_b 、セル内に満たした液圧で載荷するものを σ_c と表示する。

3. 試験方法

載荷方法の影響を調べるための三主応力制御試験は、 $\theta=0^\circ$ 及び 60° ($\sigma_1 = \sigma_x$ 、 $\sigma_2 = \sigma_y$ 、 $\sigma_3 = \sigma_z$)で、表-1に示す3つのCASEについて実施した。各CASEの制御方法は次に示すとうりである。

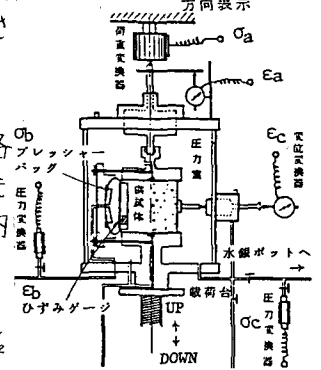


図-3 試験装置

表-1 載荷方法

σ, ϵ	σ_1, ϵ_1	σ_2, ϵ_2	σ_3, ϵ_3
CASE	σ_x, ϵ_x	σ_y, ϵ_y	σ_z, ϵ_z
CASE1	σ_a, ϵ_a	σ_b, ϵ_b	σ_c, ϵ_c
CASE2	σ_b, ϵ_b	σ_a, ϵ_a	σ_c, ϵ_c
CASE3	σ_b, ϵ_b	σ_c, ϵ_c	σ_a, ϵ_a

CASE 1: セル内の液圧(σ_c)一定のもと、一定速度($\dot{\epsilon}_1 = 0.1 \text{ mm/min}$)で剛板による σ_a を載荷し、発生した ϵ_a をもとにプレッシャーバッグによる σ_b を制御する。

CASE 2: CASE 1と同様にセル内の液圧(σ_c)一定のもと、プレッシャーバッグで σ_b を載荷し、同時に発生した ϵ_b を検出してこのひずみ速度が一定($\dot{\epsilon}_2 = 0.1 \text{ mm/min}$)となるよう σ_a を制御する。この σ_a より、載荷台を上下させて σ_c を制御する。

CASE 3: σ_b をCASE 2と同様に制御しながら載荷し、この σ_b をもとに σ_c を、水銀ポットを上下させながら液圧を変化させて制御する。同時に、載荷台を上下させることにより σ_a が一定になるよう制御する。

なお、発生した各主応力及びひずみの値は、5秒間隔でマイコンに取り込まれ、同時に各載荷装置の制御すべき値が表示されるようになっているので、これを見ながら精度良く制御が行なえるようになっている。

4. 実験結果

図-4 (a) ~ (d) は各CASEの応力 $\sim$ ひずみ曲線を比較したものである。(a), (b) は $b=0$ でのCASE 1と、CASE 2, 3を比較したものであるが、 $b=0$ においては $\sigma_b > \sigma_a = \sigma_c$ となっているのでCASE 2とCASE 3は共通の試験となっている。 $b=0$ に関しては、初期応力から $\gamma_{13}=12\%$ 付近におけるピーク応力、さらにそれ以降の残留応力に到るまで2本の曲線間に顕著な差はみられない。これは他の最小主応力の試験のものについても同様のことがいえる。次に(c), (d) は $b=1$ におけるものであるが、(d)については $\gamma_{13}=10\%$ 付近以降各CASEの間に開きがみられる。これは残留応力の微妙な変化を σ_b の制御がうまく捕えることができなかったためである。一方(c)についてはうまく制御が行なえており、初期応力から残留応力に到るまで各CASEの間にほとんど差はみられない。したがって十分注意を払って制御すれば各CASEの応力 $\sim$ ひずみ関係に及ぼす載荷方法の影響は、十分排除することが可能といえる。

図-5 (a) ~ (e) は連の試験結果より得られた $\gamma_{13}=8\%$ におけるモールの応力円である。(a), (b) が $b=0$ 、(c), (d), (e) が $b=1$ の場合のものである。それぞれモール円にはCASEおよび b 値にかかわらず等しい0軸切片 d_v を有する包絡線を精度良く引くことができ、これより三次元摩擦角を得ることができる。

図-6 (a), (b) は図-5の三次元摩擦角 ϕ_{13} を比較したものである。(a) が $b=0$ 、(b) が $b=1$ の場合であるが、(a), (b)ともに $\gamma_{13}=10\%$ 付近までは大きな差はない。したがって異なる載荷方法で求められた三次元摩擦角にも載荷方法の影響はないといえる。

5. おわりに

今回行った3種類の載荷方法による試験結果にそれらの間の差違は認められず、載荷方法の相違による影響は注意深い試験制御によって、十分排除することができた。したがって、これまで θ が各 60° ($\theta=0^\circ \sim 60^\circ, 60^\circ \sim 120^\circ, 120^\circ \sim 180^\circ$) の範囲に限っていた応力経路は、 $\theta=0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲にわたって拡大することが可能といえる。

(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変形特性に及ぼす応力経路の影響」 土木学会第40回年次学術講演会講演概要集第3部, pp. 479~pp. 480

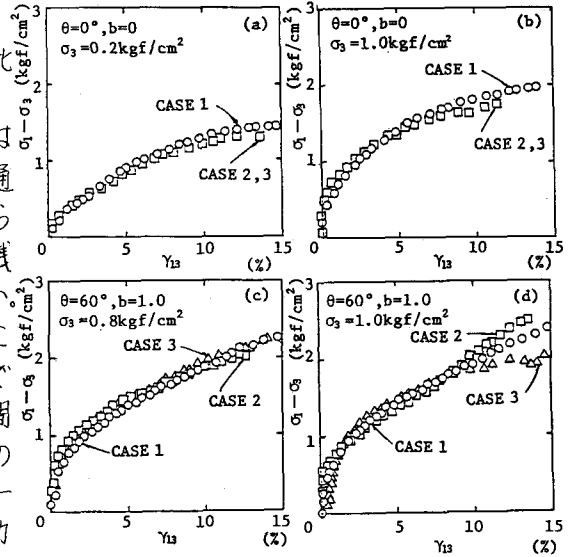


図-4 各CASEの応力・ひずみ曲線

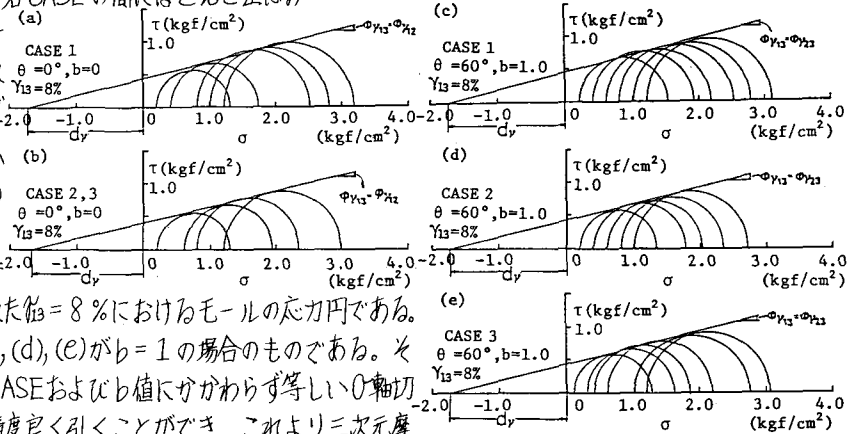


図-5 各CASEのモール円及び包絡線

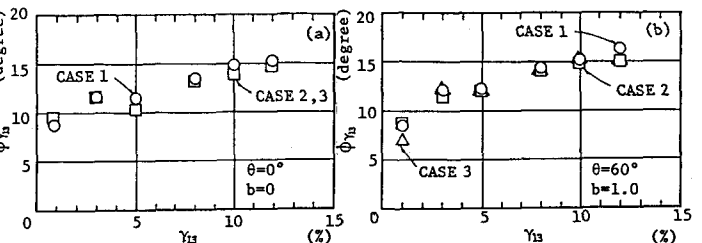


図-6 各CASEの三次元摩擦角 ϕ_{13} の発現状況