

III-440

三次元土／水連成解析によるベーン試験のシミュレーション

(株)大林組 正員 ○杉江 茂彦
金沢大学 正員 太田 秀樹
金沢大学 正員 飯塚 敦

1. はじめに

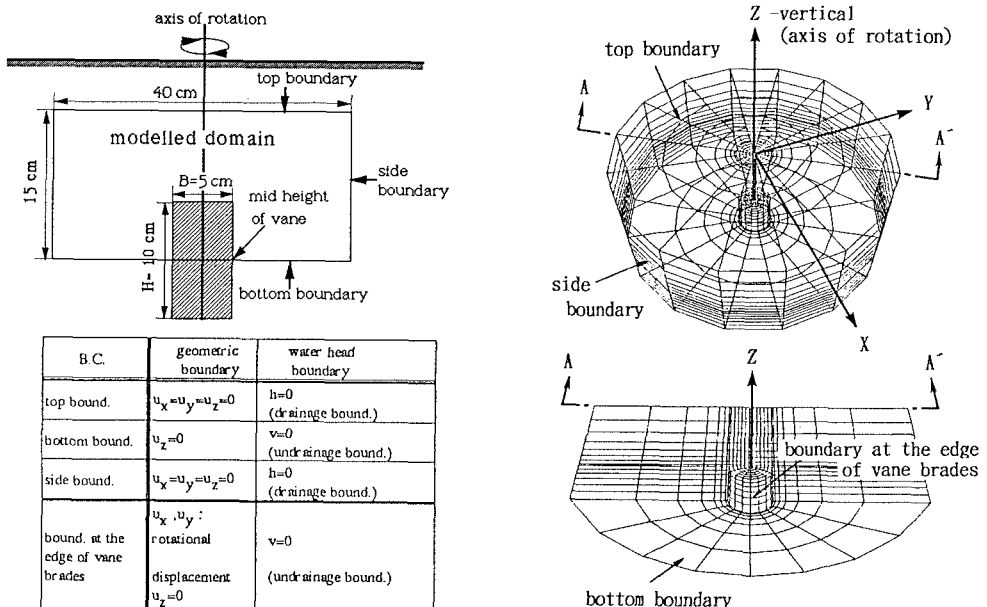
自然堆積粘土でベーン試験を行うと、ベーンの端面と側面で発揮される強度に差が生じることが、例えば Aas¹⁾ (1965)、柴田²⁾ (1967)の研究で明らかにされている。この端面と側面の強度の差を生む要因をより明確にすることが、ベーン試験の結果を解釈する上で重要である。その試みに、FEMによるベーン試験のシミュレーション解析を行ったので、その結果について報告する。ベーン強度が部分排水の影響を少なからず受けることが、柴田²⁾ (1967)、松井・阿部³⁾ (1980)、軽部・小寺⁴⁾ (1983)の実験で検証されている。ここでは、部分排水効果を考慮するため、Biotの多次元圧密理論に基づく三次元土／水連成解析（太田・飯塚・表・杉江⁵⁾ ,1991）を適用した。異方圧密にともなう強度の異方性を考慮するために、土骨格の構成関係には、関口・太田⁶⁾ (1977)の提案による弾塑性構成式を用いた。飯塚・太田⁷⁾ (1987)のパラメータ決定チャートをもとに、粘土の物性パラメータを塑性指数から決定した。

2. ベーンせん断の解析モデル

ベーン寸法；幅B=5cm、高さH=10cm、ベーン回転角速度； $\Delta\theta=6$ 度/分の場合を想定した。これは、ベーン試験の標準的な仕様である。解析に用いた有限要素メッシュと境界条件を図一1に示す。変形の対称性を考慮して、ベーンの中央高さより浅をモデル化領域とした。ベーンの端面および側面上の節点に、回転軸からの距離に応じた回転変位を与えることにより、ベーン試験をシミュレートした。

3. 解析結果と考察

塑性指数PI=40の等方圧密粘土の、側面と端面に隣接する要素のせん断応力（ $(\sigma_1 - \sigma_3)/2\sigma'_{vo}$ ）の分布を図一2に示す。側面のせん断応力は、同図の下半分に見られるように、ほぼ一様である。端面では、三角形（回転角 $\theta=1^\circ \sim 4^\circ$ ）から、放物形（ $10^\circ \sim 20^\circ$ ）、矩形（ 40° ）へと、分布形状が推移している。側面と端面のせん断応



図一1 ベーンせん断の有限要素メッシュと境界条件

力の平均 τ_v, τ_h と回転角との関係を図-3に示す。慣用のベーン強度式を用いて、トルクから求まるせん断応力 τ_{vane} の幅を、2本の細点線で示す。 τ_v が τ_h に先行して発揮されているが、最終的に両者の値は近い。また τ_{vane} の動きが、 τ_v の動きを近似している。

図-4に、塑性指数 $PI=40$ の K_0 圧密粘土の、側面と端面の有効応力パスを示す。非排水単純せん断（DSS.V, DSS.H）の限界状態線(CSL)と有効応力パスも併せて示す。

（ここで、DSS.Vは鉛直な面に沿って水平方向にせん断する場合、DSS.Hは水平な面に沿ってせん断する場合を示す。）側面のA,B,C部および端面のE,F部ともに、非排水単純せん断におけるCSL上で破壊している。なお、回転軸に近いD部では、せん断の進行が遅れている。別途に実施の非排水条件に近づけた（透水係数が大変小さい）ベーンせん断の解析において、側面および端面の各部の有効応力パスが、それぞれDSS.V, DSS.Hのパスとほぼ一致することを確認している。これらの結果より、ベーン

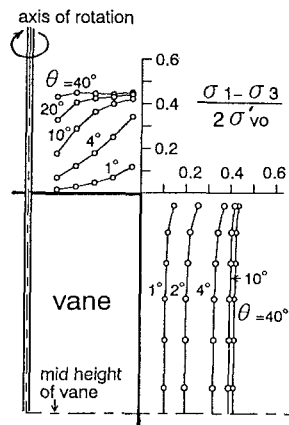


図-2 せん断応力の分布

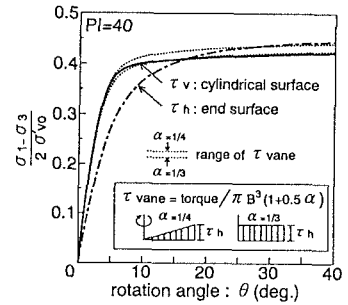
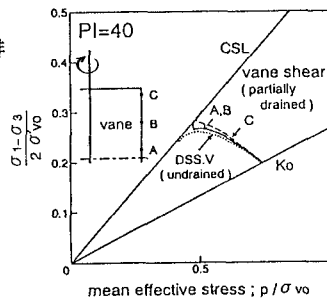
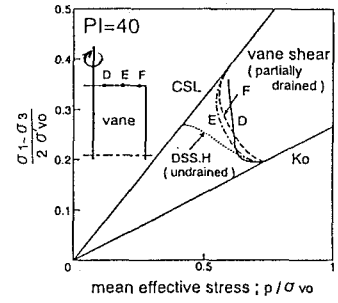


図-3 せん断応力と回転角の関係



(a) ベーン側面



(b) ベーン端面

図-4 有効応力パス

せん断における側面および端面のせん断の機構は、基本的には単純せん断に近いものであることが類推できる。次に側面と端面のCSLに到達するまでのパスを見ると、両者で大きな違いが認められる。すなわち、ベーンの端面でのパスは、DSS.Hのパスから、大きく上方にズレを生じているのに対して、ベーン側面でのパスとDSS.Vのパスとに、大きなズレが生じていない。このズレは部分排水の度合いを表すものであるが、端面における部分排水の度合いが、側面に比べて、かなり大きいことがわかる。塑性指数が $PI=40$ 以外の物性（例えば $PI=20, 60, 80$ ）の結果ではどうであろうか。ベーンの側面と端面のせん断応力の比

τ_v / τ_h ($\theta=40$ 度時) と塑性指数の関係を図-5に示す。部分排水での解析結果を表す実線と非排水条件での理論値の点線との差が、部分排水の効果である。特に、塑性指数の低いところでは、部分排水の効果によって、 τ_v と τ_h の異方性が強調されている。また、解析結果の実線は、原位置ベーン試験で得られている側面と端面の強度比と、傾向が似ている。

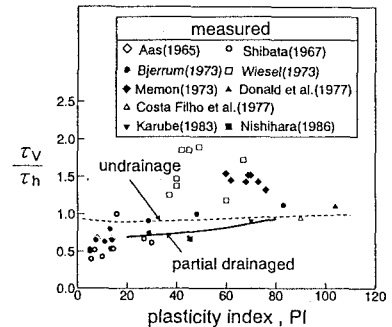


図-5 τ_v / τ_h と塑性指数の関係

参考文献 1) Aas, G(1965): Proc. 6th ICSMFE, pp.141-145 2) 柴田(1967): 土木学会論文報告集, 第138号, pp.39-48 3) 松井・阿部(1980): ベーン試験に関するシンポジウム発表論文集, pp.51-58 4) 軽部・小寺(1983): 第18回土質工学研究発表会, pp.359-362 5) 太田・飯塚・表・杉江(1991): Proc. 7th IACMAG, pp.1191-1196 6) 関口・太田(1977): Proc. 9th ICSMFE, specialty session 9, pp.475-484 7) 飯塚・太田(1987): Soils and Foundation, vol.27, No.3, pp.71-87