

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄

大阪大学工学部 正員 松井 保

大阪大学大学院 学生員 ○大北 康治

1. まえがき

前報告⁽¹⁾ではベーン試験のせん断機構を解明する一助として、有効応力に基づく有限要素法を用いた解析を試みた。その結果、ベーン試験の複雑なせん断機構の一面をうかがい知ることができ、また、せん断面の間げき水圧分布は実測値と定性的に一致していた。しかし、透水性の比較的大きいカオリンに対する間げき水圧分布の実測値のみが解析値と一致しなかった。この原因としては、解析値は非排水条件で解析されているが、実測値はカオリンの透水性が高く、せん断面付近の非排水条件が保たれない状態で測定されていることが考えられる。この点については推測の域を出ていないので、今回せん断速度をさらに速めた実験を追加し、この点を明確にする。

また、実際のベーン試験のせん断面の観察によれば、せん断面付近の中2~3mmの部分でせん断が生じ、この部分の粒子構造がとくに乱される。したがって、せん断の進行とともにその部分の剛性は減少していくと思われる。そこで、検討するせん断面上の微小な要素の剛性を変化させて解析を行い、この剛性が減少する効果を検討したので報告する。

2. 解析方法

解析は平面歪問題と仮定し、間げき水圧を考慮する方法で非排水解析を行った。応力-歪関係はKondnerの双曲線近似式を用い非線形弾性解析とした。解析領域は図-1の様に1/4円を対象とした。同時に、要素分割および境界条件をも示している。なお、斜線を引いた要素は剛性を変化させる要素で、今回の解析では他の要素の1/5に下げる。使用した材料定数は、せん断強度 $C_u=97\text{ gr/cm}^2$ 、初期接線係数 $E_t=17.066\text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.45$ 、破壊比 $R_f=0.94$ である。本報告ではカオリンを対象にしているが、他の正規圧密粘土に対しても定性的には同じである。

3. せん断面付近の剛性変化の影響とその検討

図-2はせん断によって増加した八面体せん断応力の分布、図-3はせん断により増加した最大および最小主応力の大きさとそれらの方向、図-4は間げき水圧の分布をそれぞれ示す。これは剛性の変化による定性的な差異がなかったため、剛性を下げたもののみを示している。

一般に、 $0.82\tau_{max} < \tau_{act} < 0.94\tau_{max}$ という関係があるので $80\sim 91\text{ gr/cm}^2$ の時要素は破壊に達する。図-2では、せん断面付近で $75\sim 80\text{ gr/cm}^2$ の値で円周方向にほぼ等しい値を示し、最大値をとっているため、要素がここで破壊

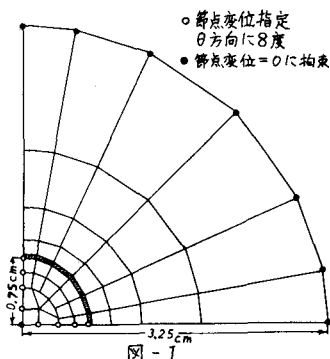


図-1

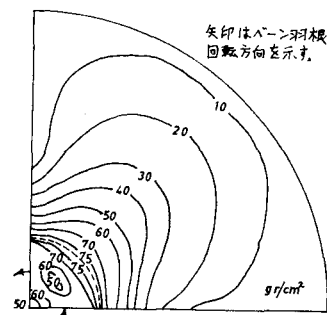


図-2

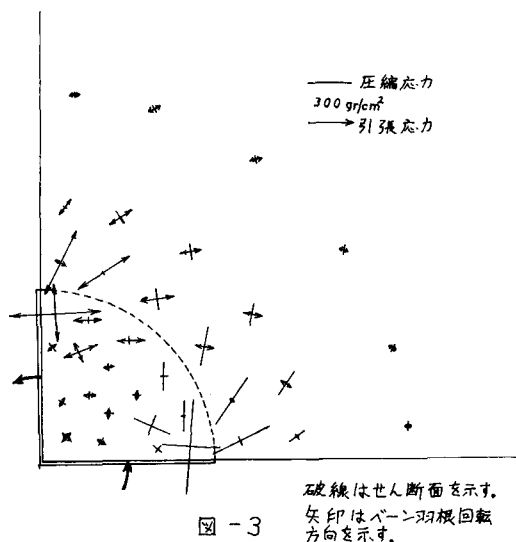


図-3

に近づいていることを示している。

図-3からわかるように、せん断面より外側に離れた領域では単純せん断に近い応力状態が生じている。また、せん断面に沿ってはベーン羽根回転方向へ順に、圧縮→単純せん断→伸張といふ応力状態が生じている。一般に、ベーン試験は直接せん断的な試験法であると考えられているが、この結果よりベーン試験のせん断機構の複雑さがうかがえる。しかるに、軟弱地盤上に盛土をした場合の円礫すべりにおいて、圧縮・単純せん断・伸張といふ応力状態が生じる。これらの一致は、Bjerrum⁽³⁾が円礫すべり面のせん断強度をベーン試験で予測できるとしていることに、一つの理由を与えるものである。

図-4において、ベーン羽根から45度付近の放射方向では間げき水圧の発生しない所があり、それを境にしてベーン羽根に押される領域には正の間げき水圧が、反対側には負の間げき水圧が発生している。なお、0度と90度の境界線上においては間げき水圧は不連続となっている。

図-5はせん断面上のせん断応力の分布と間げき水圧の分布を示す。この際、剛性を下げないものと下げたものを比較して示している。この図より、せん断応力はせん断面にほぼ一様に分布していることがわかる。剛性を1/5に下げたものはせん断応力がやや小さくなっている。間げき水圧分布に対しては、剛性変化により定性的に差異はみられないが、せん断面上の要素の剛性を1/5に下げたものは間げき水圧が約1/2に減少していることがわかる。

4. せん断面上の間げき水圧分布の解析値と実測値の比較

図-6にはカオリン・千里粘土・混合粘土の間げき水圧分布を示している。表-1にそれらの材料の主な物理特性を示している。千里粘土および混合粘土はベーン回転角速度 $\omega = 0.1 \text{ deg/sec}$ のときの値であり、カオリンは $\omega = 0.1 \text{ deg/sec}$ および $\omega = 1.0 \text{ deg/sec}$ のときの値である。図よりわかるようにカオリンの $\omega = 0.1 \text{ deg/sec}$ の場合間げき水圧は一様に分布しており、図-5の解析結果と一致しない。回転角速度が速い場合すなわち $\omega = 1.0 \text{ deg/sec}$ の場合のカオリンと他の正規圧密粘土とは定性的に同じような間げき水圧分布を示しており、図-5の解析結果と定性的に一致している。これは表-1よりわかるように、カオリンの透水係数は千里粘土の透水係数より1オーダー高いので、回転角速度を1オーダー高くしたときに、カオリンの間げき水圧分布が千里粘土の間げき水圧分布に定性的に近くなり解析値と一致することを意味する。(したがってカオリンのせん断時間が透水係数に比して比較的長い場合には、発生した間げき水圧が拡散あるいは消散して一様分布になり、他の場合には非排水条件が保たれ正負の間げき水圧が分布するものと思われる。

<参考文献>

- (1) 伊藤・松井・大北、「ベーンせん断試験の有限要素解析」関西支部(1975), (2) Christian, J. T.; 「Undrained stress distribution by numerical methods」 A.S.C.E. vol. 94, No. SM6 (1968), (3) Bjerrum, L.; 「Problem of soil mechanics and construction on soft clay and structurally unstable soils」 8th I.C.S.M.F.E.

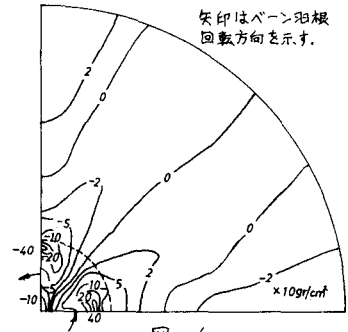


図-4

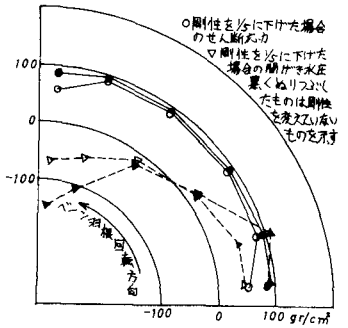


図-5

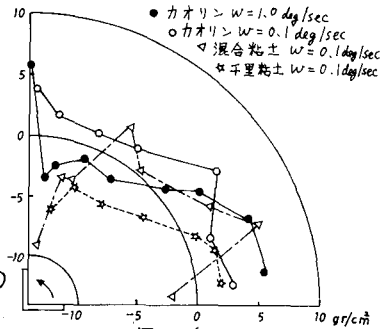


図-6 矢印はベーン羽根回転方向

表-1

	カオリン	混合粘土	千里粘土
透水係数 c_v	3.0×10^{-5}	—	2.5×10^{-6}
L.L.(%)	52.8	65.9	92.6
P.I.(%)	20.1	32.7	54.9
粘土 $(\leq 2\mu)$	60.0	56.0	43.0