

ベーンせん断試験の有限要素解析

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

ベーン試験は、軟弱な粘土地盤の原位置強度を求める際に、有効な試験方法である。しかし、そのせん断機構の複雑さのために利用度が低いように思われる。ベーン試験のせん断機構を解明するためには、せん断面上の応力状態を知らねばならない。この一助として、筆者らは、せん断面上の間げき水圧分布を測定してきた。本報告では、有効応力に基づく有限要素法により、ベーン試験時に発生する間げき水圧および応力状態について解析し、そのせん断機構について考察した。

2. 解析方法

解析は平面歪問題と仮定し、Christianの提唱する方法⁽³⁾により行なう。ただし、応力-歪関係はKondnerの双曲線近似式を用いる。又、ベーン羽根は90度の位相を持つことより、1/4円の領域について解析を行なう。図-1は要素分割（破線）および境界条件を示す。材料定数については、カオリンのせん断強度をベーン試験で求め、 $C_u = 97 \text{ g/cm}^2$ とし、初期接線係数は、圧密非排水三軸試験から得られた $E_t/C_u = 176$ という関係を用い、 $E_t = 17066 \text{ kg/cm}^2$ とした。ポアソン比は $\nu = 0.45$ 、破壊比は $R_f = 0.94$ とした。

3. 解析結果およびその検討

節点変位図を図-1の実線で示す。せん断面の外側の要素一層にのみ、円周方向の相対変位が大きく表れている。これは、実際のベーン試験において得られた粘土の変形状態とよく一致しているので、本解析に用いた境界条件および変位条件がほぼ妥当であると思われる。

図-2には、せん断によって増加した相当応力の分布を示す。相当応力 $\bar{\sigma}_e$ は八面体せん断応力 τ_{oct} と $\tau_{oct} \approx 0.47 \bar{\sigma}_e$ の関係がある。又、 $0.82 \tau_{max} < \tau_{oct} < 0.94 \tau_{max}$ という関係から $1.74 \tau_{max} < \bar{\sigma}_e < 2.00 \tau_{max}$ になり、 $\bar{\sigma}_e$ が $168 \text{ g/cm}^2 \sim 1949 \text{ g/cm}^2$ の時要素は破壊に達すると考えられる。せん断面の少し外側では $170 \sim 200 \text{ g/cm}^2$ の値で、円周方向にほぼ等しい値を示し、最大値

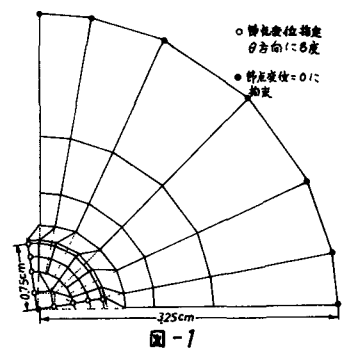


図-1

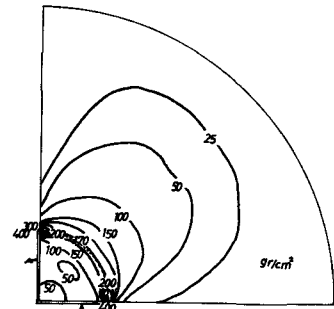


図-2

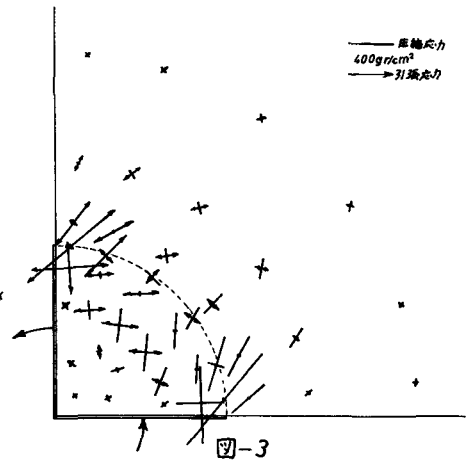


図-3

をとっているから、ここで破壊に達したと考えられる。又、ベーン羽根先端付近では、 200g/cm^2 を越える著しく大きな値が得られている。

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について図示したものである。この図から分かるように、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。せん断面上あるいはその少し外側の領域では、ベーン羽根回転方向へ順に圧縮→単純せん断→伸張といった応力状態が生じている。概略的にみれば、せん断面の約4割が単純せん断、約3割が圧縮、残りの約3割が伸張になっている。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。

図-4に間げき水圧分布を示す。ベーン羽根から45度付近の放射方向においては間げき水圧の発生しない所があり、それを境に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。ベーン羽根の先端より、せん断面に沿って絶対値の大きい領域が見られる。0度と90度の境界線上においては、間げき水圧分布は不連続である。図-5はせん断面上の間げき水圧分布の経時変化を示す。この分布は正負両方の値が発生し、ベーン回転方向に正から負へ減少している。この傾向はせん断開始時より同じ傾向を示している。

4. 考察

図-6には今までに測定した正規圧密粘土の、せん断面上における間げき水圧分布を示す。図-5と図-6を比較すれば、解析値はカオリンの間げき水圧分布と一致していないが、

千里粘土・混合粘土とは定性的に近似している。千里粘土・混合粘土を有限要素法で解析した場合も定性的には同じ分布になると考えられるから、千里粘土・混合粘土に対しては間げき水圧発生機構を定性的に再現していると考えられる。カオリンに対してのみ間げき水圧分布の解析値と測定値が定性的に相違している原因としては、カオリンが他の粘土に比して透水性が高く、せん断面付近の非排水条件が保たれず、発生した間げき水圧が拡散あるいは消散することが考えられる。なぜなら、有限要素法では非排水条件のもとで解析しているからである。この点に関しては今後実験的な裏づけをしたいと考えている。

【参考文献】(1) 松井・折立「ベーンせん断試験における間げき水圧について」関西支部(1973), (2) 伊藤・松井・折立「ベーンせん断試験の間げき水圧に関する考察」関西支部(1974), (3) Christians, J.T.; 「Undrained stress distribution by numerical methods」A.S.C.E. vol. 94, No. SM6 (1968), (4) L. Cadling & S. Odenstad, 「The Vane Borer」Proc. No. 2 Royal Swedish Geotechnical Institute (1956)

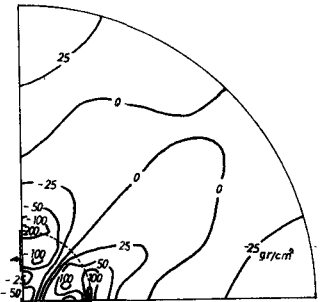


図-4

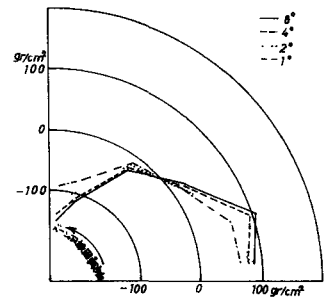


図-5

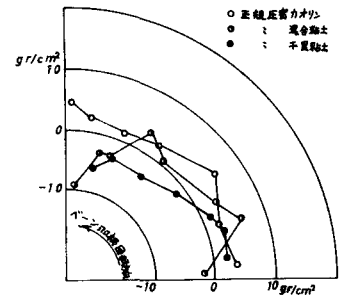


図-6