

1. まえがき

粘土内に埋設された支圧式アースアンカーは、一定荷重のもとでは時間とともに増加する変位を示す。これはアンカー周辺の土が荷重により圧縮膨張及びワリーブ変位を起すためである。筆者はこの問題について、一連の研究を行った⁽¹⁾。その研究の1つとして粘土の中に深く埋設された円形アンカーの模型実験を行ったが、この実験より一定荷重のもとで生ずるアンカー変位のうち、圧密による変位が大きいことが示された⁽²⁾。今回の発表では理論的にこの圧密現象を解析した成果について述べる。

2. 解析方法と解析結果

圧密理論としてはTerzaghi-Rendulic理論とBiot理論を使用し、深いアンカー(つまり無限体内アンカー)の圧密問題を解析した。問題を単純化するために、土は完全弾性体と仮定し、アンカー支圧面には等分布荷重が働くと仮定している。このような単純なモデルで、実際には複雑な土の変位特性やアンカーの荷重分布状態を近似しようとするのは当然2つの問題点があるが、一般にはこのようなモデルが表面基礎の圧密沈下の解析にもよく使用されている。したがってアンカーの問題について今回始めて理論的解析を行うにあたり、同じく単純なモデルを使用する。

Terzaghi-Rendulic理論による圧密解析では、2段階に解析を分けて行う必要がある。本研究ではまずMindlinの弾性方程式を使い、アンカー周辺の土の初期間隙水圧を決定し、次に得られた値を拡散方程式に代入して、これを数値的に差分法を使って拡散(圧密)計算を行った。初期間隙水圧を計算するにあたり土は完全弾性体と仮定されたので、間隙水圧は平均主応力の $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ として計算できる。そのためアンカー周辺の土の要素について3成分の垂直応力を決定する必要がある。図-1にこれらの応力を計算する方法を模式的に示す。

各応力は次式によって計算される。

$$\sigma = \iint I \cdot p \cdot r \cdot d\theta \cdot dr \quad \text{ただし } I \text{ は応力の影響値}$$

上式の2重積分式の詳細は紙面の都合上詳述はしないが、積分点の移動により応力の方向が変化するのを防ぐために、直交座標と円柱座標とを併用して計算する必要があったことを附記しておく。このようにして得られた深い($D/B=200$)アンカー周辺の間隙水圧の分布を図-2に示す。ただし土は $\nu=0.5$ の非圧縮性と仮定している。ここで興味深く思われたのは、深いアンカー周辺の間隙水圧分布と、半無限体表面の円形等分布荷重による間隙水圧分布との間に相似関係があることで、それを図-3に示す。図に示す通りアンカー周辺の間隙水圧と表面円形基礎のそれとの間には、常に1対2の関係がある。しかしながら荷重の大きさを調整すれば両者の差はなくなる。これは後述するがアンカーの圧密曲線と表面円形基礎のそれとを関連づける上で重要であった。図-2に示した間隙水圧分布をもとに、拡散方程式の解法を行った。

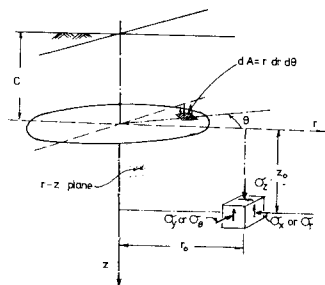


図-1 アンカー周辺の応力の計算方法

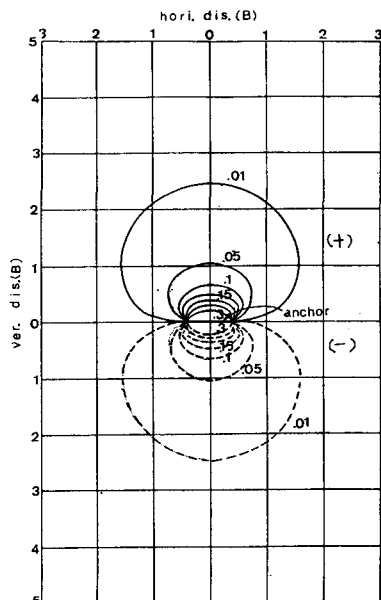


図-2 アンカー周辺の初期間隙水圧分布

それより次の二つの結果が得られた。(1)時間とともに変化する間隙水圧分布は常にアンカー水平面に関して対称となる。(2)アンカー水平面の間隙水圧は常に零となる。これらのことは、当然のことながら 図-2 に示されるように初期間隙水圧が水平面に関して対称で、かつ符号が正と負で逆であったためである。これを押し進めて考えるなら、正と負の間隙水圧分布の内のいずれかを使い、アンカー水平面で排水条件を与えて問題を解法しても同一の結果が得られる。この結論と前述のアンカーと表面円形基礎との間に初期間隙水圧の相似性がある点を考慮すれば、Terzaghi-Rendulic理論による深いアンカーの圧密曲線と表面円形基礎のそれと一致すると言える。図-5 に Terzaghi-Rendulic理論による深いアンカーの圧密曲線を示す。ただしアンカー支圧板は不透水性としたので、間隙水の流れはアンカーの側方だけである。

次に Biot理論の解法を有限要素法によって行った。有限要素法による圧密問題の解析は、近年一般に広く行われているため詳述しないが、間隙水圧の予測精度の向上のために、間隙水圧と変位量とを異なる自由度で表示する8節点の4辺形要素を使ったことを附記しておく。図-4 に有限要素法で得られたアンカー周辺の土の変位の状態を示す。深いアンカーをシミュレートするために、アンカー中心より境界面への距離をアンカー直径の5倍とした。図には非排水時の変位と圧密時の変位と併せて示されている。Biot理論による深いアンカーの圧密曲線を図-5 に示す。アンカー支圧板は不透水性とした。土の骨格のポアソン比は0.0, 0.3, 0.45の三種類に変化させた。図に示されるように Terzaghi-Rendulic理論より Biot理論による方が、圧密進行を若干速く予測する。又ここには示さなかったが、Biot理論により予測できる間隙水圧の Mandel-Cryer効果はアンカー中心軸上で若干見られたが、無視できる程度であった。

3. 結論

- 1) Terzaghi-Rendulic理論によれば、深いアンカーの圧密曲線と表面円形基礎のそれとは一致する。
- 2) 深いアンカーの圧密進行速度は、Terzaghi-Rendulic理論より Biot理論による方が、若干ではあるが、速く予想される。

4. 参考文献

- 1) Y. Tanaka (1980) "Consolidation Behaviour of a Single Underreamed Anchor in Clay", Ph.D thesis, University of Sheffield, U.K.
- 2) 田中 泰雄: 支圧式アースアンカーの圧密による変位, 第16回土質工学研究発表会

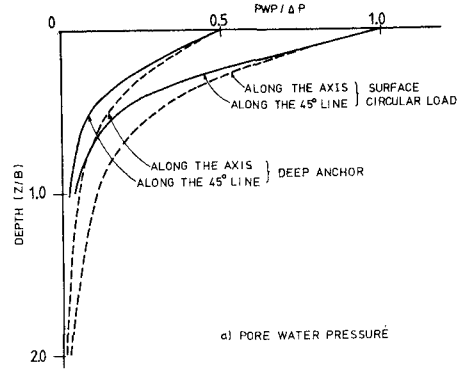


図-3 深いアンカーと表面円形基礎の間の間隙水圧の分布

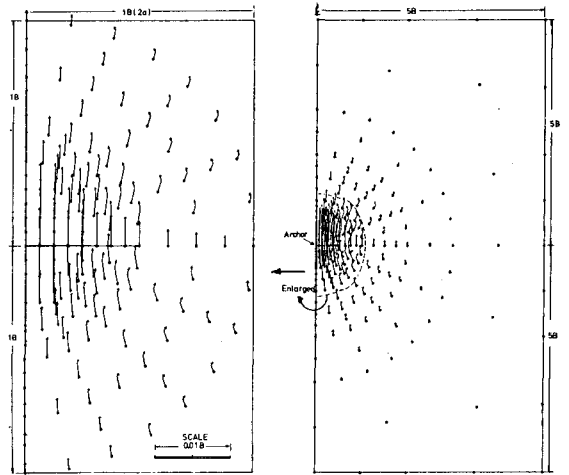


図-4 有限要素法による深いアンカーの周りの変位解析

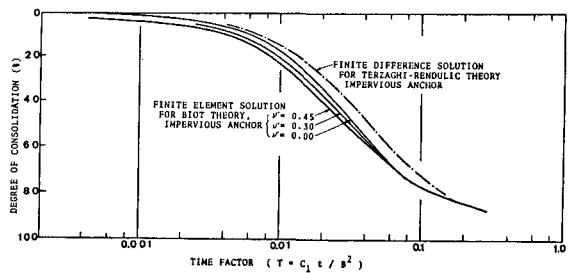


図-5 深いアンカーの圧密曲線 (Terzaghi-Rendulic理論・Biot理論)