

大阪大学工学部 松井 保

大阪大学工学部 ○ 阿部信晴

大阪大学大学院 田村彰教

1. まえがき

土の構成関係式の解明が進むにともない土構造物や地盤の変形解析がかなり現実的なものとなりつつあるが、本報告は軟弱飽和粘性土地盤の多次元圧密解析を土の弾塑性モデルを用いておこなったものである。

2. 弾塑性多次元圧密解析法

ここで用いている圧密解析のための有限要素法はいわゆる Hybrid 法^{2,2)}と呼ばれるものである。紙面の都合でその詳細は省略するが大略は次のようなものである。1) 微小変形理論に基づく弾塑性有限要素法である。2) 土の構成関係式としては Cam-clay モデルを異方圧密状態に拡張したものをを用いている。すなわち、降伏関数は次式で与えられる。

$$f = \sigma'_m \exp\left(\frac{q - q_0}{M^*}\right) = \sigma'_{my} \quad \text{----(1) for active stress state}$$

$$f = \sigma'_m \exp\left(\frac{q_0 - q}{M^*}\right) = \sigma'_{my} \quad \text{----(2) for passive stress state}$$

3) 連続条件式の差分近似法としては、精度、安定性を考慮して中心差分を用いている。4) 変形は平面ひずみ状態で解析している。5) 有限要素は Wilson³⁾の四辺形要素を用いている。Hybrid 法の解の精度をチェックするため、Gibson 等⁴⁾によって求められた解析解と比較したものが図-1 である。Hybrid 法の解析モデルは図-2 に示すものであり、解析解と境界条件を一致させるため底面は鉛直変位のみ拘束、かつ非排水とし、地盤半幅 L は地盤厚 H の5倍とした ($L/H = 5$)。また、 $B/H = 1.0$ 、ポアソン比 $\nu = 0.0$ である。両者の圧密度は圧密初期及び終期で良好一致を示すが、圧密途中で若干の差が生じ、その値はおおむね 5% 程度である。

3. 解析結果と考察

上述の解析法により図-2 に示すモデル地盤の圧密変形解析をおこなった。境界条件としては底面は完全固定、両側面は水平変位のみ拘束である。また、排水は地盤表面からのみ生じるとした。初期応力状態は地盤内で一定とし、有効鉛直応力 $\sigma'_{v0} = 6.0 \text{ t/m}^2$ 、 $K_0 = 0.5$ である。材料定数は $\eta/\lambda = 0.1$ 、 $M^* = 0.7$ 、 $e_0 = 2.0$ 、 $K_z = K_y = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m/day}$ 、 $\nu = 1/3$ である。これらの値はかなり非弾性的な性質の強い粘土のものと考えられる。

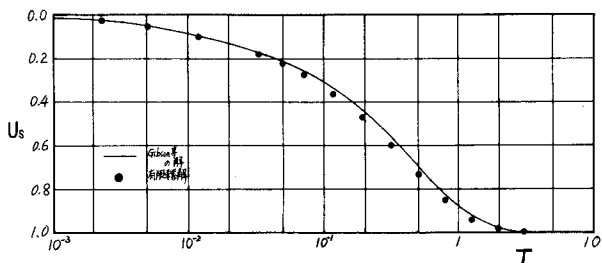


図-1

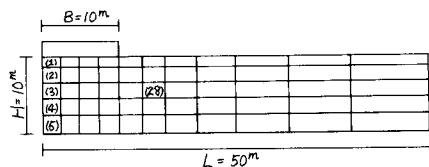


図-2

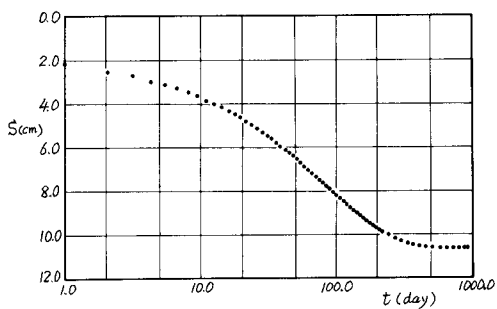


図-3

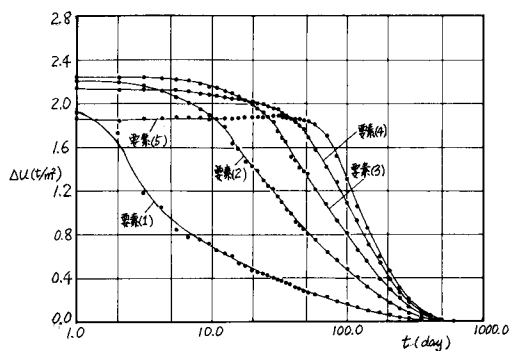


図-4

また、載荷重は $q=2.0\text{ t/m}^2$ の等分布荷重である。

図-3は載荷中央の地表面沈下の経時変化を示したものであり、図-4は要素(1)~(5)の間ゲキ水圧消散の様子を示したものである。図-5は載荷中心から2.4 m離れた断面の水平変位の経時変化を示したものである。図中の破線は圧密開始時のものである。ここで興味深いのは圧密開始後も側方への変形が生じており、かつその変形パターンが深さ方向に時間遅れをともなっている点である。圧密開始後の挙動に関して、応力面ではいわゆるMandel-Cryer効果としてよく知られているが、変形にもその影響が現われているものと考えられる。図-6~8は圧密初期について要素(3)、(5)、(28)の有効応力経路および全応力経路を示したものである。図中の白丸は圧密開始時の応力点である。要素(28)は受働応力状態にある。要素(5)は図-7から明らかのようにその有効応力経路は圧密開始後はほぼ非排水経路上を動いている。したがって、圧密期間中 σ'_m が減少して、破壊線に近づくような要素が地盤内に生じていることがわかる。一次元的な載荷および排水条件(K_0 圧密ではない)下での圧密解析ではこのような傾向が明らかに認められる⁵⁾。図-9は要素(3)、(5)のひずみ硬化度の経時変化を示したものである。図中の破線は圧密度を示している。盛土の段階施工では圧密による地盤の強度増加が期待されるが、圧密途中における粘土の強度増加は圧密度と異なる傾向を示すことはよく知られている。ここでひずみ硬化パラメーター σ'_{my} は粘土要素の非排水強度と直接には関連していないが、この値により大略の非排水強度の増加傾向を推測することができると考えられる。図-9によれば非排水強度増加は圧密初期において小さく、終了時近くで急激に大きくなるという実験結果と定性的に一致している。また、排水面から離れるとこの傾向が顕著に現われてくることがわかる。このことは本弾塑性モデル解析結果から次のように説明される。すなわち、圧密初期においては主働応力状態にある粘土要素の有効応力は σ'_m の増加にともなって、 τ_{act} が減少する方向に移動していく。この τ_{act} 減少の割合は粘土の塑性的性質に支配される。塑性的性質が強い場合、有効応力経路は非排水経路に近い経路となりひずみ硬化の程度も小さい。そして、有効応力点が K_0 -線に達するとその後は K_0 -線上を動くようになり圧密が急速に進む。それにともなって隆状曲線は拡大してゆき、 σ'_{my} も急激に増大することになる。これは有効応力点が K_0 -線に達した後、急速に間ゲキ水圧の消散がおこることとも対応している。

参考文献

1. J.T. Christian et al; Plane Strain Consolidation by Finite Elements
Jour. of SMFD, ASCE, Vol. 96, No. SM4, July, 1970, pp1435~1457
2. J.T. Christian et al; Consolidation of a Layer under a Strip Load
Jour. of SMFD, ASCE, Vol. 98, No. SM7, July, 1972, pp693~707
3. E.L. Wilson; Structural Analysis of Axisymmetric Solids
AIAA Journal, Vol. 3, No. 12, December, 1965, pp2269~2274
4. R.E. Gibson et al; Plane Strain and Axially Symmetric Consolidation of a Clay Layer on a Smooth Impervious Base, Quant. J. Mech and Appl. Math, Vol. 23, 1970, pp405~520
5. 松井他
局部載荷を受ける飽和粘土地盤の沈下と間ゲキ水圧挙動について
第12回土木工学研究発表会講演集, 1972, p611~614

