

サージ効果を考慮した圧密有限要素解析

佐賀大学理工学部 正員 〇右賀勝喜
荒牧軍治

1. まえがき

軟弱地盤において土木構造物を築造する場合、地盤の圧密現象により構造物に大きな変形を生じさせ、ときにはその構造物を破壊に到らしめる事がある。そこで構造物を築造した後の変形を小さくするため、また地盤の支持を増す目的でサージ工法、あるいはプレローディング工法が行なわれる。しかしその現象の把握はまだ十分でなく、特に盛土除去後の地盤の挙動は十分に知られていないと思われる。特に2次元、3次元問題における全体系の解析はほとんど行なわれていない。このような全体系の解析には有限要素法等の数値解析法の助けが必要である。有限要素法の圧密解析は大きく2つの流れに大別される。1つは土を弾性体と考えた Biot 型の線形圧密理論であり、もう1つはより複雑な土の構成式を用いる方法である。土の構成式を用いる方法はその手法が複雑になり過ぎ、やゝともろく全体系把握に不便な場合がある。むしろ線形圧密理論に土の非可逆性を導入しサージ効果を表現する方がより簡便で、有利であると思われる。

本研究は Biot 型圧密理論に基づいた有限要素法プログラムと載荷、除荷という事象を表現できよう、簡単な修正をほどこしたものであり、このプログラムを用いて、室内実験結果との比較検討を行なったものである。

2. 変形の非可逆性の有限要素法への導入

土は一般に非可逆性を示す。つまり載荷時と除荷時では変形係数が変わるという事である。この現象の最も簡単な表現方法として載荷、除荷時の弾性定数と変化させた。式を増加系で表わせば簡単であるが、境界条件等と考えると必ずしも得策でない。そこで次のような方法を用いた。図-1に示す応力-ひずみ関係を用いて考察してみる。圧縮過程の弾性定数を K_0 、膨張過程の弾性定数を αK_0 とし、除荷直前の有効応力を σ_0 とする。除荷直前のひずみにおける微小要素のひずみエネルギーは ΔBOD で与えられる。最終的には σ_0 となるので要素内のひずみエネルギーは ΔGOD である。台形 BQD 分のひずみエネルギーは要素を膨張させるのに消費される。

あるいは非可逆過程を表現するのには ΔBOD のひずみエネルギーを何らかの形で取り除いてやれば良い。ある応力 σ において弾性定数を小さくするとひずみエネルギーが人工的に取り去られることになる。応力レベルに応じて弾性定数を K_0 から K_r まで徐々に変化させると ΔBOD 分のひずみエネルギーが取り除かれたことになり、非可逆性が表現できる。

三角形の相似則を用いて修正弾性係数 K' は次式で与えられる。

$$K' = \frac{\alpha \sigma}{\alpha \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma)} \cdot K \quad (1)$$

ここで α (膨張時弾性係数修正係数) と K は既知なので初

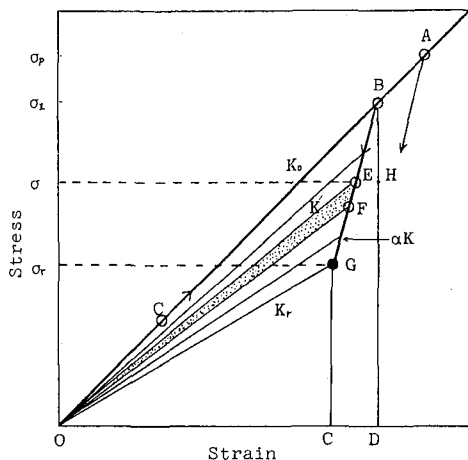


Fig. 1

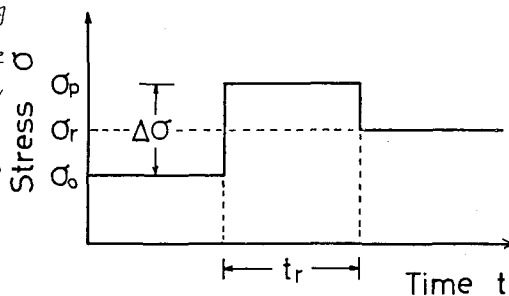


Fig. 2

期の応力レベル σ_x と現在の σ_y が分かれば修正弾性定数 K' を求めることができる。 K および K' を体積弾性定数とする時は σ_x, σ_y として

$$\sigma_{vol} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (2)$$

の値を、せん断弾性定数と考える時は σ_x, σ_y とし

$$\tau_{vol} = \sqrt{\frac{(\sigma_x + \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2} \quad (3)$$

を用いて弾性定数と決定出来る。

3. 圧密試験結果

図-2に圧密試験の手順を示す。まず σ_0 で初期圧密を行う。 σ_0 による圧密が終了した後、荷重を $\Delta\sigma$ だけ増加させ σ_p とし圧密試験を開始する。

次に t_r 時間後に除荷を行ない σ_r とする。図-3

にその結果を示す。各応力の値は $\sigma_0 = 2.55 \times 10^5$

N/m^2 , $\sigma_p = 1.04 \times 10^5 N/m^2$, $\sigma_r =$

$0.72 \times 10^5 N/m^2$, $\sigma_p/\sigma_r = 1.45$, $t_r =$

4~1440 minとしている。この図において

▼印は σ_p で圧密試験を継続した時の鉛直ひずみを示し、▲印は初期圧密の後、 σ_r の応力で行なった時の結果である。それらの間に示されている曲線はリーチャージの載荷時間 t_r を4分から1440分まで変化させた時の沈下曲線を示している。この図から分かるように比較的初期の段階で除荷した時にもびり量は小さく、その後の圧密は進行している。一方圧密後期に除荷を行なうと、もびり量は大きく、しかも瞬間的に起り、その後の沈下はほとんど進行しない結果となっている。

4. 1次元圧密の数値解析

図-4の1次元モデルを用いて数値計算を行なう。用いた工の物性は表-1に示す。図-5にモデルの頭部における沈下量の時間的変化を示している。実際は $\sigma_r/\sigma_p = 0.5$ 、破壊は $\sigma_r/\sigma_p = 0.3$ を示している。図から分かるように定性的には実験結果とほぼ同じ傾向を示している。

5. 結語

圧密荷重の除荷により発生する膨張過程の表現として弾性定数の変化を考え、Biot型圧密理論の有限要素プログラムへの組み込みは実験結果との定性的一致とみた事で満足出来るが、実際問題への適用はまだ問題点が残した。実験データは西日本工科大学の安原教授よりいただいたものであり、これによりお返し申し上げます。

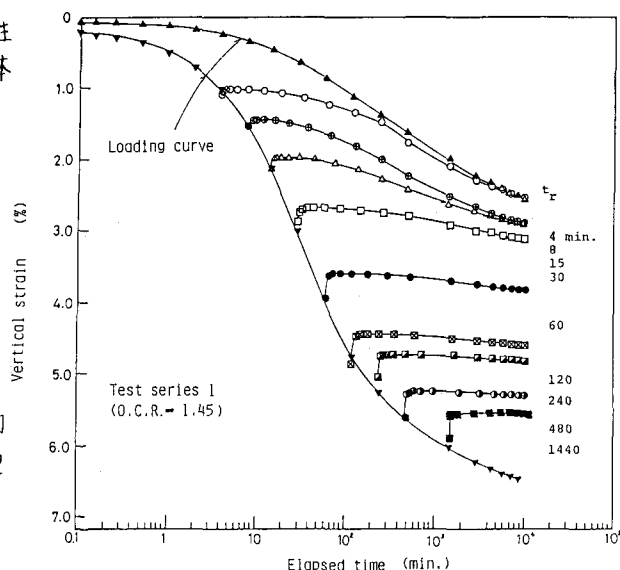


Fig. 3

Table 1

E	0.98×10^6	N/m^2
K	0.3267×10^6	N/m^2
G	0.490×10^6	N/m^2
k	1.0×10^{-8}	m/s
K/μ	0.8813×10^{-7}	$m^4/N \cdot day$
α/β	0.25×10^{-9}	m^2/N

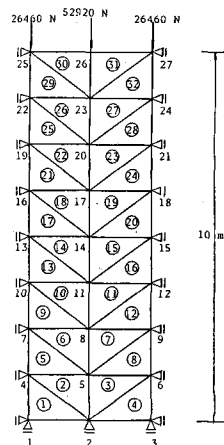


Fig. 4

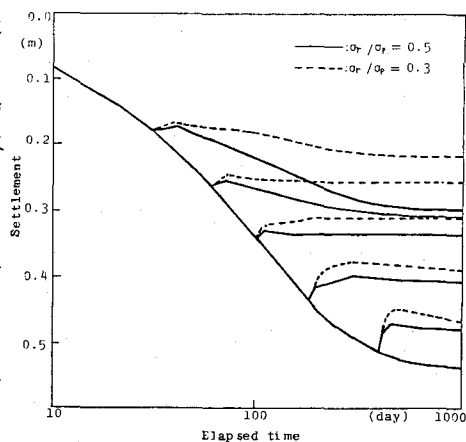


Fig. 5