

III-A 181 速度場に制約を受けた地盤の圧密早さの弾性圧密解析による一考察

名古屋大学工学部 学生会員 金田一広・福井孝夫  
 名古屋大学大学院 正会員 浅岡 顕・野田利弘

1. はじめに

鉄筋やジオテキスタイルなど補強材により補強された斜面等の安定問題に対し著者らは、剛性が大きく異なる補強材と土骨格が一体化して挙動することに着目し、土骨格の速度場に「距離不変」等の制約条件を設けることで、安全率の増加や土～補強材系の内力（相互作用力）として補強材力を求めてきた。そこでは、補強材がない場合よりも土骨格の変形拘束に必要な力が作用し、補強斜面は強くなっていることが分かる。

では、土に比べ十分大きな剛性をもつ摩擦杭等が地盤内に打設されて土骨格の変形を拘束するだけで、変形は小さくなり、地盤の圧密早さは変化するのであろうか？ 簡単のため、微小変形理論に基づいて地盤の線形弾性圧密変形問題を考えるとき、境界条件・弾性定数・透水係数が一意に決まれば、荷重のかけ方や大きさによらず、地盤の圧密早さは唯一に決まるのであるから、上の補強土のことからすれば、土骨格に作用する荷重のかけ方や大きさが変わったただけなので、圧密早さは変化しないのではないだろうか？

本報告では定性的で証明は示さないが、1次元と2次元平面ひずみ問題の微小変形計算例を通じて、線形弾性地盤であっても摩擦杭等によって変形が拘束されているとき、地盤の圧密早さが変化することを示す。

2. 速度場に制約条件を設けた圧密方程式の概要

一般に土骨格の速度場  $\{v\}$  に  $C_t\{v\} = 0$  なる制約条件がある場合、速度型の力のつりあい式の弱形式に有限要素法を適用する際に Lagrange の未定乗数法を用いると、最終的に圧密方程式を次式で表すことができる。（より詳しくは文献1）参照。）

$$\begin{bmatrix} K & -L^T & -C_t^T \\ -L & 0 & 0 \\ -C_t & 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{u\} \\ \mu \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{u\} \\ \mu \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{\dot{f}\} \\ \{0\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに、Kは土骨格の接線剛性マトリクス、Lは土骨格の節点の速度場  $A(X^A)$  から体積変化速度に変換するマトリクス、Hは等水係数を含むいわば間隙水の剛性マトリクス、 $\{u\}$  は節点の変位ベクトル、 $\{u\}$  は本報告で水～土連成式（連続式）に田村法を用いているので要素中心の間隙水圧ベクトル、 $\{\dot{f}\}$  は単位時間当たりの外力、 $\mu$  は Lagrange 乗数である。また、制約条件とは、例えば「摩擦杭」の杭周の土骨格の変形拘束のことで、図1のように節点A,Bが「距離一定」のまま変形すると仮定すると、AB間の距離  $|x^A - x^B|$  の時間微分をゼロとおくことにより具体的に次式を得る。

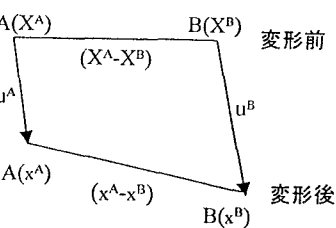


図1 速度場の距離不変条件

$$(X^A - X^B)^T (v^A - v^B) = 0 \quad (2)$$

式(1)を解いて得られる Lagrange 乗数を用いて  $C_t^T \mu$  を求めると、上の例の場合、 $C_t^T \mu = (X^A - X^B) \dot{\mu}$  がちょうど2点間距離を不変にするために土骨格が「摩擦杭」から受ける単位時間当たりの杭軸方向の力の増分となる。

3. 制約条件の有無による計算結果の比較

(1) 1次元問題：図2に計算に用いた有限要素メッシュ(層厚10m)と、載荷速度  $0.005 \text{ kN/m}^2/\text{sec}$  で約30分間線形的に載荷後放置するとき、そのAB間に「距離不変」の制約条件を(a)与えない場合と(b)与えた場合の圧密終了時の変形図を示す。もちろん、どうしたら点AB間にそのような制約条件を与えることができるかは不問である。図3と図4にそれぞれ(a),(b)両ケースについて地表面の沈下～時間関係ならびに浅岡法により荷重放置後の沈下挙動を整理した差分図を示す。明かに、沈下が小さくなって地盤の剛性が上がり、図4で

は(b)の方が(a)よりも勾配が小さく圧密が早くなっていることがわかる。しかし、「一次元力学」的に考えて、ちゅうど制約条件があるAB分だけ「排水距離」が短くなった問題になったのではなく、AB間ではダルシー則に従って間隙水圧が直線的に分布していることには注意する（図は省略）。

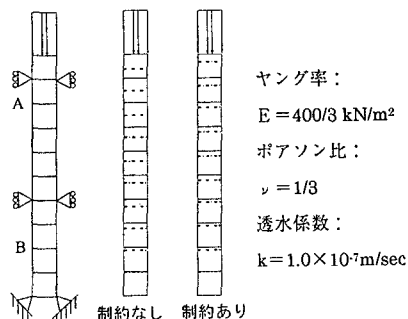


図2 圧密終了時の変形図と解析メッシュ（1次元）

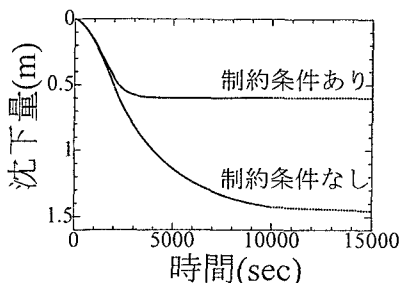


図3 時間～沈下量関係（1次元）

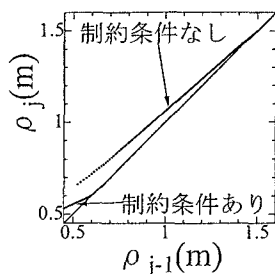


図4 差分図（1次元）

(2) 2次元平面ひずみ問題：図5に示すような25m×200mの地盤に載荷速度0.015kN/m<sup>2</sup>/secで約30分載荷後の荷重放置時の挙動を調べた。「距離不変」の制約条件は、地表面から鉛直方向下向きにある3節点(15m分)について盛土直下にある要素すべてに与えた。図6～図8に制約条件を(a)与えない場合と(b)与えた場合の盛土中央直下の時間～沈下関係、圧密終了時の変形の比較ならびに差分図を示す。(b)の場合沈下が小さくなり、圧密が早くなっていることがわかる。なお、ここでは平面ひずみ問題を例にしていて面的ではあるが「杭」の軸力分布の経時変化を求めることができる。（図省略）

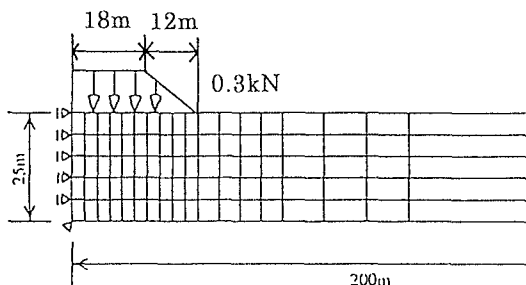


図5 有限要素メッシュ（2次元）

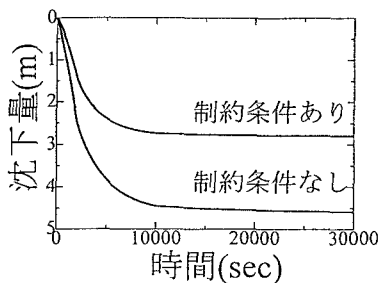


図6 時間～沈下量関係（2次元）

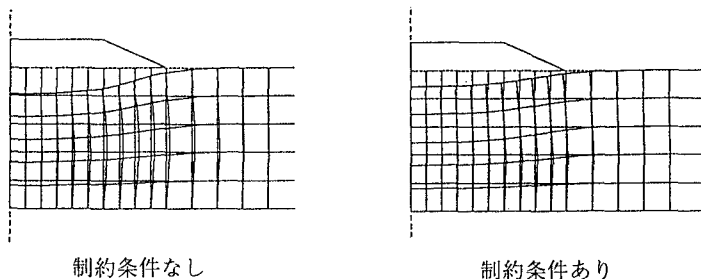


図7 圧密終了時の変形図（2次元）

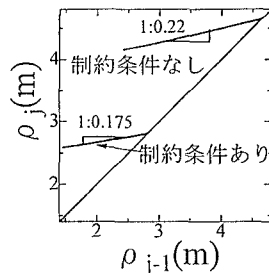


図8 差分図（2次元）

#### 4. おわりに

図5で与える下端部の境界条件を取り去り、代わりにこれと同じ役割を果たす制約条件を入れると、同一の答えが得られる。すなわち、制約条件を入れることは境界条件を変化させることと等価で、制約条件を入れることにより圧密早さは変化する。参考文献 1) 浅岡他(1996)：Modeling of Linear Reinforcing Bars in 3-D real space for the use in 2-D Plane Strain Rigid Plastic FE Analysis、本誌 2) 浅岡他(1996)：速度場に制約条件を与えて得られる荷重/変位境界条件とその応用、第31回地盤工学研究発表会。