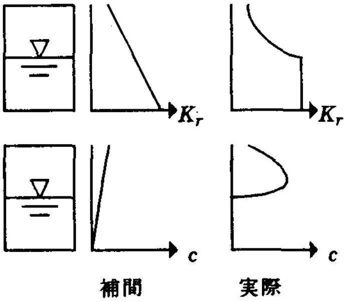
III-279 三次元飽和・不飽和非定常浸透流解析の数値計算上の改良

鹿島建設(株) 正会員 杉山 利幸 松本 喬
正会員 佐々木 猛 正会員 内田 典男

1. はじめに

現在、飽和域・不飽和域を統合して取り扱った浸透流解析が、一般に用いられるようになったが、浸潤面付近で、比透水係数や比水分容量が急激に変わる為に、支配方程式は強度の非線形性をもつ。従来は節点の水頭からこれらをもとめて、要素の中を補間していたが、このような場合不飽和特性が正しく反映できない可能性がある。三次元の場合は、二次元の場合より数値誤差的に条件が悪くなる。本論文では要素の台形積分を行うことで、より妥当な結果が得られたことを示すものである。



図−1 K_r,c の補間と実際

2. 不飽和特性の問題点

理論の詳細は文献1)に譲る。解析領域Vを支配する偏微分方程式は、

$$divK(\psi)\nabla h=(c(\psi)+\alpha S_S)\frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{------(1)}$$

ここで$K(\psi)$:透水係数テンソル,ψ:圧力水頭,h:全水頭,$c(\psi)=d\theta/d\psi$:比水分容量,α:飽和のとき1,不飽和のとき0,S_S:比貯留係数,θ:体積含水率である。更に$K(\psi)$は以下のように分けて考える。

$$K(\psi)=K_r(\psi)K_S \quad \text{------(2)}$$

ここで$K_r(\psi)$:比透水係数,K_S:飽和時透水係数テンソルである。要素は精度的に、あまり問題のないisoparametoric要素を用いる。

通常この種の研究は節点の水頭ψ_kに対するK_r,cを求めて中を補間している。すなわち、$K^k{}_r=K_r(\psi_k)$, $c^k{}_r=c(\psi_k)$としたときに、

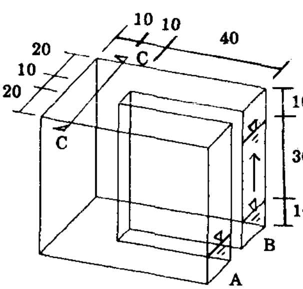
$$K_r(\psi)=\sum_k K_r^k N_k \quad , \quad c(\psi)=\sum_k c_r^k N_k \quad \text{------(3)}$$

この場合K_r,cは要素内で線形変化しかしていないが、実際は急激な変化をしている(図−1)。特に$c(\psi)$では著しい。これに対し、2通りの対策を取って比較することにした。

①メッシュを細かくする。

②飽和域と不飽和域の混在した要素に対しては、(3)式をのかわりに(4)式を用いて、高さ方向の積分の計算は通常のGauss積分ではなく、$K_r(\psi),c(\psi)$を正しく評価するために台形積分で行う。

$$K_r(\psi)=K_r(\sum_k \psi_k N_k) \quad , \quad c(\psi)=c(\sum_k \psi_k N_k) \quad \text{------(4)}$$

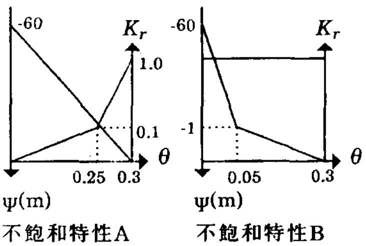


図−2 解析モデル図

3. 検討ケース

地下水の迂回問題にて行う。初期状態は10mの水位で、面Bの水位が40mに急激に上昇する(図−2)。A,B面は水頭固定、他は不透水面。異方性は無く飽和時透水係数5×10^{-5}cm/sec。

この問題で、K_r-θ関係、θ-ψ関係のどちらが積分法やメッシュに影響するかを見るために、不飽和特性AとB(図−3)で行う。メッシュは図−4の2ケース用意する。台形積分を行うときは高さ方向10分割とする。



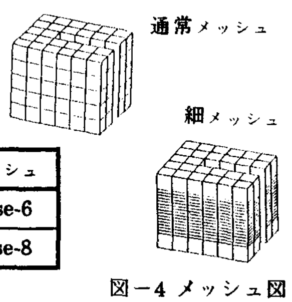
図−3 不飽和特性

不飽和特性A	通常メッシュ	細メッシュ
Gauss積分	Case-1	Case-2
台形積分	Case-3	Case-4

表−1 不飽和特性Aのケース

不飽和特性B	通常メッシュ	細メッシュ
Gauss積分	Case-5	Case-6
台形積分	Case-7	Case-8

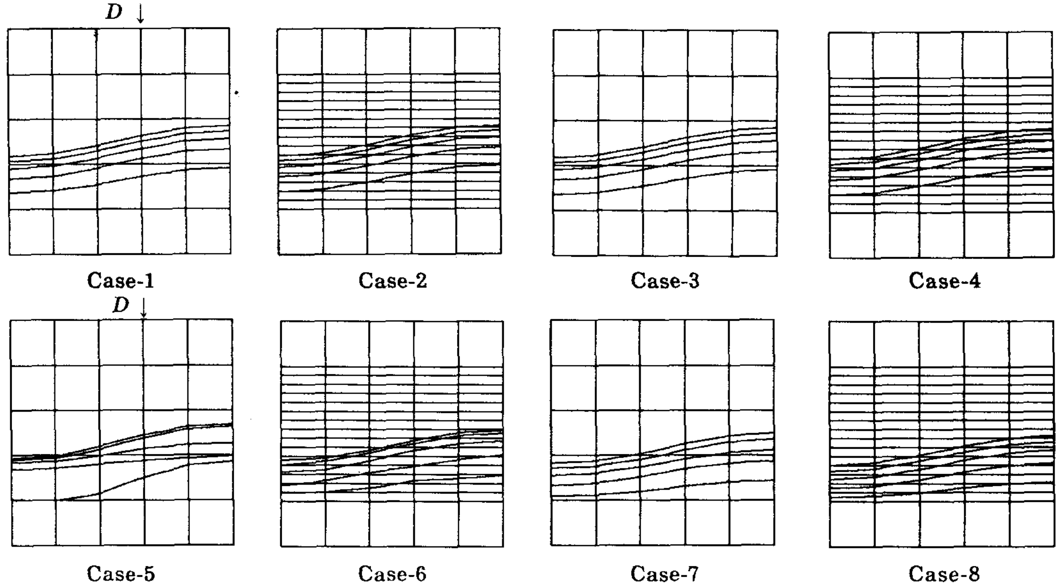
表−2 不飽和特性Bのケース



図−4 メッシュ図

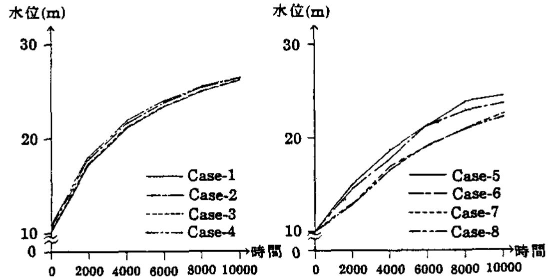
4. 解析結果

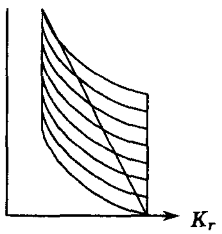
図－2のC-C断面の2000,4000,6000,8000,10000(時間)後の水位を図－5で表示することにする。



図－5 C-C断面の水位変化図

更に図－5のDの位置での水位変化図を図－6で示す。





Case	CPU(sec)
1	22.45
2	72.89
3	65.68
4	147.53
5	29.11
6	71.14
7	60.90
8	154.24

図－6 Dの位置での水位変化図　図－7K_rの平均化　表－3 CPUtime

5. 考察

K_r-θ関係には積分の方法やメッシュにはあまり依存しない。というのは、図－7で水位の変化により結局K_rは平均化されてしまうようである。θ-ψ関係は積分の方法やメッシュに依存する。一番妥当性があるのはCase-8であるが、それを正しいと考えるとCase-7が一番近い。従って台形積分を行ったほうがより正しい結果が得られる。メッシュの大きさは数mのオーダーにならざるを得ないのに対して、サクションの影響が数十cmしかない砂地盤では特に有効と思われる。CPUでみても台形積分が有利であることがわかる(表－3)。

6. 結論

(1) K_r-θ関係には積分の方法やメッシュにはあまり依存しない。

(2) θ-ψ関係は要素内で急激な変化をするので、高さ方向に台形積分を行ったほうがより正しい結果が得られる。

参考文献

1)赤井浩一,大西有三,西垣誠:有限要素法による飽和-不飽和浸透流解析,土木学会論文報告集,第264号,PP.171-179,1977年8月

2)大西有三,西垣誠:土中水の不飽和流動,3.不飽和流の解析(解析例),土と基礎29-8(283),PP.37-44