

## Ⅱ-7 堤体の非定常浸透流解析に関する一考察(有限要素解析)

徳島大学工学部 正員 山上拓男

徳島大学工学部 正員 小田英一

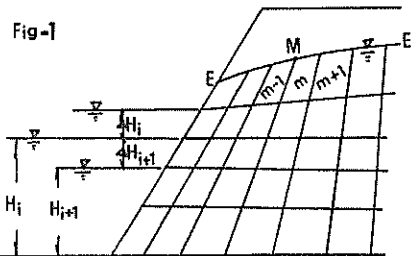
### 1. まえがき

近時、浸透流解析に FEM が広く応用されるにしたがって、その非定常問題への適用例もいくつか発表されている。<sup>(1,2,3)</sup> 本文は、これら既往の研究成果のうち、四節点一次 iso-parametric 要素を用いた Desai の解法に注目し、貯水池水位が徐々に低下する場合 (gradual drawdown condition) の 2, 3 の解析例を通じて問題点を明らかにするものである。さらに、筆者らによる定常浸透流下の法面の安定解析法<sup>(4)</sup>を拡張し、堤体内部が非定常水位変動を受ける際の安定解析へと発展させることを最終目的とする。

### 2. 非定常解析

貯水池水位に伴う堤体内の水位変動の追跡は、解析領域自体が時々刻々と変動するため、定常流に比べて相当にや、かいな問題となる。しかも外水位の低下が所定の位置まで急激に下降すると考えるいわゆる sudden drawdown condition に比べ、gradual drawdown condition の場合は一段と工夫を要する。

さて、Desai は自由水面を有する非定常流においては、貯留係数 (圧縮性) に起因する内部の非定常性は無視し得るものとし、自由水面変動は単に外部境界条件の変動下において、微小な time step  $\Delta t$  間の定常流の連続で追跡できるとしている。いま、Fig-1 において、任意時刻までの自由水面 E-E に面した代表的な要素を  $(m-1), (m), (m+1)$  とする。iso-parametric 要素では各要素内の流速は一定とはならないので簡単に自由水面上の流速を定め得る。そこで、時刻  $t$  までの与えられた境界条件のもとに、定常流の FEM 解析を行い、そのときのポテンシャル分布から、自由水面上のグルシー則による流速 ( $u_s, v_s$ ) を定める。これより、自由水面上の水分分子の、間ガキを流れる真の流速 ( $u_{xs}, v_{ys}$ ) を次式で定め



$$u_{xs} = u_s / \beta \quad v_{ys} = v_s / \beta \quad \text{ここに } \beta: \text{有効空ゲキ率} \quad (1)$$

さらに、この値を自由水面の法線方向に合成した値  $u_n$  で表し、微小時間  $\Delta t$  後、すなわち時刻  $t + \Delta t$  での新しい自由水面の位置は、 $u_n \Delta t$  で与えられるものとする。この process を自由水面 E-E 上の全ての節点にわたって実施し、これらの点を滑らかな曲線で結んでやれば、 $\Delta t$  後の新しい自由水面が求められたことになる。なお、要素の特性として、相隣る二要素間のポテンシャルの連続性は保証されるが、それらの導関数は不連続となるので、例えば Fig-1 において、 $(m-1)$  要素から求めた節点 M の流速と、 $(m)$  要素による節点 M での流速は、一般に異なった値となる。したがって節点 M での流速としては、両者を平均したものを用いている。

ところで、gradual drawdown condition としての貯水池水位の低下速度は、場発電を目的とするフルグムなどの比較的大きな値でも、毎時 1~2% 程度といわれている。この低下速度を解析過程に導入すべく、ここで用いている方法は、ある適当な時間間隔  $\Delta T_i$  間に外水位が  $\Delta H_i$  だけ急降下するものとし、そのときの外水位  $H_i$  が  $\Delta T_i$  間持続するものと考え、さらにこの  $\Delta T_i$  を微小な  $n$  個の time step  $\Delta t_j$  に分割する ( $\Delta T_i = n \cdot \Delta t_j$ )。そして自由水面の追跡は、各  $\Delta t_j$  ごとに行い、外水位の修正は  $\Delta T_i$  ごとに行うといった手法をとっている。

### 3. 解析例

Fig-2 は、法面勾配 1:0.5、透水係数  $k = 0.005 \text{ cm/sec}$ 、有効空ゲキ率  $\beta = 0.3$  のもとで、初期水平水位  $H = 72\text{m}$  より出発して、外水位低下速度が 2% なる場合の自由水面の変動状況を示したものである。なお、このと

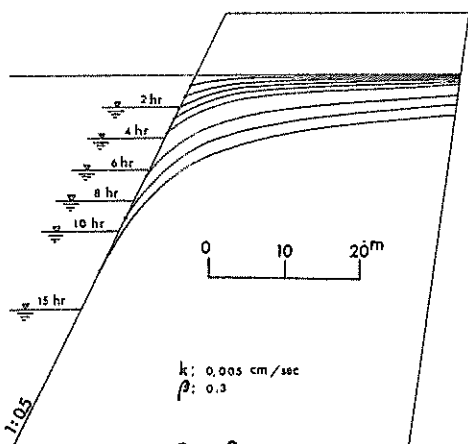


Fig-2

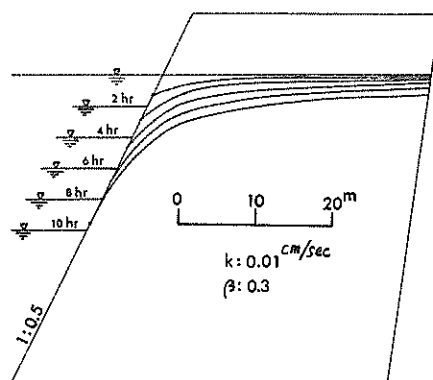


Fig-3

きの  $\Delta t_i$  は2時間、 $\Delta t_f$  は20分、 $\Delta H_i$  は4mである。図中、法面上にプロットされている点は、図に示された各時間段階と、20時間、25時間後の浸出点を示している。また、Fig-3 ~ Fig-5 も同様な計算結果を示すものであるが、こゝらの詳細は講演当日に発表させていただきます。

#### 4. おまけ

堤体が非定常水位変動下において、不安定な状態に移行する過程をFEM解析でシミュレートする手始めとして、水位変動自体の解析を試みたところ、種々の問題点が内在していることが判明した（詳細は当日に譲る）。紙面の都合上、そゝらを記述することは割愛させていただくが、目下、その問題点を解消すべく研究中であるので、当日、併せ発表したい。

#### 【参考文献】

- 1) France, P.W. ほか3名: Numerical Analysis of Free Surface Seepage Problems, IR1, pp.165~199, 1971, 2) Neuman, S.P. ほか1名: Analysis of Nonsteady Flow with a Free Surface Using the Finite Element Method, Water Resources Research, Vol.7, No.3, pp.611~623, 1971, 3) 飯田隆一 ほか1名: 非定常浸透流の有限要素法による解析, 土木研究報告, 1971, 4) Desai, C.S.: Seepage Analysis of Earth Banks Under Drawdown, SM11, pp.1143~1162, 1972, 5) 河野伊一郎: 有限要素法による堤体浸透問題の解析, 土と基礎, Vol.21, No.8, 1973, pp.13~19, 6) 山上, 小田: 有限要素法による定常浸透流下の法面の安定解析, 土質工学会第9回講演集, 1974, 7) 本島勲: 電気相似法を応用した堤体内非定常浸透流の解析について, 土と基礎, Vol.21, No.8, 1973, pp.36,

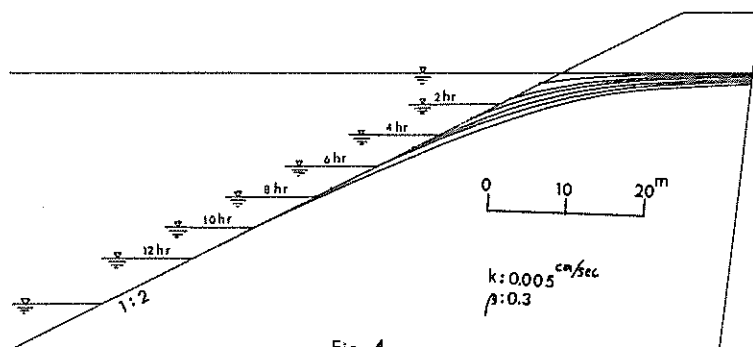


Fig-4

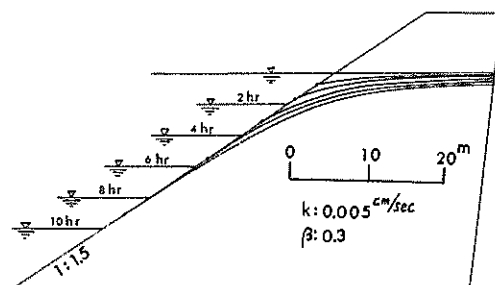


Fig-5