輪中地下水帯からの揚水に伴う地下水流況の変化に関するＦＥＭ解析

福山大学工学部　正　員　　尾島　勝
建設省中国地建　正　員　○大賀　祥一
福山大学大学院　学生員　　犬丸　潤

１．まえがき

地下水は水質・水温が安定しているために各種用水として利用される。しかし、地下水の過剰揚水に伴う障害として、地下水位の低下、地下水の塩水化、地盤沈下等が発生し、大きな社会問題として今日に至っている。このため地下水利用量の適正な把握と、揚水量に伴う流況変動の把握が、地下水管理上極めて重要な課題となっている。

本研究では、河道浚渫工事による地下水流況変動が問題となっている対象域において、限られた現地観測資料を基に、地下水流況のシミュレーションならびに地下水利用（地下水揚水量）の予測を試みた。

２．解析対象域

本研究の対象域は図-1示すように、長良川、揖斐川、大榑川の３河川に囲まれたいわゆる輪中であり、面積は約 49km^2 の被圧帯水層である。近年長良川河口堰建設による自然界、周辺地域の流況・水質への影響等が懸念されており、特に輪中における地下水流況の定量的把握が急務とされている地域である。また、堤内水位が河川水位よりも 0.5〜2m程度低く、古くから河川災害が多発している。

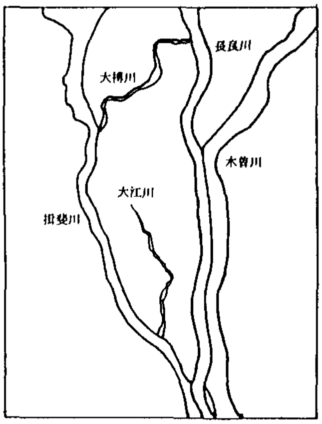

図-1 対象域の概略図

３．基礎式と有限要素法

定常状態の地下水流の基礎式は Darcy則が成り立つとすれば、被圧地下水の場合、

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(kb\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(kb\frac{\partial h}{\partial y}\right)=\Sigma Qp\,\delta(x-x_P)\,\delta(y-y_P)+R(x,y) \qquad (1)$$

ここに、h：地下水頭、b：被圧帯水層の層厚、k：透水係数、Qp ：井戸ｐの取水量、$\delta(X)$，$\delta(y)$：デルタ関数、(x_P,y_P) ：井戸ｐのｘ，ｙ座標、R(x,y) ：帯水層の単位面積、単位時間あたりの流出入量である。このとき、最小にすべき汎関数χは次のようになる。

$$\chi(h)=\frac{1}{2}\iint kb\left[\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2\right]dxdy+\iint\left[\Sigma Qp\,\delta(x-x_P)\,\delta(y-y_P)\right]h\,dxdy+\iint R(x,y)\,h\,dxdy \qquad (2)$$

いま、有限要素を非常に小さく分割したことを前提として、三角形要素ｅ内で水頭ｈの一次分布を仮定するとｅ内の水頭h^eは、

$$h^e=Nihi+Njhj+Nkhk \qquad (3)$$

以上のように表すことができる。なお、Ni,Nj,Nk は１次元要素における内挿関数と同様な意味を持ち、形状関数とよばれるものである。ここで、式(3) を用いて、式(2) のｈｉ について変分$\partial\chi/\partial hi=0$ とし、Ｎ個の節点で構成されたものであるから、各要素のこの微係数を求め、それらを全領域にわたって重ね合わせる。ゆえに、節点水頭の連立方程式をマトリックス表示すると、次のように表される。

$$\{A\}[h]=\{F\}[Q]+\{R\} \qquad (4)$$

ここで、A：透水量係数と節点座標よりなる係数行列、ｈ：節点の水頭ベクトル、F：節点座標および非制御大井戸の座標よりなる係数行列、Ｑ：揚水量ベクトル、R：帯水層からの流出入量に対応する定

数項ベクトルである。

４．数値計算例

図-2は対象域の三角形要素分割である。また、河川境界条件を設定する場合、一般的には河川水位を与えるが、輪中のように河川水位と堤内近傍の地下水の水位差が1ﾒｰﾄﾙ 以上になる場合、河川水位を直接与えることは適切でない。そのため、本解析では、堤内近傍の地下水位を境界条件として与える。

本概要では、昭和62年 1月の観測資料による1ｹｰｽについて一連の結果を記載する。初期条件による流速ﾍﾞｸﾄﾙ図 （図-3）、鉛直方向移動量（揚水量）の推定結果（図-4）を加味した流速ﾍﾞｸﾄﾙ図 （図-5）を示す。

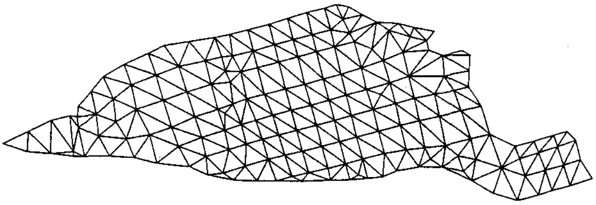

図-2 対象域の三角形要素分割

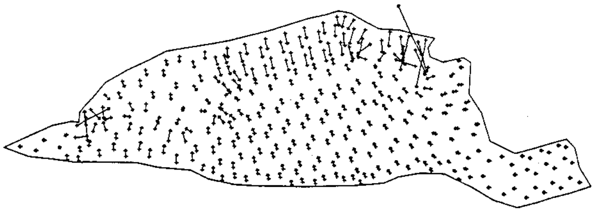

図-3 初期条件の流速ﾍﾞｸﾄﾙ図

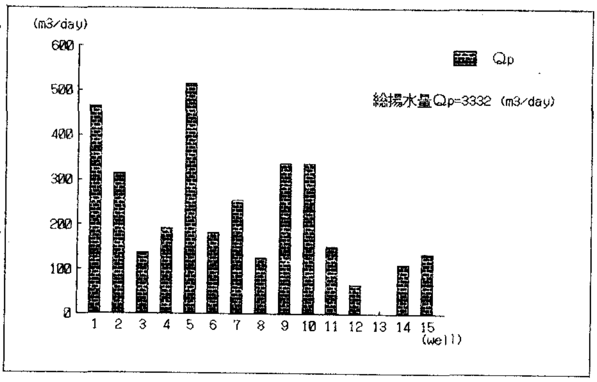

図-4 揚水井戸における推定揚水量

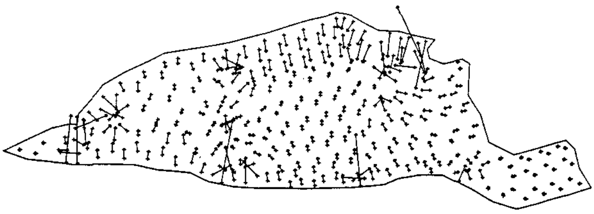

図-5 推定揚水を考慮した流速ﾍﾞｸﾄﾙ図

５．考察

推定揚水量の算定について、Qp=400(m^3/day)を越えている揚水井戸はwell.1 ,well.2である。これは、境界付近の井戸であり、初期条件（無揚水）による計算水位と観測水位の差が大きいためである。これは境界条件（堤体近傍）の設定に誤りがあるものと推測される。流速ベクトルの初期条件によるものでは、流況状況について両河川からほぼ垂直に河川水が流入している。また、揖斐川からの流入量が長良川からのそれに比べて非常に多いことがわかる。次に、推定揚水量によるものでは量的に評価できないものの、揚水による影響圏内で流速ﾍﾞｸﾄﾙが揚水井戸に向いている。しかしながら、影響圏外では初期条件の流速ﾍﾞｸﾄﾙ とほぼ一致している。そのため、揚水による影響圏を把握することから、より精度の高い流況解析が可能であると思われる。

６．まとめ

ＦＥＭによって種々の問題を解く場合、境界条件を正確にかつ精度よく与えることが不可欠である。特に、今回の解析対象域のように境界条件の設定が困難な場合、解析結果の精度が疑問視される。しかしながら、ＦＥＭによる解析で、地下水流況の概要的な変動ならびに推移を把握することは十分可能であると思われる。