

## III-A 290 被圧帯水層の漏水因子の逆解析

神戸大学工学部 正会員 川谷 健  
 神戸大学大学院 学生員 ○湯本 圭輔  
 神戸大学大学院 学生員 山根 雄一

## 1. はじめに

地下水低下工法に際して、被圧帯水層が対象となる場合、加圧層を通しての漏水の多寡は揚水量や水位・水頭分布に大きな影響を及ぼす。したがって、地下水の適切な管理・制御のためには漏水についての的確な評価が重要となる。

本研究では、揚水時の観測水位・水頭から加圧層の透水係数あるいは漏水因子を逆解析によって算定するとともに、その算定値を用いて得られる水頭分布の再現精度について検討する。そのため、まず有限要素法によって順解析を行い、得られた水位・水頭の値を逆解析のための観測値とする。逆解析には、有限要素解析に基づく手法と理論解を利用する手法とを用いる。

## 2. 解析方法

有限要素解析は、被圧帯水層および不圧帯水層では Dupuit の近似が適用できる平面 2 次元流れであるとし、加圧層では上下の帯水層間の水頭差に比例して鉛直 1 次元流が生じるとして、定式化し実行した。一方、理論解としては、被圧帯水層および加圧層が等方・均質で層厚一定であり、さらに不圧層の水位が一定の場合、揚水量と水頭低下量の関係を与える解が既知である<sup>1)</sup>。また、この解の基礎方程式は水頭低下量に対して線形で、従って複数の井戸での揚水による水頭低下量の算定には重ね合わせが適用できる。

逆解析には制約つきシンプレックス法を採用した。目的関数は観測水頭と計算水頭を  $h_o$  と  $h_c$  とし、 $f = (1/N) \sum (h_o - h_c)^2$  である。ここに  $N$  は観測井の数、 $\sum$  はすべての観測井の総和を表す。シンプレックスの頂点は 5 つとした。

## 3. 解析領域と解析条件

解析対象の帯水層は、漏水性の加圧層を挟んで、上層が不圧帯水層、下層が被圧帯水層であるとする。帯水層は等方・不均質とする。揚水は、被圧帯水層から複数の井戸で行う。

解析領域は図-1 のとおり  $880\text{m} \times 880\text{m}$  とし、その中央付近に 4 本の揚水井を設ける。層厚は 被圧帯水層が  $25\text{m}$ 、加圧層が  $5\text{m}$  であり、その上に水深  $20\text{m}$  の自由地下水が存在する。境界条件は、図-1 の境界 A-B および C-D で不圧層と被圧層の水位・水頭がともに  $50\text{m}$ （帯水層底面上）とし、B-C と A-D は不透水性境界とする。揚水井の水位は  $25\text{m}$  とする。順解析では、透水係数 ( $K$ ) は要素ごとに、帯水層で  $-2.5 \leq \log K \leq -1.5$  ( $0.32 \times 10^{-2} \sim 3.2 \text{ cm/s}$ )、加圧層で  $-4.5 \leq \log K \leq -3.5$  ( $3.2 \times 10^{-4} \sim 3.2 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ) となるよう一様乱数を用いて設定した。逆解析では、帯水層の透水係数は各層で一定とし、順解析のときの値の平均値を既知量として使い、加圧層の透水係数を逆解析の対象とした。

## 4. 解析結果

表-1 に漏水因子の同定結果を示す。ここで漏水因子の真値は、群井の中心から半径  $140\text{m}$  の領域内の 394 個の要素の透水係数の平均値から計算したものである。

理論解を利用した逆解析では、漏水因子の同定値が真値の 2~3 倍となっており、加圧層の透水係数が小さく算定されたことになる。これは、ここでの解析条件では理論解の前提条件が満たされていないことに由来する。すなわち、順解析結果では、不圧地下水位は一定ではなく、群井の中心付近では原水深 ( $20\text{m}$ ) から約  $12\text{m}$  も低下している。さらに境界条件として不透水性境界が設定されており、理論解の軸対称性も満たされていない。一方、有限要素法による逆解析では、同定値と誤差は真値の 10% 以内にとどまっており、同定の

精度は高い。同定の誤差は、逆解析では不均質地盤を均質地盤と仮定したためと考えられる。

図-2に、漏水因子の同定値を用いて再現した被圧帯水層の水頭分布を、その真値とともに示す。また図-3は、図-1のA-C断面において、水頭分布の再現結果と真値を比較したものである。両図とも、群井中心から半径140mの領域における水頭分布である。水頭分布の再現結果には、理論解に基づく同定値を用いても、有限要素解析による同定値を用いても、それほど違いが認められない。真値と再現した水頭分布との差は、理論解の場合に平均0.5m、有限要素法による場合で平均0.4mとなっており、前者がやや大きい程度である。

5. 結論

漏水性被圧帯水層を対象に、その漏水因子を、井戸理論解を利用した逆解析手法と有限要素解析による手法とで同定した。前者の手法では多くの場合、同定値が真値よりかなり大きくなる（すなわち加圧層の透水係数が小さく算定される）と考えられ、この同定誤差は揚水量や漏水量の算定精度を低くすると考えられる。一方、水頭分布の算定では、同定の誤差は算定精度にあまり大きい影響を及ぼさず、とくに揚水井付近ではほとんど影響しない。しかし、漏水によって水位が低下する不圧帯水層の水位分布を算定するにはもちろん有限要素解析を行う必要がある。

<参考文献> 1) Bear, J. :Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, pp.312-318, 1979.

表-1 同定結果

漏水因子の 真値 (m)	同定された F. E. M.	漏水因子 (m) 理論解
112.9	118.7	497.6
105.6	110.8	442.9
114.7	104.3	366.6

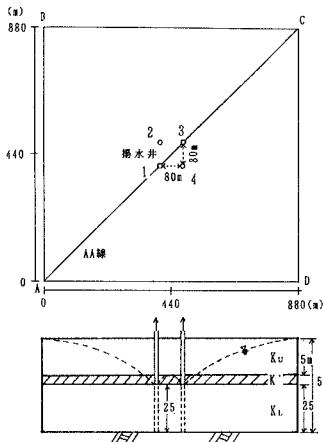


図-1 解析領域

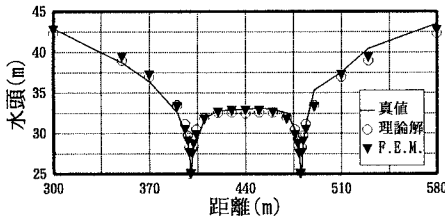


図-3 水頭分布の断面図

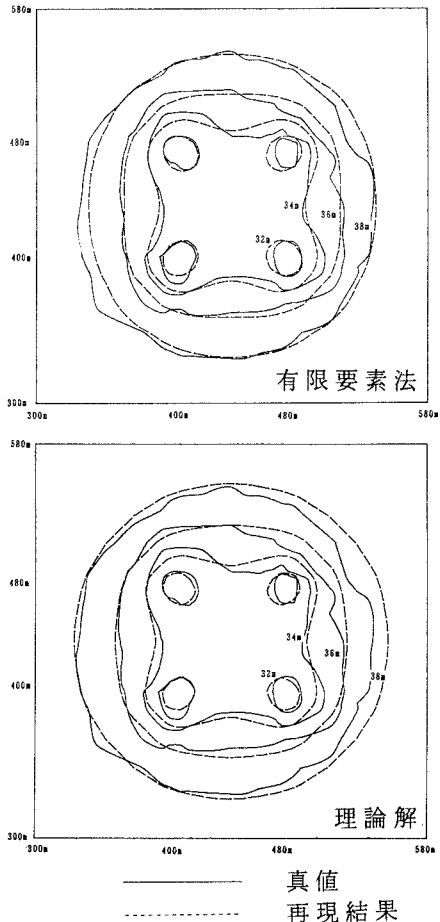


図-2 水頭分布の真値と  
同定値を用いた再現結果