

Ⅲ-106

軸対称解析によるディープウェル本数の評価方法

清水建設株式会社 正会員 高坂 信章

1. はじめに

地下工事においてディープウェルを主体とする排水工法を計画する際、有限要素法に代表される浸透流解析が有効な設計法として用いられる。このとき、実際の現象を比較的容易に表現できる軸対称モデル（PC-UNSAF¹⁾など）が用いられることが多い。しかし、軸対称モデルでは複数のディープウェルを設置した場合の配置を表現することができないため、ディープウェル設置半径に相当する節点に水頭一定あるいは揚水量一定の境界条件を与える。揚水条件はリング状の境界条件として設定され、ディープウェル本数による揚水量や水頭低下量の変化を適切に評価することはできない。

本報では、Leonardsの群井理論²⁾にもとづき複数のディープウェルによる揚水条件を1本の大口徑井戸で表現し、これを軸対称解析に適用してディープウェル本数を評価する手法を提案する。さらに、この提案法の妥当性を井戸配置が考慮できる平面解析の結果と比較して検証する。

2. 群井理論にもとづくディープウェル本数評価手法の提案

Leonardsの群井理論式²⁾によれば、図-1のように影響圏半径 R の場に半径 r_w 、井戸内水頭低下量 s_w のディープウェルを、半径 l の円周上に正 n 角形状に配置したときのディープウェル1本あたりの揚水量 q 、および総揚水量 Q は、

$$q = \frac{2\pi T s_w}{\ln\left(\frac{R^n}{n r_w l^{n-1}}\right)} \quad (1)$$

$$Q = nq = n \frac{2\pi T s_w}{\ln\left(\frac{R^n}{n r_w l^{n-1}}\right)} = \frac{2\pi T s_w}{\ln\left(\frac{R}{\sqrt[n]{n r_w l^{n-1}}}\right)} \quad (2)$$

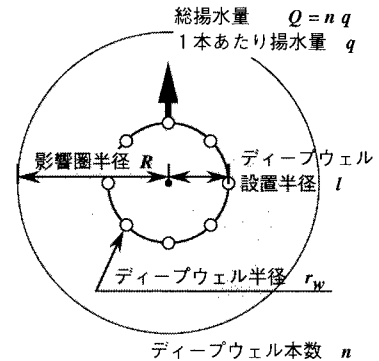


図-1 群井理論式の誘導モデル

と書き表される。(2)式は n 本のディープウェルによる総揚水量が(3)式で表される等価井戸半径 r_w' を有する1本の大口徑井戸に相当する揚水量となることを意味している。

$$r_w' = \sqrt[n]{n r_w l^{n-1}} \quad (3)$$

したがって、軸対称解析において半径 r_w' の大口徑井戸を想定し、この井戸内に低下量 s_w の水頭固定境界条件を与えれば n 本のディープウェルによる揚水条件が表現できることになる。

3. 提案法の妥当性の検証

3.1 解析モデルと解析方法 提案したディープウェル本数評価手法の妥当性を検証するために、提案法にもとづく軸対称解析とディープウェルの配置が考慮できる平面解析（準三次元解析:PC-GWAPG³⁾）の結果を比較した。解析モデルは図-2に示す影響圏半径 $R=1000\text{m}$ の場に半径 $r_o=40\text{m}$ の掘削領域を想定し、この掘削領域内の半径 $l=30\text{m}$ の円周上に n 本のディープウェル（ $r_w=0.45\text{m}$ 、 $s_w=10\text{m}$ ）を設置するものである。ディープウェル本数は1、2、3、4、6、8本とした。揚水対象の帯水層は透水係数 $k=1\times 10^{-2}\text{m/min}$ 、層厚 $D=10\text{m}$ とした。また、解析ケースとして止水壁のない場合（CASE 1）と、透水係数 $k'=1\times 10^{-4}\text{m/min}$ 、厚さ $t=0.5\text{m}$ の止水壁で帯水層全層を遮断した場合（CASE 2）の検討を行った。

平面解析ではディープウェル設置位置に相当する節点に低下量 $s_w=10\text{m}$ の水頭固定条件を与え、この節点からの揚水量 q および掘削中心における水頭低下量 s_c を求めた。

提案法に基づく軸対称解析では、第1段階として（3）式よりディープウェル本数に相当する大口徑井戸の等価半径 r_w' を求め、ここに水頭低下量 $s_w=10\text{m}$ の水頭固定条件を与えて掘削域内からの総揚水量 Q を算定した。第2段階としてこの揚水量をディープウェル設置位置に相当する節点（ $l=30\text{m}$ ）に流量固定境界として与え水頭低下量を算出した。等価井戸半径 r_w' は（3）式より明らかなように、 r_w 、 n 、 l など幾何学的関係のみから決定される値で、ディープウェルの本数により表-1のように変化する。

3.2 解析結果 止水壁のない場合（CASE1）の解析結果を図-3に平面解析および軸対称解析を比較して示した。（a）はディープウェル本数と総揚水量の関係、（b）はディープウェル本数と掘削中心水頭低下量の関係を示している。揚水量、水頭低下量とも両解析結果はよく一致している。また、図中点線で示した群井理論式にもとづく算定値とも一致しており、理想的な場での提案法の妥当性が確認された。

同様に止水壁のある場合（CASE2）の解析結果を図-4に示した。この結果もCASE1と同様、揚水量、水頭低下量により一致がみられる。止水壁が存在するため通常の井戸理論式が適用できない場でも提案法の適用性が検証された。また、図中には影響圏半径 $R'=3400\text{m}$ に相当する群井理論式にもとづく算定値を点線で示した。止水壁により影響圏半径が見かけ上拡大した挙動を示していることがわかる。

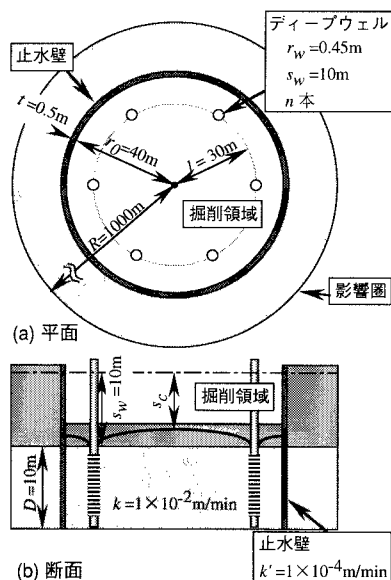
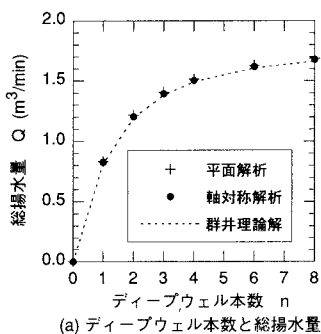


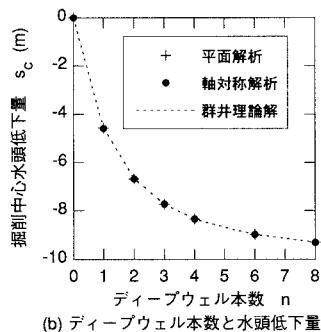
図-2 解析モデルの概要

表-1 等価井戸半径の変化

ディープウェル本数 n	等価井戸半径 r_w'
1	0.450 m
2	5.190 m
3	10.66 m
4	14.84 m
6	20.08 m
8	23.01 m

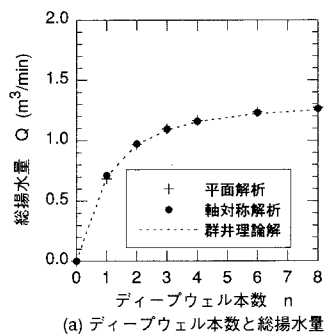


(a) ディープウェル本数と総揚水量

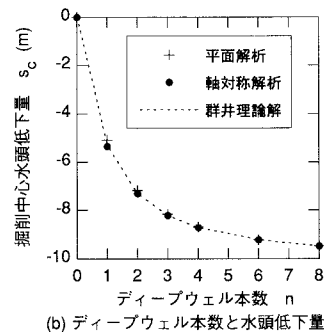


(b) ディープウェル本数と水頭低下量

図-3 CASE1 解析結果
(止水壁のない場合)



(a) ディープウェル本数と総揚水量



(b) ディープウェル本数と水頭低下量

図-4 CASE2 解析結果
(止水壁のある場合)

4. おわりに

軸対称解析を用いてディープウェル本数を評価する手法を提案した。この方法は水平方向流が主体であれば、止水壁が存在するような条件下でも適用できることが検証された。今後は三次元解析との整合性を確認して鉛直方向の流れが存在する場での適用性についても検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 西垣 誠、竹下祐二：有限要素法による飽和－不飽和浸透解析手法 PC-UNSAF利用の手引き、土質工学会中国支部、1987。
- 2) G. A. Leonards : Foundation Engineering, McGraw-Hill, pp.302 - 303, 1962.
- 3) 西垣 誠、竹下祐二：広域地下水の準三次元浸透解析 PC-GWAPG、岡山大学工学部土木工学科。