

地下水位低下工法における自動制御プログラムの開発

前田建設工業(株) 正会員 林 幹朗
 前田建設工業(株) 正会員 岡田 直仁
 前田建設工業(株) 正会員 ○坂藤 勇太

1. はじめに

東日本大震災における甚大な液状化被害を契機に、湾岸埋立地の宅地や民間工場では液状化対策工事が計画・実施されている。上記施設では地上に既設構造物が存在するため、施工実現性の観点から地下水位低下工法が採用されるケースが多い。その他、大規模な開削工事では掘削底面の安定のため、ディープウェル等の地下水位低下工法が用いられる。

地下水位低下工法では、対策範囲全域を目標地下水位以下まで水位低下させ、所要期間中はその水位を維持する必要がある。しかし、従来の管理方法では、以下の課題がある。

課題Ⅰ：観測井戸にて計測した地下水位は点の情報であり、面的に地下水位分布を把握できない。

→対策効果を確実に発揮できないことや不同沈下による地上構造物の傾斜が生じるリスクがある。

課題Ⅱ：揚水ポンプの ON/OFF が手動制御のため、オペレーターの感覚による制御や維持管理となる。

→制御ミス等の人的リスクが存在し、半永久的に維持管理を行うことから継続的な負担が大きい。

そこで、筆者らは上記課題を解決する以下の機能を有した揚水管理の自動制御プログラムを開発した。

Ⅰ. 地下水位分布の見える化

Ⅱ. 揚水ポンプの自動制御

2. 揚水管理プログラムの概要

(1) 地下水位分布の見える化

1) 任意地点における地下水位の推定

ある時刻における地下水位分布については、定常水位に移行するまでの過渡的な状態にあるが、これは各揚水井戸を中心とした水位分布（井戸公式）の重ね合わせにて表現できると考えられる。

任意地点における群井戸の井戸公式を(1)式で表され、各揚水井戸の揚水量 Q_i ($i=1\sim n$) を決定すれば、面的な地下水位分布を一意的に表現できる。

$$h^2 = H^2 - \sum Q_i / (\pi \cdot k) \cdot \ln(R/r_i) \\ \rightarrow h_j = \sqrt{H^2 - \sum Q_i / (\pi \cdot k) \cdot \ln(R/r_i)} \quad - (1)式$$

ここに、

h_j : 任意点 j における水位(m)

H : 揚水開始前の地下水位(m)

Q_i : 揚水井戸 i の揚水量(m^3/s)

k : 透水係数(m/s)

R : 影響半径(m)

r_i : 揚水井戸 i からの距離(m)

2) シンプレックス法による収束計算

現状の水位分布を最もよく近似できる上記(1)式のパラメータセット Q_i ($i=1\sim n$: n =揚水井戸本数)を算定するため、シンプレックス法¹⁾による収束計算を適用する。すなわち、観測井戸の観測水位と計算水位の誤差を最小化する Q_i を下記手順に基づき算定する。

- a) n 本の各揚水井戸の揚水量 ($Q_1\sim Q_n$) のパラメータセットを $n+1$ 個設定する。【初期値の設定】
- b) 上記 $n+1$ 個のパラメータセットに対して、(1)式より各観測井戸地点の地下水位を算定する。
- c) 各観測井戸の観測水位と計算水位の差の合計 $\sum \Delta h_j$ を算定し、 n 次元空間上にプロットする。ここで、これら $n+1$ 個の点を頂点とする幾何学的図形をシンプレックスと呼ぶ。
- d) シンプレックスの頂点の内、最大点（誤差の総和が最大となる点）・第2最大点・最小点を抽出する。
- e) 鏡映・伸縮・収縮・縮小などの修正動作を実施し、シンプレックスを更新する。（図-1 参照）
- f) 更新されたシンプレックスについて、 $\sum \Delta h_j$ に対する収束判定を実施し、収束するまで⑤の動作を繰り返す。
- g) 収束したシンプレックスの頂点のパラメータセット ($Q_1\sim Q_n$) を最適解と評価する。

キーワード 地下水位低下工法、揚水管理、シンプレックス法

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業(株)土木事業本部土木設計部 TEL03-5276-5166

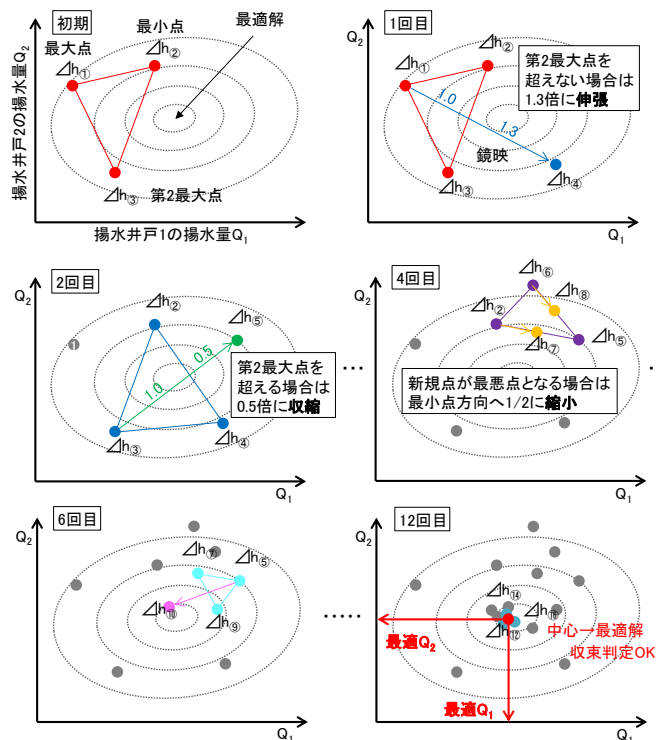


図-1 シンプレックス法概念 (n=2 の場合)

3) 適用例

上記手法を実工事に適用した事例について、算定した地下水位分布のコンター図を図-2 に、観測井戸の観測水位および計算水位を表-1 にそれぞれ示す。

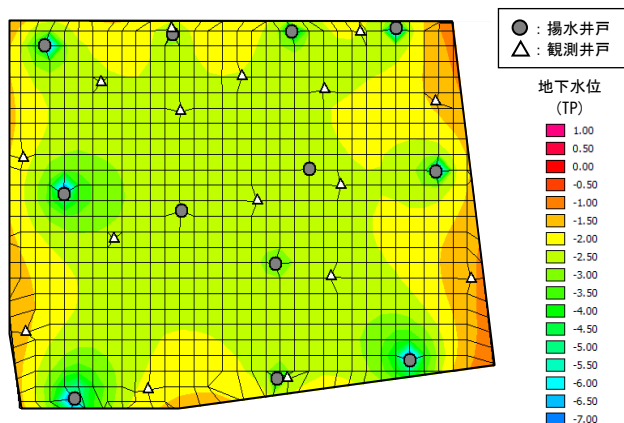


図-2 地下水位コンター図

表-1 観測井戸の観測水位・計算水位

観測井戸 No.	観測水位 (TP m)	計算水位 (TP m)	差 (m)
1	-1.83	-1.67	0.16
2	-2.21	-2.26	0.05
3	-2.18	-2.30	0.12
...			
16	-1.70	-1.51	0.19
最大			0.19

(2) 揚水ポンプの自動制御

対象範囲の計算水位を算定後、対象範囲において下記手順に基づき、最適な揚水ポンプの制御を実施する。

- 各揚水井戸のポンプ ON/OFF 組合せによる揚水パターン k ($k=1 \sim 2^n$: n =揚水井戸本数) の設定。
- シンプレックス法による現状水位分布の算定。
- 単独井戸の揚水試験から求めた感度 (揚水試験にて揚水井戸の水位を 1.0m 低下・上昇したときの各節点の水位変化量) を用いて、各揚水パターンを適用した場合の予測水位分布を算定する。
- 各揚水パターンにて、評価ポイントの合計 $\sum \Delta h_k$ を算定する。(図-3 参照)
- 評価ポイントの合計 $\sum \Delta h_k$ が最大となる揚水パターンを、次ステップの制御に適用する。

以上の手順を設定した時間サイクルにて b)~e)を繰り返して自動制御を実施する。

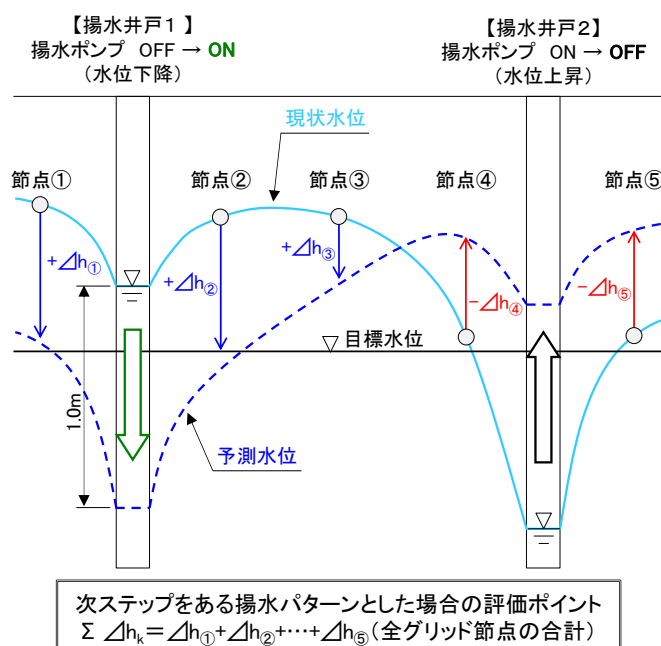


図-3 揚水井戸自動制御イメージ図

上記の自動制御を実工事に適用している。実運用においては上下限水位を設けて制御を行っており、これにより不同沈下の原因となる極端な地下水位勾配の発生を抑制できることを確認した。

3. まとめ

本揚水管理プログラムを用いることで、Ⅰ. 地下水位分布の見える化、Ⅱ. 揚水ポンプの自動制御を実現できた。今後地下水低下工法の案件にて積極的に展開していく。

参考文献

- 飯田恭敬・朝倉康夫・田中啓之：複数経路も持つ都市高速道路網における最適流入制御モデルの定式化と解法，土木学会論文集 No.449/Ⅳ-17，pp.135-144，1992.7