

地下水揚水解析における影響因子に関する研究

香川大学 賛助会員 ○長町純也, フェロー 吉田秀典

1.はじめに

地下水を効率よくかつ安全に取水できる揚水量を調べる必要性が生じた場合、簡易な揚水試験が実施されることもあるが、地盤沈下を生じる可能性があることから、揚水可能量を議論することは困難である。それに代わるものとして数値解析による検討が行われることが多いが、数値解析についても、限られた地質調査や実際の観測の中から適切な解析パラメータを同定することは困難をともなう。特に、地質構造は複雑であるので、詳細な地質構造を的確に反映せずに実施される数値解析については信頼性の確保という課題が生じる。そこで、本研究では、この点に留意して、地下水揚水に関する3次元有限要素解析を通して、解析パラメータや地質構造の単純化が解析結果に及ぼす影響について議論することを目的とした。

2. 解析概要

実際に行われた揚水試験と数値解析の結果を比較した。まず、比較を行ったのは、新潟県魚沼市で行われた揚水試験である。被圧層を3つに分け、図1に示すLayer1とLayer2の透水係数を変化させて解析を行った(表1)。揚水量は、実際に行われた揚水試験と同じ0.15m³/hとした。解析時間は合計8時間とし、6時間揚水し続け、その後2時間は水位回復を確認するため解析を継続した。なお、これらに関する調査結果、例えば透水係数が明示されていないので、透水係数は類推して用いた。

表1. 透水係数比較パターン

	Layer1 (3m)	Layer2 (4m)	Layer3 (3m)
Case A	8.0×10 ⁻³ (m/h)	1.0×10 ⁻³ (m/h)	1.0×10 ⁻⁴ (m/h)
Case B	4.0×10 ⁻³ (m/h)	1.0×10 ⁻³ (m/h)	
Case C	2.0×10 ⁻³ (m/h)	1.0×10 ⁻³ (m/h)	
Case D	2.0×10 ⁻³ (m/h)	6.0×10 ⁻⁴ (m/h)	

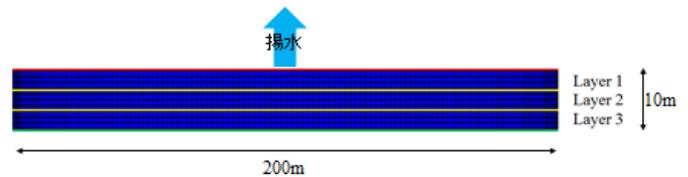


図1. 解析メッシュ(層区分)

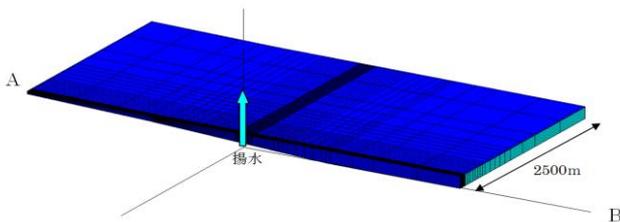


図2. 解析メッシュ(鳥瞰図)

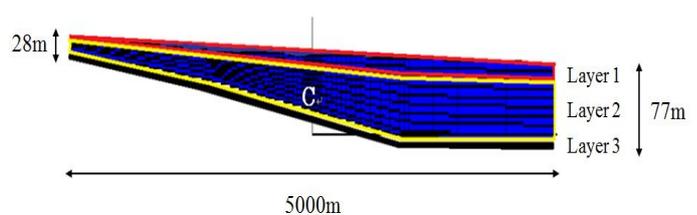


図3. 解析メッシュ(断面図)

次に、地質構造とその透水特性が数値解析に与える影響を調べるため、ある程度地質情報が得られている箇所における揚水試験を対象とした数値解析を実施した(図2, 3)。以前に実施された地質調査や揚水試験(1井のみの揚水)を基に解析領域や解析パラメータの設定を行った。それらの設定を経て、10m離れた2井から1つの井戸につき揚水量2020 m³/dayを7日間同時に揚水する場合と、1つの井戸につき揚水量2020 m³/dayを1つの井戸から3日間揚水して1日間のインターバルをおき、その後、もう1つの井戸から3日間揚水する場合について、再現解析を実施した。また、2井から同時に揚水する場合について、揚水量を3030 m³/day(1.5倍)、4040 m³/day(2倍)と揚水量を増大させた解析も追加した。なお、一部解析においては、透水係数を変化させて解析も実施した。

被圧層を図3に示すように3つに分け、Layer 1, Layer 2, Layer 3の透水係数をそれぞれ1.0×10⁻³ (cm/s), 1.0×10⁻² (cm/s), 1.0×10⁻⁹ (cm/s)としたものをCase 1とし、Case 1をベースに鉛直方向の透水係数を10分の1にしたものをCase 2とする。

3. 解析結果

新潟県魚沼市の解析について、時間と水位変化の関係を図4に示す。なお、図4には計測結果も合わせてプロットしている。図より、被圧層の透水係数を小さくすると水位が低下するが、それは上層にあたる Layer1 を変化させた際に顕著である。解析は、いわゆる揚水にとまなう水位の低下や、揚水停止にとまなう水位の回復を表現できているほか、揚水終了時の6時間後の水位低下量を捉えているものの、揚水初期ならびに停止直後の水位を再現できていない。この解析と計測の乖離については、揚水方法が不明であること、例えば点源に近い状態で揚水しているか否かなどが不明であることに起因しているものと考えられる。

ある程度地質情報が得られている箇所における解析(図5)については、実際の揚水試験において観測された水位の値と解析結果では若干の乖離があったものの、設定した解析パラメータと境界条件にて、実際の揚水試験の水位挙動を数値解析によって再現することができた。また、揚水量を $3030\text{m}^3/\text{day}$ (1.5倍)、 $4040\text{m}^3/\text{day}$ (2倍)と増大させた場合については、揚水量が2倍の場合は、透水係数を変化させても解析結果に大きな差は生じなかった。観測地点における地下水位の低下も、揚水量が1.5倍の時で約1.5倍(約15m)、揚水量が2倍の時で約2倍(約20m)となり、地下水が低下する範囲も拡大する。今回対象とした被圧帯水層は、浅いところで地表から土被りが30m以上であり、これを上回るような水位低下は認められなかった。これより、揚水量を1.5倍、2倍と増やしてもただちに地盤沈下につながるということはないと考えられるが、揚水地点より100m以内で深井戸による揚水をしている民家や企業などが存在する場合、影響を与える可能性があることが判明した。

4. まとめ

解析結果より、詳細な地質構造や透水特性を基に地質構造や解析パラメータを設定せずとも、それらに関するおおよその情報があれば地下水挙動を捉えることが可能であることが判明した。今回対象とした地点では、比較的詳しい地質構造と透水特性に関する解析パラメータが得られていたため地下水挙動の再現も可能であった。他方、新潟の事例のようにすべてが不明という場合は、細かい点まで地下水挙動の再現は難しいものの、水位低下量程度は把握できることも判明した。

今後の課題としては、さらに複数の地点の揚水試験の解析を通して、解析パラメータの客観的な決定方法や境界条件(揚水方法)の設定について考察する他、宙水やため池等の水場が解析領域内に存在する場合、それらが解析にどのような影響を及ぼすかについて検討するなどして、数値解析における種々の条件が解析結果に及ぼす影響について考察する必要がある。

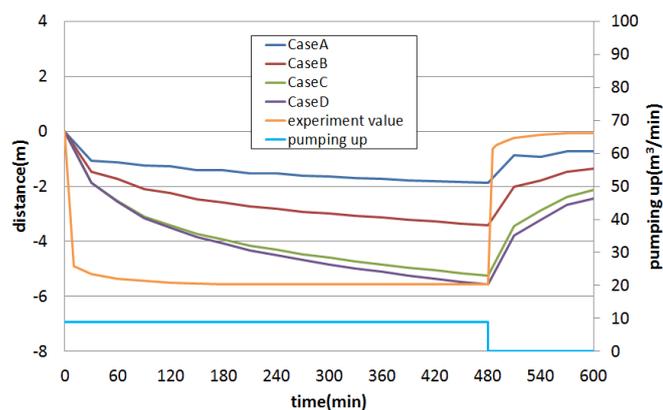


図4. 時間と水位変化の関係

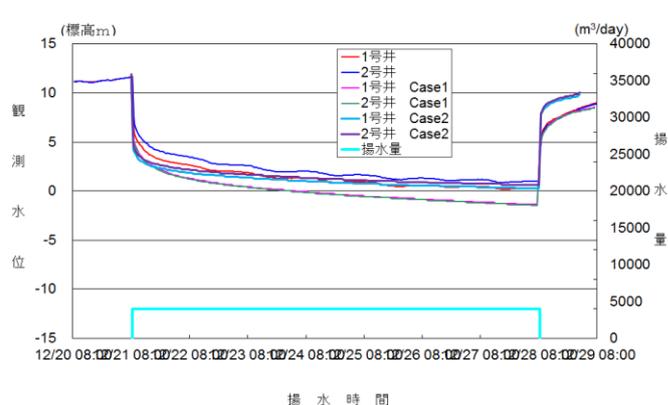


図5. 時間と水位の関係

参考文献

- (1) 山下四郎, 田中寿美: エクセル有限要素法入門 浸透流解析編, 山海堂, pp.96-110, 2004.
- (2) 新潟県魚沼市 豊富な地下水(揚水試験)

<http://www.city.uonuma.niigata.jp/kigyoritchi/pdf/mizunosato-chikasui.pdf>