

スーパーウェルポイント工法(SWP工法)の展望と技術的課題

技術アドバイザー
九州大学名誉教授
神野健二

SWP工法では、井戸内の空気を真空ポンプで吸引して減圧し、同時に井戸内の水を上昇させないように水中ポンプで揚水する。これにより井戸の吸い込み口周辺の地下水に負圧(空気圧と水柱重量の合計値を負にする)を与えるもので、このような状態でSWPを稼働すると、吸い込み口周辺と境界水位(河川などの水位境界がなければ影響半径での地下水位)との間に大きな水位差が生じ、取水量を大きくすることができる。

「負圧」という言葉を聞くと、不飽和浸透流へ思考が向いてしまい、「負圧→不飽和(毛管上昇)→不飽和領域での透水係数の低下」を思い浮かべがちであるが、井戸の吸い込み口周辺で「負圧で飽和状態」の領域が形成されれば、「注射器で空気を入れることなく水を吸う場合」と同じように大きな動水勾配と飽和透水係数下で浸透速度を大きくできる。この結果、不圧帯水層では大気圧に等しい地下水面が大きく低下する。このとき、鉛直流速成分も大きいため、スクリーンへの流入と言うよりも「吸い込み点」への流入に近い流れが生じる。これは鉛直地下水流動成分を無視した揚水公式とは異なる地下水面形になる(九州産業大学教授細川土佐男、報告書「数値解析によるSWP工法とディープウェル工法の地下水位低下量の比較」、2006年4月発表)。

このように、SWP工法による揚水では、設置深度、構造、形状、配置、地質構造に応じて多様な地下水面の低下や帯水層内での水圧分布が現れることが予想される。開削工事では地盤の変形・崩壊を防ぐために掘削部周辺に連続地中壁を設置し、SWPを稼働する。この場合には、地中壁の透水性や設置形状、井戸の設置個数に対応して地下水面が多様に低下する。しばしば「何故このような地下水面低下になるのか?」という質問を受けることがある。しかし、SWP工法では井戸内の真空のかけ方や、井戸内水柱の高さのコントロール、吸い込み口の位置、連壁の深度、地層の透水係数の分布等に応じて3次元的な流れの場を形成するため、個々の場合に応じた説明は容易ではない。

SWP工法については断面2次元解析あるいは軸対称解析のほか、現場の実状にあわせた実践的な数値解析技術の進展と観測データの充実により、様々な条件に応じた解析を実施できる体制の確立が望まれる。

一方、水に溶解した揮発性汚染物質は、液相と接する気体成分との間に平衡関係を保っている。ヘンリーの法則で記述されるように、液体への気体溶解度は気体の圧力に比例する。したがって、液体に加わる空気の圧力が低下すれば、液体に溶解している溶存物質は揮発する。すなわち井戸へ間隙気体の吸い込みも起こる場合には、地下水に溶存する揮発性汚染物質の回収のみならず、不飽和間隙に残存する原液も同時に回収できる

ことになる。

以上のように、SWP工法により地盤の空気圧を低下させることにより、我々が余り経験していない現象が発生し、様々な工学的に興味ある現象が発現する。SWPによる地下水流動が吸い込み口や連続地中壁周辺の3次元分布に大きく左右されるため、現象を理解するためには数値解析に頼らざるを得ないが、「負圧であるから不飽和」という不飽和浸透理論の束縛から離れて「負圧で飽和」、「井戸側の境界条件を負圧に設定できる」という設定以外に、現象を支配する運動方程式と連続の式に特殊な操作を加えなくても、以上のような結果が得られる※。今後は様々な境界条件に対する数値解の挙動を詳しく吟味し、SWP工法を支える解析技術を確立することが望まれる。

※流速が大きく、非ダルシー則を適用することも想定しなければならないかは別途研究課題。