

遠心模型実験による負圧が地下水の揚水量に及ぼす効果に関する検討

西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎 萩原敏行 ○宮崎啓一

中央大学理工学部 正会員 藤井齊昭 熊野浩行 蜷川悠也

1. はじめに

本報告では、別報 1) に引き続き、筆者らが開発した実験システムを用いて実施した遠心模型実験より、負圧が地下水の揚水量に及ぼす効果を調べ、従来工法（ディープウェル工法）との揚水能力について比較検討した。さらに、負圧の周辺地盤への伝達状況についても併せて考察した。

2. 実験結果および考察

図-1 に、間隙水圧計の設置位置を含む実験概要図を示す。井戸周辺における負圧の影響域や揚水に伴う地下水面の挙動をより明確に捉えるため、水圧計を集水孔周辺に設置した。なお、現場計測データによれば、SWP 井戸内には平均 50kPa 程度の負圧状態であることから、以下、負圧 50kPa のデータを中心に考察する。

1) 負圧の井戸周辺地盤への影響範囲

井戸周辺地盤において負圧の影響範囲を調べるため、井戸水位を下げる前に真空ポンプのみを稼動し、井戸周辺に埋設した間隙水圧の変化を調べた。実験 Code IHM-3(50kPa)で代表して、実地盤深さ 12.5m における P3, P6, P9, P12 で捉えた間隙水圧の時刻歴を図-2 に示す。図から、真空ポンプを稼動(50sec)してから 5~10 sec 後に、全ての水圧計の水圧減少分がピークに達し、この水圧減少分は井戸に近いほど大きい。井戸内の負圧が 50kPa に達する頃には、周辺地盤で減少した水圧はすでに回復をはじめている。

次に、負圧の影響をより詳細に調べるため、水圧減少がピークに達した直後(60sec)での各センサーの水圧減少分を算出し、負圧コンターとして示したものが図-3 である。負圧は井戸周辺に対してほぼ放射状に伝わっており、その影響は地盤内水平方向で約 20m にも及び、集水孔からの距離との相関性が窺い知れる。ここでは図示していないが、井戸内の負圧が 50kPa に達して安定した状態(100sec 後)では、初期の放射状の負圧コンターとほぼ同じ形状を成しているものの、各点における負圧の値に増減が見られた。この時点では負圧のみによる井戸内への地下水の流入が生じていて、地下水面の変化による影響を受けた結果であると考えられる。

2) 負圧レベルの違いによる地下水面

図-4 は、各ケースにおける水圧の計測結果をもとに地盤内の地下水面を算定し、井戸水位、負圧レベルおよび集水孔の開口率に応じて図化したものである。まず、開口率 100%、井戸内水位 2.5m と 5.0m について、DW 工法と SPW 工法を比較する。図から、いずれのケースも負圧が大きいほど地盤内の水位低下が大きい。また井戸内水位が下がるほど地下水面の勾配が大きくなっている。一方、開口率 50%、井戸水位 5.0m のケースでは、特に DW 工法での地

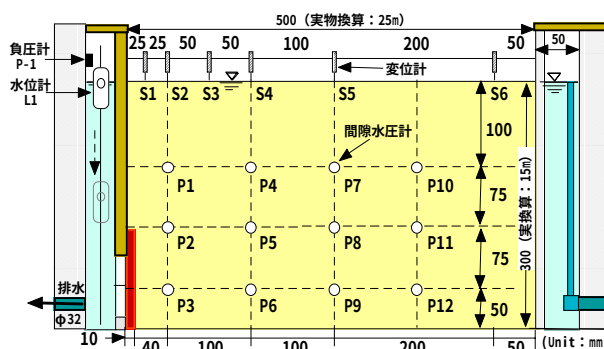


図-1 実験概要図およびセンサー設置位置図

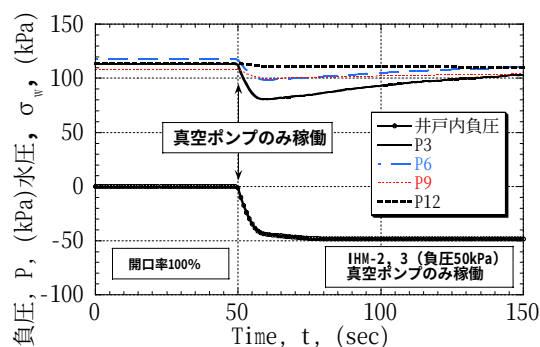


図-2 地盤内の水圧の時刻歴

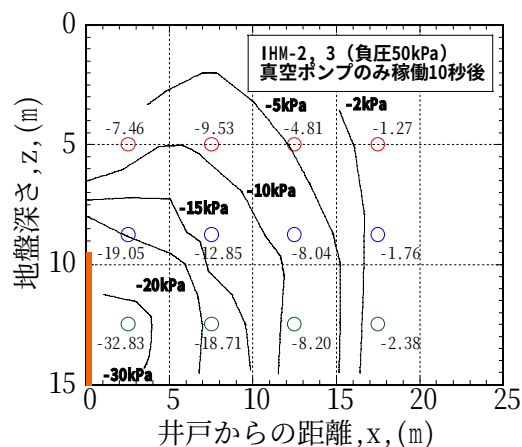


図-3 負圧の影響領域（負圧 50kPa）

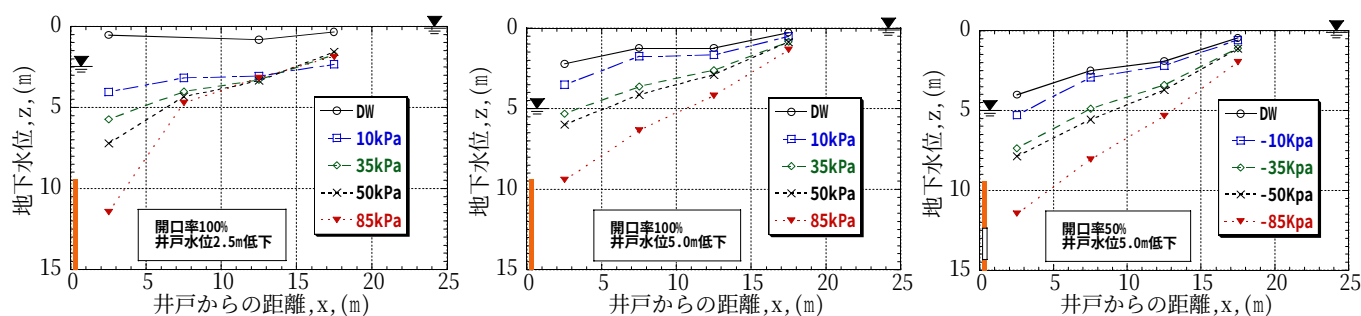


図-4 負圧レベルと開口率の違いによる地下水面

地下水面勾配は、開口率 100%のものに比べ約 2 倍になっている。これは集水孔の有効面積を小さくしたため、地下水の流速が大きくなったことが一つの要因として考えられる。

3) SWP 工法の排水効果

図-5 は、負圧レベルと所定の井戸内水位（2.5m, 5.0m）における実測流量（定常状態）との関係を示したもので、図中には最小二乗法による近似式も併せて示した。図中のプロットは所定の目標低下水位（2.5m, 5.0m）にて数回、定常状態が確認された実測流量である。井戸内水位が大きいか DW 工法での排水量は大きく、SWP 工法では排水量は負圧に比例して増大していることがわかる。ちなみに、開口率 50%にした DW 工法の平均流量は、開口率 100%に比べ約 2 倍大きい、SWP 工法での流量は開口率による相違が認められなかった。したがって、重力排水では開口部面積の影響を大きく受けるが（図-4 参照）、SWP 工法では開口率よりも、むしろ負圧の影響が大きいといえる。なお、井戸水位 5.0m, 80kPa のデータがないのは、排水ポンプの吐出量不足の他、配管チューブや排水ポンプ内におけるキャビテーションの発生等が原因で地下水位を下げるができなかったためである。

次に、DW 工法の平均排水量に対する SWP 工法の排水量の比を効果倍率比と定義し、負圧と効果倍率比（ Q_{SWP}/Q_{DW} ）の関係を図-6 に示した。砂質土地盤では、通常使用する真空度（約 50kPa 程度）での SWP 工法での排水効率は経験的に 2～5 倍であり、この経験値を図中に斜線で示した。開口率 100%での効果倍率比は、負圧と二次比例関係にあることがわかる。また、負圧 50kPa 時の効果倍率比は、DW 工法の約 3 倍の効果が認められ、当実験の土質条件と類似する現場での経験値とほぼ一致することがわかった。また、開口率 50%のケースでは、開口率 100%ケースの約 50%の効果倍率比を示した。これは、効果倍率比の基準となる DW 工法実験で、開口率 50%の平均流量が開口率 100%の約 2 倍の値を示したことが原因である。

3.まとめ

遠心模型実験の結果より、負圧の違いが地下水の揚水量や周辺に及ぼす影響を定量的に明らかにすることができた。また、揚水量は負圧と二次比例関係にあり、負圧 50kPa 時の SWP 工法での排水量は DW 工法の約 3 倍を示し、現場計測データとの良好な一致が認められた。

【参考文献】1) 今村眞一郎, 萩原敏行, 宮崎啓一, 藤井齊昭: スーパーウェルポイント工法に関する遠心模型実験システムの開発, 第 58 回土木学会年次学術講演会, 2003 (投稿中)。

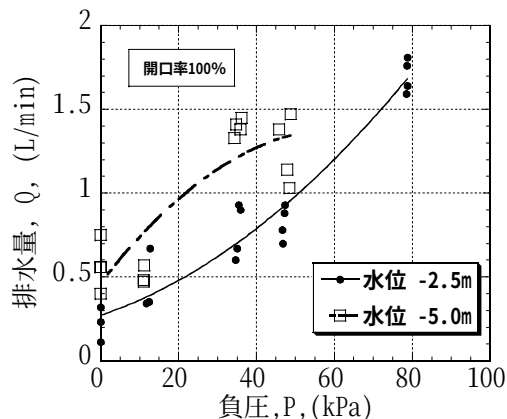


図-5 負圧と排水量の関係（模型換算）

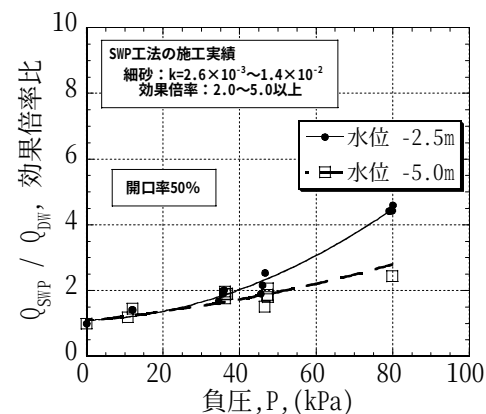
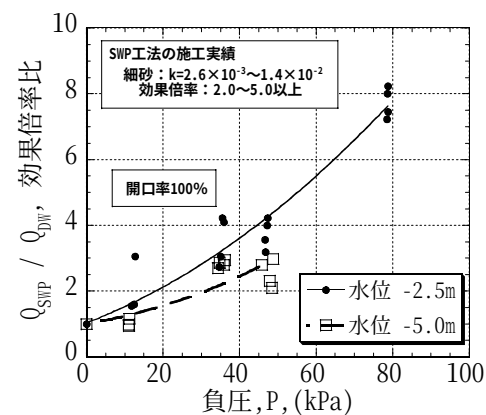


図-6 負圧と排水量の効果倍率比の関係