

大阪市域における地盤環境に配慮した 地下水の有効利用に関する検討結果 (第二次中間とりまとめ)

■ 帯水層蓄熱システムの適用性

(1) 帯水層蓄熱システムの応力変化と粘土層の圧密降伏応力との関係


- 高度経済成長期に最大30mもの地下水位の低下により地盤沈下を生じ、地下水の採取が規制されている大阪市域では、近年、工事に伴う約5mの地下水位の低下でも3cm程度の弾性変形に留まるほど、地盤が過圧密状態にあり、現在から10mの地下水位低下でも地盤沈下は生じない。
- この過圧密の傾向は、大阪市域だけでなく、過去の激甚な地盤沈下を経験し、地下水採取規制により地下水位が回復した地域に共通するものである。
- 帯水層蓄熱システムは、汲みあげた地下水を全量還水する人工涵養機能を持ち、より地盤の条件が厳しい埋立地（舞洲）であっても、うめきた2期実証と同様に、観測地点（熱源井から20m程度）において、地下水位の低下は上記の1/10以下となる-20cm~-50cm程度に抑制され、その範囲も限定的であり、地盤沈下は認められなかった。

大阪市など過去に地盤沈下が発生し、その後の地下水採取規制により地下水位が回復した地域においては、帯水層蓄熱システムの人工涵養機能により抑制される応力変化 ($p_0 + \Delta p$) が、 p_c を十分に下回る※限り、弾性変形（過圧密領域）の範囲内に収まる。

※ 当該粘土層の状態に応じた3深度以上の圧密試験により、過圧密の進行の程度を考慮しつつ、 p_c と $p_0 + \Delta p$ とを比較するなどにより確認が可能。

■ 帯水層蓄熱システムの適用性

(2) 微小な弾性変形の予測

- 帯水層蓄熱システムによる**弾性変形（地盤変動量）**は、埋立地を含む複数個所で**実証試験を行っても確認できないほど小さく**、措置要件に定める「地盤高等の著しい変化」は生じない。また、繰り返しによる圧密の進行も生じない。
 - この**実測困難な変動は、シミュレーション※で数mm程度となり、予測が可能。**
- 
- よって、帯水層蓄熱システムの応力変化に伴う弾性変形は、これまでの**実証において、地盤に著しい変化を生じることがない**ばかりか、**実測困難**であった。この微小な変動は**シミュレーション※で予測できることから、これをもって実証試験と同等の確認が可能。**

※有限要素法や有限差分法等による飽和・不飽和浸透流解析と圧密沈下解析。本検討では、飽和・不飽和浸透流と圧密沈下を同時に解析できるUNSAF-3D-Cを使用した。

観測井等の位置については、熱源井からの距離を実証成果に反映した上で規制緩和を提案、措置要件においても規定はないが、補足的に検討を行った。

その結果、これまでの実証では熱源井から16m～20mの位置に観測井を設置していたが、その内側では、水位低下が大きくなっても、地盤変動はせん断抵抗力によって抑制される。

全量還水時の熱源井近傍のせん断抵抗力の影響まで考慮した3次元モデル解析は技術的に困難であるが、第1次取りまとめを含め、これまでの観測井等の位置に問題はなく、今後も上記を参考とすることで、措置要件は有効に機能するものと考えられる。

なお、大阪市域では、観測井位置の内側における変動は、シミュレーションの予測値よりも小さくなり、熱源井近傍10m以内では、地盤高がほぼ一定になると推定された。

■ 第二次中間とりまとめ

- ビル用水法の措置要件では、実証試験の結果が「地盤高等に著しい変化が認められないこと」とされているが、帯水層蓄熱システムによる応力変化の程度では、地盤工学的に著しい変化が生じる可能性は低い。
 - 地盤変動量に著しい変化が生じないことを現場試験から得られた範囲のパラメータを使用したシミュレーションにより確認できれば、実証試験と同等の確認ができたものとして、措置要件（実証試験による地盤高等への著しい変化が認められないこと）を満たしたと判断できる。
- ✓ なお、シミュレーションで地盤高に相当有意な変位が予測された場合には、実証試験により確認されなければならない。
 - ✓ また、水質については、密閉回路構造と正圧維持等により著しい変化が生じないことがこれまでの実証試験等の実例において立証済みである。
 - ✓ 設置後は措置要件に基づくモニタリングを実施し、地下水位や地盤高、水質等に変化が認められた場合は、運転の停止などの措置を講じる必要がある。