

京都大学工学部 学生員 ○大川 淳之介
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津 宏康
 水文技術コンサルタント株式会社 正会員 高橋 健二

1. はじめに

東南アジア諸国の都市は、一般的に大河の河口部に位置しており、その地質構造は河川の堆積物による粘性土と帯水層との互層から形成されている。従来、地下水の利用が水道施設の付設と比べて安価であるという理由によって、都市部における地下水利用は急速に増加した。

タイの首都バンコクの都市圏では、1980年以降の経済発展に伴う過剰な地下水揚水によって地盤沈下などの問題が顕在化し、構造物の不同沈下や洪水災害の誘発など様々な社会的被害をもたらしてきた。そのような被害に対し、行政では地下水利用の増大防止を目的とし、2000年以降地下水利用税の基準を厳格化した。それにより揚水量は減少し、帯水層の地下水位は回復してきたため、今後地盤沈下は沈静化することが予想される。

しかし、一方で、地下水位の回復に伴う浮力の増大は、地下水位低下時期に建設された地下構造物の浮き上がりや高架道路の基礎部における支持力の低下させる危険性があるため、事前に対策を施す必要がある。

ここでは、地下水位の回復に伴う構造物に対する影響を広域的な視点からとらえるために、バンコクとその周辺地域を含めた7地域を対象とし、将来的な地下水の揚水量を確率過程によってモデル化を行う。そして、3次元地下水流解析によって得られた地下水位変動量の結果を用いて、1次元圧密理論から各地域の地盤の変動量の推移をとらえ、構造物に対する影響を評価する。

2. 将来的な地下水揚水量の予測手法

図.1 はバンコク地区の総揚水量を示している。2000年付近から揚水量は減少を示しているが、これは増加し続ける地下水揚水量を制限するため、タイ政府が上水道給水ネットワークの拡大や地下水利用料金の値上げの実施をした結果である。さらに、それ以降も段階的な課税により揚水量は減少を続けており、今後も減少し続ける可能性が高い。また、将来的な揚水量は、不確実性を含

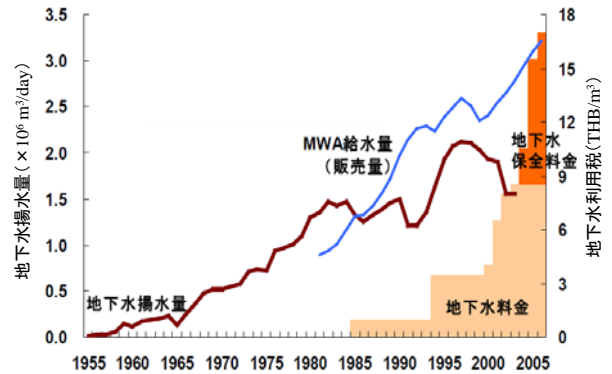


図.1 地下水揚水量と地下水利用への課税 (IGES,2006)

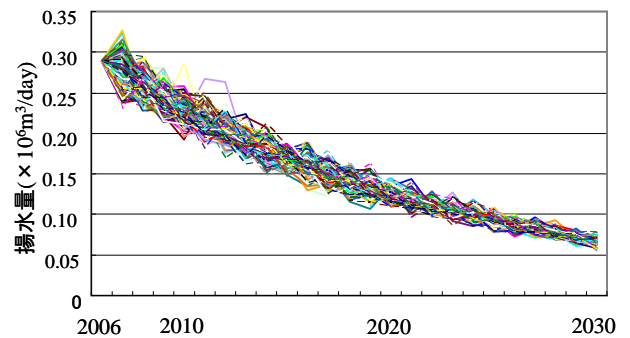


図.2 地下水の揚水量予測

んでいるため、一意的に設定することが困難である。そのため、本研究では、将来的な地下水揚水量に含まれる不確実性について次式を用いてモデル化した¹⁾。

$$Q_t = Q_0 \cdot \exp\left\{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma \cdot \varepsilon_t\right\} \quad (1)$$

ここで、 Q_t は t 年における揚水量、 μ はトレンド成分、 σ はボラティリティ成分、 t は一年間の期間、 ε_t は標準正規分布 $N(0,1)$ である。トレンドとボラティリティ成分は、揚水量の平均的な変動、および平均値周りの不確実な変動性を表現したものであり、減少傾向を示し始めた 2002~2006 年の地下水揚水量データに基づいて各地域について決定した。上式を用いて、将来的な揚水量を 100 パターン発生させた。その一例として、図.2 にある地域の 2006~2030 年の予測揚水量を示す。

3. 地盤変動量予測

推定した 100 パターンの揚水量に対して、3次元差分モデル (MODFLOW) を用い、地下水流解析を行った。さらに、地下水流解析より得られた各帯水層の地下水位の結果を用いて1次元圧密理論に基づいた地盤沈下予測を行った。ここでは、帯水層と帯水層の間に分布する粘土層の互層を一つの帯水層ユニットとしてモデル化し、各帯水層ユニットの変動量の和をある地点の総変動量として求めている。図.3に示すような、東西・南北の側線に対し、図.4では2006~2030年の地下水位変動量、および地盤変動量を示している。なお、ここではB側線のみを示し、値は100パターンの期待値を示している。

同図より、バンコク市内から南部の沿岸地域に向かうにつれ、地下水位の上昇幅は大きくなり、地盤の変動もBラインの南端部において若干量の隆起がみられるという結果が得られた。その他の地域については2cm程度の隆起、あるいは沈下が予測されたが、将来的に地盤の変動がバンコク地区に及ぼす影響は小さいと考えられる。

4. 地下構造物の浮き上がりに対する評価

地下水流解析より得られた結果より、最上部の粘土層と帯水層の境界における水圧の回復が、地下鉄の駅舎およびトンネル部分に作用するアップリフトを増加させる原因とし、図.5にその概念図を示した。

図.6は、バンコク地下鉄 (バンコク市内) のある地点におけるアップリフトと安全率の経年変化を示している。地下水位の回復によるアップリフトの上昇により、躯体の浮き上がりに対する安全率は低下するが、設計上の安全率と比較しても、浮き上がりに対する懸念はない。

5. まとめ

バンコク地区では、今後も地下水利用への課税措置は継続されることが予想され、揚水量の減少による水位の回復は見込まれるが、地盤の変動やバンコク中心部に対しては重大な社会的被害をもたらす可能性は低いと推察される。一方で、沿岸部の地域は市内と比較すると、水位の回復が大きいので、1990年代の地下水位低下時に建設された構造物に対しては、基礎の支持力低下等の影響を受ける危険性がある。よって、沿岸部の地域については、該当する構造物に対して詳細な情報を把握するとともに、今後監視し続けていく必要があると考えられる。

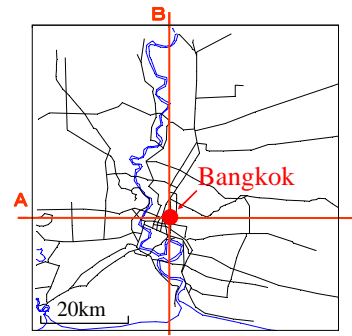


図.3 研究対象地域における側線

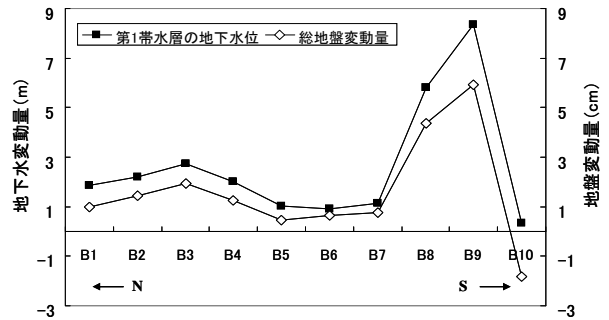


図.4 B側線における水位変動量と地盤変動量

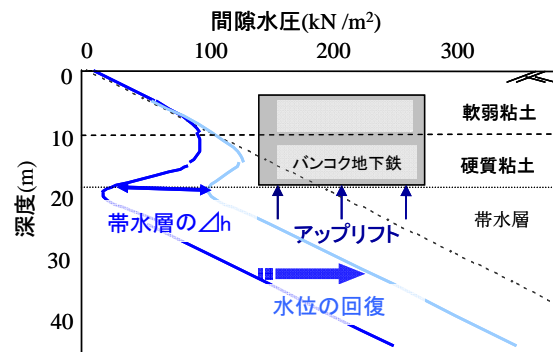


図.5 地下構造物の浮き上がり概念図

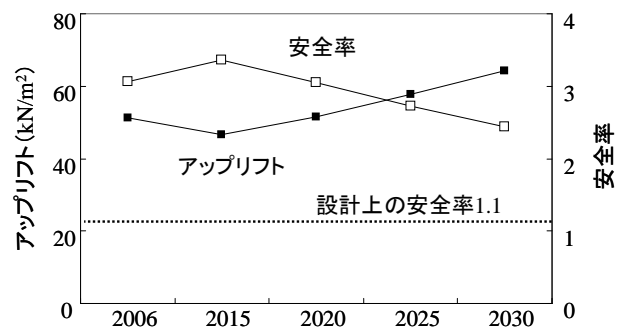


図.6 アップリフトと浮き上がりに対する安定性

参考文献

- 1) 大津 宏康, Noppadol Phienwej, Nutthapon Supawiwat, 高橋健二, 泉裕昭: バンコクにおける地下水揚水量の不確実性を考慮した地盤沈下推定, 土木学会論文集 F, 土木学会, Vol.62, No.1, pp25-40, 2006.