

第 部門

バンコクとその周辺地域における地下水揚水に伴う地盤沈下に関する研究

京都大学工学部	学生員	泉 裕昭
京都大学国際融合創造センター	正会員	天津 宏康
京都大学大学院工学研究科	学生員	Nutthapon Supawiwat
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

近年の東南アジア諸国の経済成長に伴う住宅及び工業団地等の建設による都市部の拡大過程において、水道施設の付設に比べ地下水揚水の方が安価であるため、都市部における地下水利用は急速に増加してきた。しかし、この急激な地下水揚水量の増加により、地下水環境の破壊に繋がる様々な問題が発生しつつあることが指摘されている。具体的な問題としては、急速な都市化に伴う水需要の増大に対処するための過剰な揚水による地下水資源の枯渇及びそれに伴う地盤沈下、さらには生活廃水・工業排水による地下水汚染等が挙げられる。

東南アジアの諸都市の内、この急激な地下水揚水量の増加に伴う地盤工学的な課題が顕在化してきた都市としては、バンコク(タイ)が挙げられる。図.1に、1955年から2000年までのバンコク及びその周辺地域における地下水揚水量の推移を示す。1970年代後半以降のタイにおける急速な経済成長により、民間による地下水揚水量は大きく増加した。また、図.2に1933~1987年の研究対象地域の地盤沈下コンター図を示す。1978年以降、地盤沈下は、タイにおける経済発展において、多くの住宅・工業開発事業がなされた地域へと拡大していった。従って、広範囲における地盤沈下の顕在化は、民間による多大な取水がなされたことが主要因であると考えられる。

地盤沈下は、バンコクの都市部がチャオプラヤ川という大河周辺に発達しているため、不同沈下による構造物被害のみならず、チャオプラヤ川の堤防高を低下させ、雨季での洪水リスクを誘発することに繋がる緊急の検討課題となっている¹⁾。従って、地盤沈下管理と地盤沈下による将来的な損害の緩和対策の実施が重要である。このため、信頼性の高い地盤沈下予測が必要であるが、地盤沈下を予測する上で支配的な因子となる将来的な揚水量については不確実性を含んでいる。

従って、本研究では、研究対象地域において、揚水量の不確実性を考慮した地盤沈下予測を行う。

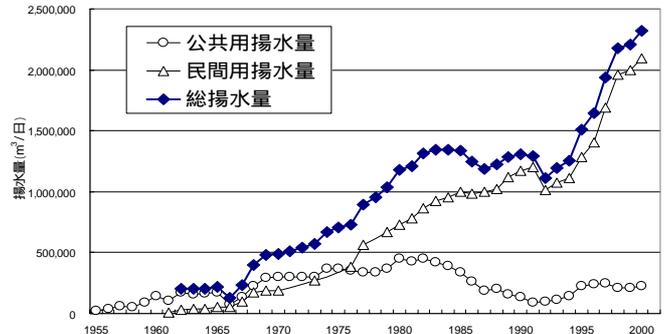


図.1 バンコクとその周辺地域の地下水揚水量の推移

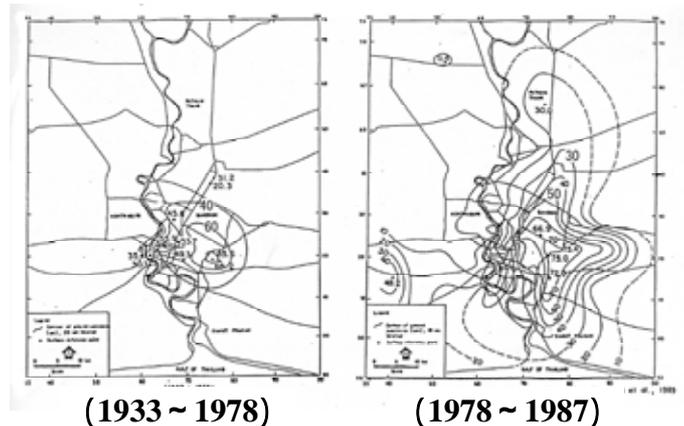


図.2 1933~1987年に発生した地盤沈下コンター

2. 地盤沈下解析手法と結果

バンコクの地盤沈下を考えるうえで、地下水揚水量は最も支配的な因子であるため、慎重に考慮すべき重要要因である。また、将来的な揚水量については、不確実性を含んでおり、一意的に設定することが困難であるため、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。

$$Q_t = Q_{t-1} + \mu \cdot \Delta t + \sigma \cdot \varepsilon_t \quad (1)$$

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、 Δt 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、将来における揚水量の平均的な変動及び、その平均値周りの不確実な変動性を表現したものであり、1983~2003年の地下水揚水量データの過去統計値に基づいて各地域ごとに決定した。上式を用いて、将来的な

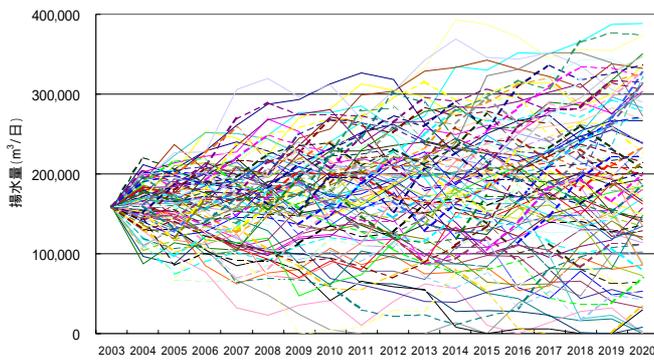


図3 予測揚水量

揚水量を、100パターン発生させた。その例として、図3に、ある地域の2004～2020年の予測揚水量を示す。これは、モンテカルロシミュレーションを行う際に、地下水流解析の入力値として用いることができる。研究対象地域における一日あたりの地下水揚水量の平均は2020年には320万m³に達すると予測された。

推定した揚水量に対して、3次元差分モデル(MODFLOW)を用い、地下水流解析を行った。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、1次元圧密理論に基づいた地盤沈下予測に用いた。各帯水層の圧縮量は下式で求めた²⁾。

$$\rho = m_v \cdot \gamma_w \cdot b \cdot c \cdot \Delta h \quad (2)$$

ここで、 m_v は体積圧縮係数、 γ_w は水の単位体積重量、 b は層厚、 c は粘土含有量、 Δh は地下水位低下量である。地盤沈下量は、各帯水層における圧縮量の和として求めた。図4に示すような、東西・南北のライン上の2004～2020年の地盤沈下量を示したものが図5である。平均値周りの標準偏差の幅を点線で示している。

同図より、バンコク中心部から南にかけて最も大きく沈下しており2020年までに平均で約80cm、また、研究対象地域北部のチャオプラヤ川東、研究対象地域南西で平均で約50cmの沈下が起きるといった結果が得られた。研究対象地域の地盤沈下は、各点において、とどまる兆しを見せておらず、揚水量の不確実性が予測沈下量の変動に与える影響は、バンコク中心部から南にかけて最も大きいことがわかる。

3. まとめ

今後、地下水揚水量が増加を続ける限り、地盤沈下は進行してとどまる兆しを見せないことは明白である。バンコク首都圏では、まだこれから長い期間、生活用水のみならず商業揚水や工業用水源を地下水に依存せざるを

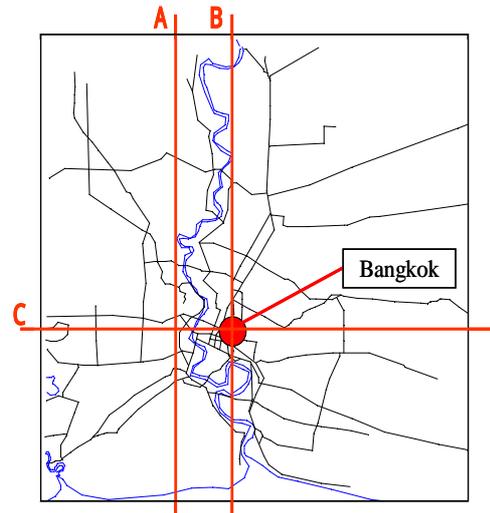


図4 研究対象地域における地盤沈下予測ライン

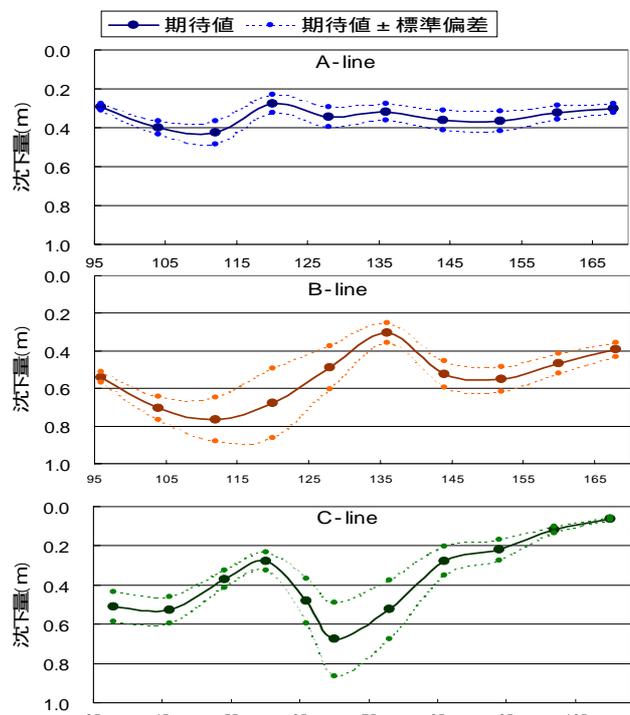


図5 2004～2020年の地盤沈下量予測結果

得ないのも事実だが、バンコクとその周辺地域における地盤沈下を最も効果的に緩和させる方法は、過剰な地下水揚水を制限していくことであると考えられる。

参考文献

- 1) Noppadol Phienwej, 大津宏康, Nutthapon Supawiwat, 高橋健二: バンコクにおける地下水揚水に伴う地盤沈下, 土と基礎(2005年2月号) 2005.
- 2) 国際協力機構(JICA), タイ鉱物資源局(DMR), 公共事業局(PWD): バンコク首都圏地盤沈下・地下水管理計画調査, 1995.