

東南アジア諸国における都市地下水環境保全に関する調査研究

(課題番号 14404003)

平成 14 年度～平成 16 年度

科学研究費補助

基礎研究 (B) (2) 研究成果報告書

平成 17 年 3 月

京 都 大 学 図 書



1050577037

大津宏康氏寄贈

附 属 図 書 館

研究代表者 大津 宏康

自動貸出機使用不可

この本には□カセットテープ

☒CD-ROM

1枚

☐FD

☐

が付いています。

カウンターまで、お越しください。

(京都大学国際融合創造センター 教授)

東南アジア諸国における都市地下水環境保全に関する調査研究

(課題番号 14404003)

平成 14 年度～平成 16 年度

科学研究費補助

基礎研究 (B) (2) 研究成果報告書

平成 17 年 3 月

研究代表者 大津 宏康

(京都大学国際融合創造センター 教授)

研究概要および要旨

平成 14 年度の研究においては、研究の第一ステップとして、ベトナム・タイの都市部での現況の地下水環境を把握するための基本データとなる、既往の地下水に関連する計測データの収集・分析を実施した。具体的には、ハノイおよびバンコクにおいて収集した関連データは、それぞれ以下のように要約される。

ハノイの地下水環境に関する調査結果としては、1990 年代の都市部の開発に伴う地下水の汲み上げ状態と、大ハノイ地区での地盤沈下の発生状況に関する調査結果を入手した。そのデータの分析結果より、同地域における広域地下水流動特性として、ファン河 (Red River) からの地下水位涵養を上回る量の地下水が、農業用水・生活用水として利用されており、これに伴い広範囲の地域に地盤沈下が生じていることが明らかとなった。

一方、バンコクの地下水環境に関する調査結果としては、地下水位・地盤沈下量の観測結果、及びボーリング調査に基づく地質区分データ・土質調査結果を入手した。同調査結果より、以下の事項が明らかとなった。

- 1) 過去 20 年間の急速な都市部の発展に伴い、生活用水・工業用水等の確保を目的として地下の滞水層から大規模な地下水の汲み上げを実施したことに起因して、大規模な地盤沈下が生じ、建物・道路に甚大な被害が発生している。
- 2) 対象地域はバンコク中心部 6,160km² と広範囲に及んでおり、1981 年～1998 年での最大地下水位低下量 30m、最大沈下量 88mm と甚大なものとなっている。現状では、部分的に取水制限を実施したことで、地表面沈下速度は低減されつつあるが、今後のバンコク地域で更なる都市部の拡大に対応するためには、依然として生活用水等を滞水層からの地下水の汲み上げによるに依存せざるを得ない状況にある。

平成 15 年度の研究においては、平成 14 年度にデータ収集を実施したバンコク首都圏とその周辺地域 (以下大バンコク地区と称す) における、都市地下水環境に焦点を当てた研究を実施した。まず、3 次元差分解析により、過去の地下水位低下状況を分析すると共に、1 次元圧密理論に基づく地盤沈下量を計算した結果として、大バンコク地区における地下水位低下と地盤沈下の主原因は、地表面から浅い方の 3 種類の帯水層からの過剰な地下水汲み上げ地下水汲み上げに伴うに起因すること、および大バンコク周辺地区で工場団地の建設等により沈下が増大しつつあること明らかにした。そして、今後地下水の揚水量が増加する限り、大バンコク地区における地盤沈下は留まる兆しを見せずに継続し、その結果として、河川堤防の沈下および洪水の排水施設の機能低下を誘発し、同地区の洪水リスクが増大することになることを明らかにした。

ただし、今後の地盤沈下を予測する上で支配的な因子となる揚水量については、不確実性を含んでいるため、一意的に設定することが困難である。この課題に対して、将来的な地下水揚水量に含まれる不確実性について確率過程を用いてモデル化し、揚水に伴う地下水位・地盤沈下の不確実性を評価する確率的手法を開発した。具体的には、地下水揚水量を、過去の計測結果に基づき算術的ブラウン運動によりモデル化するものと仮定した。そのモデルを用いて推定した揚水量に対して、3 次元浸透流解析および 1 次元圧密理論に基づくモンテカルロシミュレーションを実施し、多様なシナリオに対応する地盤沈下予測を実施した。その結果として、公的機関による地

下水揚水の制限により地下水揚水量のトレンドが減少させることで、一定の範囲内ではあるが洪水リスクを緩和することが可能となることを明らかにした。加えて、公的機関による地下水揚水の制限に加えて、リチャージウェルの導入等の、その他の洪水リスクに関する緩和対策についても更なる調査を実施することが必要となることを提言した。

平成 16 年度の研究においては、ベトナム・ハノイ地区における地下水揚水に伴う地下水環境への影響評価に関するデータ収集・分析を行うと共に、平成 15 年度に構築した大バンコク地区における、都市地下水環境シミュレーションモデルの高度化に関する研究を実施した。

まず、ハノイ地区における調査としては、海外共同研究者である Dr. Giao (AIT) と共に、ハノイ建設局、ハノイ鉱山大学の関係者とのワークショップを開催し、データ収集・分析に関する検討を実施した。この結果として、ハノイ地区の帯水層は、フォン川あるいはソンコイ川等の周辺河川との通水性が高いことから地下水位の回復がなされていること、およびハノイ地区の帯水層からの揚水量が比較的少ないことから、現状では地下水環境に関する課題が顕在化していないことが明らかとなった。しかし、現在ハノイ地区は急速に都市化が進んでいることから、今後水道施設の普及等の総合的な対策を早急に立案することが必要となることを提言した。

次に、大バンコク地区における都市地下水環境シミュレーションについては、前年度に構築した評価モデルにおける不確実性要因の評価について、以下のような改良を実施した。

- 1) 大バンコク地区における 2003 年までの最新の地下水揚水量を用いて、算術的ブラウン運動によりモデル化した、大バンコク地区での地下水揚水量の将来予測値における解析パラメータを修正した。これは、1997 年にタイ政府により施行された地下水取水に関する制限措置により、現状ではバンコクを中心として地下水揚水量が急激に減少しつつあることを、解析シミュレーションに反映させることを目的とした。
- 2) 1 次元圧密理論に基づく地盤沈下量算定モデルにおいて、その算定式に含まれる解析パラメータの不確実性が結果に及ぼす影響について評価する手法を開発した。具体的な解析パラメータとしては、バンコクの地盤を構成する各帯水層の層厚および、粘土含有率に着目した。そして、既存の 100 箇所を上回る地質調査ボーリングおよびボーリングコアサンプリング結果を用いた地盤統計学に基づく解析により、大バンコク地区全域における各帯水層の層厚および、粘土含有率に関する分布特性を明らかにすると共に、点情報となるボーリング結果からの推定誤差について明らかにした。この解析情報は、推定誤差が地盤沈下の推定精度に与える影響を評価するために用いた。

上記の改良モデルに基づき、大バンコク地区を構成するバンコク (Bangkok)、ノンタブリ (Nonthaburi)、サムットプラカン (Samut Prakan)、パトムターニ (Pathum Thani)、サムットサコン (Samut Sakhon)、ナコーンパトム (Nakhon Pathom)、およびアユタヤ (Ayutthaya) の 7 地区の代表点において、将来予測される地下水揚水に対して想定される、地下水位低下特性および地盤沈下特性について検討を実施した。この結果として、地下水取水に関する制限措置により、大バンコク地区の中心部であるバンコクおよびノンタブリにおいては地盤沈下量が、前年度の評価結果に比較して多少低減する傾向となるが、その他の周辺地区では今後 0.5~1m にも及ぶ多大な地盤沈下量が想定されることを明らかにした。

また、1 次元圧密理論に基づく地盤沈下量算定モデルに含まれる解析パラメータの不確実性が

結果に及ぼす影響としては、帯水層の層厚に比較して、粘土含有率の不確実性が優位となることを明らかにした。また、各帯水層の比較では、最上位のバンコク帯水層の粘土含有率の不確実性が支配的になることについても明らかにした。

さらに、算定された確率量となる地盤沈下量を用いて、大バンコク地区の中心部を流れるチャオプラヤ川の堤防付近を対象とした洪水リスクに関する検討をも実施した。具体的には、近年タイ政府により実施されている洪水対策において、チャオプラヤ川の堤防高に関する許容沈下量が0.5mと設定されていることから、この許容沈下量に対して、チャオプラヤ川流域の各地区の代表点で想定される沈下量が超過する確率を洪水リスクとする検討を実施した。この結果として、洪水リスクは、各箇所での地層構成および揚水箇所の分布により大きく変化すること、また帯水層の粘土含有率の不確実性が想定される洪水リスクの感度に大きく影響することを明らかにした。以上の検討結果より、今後地下水揚水の制限および、リチャージウェルの導入等の洪水リスクに関する緩和対策を推進することに加えて、洪水リスクの推定精度を高めるためには、その感度が最も高いと判定されたバンコク帯水層について更なる地質調査を実施することが必要となることを提言した。

研究組織

A. 研究代表者

大津 宏康：京都大学国際融合創造センター・教授

B. 研究分担者

大西 有三：京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・教授

西山 哲：京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻・助教授

安田 亨：パシフィックコンサルタンツ（株）大阪本社プロジェクト部技術課・プロジェクトリーダー

李 圭太：（株）建設技術研究所大阪支社環境本部技術部・課長

C. 海外共同研究者)

Noppadol Phienwej：Asian Institute of Technology, Associate Professor

Pham Huy Giao：Asian Institute of Technology, Associate Professor

交付決定額（配当額）

平成14年度： 3, 600千円

平成15年度： 3, 700千円

平成16年度： 4, 100千円

合計：11, 400千円

発表論文

1. Ohtsu, H., Janrungautai, S., Ohnishi, Y. and Takahashi, K.: Observation Method using Kalman Filtering for Land Subsidence Prediction in Bangkok area, 土木学会第59回年次学術講演会概要集, 2003.
2. Sirisin Janrungautai: The Study on Uncertainty Modeling and Risk Analysis in Geotechnical Problems, 京都大学学位論文, 2003.
3. Ohtsu, H., Supawiwat, N. and Ohnishi, Y.: Observation Method using Kalman Filtering for Land Subsidence Prediction in Bangkok area, 土木学会第60回年次学術講演会概要集, 2004.
4. Ohnishi, Y., Ohtsu, H., Hamada, N. and Hayashi, K.: Groundwater Behavior and Land Subsidence Caused by Underground Highway Construction Projects, Proc. of the 3rd Southeast Asian Workshop on Rock Engineering, pp., 2004.
5. Ohnishi, Y., Ohtsu and Takahashi, K.: Numerical Evaluation of Groundwater Behavior and Land Subsidence by Tunnel Excavation, Proc. of the 3rd Southeast Asian Workshop on Rock Engineering, pp., 2004.
6. Ohtsu, H.: New Methodology for Prediction of Groundwater Behavior, Proc. of the 3rd Southeast Asian Workshop on Rock Engineering, pp., 2004.
7. Giao, P. H.: Some Considerations on Problems and Solutions of Hanoi Land Subsidence - Part II: Risk and Control, Proc. of the 3rd Southeast Asian Workshop on Rock Engineering, pp., 2004.
8. Phienweij, N., S. Thepparak, S. and P.H. Giao, P. H.: Analysis of Differential Settlements Induced by Land Subsidence from Deep Well Pumping, Proc. of the 3rd Southeast Asian Workshop on Rock Engineering, pp., 2004.
9. Supawiwat, N., Ohtsu, H., Janrungautai, S. and Ohnishi, Y.: Prediction of Land Subsidence Using Stochastic Process, Proc. of the 3rd Southeast Asian Workshop on Rock Engineering, pp., 2004.
10. Janrungautai, S., Supawiwat, N., Ohtsu, H. and Ohnishi, Y.: Risk Assessment of Land Subsidence Due to Excessive Groundwater Extraction, Proc. Of the 15th Southeast Asian Geotechnical

Conference, Vol.1, pp.55-60, 2004.

11. 泉 裕昭：バンコクおよびその周辺地域における地盤沈下に関する研究，京都大学卒業研究，2005.
12. Phienwej, N., 大津宏康, Supawiwat, N., 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，土と基礎，Vol. 53, No. 2, Ser. No. 565, pp.16-18, 2005.

総 目 次

1. 東南アジア諸国における都市地下水環境保全に関する調査研究
2. 報告書
3. 関連発表論文
 - 3.1 Observational Method using Kalman Filtering for Land Subsidence Prediction in Bangkok
 - 3.2 Sirisin Janrungautai: 京都大学学位論文, 2003 抜粋
 - 3.2.1 目次
 - 3.2.2 序論
 - 3.2.3 世界各地における都市部での地下水揚水に伴う地盤沈下の課題
 - 3.2.4 バンコクの地下水環境に関する調査結果
 - 3.2.5 地下水環境検討に含まれる不確実性要因の評価手法
 - 3.2.6 地下水および地盤沈下解析
 - 3.2.7 地盤沈下リスク評価
 - 3.3 Management of Land Subsidence in Bangkok
 - 3.4 Groundwater Behavior and Land Subsidence Caused by Underground Highway Construction Projects
 - 3.5 Numerical Evaluation of Groundwater Behavior and Land Subsidence by Tunnel Excavation
 - 3.6 New methodology for prediction of groundwater behavior
 - 3.7 Some Considerations on Problems and Solutions of Hanoi Land Subsidence—Part II: Risk and Control
 - 3.8 Analysis of Differential Settlements Induced by Land Subsidence from Deep Well Pumping
 - 3.9 Prediction of Land Subsidence Using Stochastic Process
 - 3.10 Risk Assessment of Land Subsidence Due to Excessive Groundwater Extraction
 - 3.11 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
 - 3.11.1 目次
 - 3.11.2 序論
 - 3.11.3 バンコク首都圏の地盤沈下に関する従来の研究
 - 3.11.4 地盤沈下量の予測
 - 3.11.5 地盤沈下リスク評価
 - 3.11.6 結論
 - 3.11.7 参考文献
 - 3.12 バンコクにおける地下水揚水に伴う地盤沈下

4. 関連資料

4.1 関連収集資料集

4.2 Bangkok Land Subsidence Crisis From Ground Water Extraction

4.3 Groundwater Crisis and Land Subsidence in Bangkok

4.4 Modeling of Groundwater Pumping in Bangkok Aquifer System

4.5 Pumping Simulation using 3D Groundwater Flow Model of Southern-Yamashiro District at Kyoto Basin

4.6 The applications of hi-precision measuring technique using InSAR technology in Japan