

GIS 援用による地下水位の変動に伴う 都市機能の脆弱性評価

GIS for Vulnerability Assessment of Urban Functions Caused by Variation in Groundwater Level

研究代表者：安原一哉 茨城大学工学部・教授

Yasuhara, Kazuya, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Professor

共同研究者：三村信男、大西和榮、小峯秀雄、横木裕宗、桑原祐史、信岡尚道、村上哲

Nobuo Mimura, Kazuei Onishi, Hideo Komine, Hiromune Yokoki, Kuwahara Yuji, Nobuoka Hisamichi, Murakami Satoshi.

要旨 地盤沈下や液状化危険度，地盤の支持力低下など，社会基盤施設・都市機能低下を引き起こす地下水位変動の予測手法の確立と，それを都市を包括する広域的な問題解決に適用するための地理情報システムを活用する方法を提案した。さらに，それを現地に適用し，都市機能の脆弱性評価の具体的事例を示した。また，沿岸域地下水環境に影響を及ぼす，汽水域の塩分濃度の変化を，気候変動による海面上昇をシナリオとして掲げ，その数値シミュレーション技術の開発を行った。以上を総合して，同様な問題を抱える東南アジア地域への適用性を探るとともに，本研究で目的とする地下水変動に起因する都市機能の脆弱性について，GISを援用することによって広域的，視覚的に評価する手法を提案した。

ABSTRACT: The procedure for utilizing Geographical Information System (GIS) has been proposed: (i) to establish the predictive method of variation in groundwater level (GWL) which triggers functional reduction of infrastructures and urban systems, (ii) to obtain a clue for solution of the relative issues such as natural disasters and damage of infrastructures. Subsequently, the case studies are described in which the proposed procedure and methodology are applied to estimation of vulnerability in infrastructure and urban systems. The development of numerical analytical techniques is highlighted to predict changes of salt concentration in brackish water region as a scenario for the effects of global warming on groundwater environments near the coastal area. Based on the procedure and methodology proposed in the present report, an attempt is made:

- 1) to explore the possibility of application to the Southeast Asian regional countries that face with the same kind of issues, and
- 2) to propose a GIS-aided method to evaluate vulnerability of urban functions caused by variation in groundwater level.

1. 研究目的

大都市における地下水の汲み上げによる地盤沈下現象は戦後の規制によって沈静化しているように見えるが、一方で関東平野北部、新潟平野、佐賀平野などでは慢性的に地盤沈下が続いており当該地域の河川堤防や公的建築物など社会基盤施設の機能を著しく損なっている。このような地域では、また、巨大地震や、海面上昇にともなう脆弱性の増大など潜在的な複合災害の危険性を秘めている。前者の直接的影響は目に見えるので、比較的迅速に対応できるが、後者の間接的な影響は日常的には目に見えないので、対応が遅くな

りがちで、気が付いたときには取り返しのつかない事態になっていることが懸念される。このような潜在的危険度の高い地域は、単に国内に留まらず、広く世界中に存在しているが、地域によって抱える課題は異なっており、総合的な評価手法の確立が求められている。一方、地盤沈下対策として地下水の汲み上げ規制を行ってきた東京や神奈川の大都市圏では、最近、地下水位が回復したために逆に建物構造物の浮き上がり（たとえば、平成3年新小平駅、平成5年上野駅）の危険性や砂地盤液状化の危険性の増加が懸念されている。また、海面上昇に伴う地下水位の上昇もこ

のことを加速する要因になっている。これらのうち、特に後者については影響範囲も広いので大都市周辺では重要な課題として予測手法の確立とシステム作りが必要である。以上のような地下水位の変動は社会基盤・都市機能の脆弱性に大きな影響を及ぼす。本研究では、このような脆弱性評価システムとその制御のための最適地下水利用・地下水位管理システムを構築することを目的とした。

2. 研究経過

地下水変動に伴う都市機能の脆弱性評価を行うためには、都市を包括する広域な地下水位変動を予測できる手法を確立すること、および、地下水位変動に起因して被害を受ける事象を抽出し、その定量的把握を行うこと、さらに、地下水揚水や地球温暖化による海面上昇のような環境変化を考慮することが重要である。

本研究では、まず、地下水位変動を予測するために必要となる地盤の透水性を広域に渡って取得するために、地下水位変動に関する既存の観測情報を最大限に活用できる逆解析法の適用に取り組んだ。さらに、広域となる都市を包括するために、地理情報システム(GIS)を援用することについての検討を行った。また、沿岸域地下水環境に与える影響を把握するために、海面上昇による汽水域における塩分濃度の変化を予測する数値シミュレーションの開発も平行して行った。

汽水域における塩分濃度の変化予測とその適応策について、実問題に適用し、その有効性を確認した。地下水水質環境への影響については予測できなかったが、生じうる問題点の指摘をした。一方、地下水揚水に起因する地下水位の変動については、提案した手法を関東平野北部の広域地盤沈下に適用するとともに、地盤沈下に伴う社会基盤施設の被害について検討を行った。また、地下水揚水制限による地下水位上昇に起因した地盤の不安定化評価手法や液状化危険度の評価法について既存の理論を援用した技術開発に取り組んだ。

一連の評価手法をGISを援用することによって効率的に検討できることを明らかにするとともに、既存の数値情報や衛星リモートセンシングデータの適用性について検討する

ことによって、より高度な脆弱性評価手法の開発に取り組んだ。

また、同種の問題を抱える東南アジア地域における現地視察や関連研究機関と情報交換し、本手法の適用の可能性を探り、問題点と課題について明らかにした。

以上のプロセスにより、本研究で目的とする地下水変動に起因する都市機能の脆弱性について、GISを援用することによって広域的、視覚的に評価する手法を提案した。

3. 研究成果

(1) 地下水流動理論と地下水位変動の影響評価と対応策

地下水位変動に伴う都市機能の脆弱性評価を行うために必要となる地域の地下水変動を予測するためには、広域に渡って地下水流動予測に必要な各種定数を取得する必要がある。このような場合、逆解析手法により、過去に観測されている地下水位変動と地下水揚水量の記録を活用した不足情報の推定法を補完することが行われるが、解の安定化の問題、多種多量な地下水情報の整理など、いくつかの問題がある。本研究では、まず、解の安定化を図るために、最小二乗法を援用する同定法と随伴変分法を援用する同定法を提案し、その適用性をShirota et al.(2002), Onishi et al. (2002), 村上ら(2002)が報告している。さらに、村上ら(2002)の論文では、これらの逆解析手法の適用において、煩雑となる各種情報の整理と結果の表示において、地理情報システム(GIS)を活用する手法を関東平野北部の広域地盤沈下地域への適用事例として、その有効性を報告するとともに、当該地域での地下水位変動が、地下水揚水に及ぼす影響を定量的に示した。

地下水位低下に起因する地盤沈下に伴う都市機能の低下に着目し、まず、地盤沈下を抑制するための地下水位モニタリング手法の提案を行った。多くの地盤沈下地域は地下水揚水を制限する方策が採られているが、実際問題としては生活生産活動への地下水の利用を完全に停止することは困難である。本研究で

は、地下水を利用しつつ地盤沈下と共生できる都市機能の維持管理の考え方を示した。一連の手法については、Murakami et al.(2002)と村上ら(2003)で報告している。

一方、地下水位上昇に伴う問題としては、構造物・基礎地盤系の不安定化と地震時における液状化危険度の増加が挙げられる。地下水位上昇による基礎地盤の不安定化は、地盤の性質によって変化するが、粘性土地盤より査質地盤の方が地下水位上昇の影響を受けることが分かった。この結果は Yasuhara et al.(2002)によって報告されている。

また、地下水位上昇に伴う地震時の砂地盤の液状化危険度の増加は、地域地盤の物性により異なることが予想される。具体的な事例として横浜市鶴見川や茨城県南西部を対象とした液状化危険度ハザードマップを作成し、地下水移上昇による危険度の変化を詳細に調べた結果、地域的な液状化危険度の変化を定量的に示すことができた。この結果は、Yasuhara et al.(2004)が報告予定である。

(2) 汽水湖の塩分遡上に及ぼす地球温暖化・海面上昇の影響

海面上昇による汽水域への塩分侵入の変化について、現海面高での検証を実施した数値シミュレーションモデルを用いて予測した。海面上昇に伴って塩分の遡上が増進し、その影響は2020年頃から現れ、2050年頃には明確になる予測結果を得た。留意点としては、淡水流量の年変動による塩分遡上の影響の方が海面上昇による影響よりも大きいので、5年～10年平均の塩分上昇で海面上昇による影響の傾向を評価する必要があることを示した。これらの成果は、三村ら(2002)、信岡ら(2003)が報告している。しかしながら、地下水への影響評価やその対応策については、結論を得るには至っていない。これは、塩水の遡上や自然環境への影響は、汽水域の地形に大きく左右され各地で異なる変化が起こることも考えられたので、この地形を考慮したモニタリングの更なる検討が必要である。また、自然環境を保持しつつ効果的な適応策を取ることは難しく、本研究では影響をやや低減させる程度の方法のみ提示した。この点については継続した研究開発が必要であるが、汽水

域が陸域に遷移しても対応できる、空間的に余裕をもった社会基盤整備計画も今後、必要であることを併せて指摘した。

(3) 東南アジア地域の地下水問題

上記のような国内の該当地域で蓄積された成果を海外、特にアジアに於いて同様の問題を抱えている地域への適用の可能性を探るために、中国、タイ、ベトナムなどの地下水位変動に起因した問題を文献レビューと現地視察を行った。中国の上海やタイのバンコクでは、地下水位変動や地盤沈下の継続的なモニタリングを実施しており、本研究での手法は十分適用できる手ごたえを得たが、モニタリングがこれから行われつつあるベトナムのホーチミンシティでは、関連情報が不足しており、今後、これらの地域で、継続的な地下水位変動のモニタリング結果の蓄積により、本手法適用の可能性が示唆された。この成果のうち、ベトナムの地下水問題については、村上(2004)が報告している。

(4) GISを利用した社会基盤の脆弱性マップの提案

温暖化の影響も含め地下水位の変動による社会基盤施設の脆弱化を受ける可能性の高い地域において、前記の要素技術の成果と、衛星データに基づくRS(リモートセンシング)技術とGIS(地理情報システム)技術との組み合わせによって脆弱性評価結果の広域にわたる可視化シナリオを作成する手法を提案した。この手法を比較的情報が集約できている関東平野北部の広域地盤沈下地域に適用した。地下水位変動に起因する地盤沈下と社会基盤分布との関係について分析をするとともに、一連の評価において、現在、公開されている地理情報や衛星リモートセンシングデータの利活用が必要であることがわかった。これらの成果については、桑原ら(2004)が報告予定である。しかしながら、地下水位変動に起因する都市機能をさらに具体的に示すためには、個々の構造物を診断し、対応策を講じる必要がある。このことに関連して村上ら(2003a)と村上ら(2003b)は、各種社会基盤施設のうち、杭構造物に着目した地盤沈下に伴う地震時危険度評価および、地下水管理手法と

地下水モニタリングと併用した社会基盤施設の維持管理手法の一例を示した。

4. 今後の課題と発展

本研究を遂行することによって、地下水位変動に伴う都市機能の脆弱性評価のためには、既存情報を最大限に利活用することの必要性を示すことができた。地球温暖化による海面上昇に起因する沿岸域地下水位変動シミュレーションや都市域における個々の社会基盤施設が受けるダメージを定量的に評価できるためにはいたっていないが、概況を把握すること、影響を受ける地域を特定することは可能となった。よりリアルな影響を把握するためには、情報の高精度化や品質評価の手法、評価に必要となる情報のモニタリングポイントの密度増加を具体的に示すことが必要である。これらの課題をクリアーにし、情報を高精度化することによって、本研究で得られた一連のプロセスにより、よりリアルな都市機能の脆弱性評価手法の確立へと発展することが期待される。

5. 発表論文リスト

Onishi, K., Yasuhara, K., Murakami, S., Ohura, S. and Iijima, K. (2002): Identification of Aquifer Transmissivity from Interior Point Observation, Proceedings of the 4th International Conference on Inverse Problems in Engineering, Vol.1, pp.349-356.

桑原祐史・小柳武和・安原一哉・村上哲(2004)：地盤沈下災害を対象とした社会基盤被害想定マップの構築，情報利用技術シンポジウム論文集。(投稿中)

Shirota, K., Murakami, S., Ohura, Y., Onishi, K., and Yasuhara, K. (2002): Identification of Underground Hydraulic Transmissivity by the Variation Method from Interior Measurement of Hydraulic Heads, Theoretical and Applied Mechanics Japan Vol.15(Proceedings of the 15th Japan National Congress for Theoretical and Applied Mechanics), pp.395-400.

信岡尚道，三村信男，根本隆夫，布目彰一，斉川義則，大竹祐馬(2003)：汽水湖への塩分侵入の過程と条件，海岸工学論文集 vol.50, pp.401-405.

三村信男，信岡尚道，三日市圭史，布目彰一，横木裕宗，根本隆夫(2004)：水質改善に向けた感潮支川・湖沼の塩分動態の解析 澗沼川・澗沼を対象として，海岸工学論文集 Vol.49, pp. 336-340,.

村上 哲，安原一哉，小峯秀雄，早野智博，愛澤有一(2002)：GIS 援用による広域地下水流動逆解析による透水量係数の同定，応用力学論文集 Vol.5, pp.53-60.

Murakami, S., Yasuhara, K., and Mochizuki, N.(2002): : A GIS-aided Monitoring System of Groundwater Level in Wide Land Subsidence Area ,Proceedings of the International Symposium on Lowland Technology 2002 , pp.223-228.

村上 哲，安原一哉，小峯秀雄，鈴木久美子(2003a)：地盤沈下地域における都市インフラ施設の維持管理のための GIS 援用地下水管理手法，茨城大学工学部研究集報 第 50 巻，pp.29-36.

村上 哲，安原一哉，望月紀子(2003b)：GIS に適用する広域地盤沈下の観測的予測法，日本地下水学会誌 第 45 巻 第 4 号, pp.391-407.

村上 哲(2004)；ベトナムの沿岸域地下水地盤環境と気候変動対応への課題，茨城大学国際シンポジウム「地球環境変動とアジアの将来像」 アジア諸国における安全・環境・持続性 ， p.2.

Yasuhara, K., Murakami, S. and Mitsuyama, S. (2003) : Instability of Foundations Undergoing Rise in Groundwater Level, Groundwater Engineering - Recent Advances, Proceedings of the International Symposium on Groundwater Problems Related to Geo-environment, pp.205-210.