

平成22年5月14日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560548

研究課題名（和文） 堆積地盤の大深度地下地下水挙動の解明

研究課題名（英文） Elucidation of ground water flow mechanism in deep ground

研究代表者

小宮 一仁 (KOMIYA KAZUHITO)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：30234884

研究成果の概要（和文）：本研究は、堆積地盤の大深度地下間隙水圧挙動と、その駆動力となる要因について探求したものである。大深度地下間隙水圧の観測結果から、気圧や月の引力の影響は地下402mの間隙水圧にも影響していることが明らかになった。大深度地下間隙水圧には季節変動があり、この駆動力は地域で行われている揚水である。これら観測結果に基づき、大深度地下水挙動を解明するための3次元有限要素法解析システムを構築した。

研究成果の概要（英文）：This research examines the pore water pressure profiles in deep sedimentary ground. The field observations indicate the pore pressure changes by a depth of 402 meters below the ground surface are affected by atmospheric pressure change and the lunar attraction etc., and the principal factor affecting the pore pressure change is local pumping. A three-dimensional coupled soil-pore water finite element system to simulate the deep ground water flow was proposed. The analytical results explain an environmental-impact related to the excess pore pressures generated in deep ground.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：大深度地下、環境、地下水、間隙水圧、有限要素法

## 1. 研究開始当初の背景

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法（大深度地下法）の施行に伴い、首都圏、近畿圏及び中部圏の指定された区域では大深度地下の適正な利用への道がひらかれた。しかしながら大都市圏における地下開発は

従存法律下においても既にかかなりの深度まで進み、大深度地下法の具体的な適用地下深度は、地表から100メートル以上に及ぶことが予想される。このような大深度における地下建設工事に対応した施工技術は既に多くの工事実績等から確立されているが、大深度

地下構造物の設置が地下環境に及ぼす影響については未解明である。大深度地下建設工事が環境に及ぼす影響のひとつに、工事に伴う地下水環境の変化がある。大深度地下工事においては、工事の影響が広範囲に波及することが予想されるので、工事が地下水環境に与える影響を正確に評価することは、大深度地下建設工事における環境保全をはかるうえで不可欠である。このためには、大深度地下水挙動の解明が必要である。

## 2. 研究の目的

大深度地下間隙水圧観測結果と大深度地下間隙水圧に影響を与える諸要因を明らかにする。観測結果と有限要素法を用いた3次元数値解析等から、環境影響評価に必要な大深度地下水挙動を明らかにする解析システムを構築する。

## 3. 研究の方法

既設の観測計器により大深度地下間隙水圧挙動の観測を行う。これとは別に、降水量及び揚水のデータを収集・分析し、これらと大深度地下間隙水圧挙動の因果関係を明らかにする。大深度間隙水圧挙動に影響を及ぼす降水地域の範囲は広大であり、また揚水も多数の地点で行われているため、これらを外力とし、土質等の力学パラメータを用いた数値解析によって大深度間隙水圧挙動のシミュレーションを行う。解析結果と観測結果の比較を通じて因果関係の明確化とこれを説明できる数値解析システムを構築する。

## 4. 研究成果

千葉工業大学津田沼校舎構内において大深度地下間隙水圧を10分間隔で観測した。観測には、既設の観測装置を用いた。図-1は、観測地点における間隙水圧計の埋設状況および土質柱状図である。観測地点の

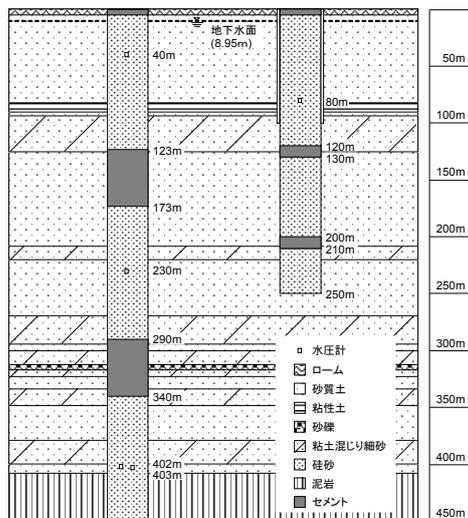


図-1 間隙水圧計埋設状況および土質柱状図

地層は、砂層と粘土層の互層である。観測地点の大深度間隙水圧には、夏期に減少し、冬期に上昇する周期的な季節変動が見られた。季節変動の最大年内較差は、G.L. -80mでは約0.03~0.04MPa、G.L. -402mでは約0.01MPaである。また、大深度地下間隙水圧は年々上昇の傾向にある。また、G.L. -402mの間隙水圧の季節変動はG.L. -80mに比べ、3ヶ月ほど遅れている。

大深度地下間隙水圧に影響を与える要因として、気圧・降水・地域揚水が考えられる。図-2は観測地点のG.L. -402mの間隙水圧と気圧を示したものである。図-2より、G.L. -402mの大深度地下においても間隙水圧は気圧の影響を受けていることがわかる。また両者にタイムラグはなく、地表面の気圧が大深度間隙水圧に瞬時に影響を及ぼしていることがわかる。

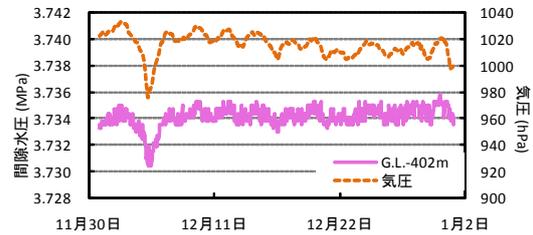


図-2 G.L. -402mの間隙水圧と気圧

図-3は2005年の習志野市と船橋市の月別・用途別揚水量である。図-3より、観測地点の習志野市では毎月ほぼ一定量の水道用揚水が行われている。一方、船橋市では夏期(4~8月)に農業用として多くの揚水が行われていることがわかる。船橋市以外にも観測地点周辺の地域では、夏期に農業用として揚水が行われている。この周辺地域で夏期に行われる農業用揚水が、観測地点の間隙水圧が夏期に減少し冬期に上昇するといった季節変動の要因である。

さらに、観測地点の大深度地下間隙水圧に影響を及ぼす揚水地域を求めるといった結果、観測地点のG.L. -80mは船橋市と市川市の揚水、G.L. -402mでは柏市の揚水の影響を受けていることがわかった。また、千葉県内の地下水位観測記録に基づき揚水深度を求めた結果では、観測地点の間隙水圧の季節変動に影響を及ぼすような揚水は地表面下50m~250m付近で行われていることがわかった。観測地点のG.L. -80mの観測深度はこの揚水が行われている深度にあるが、G.L. -402mの観測深度はこの深度にない。

図-4は、それぞれ観測地点G.L. -80mの地層である清川層の基底深度分布と観測地点G.L. -402mの地層である下総層群相当層の基底深度分布である。図-4から、観測地点と

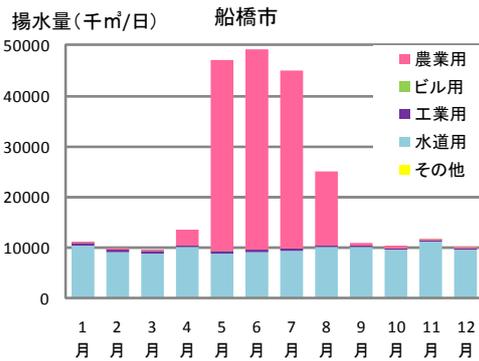
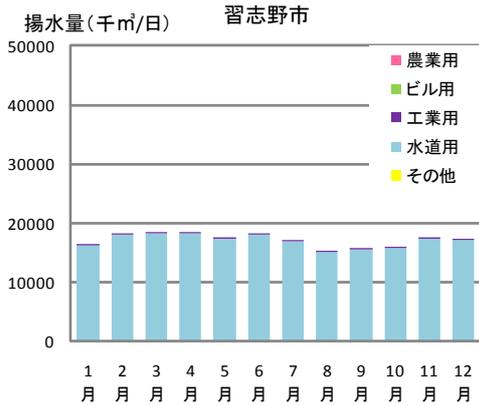


図-3 習志野市と船橋市の月別用途別揚水量

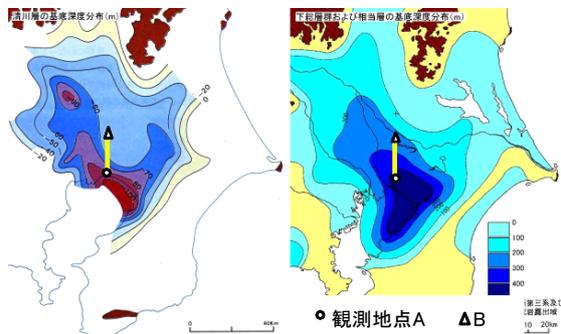


図-4 清川層と下総層群の基底深度分

清川層の基底深度が同じ深度にあるのは船橋市と市川市付近の揚水深度であることがわかる。G. L. -402m 観測深度の下総層群および相当層の基底は東京湾に最深部を持ち、内陸に向かって傾斜し内陸部では浅くなっている。この基底上に堆積する下総層群もまた、内陸部に向かって浅くなると考えれば、柏市では地表面下 200m 付近に下総層群が分布していると考えられる。従って、津田沼校地の観測地点 G. L. -402m と柏市の地表面下 200m 付近は同じ地層にある。観測地点 G. L. -402m の間隙水圧季節変動に柏市の揚水が影響しているのはこのためであると考えられる。図-6 は、図-5 の断面 AB における清川層と下

総層群および相当層の基底深度分布と揚水深度の概略を示したものである。図-6 より、



図-5 観測地点周辺地図

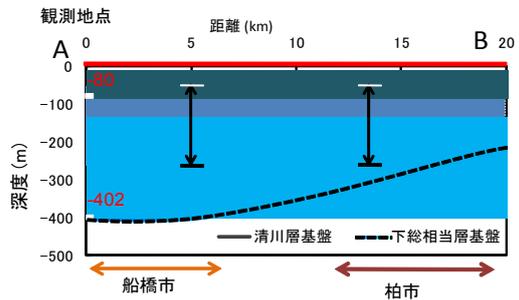


図-6 清川層と下総層群の深度と揚水深度

清川層基底深度と揚水深度が観測地点-80m と同じ深度にあるのは船橋市付近であることがわかる。同様に、下総層群および相当層の基底深度より、観測地点 G. L. -402m と柏市の揚水深度は同じ地層にあることがわかる。このことから、観測地点 G. L. -80m の間隙水圧と船橋市の揚水、観測地点 G. L. -402m の間隙水圧と柏市の揚水における相関の高さが裏付けられた。観測地点の間隙水圧と相関の高い揚水地域との距離の差が、G. L. -402m の間隙水圧の季節変動周期が G. L. -80m の周期に比べ3ヶ月遅れている要因である。

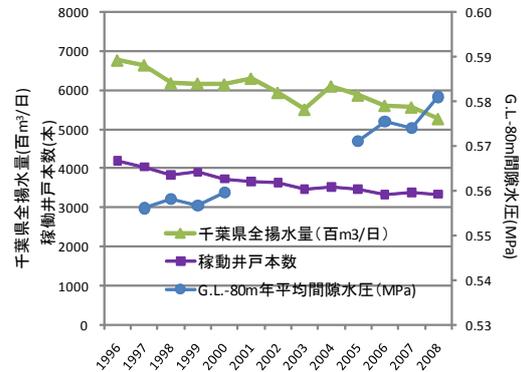


図-7 千葉県全揚水量と稼働井戸本数

図-7 は、1996 年から 2008 年までの千葉県の全揚水量と稼働井戸本数、および観測地点 G. L. -80m の年平均間隙水圧を示したもので

ある。1960～1970年代、東京・神奈川東部・千葉沿岸部・埼玉では揚水にともなう地盤沈下が深刻化し揚水の規制がなされた。1964年頃から千葉県の各市町村では、地盤沈下防止条例や環境保全条例など地下水採取規制に関する条例により揚水量が著しく減少した。その後も井戸の老朽化や農地の減少などにより千葉県の揚水量は年々減少の傾向を示している。前述した観測地点の間隙水圧が年々上昇している要因は、観測地点周辺の広範囲の揚水量の減少にある可能性がある。大深度地下間隙水圧観測結果と周辺地域の揚水データを用いて、有限要素法による数値解析を行った。解析には、研究代表者が開発した三次元浸透有限要素法プログラムを使用した。境界条件として地表面の全水頭を0m、側面・底面の節点にはその深度の静水圧に相当する位置水頭(m)を与えた。

観測地点の間隙水圧と相関が高い揚水地点である船橋市と柏市の夏期(4～8月)平均農業用揚水量を外力とし、以下の条件で解析を行った。

条件1：船橋市と柏市の全面積で揚水が行われたと仮定した場合。

条件2：夏期の農業用揚水は主に水田で行われることから、船橋市と柏市の経営耕地面積のうち稲作を行った水田の面積を揚水面積と仮定した場合。

さらに、条件1、2に観測地点周辺で夏期(4～8月)の農業用揚水量が多い千葉市と八千代市、我孫子市を加え5市の夏期(4～8月)の平均農業用揚水量を外力とした以下の2条件の解析も実施した。

条件3：5市の全体面積で揚水が行われたと仮定した場合。

条件4：5市の経営耕地面積のうち稲作を行った水田の面積を揚水面積と仮定した場合。以上の4条件で浸透解析を行い、観測地点の実測値と解析値を比較した。なお各市の揚水深度は、船橋市G.L.-80m、我孫子市G.L.-100m、八千代市G.L.-140m、千葉市と柏市G.L.-200mとした。

図-8、図-9に解析結果と実測値の比較を示す。実測値は、観測地点G.L.-80mの間隙水圧が減少し始める5月から最小になる7月までの圧力変化量とした。同様に、観測地点G.L.-402mの実測値は間隙水圧が減少し始める5月から最小になる9月までの圧力変化量である。

条件2、4は条件1、3に比べ、揚水面積が小さいため動水勾配が大きくなり、解析値の圧力変化量も大きくなった。また、条件3、4において条件1、2よりも揚水地域を広域にすることによって解析値の圧力変化量が大きくなった。しかし、全ての条件において実測値よりも小さい値を示した。これは、稲作を行った水田の全ての面積で揚水が行われ

たわけではなく、外力算出における揚水面積の設定値が大きかったためである。

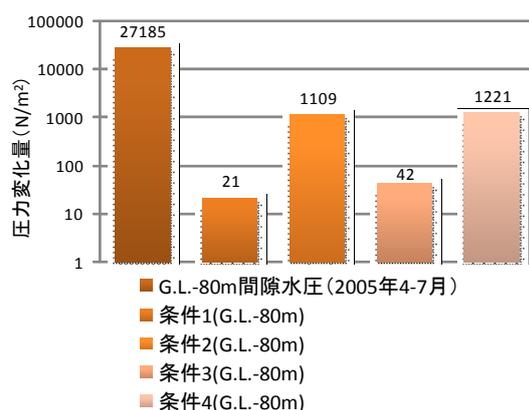


図-8 実測値と解析値の比較(G.L.-80m)

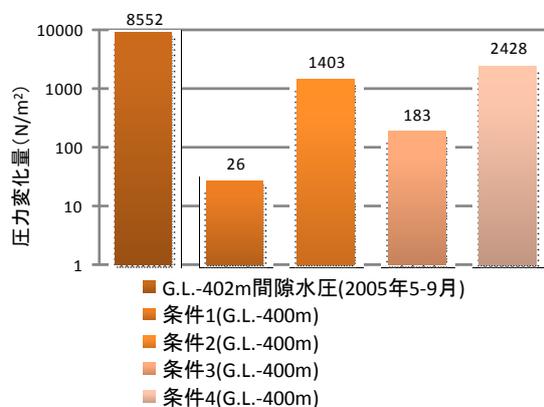


図-9 実測値と解析値の比較(G.L.-402m)

この解析によって、従来考慮しなかった広域における揚水と大深度地下間隙水圧挙動の関係を明らかにすることができた。また、揚水面積が、間隙水圧変化の駆動力である揚水による水頭変化に影響されることを示し、いくつかの条件による解析を実施し、間隙水圧変化と揚水の関係を定量的に明らかにした。そして、3次元有限要素法による堆積地盤の大深度地下水挙動のシミュレーション技術が確立された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

①小宮一仁、堆積地盤の大深度地下間隙水圧挙動とシールドトンネル施工、地盤工学会誌、Vol. 58、No. 4、査読無、pp. 28-31、2010

② N. KODAMA、K. KOMIYA、T. MOROZUMI、Experimental study on dynamic interaction of sandy soil and underground structure、

RECENT DEVELOPMENTS OF GEOTECHNICAL ENGINEERING, JGS & CISMGE-CCES, K. Komiya & Y-P. Yao Eds., JGS & CISMGE-CCES, 査読有、pp. 553-556、2010

③ N. Kodama、K. Komiya、T. Morozumi、Numerical Simulation of Soil-Tunnel Dynamic Interaction, 2nd International Conference on Computational Methods in Tunnelling、査読有、pp. 71-76、2009

④ N. Kodama、K. Komiya、Model Experiment and Numerical Modelling of Dynamic Soil-structure Interaction, Proc. of 3rd International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting、査読有、p. 133-134、2009

⑤ K. Komiya、N. Kodama、K. Shikata、Model Experiments on Dynamic Soil-Structure Interaction、Proc. of International Geotechnical Conference on Development of Urban Areas and Geotechnical Engineering、査読有、pp. 245-248、2008.

⑥ K. Komiya and N. Kodama、Model Tests on Dynamic Soil-structure Interaction Proc. of 3rd International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics、査読有、S 1-2-14 (CD-ROM)、2008.

[学会発表] (計7件)

① 小宮一仁、宇井仁将他、堆積地盤における大深度地下間隙水圧挙動の観測と解析、土木学会年次学術講演会、2010年9月、札幌市

② 小宮一仁、一藤雪乃他、大深度地下間隙水圧挙動の観測と解析、地盤工学関東支部研究発表会、2009年11月13日、宇都宮市

③ 小宮一仁、一藤雪乃他、堆積地盤の大深度間隙水圧の年変化について、土木学会年次学術講演会、2009年9月4日、福岡市

④ 小宮一仁、一藤雪乃他、堆積地盤の大深度地下間隙水圧の季節変動と揚水との関係について、土木学会年次学術講演会、2008年9月12日、仙台市

⑤ 小宮一仁、佐藤圭他、堆積地盤の大深度地下間隙水圧挙動に及ぼす揚水の影響、地盤工学会研究発表会、2008年7月11日、広島市

⑥ 小宮一仁、佐藤圭他、堆積地盤の大深度地下間隙水圧に影響を及ぼす諸要因について、

土木学会関東支部技術研究発表会、2008年3月10日、東京都

⑦ 小宮一仁、佐藤圭他、揚水量と大深度地下間隙水圧の関係について、地盤工学研究発表会、地盤工学会、2007年7月6日、名古屋市

[図書] (計3件)

① K. Komiya、Yang-Ping Yao (編著)、地盤工学会、中国土木学会、RECENT DEVELOPMENTS OF GEOTECHNICAL ENGINEERING、2010、660

② 小宮一仁、赤木寛一、田村昌仁、大友敬三、丸善、性能設計における地盤工学、2010、368

③ 小宮一仁、森麟 (編著)、地盤工学会、薬液注入工法の理論・設計・施工、2009、170

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小宮 一仁 (KOMIYA KAZUHITO)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：30234884