

研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19580281
 研究課題名 (和文) 佐賀県白石地区における地盤沈下のメカニズム解明・将来予測と干拓堤防への影響評価
 研究課題名 (英文) Clarification of the mechanism, prediction in the future and impact assessment to the reclamation dikes concerning the subsidence in the Shiroishi district in Saga Prefecture
 研究代表者
 東 孝寛 (HIGASHI TAKAHIRO)
 九州大学・大学院農学研究院・准教授
 研究者番号： 00181066

研究成果の概要 (和文)： 農業用水や水道水のための多量の地下水採取に起因する佐賀県白石地区の地盤沈下は、大部分が有明粘土からなる沖積層の圧密 (圧縮) により生じていることが明らかとなった。地盤沈下観測結果や圧密理論から考えると、当地区の地盤沈下は、現在の地下水位が維持された場合、有明粘土層の圧密により今後もわずかずつではあるが、当分の間継続すると判断された。また、有限要素法による渇水 (地下水位低下) 時の干拓堤防挙動解析からは、盛土斜面部における不等沈下による亀裂発生などの影響が示唆された。

研究成果の概要 (英文)： It was cleared that the subsidence in the Shiroishi district in Saga Prefecture due to the drawing up of a large amount of groundwater for agricultural water and city water had been chiefly caused by the consolidation (compression) of the alluvium deposit (surface layer) that the majority consisted of Ariake clay. When the present groundwater level was maintained, the subsidence in the Shiroishi district was judged to be continuance for the time being by the consolidation of Ariake clay layer though was a little in the future based on the subsidence observation data and the consolidation theory. Moreover, the influences such as the cracking by the differential settlement in the slope part of the embankment were suggested from the behavior analysis of the reclamation dike at the drought (decrease in the groundwater level) by the finite element method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野： 農学

科研費の分科・細目： 農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード： 地盤沈下, 有明粘土, 洪積砂礫層, 干拓堤防, 有限要素法

1. 研究開始当初の背景

平成 18 年の 9 月上旬にアメリカのルイジアナ州を襲った超巨大ハリケーン「カトリーナ」による高潮、洪水のためにニューオーリンズの街は長期間水没した。この水没の原因として、石油掘削や都市化に起因する広範囲にわたる地盤沈下の影響が指摘されていた。このように、地盤沈下は風水害による被害を拡大し、深刻化させる。

佐賀県南西部に位置する白石地区でも、昭和 30 年代の前半頃から農業用水としての地下水の大量汲み上げに起因する地盤沈下が顕著になり始め、昭和 48 年には白石町で年間 12cm の沈下が観測され、地盤沈下の範囲も佐賀平野(佐賀・白石地区)のほぼ全域に拡大していった。このような状況下で、佐賀県は昭和 45 年より条例により地下水の採取規制を始めたが、地盤沈下はおさまらず続いた。そのため、昭和 60 年に国が筑後・佐賀平野地盤沈下防止等対策要綱を定め、多くの地盤沈下防止対策事業が実施されるようになり、地下水位も低下傾向から上昇傾向に転じ、佐賀平野全体で見ると近年では地盤沈下もかなり沈静化してきた。しかしながら、平成 6 年における渇水期には、白石地区では 7 月から 9 月の短期間の間に 10~15cm の沈下が発生し、地盤沈下が起こった面積も 115km²に達した。研究開始時においても、地盤沈下はわずかではあるが継続していた。

軟弱な有明粘土層が広く分布する佐賀県白石地区では、嘉瀬川ダム建設事業(国土交通省)完了予定の平成 23 年度以降においても、平成 6 年度なみの渇水時には、農業用水を地下水に依存せざるをえないことから、かなりの地盤沈下が短期間に発生し、干拓堤防などの海岸保全施設へ深刻なダメージを与えることが予想された。そのため、地盤沈下の機構(メカニズム)を明らかにし、地盤沈下の将来予測や海岸保全施設へ及ぼす影響を明らかにできれば、防災計画や海岸保全施設維持・管理計画の策定に大いに貢献することができると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、上記の研究の背景を踏まえて 3 つの目標(目的)を設定した。1 つ目の目標は、白石地区にある佐賀県などの地盤沈下観測井データ(地下水位、地盤沈下量など)や国や県の水準測量データなどを収集・分析し、地盤沈下の機構(メカニズム)を解明(再検討を含む)することであった。特に、白石地区の地盤沈下では、洪積層の沈下がかなりの部分を占めると報告されていたので、最上層の有明粘土(沖積)層と下層の砂礫層や洪積粘土層の沈下量の比率については、継続していた地盤沈下の機構解明とともに、新しい地盤沈下観測データを加えて明らかにしたかつ

た。

2 つ目の目標は、幾つかの想定した地下水位の回復パターン下ではあるが、白石地区の地盤沈下の将来予測を行い、今後の沈下量の大きさと沈下継続期間を提示することであった。

3 つ目の目標は、地盤沈下が干拓堤防や排水樋門などの海岸保全施設へ及ぼす影響を明らかにすることであった。具体的には、資料の収集や聞き取り調査、現地調査から被害状況を把握・分析するとともに、有限要素法(FEM)による渇水期を想定した干拓堤防の地盤沈下シミュレーションを実施し、解析結果から不等沈下や表面亀裂の発生などの被害状況を定量的に予測することを目標とした。

3. 研究の方法

現地調査や地盤沈下観測井データ(佐賀県)、水準測量データ(国土地理院、佐賀県など)、地下水採取量データ(佐賀県)などをもとに、佐賀県白石地区における地盤沈下の背景や経緯、現状を把握し、地盤沈下のメカニズムについて検討した。地盤沈下の将来予測には、主に地下水位低下による沈下量の推定結果や 1 次元圧密理論に基づいて検討した。また、地盤沈下の将来予測については、有限要素法やニューラルネットを利用する方法などについての検討を実施した。

地盤沈下が干拓堤防へ及ぼす影響(被害)については、現地調査や有明干拓堤防の水準測量データなどをもとに検討した。さらに、有限要素法(FEM)を使用して有明粘土層直下の洪積砂礫(帯水)層における地下水位が低下した(渇水時を想定した)ときの地盤や干拓堤防の挙動を解析し、地盤沈下が干拓堤防へ及ぼす影響について考察した。

さらに、有明粘土の強度特性や圧密特性などについては、既存あるいは新規に実施した土質試験結果をもとに検討した。

4. 研究成果

(1) 研究対象とした白石地区の地盤沈下は、近年では佐賀県や国による一連の地盤沈下対策の効果が現れ、かなり沈静化してきているが、現在でもまだわずかながら継続していることを検証した。具体的には、平成 13 年度に白石地区の上水道の水源を地下水から河川水へ転換した直後は、地下水位が急激に回復(上昇)し、地盤沈下の進行は認められなかったが、地下水位の年平均値がほぼ一定となった平成 16 年度以降はわずかではあるが、経年的に地盤沈下が進行していることを確認した。このことから、地下水位の上昇による洪積砂礫層の膨張量が有明粘土(沖積)層の圧密(圧縮)量より大きいときは地盤沈下は生じず、逆に小さいときは地盤沈下が生じること、ならびに有明粘土層の圧密が継続

していることを再確認した。

さらに、4地点（天神、八戸、白石、有明）の設置深度が異なる地盤沈下観測井（佐賀県）における累積地盤沈下量と地下水位のデータから、有明粘土層の下位に存在する砂礫層の変位量は小さく、地下水位が過去の最低水位より低下しない範囲ではほぼ弾性的な挙動を示すことが分かった。なお、設置深度が異なる白石地盤沈下観測井における累積地盤沈下量と地下水位のデータから、最低地下水位を記録した平成6年度の大渇水時においては、有明粘土層下位の洪積砂礫層に塑性的な沈下が生じていたことも確認できた。

以上の結果から、白石地区を含む佐賀平野の地盤沈下は、大部分が有明粘土からなる浅部の沖積層の圧密（圧縮）により生じていることが明らかとなった。

(2) 同一地点の設置深度の異なる2つの地盤沈下観測井（佐賀県）データから求めた有明粘土層下位の洪積砂礫層の体積圧縮係数 m_v は、天神地盤沈下観測井地点の深度 58~197m において $(1.03 \sim 1.60) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{kN}$ 、八戸地盤沈下観測井地点の深度 31~62m においては $(4.21 \sim 5.63) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{kN}$ 、白石地盤沈下観測井地点の深度 84~260m において $(0.85 \sim 2.33) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{kN}$ 、新有明地盤沈下観測井地点の深度 31~126m において $(0.82 \sim 1.71) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{kN}$ の範囲であった。八戸地盤沈下観測井地点の深度 31~62m における洪積砂礫層の体積圧縮係数 m_v の値は、深度が大きく土被り圧が大である白石・天神・有明地盤沈下観測井地点の洪積砂礫層の値よりかなり大きかった。

(3) 有明干拓地の表層地盤（層厚約 27m）について求めた地下水位低下量と最終沈下量の関係についての試算から、地下水位の低下に対する沈下量の増加率は、地下水位が低下するにつれて急激に小さくなり、初期（地盤沈下開始時）の地下水位からのわずかな水位低下が大きな地盤沈下を引き起こすことが分かった。この検討結果と(1)で述べた地盤沈下観測結果、圧密理論から考えると、白石地区の地盤沈下は、現在の地下水位が維持された場合、有明粘土層の圧密により今後もわずかずつではあるが、当分の間継続すると判断された。

(4) これまでの地盤沈下が干拓堤防へ及ぼした影響としては、平成6年度の渇水時における有明干拓堤防全線での沈下（1~7cm）や新有明排水樋門底版部（地盤沈下により生じた空洞部）からの漏水被害を再確認した。

また、地盤沈下が干拓堤防へ及ぼす影響について、有明干拓堤防についての2次元有限要素解析モデルを使用して検討した。その結

果、地下水位の低下量が大きくなりかつ低下が生じた期間が長くなると、堤防本体部と周辺地盤の沈下量の差が大きくなり、盛土材の種類や盛土被覆部の剛性にもよるが、沈下に加えて亀裂が発生するなどの影響が出ることが分かった。さらに、消波ブロック設置による堤体の挙動が重なると影響が大きくなることが示唆された。

(5) 地盤沈下の将来予測については、有限要素法やニューラルネットワークを利用する方法などについての検討も実施した。その結果、地盤沈下観測井による地下水位観測（有明粘土層直下の洪積砂礫層における地下水位は必ず把握する）と有限要素法による1次元圧密解析を組み合わせる方法が、地盤沈下のメカニズム解明にも役立つ有用な手法であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 金山素平、山下裕貴、東 孝寛、大坪政美：実測値に基づいた圧密沈下予測手法の検討—ニューラルネットワークを利用した沈下予測—，農業農村工学会論文集，査読有，第77巻，第1号，2009，61-69
- ② Motohei Kanayama，Takahiro Higashi，Masami Ohtsubo and Akiko Nakano，Coefficient of secondary consolidation for Ariake marine clay, Proceedings of 60th Canadian Geotechnical Conference & 8th Joint CGS/IAH-CNC Groundwater Conference, 査読有，Vol. 60, 2007, 1896-1901

〔学会発表〕（計3件）

- ① 東 孝寛，大坪政美，金山素平，佐賀県白石地区における有明粘土層下位の洪積層の圧縮性—佐賀県白石地盤沈下観測井データの解析を通して—，第89回農業農村工学会九州支部講演会，平成20年10月30日，那覇市
- ② 金山素平，山下裕貴，東 孝寛，大坪政美，実測値に基づいた圧密沈下予測手法の検討—ニューラルネットワークを利用した沈下予測—，第89回農業農村工学会九州支部講演会，平成20年10月30日，那覇市
- ③ 東 孝寛，大坪政美，金山素平，有明粘土の強度特性についての一検討—強度増加率，内部摩擦角の密度依存性—，第88回農業農村工学会九州支部講演会，平成20年10月18日，佐賀市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東 孝寛 (HIGASHI TAKAHIRO)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号：00181066

(2) 研究分担者

大坪 政美 (OHTSUBO MASAMI)
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：80112316
金山 素平 (KANAYAMA MOTOHEI)
九州大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号：60398104

(3) 連携研究者

なし