

平成21年 3月31日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18780184
 研究課題名（和文） 非線形最適化手法を利用した軟弱地盤の長期残留沈下予測と適用性
 研究課題名（英文） Long term settlement prediction of soft clay ground by using nonlinear optimization method
 研究代表者
 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

研究成果の概要：早期における実測値に基づく地盤の圧密沈下予測手法の構築を目的として、非線形最適化手法の一つであるニューラルネットワークを用いた地盤の沈下予測手法について検討した。提案する3種の学習パターンの中で、沈下速度の収束に着目した学習パターンを使用した予測値が実測値と良い一致を示したことから、適切な規則性を有するデータを学習させることにより、早期の地盤沈下予測が可能であることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,900,000	0	1,900,000
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	240,000	3,840,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学

キーワード：土質力学

1. 研究開始当初の背景

平成17年に策定された新たな食料・農業・農村基本計画において、農地・農業用水等の資源を適切に保全管理するための施策が新たに構築していくべき政策の一つとして盛り込まれている。わが国の長い歴史の中で、農地・農業用水等の資源は、多くの自治体および農家中心の地域の人々たちによって築かれ、管理され、農業生産において最も基礎的な資源であると認識されている。これら農地・農業用水等の資源は、適切に管理されることではじめて機能を十分に発揮するものであり、その機能が損なわれると復旧は非常に困難であることから、良好な状態で維持管

理していくことが望まれる。

近年においては、農業農村整備事業等による整備が着実に進められ、社会資本整備におけるライフサイクルコストや維持管理を十分に考慮した設計が求められ、地盤構造物の設計へも性能設計(限界状態設計法)の導入が進みつつある。しかしながら、後背地の農地等を保護する目的で築造される干拓堤防などの盛土構造物は、設計上圧密変形を許容し、また明確な残留沈下予測法が存在しないため、性能設計の導入がほとんど進んでいない。また、全国有数の農業地帯として知られている有明海沿岸低平地帯には、軟弱粘土地盤上に建設された海岸堤防や道路などの盛土構

造物は建設途中や建設後においても大きな沈下を示し、大方の沈下が終了しても長期間にわたる残留沈下が観測されている。したがって、軟弱粘土地盤における既存干拓堤防の残留沈下状況調査や沈下・土質データの収集、残留沈下についての定性的・定量的な分析、性能設計導入上の問題点を検討することが重要である。

2. 研究の目的

本研究では、非線形最適化手法を用いた実測値に基づく残留沈下予測法の提案とその適用性について検討するとともに、種々の残留沈下予測法の適用性についても検討することを主な目的としている。また、有明粘土地盤の圧密特性、および残留沈下予測法において必要な土質パラメータについての検討を行うことも目的としている。

3. 研究の方法

(1) 現場計測に基づく将来沈下予測手法として、双曲線法、星埜法、門田の方法、浅岡の方法、 $\log t$ 法など様々な方法が提案されている。その中でも双曲線法は頻繁に使用され、その精度の良い事が数多くの文献において報告されている。また、西村・藤井らは、逆解析手法を利用した最適化のアルゴリズムを用いて、一次圧密、二次圧密に関連するパラメータを同時に同定し、将来の沈下予測を行う方法を提案するとともに、提案法の実問題への適用性を検討している。本研究では、非線形最適化手法の一つである Levenberg-Marquadt 法を用いて数式モデルのパラメータを同定し、室内長期圧密試験データの沈下予測を行った。

(2) 軟弱地盤上に築造される盛土構造物の沈下は古くから地盤工学上の重要な問題であり、数多くの研究者によって幅広く研究されてきた。軟弱地盤は、その高い圧縮性と低い透水性のため、築造後も長期間にわたって沈下が継続する。地盤調査と室内試験から土質定数を設定し沈下を予測する方法には、各種設計基準類に記載されている実用法のほか、有限要素法に代表される数値解析手法が存在する。これらの中でも、有限要素法は複雑な二、三次元の圧密沈下問題を解析するための非常に優れた方法であることは周知の通りである。しかしながら、設計時の盛土沈下予測値と現場の動態観測値の間には、自然堆積土の空間的な材料の不均質性や力学的性質の異方性、使用した土質パラメータの種類による数値解への影響、等によって、大きな相違が生じることが知られている。したが

って、軟弱粘土地盤における既存構造物の沈下状況調査や沈下・土質データの収集・動態観測は重要であり、動態観測結果を利用した沈下予測に基づいた適切な沈下管理が行われることが多い。

工学上の応用技術の1つとして、ニューラルネットワークが様々な問題に広く使われている。その理由としてニューラルネットワークの持つ非線形性、学習能力、並列性の三つの特徴が挙げられる。本研究では、上記特徴の非線形性、学習能力および並列性に着目し、動態観測に基づく沈下予測手法の構築を目的とする。本研究では、短期間の少ない実測値に基づく地盤沈下予測法として、非線形性の強い種々の予測問題に多用されているニューラルネットワーク手法を用いた地盤の沈下予測について検討した。なお、沈下予測値の良否の判定については、分散分析と多重比較検定を使用した。

(3) 自然の土は様々な大きさの土粒子から構成されており、その力学的性質は粒度に大きく依存する。土構造物などの設計や施工などにおいては、対象とする土の支配的な土粒子の大きさをもとにして土を分類し、通常、砂と粘土に区分して、それぞれ別個の考え方を適用している。しかし、実際の土は幅広い粒径の土粒子を含んでいるため、砂か粘土かにはっきり分類できないような土を対象としなければならない場合も多い。このような土の圧密沈下の算定にあたり、土木技術者は苦慮することがしばしばある。本研究では、有明粘土に豊浦標準砂を種々の割合で混合した試料を用いて、段階載荷による一次元圧密試験を行い、圧密定数および二次圧密速度について検討した。さらに、走査型電子顕微鏡 (SEM) と水銀圧入型ポロシメーターを用いて試料の微視的構造を観察し、混合土の圧密や砂分含有量に起因する間隙構造の変化と圧縮性や二次圧密速度との関係について検討した。

4. 研究成果

(1) 非線形最小二乗法である Levenberg-Marquadt 法を使用して、室内長期圧密データに対して将来の沈下予測を行った。パラメータ同定に使用するデータにおいて、二次圧密挙動に関して十分な情報がある場合、沈下予測値は実測値と比較的良好一致を示したが、二次圧密の情報が不十分である場合、大きめの沈下量を算出する結果となった (Fig. 1)。また、同定されたパラメータは同定区間の違いによって増減し、過圧密、正規圧密領域によってその変動が異なることが分かった。

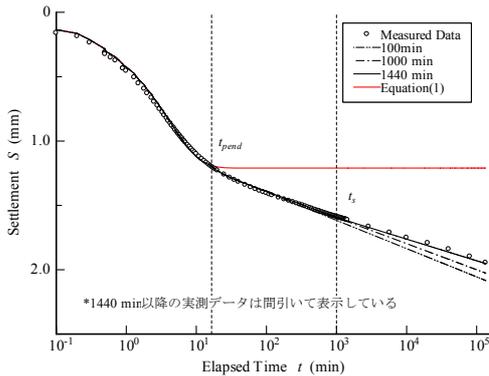


Fig.1 Time-settlement curve and prediction results (Laboratory data)

(2) 本研究は、早期における実測値に基づく圧密沈下予測手法の構築を目的として、ニューラルネットワークを用いた圧密沈下の予測手法について検討した。本研究で使用した3通りの入出力関係の中で、沈下速度の収束に着目した予測結果が最も精度が高かった。提案法を使用することにより、沈下量比40%時点のデータで比較的精度の高い沈下予測を行うことができた。このことから、適切な規則性を有する教師データを学習させることにより、早期の圧密沈下予測を可能とすることが分かった(Fig. 2)。また、本研究では、教師データとしてスプライン補間処理による等時間間隔のデータを使用した。予測結果は教師データの元となる実測値の測定精度に大きく影響を受けることから、現場におけるデータの測定およびデータの処理には細心の注意が必要である。本研究で採用したパラメータ (gain:1.0, 学習率:1.0, 中間素子数:10, 学習回数:10万回) を用いることによって、概ね良好な予測結果が得られることを確認した。さらに、スプライン補間におけるデータ分割数は20で十分精度の良い沈下予測結果が得られた。

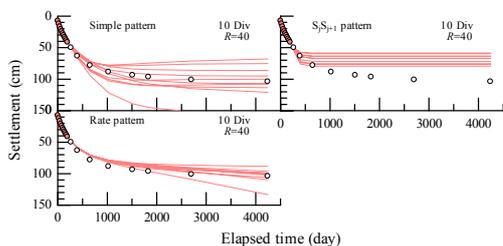


Fig.2 Results of settlement prediction

(3) 本研究は、練返し状態の有明粘土に豊浦標準砂を種々の割合で混合した粒度組成の異なる試料を用いて段階載荷圧密試験を行い、得られた圧密試験結果を基に水銀圧入型ポロシメーターと走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて試料の微視的構造を観察し、混合土

の圧密や砂分含有量に起因する空隙構造の変化について検討した。得られた結論は以下の通りである。

- ① 豊浦砂と有明粘土の混合土において、土粒子密度は砂分含有率が上がるほど砂の土粒子密度に近づく。液性限界、塑性限界は砂分含有率0~80%までは、砂分含有率の増加に伴い直線的に減少する。
- ② 有明粘土は団粒構造を有しており、練返しても団粒は破壊されない。団粒間には1~3 μm の団粒間空隙が存在し、団粒内には0.3 μm 以下の団粒内部空隙が存在する。また、混合土においては、砂と粘土による空隙や砂同士の間隙が存在する。圧密によって破壊されるのは団粒間空隙であり、団粒内部空隙は圧密の影響を受けない(Fig. 3)。
- ③ 混合土では、圧密が進むと粘土中の砂同士が接近し、やがて接触し構造骨格を形成する。高圧力下では、構造骨格が崩壊し、団粒間空隙の崩壊につながる(Photo. 1)。
- ④ 圧密の進行にともなう空隙の崩壊・閉塞は大きな空隙から起こる。

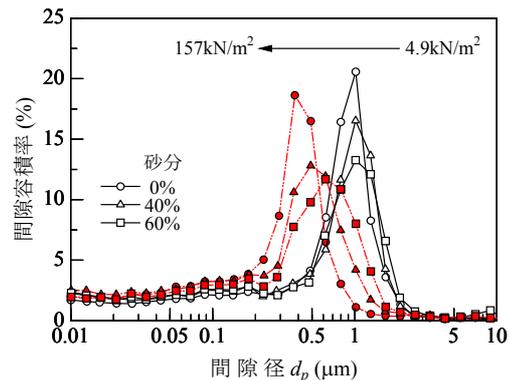


Fig.3 Pore size distribution of samples

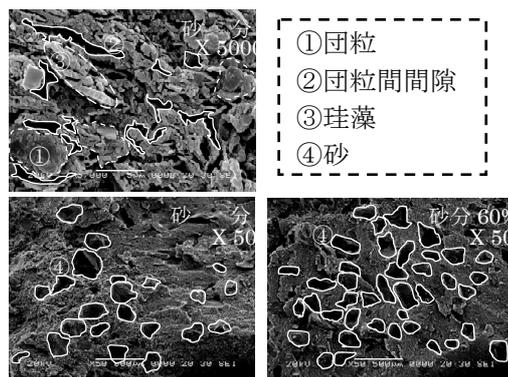


Photo.1 Photograph of samples by using SEM

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 9 件)

- ① 金山素平, 大平剛士, 小川靖弘, 東 孝寛, 大坪政美, 中野晶子, 圧密による砂-粘土混合土の微視的構造の変化, 粘土科学, 第 48 巻, 1 号, 1-8, 2009, 査読有
- 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—, 農業農村工学会論文集, 第 259 号, 61-69, 2009, 査読有
- ③ 大坪政美, 大原広宣, 東孝寛, 金山素平, 中野晶子, 塩類溶脱が有明粘土の圧密特性に及ぼす影響, 粘土科学, 第 47 巻, 2 号, 76-81, 2008, 査読有
- ④ M. Ohtsubo, T. Higashi, M. Kanayama, M. Takayama, Depositional geochemistry and geotechnical properties of marine clays in the Ariake Bay area, Japan, Taylor&Francis, CHARACTERISATION AND ENGINEERING PROPERTIES OF NATURAL SOILS, Volume 3, 1893-1937, ISBN Volume 3:978-0-415-40267-5, 2007, 査読有
- ⑤ M. Kanayama, T. Higashi, M. Ohtsubo, A. Nakano, COEFFICIENT OF SECONDARY CONSOLIDATION FOR ARIAKE MARINE CLAY, OttawaGeo2007, 1896-1901, 2007, 査読有
- ⑥ M. Kanayama, T. Higashi, M. Ohtsubo, J. Chikushi, Determination of coefficient of consolidation by using nonlinear least square method, International Association of Lowland Technology ISLT 2006, 19-24, 2006, 査読有

〔学会発表〕 (計 17 件)

- ① 金山素平, 実測値に基づいた地盤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—, 農業農村工学会九州支部, 2008年10月30日, 沖縄県那覇市
- ② 大平剛士, 砂-粘土混合土の圧密沈下特性と微視的構造, 農業農村工学会, 2008年8月27日, 秋田県秋田市
- ③ 金山素平, 実測値に基づいた地盤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—, 地盤工学会, 2008年7月10日, 広島県広島市
- ④ M. Kanayama, Coefficient of Secondary Consolidation for Ariake Marine Clay, Canadian Geotechnical Society, October 24, 2007, Ottawa, Canada
- ⑤ 金山素平, 実測値に基づく長期残留沈下予測, 農業土木学会九州支部, 2006年10月18日, 宮崎県宮崎市
- ⑥ M. Kanayama, Determination of

coefficient of consolidation by using nonlinear least square method, International Association of Lowland Technology, September 15, 2006, Saga Univ.

- ⑦ 金山素平, 土の圧密係数決定法に関する一考察, 農業土木学会, 2006年8月9日, 栃木県宇都宮市

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-soil.bpes.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：