

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	地震波の不規則性を考慮した粘土層の地震後沈下の推定に関する研究 (Estimation of post-earthquake settlement of clay layer concerning the irregular seismic waves)
氏 名	佐藤 秀政
<p>沿岸部の軟弱な沖積地盤や埋立地の地震被害を推定する際には、地盤の動的挙動を把握することが重要である。砂質土については、地震時の動的特性や地震後の圧縮特性を把握する研究がこれまで精力的に行われ、その成果が耐震設計にも反映されてきた。一方で、粘性土においては地震中に起こる骨格構造の乱れによって地震後に長期にわたり沈下や変形が生じる可能性があることが指摘されているが、地震被害の報告も少なく、その発生メカニズムも解明されていない部分が多いため、現状の耐震設計では検討されていないのが実状である。</p> <p>一方、粘性土においても地震時に繰返しせん断を受けると地盤内には過剰間隙水圧が累積し、その消散に伴って圧密沈下同様に体積変化が長期間続くことが実験によって確かめられている。また、繰返しせん断後の沈下は繰返しせん断中に累積した過剰間隙水圧の大きさに密接に関係し、室内実験においては繰返しせん断によって生じる過剰間隙水圧は、粘性土の物性や過圧密比、繰返しせん断ひずみ振幅、繰返し回数、周期等の影響を受けることが分かっている。</p> <p>これらの研究成果は繰返しせん断を一方向のみとした場合の結果であるが、実際の地震動は多方向成分を有しているため、粘土地盤の地震後沈下を推定する場合には地震動の多方向性を考慮する必要がある。これまで多方向繰返しせん断試験によって、地震時に生じる過剰間隙水圧の蓄積および沈下は、繰返しせん断の方向性の影響を受けることが分かっている。ただ、その結果はカオリン粘土を対象に均一な繰返しせん断ひずみを適用して得られたものであり、粘性土の物性や攪乱の影響、さらには繰返しせん断ひずみの不規則性の影響については検討されていない。</p> <p>そこで、本研究では、物性が異なる幾つかの粘土について、均一および不規則な繰返しせん断ひずみを用いた多方向繰返しせん断試験を行い、粘土のコンシステンシーや地震動の不規則性が過剰間隙水圧の蓄積および沈下に及ぼす影響について調べることによって、種々の粘土、実地震動に対して沈下推定が可能な手法の提案を行った。そして、提案した手法を用いて実地震による沖積粘土層の地震後沈下の推定を行い、本手法の適用性を検証した。</p> <p>本論文は、以下の6章から構成されている。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的を述べるとともに、研究の位置づけを示した。さらに、本論文の内容と構成を取りまとめ、各章のつながりをフローで示した。</p> <p>第2章では、砂および粘土における非排水繰返しせん断によって生じる過剰間隙水圧の蓄積およびその消散に伴って生じる沈下に関する既往の研究成果を概説した。そして、本研究と関連のある過剰間隙水圧および沈下の推定式を示すとともに、本研究で着目した地震動の多方向性および不規則性の影響、粘性土の物性の影響に関する既往研究を整理した。</p> <p>第3章では、物性が異なる3種類の再構成粘土を用いて多方向繰返しせん断試験を行い、試料のコンシステンシーと非排水繰返しせん断による過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の沈下の関係について調べた。その結果、塑性指数が大きい粘土ほど繰返しせん断中の過剰間隙水圧の蓄積と繰返しせん断後の沈下が小さくなることを明らかにした。また、物性が異なる粘性土についても既往研究で得られている非排水繰返しせん断による過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後沈下の推定式が適用できることを示した。さらに、一連の実験結果より、試料の塑性指数を用いた簡易な繰返しせん断後沈下の予測手法を提案した。</p>	

また、自然地盤から採取した不攪乱粘土とこれを練り返して作成した攪乱粘土を用いて多方向繰返しせん断試験を行い、非排水繰返しせん断による過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の再圧密特性について調べ、試料の乱れによる影響を明らかにした。

第4章では、地震時における繰返しせん断の不規則性を考慮し、物性の異なる3種類の粘土を用いて不規則波による多方向繰返しせん断試験を行い、地震動の不規則性が過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の沈下に及ぼす影響を調べた。そして、非排水繰返しせん断によって生じる過剰間隙水圧の大きさに着目して、不規則波を等価な規則波へ変換する方法を示し、本手法および既往の沈下推定式を用いてその適用性を検証した。

第5章では、第3章、4章で示した一連の地震後沈下推定手法の適用性を確認するため、1995年の兵庫県南部地震時に生じたポートアイランドでの沈下-時間関係の推定を行い、沖積粘土層での実測値と比較した。その結果、兵庫県南部地震によって生じた沖積粘土層の地震後沈下をよく推定できることが分かった。さらに、東北地方太平洋沖地震で得られた不規則波およびその近傍で採取された不攪乱粘土を用いた実地震時を模擬した多方向繰返しせん断試験結果によって、本手法の適用性について検証した。

第6章「結論」では、各章で得られた知見について要約し、全体の結論としている。

-以上-

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 735 号	氏名	佐藤 秀政
最終試験担当者		主査 鈴木 素之 教授 審査委員 清水 則一 教授 審査委員 中田 幸男 教授 審査委員 吉本 憲正 准教授 審査委員 原 弘行 講師 審査委員 松田 博 教授 (特命)	
【論文題目】 地震波の不規則性を考慮した粘土層の地震後沈下の推定に関する研究 (Estimation of post-earthquake settlement of a clay layer concerning the irregular seismic waves)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】 地震後の粘土地盤の沈下予測に関しては、既に繰返しせん断ひずみの方向性を考慮した過剰間隙水圧の上昇および繰返しせん断後の沈下量の推定式が提案されているが、これらはカオリン粘土を対象にして導かれたものであって、粘土の種類や攪乱の影響、さらには繰返しせん断ひずみの不規則性については十分検討されていない。そこで、本研究では、物性が異なる粘土を用いて、規則波および不規則波を用いた多方向繰返しせん断試験を行い、粘土のコンシステンシーや地震動の不規則性が過剰間隙水圧の蓄積および沈下に及ぼす影響について調べ、粘土層に実地震が作用した場合の地震後沈下の予測手法の開発を行ったものである。 まず、塑性指数が異なる3種類の再構成粘土に対して多方向繰返しせん断試験を行い、試料の塑性指数と非排水繰返しせん断によって生じる過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の沈下の関係を調べることによって、塑性指数を指標とした簡易な繰返しせん断後の沈下予測手法を提案している。次に、繰返しせん断ひずみの不規則性が過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の沈下に及ぼす影響を調べることによって、提案手法が実地震動にも適用可能なようにしている。そして、一連の地震後沈下推定手法を、兵庫県南部地震(1995年)時の地盤の挙動に適用するとともに、東北地方太平洋沖地震(2011年)を想定した実験を行って、提案した地震後沈下推定手法の信頼性の検証を行っている。 本論文は6章で構成されており、第1章では、本研究の背景と目的、本研究の位置づけ、本論文の構成等について述べている。 第2章では、砂および粘土における非排水繰返しせん断によって生じる過剰間隙水圧の蓄積およびその消散に伴って生じる沈下に関する既往の研究成果を参照し、特に過剰間隙水圧の発生および繰返しせん断後の沈下予測手法に関わる研究について述べている。			

第3章では、物性が異なる3種類の再構成粘土に対して多方向繰返しせん断試験を行い、試料のコンシステンシーと非排水繰返しせん断による過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の沈下の関係について調べ、塑性指数が大きい粘土ほど繰返しせん断中の過剰間隙水圧の蓄積と繰返しせん断後の沈下ひずみが小さくなることを示している。そして、粘土の塑性指数を指標として、粘土層の地震後沈下ひずみおよび沈下-時間関係を推定する簡易な手法を見出している。

また、自然地盤から採取した不攪乱粘土とこれを練り返して作成した攪乱粘土を用いて多方向繰返しせん断試験を行い、粘土層の地震後沈下に及ぼす攪乱の影響は小さいことを示している。

第4章では、地震時における繰返しせん断の不規則性を想定し、物性の異なる3種類の粘土に対して不規則波による多方向繰返しせん断試験を行い、地震動の不規則性が過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の沈下に及ぼす影響を調べることによって、不規則波を等価な規則波へ変換する手法を示している。

第5章では、第3章、第4章で示した一連の地震後沈下推定手法の信頼性を確認するため、1995年の兵庫県南部地震時にポートアイランドの沖積粘土層で観測された地震後の沈下-時間関係の推定を試み、沖積粘土層の地震後沈下をよく推定できることを示している。また、東北地方太平洋沖地震で得られた不規則波および地震波観測地点近傍で採取された不攪乱粘土を用いた多方向繰返しせん断試験結果の推定を試み、継続時間の長い地震動に対しても本手法が概ね適用可能であることを示している。

第6章では、各章で得られた知見について要約し、全体の結論としている。

公聴会における主な質問は、塑性指数を指標とした理由、不規則波を等価規則波に変換する手法の汎用性、地震後の動的圧密係数が地震前の圧密係数よりも大きくなる点、提案した地震後沈下推定手法においてせん断ひずみの算出時における注意点、繰返し回数が小さい方が沈下ひずみが小さくなる理由、提案した手法が適用できる粘土の塑性指数の下限値、種々の地震動への適用にあたっての課題などについてであった。いずれの質問に対しても発表者からの確かな回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、新規性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから総合的に判断して、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。(関連論文 計9編)

- 1) 佐伯公康, 佐藤秀政, 西本敦範, 藤井照久, 梅津健夫, 浅川 典敬, 三上信雄: 東北地方太平洋沖地震における地震動による漁港施設の被害の事後推定, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_281-I_286, 2013.
- 2) Tran Thanh Nhan, Hiroshi Matsuda, Hidemasa Sato: A model for multi-directional cyclic shear-induced pore water pressure and settlement on clays, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol.15, No.7, pp.2761-2784, 2017.
- 3) Hidemasa Sato, Tran Thanh Nhan, Hiroshi Matsuda: Earthquake-induced settlement of a clay layer, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.104, pp.418-431, 2018.