

せん断弾性波速度による自然堆積粘性土の 品質評価に関する研究

学位論文内容の要旨

地盤工学の分野においては信頼性設計法の導入に伴い、設計に用いる地盤定数の信頼性を客観的に表す指標の確立が重要となりつつある。設計定数は原位置から採取された試料を用いた室内試験から求められることが多いが、原地盤から試料をサンプリングする場合、試料の乱れという問題が生ずる。また、サンプリングに関する国際的な規格が存在していないため、世界各国でそれぞれの国の設計手法や技術力に応じたサンプリングを実施しているのが現状である。このため、同じ力学試験を行っても得られる強度がサンプリング方法によって異なる。このような背景のもと、サンプリング方法と室内試験のための品質クラスの等級に関して、CEN (欧州標準化委員会, European Committee for Standardization) 主導により ISO の規格化作業が進行している。しかしながら同一のサンプラーを用いても、サンプリングを実施するオペレータの技量により採取される試料の品質が異なる。そして試験が実施されるまでの過程でも、運搬、拔出し、成形など試料に乱れを与えると思われる要因が多数存在する。しかもこれらの要因が常に一定の割合で起こるものではない。

従来、試料の乱れを評価する研究は様々な研究者によって報告されている。例えば、繰返し荷重を載荷することによりサンプリング時の乱れを再現し、残留有効応力(p'_r)と一軸圧縮強度(q_u)、あるいは変形係数(E_{50})との間にユニークな関係が見出されている。さらに原地盤の有効土被り圧で圧密した時に生じる体積ひずみの大きさにより、試料の品質を評価する方法も提案されている。また乱れの評価だけでなく、補正する方法も提案されている。例えば、一軸圧縮試験を実施する前に、試料の p'_r を測定し、得られた p'_r による q_u の補正方法が提案されている。このように、品質評価に関する有益な研究成果は多数発表されている。

しかしながら、一軸圧縮試験や供試体を再圧密する方法は(1)破壊試験である、(2)試験に時間がかかる、などの問題を有している。そこで本研究では、非破壊試験であり、これまでに多くの研究実績がある残留有効応力(p'_r)測定試験に加え、近年供試体のせん断弾性係数を求める試験として急速に普及しているベンダーエレメント(以下、BE と略す)試験による品質評価を試みた。すなわち、供試体を拘束圧のない状態で p'_r と G を計測し、両者が乱れによってどのように変化するかを自然堆積粘性土に対して調べた。この一連の試験により、BE 試験結果を用いた試料の品質評価を提案した。さらに一部の試料に対して、BE を装着した三軸試験機内で残留有効応力から原位置の有効拘束圧まで載荷し、その過程で BE 試験を実施した。これら無拘束・拘束試験結果より、 G と残留有効応力を含めた有効拘束圧との関係を調べた。

また、無拘束 BE 試験を実施した後、一軸圧縮試験や定ひずみ圧密(CRS)試験などの力学試験を実施した。これらの試験結果より、既往の研究より報告された品質評価基準でも評価を行った。

本研究は全6章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究の背景を示すとともに、試料の品質評価、補正方法に関する既往の研究をレビューした。これまでの研究における問題点を明らかにしたうえで、本研究の方向性および目的を明示した。

第2章では、試料採取に用いたサンプラーおよびサイトに関して述べた。サイトは江別市美原、夕張川、Onsø y (ノルウェー)の3カ所であり、土質特性および物理特性について詳述した。

第3章では、実施した試験をフローチャートで明示し、各試験装置および試験方法・条件について詳述した。

第4章では、力学試験結果を示した。すべてのサイトで一軸圧縮試験から得られた非排水せん断強度は、原位置ベーンせん断試験から得られたそれとほぼ一致した。しかしながら、一軸圧縮試験での破壊ひずみやCRS試験の間隙比～応力関係からは夕張川や美原では乱れた試料の挙動を示した。その結果、既往の研究で提案された品質評価基準を用いた場合、品質が悪いグループに分類された。これより、夕張川、美原では従来の評価基準の適用が困難であることを示した。

第5章では、残留有効応力測定試験とBE試験結果について詳述した。サンプリングチューブ内のすべての試料に対して試験を実施した結果、 p'_r のみならず G の値もチューブの両端部では低い値を示すことがわかった。また人為的に乱れた試料を採取するために、刃先角度 6° のサンプリングチューブの先端をカットし、 90° としたサンプラーから得られた試料に対しても同様の試験を実施した。その結果、 90° サンプラーの試料の p'_r と G は 6° のそれと比較して低い値が得られ、刃先角度が試料の品質に影響を及ぼすことを確認した。また、サイトにより傾きは異なるものの p'_r と G の間には強い相関関係があることが分かった。

第6章では、トップキャップおよびペDESTALにBEを装着した三軸BE試験結果を示した。第5章より、 p'_r と G の間に相関関係を見出したが、 p'_r の値は地盤内の鉛直および水平有効応力に依存し、サンプリングに伴う応力開放や乱れなどによって減少する。無拘束状態での p'_r は供試体に作用している有効応力と考え、 G と有効拘束圧との関係をさらに広い範囲で調べるために、三軸BE試験機を用いて有効拘束圧(p'_m)を任意に変えてBE試験を行った。その結果、 G は p'_r も含めた有効拘束圧の値によって決まることが分かった。また、 G は p'_m のおよそ0.45～0.50乗で表現でき、既往の研究と比較して妥当な結果が得られたことを確認した。

第7章では、各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 田 中 洋 行
副 査 教 授 三田地 利 之
副 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 教 授 藤 井 義 明

学 位 論 文 題 名

せん断弾性波速度による自然堆積粘性土の 品質評価に関する研究

地盤工学の分野においては信頼性設計法の導入に伴い、設計に用いる地盤定数の信頼性を客観的に表す指標の確立が重要となりつつある。設計定数は原位置から採取された試料を用いた室内試験から求められることが多いが、原地盤から試料をサンプリングする場合、試料の乱れという問題が生ずる。

従来、試料の乱れを評価する研究は様々な研究者によって報告されている。例えば、繰返し荷重を載荷することによりサンプリング時の乱れを再現し、残留有効応力と一軸圧縮強度、あるいは変形係数との間にユニークな関係が見出されている。さらに原地盤の有効土被り圧で圧密した時に生じる体積ひずみの大きさにより、試料の品質を評価する方法も提案されている。

しかしながら、一軸圧縮試験や供試体を再圧密する方法は 1. 破壊試験である、2. 試験に時間がかかる、などの問題を有している。そこで本研究では、非破壊試験であり、これまでに多くの研究実績がある残留有効応力測定試験に加え、近年供試体のせん断弾性波速度を求める試験として急速に普及しているベンダーエレメント（以下、BE と略す）試験による品質評価を試みている。すなわち、拘束圧のない状態で供試体の残留有効応力とせん断弾性波速度から算出されるせん断弾性係数を計測し、両者が乱れによってどのように変化するかを自然堆積粘土に対して調べている。この一連の試験により、BE 試験結果を用いた試料の品質評価法を提案している。

また、無拘束 BE 試験を実施した後、一軸圧縮試験や定ひずみ圧密 (CRS) 試験などの力学試験を実施した。これらの試験結果より、既往の研究による品質評価基準でも評価を行っている。

本研究は全 7 章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、研究の背景を示すとともに、試料の品質評価、補正方法に関する既往の研究をレビューしている。これまでの研究における問題点を明らかにしたうえで、本研究の方向性および目的を明示している。

第 2 章では、試料採取に用いたサンプラーおよびサイトに関して述べている。サイトは江別市美原、夕張川、Onsoy(ノルウェー) の 3 カ所であり、土質特性および物理特性について詳述している。

第 3 章では、実施した試験をフローチャートで明示し、各試験装置および試験方法・条件について詳述している。

第4章では、力学試験結果を示している。すべてのサイトで一軸圧縮試験から得られた非排水せん断強度は、原位置ベーンせん断試験から得られたそれとほぼ一致している。しかしながら、一軸圧縮試験での破壊ひずみや CRS 試験の間隙比～応力関係においては、夕張川や美原では乱れた試料の挙動を示している。その結果、既往の研究で提案された品質評価基準を用いた場合、品質が悪いグループに分類された。これより、夕張川、美原では従来の評価基準の適用が困難であることを示している。

第5章では、残留有効応力測定試験と BE 試験結果について詳述している。サンプリングチューブ内のすべての試料に対して試験を実施した結果、残留有効応力のみならずせん断弾性係数の値もチューブの両端部では低い値を示している。また人為的に乱れた試料を採取するために、刃先角度 6 度のサンプリングチューブの先端をカットし、90 度としたサンプラーから得られた試料に対しても同様の試験を実施している。その結果、90 度サンプラーの試料の残留有効応力とせん断弾性係数は 6 度のそれと比較して低い値が得られ、刃先角度が試料の品質に影響を及ぼすことを確認している。

第6章では、トップキャップおよびペDESTAL に BE を装着した三軸 BE 試験結果を示している。無拘束状態での残留有効応力を供試体に作用している有効応力と考え、せん断弾性係数と有効拘束圧との関係をさらに広い範囲で調べるために、三軸 BE 試験機を用いて有効拘束圧を任意に変えて BE 試験を行っている。その結果、せん断弾性係数は残留有効応力を含めた有効拘束圧の値によって決まることを示している。また、せん断弾性係数は有効拘束圧のおよそ 0.45～0.50 乗で表現でき、既往の研究と比較して妥当な結果が得られたことを確認している。そして、このせん断弾性係数と有効拘束圧との関係を用い、客観的かつ簡便な試料の品質評価方法を提案している。

第7章では、各章で得られた知見を総括し、今後の展望と課題を述べている。

これを要するに著者は、室内試験の解釈に不可欠な品質評価法として、比較的容易に行えるベンダーエレメント試験による方法を提案し、地盤特性の異なる美原、夕張川、Onsoy の 3 つのサイトでその妥当性を検証しており、地盤工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。