

学 位 論 文 題 名

Effects of Geometric Designs of Tube Sampler on Sample Quality of Soft Clays

(チューブサンプラーの形状が軟弱粘土の試料品質に与える影響)

学位論文内容の要旨

Sample disturbance caused by the geometric effects of tube sampler are evaluated by nondestructive methods: measurement of suction or residual effective stress ($p'r$) by Japanese standard ceramic disc and shear wave velocity (V_s), and thus, maximum shear modulus (GBE) by bender element (BE). Samples were obtained from model ground of reconstituted Kasaoka clay and in situ natural clay deposits of Takuhoku site (Hokkaido, Japan). Model ground of Kasaoka clay powder was prepared in the laboratory and several kinds of model samplers adopted JPN sampler as prototype were used to simulate laboratory sampling. The effects of geometric design on sample quality are evaluated based on comparative study of $p'r$ and GBE with strict consideration of sample location in each sampler. Field investigations of Takuhoku site including FVT, CPT, RI-CPT, and seismic cone were conducted. Sampling of the site using several types of tube samplers with and without piston was in parallel conducted under the same aspects of drilling and sampling methods. Sample quality strongly affects the values of $p'r$ and GBE and $p'r$ and GBE decrease with the increase of sample disturbance. The results from this study show that cutting edge angle of sampling tube is the most important geometric design of a sampler to obtain high quality sample. The wall thickness, and thus area ratio, of sampler is not significantly critical to disturbance if the cutting edge angle is small. In contrast, if edge cutting angle becomes large, area ratio must be specified and kept as small as possible for a well-designed sampler. The effect of piston has slight influence on sample quality for the in situ natural clay deposits in this study. Sample quality of soil samples varies along a tube sampler, for which the middle parts are of the best quality. Furthermore, correlations of GBE and $p'r$ in this study and from some previous studies were also investigated and it is found that the two parameters are not independent but they are strongly dependent.

Effects of sample disturbance on the undrained shear strength were also investigated for samples with various qualities, retrieved by different types of samplers at the Takuhoku site. Sample quality was evaluated by three types of shear tests: unconfined compression, fall cone and triaxial recompression tests. The present study shows that small edge angle of a tube sampler is important to obtain high quality sample. In addition, the existence of a piston does not have a significant effect on the strength properties. The results of the three kinds of test show consistency with those of the nondestructive methods. The effects of sample disturbance do not only influence undrained shear strengths but also

Young's modulus at 50 percent strengths and peak strains. Moreover, correlations between residual effective stress and strengths, Young's modulus at 50 percent strengths, and peak strains were investigated as well. It is found that the reductions of strength and Young's modulus at 50 percent strengths may be partially explained by the decrease of $p'r$. However, strains at the peak strength of UCT are constant with $p'r$, except for those of 90oF10 whose values were assumed at large axial strains.

In triaxial test where the specimen is anisotropically consolidated back to the in situ stresses is called recompression technique and was first introduced by Berre and Bjerrum (1973). The recompression technique was used to study the effect of sample disturbance on undrained shear strengths after the reconsolidation. It is found that the technique was able to duplicate the in situ soil behavior when only the $p'r$ is lost by sampling and disturbance; but it was not able to duplicate undisturbed soil behavior unless the structures of a soil sample are not significantly destroyed.

UCT strength was found to be strongly governed by $p'r$ value. On the other hand, Tanaka (2000) compared test results from three geologically different sites and concluded that the loss of $p'r$ and the damage of soil structures by sampling and subsequent disturbances do not always take place concurrently and the two phenomena should be considered separately. He further stated that if only the residual effective stress is lost, the sample can be recovered by the recompression technique; however, if the soil structures are damaged, this technique will not be able to reproduce the undisturbed soil behavior. Considering the two different viewpoints on governing sample quality, the author carried out following two types of simulated tests in triaxial apparatus to simulate the effects of the residual effective stress and soil structures on strengths. The results of the simulated tests were compared with those of UCT, whose strengths were assumed to result from both residual effective stress and soil structures. High quality samples, confirmed by their suction values measured by ceramic disc and GBE by bender element, were selected for the simulated tests. The effect of the residual effective stress was simulated by varying the confining pressures of triaxial cell adopting different measured values of $p'r$ of different sample quality. The confining pressures are called "artificial residual effective stress". Thus, it can be seen that the $p'r$ were far less than the yield consolidation pressure, i.e., the soil structures were intact. The effect of soil structures was simulated by Normally Consolidated state. The consolidation pressures were three times yield consolidation pressures, thus, the soil structures were assumed to get completely destroyed. Then, swelling was applied to obtain the same artificial residual effective stresses as the previous simulated test. It is found that the simulated tests can well adopt then UCT resulting from the two separate effects. From two types of tests simulating sampling process, however, it was found that the reduction of the unconfined compressive strengths of low quality sample was brought by the loss of the residual effective stress as well as destruction of soil structures.

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	田 中 洋 行
副 査	教 授	三 浦 清 一
副 査	教 授	蟹 江 俊 仁
副 査	准教授	石 川 達 也

學位論文題名

Effects of Geometric Designs of Tube Sampler on Sample Quality of Soft Clays

(チューブサンプラーの形状が軟弱粘土の試料品質に与える影響)

用いるサンプラーおよびサンプリング方法によって採取される粘土試料の力学特性は大きく影響されることが知られている。本研究は、チューブサンプラーの寸法および形状が試料の品質に与える影響を、2つの非破壊試験方法：セラミックスデスクを用いた残留有効応力（サクシオン） p'_r とベンダーエレメントによるせん断剛性率 GBE を用いて調べたものである。試験は、笠岡粘土の再構成試料による模型地盤と、札幌近郊の拓北の試験サイトに対して行った。模型地盤による試験から、模型サンプラーの諸元を変化させ、採取した試料の乱れを上記の非破壊試験方法で評価した。この結果、サンプラーの肉厚および刃先角度が試料の品質に大きな影響を与えることがわかった。この試験結果から、日本の標準サンプラー（肉厚 $t=1.5\text{mm}$ 、刃先角度 $d=6^\circ$ ）を基準として、 $(t=10\text{mm}, d=6^\circ)$ 、 $(t=1.5\text{mm}, d=90^\circ)$ 、 $(t=10\text{mm}, d=90^\circ)$ の特殊なサンプラーを作成し、肉厚および刃先角度の影響が試料の品質に与える影響を、現地の試験サイトで調べている。さらに、固定ピストンの有無による影響を調べるために、固定ピストンを用いない標準サンプラーによる試料採取も行っている。現地試験を行った拓北の地盤は、均一な粘土が約 15m 堆積している。このサイトでは、上記のサンプリングの他に、原位置ベーン試験、サイズミックコーンおよび静的コーン貫入試験などの原位置試験を行っている。また、各サンプラーで採取された試料の深さは異なるので、 p'_r は有効土被り圧で、GBE はサイズミックコーンで測定された G で正規化して評価している。

非破壊試験の結果から、同一サンプラー内の試料ではサンプラーの中央部分が品質が良く、サンプラーの上下端はボーリングによる掘削およびサンプラー引き上げ時のサクシオンによる影響を受け、品質が悪いことを示している。またサンプラーの形状に関しては、最も大きな影響を与えるのは刃先角度であることがわかった。肉厚が 10mm と非常に厚いサンプラーでも、刃先角度を 6 澆砲靴疹豺腓砲, 肉厚が 1.5mm, 刃先角度が 90 澆離汽鷗鷹蕁爾茲衫票舛了酃舛 亮茲任 襪海箸終丿靴討い。また、固定ピストンの有無は試料の品質に対して大きな影響を与えないこともわかった。これらの知見は、新しいサンプラーを開発するために非常に有用な情報を与えると考えられる。

次に、試料の品質が力学試験の結果にどのような影響を与えるかを述べている。粘性土の場合に

は、土の特性は非排水せん断強さおよび非排水条件における変形係数で表すことが一般に行われている。このため、本研究でも、一軸圧縮試験による強度および変形係数の評価を行っている。さらに、日本ではあまり用いられていないフォールコーンに強度評価も行っている。これらの試験によって得られた強度および変形係数と上記で述べた非破壊試験方法による試料の品質評価と同様な結果が得られた。すなわち、($t=10\text{mm}$, $d=90$) で得られた強度や変形係数は、他のサンプラーで得られた値と比べて著しく小さくなる。すなわち、 p'_r とこれらの強度常数は強い相関関係にあることがわかる。これは、別な見方をすれば、サンプリングする前に受けていた原位置の有効拘束圧が、サンプリングによって低下すると、すなわち p'_r が小さくなると、強度や変形係数が減少することを示している。

試料の乱れを p'_r の観点から考察するために 2 種類の三軸圧縮試験による乱れの再現実験を行った。一つは、供試体を完全に正規圧密状態で圧密し（先行圧密荷重の 3 倍程度）、完全に土の構造を破壊した後、サンプリングされた試料の p'_r に相当する圧密圧力に膨張させた試験と、もう一つは品質の良い試料を用いて、 p'_r より低い圧密圧力で圧密させて人為的に品質の悪い試料を再現させた実験である。この状態で、非排水せん断試験を行い、品質の異なる試料に対して行った一軸圧縮試験で得られた応力～ひずみ曲線と比較した。もし、土の非排水せん断挙動が p'_r だけによって支配されるならば、これら乱れの再現実験で得られた結果と一軸圧縮試験の結果は一致するはずである。結果は、ピーク強度は同様な値が得られるものの、応力～ひずみ曲線、すなわち変形係数がかなり異なることがわかった。すなわち、試料の乱れとは、土の骨格構造の破壊と p'_r の喪失であり、乱れによって必ずしもこれら 2 つの現象が同時に起こっていないことを示している。すなわち、土の骨格が保存されていて、 p'_r が減少した場合には、再圧縮法が有効であり、また一軸圧縮強度も p'_r によって補正することが可能である。しかし、骨格が破壊された状態では、これら 2 つの方法の適用には限界があることを示している。

これを要するに著者は、サンプラーの形状が試料の品質に与える影響と、試料の品質が室内の強度試験に与える影響を明らかにした。この研究成果は、効率の良いサンプラーの開発に寄与するばかりでなく、得られた試験結果を乱れの度合いで補正する可能性を示唆しており、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があるものと認める。