セメント添加・カルシウム溶脱による鋭敏粘性土供試体作製の試み

(Experimental approach to artificially produce sensitive clayey specimen by cement adding

and calcium leaching)

古市実希¹, 中井健太郎², 野田利弘³

1 名古屋大学大学院・工学研究科・furuichi.miki@a.mbox.nagoya-u.ac.jp

2 名古屋大学大学院・工学研究科

3 名古屋大学大学院・工学研究科

概 要

堆積状態のばらつき、サンプリング時の乱れや採取コストの問題等から、自然堆積した軟弱粘性土を用い て多量の実験を行うことは難しい。そこで本研究では、海成粘土の堆積過程に着目し、「セメント添加」、 「カルシウム溶脱」をおこなうことで、自然堆積した軟弱粘性土と同等の特徴を有する供試体の作製を試 みた。結果として、1)液性指数が大きい高含水比・高鋭敏比状態、2)高い圧縮性、3)せん断中のひずみ軟 化挙動、といった点において、軟弱粘性土特有の特徴を再現できることを確認した。また、本研究で作製 した供試体は北欧などに分布するクイッククレイと類似していることがわかった。そのため、これらの比 較をおこない、類似点・相違点について考察した。

キーワード:軟弱粘性土, 鋭敏, セメンテーション, 溶脱, クイッククレイ

1. はじめに

日本は、山岳地や丘陵地が多く、国土の約3/4を占めて いる。そのため、総面積の10%にすぎない沖積平野に人口 の 50%, 資産の 75%が集中している。沖積平野は, 第 4 紀の沖積世に堆積した未固結の層(沖積層)から構成され ているが,このうち後背湿地や三角州,低湿地などの地形 では、海成または陸成の粘土や有機質土など、軟らかい層 が厚く堆積していることが多く、軟弱地盤と呼ばれる。軟 弱地盤上には人為的に重い構造物を造らないことがよい が,国土の狭い日本では,必然的に用地的・環境的側面か ら, 軟弱地盤上への建設も余儀なくされ, 地盤工学的問題 を生じることも少なくはない。例えば図1は、軟弱地盤で ある常磐自動車道神田地区での盛土工における沈下量~ 時間関係である1)。供用開始後しばらくして、本来は消散 する一方であるはずの過剰間隙水圧が逆に上昇し,いった んは収束に向かった沈下が加速化したり,新たな過剰水圧 の湧き出し・消散のために沈下が長期化したりする。また、 大きな残留沈下が生じた結果,建設当初の一次元圧密理論 に基づく予測をはるかに上回る沈下が発生した箇所も存 在した。このような残留沈下を生じた現場は日本全国に存 在しているが, Inagaki et al.²⁾は、長期沈下を生じ得る軟 弱地盤の簡易判定法として, 鋭敏比 St が 8.0 以上, 圧縮指 数比 Cc/Ccr が 1.5 以上の鋭敏粘性土と述べている。このよ うな長期圧密挙動が問題となっている類似の軟弱粘性土 地盤は、中国の上海粘土、タイのバンコク粘土、カナダの ルイズヴィル粘土など、日本国内に限らず海外にも多く存 在する。一方、北欧やカナダ、ロシア、アラスカに目を向 けると、クイッククレイと呼ばれる超鋭敏な粘性土(鋭敏 比が 500 を超えるという報告もある³⁾)が存在する。クイ ッククレイは練り返しによる強度低下が著しい特徴を有 するため、河川浸食、土木工事による載荷や振動、あるい は豪雨に伴う地滑りによって、数多くの甚大な被害が発生 している^{40など}。



図1 盛土施工に伴う軟弱地盤の長期圧密沈下現象

上記の粘性土に共通する特徴として「高含水比」かつ「鋭 敏」な状態にあったことが挙げられる。種々の地盤工学的 課題に対処するためには,現地に堆積する軟弱粘性土の力 学特性を正確に把握することが重要であり,その実現のた めには,自然堆積状態のまま乱さず採取した不攪乱試料を 用いて,各種計測および系統的な実験を行うことが求めら れる。しかし,堆積時の元々のばらつき,サンプリング時 の乱れや採取コストの問題等の制約から,自然堆積時と同 じ状態で同質な供試体を数多く準備することは難しい。そ こで,本研究では自然堆積した軟弱粘性土と同等の特徴を 有する供試体を人工的に作製することを試みた。

本研究では作製にあたり, 軟弱粘性土の代表的なもので ある海成粘土の形成過程に着目した。海成粘土は,細粒土 が海水の中に流入して堆積することで形成された間隙の 大きな堆積土である。また海底地盤では、 プランクトンの 遺骸などからなる炭酸カルシウム等による化学的結合が 進展し、炭酸カルシウム含有率の増加とともに固結化が進 む。そのため、海底から生じた地盤であればカルシウムを 多く含んだ土であるため、セメンテーション作用が働くこ とが考えられる。さらに長い年月の中で海底地盤は海進・ 海退作用や地盤隆起によって陸化し、地盤中を地下水がゆ っくり流動することで間隙内の塩分やカルシウムが溶脱 される。溶脱によってせん断強度が低下し、鋭敏で軟弱な 粘土が形成されている。以上より、「セメンテーション」 と「溶脱」が軟弱粘性土形成の重要なポイントと考える。 これら2つの作用を室内で再現することで,自然堆積した 軟弱粘性土と同等の特徴を有する供試体を作製する。しか しながら、これら2つの作用は自然界の中では非常に長い 年月をかけて進行するものである。そのため、反応を促進 するため、「セメント添加による固化」と「硝酸アンモニ ウム水溶液によるカルシウム溶脱」を行うことで、短時間 での供試体作製を試みた。本報では、セメントを添加し、 カルシウム溶脱を行った供試体の物理・力学特性について 示すとともに、その特徴を実際の粘性土と比較した(本報 ではクイッククレイとの比較を実施)。

2. 供試体作製方法

本研究では、セメント添加した粘性土供試体を硝酸アン モニウム水溶液に浸漬し、カルシウム溶脱させることで軟 弱粘性土供試体の作製を試みた。以下に供試体作製手順を 示す。本研究で用いた粘土試料は、京浅黄土である。なお、 京浅黄土の物理特性は表 1に示す通りである。

- 含水比が75%(液性限界の1.5倍),セメント添加率が 乾燥質量比で5%となるように,粘土試料・蒸留水・ セメントの質量を計測する。後に,粉末のセメントに 蒸留水を加えてセメントペーストにするため,少量の 蒸留水を別で分けておく。
- 2) 粘土試料に蒸留水を加え、しっかりと攪拌する。
- 3) 粉末の早強ポルトランドセメントと少量の蒸留水をよく混ぜ、2)で攪拌した粘土試料に投入し、さらに攪拌を行う。セメントと蒸留水を混ぜ始めてから10分経過した時点で撹拌を終了する。

- 4) 攪拌が終わったら、試料をプラスチックモールドに投入する。このとき、振動を与えることで空気を抜きながら投入する。
- 5) 投入後3時間経過したら,ブリーディングによって上 昇してきた水をヘラで取り除き,表面を平らに整える。
- 6) 乾燥を防ぐため水中で養生を行う。2 週間の養生でせん断強度はほぼ収束するため、2 週間以上養生した供試体を使用する。
- 7)供試体をモールドから取り出した後、0.5mol/1の硝酸 アンモニウム水溶液に1週間以上浸漬させる(1週間 の浸漬によって、内部のPH値は均質となり、カルシ ウム溶脱が供試体内部にまで行きわたる(図2))。



図2 フェノールフタレインによる溶脱の確認

このように作製した供試体に対して,各種物理試験およ び力学試験を実施した。なお,ここで言う溶脱現象とは, セメントの水和反応の過程で生成した CH(水酸化カルシ ウム)と CSH(カルシウムシリケート水和物)中のカルシ ウムイオンが,水溶液とセメント表面付近の濃度平衡によ ってカルシウムの濃度の低い水溶液中へ溶け出すことで あり,式(1),式(2)のように化学反応が進む。三浦ら⁵⁾は カルシウム溶脱によって,セメントペーストやモルタルが 強度低下を示すことを示している。また,青山ら⁶⁾は, 硝酸アンモニウム水溶液を用いると純水に浸漬させる場 合の 100~300 倍速く溶脱が促進されることを示している。 なお,硝酸アンモニウム水溶液を使用する場合,式(2)中に 示される水和生成物 Ca(NO₃)2 は潮解性が非常に高く水に 溶けやすい特徴を有するため,供試体に結晶として付着し て残らないという利点もある。

 $Ca(OH)_2 + 2H^+ \rightarrow Ca^{2+} + 2H_2O$ (1)

 $Ca(OH)_2 + 2(NH_4NO_3) \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2NH_3 + 2H_2O \quad (2)$

表1 供試体作製に用いた母材(京浅黄土)の物理特性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.70
液性限界 WL (%)	45.8
塑性限界 wp (%)	25.4
細粒分含有率 (%)	95.0
粘土分含有率 (%)	46.5
10%粒径 D10 (mm)	0.001
20%粒径 D20 (mm)	0.003
50%粒径 D50 (mm)	0.013

3. 作製した供試体の基本的特徴

カルシウム溶脱の有無による物理試験結果を表 2 に, 粒度分布を図 3 に示す。自然含水比とは供試体作製時の 含水比であり,物理試験は一度作製した供試体を練り返し てから実施した。カルシウム溶脱によって土粒子密度に変 化はないが(ここでは,水和生成物は土粒子として計算), 液性限界が減少していることがわかる。特徴的なのは,カ ルシウム溶脱によって自然含水比が増加しており,液性限 界の減少と相まって,液性指数が4.0以上と非常に高含水 比状態の供試体となる点である。また,カルシウム溶脱に よって 0.002mm~0.02mm 付近の質量百分率が減少してい るが,この粒度分布変化については今後もう少し詳細に検 討していく必要があると考えている。



図 3 カルシウム溶脱による粒度分布の変化

表 2 カルシウム溶脱による物理特性の変化

	Ca 溶脱無 Ca 溶脱有		
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.77	2.76	
液性限界 w _L (%)	53.2	42.8	
塑性限界 wp (%)	30.2	30.8	
塑性指数 Ip	23.0	12.0	
自然含水比 wn(%)	70.4	80.6	
液性指数 L	1.75	4.15	

ー軸圧縮試験結果を図4に示す。ここでは、硝酸アンモ ニウム水溶液の濃度を0.2, 0.5, 1.0 mol/lと3通りで実施 している。カルシウム溶脱によって、一軸強度および初期 剛性が著しく低下していることがわかる。一方で、溶液濃 度による違いは見られない。このことは、十分な時間浸漬 させることで、カルシウム溶脱の程度は溶液濃度によらず 同程度に起こることがわかる。続いて、鋭敏比を測定する ために、練返し試料の一軸圧縮試験を実施しようと試みた が、図5に示すように、供試体を手で捏ねると容易にスラ リー状へと変化してしまい、練返し供試体を作製して、一 軸圧縮強度を求めることはできなかった。練返しせん断強 度を求めることはできなかったが、その値はほぼ0に等し く、非常に鋭敏な供試体であることがわかる。

以上の結果から,セメント固化後にカルシウム溶脱して 作製した供試体は,非常に鋭敏で多くの水分を保持できる 構造を持っていると考えられる。



図4 一軸圧縮試験結果



図5 供試体の振動に伴う流動化

4. 力学試験結果

ここでは、セメント添加・カルシウム溶脱によって作成 した供試体の力学特性を把握するために、標準圧密試験お よび側圧一定の非排水三軸圧縮試験を実施した。

4.1 標準圧密試験

カルシウム溶脱前後の供試体を用いた実施した標準圧 密試験結果を図6に示す。



試験結果から,高い圧縮性は保ったまま,カルシウム溶 脱に伴う若干の比体積の増加に加えて,圧密降伏圧力が小 さくなっていることがわかる。同図には,カルシウム溶脱 した試料を捏ね繰り返して作製した練返し試料の標準圧 密試験結果および,同試験結果から求めた練返し正規圧密 線も併記している。カルシウム溶脱供試体は同練返し正規 圧密線に対して,同じ鉛直応力下で大きな比体積を有する 「嵩張った」状態にあり,鉛直応力の増加とともに練返し

正規圧密線に漸近していく様子がうかがえる。この嵩張り を持った高い圧縮性は軟弱粘性土の特徴としてよく知ら れている⁷⁾。

4.2 非排水三軸圧縮試験

カルシウム溶脱前後の供試体を用いた実施した側圧一 定非排水三軸圧縮試験結果を図 7 に示す。等方圧密圧力 30kPa と 100kPa で 24hr 等方圧密した後,軸ひずみ速度 0。 014mm/min で非排水せん断した。



図7 非排水三軸圧縮試験結果

カルシウム溶脱によって, 過圧密土的せん断挙動が正規 圧密土的せん断挙動に変化するとともに, 非排水せん断強 度が著しく減少する。また, カルシウム溶脱無しの場合(セ メントを添加しただけ), 応力-ひずみ曲線はガタついて 脆性的な挙動を示すが, カルシウム溶脱した場合は滑らか な曲線を描く。せん断中の供試体の変形の様子を見てみる と, 溶脱無しの場合は軸ひずみ 3~5%で供試体を縦に貫く クラック/せん断面が入ってしまうが, 溶脱有りの場合は 樽型に変形し, 延性的な挙動を示していた。軟弱粘性土の 非排水せん断挙動としては, 正規圧密状態における「拝み 挙動(p, 減少を伴う q の増加の後, p, 減少を伴う q の減 少)」,過圧密状態における「巻き返し挙動(p'増加を伴 うqの増加の後,p'減少を伴うqの減少)」を示すことが よく知られている⁸。有効応力パスに目を向けると,カル シウム溶脱した供試体は,若干ではあるが,滑らかな軟化 挙動(過剰間隙水圧変化を伴うp'減少を伴うqの減少) を示している。

5. 実際の粘性土 (クイッククレイ) との比較

本研究で作製した供試体の物理特性・力学特性を見ると, 鋭敏比が非常に大きく流動性を有しており,北欧やカナダ に広く堆積するクイッククレイの性質と類似しているこ とがわかってきた。そこで,本章では,実際のクイックク レイの物理・力学特性に関する既往研究^{3),9),10) など}をレビ ューし,本研究で作成した供試体と比較する。

ここでは、A. Gylland et al.³⁾ によるノルウェーの Tiller に堆積するクイッククレイの調査・室内試験結果を紹介す るが、この特徴は他のクイッククレイとも共通する。

5.1 鋭敏比

図8はクイッククレイ, Tiller Clay が堆積する地盤にお ける各諸量の深度方向分布である。NFG (ノルウェー地盤 工学会)¹¹⁾によると, 鋭敏比 St が 30 以上, 練返しせん断 強度が 0.5 kPa 以下の粘土をクイッククレイと定義してい る。練返しせん断強度はフォールコーン試験(先端角度 60 度, 質量 60g) で 20mm 貫入した時の値として求めるの が一般的である。図8を見ると、地表から8mまでは練返 しせん断強度が大きく非鋭敏粘性土であるが、8m 以深は 上記条件を満足した鋭敏な状態にあり、 クイッククレイで あることがわかる。なお,図中には深度ごとの塩分濃度も 示している。Rosenqvist¹²⁾らによるとクイッククレイの形 成は海性粘土の塩分が溶脱することによると述べられて いたが,近年では塩分溶脱よりも,間隙水に含まれる陽イ オンのイオン組成の影響の方が大きいともいわれている?。 実際に図8を見ると、浅部・深部に関わらず、塩分濃度に 違いは見られない。



図 8 Tiller Clay の鋭敏比分布 3)

上記クイッククレイの特徴と本研究で作成した供試体 の特徴と比較する。今回は真水を使用して供試体を作製し たため塩分濃度に関しては比較できないが、液性指数 L =4.15と高含水比状態であること、練返しせん断強度が測 定できないほど小さい点において、よく似ている。

5.2 物理特性

Tiller Clay の粒度分布を調査した結果をエラー! 参照元 が見つかりません。9に示す。平均して粘土含有率は38%, シルト含有率は 62%であることがわかっている。 クイッ ククレイは、粒度分布によると粘土に分類されるものの、 シルトの含有率が大きいと言われている。続いて, クイッ ククレイの塑性分類図および Tiller Clay のコンシステンシ 一特性分布図を図 10 と図 11 に示す。 クイッククレイは, 液性限界 wL, 塑性指数 L ともに小さく, 地盤工学的には CL(低液性限界の粘土)に分類される。また、液性指数 Lは4程度と非常に大きく、高含水比状態で堆積している こともわかる。続いて、式(3)で示す活性度 A について確 認する。A. Gylland et al.³⁾ によると, Tiller clay の活性度は 0。75 以下で不活性粘土に分類される。また, Karin Rankka ら %によると、 クイッククレイの活性度は通常 0.5 以下で あると述べられている。一般に、粘土分の含有量が多い土 ほど液性限界 wL は大きくて塑性を示す含水比の範囲,す なわち塑性指数 Loも大きくなる。ただし、粘土分の含有量 が同じでも、電気的な性質の活発なスメクタイト等の膨潤 性粘土鉱物の含有量が多い土ほど Ipが大きくなる。そのた め、 クイッククレイは非膨潤性鉱物を中心とする粘性土で あることがわかった。

 $A = 塑性指数 I_p / 2 \mu m 未満の粘土分含有量(%)$

1982 tests Seierstad (2000 8((%) assing 60 ntage j 40 20 0.0001 0.001 0.01 0.1 . Particle size (mm) クイッククレイの粒径加積曲線³⁾ 図 9 60 50 A-line (%) 40 CH CI Plasticity index 30 CL 1982 study □○☆◇卆 20 Seierstad (2000 , nd (2012) ne (20 10 Yesuf (2008) 1 0 60 0 10 20 30 40 50 70 80 90 100 Liquid limit (%) 図10 クイッククレイの塑性図3)



図 11 Tiller Clay のコンシステンシー特性分布³⁾

本研究で作成した供試体の特徴と比較すると、カルシウ ム溶脱した供試体の粒度分布はシルトが卓越している点, 塑性指数 Ip=12.0%と塑性範囲が狭い点,液性指数 IL=4.15 と高含水比な状態にある点においてクイッククレイの特 徴と類似する。しかしながら,液性限界 w_L = 42.8 と図 10 と比べると大きめであること、表2から計算した活性度A は0.8となり、活性度がやや大きめである点は異なる。本 研究の母材として用いた京浅黄土の X 線回折を行ったと ころ、膨潤性鉱物スメクタイトの含有量は「中程度」と計 測されたため、 クイッククレイ供試体の再現のためには母 材を変える必要があることが示唆された。母材の選定につ いては、今後の展望として最後に述べる。

5.3 圧縮特性

(3)

Tiller Clay 地盤からクイッククレイの不攪乱試料を採取 して実施した定ひずみ速度(CRS) 圧密試験結果を図 12 に示す。圧密圧力が圧密降伏応力 oveを超えると、圧密係 数 c_vが急変して高い圧縮性を示している。逆 S 字の嵩張 った圧縮挙動を示す点において,図6で示した本研究で作 成した供試体の圧縮挙動は類似することがわかる。



5.4 せん断特性

不攪乱試料を用いた等方圧密非排水圧縮(CIUC)試験 結果を図13に示す。A. Gylland et al.³⁾によると, Tiller Clay は疑似過圧密効果によって OCR=2 程度の若干過圧密状態 となっていると述べられている。実際に非排水せん断挙動 を見ると, せん断初期に p' がほとんど変化せずに立ち上 がる挙動を示し,若干過圧密状態にあることがわかる。間 隙水圧は滑らかに上昇しながら,せん断応力は明確なピー クを示し,著しいひずみ軟化挙動を示す。本研究で作成し た供試体では,セメント添加のみによる脆性的挙動が,カ ルシウム溶脱によって延性的な挙動に変化したものの,図 13 のような明確なひずみ軟化挙動は示さなかった。この 際については,母材の選定も含めて,今後の検討としたい。



図 13 Tiller Clay の等方圧密比排水せん断試験(CIUC)³⁾

6. まとめ

海成粘土の形成過程に着目し、「セメント添加」、「カル シウム溶脱」をおこなうことで、自然堆積した軟弱粘性土 と同等の特徴を有する供試体の作製を試みた。結果として、 液性指数 L が大きく、非常に鋭敏な供試体を作製するこ とができた。また、標準圧密試験では、嵩張った挙動を再 現することができた。さらに、非排水三軸試験では、わず かではあったものの軟化挙動を再現することができた。

本研究で作成した供試体をクイッククレイ Tiller Clay の 特徴と比較したところ,液性限界が大きめである点やせん 断試験において明確なひずみ軟化挙動を示さないなどの 相違点あるものの,高含水比で鋭敏な供試体という点に置 いては,クイッククレイと類似の供試体を作製したことが 分かった。

今後の展望として,母材や供試体の作製方法を変更して 軟弱粘性土の再現を試みる。つまり,表3に示すように, 鉱物組成や物理特性の異なる母材を用いる。クイッククレ イの性質を再現するには,膨潤性鉱物であるスメクタイト を含まず,液性限界の小さい粘土③が,一方,常磐粘土の ような日本に多く堆積する軟弱粘土の再現には,粘土分含 有率が大きく膨潤性鉱物スメクタイトを多く含む粘土① が適していると考えられる。また,軟弱粘性土は,海成粘 土が起源である場合が多い。そのため,供試体作製時に塩 水を用いることも検討する。母材や作製方法を変化させる ことで,様々な地域に堆積する軟弱粘性土を再現すること が目標である。それによって,再現性の高い供試体を用い て系統的な実験が行えるばかりでなく,軟弱粘性土地盤を 対象とした模型実験の実施にもつながると考えている。

表 3 各種粘土試料の鉱物組成と物理特性

	京浅黄土	粘土①	粘土②	粘土③
スメクタイト	中	中	多	—
雲母	中	中	少	中
カオリナイト	多	多	少	多
土粒子密度 p _s (g/cm ³)	2.70	2.68	2.56	2.64
液性限界 w _L (%)	45.8	56.4	93.8	34.1
塑性限界 wp(%)	25.4	23.7	28.8	18.9
塑性指数 Ip	20.4	32.7	65.0	15.2
細粒分含有率(%)	95.0	98.2	96.3	99.6
粘土分含有率(%)	46.5	87.2	61.8	67.9

参考文献

- Noda, T., Asaoka, A., Nakano, M., Yamada, E. and Tashiro, M.: Progressive consolidation settlement of naturally deposited clayey soil under embankment loading, Soils and Foundations, Vol.45, No.5, pp. 39-51, 2015.
- Inadaki, M., Nakano, M., Noda, T., Tashiro, M. and Asaoka, A.: Proposal of a simple method for judging naturally deposited clay grounds exhibiting large long-term settlement due to embankment loading, Soils and Foundations, Vol.50, No.1, pp.109-122, 2010.
- A. Gylland, M. Long, A. Emdal, R. Sandven: Characterisation and engineering properties of Tiller clay, Engineering Geology Vol.164, pp. 86–100, 2013.
- O. Gregersen: The quick clay landslide in Rissa, Norway. The sliding process and discussion of failure modes, Norwegian Geotechnical Institute Publication, No.135, pp.1-6, 1981.
- 5) 三浦泰人, 佐藤靖彦: NaCl 溶液に浸漬したセメントペーストおよびモルタルの引張り軟化特性評価, コンクリート工学論文集, Vol.21, No.3, pp.77-86, 2010.
- 6) 青山琢人,胡桃澤清文,名和豊春,村上祐翔:カルシウム溶脱を 考慮したセメント硬化体の物質移動予測モデルの構築,セメント・コンクリート論文集,Vol.66, No.1, pp.311-318, 2012.
- Nakano, M., Nakai, K., Noda, T. and Asaoka, A.: Simulation of shear and one-dimensional compression behavior of naturally deposited clays by Super/subloading Yield Surface Cam-clay model, Soils and Foundations, Vol.45, No.1, pp.141-151, 2015.
- Nakano, M., Nakai, K. and Asaoka, A.: A description of mechanical behavior of clay and sand based on evolutions of soil structure and overconsolidation, ASCE Geotechnical Special Publication No.143, Geomechanics: Testing Modeling and Simulation, pp.136-153, 2003.
- Karin Rankka, Yvonne Andersson-Skold, Carina Hulten, Rolf Larsson, Virginie Leroux, Torleif Dahlin: Quick clay in Sweden, Swedish Geotechnical Institute, Report No.65, 2004.
- TE Helle, RN Bryntesen, H Amundsen, A Emdal and S Nordal: Laboratory setup to evaluate the improvement of geotechnical properties from potassium chloride saturation of a quick clay from Dragvoll, Norway, Proceeding of GEO-Quebec, 2015.
- 11) NGF Norsk Geoteknisk Forening: Veiledning for provetaking, 1982.
- Rosenqvist, I. T.: Considerations on the sensitivity of Norwegian quick clays, Geotechnique, Vol.3, pp.195-200, 1953.