

5-4 試料の乱れ

$t_i \approx 0$ (Ka) となる試料はどのような試料なのだろうか. 図 5-2 2 (a) は, 図 5-1 9 に示した式 (5-4 3) のべき指数 $(C_c - C_s)/C_\alpha$ の深度分布について, 図 5-2 1 において $t_i < 0.01t_a$ となる場合と, $100t_a < t_i$ となる場合のプロットを強調して表示したものである. また, (b) は, 同様に図 5-3 (b) に示した過圧密比である. 図 5-2 2 (a) を見ると, t_i が t_a の 100 倍を超えるような計算結果のべき指数は, 他より大きくなる傾向がある. 一方, t_i が t_a の 1/100 に満たない計算結果のべき指数と $0.01t_a \leq t_i \leq 100t_a$ となる計算結果のべき指数は, 深度分布において混在しており区別できない.

これに対し, 図 5-2 2 (b) では, 図 5-2 1 の t_i の深度分布と同様に概ね 3 段階に区分され, $t_i < 0.01t_a$ となる試料は OCR が他より概ね小さい. t_i が t_a を大きく下回るという計算結果は, 圧密降伏応力が小さめに測定されたことに起因している可能性が高い. これは, 原位置の圧密降伏応力は, 圧密試験の結果より大きいという可能性を示唆している. このように強度低下を起こす要因としては, 試料採取時に生じた乱れの影響の可能性が高いものとする. 逆に, 乱れた試料を特定できれば, 試験結果を補正してより合理的な軟弱地盤対策を計画できる可能性も浮上する.

ここでは, 既往の研究で整理された様々な指標を用いて, 乱れの大きな試料と乱れの小さな試料を選び分け, t_i の計算結果と比較して図 5-2 1 の結果との整合性を確認する.

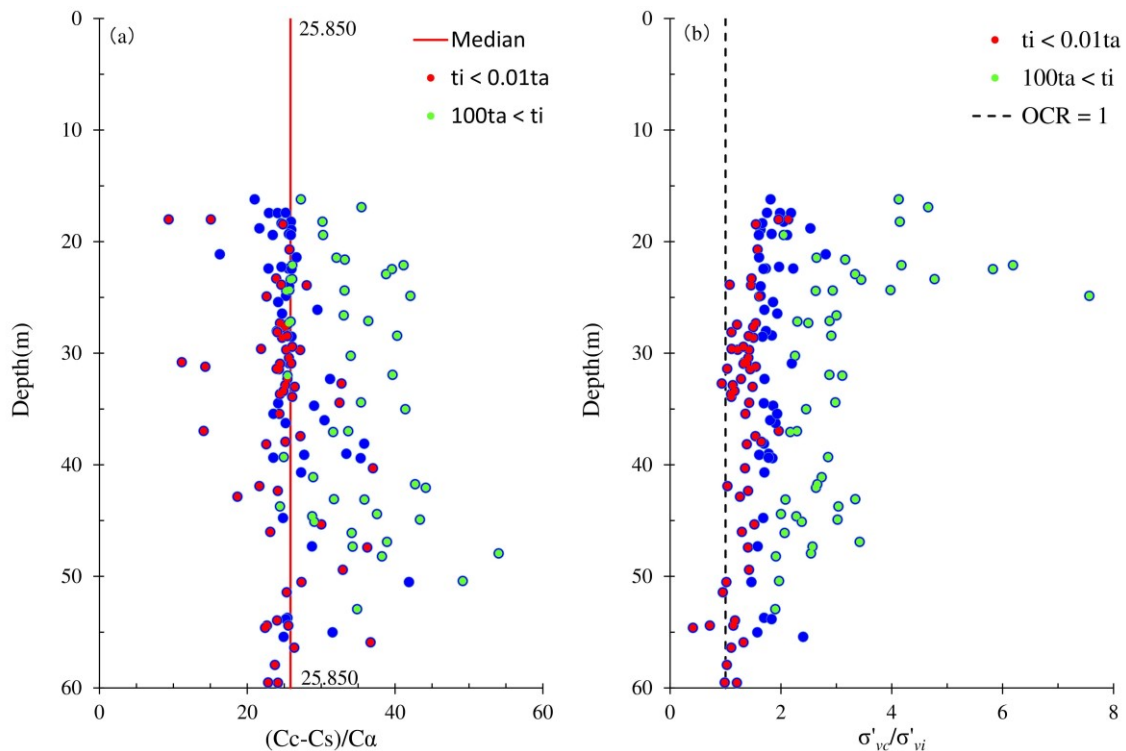


図 5-2 2 $(C_c - C_s)/C_\alpha$ の深度分布 (乖離データの強調)

5-4-1 塑性指数と非排水せん断強度および過圧密比

Bjerrum は、図 5-1 の概念を示したうえ、塑性指数 I_p を指標として Young Clay と Aged Clay の違いを説明している [5] [6]。

第3章で示したとおり、白竜湖軟弱地盤の粘性土の圧縮指数と塑性指数の関係は、全国各地の海成粘土と同等である。圧縮指数と塑性指数が概ね直線的な関係にあるため、塑性指数が大きい試料ほど圧縮性が高いということになる。疑似過圧密効果が二次圧密によるところが大きいとすれば、その効果も塑性指数と関係があるものとする。

図 5-2 3 (a) は、Aged Clay と Young Clay の違いを塑性指数と過圧密比の関係、(b) は塑性指数と非排水せん断強度と有効土被り圧の比の関係で示した図である。文字どおりに Aged Clay は堆積後に年代効果を受けた粘土、Young Clay は堆積して間もない粘土である。白竜湖軟弱地盤の更新統粘性土は十分に Aged Clay であるはずであるが、試料を採取した際に乱れて攪乱に近い状態になったとすれば Young Clay に近い傾向を示すはずである。

なお、図 5-2 3 (a) では、過圧密比を文献に従って p_c/p_0 としているが、 $\sigma'_{vc}/\sigma'_{vi}$ と同値である。また、(b) では、縦軸の非排水せん断強度はベーン試験で求めているが、比較対象の試料は採取深度が深くベーン試験が適用できないため、一軸圧縮試験および非圧密非排水せん断試験の結果を示すものとする。

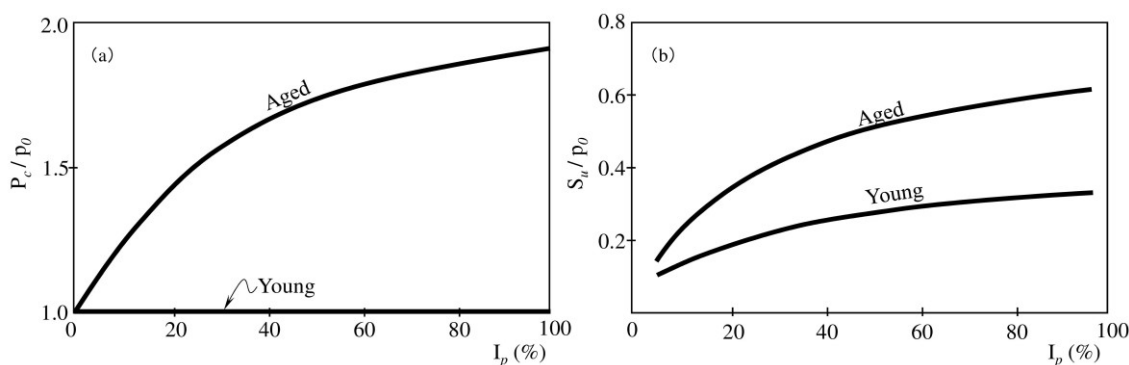


図 5-2 3 粘土の塑性と過圧密比および非排水せん断強度の関係 [5] [6]

図 5-2 4 に、過圧密比と塑性指数の関係、図 5-2 5 に、非排水せん断強度と有効土被り圧の比と塑性指数の関係を示した。標準圧密試験と併せて一軸圧縮試験または非圧密非排水せん断試験を実施した試料についての評価となる。図 5-2 1 で t_i が t_a の 0.01 倍に満たなかった試料のデータと t_a の 100 倍を超過したデータを強調した。さらに、Bjerrum が示した Aged Clay と Young Clay の傾向の違いも併せて示した。

図 5-2 4 を見ると、 t_i が t_a の 0.01 倍に満たなかった試料の過圧密比は、大部分が Aged Clay の傾向を示す線より下にあるが、 I_p は広範囲に分布している。一方、 t_i が t_a の 100 倍を超えるような大きな値を示す試料は I_p が小さい範囲に分布している。しかし、この範囲は t_i が t_a の 0.01 倍に満たなかった試料の分布範囲と重複している。

また、図 5-25 ではどちらかと言えば Aged Clay の傾向を示す線の付近に多くのデータが分布しているが、 t_i の大きさの違いによる傾向の違いは明確でない。 t_i の計算結果と比較する限りにおいて、塑性指数を指標としても乱れの大きい試料の特定はできない。

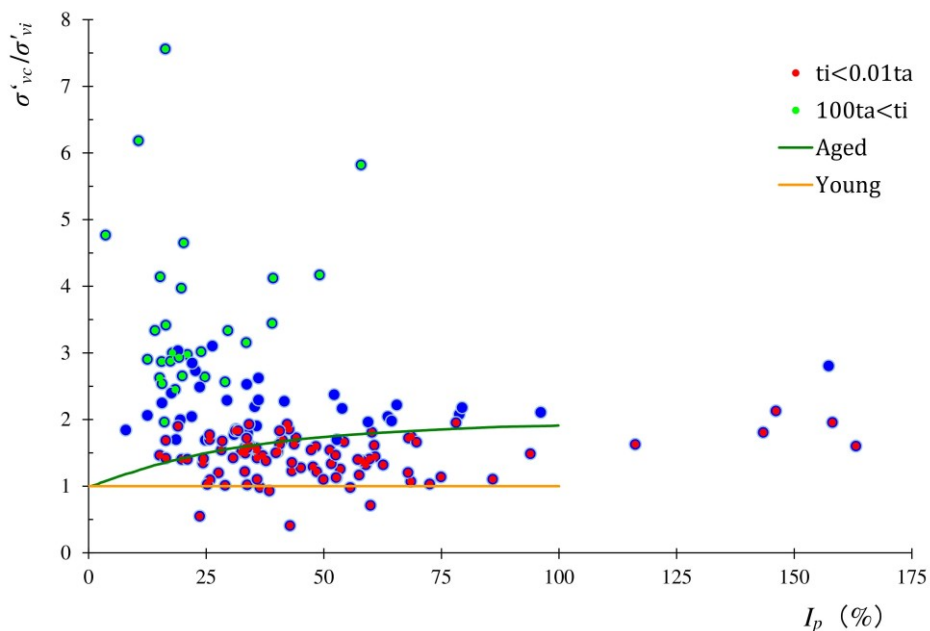


図 5-24 過圧密比と塑性指数の関係

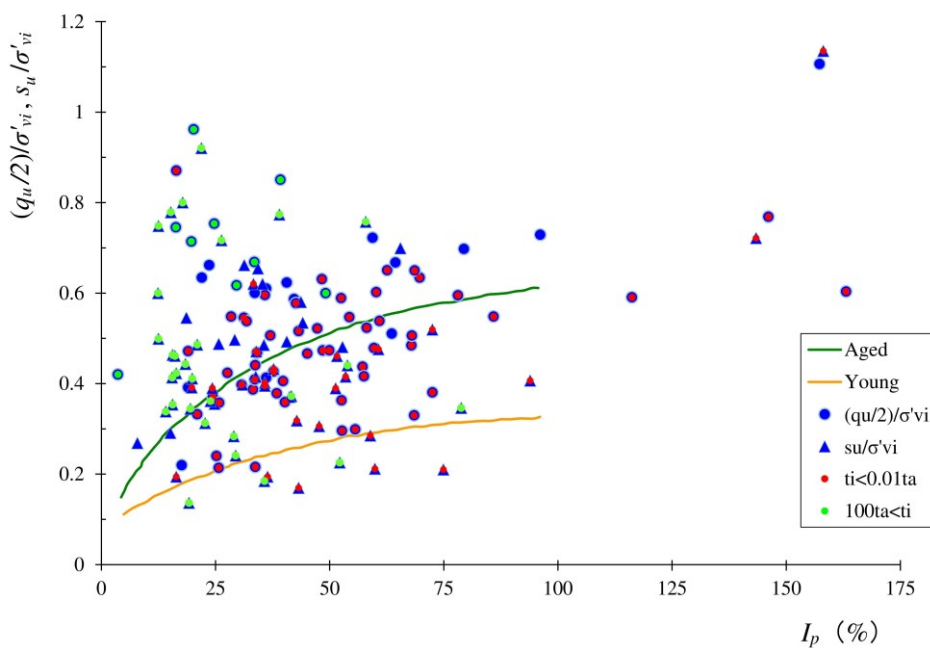


図 5-25 非排水せん断強度と有効土被り圧の比と塑性指数の関係

5-4-2 変形係数と非排水せん断強度

変形係数と非排水せん断強度の比 $E_{50}/(q_u/2)$ が試料の乱れを示す指標になることが知られている。乱れが大きくなるに従い、 $E_{50}/(q_u/2)$ が小さくなる。図 5-26 (a) に変形係数の定義、(b) に乱れに伴う応力ひずみ曲線の変化の概念を示す。古くからの研究例があるとされるが、中瀬他^[18]に限りその内容を確認することができた。中瀬他によれば、「乱された試料では $E_{50}/(q_u/2) < 180$ となる」とされている。

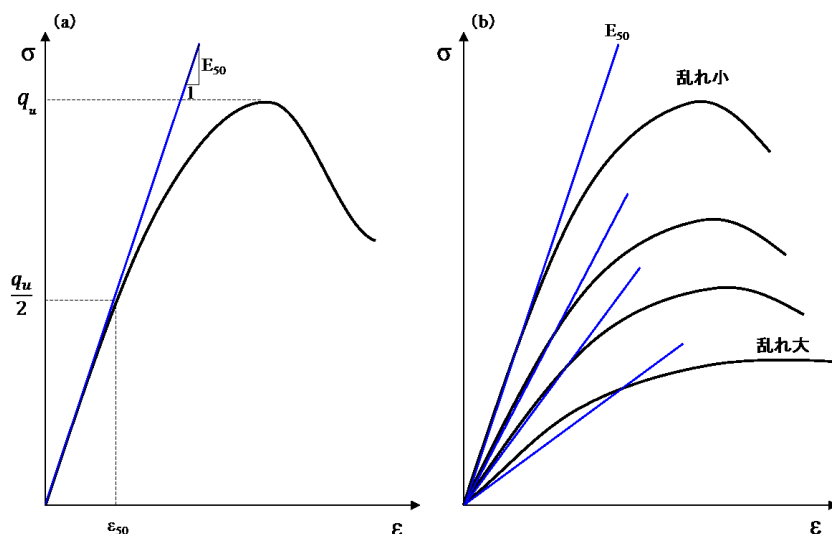


図 5-26 変形係数 (a) および乱れに伴う応力ひずみ曲線の変化 (b)

図 5-27 に、変形係数と非排水せん断強度の比についての深度分布を示した。左図 (a) は一軸圧縮強度の 1/2、右図 (b) は非圧密非排水せん断試験の結果を整理したもので、プロットの強調はこれまでと同様で、標準圧密試験と併せて一軸圧縮試験または非圧密非排水せん断試験を実施した試料についての評価となる。

図 5-21 で t_i が t_a の 0.01 倍に満たなかった試料のデータと t_a の 100 倍を超過したデータが混在しており、区別できない。さらに、図 5-27 には $E_{50}/(q_u/2) = 180$ を示す線を示してあるが、今回評価した試料はすべてこれを下回っている。中瀬らの評価に基づけば、すべての試料が乱れていたことになる。中瀬らが評価した試料は、千葉港および尼ヶ崎港の海底から採取した乱さない粘土と、横浜港の海底で採取した粘土を練り返して再圧密した試料とされている。白竜湖軟弱地盤の更新統粘性土は、海成粘土と極めて調和的な性状を示すことを第3章で述べた。白竜湖軟弱地盤は、これまでの高速道路の建設において経験がないほど厚い軟弱地盤で、試料も深部からの採取となるため、乱れの影響を被りやすいものとする。その一方で、第3章で述べた結果は、サンプリングの品質が海成粘土と大差ないことを示しているはずである。それにもかかわらず、変形係数と非排水せん断強度の関係は、白竜湖軟弱地盤の粘性土の乱れの評価には適用できない。適用できるとすれば、すべての試料が乱れているという評価になる。

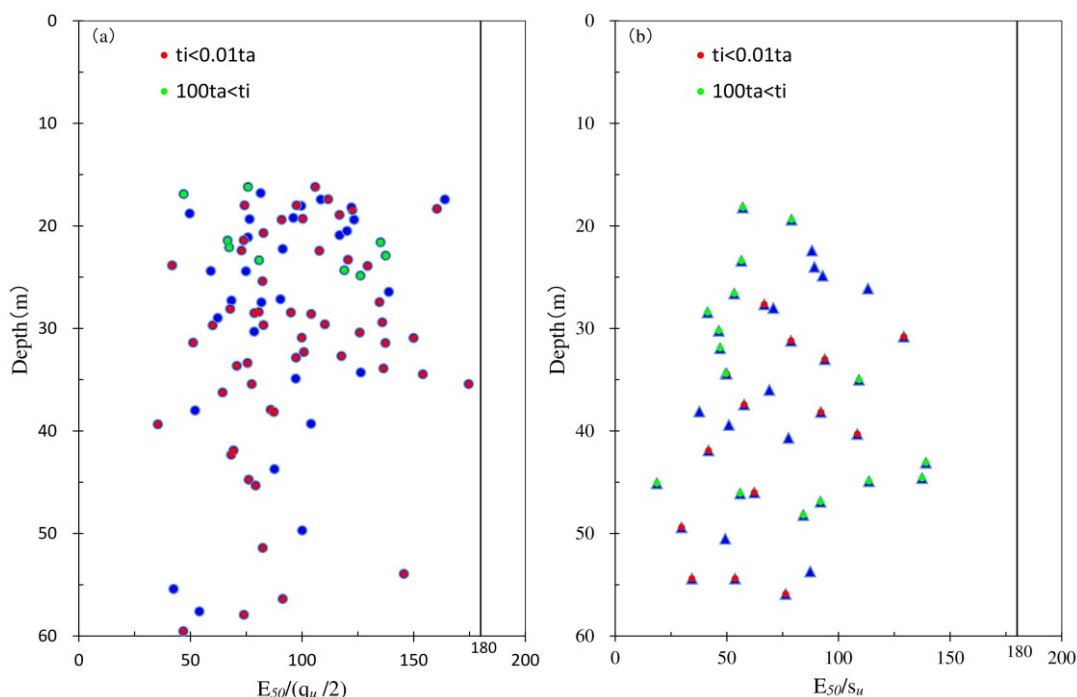


図 5-27 変形係数と非排水せん断強度の比の深度分布

5-4-3 圧密定数

図 5-1 に示した疑似過圧密効果は、「二次圧密による効果」である。疑似過圧密効果はセメンテーションでも生じることが指摘されている^[9]。土田ら^[9]は、2 つの疑似過圧密効果を図 5-28 のとおりの模式図で示し、圧縮指数 C_c に変動があるとしている。そのうえで、セメンテーションによる疑似過圧密効果を受けた試料を見分ける指標として、圧縮指数比 r_c (compression index ratio) を次のとおり定義している。

$$r_c = \frac{C_{c\max}}{C_c^*}$$

(5-45)

$C_{c\max}$ は $e-\log p$ 曲線における C_c の最大値、 C_c^* は $C_{c\max}$ を得る圧密圧力の 5 倍の圧密圧力下の C_c であるが、「5 倍」は便宜的に標準圧密試験の载荷範囲を想定して決められたものである。本稿で用いているすべてのデータは、軟弱地盤上に高速道路を建設するために測定したもの^[20]であるため、「 $C_{c\max}$ を得る圧密圧力の 5 倍」という大きな圧密圧力は多くの場合において载荷していない。よって、本稿では r_c を以下のとおり再定義することとした。

$$r_{cm} = \frac{C_{c\max}}{C_{c\min}}$$

(5-46)

$C_{c\max}$ は、上述のとおりで、 $C_{c\min}$ は $C_{c\max}$ を記録した以降の C_c の最小値である。実際には $C_{c\max} = C_{c\min}$ となる場合も多い。その時は、 $r_{cm} = 1$ である。

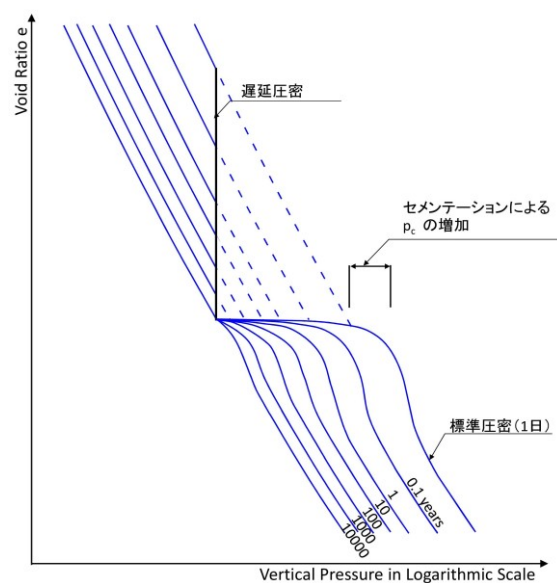


図 5-28 セメンテーション作用を受けた粘性土の圧縮曲線の模式図

図 5-29 に r_{cm} の深度分布を示した．土田らは再圧密粘土で $r_c=1.0\sim1.2$ ，自然粘土（海成粘土）で $r_c=1.2\sim3.0$ と報告している．定義が異なるため，単純に比較できないが， $r_{cm} > 1.2$ となるデータの中にも t_i が t_a の 0.01 倍に満たないものが多数あった．また， t_i が t_a の 100 倍を超えるようなデータは，ほとんどが $r_{cm} = 1$ となった．なお，今回評価したデータは，標準圧密試験の結果を整理したものであるため，載荷ステップの間隔が大きい．その結果， C_c の変化を捉えきれない可能性もある．

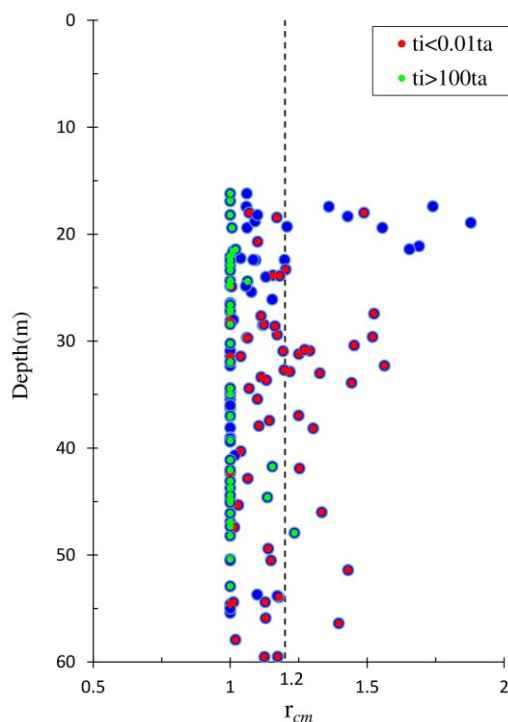


図 5-29 圧縮指数比の深度分布

また、小林ら^[21]は、体積圧縮係数 m_v と圧密係数 c_v について、不攪乱試料と攪乱試料の傾向の違いを示している。不攪乱試料の m_v と平均圧密圧力の関係を対数軸上で整理すると圧密降伏応力付近で明確なピークが出る。同様に c_v を整理するとプロットが不連続となる。

図 5-30 は、 m_v および c_v を整理したうえで比較的不攪乱試料に近い傾向となったデータを目視で選別した結果である。これらは比較的乱れが小さかったはずである。これらのデータを用いて t_i を求めた結果に目視判定の結果を重ねると、図 5-31 のとおりとなる。目視で「乱れが小さい」と判定したデータは、堆積年代の推定結果が小さくなる場合が多い。

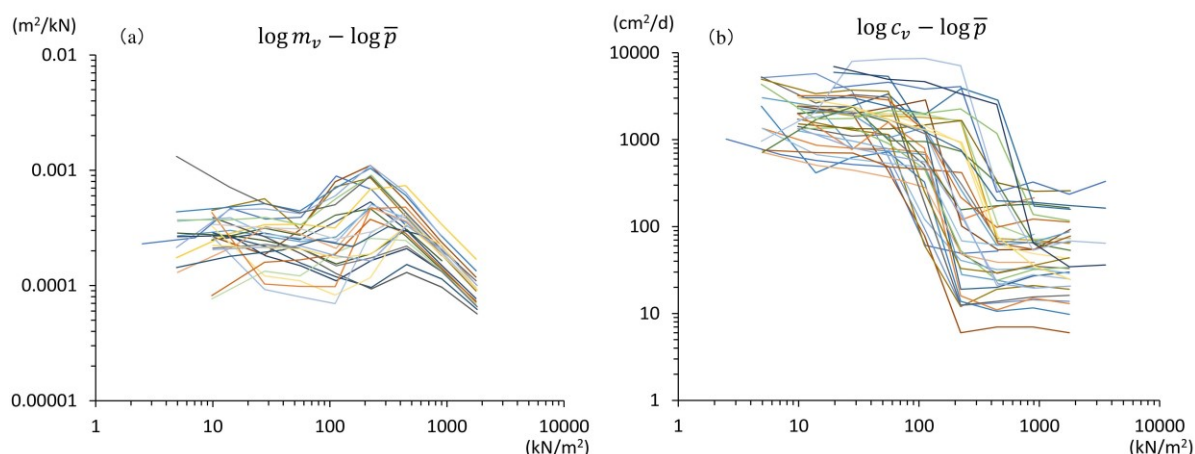


図 5-30 堆積圧縮係数と圧密係数による選別結果

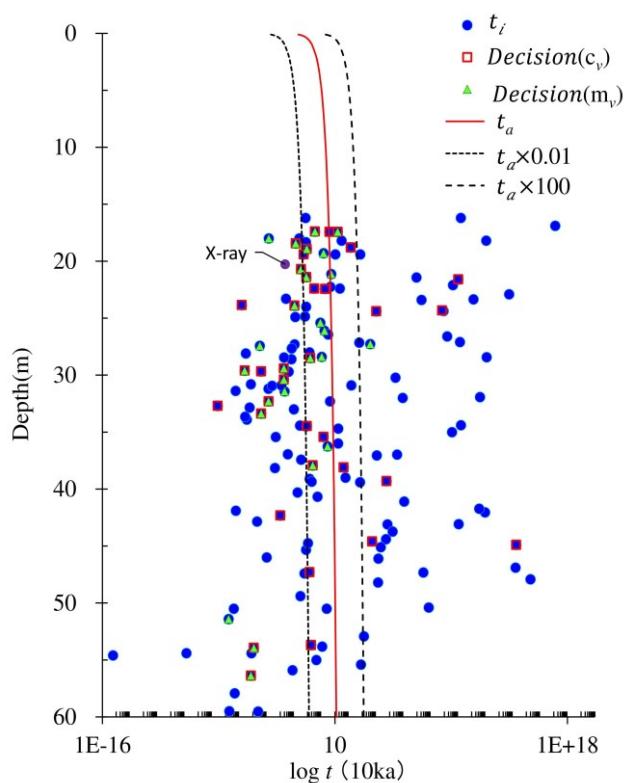


図 5-31 堆積圧縮指数と圧密係数による選別結果と堆積年代の計算結果

5-4-4 圧縮曲線の形状

標準圧密試験の圧縮曲線は、その形状自体が乱れの指標と成り得る。試料の乱れによる土構造の低位化に伴い、乱れの程度に応じて同じ圧密圧力に対する間隙比が低下し、圧縮曲線が下方に移動するとともに、降伏点も不明確となる^[22]（図 5-3 2）。

今回評価の対象としたすべての試料について、圧縮曲線を改めて作図したうえで、その形状から「A：乱れが小さい」、「B：乱れがやや小さい」、「C：乱れがやや大きい」、「D：乱れが大きい」の4段階で試料の乱れを目視判定した。図 5-3 3に、その判定結果の代表的な例を示す。なお、目視判定に用いた圧縮曲線は、間隙比 0.1 に相当する縦軸のスケールが横軸の対数目盛 1 サイクルの長さの 0.1～0.25 倍の範囲になるように作図した。

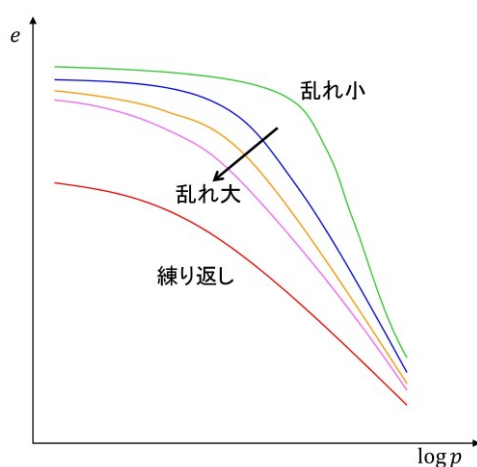


図 5-3 2 試料の乱れと圧縮曲線の形状^[21]

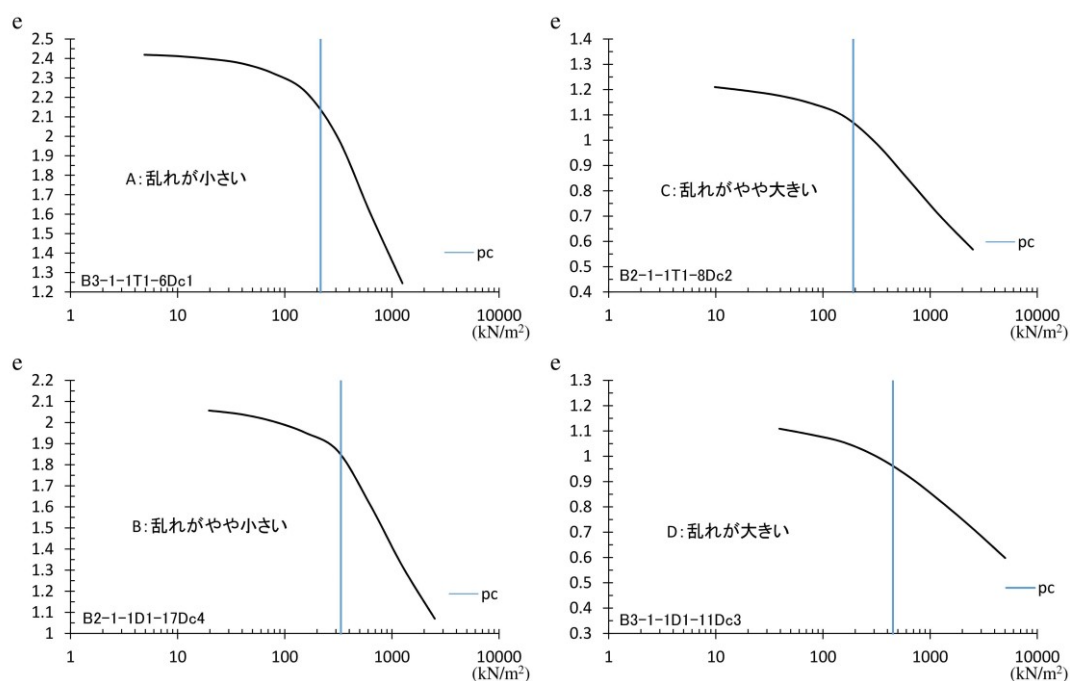


図 5-3 3 圧縮曲線の形状による乱れた試料の判定

図 5-3 4 に、圧縮曲線の形状の目視判定の結果と堆積年代の計算値との関係を示した。判定結果は、「A：乱れが小さい」が 49 データ、「B：乱れがやや小さい」が 33 データ、「C：乱れがやや大きい」が 31 データ、「D：乱れが大きい」が 40 データであった。

図 5-3 4 を見ると、乱れが「小さい」または「やや小さい」と評価した試料の方が堆積年代の計算結果が小さくなる傾向があることが分かる。乱れが「小さい」または「やや小さい」と評価した試料の堆積年代の計算結果 t_i は、その多くが測定値 t_a より桁違いに小さくなった。また、明らかに「乱れが小さい」と判定した試料の t_i は、 t_a を大きく上回ることがほとんどなかった。さらに、試料の採取深度による傾向の明確な違いも確認できなかった。

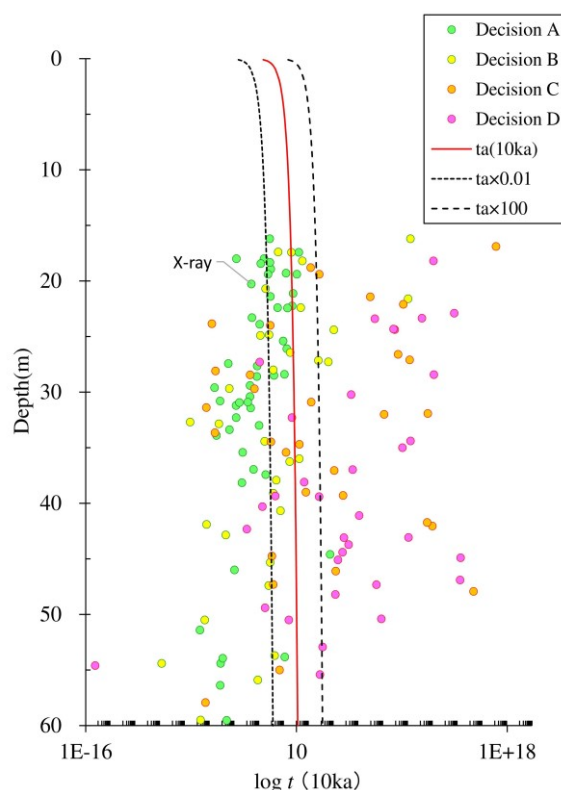


図 5-3 4 圧縮曲線の形状による乱れの程度の判定結果と堆積年代の計算結果

5-4-5 粘土層厚の違い

Bjerrum の概念図では、粘土層の厚さや排水条件、透水係数などは無関係である。海成粘土であれば、均一で厚い粘土を想定できるであろう。一方、白竜湖軟弱地盤は、粘性土と砂質土が幾重にも互層を成しており、時折有機質土が入り込む。さらに、それぞれの土層の厚さは様々である。図 5-3 5～図 5-3 7 は、評価対象の試料を採取したボーリング調査孔の柱状図と過圧密比とを比較したものである。（図中散見される矢印については次章で触れる。）調査孔 1 箇所当たり、3 列のグラフとなっており、左図が柱状図に試料採取深度を示したものの、中図が対象の過圧密比、右図は全データとの比較になっている。

第5章 地盤の疑似過圧密特性と試料の乱れ

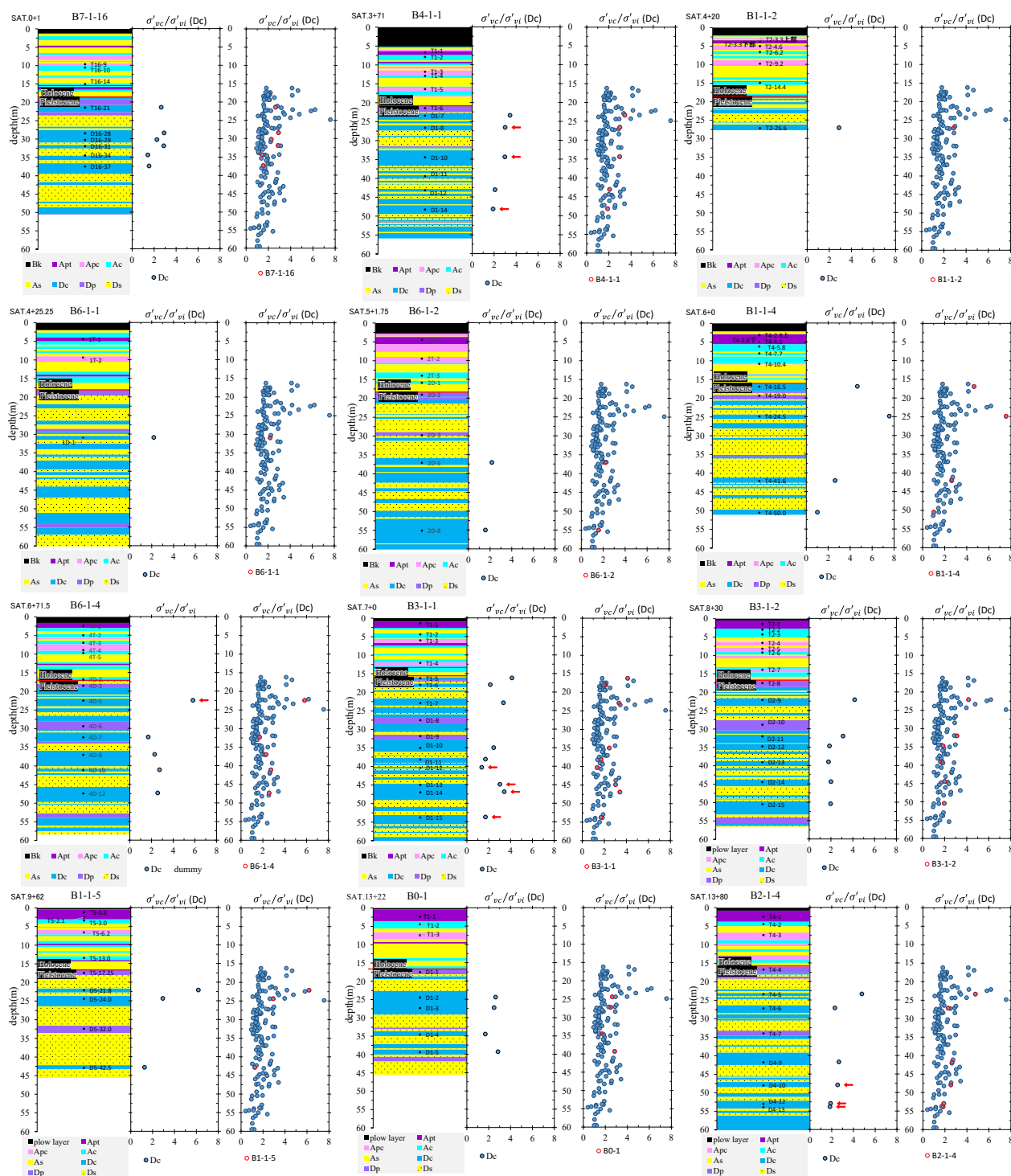


図 5-35 柱状図と過圧密比の比較 (1/3)

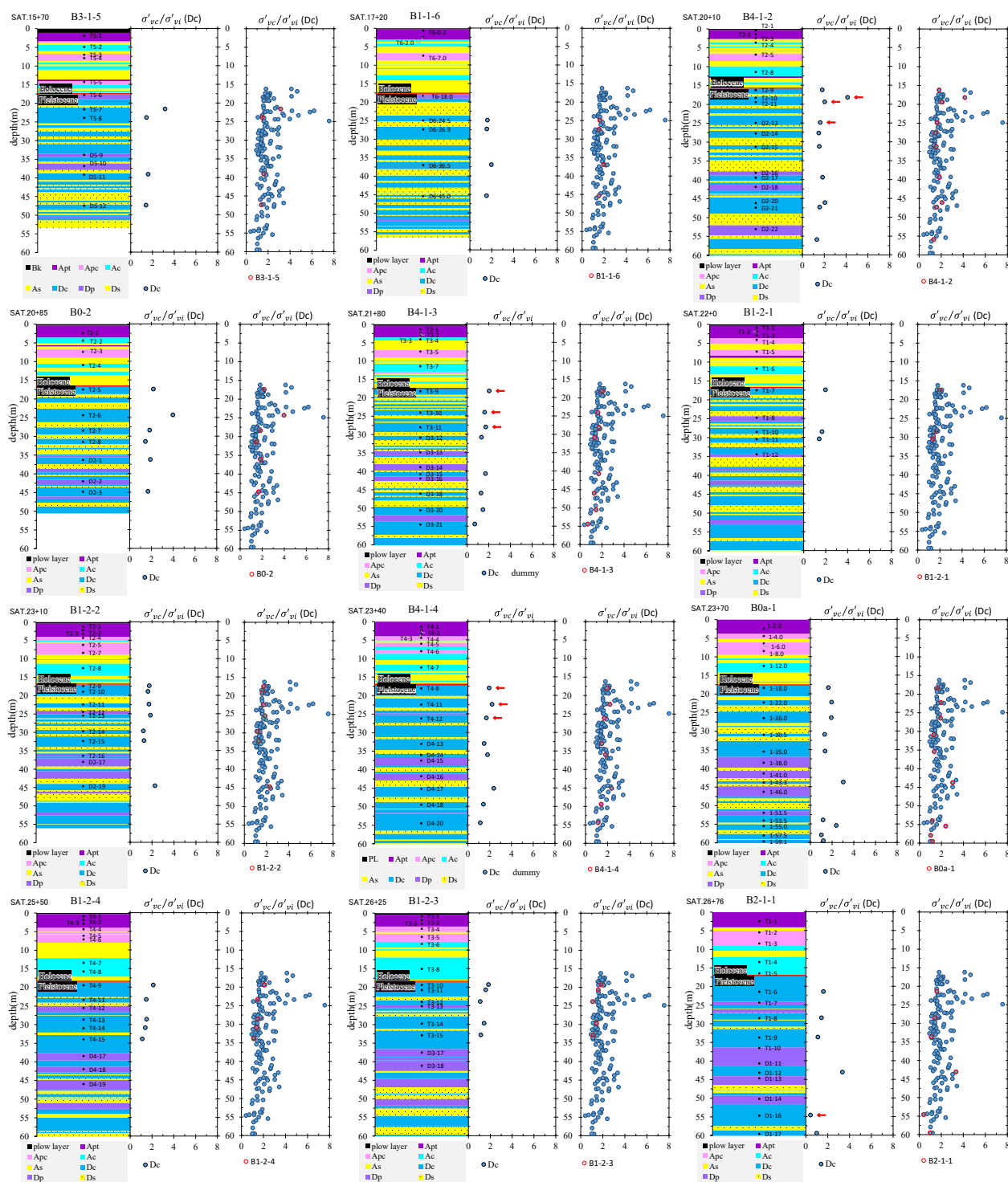


図 5-36 柱状図と過圧密比の比較 (2/3)

第5章 地盤の疑似過圧密特性と試料の乱れ

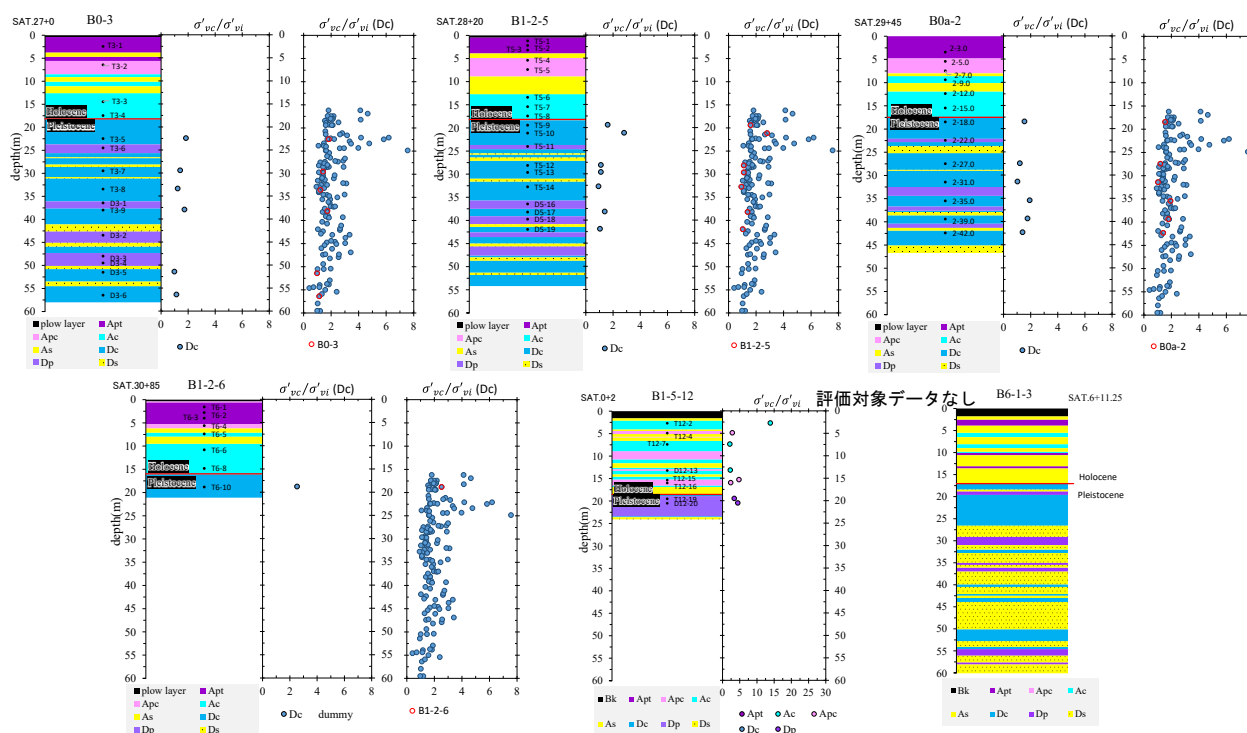


図 5-37 柱状図と過圧密比の比較 (2/3)

図 5-35～図 5-37を見ると、様々な層厚のデータを使用していることが分かる。また、ほとんどの粘性土層は、その上下を砂質土層に挟まれている。図 5-38に、評価対象の粘性土を採取した土層の厚さと過圧密比の関係を整理した。粘性土層厚が薄ければそれだけ排水距離が短くなり、圧密が促進されそうなものであるが層厚と過圧密比との明確な関係は読み取ることができなかった。

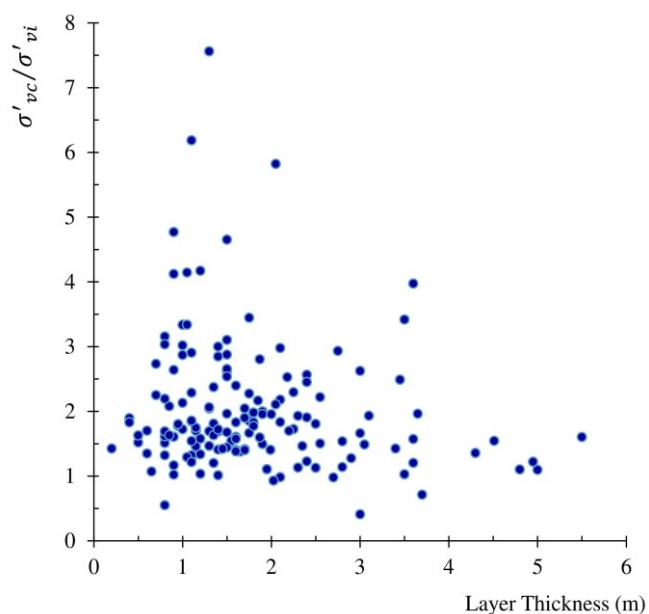


図 5-38 粘性土の層厚と過圧密比の関係

図 5-3 9 に、試料を採取した粘性土層の厚さを 1m 毎に区分したうえ、堆積年代の計算結果 t_i と比較した。図 5-3 8 でも分かるが、多くのデータが層厚 1~2m の粘性土層のものである。層厚 1~2m の粘性土層の t_i は、測定値 t_a と比較して桁違いに小さな値から桁違いに大きな値まで広範囲に分布している。また、層厚が 1m 未満の試料や 3m 以上の試料もデータ数が少ないものの、同様に広範囲に分布していることが分かる。

過圧密比や堆積年代の計算結果に見る限り、層厚は無関係である。

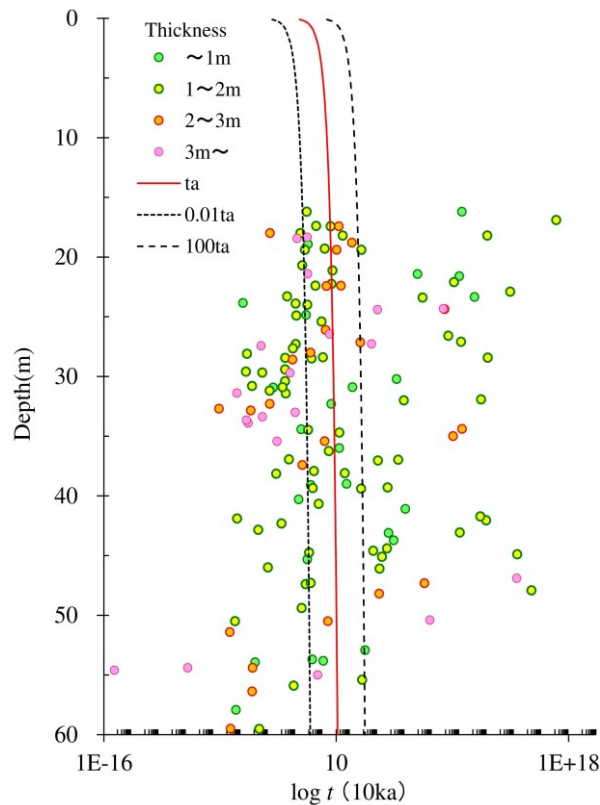


図 5-3 9 粘性土の層厚と堆積年代の計算結果

5-4-6 混入物の影響と X 線透過撮影による供試体作成位置の厳選

図 5-4 0 は、粘性土の強熱減量と試料採取深度の関係を示したものである。採取深度 90m 付近まで、強熱減量を測定したすべての粘性土のデータを示した。白竜湖軟弱地盤の特徴の一つとして、非常に深い位置に有機質分の非常に高い土層が堆積していることが挙げられる。この有機質土層の存在は、他の土層へも影響しているようである。図 5-4 0 を見ると、粘性土であるにも係わらず、非常に高い強熱減量を示した試料がある。これは、粘性土の試料が均質でなく何らかの異物さえ含んでいる可能性があることを示している。

改めてボーリング柱状図の記事を確認すると、全試料採取土層の約 8 割、粘性土においても 7 割以上に何らかの異物の混入が記録されていた。その混入物のほとんどは、「有機物」とされていた。

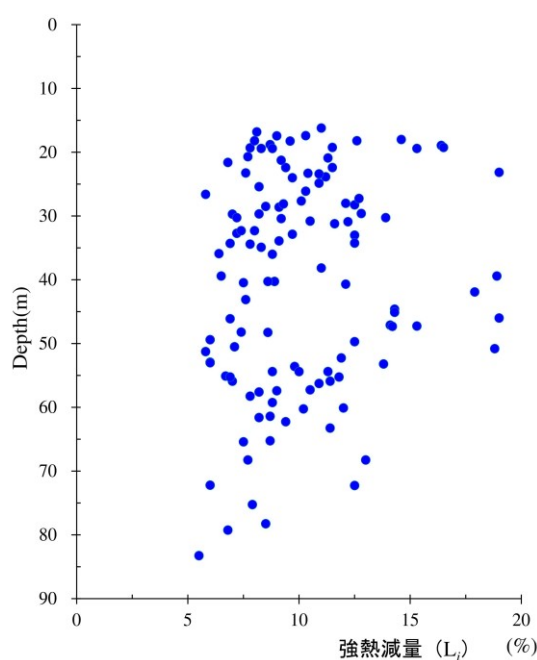


図 5-40 粘性土の強熱減量の深度分布

表 5-1 ボーリング柱状図の記事による混入物の記載の確認結果（全データ）

	n	混入物なし	混入物あり
Apt	47	0	47
Apc	59	5	54
Ac	47	11	36
As	1	0	1
Dc1	31	6	25
Dc2	75	14	61
Dc3	39	12	27
Dc4	18	9	9
Dc5	2	1	1
Dp1	12	2	10
Dp2	10	3	7
Dp3	25	9	16
Dp4	2	2	0
Dp5	0	0	0
Ds3	1	0	1
Ds4	2	1	1
Σ	371	75	296

図 5-4 1 は、サンプリングチューブから押し出した直後の試料を撮影した写真である。図 5-4 1 (a) にはクラックが写っている。(b) には試料の切断面にちょうど茶褐色の混入物が見える。異物は、この例のように切断面に確認できる場合もあるが、供試体の中に紛れ込む可能性がある。これらのクラックや異物の混入は、試料の乱れの大きな要因と成り得る。

図 5-4 2 は、サンプリングチューブ内の試料を、X 線透過撮影した画像の一例である。試料はロータリー式二重管サンプラーを用いて、深度約 45～60m の範囲で採取したもので

ある．サンプリング時に生じたらしき空隙が確認できる．また，細かい筋状の模様が無数に映り込んでいる．これらは，微小なクラックか，ごく薄い有機質土層の何れかであるものと考ええる．石井ら^[23]は，X線透過撮影されたクラックが試料の押し出し後に目視で確信できなくなることを報告している．図 5-4 1 (a) の試料は図 5-4 2 (b) から，図 5-4 1 (b) の試料は図 5-4 2 (c) から採取したものである．図 5-4 1 (a) では，大きなクラックは確認できるものの，図 5-4 2 (b) に見られる微小なクラックのような筋状の模様は確認できない．また，図 5-4 3 は，深度 2m 付近の高有機質土層 (Apt) を X 線透過撮影した画像である．薄い影が無数に映り込んでいるが，これらは泥炭特有の植物の遺骸である．図 5-4 2 (c) の中央付近には，図 5-4 3 と類似した薄い影が映り込んでいる．これらが図 5-4 1 (b) に見られるような有機物であるものと考ええる．逆に言えば，微細な縞模様や，薄い影が映り込んでいるような試料を避ければ，混入物や微小クラックの影響の少ない供試体を作成できる可能性がある．

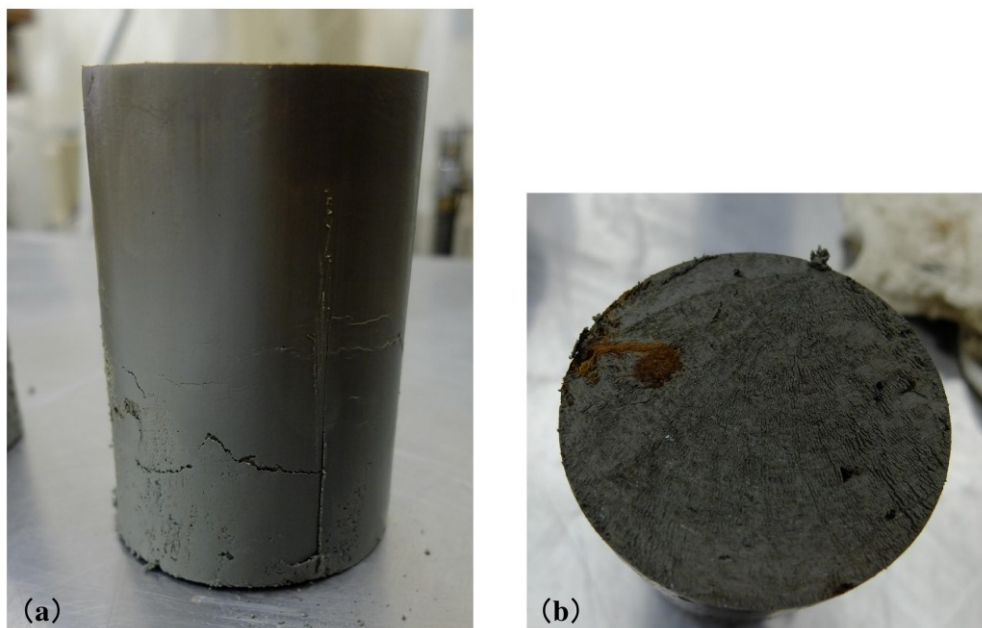


図 5-4 1 採取試料の状態の例

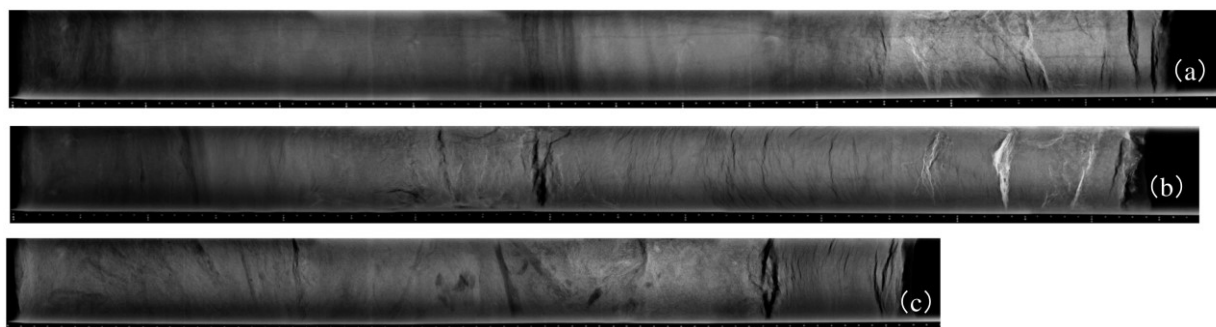


図 5-4 2 採取試料の X 線透過撮影画像の例 (写真提供：応用地質株式会社)

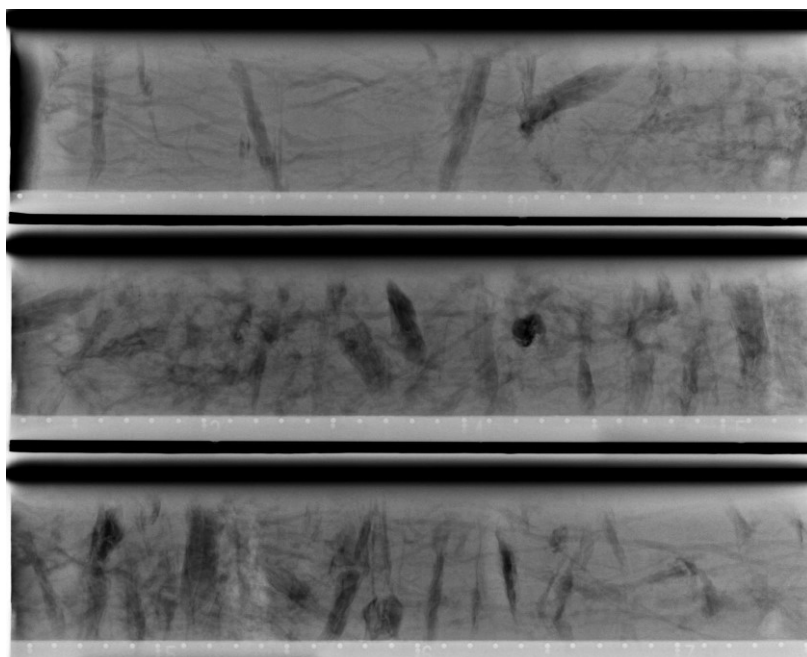


図 5-4 3 高有機質土層 (Apt) の X 線透過撮影画像 (写真提供：応用地質株式会社)

図 5-4 4 は、サンプリングチューブ内の試料を X 線透過撮影して供試体採取位置を厳選した例である。白線の枠で囲んだ範囲で圧密試験の供試体を採取した。範囲内に線状にギャップが見えるが、これは 2 枚の写真を繋ぎ合わせているために生じたものである。図 5-4 2 に比べると、無垢な状態に近い。当該調査孔は、総掘進長 25m であったが、粘性土は深度 20m 付近で 1 箇所採取できたのみであった。

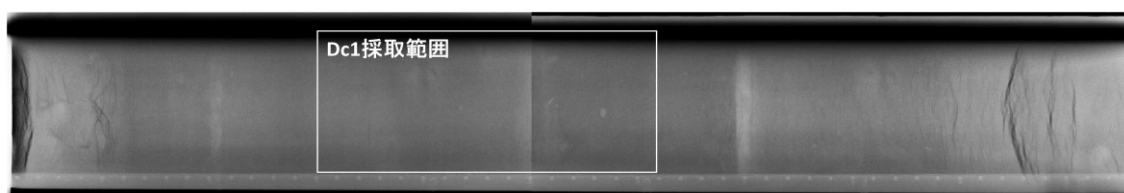


図 5-4 4 X 線透過撮影画像による供試体採取位置の厳選 (写真提供：応用地質株式会社)

図 5-4 5 に当該試料の圧縮曲線、図 5-4 6 に体積圧縮係数と圧密係数を示した。これらの目視判定では、何れも「乱れが小さい」となる。また、 r_{cm} は 1.31 (表 5-2) で土田ら^[9]が示した目安 ($r_c > 1.2$) を満たしている。

図 5-3 1, 図 5-3 4 および図 5-4 7 には、この試料の t_i を「X-ray」としてプロットしてある。深度 20m の t_a は約 4 万年となるが、 t_i を計算した結果は、約 23 年 (表 5-2) となった。

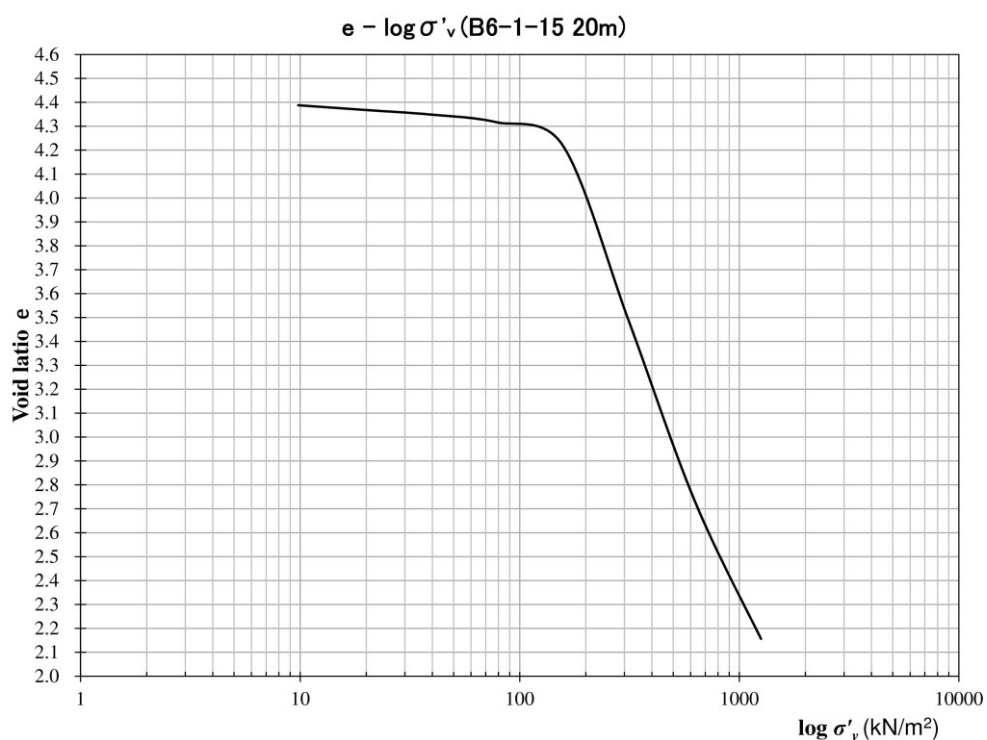


図 5-4 5 目視判定用の圧縮曲線（判定 A：乱れが小さい）

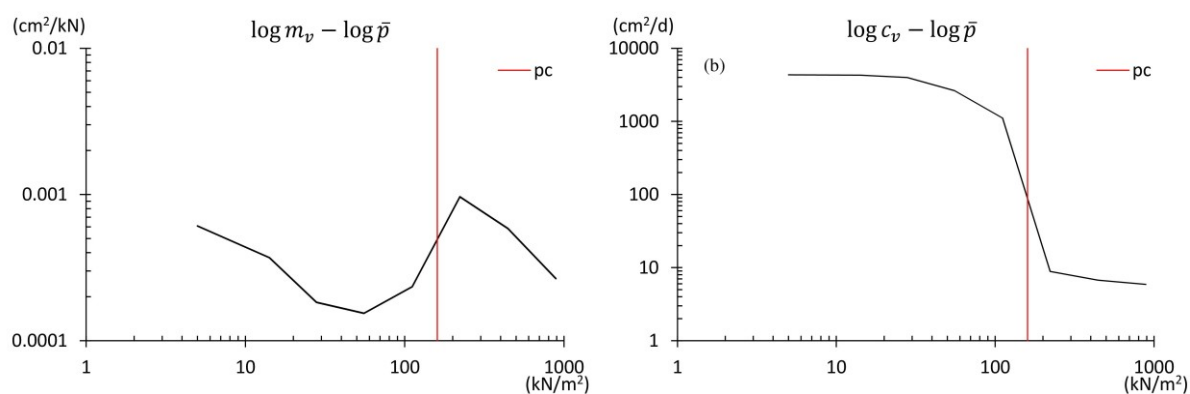


図 5-4 6 目視判定用の体積圧縮係数と圧密係数（判定：乱れていない）

表 5-2 X線透過撮影試料の土質試験結果および堆積年代計算結果

B6-1-15 20m (20.0~21.2m) STA.25+90CL

土層 区分	ρ_t (g/m³)	ρ_s (g/m³)	w_0 (%)	w_l (%)	w_p (%)	e_0	C_c	C_s	C_α	σ'_{vc} (kN/m²)	σ'_{vi} (kN/m²)	t_i (10ka)	r_{cm}
Dc1	1.264	2.611	162.3	91.4	36.9	4.418	2.5	0.332	0.140	160	89.42	0.0023	1.310

図 5-4 7は、試料を採取した土層における混入物の有無と t_i の計算結果の関係を示したものである。混入物の有無は、先に述べたとおり、ボーリング柱状図の試料採取土層の記事欄に混入物の記載があったかどうかで判断している。たとえ、試料に異物が混入していたとしても、厚さ 20mm の圧密試験の供試体中に異物があつたとは限らない。図 5-4 7では、混入物の影響が出ているようには見えない。図には、X 線透過撮影により供試体作成位置を厳選して圧密試験を実施した結果 (X-ray) も示している。

ほとんどの試料に異物が混入していた可能性があるが、圧密試験の供試体自体は混入物の影響を避けて十分に慎重に作成されたものとする。

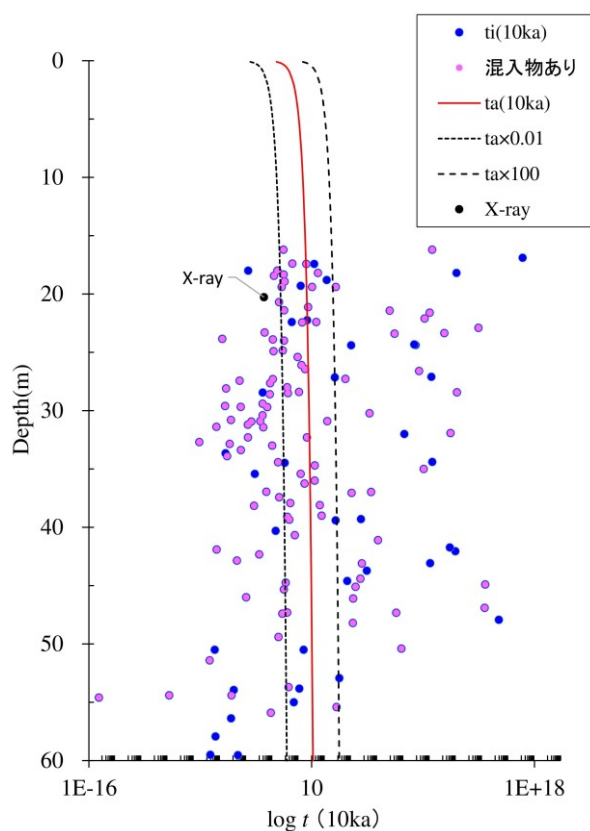


図 5-4 7 試料採取土層の混入物の有無と堆積年代の計算結果

5-5 本章の結論

関口・太田の弾粘塑性構成モデルは、Bjerrum による正規圧密粘土の疑似圧密効果の概念図 [5]、[6] と調和的 [7]、[8] で、両者から式 (5-47) のとおり土層の堆積年代を求める式が導出される。式 (5-47) において、関口・太田の弾粘塑性構成モデルと Bjerrum の概念図との違いは、前者が過圧密比を平均有効応力で求めるのに対し、後者は鉛直方向の有効応力で求めている点のみである。

$$\frac{t_i}{t_c} = OCR^C$$

(5-47)

ただし、

t_i : 堆積年代 (day)

$t_c = 1$ (day)

$OCR = p'_c / p'_i$ (関口・太田の弾粘塑性構成モデル)

$OCR = \sigma'_{vc} / \sigma'_{vi}$ (Bjerrum の概念図)

$C = (C_c - C_s) / C_\alpha$

土層の堆積年代は、第3章で示したとおり、放射性炭素年代測定や火山灰の同定を基に求めることができる。式 (3-1) から、白竜湖軟弱地盤では、約 0.477m/kyr のほぼ一定の速さで堆積が進んだものとする。試料の採取深度に応じて、その土層が地表面だった概ねの時期を知ることができる。これを堆積年代 t_a とすれば、漸増載荷と瞬間載荷の違いはあるものの、式 (5-47) の t_i とほぼ等しくなるはずである。ところが、実際に両者を比較するとほとんどの t_i は t_a と桁違いにかけ離れてしまい、多くの場合で $t_i \approx 0$ (10ka) となった。

t_a は、数千年から数万年という大まかな指標ではあるが、その計算値 t_i と比較することで、地盤の原位置の状況を示す有力な手掛りになり得る。両者の極端な相違は、FEM 解析を拠り所とした長期沈下対策の観点からも看過できない。このような結果となったのは、試料を採取した際の「乱れ」の影響であるものと考えた。「乱れた試料」は、実際の強度より試験結果が低かった可能性がある。このことは、軟弱地盤対策工が過大設計になっている可能性を示唆している。これらの試料の力学的試験の結果は、適切に補正すべきなのではないだろうか。

既往研究で乱れの大きさを示すとされている何れかの指標を用いることで、堆積年代の計算値 t_i が測定値 t_a に比べて極端に小さくなる試料を見極めることが出来るものと考えた。乱れた試料の試験結果を特定したうえで、適正な補正方法を検討すれば良い。表 5-3 に、検討した各指標と t_i と t_a との比較結果を一覧で示す。

表 5-3 乱れの度合を表す指標と t_i と t_a の比較の結果

No.	指 標	結 果 (t_i と t_a の比較)	図表 番号
1	塑性指数 (I_p)	I_p の大小と t_i は無関係である.	図5-24
2	変形係数と非排水せん断強度の比 ($E_{50}/(q_u/2)$ または E_{50}/S_u)	$E_{50}/(q_u/2)$ および E_{50}/S_u の大小と t_i は無関係である. また, 「すべての試料が乱れている」という結果になる.	図5-26
3	圧縮指数比 (r_{cm})	r_{cm} が小さな試料の方が t_i が大きくなる.	図5-28
4	体積圧縮係数と平均圧密圧力の関係の 形状についての目視判定 ($\log m_v - \log \bar{p}$)	「乱れが小さい」と判定した試料は, 比較的 t_i が小さくなる傾向がある.	図5-30
5	圧密係数と平均圧密圧力の関係の形状 についての目視判定 ($\log c_v - \log \bar{p}$)	明確な傾向はない.	図5-30
6	圧縮曲線の形状の目視判定 ($e - \log p$)	「乱れが小さい」と判定した試料は, 比較的 t_i が小さくなる傾向がある.	図5-33
7	粘性土層厚の違い	明確な傾向はない.	図5-38
8	混入物の影響	明確な影響はない.	図5-46
9	X線透過撮影による供試体作成位置の 厳選	No.3,4,5,6で「乱れが小さい」となったが, t_a が約4万年であるのに対し t_i は約23年となった.	図5-46

検討した限りの指標について, 何れも堆積年代の計算値 t_i が測定値 t_a に比べて極端に小さくなるような試料を見極めることができなかった. 変形係数と非排水せん断強度の比では, すべての試料が「乱れている可能性がある」という結果であった. 他の多くの指標は, t_i と t_a の比較結果に無関係であった. 逆に, 圧縮指数比や体積圧縮係数と平均圧密圧力との関係, 圧縮曲線の形状などは「乱れが小さい」と判定した試料の方が堆積年代の計算値 t_i が測定値 t_a に比べて極端に小さくなる傾向さえ示した. さらに, X 線透過撮影により, 供試体の作成位置を厳選した場合でも, t_i と t_a は大きく乖離して t_i が極端に小さくなった.

堆積年代の計算値 t_i が測定値 t_a に比べて極端に小さくなるのは, 計算結果として正しいのではないか. では, なぜそのような結果となるのだろうか. 次章では, 別の観点からの理解を試みる.

《参考文献》

- [1] 豊田邦男, 辻野英幸, 坪田邦治, "道央自動車道(札幌～岩見沢間)軟弱地盤長期沈下と維持管理-供用開始20年後の評価まとめ-," 寒地土木研究所 平成16年度技術研究発表会, 2005.
- [2] H. Sekiguchi and H. Ohta, "Induced anisotropy and time dependency in clays," *Proceeding of Specialty Session 9,9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 229-238, 1977.
- [3] 平田昌史, 飯塚敦, 太田秀樹, "二次圧密による先行効果を考慮した弾・粘塑性構成モデルの拡張," 土木学会論文集C, vol. 69, no. 4, pp. 404-416, 2013.
- [4] H. Ohta, A. Iizuka and S. Ohno, "Constitutive Modelling for Soft Cohesive Soils," *Chapter 13 Soil Mechanics, Geotechnics and Earthquake Geotechnics Towards Global Sustainability*, vol. 15, pp. 231-250, 2011.
- [5] L. Bjerrum, "Embankments on soft ground," *Proc. of the Specialty Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures*, vol. 2, pp. 1-54, 1972.
- [6] L. Bjerrum, "Problems of Soil Mechanics and Constructions on Soft Clays," *Proc. of 8th the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. Session 4, pp. 111-159, 1973.
- [7] 飯塚敦, "沈下予測解析における基準と初期条件の重要性," 土と基礎, vol. 45, no. 2, pp. 11-14, 1997.
- [8] 社団法人 地盤工学会, "地盤の変形解析-基礎理論から応用まで-," 地盤工学・基礎理論シリーズ, vol. 1, pp. 39-64, 2002.
- [9] L. Bjerrum, "Engineering geology of Norwegian normally-consolidated marine clays as related to settlements of buildings," *7th Rankin Lecture, Geotechnique*, vol. 17, no. 2, pp. 81-118, 1967.
- [10] G. Mesri and Y. K. Choi, "Strain Rate Behaviour of Saint-Jean-Vianney Clay," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 831-834, 1979.
- [11] Y. Murakami, "Excess Pore-Water Pressure and Preconsolidation Effect Developed in Normally Consolidated Clays of Some Age," *Soils and Foundations*, vol. 19, no. 4, pp. 17-29, 1979.
- [12] 柴田徹, "粘土のダイラタンシーについて," 京都大学防災研究所年報, vol. 6, pp. 128-134, 1963.
- [13] 太田秀樹, 西原晃, 森田悠紀雄, "論文賞を受賞して," 土と基礎, vol. 34, no. 8, pp. 89-91, 1986.

- [14] H. Ohta and H. Sekiguchi, "Constitutive equations considering anisotropy and stress reorientation in clay," *Proc. 3rd Int. Conf. Numerical Methods in Geomechanics*, pp. 475-484, 1979.
- [15] H. Sekiguchi, "Rheological Characteristics of Clays," *Proc. 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 1, pp. 289-292, 1977.
- [16] G. Mesri and P. M. Godlewski, "Time and Stress-Compressibility Interrelationship," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, vol. 103, no. 5, pp. 417-430, 1977.
- [17] G. Mesri and A. Castro, "Ca/Cc Concept and K₀ During Secondary Compression," *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol. 113, no. 3, pp. 230-247, 1987.
- [18] 中瀬明男, 小林正樹, 兼近明男, "粘土の非排水せん断強度と変形係数," *港湾技術研究所報告*, vol. 11, no. 2, pp. 243-259, 1972.
- [19] 土田孝, 小林正樹, 水上純一, 田中政典, "高温再圧密による海生粘土の年代効果の再現," *港湾技術研究所報告*, vol. 28, no. 1, pp. 121-147, 1989.
- [20] 加藤真司, 佐々木徹, 山田満秀, 澤野幸輝, 齋藤邦夫, 太田秀樹, "有機質土と粘性土および砂質土が互層状に堆積した軟弱地盤における真空圧密工法の適用性," *土木学会論文集C (地圏工学)*, vol. 71, no. 4, pp. 335-351, 2015.
- [21] 小林正樹, 水上純一, 土田孝, "粘性土の水平方向圧密係数の決定方法," *港湾技術研究所報告*, 第 29 巻, 第 2, pp. 63-83, 1990.
- [22] 社団法人 地盤工学会, "地盤材料試験の方法と解説," pp. 462-499, 2010.
- [23] 石井一郎, 吉田稔, 堀江宏保, "x 線透過試験によるサンプリングチューブ内の土の品質評価 (その 2) -クラックの判定方法と試料の力学的特性-, " *港湾技研資料*, no. 575, 1987.