# 自然堆積粘土の原位置初期状態の推定と遅れ圧密沈下の再現

名古屋大学 国際会員 田代むつみ 野田利弘 中野正樹 浅岡顕 日本道路公団試験研究所 国際会員 稲垣太浩

### 1. はじめに

軟弱粘土を含む地盤上に、盛土などの大荷重を 載荷すると、長い時間をかけて大沈下が生じる。 道路用盛土では特に、供用開始後の大きな残留沈 下の発生は、構造物の機能の損傷や、多大な維持・ 補修費につながるため、事前に起こり得る沈下の 「量」や「時間」を予測し、できるだけ残留沈下 が小さくなるように設計・施工が行われる。しか し、**表-1**に示すように、残留沈下が小さい(=沈

軟弱粘土を含む地盤上に、盛土などの大荷重を 表-1 代表的な軟弱粘土地盤地区における沈下量の実態

地区	神田	長島	伊勢	大沢郷	岩見沢
道路名	常磐 自動車道	東名阪 自動車道	伊勢 自動車道	秋田 自動車道	北海道 縦貫道
予測沈下量*	194	120	221	410	不明
現在までの 実測沈下量	343.0	311.7	288.2	392.1	386.1
供用後の 残留沈下量	188.3	122.4	109.4	25.9	55.1

\*大沢郷地区のみ供用5年までの沈下量の予測値を示す 単位:cm

下量の予測値と実測値の差が小さい)場合もあれば、残留沈下が大きい(=予測以上に大沈下が発生する) 場合もある。旧日本道路公団による軟弱地盤上への施工実績は全国で約50地区あるが、そのうち約2割の現 場で1m近くの大きな残留沈下が観測されており、深刻な問題となっている<sup>1)</sup>。

粘土地盤の沈下予測では、通常、原位置から極力『乱さない』で採取した、乱れの少ない粘土試料(以下、 サンプリング試料と略記)を用いて圧密試験を実施し、その結果を用いて沈下計算が行われる。盛土中央直 下に限定すれば、原位置粘土の応力経路は、ほぼ一次元載荷とみなせるため、サンプリング試料の圧縮曲線 と盛土荷重に相当する応力増分から、沈下量を予測する簡便法は広く用いられている。実際、表-1の大沢郷・ 岩見沢地区のように、多くの現場でこの方法はある程度の精度を示している。しかし一方で、神田・長島・ 伊勢地区のように、簡便法で求めた予測値よりも大きな沈下が発生する場合もある。つまり言い換えれば、 室内でサンプリング試料が示す圧縮性が、原位置粘土の圧縮性をよく再現する場合もあれば、原位置粘土の 方が圧縮性が高い場合もある、ということになる。

サンプリング試料も原位置粘土も、「種類」は同じなので、両者の圧縮性の差は、「状態」の違いに起因す る。一般に、試料の採取・試験開始までの過程では、サンプリングチューブからの押し出しや供試体の切り 出しなど、粘土は複雑な応力経路を辿るため、「乱れの少ない」サンプリング試料といえども何らかの乱れを 受けており、原位置からの状態変化は避けられない。その上、乱れは負可逆(塑性変形)であるため、乱れ る前の状態に戻すことは原理的にはできない。しかし、乱れは粘土の種類までは変えないため、最も原位置 の状態に近いサンプリング試料の力学特性を正しく把握できれば、原位置粘土の状態やそこからの力学挙動 の推定を行うことは可能であろう。原位置で起こる沈下を正しく予測するためには、もちろん極力乱れの少 ない高度なサンプリング技術も必要であるが、乱れが及ぼす影響を的確に把握することも大切である。

そこで本論文ではまず、サンプリング試料による典型的な室内試験を対象に、予測以上の大沈下が発生する地区の粘土に共通して見られる特性を把握することを目的とする。これは、予測以上の大沈下が発生するか否かの事前の判定法の提案にもつながる。そして、この特性を弾塑性構成式(SYS カムクレイモデル<sup>2)</sup>)により説明し、さらに原位置粘土の初期状態とそこからの圧縮特性を推定することで、予測以上の大沈下が発生する条件を考察する。

なお、本論文では、原位置初期状態の推定に Schmertmann<sup>3),4)</sup>が提案した圧縮曲線の修正法を参考にした。 Schmertmann は今からは半世紀も前に、粘土の乱れの影響を調べ、乱れを最小限に留めた試料で試験する必

Estimation of in-situ initial conditions of natural deposited soft clay and simulation of delayed consolidation settlemet : Tashiro, M., Noda, T., Nakano, M., Asaoka, A.(Nagoya Univ.) and Inagaki, M. (Central Nippon Expressway Co. Ltd. ).

要性を主張した開拓者である。Schmertmann 以降も、多くの研 究者により、乱れに伴う強度・変形特性の変化とその補正法に ついて実験的に研究が行われているが(例えば文献 5)など)、 実務における沈下予測において、サンプリングに伴う乱れの影 響はあまり重視されていないのが現状である。そこで本論文で は、実際に予測以上の大沈下が観測された長島地区を例に、遅 れ圧密沈下の再現を試みることで、沈下計算におけるサンプリ ングによる乱れの考慮の必要性を示す。

なお、本論文では、土の構成式として骨格構造<sup>6)</sup>(構造・過 圧密・異方性)の働きを記述する弾塑性構成式(SYSカムクレ イモデル)を用いた。詳細は参考文献<sup>2)</sup>に譲るが、この構成式 に基づけば、自然堆積粘土の力学特性を大きく支配するのは「構 造」であり、構造が高位な粘土は同じ応力下でより大きな間隙 比を持ち、同じ間隙比ではより大きな強度を発揮する。また、乱れ に伴う力学特性の変化は、粘土が持つ構造の劣化(低位化)によっ て引き起こされるものが大きく、盛土載荷などにより大きな残留沈 下を生じる原因についても、構造の進行性破壊として表現される。 このため、本論文では構造の大きさと壊れ方(劣化速度)に着目し て議論を進める。

## 2. 予測以上の大沈下が発生する粘土の特徴

車道)に対して、沈下に支配的な粘土

図-1は、表-1の5地区にあわせ、中条地区(日本海沿岸東北自動

層からのサンプリング試料から得た、 「鋭敏比」および「圧縮指数比(サン プリング試料と、同じ含水比のまま十 分練り返した試料(練返し試料)の圧 縮曲線における最急勾配の比(図-2)) を整理した図である。中条地区は、供 用後2年ですでに20~30cmの残留沈下 が観測されており、現在も高い過剰水 圧を残したまま沈下の収束傾向は見ら れず、今後大きな残留沈下が予想され る地区である。よって、図-1では予測 以上の沈下が発生する地区として整理 した。なお、ここで比較した6地区は すべて、盛土高は 7~10m で等しく、荷 重レベルは圧密降伏応力を超えており、 その程度も等しい。

図-1から顕かなように、予測以上の 沈下量が発生する地区の粘土は、「鋭敏 比と圧縮指数比が共に大きい」傾向に













図-2 圧縮指数比の定義

也区(日本海沿岸東北自動

王縮指数比C

あることがわかる。そして、その判定基準は概ね「鋭敏比が8以上かつ 圧縮指数比が1.5以上」として与えることができる。

上記の特徴は、SYS カムクレイモデルに基づくと、図-3、図-4 に示す ように「初期構造が高位でかつ構造劣化が速い粘土」として説明できる。 両図の計算結果は、神田地区の粘土の室内試験結果から、SYS カムクレ イモデルにより再現して得たパラメータ群(表-2)を用い、初期構造の 程度(1/R<sup>\*</sup><sub>0</sub>)と構造劣化速度(構造劣化指数 *a*)を変化させながら、一 軸圧縮試験を想定した非排水せん断応答、および標準圧密試験を想定し た一次元圧縮応答を求めたものである。初期構造が高位(図-3,1/R<sup>\*</sup><sub>0</sub>:大) な粘土ほど、また構造劣化が速い(図-4,*a*:大)な粘土ほど、非排水せん 断時のピーク強度は大きく(すなわち鋭敏比は大きく)、圧縮曲線の最急 勾配が大きくなる(すなわち圧縮指数比が大きい)。

表-2 粘-	:の材料定数
--------	--------

パラメータ	圧縮指数 <i>λ</i>	0.29
	膨潤指数 <i>к</i>	0.05
	限界状態定数 M	1.90
	NCL の切片 N	2.75
	ポアソン比 <i>v</i>	0.1
パラメータ タ	正規圧密土化指数 m	2.0
	構造劣化指数 a	0.22
	b	0.65
	$C_{s}$	0.2
	回転硬化指数 b <sub>r</sub>	0.0
	回転硬化限界定数 mb	1.0

なお、本論文では、「粘土の構造劣化はせん断よりも圧縮で起こりやすい」<sup>7)</sup>、という実験事実を再現する ために、構造の発展則として次式を新たに提案し用いている。

$$\dot{R}^{*} = JU^{*} \left\{ \left( 1 - c_{s} \right) \left( -D_{v}^{p} \right) + c_{s} \sqrt{\frac{2}{3}} \left\| \boldsymbol{D}_{s}^{p} \right\| \right\}, \quad U^{*} = \frac{a}{D} R^{*b} (1 - R^{*})$$
(1)

ここに、 $D_v^p$ 、 $\|D_s^p\|$ はそれぞれ塑性ストレッチングの体積成分と、偏差成分(のノルム)を表す。上式に 基づけば、過圧密解消に伴う塑性体積膨張( $(-D_v^p)<0$ )は、構造の「高位化  $(R^* \rightarrow 0)$ 」を引き起こす。粘 土は構造の劣化に比べて過圧密の解消が早いため、構造の高位化は非排水せん断であればピーク前に、また 一次元圧縮であれば圧密降伏応力前に顕れる。また、構造の劣化速度を決める*a*は、構造の低位化(劣化) のみならず高位化の速度も支配する。よって、自然堆積粘土のように構造を有した過圧密粘土では、構造劣 化速度が速いほど、構造の高位化に伴いより大きな鋭敏比(ピーク強度)を示すが、その後の構造劣化も速 いため同時に圧縮指数比も大きくなる(構造が劣化するのみの発展則では、構造劣化速度が速いほど、圧縮 指数比は大きくなるが鋭敏比は小さくなる)。

骨格構造の発展則は「第2の構成式」とも言えるほど重要であるが、塑性変形に伴い構造・過圧密・異方 性の3つは同時に発達・消滅するため、実験結果から直接それぞれの発展則を決定することは難しい。しかし、 本論文で提案した構造の発展則(式(1))は、「鋭敏比が大きくかつ圧縮指数比も大きい」という特徴を同じ 枠組みで説明することができ、自然堆積粘土の力学挙動をよく再現する発展則として有効と考えられる。

#### 3. 原位置初期状態の推定に基づく予測以上の大沈下が発生する条件

前章より、予測以上の大沈下が発生する粘土の力学特性は、SYS カムクレイモデルに基づけば「初期 構造が高位でかつ構造劣化が速い粘土」として説明できることが分かった。本章でははじめに、サンプ リング試料の圧縮曲線に、サンプリングに伴う乱れを考慮することで、原位置粘土の初期状態を推定す る。そして、原位置粘土と室内のサンプリング試料の圧縮性を比較することで、予測以上の大沈下が発 生する条件を考察する。

## (1) サンプリングに伴う乱れを考慮した原位置初期状態の推定

圧密試験結果に基づく沈下予測の簡便法では、サンプリング試料から得た圧縮曲線(図-5、曲線 Ku)において、有効土被り圧 σ'<sub>v0</sub>に相当する点(点 B)を原位置の初期応力および初期間隙比とみなし、その点から 載荷荷重分の応力増分に対する圧縮量を求めることで、予測沈下量を計算してきた。しかし、サンプリング 試料が原位置から含水比不変のまま試験機にセットされたと考えると、室内試験の初期状態(点 B')の間隙 比  $e_0^a$ こそが、原位置の間隙比を再現していることになる。つまり、同 じ応力状態  $\sigma'_{v0}$ における点 A と点 B の間隙比の違いは、サンプリング から試験機セットに至るまでに生じた乱れに起因すると考えられる。 そこで本論文では、原位置の初期鉛直応力・初期比体積(=初期間隙 比+1)を、サンプリングに伴う乱れを考慮した場合は点 A( $\sigma'_{v0},v_0^a$ (= $e_0^a$ +1))と想定し、乱れを考慮しない場合(簡便法)は点 B( $\sigma'_{v0},v_0^b$ (= $e_0^b$ +1)) として定義した。

SYS カムクレイモデルでは、比体積と応力状態の他に、3 つの骨格 構造(構造 $R_0^*$ ・過圧密 $R_0^*$ ・異方性 $\zeta_0$ )により、土の初期状態を表現 する。これらの初期状態量には(2)式の関係があるため、例えば粘土で あれば異方性の発達・消滅が非常に遅い性質を仮定すれば、室内試験 結果を SYS カムクレイモデルの応答で再現することにより、各々を定 量的に求めることができる。

$$N - v_0 - \widetilde{\lambda} \ln p'_0 - \left(\widetilde{\lambda} - \widetilde{\kappa}\right) \ln \left(\frac{M^2 + (\eta_0 - \zeta_0)^2}{M^2} \frac{R^*_0}{R_0}\right) = 0$$

乱れを考慮しない場合(簡便法に相当)では、 サンプリング試料がそのまま原位置粘土を再現 するとみなすため、サンプリング試料の圧縮曲 線を再現することで、直接原位置の初期状態が 決まる。一方、サンプリングに伴う乱れを考慮 する場合には、原位置初期状態とみなした点 A (図-5)から、新たに原位置粘土の圧縮曲線を

(図つ)から、新たに原位直柏上の圧相曲線で 推定する必要がある。

そこで本論文では、Schmertmann<sup>3), 4)</sup>の提案し



鉛直有効応力 σ', (対数目盛) 曲線 Kr:練返し試料の圧縮曲線 曲線 Ku:サンプリング試料の圧縮曲線 曲線 K:原位置圧縮曲線

図−5 Schmertmann<sup>3)4)</sup> による 原位置圧縮曲線の図解法

**表-2** サンプリングに伴う乱れを考慮した 原位置初期状態の推定法

(2)

原位置の初期状態量		推定方法		
比体積 v(=1+e)		サンプリング試料の試験開始時の値		
応力 状態	鉛直有効応力 $\sigma'_{v0}$	有効土被り圧		
	側圧係数(応力比) K <sub>0</sub>	一般的な値 $K_0=0.5$ ( $\eta_0=0.75$ )		
骨格 構造	異方性ζ0	サンプリング試料の試験開始時の値		
	構造 1/R <sup>*</sup> 0	上記4つの推定値を満たし、サンプリ		
	過圧密 1/R <sup>*</sup> 0	ング試料と圧密降伏応力が等しい値		

た図解法を参考に、サンプリングに伴う乱れを考慮した場合の原位置粘土の圧縮曲線 K を推定し、初期状態 を推定した。この図解法の詳細は文献 8),9)などにも記されているため省略するが、原位置圧縮曲線は図-5 に示すように、初期状態(A)~圧密降伏応力(D)~曲線 Ku 上の初期間隙比の 0.4 倍の点(F)の 3 点を結ぶ曲線と して提案されている。ここで最も重要な点となるのが、圧密降伏応力を示す点 D である。Schmertmann は原 位置圧縮曲線の圧密降伏応力については、いくつかの推定方法を提案をしながらも言及はしておらず、また 同時に、乱れに伴い圧密降伏応力は減少するという実験事実も示している。乱れの程度が正確に分からない 限り、サンプリング過程で圧密降伏応力がどの程度減少したのかを求めることは難しい。そのため、後世の 文献<sup>8),9)</sup>では、サンプリング試料の圧縮曲線 Ku から求めた圧密降伏応力を、そのまま原位置圧縮曲線 K に 適用している。本論文では、簡易的にこれらの方法に倣うこととし、「サンプリング試料と原位置粘土の圧密 降伏応力は等しい」として原位置粘土の圧縮曲線を求め、原位置初期状態の推定を行った(**表**-2)。

なお、室内試験で有効土被り圧までの応力経路(図-5の点 B'から点 B)を与える間にも、塑性変形の進展 により骨格構造は変化する。そのため本論文では、サンプリングの乱れを考慮しない場合、骨格構造の初期 値は、室内試験開始時(点 B')における値と等しいとした。以上より、原位置粘土の初期状態は、次のよう に推定される(図-5参照)。

サンプリング時の乱れを考慮した場合:  $(\sigma'_{\nu 0}, v_0^a, R^{*_a}_{0}, \zeta_0)$ 

サンプリング時の乱れを考慮しない場合(簡便法に相当): (σ'<sub>ν0</sub>, v<sub>0</sub><sup>b</sup>, R<sup>\* b'</sup>, ζ<sub>0</sub>)

次章、図-9でも示すが、乱れを考慮した場合の方が、原位置の初期比体積は大きく(v<sub>0</sub><sup>a</sup>>v<sub>0</sub><sup>b</sup>)、それに伴い

初期構造は高位になる  $(1/R_0^* > 1/R_0^*)$ 。

# (2)構造劣化に見る予測以上の大沈下が発生する条件

図-6は、上記の推定方法に基づき、構造 劣化が遅い粘土と速い粘土、初期構造が高 位な粘土と低位な粘土に対して、それぞれ 室内におけるサンプリング試料の圧縮曲線 を破線で、そこからサンプリングによる乱 れを考慮して推定した原位置粘土の圧縮曲 線を実線で示す。200kPaの盛土載荷を想定 して、有効土被り圧からの圧縮量を比較す ると、前章で求めた「鋭敏比と圧縮指数比 が大きい」、すなわち「構造が高位でかつ劣 化が速い粘土」は、原位置粘土の方が圧縮 量が大きいことが分かる(図-6(a)[1])。つ まり、図-7(a)の長島地区のような粘土は、 室内試験のサンプリング試料から求める予 測沈下量よりも、原位置では大きな沈下が 起こる可能性がある。

一方、図-7(b)の大沢郷地区の粘土のよう に、練返し試料に比ベサンプリング試料の 間隙比が大きく初期構造が高位な粘土であ っても、構造劣化が緩慢な粘土では、サン プリング試料と原位置粘土の載荷に伴う圧



図-7 圧縮曲線の比較

縮量がほぼ等しいため(図-6(b)[1])、簡便法による予測値と実測値は比較的良く合う。また、構造が低位な 粘土の場合(図-6(a)(b)の[2])も、構造劣化の影響が少ないため、サンプリング前後での圧縮性の変化は小さ く、実測と予測が合いやすい。

ただし、長島地区のような粘土であっても、圧密降伏応力を大きく超えて載荷が行われた場合には、サン プリング試料と原位置粘土の圧縮性の差は小さくなる。そのため、圧 <sub>供用開始</sub>

縮指数比と鋭敏比がともに大きい粘土であっても、荷重レベルによっては残留沈下が小さい場合もある。

# 4. 水~土連成有限変形計算<sup>10)</sup>による遅れ圧密沈下の再現

東名阪自動車道の長島地区(蟹江 IC~桑名 IC 間)は、木曽三川下 流部の大規模な沖積地盤上に位置する。最も盛土高が大きい長島 IC 付近(計画盛土高:7.4m)は、建設当初の予測残留沈下量が20~30cm であったのに対し、供用後20年で約1mもの残留沈下が観測された<sup>1)</sup>。 当該地区は海抜が低く地下水揚水に伴う広域地盤沈下地区であるが、 図-8に示すように広域地盤沈下と通常の圧密理論に基づく沈下だけ では説明のできない沈下が盛土載荷に起因して発生したといえる<sup>11)</sup>。 現在沈下は収束傾向にあるものの、沈下に伴う段差修正は2年に1度





実施されている。

長島地区の沖積層は、上下を砂層に挟まれた約 30m もの厚い海成粘土層から構成されており(図-9)、この粘土層が沈下の原因になっている。図-2,図-7(a)からも分かるように、この粘土は鋭敏比が大きく,圧縮 指数比が大きい、すなわち乱れにより圧縮性が変わりやすい粘土である。そこで本章では、長島地区の平地 部(盛土載荷の影響が少ない場所)から採取した、採取深度の異なる5つのサンプリング試料の室内試験を 元に、図-9に示すように、サンプリングによる乱れを考慮しない場合(白丸)、考慮する場合(黒丸)の2 種類の初期地盤性状を推定し、沈下計算に与える影響を比較した。ボーリング調査による比体積分布をでき るだけ忠実に再現するため、粘土層を7つに分割し、各層内で比体積・構造・異方性は一定と仮定して、土 被り圧に応じて過圧密比分布を決定した。サンプリングに伴う乱れの考慮の有無を比較すると、乱れにより 構造は劣化(低位化)し比体積が小さくなること、また原位置で構造高位な粘土ほど乱れに伴う構造の低位 化が顕著であることが分かる(粘土-4層)。

解析に用いた材料定数を表-4 に示す。粘土1~7 層は連続しており(図-9) 滑らかな自然含水比分布を示 していることから全て同一材料とみなした。なお、砂層は採取試料が無いため、上部の砂-1 は中密砂を、下 部の砂-2 は密砂の状態を想定し、典型的な砂(珪砂)の材料定数を用いた。透水係数は砂、粘土の一般的な 値としたが、上下の砂層を考慮して粘土-1,7 のみ透水性を若干大きくした。

有限要素メッシュと境界条件は図-10に示すように、平面ひずみ条件と左右対称性を仮定し、1/2 断面を解 析領域とした。また、地盤の上端は常に地表面と水位面が一致するようにし、下端は砂礫層の存在を考慮し て排水境界とした。

本解析における載荷履歴を図-11に示す。長島地区の載荷履歴を参 考に2段階で計画盛土高まで載荷した。その後、オーバーレイの履歴 が不明のため、やや過剰見積ではあるが、供用後20年で実測された沈 下量分を続けて載荷した。

図-12 に水~土連成変形解析による盛土中央における沈下量の解析 結果を示す。図-8に示した長島地区の広域地盤沈下は、本解析領域以 深の洪積粘土層が原因であると考えられるため、ここではその量を差 引いた盛土載荷に起因した沈下量(図-8③)を実測値として比較した。 乱れを考慮しない初期地盤性状を用いた場合には、実測よりも沈下の 収束が早く、また沈下量も少ない解析結果となった。一方、乱れを考 慮した場合には、定量的にも定性的にも実測値をよく再現した。

盛土中央直下の粘土層の要素の挙動を比較すると(図-13)、乱れを 考慮した場合は、高位な構造が顕著に劣化した結果、圧縮中の有効応 力の減少(軟化)・停滞に伴い間隙水圧消散が遅れ、ダラダラとした継 続沈下につながることが分かる(遅れ圧密沈下のメカニズムは、文献 12)などを参照)。

本論文では前章で述べたように、「サンプリング試料と原位置粘土の 圧密降伏応力は等しい」と仮定して、原位置粘土の初期状態を推定し た。しかし、Schmertmann<sup>3)4)</sup>や Shogaki<sup>5)</sup>の実験結果、Noda, et al.<sup>13)</sup>の計 算結果が示すように、粘土の圧密降伏応力は乱れにより減少するので あるから、サンプリング試料よりも原位置粘土の圧密降伏応力はもっ と大きい可能性がある。図-3(b)の計算結果からも分かるように、圧密 降伏応力が大きな粘土ほど構造は高位であり、より遅れ圧密沈下の危

乱れを考慮し 2.6 120 160 Mean Effective Stress p'(kPa)**図-13** 要素の挙動の比較

(盛土中央直下、粘土-3 層)

険性が高い粘土である。原位置粘土の圧密降伏応力を実験的・計算的に、より正確に算定することは、今後 の課題である。

最後に、通常の実務設計における沈下予測では、盛り立て中の沈下に追随して発生するオーバーレイ荷重 は考慮しないことが多いが、これも、予測沈下量を小さくするひとつの要因と考えられる。

#### 5. まとめ

自然に堆積した粘土は、一般に骨格構造が発達した状態にあるが、その程度や塑性変形に伴う消滅・発達 の仕方は、それぞれの粘土の堆積環境に応じて異なる。その結果、同じ荷重条件の元でも、残留沈下が小さ い場合もあれば、大きい場合もある。本論文では、残留沈下が大きい粘土とは「サンプリング試料から求め た予測沈下量よりも、原位置で大きな沈下を示す粘土である」と考えた。そして、この種の粘土の判定法を 提案し、また予測以上の大沈下が生じる条件を弾塑性力学に基づき説明した。さらに、水〜土連成有限変形 により、沈下予測におけるサンプリングに起因した乱れの考慮の必要性を示した。以下に、本論文で得られ た知見を示し結論とする。

- 予測以上の大沈下が発生する粘土は、サンプリング試料の室内試験結果において、鋭敏比と圧縮指数 比がともに大きい傾向を示す。その判定基準は概ね「鋭敏比が8以上かつ圧縮指数比が1.5以上」と して与えることができる。
- 上記の特徴は、SYS カムクレイモデルに基づくと、高位な構造を有しさらに塑性変形に伴いその状態 が変化(劣化)しやすい粘土として記述できる。

![](_page_6_Figure_12.jpeg)

![](_page_6_Figure_13.jpeg)

- できるだけ乱さないように採取したサンプリング試料であっても、サンプリング過程から試験開始までの間に何らかの乱れを受けており、原位置からの状態変化は避けられない。原位置からの乱れの程度を正確に把握することは困難であり、原理的に乱れる前の状態に戻す事はできない。しかし、サンプリング試料の圧縮曲線からその粘土の力学特性を把握することはでき、乱れる前の状態の推定も可能と考える。
- 構造高位で劣化速度が速い粘土は、原位置粘土に比べて室内のサンプリング試料の方が乱れに伴い圧 縮特性が小さくなる傾向があるため、沈下量が小さく見積もられる危険性がある。また、このような 粘土を有する地盤では、『圧縮を伴う軟化』に起因して過剰水圧の消散が遅れ、長期に亘る沈下につな がる可能性も高い。

より精度の高い沈下予測を行うためには、原位置粘土の初期状態を正しく把握する必要があり、実験的・ 計算的事実に基づく原位置初期状態の推定法の確立は、今後の課題である。一方、鋭敏比・圧縮指数比など、 典型的な室内試験結果から得られる指標から、予測以上の大沈下の可能性を事前に判定することは、実務に おける粘土地盤の合理的な設計法の確立に有益であると考える。

# 参考文献

- 1) 財団法人高速道路技術センター:軟弱地盤工の設計・施工に関する検討報告書 道路公団委託,2004.
- 2) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, T., Kaneda, K. and Nakano, M. : An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002.
- 3) Schmertmann, J.H. : Estimating the true consolidation behavior of clay from laboratory test results, ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol.79, separate No.311, pp.1-26, 1953.
- Schmertmann, J.H. : The Undisturbed consolidation behavior of clay, Transactions, ASCE, Vol.120, pp.1201-1233, 1955.
- 5) Shogaki, T. : A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soils and Foundations*, Vol.36, No.3, pp.123-131, 1996.
- 6) 三笠正人: 土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, Vol.12, No.4, pp.17-24, 1964.
- 7) 田代むつみ,中野正樹,野田利弘:遅れ圧密沈下を引き起こした自然堆積粘土に見られる弾塑性諸特徴, 第61回土木学会年次学術講演会,発表予定,2006.
- 8) Terzaghi, K. and Peck, B. : Soil Mechanics in Engineering Practice1, 1948.
- 9) 渡邉崇博, 鈴木一正, 菅原紀明, 栃木博: 現場技術者のための軟弱地盤対策ポケットブック, pp.76-79.
- Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T. :Soil-water coupled behavior of saturated clay near/at critical state, *Soils and Foundations*, Vol.34, No.1, pp.91-105, 1994.
- 11) 東海三県地盤沈下調査会:水準点成果表, 1999.
- 12) 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.41-53, 2005.
- Noda, T., Yamda, S. and Asaoka, A. : Elasto-plastic behavior of naturally deposited clay during/after sampling, *Soils and Foundations*, Vol.45, No.1, pp.51-64, 2005.