

地盤解析技術 **GEOASIA**[®]

ALL SOILS ALL STATES ALL ROUND
GEO-ANALYSIS INTEGRATION

砂から中間土や粘土までを対象に、動的か静的かを問わず、地盤の変形と破壊を求めます。



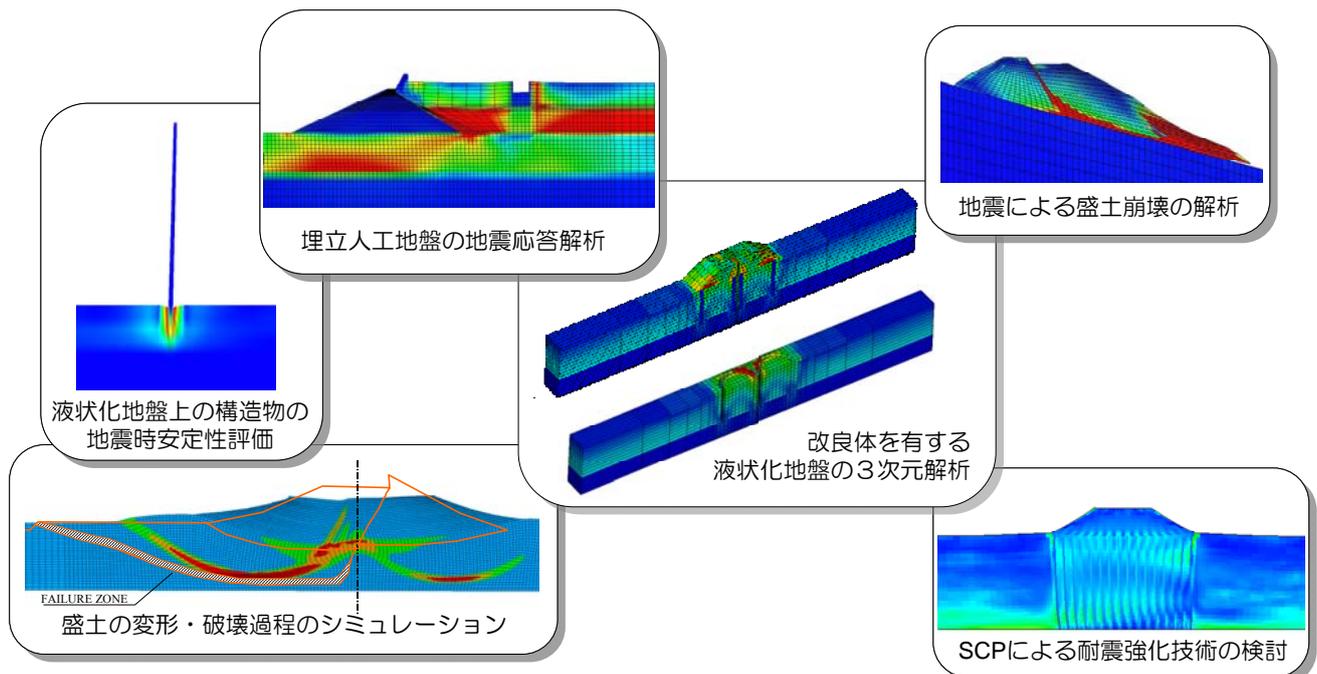
GEOASIA[®]とは

ALL SOILS ALL STATES ALL ROUND GEO-ANALYSIS INTEGRATION (略称：**GEOASIA**[®] (ジオアジア)) は、名古屋大学地盤研究グループにより開発された地盤解析技術です。

【特許登録日】 2010年1月22日 【登録番号】 特許 4441693

【発明者】 浅岡顕 (名古屋大学名誉教授、(財)地震予知総合研究振興会副首席主任研究員)、
野田利弘 (名古屋大学教授)、 中野正樹 (名古屋大学教授)

- 土骨格の働きに着目して土骨格の力学挙動を記述する弾塑性モデル (SYS カムクレイモデル)
- 水～土骨格連成解析 (有効応力解析)
- 有限変形解析
- 静的・動的対応
- 2次元 (平面ひずみ・軸対称)、3次元対応
- 飽和地盤の圧密、変形、支持力、安定、破壊、液状化、締固め… あらゆる力学状態に対応





特徴

従来の地盤解析技術は、圧密専用、支持力専用、液状化専用…のように、解析者の問題意識に基づく使い分けが常に必要な、特殊な専用ツールでした。つまり、解析者が「地盤に何が起きるか」をあらかじめ決めた上で、使用する専用ツールを決定する必要がありました。

これに対し、地盤解析技術 **GEOASIA**®は、その名が示すとおり、

- ALL SOILS** 砂から粘土まで、中間土や人工処理土まで、あらゆる土と地盤を対象
- ALL STATES** 変形から破壊まで、あるいは液状化から圧密まで、あらゆる力学状態を対象
- ALL ROUND** 静的と動的を問わずあらゆる種類の外力を対象

つまり**解析対象を特定しない**ことが最大の特徴です。盛土・掘削、締固め、さらには地震など、地盤に作用するさまざまな外乱の時系列のもとで、地盤に何がどのように起こるのか、変形か破壊か、破壊のあとにはどうなるかなど、「土質試験」のデータと考えられる外力形態をそのまま入力することにより教えてくれる、まったく**新しい地盤解析技術**です。



GEOASIA®の構成

GEOASIA®は、自動車に例えると、次のような構成となります。



Engine
(エンジン)

土質力学（弾塑性構成式）＝ **SYS カムクレイモデル**



Chassis
(シャーシ)

数学（連続体力学、幾何学、微分方程式、数値解析）
水～土骨格連成解析（**有限変形・慣性力対応**）

Engine となる **SYS カムクレイモデル** は、**カムクレイモデル**を土台に、**土の骨格構造**の働きを記述する弾塑性構成モデルで、名古屋大学地盤研究グループにより開発されたモデルです。

カムクレイモデルは、よく繰り返して正規圧密状態にした粘土（言うならば「死んだ土」）の実験データから作られたモデルのため、自然の土（「生きた土」）への適用には限界がありました。

自然の土は、嵩張った状態（間隙比が同じならより大きな力に耐え、力が同じならより大きな間隙比を持つ）にあり、異方性を持ち、しかも過圧密状態にあって、これらの状態が外力によってどんどん変わることにより「死んだ土」に比べて非常に複雑な（生き活きとした）力学挙動を示します。

SYS カムクレイモデルでは、このような「死んだ土」と「生きた土」の違いを、**土の骨格構造**の働きの違いとして説明することにより、

緩い砂から密な砂まで、自然堆積粘土から練り返した粘土まで あらゆる状態
砂から粘土まで、中間土や人工処理土まで あらゆる種類の
非常に広範な土の力学挙動を対象にして、同一理論的枠組で記述することを可能にしています。

さらに **GEOASIA**®の Chassis では、基礎方程式の段階から幾何学的非線形性を考慮した**有限変形理**
論を用い、**慣性力**を考慮しています。これにより、変形から破壊まで、静的でも動的でも、地盤が土で
出来ている限り、1つのプログラムで問題を解くことができます。



一般社団法人 **GEOASIA**®研究会

GEOASIA®研究会は、地盤解析技術 **GEOASIA**®の不断の高度化に努めるとともに、同プログラムの
普及を通じて地盤の力学応答の時刻歴解析に関する総合科学技術に携わる技術者の学術的、社会的地位
向上に資することを目的として、2006年に任意団体として設立されました。2009年には、非営利
型の一般社団法人として組織変更を行っています。2011年9月現在の会員数は、法人会員26団体、
個人会員66名となり、官公庁、企業、大学等と幅広い委託研究活動を行なっています。

【活動内容】

1. 地盤力学・地盤工学の理論的及び実務的問題の解決を通じて、プログラムの不断の高度化を図るた
めに、調査・資料収集、セミナー、研究発表会、展示会等を開催する。
2. 会員がプログラム **GEOASIA**®の習得を通じて地盤力学・地盤工学の理解を深めることを支援し、こ
のために会員教育と表彰の活動を行う。また、別途定める教育終了会員には“**GEOASIA**® Master”
の称号をおくる。
3. 官公庁、企業、大学等において行われる、地盤工学に関する調査・設計及び技術開発・研究開発をプ
ログラム **GEOASIA**®の利用によりはじめて得られる知見を用いて支援するために、調査・研究の受
託、情報提供、技術指導、普及開発をおこなう。

詳しくは研究会のHP (<http://www.geoasia.jp>) をご覧下さい。



GEOASIA®の利用について

地盤解析技術 **GEOASIA**®は、知的財産の保護と技術内容の積極的公開という基本的な考え方に基づ
き、特許を取得しております。このため、解析業務の委託資格者は、原則、一般社団法人 **GEOASIA**®
研究会の法人会員に限らせて頂いております。また、**GEOASIA**®による解析業務は、研究会が定めた教
育プログラムを終了した会員（**GEOASIA**® Master）が行っています。地盤解析技術 **GEOASIA**®によ
る解析業務を希望される方は、当研究会事務局までご連絡下さい。



GEOASIA®による委託研究実績 (例)

軟弱地盤の圧密沈下問題

- 盛土載荷に伴う軟弱地盤（国内外の軟弱粘土、PEAT地盤）の長期・大沈下の事前判定と沈下の将来予測、対策工の検討
- 地下水揚水に伴う周辺地盤への沈下の影響

地震中／地震後挙動の予測

- 盛土の拡幅工事の設計に先立つ耐震性評価
- 盛土の崩壊過程の予測シミュレーション（解析競技ブラインドテストへの参加）
- 能登半島地震における傾斜地盤上盛土の崩壊メカニズムの解明
- 地表面や基盤が傾斜した不整形地盤上の盛土の地震時挙動の検討
- 軟弱地盤上の各種構造物の地震時安定性評価
- ダムの耐震性能照査
- 中間土による埋立人工島の地震応答解析
- 東日本大震災における細粒分を多く含む砂質系表層土の液状化メカニズムの解明

地盤強化技術の開発

- （格子状）深層混合処理を施した液状化地盤の3次元解析
- シートパイル・タイロッドによる耐震性向上の検討
- SD（サンドドレーン）改良による埋立護岸の液状化変形抑止効果の検討
- SCP（サンドコンパクションパイル）改良地盤の地震応答解析
- 石灰改良盛土の地震時安定性評価

新しい土質力学への提言

- 破碎・混合、固化による新地盤材料の開発と品質保証
- 土の締固め基準への提言（地震・豪雨に強い盛土を目指して）



外部からの評価 (例)

- “液状化に限定しない地盤の強化技術の発展的見直しに繋がる学術的, 工学的進展に寄与できる可能性のある研究” **国土交通省の建設技術研究開発費補助金総合研究**
(研究代表者: 浅岡顕, 研究分担者: 中野正樹, 野田利弘, 研究期間: 平成 17 年度~平成 19 年度, 研究課題名: 中間土からなる人工島・護岸構造物の耐震性能評価—液状化・揺すり込み変形抑制の地盤強化技術の開発—, **GEOASIA**®による一連の解析成果に対する研究終了後の事後評価)

- “日本が世界をリードする研究” **日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(S)**
(研究代表者: 野田利弘, 研究分担者: 浅岡顕, 中野正樹, 中井健太郎, 課題番号:21226012, 研究期間: 平成 21 年度~平成 25 年度, 研究課題名: 海溝型連発大地震も視野に入れた我が国沿岸域の耐震性再評価と地盤強化技術の検討—, 審査を担当した工学Ⅱ小委員会による採択に係るコメント)

- **平成 21 年度文部科学大臣表彰 (科学技術賞研究部門)** (浅岡顕, 中野正樹, 野田利弘, 中井健太郎: 弾塑性力学に基づく地盤の静的・動的応答解明の体系的研究)

- **平成 21 年度地盤工学会論文賞** (Noda T., Asaoka A. and Nakano, M. (2008): Soil-Water Coupled Finite Deformation Analysis Based on a Rate-type Equation of Motion Incorporating SYS Cam-Clay Model (地盤工学会論文集 Soils and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790)



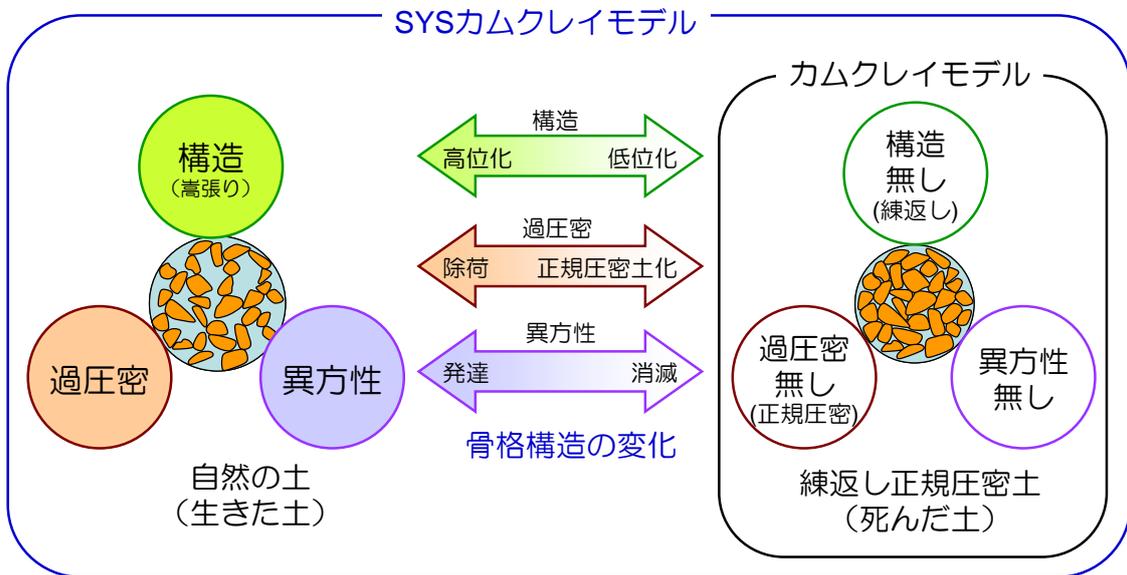
GEOASIA®の土質パラメータと必要な土質試験

地盤解析技術 **GEOASIA®**は、土の弾塑性構成式として、名古屋大学地盤研究グループにより開発された **SYS カムクレイモデル**を搭載しています。以下では、SYS カムクレイモデルが定義する土質パラメータ（材料定数・状態量）と、これらを求めるのに必要な土質試験について説明します。

1. 「骨格構造の働き」を記述する SYS カムクレイモデル

カムクレイモデルは、限界状態理論に基づき、土の圧密特性とせん断特性を統一的に表現する有名なモデルです。しかし、よく繰り返して正規圧密状態にした土（言うならば「死んだ土」）の実験データから作られたモデルのため、自然の土（「生きた土」）への適用には限界がありました。

自然の土（「生きた土」）は、高張った状態（間隙比が同じならより大きな力に耐え、力が同じならより大きな間隙比を持つ）にあり、異方性を持ち、しかも過圧密状態にあつて、これらの状態が外力によってどんどん変わることにより「死んだ土」に比べて非常に複雑な（生き活きとした）力学挙動を示します。**SYS カムクレイモデル**は、このような「死んだ土」と「生きた土」の違いを、土の**骨格構造の働き**として説明し、カムクレイモデルの上に骨格構造として**過圧密・構造・異方性**の3項目を付け加えることで、あらゆる種類・あらゆる状態の土の力学挙動を、同一理論的枠組で表現しています（モデルの概要については、別資料に示します）。



2. SYS カムクレイモデルの土質パラメータ

土質パラメータには、「材料定数」と「状態量」の2種類があります。「材料定数」とは土の「種類」により決まる値です。例えば、締固めにより緩い砂が密な砂になっても、また液状化した砂がその後に圧密をしても、土の種類は変わらないので、計算の途中で「材料定数」が変わることはありません。同じ種類の土が異なる力学挙動を示すのは、土の「状態量」の違いによるものとして記述されます。

SYS カムクレイモデルは、カムクレイモデルの土質パラメータに加え、3つの骨格構造（過圧密・構造・異方性）の働きを記述する土質パラメータを定義します。具体的には、骨格構造の発達／消滅のしやすさを与える材料定数（**発展則パラメータ**）、および骨格構造の発達程度を表す状態量です。

外力によって3つの骨格構造（過圧密・構造・異方性）は元の状態には戻らない、すなわち塑性変形と共に状態がどんどん変化していきます。これを支配するのが**発展則**です。ここでは具体式は示ませんが、同じ量の塑性変形が起きた時に、その土の骨格構造が発達／消滅しやすいか、これを与えるのが**発展則パラメータ**です。



SYS カムクレイモデルの土質パラメータ

		パラメータ名	記号	説明
材料定数	弾塑性パラメータ	圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	練返し正規圧密土の圧縮線 (NCL)の傾き
		膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	膨潤線の傾き
		NCL の切片	N	練返し正規圧密土の圧縮線 (NCL)の切片
		限界状態定数	M	$p' \sim q$ 空間における限界状態線の傾き
		ポアソン比	ν	
	発展則パラメータ	正規圧密土化指数	m	過圧密解消のしやすさ
		構造劣化指数	a, b, c, c_s	構造の高位化／低位化のしやすさ
		回転硬化指数	b_r	異方性の発達／消滅のしやすさ
		回転硬化限界定数	m_b	異方性の発達限界
	物性	土粒子の密度	ρ_s	
透水係数		k		
状態量	鉛直有効応力	σ'_v	有効土被り圧	
	比体積	v	$v=1+e$, e : 間隙比	
	応力比	η	$\eta = p'/q$	
	過圧密比	$1/R$	過圧密比 $0 < R \leq 1$ ($R=1$: 正規圧密状態)	
	構造の程度	$1/R^*$	構造 (嵩張り) の程度 $0 < R^* \leq 1$ ($R^*=1$: 練返し)	
	異方性の程度	ζ	異方性の程度 $\zeta = \sqrt{3/2 \beta \cdot \beta}$, $\ \beta\ \leq m_b$ ($\zeta=0$: 異方性無し)	

: 骨格構造の発達／消滅のしやすさ

: 骨格構造の発達の程度

※その他のパラメータはカムクレイモデルと同じ

◆SYS カムクレイモデルの土質パラメータによる「生きた土」の記述

（例1）「死んだ土」と「生きた土」

- 「自然の土（生きた土）」は、構造が発達し ($1/R^* > 1$) 過圧密状態にあり ($1/R > 1$)、しかも異方性が発達 ($\zeta > 0$)
- 実験室で十分に練返し ($1/R^* = 1$)、正規圧密状態 ($1/R = 1$) にした土は、いわゆる「死んだ土」

（例2）典型的な砂と粘土の違い

砂は粘土に比べて

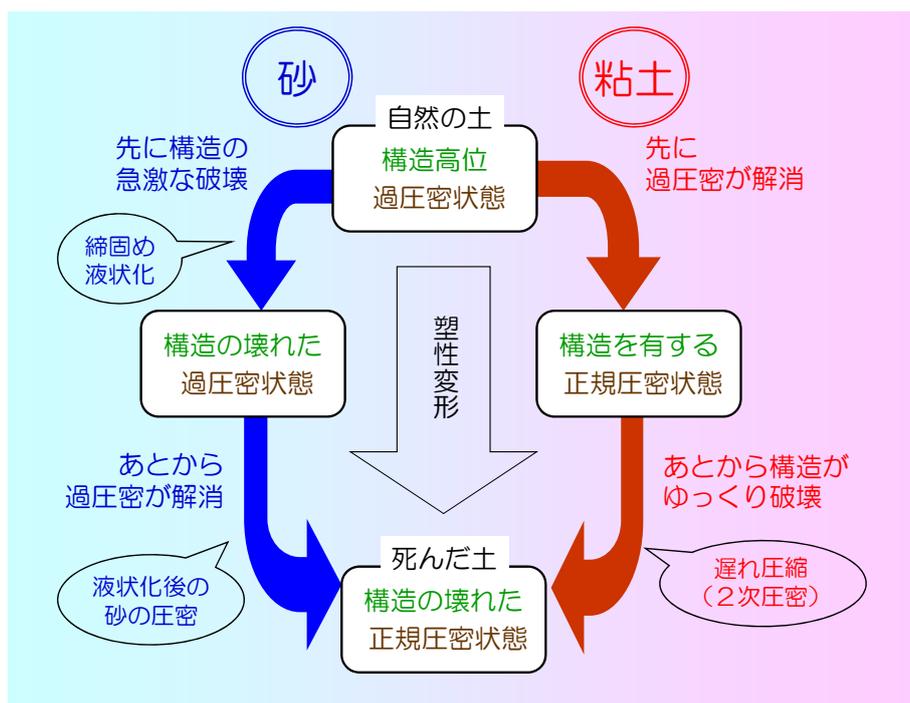
- 構造の低位化／高位化が速く (a が大きい)、圧縮よりもせん断で構造が壊れやすい (c_s が大きい)
- 過圧密の解消が遅い (m が小さい)
- 異方性の発達／消滅が速い (b_r が大きい)

（例3）緩い砂の液状化／締固め、液状化後の圧密

- 緩い砂は、構造が高位で ($1/R^*$ が大きい) せん断により先に急激な構造破壊 ($1/R^* \rightarrow 1$) が起こる
⇒排水条件なら「締固め」、非排水条件なら「液状化」
- 構造破壊後、ゆっくりと過圧密が解消 ($1/R \rightarrow 1$) する ⇒ 「液状化後の砂の圧密」

（例4）自然堆積粘土の遅れ圧縮・二次圧密

- 自然堆積粘土は、構造高位で ($1/R^*$ が大きい) 過圧密状態 ($1/R$ が大きい)
- せん断により先に過圧密が解消 ($1/R \rightarrow 1$)、後からゆっくりと構造が破壊 ($1/R^* \rightarrow 1$)
- 構造破壊が顕著な場合、塑性圧縮を伴う軟化に起因して水圧消散が遅れ、長期に亘り大沈下（粘土の遅れ圧縮、二次圧密）



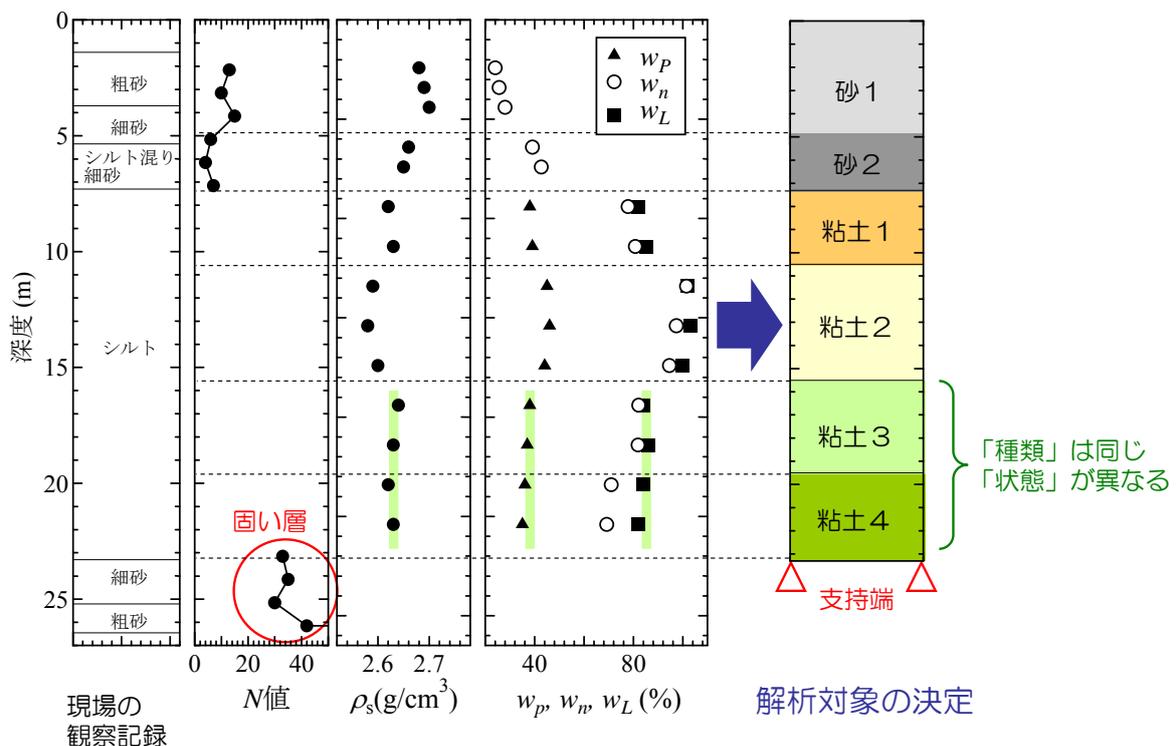
3. 土質パラメータ決定に必要な土質試験

- ◎ … 最優先で実施する必要がある試験
- … 実施することで、より詳細な土質パラメータ決定が可能となる試験
- △ … 土質パラメータの決定には直接用いないが、土の「種類」「状態」の判断材料となる試験

1) 地盤を分類する試験

GEOASIA[®]の計算では、まず対象となる地盤や土構造物が、どのような「種類」「状態」の土で構成されているかを分類し、解析対象をモデル化します。このため、試験データは、できるだけ深度方向に密に（連続して）得られることが望まれます。

必要度	試験名	利用する値	利用法
◎	土粒子の密度試験	土粒子密度 ρ_s	「種類」の分類 土質パラメータとして直接用いる
◎	土の含水比試験	自然含水比 w_n	「状態」の分類、初期比体積の推定
◎	土の液性限界試験	液性限界 w_L	「種類」の分類、圧縮指数の推定
△	土の塑性限界試験	塑性限界 w_p	「種類」の分類
○	土の粒度試験	粒度、細粒分含有率	「種類」の分類、透水性の推定
△	標準貫入試験	N値、現場の観察記録	「種類」・「状態」の分類、基盤層の推定
△	物理探査	S波速度	「種類」・「状態」の分類、基盤層の推定



土の「種類」「状態」による分類（自然堆積地盤の例）

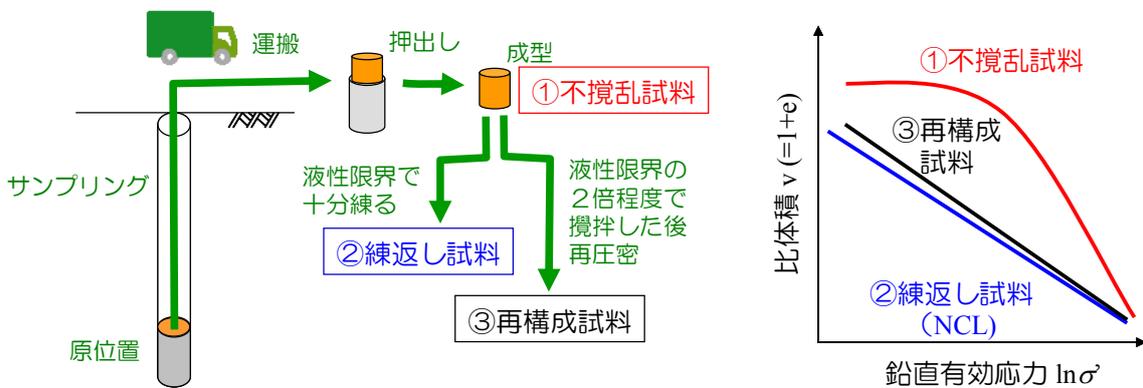
2) 土質パラメータを決める試験

続いて、土の「種類」「状態」ごとに**室内力学試験**を実施し、土質パラメータを決定します。

(1) 力学試験に用いる土試料と作製方法

室内力学試験によるSYS カムクレイモデルの土質パラメータ決定では、次の3種類の試料を用います。

- ①**不攪乱試料** … 骨格構造が発達した状態。原位置からできるだけ乱さないように採取
- ②**練返し試料** … 骨格構造を完全に消失した状態。①を十分乱して作成。
- ③**再構成試料** … 骨格構造をほぼ消失した状態。①をスラリー状に攪拌し再圧密して作成。



試験に用いる3種類の土試料

「①不攪乱試料」は、原位置の土が持つ力学特性（骨格構造の働き）を求める試料です。このため、次のことに留意する必要があります。

(1) できるだけ原位置の状態から乱さないように採取すること

地盤の種類と硬さに応じたサンプラーを用いて、原位置の状態からできるだけ乱さないように採取することが重要です（砂質土の場合は、凍結サンプリングやブロックサンプリングなどを実施）。サンプラーから押し出した試料は、含水比や形状の変化を防ぐために、できるだけすばやく成型し試験に用います。

(2) 各層の代表的な試料を選別すること

室内力学試験では、各層（「種類」「状態」が同じと分類した土）の代表値が得られるような不攪乱試料を選別することが重要です。具体的には、層内、またサンプラー内で、中央付近の深度にあり、混入物ができるだけ少ない試料、また先に自然含水比分布が分かっている場合は、層の代表（平均）的な含水比に近い試料を選びます。

(3) 不攪乱試料の「乱れ」を考慮すること

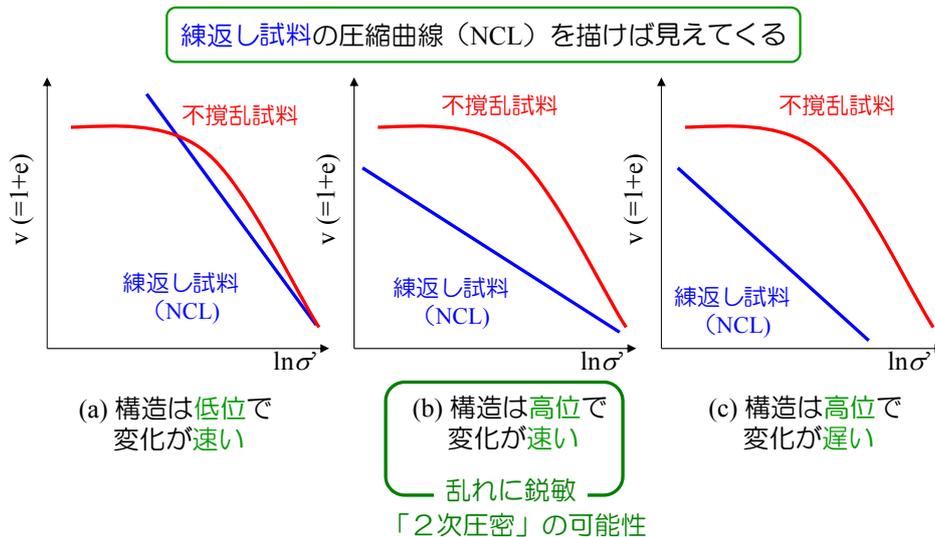
どれだけ細心の注意を払っても、サンプリング、運搬、サンプラーからの試料の押し出しなど試料の「乱れ」を避けることはできません。つまり、不攪乱試料が原位置の状態を完全には再現しないことを認識することが重要です。**GEOASIA**[®]の計算では、原位置から室内試験開始までに土が受けた応力履歴を考慮して、乱れる前の原位置状態の推定を行いません。特に、乱れに鋭敏な土を取り扱う場合には、乱れにより圧縮性が大きく低下するため、乱れを考慮することが必須となります。

一般的な土のモデルでは、上記の「①不攪乱試料」のみを用いて、室内試験が実施されます。しかし骨格構造の働きを記述するSYSカムクレイモデルでは、「②練返し試料」や「③再構成試料」による試験をあわせて行うことが非常に重要となります。その理由を次に説明します。

仮に、異なる場所で採取した3つの自然堆積粘土の「不攪乱試料」から、全く同じ圧縮曲線が得られたとしましょう。これだけでは、堆積環境に応じた力学特性（骨格構造の働き）が、どのように違うのかを知ることはできません。しかし、それぞれの粘土を十分乱して骨格構造を喪失させた、「練返し試料」の圧縮曲線（NCL）を併記すると、骨格構造の「量」や「変化の仕方」を比較することができます。例えば下図の例では、(b)の粘土が「構造（嵩張り）」が最も高位で、しかも外力によって変化しやすい（壊れやすい）土であり、これは言い換えれば「乱れに鋭敏」でいわゆる「2次圧密」の可能性のある危険な粘土であることが分かります。

このように、骨格構造が発達した土を扱う場合には、土台（鋭敏比で言えば、分母）となる「骨格構造を消失させた状態の土」の力学試験を同時に行うことが重要となります。

もし(a)~(c)3つの粘土で、**不攪乱試料**の圧縮線が全て同じ場合 ⇒ どこが違う??



SYSカムクレイモデルのパラメータを求める力学試験では、骨格構造を消失させた試料として「②練返し試料」や「③再構成試料」を用います。

「②練返し試料」とは、「①不攪乱試料」を十分に乱して、完全に骨格構造を消失させた状態の土で、既往の研究成果より、練り返しに最も適した含水比は液性限界であることが分かっています（液性限界よりも含水比が低いと過圧密が残りやすく、含水比が高いと構造が残りやすい）。このため、液性限界に含水比調整をした試料をラップなどに包み、回転させながら手で押しつけて固形物がなくなるまで十分に練り返して作製します。

「③再構成試料」は、「①不攪乱試料」に液性限界の2倍程度の水を加え、スラリー状に十分に攪拌した後、再圧密して得られる試料です。再圧密過程では、わずかではありますが、異方性の発達や構造の発現（高位化）があるため、「②練返し試料」に比べれば、骨格構造がやや発達した状態にあります。しかし、ピートやロームのように、練り返すと急激に強度を失い自立が難しい土では、「②練返し試料」の供試体を成型することができないため、代わりに「③再構成試料」の試験を行いません。なお、砂質

土の場合は、攪乱試料を突き固めて密度調整を行った「③再構成試料」を用います。

(2) 土質パラメータを決める室内試験

細粒分含有率から、粘性土と砂質土のどちらに近いかを判断し、実験項目を選択します。各層（「種類」「状態」が同じと分類した土）で、下記に示す表の試験を最低1セット実施します。

◆粘性土の場合

必要度	試料と試験名 (求める土質パラメータ)	利用する試験結果	試験の注意点
◎	練返し試料の 段階载荷による圧密試験 ($\tilde{\lambda}, N$)	・ 圧縮曲線	直線部分が少なくとも3点以上得られるように、十分に大きな圧密圧力まで载荷する（最小圧密応力は問わない）。除荷過程は不要。 24時間载荷を基本とする。
◎	不攪乱試料の 段階载荷による圧密試験 ($\tilde{\kappa}, a, R^*, k$)	・ 圧縮曲線 ・ 透水係数	過圧密・正規圧密の両方の領域で3点以上得られるように、試料の採取深度に応じて圧密応力を決定。除荷過程は特に必要はない。 24時間载荷を基本とする。
◎	不攪乱試料の 圧密非排水三軸圧縮試験 \overline{CU} ・ 過圧密領域 1本 ・ 正規圧密領域 1本 (M, a, m, R^*, R)	・ 有効応力パス ($p' \sim q$) ・ 応力ひずみ関係 ($\varepsilon_a \sim q$) ・ 過剰間隙水圧 ($\varepsilon_a \sim u_e$) ・ 等方圧密過程の間隙比変化 (圧密前 e_0 と 圧密後 e_c)	有効土被り圧を挟んで小さい圧密応力（過圧密領域）と大きい圧密応力（正規圧密応力）の最低2本を実施。可能であれば、有効土被り相当の圧密応力も含め、計3本実施するのが望ましい。 等方圧密過程で過剰水圧が残っていないかチェックした上で、できるだけ遅い载荷速度（粘性土であれば0.01%/min程度以下）でせん断をする。ピーク時および破壊時の供試体の変形形状の写真、スケッチも残す。
○	不攪乱試料の 変形特性を求めるための 繰返し非排水三軸試験 ($\tilde{\kappa}, \nu$)	等価せん断剛性率 G_{eq} (または等価ヤング率 E_{eq}) と履歴減衰率 $h(\%)$ および片振幅せん断ひずみ γ_{SA} (または片振幅軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$)	圧密応力は有効土被り圧相当とする。試験条件（ひずみ制御か応力制御か、非排水繰返し後の圧密の有無）を明記すること。

○	不攪乱試料の 圧密非排水三軸伸張試験 \overline{CUE} (ζ, m_b, b_r)	・有効応力パス ・応力ひずみ関係 ・過剰間隙水圧 ・等方圧密過程の 間隙比変化	上記 \overline{CU} と同じ圧密応力で最低1 本実施。
○	再構成試料の 圧密非排水三軸圧縮試験 \overline{CU} ・過圧密領域 1 本 ・正規圧密領域 1 本 ($M, \tilde{\lambda}, N, m_b, b_r$)	・有効応力パス ・応力ひずみ関係 ・過剰間隙水圧 ・等方圧密過程の 間隙比変化	再構成試料を作成した再圧密応力 より小さい圧密応力(過圧密領域) と大きい圧密応力(正規圧密応力) の2本を実施。
○	再構成試料の 段階载荷による等方圧密 ／等方除荷試験 ($\tilde{\lambda}, \tilde{\kappa}, N$)	・圧縮曲線 ・除荷曲線	直線部分が少なくとも3点以上得 られるように、十分に大きな圧密 圧力まで载荷する。除荷は急激に 行なわず、段階的に最低2点実施 する。

◆砂質土の場合

必要度	試料と試験名 (求める土質パラメータ)	利用する試験結果	試験の注意点
◎	不攪乱試料の 圧密非排水三軸圧縮試験 \overline{CU} ・過圧密領域 1 本 ・正規圧密領域 1 本 (M, a, m, R^*, R)	有効応力パス ($p' \sim q$) ・応力ひずみ関係 ($\varepsilon_a \sim q$) ・過剰間隙水圧 ($\varepsilon_a \sim u_e$) ・等方圧密過程の 間隙比変化 (圧密前 e_0 と 圧密後 e_c)	有効土被り圧を挟んで小さい圧密 応力(過圧密領域)と大きい圧密 応力(正規圧密応力)の最低2本 を実施。可能であれば、有効土被 り相当の圧密応力も含め、計3本 実施するのが望ましい。 砂質土でも、間隙水のマイグレー ション(水の移動)が十分行なわ れるように、ゆっくりとせん断す る(0.1%/min 程度以下)。ピーク時 および破壊時の供試体の変形形状 の写真、スケッチも残す。
◎	再構成試料の 圧密非排水三軸圧縮試験 \overline{CU} ・過圧密領域 1 本 ・正規圧密領域 1 本 (M, a, m)	・有効応力パス ・応力ひずみ関係 ・過剰間隙水圧 ・等方圧密過程の 間隙比変化	攪乱した試料を密度調整して、緩 詰め・中詰め・密詰めの3本程度 を、同じ圧密応力で実施する。 緩詰め: 相対密度 40%程度以下 中詰め: 相対密度 50%程度 密詰め: 相対密度 70%程度以上

◎	不攪乱試料の 変形特性を求めるための 繰返し非排水三軸試験 ($\tilde{\kappa}, \nu$)	等価せん断剛性率 G_{eq} (または等価ヤング率 E_{eq}) と履歴減衰率 $h(\%)$ および片振幅せん断ひ ずみ γ_{SA} (または片振幅 軸ひずみ $(\varepsilon_a)_{SA}$)	圧密応力は有効土被り圧相当とす る。試験条件 (ひずみ制御か応力 制御か、非排水繰返し後の圧密の 有無) を明記すること。
○	不攪乱試料の 液状化強度特性を求めるた めの繰返し非排水三軸試験	<ul style="list-style-type: none"> ・有効応力パス ・応力ひずみ関係 ・過剰間隙水圧 ・液状化強度曲線 	複数本実施し、液状化強度特性を 求める。繰返しせん断後に排水コ ックを開き、液状化後の圧密排水 量を求める。
○	不攪乱試料の 圧密非排水三軸伸張試験 \overline{CUE} (ζ, m_b, b_r)	<ul style="list-style-type: none"> ・有効応力パス ・応力ひずみ関係 ・過剰間隙水圧 ・等方圧密過程の 間隙比変化 	上記 \overline{CU} と同じ圧密応力で最低 1 本実施。
○	再構成試料の 段階载荷による等方圧密 ／等方除荷試験 ($\tilde{\lambda}, \tilde{\kappa}, N$)	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮曲線 ・除荷曲線 	直線部分が少なくとも 3 点以上得 られるように、十分に大きな圧密 圧力まで载荷する。除荷は急激に 行なわず、段階的に最低 2 点実施 する。

参考文献

■GEOASIA

- Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, Vol.48, No.6, pp.771-790.

■SYS カムクレイモデル

- Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.5, pp.47-57.
- Asaoka A. (2003): Consolidation of Clay and Compaction of Sand -An elasto-plastic description-, Keynote lecture, Proc. of 12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Leung et al. Singapore, Aug., Vol.2, pp.1157-1195.

■練返し試料の作製方法について

田代むつみ、稲垣太浩、中野正樹、野田利弘、浅岡顕 (2010): 練返し試料の圧縮曲線に及ぼす試料作製時の含水比の影響, 地盤工学会ジャーナル, Vol.5, No.1, pp.81-87.

おわりに

本誌では、地盤解析技術 **GEOASIA**[®] (ALL SOILS ALL STATES ALL ROUND GEOANALYSIS INTEGRATION) の概略をご紹介しました。Engine (エンジン) であるSYS カムクレイモデルについては、別紙でご紹介いたしますので、あわせてご覧いただけますと幸いです。

地盤解析技術 **GEOASIA**[®] にご興味を持たれた方、また解析業務を希望される方は、当研究会事務局までお問合せ下さい。

平成 24 年 2 月 28 日 発行

編集：一般社団法人 **GEOASIA** 研究会 事務局



〒464-8603 名古屋市千種区不老町

名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻地盤工学講座内

TEL: 052-789-3834 FAX: 052-789-3736 E-mail: office@geoasia.jp

URL: <http://www.geoasia.jp>