



PLAXIS+tijモデルとWG活動の紹介

JIPテクノサイエンス株式会社

解析ソリューション事業部 大阪技術営業部技術課

高橋 寛臣

Contents

2

- PLAXISについて

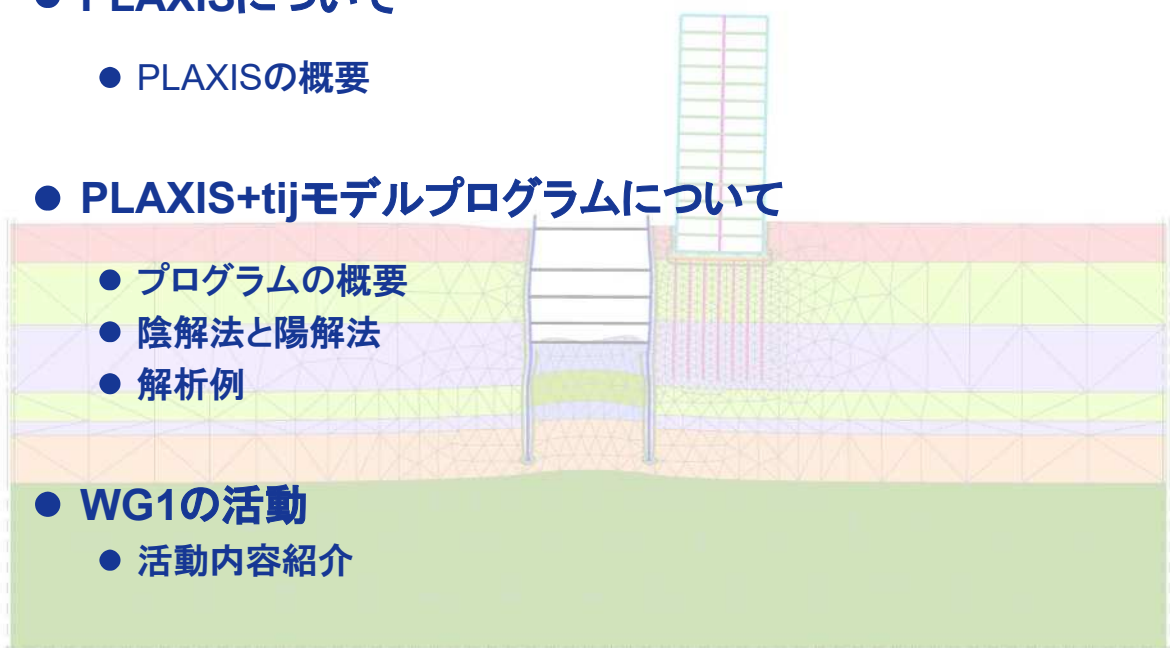
- PLAXISの概要

- PLAXIS+tijモデルプログラムについて

- プログラムの概要
- 陰解法と陽解法
- 解析例

- WG1の活動

- 活動内容紹介

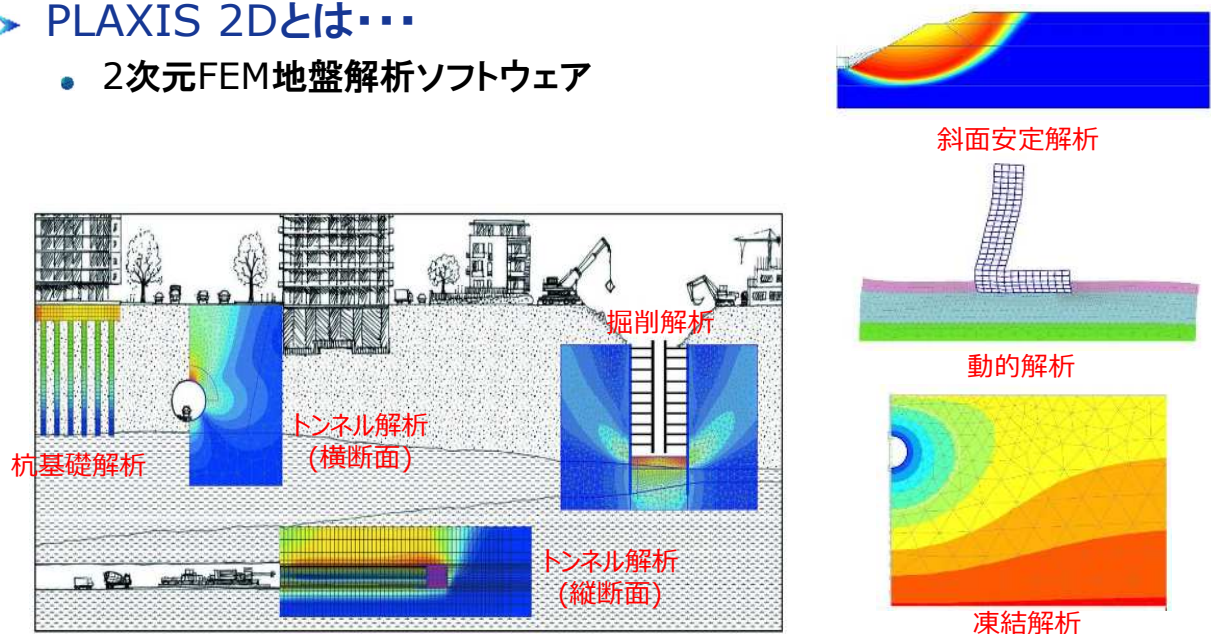


- ▶ PLAXISとは・・・ 有限要素法(FEM)による地盤解析ソフトウェア
 - 開発元：株式会社ベントレー・システムズ(米国)
 - 3つの製品



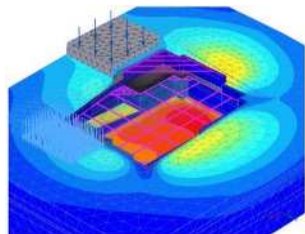
PLAXIS 2Dの概要

- ▶ PLAXIS 2Dとは・・・
 - 2次元FEM地盤解析ソフトウェア

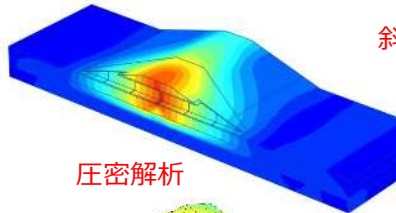


PLAXIS 3Dとは...

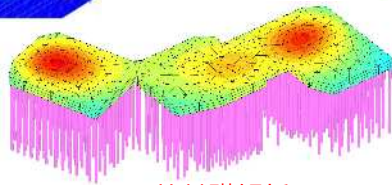
- 3次元FEM地盤解析ソフトウェア



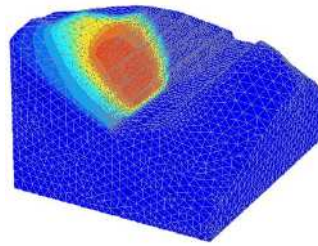
掘削解析



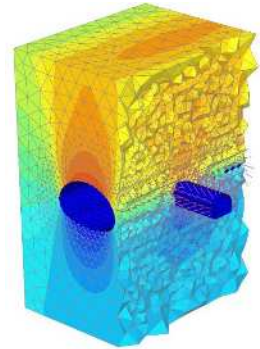
圧密解析



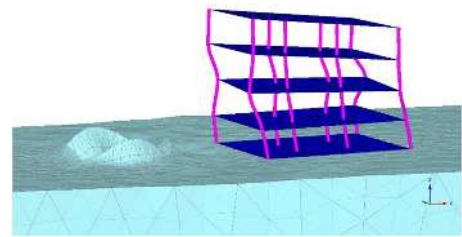
杭基礎解析



斜面安定解析



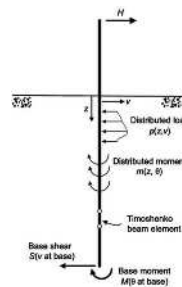
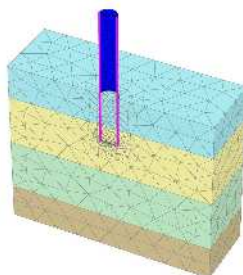
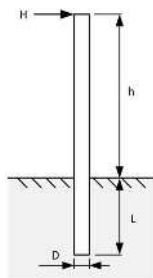
トンネル解析



動的解析

PLAXIS MoDeToとは...

- モノパイル基礎^[1]の最適化設計ツール(Monopile Design Tool)
- PISA Method^[2]に基づく1次元解析、PLAXIS 3Dと連動



[1] SIG Workshop: Geotechnical Analysis – August 2020, Design of XXL Monopiles for Offshore Wind Turbines in Homogeneous and Layered Soils, Bentley Systems

[2] Byrne, B. et al. (2017). PISA: New Design Methods for Offshore Wind Turbine Monopiles. 8th International Conference for Offshore Site Investigation and Geotechnics, London, UK.

Image: Gaertner et al. (2020)

● PLAXISの特長

➢ モデル作成

- **使いやすい操作画面**、完全自動メッシュ生成機能、日本語GUI
- 梁、矢板、杭、アンカー、トンネル、ドレーンなどの地盤解析に必要な要素

➢ 計算

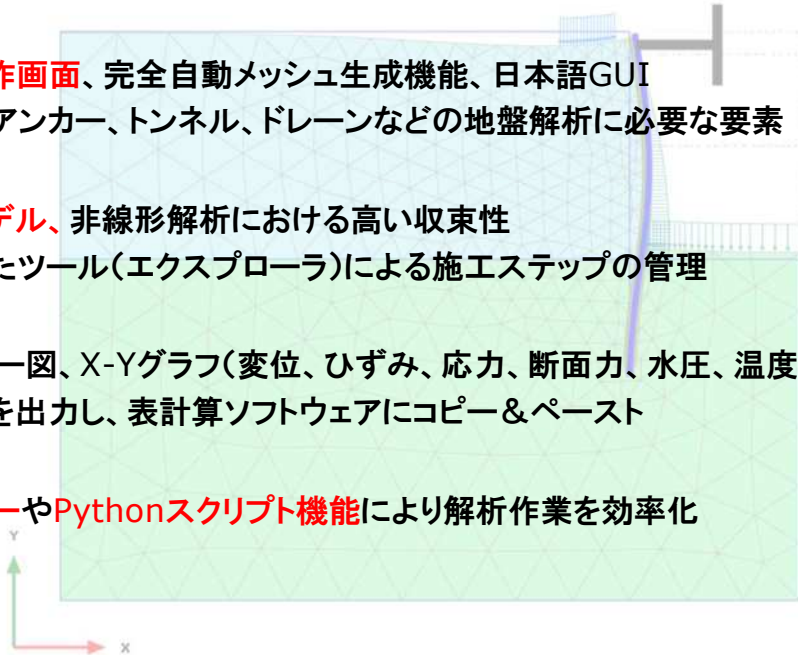
- **様々な材料モデル**、非線形解析における高い収束性
- 視覚的に優れたツール(エクスプローラ)による施工程序の管理

➢ 出力

- 変形図、コンター図、X-Yグラフ(変位、ひずみ、応力、断面力、水圧、温度)
- 表形式で数値を出力し、表計算ソフトウェアにコピー&ペースト

➢ その他

- **コマンドランナー**や**Pythonスクリプト機能**により解析作業を効率化



● PLAXISの特長

● 様々な材料モデル

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| ● 線形弾性 | ● Soft Soil Creep |
| ● モール・クーロン | ● Jointed rock |
| ● Hardening Soil | ● 修正カムクレイ |
| ● HS Small | ● NGI-ADP |
| ● UBC3D-PLM | ● Hoek-Brown |
| ● Soft Soil | ● 関口・太田(弾塑性/弾粘塑性) |
| ● ユーザ定義モデル | |

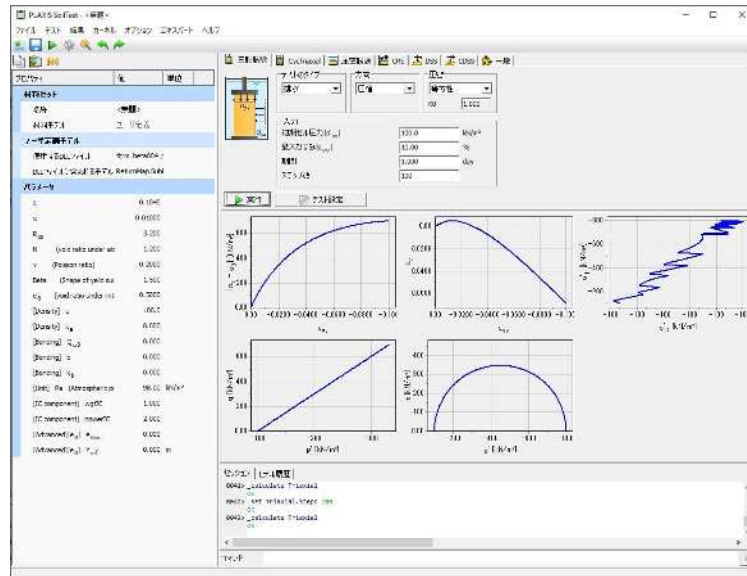
● 様々な解析機能

- | | |
|------------|-----------------|
| ● 段階施工解析 | ● 大変形解析 |
| ● 圧密解析 | ● 浸透流解析(定常/非定常) |
| ● せん断強度低減法 | ● 動的解析 |



● PLAXISの特徴

- 要素シミュレーション専用ソフトウェアもGUIが付属

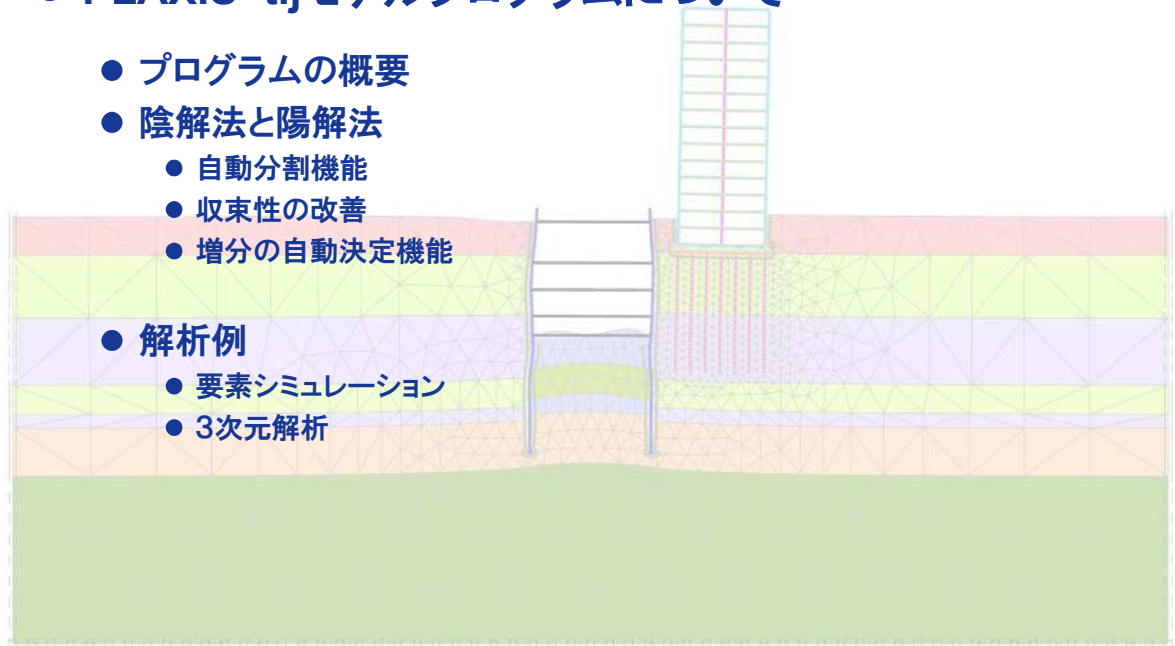


詳しくは YouTubeで検索！



● PLAXIS+tijモデルプログラムについて

- プログラムの概要
- 陰解法と陽解法
 - 自動分割機能
 - 収束性の改善
 - 増分の自動決定機能
- 解析例
 - 要素シミュレーション
 - 3次元解析



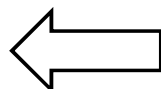
PLAXIS+tijモデルプログラム

➤ プログラムの概要

- PLAXIS+tijモデルプログラムとは、PLAXIS上において土の弾塑性構成則「Subloading tijモデル」を使用可能にしたものです
 - 中井先生のご指導のもと構成則プログラムを開発、検証を行ったもの
 - DLLファイルをインストールすることにより、PLAXISの機能を拡張することができる
- すでにインストール済みの
PLAXISプログラム本体



インストール



DLLファイル

PLAXIS+tijモデル

➤ プログラムのバージョン

PLAXIS+tijモデルは「陽解法」と「陰解法」のバージョンがあります

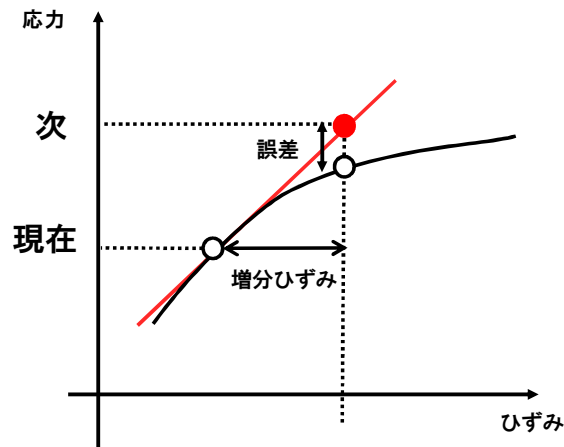
陽解法 PLAXIS+tijモデル

陰解法 PLAXIS+tijモデル

➤ 構成則

- 最新のsubloading tijモデルに対応
 - 引張応力の発生しない弾性式
 - パラメータフィッティングを容易にする新しい定式化(k_a, k_b)
- subloading tijモデルの更新に伴い、随時更新
 - 時間効果特性導入予定

陽解法のイメージ



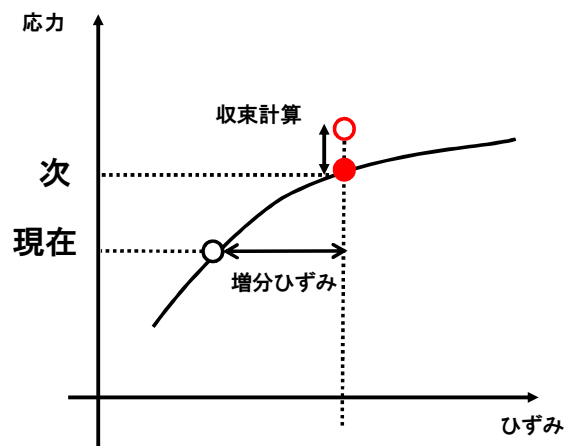
長所

必ず1度の計算で次ステップの値が求まる

短所

誤差が発生するため、増分ひずみを小さく設定する必要がある

陰解法のイメージ



長所

繰り返し計算で誤差のない値を計算するため、増分ひずみを大きく設定できる

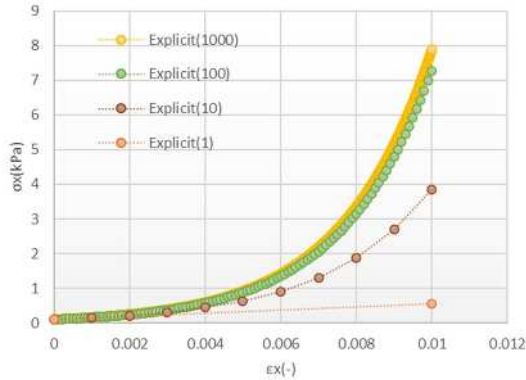
短所

計算前に何度繰り返し計算を行うかわからない

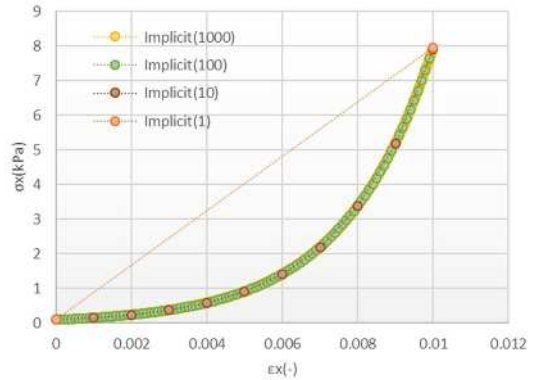
収束しない可能性がある

増分の違いによる結果の違い

無応力からの等方圧縮(0.001%, 0.01%, 0.1%, 1%)



Explicit



implicit

陰解法は増分の刻みによって結果が変わらない

※開発中の結果のため変わる可能性があります

自動分割機能(サブステップ)

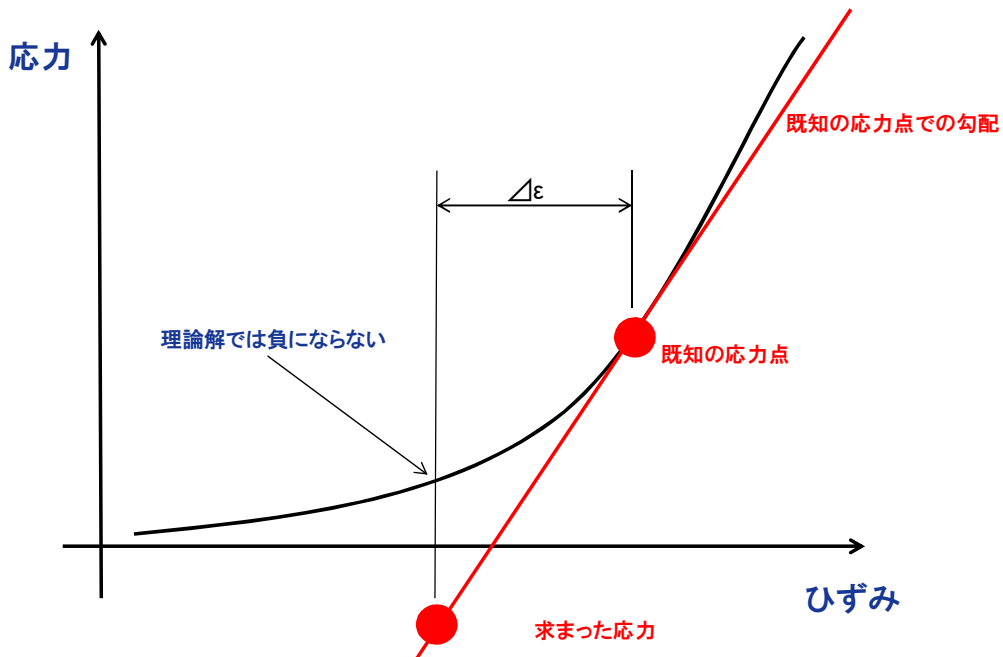
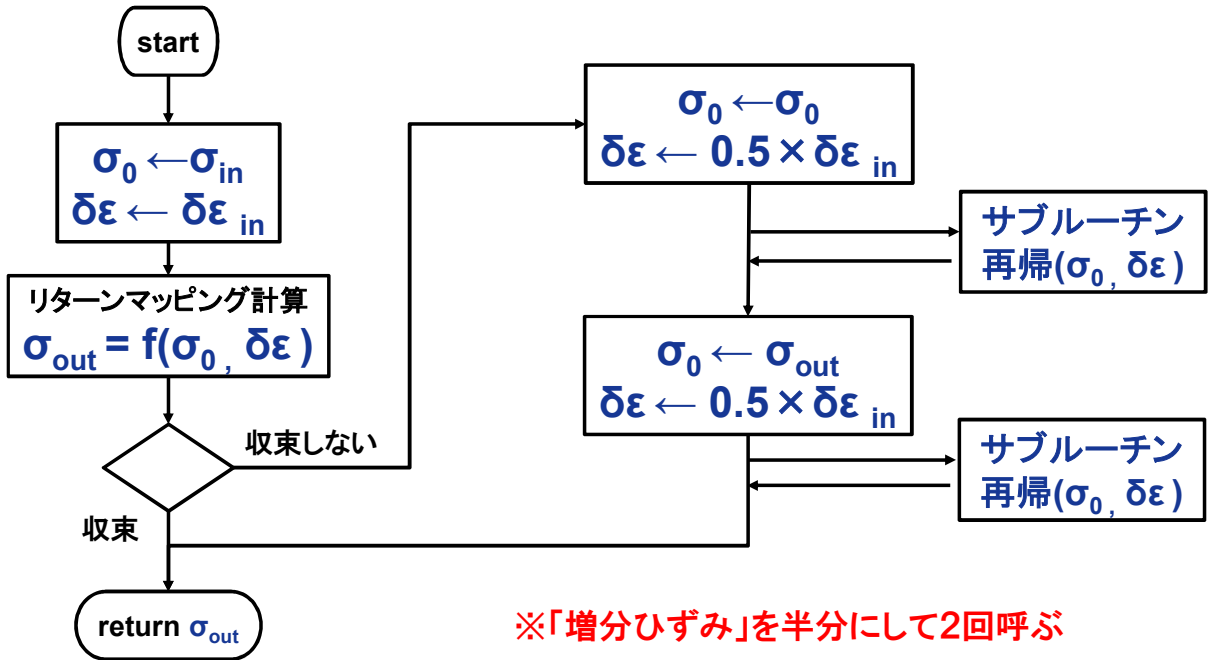
『Subloading tij』では増分ひずみを設定できる

PLAXISですべての要素に設定することは不可能
すべてを細かく設定すれば、陰解法の長所がなくなる



増分ひずみ量を自動で設定する機能を追加(sub step)

「初期応力」と「増分ひずみ」から「応力」を求めるサブルーチン

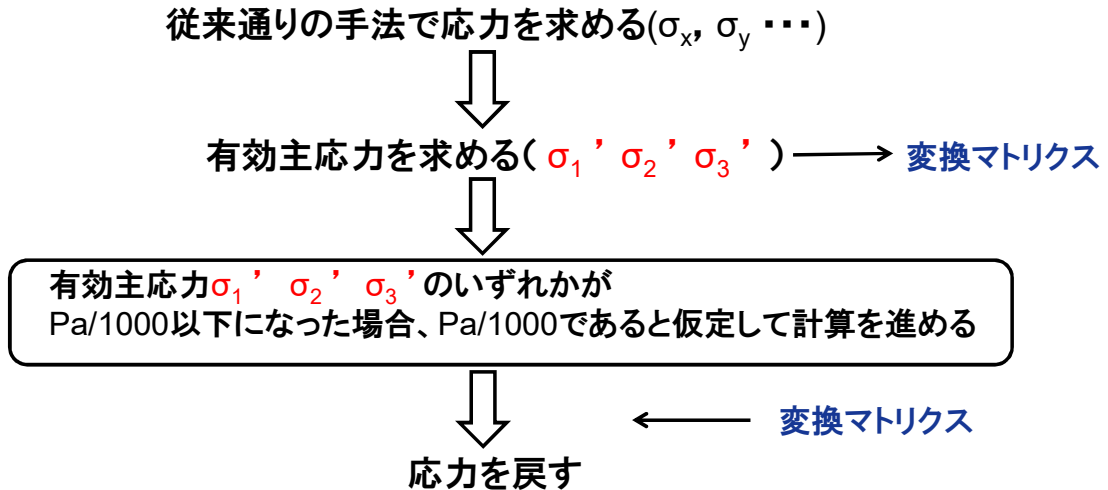


$\Delta \epsilon$ が十分に小さくない場合、応力が負になる場合がある

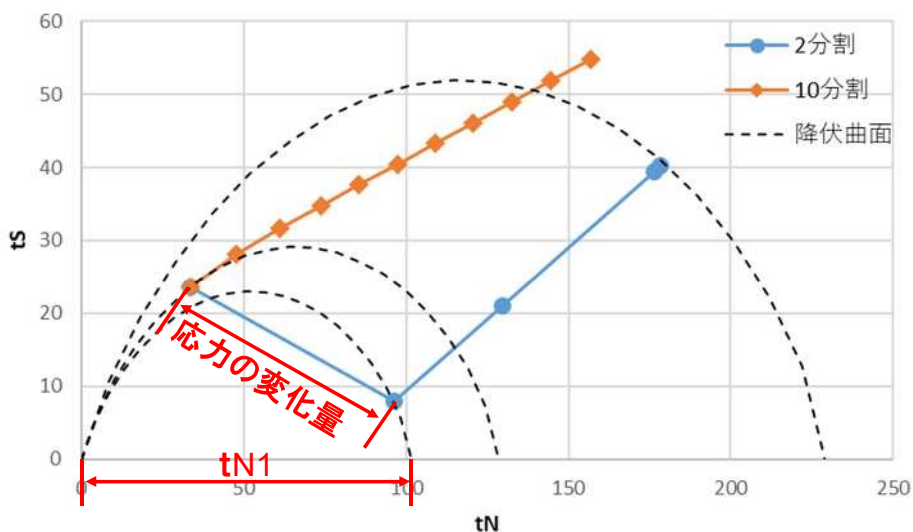
本来発生しないはずの引張が、計算では発生してしまう。

【解決案】

応力が負になった場合、ゼロとする。
 (無視する微小な引張しか発生していないと仮定しています)

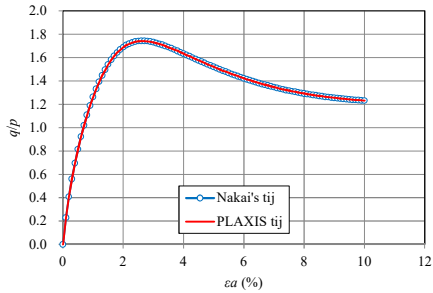


➤ 刻みによって異なる経路を通る

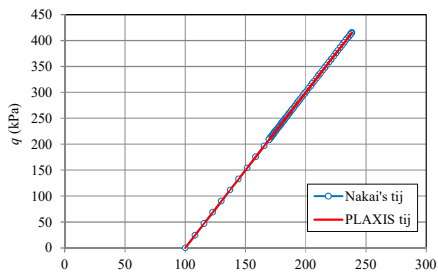


1ステップでの応力の変化量が大きすぎる場合、異なる解となる
 →1ステップでの応力の変化量に制限を設ける

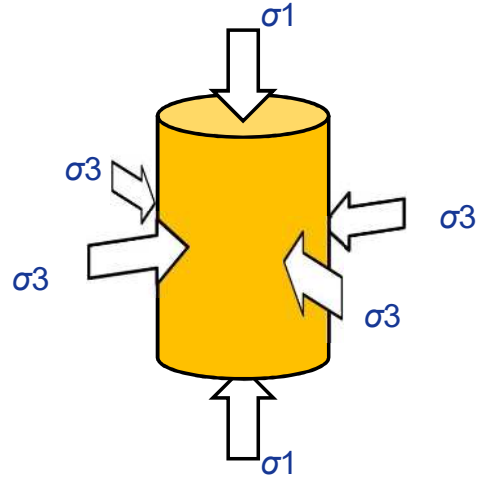
- 要素シミュレーションのご紹介
- 三軸圧縮試験(排水条件)の応力経路



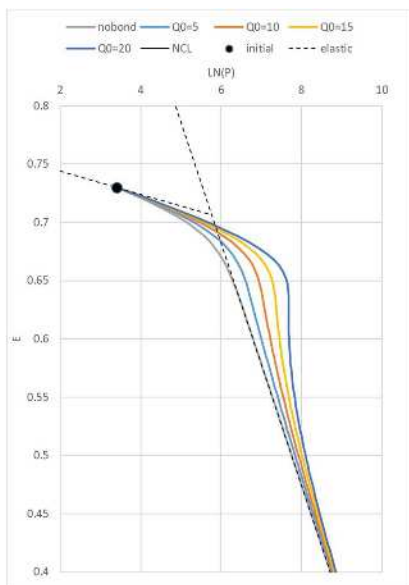
(p/q) - 軸ひずみ関係



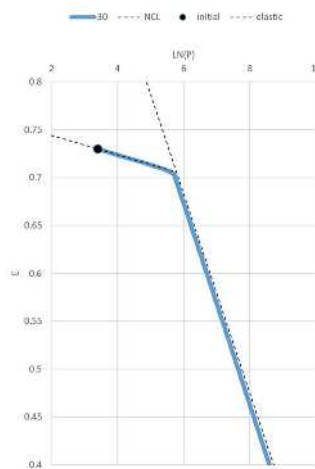
$p - q$ 関係



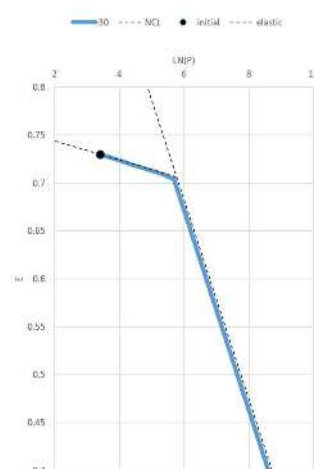
- 様々なモデルとの比較検討が容易



PLAXIS+tij

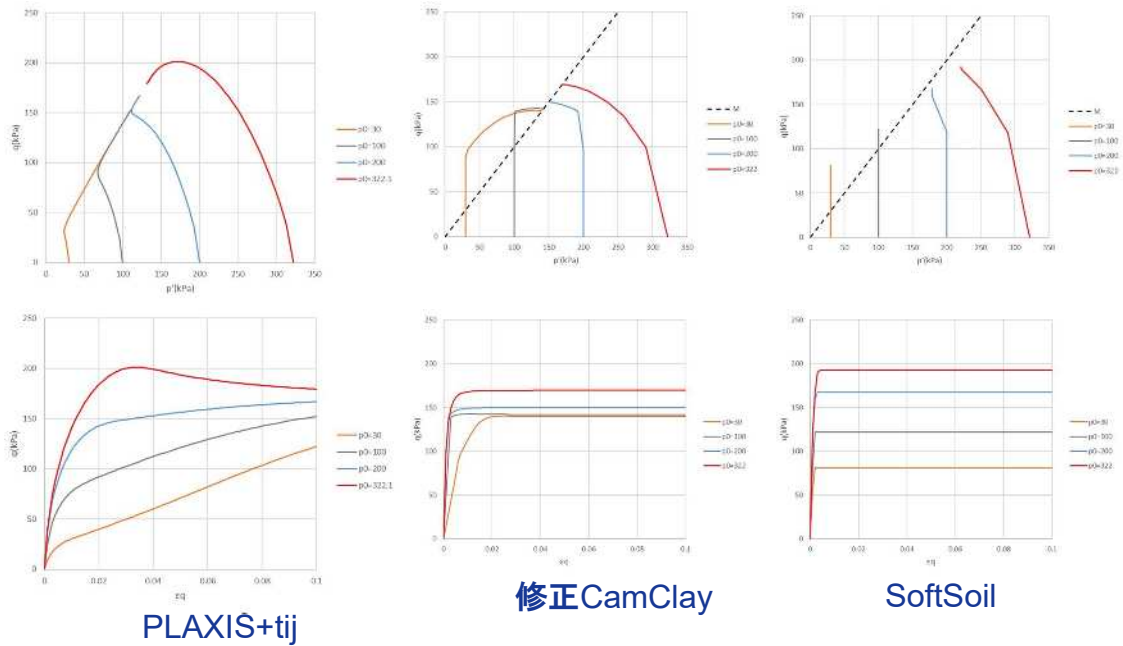


修正CamClay



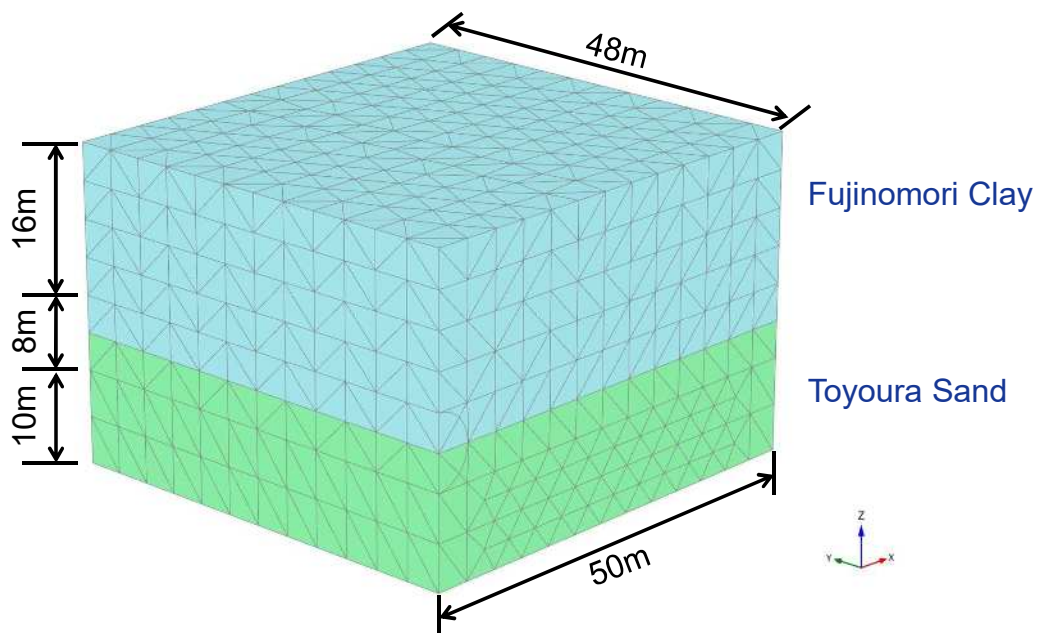
SoftSoil

せん断の確認

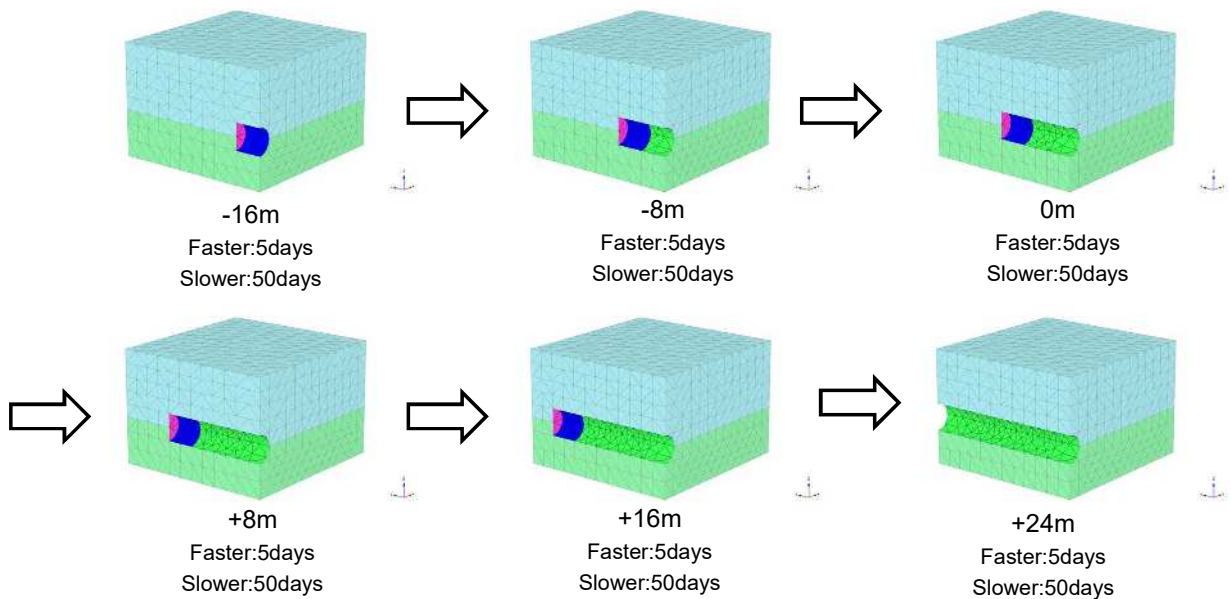


3次元トンネル解析事例

【 Analysis on TBM (implicit) 】



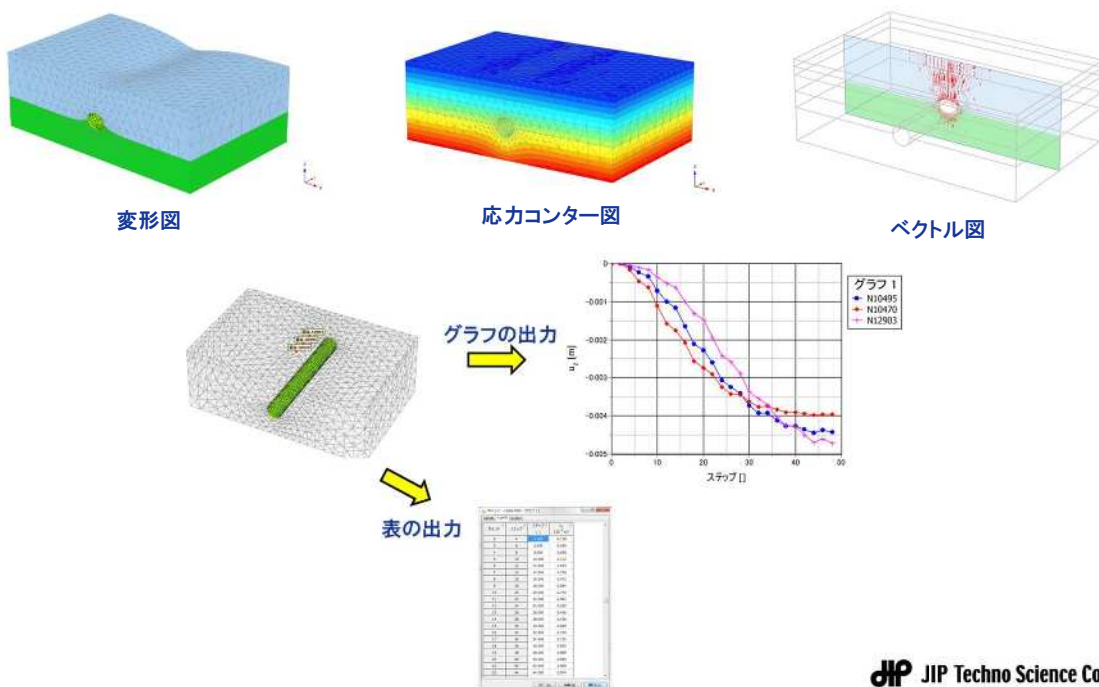
【Phase】



CASE1: Faster excavation rate of 1.6m/day. Total 30 days

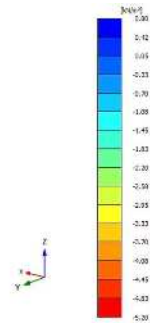
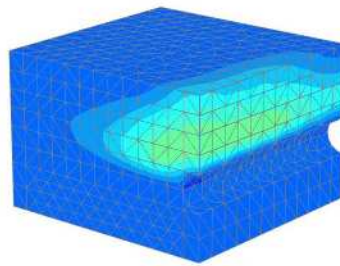
CASE2: Slower excavation rate of 0.16m/day. Total 300 days

【結果の表示】

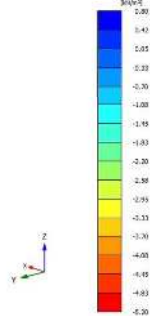
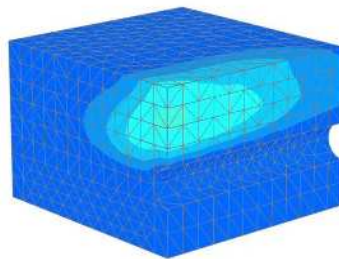


過剰間隙水圧 アニメーション

FAST



SLOW



解析手法・使用法WG

活動紹介

1 初級者におけるtijモデルの理解

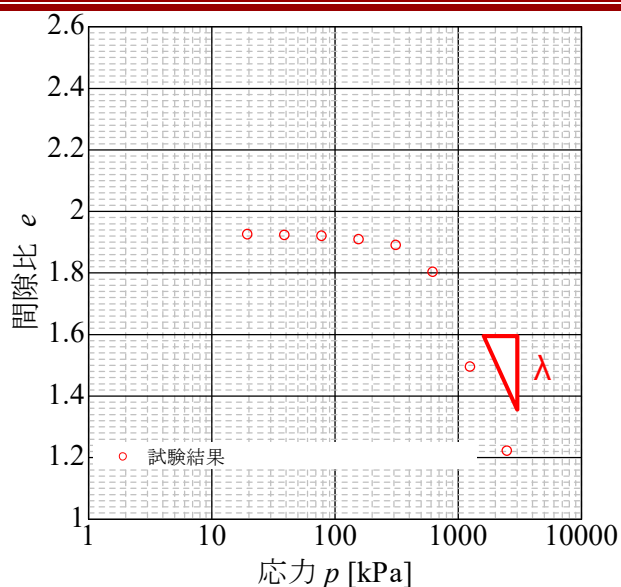
tijモデルを利用したことが無い方、
FEM解析を行ったことが無い方などを対象に
要素シミュレーションや簡単なFEM解析を実行する。

2 モデルの改良

tijモデルの基本(パラメータ等)について実際に事例を元に設定し、
tijモデルについての理解を向上させるとともにtijモデルに関する
今後の開発案について議論する

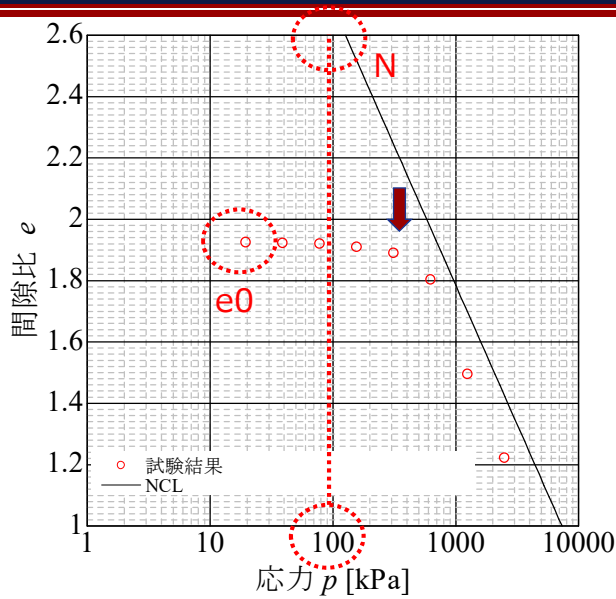
上記のような活動をイメージしていますが、
参加者の方々と共に良い進め方を決めていきたいと思っています

フィッティング例 (圧密試験)



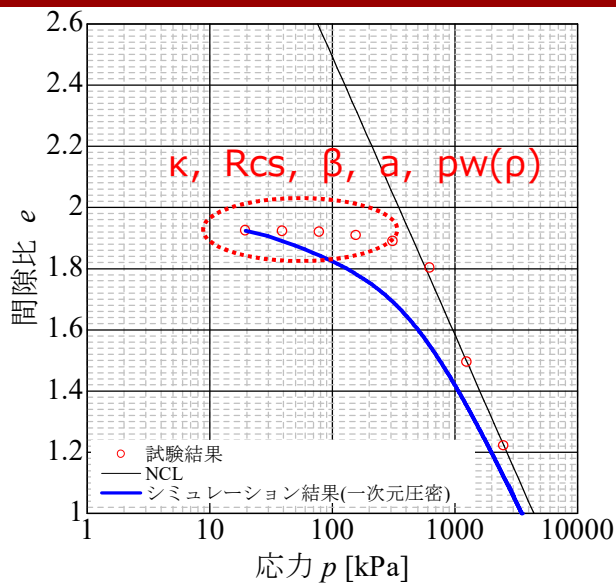
①λ, κを決める.

λ	: 0.394
κ	: 0.0394(κ = λ/10)
Rcs	:
N	:
v	: 0.2
β	:
ζ	: 100
e0	:
aAF	:
aIC	:
pw(p)	:
axk	:
Qw	:
bw	:
pw(ω)	:
bxk	:
Pa	: 98
powerIC	: 2.0
hlimIC	: 1.0



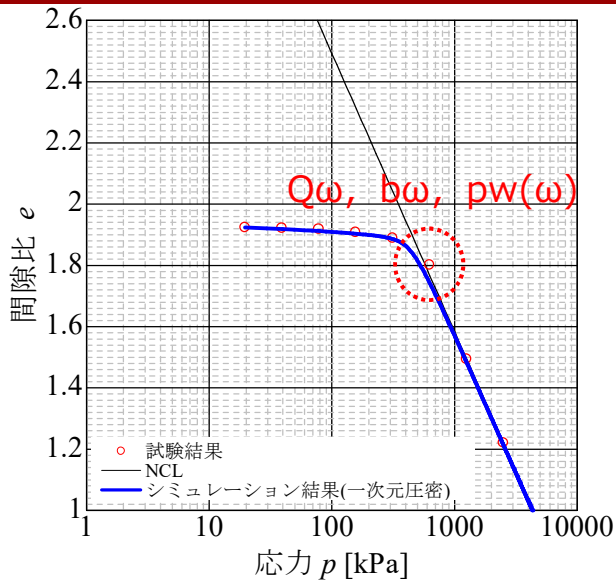
λ	:	0.394
κ	:	0.0394 ($\kappa = \lambda/10$)
Rcs	:	
N	:	2.5
ν	:	0.2
β	:	
ζ	:	100
e0	:	1.924
aAF	:	
aIC	:	
pw(ρ)	:	
axk	:	
Q ω	:	
b ω	:	
pw(ω)	:	
b κ	:	
Pa	:	98
powerIC	:	2.0
hlimIC	:	1.0

- ② Nを決める.
(N : 大気圧 (= 98kPa)での
NCLの間隙比)
- ③ e0を決める.
(初期応力に対応した間隙比)



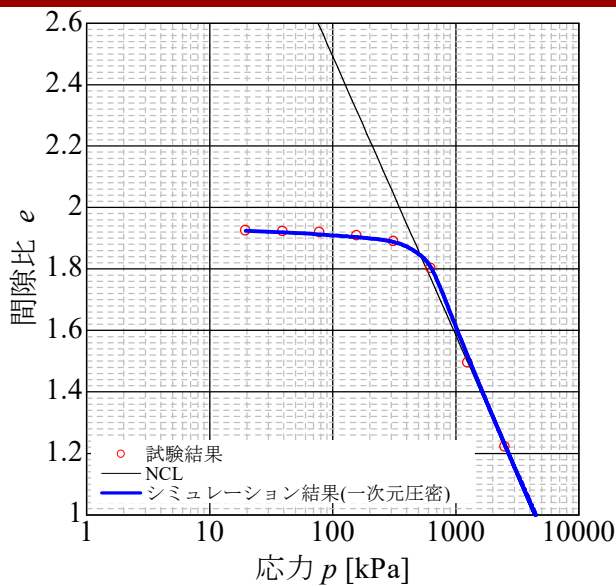
λ	:	0.394
κ	:	0.0394 \Rightarrow 0.01
Rcs	:	2.4
N	:	2.5
ν	:	0.2
β	:	1.6
ζ	:	100
e0	:	1.924
aAF	:	10 \Rightarrow 300
aIC	:	10 \Rightarrow 300
pw(ρ)	:	2.0
axk	:	0.0
Q ω	:	0.0
b ω	:	0.0
pw(ω)	:	1.0
b κ	:	0.0
Pa	:	98
powerIC	:	2.0
hlimIC	:	1.0

- ④ κ , Rcs, β , a, pw(ρ)を決める.



⑤ $Q\omega$, $b\omega$, $pw(\omega)$ を決める.

λ	:	0.394	
κ	:	0.010	
Rcs	:	2.4	
N	:	2.5	
ν	:	0.2	
β	:	1.6	
ζ	:	100	
$e0$:	1.924	
aAF	:	300	
aIC	:	300	
$pw(\rho)$:	2.0	
axk	:	0.0	
$Q\omega$:	0.0	$\Rightarrow 5.0$
$b\omega$:	0.0	$\Rightarrow 5.0$
$pw(\omega)$:	1.0	
bxk	:	0.0	$\Rightarrow 5.0$
Pa	:	98	
$powerIC$:	2.0	
$hlimIC$:	1.0	



フィッティング完了

λ	:	0.394	
κ	:	0.010	
Rcs	:	2.4	
N	:	2.5	
ν	:	0.2	
β	:	1.6	
ζ	:	100	
$e0$:	1.924	
aAF	:	300	
aIC	:	300	
$pw(\rho)$:	2.0	
axk	:	0.0	
$Q\omega$:	5.0	
$b\omega$:	5.0	
$pw(\omega)$:	1.0	
bxk	:	5.0	
Pa	:	98	
$powerIC$:	2.0	
$hlimIC$:	1.0	

現在は 月に1回1時間 要素シミュレーションの演習をしています。

webミーティング形式で開催しております。見学も自由です。
ぜひ一度ご参加ください

毎月 最終月曜日 15:00~16:00