

## WG3事例紹介

# 双設トンネルを対象にしたFEM-tijと PLAXIS+tijの比較

第7回「PLAXIS+tijモデル」プログラムセミナー  
2022年11月4日（木）

清水建設（株） 杉山博一

## subloading *tij* によるトンネル解析事例【千葉工大・鈴木先生】

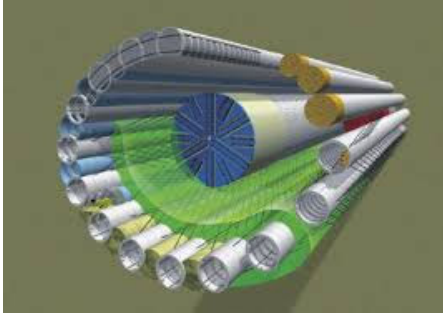
年度	JGS大会発表		tij地盤解析研究会	
2015 (H27)	50回 札幌			
2016 (H28)	51回 岡山	双設シールド（木村） 上載荷重の影響（榎山）		
2017 (H29)	52回 名古屋	双設シールド（木村） 上載荷重の影響（榎山）		
2018 (H30)	53回 高松	双設シールド（木村）	6/1 セミナー	近接杭への影響
			11/21 シンガポール	双設シールド PLAXIS 3D、応力解放
2019 (R1)	54回 さいたま	杭基礎による影響（初谷） 双設シールド（杉山） FEMtij-2D	6/4 セミナー	単円トンネル FEMtij-2DとPLAXIS3D 応力解放、(断面収縮)、 弾性・弾塑性比較
			9/17 研究会	単円トンネル FEMtij-2DとPLAXIS3D 応力解放、(断面収縮)、 弾性・弾塑性比較
			12/2 研究会	シンガポール地下鉄(3D)
2020 (R2)	55回 京都	上載荷重の影響（初谷）	8/26 研究会	シンガポール地下鉄(3D)
			11/24 セミナー	シンガポール地下鉄(3D)
2021 (R3)	56回 山形		12/9 研究会(WG3報告)	

## 双設シールド解析の動機・目的

### ■特殊なトンネル案件

例；SR-JP工法

- 通常の設計法で設計できない場合、解析的に検討せざるを得ないが、現状の手法で地盤の挙動を合理的に評価した上で設計しているか？



- 近接施工を題材として、実験と数値解析を実施し、構成式 subloading tij の適用性を検証

- 設計、もしくは施工時影響評価の合理化につなげたい

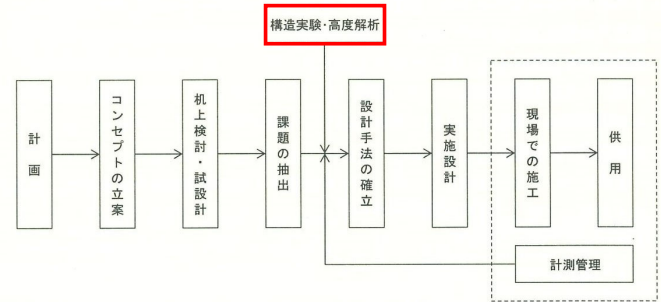


図 - 4.11.2 切掘げ工事の流れ

土木学会：トンネルライブラリー第28号「シールドトンネルにおける切掘げ技術」より抜粋

## WG-3 掘削問題（シールドトンネル）

- シールドトンネル掘削においては、一般に二次元弾性解析の応力解放により、地表面沈下や周辺地盤の挙動予測を行っている。現行解析の課題としては、二次元解析では切羽前面沈下などの三次元効果が考慮できず、地盤の拘束力を考慮した剛性評価ができない。このような背景から、弾塑性解析と断面収縮という手法を導入し、従来手法と比較しながら、その特徴と適用性をまとめる。

- Step 1**：二次元の弾性解析と弾塑性解析において、**応力解放**と**断面収縮**を導入した時の解析結果を比較し、特徴を紹介する。

- Step 2**：均質な地盤を対象に、断面収縮で三次元の弾性解析と弾塑性解析を実施し、三次元効果の状況を比較検討する。

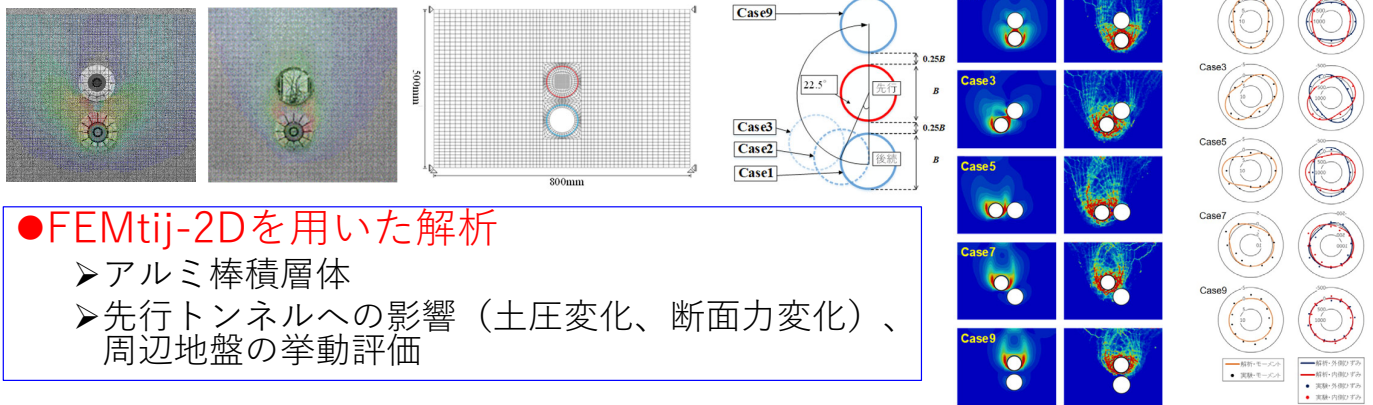
- Step 3**：実際の地盤を対象とした三次元弾塑性解析を行い、弾塑性解析と断面収縮の適用性についてまとめる。

- Step 4**：今後複雑になる工法も想定されることから、種々の解析方法の適用性を比較し、それら課題についてまとめる。

# WG-3(シールド)方針【tij研究会第40回資料】

## ■双設トンネルの影響検討

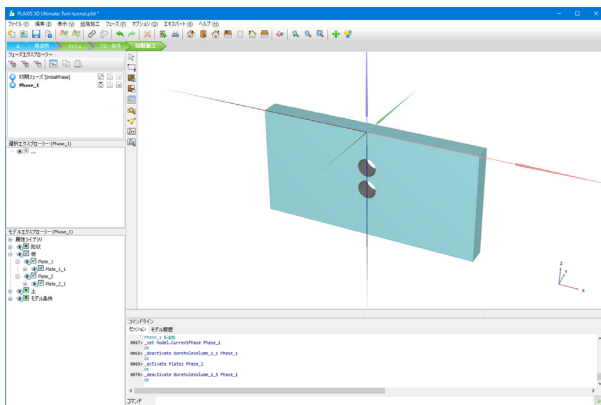
- 木村拓憲ら；双設シールドトンネルの施工影響評価、第52回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1405-1406, 2017年
- 杉山博一ら；トンネル掘削が近接トンネルに与える影響－モデル実験および数値解析による検討－、第54回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1401-1402, 2019年



# WG-3(シールド)での実施内容【tij研究会第40回資料】

## ■PLAXIS+tijモデルにより同様の再現解析を実施

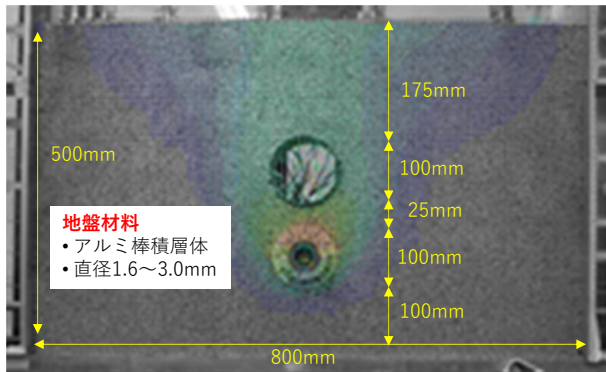
- FEMtij-2Dとの比較
- 豊浦砂、藤森粘土等での解析
- 水とのカップリング等を試す予定



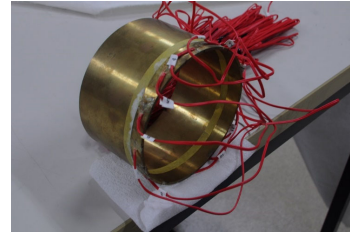
# 模型実験の概要

## ■概要

- アルミ棒積層体による模型実験
- 後行トンネルの掘削を模擬し、地盤変形、先行トンネルのひずみ（断面力）変化を計測

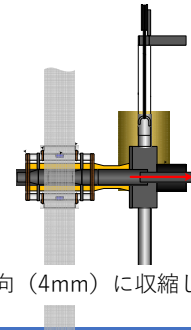
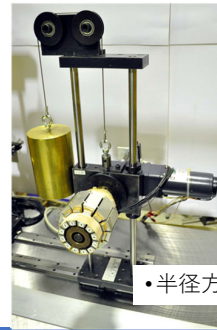


## ■先行トンネル模型



- 真鍮製
- 直径100mm, 厚さ1mm
- 30度ごとにひずみゲージ

## ■後行トンネル装置



- 半径方向（4mm）に収縮し、掘削を模擬

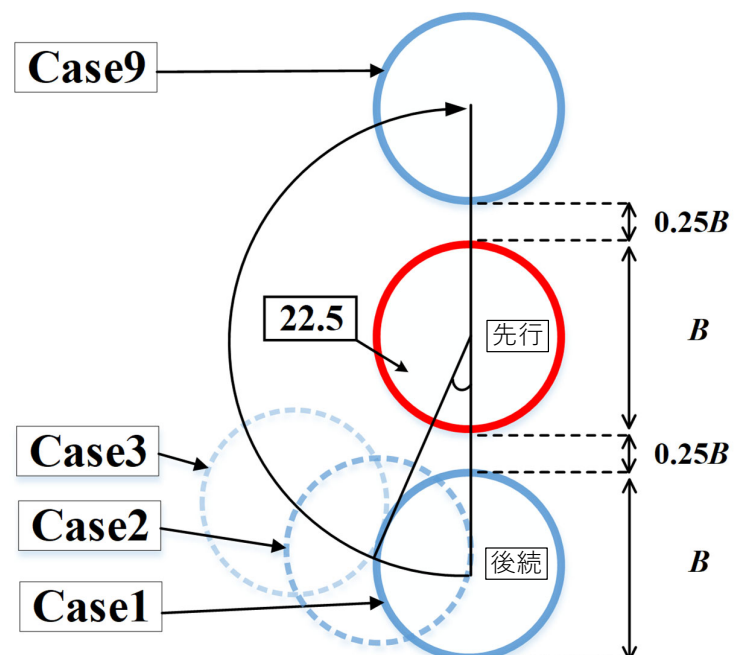
# 実験ケース

## ■先行トンネル（既設）

## ■後行トンネル

- Case1；直下
- ...
- Case5；真横
- ...
- Case9；真上

- 内空側へ4mm変位させて実験
  - 応力解放？（何%？）
  - 強制変位？（4mm）
  - 断面収縮？（面積で15.36%縮小）



## 2次元FEMでのトンネル掘削のモデル化

■従来用いられていたのは「①応力解放」と「②強制変位」

■PLAXISでは3つの方法でトンネル掘削の表現が可能

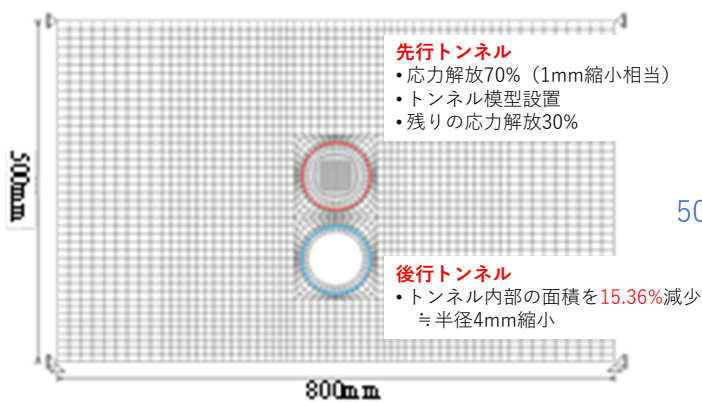
- ①応力解放； $M_{stage}$ で設定
- ②強制変位；SurfaceDisplacement
- ③断面収縮；SurfaceContraction

⇒2018年シンガポールセミナー  
⇒2019年までの発表では未実施  
⇒2019年までの発表では未対応(?)

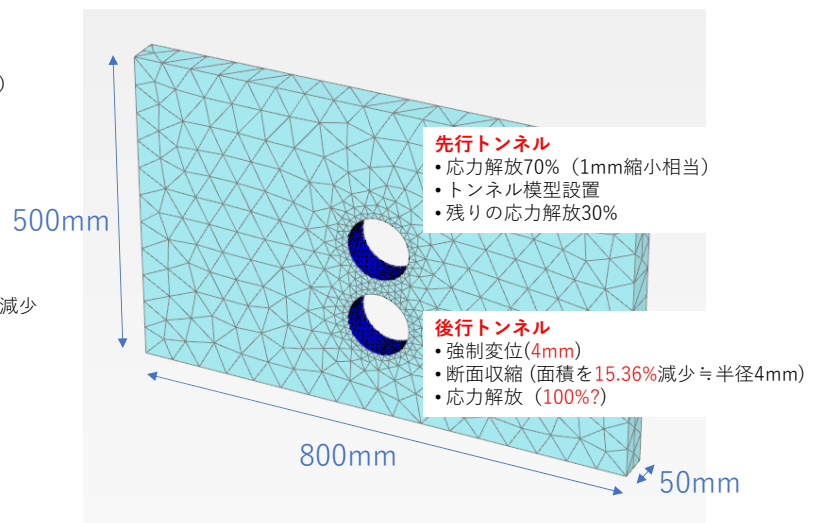
➤今回、「②強制変位」と「③断面収縮」での解析を試みた

## 解析の概要

■FEMtij-2D



■PLAXIS+tij

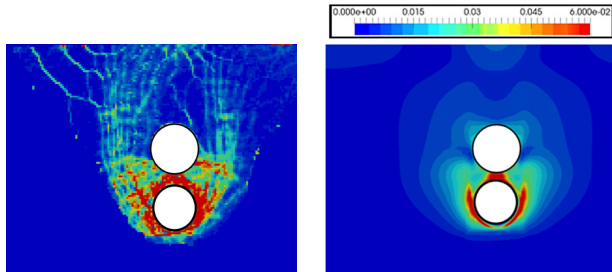




## 【2019JGS大会資料】 Case1 ; 直下の掘削

### ■偏差ひずみ

- ひずみの大きさ、範囲は概ね再現
- すべり線は確認できず

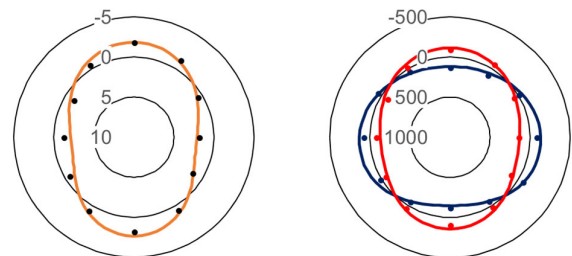


実験

FEMtij-2D  
(断面収縮15.36%)

### ■先行トンネルへの影響

- 断面力の変化も概ね再現



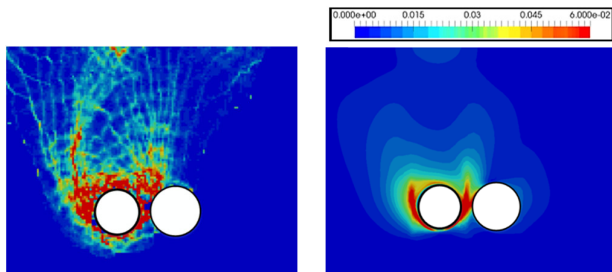
曲げモーメント

ひずみ

## 【2019JGS大会資料】 Case5 ; 真横の掘削

### ■偏差ひずみ

- ひずみ大きさ、範囲は概ね再現
- すべり線は確認できず

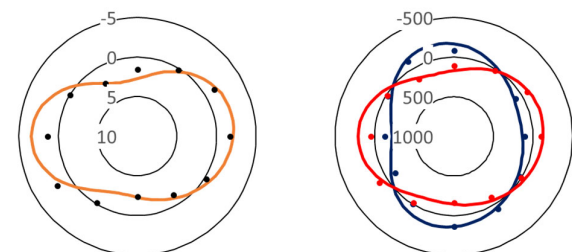


実験

FEMtij-2D  
(断面収縮15.36%)

### ■先行トンネルへの影響

- 左側壁部の値に差異はあるが、断面力の変化も概ね再現



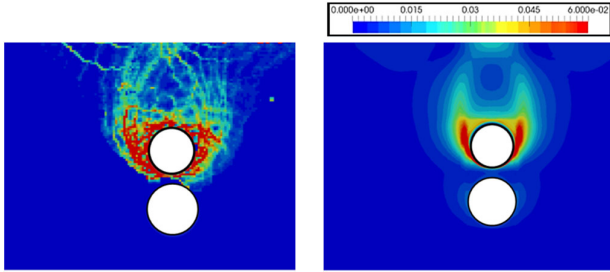
曲げモーメント

ひずみ

# 【2019JGS大会資料】 Case9 ; 直上の掘削

## ■偏差ひずみ

- ひずみ大きさ、範囲は概ね再現
- すべり線は確認できず

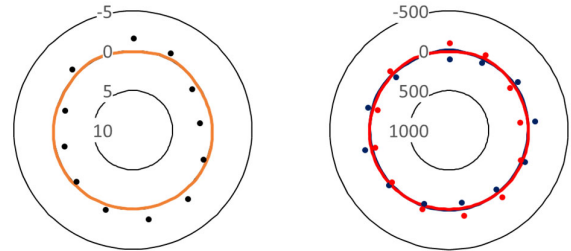


実験

FEMtij-2D  
(断面収縮15.36%)

## ■先行トンネルへの影響

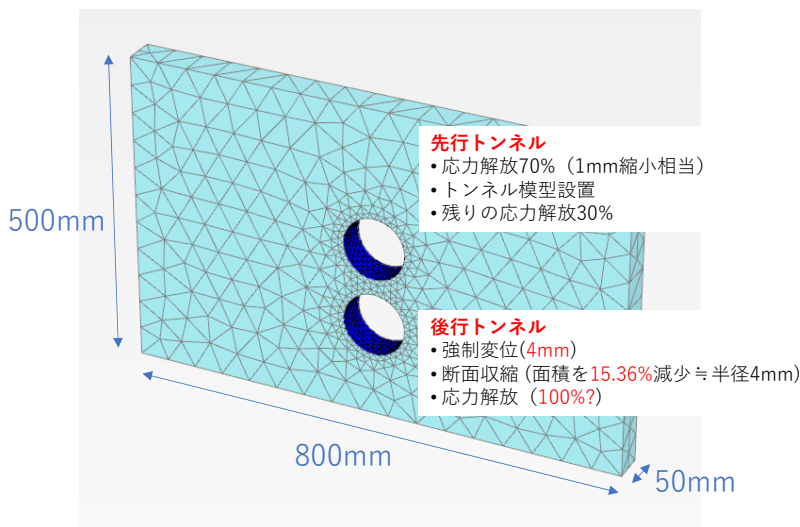
- 縦長つぶれに近い挙動を示しているが、解析結果で影響がほとんど無い



曲げモーメント

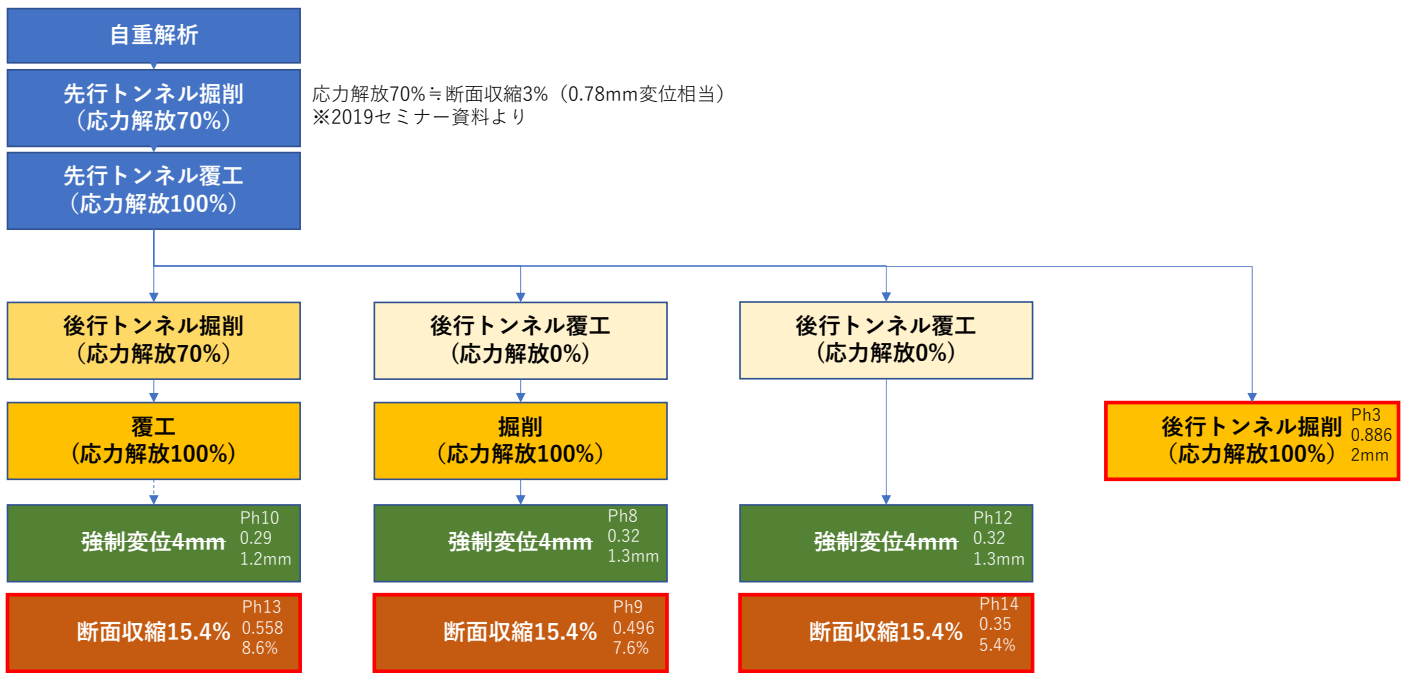
ひずみ

# PLAXIS+tijによる解析 (Case1 ; 直下の掘削)

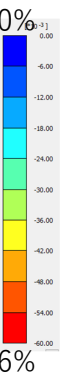
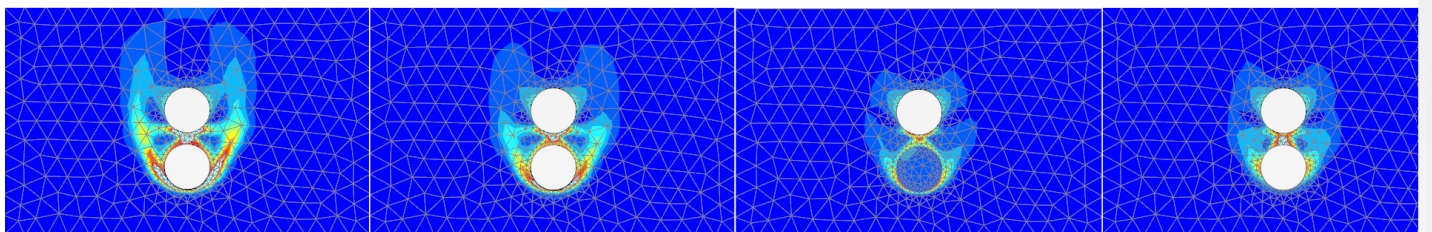
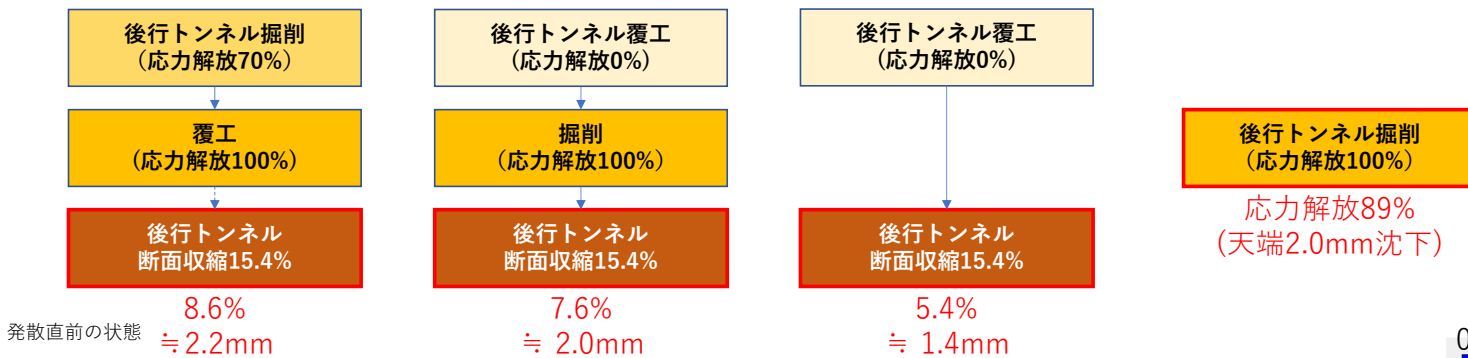


プロパティ	単位	値	アルミ棒
<b>ユーザー定義モデル</b>			
使用するDLLファイル		tij117plaxis64.dll	
DLLファイルに含まれるモデル		NoTension/Subloading tij AF+I	
<b>パラメータ</b>			
$\lambda$		8.000E-3	
$\kappa$		4.000E-3	
$R_{CS}$		1.800	
N (void ratio under atm)		0.3000	
$\nu$ (Poisson ratio)		0.2000	
Beta (Shape of yield surf.)		1.200	
$e_0$ (void ratio under initial)		0.3280	
[Density] $a_{AF}$		750.0	
[Density] $a_{IC}$		2.000	
[Density] power(p)		1.000	
[Bonding] omega0		0.000	
[Bonding] b		0.000	
[Unit] Pa (Atmospheric pres)		98.00	
[IC component] powerIC		0.000	
[Advanced] SplitStrainFlag (		0.000	
[Advanced][ $e_0$ ] $e_{0inc}$		0.2900	
[Advanced][ $e_0$ ] $Z_{ref}$	m	0.02500	

# PLAXIS+tijモデルによる解析ステップ

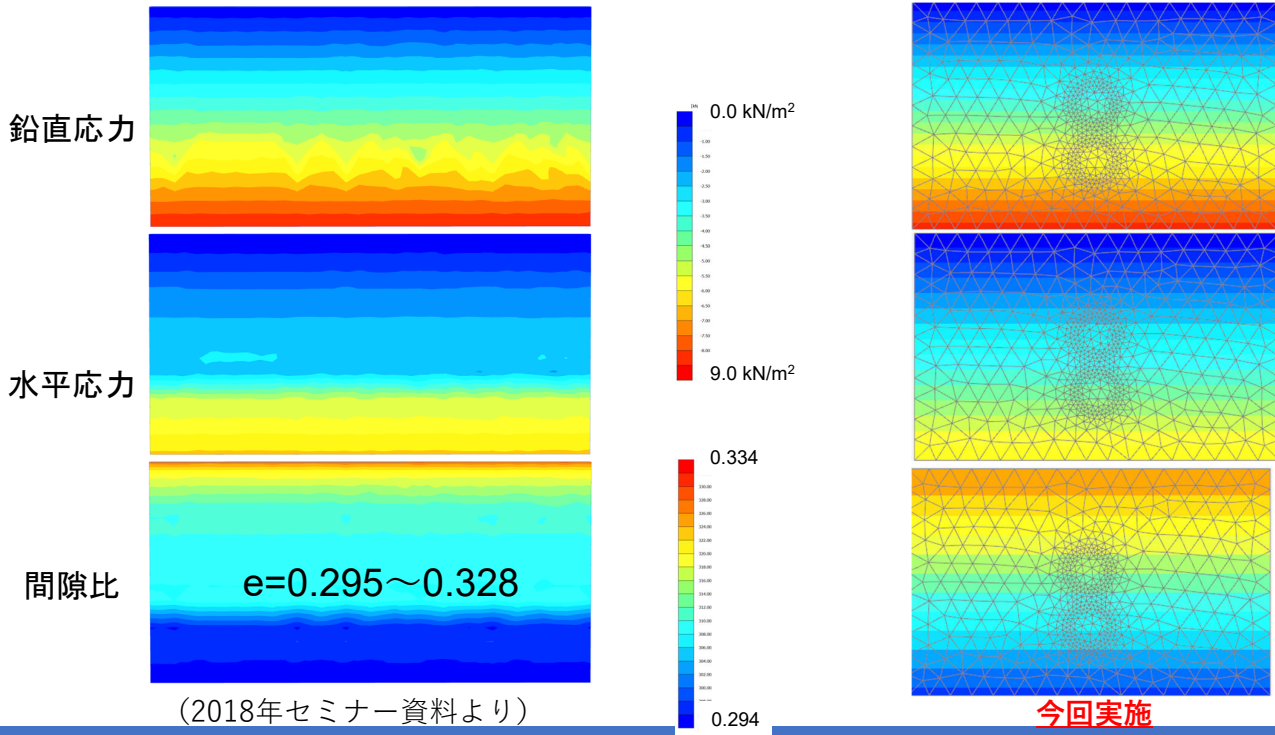


## 解析結果；偏差ひずみ $(\epsilon_1 - \epsilon_3)/2$

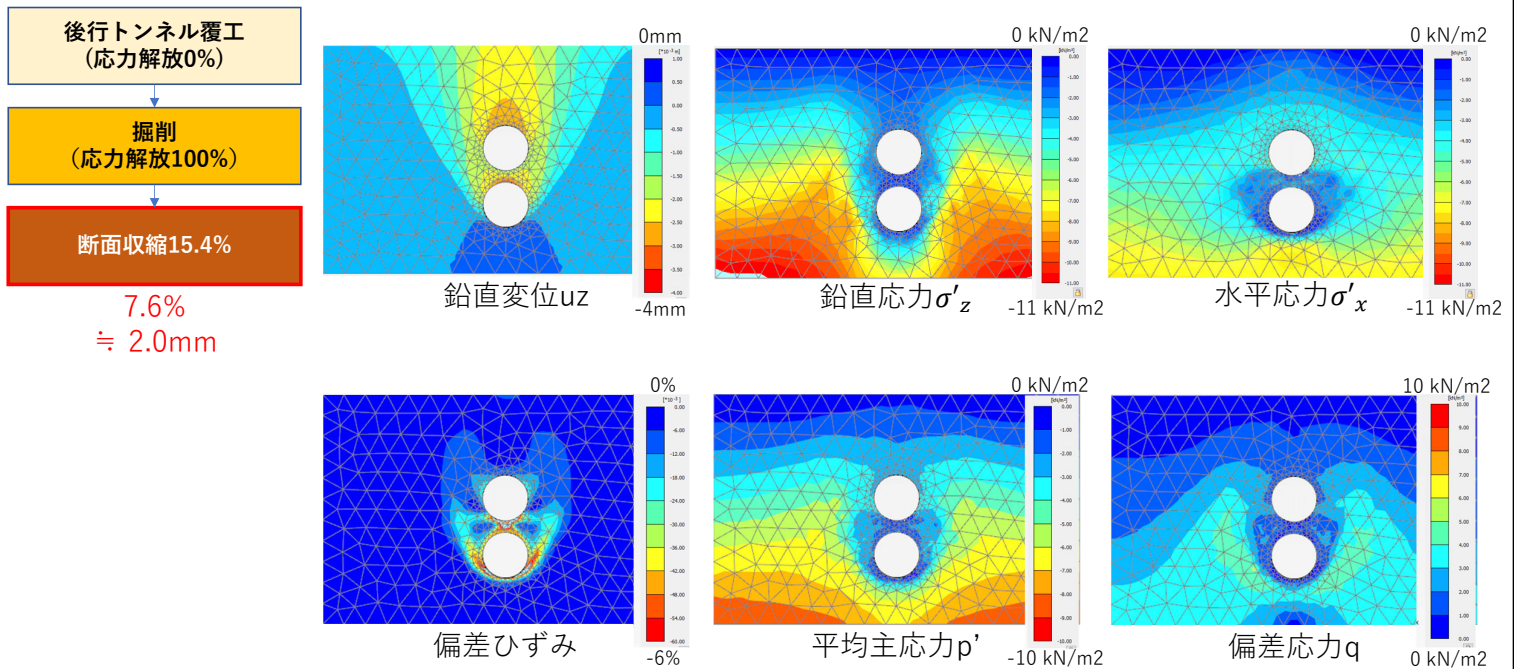




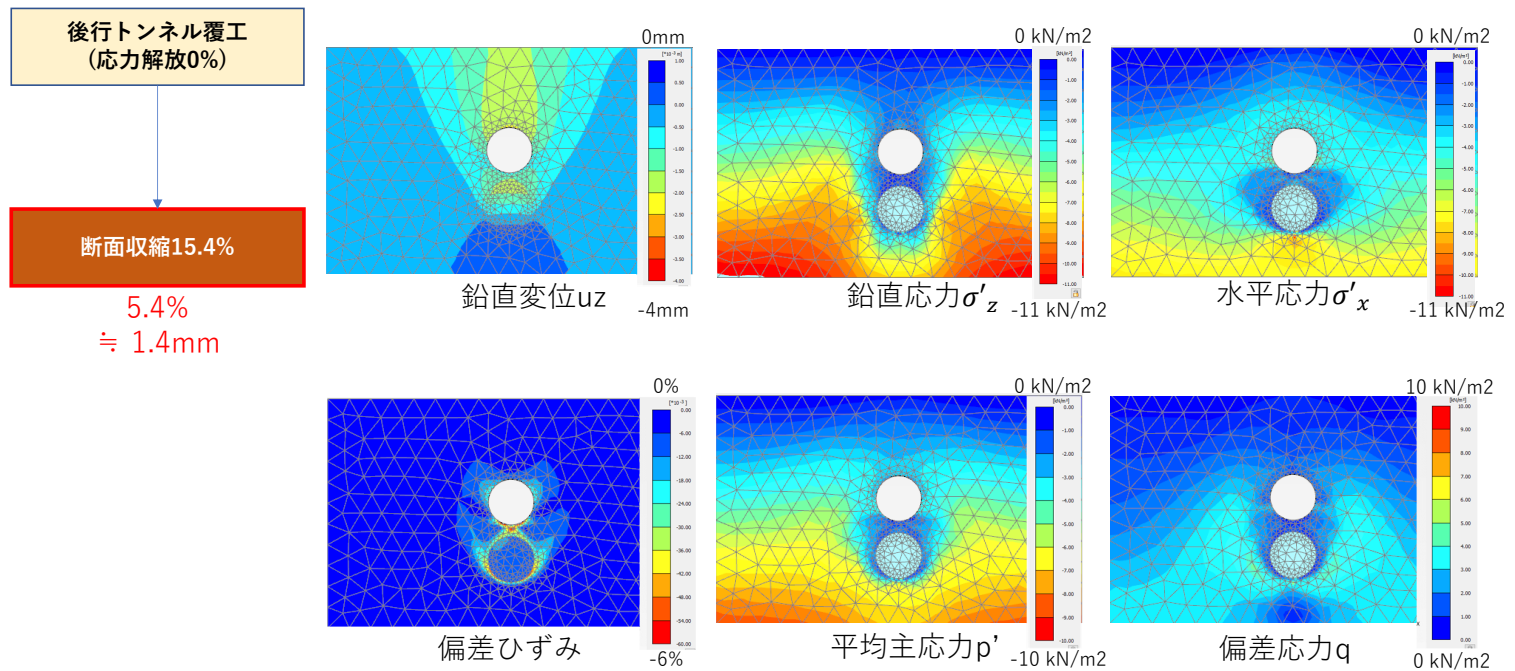
# 自重解析



# 解析結果 (覆工→掘削→断面収縮)



# 解析結果（応力解放0%→断面収縮）



19

## まとめ

- 双設トンネルを想定した模型実験を対象に、PLAXIS+tijモデルを使った解析を試行した。
- 後行トンネル掘削のモデル化（手順）として、①応力解放、②強制変位、③断面収縮を試行したが、いずれも計算途中で発散し、停止した。
- どの手順においても、概ね1.5～2.0mm収縮したところで計算が終了していた。
- 自重解析の結果は、以前実施されたものとはほぼ同等であることを確認した。
- 解析停止直前の結果をみると平均主応力  $p'$  が0に近づいており、不安定になったものと考えられる。

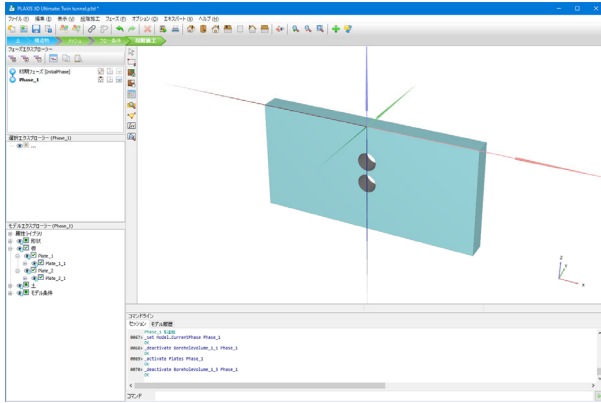
20

# WG3 (シールド) での実施内容 【tij研究会第40回資料】

## ■PLAXIS+tijモデルにより同様の再現解析を実施

- FEMtij-2Dとの比較
- 豊浦砂、藤森粘土等での解析
- 水とのカップリング等を試す予定

豊浦砂



パラメータ	単位	値
<b>ユーザー定義モデル</b>		
使用するDLLファイル		tj117plaxis64.dll
DLLファイルに含まれるモデル		NoTension/Subloading tj AF+I
<b>パラメータ</b>		
$\lambda$		0.07000
$\kappa$		0.04500
$R_{cs}$		3.200
N (void ratio under atm)		1.100
$\nu$ (Poisson ratio)		0.3000
Beta (Shape of yield surf.)		1.500
$e_0$ (void ratio under initial)		0.6500
[Density] a		60.00
[Density] $k_a$		16.00
[Bonding] $Q_{a0}$		0.000
[Bonding] b		0.000
[Bonding] $k_b$		0.000
[Unit] Pa (Atmospheric pre: kN/m <sup>2</sup> )		98.00
[IC component] powerIC (2)		2.000
[Advanced] SplitStrainFlag (		0.000
[Advanced][ $e_0$ ] $e_{0inc}$		2.000E-3
[Advanced][ $e_0$ ] $Z_{ref}$ m		0.000