

第9回「PLAXIS + tijモデル」プログラムセミナー

2024年11月26日

3次元トンネル解析の課題

伊藤 肇

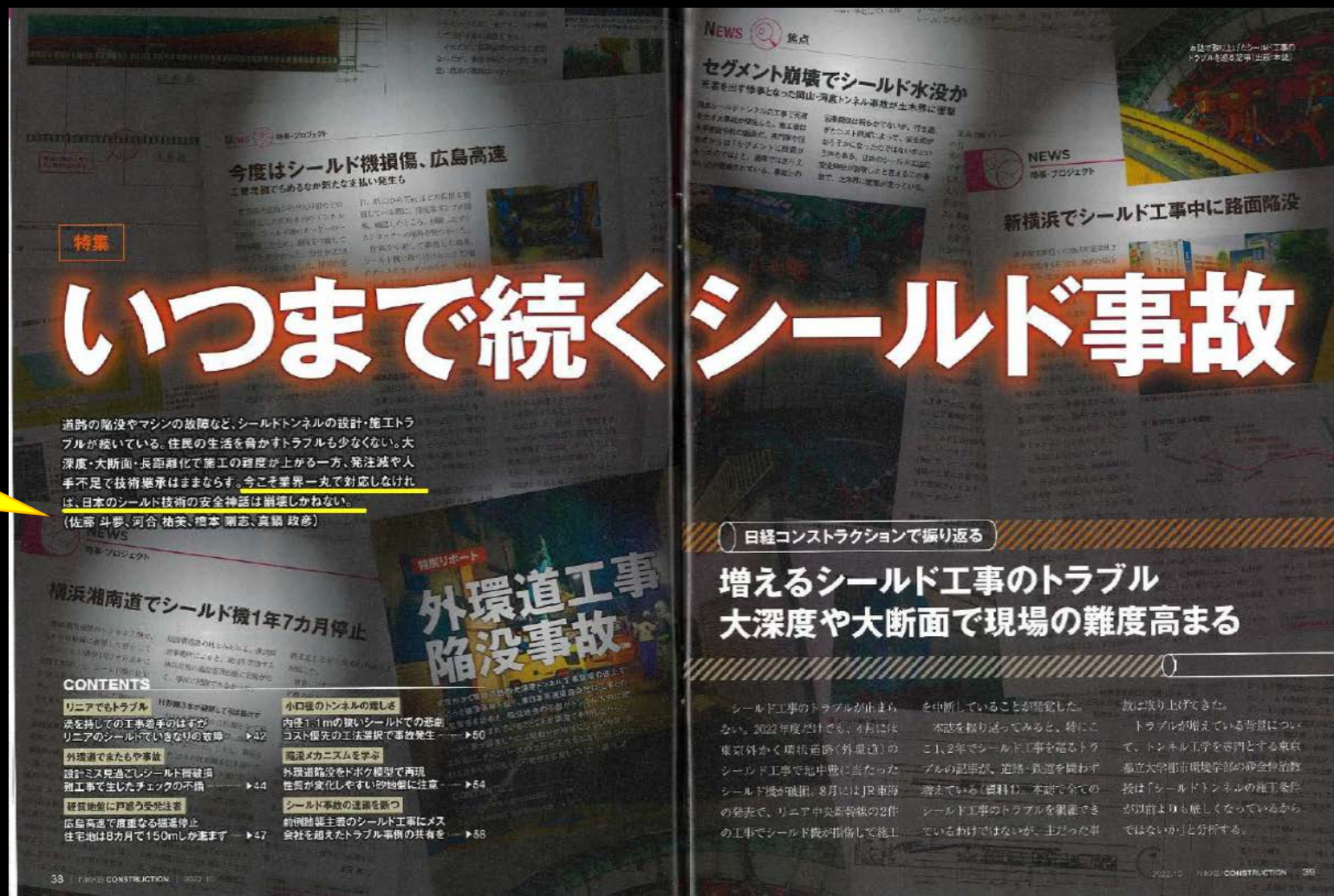
JIPテクノサイエンス株式会社

安全・安心なトンネル施工

日経コンストラクション (2022.10)
▶特集記事

今こそ業界一丸で対応しなければ、日本のシールド技術の安全神話は崩壊しかねない。

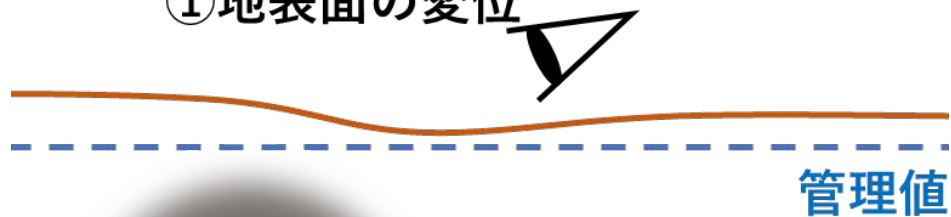
今回はシールドトンネルの
3次元解析の課題に着目



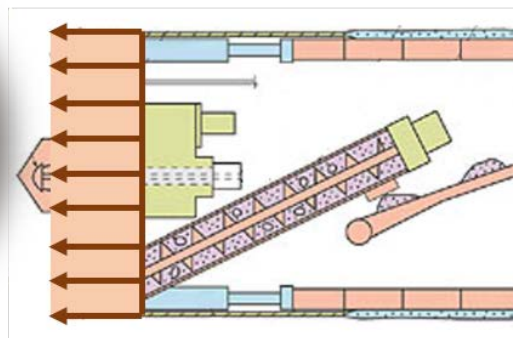
もう一つの目

これまでの安全管理

①地表面の変位



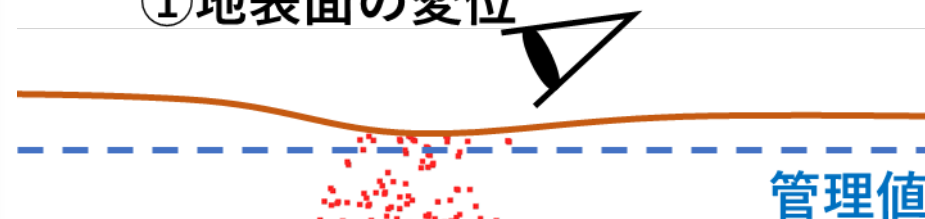
地中は
見えない！



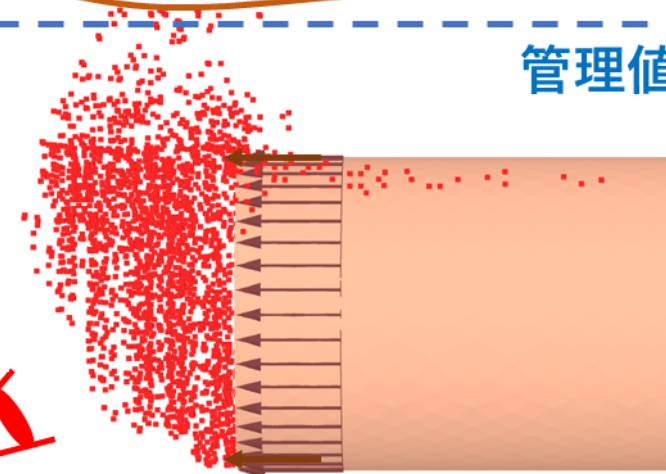
②切羽の土圧

新しい安全管理

①地表面の変位



③地中の
状況

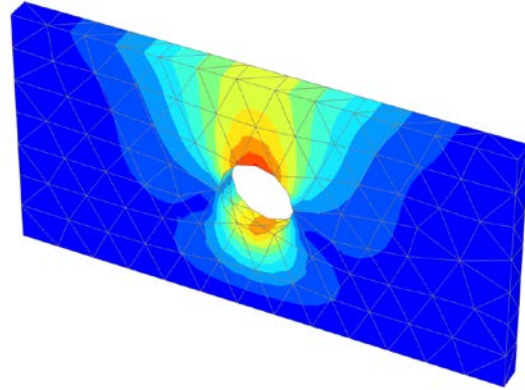


②切羽の土圧

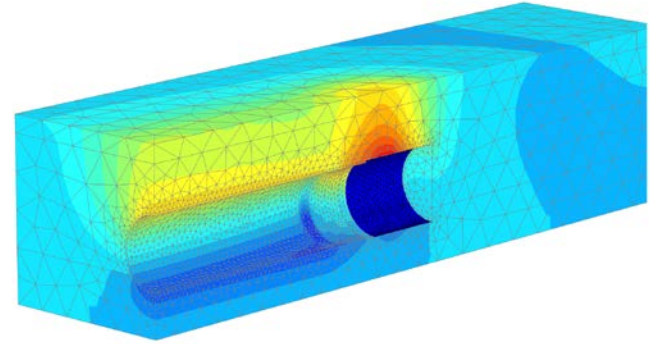
3次元FEM解析の利用

2D or 3D?

2D FEM



3D FEM



3次元の効果

・ 応力開放率で修正

・ ありのままにモデル化

モデルの複雑さ

・ 地盤の横断面に孔をあけるだけ

・ 複雑な地盤と構造のモデリング
と段階施工シーケンス

モデルの規模

・ 1,000～5,000 節点

・ 50,000～100,000 節点

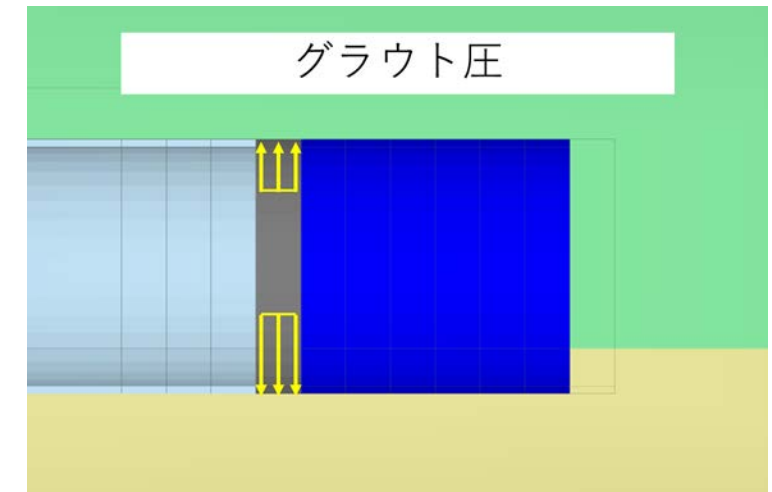
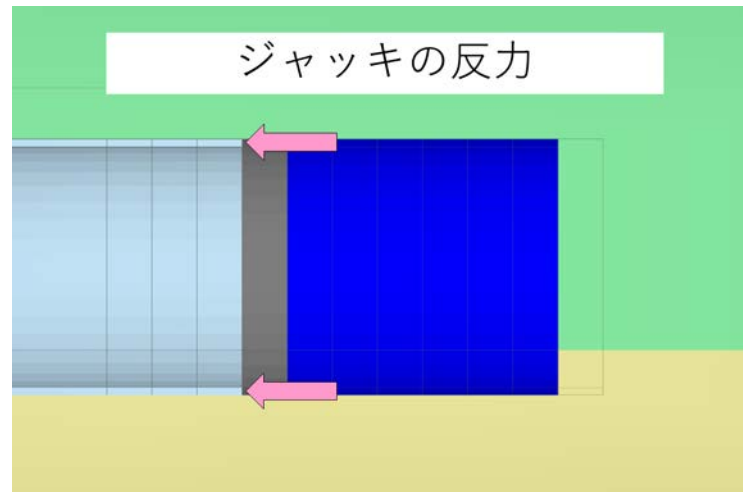
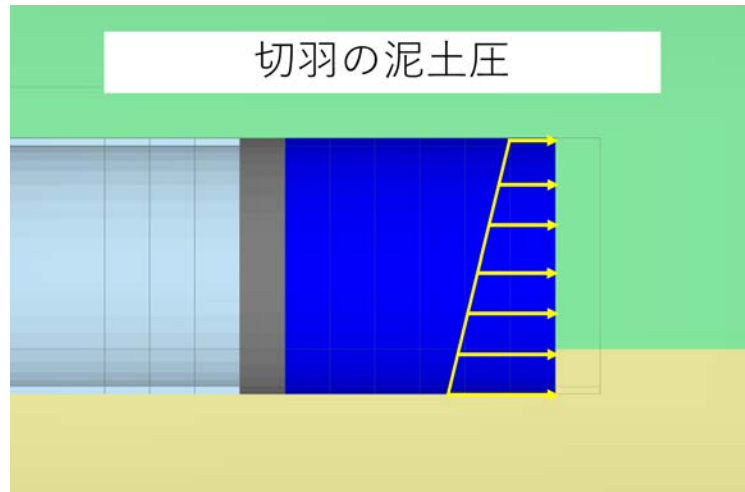
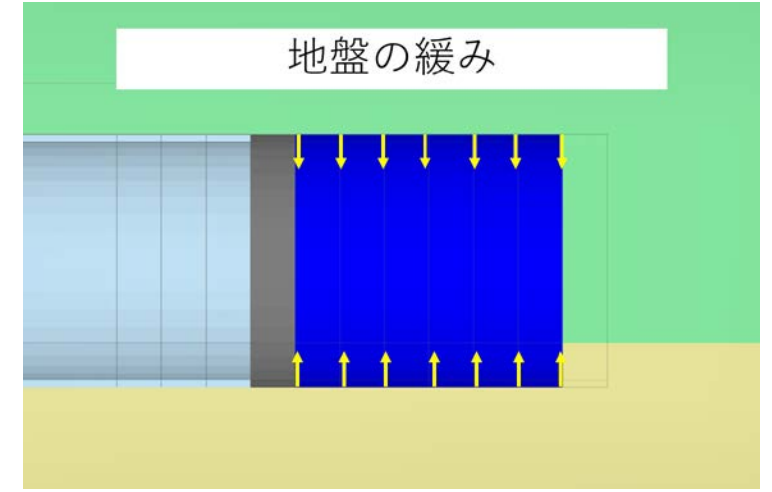
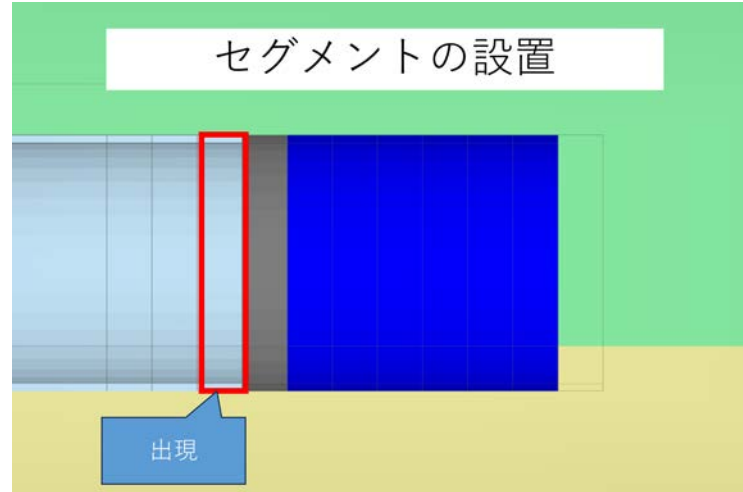
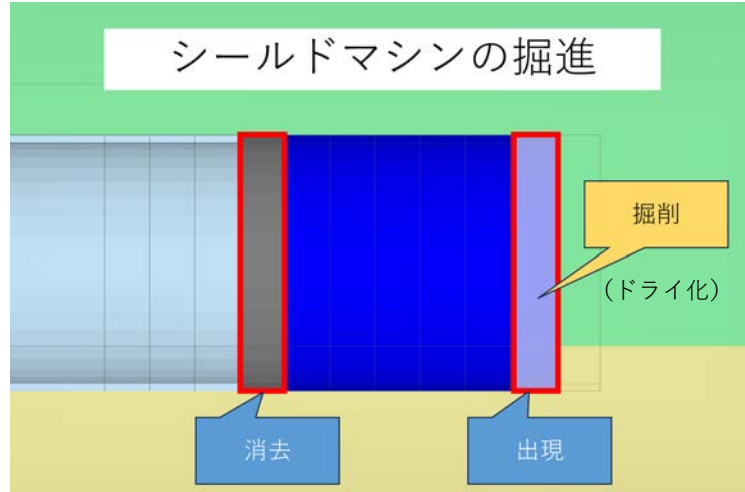
3D トンネル解析の課題

⇒

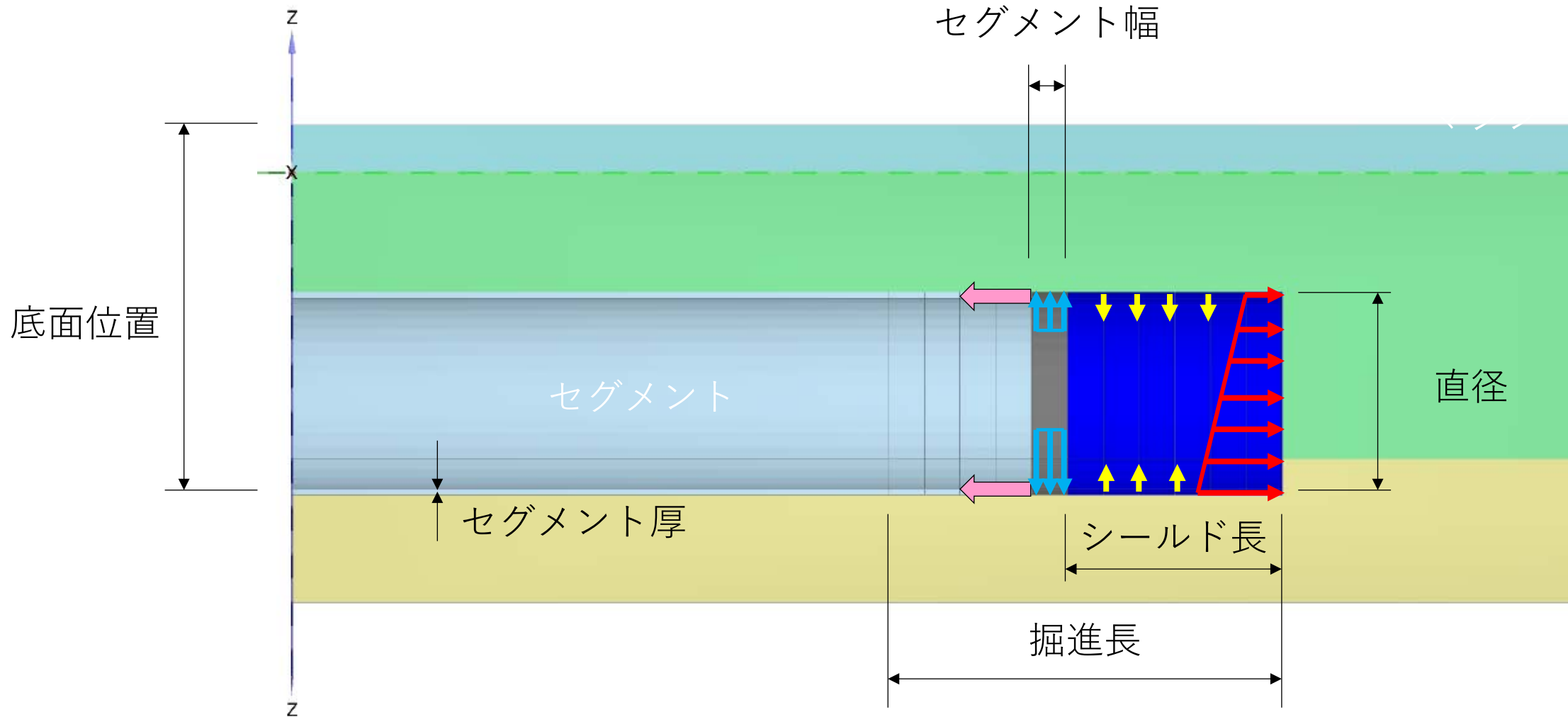
解析の自動化

構造物のモデリングと段階施工の自動化

・複雑な構造のモデリングと段階施工シーケンス



構造物のモデリングと段階施工の自動化

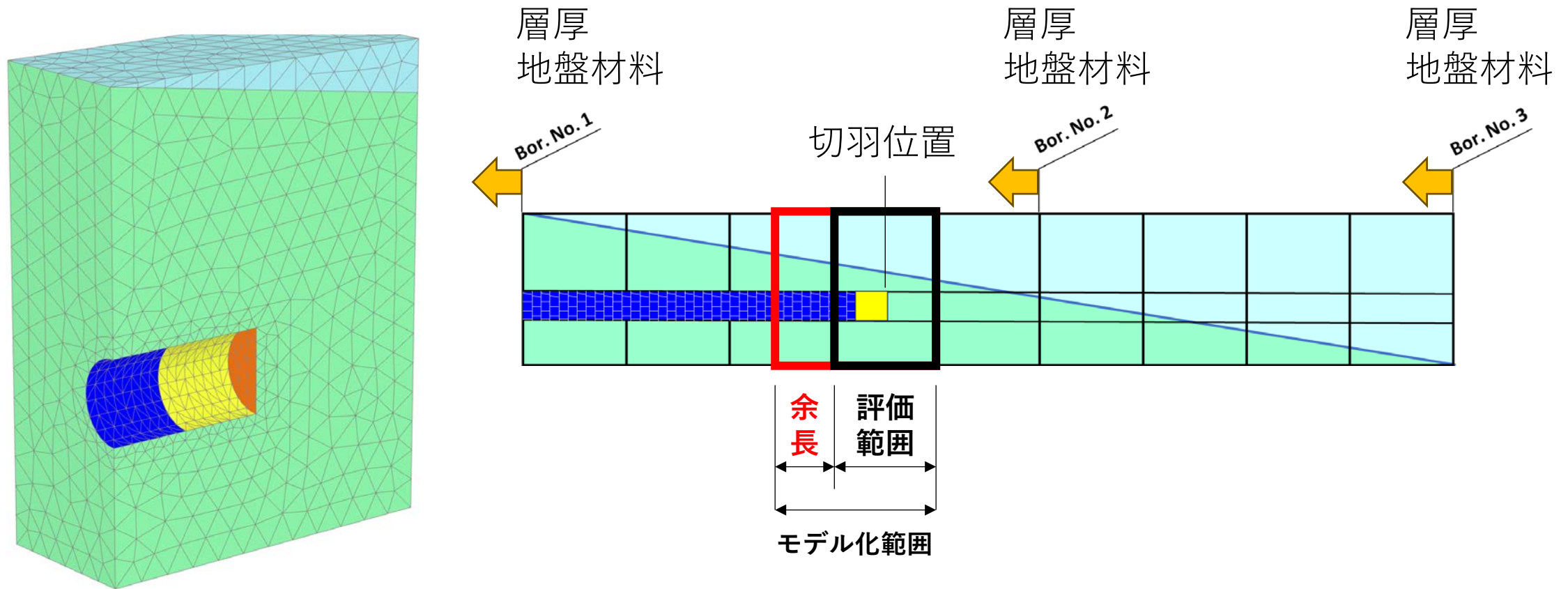


※複雑な構造物と段階施工シーケンスの自動化を行うツールを開発（J-FIG-GEO）

J-FIG GEO

地盤のモデリングの自動化

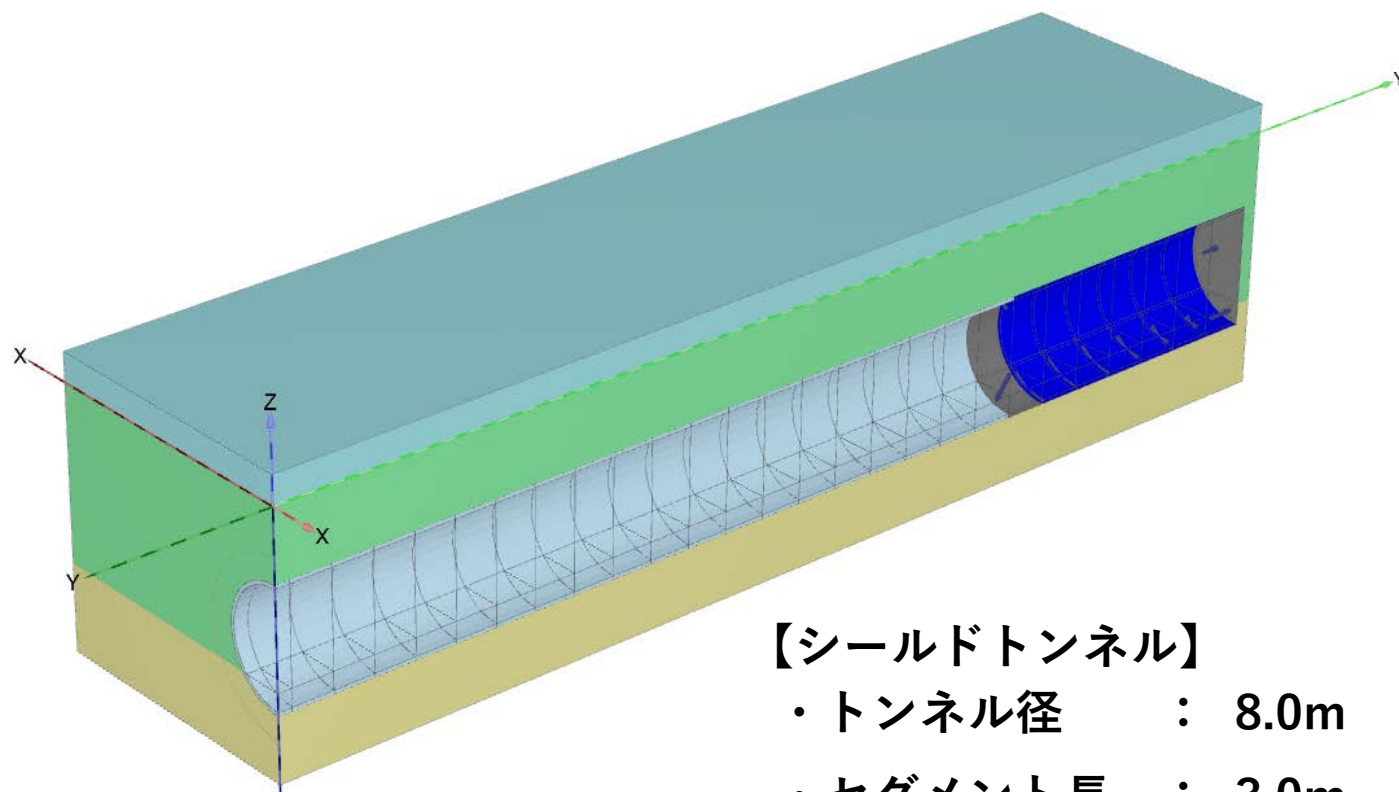
- ・ 3D 解析では掘進により切羽の位置が前進していく
⇒ 地盤条件を後退させることでモデリングの自動化が可能



※境界条件の影響を受けないための余長を考慮したモデル化範囲と切羽位置の事前決定が必要

地盤のモデリングの自動化

・モデル化範囲と切羽位置の検討



【シールドトンネル】

- ・トンネル径 : 8.0m
- ・セグメント長 : 3.0m
- ・セグメント厚 : 0.25m
- ・シールド長 : 15.0m

【モデルサイズ】

- ・モデル長 : 80.0m
- ・モデル幅 : 20.0m (halfモデル)
- ・モデル深 : 20.0m

【地盤】

- ・上層 : 2.0m Upper sand
- ・中層 : 12.0m Clay
- ・下層 : 6.0m Stiff sand
- ・地下水位 : GL-2.0m

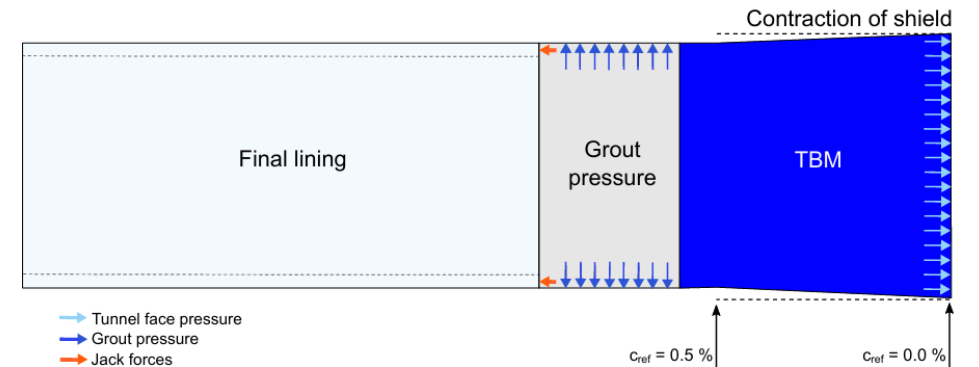
地盤のモデリングの自動化

【材料条件】

Property	Name	Upper sand	Clay	Stiff sand	Concrete	Unit
General						
Soil model	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Linear elastic	-
Drainage type	Type	Drained	Drained	Drained	Non porous	-
Unsaturated unit weight	γ_{unsat}	17.0	16.0	17.0	27.0	kN/m ³
Saturated Unit weight	γ_{sat}	20.0	18.0	20.0	-	kN/m ³
Mechanical						
Young's modulus	E'_{ref}	$1.3 \cdot 10^4$	$1.0 \cdot 10^4$	$7.5 \cdot 10^4$	$3.1 \cdot 10^7$	kN/m ²
Poisson's ratio	$\nu(nu)$	0.3	0.35	0.3	0.1	-
Mechanical						
Cohesion	c'_{ref}	1.0	5.0	1.0	-	kN/m ²
Friction angle	$\varphi'(phi)$	31	25	31	-	°
Dilatancy angle	$\psi(psi)$	0	0	0	-	°

【荷重条件】

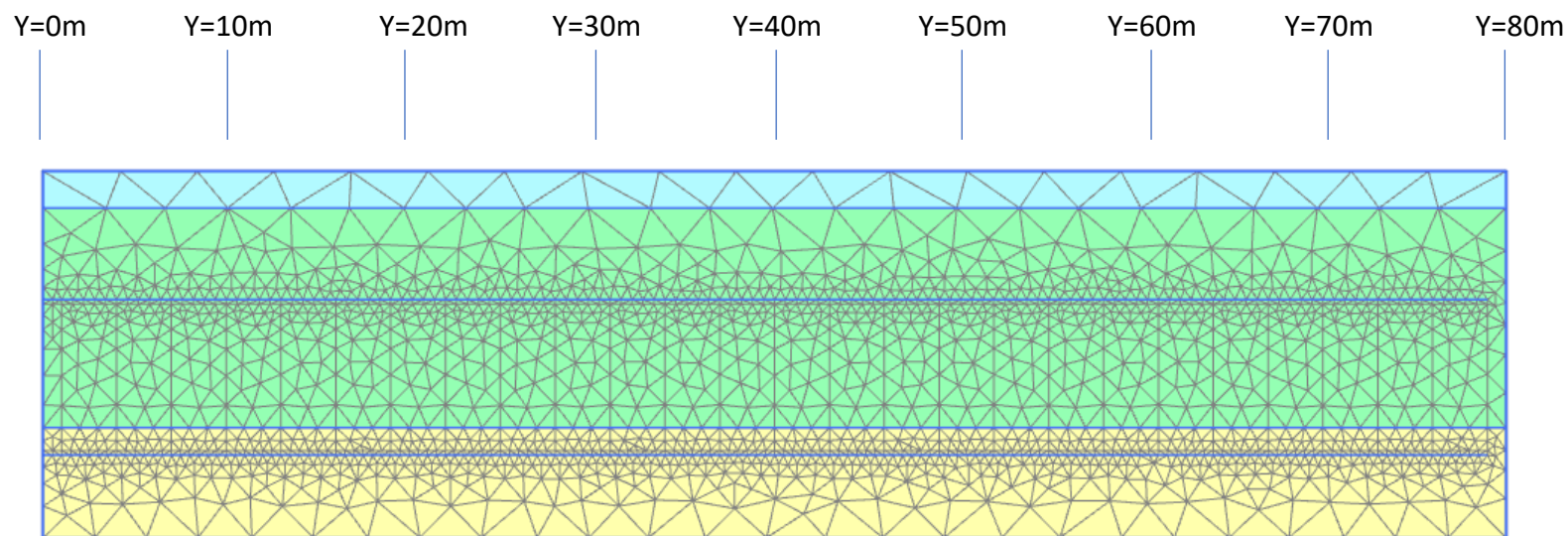
- ・ 切羽泥土圧 : 90～202 kN/m²
- ・ グラウト圧 : 100～260 kN/m²
- ・ ジャッキ圧 : 635.4 kN/m²
- ・ 地盤の緩み : マシン直径の0.5%



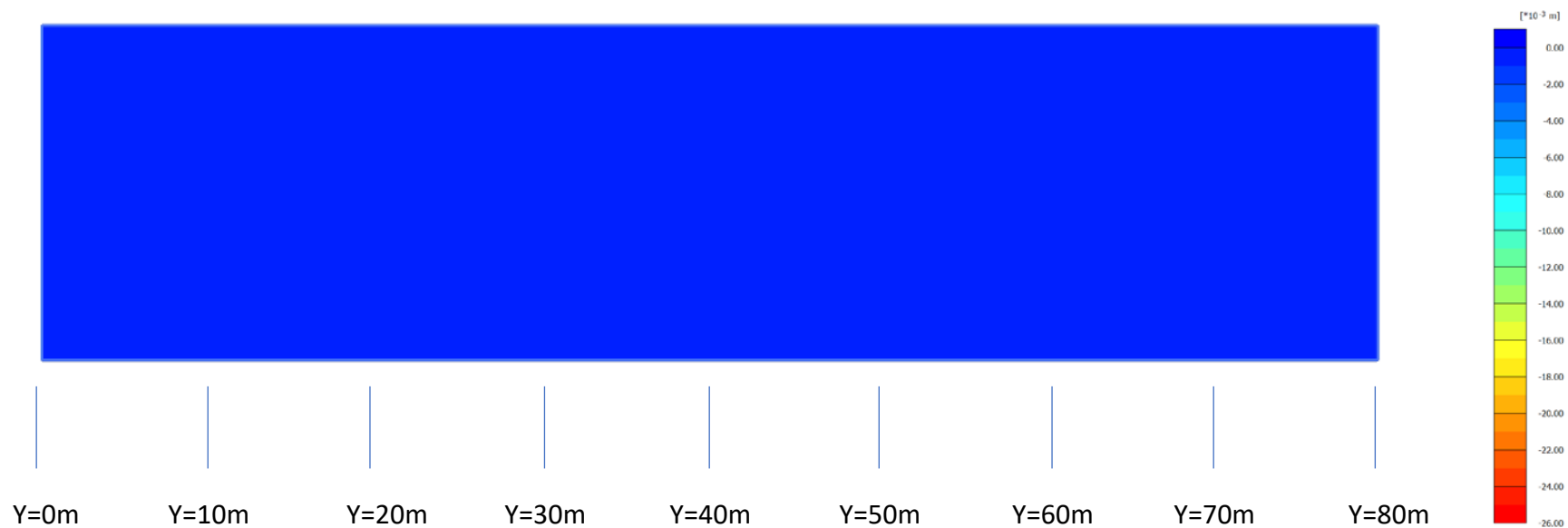
地盤のモデリングの自動化

【変形図】

変形倍率：100倍

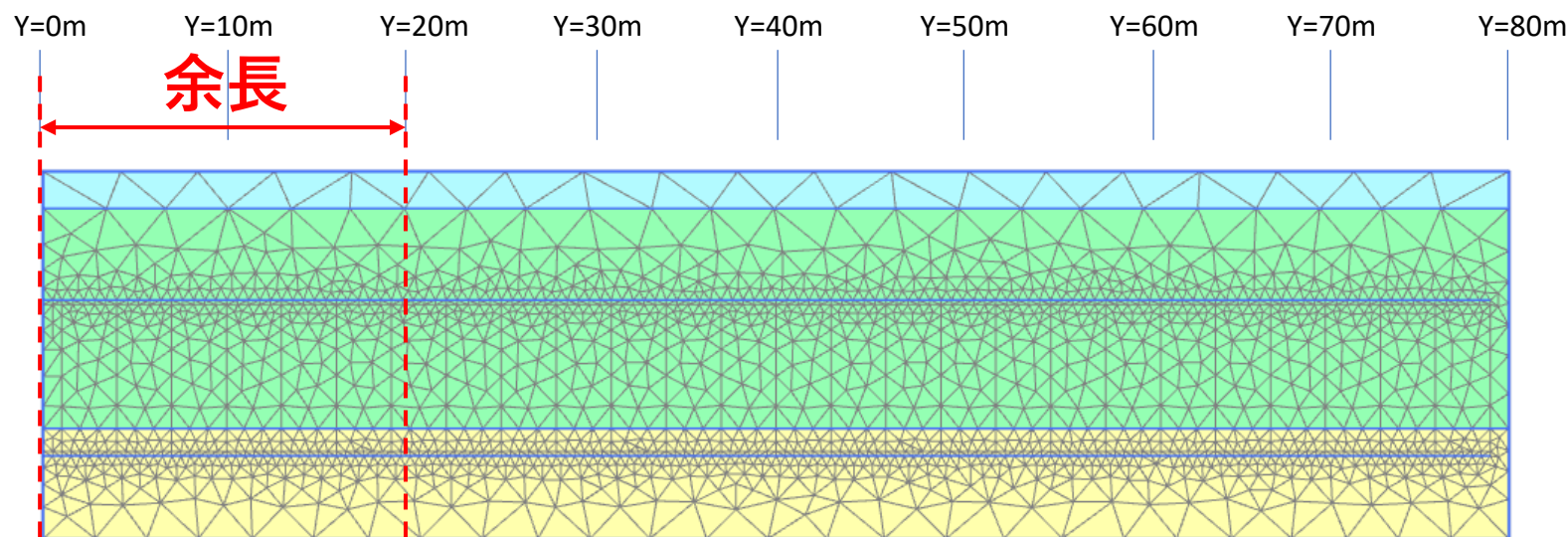


【地表面の鉛直変位】

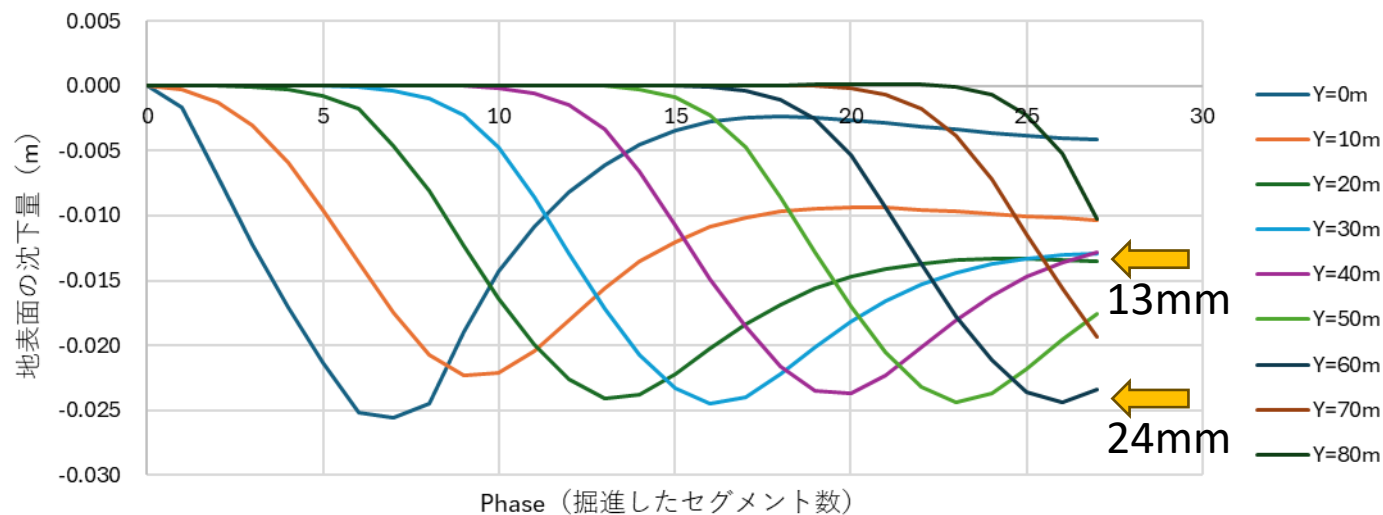


地盤のモデリングの自動化

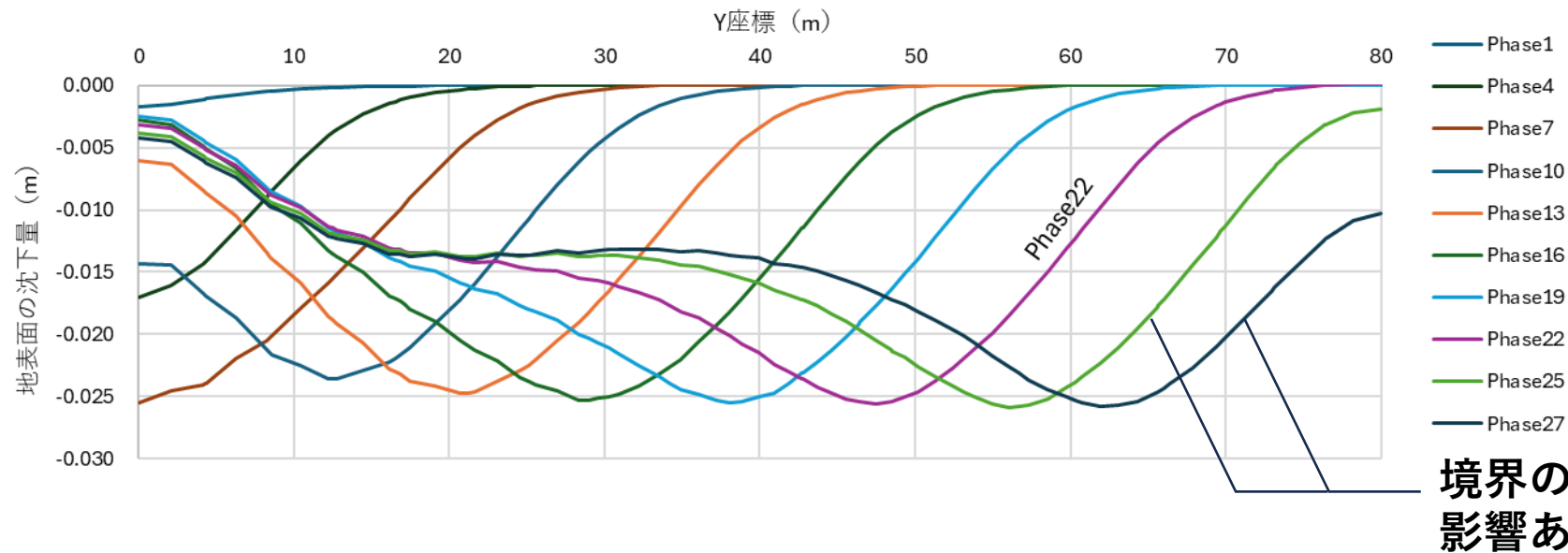
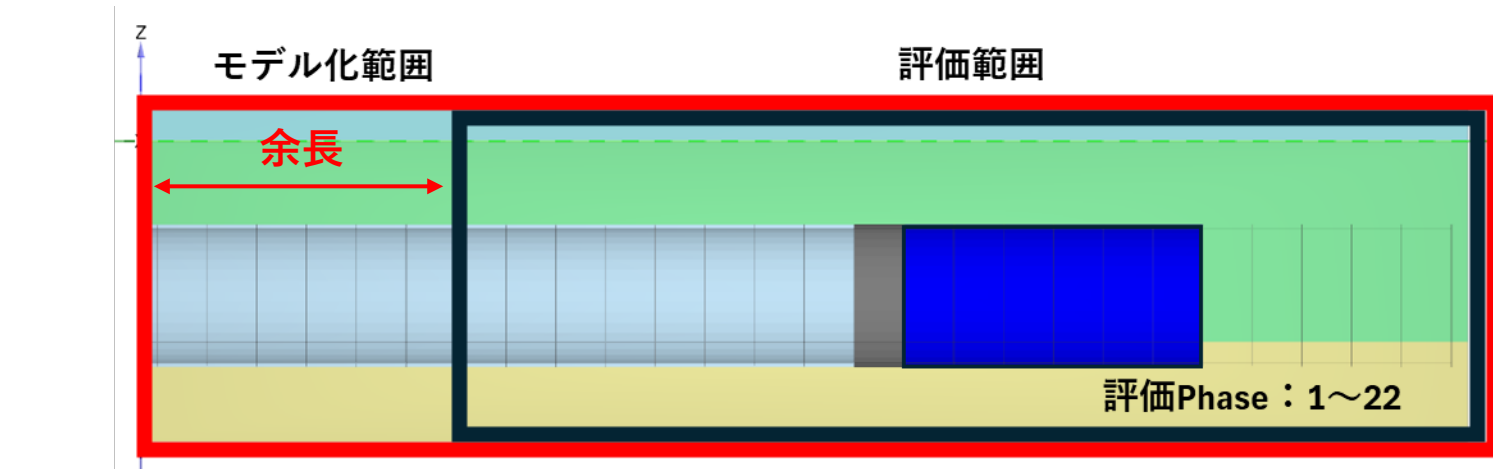
【変形図】



- ・ 切羽の接近 : 沈下の開始
- ・ 切羽の通過 : 最大沈下量に到達 24mm
- ・ 切羽の離反 : 沈下の収束 13mm



地盤のモデリングの自動化



モデル化範囲と切羽位置
の決定フロー

モデルの端から端までの
掘削解析



各位置の地表面変位
から後方の余長を決める

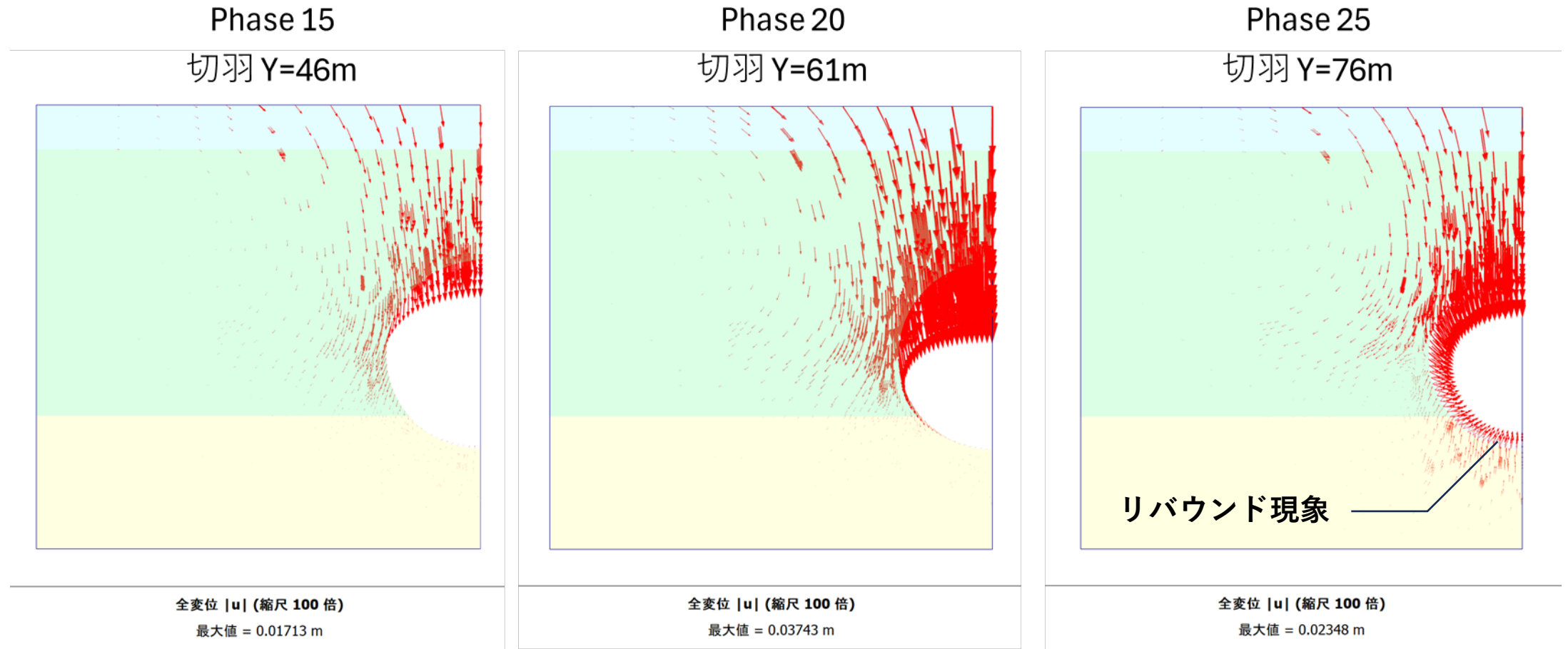


各フェーズの地表面変位
から切羽位置を決める

※解析条件によるモデル化範囲、評価範囲への影響の確認が必要

地盤のモデリングの自動化

【横断面の変位ベクトル（Y=40m位置）】



※リバウンド現象の発生は除荷剛性を適切に評価できる材料モデルにより改善への期待

まとめ

- ◆シールドトンネルに着目した3次元FEMの課題は「解析の自動化」
- ◆複雑な構造物と段階施工シーケンスの自動化を行うツールを開発（J-FIG-GEO）。
- ◆地盤モデリングの自動化は可能であるが、モデル化範囲と切羽位置の事前決定が必要。
- ◆解析条件によるモデル化範囲、評価範囲への影響の確認が必要。
- ◆リバウンド現象の発生は除荷剛性を適切に評価できる材料モデルにより改善への期待ができる。

シールドトンネルの3次元FEM解析の完全自動化にむけて