

第10回「PLAXIS+tijモデル」プログラムセミナー

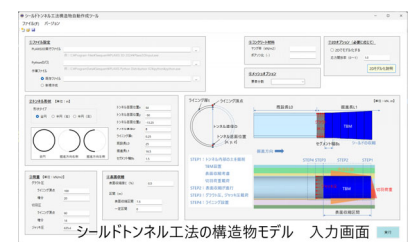
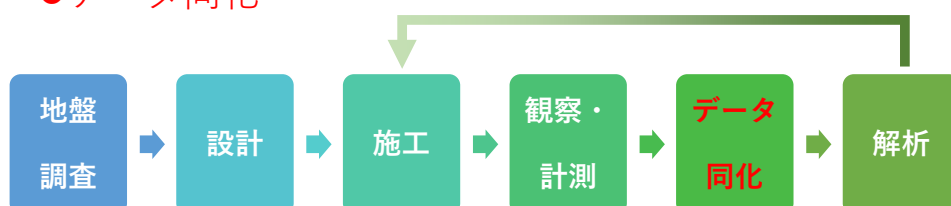
シールド掘進解析への データ同化手法の適用

2025年11月6日(木)16:25～16:45

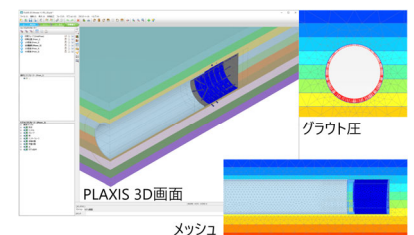
清水建設(株) 杉山 博一

WG3(シールドSWG)の活動内容・目標

- シールド掘進解析の高度化
 - 2次元弾性解析から3次元弾塑性解析へ
- 解析ツールの利用拡大(労力削減)
 - JFIG-GEO(本WGの活動ではありません)
 - 解析メッシュの追加・削除機能(アイディア段階)
- 解析ツールの利用拡大(施工管理の合理化)
 - データ同化



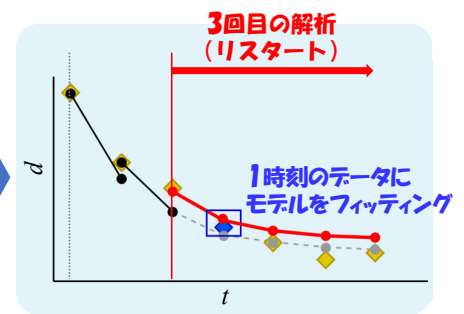
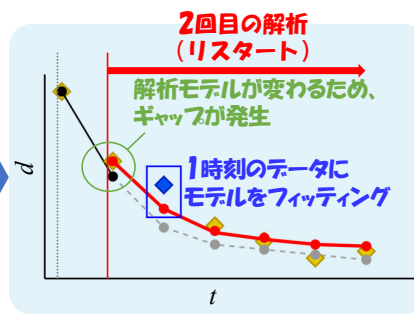
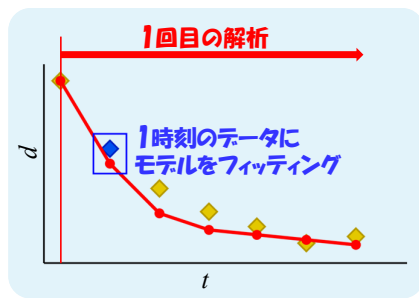
モデルの自動作成



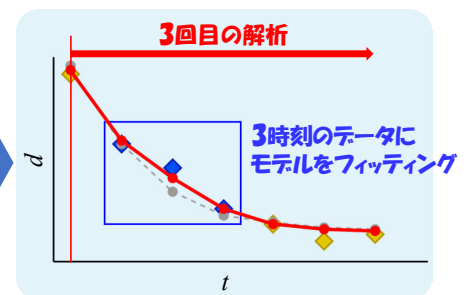
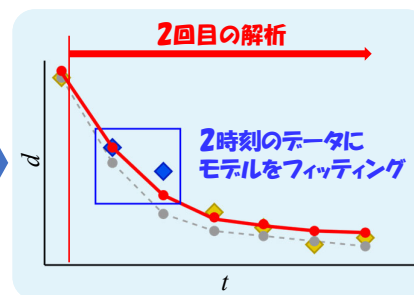
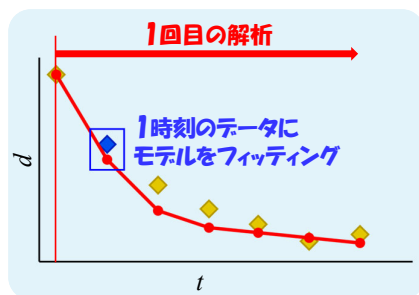
各種荷重を考慮した段階施工の設定

データ同化のイメージ

通常の逐次型
データ同化



解析期間を
固定した
データ同化
(本手法)



検討手順

■データ同化手法のシールド掘進解析への適用性検討

- 実施工時の挙動と解析モデルの違い、原因の検討
 - 今回のモデル化で問題ないことを前提とした

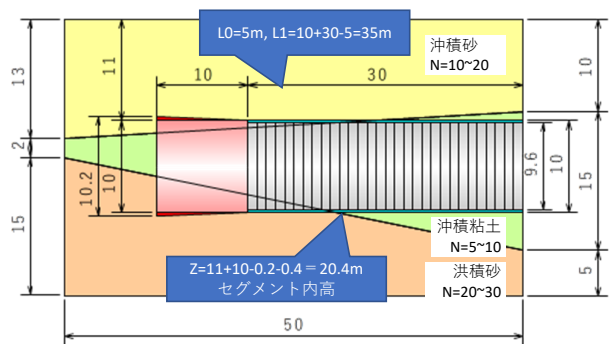
●数値実験

- 模擬モデルの作成 (→観測値の取得)
- パラメータの感度解析
- 模擬モデルを使用したデータ同化実験
- 逆解析が成立するか (解ける問題であるか) の確認
- 観測値の配置、個数、間隔等の妥当性

■実工事への適用方法の検討

■システム開発

検討モデル(模擬モデル)



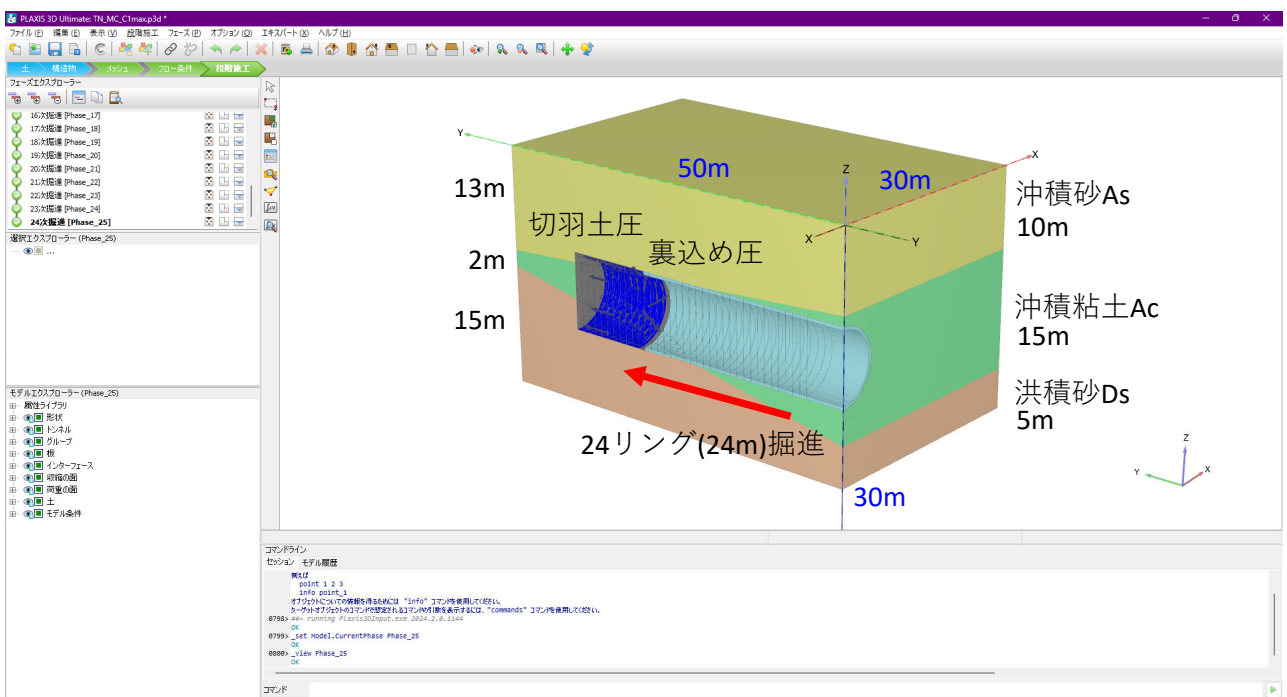
地盤の条件
E=700N (MIN)
ポアソン比 砂0.3、粘土0.4
単位重量 (湿潤) : 砂18kN/m³、粘土16kN/m³
単位重量 (飽和) : 砂19kN/m³、粘土17kN/m³
強度定数 (C,φ,ψ) : 仮値
※地下水位はDL-1.0m
シールド機
E = 2.0e8 kN/m²
γ = 77.0 kN/m³
T = 0.603 m
モデル直径 9.6 × π × T × 長さ 10m × 77.0 = 14,000 kN
セグメント
E = 3.0e7 kN/m²、ν = 0.2、γ = 24.5 (仮定)

項目	設定値案	備考 (JFIG-GEO用)
解析領域	縦30m、横50m、奥行き30m (半断面)	
地層構成	上から沖積砂(N=10~20)、沖積粘土(N=5~10)、洪積砂(N=20~30)のイメージ	
シールド機	外径10.0m、長さ10m 土被り11m 重量; 14MN (土重量と同程度とした)	初期掘進長10m (=マシン長さ)
シールド機収縮量	シールド機先端で10.2m シールド機降誕で10.0m	表面収縮率2% 表面収縮区間10m
セグメント	外径9.6m、内径8.8m、厚さ0.4m セグメント幅1m	既設長5m、残り25m(リング)分の掘進解析となる
裏込め (グラウト)	外径10m、厚さ0.2m	シールド機に隣接する区間(1m)で裏込め圧
切羽圧	天端で150kN/m ² 、深度増分18kN/m ² /m	
裏込め圧	天端で180kN/m ² 、深度増分18kNm ² /m	

		構成則	N値	E[kN/m ²]	C(C')[kN/m ²]	Φ(Φ')[deg]
1層目	As	MC	10~20	7,000	0.001	30
2層目	Ac	MC	5~10	5,000	45	0
3層目	Ds	MC	20~30	14,000	0.001	35

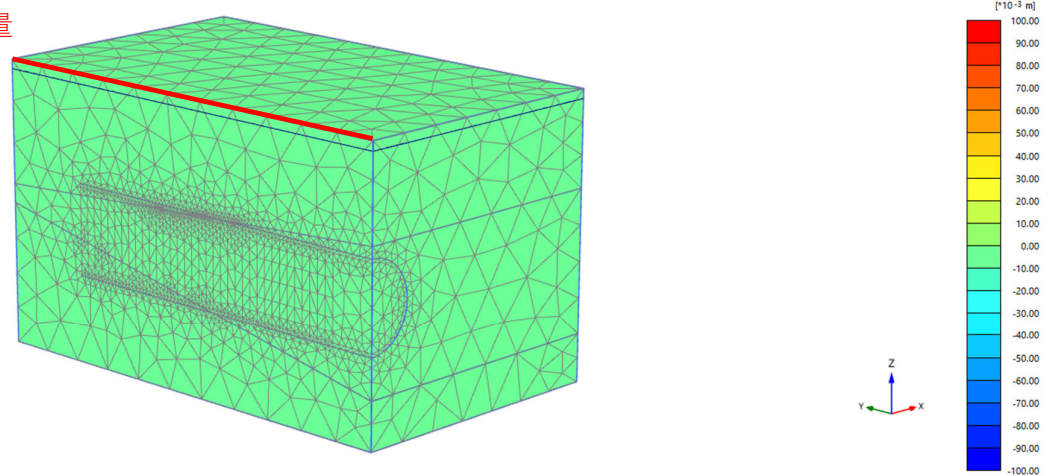
➡ JFIG-GEOでPLAXIS解析モデルを作成

解析モデル(PLAXIS 3D + JFIG-GEO)

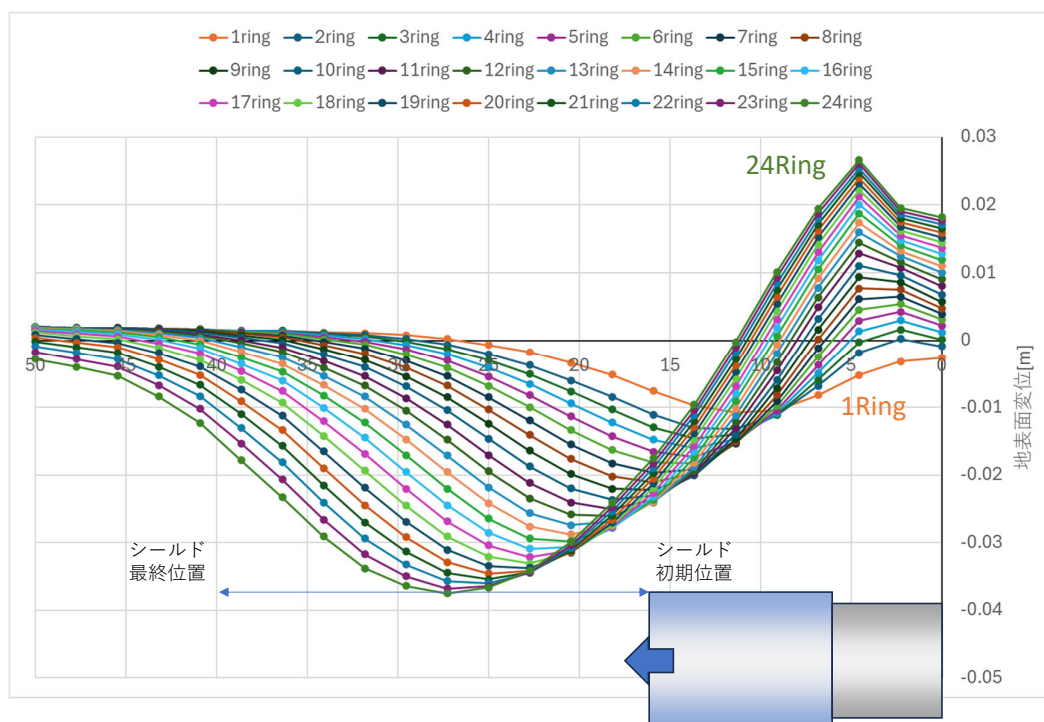


解析結果 鉛直方向変位 u_z （正解値）

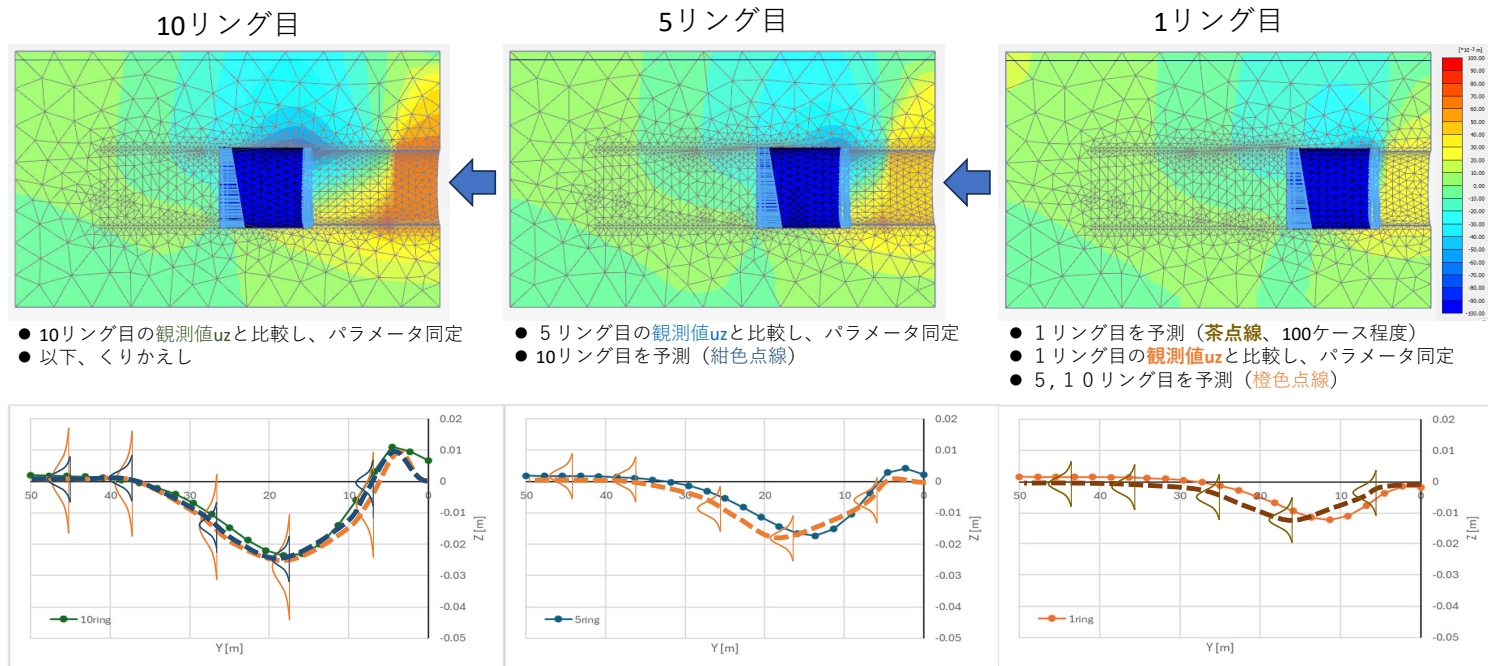
観測値；地表面沈下量



観測値；地表面変位 U_z の掘進リング毎の変化



シールド掘進を対象としたデータ同化のイメージ



2025/11/6

第10回「PLAXIS+tijモデル」プログラムセミナー

10

検討手順

■データ同化手法のシールド掘進解析への適用性検討

- 実施工時の挙動と解析モデルの違い、原因の検討
 - 今回のモデル化で問題ないことを前提とした

●数値実験

- 模擬モデルの作成 (→観測値の取得)
- パラメータの感度解析
- 模擬モデルを使用したデータ同化実験
- 逆解析が成立するか (解ける問題であるか) の確認
- 観測値の配置、個数、間隔等の妥当性

■実工事への適用方法の検討

■システム開発

2025/11/6

第10回「PLAXIS+tijモデル」プログラムセミナー

11

解析パラメータ(赤字)と、感度解析用パラメータ

		構成則	N値	E[kN/m ²]			C(C')[kN/m ²]			Φ(Φ')[deg]		
1層目	As	MC	10~20	2,000~	7,000	~30,000		0.001	~5		30	~35.5
2層目	Ac	MC	5~10	1,000~	5,000	~20,000	31.25~	45	~62.5		0	~10
3層目	Ds	MC	20~30	5,000~	14,000	~50,000		0.001	~10		35	~39

このケースのみ
非排水(A)； c', ϕ'
を設定

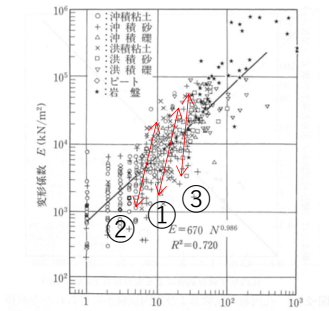


図-2.6.1 孔内載荷試験より得られた変形係数とN値との関係(土谷・豊岡⁶⁵⁾に加筆修正)

$q_u=12.5N$
Terzaghi&Peck
地盤調査の方法と解説

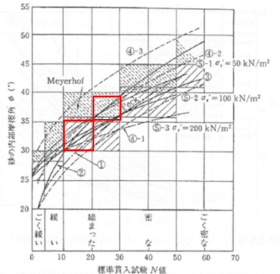


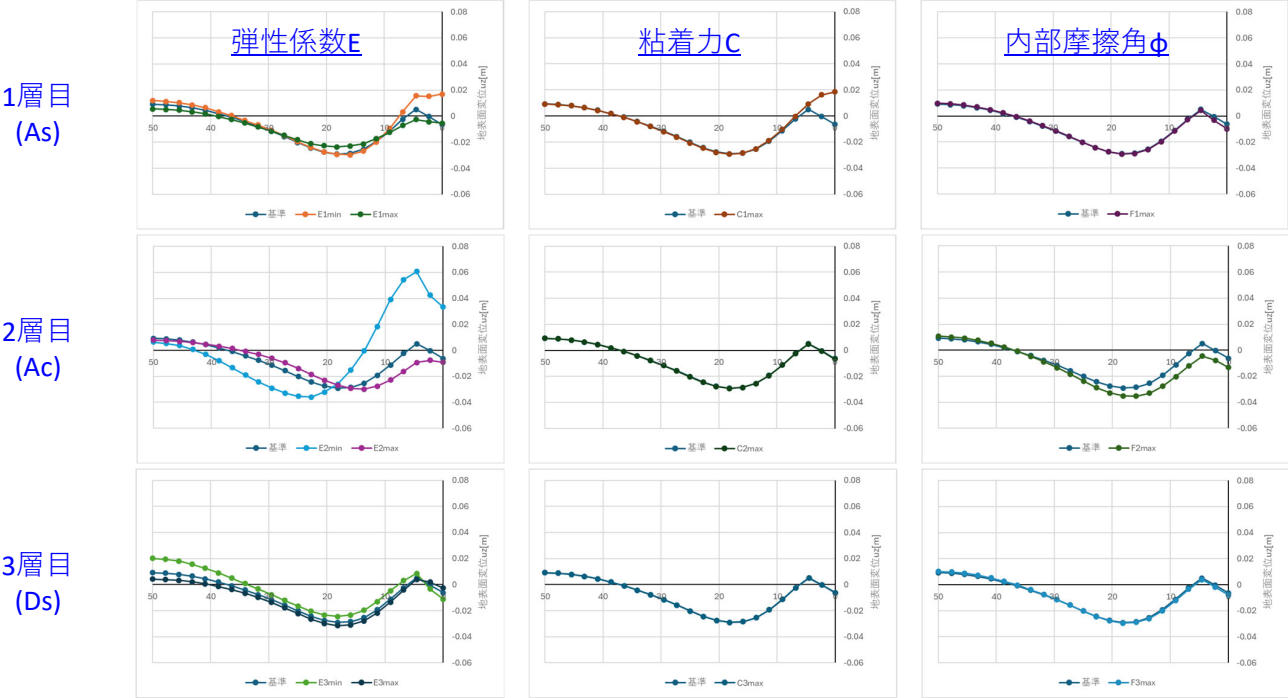
図-2.5.20 N値と砂の内部摩擦角の関係(地盤工学会⁶⁾)

地盤調査の方法と解説、pp.305
 $\phi = v(15N) + 15 \leq 45$ (道路橋)

地盤調査の方法と解説、
第8章,p.687
 $E=670 N^{0.986}$

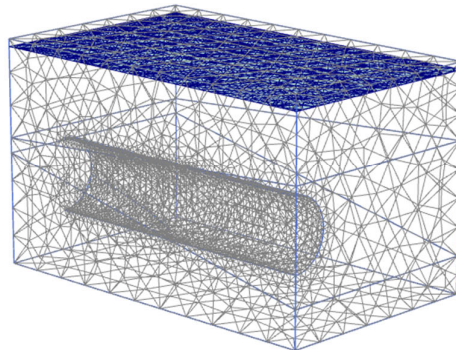
データ同化の事前検討：パラメータ感度の確認

■ 10リング目掘進後の観測値（地表面沈下 u_z ）分布



模擬モデルでの塑性点

- 塑性点は発進部とシールド近傍（切羽、裏込め）のみ
- 粘着力 c と摩擦角 ϕ の変位に与える影響は小さいことが判明

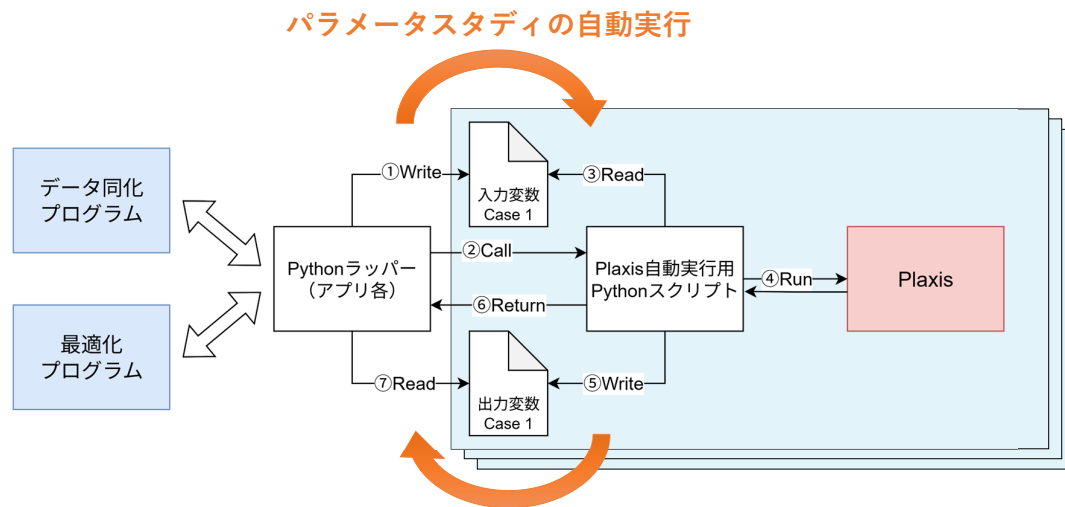


- 切羽圧、裏込め圧もデータ同化時のパラメータに追加する
 - 切羽圧、裏込め圧は施工時に変動するため
 - ただし、パラメータが増えるとデータ同化は複雑になる

今後の予定

- データ同化手法のシールド掘進解析への適用性検討
 - 実施工時の挙動と解析モデルの違い、原因の検討
 - 今回のモデル化で問題ないことを前提とした
 - 数値実験
 - 模擬モデルの作成（→観測値の取得）
 - パラメータの感度解析
 - 模擬モデルを使用したデータ同化実験**
 - 逆解析が成立するか（解ける問題であるか）の確認
 - 観測値の配置、個数、間隔等の妥当性
- 実工事への適用方法の検討
- システム開発

PLAXISとデータ同化プログラムの連携



- 外部プログラムと連携して、PLAXISによるパラメータスタディを自動実行し、モデルフィッティングやパラメータ最適化を行うことが可能。

おわり

ご清聴ありがとうございました。