

for Windows Vista/7/8

http://www.fem-suisui.com/

インデックス出版

2次元地盤解析システム「FEM すいすい― 圧密―」は有限要素法(FEM)に よる2次元圧密解析ソフトウェアです.ダムなどに関係する分野において,威力 を発揮する汎用 FEM 製品です.

本マニュアルの内容は概ね以下のようになっています.

第1章 始める前に

「FEM すいすい―圧密―」の特長や,操作の流れ,注意点ついて.

第2章 プログラムのセットアップ

必要な機器、インストール方法などについて

- 第3章 プリプロセッサー
- データの作成方法について.
- 第4章 ポストプロセッサー

解析結果の表示,印刷,エクセルへの出力方法について.

第5章 解析例

実務に即した例題を操作の手順を追って説明します.

第6章

本解析システムの解析理論について説明します.

**2次元地盤解析システム「FEM すいすい一圧密一」**は初心者からベテラン技術者まで、すいすいと使えるように工夫されたソフトです.ある程度、解析に慣れ親しんでいる方々なら、第5章解析例から始めてもよいでしょう.

# 目 次

第13	章 はじめる前に	6
1-1	「FEM すいすい――圧密――」とは	6
1-2	「FEM すいすい――圧密―」の操作の流れ	7
1-3	FEM 解析にあたっての注意点	
	1-3-1 単位系 8	
	1-3-2 メッシュの分割方法 8	
第2₫	を セットアップ	9
2-1	インストール方法	9
	2-1-1 製品版のダウンロード 9	
	2-1-2 「FEM すいすい―圧密―」 のインストール 9	
第3₫	〕 プリプロセッサー	
3-1	起動と終了	
3-2	データ作成手順について	14
3-3	解析方法の設定	24
3-4	材料特性の設定	
	3-4-1 不飽和特性曲線 26	
	3-4-2 材料特性値の入力 27	
3-5	解析対象の作図	
	3-5-1 作図とは 28 25-2 作図とは 28	
	3-5-2 作凶に役立つ機能 30	
26		41
0-0	材料特性の割り目で	
3-7	×ツンユ分割 3.7.1 分割数指定に上ろ白動分割 /2	
20		11
20		44
3-9	小児乔米什の設定	
3-10	) 時们 A テーンの設定 3-10-1 解析ステージとけ 46	
	3-10-2 解析ステージの設定 47	
3-11	解析の実行	

第4章	章 ポストプロセッサー	
4-1	起動と終了	
4-2	解析結果の表示	
	4-2-1 役立つ機能 50	
	4-2-2 解析結果の表示 51	
	4-2-3 表示の設定 54	
4-3	解析結果の利用	
	4-3-1 変位量 58	
	4-3-2 コンター図 58	
笛 5 香	<b>新闻 新闻 19</b>	60
5-1	┍ // // // // // // // // // // // // //	61
01	5-1-1 解析条件 61	
	5-1-2 解析手順 61	
	5-1-3 解析結果 81	
節らき	<b>音 弾・粘朔性カップリング解析</b>	86
0-1	ルノ-09の関係	
	0-1-1 記与の定義 00 612 弾・牡朔州理論(関ロのモデル) 86	
	6-1-2 译 柏奎住埕碼(因山のビブル) 00 6-1-3	
	6-1-4 破陸冬供式 87	
	6-1-5 弾性のLaméの定数 88	
6.2	右限要表完学注	88
0-2	6-2-1 記号の定義 88	
	6-2-2 基礎方程式 88	
	6-2-3 支配方程式 89	
	6-2-4 初期条件と境界条件 89	
	6-2-5 変分原理 89	
	6-2-6 有限要素定式化 89	
6-3	繰返し計算	
	6-3-1 不飽和浸透特性 91	-
	6-3-2 収束条件式 92	
	6-3-3 浸出面の取扱い 92	
	6-3-4 進入不可境界とその取扱い 93	

# 第1章 はじめる前に

2次元地盤解析スシテム「FEM すいすい一圧密一」を始めるにあたってその 特徴,操作の流れ,解析にあたっての注意点について説明します.

# <u>1-1 「FEMすいすい―圧密―」とは</u>

「FEM すいすい― 圧密―」は解析種別として圧密解析(平面ひずみ解析,軸 対称解析)に対応した有限要素法(FEM)解析ソフトです.

**「FEM すいすい―圧密―」**は、前田建設工業(株)で開発され長年使用され ている実績ある FEM 解析ソフトのプリポスト部分を、さらに機能強化して使い 易く改良したものです.

[FEM すいすい― 圧密―」の特徴としては次の点が挙げられます.

①モデル作成機能

分割数指定による自動分割(要素細分化)機能を搭載し,自動分割後の細部 のマニュアル修正も可能です.また,モデル作成(プリプロセッサー)から解 析(ソルバー)および結果の確認(ポストプロセッサー)までを1つのソフト ウェアに搭載し,解析作業を効率的に行えます.

② UNDO 機能

モデル作成時,直前に行った動作を無制限に元に戻す機能を搭載 ③施工段階を追う解析が簡単

地盤の掘削,盛土などのステージ解析を実施することができます.ステージ ごとに,材料定数の変更,境界条件の変更が可能です.

④結果図の貼付け

モデルや解析結果を様々な表現方法で表示でき,報告書への貼り付けが簡単 に行えます.

解析の種類としては、以下の2種類があります。①平面ひずみ(単位厚)②軸対称(1 ラジアン)

解析方法		×		
タイトル:				
構造条件 <ul> <li>平面ひずみ(単位厚)</li> <li>軸対称(1ラジアン)</li> <li>応力ひずみ関係</li> </ul>	間隙水圧の影響 ●考慮する(土・水連成) ○考慮しない(全応力解析) 初期応力の算出法	<ul> <li>入力水頭値</li> <li>節点水頭:</li> <li>○ 圧力水頭</li> <li>● 全水頭</li> <li>○ ステージごとに設定</li> </ul>		
<ul> <li>● 弾粘塑性</li> <li>● 弾塑性</li> <li>● 線形弾性</li> </ul>	<ul> <li>●自重計算で算出</li> <li>○深さとγとKと分布荷重で算出</li> <li>関数のせん断応力比</li> </ul>	透水係数 〇一定 〇 飽和時のみ非線形		
<ul><li>☑ 掘削相当外力を自動处</li><li>最大反復計算回数:</li></ul>	€3∰ ○  η - η0	<ul> <li>不飽和時のみ非線形</li> <li>非線形</li> </ul>		
許容誤差: 0.0001 OK キャンセル				

まず,(プリプロセッサー)で解析対象の作図とメッシュ分割,解析条件の入 力など,解析の前に必要な処理を行います.次に(ソルバー)にて解析,そして, (ポストプロセッサー)にて数値で出された結果を分かりやすく伝えるため,ディ スプレイ上にグラフィックなどを使って表示して結果の確認・出力までを一連の 作業として行います.



(プリプロセッサー)
 解析対象の作図
 メッシュ分割

解析諸条件の入力

#### 作図の画面



## (ソルバー)

③(ポストプロセッサー)

グラフィック表示

結果の確認・出力

解析実行

## 条件入力の画面



結果の確認画面(例:変位コンタ)

彩 「

甞

はじめる前に

# 1-3 FEM解析にあたっての注意点

### 1-3-1 単位系

FEM 解析では一般に単位系の指定はされてはなく,ユーザーが各自で設定す る必要があります.

2次元地盤解析「FEM すいすい― 圧密―」でも、ユーザーが設定した単位系 が出力の単位系となります.決めなければいけない単位は力と長さと時間で、出 力する量は変位、水頭、流量、応力、ひずみ、断面力です.これらの単位は解析 を始める前に明確にしておく必要があります.ただし、間隙水の単位体積重量が 1になる単位系にする必要があります.

#### 1-3-2 メッシュの分割方法

FEM 解析はメッシュを細かく切った方が,精度は高くなります.しかし,メッシュを細かく切るのには限界があります.また計算時間や作業効率を考えると, メッシュをいかに効率的に切るかということが重要となります.一般的にいえる ことは,

①応力集中部や評価点はメッシュを細かく切る.

②アスペクト比(長辺と短辺の比率)が低いメッシュにする.

③四角形要素を多用し、三角形要素はなるべく作らない.

④メッシュのサイズの急変を避ける.

ことです.メッシュを切るにはこれらのことを考慮する必要があります.



メッシュ分割例

# 第2章 セットアップ

# 2-1 インストール方法

2-1-1 製品版のダウンロード

**2 次元地盤解析システム「FEM すいすい一圧密一」**はホームページよりダウ ンロードしてください.

「FEM すいすい― 圧密―」を使用するためにはレンタル申し込みしていただ くことが必要です.申し込みののち,郵送される「USB プロテクトキー」をご 使用いただくことで,レンタル契約期間に応じてご利用いただけます.

「FEM すいすい― 圧密―」は同時に1台のパソコンでのみ、お使いいただけ ます.「USB プロテクトキー」は複数のパソコンで同時に「FEM すいすい― 圧 密―」が使用されることを制限するためのものです.

2-1-2 「FEMすいすい―圧密―」のインストール

Microsoft® Windows® (以下 Windows) を搭載する PC のデスクトップに, 「FEM すいすい—圧密—」[setup.exe] がダウンロードされていることを前提に 説明します.

● ライセンス契約書の確認

8	FEMすいすい 圧額	密 セットアップ	- • ×
<b>ライセンス契約書</b> FEMすいすい 圧密をイ	ノストールする前に、 ライセンス	条件を確認してください。	
[Page Down]を押して契	約書をすべてお読みください。		
<<< 重要 >>>  必ずお	S読みください		^
このセットアップは、社の	り用となります。		
「ss ファイル」をダブル つけ下さい。	クリックした際は、最後にセット	アップしたものが有効となりますの	)で、お気を
社外への配布は厳禁で	す。社内であっても、配布には	最新の注意を払ってください。	~
契約書のすべての条件 すい 圧密 をインストーノ	こ同意するならば、「同意する〕 レするには、契約書に同意する	を選んでインストールを続けてくだ 必要があります。	さい。FEMすい
		同意する( <u>A</u> )	キャンセル

[setup.exe]を実行するとライセンス契約書画面が表示されます.内容をよくお読みになり、同意される場合は[同意する]をクリックしてください.

 コンポーネントの選択
 アEMすいすい 圧密 セットアップ - □ ×
 コンボーネントを選んでください。 FEMすいすい 圧密のインストール オブションを選んでください。
 インストールしたいコンボーネントにチェックを付けて下さい。不要なものについては、チェックを外して下さい。
 インストール コンボーネントを選 択:
 必要なディスクスペース: 11.1MB
 (原る(B) 次へ(N)> キャンセル

> 各コンポーネントの文字の上にカーソルを移動すると,各コンポーネントの 説明が表示されます.使用するコンポーネントにチェックを入れて,[次へ]を クリックします.

	● インスト・	ール先の選択	
8	FEMすいすい	圧密 セットアップ	- 🗆 ×
インストール先を通 FEMすいすい 圧密	<b>しんでください。</b> をインストールするフォルダを	選んでください。	
FEMすいすい 圧密 参照]を押して、別 て下さい。	を以下のフォルダにインストー のフォルダを選択してください。	ルします。異なったフォルダに インストールを始めるには [イ	インストールするには、[ ンストール] をクリックし
- インストール先 つ D:¥Program Fi	フォルダ les (x86)¥FEMすいすい 圧密¥		参照( <u>B</u> )
必要なディスクスへ 利用可能なディスク	ペース: 11.1MB 7スペース: 441.5GB		
		< 戻る( <u>B</u> ) インスト	ールキャンセル

インストールするフォルダの指定をします.

フォルダ指定しない場合は、[C: ¥Program Files ¥FEM すいすい圧密] にイン ストールされます.変更する場合は [参照] をクリックし, インストール先のフォ ルダを指定してください. [次へ] をクリックします.

<b>2</b>	FEMすいすい 圧密 セットアップ -	
インストールの完了 インストールに成功しました。		
完了		
	< 戻る(B) <b>完了(F)</b> キー	ャンセル

インストールの完了画面が表示されますので, [完了]をクリックしてください. これで,パソコンに2次元地盤解析システム「FEM すいすい―圧密―」がイン ストールされました.

## ●「FEM すいすい──圧密──」の起動

Windows のスタートメニューより [FEMすいすい圧密]を選択し,下の [プ リプロセッサ]をクリックして実行します.

「FEM すいすい― 圧密―」のプリプロセッサが起動します.

また, Windows のスタートメニューより [FEMすいすい圧密]を選択し, 下の [ポストプロセッサ] をクリックして実行すると, **「FEM すいすい―圧密―」** のポストプロセッサが起動します.

#### ● USB キーの使用方法

① USB キーをパソコンの USB ポートに正しく取り付けます.

② **「FEM すいすい―圧密―」**を起動します.



# 3-1 起動と終了

#### 起動の方法

- パソコンには USB キーを付けておきます.
- ① Windows を起動して、タスクバーの「スタート」をクリックします.
- ②「プログラム」にカーソルを合わせます.
- ③サブメニューから「FEM すいすい一圧密一」のプリプロセッサーを選択して クリックします.

#### 画面構成

メニューバーとツールバーを利用した標準的な画面構成になっています.なお, プロパティウィンドウが右側にドッキングされて表示されますがフローティング ウィンドウに設定することもできます.以下の様な画面が表示されます.

<u>×</u>	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	- □ ×
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	<i>へ</i> ルプ( <u>H</u> )	
i 🗋 🚔 💕 🖬   🗠 ד 🗠 ד 🔍 1	🕞 📂 🔍 🖓 - 🔛 🎞 ปี 🖬 🖽 🏭 🖏 🕼 🕼 💽 - 🔧 🛄	<b>♪・</b> ⊗・∎ ∰ ⇒
		プロパティ 👻 🗙
レディ 平面ひずみ	213.185, -30.6239	

プリプロセッサー画面構成

## データ保存

メニューバーのファイル内にある「上書き保存」か「名前を付けて保存」また は、ツールバーの[保存 ■]をクリックします.

	V.			無題 -	FEMすいすい -圧響	密- プリプロセッサー			-		×
	77	イル(F) 作成(M) 編集(E) 表	₹(V) へ	Jレプ(H)							
	۵	新規作成(N) Ctrl	l+N	• 📂 🔍 🔍	계 2월 - 🎦 🖽 툇	<u>6</u> i+ 7⊞ 8段 9 <sub>₹</sub> 10 <u>*</u>	1kg 🕑 🥙 📐 🔹	$\square$	7•⊗•	n i	<b>∰ *</b>
ľ	B	開<(O) Ctrl	1+0					^			▼ ×
	<del>6</del> 7	DXFファイルを読み込む(D)									
ļ		上書き保存(S) Ctr	1+5								
ļ		名前を付けて保存(A)									
		1 C:¥メール¥¥sample2.dat									
		アプリケーションの終了(X)									
								Г			

メニューバー 「ファイル」―「名前を付けて保存」



ツールバー [保存 🔒 ]

終了方法

①ファイルメニューから「アプリケーションの終了」を選択してクリックします.

V,			無題 -	- FEMすいすい -圧	密- プリプロセッサー			-	×	
	<ul> <li>イル(F) 作成(M) 編集(E)</li> <li>新規作成(N)</li> <li>聞く(O)</li> <li>DXFファイルを読み込む(D)</li> <li>上書き保存(S)</li> <li>名前を付けて保存(A)</li> <li>1 C:ギメール¥¥sample2.</li> <li>アプリケーションの終了(X)</li> </ul>	表示(V) Ctrl+N Ctrl+O Ctrl+S	無題 - ヘルプ(H) ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・	- FEMすいすい -圧 1目 2 <u>い</u> - <u>ユ</u> 1 <u>1</u> 5	密- ブリプロセッサー . <sup>61</sup> + 7田 部 <sup>9</sup> ද <sup>10</sup> 2 10	I € ( ( <sup>n</sup> ) ► .	<b>↓</b> □ *	- אריי יייי ארייייייייייייייייייייייייייי		
1.	リケーンヨンを終了し、ノアイル 半	凹(い)の -	-/0.5/3, 1/3.462							

メニューバー 「ファイル」―「アプリケーションの終了」

②データを保存する場合は「はい」を、しない場合は「いいえ」をクリックして 終了します.



# 3-2 データ作成手順について

解析の基本的な手順は概ね以下の様な流れで行います.必ずしも順番どおりに 行わなくても良いのですが,効率よくすすめるためには各段階をおって操作する ことをお勧めします.

場合によっては入力を行った後でなければ操作ができないものもあります.

### ①解析方法の設定

解析方法を指定します.

М.		無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
77	イル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	へルプ(H)	
	新規作成(N) Ctrl+N	💽 📂 🔍 🔍 - 🎦 🛄 및 斗 汨 膠 🔤 👒 🕼 🕼 🔪 🔊 🕨 🗆	♪・◎・■ 🖷 😜
6	間(で) DXFファイルを読み込む(D) 上書き保存(S) Ctrl+S 名前を付けて保存(A)	^	プロパティ <b>▼ ×</b>
	1 C:¥メール¥¥sample2.dat アプリケーションの終了(X)		
		~	
新規	見にファイルを作成 平面ひずみ	-34.9474, 109.684	

## メニューバー「ファイル」―「新規作成」

¥.	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー -	□ ×
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(⊻	) ヘルプ(円)	
🖹 🗋 🕞 🔂 🔛 🗠 ד 🗠 ד 🔍 1	_ ▶ ♥ ♥ ♥ 🚺 ▶ + 1 🎞 및 타 沺 踢 ײַ יש אי צ 🕅 א ו • ∖ 🗆 ∿ • ⊘	• 🛋 着 📬
	■ 解析方法 解析方法を設定します ▲ プロパティ	▼ ×
解析方法を設定します 平面ひずみ		.:

ツールバー [壇 解析方法]

解析方法		×
タイトル:		
構造条件 ● 平面ひずみ(単位厚) ● 軸対称(1ラジアン) 応力ひずみ関係 ● 2番45約4	<ul> <li>間隙水圧の影響</li> <li>●考慮する(土・水連成)</li> <li>○考慮しない(全応力解析)</li> <li>初期応力の算出法</li> <li>● 白垂計算で算出</li> </ul>	<ul> <li>入力水頭値</li> <li>節点水頭:</li> <li>○ 圧力水頭</li> <li>● 全水頭</li> <li>○ ステージごとに設定</li> </ul>
○ 弹塑性 ○線形弹性	○ ご 呈い ( c + L ) ○ 深さとγとKと分布荷重で算出 □ 関数 ( のせん 断応力比 -	透水係数 <ul> <li>一定</li> <li>              ・             ション (             ・</li> </ul>
<ul><li>☑ 掘削相当外力を自動が</li><li>最大反復計算回数:</li></ul>	● ¶* ○  ŋ - ŋ0  1	<ul><li>○不飽和時のみ非線形</li><li>○非線形</li></ul>
許容誤差: 0	.0001	OK キャンセル

解析方法 設定ウィンドウ

②材料特性の設定

材料特性の設定を行います.

Y	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	へルプ(H)	
	- ▶ @ Q 1 = 2/ - 3 1 # 1 = 5+ 7⊞ 89 == 10% 1% 1≷/ 1% 1 + -	ヽ゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚ヽ゚ヽ゠ヽ゚゚゚ <b>゠</b> ゚゚゚゚
(2) 材料特性		▲ プロパティ 🗸 👻 🗙
(4) 材料割当		
<ul> <li>↓ (5) 変位境界条件</li> </ul>		
≝⊯ (6)荷重		
<b>徂</b> (7)自動分割		
2以 (8) 手動調登 9▼ (0) 水商		
10% (A) 水境界条件		
(B) ステージ …		
▶ (C)確認		¥
材料特性を記 ステージ(S) ▶		

メニューバー 「作成」―「(2) 材料特性」―「 🞦 材料特性」



あるいは, ツールバー [書] 材料特性]





	材料特性	<b>±</b>		
新規材料	材料 情報   名称:   新規材料    構成則モデル:   現料 を望性または	色: 弾塑性	<b>v</b>	
	先行時のx方向鲍和透水係数:	0.0001	初期静止土圧係数:	0.5
	先行時のy方向飽和透水係数:	0.0001	先行時の間隙比:	2
	ポアソン比:	0.3	先行時の鉛直有効応力:	10
	単位体積 <u>重</u> 量:	1.8	初期鉛直有効応力:	0
	圧縮指数:	0.1	ヤング係数:	100
	膨潤指数:	0.01	内部摩擦角:	30
† ΕΛ	飽和時の透水係数の変化率:	0	先行上載圧:	0
	二次圧縮指数:	0	過圧密比 <mark>:</mark>	0
加	先行時の体積ひずみ速度:	0	許容引張応力:	0
	先行時の静止土圧係数:	0.5	不飽和特性曲線:(なし)	~
			ОК	キャンセル

②材料特性の設定画面

解析対象を作図します.



## ツールバー [🎦 作図]

#### ④材料特性の割当て

解析ブロック毎に材料を割り当てます.





⑤変位境界条件の設定

拘束する場合は変位を [0] として入力する.



#### ⑥荷重条件の設定

荷重を入力します.荷重設定方法としては集中荷重があります.



①メッシュ自動分割

メッシュを自動分割します.



ツールバー [ 1 自動分割]

⑧手動調整







### ⑨水頭の設定

水頭を設定します.







水頭の設定画面

水境界条件を設定します.



### ツールバー [ \* 🔬 水境界条件]



水境界条件の設定画面



掘削や盛土などのステージを設定します.



ツールバー [ 🗞 ステージ]

	ステージ設定 ×
<mark>ステージ 1</mark> ステージ 2 ステージ 3 ステージ 4 ステージ 5	ステージ情報         ステージ分割数:       1(通常:1)         ステップ細分割数:       1(通常:1)         据削相当外力の解放率:       100 %         当ステージの時間増分:       1         節点水頭:       ● 圧力水頭       全水頭
	新規追加(№) 削除( <u>D</u> ) OK

ステージ設定 ウィンドウ

### データを確認し、データを保存して解析を実行します.



FEMすいすい - 圧密- プリプロセッサー
? ポストプロセッサーを起動しますか?
(はい(Y) いいえ( <u>N</u> )

## 3-3 解析方法の設定

解析方法の設定をおこないます.

①メニューバーの「作成」の中の「解析方法」かまたは、ツールバーの [ **国** 解 析方法] をクリックし解析方法のウィンドウを開きます.

<u>×</u>	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	- 🗆 🗙
ファイル( <u>F</u> ) 作成( <u>M</u> ) 編集( <u>E</u> ) 表示		
🗄 🗅 📂 🚰 🔚 🗠 ד 🗠 🔍	_1 _ ▶ ♥ ♥ ♥ ♥ 📲 🛃 ▾ 翌 盟 뫧 理 膠 柴 🧐 እ 🕑 🔊 🕨 🗅 🏷 🔅	) • 🛋 🖬 📬
	▲ プロパティ	• ×
」 解析方法を設定します 平面ひずる	>         56.9474, 106.842	

ツールバー [🔳 解析方法]

②ウィンドウ内で以下の解析方法の設定を行います.

ここで入力したタイトルはポストプロセッサーで出力する図の表題として出力 されます.

解析方法		×
øイトル:		
- 構造条件 ● 平面ひずみ(単位厚)	間隙水圧の影響 ●考慮する(土・水連成)	入力水頭値 節点水頭:
○軸対称(1ラジアン)	○考慮しない(全応力解析)	<ul> <li>○ 圧力水頭</li> <li>● 全水頭</li> </ul>
応力ひずみ関係 <ul> <li>● 弾粘塑性</li> <li>○ 弾塑性</li> <li>○ 弾塑性</li> </ul>	初期応力の算出法 ● 自重計算で算出 ○ 深さとγとKと分布荷重で算出	<ul> <li>○ ステージごとに設定</li> <li>透水係数</li> <li>● 一定</li> </ul>
□振測相当外力を自動処	関数fのせん断応力比 の n* 〇  n - n0	<ul> <li>         ・ 飽和時のみ非線形         ・         ・         ・</li></ul>
最大反復計算回数: 許容誤差: 0.	0001	OK キャンセル

解析方法 設定ウィンドウ

○線形弾性

まず、タイトルを入力します.ついで、解析方法を以下に示す各条件からラジオボタンにより選択します.
構造条件
○平面ひずみ(単位幅)
○考慮する(土・水練線)
○軸対称(ラジアン)
○考慮しない(全応力解析)
応力ひずみ関係
の弾粘塑性
○弾塑性
○深さとyとKと分布荷重で算出

○ステージごとに設定

透水係数 ○飽和時のみ非線形 ○不飽和時のみ非線形 ○非線形

さらに,以下の項目をチェックまたは数値を入力してせっていします. □掘削相当外力を自動処理

掘削相当外力を自動処理するかどうかをチェックマークで選択します.

#### 最大計算反復回数:

○全水頭

最大反復計算回数を設定します.反復回数を超えても解が収束しない場合は, 強制的に計算を打ち切ります.デフォルトとして1(推奨値)を与えています. 許容誤差:

収束の度合いを設定します.大きいほど精度が悪くなりますが速く収束します. 小さすぎると過剰な反復計算が行われ,累積誤差を生じます.デフォルトとして le<sup>-005</sup>(推奨値)を与えています.

# 3-4 材料特性の設定

材料特性の設定をおこないます.

①メニューバーの「作成」の中の「材料特性」かまたは、ツールバーの [ 材料特性] をクリックし材料特性の設定ウィンドウを開きます.

¥.		無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	- 🗆 ×
ファイル(F) 作月	成(M) 編集(E) 表示(V)	∨レプ(H)	
D 🖻 😹 🖳	(1) 解析方法	<u>- ▶ (                                  </u>	♪・◎・💣 🚠
	(2) 材料特性	✓ 不飽和特性曲線(U) …	プロパティ マン
1	(3) 作図		
1 1	(4) 材料割当	b = = = = = = = d	
<u>퇴</u>	(5) 変位境界条件		
<u>6</u> ]+	(6)荷重		
200	(7) 自動分割		
8	(8) 手動調整		
9 <u>~</u>	(9) 水頭		
107	(A) 水境界条件		
l l l l l l l l l l l l l l l l l l l	(B) ステージ	×	
< 12	(C) 確認	>	
材料特性を認	ステージ(S) ▶		i.



②材料特性の設定項目としては、不飽和特性曲線と材料特性の2種類があり、各々

ツールバー [ 🛃 不飽和特性曲線]

<b>X</b>	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示	≅(V) へルプ(H)	
🗄 🗋 🚰 🚰 🔚 🗠 🛪 🖂	1 🕞 📂 🔍 🔍 📲 🛂 - 3.1 🎞 툇 🐓 涯 課 😤 👒 🕼	🕏 💌 k   + 🔨 🎞 🦄 t 🗇 t 💣 📩
	引き     材料特性       材料特性を設定します	
材料特性を設定します 平面ひずる	<del>b</del>	a

ツールバー [🛃 材料特性]



不飽和特性曲線 設定ウィンドウ

不飽和特性曲線は対象物ごとに実験等で求めるべきですが、それができないと きのために、4種類の代表的な不飽和特性曲線をプログラム内部に用意しありま す.しかし、これらは、ある特定の地盤の不飽和特性であり、汎用的に当てはま るものでないことに注意する必要があります.

用意してある	不飽和特性	E曲線番号	1	2	3	4
想定している地質			細砂	砂質土	沖積土	関東ローム
	$ \phi c $	(m)	0.09	0.3	0.1	0
物質値	а	(m)	0.09	0.3	0.5	1.5
	Sr	(%)	0	40	62	50
	Sk	(%)	0	38	62	50
	b	(-)	3.5	3.5	4.5	10

参考文献:「根切り工事と地下水一調査・設計から施工まで一, 土質工学会, pp.356-374」

## 3-4-2 材料特性値の入力

必要な入力項目が表示されます.ここで,表示された材料(物性)値として透 水係数,有効間隙率,比貯留係数を入力します.また,不飽和特性曲線の有無を 指定します.

材料特性入力ウィンド	ウ・・・・・・・・・・・・・・・・	•••••	•••••
	材料特性		×
新規材料	<ul> <li>材料情報</li> <li>名称: 新規材料</li> <li>色: </li> <li>x方向(線要素は軸方向)の能</li> <li>y方向の飽和透水係数 ky:</li> <li>有効空隙率 ne:</li> </ul>	■】	1 1 0.3
t FA	比貯留係数 Ss: 不飽和特性曲線:	(なし)	0
追加削除		ОК	キャンセル

# 3-5 解析対象の作図

## 3-5-1 作図とは

解析をおこなうに当たり,解析対象の形状を作図する必要があります. 作図とは,解析の対象とする物体の幾何学的形状を図に表していく作業のこと です.この図は,基本的に2つの点とそれらの間の直線または曲線で構成されます. どんな複雑な図面を作図するときも,基本的には幾つかの単純な図形を組み合 わせて作図していきます.この単純な図形として,点,線分,BOX(四角形), 円弧,円の5種類があります.

作図をするには以上の五つの作図コマンドを使用し、概ね以下の手順で進めます.

(1)解析領域(外枠)の作成
 解析領域(外枠)を作成します.



第3章 プリプロセッサー

②解析ブロックの分割

①で作成した解析領域に材料の違う範囲(地層線等)を入れ,解析領域を複数 のブロック(解析ブロックと呼ぶ)に分割します.ただし,同じ施工範囲や同じ 材料の部分を,別々の解析ブロックに指定しても構いません.



### ③材料特性の割り当て

## 分割した解析ブロック毎に材料の割り当てを行います.



作図にあたって役立つ機能を紹介します.

■グリッドの表示について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ■

グリッドとは,図面を作図するにあたり方眼紙のような任意の間隔で点(方眼) を表示する機能で、メニューバーの表示の中のグリッドをクリックして表示/非 表示を選択します.また、メニューバーの「表示」の中の「オプション」を選択 して表示される画面から有効/無効および間隔を設定します.

V.		無題 - F	-EMすいすい - 圧密- プリプロセッサー -		×
ファイル(F) 作成(M) 編集(E)	表示	(V) ヘルプ(H)			
) 🗅 🖨 🚰 🖬   🗠 t 🗠 t 🛛	~	ツールバー(T)	▌ 🍓 ▾ 🔛 🎞 및 태• 汨 認 🕸 🐄 🐚 🚱 🚱 💽 🔹 🔧 🔲 🦻 🔹 🛞	• 🛋	₩ 0
	~	ステータスバー(S) プロパティウィンドウ(P)	▲ プロパティ		<b>•</b> ×
		グリッド(G)			
		オプション(0)			
	Ð,	拡大表示(+)	×		

	V.	無題 - F	FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	-		×
	ファイル(F) 作成(M) 編集(E)	表示(V) ヘルプ(H)				
1	🗋 🖻 👺 🔚   ют от	✓ ツールバー(T)	🛚 🛃 - 🚺 🎞 및 태 개 部 🤽 🕼 🕼 🕑 🕅 📐 🔹 🕽	⊙ • ל 1	• 🛋	<b>∰ क</b>
		ステータスバー(S) ✓ プロパティウィンドウ(P)	^	プロパティ		▼ ×
		/ //Jy/F(G)		·		
		オプション(0)				
		⊕ 拡大表示(+)	~			

メニューバー「表示」 – 「オプション (O)」



オプション 設定ウィンドウ

拡大・縮小 マウスホイールを前に回転させると拡大,後ろに回転させると縮小されます. また,ツールバーの ♥ ♥ をクリックすると,それぞれ拡大または縮小されます. さらに,メニューバーの「表示」の中の拡大表示(+)または縮小表示(-)を 選択しても同様です.

<b>X</b>	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	- 🗆 🗙
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	へば(H)	
🛾 🖻 💕 🖬 🗠 ד 🍽 ד 🔍 🔍 🔳	💽 🖻 🔍 🖣 📲 🤹 • 🎦 🎞 및 斗 溫 課 😤 👒 🗞 🎸 🕅 🔪 + 🛝 🗋	╏ ♪ • ⊗ • ■ँ ា∰் 📬

ツールバー [ 6 グリッド]

|| D 🖆 😹 🖬 | ㅇ - ㅇ - | 죅 | 1 - - - | 🕨 🔍 Q | '미 🍓 - 🎦 🎞 및 태· 沺 謬 확 🐄 🐘 🕅 🏹 k | - - 🔨 🎞 🦕 - 🎯 - 🖆 🗃 7

ツールバー [🕐 移動]

点,線分,解析ブロックを選択するためにはツールバーの ▶ をクリック後, 対象物をクリックするとそれらを選択することができます. [Ctrl] キーを押し ながらクリックすると、複数の対象物を選択できます.また、マウスの左ボタン を押しながらドラッグして広範囲の対象物を一度に選択することもできます. 選 択された対象物は、ピンク色で表示されます.

<b>X</b>	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	∧レブ( <u>H</u> )	
🗄 🗋 🚰 🚰 🔛 भाष र भाष 🔍 🔳	🕒 🕨 🔍 🕼 🖓 • 🎦 🎞 ឬ 🗣 🎟 🐯 😤 🕅 🕅 🚱 🚺 • 🔨 🎞 🕉	• • • • • •

ツールバー 「 ト | 選択」

UNDO · REDO ツールバーの wr wr が, それぞれ UNDO・REDO に対応しています. また, メニューバーの「編集」の中の「元に戻す」「やりなおし」をクリックすること でも同様です.

	E - FEM90901-/王母- ノリノロビック-	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(⊻) へルプ(H)		
🕴 🗋 🗃 🔂 🕼 🗠 · · · · • • 🔹 1 🛛 🕩 🔍 G	、 🐚 🛃 • 🎦 🛄 型 斗 譜 認 😤 👒 🕅 😵 🤇 🔊 📐 🕛 🔧 🕽	זהי⊗ • רמי ול

ツールバー「 Process UNDO · REDO」

■数値の入力方法

数値入力が可能な場合は、ウィンドウが自動的に開き数値入力ができます.こ のウィンドウが開いている状態で、キーボードより入力します、データを2個入 れるときは(例えば XY 座標など)数値の間に「スペースか,(カンマ)」を入れ ます.

座標 <b>:</b>	100,100	確定
-------------	---------	----

#### 3-5-3 作図コマンド

#### (1) 作図コマンドについて

作図とは、解析の対象とする物体の幾何学的形状を図に表していく作業のこと です、この図は、基本的に2つの点とそれらの間の直線または曲線で構成されます。 どんな複雑な図面を作図するときも、基本的には幾つかの単純な図形を組み合 わせて作図していきます.この単純な図形として、点、線分、BOX (四角形), 円弧,円の5種類があります。

作図をするには、ツールバーの[作図]をクリックし作図モードに切り替え、 次いで5種類の作図コマンドの中から選択してクリックします.

¥.	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	へルプ( <u>H</u> )	
📔 🖆 🂕 🔚 🛛 🗠 🛪 🔹 🔳	💽 📂 🔍 २ 🛯 🛯 🚺 🚺 🗓 💷 🎛 🤀 🤹 🐚 🚱 🏹 📢	· \ 🖬 `} • @ • 🛉 着 📩
	3 [作図] 注 作図 解析対象を作図します	作図∃♥♥k ▼×

ツールバー [作図] - [節点・線・矩形・円弧・円]

- - 点を作図します.
- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[**!**]作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[・点]をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③ X 座標, Y 座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキーボード より入力します.

<u>Y</u>	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	-	□ ×
ファイル( <u>E</u> ) 作成( <u>M</u> ) 編集( <u>E</u> ) 表示( <u>V</u> ) ヘルプ( <u>H</u> )			
🗋 🗅 😂 🔂 🔛 🗠 × 🗠 🔹 🔳 🔸 🔍	육 🗏 🗉 🏹 🎦 🛄 툇 와 汨 뫵 😤 🦞	å ‰ & <♡ \ <mark>·</mark> · \ □ \ - ⊙	• 🖬 🖬 🔹
	3 [作図]	<u> 点コマンド</u> プロパティ	<del>~</del> ×
座標: 24.9106, 20.9423	確定		
			-

ツールバー [作図] - [・ 点]

線を作図します.

- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[1]作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[N線]をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③ X 座標, Y 座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキーボード より入力します.
- ④続けて入力を繰り返します.
- ⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.

<sup>(2)</sup>作図コマンド



ツールバー [作図] - [線 📐]

■ **矩形** 矩形を作図します.

①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[1]作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[1]矩形]をクリックします.

②数値入力のウィンドウが表示されます.

③ X 座標, Y 座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキーボード より入力します.

④続けて入力を繰り返します.

⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.



ツールバー [作図] - [矩形 🔲]

中心,半径,角度で円弧を作図します.

- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[□作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで [♪円弧]の中から中心 / 半径 / 角度をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③中心の X 座標, Y 座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキー ボードより入力します.
- ④続けて半径,角度の順に入力します.
- ⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.





\_ 🗆 🗙







レディ

始点,終点,通過点で円弧を作図します.

円弧 (方法2) …………

- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[1]作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[1円弧]の中からう始点/終点/ 通過点をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③始点の X 座標, Y 座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキー ボードより入力します.
- ④続けて終点,通過点の順に入力します.
- ⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.







■円(方法1) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ■

- 中心点,半径で円を作図します.
- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[1]作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[③円]の中から⊙中心点/半径をクリックします。
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③中心点の X 座標, Y 座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキー ボードより入力します.
- ④続けて半径を入力します.
- ⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.






# .....

# 2 点を通過する円を作図します.

円 (方法2) …………

- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[1]作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[②円]の中から○2点を通過する円をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③点1のX座標,Y座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキー ボードより入力します.
- ④続けて点2を入力します.
- ⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.







■円(方法3) ------- =

- 3点を通過する円を作図します.
- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[□作図]をクリックし画面を作図モードに切り替え、次いで[②円]の中から○3点を通過する円をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③点1のX座標,Y座標を入力します.
- ④点2のX座標,Y座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキー ボードより入力します.
- ⑤続けて点3を入力します.

⑥終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.







¥.	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(⊻)	ハレブ( <u>H</u> )	
📔 🖆 💕 🖬 🗠 🕆 🗠 👘 🔳	💽 🖈 🔍 🕲 🔛 🛄 🦉 🥵 氍 钿 髎 🔤 👒 🗞 🗞 🚷 🕨 👘 🔪	♪・♡・■ ■ ⇒
	点3: 100 50 確定 点 3 の X 座標, Y 座標を入力	<i>Ť</i> ロパティ <b>→ ×</b>
レディ 平面ひずみ		

■円(方法4) ■
矩形に収まる円を作図します.

- ①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの[1件図]をクリックし作図モードに切り替え、次いで[◎円]の中から◎矩形に収まる円をクリックします.
- ②数値入力のウィンドウが表示されます.
- ③点1のX座標,Y座標をスペースまたは「,」で区切って各々の座標値をキー ボードより入力します.
- ④続けて点2を入力します.

⑤終了したいときは別のコマンドを選択すれば、そちらへ移行します.

×.	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 ×
ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ	(H)	
📔 🖻 🗃 🖬 🗠 r 🗠 r 🔍 1 💽 🕽	▶   @, <\   '@ 🤐 🎦 🛄 및 태 개 部 ≒ '% 🕅 🤣 🕅 🕅	· \ 🛛 ` · 🗘 • 🖬 📷
	3 [作図]	
		円コマンド
		(矩形に収まる円)
矩形に収まる円を作図します 平面ひずみ		







# 3-6 材料特性の割り当て

あらかじめ「3-4 材料特性の設定」で定義しておいた材料特性を当該位置の解 析ブロックに割り当てます.

解析ブロック毎に面要素および線要素の材料特性を割り当てます.

- ①メニューバーの「作成」の中の「材料割当」かまたは、ツールバーの[ 1 材 料割当]をクリックし画面を材料割り当てモードに切り替えます.
- ②ツールバーの [選択 ♪]をクリック後、材料特性を割り当てる解析ブロック をクリックします。

③プロパティウィンドウで材料特性を指定して材料を割り当てます.



#### ツールバー [🎦 材料割当]



材料割当 画面

# 3-7 メッシュ分割

#### 3-7-1 分割数指定による自動分割

- ①メニューバーの「作成」の中の「自動分割」かまたは、ツールバーの[**囲** 自 動分割]をクリックし画面を自動分割モードに切り替えます.
- ②分割数を指定する線分をクリックしてから、プロパティウィンドウで分割数を 指定します。
- ③自動分割する解析ブロックをクリックしてから、プロパティウィンドウでメッシュ作成条件を指定します.通常は四角形主体を用います.



自動分割 設定画面



メッシュ作成条件 設定画面

④ツールバーの [ 🛋 メッシュ作成] をクリックします.

#### 分割比率でメッシュ密度を調整する方法

初期状態では分割比率は線分の中心(50%)にあり、この場合メッシュは等間 隔に生成されます.メッシュを徐々に細かくしたり粗くしたりしたい場合は、こ の分割比率により調整します.

分割比率はプロパティウィンドウに直接入力するか,または線分上の分割数表 示をドラッグして動かすことによって変えることもできます.その場合,動かし た方向の分割密度が高くなり反対側の分割密度が低くなります.



メッシュ作成条件 設定画面

#### 分割数表示のサイズ変更

メニューバーの「表示」の中の「オプション」を選択して表示される画面から 設定します.

	オプション ×
表示 節点サイズ: 8 条件サイズ: 14 分割サイズ: 10 フォント: Arial	びリッド つ 有効 X間隔: 10 Y間隔: 10
境界条件色 降雨面: 流量固定: 露出面:	分布流量固定: 水頭固定: 水面固定+降雨面:
	OK キャンセル



# 3-8 水頭条件の設定

水頭は各節点に設定します.

①メニューバーの「作成」の中の「水頭」かまたは、ツールバーの [\*\* 水頭] をクリックし画面を水頭入力モードに切り替えます.

②図面中で水頭を与える点をクリックします.

③プロパティウィンドウで水頭の値を入力します.



ツールバー [ – 水頭]



### 3-9 水境界条件の設定

②画面上で設定したい点および線をクリックします.

③プロパティウィンドウにて条件を設定します.



#### ツールバー [ 🦾 境界条件]



# 3-10 解析ステージの設定

#### 3-10-1 解析ステージとは

初期状態解析を行ったら,次ステージ以降で解析対象に加えられる施工の内容 を設定し,その施工による応力・変形・浸透流の変化を伴う圧密挙動を追跡する ことになります.これをステージ解析と言います.ステージ解析で設定できる施 工は,要素削除による掘削,要素追加による盛土や材料特性の変更による地盤改 良などです.



メニューバー「作成」-「(9)ステージ 🧞」





解析ステージの設定は、メニューバーの「作成」の中の [物(9)ステージ]かまたはツールバーの [物ステージ]をクリックして設定します.

	ステージ設定
<mark>ステージ 1</mark> ステージ 2 ステージ 3 ステージ 4 ステージ 5	ステージ情報 ステージ分割数: 1 (通常:1) ステップ細分割数: 1 (通常:1) 振削相当外力の解放率: 100 % 当ステージの時間増分: 1 節点水頭: ● 圧力水頭 ● 全水頭 新規追加(N) 削除(D) OK

ステージ設定 ウィンドウ

解析結果出力の時間間隔=当ステージの時間増分/ステージ分割数 解析ステップの時間間隔=解析結果出力の時間間隔/ステップ細分割数

# 3-11 解析の実行

①メニューバーの「作成」の中の「確認」かまたは、ツールバーの [♥ 確認] をクリックし画面を確認モードに切り換えます.

②ツールバーの [ **™** GO!] をクリックします.

③図面保存の確認ウィンドウが表示されるので、「OK」をクリックします.

④解析が実行され、「はい」をクリックするとポストプロセッサーが起動します.



ツールバー「作成」-「(10) 確認 🖳 」

# 第4章 ポストプロセッサー

解析結果をビジュアルに表現し、また解析結果の数値情報を取得しエクセルな どへの出力をします。

4-1 起動と終了

#### 起動の方法

- パソコンには USB プロテクトキーを付けておきます.
- ① Windows を起動して、タスクバーの「スタート」をクリックします.
- ②「プログラム」にカーソルを合わせます.
- ③サブメニューから「FEM すいすい一圧密一」のポストプロセッサーを選択し てクリックします.

#### 画面構成

プリプロセッサーと同様に、メニューバーとツールバーを利用した標準的な画 面構成です.以下の様な画面が表示されます.

<b>Y</b>	無題 - FEMすいすい -圧密- ポストプロセッサー	x I
ファイル( <u>E</u> )	画面複写( <u>B</u> ) 表示(⊻) 図の種類(工) ヘルプ( <u>H</u> )	
🖻 🖨	€, Q, Q, &, (?) ▶   <b>≜ # ♥ ↑ ■ ■</b>	
ステージ	ステップ	
, レディ		

標準的な画面構成

#### 終了方法

①ファイルメニューから「終了」を選択してクリックします.



Sample2.	dat.dat - FEMすいすい -圧密-ポストプロセッサー 🛛 🛛 🗙
ファイル(E) 画面複写(B) 表示(⊻)	図の種類(I) ヘルプ(H)
😅 🗿 🛛 O 🔍 🕅	🕨 📑 🖉 🖓 🕁 🔀 🔀 🔀 🔂 🔂 🖶 👘
ステージ 1 ステップ 1	
構造データ図	XY座標 [x,y = 13.022 //

ツールバー [ ⊕ ♀ 拡大・縮小]

<mark>■</mark>移動·····

ッールバーの [�゚?] をクリック後, ドラッグすることにより図面, タイトル表示, 凡例表示, 注釈表示を移動することができます.また, マウスホイールを押した ままドラッグすることでも同様のことができます.

🞽 sample2.dat.dat - FEMすいすい -圧密	- ポストプロセッサー 🗕 🗖 🗙
ファイル(E) 画面複写(B) 表示(V) 図の種類(I) ヘルプ(H)	
🖻 🚑 🔍 Q Q Q 🥘 🔭 陆 ۡ 🐺 🗇 📐 😕	
ステージ 1 ÷ ステップ 1 ÷	
構造データ図	XY座標 [x,y = -5.389,//

ツールバー [🖑 移動]

表示中の画面の画角を保存したい場合には、メニューバーの「表示」の中の「画 角の保存」を選択します.次に、保存した画角を読み込むには「画角の読込」を 選択します.

報告書用に各種結果図の画角を揃えたい場合には便利な機能です.

🎽 s	ample2.dat.dat - FEMすいすい -圧密-ポストプロセッサー 🛛 🗕 🔍
ファイル(E) 画面複写(B)	表示( <u>V</u> ) 図の種類( <u>T</u> ) ヘルプ( <u>H</u> )
🔊 🚭 🗨 🔍 🔍 २७ ७ ा 🕂 २७	ズーム(Z) 再作図(D) ■角の保存(V)
 現在の画角を保存	画角の読込(L) XY座標 [x,y = -5.389,
	表示設定(1)

メニューバー「表示 (<u>V</u>)」-「画角の保存 (V)」

「FEM すいすい― 圧密―」のポストプロセッサーでは以下の解析結果図を表示 することができます.

解析結果の表示手順は以下の通りです.

①ツールバーより表示したい結果の種類をクリックします
 ②ツールバーより表示したいステップを選択します.

Sample2.dat.d	at - FEMすいすい - 圧密-ポストプロセッサー ×
ファイル(F) 画面複写(B) 表示(V) 図の種類(T) ヘルプ(H)	
😅 🚭 🕀 🔾 🔍 🕄 🥸 🗸 構造データ図(D)	
ステージ 1 1 ステップ 1 力学的断面図(S)	
水理学的断面図(W)	•
● 線材の部材力図(F)	
節点値の時刻歴グラフ(N)	
応力経路図(P)	2 ELASTO-PLASTIC
	●●●●●

表示する項目はアイコン順に以下のようになります.



Sample2.dat.dat - FEMすいすい - 圧密- ポストプロセッサー – 🗖	×
ファイル(E) 画面複写(B) 表示(V) 図の種類(I) ヘルプ(H)	
(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8)	
(1)三四角形要素図	
(2) 線要素	
(3) 外枠	
(4)材料境界線	
<ul><li>(5) 材料</li><li>(5) 材料</li><li>(5) </li></ul>	
(6)節点番号	
(7)要素番号	
(8)材料番号	

🞽 sample2.dat.dat - FEMすいすい -圧密- ポストプロセッサー 🗧	□ ×
ファイル(E) 画面複写(B) 表示(V) 図の種類(T) ハルプ(H)	
▆▆����� <sup>®</sup> , ▶ ▅ <b>ॼ</b> ♥까┕∨ੲ₿₿₿₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽₽	
(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13)	
(1)三四角形要素図	
(2) 線要素	
(3) 外枠	
(4)材料境界線	
<ul><li>(5) 材料色塗り</li></ul>	
(6) 変位後の三四角形	
(7)変位後の線要素	
(8)変位流速ベクトル	
(9) 主応力流速ベクトル(有効応力)	
(10) 主応力流速ベクトル(全応力)	
(11)主ひずみベクトル	
(12) 線コンター	
(13) 色塗りコンター	





<b>V</b>	sample2.dat.dat - FEMすいすい -圧密- ポストプロセッサー 🛛 🛛 🗙
ファイル( <u>F</u> ) 画面複写( <u>B</u> )	表示(V) 図の種類(I) ヘルプ(出)
🖻 🖨 🔍 Q 🔍	Q ( (*) k   📾 🖉 📢 🔽 🙀 🏧 🙀 🕸 🏙
	(1) (2) (3) (4) (5) (6)
	(1)水平変位
	(2)鉛直変位
	(3) 間隙水圧
	(4) 流量
	(5)合計流量
	(6) 全節点合計流入量





変位量(コンター・色塗り)

力学的断面図や水理学的断面図の出力に対応した表示設定を行います.



メニューバー「表示(<u>V</u>)」-「表示設定(L)」

タイトルや座標目盛の表示など全結果図に「共通」の表示項目の他,「メッシュ 等」「変位・変位速度」「主応力・主ひずみベクトル」「線コンター」「色塗りコン ター」「安全率」の設定項目がありあます.

共通 メッシュ等   変位・変位速度   主応力・主ひずみベクトル	線コンター 色塗りコンター 安全率
	▶ 座標目盛を表示する
盛土施工圧密沈下	数値位置: ● 外側 ○ 内側
文字サイズ: 10 💌 🔽 左右方向は中央配置	目盛線長: 8 ▼ ピクセル
	文字サイズ: 8 💌
文字サイズ: 10 - 0 日本語 C 英語	メッシュとの離間率: 15 🗸 %
✓ 指数形式は大文字で表示する 節点・要素・材料番号、コンター、部材力等の文字サイズ:	0÷
表示する材料: すべて表示	•
変位・ひずみの基準ステップ(その時からの増分で表示):	1 -



表示設定	×
共通 メッシュ等 愛位・変位速度   主応力・主ひずみベクトル   線コンター   色塗りコンター   安全率	
線の設定 ※の種類 線の色 三・四角形要素: 実線(細) ▼ ● ▼ 線要素: 実線(中) ▼ ● ▼ 外枠: 実線(中) ▼ ● ▼ 材料境界: 実線(細) ▼ ● ▼ 材料境界: 実線(細) ▼ ● ▼ (● 日本語 C 英語	
OK キャンセル 適用	A)

メッシュ等

通 メッシュ等 変位 線の設定	Z•変位速度 全応	カ・主ひずみベクトル	線コンター   色達りコンター   安全率
<ul> <li>三・四角形要素:</li> <li>線要素:</li> <li>スケール(単位長さに)</li> </ul>	線の種類 実線(細) ▼ 実線(中) ▼ 対する変位量):	線の色	<ul> <li>マ スケールを表示する</li> <li>⑥ 目盛</li> <li>⑦ 矢印</li> <li>矢印の変位値: 1</li> <li>(正:右向き 負:左向き)</li> </ul>
変位速度ベクトルの設 線の色: スケール (単位長さに)	定 	0.24850854	<ul> <li>マ スケールを表示する</li> <li>⑥ 目盛</li> <li>⑦ 矢印</li> <li>矢印の流速値:</li> <li>(正:右向き 負:左向き)</li> </ul>
			スケール文字サイズ: 9 •

変位・変位速度

表示設定	×
表示設定 共通 メッシュ等 変位・変位速度 主応力・主ひずみベクト ベクトル線の設定 振部: 実線(細) ↓ ↓ ↓ 引張: 実線(細) ↓ ↓ ↓ マ ベクトルの大きさは線の半分の長さで表示する スケール(単位長さに対する応力値): 61.345561 スケール(単位長さに対するひずみ値%): 16.3885103	★ 「「「「「」」、 「「」」、 「「」」、 「」」、 「」」、 「」」、 「」」、 「」」、 「」」、 「」」、 「」」、 「」、 「
	OK         キャンセル         適用(A)

主応力・主ひずみベクトル

線コンター

表示設定	×
共通 メッシュ等 変位・変位速度 主応力・主ひずみべん	7トル 線コンター 色達りコンター 安全率
_ 色	□ 凡例を表示する
色調: ④虹 〇赤春 〇水春	文字サイズ: 8 🗸
□ 色順を逆にする	並び順: ④ 降順 〇 昇順
色数: ④ 10   〇 15   〇 20	
_種別: - 変位   ▼ ·   U    ▼	
色調範囲(上限~下限): 0 ~ 0	
	OK キャンセル 適用(A)

色塗りコンター

表示設定	Х
共通   メッシュ等   変位・変位速度   主応力・主ひずみベクトル   線コンター   色塗りコンター   安全率	_
<ul> <li>モール SF= (σ'1+σ'3+2 σt ) sinφ'/ (σ1-σ3)</li> <li>□ 線形弾性材料の安全率は大きな値にする</li> </ul>	
「ハイフラ SFi= (σi+ σt ) /Pw (Pw>0) □ ハイフラ用引張強度 σtを用いる	
材料番号  σt  1 <u>→</u> 0	
ファイルに保存 ファイルから読込	



第4章 ポストプロセッサー

## 4-3 解析結果の利用

#### 4-3-1 変位量

変位図は直感的に理解しやすいので非常に有効です.データの入力ミスなどの チェックにも役立ちます.

まず,前述した表示の設定から行いますが,「変位・変位速度」の設定で線や スケールの設定を行います.さらに,「線コンター」「色塗りコンター」の設定で 表示する種別(変位,ひずになど)に対応して線や色を設定します.

#### 4-3-2 コンター図

コンター図は線コンター図と色塗りコンター図があります.補間を多用して表示しているため精度には欠けますが、変位やひずみおよび安全率などの分布を定量的に捉えることが出来ます.解析のチェックにも有効です.コンター図は目盛りを区切りの良い値にしておくと値を定量的に捉え易くなります.

以下に変位量, 色塗りコンター図のx方向, y方向およびひずみを示す.





変位量コンター図(Uy)



ひずみコンター図

# 第5章 解 析 例

解析手順はおおむね以下に示すような流れによって行います.必ずしも手順通 りに行う必要はありませんが,場合によっては入力を行った後でなければ操作が できない場合もあります.

①解析方法の設定

②材料特性の設定

③解析対象の作図

④材料特性の割り当て

⑤変位境界条件の設定

⑥荷重の設定

⑦メッシュ分割

⑧初期水頭値の設定

⑨水境界条件の設定

10解析ステージの設定

⑪解析の実行

例としては、盛土施工に伴う圧密沈下を取り上げて説明します.

盛土による圧密沈下量を求めます.

#### 5-1-1 解析条件

ここでは下図 に示すような盛土について4段階にて施工を行う場合の圧密沈 下計算をします.



### 5-1-2 解析手順

#### (1)解析方法の設定

解析方法の設定をおこないます.

¥	無題 - FEMすいすい -圧密- プリプロセッサー	_ 🗆 🗙
ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V)	<b>ン</b> レプ(H)	
<ul> <li>□ ご 6</li> <li>□ (1) 解析方法</li> <li>(2) 材料得性</li> <li>3.1 (3) 作図</li> <li>1.1 (4) 材料割当</li> </ul>	,	
<ul> <li>5) 変位境界条件</li> <li>5) 変位境界条件</li> <li>6) 荷重</li> <li>7) 自動分割</li> <li>8) 手動調整</li> <li>9 (8) 手動調整</li> <li>9 (9) 水頭</li> <li>10 (A) 水境界条件</li> <li>10 (B) ス市平 3</li> </ul>		
【↓ (└) #EKG ステージ(S) →		
解析方法を設定します 平面ひずみ		

メニューバー 「作成」―「壇 (1)解析方法」

②解析方法を以下のように設定します.

まず,タイトルを「盛土施工圧密沈下」と入力して,「平面ひずみ」応力ひず み関係を「弾粘塑性」間隙水圧の影響を「考慮する」

○初期応力の算出法を「深さと y と Ki と分布荷重で算出」に入力水頭値を「全 水頭」

○透水係数を「不飽和時のみ非線形」に関数のせん断応力比を「η\*」掘削相 当外力を自動処理にチェックを入力

○最大反復回数を「10」に許容誤差を「0.0001」と入力します.

①メニューバーの「作成」の中の「解析方法」かまたは、ツールバーの[<sup>1</sup>] 解析方法] をクリックし解析方法のウィンドウを開きます.

解析方法		×
タイトル: 盛土施工圧密	沈下	
構造条件 <ul> <li>● 平面ひずみ(単位厚)</li> <li>● 軸対称(1ラジアン)</li> <li>応力ひずみ関係</li> <li>● 弾粘塑性</li> <li>○ 弾塑性</li> <li>○ 線形弾性</li> </ul>	間隙水圧の影響 <ul> <li>●考慮する(土・水連成)</li> <li>○考慮しない(全応力解析)</li> <li>初期応力の算出法</li> <li>○自重計算で算出</li> <li>● 深さとγとKと分布荷重で算出</li> </ul>	<ul> <li>入力水頭値</li> <li>節点水頭:</li> <li>○圧力水頭</li> <li>●全水頭</li> <li>○ステージごとに設定</li> <li>透水係数</li> <li>○一定</li> <li>○飽和時のみ非線形</li> </ul>
<ul> <li>✓ 掘削相当外力を自動処</li> <li>最大反復計算回数:</li> <li>許容誤差:</li> <li>0.0</li> </ul>	理 ①  ŋ - ŋ0  10	<ul> <li>               ・             ・</li></ul>

解析方法設定 ウィンドウ

#### (2) 材料特性の設定

材料特性の設定をおこないます.

①メニューバーの「作成」の中の「材料特性の設定」かまたは、ツールバーの [18] 材料特性]をクリックし材料特性の設定ウィンドウを開きます.



メニューバー 「作成」―「(2) 材料特性」―「🚹 材料特性」

ここでは、材料名を「材料1」「材料2」「材料3」とし、3種類の材料を0を入 力して OK をクリックします。

	材料特性	ŧ		×
村料 1  村料 2  村料 3	材料1情報 名称: 材料 1 構成則モデル: <mark>引料払望性また(</mark> ば	色: 弾塑性	~	
	先行時のx方向飽和透水係数:	0.000864	初期静止土圧係数:	0.5
	先行時のy方向飽和透水係数:	0.000864	先行時の間隙比:	1.1
	ポアソン比:	0.3333	先行時の鉛直有効応力:	12.25
	単位体積 <u>重</u> 量:	1.7	初期鉛直有効応力:	8.25
	圧縮指数:	0.2	ヤング係数:	100
	膨潤指数:	0.03	内部摩擦角:	49
	飽和時の透水係数の変化率:	0	先行上載圧:	4
	二次圧縮指数:	0.005	過圧密比:	0
追加削除	先行時の体積ひずみ速度:	1e-006	許容引張応力:	0
	先行時の静止土圧係数:	0.5	不飽和特性曲線:(なし)	*
			ОК	キャンセル

材料特性設定 ウィンドウ

	材料特性	±		
材料 1 材料 2 材料 3	材料情報 名称: 材料 2 構成則モデル: 引料指塑性または	色: 弾塑性	~	
	先行時のx方向飽和透水係数:	0.00864	初期静止土圧係数:	0.5
	先行時のy方向飽和透水係数:	0.00864	先行時の間隙比:	1.2
	ポアソン比:	0.3333	先行時の鉛直有効応力:	5.5
	単位体積 <u>重</u> 量:	1.6	初期鉛直有効応力:	1.5
	圧縮指数:	0.32	ヤング係数:	100
	膨潤指数:	0.06	内部摩擦角:	40
t FA	飽和時の透水係数の変化率:	0	先行上載圧:	4
1 TX	二次圧縮指数:	0.003	過圧密比:	0
追加削除	先行時の体積ひずみ速度:	1e-006	許容引張応力:	0
	先行時の静止土圧係数:	0.5	不飽和特性曲線:(なし)	~
			ОК	キャンセル

	材料特性	ŧ		
材料 1 材料 2 材料 3	材料情報 名称: 材料 3 構成則モデル: 線形弾性	色:	<b>v</b>	
	先行時のx方向飽和透水係数:	4.32	初期静止土圧係数:	0.5
	先行時のy方向飽和透水係数:	4.32	先行時の間隙比:	1
	ポアソン比:	0.3333	先行時の鉛直有効応力:	3
	単位体積 <u>重</u> 量:	1.8	初期鉛直有効応力:	0
	圧縮指数:	0.0001	ヤング係数:	2000
	膨潤指数:	0.0001	内部摩擦角:	0
1 FA	飽和時の透水係数の変化率:	0	先行上載圧:	0
	二次圧縮指数:	0	過圧密比:	0
追加削除	先行時の体積ひずみ速度:	0	許容引張応力:	0
	先行時の静止土圧係数:	0.5	不飽和特性曲線: 不飽利	呐特性 1 ♥
			ОК	キャンセル

ここでは,「不飽和特性 1」という名称で下図のように入力して OK をクリックします.

M sa	ample1.dat.sv - FEMすいす	い -圧密- プリプロセッサー			_ 🗆 🗙
ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(	(H)				
🗋 🖆 🔂 🛅 (1) 解析方法	€ € <sup>1</sup> ≣ <sup>2</sup> √ - <sup>3</sup> 1 <sup>4</sup> 1 5	ĒH 3⊞ 8∰ ā÷ 10% 1% 1\$∕	8 <sup>m</sup> ) 🕨		• 🛞 • 🛋 👬 💑
(2) 材料特性	不飽和特性曲線(U)		^		
(3)作区	忉科狩注(M)				
≦ (6)荷重					
<b>2</b> 田 (7) 自動分割					
88 (8) 手動調整					
9≩ (9) 水頭					
US (A) 水境界条件					
(B) 人ナージ … 12 (C) 珠辺					
ステージ(S) ▶					
			<b>_</b>		
<			>		
不飽和特性曲線を設定します。平面ひずみ					



#### (3) 解析対象の作図

ここからは, 解析対象の地盤や盛土を作図します. 左右対称となっているため 右側半分のみをモデル化します.

①メニューバーの「作成」の中の「作図」かまたは、ツールバーの [1] 作図] をクリックして作図モードに切り替えた後に作図コマンドを用いて解析対象を 作図していきます.



```
メニューバー 「作成」―「二」(3)作図」
```

②基礎部の作図

盛土に近い部分は小さめに離れた部分は荒くします.





第5章 解析例

③盛土部の作図

盛土の施工 (ステップ) に応じて作図します.



ステップ 2











ステップ 5

67



```
ステップ 5
```

#### (4) 材料特性の割り当て

地盤,構造物の材料特性をそれぞれの位置の解析ブロックに割り当てます. ①メニューバーの「作成」の中の「材料割当」かまたは、ツールバーの [1] 材 料割当]をクリックし画面を材料割り当てモードに切り換えます.







材料設定画面

③プロパティウィンドウで材料特性 [材料 1] を指定して材料を割り当てると, 指定した材料特性が割り当てられて解析ブロックの色が変わります.

②材料特性の割り当てを行う解析ブロックをドラックします. すると, 選択され







④順次,材料特性を行うブロックを選択して材料特性を割り当てていきます.

⑤盛土部の材料を割り当てます.





#### (5) 変位境界条件

①メニューバーの[作成]の[(5)変位境界条件]を選択するかツールバーの[ 変位境界条件]をクリックします.





②マウスでドラッグして境界条件を指定する場所を選択します. プロパティウインドウで矯正変位を選択します. ここでは左右対称であり水平方向の変位は"0"となります.



③同様にして、マウスでドラッグして境界条件を指定する場所を選択します. プロパティウインドウで「強制変位」を選択し、鉛直方向の変位を"O"とします.


④さらに同様に、マウスでドラッグして境界条件を指定する場所を選択します. プロパティウインドウで「強制変位」を選択し、水平方向の変位を"0"とします.



## (6) メッシュ分割

①メニューバーの「作成」の中の「自動分割」かまたは、ツールバーの [ 自 動分割] をクリックし画面を自動分割モードに切り替えます.



メニューバー 「作成」―「 🖽 (7) 自動分割」

②分割数を指定する線分をクリックしてから、プロパティウィンドウで分割数を 指定します.

ここでは、分割数を 2、分割比率を 50 とします.分割比率は 50 のとき、均等 に分割されます.



分割数入力画面-1





分割数入力画面-2

④円内の数字の数だけ分割されます.分割数を増やしたりする場合は円をクリックしてプロパティウィンドウの数字を入力することで変更できます.



分割数入力画面-3





#### (7) 水頭の入力

①メニューバーの [作成] の [水頭] かまたは, ツールバーの [♥☆水頭] をクリックします.

②マウスでドラックして水頭を入力する節点を選択します. 順次, 全水頭を1.25,2.5, 3.75, 5と入力します.



メニューバー 「作成」−「 🔤 (9) 水頭」



水頭入力画面-1



水頭入力画面-2



水頭入力画面-3

ステージ2を追加します.

①メニューバーの「作成」の中の「ステージ」かまたは、ツールバーの [ **※** ステージ] をクリックします.



メニューバー 「作成」― 「 🧞 (11) ステージ」

②「ステージ設定」ウィンドウが表示されます.ここでステージの追加を指定します.

	ステージ設定 ×
ステージ 1	ステージ情報       ステージ分割数:     1 (通常:1)       ステップ細分割数:     1 (通常:1)
	掘削相当外力の解放率: 100 % 当ステージの時間増分: 1 筋ら水頭: 0 につい頭 0 今水頭
	新規追加(N)

- ステージ設定ウィンドウ
- ③「新規追加」をクリックすると以下のウィンドウが表示されますので「OK」 をクリックします.

FEMすいすい -圧密-プリプロセッサー
新しいステージを追加しますか?
ОК <b>‡</b> т>ти

	ステージ設定	×
ステージ 1 ステージ 2	ステージ情報 ステージ分割数: 2 (通常:1) ステップ細分割数: 1 (通常:1) 掘削相当外力の解放率: 100 % 当ステージの時間増分: 5 節点水頭: 圧力水頭 @全水頭	
	新規追加( <u>№</u> ) 削除( <u>D</u> ) OK	

#### ステージ2

⑤順次ステージを設定します.









ステージ 5

ステージ 1 ステージ 2 ステージ 3 ステージ 4 ステージ 5 ステージ 6 ステージ6





ステージ 9

淝

5 亭

灀

춛

囫

#### (9) 解析の実行

①メニューバーの「作成」の中の「確認」かまたは、ツールバーの [**込** 確認] をクリックし画面を確認モードに切り換えます.



メニューバー 「作成」―「😵 (12) 確認」

②ツールバーの [ ➡ GO!] をクリックします.



ツールバー [ 誌 解析]

④解析が実行され、「OK」
 をクリックするとポストプロセッサーが起動します。



#### 5-1-3 解析結果

ポストプロセッサーが起動して以下のような結果が表示されます.

- 1)情報表示
- 2)構造データ
  - (1) 三四角形要素図
  - (2) 線要素
  - (3) 外枠
  - (4) 材料境界線
  - (5) 材料色塗り
  - (6) 節点番号
  - (7) 要素番号
  - (8) 材料番号
- 3) 力学的断面図
  - (1) 三四角形要素図
  - (2) 線要素
  - (3) 外枠
  - (4) 材料境界線
  - (5) 材料色塗り
  - (6) 変位後の三四角形
  - (7) 変位後の線要素
  - (8) 変位流速ベクトル
  - (9) 主応力流速ベクトル(有効応力)
  - (10) 主応力流速ベクトル(全応力)
  - (11) 主ひずみベクトル
  - (12) 線コンター
  - (13) 色塗りコンター
- 4) 水理学的断面図
  - (1) 三四角形要素図
  - (2) 外枠
  - (3) 材料境界線
  - (4) 流速ベクトル(飽和)
  - (5) 流速ベクトル(不飽和)
  - (6) 間隙水圧コンター(線)
  - (7)全水頭コンター(線)
  - (8) 自由水面
  - (9) 間隙水圧コンター(色塗り)
  - (10) 全水頭コンター(色塗り)

- 5) 線材の部材力図
  - (1) 線要素
  - (2) 外枠
  - (3) 材料境界線
  - (4)軸力図
  - (5) せん断力図
  - (6)曲げモーメント図
  - (7) 圧縮縁応力図
  - (8) 引張縁応力図
  - (9) 部材変位図
- 6) 節点値の時刻歴グラフ
  - (1) 水平変位
  - (2) 鉛直変位
  - (3) 間隙水圧
  - (4) 流量
  - (5) 合計流量
  - (6) 全節点合計流出入量
- 7) 応力経路図
  - q p '図
  - (2) q − p 図
  - (3) τ<sub>oct</sub> − p '図
  - (4) て<sub>oct</sub> p 図



①ツールバーより表示したい結果の種類をクリックします.

解析結果表示画面

②ツールバーより表示したいステージを選択します.

ここではツールバーの [力学的断面] をクリックして [主応力ベクトル] を選択 します.



力学的断面

③今度はツールバーの[線コンター]を選択しツールバーのコンター種別でプル ダウンメニューより. 変位及び[U]を選択してみます.



④同様にして、ツールバーの [色塗りコンター] を表示してみました.



놀 色塗りコンター



⑤変位量を見るために、まず、ツールバーの [ ■ 三・四角形表示] をクリック します.

ツールバー [ 田 三・四角形要素]

⑥ツールバーの[情報表示]をクリックして、表示したい位置をマウスでドラックして選択します。



ツールバー [情報表示]

⑦そして値表示ウィンドウのプルダウンメニューより [U] を選択するとその値 が表示されます.

AC							
Stage	Step	Time	NODE 46	NODE 47	NODE 48	NODE 49	Ni 🔨
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	2.5	0.0294346	0.0300414	0.0315293	0.0329475	0.
2	3	5	0.0587832	0.0600298	0.0631098	0.0660489	Ο.
3	4	7.5	0.0880458	0.0895024	0.0929465	0.0958526	Ο.
3	5	10	0.117424	0.118986	0.122534	0.125258	Ο.
4	6	12.5	0.143683	0.144985	0.147862	0.149958	0.
4	7	15	0.170453	0.171175	0.172778	0.174028	0. 🗸

#### 値表示ウィンドウ

⑧値表示ウィンドウのツールバーのコピーをクリックすると、同じ内容をエクセルに貼り付けることができます。

	值表示						
AC							
Stage	Step	Time	NODE 46	NODE 47	NODE 48	NODE 49	NI 🛧
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	2.5	0.0294346	0.0300414	0.0315293	0.0329475	0.
2	3	5	0.0587832	0.0600298	0.0631098	0.0660489	0.
3	4	7.5	0.0880458	0.0895024	0.0929465	0.0958526	0.
3	5	10	0.117424	0.118986	0.122534	0.125258	Ο.
4	6	12.5	0.143683	0.144985	0.147862	0.149958	0.
4	7	15	0.170453	0.171175	0.172778	0.174028	0. 🧹
<			1	T		:	>

値表示(流量)

⑨エクセルにデータを貼り付けました.

X∄	5-	(⇒ - =				Book1 - E	xcel				? 🛧 -	×	ł
771	イル ホーム	挿入	ページ レイア	ウト 数式	データ	校閲 君	長示 アドイ	2		2	田中語	<u> </u> 美 - 〇	ſ
	* * I	イS Pゴシック	+	11 · A		= 🗄 🛛	標準 →	<b>湿</b> 条件付き	君式 ▼	鄙挿入	- <u></u> - A	TT	
貼り作		BIU-		- A - Z	• = =		<b>₩</b>	■ デーブルと ■	として書式設定	▼ 副除 副除 ■ ■ ■ ■ ■ ■	· · · ·	16 -	
· ·	· 🔷	—			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	37/ -	.00 →.0	■ セルのス	タイル ~	間 書式	* <u>*</u> *		
クリッ	プボード 「ュ		フォント		い 配行	置「」	数値 5		タイル	セル	編集	<u>i</u> / ^	•
A1	*	: 🗙	$\checkmark f_x$	Stage									r
	Α	В	С	D	E	F	G	Н	Ι	J	K	L	*
1	Stage	Step	Time	NODE 46	NODE 47	NODE 48	NODE 49	NODE 50	NODE 51	NODE 52	NODE 61	NODE 6	
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	2	2	2.5	0.029435	0.030041	0.031529	0.032948	0.032757	0.030458	0.02607	0.03513	0.036	
4	2	3	5	0.058783	0.06003	0.06311	0.066049	0.065763	0.0613	0.052601	0.070878	0.0734	
5	3	4	7.5	0.088046	0.089502	0.092947	0.095853	0.094479	0.087929	0.075742	0.109782	0.1130	
6	3	5	10	0.117424	0.118986	0.122534	0.125258	0.123111	0.114706	0.099046	0.151418	0.1543	_
7	4	6	12.5	0.143683	0.144985	0.147862	0.149958	0.147289	0.13751	0.119001	0.192424	0.1938	
8	4	7	15	0.170453	0.171175	0.172778	0.174028	0.17111	0.16019	0.138938	0.235603	0.234	
9	5	8	17.5	0.201 009	0.197083	0.195065	0.195878	0.192963	0.181097	0.157248	0.280438	0.2730	
10	5	9	20	0.23492	0.229876	0.222717	0.22099	0.217843	0.204661	0.177752	0.329341	0.3176	
11	6	10	30	0.24381	0.236563	0.222419	0.217008	0.21 69 06	0.207817	0.183052	0.352782	0.3380	
12	6	11	40	0.252565	0.243855	0.224692	0.215098	0.215405	0.209261	0.186679	0.368695	0.3525	
13	6	12	50	0.258985	0.250289	0.228385	0.21 4799	0.214154	0.209991	0.189364	0.3804	0.3641	Ŧ
	Þ.	Sheet1	÷					: •				►	
準備	完了							E		<b>_</b>		+ 100%	

第5章 解析例

# 第6章 弾・粘塑性カップリング解析

6–1 応力-ひずみ関係 6-1-1 記号の定義 圧縮指数 (=  $C_c/ln_{10} = 0.434C_c$ ) λ 膨潤指数 (=  $C_s/ln_{10} = 0.434C_s$ ) к  $-C_{\varepsilon}$ 柴田のダイレタンシー係数 D  $e_o$  $\frac{1}{3}\sigma'_{ij}\delta_{ij}$ p'平均有効主応力  $C_c$  $p_o'$ 先行時の平均有効主応力 間隙比 e $p' = p_o'$ のときの間隙比  $e_o$  $\cdot \log p'$  $p_o'$ 一般化された主応力差 q $q = \sqrt{\frac{3}{2}}S_{ij}S_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ 偏差応力テンソル  $S_{ij} = \sigma'_{ii} - p' \delta_{ij}$  $S_{ii}$  $p' = p'_o$ のときの有効応力比  $\eta_o = (q/p')$  $\eta_o$ クロネッカーのデルタ  $\delta_{ij}$ 2次圧縮指数  $\alpha$ 初期体積ひずみ速度  $\dot{v}_o$  $v^P$ 体積ひずみの粘塑性成分  $\epsilon_{ij}$ ひずみテンソル  $\sigma'_{ij}$ 有効応力テンソル  $\sigma_{ij}^r$ 緩和応力テンソル D<sup>EP</sup> 弾・粘塑性係数マトリックス

- t 時間
- F 粘塑性ポテンシャル関数

上に を付けた変数は時間に関する導関数, すなわち, 速度を表わす.

#### 6-1-2 弾・粘塑性理論(関口のモデル)

粘塑性ポテンシャル関数

$$F \equiv \alpha \ln \left\{ 1 + \int \frac{\dot{\nu}_o}{\alpha} \exp\left(\frac{f}{\alpha}\right) dt \right\} = v^P \tag{1}$$

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_o} ln \frac{p'}{p_o'} + D \left| \frac{q}{p'} - \eta_o \right| = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_o} ln \frac{p'}{p_o'} \pm D \left( \frac{q}{p'} - \eta_o \right)$$
(2)

年塑性流動の継続条件式

$$\dot{F} \equiv \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{ij}} \dot{\sigma}'_{ij} \frac{\partial F}{\partial t} = \dot{v}^P \tag{3}$$

ひずみ速度テンソルの弾性成分と粘塑性成分の独立性

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \dot{\varepsilon}_{ij}^E + \dot{\varepsilon}_{ij}^P \tag{4}$$

normality rule(垂直性)

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{P} = \Lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{ij}}$$
 Aは比例定数 (5)

等方線形性

$$\dot{\sigma}'_{ij} = \tilde{\lambda} \dot{v}^E \delta_{ij} + 2\tilde{\mu} \dot{\varepsilon}^E_{ij}$$
  $\tilde{\lambda}, \ \tilde{\mu}$ は Lamé の定数 (6)  
比例定数  $\Lambda$ 

(3), (4), (5), (6)式より

$$\Lambda \frac{\tilde{\lambda} \frac{\partial F}{\partial p'} \dot{v} + 2\tilde{\mu} \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{kl}} \dot{\varepsilon}_{kl} + \frac{\partial F}{\partial t}}{\tilde{\lambda} \left(\frac{\partial F}{\partial p'}\right)^2 + 2\tilde{\mu} \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{mn}} \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{mn}} + \frac{\partial F}{\partial p'}}$$

$$\Box \Box \iota,$$

$$\frac{\partial F}{\partial p'} = \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{ij}} + \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{ij}} + \frac{\partial F}{\partial \sigma'_{ij}}$$
(7)

## 6-1-3 弾・粘塑性構成式

 $\frac{\partial f}{\partial p'} = \frac{\partial F}{\partial p'} = 0$ 

 $\dot{\gamma}^P = \infty$ 

となって

(1), (4), (5), (6), (7)式より, 有効応力速度テンソルとひずみ速度テンソル の関係式が得られ, 例えば, 2次元平面ひずみ条件(xy平面とする)では次式で 表わされる.

$$\begin{cases} \dot{\sigma}'_x \quad \dot{\sigma}'_y \quad \dot{\sigma}'_z \quad \dot{\tau}_{xy} \end{cases}^T = \begin{bmatrix} D^{EP} \end{bmatrix} \{ \dot{\varepsilon}^r_x \quad \dot{\varepsilon}^r_y \quad \dot{\gamma}^r_{xy} \}^T - \{ \dot{\sigma}^r_x \quad \dot{\sigma}^r_y \quad \dot{\sigma}^r_z \quad \dot{\tau}^r_{xy} \}^T \\ \exists z \in z, \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} D^{EP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\lambda} + 2\tilde{\lambda} & \tilde{\lambda} & 0 \\ \tilde{\lambda} & \tilde{\lambda} + 2\tilde{\lambda} & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{\mu} \end{bmatrix} - \frac{C_5}{C_o} \begin{bmatrix} C_1^2 & C_1C_2 & C_1C_4 \\ C_1C_2 & C_2^2 & C_2C_4 \\ C_1C_3 & C_2C_3 & C_3C_4 \\ C_1C_4 & C_2C_4 & C_4 \end{bmatrix}$$

$$\{ \dot{\sigma}^r_x \quad \dot{\sigma}^r_y \quad \dot{\sigma}^r_z \quad \dot{\sigma}^r_{xy} \} = \frac{C_6}{C_o} \{ C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad C_4 \}$$

$$f_{ij} \equiv \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{1}{3p'} \left( \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_o} \mp D \frac{q}{p'} \right) S_{ij} \pm \frac{3}{2} \frac{D}{p'} \frac{s_{ij}}{q}$$

$$f_{kk} \equiv \frac{\partial f}{\partial p'} = \frac{1}{p'} \left( \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_o} \mp D \frac{q}{p'} \right)$$

$$C_1 = \tilde{\lambda} f_{kk} + \tilde{\mu} f_{11}$$

$$C_2 = \tilde{\lambda} f_{kk} + \tilde{\mu} f_{33}$$

$$C_o = \left\{ \tilde{\lambda} f_{kk}^2 + 2\tilde{\mu} \left( f_{11}^2 + f_{22}^2 + f_{33}^2 + 2f_{12}^2 \right) \right\} C_5 + f_{kk}$$

$$C_5 = 1 - \exp\left( - \frac{v^P}{\alpha} \right)$$

$$C_6 = \frac{\partial F}{\partial t} = \dot{\nu}_o \exp\left( \frac{f - v^P}{\alpha} \right)$$

6-1-4 破壊条件式	
$\frac{\lambda - \kappa}{(1 + e_o)D} = \pm \frac{q}{p'}$	(9)
(9)式が成り立つとき,	

第6章 弾・粘塑性カップリング解析

$$\begin{split} \dot{\gamma}^P &= \sqrt{\frac{2}{3}} \dot{\gamma}^P_{ij} \dot{\gamma}^P_{ij} \\ \dot{\gamma}^P_{ij} &= \dot{\epsilon}^P_{ij} - \frac{1}{3} \dot{\gamma}^P \delta_{ij} \end{split}$$

#### 6-1-5 弾性のLaméの定数

弾性時の応力径路が過圧密(または膨潤)中の $e - \ln p'$ 曲線上をたどるようにするためポアソン比 $_{\nu}$ を一定にすると、弾性の Lamé の定数 $\tilde{\lambda}$ 、 $\tilde{\mu}$ は次式で表わされる.  $e_i$ は初期間隙比.

$$\tilde{\lambda} = \frac{1 - e_i}{\kappa} p' - \frac{2}{3} \tilde{\mu}$$

$$\tilde{\mu} = \frac{3(1 - 2\nu)}{2(1 + \nu)} \frac{1 + e_i}{\kappa} p'$$
(10)

## 6-2 有限要素定式法

# 6-2-1 記号の定義

- $u_i$  変位ベクトルの成分
- $\epsilon_{ij}$  ひずみテンソルの成分
- $\sigma_{ij}$  全応力テンソルの成分
- $\sigma'_{ij}$  有効応力テンソルの成分
- $\dot{\sigma}_{ij}^r$  緩和応力テンソルの成分
- p 間隙水圧
- $q_i$  流量ベクトルの成分
- D<sub>ijkl</sub> 弾・粘塑性係数テンソルの成分
- kij 透水係数テンソルの成分
- $G_i$  物体力ベクトルの成分
- μ 土の湿潤密度
- *ρ* 間隙水の密度
- $\gamma_w$  間隙水の単位体積重量  $\gamma_w = \rho g = -\rho G_3$
- n 間隙率
- s 飽和度  $(0 \leq S \leq 1)$   $s = S_r/100$
- $\chi$  Bishop のカイ  $(0 \le \chi \le 1)$
- n<sub>i</sub> 境界面の単位外向法線ベクトルの成分
- $\hat{T}_i$  境界面 $S_1$ 上の既知外向応力ベクトルの成分
- *Q* 境界面S<sub>2</sub>上の既知流出量
- $\hat{u}_i$  境界面 $S_3$ 上の既知変位ベクトルの成分  $(S_1 + S_3 = S)$
- $\hat{p}$  境界面 $S_4$ 上の既知間隙水圧  $(S_2 + S_4 = S)$

,の後に添字を付したものは空間に関する偏微分を表わし.同じ添字が続くもの は総和を意味する.例えば,

$$u_{i,j} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

#### 6-2-2 基礎方程式

全応力の釣合条件式  $\sigma_{ij,j} + \mu G_i = 0$  (11)

間隙水の連続条件式 
$$q_{i,i} - S\dot{\epsilon}_{ii} + n\frac{dS}{dp}\dot{p} = 0$$
 (12)

間隙水の運動方程式 
$$q_i = -\frac{k_{ij}}{\gamma_w} \left( p_{,i} - \rho G_i \right)$$
 (13)

有効応力式 
$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} + \chi \delta_{ij} p$$
 (14)

応力・ひずみ関係式 
$$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl} \dot{\epsilon}_{kl} - \delta \dot{\sigma}^v_{ij}$$
 (15)

ひずみの適合条件式 
$$\varepsilon_{ij} = -\frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) \equiv -u_{(i,j)}$$
 (16)

$$\delta = \begin{cases} 0 (その他) \\ ここに、以下の対称性が成り立つ. \end{cases}$$

 $\begin{aligned} \epsilon_{ij} &= \epsilon_{ji} \quad \sigma'_{ij} = \sigma'_{ji} \quad \dot{\epsilon}_{ij} = \dot{\epsilon}_{ji} \quad \dot{\sigma}'_{ij} = \dot{\sigma}'_{ji} \\ k_{ij} &= k_{ji} \quad D_{ijkl} = D_{jikl} = D_{ijlk} = D_{klij} \end{aligned}$ 

## 6-2-3 支配方程式

(11), (14), (15), (16)式より(18)式が導かれ, (12), (13), (16)式より(19)式 が導かれる.

$$\left\{-D_{ijkl}\dot{u}_{(k,l)} + \chi\delta_{ij}\dot{p}\right\}_{,j} + \dot{\mu}G_i - \delta\dot{\sigma}^r_{ij,j} = 0$$
(18)

$$\left\{\frac{k_{ij}}{\gamma_w}\left(p_{,j} - \rho G_i\right)\right\}_{,j} - s\dot{u}_{i,i} - n\frac{ds}{dp}\dot{p} = 0\tag{19}$$

# 6-2-4 初期条件と境界条件

初期条件  $u_i = u_{i,j} = 0$  (20) 境界条件

応力境界 
$$T_i \equiv \sigma_{ij} n_j = \hat{T}_i \quad \dot{T}_i = \hat{T}_i \quad (S_1 \pm \tilde{\mathcal{C}})$$
 (21)

流量境界  $Q = q_i n_i = \hat{Q}$   $\dot{Q} = \dot{\hat{Q}}$  (S2上で) (22)

変位境界 
$$u_i = \hat{u}_i$$
  $\dot{u}_i = \hat{\dot{u}}_i$  (S3上で) (23)

間隙水圧境界  $p = \hat{p}$   $\dot{p} = \hat{p}$  (S4上で) (24)

## 6-2-5 変分原理

初期条件(20)式と境界条件(21)~(24)式をもつ支配方程式(18),(19)の汎関数 は(25)式で定義され、変数 $\dot{u}_i$ と $\dot{p}$ に関する(25)式の第1変分を0にすることと、 任意の時間 $t \in [0,\infty)$ における解を得ることは同値である.

$$\Omega_{t} = \int_{V} \left[ \frac{1}{2} D_{ijkl} \dot{u}_{(k,l)} * \dot{u}_{(i,j)} + \delta \dot{\sigma}_{ij}^{r} * \dot{u}_{(i,j)} + \dot{\mu} G_{i} * \dot{u}_{i} - \chi \dot{p} * \dot{u}_{i,i} - \frac{1}{2} \frac{\chi}{S} n \frac{dS}{dp} \dot{p} * \dot{p} + 1 * \dot{p}_{,i} * \frac{\chi}{S} \frac{k_{ij}}{\gamma_{w}} \dot{\rho} G_{i} - \frac{1}{2} * \dot{p}_{,i} * \frac{\chi}{S} \frac{k_{ij}}{\gamma_{w}} \dot{p}_{,i} \right] dV + \int_{S_{1}} \hat{T}_{i} * \dot{u}_{i} dS - \int_{S_{2}} 1 * \frac{\chi}{S} \hat{Q} * \dot{p} dS$$
ここに、\*はたたみ込み積分を表わし、
$$\eta(t) * \zeta(t) = \int_{0}^{t} \eta(t - \xi) \zeta(\xi) d\xi = \zeta(t) * \eta(t)$$
(25)

#### 6-2-6 有限要素定式化

領域Vを M 個の小さな要素に分割し、ある要素 m 内の点x = (x, y, z)における変位ベクトルと間隙水圧を

 $\{u^m\}_{(\boldsymbol{x},t)} = [N_u^m]_{(\boldsymbol{x})} \{u_e^m\}_{(t)}$   $p_{(\boldsymbol{x},t)}^m = [N_p^m]_{(\boldsymbol{x})} \{p_e^m\}_{(t)}$ と定義すれば、ひずみベクトル、体積ひずみ、圧力勾配ベクトルは

90

$$\{\epsilon^{m}\}_{(\boldsymbol{x},t)} = -[B^{m}]_{(\boldsymbol{x})} \{u_{e}^{m}\}_{(t)} \quad \upsilon_{(\boldsymbol{x},t)}^{m} = -[B_{\upsilon}^{m}]_{(\boldsymbol{x})} \{u_{e}^{m}\}_{(t)}$$
$$\{p_{,i}^{m}\}_{(\boldsymbol{x},t)} = [B_{d}^{m}]_{(\boldsymbol{x})} \{\rho_{e}^{m}\}_{(t)}$$

 $\{p_{,i}^{m}\}_{(x,t)} = [B_{d}^{m}]_{(x)} \{\rho_{e}^{m}\}_{(t)}$ と表わされる.ここに、  $\{u_{e}^{m}\} \geq \{p_{e}^{m}\}$ はある時間  $t \in [0,\infty)$ における要素  $_{m}$ を 構成する節点の変位ベクトル値と間隙水圧値を表わす.

[*N*<sup>*m*</sup><sub>*u*</sub>]:要素 *m* 内の点 *x* における変位形状関数

- $\begin{bmatrix} N_p^m \end{bmatrix}$ :  $\prime$  間隙水圧形状関数
- $[B^m][B^m_v]:[N^m_u]$ を適当に微分し並べ換えたもの

  - $\{p_e^m\}$ :  $^{\prime\prime}$ 間隙水圧の組

よって、全節点の変位ベクトルと間隙水圧の列ベクトルを $\{u\}$  と $\{P\}$ で表わせば、(25)式の替りに、空間的に離散化された汎関数(26)式を得る.

$$\Omega_{t} = \frac{1}{2} \{\dot{u}\}^{T} [K] * \{\dot{u}\} - \{\dot{u}\}^{T} * \{A_{1}\} + \{\dot{u}\}^{T} [C] * \{\dot{P}\} - \frac{1}{2} \{\dot{P}\}^{T} [E] * \{\dot{P}\} - 1 * \{\dot{P}\}^{T} * \{\dot{A}_{2}\} - \frac{1}{2} * \{\dot{P}\}^{T} * [H] \{\dot{P}\} - \{\dot{P}\}^{T} * \{A_{3}\}$$

$$(26)$$

(26)式に変分原理を適用し、 $\{\dot{u}\} \ge \{\dot{P}\}$ に関する変分をともに0にすることに より、(27)、(28)式が得られる.

$$[K] \{\dot{u}\} + [C] \{\dot{P}\} = \{A_1\}$$
(27)

$$[C]^{T} \{ \dot{u} \} - [H] \{ P \} - [E] \{ \dot{P} \} = \{ A_{2} \} + \{ A_{3} \}$$
(28)

ここに, M

$$\begin{split} \{A_1\} &= -\sum_{m=1}^{M} \int_{V^m} \left( b^m \left[ B^m \right]^T \left\{ \dot{\sigma}^{r^m} \right\} + \left[ N_u^m \right]^T \left\{ \dot{\mu}^m G \right\} \right) dV \\ &- \sum_{m=1}^{M} \int_{S^m} \left[ N_u^m \right] \left\{ \dot{\hat{T}}^m \right\} dS \\ \{A_2\} &= -\sum_{m=1}^{M} \int_{V^m} \frac{\chi^m}{S^m} \left[ B_d^m \right]^T \left[ R^m \right] \{ \rho^m G \} dV \\ \{A_3\} &= \sum_{m=1}^{M_2} \int_{S^m} \frac{\chi^m}{S^m} \left[ N_P^m \right]^T \left\{ \hat{Q}^m \right\} dS \\ \text{他の記号は後出を参照のこと.} \end{split}$$

ここで、数値計算し易いように、

$$\{\dot{u}\} \coloneqq \frac{1}{\Delta t} \left( \{u\}_{t+\Delta t} - \{u\}_t \right) = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \Delta u \right\}$$

$$\{\dot{P}\} \doteq \frac{1}{\Delta t} \left( \{P\}_{t+\Delta t} - \{P\}_t \right)$$

$$\left\{P\right\} \stackrel{\text{\tiny def}}{=} \frac{1}{\Delta t} \left(\left\{P\right\}_{t+\Delta t} - \left\{P\right\}_{t}\right)$$
$$\dot{\mu} \stackrel{\text{\tiny def}}{=} \frac{1}{\Delta t} \left(\mu_{t+\Delta t} - \mu_{t}\right) = \frac{1}{\Delta} \Delta \mu$$

$$\begin{aligned} &\hat{T} \stackrel{}{=} \frac{1}{\Delta t} \left( \left\{ \hat{T} \right\}_{t+\Delta t} - \left\{ \hat{T} \right\}_{t} \right) = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \Delta \hat{T} \right\} \\ &\{ P \} \stackrel{}{=} \left\{ P \right\}_{t} + \beta \left( \left\{ P \right\}_{t+\Delta t} - \left\{ P \right\}_{t} \right) = \beta \left\{ P \right\}_{t+\Delta t} + (1-\beta) \left\{ P \right\}_{t} \\ &\rho \stackrel{}{=} \beta \rho_{t+\Delta t} + (1-\beta) \rho_{t} \\ &\left\{ \hat{Q} \right\} \stackrel{}{=} \beta \left\{ \hat{Q} \right\}_{t+\Delta t} + (1-\beta) \left\{ \hat{Q} \right\}_{t} \end{aligned}$$

と近似すれば、最終的にマトリックス方程式(29)式が得られる.

$$\begin{bmatrix} K & C \\ C^T & -E - \beta \Delta t H \end{bmatrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta u \\ P_{t+\Delta t} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} F \\ Q \end{array} \right\} \quad 0 \leq \beta \leq 1$$
(29)

(29)式を step by step で解いて行けばよい.

ここに.  $[D^m]$ 要素 m 内の点 x,時間 t における弾・粘塑性係数マトリックス  $[R^m]$ 透水係数マトリックス M<sub>1</sub> 既知応力境界面 S<sub>1</sub>に含まれる有限要素面の数  $M_2$  既知流量境界面 $S_2$  $[K] = \sum_{1}^{M} \int_{V^{m}} [B^{m}]^{T} [D^{m}] [B^{m}] dV$  $[C] = -\sum_{v=1}^{M} \int_{V^m} \chi^m \left[ B_v^m \right]^T \left[ N_P^m \right] dV$  $[H] = \sum_{m=1}^{M} \int_{V^m} \frac{\chi^m}{S^m} [B_d^m]^T [R^m] [B_d^m] dV$  $[E] = \sum_{m=1}^{M} \int_{V^m} \frac{\chi^m}{S^m} n^m \left(\frac{dS}{dP}\right)^m [N_P^m]^T [N_P^m] dV$  $\{F\} = \Delta t \{F_1\} - \{F_2\} - \{F_3\} + [C] \{P\}_t$  $\{Q\} = \{Q_1\} + \{Q_2\}$  $\{F_1\} = -\sum_{n=1}^{M} \int_{V^m} b^m \left[B^m\right]^T \left\{ \dot{\sigma}^{r^m} \right\} dV$  $\{F_2\} = \sum_{m=1}^{M} \int_{V^m} [N_u^m]^T \{\Delta \mu^m G\} dV \qquad \Delta \mu = n\Delta S + \text{BRE}$  $\{F_3\} = \sum_{m=1}^{M_1} \int_{\zeta^m} \left[N_u^m\right]^T \left\{\Delta \hat{T}^m\right\} dS$  $\begin{aligned} \{Q_1\} &= \Delta t \left[ \beta \left( \{A_2\}_{t+\Delta t} + \{A_3\}_{t+\Delta t} \right) + (1-\beta) \left( \{A_2\}_t + \{A_3\}_t \right) \right] \\ \{Q_2\} &= \{\Delta t \left( 1-\beta \right) [H] - [E] \} \{P\}_t \end{aligned}$  $\{A_2\} = -\sum_{m=1}^{M} \int_{V^m} \frac{\chi^m}{S^m} [B_d^m]^T [R^m] \{\rho^m G\} dV$  $\{A_3\} = \sum_{m=1}^{M_2} \int_{S^m} \frac{\chi^m}{S^m} \left[N_P^m\right]^T \left[\hat{Q}^m\right] dS$ 

# 6-3 繰返し計算

## 6-3-1 不飽和浸透特性

不飽和領域では下図の様な浸透特性を持つことが,実験的に知られている.と ころが,応力・ひずみ関係は増分形で表わしたが,間隙水の流れについては割線で 関係づけたため,下図の様な非線形性を忠実に表現するためには,ステップ毎に繰 返し計算をして収束させる必要がある.ただし,粘性土では一般に限界の間隙水圧 *p<sub>c</sub>*が極めて小さいため,*p*が負になっても飽和状態であることが通常である.



第6章 弾・粘塑性カップリング解析



#### 6-3-2 収束条件式

不飽和時の非線形浸透特性を表現するために繰返し計算を行なうとき,収束の 判定は次式で行なう.

$$\left| \dot{\delta} p \right|_{\text{max}} \leq$$
許容誤差(例えば、10<sup>-4</sup>)

ここでの収束性の検討は間隙水圧の値についてのみであり, m回目の繰返し計 算において,  $\delta p$ は次式で定義する ( $m \ge 1$ ).

$$\delta p = \begin{cases} p_{t+\Delta t}^m & (p_{t+\Delta t}^{m-1} - p_{t+\Delta t}^{m-1}) / p_{t+\Delta t}^{m-1} \end{cases}$$

 $\texttt{ZZK}, \ p_{t+\Delta t}^o = p_t$ 

ただし,浸出面や進入不可境界が存在する場合は,以下に示すような条件も満 足する必要がある.

#### 6-3-3 浸出面の取扱い

盛土斜面や掘削面に現われる浸出面においては,間隙水圧 p = 0 かつ水の流入 がないという特殊な水理境界条件を有している.間隙水圧境界と流量境界は本来, 完全に区別されるべきものであるが,浸出面においては間隙水圧境界にも流量境 界にもなり得る.

そこでここでは、以下のように取り扱っている.

- (i) p = 0と設定した時に $Q \ge 0$  (流出)ならば間隙水圧境界 p = 0のままだ が, Q < 0 (流入)となる時には間隙水圧境界を解除して流量境界Q = 0に変更する.
- (ii) 逆に, Q = 0と設定した時にp < 0ならば流量境界Q = 0のままだが,  $p \ge 0$ となる時には間隙水圧境界p = 0に変更する.
- (iii) そして、変更がなくなるまでこれらの手順を繰り返す.

#### 6-3-4 進入不可境界とその取扱い

軟弱地盤のシールド掘削問題におい て,掘削面を単に応力境界として掘削相 当外力をかけると,右図に示すように, テールボイド以上に変形してしまうこと がある.これを避けるために,円形また は長方形の領域(右図の例ではセグメン ト外径)を設定し,その領域の外部に節 点が存在する場合には応力境界として自



由に変位できるが、その領域の内部には節点は進入できないという特殊な幾何境 界条件を考えた.ここではこれを進入不可境界と呼び、以下に示すような繰返し 計算で取り扱っている.

- (i)応力境界であると設定した時,前ステップの節点座標  $(x_1, y_1)$ と増分変位  $(\Delta u_x, \Delta u_y)$ から変形後の節点座標
  - $x_2 = x_1 + \Delta u_x, \quad y_2 = y_1 + \Delta u_y$

を算出する. 点  $(x_1, y_1)$ と点  $(x_2, y_2)$ を結ぶ線分が進入不可境界と交差し なければ応力境界のままだが, 交差する場合にはその交点  $(x_3, y_3)$ を求め 変位境界  $(\Delta u_x = x_3 - x_1, \Delta u_y = y_3 - y_1)$ に変更する.



- (ii)変位境界であると設定した時,増分節点力ベクトル △F を算出する. △F が進入不可境界の外側に向いていれば変位境界のままだが,内側に向いている場合は応力境界に変更する.
- (iii) そして,変更がなくなるまでこれらの手順を繰り返す. ここでの図解は円形の場合だけにとどめたが,矩形の場合も同様である.

インデックス出版

2 次元地盤解析システム FEM すいすい―圧密― Ver.1.0