

Ver.1.0

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 すいすい一応力変形一」は有限要素法(FEM) による2次元応力変形解析ソフトウェアです.地盤の掘削,盛土のシミュレーショ ンなど地盤に関係する多くの分野において,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―応力変形―」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.

**2 次元地盤解析システム「FEM すいすい一応力変形一」**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1章	章 はじめる前に		6
1-1	「FEM すいすい」とは	6	
1-2	「FFM すいすい」の操作の流れ	8	
1_3	FEM 解析にあたっての注音占	۵	
1-0	1_3-1 単位系 9		
	1-3-2 メッシュの分割方法 9		
笛2番	き セットアップ		10
2-1 2-1	- こ	10	
<b>∠</b> -1	<ul><li>2-1-1 製品版のダウンロード 10</li></ul>		
	2-1-2 2次元地盤解析システム「FEM すいすい―応力変形―」のインストール	10	
第3重	き プリプロセッサー		. 13
3-1		13	
3-2	データ作成手順について	14	
3-3	解析方法の設定	17	
3-4		23	
0 1	3-4-1 材料種別の選択 23	20	
	3-4-2 材料(物性)値の入力 23		
3-5	解析対象の作図	30	
	3-5-1 作図とは 30		
	3-5-2 作図に役立つ機能 31		
	3-5-3 作図コマンド 32		
3-6	材料特性の割り当て	38	
	3-6-1 面要素 39		
	3-6-2 線要素 39		
	3-6-3 ジョイント要素 40		
3-7	境界条件の設定	42	
	3-7-1 点拘束の設定 42		
	3-7-2 緑拘束の設定 43		
3-8		43	
	3-8-1 集中何里の設定 43		
	3-6-2 万印何里の設定 44 3-8-3 慣性力の設定 16		
	3-8-4 温度荷重の設定 47		
3-0		18	
0-9	<ul><li>ハノノエノ司・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>	40	
	3-9-2 自動分割後の手動調整 50		
3-10	) 解析ステージの設定	54	
0.10	3-10-1 解析ステージとは 54		
	3-10-2 解析ステージの追加・削除・移動とステップ分割 56		
	3-10-3 掘削の設定 58		

	3-10-4 支保の設定 59 3-10-5 盛土の設定 61 3-10-6 地盤改良の設定 62	
3-11	解析の実行	63
第4章	き ポストプロセッサー	64
4-1	起動と終了	64
4-2	解析結果の表示	
	4-2-1 役立つ機能 65	
	4-2-2 解析結果の表示 67	
	4-2-3 表示の設定 68	
	4-2-4 報告書への貼り付け 75	
4-3	解析結果の利用	
	4-3-1 変位図 76	
	4-3-2 主応力図 76	
	4-3-3 コンター図 77	
	4-3-4 断面力図 77	
第5章	章 解 析 例	
5-1	盛士解析	
•	5-1-1 解析条件 79	
	5-1-2 解析手順 80	
	5-1-3 解析結果 89	
5-2	トンネル掘削解析	
	5-2-1 解析条件 92	
	5-2-2 解析結果 93	
5-3	開削(強制変位法)解析	
	5-3-1 解析条件 95	
	5-3-2 解析結果 96	

4

# 第1章 はじめる前に

2次元地盤解析 **FEM すいすい 一応力変形** 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.

# 1-1 「FEMすいすい」とは

2次元地盤解析「FEM すいすい一応力変形一」は解析種別として静的全応力 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.

2次元地盤解析「FEM すいすい一応力変形一」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。

主な適用例としては,

- ①山岳トンネル検討、周辺への影響検討
- ②シールドトンネル検討,周辺への影響検討
  - ③開削検討,周辺への影響検討
- ④盛土・切土検討,周辺への影響検討
- などがあります.

2次元地盤解析 **FEM すいすい 一応力変形** 一」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,掘削時の応力解放率の設定が可能 です.

④線要素の重ね合せ

例えば、トンネルで一次支保工と二次支保工を同位置に別々にモデル化する ことができます.

⑤線要素間の結合

線要素間の結合は「剛結合」に加え「ピン結合」も選択することができます. ⑥荷重

荷重の作用方向は,全体座標系に加えローカル座標系でも指定することがで きます.

分布荷重の作用面積は、「射影面積」あるいは「射影面積でない」から選択 することができます.

⑦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

7

に行えます.

また,比較検討した場合の各ケースのモデルや変位などの表示スケールを簡 単に合わせることができます.

⑧数値データ出力が簡単

画面上でマウスを用いて選択した複数の節点/要素の数値データ(座標,変位,応力など)をエクセルに簡単に貼り付けることができます.

境界条件として以下を定義することができます.

- ①節点自由度拘束(ローラ,固定,強制変位)
- ②バネ支点

要素種類として以下を定義することができます.

- ①面要素
  - ・線形弾性ソリッド材料
  - ・非線形ソリッド材料(モール・クーロン基準とノー・テンション基準に従う 弾性―完全塑性材料)
- ②線要素
- ・はりまたはトラス材料(平面ひずみ条件,剛結合・ピン結合)
- ③軸対称シェル材料
- ④ジョイント要素
  - ・Goodman (1968) および Goodman (1976) に基づいた 2 次元ジョイント要素

荷重の種類として以下を定義することができます.

- ①集中荷重
- ②分布荷重
- ③自重
- ④慣性力

単位体積重量 y と震度 K を設定すれば, 慣性力を考慮して解析することが できます. 慣性力を算出する式は,下式のようになります.

- $P = \gamma \cdot K$ 
  - P:慣性力
  - γ:単位体積重量
  - K:震度

⑤温度荷重

収縮歪増分(=線膨張係数×温度変化)を設定します.2次元地盤解析「FEM すいすい-応力変形-」には時間の概念がないため,熱伝導解析はできません が,温度差による熱応力を解析することができます.

# 1-2 「FEMすいすい」の操作の流れ

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 (Preprocessor) とポストプロセッサー (Postprocessor) の Pre-と Post- はラテン語でそれぞれ「前」と「後」という意味です. プロセス (Process) は「処理」プロセッサ (Processor) は「処理をす るもの」という意味ですから、プリプロセッサーは前処理をするもの、 ポストプロセッサーは後処理をするものという意味になります.



結果の確認・出力

値表示	Ā			
×	<b>B</b>			
No.	[U]	Ux	Uy	*
517	0.00652	-0.00229	-0.00611	0.
519	0.00742	-0.00202	-0.00714	0.
520	0.00756	0.00042	-0.00755	0.
521	0.00802	-0.00138	-0.00790	0.
535	0.00810	-0.00047	-0.00809	0.
536	0.00480	-0.00154	-0.00455	0.
537	0.00438	-0.00110	-0.00424	0. 🚽
•		III		► ai

結果のエクセル出力(例:着目点変位)

9

# 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.

**「FEM すいすい―応力変形―」**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で、出力する量は、変位、 反力、応力、ひずみ(無次元)、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.

例えば、力の単位を [kN] に長さの単位を [m] に設定した場合は、応力は [力 / (長さ<sup>2</sup>)] の単位なので、 [kN/m<sup>2</sup>] = [kPa] の単位になります. この時、物 性値 (ヤング率) は [kN/m<sup>2</sup>] = [kPa] で入れなければなりません. 土木関連 の解析においては概ねこの単位系でよいでしょう. ここで力の単位は [N] で、 長さの単位を [mm] に変えた場合は [N/mm<sup>2</sup>] = [10<sup>6</sup>N/m<sup>2</sup>] = [MPa] の単 位になります.

#### 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.

# 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 すいすい一応力変形一」**はホームページより ダウンロードしてください.

**2次元地盤解析システム「FEM すいすい一応力変形一」**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。

**2次元地盤解析システム「FEM すいすい一応力変形一」**はは同時に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」が使用されることを制限するためのものです.

2-1-2 2次元地盤解析システム「FEMすいすい―応力変形―」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」[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

🔂 FEMすいすい 応力変形 セットアップ
<b>ライセンス契約書</b> FEMすいすい応力変形をインストールする前に、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 >>> 必ずお読みください
ソフトウェアレンタルサービス利用規約
第1条 総 則
「ソフトウェアレンタルサービス利用規約」(以下「本規約」という)は、お客様に対して、インデックスシ ステムコンサルタンツ株式会社(以下「当社」という)が行うソフトウェアレンタルサービスについて適
契約書のすべての条件に同意するならば、「同意する」を選んでインストールを続けてください。FEMすい すい 応力変形 をインストールするには、契約書に同意する必要があります。
同意する(A) 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.

🔂 FEMすいすい 応力変形 セットアップ	
<b>コンボーネントを選んでください。</b> FEMすいすい 応力変形のインストール オプションを選んでください。	6
インストールしたいコンポーネントにチェックを付けて下さい。不要なものに い。 続けるには D次へ] をクリックして下さい。	こついては、チェックを外して下さ
インストール コンボーネントを選 択: 団 サンブル	説明 コンボーネントの」日にマウ ス カーソルを移動すると、 ここに説明が表示されま す。
必要なディスクスペース: 10.7MB	
 〈戻る(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

🔂 FEMすいすい 応力変形 セットアップ
<b>インストール先を選んでください。</b> FEMすいすい応力変形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 応力変形を以下のフォルダにインストールします。異なったフォルダにインストールするに は、[参照] を押して、別のフォルダを選択してください。 インストールを始める こは [インストール] をクリッ クして下さい。
インストール先 フォルダ ©¥Program Files¥FEMすいすい 応力変形¥ 参照(R)
必要なディスクスペース: 10.7MB 利用可能なディスクスペース: 41.4GB
< 戻る(B) 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 応力変形] 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.

🐻 FEMすいすい 応力変形 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。		6
完了		
	< 戻る(B) <b>完了(F)</b>	キャンセル

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「FEM すいすい」がインストールされました.

● 2 次元地盤解析システム「FEM すいすい」の起動

Windows のスタートメニューより [FEM すいすい 応力変形] 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.

**2 次元地盤解析システム「FEM すいすい一応力変形一」**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 応力変形] 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, **2次元地盤解析システム** 

「FEM すいすい一応力変形一」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」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 すいすい応力」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.

- ■ - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(Y) ヘルプ(H)	
🕴 🗅 🚅 🖬 🗠 한 전 한 🔍 1 🚽 📂 🌀 4 🔍 🐚 😤 🛄 🧾 및 태 개 調 級 🗞 🕑 🕅 📐 한	╲᠋ऀ᠈᠇᠃᠃᠊ᠠ
	ロパティ <b>▼</b> ×
E	
-	
ヘルプを表示するには F1 キーを押してください。	81.6728, 97.0513

## 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。

ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)	
[□ 교문 요구 요구 ] 《 1 ] 구 🕨 6 또 역 기계 2 패킹 와 개 행 % 🕑 📎 🔪	∿◨∿・◎・■ਁ曲ਁ 👶
	プロパティ <del>、</del> ×
E	
۲	
作業中のファイルを上書きして保存	10.7533, 97.5917

	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
- 	リプロセッサ	
ファイル( <u>E)</u> 作成( <u>M</u> )編集( <u>E</u> ) 非	表示(ビ) ヘルプ(日)	
□ 新規作成( <u>N</u> ) Ctrl+N	🔄 📂 6 🔍 🔍 🐚 🐮 🎦 🛄 및 💵 🎛 🐯 🦃 🖑 🔭 📐 🗆	♪・◎・■ ∰ 🐝
☐ ☐ 開< ( <u>0</u> ) Ctrl+O	▲ プロパティ	- ×
□ 上書き保存(S) Ctrl+S		
名前を付けて保存( <u>A</u> )	E	
最近使ったファイル		
アプリケーションの終了( <u>X</u> )		
	_	
•		
新規にファイルを作成	5.079	73, 96.6461

終了方法

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.

FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ
(?) 無題 への変更を保存しますか?
(はい(Y) いいえ(N) キャンセル

# 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.

タイトル: samp	le-1_トンネル掘削解析	
構造条件		ジョイント要素モデル
◎ 平面ひずみ(単	単位厚)	◎ 要素モデル1
◎ 軸対象(1ラジ	アン)	◎ 要素モデル2
の期応力の算出注	ŧ	ジョイント要素の非線形性
◎ 自重計算で算	[出	◎ 中心で平均的に考慮
○ 深さとγと初期	側圧係数と分布荷重で算出	◎ 両端で別々に考慮
収束判定式	最大反復計算回数:	500
◎ 式(1.a)	·····································	10.005
◎式(1.b)	計谷設左:	16-002
N / - N		

 仟析方法の設定(3-3)

解析方法を指定します.

 ①解析方法の設定画面

14

第3章 プリプロセッサー

材料特性		X
理土 東京屠む性土 東京屠砂質土 江戸川屠砂質土 既設コンツート構造物 セグメント	<ul> <li>材料情報</li> <li>名称: 埋土</li> <li>種別:線形弾性ソリッド材料</li> <li>色:</li> <li>ヤング係数</li> <li>ポアソン比</li> </ul>	▼ 14000 0.45 16
↑ 上へ ↓ 下へ 追加 削除	牢⊡!¤積重重 定数b	0 キャンセル

# ②材料特性の設定(3-4)

材料特性の設定を行います.

②材料特性の設定画面

🔽 sample-1_トンネル援削解析.mfi - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)	
🗅 🖆 🖬 🗠 한 한 🔍 🔺 1 💿 🕨 🧯 🤁 🕲 🔍 🐂 🏭 💱 🗞 🕑 🥐 🕭 🗌	・ アロッ・ミーション
	プロパティ <del>、</del> ×
F F F F F F	
• • • • • • • •	
へレレプを表示するには F1 キーを押してください。	69.8319, 40.4202

③解析対象の作図	(3-5)
3.時例 別家のTF凶	(3-5)

解析対象を作図します.

③解析対象の作図画面



④材料特性の割当て(3-6)

解析ブロック毎に材料を割 り当てます.

④材料の割り当て画面



⑤境界条件の設定 (3-7)

境界条件を設定します.

#### ⑤境界条件



⑥荷重条件の設定 (3-8)

荷重条件を設定します.

⑦メッシュ自動分割(3-9)

⑥荷重の設定画面

🚮 sample-1_トンネル掘削解析.mfi	- FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ				
ファイル( <u>E</u> ) 作成( <u>M</u> ) 編集( <u>E</u> )	表示(⊻) ヘルプ(且)				
🗋 🛱 🖬 🗠 🗠 🔍 📲 1	- 🕨 🕒 G 🔍 🤍 🧤 📲 🤽	9. 9 <b>: 18</b> 🖗	n 🕑 👋 🕨 🔹	70.7.	⊙ - 🖹 🏥 🚮
					<b>▼</b> ×
8		8			
(4)			(4)		
<b>a</b>			(4)		
4			٩		
()			4		
● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●					
6	6 6 6 6 6		5		
		0	_		
へルノを表示するには F1 キーを押し	(くたさい。			35.3099, -1	9.3131

⑦メッシュ自動分割画面

⑧手動調整 (3-9)

自動分割後,必要に応じ手動調整します.

⑨ステージの設定 (3-10)

掘削や盛土などのステージを設定します.

⑩解析の実行 (3-11)

# 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 [ 値 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.

ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)	
□ ☞ ■   ∽ - ∽ -   ◀   1   • ▶   6 ♥ ♥ 🛅 🐏 🏭 🖽 狙 恕 🗞 ♥ 🕅 ▶   - ∖ Ц > -	⊙ <b>▼ 📑 🖶 </b> 🔂
I目 解析方法       「ゴロバティ         解析方法を設定します       目	• ×



解析方法		×
タイトル: sample	e-1_トンネル掘削解析	
構造条件		ジョイント要素モデル
◎ 平面ひずみ(単	位厚)	◎ 要素モデル1
◎ 軸対象(1ラジ)	アン)	◎ 要素モデル2
初期応力の算出注 ◎ 自重計算で算 ○ 深さとγと初期化	、 出 則圧係数と分布荷重で算出	ジョイント要素の非線形性
収束判定式	最大反復計算回数:	500
◎式(1.a)	- 左	10.005
○式(1.b)	计分录左的	16-003
◎ 式(1.c)		OK キャンセル

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.

■構造条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

「平面ひずみ」または「軸対象」から選択します.

■初期応力の算出法······

「自重計算で算出」または「深さと γ (単位体積重量)と初期側圧係数と分布 荷重で算出」から選択します.

通常,「自重計算で算出」を選択すると,初期側圧係数は「FEM すいすい」 がポアソン比から自動的に求めますが,決められた初期側圧係数を使う必要があ る場合には「深さと y (単位体積重量)と初期側圧係数と分布荷重で算出」を選 択し,材料特性を設定する際に初期側圧係数を入力します.

■ジョイント要素モデル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ■

要素モデル1 (回転による影響は考慮しない)

Goodman ら(1968)に基づいたもの.<sup>1),2)</sup>

ジョイント要素は左図に示すように、4節点 I J K L で構成される. 節点 I と L, J と K はそれぞれ初期の座標が等しい.

変形増分と応力増分がs方向に線形であるとして、次式を定義する.

$$\begin{array}{c} n & K \\ K & J_{s} = \\ \begin{matrix} & & \\$$

ただし、 $\Delta u_s \ge \Delta u_n$ は相対変位増分  $\{\Delta u\}$ のせん断成分 ( $\nearrow \checkmark$  が正) と垂直成分 (閉 合が正)、 $\Delta_{\tau} \ge \Delta \sigma_n$ は、せん断応力増分 ( $\nearrow / \checkmark \checkmark$  が正) と垂直応力増分 (圧縮が 正)、 $\Delta U_{s,I} \ge \Delta U_{n,I}$ は節点 I の<sub>S</sub>方向変位増分とn方向変位増分 (J K L につ いても同様)、 $\Delta F_{s,I} \ge \Delta F_{n,I}$ は節点 I の<sub>S</sub>方向節点力増分とn方向節点力増分、 $\ell$ . A、t は長さ、面積、奥行長をそれぞれ表わす.

次式に示す応力増分-相対変位増分関係式を仮定する.

$$\left\{ \begin{array}{c} \Delta \tau \\ \Delta \sigma_{n} \end{array} \right\} = \left( \begin{array}{c} k_{s} & 0 \\ 0 & k_{n} \end{array} \right) \left\{ \begin{array}{c} \Delta U_{s} \\ \Delta U_{n} \end{array} \right\}$$
(2)

ここで、k<sub>s</sub>とk<sub>n</sub>は単位面積当りのせん断方向バネ係数と垂直方向バネ係数. 任意の仮想変位増分に対して、外部仕事=内部仕事、すなわち、

が成り立つとすれば、次のような局所座標系 s - n における節点力増分 - 節点変 位増分関係式が得られる。

$$\{\Delta F\}_{S,n} = [K]_{S,n} \quad \{\Delta U\}_{S,n} \tag{4}$$

ここで、[K]s,nは要素剛性マトリックスであり、奥行tが一定のとき、次式で表わされる.

$$[K]_{S,n} = \frac{\ell t}{6} \begin{pmatrix} 2k_S & 0 & k_S & 0 & -k_S & 0 & -2k_S & 0 \\ 2k_n & 0 & k_n & 0 & -k_n & 0 & -2k_n \\ & 2k_S & 0 & -2k_S & 0 & -k_S & 0 \\ & 2k_n & 0 & -2k_n & 0 & -k_n \\ & & 2k_S & 0 & k_S & 0 \\ & & & 2k_n & 0 & k_n \\ & & & & & 2k_S & 0 \\ & & & & & & & 2k_S & 0 \end{pmatrix}$$

$$(5)$$

1 ラジアン当りの軸対称構造で考える場合も,t = 半径として,容易に求められる(表示は省略).最終的に,全体座標系x-yで表わせば,

$$\{\Delta F\}_{x,y} = [C]^{T}[K]_{S,n}[C]\{\Delta U\}_{x,y} = [K]_{x,y}\{\Delta U\}_{x,y}$$
(6)  
ここで, [C]は x 軸と s 軸との傾斜角から決まる座標交換マトリックス.

$$\{\mathbf{F}_{o}\}_{S,n} = \frac{\ell}{2} \int [\mathbf{N}]^{\mathrm{T}} \mathrm{td}\xi\{\sigma_{o}\} = [\mathbf{B}]^{\mathrm{T}}\{\sigma_{o}\}$$
(7)

で求まる(初期応力は要素内で一様とする). 奥行 t が一定のとき,

$$[B] = \frac{\ell t}{2} \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ \end{pmatrix}$$

初期節点変位と初期相対変位は零とする.

節点力については、次の関係が成り立つ.  

$$F_{S,I} = -F_{S,L}, F_{S,J} = -F_{S,K}$$
 (8)  
 $F_{n,I} = -F_{n,L}, F_{n,J} = -F_{n,K}$ 

相対変位と応力を要素中心(s = O)における平均的な値で表わせば,

$$\{\bar{\mathbf{u}}\} = \left\{\begin{array}{c} \bar{\mathbf{n}}_{\mathrm{S}} \\ \bar{\mathbf{n}}_{\mathrm{n}} \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c} (\mathbf{U}_{\mathrm{S},\mathrm{K}} + \mathbf{U}_{\mathrm{S},\mathrm{L}})/2 - (\mathbf{U}_{\mathrm{S},\mathrm{I}} + \mathbf{U}_{\mathrm{S},\mathrm{J}})/2 \\ -(\mathbf{U}_{\mathrm{n},\mathrm{K}} + \mathbf{U}_{\mathrm{n},\mathrm{L}})/2 + (\mathbf{U}_{\mathrm{n},\mathrm{I}} + \mathbf{U}_{\mathrm{n},\mathrm{J}})/2 \end{array}\right\}$$
(9)

$$\{\bar{\sigma}\} = \left\{\begin{array}{c} \bar{\tau} \\ \bar{\sigma}_{n} \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c} (F_{S,K} + F_{S,L})/A \\ -(F_{n,K} + F_{n,L})/A \end{array}\right\}$$
(10)

参考文献

 Goodman, R. E., Taylor, R. L. andBrekke, T. L. : Amodelforthemechanicsofjoi ntedrock, J. SM&FD, ASCE, Vol.94, SM3, pp637-659, 1968.
 川本・林:地盤工学における有限要素解析, 培風館, 1978

#### 要素モデル2(回転による影響を考慮する)

Goodman (1976) に基づいたもの.<sup>3)</sup>

ジョイント要素の構成節点等は p.7 の図に示すとおり. 初めに平面ひずみ要素 (奥行長 t = 一定) について式を展開し,後で軸対称要素について説明する.

次の3種類の変形モードを考える.

- (1) せん断変形 (すべり)
- (2) 垂直変形(閉合または開口)
- (3) 回転変形



それぞれの変形を要素の中心(s = 0)における相対変位増分で表わす.

ここで、 $\Delta U_{S,I} \ge \Delta U_{n,I}$ 、…は節点 I、…のs方向変位増分と n 方向変位増分 を表わす (要素モデル1と同じ).  $\ell$ は要素の長さ.

それぞれのモードに対する平均せん断応力増分,平均垂直応力増分,要素中心回りの力のモーメント増分を次のように定義する.

$\Delta \bar{\tau} = (\Delta F_{\rm S,K} + \Delta F_{\rm S,L}) / (\ell \ t)$	⇄が正	}	
$\Delta \bar{\sigma}_{\rm n} = -(\Delta F_{\rm n,K} + \Delta F_{\rm n,L})/(\ell \ t)$	閉合が正	J	(12)
$\Delta \bar{M} = (\Delta F_{n,K} - \Delta F_{n,L}) \ \ell/2$	反時計回りが正		

ここで、 $\Delta F_{S,I} \ge \Delta F_{n,I}$ 、…は節点 I,…の s 方向節点増分と n 方向節点力増分を 表わし(要素モデル1と同じ)、次の関係を仮定する.

$$\Delta F_{S,K} = -\Delta F_{S,L}, \quad \Delta F_{S,J} = -\Delta F_{S,K}$$

$$\Delta F_{S,I} = \Delta F_{S,J}, \quad \Delta F_{S,K} = \Delta F_{S,L}$$

$$\Delta F_{n,I} = -\Delta F_{n,L}, \quad F_{n,J} = -\Delta F_{n,K}$$

$$\left. \right\}$$

$$(13)$$

それぞれのモードに対する剛性をks, kn, kωで表せば

$$\left\{\begin{array}{c} \Delta \bar{\tau} \\ \Delta \bar{\sigma}_{n} \\ \Delta \bar{M} \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c} k_{S} & 0 & 0 \\ 0 & k_{n} & 0 \\ 0 & 0 & k_{\omega} \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \Delta \bar{u}_{s} \\ \Delta \bar{u}_{n} \\ \Delta \bar{\omega} \end{array}\right\} \tag{14}$$



いま、向い合った節点の閉合増分は対応する節点の垂直力増分に比例す ると仮定する.このとき、右図に示すような対面する節点 I と L だけに 節点力増分がかかっている場合を想定すれば、次の関係が得られる.  $\Delta \bar{\omega} = 2\Delta \bar{u}_n/\ell$  $\Delta \bar{M} = \Delta \bar{\sigma}_n \ell^2 t/2 = \Delta \bar{U}_n K_n \ell^2 t/2$ したがって、次式が成り立つ.

$$\mathbf{k}_{\omega} = \mathbf{k}_{\mathrm{n}} \ell^3 \mathbf{t} / 4 \tag{15}$$

式(11)~(15)より,局所座標系s-nにおける節点力増分-節点変位増分 関係式が式(4)と同じ形で容易に求められる.しかし,要素剛性マトリックス は次式のとおりであり,式(5)とは異なる.

$$[K]_{S,n} = \frac{\ell t}{4} \begin{pmatrix} k_S & 0 & k_S & 0 & -k_S & 0 & -k_S & 0 \\ 2k_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2k_n \\ k_S & 0 & -k_S & 0 & -k_S & 0 \\ 2k_n & 0 & -2k_n & 0 & 0 \\ k_S & 0 & k_S & 0 \\ k_S$$

全体座標系  $x - y \sim 0$ 変換は式(6)と同様.初期応力 $\{\tau_0 \sigma_{no}\}^T$ は要素内で一様とし、 $\overline{M}_0 = 0$ とする.初期節点変位と初期相対変位は零とする.節点力については、次の関係が成り立つ.

$$F_{S,K} = F_{S,L} = -F_{S,I} = -F_{S,J} = \bar{\tau}\ell t/2$$
  

$$F_{n,I} = -F_{n,L} = \bar{\sigma}_n \ell t/2 + \bar{M}/\ell$$
(17)

F<sub>n,J</sub> = -F<sub>n,K</sub> =  $\bar{\sigma}_n \ell t/2 - \bar{M}/\ell$ 要素中心における相対変位は式 (9) で表わされ, { $\bar{\tau} \bar{\sigma}_n \bar{M}$ }<sup>T</sup>は式 (11), (14) と初期応力から求められる.

以上の式を軸対称要素(1ラジアン当り)に援用したいのであるが、仮定式(13)の中の

 $\Delta F_{\rm S,I} = \Delta F_{\rm S,J}, \quad \Delta F_{\rm S,K} = \Delta F_{\rm S,L}$ 

なる関係は一般的には容認できない.しかし,近似的に容認できるものとすれば, t を要素中心における半径に置き換えるでけで,式(11)~(17)がそのまま 通用できる.

#### 参考文献

3) Goodman, R. E.: methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, West Publishing Company, 1976 (赤井・川本・大西共訳:不連続性岩盤の地盤工学, 森北出版, 1978)

中心で平均的に考慮

これは土岐・佐藤・三浦(1980)<sup>4)</sup>を参考にしたものであり,以下に示すよう に,非線形性がジョイント要素の中心で平均的に考慮される弾性-完全塑性材料 である.

・垂直方向に関しては

$ar{\sigma}_{ m n} \geqq \sigma_{ m t}$ のとき	バネ係数 kn を介して力が伝達される	(弾性)

 $| \bar{\sigma}_n < \sigma_t$ のとき 力の伝達は行なわれない (剥離とみなし完全塑性)

#### ・せん断方向に関しては

- $\int |\bar{\tau}| \leq \tau_y$ のとき バネ係数  $k_S c$ 介して力が伝達される(弾性)
- $|\tau| > \tau_y$ のとき  $\tau_y$ に相当する力だけが伝達される
  - (滑動とみなし完全塑性)

ただし、直前に剥離していた場合には

 $\begin{bmatrix} \bar{u}_n < 0 のとき 剥離したまま \end{bmatrix}$ 

【 ū<sub>n</sub> ≧ 0 のとき / 閉合したものとして, 弾性状態に復活

ここで、 $\sigma_t$ は許容引張応力 ( $\leq 0$ )、 $\tau_y$  は次式で定義される降状せん断応力.

「剥離していないとき 
$$au_{
m y}={
m c}+ar{\sigma}_{
m n} an \phi$$

〕 剥離しているとき 
$$\tau_{\rm v} = 0$$

ここで, c は粘着力, φ は内部摩擦角.

したがって、応力-相対変位関係は下図のようになる.





(初期応力= 0,  $\sigma_t = 0$ のとき) (初期応力= 0,  $\sigma_n = -$ 定のとき)

この材料特性は応力遷移法を用いて解析できる.

#### 参考文献

σ,

 4) 土岐・佐藤・三浦:強震時における地盤と構造物の間の剥離と滑動,土木学会論文報告 集,第302号, pp.31-41, 1980

前ページに示した材料モデル1では,要素中心の平均的な応力と相対変位だけ で非線形性が考慮されるため,例えば,左下図のような変形をしている場合と右 下図のような変形をしている場合とが,まったく同じ状態として扱われる.



これに対し, Goodman (1976) は両端の節点力と相対変位を用いて非線形性 を考慮し,例えば,右上図のような場合,中心から左半分は弾性とし,中心から 右半分は塑性としている.すなわち,節点IとLの間のバネを通じて力が伝達す るようにしている<sup>3)</sup>.

ここでは、このように回転の影響が表現できるよう要素の端部ごとに非線形性 を考慮するものを材料モデル2と呼ぶ.この材料特性の定義については、前ページの定義の中のパラメータを以下のように置き換えるだけでそのまま適用できる.

 $\bar{\sigma}_n \longrightarrow F_{n,I} 
arrow F_{n,J}$  .  $\sigma_t \longrightarrow F_{nt,I} 
arrow F_{nt,J}$  $\tau \longrightarrow F_{S,I} \Rightarrow t \forall F_{S,J}$  .  $\tau_y \longrightarrow F_{Sy,I} \Rightarrow t \forall F_{Sy,J}$  $\bar{u}_n \longrightarrow (U_{n,I} - U_{n,L})$  および  $(U_{n,J} - U_{n,k})$ ここで.  $F_{nt,I} = \sigma_t B_{22}$  .  $F_{nt,J} = \sigma_t B_{24}$  $\begin{cases} \mathbf{F}_{\mathrm{Sy,I}} = \mathbf{cB}_{22} + \mathbf{F}_{\mathrm{n,I}} \tan \phi \\ \mathbf{F}_{\mathrm{Sy,J}} = \mathbf{cB}_{24} + \mathbf{F}_{\mathrm{n,J}} \tan \phi \end{cases}$ 要素モデル1 (剥離時は0)  $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{F}_{\mathrm{nt,I}} = \mathbf{F}_{\mathrm{nt,J}} = \sigma_{\mathrm{t}}\mathbf{A}/2 \\ \mathbf{F}_{\mathrm{Sy,I}} = \mathbf{c}\mathbf{A}/2 + \mathbf{F}_{\mathrm{n,I}}\tan\phi \\ \mathbf{F}_{\mathrm{Sy,J}} = \mathbf{c}\mathbf{A}/2 + \mathbf{F}_{\mathrm{n,J}}\tan\phi \end{array} \right.$ 要素モデル2 (剥離時は0) 収束判定式の設定・・・・ . . . . . . .

応力遷移法によって解析するため、次の方程式の求解を収束するまで反復する.

 $K u_{(i)} = f_{(i-1)}$ 

ここで.

**K**:初期剛性マトリックス

**u**<sub>(i)</sub>: i 反復目の変位ベクトル

 $f_{(i-1)}$ : i - 1 反復の結果から得られた調整荷重ベクトル+外力ベクトル

次に3つの判定式のいづれかで収束とみなす.

$$\left\| \boldsymbol{u}_{(i)} - \boldsymbol{u}_{(i-1)} \right\|_{\infty} \le \left\| \boldsymbol{u}_{(i)} \right\|_{\infty} \cdot ETOL$$
 ... (1.a)

$$\left\|\boldsymbol{u}_{(i)} - \boldsymbol{u}_{(i-1)}\right\|_{2} \le \left\|\boldsymbol{u}_{(i)}\right\|_{2} \cdot ETOL \qquad \cdots \quad (1.b)$$

$$\|\boldsymbol{f}_{(i)} - \boldsymbol{f}_{(i-1)}\|_{\infty} \leq \max_{k-1 \sim i} \|\boldsymbol{f}_{(k)} - \boldsymbol{f}_{(k-1)}\|_{\infty} \cdot ETOL \qquad \cdots \quad (1.c)$$

$$\|\boldsymbol{u}\|_{\infty} \leq \max_{j=1\sim n} |u_{xj}^{2} + u_{yj}^{2}|^{1/2}$$
$$\|\boldsymbol{u}\|_{2} = \left[\sum_{j=1}^{n} \left[u_{xj}^{2} + u_{yj}^{2}\right]\right]^{1/2}$$

*ETOL*:許容誤差

 $u_{xj}$ : 節点の x 方向変位

*u<sub>yj</sub>*: 節点の y 方向変位

n:総節点数

と定義するため、回転角や曲げモーメントの変動は無視する、

■許容誤差の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

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 1e - 005 を与えています.

■最大反復計算回数の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

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。

# 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 [き 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 -応力	]変形- プリプロセッサ	
ファイル( <u>E</u> ) 作成( <u>M</u> ) 編集	集(E) 表示(Y) ヘルプ(出)	
🗋 🖻 🔛 🗠 🗠 🗠	🚽 1 📑 🕨 🔓 🔍 🐚 🔁 🏭 🏭 製 🐏 猫 認 紛 🤍 🕅 トー・ 🛇 ローン・	⊗ <b>• ∎<sup>°</sup> ⊞<sup>°</sup> →</b> 60!
	・       プロパティ         材料特性を設定します       ■	* ×

②以下の要領で各種材料特性の設定をおこないます.

東京層お性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 駅設立/ツート構造物 セグメント	名称:     埋土       種別:     線形弾性ソリ:       色:        ヤング係数        ポアソン比     単位体積重量	ッド林料 14000 0.45 16
↑ 上へ ↓ 下へ 追加 削除	定数b	0

## 3-4-1 材料種別の選択

材料種別としては

- ①線形弾性ソリッド材料
- ②線形弾性ソリッド材料(安全率を算出)
- ③非線形弾性ソリッド材料(モール・クーロン規準とノー・テンション規準に従 う弾性-完全塑性材料)
- ④ジョイント材料
- ⑤はりまたはトラス材料(平面ひずみ条件,平面応力条件)または軸対称シェル 材料(軸対称条件)
- ⑥非線形はり材料

があります.

# 3-4-2 材料(物性)値の入力

材料種別を選択すると,選択された材料種別ごとに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)値の入力をおこないます.

■材料特性入力ウィント	ヾウ・・・・・	•••••	• • • • • • • • • • • •	••••••
材料特性			×	
埋土       東京層粘性土         東京層砂質土         江戸川層砂質土         既設江/ツート構造物         セグメント	材料情報 名称: 埋土 種別: 線形弾性) 色: 線形弾性) ヤング(経) 非線形別 ジョインド材 ボアソンと線形(10)材 ボアソンと線形(10)材 単位体積重量	<b>リッド材料</b> <u>リッド材料</u> リッド材料・安全率 ッド材料 料 料 料 大 ラス材料 材料 16 0		
道加目的除		ОК	キャンセル	

■線形弾性ソリッド材料·····

以まなコンクリート構成 (当初) セ ヴ メント 全 米 単	2: ング係数 アソン比 位体積重量	75600 0.3 19
マ 米 単	ング係数 アソン比 位体積重量	75600 0.3 19
가 単	アソン比 位体積重量	0.3
ŧ	位体積重量	19
集 	位体積重量	19
	***	0
	<u>B</u> (D	0
追加削除		

ヤング係数 E <sub>0</sub>
ポアソン比v
初期側圧係数 $\sigma_{x0}/\sigma_{y0}$ <sup>(※1)</sup>
単位体積重量 γ
定数 b <sup>(*3)</sup>

- (※1) 初期応力の算出法として「深さと y (単位体積重量)と初期側圧係数と分布荷重で算出」 を選択した場合に有効
- (※3) 定数 b > 0 のときヤング係数 E =  $E_0 \sigma_{ave}^{b}$ , 定数 b ≤ 0 のときヤング係数 E =  $E_0$ , ここで,  $\sigma_{ave}$  はステージ毎初期値
  - 定数 b > 0 で  $\sigma_{ave} \le 0.0$  の場合のヤング係数 E = E<sub>0</sub> × 0.01  $\sigma_{ave} = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 \cdots$ 平面ひずみ、軸対称

		×
埋土 東京 <u>層粘性土</u> 東京層砂質土 江戸川層砂質土 既設コンクリート構造物 セグメント	材料情報       名称:     東京層粘性土       種別:     線形弾性ソリッド       色:     ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	オ料·安全率 ▼ 28000 0.4
	柏者刀 内部摩擦角(度) 」許容引張応力(≤0)	

ヤング係数 E <sub>o</sub>
ポアソン比v
初期側圧係数 $\sigma_{x0}/\sigma_{y0}$ (*1)
単位体積重量 γ
粘着力C
内部摩擦角 <i>φ</i> (度)
許容引張応力 $\sigma_t (\leq 0)$
定数 b <sup>(*3)</sup>

- (※1) 初期応力の算出法として「深さと y (単位体積重量)と初期側圧係数と分布荷重で算出」 を選択した場合に有効
- (※3) 定数 b > 0 のときヤング係数 E = E<sub>0</sub> $\sigma_{ave}^{b}$ , 定数 b  $\leq$  0 のときヤング係数 E = E<sub>0</sub>, ここで,  $\sigma_{ave}$  はステージ毎初期値 完整 b > 0 で  $\sigma_{ave}$  < 00 の 想合のセング係数 E = E × 001  $\sigma_{ave}$  = ( $\sigma_{ave}$  +  $\sigma_{ave}$ )/2<sup>2</sup><sup>2</sup>

非線形ソリッド材料<sup>(※2)</sup> ·······

定数 b > 0 で  $\sigma_{ave} \le 0.0$  の場合のヤング係数 E = E<sub>0</sub> × 0.01  $\sigma_{ave} = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 \cdots$  平面ひずみ,軸対称

理土 東京層粘性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 既設12010-ト構造物 セジュント	<ul> <li>材料情報</li> <li>名称: 東京層粘性土</li> <li>種別: 非線形シリッド</li> <li>色:</li> <li>ヤング係数</li> <li>ポアゾン比</li> </ul>	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	単位体積 <u>重</u> 量 粘着力 内部摩擦角(度)	18 100 15
↑ ±^ ↓ ±^	許容引張応力(≦0) 定数b	0
追加 削除		OK         キャンセル

- ヤング係数 E<sub>0</sub>
- ポアソン比v

初期側圧係数 $\sigma_{x0}/\sigma_{y0}$  (\*\*1)

単位体積重量 y

粘着力C

内部摩擦角 ( 度 )

許容引張応力 $\sigma_t$  ( $\leq 0$ )

定数 b <sup>(\*3)</sup>

- (※1) 初期応力の算出法として「深さと y (単位体積重量)と初期側圧係数と分布荷重で算出」 を選択した場合に有効
- (※2) (モール・クーロン規準とノー・テンション規準に従う弾性-完全塑性材料)
- (※3) 定数 b > 0 のときヤング係数 E = E<sub>0</sub>  $\sigma_{ave}^{b}$ , 定数 b ≤ 0 のときヤング係数 E = E<sub>0</sub>, ここで,  $\sigma_{ave}$  はステージ毎初期値 定数 b > 0 で  $\sigma_{ave}$  ≤ 0.0 の場合のヤング係数 E = E<sub>0</sub> × 0.01  $\sigma_{ave}$  =  $(\sigma_{x} + \sigma_{y} + \sigma_{z})/3$ …

定数 b > 0 で $\sigma_{ave} \le 0.0$  の場合のマンク保数 E = E<sub>0</sub> × 0.01  $\sigma_{ave} = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$ … 平面ひずみ、軸対称

#### ソリッド要素の非線形性と安全率

ソリッド要素の非線形性は、材料パラメータの求め易さとジョイント要素との 対応といった観点から、「no - tension 則と Mohr - Coulomb 基準に従う弾性-完全塑性材料」として表現する、内容は土岐・三浦(1982)の考え方を修正した もの、<sup>5)</sup>

(1)  $\sigma_{t} \leq \sigma_{3}$ かつ  $\tau_{max} \leq \tau_{y}$  のとき

弾性







(3)  $\tau_y < \tau_{max}$ かつ $\tau_y \leq \sigma_m - \sigma_t$ のとき せん断破壊(完全塑性)



ここで、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$ は主応力成分(圧縮が正)、 $\sigma_t$ は許容引張応力( $\leq 0$ )、 $\tau_y$ は降状せん断応力、cは粘着力、 $\phi$ は内部摩擦角であり、

ただし,一度,完全塑性状態(2),(3)になっても,除荷されて(1)の状態になっ た場合には、弾性状態に回復するものとする、したがって、例えば、繰り返し単 純せん断下の応力-ひずみ曲線はヒステリシスループを描く.

以上の非線形性に対する応力遷移法の概要を以下に説明する.

いま,  $\sigma_z$  が中間主応力である ( $\sigma_2 = \sigma_z$ ) とすれば,

このとき、右図のモール円 M で示すようなせん断破壊が生じた場合、基準線 に接するように縮小しなければならない. その際, 次の2つのルールを設ける.

ルール1:主応力方向は変えない

$$(\theta' = \theta)$$

ルール2:主応力平均と中間主応力は変えない

 $(\sigma_1' + \sigma_3' = \sigma_1 + \sigma_3, \ \sigma_2' = \sigma_2)$ 

こうすることによって、図中に破線で示すような縮小したモール円 M'が得られ、 この応力円 M'に対応する応力 ( $\sigma'_x, \sigma'_y, \tau'_{xy}$ ) が本来あるべき応力状態である. すなわち、この応力 ( $\sigma'_x, \sigma'_y, \tau'_{xv}$ ) までは変形に抵抗できる. そして、超過応

> 力  $(\sigma_{\rm x} - \sigma'_{\rm x}, \sigma_{\rm y} - \sigma'_{\rm y}, \tau_{\rm xy} - \tau'_{\rm xy})$  に相当する節点力を調整荷重とし て加える.このとき、超過応力による体積変化は生じない.

引張破壊が生じた場合には、no-tension 問題と同じであるから、 次の2つのルールを設ければ、縮小モール円、超過応力、調整荷重が 得られるが、せん断破壊の場合と少し違うだけなので、これ以上の説 明は省略する.

$$(\theta' = \theta)$$

 $ルール4: 主応力値 \sigma_1 と \sigma_2 は変えない$ 

$$(\sigma_1' = \sigma_1, \ \sigma_2' = \sigma_2, \ \sigma_3' = \sigma_1)$$

ところで、平面ひずみ条件 ( $\epsilon_x = 0$ )のときは、その変形モードより、上述 の xy 平面内の応力について考えるだけでよい ( $\sigma_x$ の値によらず, 常に $\sigma_2 = \sigma_x$ とすればよい). 他方, 軸対称条件(周方向がz)のときは,  $\sigma z \, i \sigma \sigma 1 \approx \sigma 3$ に なることもあり、その場合は少し修正が必要となる.しかし、上述の4つのルー ルは不変なので、説明は省略する.

安全率はせん断破壊に対する安全率 fs と引張破壊に対する安全率 ft のうち, 小さい方の値で定義する、ただし、その値が負のときは0とする、すなわち

S. F. = max  $\{0, \min \{f_{S}, f_{t}\}\}$ 

ここで

$$f_{S} = \tau_{y} / \tau_{max}$$
  
$$f_{t} = (\sigma_{m} - \sigma_{t}) / (\sigma_{m} - \sigma_{3}) = (\sigma_{m} - \sigma_{t}) / \tau_{max}$$

#### 参考文献

5) 土岐・三浦:地盤-構造物系の非線形地震応答解析,土木学会論文報告集,第317号, pp.61-68, 1982



 $(\sigma_y, -\tau_{xy})$ 

理土 東京層粘性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 既設立/ツート構造物 (20%ント	材料情報 名称: セグメント 種別: ジョイント材料 色:	<b></b>
	せん断方向ばね係数 垂直方向ばね係数	10000 10000
	粘着力 内部摩擦角(度) 許容引張応力(≦0)	100 20 0
↑ 上へ     ↓ 下へ       追加     削除		

せん断方向ばね係数 k <sub>s</sub>
垂直方向ばね係数 k <sub>n</sub>
粘着力C
内部摩擦角 $\phi$ (度)
許容引張応力 $\sigma_t (\leq 0)$

. . . . . . . . . . . . . . . .

### ジョイント材料のばね係数について



Ε, ν

ĥ

E:ヤング係数v:ポアソン比

バネ係数 k<sub>s</sub>, k<sub>n</sub> を実際に測定することは難しいため,以下に定性的 な指標を示す. 定量的な指標というものは確定していないので,総合的 に判断して決定されたい.

- (1) 左図に示すような弾性範囲内の単純せん断において、変位は $\delta$ で あるべきものが、 $\delta$ + $\delta$ 」生じてしまう、したがって、 $\delta$ 」を小さく抑 えるためには、バネ係数 ks を大きくする必要がある。
- (2) 圧縮垂直応力下では、隣接する2つの媒質が重なり合うという非 現実的な現象を容認している.したがって、この様な現象を小さく抑 えるためには、バネ係数 k<sub>n</sub>を大きくする必要がある.

(3) 隣接する媒質の剛性に比べて、バネ係数を過大または過小にすると、 方程式

 $[K]{\Delta U} = {\Delta F}$ 

を解くときに数値計算上の桁落ちが生じるため精度が悪くなる.

(4) 隣接する媒質の剛性に比べてバネ係数を過大にしたジョイント要素が塑性化すると、応力遷移法による反復計算の収束性が悪くなることがある(ただし、これは p.22 に示すような特別な場合だけ).

したがって、左図のような長方形のソリッド要素に隣接するとき、特別な場合を除いて、下記のようにすればよいと思われる.

$$\begin{aligned} \mathbf{k}_{\mathrm{S}} &= \alpha \cdot \frac{\mathbf{E}}{2(1+\nu)} \cdot \frac{1}{\mathbf{h}} & \alpha \ \doteq \ 10 \\ \mathbf{k}_{\mathrm{n}} &= \beta \cdot \frac{(1-\nu)\mathbf{E}}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \frac{1}{\mathbf{h}} & \beta \ \doteq \ 10 \end{aligned}$$

参考文献

6)動的解析と耐震設計 [第2巻]動的解析の方法,土木学会, pp.124, 125.

理土 東京層粘性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土	村料情報 名称: 既設ユンゲー 種別: 緑形はり村耕 色: ヤング係数 断面積 断面2次モーメント 単位体積重量	株構造物 メ/トラス材料 ▼ 2.35e+007 0.5 0.0104 25
↑ 上へ ↓ 下へ 追加 前除	(	<u>ОК</u> +++>1211

■はりまたはトラス材料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ ■

平面ひずみ条件	軸対称条件(軸対称シェル)
ヤング係数E	ヤング係数E
断面積A(省略時は1.0)	厚さt (省略時は1.0)
断面 2 次モーメント I	ポアソン比v
単位体積重量 γ	単位体積重量 γ

理土 東京層粘性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 既設2000ト構造物 ヤガメント	材料情報 名称: 既設江/川-ト構造物 種別: 非線形(は0材料 色:	材料情報 名称: 既設立ンクリート構造物 種別: J非線形(10)材料 ● ・				
	ー ヤング係数 断面積	2.35e+007				
	5/10110 断面2次モーメント(>0)	0.0104				
	単1型1≄積 <u>単</u> 重 φ1	0				
	φ2 φ3	0				
↑ 上へ     ↓ 下へ     追加     削除	φ1~φ2間の剛性低下率 φ2~φ3間の剛性低下率	0				
	ОК	( キャンセル				

# 





# 3-5 解析対象の作図

## 3-5-1 作図とは

解析を行うに当たり,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.

•	-	×	X	•	•	
•	-	<u> </u>		•	•	

# ②解析ブロックの分割

①で作成した解析領域に施工範囲(掘削部分等) や材料の違う範囲(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.

## 3-5-2 作図に役立つ機能

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、ツールバーのボタン・6 をクリックするかまたは、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表示、非表示お よび間隔を設定します。

ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(⊻) ヘルプ(出)	
🗅 🚔 🖬   ウェロュー 🔍 1 - 🕞 🕨 🤅 🔍 🧤 🔤 🛃 🎦 🎞 묖 👫 彊 器  🕲 🕅 とー・ 🛇 🎞 つっ	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

オプション		X
表示		- <i>Ď</i> IJッド
節点サイズ:	4	□有効
条件サイズ:	7	×間隔: 10
分割サイズ:	10	Y間隔: 10
フォント:	Arial	• ••••••
		OK キャンセル

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. 「 sample-1_トンネル撮削解析.mf・FEM3い3い.応力変形-ブリプロセッサ ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(M) へいプ(H)
また、ツールバーの <u><u><u></u></u> また、ツールバーの <u><u></u> また、ツールバーの <u><u></u></u> また、ツールバーの表示の中の拡大表示(+)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. </u></u>
はた、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. 「sample-1_トンネル運制解析.mf - FEMすいすい - 応力変形 - プリプロセッサ ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(X) ヘルプ(H) □ ご □ い い ( 1 ) ● ( 0 0 0 回 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
しても同様です. 「Sample-1_トンネル振測解析.mf - FEM3いない-広力変形-ブリプロセッサ ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(M) ヘルプ(H) 「 ご ご こ いっ っ っ ! 」 ) ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( (
sample-1_トンネル提削解析.mf - FEM JUJUL に力変形- ブリブロセッサ     マールバーの ● をクリック後、ドラッグすることにより図面を移動すること     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.     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.     こ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Sample-1_(>マイン(法所保険).mm*PEnytory()、40.5 g/c > >>> □ = >>>> □ = >>>> □ = >>>>> □ = >>>>>>>>
Privel (Add) (Ad
Power and a set a
●移動 ツールバーの ⑦ をクリック後、ドラッグすることにより図面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. ③ sample-1_トンネル提削解析.mfi - FEMすいすい 心方変形 プリプロセッサ ⑦ アイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(Y) ヘルプ(H) ③ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
<ul> <li>ツールバーの で をクリック後、ドラッグすることにより図面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.</li> <li>Sample-1_トンネル撮削解析.mfi - FEM 5 いすい - 広力支形・プリプロセッサ</li> <li>ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(Y) ヘルプ(H)</li> <li>ロ ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご ご</li></ul>
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. sample-1_トンネル撮削解析.mf - FEMすいすい 応力変形- プリプロセッサ ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(Y) ヘルプ(H) ことでも同様のこ ことでも同様のこ ことでも同様のこ とができます.
とができます. Sample-1_トンネル撮削解析.mf - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(M) ヘルプ(H) 国際 日 の · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Sample-1_トンネル撮削解析.mf - FEM すいすい -応力変形- プリプロセッサ          ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(L)         □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □
Jアイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(M) ヘルブ(H)     C ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
■ ■ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
選択 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
■ 選択 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
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
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
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
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
と外しながり「ノノノして囚犯囚の内象彻と一反に送八子ることもできょう. 送
捉された対象物は、ピンク色で表示されます
sample-1_トンネル掘削解析.mm - FEM 9 い 9 い - 心力変形- ノリノロセッサ     ローロー     エー
ツールバーの or or 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」「やりたお」」をクリックすることでも
同様です
3. sampler をしていていていていていていていていていていていていていていていていていていてい
■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 XV 座標など)数値の間に「スペースか (カンマ)」を入れ
座標: 35.1949, -15.4026 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

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

32

作図をするには、ツールバーの3[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 -応力変形- プリプロセッサ	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(⊻) ヘルプ(H)	
🗋 🗅 😅 🖬 🗠 한 한 🔺 🔳 🔹 📂 🖬 😰 🦦 😢 🔭 )	• <b>` 1 ` - ⊗ - 1 ` ⊞ *</b>
3 [作図] 1 作図 解析対象を作図します	▲ フ作図コマンド · ×

(2) 作図コマンド

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[・点]コマンドをクリックします。
 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.

🚮 無題 - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ		
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> )		
📔 🖆 🔚 🗠 די מיד 🔍 1 📑 🕨 🔓 🔍 🔍	. 기급 2 길 드 길 드 2 프 원	฿ 🎖 🕑 🔇 🕨 💽 💽 🛄 🖧 🐨 🛣 🚮
	3 [作図]	
成1年		
	UE/E	

■線・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

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[1]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.

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.

	リプロセッサ	
ファイル( <u>E</u> ) 作成( <u>M</u> ) 編集( <u>E</u> ) 表	示(⊻) ヘルプ(出)	
🗋 🗃 🔚 🗠 • 🗠 🔺 1	🕞 📂 🛯 🔍 🔍 🐚 🛃 🛄 🎞 狙 🕮 🗞 🕑 🕅 📐 🕛 🔧	• 🛛 • 🛋 👘 📬
	3 [作図] 矩形コマン	🔨 👻 👻
· ·		
	座標: 90, 20.1299	確定
•	*	
L		

中心,半径,角度で円弧を書きます.

- 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.









- - 始点,終点,通過点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.






. . . . . . . .

#### 

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[■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]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.

- 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[④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.

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[④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,点3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[■作図]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.



# 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.

#### 3-6-1 面要素

解析ブロック毎に面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[**□**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面要素の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.



#### 3-6-2 線要素

線分に線要素の材料特性を割り当てます(線要素を作成します).

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[日材料割当]

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線要素の材料特性の割り当てを行う線分をクリックします。

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.



※複数の線要素を同位置に重ねる方法については「3-10-4 支保の設定」で解説

④プロパティウィンドウの … をクリックし、両端(始点側、終点側)の結合条 件を指定します。



### 3-6-3 ジョイント要素

面要素~線要素間にジョイント要素を割り当てます.ジョイント要素は下に示 すような面要素~線要素間にのみ割り当てることができます.

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[**二**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ジョイント要素を割り当てる線分(既に線要素を割り当て済の線分)をクリックします.



③プロパティウィンドウの ••• をクリックして表示される材料選択ウィンドウ で、追加をクリック後、ジョイント材料を追加します.

材料選択 <del>                                    </del>	● 材料詳細 ● 材料(M): ジョイン!	
	始点側(S) </th <th>終点(<b>創(E)</b> ④ 剛結合   〇 ピン結合</th>	終点( <b>創(E)</b> ④ 剛結合   〇 ピン結合
道加 肖塚余	ОК	キャンセル

④面要素~線要素間にジョイント要素が割り当てられていることを画面で確認し



※ジョイント要素の割り当て位置について



# 3-7 境界条件の設定

境界条件の指定方法として点に指定する方法と線分に指定する方法があります.

### 3-7-1 点拘束の設定

変位の境界条件として点において変位を「0」として拘束します.なお,変位が「0」 でない拘束,すなわち強制変位としても同様に設定することができます.

①メニューバーの「作成」中の「境界」または、ツールバーの[1]境界]をクリックし画面を境界モードに切り替えます.

②画面上で拘束したい点をクリックします.

③プロパティウィンドウにて条件を設定します.



Π,	バティ		×
í	節点境界条件		
)	X条件	強制変位	
3	変位増分	-0.02	=
•	Y条件	なし	_
I	回転条件	なし	
			-

プロパティウィンドウをフローティ ングウィンドウにして表示すると左図 のようになります.

### 3-7-2 線拘束の設定

変位の境界条件として線分において変位を「0」として拘束します. なお, 変 位が「0」でない拘束, すなわち強制変位としても同様に設定することができます. ①メニューバーの「作成」中の「境界」または, ツールバーの[2]境界]をクリッ クし画面を境界モードに切り替えます.

②画面上で拘束したい線分をクリックします.

③プロパティウィンドウにて条件を設定します.



# 3-8 荷重条件の設定

荷重条件の設定法として,集中荷重と分布荷重があります.

分布荷重(線荷重)は実際には等価節点力として節点に按分されて自動に振り 分けられます。

#### 3-8-1 集中荷重の設定

①メニューバーの「作成」の中の「荷重」かまたは、ツールバーの[➡荷重]をクリックし画面を荷重モードに切り替えます.

②図面中で荷重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荷重の値を入力します.

#### 3-8-2 分布荷重の設定

(1) 方向をグローバル座標系で指定する場合

①メニューバーの「作成」の中の「荷重」かまたは、ツールバーの[➡荷重]をクリックし画面を荷重モードに切り替えます.

②図面中で荷重を与える線分をクリックします.

③プロパティウィンドウで荷重種別をグローバルとし両端の荷重の値を入力しま す.



プロ	コパティ		x
Ξ	荷重(集中荷重)		
	荷重	(なし)	
	荷重(分布荷重)		
	荷重	(あり)	
	荷重種別	射影(グローバル)	-
	始点:X荷重	0.	
	始点:Y荷重	-10.	
	終点:X荷重	0.	
	終点:Y荷重	-10.	
荷	<b>重種別</b> 重方法を設定します	-	

プロパティウィンドウをフローティ ングウィンドウにして表示すると左図 のようになります.

(2) 方向をローカル座標系で指定する場合

①メニューバーの「作成」の中の「荷重条件」かまたは、ツールバーの [M-荷重] をクリックし画面を荷重モードに切り替えます.

②図面中で荷重を与える線分をクリックして選択します.

③プロパティウィンドウで荷重種別をローカルとし両端の荷重の値を入力しま す.



プロ	コパティ	×
	荷重(分布荷重)	
	荷重	(あり)
	荷重種別	ローカル ・
	始点:せん断荷重	0.
	始点:直交荷重	0.
	終点:せん断荷重	0.
	終点:直交荷重	10
荷	重種別	
荷詞	重方法を設定します	

プロパティウィンドウをフロー ティングウィンドウにして表示する と左図のようになります.

# 3-8-3 慣性力の設定

慣性力(単位体積重量と震度で与えます)

- $P = \gamma \cdot K$ 
  - P:慣性力
  - y:単位体積重量「3-4材料特性の設定」
  - K:震度
- ①メニューバーの「作成」の中の「荷重」かまたは、ツールバーの[➡荷重]をクリックし画面を荷重モードに切り替えます.
- ②図面中で慣性力を与える材料をクリックします.
- ③プロパティウィンドウに震度を入力します.



④慣性力の方向が⇒で表示されます.



#### 3-8-4 温度荷重の設定

温度荷重(収縮歪増分)を与えます.

- ①メニューバーの「作成」の中の「荷重」かまたは、ツールバーの [M-荷重]をクリックし画面を荷重モードに切り替えます.
- ②図面中で収縮歪増分を与える材料をクリックします.

③プロパティウィンドウに収縮歪増分値を入力します.



④歪方向が⇒で表示されます.



# 3-9 メッシュ分割

# 3-9-1 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[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.



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荒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(下図①や⑤など)をドラッグして動かします.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.



### 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



### 3-9-2 自動分割後の手動調整

自動分割後の細部のマニュアル修正について以下に解説します.

(1) 節点の手動調整(移動)

①メニューバーの「作成」の中の「手動調整」かまたは、ツールバーの[響手動調整] をクリックし画面を手動調整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, 調整する節点をクリックします.









①メニューバーの「作成」の中の「手動調整」かまたは、ツールバーの[響手動調整] をクリックし画面を手動調整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, 結合する要素(三角形×2)をクリックします.



③キーボードの Delete キーを押し、結合する要素(三角形×2)を消去します。
 ④ツールバーの [▶選択] をクリック後,残った線分をクリックします。





⑤キーボードの DELETE キーを押し,残った線分を消去します.

⑥ツールバーの [▲面]をクリック後、三角形要素×2を消去して空白になった四角形部分をクリックすると新たに四角形要素が作成されます.

sample-1_トンネル掘削解析.mfi -	FEMすいすい -応力変形- プリフ	プロセッサ		
ファイル( <u>E</u> ) 作成( <u>M</u> ) 編集( <u>E</u> ) 表	际(⊻) ヘルプ(且)			
🗋 🖆 🔜 🗠 ד 🗠 ד 🛋 1	- 🕨 🖸 🕀 🔍 📔 🦓	] 🗍 🏋 한 개 🌆 😵 🗞	V 🖑 🕨 📔	・ ヽロ ヽ・ 🛛 🗗 🕯 🤉
			•	プロパティ 🗸 🔻
			_	
			E	
			_	
			_	
			-	
			-	
•		III	•	

### (3) 要素の手動調整(要素の再分割)

①メニューバーの「作成」の中の「手動調整」かまたは、ツールバーの[響手動調整] をクリックし画面を手動調整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,再分割する要素をクリックします.



# ③キーボードの Delete キーを押し、再分割する要素を消去します.





④ツールバーの [ ] 線] をクリック後,分割線を描きます.

⑤ツールバーの [▲面]をクリック後,空白になった四角形部分をクリックすると新たに四角形要素が作成されます.



# 3-10 解析ステージの設定

#### 3-10-1 解析ステージとは

建設工事では掘削や盛土等がよく行われますが,「FEM すいすい」では、そのような施工をしたときの応力変形解析を簡単に行うことができます.ここで、施工前のいわゆる初期状態が必要になりますので、施工段階の解析を行う前には 先ず初期状態解析を行う必要があります.

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,その施工による力学的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支保,材料特性の変更による地盤改良などです.

# 解析ステージ例

# ■山岳トンネル施工→盛土施工・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

下図に示すように初期状態から山岳トンネル施工(掘削⇔支保)後,盛土のス テージに移行します.





下図に示すように初期状態から山留め掘削施工に移行します.

. . . . . . . . . . . 📒



ここでは、ステージの追加・削除・移動と、ステージ内のステップ分割につい て解説します.

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 [Max ステージ] をクリックします.



OK

新規追加(<u>N</u>) ...

削除<mark>(D</mark>) ....

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・削除・
 移動をおこないます.

※ステージ1のデータ作成が完了してい なければ、次ステージを追加することは できません。 ③ステージ内の荷重をステップに等分して段階的に作用させる場合にはステップ

ステージ設定	×
ステージ 1 ステージ 2 ステージ 3	ステージ情報 ステップ分割数: 10 (通常:1) 振削時の応力解放率: 100 % 当ステージ計算前に: ②変位をクリアする ③ ひずみをクリアする
	新規追加( <u>№</u> ) 削除( <u>D</u> ) OK

※解析ステージとステップの関係

ステップ分割数を指定しない場合(通常)

分割数を指定します.(通常は1)

	解析ステージ1 (初期状態)	解析ステージ 2 (施工 1)	解析ステージ3 (施工2)
	ステップ分割数1	ステップ分割数1	ステップ分割数1
ステップ	1	2	3

ステップ分割数を指定した場合

	解析ステージ1 (初期状態)	解	析 <i>ス</i> (放	「「「「「「」」	ーシ 1)	2			ĵ	解析 (	スプ	テー E 2)	ジ3 )	3		
	ステップ分割数1	スラ	テッ	プ分	割	数5			ス	テッ	ップ	分害	亅数	10		
ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

### 3-10-3 掘削の設定

①掘削を行うステージに移動します.

- ②メニューバーの作成の中の「材料割り当て」かまたは、ツールバーの[料料割]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。
- ③掘削する解析ブロックをクリックします.
- ④パソコンのキーボードの DELETE キーを押し, 掘削領域を空白にします.
- ⑤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 [Maステージ] をクリックします.
- ⑥「ステージ設定」ウィンドウが表示されます.ここで、掘削時の応力解放率※を設定します.
- ※掘削を行う場合、応力は瞬時に解放されるのではなく、徐々に解放されていく 場合もあると考えられます。解放した応力ともとの応力との比を応力解放率と 言います。例えば、あるステージで応力解放率を40%に設定し、次のステッ プで100%にする場合は『40%⇒100%』と設定します。





### 3-10-4 支保の設定

山岳トンネルの支保として、支保工(はり要素)と吹付コンクリート(トラス 要素)を掘削面の同じ位置に重ねる方法について解説します.

- ①ツールバーの [ ◀ 3 ・ ► ステージ] をクリックし支保を行うステージに 移動します.
- ②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[]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.
- ③支保を設置する位置の線分をクリックします.
- ④プロパティウィンドウで材料(先ずは上半支保工)を割り当てます.



⑤プロパティウィンドウの … をクリックして表示されるウィンドウで,追加を クリック後,材料(上半吹付コンクリート)を割り当てます.

物性選択		<b>x</b>
上半支保工 上半次付コンツート	物性詳細 ▶●●● 物性( <u>M</u> ): ● 上半吹	付コングリート 🔹
	●●●● 始点側( <u>S</u> ) ● 剛結合 ● P^ 純合	- 終点側(E) ◎ 剛結合 ◎ ♪ <i>注</i> (4)
	配置( <u>A</u> ); 両側	-
▲ 注加 一 肖邶徐	ОК	**>セル

⑥2つの線要素(上半支保工と上半吹付コンクリート)が重なっていることを 画面で確認します。



⑦プロパティウィンドウのをクリックして表示されるウィンドウで両端(始点側, 終点側)の結合条件を指定します.

物性選択		×
上半支保工 上半吹付コンツート	物性詳細 物性( <u>M</u> ): 上半支 始点側( <u>S</u> ) ④ 剛結合 ④ ピン結合 配置( <u>A</u> ): 両側	(¥工 秋点(側(E) ● 剛結合 ● 剛結合 ● ピン結合
追加 削除	ОК	キャンセル

# 3-10-5 盛土の設定

①盛土を行うステージに移動します.

②ツールバーの [1]作図] をクリックし作図モードに切り替え後,作図コマンドを用いて盛士部分の解析ブロックを追加します.



③ツールバーの [**二**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 換え後,盛土部分の解析ブロックをクリックします.





ヘルプを表示するには F1 キーを押してください。

57.171, 43.7481

- ⑤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てから、盛土部分の線分に分割 数を指定します.
- ⑥盛土部分の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として四角形主体を選択します.
- ⑦ツールバーの[mメッシュ作成]をクリックすると、盛土部分に新たにメッシュ が生成されます.



# 3-10-6 地盤改良の設定

 ①ツールバーの [▲1 ・▶ ステージ]をクリックし地盤改良を行うステージに 移動します.

②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[□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.

③地盤改良を行う解析ブロックをクリックします.



# 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替えます.
- ②メッシュや設定した条件が正しいことをウィンドウで確認後、ツールバーの[■解析]をクリックします.
- ③下図のようなウィンドウが表示されて、「はい」をクリックすると解析が実行 され、ポストプロセッサーが起動します.





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」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.



# 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.

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。



■タイトル等の表示の切替
 ツールバーの圖をクリックするとスケール表示, ■をクリックすると座標軸,
 ■をクリックすると注釈, ■をクリックするとタイトル, ■をクリックすると
 凡例のそれぞれ表示の ON-OFF が切り替わります.



# 

ツールバーの

ツールバーの

や かをクリック後、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。

sc sample-3_開削(強制変位法)解析.o	out - FEMすいすい -応力変形- ポストプロセッサ
ファイル(E) 画面複写(B) 表示(⊻)	解析結果( <u>R</u> ) ヘルプ( <u>H</u> )
🎏 🎒 🖱 🖱 🗨 q q q	🕐 🖡 🔛 🖽 📩 📥 🖬 🔛 🛄 🔲 🗐
<b>ステップ 1 :</b> フォント 9	

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.



節点,要素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.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.

選択した節点・要素は、ピンク●で表示され、また、それらの数値情報が表形 式で表示されます。





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.

③画面上の節点や要素をクリックするか、ドラッグするとその位置の結果値(変 位,応力,断面力)が表形式で表示されます.これらの数値情報はコピーアイ コン
<sup>1</sup>をクリックすればエクセルに貼り付けられます.



#### 4-2-3 表示の設定

メッシュ図,境界・荷重図,変位図,主応力図,コンター図,断面力図のそ れぞれにおいて、スケール表示 圖,座標軸表示 團,注釈表示 圖,タイトル表示 圖,凡例表示 圖などのコマンドを用いて適宜表示を変更することができます. 設定項目には①共通,②メッシュ図,③境界・荷重図,④変位図,⑤主応力図, ⑥コンター図,⑦断面力図があり、メニューバーの表示の中の「表示設定」のウィ ンドウで設定します.



以下に各表示設定について解説します.

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を設定します.

sample-1_h 文字サイズ:	ンベル掘削解析 10 - F	✔ 左右方向は中	□央配置				
<ul> <li>▼ 注釈を表 文字サイズ:</li> <li>○ 日本語</li> <li>○ 英語</li> </ul>	示する 10 ▼ 「▼ 変位の	の最大値は1行にご	表示する				
☑ 座標目盤 数値位置: 目盛線長: 文字サイズ: メッシュとの離		削 ピクセル %					
☑ 変位と主 ☑ 指数形式	応力のスケール目晷 は大文字で表示す	磁表示位置を同し する OK	じにする キャン	tu I	適用( <u>A</u>	)	
☑ 変位と主 ☑ 指数形式	応力のスケール目盤 は大文字で表示す	磁表示位置を同し する OK	ンにする キャン	±11	適用( <u>A</u>		イトリ
▼ 変位と主 ▼ 指数形式	応力のスケール目盤	磁表示位置を同し する OK	ンにする キャン	七儿 aaple1.k:	適用( <u>A</u> 	←9	<b>1</b> トJ
▼ 変位と主 ▼ 指数形式	応力のスケール目盤		ンにする キャン		道用( <u>A</u> - 2.5.25所服修 	←9	



- メッシュ図・・・・・・・・・・・・・・・・・

報告書用として、材料毎に色分けし凡例表示も可能です.

69

表示 表示	設定     通     メッシュ図       通     メッシュ図       線の設定   小ウシュ 小枠枠 物性境界 ・ラス要素 がョイント要素 制飾ジョイント要素 制飾ジョイント要素	<ul> <li>課界・荷重図 図</li> <li>運線(細) ・</li> <li>実線(細) ・</li> <li>実線(細) ・</li> <li>実線(細) ・</li> <li>実線(中) ・</li> <li>実線(中) ・</li> <li>実線(中) ・</li> <li>実線(中) ・</li> <li>実線(中) ・</li> <li>表示しない ・</li> </ul>	位図   主応力図 色 「 一 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、	3 コンター図   断面力図   表示設定 節点番号を表示する 要素番号を表示する 物性色で塗りつぶす	上     2       2     2       1     1
			ОК	キャンセル 道	і用( <u>A)</u>

状態色の詳細設定 -P . . . . . • 9 一弾性状態一 塑性状態-. 8 🔲 塗りつぶす 🗷 塗りつぶす 色: [ T 色: Ŧ Ì 模様: -模様: Ŧ OK キャンセル



# 

境界条件や荷重の表示の設定をおこないます.

表示設定						
共通     メッシュ図     境界・荷       線の設定     種類       メッシュ     運線の       外枠     実線の       物性境界     実線の       トラス要素     実線の       ジョイント要素     実線の	重図 変位図 主応力 を 細) 、 「	図 ] コンター図 ] 断面力図 ] 表示設定 □ 節点番号を表示する □ 要素番号を表示する □ 物性色で塗りつぶす 〕>> □ 内例を表示する 荷重データの表示設定 単位長さ当たりの荷重値 □ 節点荷重 1				
- 境界条件の表示設定 ○ 非表示 ○ 変位拘束 ○ ばね - 表示サイズ ○ 大 ○ 中 ○ 々 ▽ 凡例を表示 文字サイズ: 18 _	X • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	● (# ○ 太           曲げ半径(ピクセル)→5           ▼ 要素荷重           1           ● (# ○ 太           ◇ (# ○ 和 ○ 太           ◇ (# ○ 和 ○ 太           ○ (# ○ 太				
	ОК	キャンセル 適用(A)				





mample-1\_トンネル掘削解析

キャンセル

適用(<u>A</u>)

OK



ステッブ 2 変位 最大値 |U| = 1.0082-02 Ux = 2.8472-03 Uy = 2.0272-030 最小値 |U| = 0.0002+00 Ux =-3.8482-03 Uy =-1.0022-02 -10 Ó 10 20

sample-1\_トンネル掘削解析





色数, 色調の選択などを設定します. 表示法として色塗り画か線画を指定します.




第4章 ポストプロセッサー

断面力を表示する材料の選択,表示スケール,向きなどを設定します.数値を 表示する場合はフォントや表示桁数もここで設定できます.

線の設定――		表示設定
	種類 色	□ 節点番号を表示する
メッシュ	表示しない 💌	□ 要素番号を表示する
外枠	実線(細) 💌 🔽 🗸	= = = = = = = = = = = = = = = = = = =
物性境界	表示しない、マ	単位長さ当りの大きさ
k-57 亜去		・曲げ <u>37.55191662</u>
12/35元 140 <b>元</b> 主		・軸力 546.763170E
より要素		・せん地行 43.32428956
ジョイント要素	表示しない _	·変位量 0.019269247
<ul> <li>断面刀図設定</li> <li>線の種類</li> <li>実線(細)</li> <li>▼数値を表:</li> <li>○ 数値を表:</li> <li>○ 各要素の</li> <li>小数点以下の</li> <li>曲げモーメント</li> <li>町 断面力を引</li> <li>軸対称シェルの</li> </ul>	線の色 表示する物性 すべて表示 示 ▽ 方向を欠 ▽ 埋土 「端 → 」端の右(W) ▽ 東京層松) う表示術数 1 こ 「 江戸川層7 「 び たる表示する隣接門 ▽ セジント 要素中心値で一定表示する の表示成分 ● Ns.Nt.Ms	性土 皆土 砂質土 -ト構造物 Ns.Nt.Mt (マニュアル参照)

sample-1\_トンネル掘削解析



#### 4-2-4 報告書への貼り付け

①複写する結果を表示します.

- ②メニューバーの「画面複写」の中の「全体」あるいは「マウス指定範囲」を選 択します.
- ③「マウス指定範囲」を選択した場合はマウスで複写範囲を指定します.
- ④ワードやエクセルなどに貼り付けます.



※画角の保存 表示中の画面の画角を保存する際には、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際には「画 角の読込」を選択します.この機能は、報告書用に各図の画角を統一したい場 合などに用います.



## 4-3 解析結果の利用

#### 4-3-1 変位図

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. 図中の節点をクリックするか,ドラッグするとその 点(●)の変位量が表形式で表示され,コピー&ペーストによりエクセルに簡単 に貼り付けられます.



#### 4-3-2 主応力図

定量的な表示には向いていませんが,解析対象の応力分布を直感的に理解する ためにとても役に立ちます.主応力図線の方向と長さは,主応力の方向と大きさ を示しています.赤は引張,青は圧縮に設定するのが一般的です.図中の要素を クリックするか,ドラッグするとその要素(●)の応力が表形式で表示され,コ ピー&ペーストによりエクセルに簡単に貼り付けられます.



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、ひずみ、応力成 分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。 図中の節点をクリックするか、ドラッグするとその点(●)の変位量が表形式 で表示され、コピー&ペーストによりエクセルに簡単に貼り付けられます。



<sup>-40 -50 -20 -10 0 10 20 30 40</sup> 

#### 4-3-4 断面力図

図中の要素をクリックするか、ドラッグするとその要素の断面力値が表形式で 表示され、コピー&ペーストによりエクセルに簡単に貼り付けられます.

植表示	Ę								
×	₽ <b>₽</b>								
No.	N	S	н	Ni	Si	Mi	Nj	Sj	Mj
594	53.61963	58.15109	57.94560	53.61963	58.15109	76.11782	53.61963	58.15109	39.77339
595	54.43619	48.66874	24.56440	54.43619	48.66874	39.77339	54.43619	48.66874	9.35542
596	54.98246	39.14703	-2.87802	54.98246	39.14703	9.35542	54.98246	39.14703	-15.11147
597	54.69770	28.15964	-24.22386	54.69770	29.15964	-15,11147	54.69770	29.15964	-33.33625
598	6.56041	14.51926	-38.19583	6.56041	14.51926	-30.93620	6.56041	14.51926	-45.45546
599	27.12354	-17.86835	-36.52129	27.12354	-17.86835	-45.45546	27.12354	-17.86835	-27.58711
600	43.51061	-42.26817	-6.45302	43.51061	-42.26817	-27.58711	43.51061	-42.26817	14.68106
601	57.73895	-61.43676	45.39944	57.73895	-61.43676	14.68106	57.73895	-61.43676	76.11782
602	116.82895	59.51067	59.95378	116.82895	59.51067	78.55087	116.82895	59.51067	41.35670
603	98.47839	52.13345	25.06500	98.47839	52.13345	41.35670	98.47839	52.13345	8.77330
604	81.64804	39.54845	-3.58559	81.64804	39.54845	8.77330	81.64804	39.54845	-15.94448
605	62.93888	23.98675	-23.44034	62.93888	23.98675	-15.94448	62.93888	23.98675	-30.93620
606	-4.80288	7.38611	-87.02980	-4.80288	7.38611	-88.88625	-4.80288	7.38611	-40.72286
607	6.18288	-13.42487	-84.00982	6.13288	-18.42487	-40.72236	6.18288	-13.42487	-27.28748
608	17.95076	-37.60511	-8.49493	17.95076	-37.60511	-27.23743	17.95076	-37.60511	10.30762
609	29.84638	-88.24825	44.42924	29.84638	-68.24825	10.30762	29.84638	-88.24825	78.55087



第4章

ポストプロセッサー

沈下量コンター図

# 第5章 解 析 例

ここでは、単純なモデルを3例を紹介します.

例としては

①盛土解析

②トンネル掘削解析

③開削(強制変位法)解析

を取り上げて説明しますが,解析手順はいずれも下に示すような流れによって行います.

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境界条件の設定

⑥荷重条件の設定

⑦メッシュ分割

⑧解析ステージの設定

⑨解析の実行



地盤物性(線形弾	性ソリッド材料)		
	ヤング係数 E(kN/m)	ポアソン比 v	
埋土	14,000	0.45	

埋土	14,000	0.45	16.0
東京層粘性土	28,000	0.40	18.0
東京層砂質土	75,600	0.30	19.0
江戸川層砂質土	420,000	0.30	20.0
盛土	50,000	0.35	19.0

#### 既設構造物物性(はり材料)

	ヤング係数	断面積	断面 2 次モーメント	単位体積重量
	E(kN/m <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	γ(kN/m <sup>3</sup> )
既設コンクリート構造物	$2.35 \times 10^{7}$	0.5	0.0104	25.0

## 

解析のステージは下図に示ように初期状態から盛土のステージに移行します.



単位体積重量 γ (kN/m3) (1)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[**№**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.

🚮 無題 - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)[解析方法]	
🗅 😅 🖬   요ㅋ 요ㅋ 🔍 1 💿 📂 🜀 🎕 역 🛅 🕷 🏭 🎞 텦 태 汨 部 🗞 🕑 🕅 🔪 - 🔨	、□ ♪・◎・■ = ₀
「国解析方法」フロ	パティ <del>、</del> ×
解析方法を設定します	

## ②解析方法を以下のように設定します.

解析方法		X
タイトル: Sample 構造条件 ④ 平面ひずみ(単 〇 軸対象(15ジ)	2_盛土解析 位厚) ?ン)	ジョイント要素モデル ◎ 要素モデル1 ◎ 要素モデル2
初期応力の算出注 回 自重計算で算 で 深さとvと初期化	出	ジョイント要素の非線形性 ◎ 中心で平均的に考慮 ◎ 両端で別々に考慮
- 収束判定式 ◎ 式(1.a) ◎ 式(1 b)	最大反復計算回数: 許容誤差:	500 1e-005
◎式(1.c)		ОК <b>+</b> +>>セル

## (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 [き 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.

ファイル(F) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H) 2[材料特性]	
🗅 📽 🖬 🗠 ~ 여~ 🔍 1 🔄 🕨 🜀 원 원 🛄 🚰 🎦 패 및 태 汨 恕 🗞 🕑 🕅 세 .	・ヽロッ・◎・■ ■ 📬
私料特性 材料特性を設定します	ブロパティ <b>*</b> ×
材料特性を設定します	74.2017, 110

②材料特性を以下のように設定します.

材料特性		×
理土 東京層粘性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 盛土 既設コンツート構造物	材料情報       名称: 埋土       種別: 線形弾性ソリッド材料       色:       ヤング係数       ポアソン比       単位体積重量	▼ 14000 0.45 16
	定数b OK	0 キャンセル
++++++1=-		
14种特性		
44時11 理土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 盛土 既設コンツート構造物	材料情報         名称:       東京層粘性土         種別:       線形弾性ソリッド材料         色:          ヤング係数       ポアソン比         単位体積重量	▼ 28000 0.4 18
4/44時日 <u>理土</u> 東京層砂質土 江戸川層砂質土 歴土 既設コンゲート構造物                 上へ             上へ	材料情報         名称:       東京層粘性土         種別:       線形弾性ソリッド材料         色:       アング係数         ポアソン比       単位体積重量         定数b       のK	▼ 28000 0.4 18 0 ↓ ↓



理土 東京層粘性土 東京層砂質土 江戸川層砂質土 <u>盛土</u> 既設1200~ト構造物	<ul> <li>材料情報</li> <li>名称: 既設コンケリート構</li> <li>種別: 線形はり材料/</li> <li>色:</li> <li>ヤング係数</li> <li>断面積</li> </ul>	造物 トラス材料 ▼ 2.35e+007 0.5
	断面2次モーメント 単位体積重量	0.0104

## (3) 解析対象の作図

解析対象の地盤や構造物を作図します.

ッールバーの [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(本例では線と矩形)を用いて解析対象を作図していきます.

- 	「リプロセッサ	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(E	) 3[作図]	
🔁 🖆 🔚 🗠 ד 🍳 ד 🔹 🕨 🕞 🤀	옥 🛯 📲 🛄 및 🗣 🏼 🐯 🧞 🕑 🕅 🛌 🔍 🗖 🗤	· 🖸 • 🛋 着 📷
	3.1 作図     作図コマンド       解析対象を作図します     (本例では線と)	→ × :矩形を用いる)
	• •	

#### (4) 材料特性の割り当て

地盤,盛土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。
②材料特性の割り当てを行う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.



#### (5) 境界条件の設定

両側面を鉛直ローラー,底面を水平ローラーに設定します. ①メニューバーの「作成」中の「境界条件」または、ツールバーの[1]境界]をクリッ クし画面を境界モードに切り替えます.

②画面上で境界条件を設定する線分をクリックして選択します.

③プロパティウィンドウにて条件を設定します.

S sample-2_盛土解析.mfi - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ						
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(⊻) へルプ(H						
🗋 🗋 🛱 🖬 🗠 🗠 🔍 🗐 🕇 💽 🚭	🔍 ंव 🌯 江 🛄 🖳 🚧 🔠 🍪 🐶 🥙 📐	• 20.2.	🖸 - 🛋 🖶 🔂			
	5[境界]	プロパティ	<b>→</b> ×			
		□ 節点境界条件	÷ 🔺			
		X条件	強制変位 🚽			
		変位増分	なし			
		Y条件	通制変位 げわ			
		同志名供	通制絶対変位 1			
1 <u>1</u>		回転条件	74U			
		□ 線現芥染件	34/####			
		X条件	强制炎位			
		始点変位	0.			
I		終点変位	0.			
		Y条件	なし			
		回転条件	なし			
		X条件				
		条件を指定します	す:なし、強制変			
		位、ばね、強制網	色対変位			
L						

- (6)荷重条件の設定
- この例では荷重条件を設定しません.
- (7) 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[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四角形主体とします.



④ツールバーの [ 💣 メッシュ作成] をクリックします.

#### (8) 解析ステージの設定

ステージ2を追加して既設構造物と盛土を設定します.

- 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 [物ステージ] をクリックします.
- 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.



③ツールバーの記をクリックし作図モードに切り替え後,作図コマンドを用いて盛土部の解析ブロックを新たに作図します.

📊 sample-2_盛土解析.mfi - FEMすいすい -応力変形- プリプロセッサ	
ファイル(E) 作成(M) 編集(E) 表示(V) ヘルプ(H)	
D 🚔 🖬   ゆ * g * 1 ┥ 2 🔄 📌 🕒 🌒 🍳 1 🛯 🥻 🛄 🛄 및 💁 甜 謬 🧞 🕑 🕅 🕅	• 🔽 🎞 "> • 🛛 • 💣 🚠
3[作図]	 作図コマンド · ×
始点: 0,0	(本例では線を用いる)
	_
	_

④ツールバーの[**□**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 換え後,盛土部分の解析ブロックをクリックします.





⑥既設構造物部分の線分をクリックし、プロパティウィンドウで既設コンクリート構造物を割り当てます。



5章解析例

꽶

- ⑦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[11]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てから、盛土部分の線分に分割 数を指定します.
- ⑧盛土部分の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四角形主体とします。



#### (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[♥確認]をクリックし画面を確認モードに切り換えます.

③ツールバーの 🔜 をクリックします.

④下図のようなウィンドウが表示されて、「はい」をクリックすると解析が実行 され、ポストプロセッサーが起動します。



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.

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ージを選択します.

③画面上の節点や要素をクリックすると、その位置の結果値(変位、応力、断面力)が表形式で表示されます。これらの数値情報はコピーアイコンをクリックすればエクセルに貼り付けられます。





値表示	Ā			
×				
No.	X	Y	変位 X	3 🔺
685	-4.667	0.000	0.00184	-0.
686	-3.889	0.000	0.00106	-0.
687	-3.111	0.000	0.00026	-0.
688	-2.333	0.000	-0.00051	-0.
689	-1.556	0.000	-0.00119	-0.
690	-0.778	0.000	-0.00171	-0.
691	0.000	0.000	-0.00200	-0. 🚽
		III		► a









・曲げモーメント図





## 5-2 トンネル掘削解析

## 5-2-1 解析条件

トンネル掘削に伴う近接構造物への影響解析例を以下に示す.



#### 

#### 地盤物性(線形弾性ソリッド材料)

	ヤング係数 E(kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 v	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )
埋土	14,000	0.45	16.0
東京層粘性土	28,000	0.40	18.0
東京層砂質土	75,600	0.30	19.0
江戸川層砂質土	420,000	0.30	20.0

#### 構造物物性(はり材料)

	ヤング係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	断面積 A (m <sup>2</sup> )	断面 2 次モーメント I (m <sup>4</sup> )	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )
既設コンクリート構造物	$2.35 \times 107$	0.5	0.0104	25.0
セグメント	$3.30 \times 107$	0.2	0.000667	25.0



5-2-2 解析結果



第5章 解析例





·断面力值出力

値表示	₹									
×	Ē									
No.	N	S	М	φ	Ni	Si	Mi	Nj	Sj	*
813	316.55746	5.91549	19.01110	0.00007	316.55746	5.91549	20.46144	316.55746	5.91549	_
814	305.36707	11.59305	14.72031	0.00013	305.36707	11.59305	17.56076	305.36707	11.59305	
815	286.42715	14.96155	8.21516	0.00017	286.42715	14.96155	11.87987	286.42715	14.96155	
816	262.00714	15.36745	0.78360	0.00017	262.00714	15.36745	4.55046	262.00714	15.36745	
817	281.30185	16.91109	2.35109	0.00019	281.30185	16.91109	6.49634	281.30185	16.91109	
818	299.24936	14.89306	10.14426	0.00017	299.24936	14.89306	13.79219	299.24936	14.89306	
819	313.89963	10.69046	16.41149	0.00012	313.89963	10.69046	19.03079	313.89963	10.69046	=
820	323.58618	5.97010	20.49452	0.00007	323.58618	5.97010	21.95826	323.58618	5.97010	
821	229.56987	2.23770	21.56705	0.00002	229.56987	2.23770	22.11568	229.56987	2.23770	
822	235.35638	8.99098	18.81551	0.00010	235.35638	8.99098	21.01841	235.35638	8.99098	_
823	247.00801	13.81892	13.22778	0.00015	247.00801	13.81892	16.61260	247.00801	13.81892	_
824	263.23828	16.41810	5.81855	0.00018	263.23828	16.41810	9.84295	263.23828	16.41810	_
005	000 40050	E 17000	00 04700	0 00000	000 40050	E 17000	10 57007	000 40050	E 17000	

5–3	開削	(強制変位法)	解析
-----	----	---------	----

## 5-3-1 解析条件

開削(土留め掘削)に伴う周辺地盤変状の解析例を以下に示す.

土留め弾塑性法等により求めた土留め壁の変位量を強制変位量として,FEM モデルに入力し周辺地盤の変位量を算出(強制変位法)



## ■物性値・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

#### 地盤物性(線形弾性ソリッド材料)

	ヤング係数	ポアソン比
	$E (kN/m^2)$	ν
地盤	20,000	0.3

#### 山留め壁物性(はり材料)

	ヤング係数	断面積	断面2次モーメント
	$E (kN/m^2)$	A $(m^2)$	$I (m^4)$
山留め壁	$2.0 \times 10^{8}$	0.00748	0.000312



#### 5-3-2 解析結果

解析結果として,変位図,沈下量コンター図および水平変位コンター図を示します.



<b>値表</b> 力	R			
×	È			
No.	Х	Y	変位 X	3 ×
402	-4.773	8.000	0.03727	-0.
403	-2.333	8.000	0.03808	-0.
404	0.000	8.000	0.03000	-0.
414	-7.318	9.000	0.03508	-0.
415	-4.773	9.000	0.03376	-0.
416	-2.333	9.000	0.02317	-0.≡
417	0.000	9.000	0.01000	-0. 🛫
•		III		► a
_				





インデックス出版

2 次元地盤解析システム FEM すいすい―応力変形― Ver.1.0