PLAXIS

CONNECT Edition V22.02

PLAXIS 3D - チュートリアルマニュアル

Bentley®
Advancing Infrastructure

最終更新日: 2022-9-12

目次

Preface: はじめに 6

第 1 章: 過圧密粘土の基礎 7

1.1 ケース A:剛体基礎 8
1.1.1 新しいプロジェクトの作成 9
1.1.2 土の層序の定義 11
1.1.3 材料データセットの作成と割り当て 12
1.1.4 構造要素の定義 17
1.1.5 メッシュの生成 18
1.1.6 計算の定義と実行 20
1.1.7 計算結果の表示 24
1.2 ケース B:ラフト基礎 25
1.2.1 新しいプロジェクトの作成 26
1.2.2 材料データセットの作成と割り当て 27
1.2.3 構造要素の定義 28
1.2.4 メッシュの生成 31
1.2.5 計算の定義と実行 31
1.2.6 計算結果の表示 32
1.3 ケース C:杭ラフト基礎 34
1.3.1 新しいプロジェクトの作成 34
1.3.2 構造要素の定義:基礎杭 35
1.3.3 メッシュの生成 36
1.3.4 計算の定義と実行 37
1.3.5 計算結果の表示 38

第 2 章: 砂地の掘削 40

2.1 新しいプロジェクトの作成 41
2.2 土の層序の定義 41
2.3 材料データセットの作成と割り当て 41
2.4 構造要素の定義 43
2.4.1 腹起し材と切梁 43
2.4.2 グラウンドアンカー 45
2.4.3 矢板壁と荷重 47
2.5 メッシュの生成 48
2.6 計算の定義 49
2.6.1 計算の実行 51
2.7 結果 52

第 3 章: サクションパイルの荷重 56

3.1 新しいプロジェクトの作成 56
3.2 土の層序の定義 57
3.3 材料データセットの作成と割り当て 57
3.4 構造要素の定義 58
3.4.1 サクションパイルの作成 58

3.4.2 局所的なメッシュの改良のためのヘルパーオブジェクトの作成 62
3.5 メッシュの生成 64
3.6 計算の定義 64
3.6.1 初期フェーズ:初期条件 64
3.6.2 フェーズ 1:サクションパイルの設置 64
3.6.3 フェーズ 2:杭への 30 度での載荷 64
3.6.4 フェーズ 3、4、5、6: 杭へのさまざまな方向角度での載荷 65
3.6.5 計算の実行 66
3.7 結果 66

第 4 章: 地中連続壁の掘削の安定性 67

4.1 新しいプロジェクトの作成 67
4.2 土の層序の定義 68
4.3 材料データセットの作成と割り当て 68
4.4 地中連続壁の定義 69
4.5 メッシュの生成 70
4.6 計算の定義 71
4.6.8 計算の実行 73
4.7 結果 73

第 5 章: シールドトンネルの段階掘削[GSE] 76

5.1 新しいプロジェクトの作成 76
5.2 土の層序の定義 77
5.3 材料データセットの作成と割り当て 77
5.4 構造要素の定義 78
5.4.1 トンネルの作成 79
5.4.2 表面収縮 82
5.4.3 グラウト圧力 83
5.4.4 トンネル面圧力 83
5.4.5 ジャッキの力 84
5.4.6 軌道 85
5.4.7 シーケンシング 85
5.5 メッシュの生成 95
5.6 計算の定義と実行 95
5.6.1 初期フェーズ 96
5.6.2 フェーズ 1:TBM の初期位置 96
5.6.3 フェーズ 2:TBM の前進 1 98
5.6.4 フェーズ 3:TBM の前進 2 98
5.6.5 フェーズ 4:TBM の前進 3 98
5.6.6 フェーズ 5:TBM の前進 4 99
5.7 結果 99

第 6 章: 道路盛土の施工[ADV] 101

6.1 新しいプロジェクトの作成 101
6.2 土の層序の定義 102
6.3 材料データセットの作成と割り当て 102
6.4 盛土とドレーンの定義 104
6.5 メッシュの生成 106
6.6 計算の定義 107
6.6.1 初期フェーズ 107
6.6.2 圧密解析 108
6.6.3 計算の実行 109

6.7 結果 110
6.8 安全率解析 114
6.9 ドレーンの使用 117

第 7 章: 急激な水位低下の解析[ULT] 119

7.1 新しいプロジェクトの作成 119
7.2 土の層序の定義 120
7.3 材料データセットの作成と割り当て 120
7.4 ダムの定義 121
7.5 メッシュの生成 122
7.6 計算の定義と実行 123
7.6.1 初期フェーズ:高貯水 124
7.6.2 フェーズ 1:急激な水位低下 125
7.6.3 フェーズ 2:低速な水位低下 126
7.6.4 フェーズ 3:低水位 127
7.6.5 フェーズ 4～7 128
7.6.6 計算の実行 128
7.7 結果 129

第 8 章: 弾性基礎上のジェネレータの動的解析 [ULT] 133

8.1 新しいプロジェクトの作成 134
8.2 土の層序の定義 134
8.3 材料データセットの作成と割り当て 134
8.4 構造要素の定義 135
8.5 メッシュの生成 137
8.6 計算の定義と実行 137
8.6.1 初期フェーズ 138
8.6.2 フェーズ 1: フーチング 138
8.6.3 フェーズ 2: ジェネレータの起動 138
8.6.4 フェーズ 3: ジェネレータの停止 140
8.6.5 計算の実行 141
8.6.6 減衰ありの追加の計算 141
8.6.7 結果 142

第 9 章: 建物の自由振動および地震解析 [ULT] 144

9.1 形状の定義 144
9.2 土の層序の定義 145
9.3 材料データセットの作成と割り当て 145
9.4 構造要素の定義 148
9.4.1 建物の作成 149
9.4.2 荷重の作成 150
9.4.3 境界上にインターフェースを作成 152
9.5 メッシュの生成 152
9.6 計算の定義と実行 153
9.6.1 初期フェーズ 153
9.6.2 フェーズ 1 - 建築構造 153
9.6.3 フェーズ 2 - 加振 153
9.6.4 フェーズ 3 - 自由振動 154
9.6.5 フェーズ 4 - 地震 155
9.6.6 計算の実行 156
9.7 結果 157

付録 160
付録 A: 土の重量による初期応力の計算スキーム 161

はじめに

PLAXIS 3D は、地盤工学プロジェクトにおける変形、安定性、および流れの解析向けに開発された有限要素パッケージです。シンプルでグラフィカルな入力手順により、複雑な有限要素モデルを迅速に生成でき、高度な出力機能により、計算結果を詳細に表示できます。計算自体は完全に自動化されており、ロバスト性の高い数値手順に基づいています。このようなコンセプトから、新しいユーザーでも数時間トレーニングするだけでこのパッケージを使って作業できるようになります。

さまざまなチュートリアルで興味深い実用的な用途を広範囲に扱っていますが、このチュートリアルマニュアルは、新しいユーザーが PLAXIS 3D に慣れるのを手助けすることを目的としています。したがって、チュートリアルおよび各材料データセットを実際のプロジェクトの基礎として使用することは避けてください。

ユーザーは、土質力学に対する基本的な知識を有し、Windows 環境で作業できる必要があります。本マニュアルに記載されている順序でチュートリアルを進めることを強くお勧めします。ハードウェアとソフトウェアの構成によっては、結果に若干の違いが生じる可能性があることに注意してください。

本チュートリアルマニュアルには、有限要素法に関する理論的な背景情報、およびプログラムで利用可能な各種の土モデルに関する詳細は記載されていません。後者については、『Material Models Manual』（包括的なマニュアルに収録）を参照してください。理論的な背景情報については、『Scientific Manual』を参照してください。利用可能なプログラム機能の詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』を参照してください。各種マニュアルに加えて、プログラムの使用に関する実践的な経験や背景情報を提供するために、世界各地で簡単なコースが定期的に実施されています。

利用可能なチュートリアルとライセンスレベル:

PLAXIS 3D の機能および土モデルが個別のライセンスサービスで提供されているため、特定のライセンスレベルの以前のインストール環境で現在のチュートリアルマニュアルを利用できます。

ライセンスレベルの詳細については、『General Information Manual』、『Reference Manual PLAXIS 3D』、および『Material Models Manual』をご覧ください。

各ライセンスレベルで利用可能なチュートリアルは、次の規則で簡単に識別できます。

- 識別子のないチュートリアル - PLAXIS 3D ライセンスで一般的に利用可能
- [ADV] - PLAXIS 3D Advanced ライセンスを所有するユーザー向けのチュートリアル
- [ULT] - PLAXIS 3D Ultimate ライセンスを所有するユーザー向けのチュートリアル
- [GSE] - Geotechnical SELECT サブスクリプションを所有するユーザー向けのチュートリアル（上記の Basic、Advanced、または Ultimate ライセンスレベルが必要）

1 過圧密粘土の基礎

本章では、PLAXIS 3D の最初のアプリケーションとして、粘土の基礎の沈下について考えます。これは、PLAXIS 3D プログラムの実用的な用途に慣れるための最初の手順です。

ここでは、形状の作成、有限要素メッシュの生成、有限要素解析の実行、および出力結果の評価の一般的な手順について詳しく説明します。このチュートリアルで提供される情報は、以降のチュートリアルで使用されます。したがって、他のチュートリアルの例を試す前に、この最初のチュートリアルを完了することが重要です。

形状

この演習では、軽く過圧密された湖成粘土における正方形の建物の基礎の施工と荷重を扱います。粘土層の下には、検討する形状の自然境界を形成する硬質な岩石層があります。岩石層は形状には含まれません。代わりに、粘土層の下に適切な境界条件を適用します。この演習の目的は、基礎の沈下を特定することです。

建物の構造は、地下 1 階、地上 5 階です。計算時間を短縮するために、対称線に沿った対称境界条件を使用して、建物の 4 分の 1 のみをモデル化します。粘土で想定されるメカニズムを考慮し、外側の境界の影響を避けるために、モデルを水平両方向に幅 75 m まで拡張します。

このモデルについて、次の 3 つのケースを考えます。

- ケース A:非常に硬質で弾性がない建物について考えます。地下階を、非多孔性の線形弾性ボリューム要素によってシミュレートします。
- ケース B:断面力を、ラフト基礎上の荷重としてモデル化します。
- ケース C:モデルに埋め込み梁を含めて沈下を低減します。

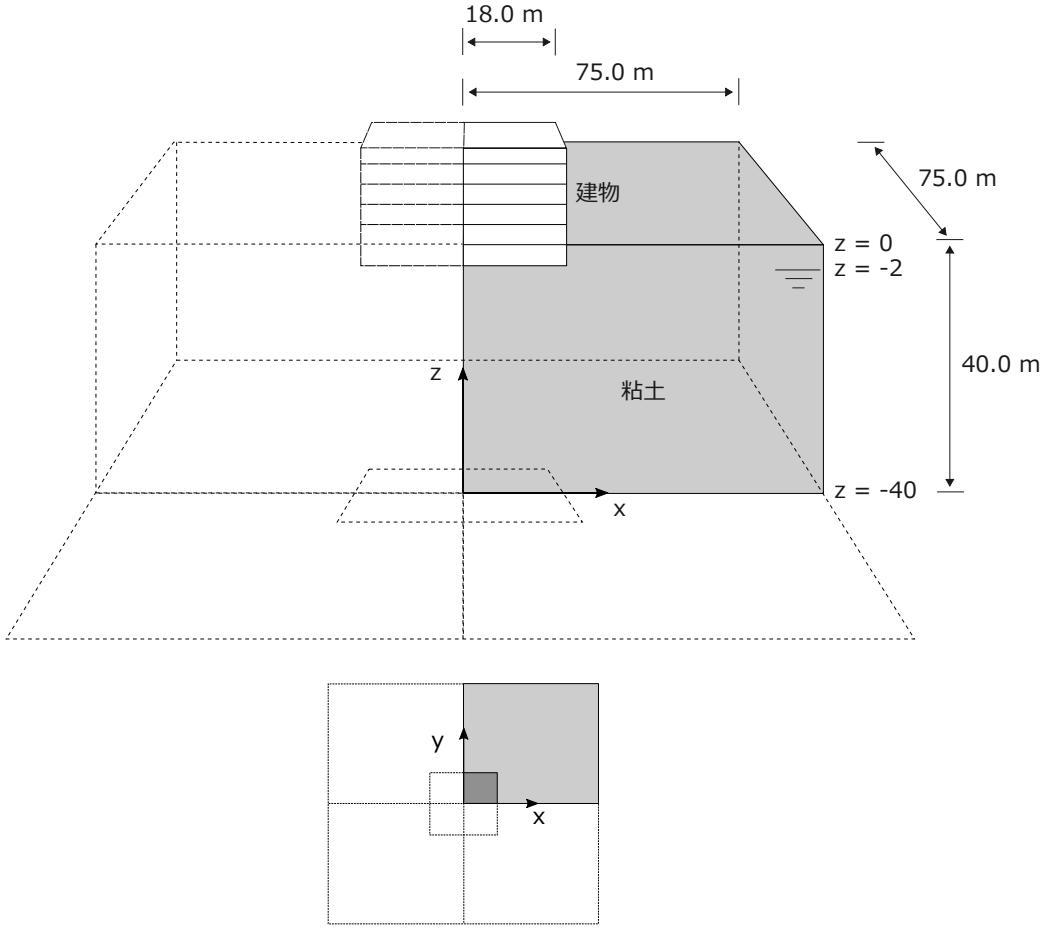


図 1: ラフト基礎上の正方形の建物の形状

1.1 ケース A:剛体基礎

このケースでは、非常に硬質な建物について考えます。地下階を、非多孔性の線形弾性ボリューム要素によってシミュレートします。地下階の総重量は、建物の永久荷重と変動荷重の合計に対応します。モデルが非常にシンプルになるため最初の演習として使用していますが、このアプローチには欠点がいくつかあります。たとえば、基礎の断面力に関する情報は得られません。

目的

- 新しいプロジェクトを開始する。
- 1 つのボアホールを使用して土の層序を作成する。
- 材料データセットを作成する。
- **「サーフェースを作成」**ツールと**「押し出し」**ツールを使用してボリュームを作成する。
- 材料を割り当てる。
- メッシュの局所的な細分化を行う。
- メッシュを生成する。
- K_0 計算を使用して初期応力を生成する。
- **「塑性解析」**の計算を定義する。

1.1.1 新しいプロジェクトの作成

1. 入力プログラムのアイコンをダブルクリックして PLAXIS 3D を起動します。

   「クイックスタート」ダイアログボックスが表示され、新しいプロジェクトを作成するか既存のプロジェクトを選択することができます（図 2 (P9)を参照）。

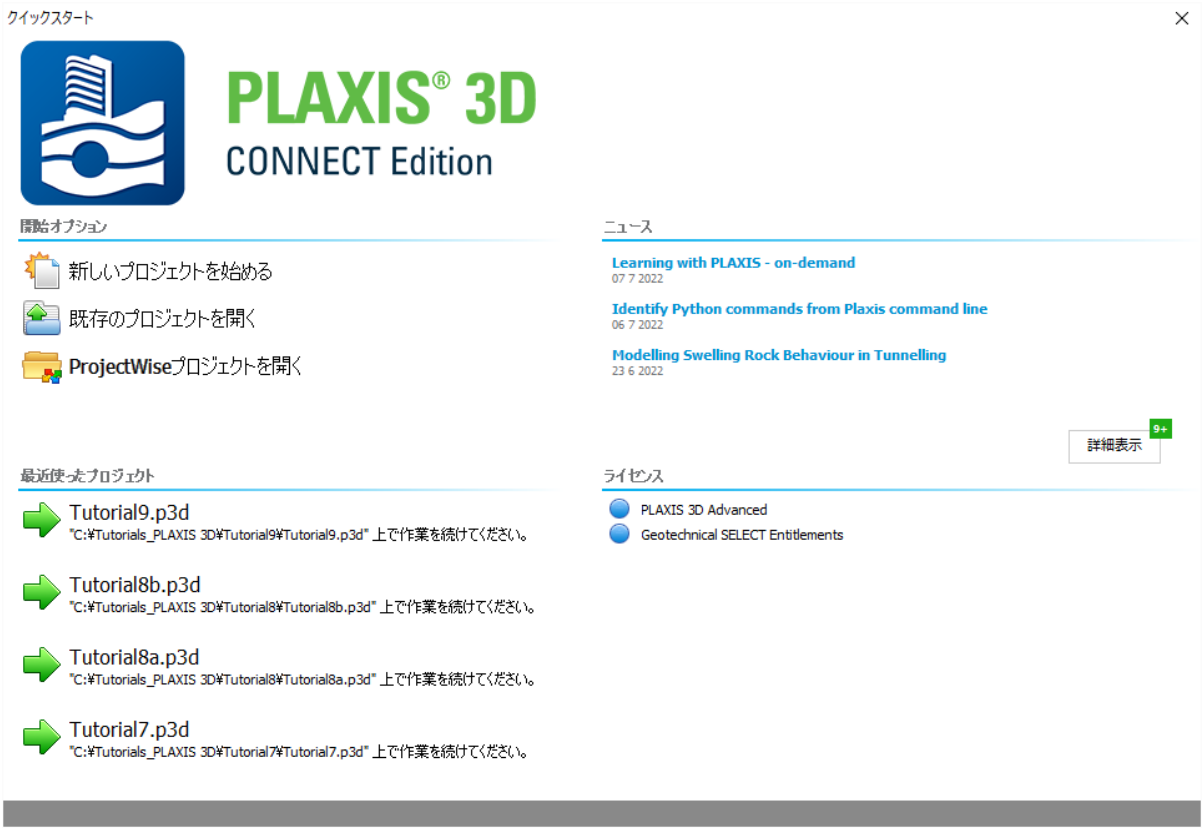


図 2: 「クイックスタート」ウィンドウ

2. **「新しいプロジェクトを始める」**をクリックします。

   「プロジェクトプロパティ」ウィンドウが表示されます（図 3 (P10)を参照）。このウィンドウには**「プロジェクト」**、**「モデル」**、**「クラウドサービス」**の 3 つのタブシートがあります。

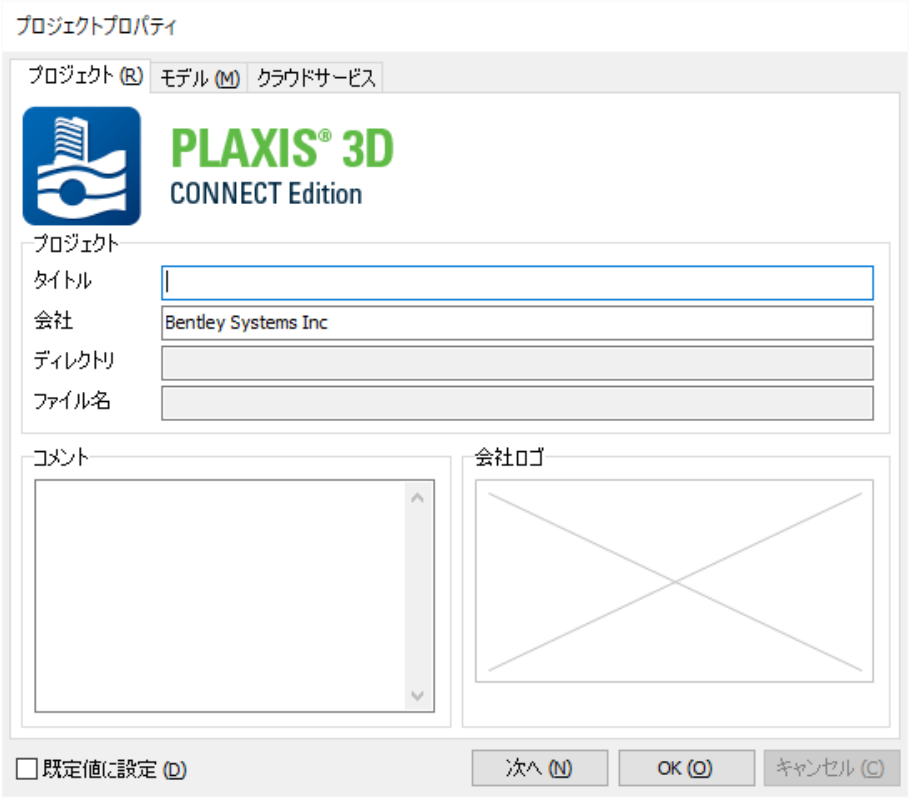


図 3: 「プロジェクトプロパティ」ウィンドウ

注記:

どの解析でもまず、有限要素モデルの基本パラメータを設定します。これは**「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウで行います。こうした設定には、問題の説明、モデルのタイプ、要素の基本タイプ、基本単位、描画領域のサイズなどが含まれます。

フーチング計算に該当する設定値を入力するには、次の手順に従います。

3. **「プロジェクト」**タブシートの**「タイトル」**ボックスに「Tutorial 1」と入力し、**「コメント」**ボックスに「Settlements of a foundation」（基礎の沈下）と入力します。
4. 下部にある**「次へ」**ボタンをクリックするか、**「モデル」**タブをクリックします。
「モデル」のプロパティを図 3 (P10)に示します。

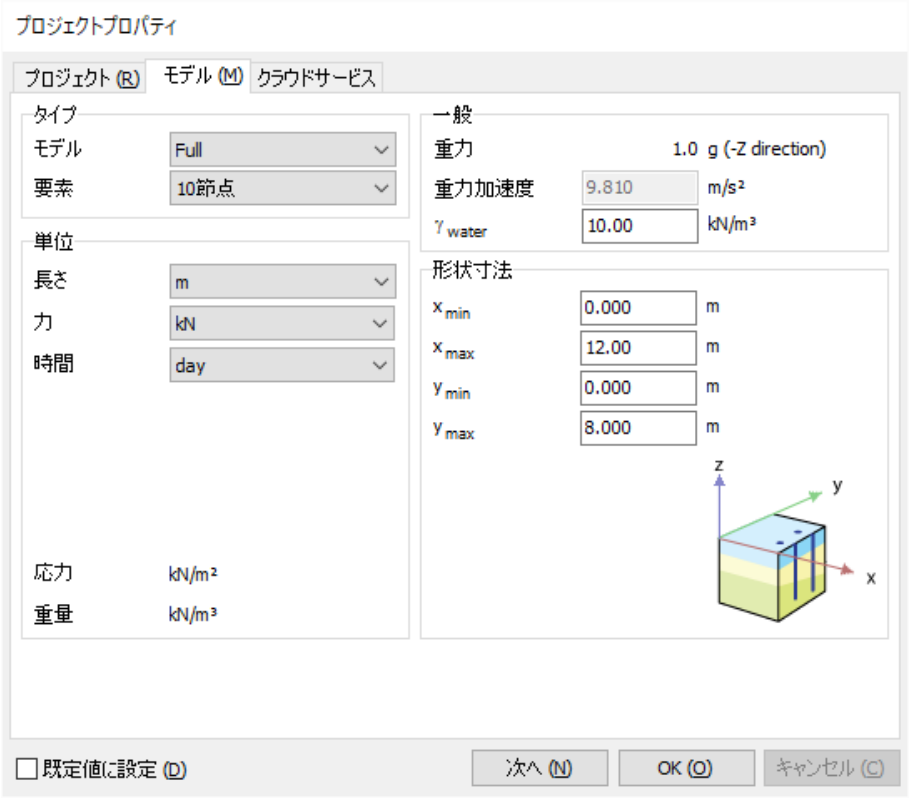


図 4: 「プロジェクトプロパティ」 - 「モデル」タブ

5. **「単位」**ボックスは既定の単位のままにします（長さ = m、力 = kN、時間 = day）。
6. **「一般」**ボックスは、鉛直下向き（-z 方向）に 1.0 G の固定された重力を示しています。
7. 「γ_{water}」ボックスで水の単位重量を定義することができます。ここでは、既定値の 10 kN/m^3 のままにします。
8. **「形状寸法」**グループで、モデル寸法を次のように設定します。
   a. x_{min} = 0.0、x_{max} = 75.0。
   b. y_{min} = 0.0、y_{max} = 75.0。
9. **「OK」**ボタンをクリックして設定を確定します。

指定したプロパティを使用してプロジェクトが作成されます。**「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウが閉じ、土の層序を定義できる**「土」**モードビューが表示されます。

注記: プロジェクトプロパティは後で変更することができます。メニューから**「ファイル」** > **「プロジェクトのプロパティ」**の順に選択してアクセスできます。

1.1.2 土の層序の定義

PLAXIS 3D の**「土」モード**では、土の層序を定義することができます。

土層に関する情報はボアホールに入力されます。ボアホールは、土層の位置と地下水面に関する情報を指定する描画領域内の場所です。複数のボアホールが定義されている場合、PLAXIS 3D ではボアホール間が自動的に補間され、ボアホールの情報から土層の位置が導出されます。

注記: PLAXIS 3D では、不連続な層、つまりモデル領域に局所的にのみ存在する層も扱うことができます。詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』の複数のボアホールに関する情報を参照してください。

現在の例では、土層は 1 つだけであるため、土の層序を定義するために必要なボアホールは 1 つだけです。ボアホールを定義するには、次の手順に従います。

1. サイドツールバーの**「ボアホールを作成」**ボタンをクリックして、土の層序の定義を開始します。
2. 形状の位置（0 0 0）をクリックします。

   ボアホールが（x,y）=（0 0）に配置されます。

   「土層の修正」ウィンドウが表示されます（図 5 (P12)を参照）。
3. **「土層の修正」**ウィンドウの**「追加」**ボタンをクリックして土層を追加します。
4. 土層の上面境界は z = 0 のままにし、底面境界を z = -40 m に設定します。
5. 「水頭」を-2.0 m に設定します。

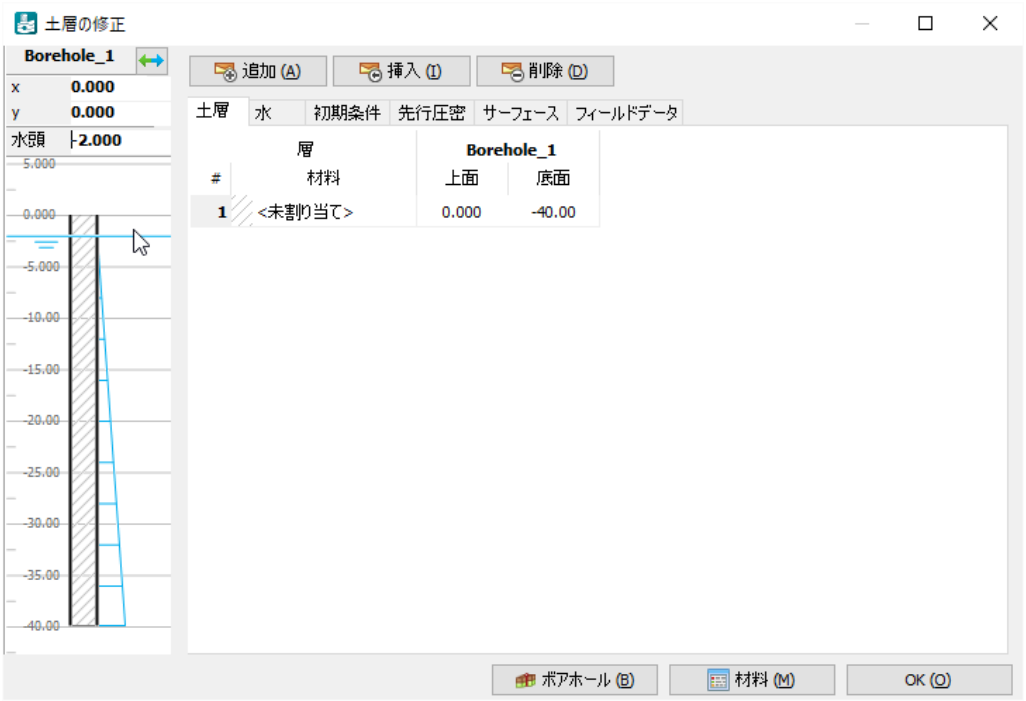


図 5: 「土層の修正」ウィンドウ

次に、材料データセットを定義して土層に割り当てます。

1.1.3 材料データセットの作成と割り当て

土の挙動をシミュレートするには、適切な材料モデルと材料パラメータを形状に割り当てる必要があります。PLAXIS 3D では、地盤特性が材料データセットにまとめられ、さまざまなデータセットが材料データベースに保存されます。データベースから、データセットを 1 つ以上のクラスタに割り当てることが

できます。構造物（梁、板など）の場合、システムは似ていますが、構造物のタイプによってパラメータが異なるため、データセットのタイプも異なります。

PLAXIS 3D では、**「土とインターフェース」**、**「不連続」**、**「板」**、**「ジオグリッド」**、**「梁」**、**「埋め込み梁」**、および**「アンカー」**の材料データセットが区別されます。

このチュートリアルで使用する材料を表 1 (P13)に示します。これらを**「土とインターフェース」**の材料データセットとして使用します。

表 1: 材料特性

特性	名前	湖成粘土	建物	単位
一般				
土のモデル	モデル	モール･クーロン	線形弾性	-
排水タイプ	タイプ	排水	非多孔性	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	17.0	50	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	18.0	-	kN/m^3
構造				
ヤング係数	E'_{ref}	$1{\cdot}10^4$	$3{\cdot}10^7$	kN/m^2
ポアソン比	$\nu(nu)$	0.3	0.15	-
粘着力	c'_{ref}	10	-	kN/m^2
摩擦角	$\varphi'(phi)$	30.0	-	°
ダイレイタンシー角	$\psi(psi)$	0.0	-	°
初期				
K_0	-	自動	自動	-
水平土圧係数	K_0	0.5000	0.5000	-

このチュートリアルの材料セットを作成するには、次の手順に従います。

1. **「土層の修正」**ウィンドウまたはサイドツールバーの**「材料」**ボタンをクリックします。
「材料セット」ウィンドウが表示されます（図 6 (P14)を参照）。



図 6: 「材料セット」ウィンドウ

注記: **「土層の修正」**ウィンドウは、描画領域でボアホールをダブルクリックするかメニューから**「土」** > **「土層の修正」**の順に選択して再度開くことができます。

湖成粘土の材料セットの作成

まず、粘土の材料セットを作成します。

1. **「材料セット」**ウィンドウの下部にある**「新規作成」**ボタンをクリックします。
   「土」ウィンドウが表示されます（図 7 (P15)を参照）。タブシートは、**「一般」**、**「構造」**、**「地下水」**、**「インターフェース」**、および**「初期」**の 5 つです。
2. **「一般」**タブシートの**「材料セット」**セクションで**「名称」**フィールドに「湖成粘土」と入力します。
3. **「土のモデル」**ドロップダウンメニューからモール・クーロンモデルを選択し、**「排水タイプ」**ドロップダウンメニューから「排水」を選択します。

   注記: 特定の土モデルが選択された理由について理解するには、『Material Models Manual』の付録 B を参照してください。
4. 表 1 (P13)に示されている材料データに従って、**「単位重量」**に単位重量を入力します。記載されていない**「間隙比」**は既定値のままにします。

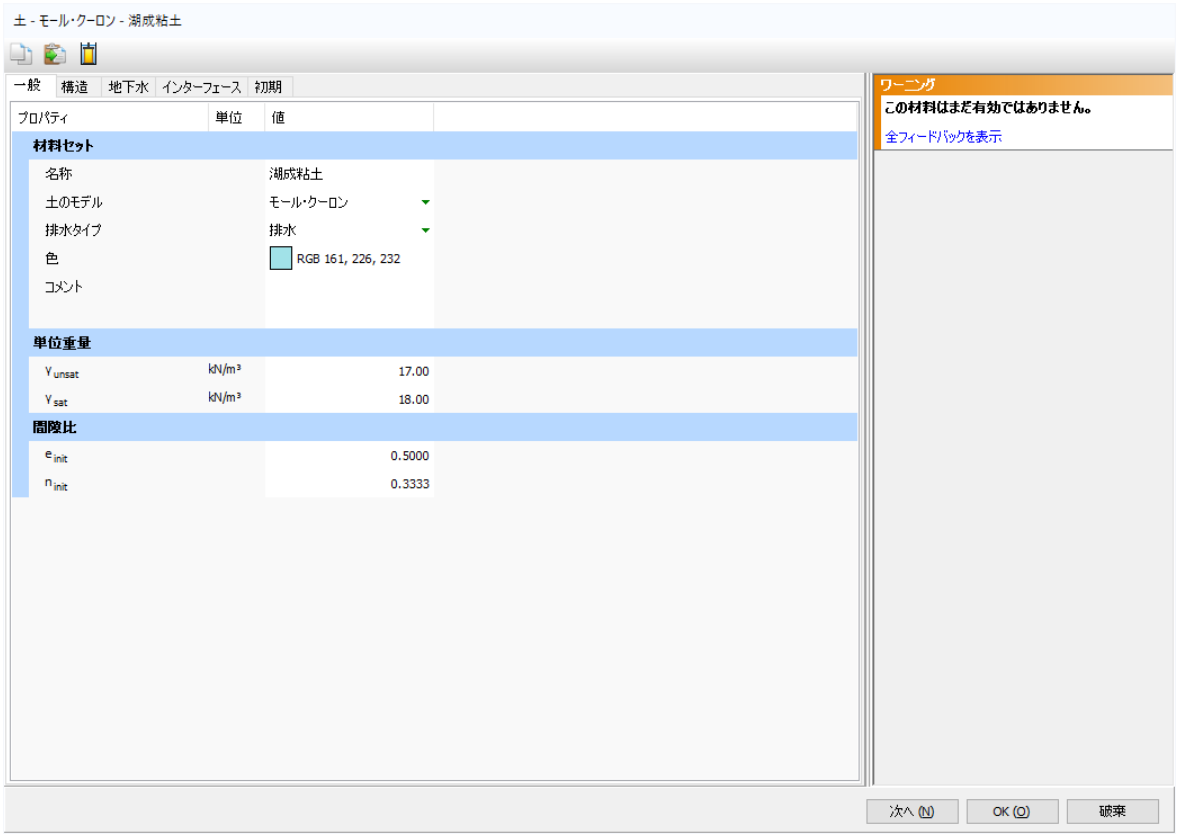


図 7: 「土とインターフェース」データセットウィンドウの「一般」タブシート

注記:

1. 図 7 (P15)に示すように、**「土」**ウィンドウには**フィードバックサイドパネル**があります。このパネルは、無効な材料データセットの定義を防止します。詳細なメッセージのリストを表示するには、「全フィードバックを表示」を選択してください。メッセージのタイプは 3 つあります。
   - **エラー:**パラメータ値またはパラメータ値の組み合わせを変更する必要があります。変更しないと、材料セットが無効になり、プロジェクトの計算がブロックされる可能性があります。
   - **ワーニング:**パラメータ値が推奨されるパラメータ値またはパラメータ範囲から逸脱している可能性があります。通常、材料セットは無効とは見なされず、プロジェクトの計算はブロックされません。ただし、選択したパラメータによって予期しない結果になる可能性があります。
   - **ヒント:**入力したパラメータは、特定の状況またはオプションで定義することができます。
2. **フィードバックサイドパネル**は、材料や構造を定義した時点で表示されます。わかりやすくするために、このパネルについてはチュートリアルの一部の例でのみ示します。

5. **「次へ」**ボタンをクリックするか**「構造」**タブをクリックして、構造パラメータの入力を進めます。**「構造」**タブシートに表示されるパラメータは、選択した材料モデル（この場合はモール・クーロンモデル）によって異なります。モール・クーロンモデルの基本パラメータは 5 つだけです（E'_{ref}、ν、c'_{ref}、φ'、ψ）。

注記: さまざまな土モデルとそれに対応するパラメータの詳細については、『Material Models Manual』を参照してください。

6. 表 1 (P13)に従って、**「湖成粘土」**のモデルパラメータ E'_{ref}、ν、c'_{ref}、φ'、ψ を**「構造」**タブシートの対応するボックスに入力します。

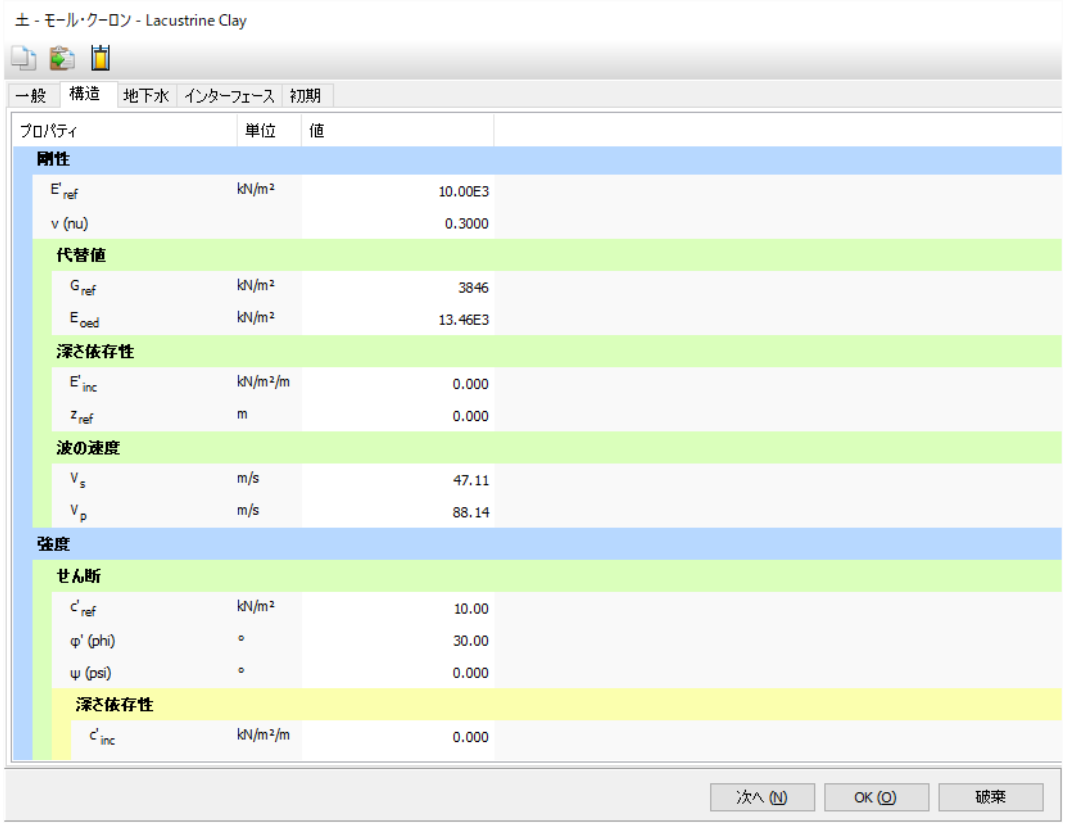


図 8: 「土とインターフェース」データセットウィンドウの「構造」タブシート

7. この演習では、圧密については考慮しません。そのため、土の透水係数は結果に影響せず、**「地下水」**ウィンドウはスキップすることができます。
8. 形状モデルにインターフェースは含まれていないため、**「インターフェース」**タブはスキップすることができます。
9. **「初期」**タブをクリックし、**「K0 の決定」**が「自動」に設定されていることを確認します。この場合、K_0 は、Jaky の式「$K_0 = 1 - \sin\varphi$」から決定されます。
10. **「OK」**ボタンをクリックして現在の材料データセットの入力を確定します。
作成したデータセットが**「材料セット」**ウィンドウのツリービューに表示されます。
11. 設定した**「湖成粘土」**を**「材料セット」**ウィンドウからドラッグし（選択してマウスの左ボタンを押しながら移動）、**「土層の修正」**ウィンドウの左側にある土柱状図のグラフにドロップします（マウスの左ボタンを放します）。

注記: カーソルの形状の変化で、データセットをドロップできるかどうかがわかります。データセットを土層に正しく割り当てると、層の色が変わります。

建物の材料セットの作成

建物は、線形弾性の非多孔性材料によってモデル化されます。このデータセットを定義するには、次の手順に従います。

1. **「材料セット」**ウィンドウで**「新規」**ボタンをクリックします。
2. **「一般」**タブシートの**「材料セット」**セクションで**「名称」**フィールドに「建物」と入力します。

3. 図 9 (P17)に示すように、**「材料モデル」**ドロップダウンメニューから線形弾性を選択し、**「排水タイプ」**ドロップダウンメニューから「非多孔性」を選択します。



図 9: 排水タイプ- 「土とインターフェース」データセットウィンドウの「一般」タブシート

4. 表 1 (P13)に示されている材料データに従って、**「一般プロパティ」**に単位重量を入力します。この単位重量は、永久荷重と変動荷重の合計に対応します。
5. **「次へ」**ボタンをクリックするか**「構造」**タブをクリックして、モデルパラメータの入力を進めます。線形弾性モデルの基本パラメータは 2 つだけです（E_{ref}、ν）。表 1 (P13)に従って、それらを対応するボックスに入力します。
6. **「OK」**ボタンをクリックして現在の材料データセットの入力を確定します。
   作成したデータセットが**「材料セット」**ウィンドウのツリービューに表示されますが、直接は使用されません。
7. **「OK」**ボタンをクリックして**「材料セット」**ウィンドウを閉じます。
8. **「OK」**ボタンをクリックして**「土層の修正」**ウィンドウを閉じます。

注記: PLAXIS 3D では、プロジェクトデータベースと材料セットのグローバルデータベースが区別されます。データセットは、グローバルデータベースを使用してプロジェクト間で交換することができます。グローバルデータベースは、**「全体を表示」**ボタンをクリックすると**「材料セット」**ウィンドウに表示することができます。

1.1.4 構造要素の定義

プログラムの**「構造物」モード**で構造要素を作成します。

建物をモデル化するには、次の手順に従います。

1. **「構造物」**タブをクリックして、**「構造物」モード**で構造要素の入力を進めます。
2. **「サーフェースを作成」**ボタン をクリックします。座標（0 0 0）にカーソルを置きます。カーソル位置インジケータに表示されるカーソル位置を確認してください。
   クリックすると、サーフェースの最初のサーフェース点が定義されます。
3. 座標（0 18 0）、（18 18 0）、（18 0 0）の他の 3 つの点をそれぞれ定義します。サーフェースの定義を確定するには、右クリックするか＜ Esc ＞キーを押します。
   作成したサーフェースは選択されたままで、赤で表示されることに注意してください。
4. **「オブジェクトの押し出し」**ボタン をクリックして、サーフェースから 3 次元ボリュームを作成します。
   「押し出し」ウィンドウが表示されます（図 10 (P18)を参照）。



図 10: 「押し出し」ウィンドウ

5. z の値を-2 に変更し、**「適用」**をクリックしてウィンドウを閉じます。
6. **「選択」**ボタン をクリックします。
7. 作成したサーフェースを右クリックし、表示されるメニューから**「削除」**を選択します。
   これにより、サーフェースは削除されますが、建物のボリュームは保持されます。

これで、建物のボリュームと対応する材料データセットが作成されました。

1.1.5 メッシュの生成

モデルが完成しました。PLAXIS 3D では全自動のメッシュ生成処理を利用することができ、該当する場合は、形状がボリューム要素と互換性のある構造要素に分けられます。メッシュ生成では形状モデル内の幾何エンティティの位置が十分に考慮されるため、有限要素メッシュ内で層、荷重、および構造物の正確な位置が考慮されます。建物のボリュームでは局所的な細分化が考慮されます。

注記:

- 既定では、**「要素分割」**は**「普通」**に設定されています。**「要素分割」**設定は**「メッシュオプション」**ウィンドウで変更することができます。また、メッシュをグローバルまたはローカルで細かくするオ

プションを利用することもできます（『Reference Manual PLAXIS 3D』のメッシュの生成に関する説明を参照）。
- 形状を変更した場合は、有限要素メッシュを再生成する必要があります。
- 自動生成されたメッシュは、目的の計算に最適ではない可能性があります。したがって、ユーザーがメッシュを確認し、必要に応じて改良することをお勧めします。

メッシュを生成するには、次の手順に従います。

1. 対応するタブをクリックして**「メッシュ」モード**に進みます。
2. サイドツールバーの**「メッシュを細かく」**ボタンをクリックし、作成した建物のボリュームをクリックしてメッシュを局所的に細かくします。
色が緑になります（図 11 (P19)を参照）。

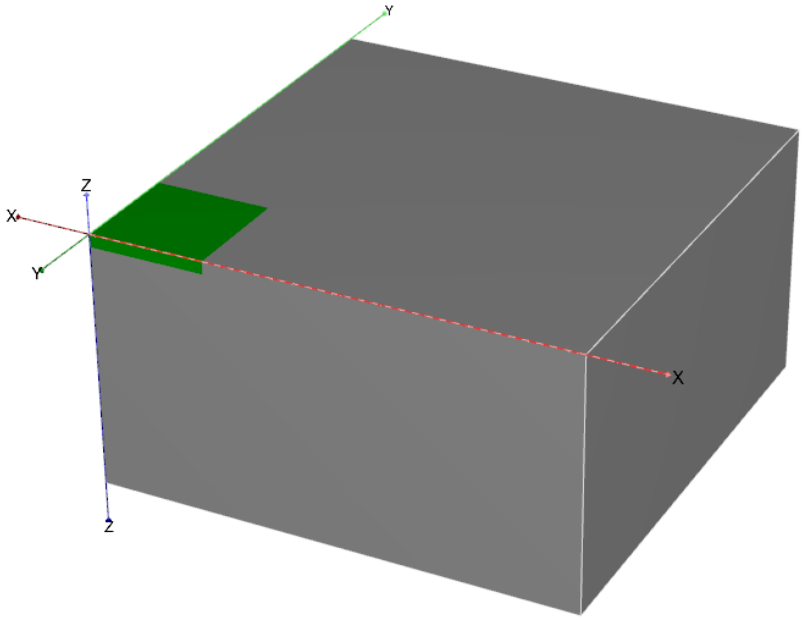


図 11: モデルの局所的な細分化

3. サイドツールバーの**「メッシュ生成」**ボタンをクリックするか、メニューから**「メッシュ」**>**「メッシュ生成」**の順に選択します。
4. 図 12 (P20)に示すように、**「メッシュオプション」**ウィンドウで**「要素分割」**を**「粗い」**に変更します。

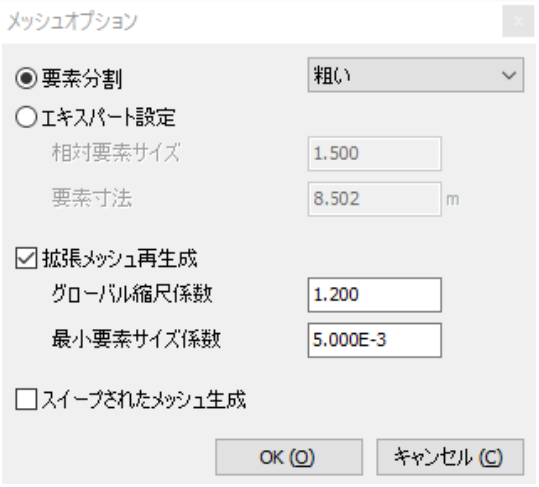


図 12: 「メッシュオプション」ウィンドウ

5. **「OK」**をクリックしてメッシュ生成を開始します。
6. メッシュが生成されたら、**「メッシュ表示」**ボタンをクリックします。
   生成されたメッシュを表示する新しいウィンドウが開きます（図 13 (P20)を参照）。

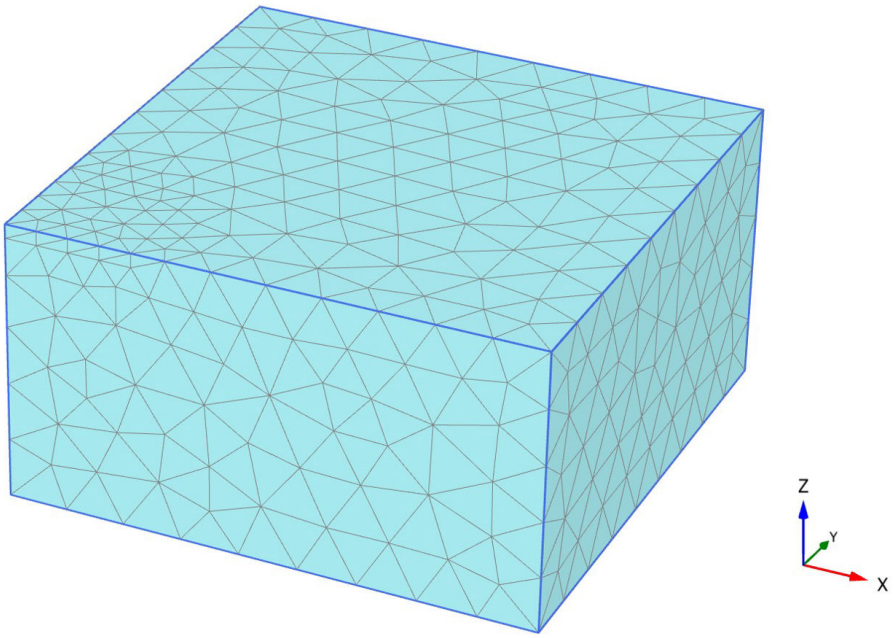


図 13: 「出力」ウィンドウの生成されたメッシュ

7. **「閉じる」**タブをクリックして出力プログラムを閉じ、入力プログラムの**「メッシュ」モード**に戻ります。

1.1.6 計算の定義と実行

メッシュが生成されると、有限要素モデルが完成します。次に、計算フェーズを定義する必要があります。

初期フェーズ

初期フェーズでは、常に初期条件を生成します。一般に、初期条件は初期形状構成と初期応力状態、つまり有効応力、間隙水圧、および状態パラメータ（該当する場合）で構成されます。初期水位は**「土層の修正」**ウィンドウですでに入力しています。この水位が初期有効応力状態の計算で考慮されます。したがって、**「フロー条件」モード**は必要ありません。

このチュートリアルでは、**「初期フェーズ」**のプロパティについて説明します。チュートリアルのこのパートでは、定義するオプションの概要を示し、パラメータには既定値を使用しています。

1. **「段階施工」モード**をクリックして 計算プロセスの定義に進みます。

   新しいプロジェクトを定義すると、「初期フェーズ」という名前の最初の計算フェーズ（図 14 (P21)を参照）が自動的に作成され、**「フェーズエクスプローラー」**で選択されます。

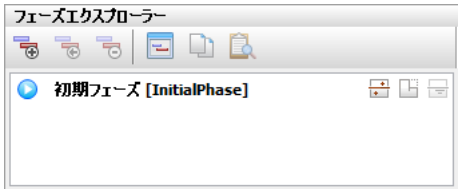


図 14: フェーズエクスプローラー

   形状内に存在するすべての構造要素と荷重は、最初は自動的にオフになります。最初からアクティブなのは土のボリュームだけです。

2. **「フェーズエクスプローラー」**で**「フェーズの編集」**ボタンをクリックするか、フェーズをダブルクリックします。

   図 15 (P22)に示すような**「フェーズ」**ウィンドウが表示されます。

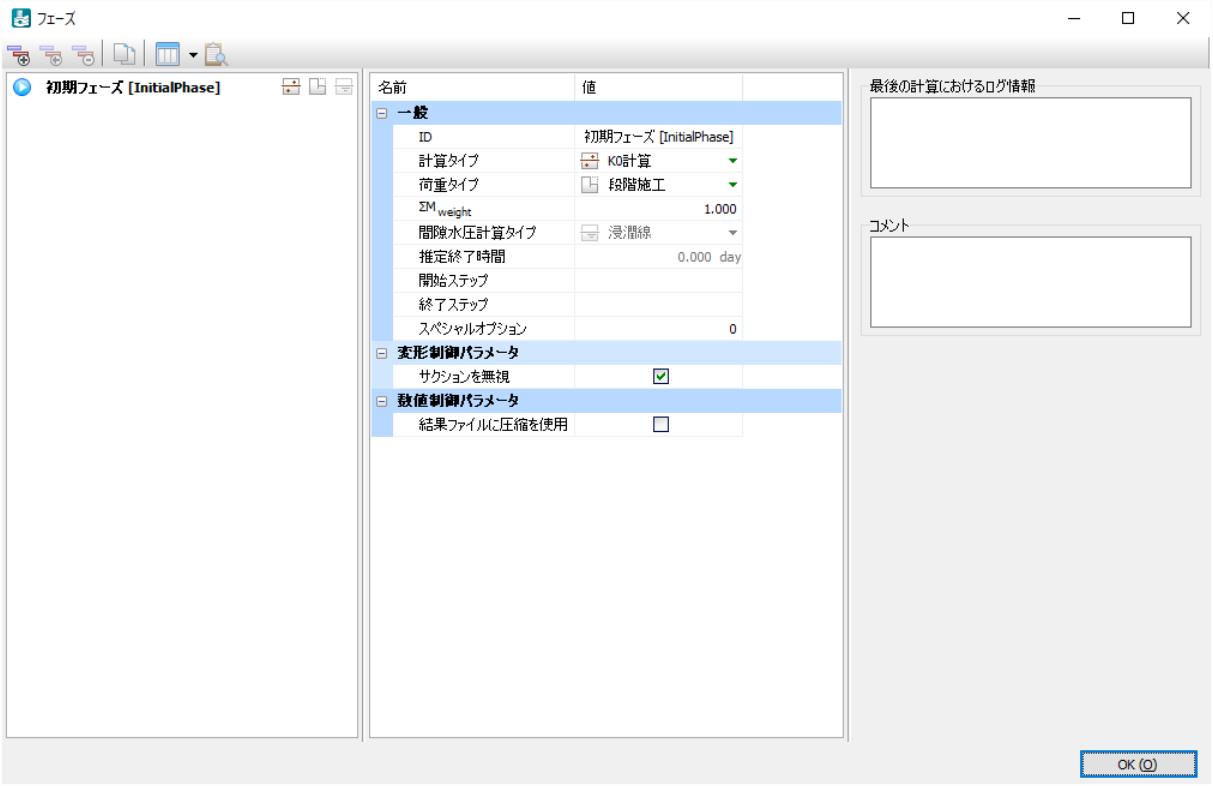


図 15: 「初期フェーズ」の「フェーズ」ウィンドウ

このチュートリアルレッスンでは、初期フェーズのプロパティについて説明します。パラメータの既定値を使用しますが、定義するオプションの概要を次に示します。

	**「フェーズ」**ウィンドウの**「一般」**サブツリーでは、**「計算タイプ」**として「K0 計算」が既定で選択されています。このプロジェクトでは、このオプションを使用して初期応力を生成します。
	**「荷重タイプ」**として**「段階施工」**オプションが選択されています。**「K0 計算」**では、このオプションのみになります。
	**「間隙水圧計算タイプ」**として「浸潤線」オプションが既定で選択されています。

注記: **「K0 計算」**は、水平の地面と水平の浸潤線（該当する場合）を持つ水平成層形状にのみ使用できます。**「K0 計算」**の詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』の解析のタイプに関する説明を参照してください。

3. このチュートリアルでは、**「フェーズ」**ウィンドウのその他のパラメータについても既定のオプションを使用します。
4. **「OK」**をクリックして**「フェーズ」**ウィンドウを閉じます。
5. **「モデルエクスプローラー」**で**「モデル条件」**サブツリーを展開します。
6. **「水」**サブツリーを展開します。
   水位は、**「土層の修正」**ウィンドウでボアホールに割り当てた「水頭」の値に従って生成される**「GlobalWaterLevel: BoreholeWaterLevel_1」**に自動的に割り当てられます。
7. プロジェクトのすべての土のボリュームがアクティブであり、それらに割り当てられた材料が**「湖成粘土」**であることを確認します。

フェーズ 1:構築段階

初期条件の定義後、建物の構築をモデル化することができます。これは別の計算フェーズで行うため、次のようにして追加する必要があります。

1. **「フェーズエクスプローラー」**で**「フェーズを追加」**ボタン をクリックします。
「Phase_1」という名前の新しいフェーズが**「フェーズエクスプローラー」**に追加されます（図 16 (P23)を参照）。

注記: 計算フェーズは、**「フェーズエクスプローラー」**または**「フェーズ」**ウィンドウの**「追加」**、**「挿入」**、**「削除」**ボタンを使用して追加、挿入、削除することができます。

2. **「Phase_1」**をダブルクリックして**「フェーズ」**ウィンドウを開きます。
3. **「一般」**サブツリーの**「ID」**ボックスに、新しいフェーズの適切な名前を必要に応じて入力します（例:「Building」）。
4. 現在のフェーズは、初期応力状態を含む**「初期フェーズ」**から始まります。このフェーズでは、既定のオプションと割り当てられた値はそのままでかまいません。

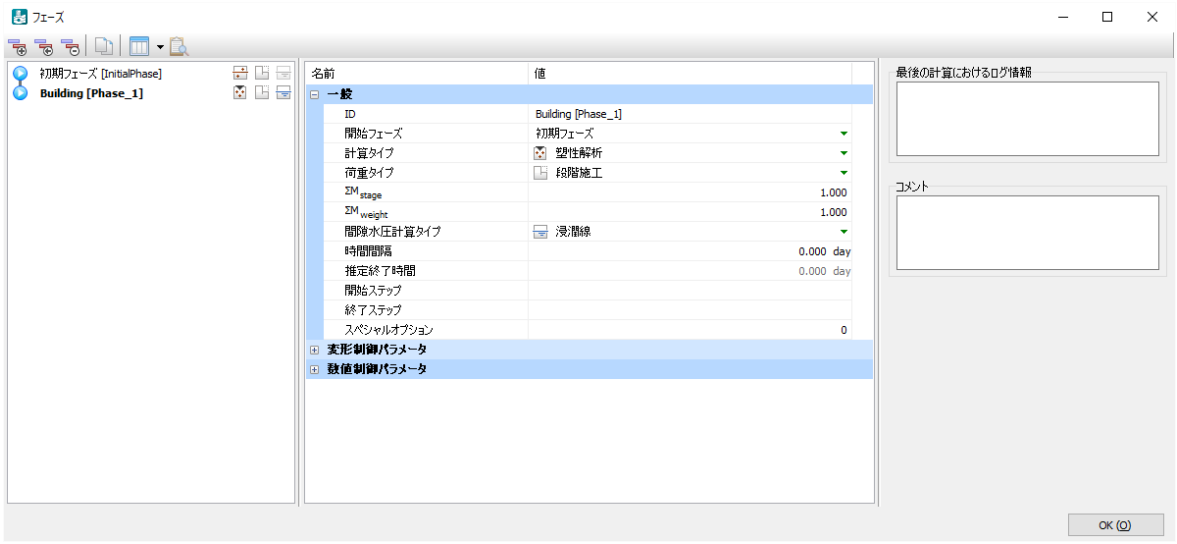


図 16: 「Building」フェーズの「フェーズ」ウィンドウ

5. **「OK」**をクリックして**「フェーズ」**ウィンドウを閉じます。
6. 前に作成した建物のボリュームを右クリックします。メニューから**「Soil_1_Soil_2_1」** > **「材料を設定」** > **「建物」**の順に選択します。
これで、建物のボリュームに建物のデータセットが割り当てられました。

計算の実行

すべての計算フェーズ（このケースでは 2 つ）が計算用に青色の矢印でマークされています。実行順序は**「開始フェーズ」**パラメータによって制御されます。

1. **「計算」**ボタンをクリックしてプロジェクトを計算します。曲線描画のための節点と応力点が選択されていないという警告は無視します。
計算の実行中に、実際の計算フェーズの進行状況に関する情報を示すウィンドウが表示されます（図 17 (P24)を参照）。



図 17: 計算の進行状況を表示する「アクティブタスク」ウィンドウ

情報は継続的に更新され、計算の進行状況、現在のステップ番号、現在の反復計算の全体エラー、現在の計算ステップの塑性点数などが表示されます。計算の実行には数秒かかります。計算が終了するとウィンドウが閉じて、メインウィンドウに戻ります。

2. **「フェーズエクスプローラー」**のフェーズリストが更新されます。正常に計算されたフェーズは、緑の円にチェックマークが付いたアイコンで示されます。
3. 結果を表示する前に、「保存」ボタンをクリックしてプロジェクトを保存します。

1.1.7 計算結果の表示

計算が完了したら、結果を**「出力」**プログラムに表示することができます。**「出力」**プログラムで、3 次元モデル全体および横断面や構造要素における変位と応力を表示することができます。計算結果を表形式で表示することもできます。

現在の結果を表示するには、次の手順に従います。

1. **「フェーズエクスプローラー」**ツリーで最後の計算フェーズ（**「Building」**）を選択します。
2. サイドツールバーの**「計算結果の表示」**ボタンをクリックして**「出力」**プログラムを開きます。**「出力」**プログラムには、既定では、選択した計算フェーズの終了時の 3 次元の変形図が表示されます。変形がはっきりと見えるようにスケーリングされます。
3. メニューから**「変形」** > **「全変位」** > **「|u|」**の順に選択します。

図 18 (P25)に、全変位のコンター図を示します。凡例に色の境界の変位値が表示されます。凡例が表示されない場合は、メニューから**「表示」** > **「凡例」**の順に選択すると表示されます。

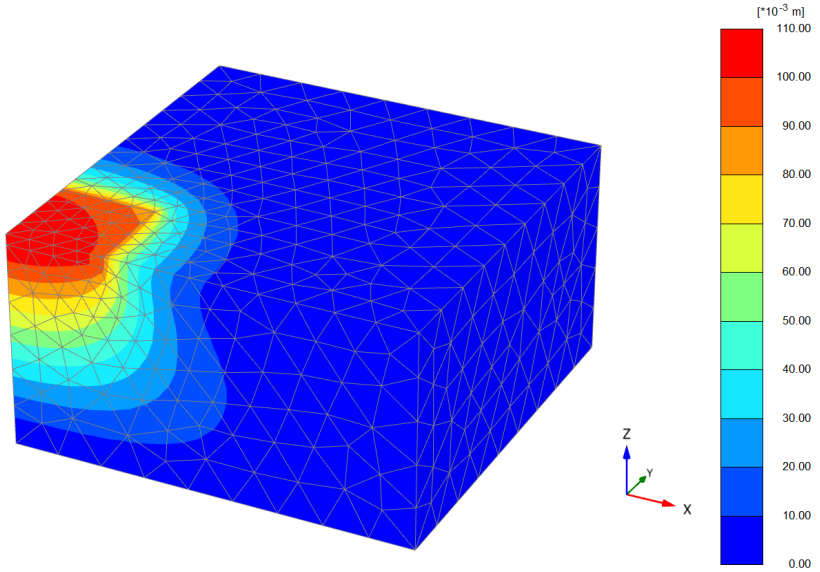


図 18: 最後のフェーズの終了時の全変位のコンター図

4. **「出力」**ウィンドウの**「アイソサーフェース」**ボタン をクリックして、同じ変位の領域を表示します。

注記:

- **「変形」**メニューでは、**「全変位」**に加えて**「変位増分」**と**「フェーズ変位」**を表示することができます。
  - 変位増分は、1 つの計算ステップ（この場合は最終ステップ）内で発生した変位です。変位増分は、破壊のメカニズムの視覚化に役立ちます。
  - フェーズ変位は、1 つの計算フェーズ（この場合は最後のフェーズ）内で発生した変位です。フェーズ変位は、フェーズの開始前に変位をゼロにリセットせずに、単一の施工フェーズの影響を調査するために使用できます。

1.2 ケース B:ラフト基礎

このケースでは、地下階が構造要素で構成されるようにモデルを修正します。これにより、基礎の断面力の計算が可能になります。

ラフト基礎は、コンクリートの梁で補強された厚さ 50 cm のコンクリート床で構成されます。地下階の壁は厚さ 30 cm のコンクリートで構成されます。上層階の荷重は、柱と地下壁によって床スラブに伝達されます。柱にかかる荷重は 11650 kN で、壁は 385 kN/m のライン荷重を伝達します（次の図 19 (P26)を参照）。

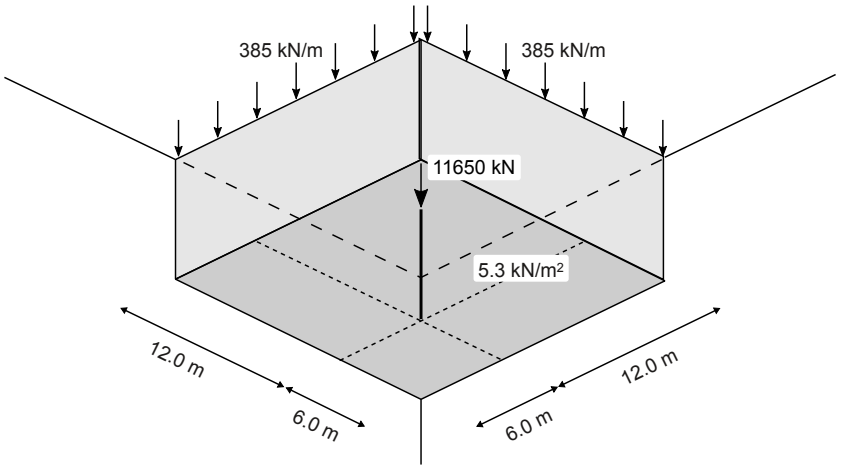


図 19: 地下階の形状

さらに、床スラブには 5.3 kN/m^2 の分布荷重が載荷されます。深くなるほど粘土の剛性が増加するように、粘土層の特性を修正します。

目的

- プロジェクトを別の名前で保存する。
- 既存のデータセットを修正する。
- 深くなるほど増加する土の剛性を定義する。
- 板をモデル化し、板の材料データセットを定義する。
- 梁をモデル化し、梁の材料データセットを定義する。
- ポイント荷重を割り当てる。
- ライン荷重を割り当てる。
- サーフェースに分布荷重を割り当てる。
- フェーズを削除する。
- 土のボリュームを有効化／無効化する。
- 構造要素を有効化／無効化する。
- 荷重を有効化する。
- 出力を拡大する。
- 出力で横断面を描画する。
- 構造出力を表示する。

1.2.1 新しいプロジェクトの作成

この演習では前の演習と同じ形状を使用しますが、追加の要素を使用して基礎をモデル化します。前のプロジェクトから開始し、別の名前で保存して変更することができます。これを行うには、以降の手順に従ってください。

1. 入力プログラムのアイコンをダブルクリックして PLAXIS 3D を起動します。

「クイックスタート」ダイアログボックスが表示されます。
2. 「最近使ったプロジェクト」のリストで、ケース A のプロジェクトを選択します。
前のプロジェクトが開きます。
3. **「ファイル」** > **「名前を付けてプロジェクトを保存」**の順に選択して、プロジェクトを別の名前で保存します（例:「Tutorial 1b」）。

1.2.2 材料データセットの作成と割り当て

粘土層の材料セットはすでに定義してあります。この材料セットを深さとともに増加する土の剛性を考慮するように修正するには、次の手順に従います。

1. サイドツールバーの**「材料」**ボタンをクリックします。
「材料セット」ウィンドウが表示されます。
2. **「材料タイプ」**として**「土とインターフェース」**オプションが選択されていることを確認します。
3. **「湖成粘土」**材料セットを選択し、**「編集」**ボタンをクリックします。
4. **「構造」**タブシートで、土の剛性 E'_{ref} を 5000 kN/m^2 に変更します。
5. **「深さ依存性」**の剛性パラメータで、E'_{inc} のボックスに値 500 を入力します。z_{ref} は既定値の 0.0 m のままにします。これで、土の剛性が z = 0.0 m で 5000 kN/m^2 となり、深さが 1 m 増すごとに 500 kN/m^2 ずつ増加するように定義されます（図 20 (P27)を参照）。

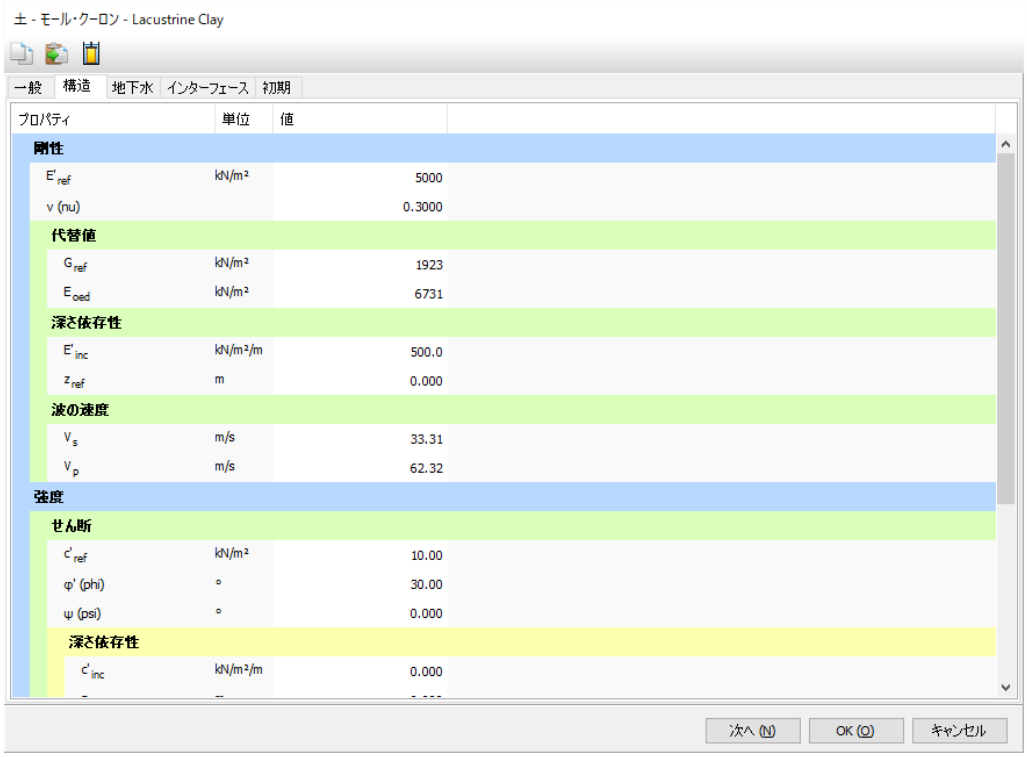


図20: 「剛性」の「深さ依存性」のパラメータ

6. **「OK」**をクリックして**「土」**ウィンドウを閉じます。
7. **「OK」**をクリックして**「材料セット」**ウィンドウを閉じます。

1.2.3 構造要素の定義

「構造物」モードに進み、地下を構成する構造要素を定義します。

次の材料特性に従って複数の材料データセットを作成します。

表 2: 地下床と地下壁の材料特性

パラメータ	名前	地下床	地下壁	単位
一般				
挙動のタイプ	タイプ	弾性	弾性	-
単位 重量	γ	15	15.5	kN/m^3
構造				
等方性	-	有効	有効	-
ヤング係数	E_1	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	kN/m^2
ポアソン比	ν_{12}	0.15	0.15	-
厚さ	d	0.5	0.3	m

注記: 単位重量を指定するときは、要素自体は領域を占有せず、土要素と重なることに注意してください。したがって、板、梁、埋め込み梁の各材料について、この重なりを補正するために材料の実際の単位重量から土の単位重量を減算する場合があります。板、梁、埋め込み梁が部分的に重なる場合、それに比例して単位重量を減らす必要があります。

表 3: 地下柱と地下梁の材料特性

パラメータ	名前	地下柱	地下梁	単位
一般				
挙動のタイプ	タイプ	弾性	弾性	-
単位重量	γ	24	6.0	kN/m^3
構造				
横断面タイプ	タイプ	ユーザー定義	ユーザー定義	-
断面積	A	0.49	0.7	m^2
断面二次モーメント	I_2	0.020	0.029	m^4
	I_3	0.020	0.058	m^4

構造				
ヤング係数	E	$3{\cdot}10^7$	$3{\cdot}10^7$	kN/m^2

地下床と地下壁の作成、地下柱と地下梁の作成

1. **「構造物」**タブをクリックして、**「構造物」モード**で構造要素の入力を進めます。
2. **「選択」**ボタンをクリックします。
3. 建物を表すボリュームを右クリックします。表示されるメニューから**「サーフェースに分解」**オプションを選択します。
4. 上面のサーフェースを選択し、< Delete >キーを押して削除します。
5. 建物を表すボリュームを選択します。**「選択エクスプローラー」**の表示の切り替えをクリックしてボリュームを非表示にします。これにより、内側のサーフェースが見えるようになります。
6. 建物の下面のサーフェースを右クリックします。表示されるメニューから**「作成」** > **「板を作成」**オプションの順に選択します。
7. モデル境界上の 2 つの垂直なサーフェースを削除します。その後、モデルの内側にある 2 つの垂直な地下のサーフェースに板を割り当てます。図 21 (P29)に、地下床と壁の板を示します。

   - < Ctrl >キーを押しながら各エンティティをクリックして複数のエンティティを選択することができます。
   - 単一選択の場合と同じ方法で複数の類似オブジェクトに特性を割り当てることができます。

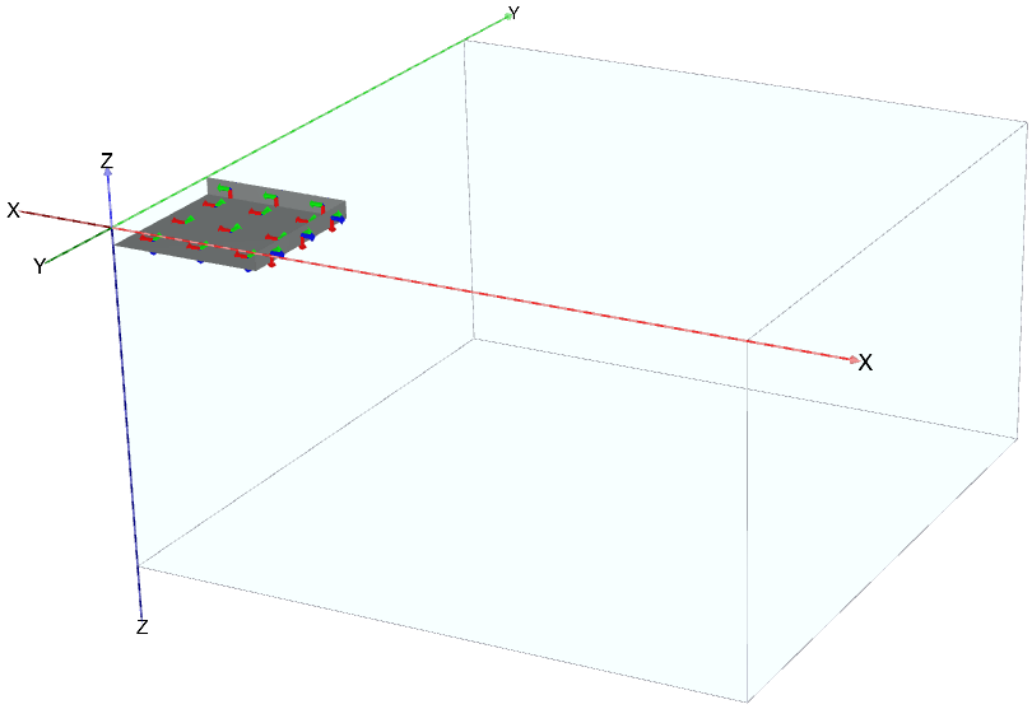


図21: プロジェクトの板の位置

注記: 図 21 (P29)に表示されているローカル軸を表示するには、メニューバーから**「オプション」** > **「ローカル軸を表示」** > **「構造物とあわせて曲面にローカル軸を表示」**の順に選択します。

8. **「材料」**ボタンをクリックして材料データベースを開き、**「材料タイプ」**を**「板」**に設定します。

9. 表 2 (P28)に従って地下床と地下壁のデータセットを作成します。
板の構造特性を定義するときは、ローカル軸と荷重方向の規則を示すウィンドウが表示されます（図 22 (P30)を参照）。

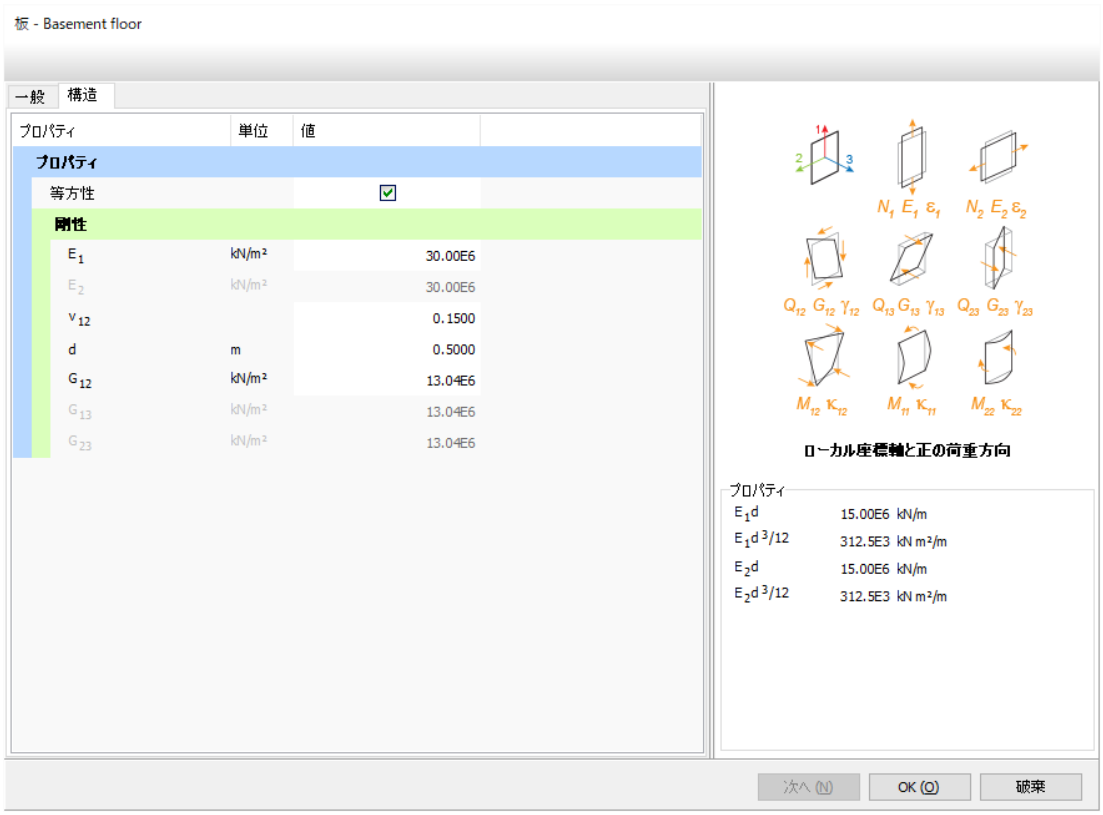


図 22: 地下床の板の構造特性

10. 地下床と地下壁に対応するデータセットをそれぞれドラッグアンドドロップします。**「材料セット」**ウィンドウを移動する必要がある場合は、ウィンドウのヘッダーをクリックしてドラッグします。材料が正しく割り当てられると、板が該当する材料の色になります。
11. **「OK」**ボタンをクリックして**「材料セット」**ウィンドウを閉じます。
12. 地下床を右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「荷重の面を作成」**オプションの順に選択します。荷重の実際の値は、**「構造物」モード**に加え、計算フェーズを定義するときにも割り当てることができます。この例では、**「段階施工」モード**の**「フェーズ定義」**で値を割り当てます。
13. サイドツールバーの**「ラインを作成」**ボタン をクリックし、表示される追加ツールから**「荷重のラインを作成」**オプション を選択します。
14. コマンド入力領域をクリックし、「`0 18 0 18 18 0 18 0 0`」と入力して< Enter >キーを押します。これで、地下壁に対するライン荷重が定義されます。定義する値は、線の 3 つの点の座標です。ライン荷重の描画を終了するには、マウスの右ボタンをクリックします。
15. サイドツールバーの**「ラインを作成」**ボタン をクリックし、表示される追加ツールから**「梁を作成」**オプション を選択します。
16. 垂直梁を使用する地下柱を作成するには、最初に（6 6 0）をクリックします。 これが垂直梁の最初の点になります。< Shift >キーを押しながらマウスカーソルを（6 6 -2）まで動かします。< Shift >キーを押している間は、カーソルが垂直方向にしか動かないことに注意してください。カーソル位置インジケータを見ると、z 座標は変化しますが、x 座標と y 座標は変化しないことがわかります。（6 6 -2）をクリックして梁の 2 番目の点を定義します。描画を終了するには、マウスの右ボタンをクリックします。

17. 地下梁として、(0 6 -2) と (18 6 -2) および (6 0 -2) と (6 18 -2) の間に水平梁を作成します。

注記: 既定のカーソル位置は z=0 です。垂直方向に移動するには、< Shift >キーを押しながらマウスを動かします。

18. **「材料」**ボタンをクリックして材料データベースを開き、**「材料タイプ」**を**「梁」**に設定します。
19. 表 3 (P28)に従って水平梁のデータセットを作成します。
20. データセットを対応する梁要素にドラッグアンドドロップで割り当てます。
21. サイドツールバーの**「荷重を作成」**ボタンをクリックします。
22. 表示される追加ツールから**「荷重のポイントを作成」**オプションを選択します。(6 6 0) をクリックして、垂直梁の上部の点荷重を追加します。

1.2.4 メッシュの生成

メッシュを生成するには、次の手順に従います。

1. 対応するタブをクリックして**「メッシュ」モード**に進みます。
2. **「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。**「要素分割」**は**「粗い」**のままにします。
3. **「メッシュ表示」**ボタンをクリックし、生成されたメッシュを確認します。
4. **「閉じる」**タブをクリックして出力プログラムを閉じ、**「入力」**プログラムの**「メッシュ」モード**に戻ります。

形状が変わったため、すべての計算フェーズを再定義する必要があります。

1.2.5 計算の定義と実行

「段階施工」モードに進みます。

初期フェーズ

1. **「段階施工」**タブをクリックして計算フェーズの定義を進めます。
2. 前の例と同様に、K_0 計算を使用して初期条件を生成します。
3. 構造要素は、初期フェーズではすべて非アクティブにする必要があります。
4. 初期フェーズでは掘削は行われません。したがって、地下階のボリュームをアクティブにし、割り当てる材料を**「湖成粘土」**にする必要があります。

フェーズ 1～3:施工段階

建物の施工を 1 つの計算段階で行う代わりに、個別の計算フェーズを使用します。**フェーズ 1** で、壁と掘削の施工をモデル化します。**フェーズ 2** で、床と梁の施工をモデル化します。最後のフェーズ (**フェーズ 3**) で、荷重のアクティブ化をモデル化します。

施工段階を表すフェーズの計算タイプは、既定で**「塑性解析」**に設定されます。

フェーズ 1:掘削

1. **「フェーズ」**ウィンドウで、Phase_1 の名前を「Excavation」に変更します。
2. **「段階施工」モード**で、基礎の上の土のボリュームを選択し、**「選択エクスプローラー」** > **「BoreholeVolume_1_1」**の前にあるチェックボックスをクリックして非アクティブにします。
3. **「モデルエクスプローラー」**で地下壁に対応する板の前にあるチェックボックスをクリックしてアクティブにします。

フェーズ 2:施工

1. **「フェーズエクスプローラー」**で**「フェーズを追加」**ボタン をクリックします。新しいフェーズ（Phase_2）が追加されます。Phase_2 をダブルクリックします。
   「フェーズ」ウィンドウが表示されます。
2. **「ID」**を「Construction」と定義してフェーズの名前を変更します。フェーズの設定は既定のままにして**「フェーズ」**ウィンドウを閉じます。
3. **「モデルエクスプローラー」**で地下床に対応する板の前にあるチェックボックスをクリックしてアクティブにします。
4. **「モデルエクスプローラー」**で梁の前にあるチェックボックスをクリックして、プロジェクトのすべての梁をアクティブにします。

フェーズ 3:荷重

1. **「Construction」**フェーズに続く新しいフェーズを追加 します。名前を「Loading」に変更します。
2. **「モデルエクスプローラー」**で**「荷重の面」** の前にあるチェックボックスをクリックして、地下床に対するサーフェース荷重をアクティブにします。荷重の z 成分の値を-5.3 に設定します。これは、z 方向の負の方向に 5.3 kN/m^2 の荷重が作用することを示します。
3. **「モデルエクスプローラー」**で**「荷重のライン」**の前にあるチェックボックスをクリックして、地下壁に対するライン荷重をアクティブにします。各荷重の z 成分の値を-385 に設定します。これは、z 方向の負の方向に 385 kN/m の荷重が作用することを示します。
4. **「モデルエクスプローラー」**で**「荷重のポイント」**の前にあるチェックボックスをクリックして、地下柱に対する点荷重をアクティブにします。荷重の z 成分の値を-11650 に設定します。これは、z 方向の負の方向に 11650 kN の荷重が作用することを示します。

計算の実行

1. **「フェーズをプレビュー」**ボタンをクリックして各フェーズの設定を確認します。
2. 「計算」ボタンをクリックしてプロジェクトを計算します。曲線描画のための節点と応力点が選択されていないという警告は無視します。
3. 計算が完了したら、「保存」ボタンをクリックしてプロジェクトを保存します。

1.2.6 計算結果の表示

1. **「フェーズエクスプローラー」**で**「Construction」**フェーズを選択します。

2. **「計算結果の表示」**ボタンをクリックして「出力」プログラムを開きます。
   このフェーズの終了時の変形図が表示されます。
3. **「ステップを表示」**ドロップダウンメニューで最後のフェーズを選択し、最後のフェーズの終了時の結果に切り替えます。
4. 形状の内部の応力と変形を評価するには、**「鉛直断面」**ツールを選択します。
   形状の上面が表示され、**「横断面の設定」**ウィンドウが表示されます。変位が最も大きいのは柱の下であるため、その位置の断面に注目します。
5. **「横断面の設定」**ウィンドウで、最初の点（A）と 2 番目の点（A*）の座標として（0.0 6.0）と（75.0 6.0）をそれぞれ入力します。
6. **「OK」**をクリックします。
   鉛直断面が表示されます。断面は、通常の**「3 次元」**ビューと同じ方法で回転することができます。
7. メニューから**「変形」** > **「全変位」** > **「u_z」**の順に選択します。
   鉛直変位が表示されます（図 23 (P33)を参照）。タイトルが表示されない場合は、**「表示」**メニューからオプションを選択します。

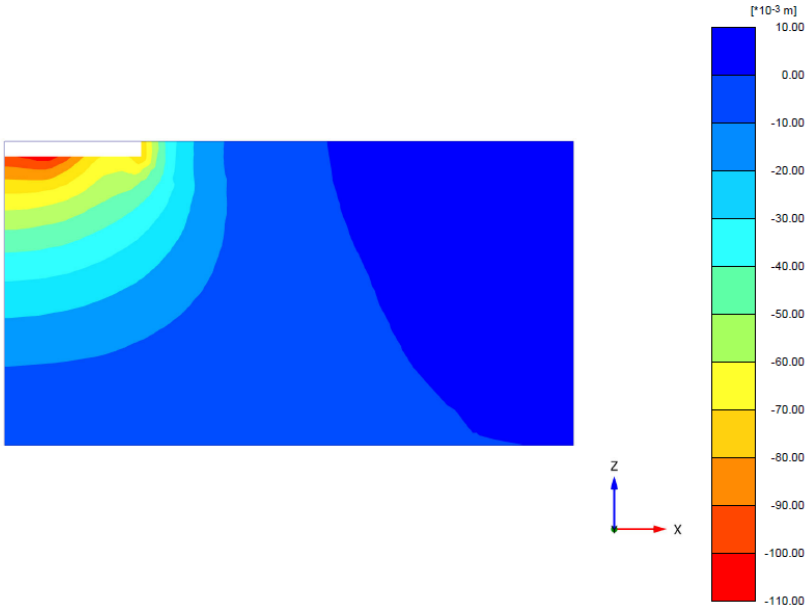


図 23: 全鉛直変位を示す断面

8. ＜ Ctrl ＞キーを押しながら＜+＞キーと＜-＞キーを押して断面を移動します。
9. **「ウィンドウ」**メニューのリストから選択して 3 次元モデルのウィンドウに戻ります。
10. 床をダブルクリックします。
    別のウィンドウで床の変位が表示されます。床の曲げモーメントを確認するには、メニューから**「力」** > **「M_11」**の順に選択します。
11. **「コンター」**ボタンをクリックします。
    曲げモーメントが表示されます（図 24 (P34)を参照）。

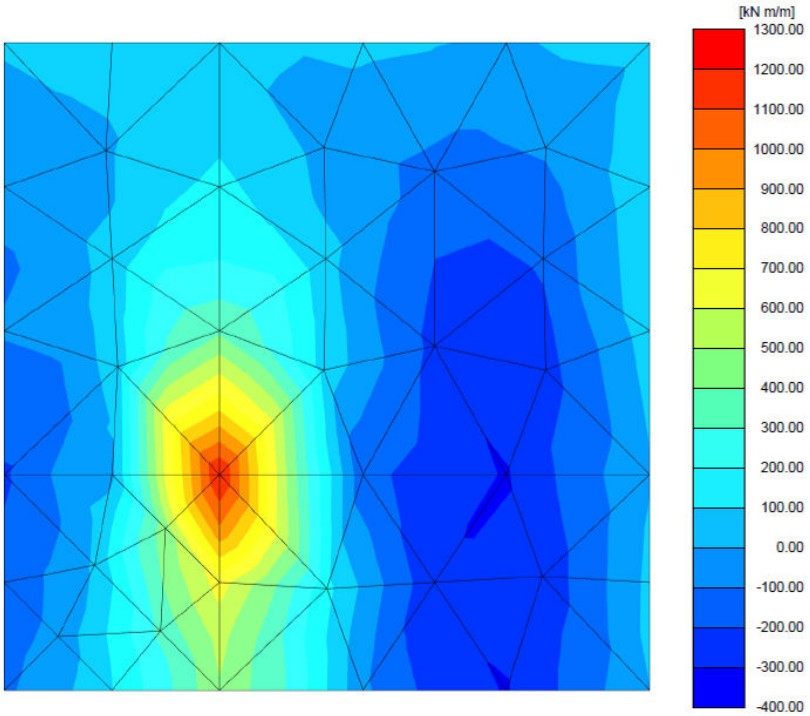


図 24: 地下床の曲げモーメント

12. 曲げモーメントを表形式で表示するには、**「ツール」** > **「表」**の順に選択します。
新しいウィンドウが開き、床の各節点の曲げモーメントの値を示す表が表示されます。

1.3 ケース C:杭ラフト基礎

ラフト基礎の変位がかなり大きいため、埋め込み梁を使用してこの変位を減らします。この埋め込み梁は、長さ 20m、直径 1.5m の埋め込み杭を表します。

目的

- 埋め込み梁を使用する。
- 埋め込み梁の材料データセットを定義する。
- エンティティの複数のコピーを作成する。

1.3.1 新しいプロジェクトの作成

この演習では、杭基礎以外については、前の演習と同じ形状を使用します。新しいモデルを作成する必要はありません。前のモデルから開始し、別の名前で保存して変更することができます。これを行うには、以降の手順に従ってください。

1. 入力プログラムのアイコンをダブルクリックして PLAXIS 3D を起動します。

   「クイックスタート」ダイアログボックスが表示されます。
2. ケース B のプロジェクトを選択します。
   プロジェクトが開きます。
3. メニューから**「ファイル」** > **「名前を付けてプロジェクトを保存」**の順に選択して、プロジェクトを別の名前で保存します（例:「Tutorial 1c」）。

1.3.2 構造要素の定義:基礎杭

基礎は杭で構成されます。それらを埋め込み梁としてモデル化します。杭用に新しい材料が必要です。材料特性は次のとおりです。

表 4: 埋め込み梁の材料特性

パラメータ	名前	杭基礎	単位
一般			
材料タイプ	タイプ	弾性	-
単位重量	γ	6.0	kN/m^3
構造			
横断面タイプ	-	定型	-
あらかじめ定義された梁タイプ	-	中実円形梁	-
直径	-	1.5	m
ヤング係数	E	$3 \cdot 10^7$	kN/m^2
軸方向の摩擦抵抗	タイプ	線形	-
埋め込み梁の上部の摩擦抵抗	$T_{skin,start,max}$	200	kN/m
埋め込み梁の下部の摩擦抵抗	$T_{skin,end,max}$	500	kN/m
先端支持力	F_{max}	$1 \cdot 10^4$	kN

基礎杭をモデル化するには、次の手順に従います。

1. **「構造物」**タブをクリックして、**「構造物」モード**で構造要素の入力を進めます。
2. サイドツールバーの**「ラインを作成」**ボタンをクリックし、表示される追加ツールから**「埋め込み梁を作成」**を選択します。
3. （66-2）から（66-22）までの杭を定義します。

4. **「材料」**ボタンをクリックして材料データベースを開き、**「材料タイプ」**を**「埋め込み梁」**に設定します。
5. 表 4 (P35)に従って、埋め込み梁のデータセットを作成します。断面積 A と断面二次モーメント I_2 および I_3 の値は、中実円形杭の直径から自動的に計算されます。**「OK」**をクリックして入力を確定します。
6. **「埋め込み梁」**のデータを描画領域の埋め込み梁にドラッグアンドドロップします。
材料セットが正常に割り当てられると、埋め込み梁の色が変わります。
7. **「OK」**ボタンをクリックして**「材料セット」**ウィンドウを閉じます。

注記:

材料セットは、描画領域または**「選択エクスプローラー」**と**「モデルエクスプローラー」**で埋め込み梁を右クリックし、表示されるメニューから**「材料を設定」**オプションで材料を選択して割り当てることもできます。

8. **「選択」**ボタンをクリックし、埋め込み梁を選択します。
9. **「配列を作成」**ボタンをクリックします。
10. **「配列を作成」**ウィンドウで、形状のオプションから**「2D, xy 平面」**を選択します。
11. 列数は 2 のままにします。列間の距離は x=12 および y=0 に設定します。
12. 行数は 2 のままにします。行間の距離は x=0 および y=12 に設定します。

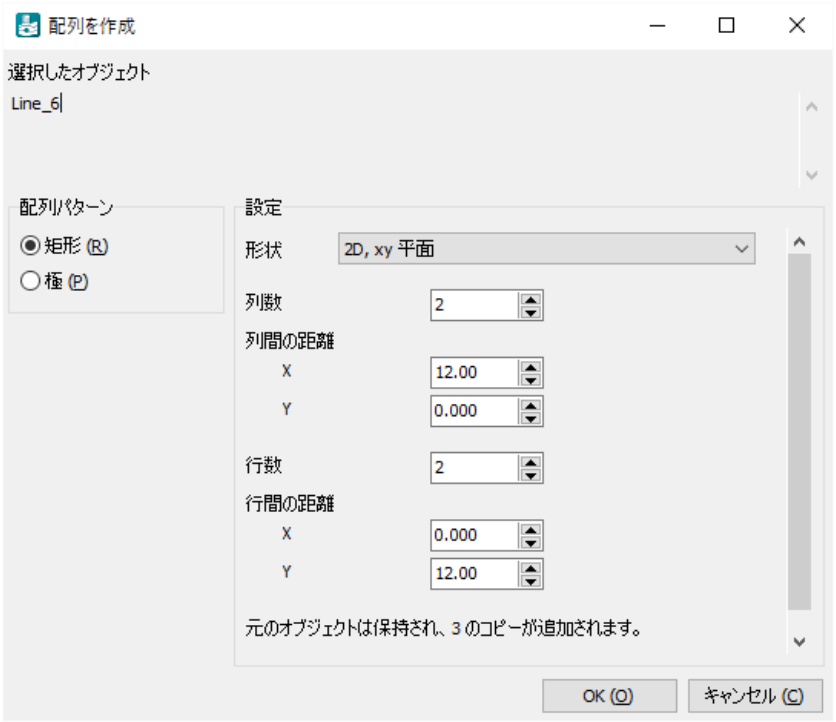


図 25: 「配列を作成」ウィンドウ

13. **「OK」**をクリックして配列を作成します。合計で 2x2=4 個の杭が作成されます。

1.3.3 メッシュの生成

形状モデルが完成したら、メッシュを生成することができます。

メッシュを生成するには、次の手順に従います。

1. **「メッシュ」モード**に進みます。
2. サイドツールバーの**「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。**「要素分割」**は**「粗い」**のままにします。
3. **「メッシュ表示」**ボタンをクリックしてメッシュを表示します。
4. **「モデルエクスプローラー」**で、**「土」**サブツリーの前にある目のボタンをクリックして土を非表示にします。
   埋め込み梁が見えるようになります（図 26 (P37)を参照）。

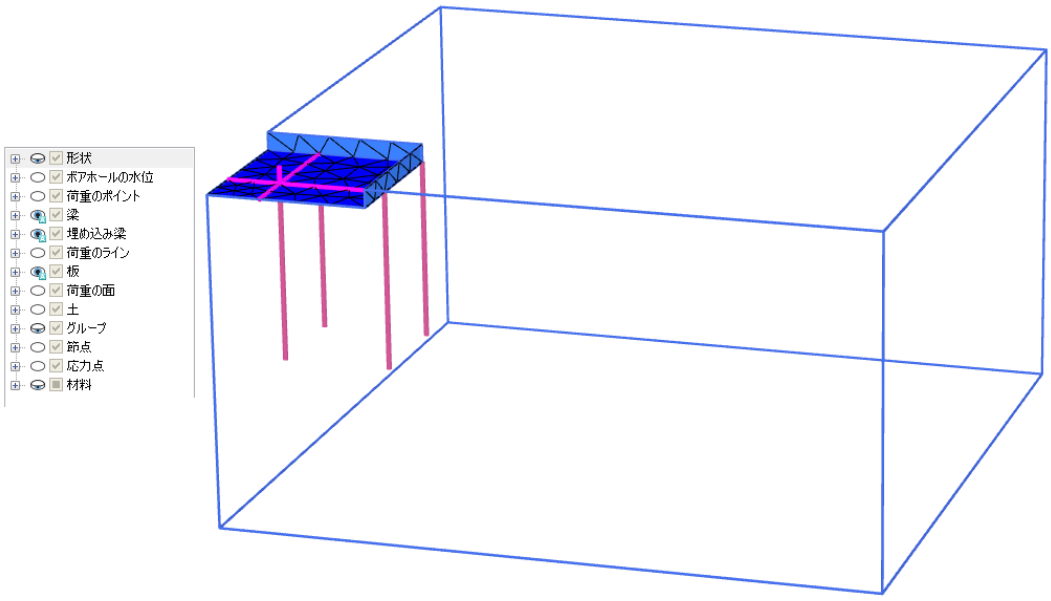


図 26: 出力でのモデルの部分的な形状

5. **「閉じる」**タブをクリックして出力プログラムを閉じ、**「入力」**プログラムの**「メッシュ」モード**に戻ります。

1.3.4 計算の定義と実行

メッシュの生成後、すべての施工段階を再定義する必要があります。実際には杭の施工は壁の施工とは別の施工段階で行われますが、このチュートリアルでは簡単にするために両方の操作を同じ施工段階で行います。すべての施工段階を再定義するには、次の手順に従います。

1. **「段階施工」モード**に切り替えます。
2. 初期フェーズの**「計算タイプ」**として**「K0 計算」**が選択されているかを確認します。すべての構造要素が非アクティブで、すべての土のボリュームがアクティブであることを確認します。
3. **「フェーズエクスプローラー」**で**「Excavation」**フェーズを選択します。
4. 地下階に相当する土が掘削されていて、地下壁がアクティブであることを確認します。
5. すべての埋め込み梁をアクティブにします。
6. **「フェーズエクスプローラー」**で**「Construction」**フェーズを選択します。すべての構造要素がアクティブであることを確認します。

7. **「フェーズエクスプローラー」**で**「Loading」**フェーズを選択します。すべての構造要素と荷重がアクティブであることを確認します。
8. 「計算」ボタンをクリックしてプロジェクトを計算します。
9. 計算が完了したら、「保存」ボタンをクリックしてプロジェクトを保存します。

1.3.5 計算結果の表示

計算が完了したら、結果を**「出力」**プログラムに表示することができます。

結果を表示するには、次の手順に従います。

1. **「Loading」**フェーズを選択し、計算結果を表示します。
2. 地下床をダブルクリックします。メニューから**「力」** > **「M_11」**の順に選択します。結果が表示されます（図 27 (P38)を参照）。

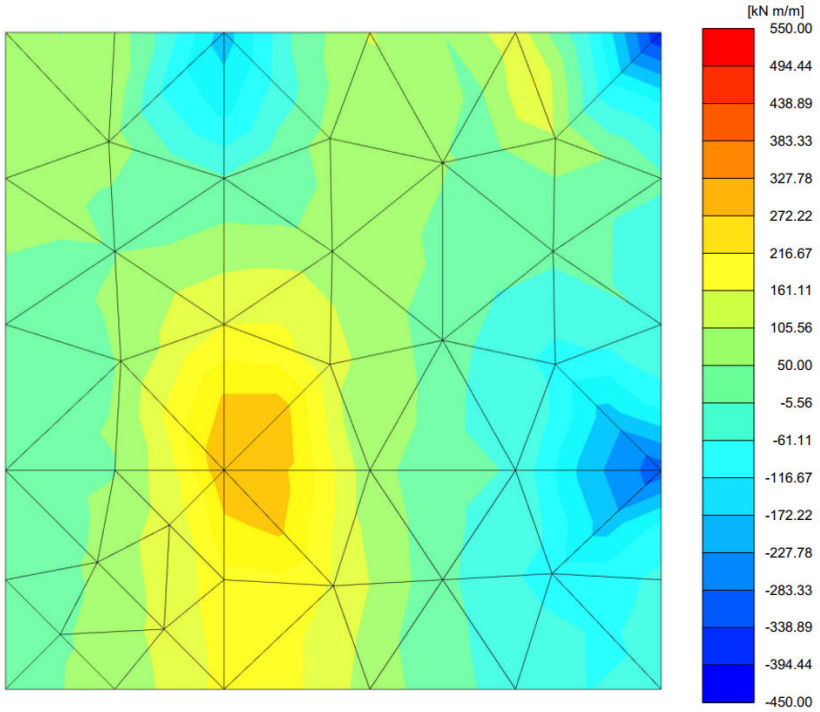


図 27: 地下床の曲げモーメント

3. 凡例をダブルクリックし、 表示される**「凡例設定」**で凡例を調整します。
   a. スケーリング:手動
   b. 最小値:-450
   c. 最大値:550
   d. 分割数:18

   注記: 目的の尺度になったら、**「凡例を固定」**で固定します。
4. 変形図に対応するビューを**「ウィンドウ」**メニューで選択します。

5. サイドツールバーの**「表示切り替え」**ボタンをクリックします。
6. 埋め込み梁を表示するには、< Shift >キーを押しながら土のボリュームをクリックして非表示にします。
7. **「構造を選択」**ボタンをクリックします。すべての埋め込み梁を表示するには、< Ctrl >キーと< Shift >キーを押しながらいずれかの杭をダブルクリックします。
8. メニューから**「力」** > **「N」**の順に選択して、埋め込み梁の軸荷重を表示します。
プロットは次のようになります。

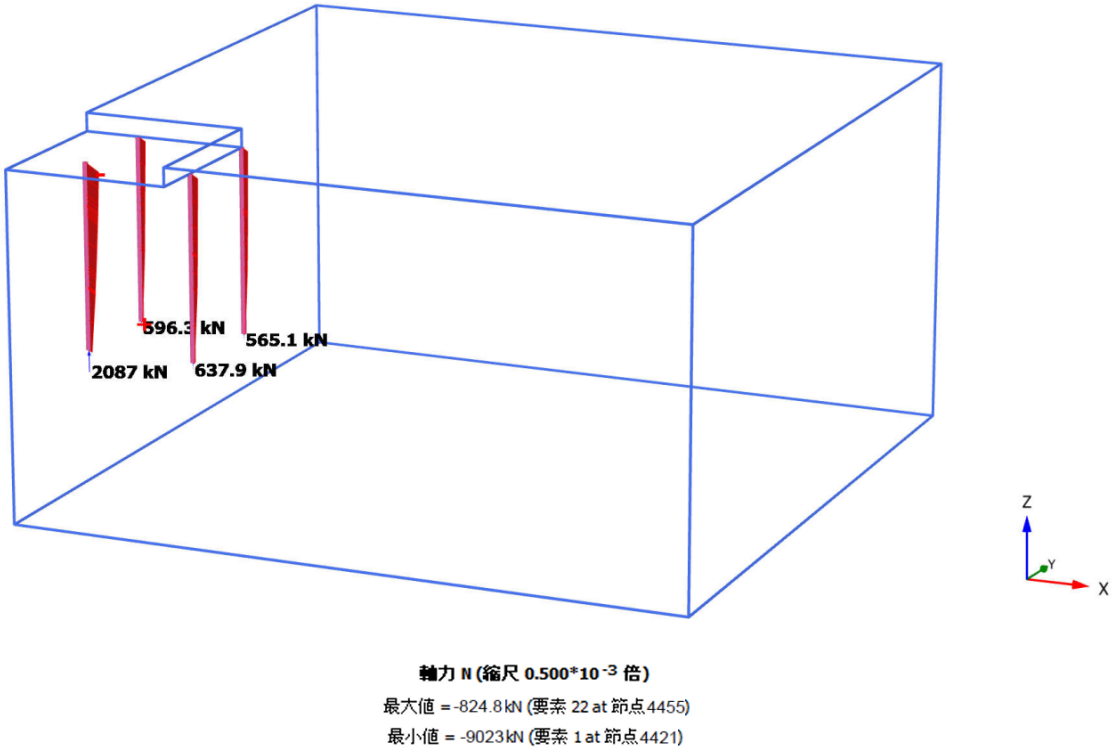


図 28: 埋め込み梁の軸力（N）

2 砂地の掘削

このチュートリアルでは、軟弱粘土層と砂層に掘削縦穴を施工する方法について説明します。縦穴は 12 ×20 m の比較的小規模な掘削で、地表面下 6.5 m の深さまで掘削します。切梁、腹起し材、およびグラウンドアンカーを使用して、縦穴が崩壊しないようにします。完全に掘削した後、縦穴の片側にサーフェース荷重を追加します。

目的

- Hardening Soil モデルを使用する
- グラウンドアンカーをモデル化する
- インターフェース機能を使用する
- 過圧密比（OCR）を定義する
- グラウンドアンカーにプレストレスを適用する
- 水理条件を変更する
- 応力-ひずみ曲線を生成するための応力点を選択する
- 塑性点を表示する

形状

この演習で提案される形状は、幅 80 m、長さ 50 m です。掘削縦穴は形状の中央に配置します。

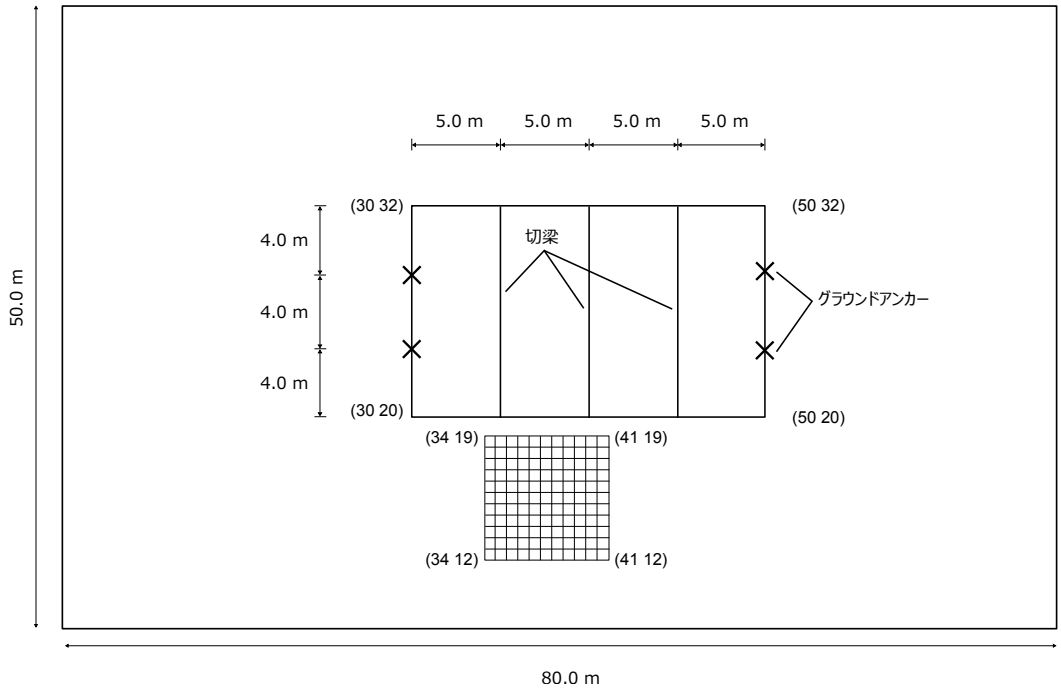


図 29: 掘削縦穴の上面図

下の図は、掘削縦穴と土層の横断面を示しています。粘土層は不透水性と見なされます。

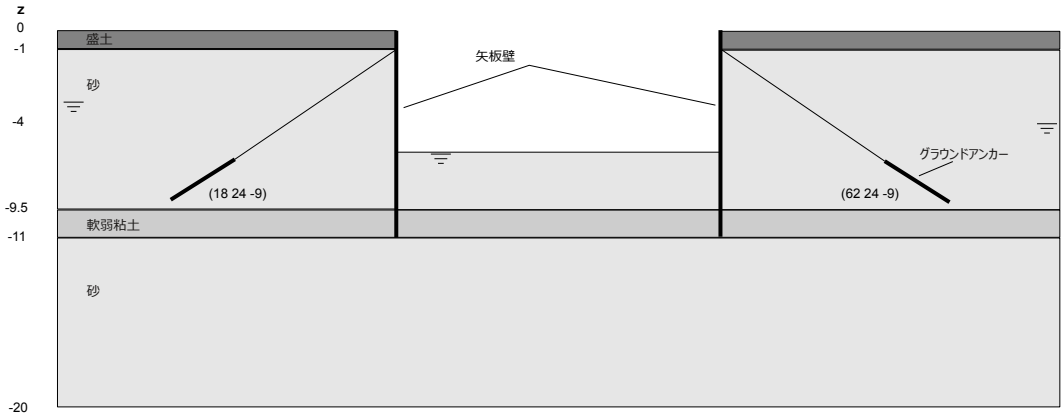


図 30: 掘削縦穴と土層の横断面

2.1 新しいプロジェクトの作成

形状モデルを作成するには、次の手順に従います。

1. 新しいプロジェクトを開始します。
2. プロジェクトに適切なタイトルを入力します。
3. 土の外形線の範囲を次のように定義します。
   a. x_{min} = 0.0、x_{max} = 80.0。
   b. y_{min} = 0.0、y_{max} = 50.0。

2.2 土の層序の定義

土層を定義するには、ボアホールを追加して材料特性を割り当てる必要があります。土層はすべて水平であるため、必要なボアホールは 1 つだけです。

1. **「ボアホールを作成」**ボタンをクリックして（0 0 0）にボアホールを作成します。
   「土層の修正」ウィンドウが表示されます。
2. 底面レベルが-1、-9.5、-11、-20 の 4 つの層を追加します。
3. ボアホール柱状図の**「水頭」**を-4 m に設定します。

2.3 材料データセットの作成と割り当て

それぞれの土層用に複数の材料を定義する必要があります。材料特性を 表 5 (P42)に示します。

表 5: 土層の材料特性

特性	名前	盛土	砂	軟弱粘土	単位
一般					
土の モデル	モデル	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	-
排水タイプ	タイプ	排水	排水	非排水 (A)	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	16.0	17.0	16.0	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	20.0	20.0	17.0	kN/m^3
構造					
CD 三軸試験の割線剛性	E_{50}^{ref}	$2.2 \cdot 10^4$	$4.3 \cdot 10^4$	$2.0 \cdot 10^3$	kN/m^2
圧密試験の接線剛性	E_{oed}^{ref}	$2.2 \cdot 10^4$	$2.2 \cdot 10^4$	$2.0 \cdot 10^3$	kN/m^2
除荷／再載荷剛性	E_{ur}^{ref}	$6.6 \cdot 10^4$	$1.29 \cdot 10^5$	$1.0 \cdot 10^4$	kN/m^2
ポアソン比	ν'_{ur}	0.2	0.2	0.2	-
剛性の応力レベル依存性の指数	m	0.5	0.5	1.0	-
粘着力	c'_{ref}	1	1	5	kN/m^2
摩擦角	φ' *(phi)*	30.0	34.0	25	°
ダイレイタンシー角	ψ*(psi)*	0.0	4.0	0.0	°
インターフェース					
強度の決定	-	手動	手動	手動	-
インターフェース低減係数	R_{inter}	0.65	0.7	0.5	-
初期					
K_0 の決定	-	自動	自動	自動	-
先行上載荷重	*POP*	0.0	0.0	0.0	-
過圧密比	*OCR*	1.0	1.0	1.5	-

1. サイドツールバーの**「材料」**ボタンをクリックします。
   「材料セット」ウィンドウが表示されます。
2. **「土とインターフェース」**材料タイプで新しいデータセットを作成します。
3. 新しいデータセットを「盛土」と指定します。
4. **「材料モデル」**ドロップダウンメニューから Hardening Soil モデルを選択します。モール・クーロンモデルとは対照的に、Hardening Soil モデルでは新規荷重と除荷／再載荷の間の剛性の違いが考慮されます。Hardening Soil モデルの詳細については、『Material Models Manual』を参照してください。

5. 表 5 (P42)に従って飽和単位重量と不飽和単位重量を定義します。
6. **「構造」**タブシートで、E_{50}^{ref}、E_{oed}^{ref}、E_{ur}^{ref}、m、c'_{ref}、φ'_{ref}、ψ、ν'_{ur} の値を入力します。
7. この演習では圧密は考慮しないため、土の透水係数は結果に影響しません。したがって、**「地下水」**タブシートは既定値のままでかまいません。
8. **「インターフェース」**タブシートの **「強度」**ボックスで**「手動」**を選択し、パラメータ R_{inter} の値として 0.65 を入力します。

   このパラメータは、次の方程式に従って、インターフェースの強度を土の強度に関連付けます。

   $c_i = R_{inter} c_{soil}$、 $\tan\varphi_i = R_{inter} \tan\varphi_i \leq \tan\varphi_{soil}$

   したがって、R_{inter} の入力値を使用すると、隣接する土中の摩擦角および粘着力と比較して、インターフェースの摩擦およびインターフェースの粘着力が低減します。

   注記:

   - **「強度」**ドロップダウンリストで**「剛体」**オプションを選択すると、インターフェースの強度特性は土と同じになります（$R_{inter} = 1.0$）。
   - R_{inter} の値が 1.0 未満の場合は、インターフェースの強度も剛性も低減します（詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D 』を参照してください）。
9. **「初期」**タブシートで、表 5 (P42)に従って OCR の値を定義します。
10. **「OK」**をクリックしてウィンドウを閉じます。
11. **「材料セット」**ウィンドウを閉じた後、**「OK」**ボタンをクリックして**「土層の修正」**ウィンドウを閉じます。
12. **「土」モード**で上の土層を右クリックします。**「Soil_1」** > **「材料を設定」** > **「盛土」**の順に選択します。
13. 同様に、y = -9.5 m から y = -11.0 m までの土層に材料**「軟弱粘土」**を割り当てます。
14. 残りの 2 つの土層に 材料**「砂」**を割り当てます。

注記: **「テンションカットオフ」**オプションは、0 kN/m^2 の値で既定で有効になります。このオプションはタブシートの**「構造」** > **「強度」** > **「引張点」**にあります。ここで**「テンションカットオフ」**の値を変更したり、オプションを完全に無効にしたりすることができます。

2.4 構造要素の定義

腹起し材と切梁、グラウンドアンカー、矢板壁、サーフェース荷重の作成について以下に説明します。

2.4.1 腹起し材と切梁

構造要素の材料特性を表 6 (P44)に示します。これらは、後の手順で材料を定義するために必要です。

表 6: 腹起し材と切梁の材料特性

特性	名前	切梁	腹起し材	単位
一般				
材料タイプ	タイプ	弾性	弾性	-
単位重量	γ	78.5	78.5	kN/m^3
構造				
横断面タイプ	タイプ	ユーザー定義	ユーザー定義	-
断面積	A	0.007367	0.008682	m^2
断面二次モーメント	I_2	$5.073 \cdot 10^{-5}$	$3.66 \cdot 10^{-4}$	m^4
	I_3	$5.073 \cdot 10^{-5}$	$1.045 \cdot 10^{-4}$	m^4
ヤング係数	E	$2.1 \cdot 10^8$	$2.1 \cdot 10^8$	kN/m^2

1. **「構造物」**タブをクリックして、**「構造物」モード**で構造要素の入力を進めます。
2. （30 20 0）、（30 32 0）、（50 32 0）、（50 20 0）の間にサーフェースを作成します。
3. サーフェースを z = -1、z = -6.5、z = -11 に押し出します。
4. 作成された最も深いボリューム（z = 0 から z = -11 までの間）を右クリックし、**「サーフェースに分解」**を選択します。
5. 上面のサーフェース（2 つのサーフェース）を削除します。
   ボリュームを分解すると余分なサーフェースが作成されます。
6. 掘削領域を非表示にします（削除しないでください）。
   「モデルエクスプローラー」と**「選択エクスプローラー」**のツリーで目のボタンを使用してモデルの一部を非表示にし、ビューを簡略化することができます。非表示のエンティティは閉じた目のアイコンで示されます。
7. **「構造を作成」**ボタンをクリックします。
8. 掘削領域を囲うように z = -1m の高さに梁（腹起し材）を作成します。＜ Shift ＞キーを押しながら、マウスカーソルを-z 方向に動かします。カーソル位置インジケータでマウスカーソルの z 座標が-1 になったらマウスを止めます。＜ Shift ＞キーを放してもカーソル位置の z 座標が変わらないことを確認してください。これは、z = -1 の xy 平面上にのみ描画できることを示します。
9. （30 20 -1）、（30 32 -1）、（50 32 -1）、（50 20 -1）、（30 20 -1）をクリックして腹起し材を描画します。マウスの右ボタンをクリックして腹起し材の描画を終了します。
10. （35 20 -1）と（35 32 -1）の間に梁（切梁）を作成します。＜ Esc ＞キーを押して切梁の定義を終了します。
11. 表 6 (P44)に従って腹起し材と切梁のデータセットを作成し、それぞれの材料を割り当てます。
12. 切梁を x = 35（現在の位置）、x = 40、x = 45 の合計 3 つの切梁にコピーします。

作成された切梁と腹起し材を図 31 (P45)に示します。

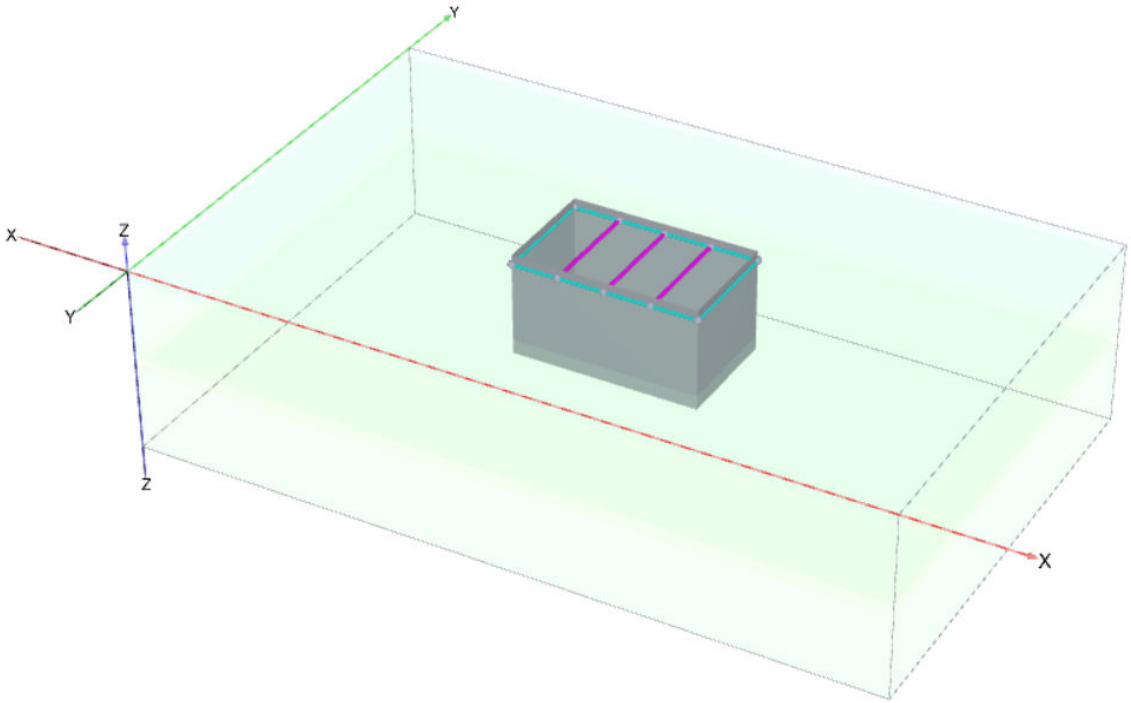


図31: 切梁と腹起し材の可視化 - 「構造物」モード

2.4.2 グラウンドアンカー

構造要素の材料特性を表 7 (P45)と表 8 (P45)に示します。これらは、後の手順で材料を定義するために必要です。

表 7: 節点間アンカーの材料特性

特性	名前	節点間アンカー	単位
材料タイプ	タイプ	弾性	-
軸剛性	EA	$6.5 \cdot 10^5$	kN

表 8: 埋め込み梁（グラウト体）の材料特性

特性	名前	グラウト	単位
一般			
材料タイプ	タイプ	弾性	-
単位重量	γ	24	kN/m^3
構造			
横断面タイプ	タイプ	定型	-

構造			
あらかじめ定義された横断面タイプ	タイプ	中実円形梁	-
直径	-	0.14	m
ヤング係数	E	$3 \cdot 10^7$	kN/m^2
軸方向の摩擦抵抗	タイプ	線形	-
埋め込み梁の上部の摩擦抵抗	$T_{skin,start,max}$	200	kN/m
埋め込み梁の下部の摩擦抵抗	$T_{skin,end,max}$	0.0	kN/m
先端支持力	F_{max}	0.0	kN

PLAXIS 3D では、次に示すように「節点間アンカー」オプションと「埋め込み梁」オプションを使用してグラウンドアンカーをモデル化することができます。

1. 最初に、「節点間アンカー」機能を使用してアンカーの非グラウト部分を作成します。構造の作成を開始するには、サイドツールバーの「ラインを作成」をクリックし、**「節点間アンカーを作成」**ボタンを選択します。
2. 最初のグラウンドアンカーの非グラウト部分を作成するには、コマンドラインをクリックして「`30 24 -1 21 24 -7`」と入力します。＜ Enter ＞キーを押し、＜ Esc ＞キーを押します。
3. 点（50 24 -1）と（59 24 -7）の間に節点間アンカーを作成します。
4. アンカーのグラウト部分は**「埋め込み梁」**オプションを使用して作成します。（21 24 -7）と（18 24 -9）および（59 24 -7）と（62 24 -9）の間に埋め込み梁を作成します。モデルエクスプローラーから「Behaviour」を「グラウト体」に設定します（詳細については『 Reference Manual PLAXIS 3D 』を参照）。
5. 埋め込み梁のデータセットと節点間アンカーのデータセットを表 7 (P45)と表 8 (P45)に従ってそれぞれ作成します。データセットを節点間アンカーと埋め込み梁に割り当てます。

   注記: プロジェクトのエンティティに割り当てられた材料セットを示す色は、選択した材料セットの「色」ボックスをクリックし、ウィンドウの**「色」**の部分から色を選択して変更することができます。
6. 残りのグラウトアンカーは、定義したグラウトアンカーをコピーして作成します。「選択」ボタンをクリックし、＜ Ctrl ＞キーを押しながら両方のグラウンドアンカーを構成するすべての要素をクリックします。
7. 「配列を作成」機能を使用して、両方のグラウンドアンカー（2 つの埋め込み梁と 2 つの節点間アンカー）を y = 24 と y = 28 の位置の合計 4 つの完全なグラウンドアンカーにコピーします。 これを行うには、配列機能の「形状」ドロップダウンメニューで y 方向オプションの 1D を選択し、列数を 2、列間の距離を 4 m と定義します。
8. グラウンドアンカーのすべての部分（合計 8 エンティティ）を選択します。すべての部分を選択し、＜ Ctrl ＞キーを押しながら、右クリックして**「グループ」**を選択します。
9. **「モデルエクスプローラー」**ツリーで、グループの前にある「+」をクリックして**「グループ」**サブツリーを展開します。
10. 「Group_1」をクリックし、名前を「`GroundAnchors`」に変更します。

注記: プロジェクトのエンティティの名前にスペースや「_」（アンダースコア）以外の特殊文字を含めることはできません。

2.4.3 矢板壁と荷重

構造要素の材料特性を次の表に示します。これらは、後の手順で材料を定義するために必要です。

表 9: 矢板壁の材料特性

パラメータ	名前	矢板壁	単位
一般			
挙動のタイプ	タイプ	弾性	-
重量	γ	2.55	kN/m^3
構造			
等方性	-	無効	-
ヤング係数	E_1	$1.46 \cdot 10^7$	kN/m^2
	E_2	$7.3 \cdot 10^5$	kN/m^2
ポアソン比	ν_{12}	0.0	-
厚さ	d	0.379	m
せん断弾性係数	G_{12}	$7.3 \cdot 10^5$	kN/m^2
	G_{13}	$1.27 \cdot 10^6$	kN/m^2
	G_{23}	$3.82 \cdot 10^5$	kN/m^2

矢板壁と対応するインターフェースを定義するには、次の手順に従います。

1.  ボリュームを分解したときに作成された 4 つの垂直なサーフェースをすべて選択します。＜ Ctrl ＞キーを押しながら右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「板を作成」**オプションの順に選択します。
2.  表 9 (P47)に従って、矢板壁（板）のデータセットを作成します。データセットを 4 つの壁に割り当てます。
3. すべてのサーフェースを選択し、マウスの右ボタンメニューのオプション（**「作成」** > **「正のインターフェースを作成／負のインターフェースを作成」**）を使用して正と負の両方のインターフェースを割り当てます。

注記: インターフェースの「正」または「負」という用語に物理的な意味はありません。サーフェースのどちらの側のインターフェースであるかの区別のみを示します。

4. 矢板壁は非等方性（2 つの方向で剛性が異なる）として定義されます。部材系軸が正しい方向（「硬い」方向と「柔らかい」方向）を指している必要があります。矢板壁では一般に垂直方向が最も硬い方向であるため、部材系軸 1 が z 方向となります。

   形状の挙動を非等方性と見なすには、**「モデルエクスプローラー」**ツリーので**「形状」** > **「サーフェース」** > **「Polygon_Volume_3_2」**の順にサブツリーを展開し、**「AxisFunction」**を「手動」、「$Axis1_z$」を「-1」に設定します。これをすべての矢板壁のサーフェースに対して行います。

   注記:

   - 1 番目の部材系軸は赤の矢印、2 番目の部材系軸は緑の矢印、3 番目の軸は青の矢印で示されます。板の部材系軸に関する詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』を参照してください。

5. 点（34 19 0）、（41 19 0）、（41 12 0）、（34 12 0）で定義されるサーフェース荷重を作成します。これで形状の定義は完了です （図 32 (P48)を参照）。

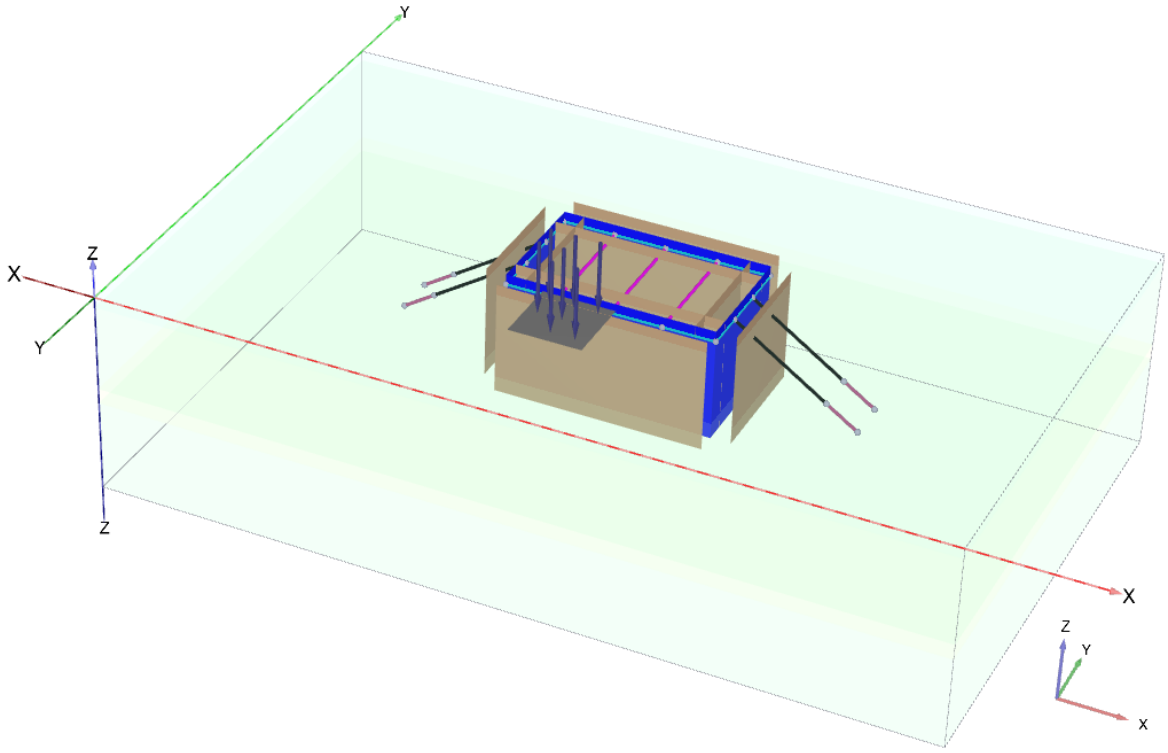


図 32: 「構造物」モード - 完成したプロジェクトの形状

2.5 メッシュの生成

1. **「メッシュ」モード**に進みます。
2. 掘削を表すサーフェースを選択します。次に、**「選択エクスプローラー」**で**「粗密係数」**の値を 0.25 に設定します。
3. 要素分割を**「粗い」**に設定します。**「拡張メッシュ再生成」**のチェックボックスをオフにします。**「メッシュ生成」**ボタンをクリックしてメッシュを生成します。

注記: メッシュ生成では**「拡張メッシュ再生成」**が自動的に使用されます。詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』を参照してください。

4. **「メッシュ表示」**ボタンをクリックしてメッシュを表示します。モデル内の土を非表示にして、埋め込み梁を表示します。
5. **「閉じる」**タブをクリックして出力プログラムを閉じ、入力プログラムの**「メッシュ」モード**に戻ります。

2.6 計算の定義

計算は 6 つのフェーズからなります。初期フェーズでは、**「K0 計算」**を使用して初期応力を生成します。次のフェーズでは、矢板壁を設置して最初の掘削を行います。その後、腹起し材と切梁を設置します。フェーズ 3 では、グラウンドアンカーを有効化してプレストレスを適用します。その後のフェーズではさらなる掘削を行います。最後のフェーズでは、縦穴の横に追加の荷重を適用します。

1. **「段階施工」**タブをクリックして計算フェーズの定義を進めます。
2. 初期フェーズはすでに導入されています。計算タイプを**「K0 計算」**のままにします。すべての土のボリュームがアクティブで、すべての構造要素が非アクティブであることを確認します。
3. 新しいフェーズ（Phase_1）を追加します。この計算フェーズでは、パラメータについては既定値を使用します。
4. 最初の掘削領域（z=0 から z=-1 まで）を無効化します。
5. **「モデルエクスプローラー」**で、すべての板とインターフェースを有効化します。それには、これらの要素の前にあるチェックボックスをクリックします。

   プロジェクト内の有効な要素は、**「モデルエクスプローラー」**において緑色のチェックマークで示されます。

注記: 有効化された要素をより明確に視覚化するために、土層を非表示にすることができます。そのためには、目的の土層を右クリックして**「隠す」**を選択します。

6. 新しいフェーズ（Phase_2）を追加します。この計算フェーズでは、パラメータについては既定値を使用します。
7. **「モデルエクスプローラー」**で、すべての梁を有効化します。
8. 新しいフェーズ（Phase_3）を追加します。この計算フェーズでは、パラメータについては既定値を使用します。
9. **「モデルエクスプローラー」**で、**「GroundAnchors」**グループを有効化します。
10. いずれかの節点間アンカーを選択します。
11. **「選択エクスプローラー」**で、節点間アンカー機能を展開します。
12. **「プレストレスの適用」**チェックボックスをクリックします。図 33 (P50)に示すように、200kN のプレストレス力を入力します。

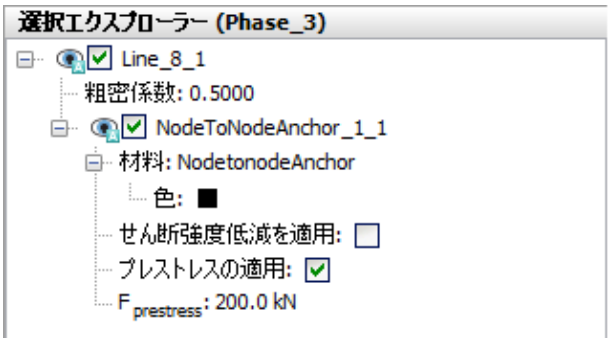


図 33: 「選択エクスプローラー」の節点間アンカー

13. 他のすべての節点間アンカーについても同じ操作を行います。
14. 別のフェーズ（Phase_4）を追加します。この計算フェーズでは、パラメータについては既定値を使用します。
15. このフェーズで掘削する土のボリューム（z=-1 から z=-6.5 までの間）を選択します。
16. **「選択エクスプローラー」**の**「WaterConditions」**機能で**「条件」**をクリックし、ドロップダウンメニューから**「乾燥」**オプションを選択します（図 34 (P50)を参照）。

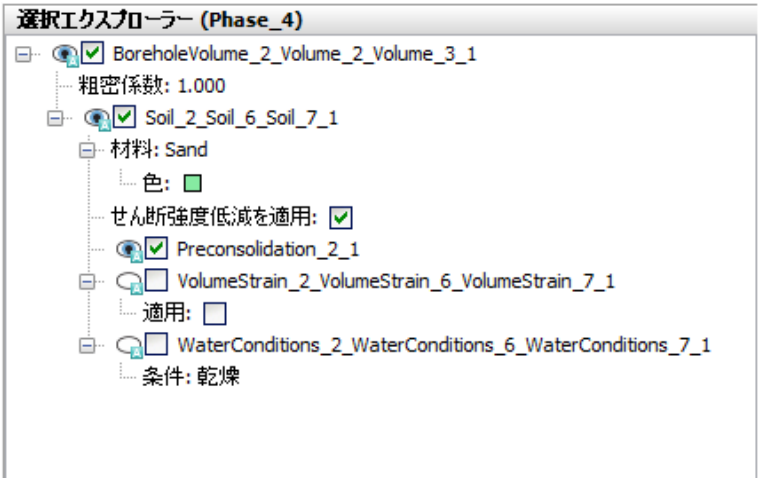


図 34: 「選択エクスプローラー」の「水理条件」

17. 掘削する領域（z = -1 から z = -6.5 までの間）を無効化します。
18. 掘削の周囲の土と板を非表示にします。
19. 掘削領域の下の土のボリューム（z = -6.5 から z = -9.5 までの間）を選択します。
20. **「選択エクスプローラー」**の**「WaterConditions」**機能で**「条件」**をクリックし、ドロップダウンメニューから**「水頭」**を選択します。「z_{ref} = -6.5 m」と入力します。
21. 掘削領域の下の軟弱粘土層を選択します。
22. 水理条件を**「補間」**に設定します。
23. この計算フェーズをプレビューします。
24. **「プレビュー」**ウィンドウの**「鉛直断面」**ボタンをクリックし、掘削の中央に線を描画して横断面を定義します。

注記: < Shift >キーを押しながら描画すると直線になります。

25. **「応力」** > **「間隙水圧」**メニューから「p_{steady}」オプションを選択します。
26. 定常間隙水圧分布の等高線を表示します。**「凡例」** > **「表示」**オプションがオンになっていることを確認します。定常間隙水圧分布を図 35 (P51)に示します。マウスのホイールボタンをスクロールしてズームインまたはズームアウトすると、見やすくなります。
27. 凡例の設定を次のように変更します。
    - スケーリング:手動
    - 最大値:0
    - 分割数:18

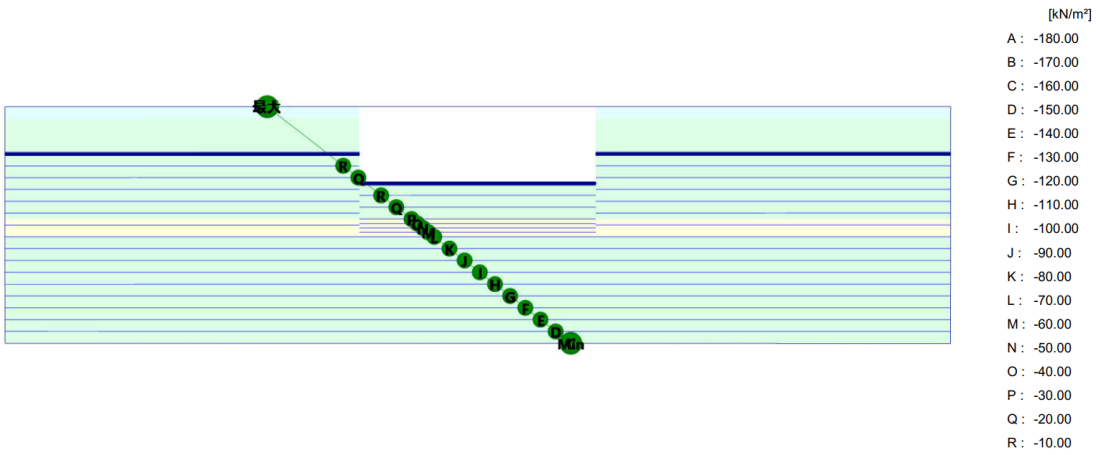


図 35: 横断面における Phase_4 の定常間隙水圧のプレビュー

28. **「閉じる」**ボタンをクリックして入力プログラムに戻ります。
29. 別のフェーズ（Phase_5）を追加します。この計算フェーズでは、パラメータについては既定値を使用します。
30. サーフェース荷重を有効化し、σ_z = -20 kN/m^2 を設定します。

2.6.1 計算の実行

計算プロセスを開始する前に、後で応力-ひずみ曲線をプロットするために掘削縦穴の横のいくつかの応力点と荷重を選択しておきます。

1. **「曲線描画のためのポイント選択」**ボタンをクリックします。
   モデルと**「ポイントを選択」**ウィンドウが出力プログラムに表示されます。
2. **「着目ポイントの座標」**を（37.5 19 -1.5）と定義します。

注記: 可視化の設定はメニューから変更することができます。詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』を参照してください。

3. **「近くを検索」**ボタンをクリックします。
   最も近い節点と応力点の番号が表示されます。

4. 選択する応力点の前にあるチェックボックスをオンにします。
   選択した応力点がリストに表示されます。
5. 座標（37.5 19 -5）、（37.5 19 -6）、および（37.5 19 -7）の近くにある応力点も選択し、**「ポイントを選択」**ウィンドウを閉じます。
6. **「更新」**ボタンをクリックして出力プログラムを閉じます。
7. 計算プロセスを開始します。
8. 計算が完了したらプロジェクトを保存します。

注記:

- 計算を開始する前に曲線描画のための節点または応力点を選択しておく代わりに、計算後、出力結果を表示する際にポイントを選択することもできます。ただし、保存した計算ステップの結果のみが考慮されるため、曲線の精度は低くなります。
- 断面力の曲線をプロットする場合、計算後にのみ節点を選択することができます。
- 節点または応力点は、クリックするだけで選択することができます。マウスを動かすと、位置の正確な座標がウィンドウ下部のカーソル位置インジケータバーに表示されます。

2.7 結果

計算後に掘削結果を表示するには、**「フェーズ」**ツリーから計算フェーズを選択し、**「計算結果の表示」**ボタンをクリックします。

1. 最後の計算フェーズ（Phase_5）を選択し、**「計算結果の表示」**ボタンをクリックします。

   出力プログラムが開き、最後のフェーズの終了時の変形図が表示されます。
2. 応力、変形、および 3 次元の形状を表示するには、対応するメニューから目的の出力を選択します。
   たとえば、メニューから**「応力」** > **「塑性点」**の順に選択して、モデル内の塑性点を調べます。
3. **「塑性点」**ウィンドウで、**「弾性点」**オプションと**「不正確な点（Local err > Tolerated err）のみ表示」**オプションを除くすべてのオプションを選択します（図 36 (P52)を参照）。

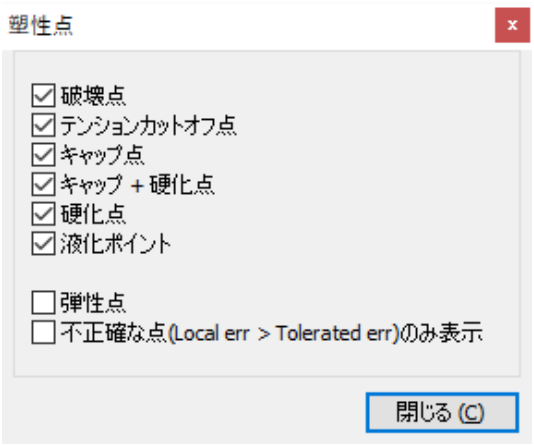


図 36: 「塑性点」ウィンドウ

下の図は、最後の計算フェーズの終了時にモデルに生成された塑性点を示しています。

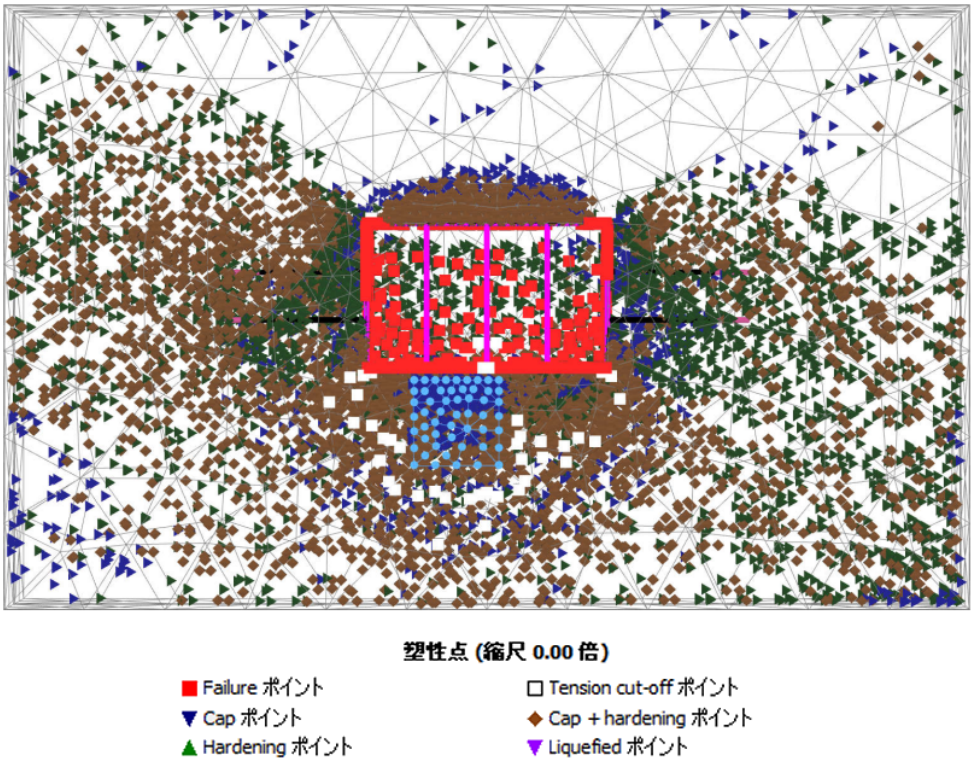


図 37: 最終フェーズの終了時の塑性点

グラフには、主要な主応力に対する主要な主ひずみが表示されます。どちらの値も、初期条件の開始時にはゼロです。初期条件の生成後、主ひずみはゼロのままですが、主応力はゼロではなくなります。選択したすべての応力点の曲線を 1 つのグラフにプロットするには、次の手順に従います。

1. 右クリックして**「曲線を追加」** > **「現在のプロジェクトより」**の順に選択します。
2. 残りの 3 つの応力節点の曲線も同じように生成します。

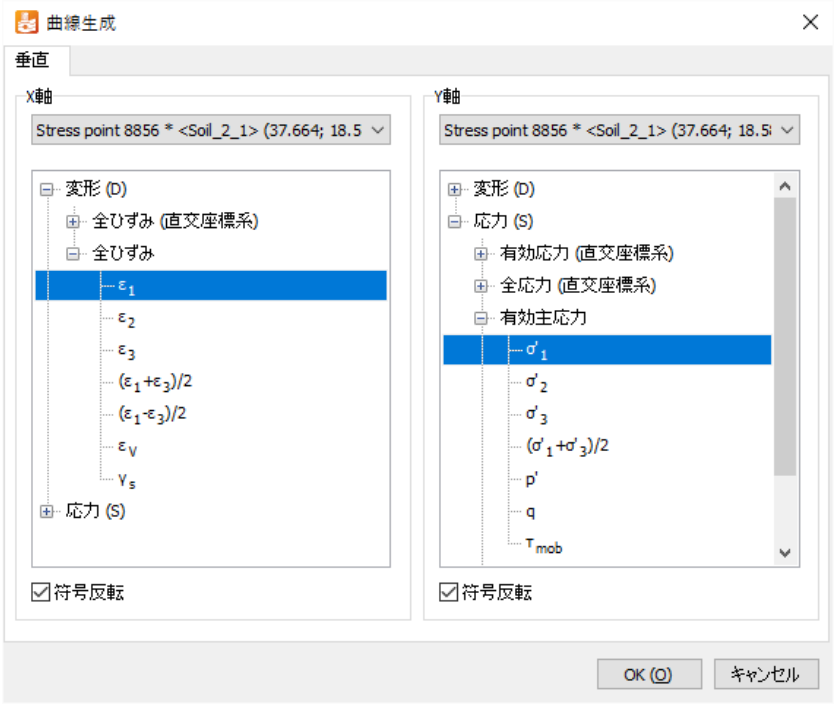


図 38: 「曲線生成」ウィンドウ

グラフには、4 つの応力点すべての応力-ひずみ曲線が表示されます。

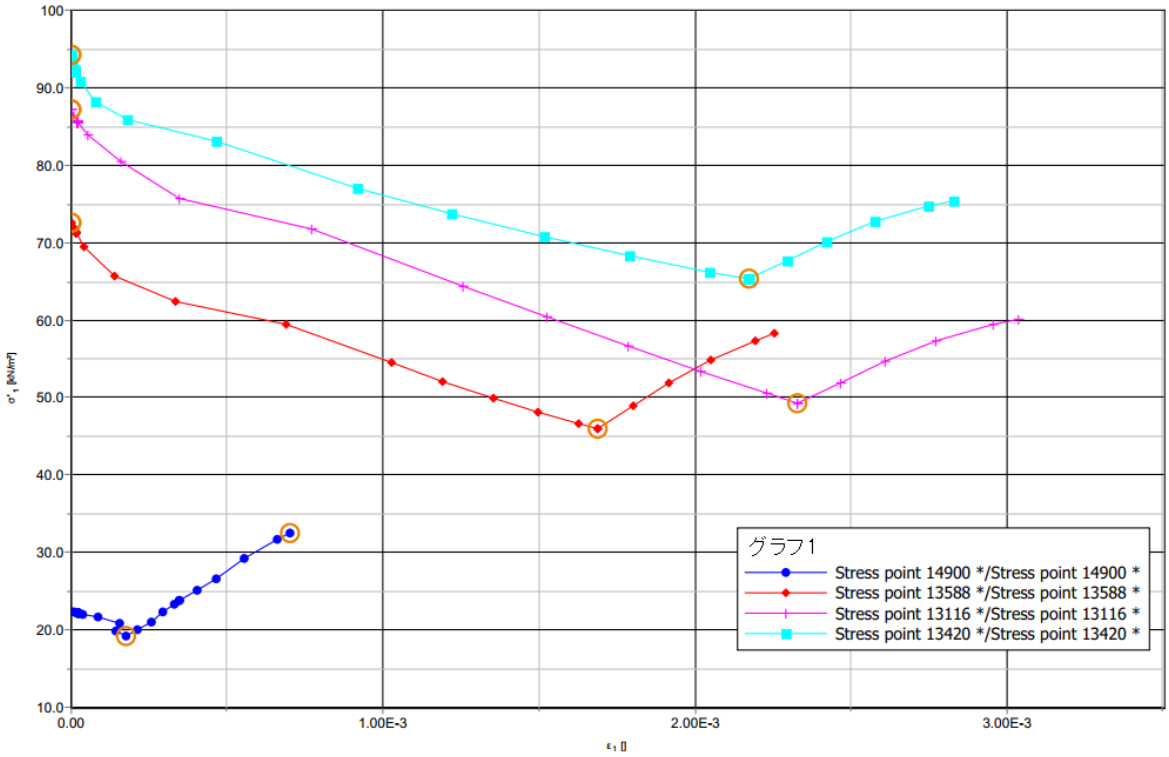


図 39: 応力-ひずみ曲線

マーカーに関する情報を表示するには、**「表示」** > **「値表示」**メニュー項目がオンになっていることを確認し、マーカー上にマウスをしばらく置きます。グラフ内の座標、グラフ内の点の番号、フェーズの番

号、およびステップの番号に関する情報が表示されます。特に、応力が低下した点は、最後のフェーズで荷重が適用されたときに大幅な応力増加を示します。

注記:

- **「曲線生成」**ウィンドウの項目を再入力するには（誤りがある場合や再生成または変更が必要な場合）、**「フォーマット」** > **「設定」**メニュー項目の順に選択します。結果として、**「設定」**ウィンドウが表示されるため、そこで**「再生成」**ボタンをクリックします。
- **「フォーマット」** > **「設定」**メニュー項目を使用して、グラフの設定を変更することができます。

応力節点（37.5 19 -1.5）の応力経路プロットを作成するには、次の手順に従います。

1. 新しいグラフを作成します。
2. **「曲線生成」**ウィンドウで、グラフの x 軸のドロップダウンメニューから節点（37.5 19 -1.5）を選択し、**「有効応力（直交座標系）」**で σ'_{yy} を選択します。
3. グラフの y 軸のドロップダウンメニューから節点（37.5 19 -1.5）を選択します。**「有効応力（直交座標系）」**で σ'_{zz} を選択します。
4. **「OK」**をクリックして入力を確定します。

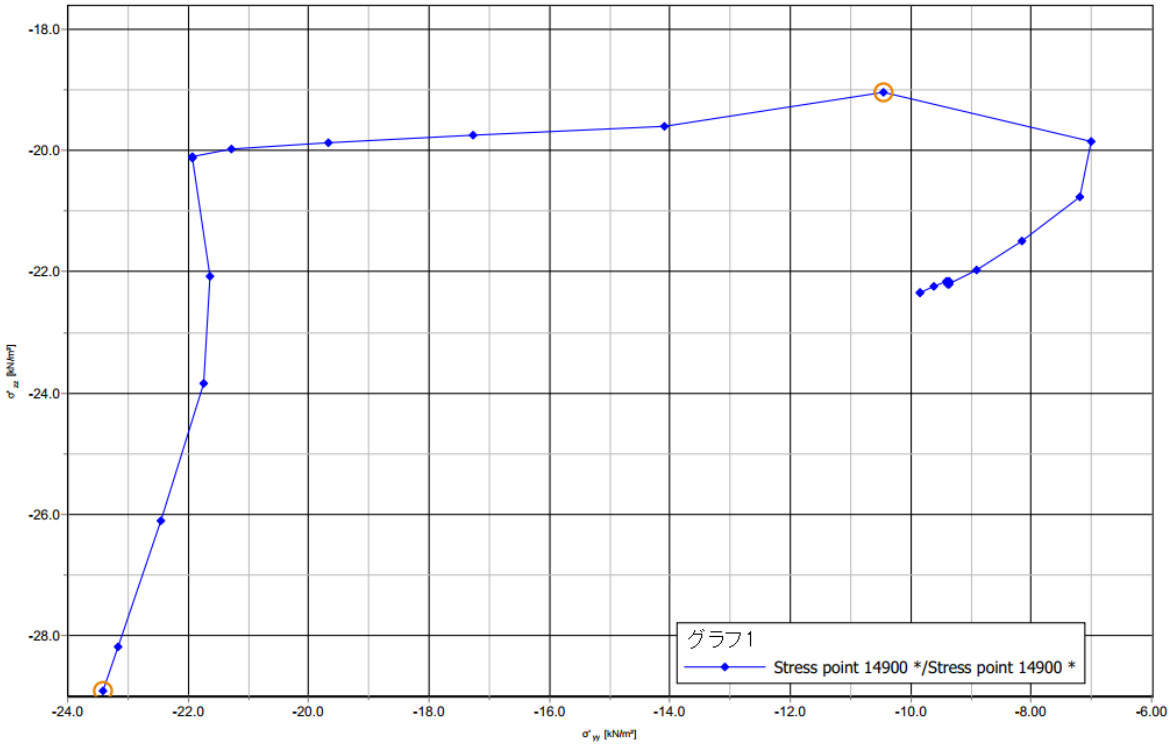


図 40: （37.5 19 -1.5）の近くにある応力節点における鉛直有効応力（σ'_{yy}）と水平有効応力（σ'_{yy}）

3 サクションパイルの荷重

このチュートリアルでは、洋上基礎のサクションパイルについて考えます。サクションパイルは、直径が大きく上部が閉じている中空の鋼杭で、内部から水を汲み上げて海底に設置します。その結果生じる外側と内側の圧力差が、この設置を支える駆動力となります。

この演習では、載荷荷重条件下でのサクションパイルの変位を調べます。載荷荷重の 4 つの異なる角度について考えます。設置プロセス自体はモデル化しません。

目的

- ポリカーブデザイナーを使用する。
- 剛体オブジェクトを使用する。
- 非排水強度パラメータを使用して非排水有効応力解析を行う。
- 深くなるほど増加する非排水せん断強度。
- 材料データセットをコピーする。
- 出力の設定を変更する。
- メッシュの局所的な細分化のためのヘルパーオブジェクト。

形状

この演習では、サクションパイルの長さは 10 m、直径は 5.0 m です。アンカーチェーンは、上部から 7 m の杭の側面に取り付けます。考慮する場所の水深は 50 m です。対称な半分だけをモデル化します。

地盤は粘土で構成されますが、荷重の継続時間が短いため、非排水強度パラメータを使用して非排水応力解析を実行します。例題の形状は次のようになります。

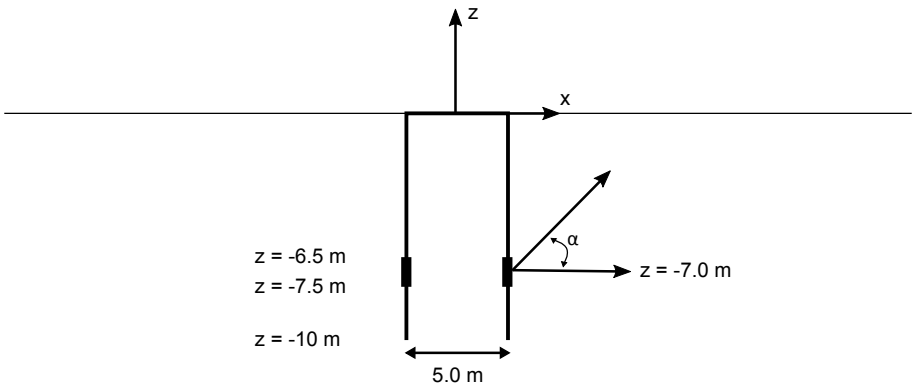


図 41: サクションパイルの形状

3.1 新しいプロジェクトの作成

この例では、幅 30 m、長さ 60 m の領域とサクションパイルの半分をモデル化します。この寸法では、モデルは十分に大きく、モデル境界からの影響を回避することができます。この演習の形状を定義するには、次の手順に従います。

1. **「入力」**プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。
2. プロジェクトに適切なタイトルを入力します。
3. 単位を標準のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. x_{min} = -30.0、x_{max} = 30.0。
   b. y_{min} = 0.0、y_{max} = 30.0。
4. **「OK」**をクリックします。

3.2 土の層序の定義

現在の例では、土層は水平な層が 1 つだけです。1 つのボアホールで十分に定義できます。

1. **「ボアホールを作成」**ボタンをクリックして（0 0 0）にボアホールを作成します。
   「土層の修正」ウィンドウが表示されます。
2. **「土層の修正」**ウィンドウで、上面境界が z = 0 で底面境界が z = -30 m の土層を追加します。
3. 考慮する場所の水深は 50 m です。これは、水頭を 50 m に設定することを意味しますが、形状全体が水位を下回っている限りは同じ結果になります（地上部分の水は総荷重であり、有効荷重ではありません）。したがって、水頭は 1.0 m で十分です。**「水頭」**を 1.0 m に設定します。

3.3 材料データセットの作成と割り当て

データセットの材料特性を表 10 (P57)に示します。

表 10: 土とインターフェースの材料特性

特性	名前	粘土	インターフェース	単位
一般				
土の モデル	モデル	モール･クーロン	モール･クーロン	-
排水タイプ	タイプ	非排水（B）	非排水（B）	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	20	20	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	20	20	kN/m^3
構造				
ヤング係数	E'_{ref}	1000	1000	kN/m^2
ポアソン比	$\nu(nu)$	0.35	0.35	-

構造				
剛性の増分	E'_{inc}	1000	1000	$kN/m^2/m$
基準レベル	z_{ref}	0.0	0.0	m
非排水せん断強度	$s_{u,ref}$	1.0	1.0	kN/m^2
非排水せん断強度の増分	$s_{u,inc}$	4.0	4.0	$kN/m^2/m$
テンションカットオフ	-	非アクティブ	非アクティブ	-
インターフェース				
インターフェース強度	-	手動	剛体	-
インターフェース強度低減	R_{inter}	0.7	1.0	-
初期				
K_0 の決定	-	手動	手動	-
初期水平土圧係数	$K_{0,x}$、$K_{0,y}$	0.5	0.5	-

1. **「材料」**ボタンをクリックします。
2. 表 10 (P57)に従ってデータセットを作成します。強度の詳細パラメータの**「構造」**タブシートで**「テンションカットオフ」**オプションを選択解除します。この演習では、土の透水係数は結果に影響しません。この例では、有効強度特性を使用する代わりに、粘着力パラメータを使用して非排水せん断強度をモデル化します。

   注記:

   「インターフェース」データセットは、「粘土」データセットをコピーして R_{inter} の値を変更することによって迅速に作成できます。
3. 「粘土」材料データセットを土層に割り当て、**「材料セット」**ウィンドウを閉じます。

3.4 構造要素の定義

サクションパイルを**「構造物」モード**で半分の円筒形サーフェースとしてモデル化し、これを剛体として定義します。また、メッシュの局所的な細分化のためにヘルパーオブジェクトを設定します。

3.4.1 サクションパイルの作成

「構造物」モードで、サクションパイルを剛体として定義します。これを行うには、地盤サーフェースにポリカーブを作成し、それを下方向に押し出します。

1. **「構造物」**タブをクリックして**「構造物」モード**に進みます。
2. サイドツールバーの**「ポリカーブを作成」**ボタンをクリックします。
3. 描画領域で（2.5 0 0）をクリックして挿入点を定義します。

注記: メニューから**「オプション」** > **「可視化の設定」**の順に選択し、**「間隔」**は 1 m のままで**「スナップ分割数」**を 2 に設定します。これにより、マウスを 0.5 m 間隔で動かせるようになります。

「ポリカーブデザイナー」ウィンドウが表示されます。

4. ポリカーブは xy 平面で描画します（図 42 (P59)を参照）。したがって、この例では既定の向きの軸のままでかまいません。

注記: 詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』のポリカーブの作成に関する説明を参照してください。

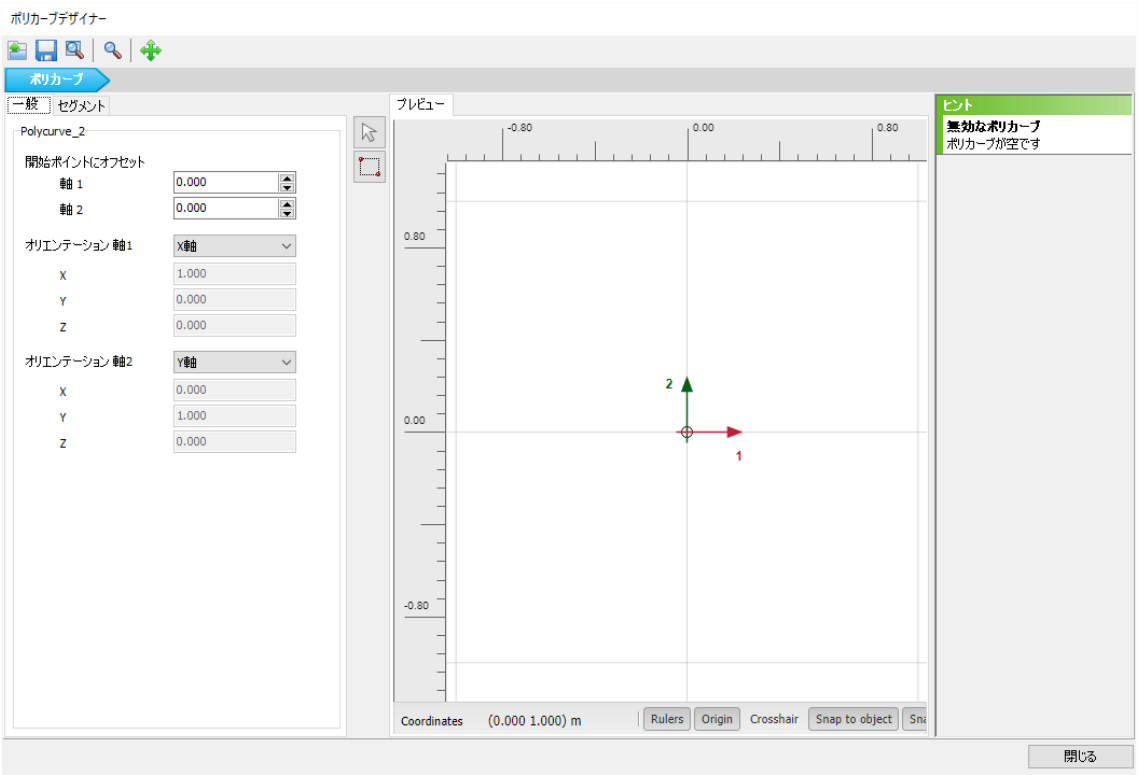


*図 42: **「ポリカーブデザイナー」**の**「一般」**タブシート*

5. **「セグメント」**タブシートで、ツールバーの**「断面を追加」**ボタンをクリックします。
6. **「選択エクスプローラー」**ウィンドウで、新しく作成した要素について、**「セグメントタイプ」**を**「円弧」**、**「相対開始角度」**を 90°、**「半径」**を 2.5 m、**「断面角度」**を 180°に設定します。**「プレビュー」領域**に自動的に形状が表示されます。

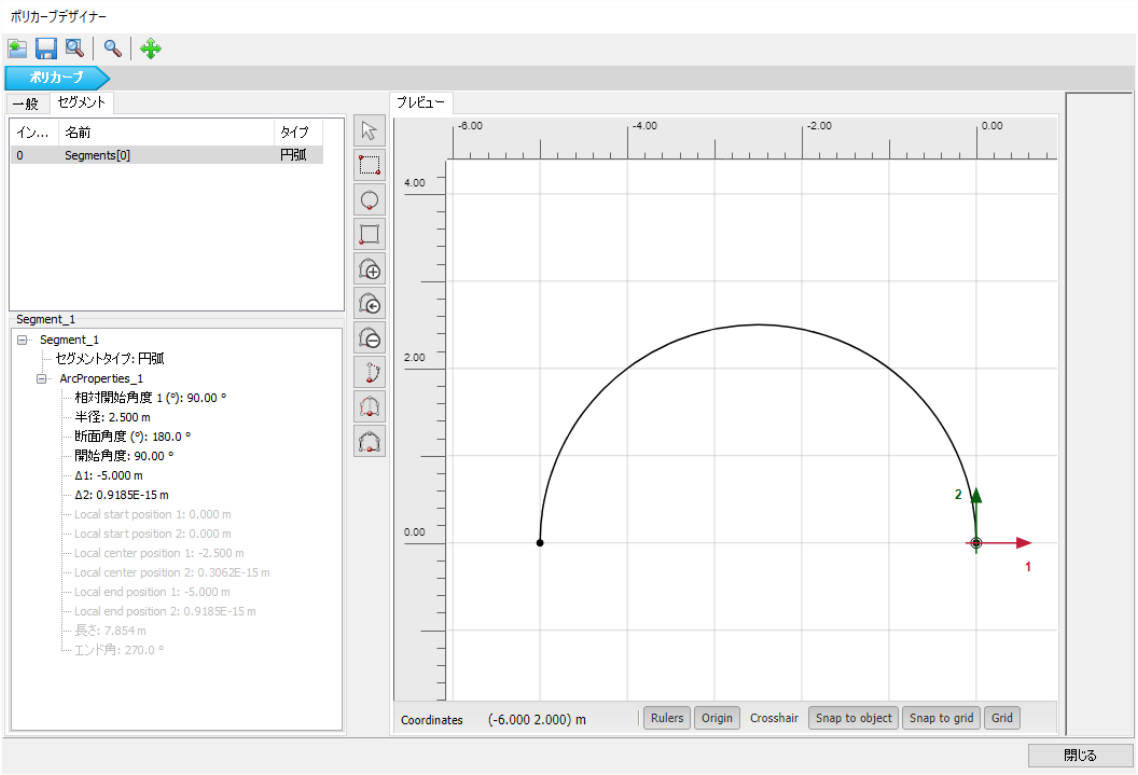


図 43: 「ポリカーブデザイナー」の「セグメント」タブシート

7. **「閉じる」**をクリックします。ポリカーブがモデルに自動的にロードされます。
8. 作成したポリカーブをクリックして**「オブジェクトの押し出し」**を選択し、z の値を-10 m に設定します。
9. 作成したサーフェースを右クリックし、**「正のインターフェースを作成」**を選択してサクションパイルの正のインターフェースを作成します。同様に、サーフェースの**負のインターフェースを作成**します。
10. 作成したポリカーブを右クリックし、表示されるメニューから**「閉じる」**を選択します。さらに、閉じたポリカーブを右クリックし、**「作成」** > **「サーフェースを作成」**の順に選択します。
これにより、サクションパイルの上面のサーフェースが作成されます。
11. 上面のサーフェースを右クリックし、**負のインターフェースを作成**します。
12. **「モデルエクスプローラー」**で各インターフェースを選択します。インターフェースを選択したら、**「選択エクスプローラー」**で、**「材料モード」**の表示されるドロップダウンメニューから**「カスタム」**を選択します（図 44 (P61)を参照）。
13. **「材料」**オプションのドロップダウンメニューから**「インターフェース」**を選択します。



図 44: 「選択エクスプローラー」での「インターフェース」材料の割り当て

14. 上面と曲面のサーフェースを選択します。選択したサーフェースを右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「剛体を作成」**オプションの順に選択します（図 45 (P61)を参照）。

注記:

サクションパイルの作成には剛体機能を使用します。剛体の詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』の対応するセクションを参照してください。

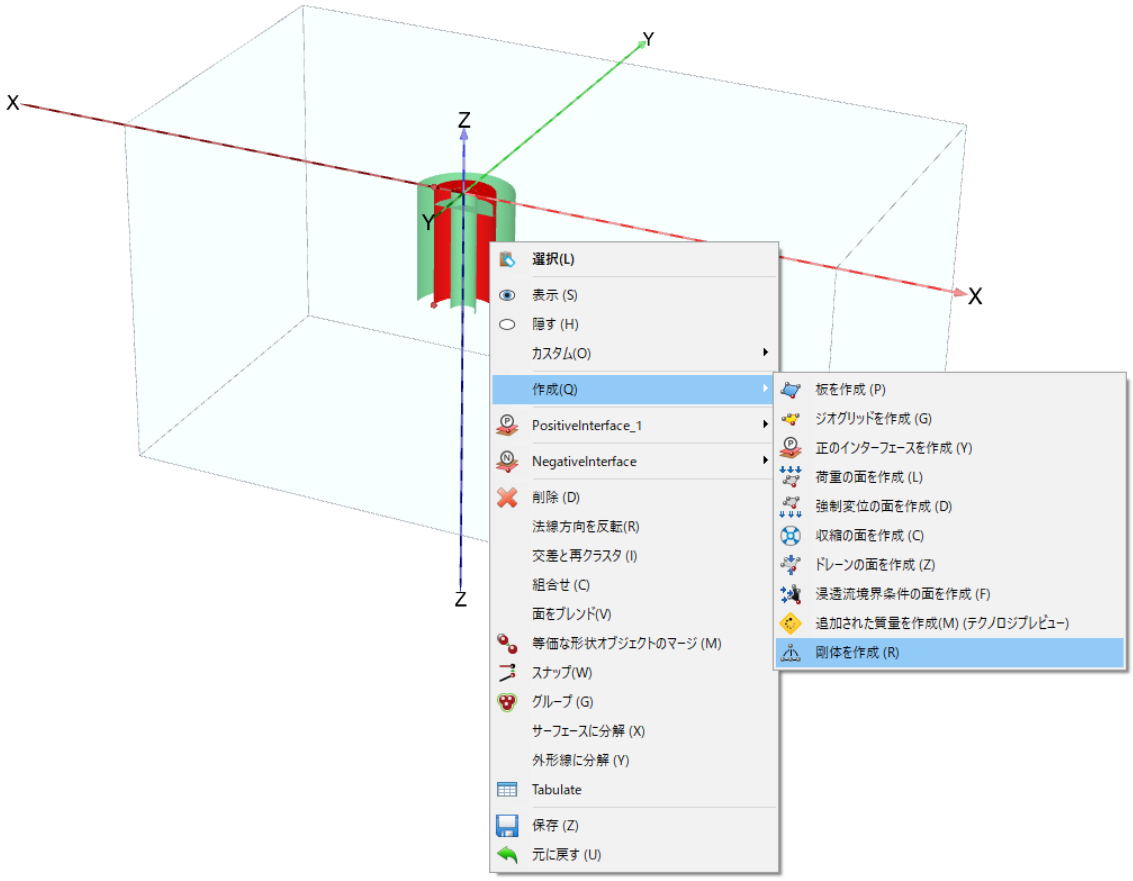


図 45: 剛体の作成

15. 作成した剛体を選択し、**「選択エクスプローラー」**で（2.5 0 -7）をそれぞれ x_{ref}、y_{ref}、z_{ref} に割り当てます。
16. 図 46 (P62)に示すように、並進条件 $_y$ を**「変位」**、回転条件 $_x$ と回転条件 $_z$ を**「回転」**に設定します。対応する値は、$u_y = \phi_x = \phi_z = 0$ です。

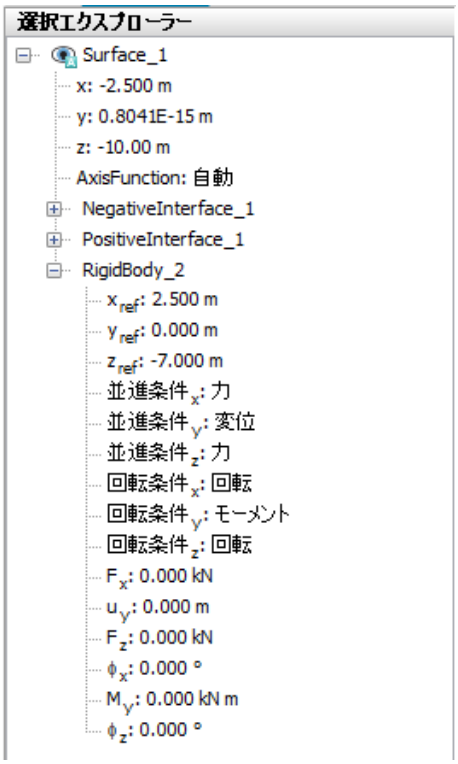


図 46: 「選択エクスプローラー」での剛体

3.4.2 局所的なメッシュの改良のためのヘルパーオブジェクトの作成

サクションパイルの周囲にサーフェースを作成してメッシュを改良します。これを行うには、**「ポリカーブデザイナー」**を使用してサクションパイルの周囲に円形のサーフェースを作成します。

1. サイドツールバーの**「ポリカーブを作成」**ボタンをクリックし、描画領域で（7.5 0 0）をクリックします。
2. **「一般」**タブシートで、このポリカーブの軸を既定の向きの軸（x 軸、y 軸）のままにします。
3. **「セグメント」**タブシートで、ツールバーの**「断面を追加」**をクリックします。**「セグメントタイプ」**を**「円弧」**、**「相対開始角度」**を 90°、**「半径」**を 7.5 m、**「断面角度」**を 180°に設定します。
4. ツールバーの**「ポリカーブを閉じる」**をクリックしてポリカーブを閉じます。
5. **「ポリカーブデザイナー」**を閉じます。
6. 作成したポリカーブをクリックして**「オブジェクトの押し出し」**を選択し、z の値を-15 m に設定します。
7. 作成した 2 つのポリカーブを両方選択して右クリックし、表示されるメニューから**「削除」**を選択します（図 47 (P63)を参照）。

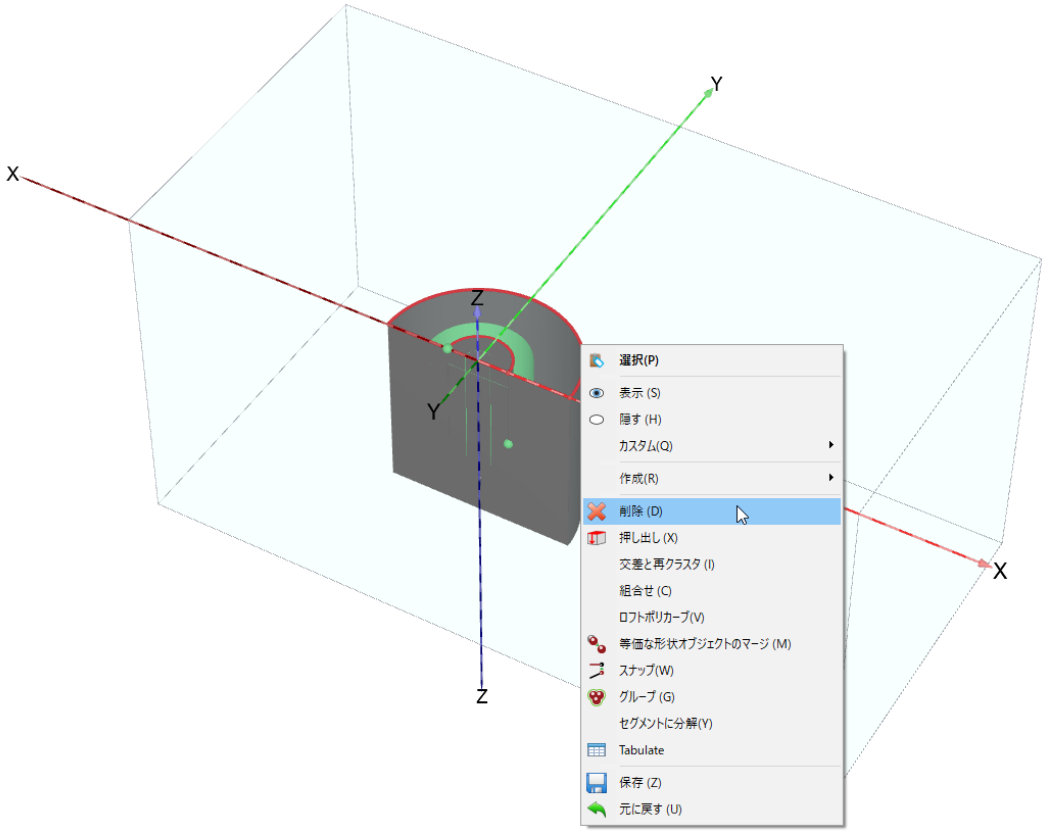


図 47: 作成した 2 つのポリカーブの削除

定義したプロジェクトの形状を 図 48 (P63)に示します。

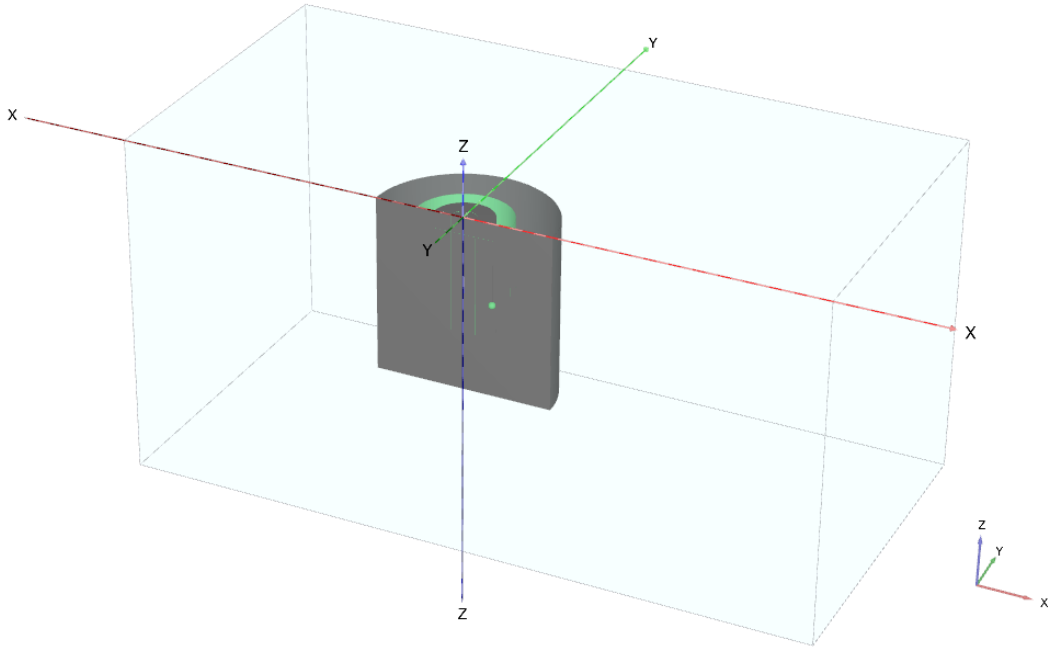


図 48: サクションパイルの形状

3.5 メッシュの生成

メッシュを生成するには、次の手順に従います。

1. **「メッシュ」**タブをクリックして**「メッシュ」モード**に進みます。
2. サクションパイルの周囲の土のボリュームを非表示にします。サクションパイル、サクションパイルの周囲のサーフェース、およびサクションパイルの上面のサーフェースをすべて選択します。
3. **「選択エクスプローラー」**で**「粗密係数」**の値を 0.25 に設定します。
4. **「メッシュ生成」**ボタンをクリックしてメッシュを生成します。要素分割は**「普通」**です。
5. **「段階施工」モード**に進みます。

3.6 計算の定義

この演習の計算は 6 つのフェーズで構成されます。これらのフェーズの内容は、初期条件の決定、サクションパイルの設置、および 4 つの異なる荷重条件です。大きさを変更せずに荷重方向を変更した場合の影響を解析します。

3.6.1 初期フェーズ:初期条件

「段階施工」タブをクリックして計算フェーズの定義を進めます。

1. 初期フェーズの計算タイプを**「K0 計算」**のままにします。すべての構造物およびインターフェースがオフになっていることを確認します。

3.6.2 フェーズ 1:サクションパイルの設置

1. 新しい計算フェーズを追加し、名前を「Install pile」に変更します。
2. このフェーズでは、**「非排水挙動(A,B)を無視」**オプションを使用します。
3. プロジェクト内のすべての剛体とインターフェースを有効化します。

3.6.3 フェーズ 2:杭への 30 度での載荷

1. 新しいフェーズを追加し、名前を「Load pile 30 degrees」に変更します。
2. **「フェーズ」**ウィンドウで**「変形制御パラメータ」**サブツリーに移動し、**「変位をゼロリセット」**チェックボックスをオンにします。
3. **「数値制御パラメータ」**サブツリーで、次のように設定します。
   a. **「ソルバータイプ」**を**「Pardiso（マルチコア直接解法）」**に設定して、この特定のプロジェクトの計算を高速化できるようにします。
   b. **「デフォルトの反復パラメータを使用」**チェックボックスをオフにして、詳細設定を変更できるようにします。
   c. **「ステップごとの最大荷重比」**を 0.1 に設定します。
4. **「モデルエクスプローラー」**で、**「剛体」**をクリックします。
5. **「選択エクスプローラー」**ツリーで、選択した剛体に F_x = 1949 kN および F_z = 1125 kN を設定します。

3.6.4 フェーズ 3、4、5、6: 杭へのさまざまな方向角度での載荷

表 11 (P65)の情報に従って、残りのフェーズを定義します。各フェーズで、**「変位をゼロリセット」**オプションを選択し、**「ソルバータイプ」**を**「Pardiso（マルチコア直接解法）」**に、**「ステップごとの最大荷重比」**を 0.1 に設定します。

表 11: チェーン取り付け点の荷重情報

フェーズ	開始フェーズ	F_x	F_z
Load pile 30 degrees [Phase_2]	Phase_1	1949 kN	1125 kN
Load pile 40 degrees [Phase_3]	Phase_1	1724 kN	1447 kN
Load pile 50 degrees [Phase_4]	Phase_1	1447 kN	1724 kN
Load pile 60 degrees [Phase_5]	Phase_1	1125 kN	1949 kN

フェーズの順序が**「フェーズエクスプローラー」**に表示されます（図 49 (P65)を参照）。Phase_1 の計算は、初期フェーズの計算が完了した後に開始されます。残りのフェーズの計算は、杭の設置フェーズの計算が完了した後に開始されます。

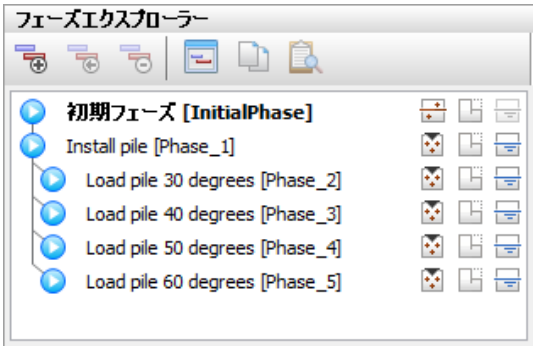


図 49: フェーズエクスプローラー

3.6.5 計算の実行

1. 計算プロセスを開始します。
2. 計算が完了したらプロジェクトを保存します。

3.7 結果

結果を表示するには、次の手順に従います。

1. 最後の計算フェーズの結果を表示します。形状全体の変形図が表示されます。特に、サクションパイル自体の変位は重要です。
2. コンター表示を選択し、y 軸が画面に対して垂直になるようにモデルを回転させます。
3. 軸が表示されない場合は、**「表示」**メニューからオプションを選択します。杭に作用する集中荷重が変位場を局所的に乱さないことは明白で、ここでは杭の厚さが十分であることがわかります。
4. 同様に、別の荷重方向におけるサクションパイルの全変位を確認するには、ドロップダウンメニューから適切なフェーズを選択します。特に、Phase_2 では荷重の水平部分が最大値を持つため、このフェーズは重要です。

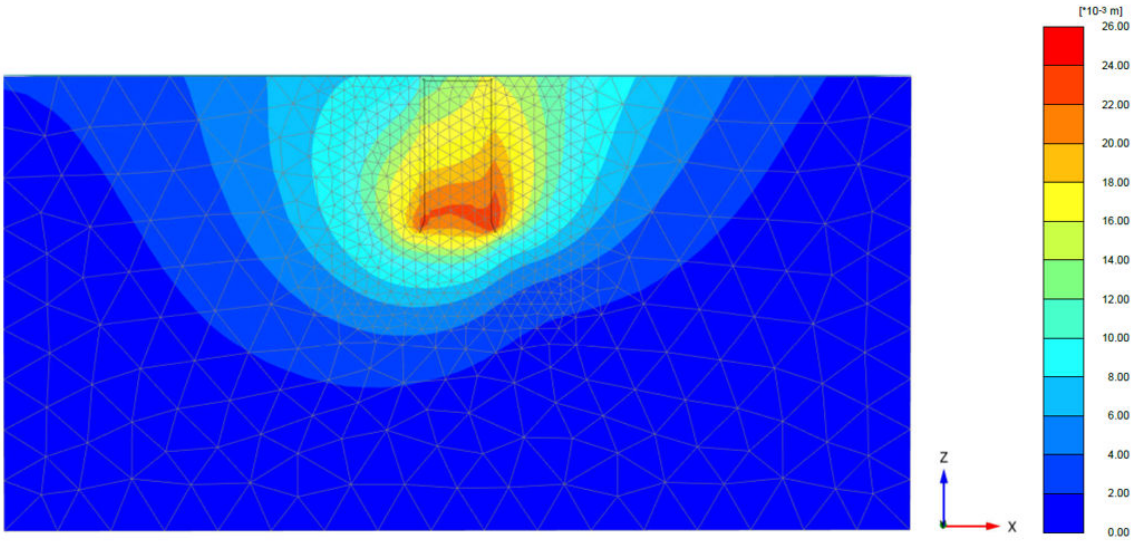


図 50: Phase_2 終了時のサクションパイルの全変位

4 地中連続壁の掘削の安定性

このレッスンでは、地表面下 1.0 m の地下水位を有する硬質砂質粘土層に構築する地中連続壁について説明します。地中連続壁の掘削プロセスは、周囲の土から最大限の支持力を得て、また、地盤の崩壊を防ぐために、特定の順序で実行します。地中連続壁は、個別に構築される多数のセクションで構成されます。この演習では、このようなセクションの 1 つの施工をモデル化します。

目的

- ユーザー定義の水理条件を定義する。
- 地中連続壁の設置をモデル化する。

形状

地中連続壁の 1 つのセクションを 3 つの部分に分けて掘削し、施工を 5 つのフェーズでモデル化することができます。最初の 3 つのフェーズでは、図 51 (P67)に示す順序で壁を一部分ずつ掘削します。掘削中は、単位重量が 11 kN/m^3 の流動ベントナイトをトレンチに同時に充填し、ベントナイト圧力と土の中のアーチ作用によって周囲の土の崩壊を防ぎます。トレンチの掘削が完了した後、4 番目のフェーズでは、ベントナイトの代わりに流動コンクリートをトレンチに充填します。5 番目のフェーズではコンクリートが硬化し、地中連続壁のセクションが完成します。掘削の安定性は、セクションが完全に掘削され、ベントナイトが充填されている 3 番目のフェーズで最も低くなります。掘削の安定性を確認するために、各フェーズの後に安全率を phi-c 低減手法によって計算します。

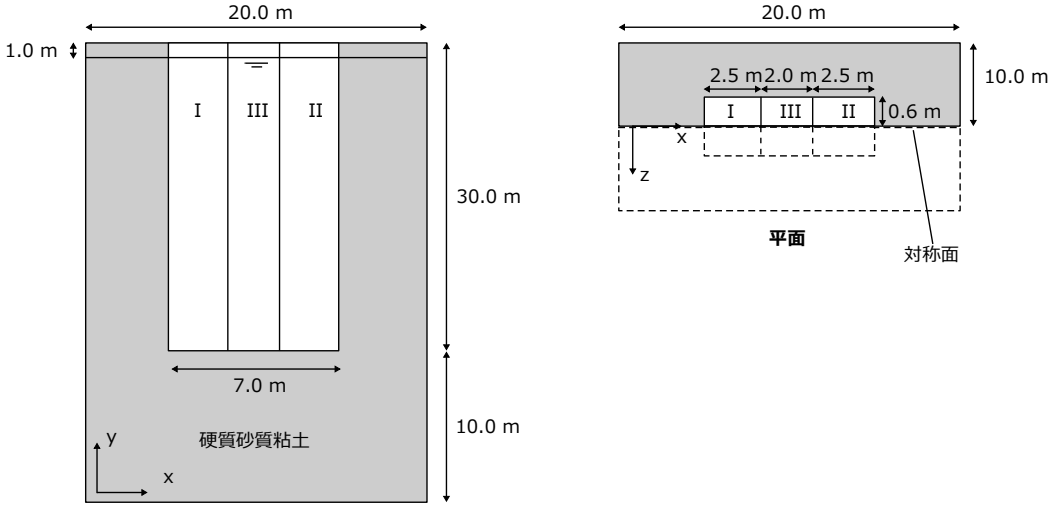


図 51: 地中連続壁の形状

4.1 新しいプロジェクトの作成

この演習で考慮する地中連続壁は、深さ 30 m、厚さ 1.2 m です。1 つの断面は幅 7.0 m で、3 つの掘削部分で構成されています。部分 I と II の幅は 2.5 m、部分 III の幅は 2.0 m です。壁は中心の平面に対して対称であるため、モデル化する必要があるのは厚みの半分だけです。壁と土の相互作用は完全に粗いものとして考えるため、インターフェースは必要ありません。

この演習の形状を定義するには、次の手順に従います。

1. **「入力」**プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。
2. プロジェクトに適切なタイトルを入力します。
3. 単位を標準のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. $x_{min} = 0$、$x_{max} = 20$。
   b. $y_{min} = 0$、$y_{max} = 10$。
4. **「OK」**をクリックします。

4.2 土の層序の定義

現在の例では、土層は水平な層が 1 つだけです。1 つのボアホールで十分に定義できます。

1. **「ボアホールを作成」**ボタンをクリックして（0 0 0）にボアホールを作成します。
   「土層の修正」ウィンドウが表示されます。
2. **「土層の修正」**ウィンドウで、上面境界が z = 40m で底面境界が z = 0m の土層を追加します。
3. **「水頭」**を 39m に設定します。

4.3 材料データセットの作成と割り当て

データセットの材料特性を表 12 (P68)に示します。

表 12: 土とコンクリートの材料特性

特性	名前	硬質砂質粘土	コンクリート	単位
一般				
土の モデル	モデル	モール･クーロン	線形弾性	-
排水タイプ	タイプ	排水	非多孔性	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	15	24	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	20	-	kN/m^3
構造				
ヤング係数	E'_{ref}	$50{\cdot}10^3$	$2.6{\cdot}10^7$	kN/m^2
ポアソン比	ν' *(nu)*	0.3	0.2	kN/m^2

構造				
粘着力	c'_{ref}	15	-	kN/m^2
摩擦角	φ' *(phi)*	30	-	°
ダイレイタンシー角	ψ *(psi)*	0.0	-	°
インターフェース				
インターフェース強度	-	剛体	剛体	-
初期				
K_0 の決定	-	自動	自動	-

1. **「材料」**ボタンをクリックします。
2. 表 12 (P68)に従って、土層とコンクリートのデータセットを作成します。
3. 「硬質砂質粘土」材料データセットを土層に割り当て、**「材料セット」**ウィンドウを閉じます。

4.4 地中連続壁の定義

地中連続壁は**「構造物」モード**でモデル化します。長方形のサーフェースを押し出して地中連続壁を構成するボリューム要素を生成します。

サーフェースの座標を表 13 (P69)に示します。

表 13: 地中連続壁を構成するサーフェース

断面	点座標
I	(6.5 0 40) (9 0 40) (9 0.6 40) (6.5 0.6 40)
II	(11 0 40) (13.5 0 40) (13.5 0.6 40) (11 0.6 40)
III	(9 0 40) (11 0 40) (11 0.6 40) (9 0.6 40)

1. サイドツールバーの**「サーフェースを作成」**ボタンをクリックし、表 13 (P69)に従って 3 つのサーフェースを作成します。
2. ＜ Ctrl ＞キーを押しながらモデル内の作成したサーフェースをクリックして選択します。
3. サイドツールバーの**「オブジェクトの押し出し」**ボタンをクリックします。押し出しベクトルを(0 0 -30)、押し出し長さを 30 に設定します（図 52 (P70)を参照）。

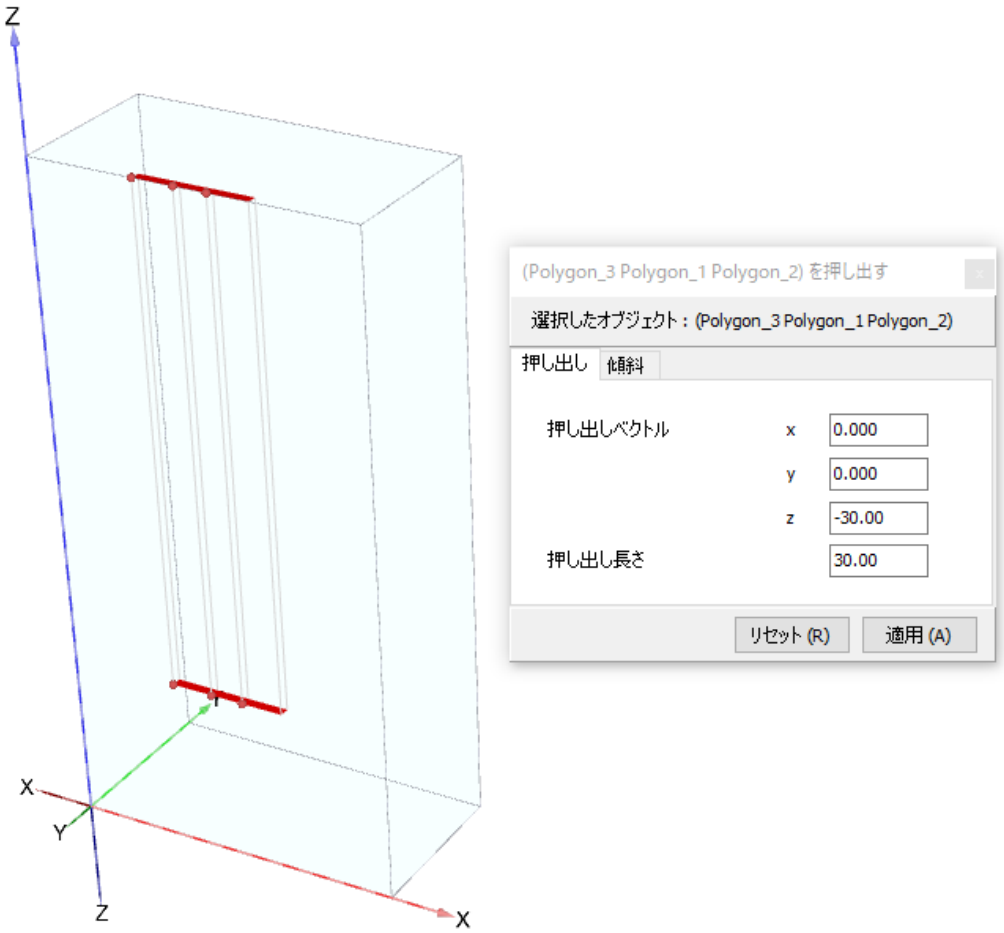


図 52: 押し出されたサーフェース

4. サーフェースを削除します。

4.5 メッシュの生成

メッシュを生成するには、次の手順に従います。

1. **「メッシュ」**タブをクリックして**「メッシュ」モード**に進みます。
2. 地中連続壁のボリューム要素をすべて選択します。
3. **「選択エクスプローラー」**で**「粗密係数」**の値を 0.50 に設定します。
4. **「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。既定のオプション（**「普通」**）を使用してメッシュが生成されます。
5. **「メッシュ表示」**ボタンをクリックして、生成されたメッシュを確認します（図 53 (P71)を参照）。

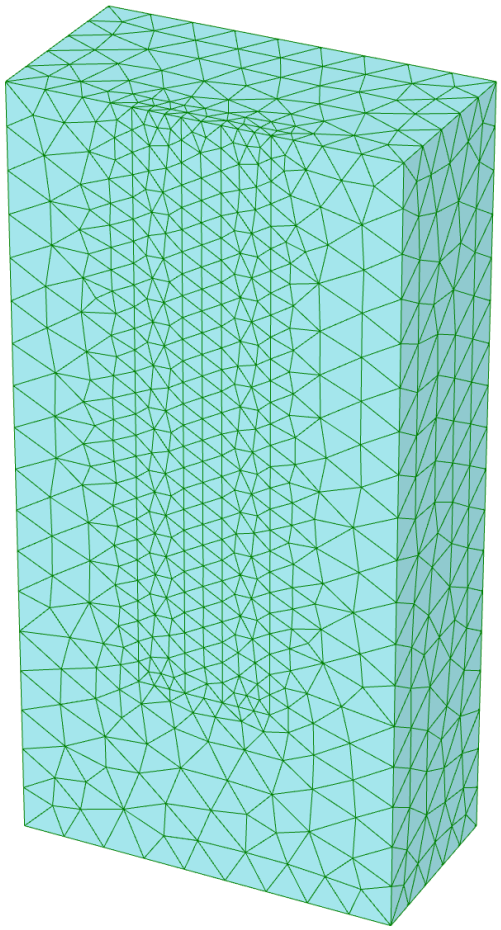


図 53: 生成されたメッシュ

6. **「段階施工」モード**に進みます。

4.6 計算の定義

計算は 5 つのフェーズからなります。最初のフェーズでは、掘削の部分 I を取り除き、同時にベントナイトを充填します。単位重量が 11 kN/m^3 のベントナイトを、深さに応じて線形に増加する人工的な「水」の圧力を用いてシミュレートします。この圧力は、掘削内の元の水圧の代わりに使用されます。掘削部分の 2 番目と 3 番目のフェーズでは、部分 II と部分 III を取り除き、ベントナイトを充填します。4 番目のフェーズでは、掘削したトレンチ全体に流動コンクリートを充填します。単位重量が 24 kN/m^3 の流動コンクリートを、人工的な「水」の圧力を変更してシミュレートします。フェーズ 5 では、人工的な圧力を取り除き、掘削したクラスタを再有効化して、これらのクラスタにコンクリート材料セットを割り当てることで、コンクリートの硬化をシミュレートします。

4.6.1 初期フェーズ

初期フェーズでは、**「K0 計算」**を使用して初期応力を生成します。初期フェーズについては、既定の設定値のままでかまいません。

4.6.2 フェーズ 1 — 部分 I の掘削

1. 最初の計算フェーズを追加します。
2. 最初の掘削領域（部分 I）を選択します。
3. 選択エクスプローラー（図 54 (P72)を参照）で、土のボリュームを非アクティブにします。水理条件を**「ユーザ定義」**に設定し、「z_{ref} = 40 m」、「p_{ref} = 0.0 kN/m^2」、「p_{inc} = -11 kN/m^2/m」と入力します。

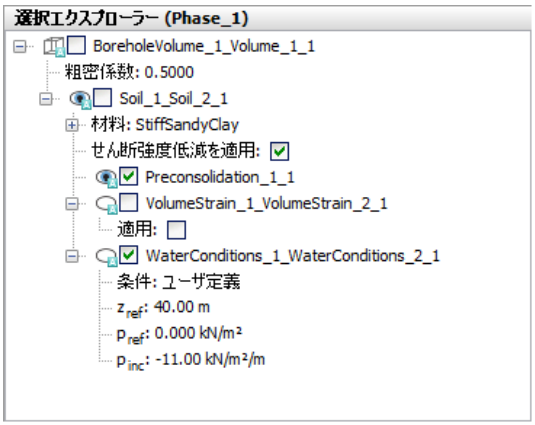


図 54: 部分 I のユーザー定義の水理条件

掘削の部分 I でベントナイト圧力が定義されました。基準レベル 40 m で 0 kN/m^2 から始まり、深さが 1 m 増すごとに 11 kN/m^2 ずつ増加し、掘削の底面で 330 kN/m^2 になります。

4. **「フェーズをプレビュー」**ボタンをクリックして現在のフェーズの設定を確認します。

4.6.3 フェーズ 2 — 部分 II の掘削

1. 新しいフェーズを追加します。
2. 2 番目の掘削領域（部分 II）を選択します。
3. 選択エクスプローラーで土のボリュームを非アクティブにします。水理条件を**「ユーザ定義」**に設定し、「z_{ref} = 40 m」、「p_{ref} = 0.0kN/m^2」、「$_{inc}$ = -11 kN/m^2/m」と入力します。

4.6.4 フェーズ 3 — 部分 III の掘削

1. 新しいフェーズを追加します。
2. 3 番目の掘削領域（部分 III）を選択します。
3. 選択エクスプローラーで土のボリュームを非アクティブにします。水理条件を**「ユーザ定義」**に設定し、「z_{ref} = 40 m」、「p_{ref} = 0.0kN/m^2」、「$_{inc}$ = -11kN/m^2/m」と入力します。

4.6.5 フェーズ 4 — 流動コンクリート

掘削内のベントナイトを、重量 24.0kN/m^3 の流動コンクリートに置き換えます。

1. 新しいフェーズを追加します。

2. 3 つの掘削領域を選択します。
3. 選択エクスプローラーで、**「ユーザ定義」**の水理条件を変更し、「p_{inc}= -24kN/m^2/m」と入力します。その他のパラメータは、元の値（z_{ref} = 40m、p_{ref} = 0.0kN/m^2）のままにする必要があります。

4.6.6 フェーズ 5 — コンクリートの養生

1. 新しいフェーズを追加します。
2. 3 つの掘削領域を選択します。
3. 選択エクスプローラーで土のボリュームを再度アクティブにし、材料をコンクリートに設定します。
4. 水理条件を**「乾燥」**に設定します。

注記:

コンクリートは非多孔性であり、計算プログラムではこれらの要素の間隙水圧がゼロであると自動的に想定されますが、生成された間隙水圧が計算プログラムで使用されるものと一致するように水圧を再生成することをお勧めします。

4.6.7 フェーズ 6〜9 — 安全率解析

フェーズ 6〜9 では、流動コンクリートフェーズ（単位重量が高いためベントナイトフェーズよりも危険度が低い）以外の前のフェーズに対する安定性計算をそれぞれ定義します。フェーズ 3 は、ベントナイトからの支持圧力が低いため、最も危険であるはずです。また、掘削は全幅で行うため、横方向のアーチ作用が生じる可能性が低くなります。フェーズ 3 が最も危険な段階であるかを確認するには、**「安全率解析」**を使用して最初の 3 つのフェーズの安全率を計算します。

1. **「フェーズエクスプローラー」**で Phase_1 を選択します。
2. 新しい計算フェーズを追加し、**「フェーズ」**ウィンドウに進みます。
3. **「計算タイプ」**を**「安全率解析」**に設定します。**「荷重タイプ」**は**「倍率増分」**オプションのままにします。
4. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「変位をゼロリセット」**オプションを選択します。
5. **「数値制御パラメータ」**サブツリーで**「最大ステップ」**パラメータを 40 に設定します。
6. 同じ手順に従って、フェーズ 2、3、5 の後に**「安全率解析」**フェーズを追加します。

4.6.8 計算の実行

1. **「段階施工」モード**で、曲線の（10 1 40）と（10 4.5 40）の近くの節点をいくつか選択します。
2. 計算プロセスを開始します。
3. 計算が完了したらプロジェクトを保存します。

4.7 結果

掘削の安定性は、各掘削段階の後に計算した安全率から評価することができます。曲線プログラムを使用して、変位|u|の関数として ΣMsf（安全率）をプロットします（図 55 (P74)を参照）。フェーズ 3 で安定性が最も低くなります。ただし、ΣMsf は 1 より大きいままであるため、崩壊は予想されません。

この方法で 3 つの状況の安全率を評価するには、次の手順に従います。

1. ツールバーの**「曲線マネージャー」**ボタンをクリックします。
2. **「グラフ」**タブシートで**「新規作成」**をクリックします。
3. **「曲線生成」**ウィンドウで、x 軸について 2 つの節点のいずれかを選択します。**「変形」** > **「全変位」** > **「|u|」**の順に選択します。
4. y 軸について**「プロジェクト」**を選択し、**「倍率」** > **「ΣMsf」**の順に選択します。「安全率解析」のフェーズがグラフで考慮されます。結果として、図 55 (P74)の曲線が表示されます。
5. **「グラフ」**タブで、x 軸のスケーリングの最大値を 0.1 に、y 軸については 7.0 に設定します。

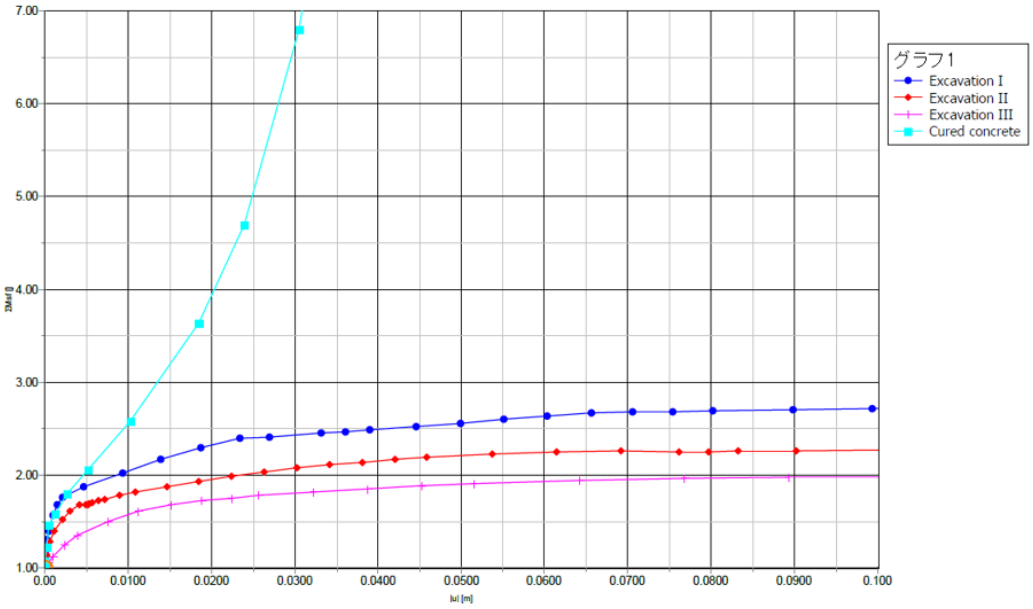


図 55: 全変位の関数としての ΣMsf（安全率）

掘削の安定性を維持する重要な現象が、土の中のアーチ作用です。この現象を図 56 (P75)、図 57 (P75)、および図 58 (P75)に示します。選択した深さでの主応力方向を確認するには、**「水平断面」**ボタンをクリックして水平断面を作成します。

1. このようなプロットを作成するには、サイドバーの**「水平断面」**ボタンをクリックして水平断面を作成します。
2. 表示されるウィンドウで、横断面の高さを 25 m（地中連続壁の中間の高さ）と入力します。
3. **「応力」** > **「全主応力」** > **「全主応力」**メニュー項目の順に選択します。
4. アーチ効果が明確に見えるように、**「表示」** > **「ビューポイント」**で上面図を選択してモデルの方向を変更します。

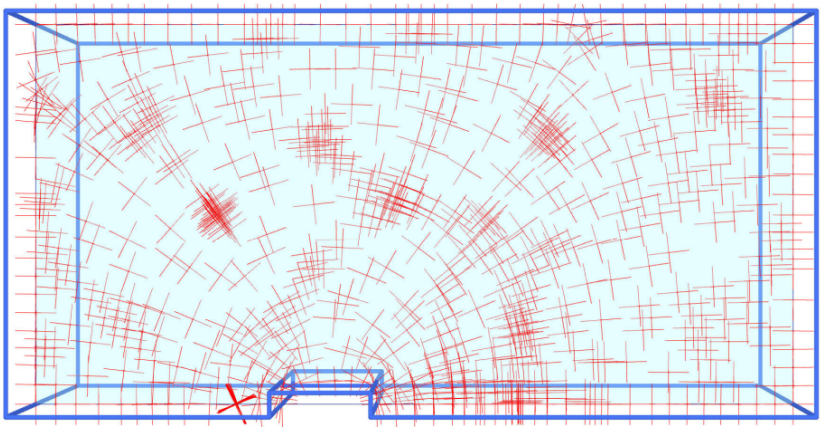


図 56: Phase_1 終了時での z = 25 m における主応力方向

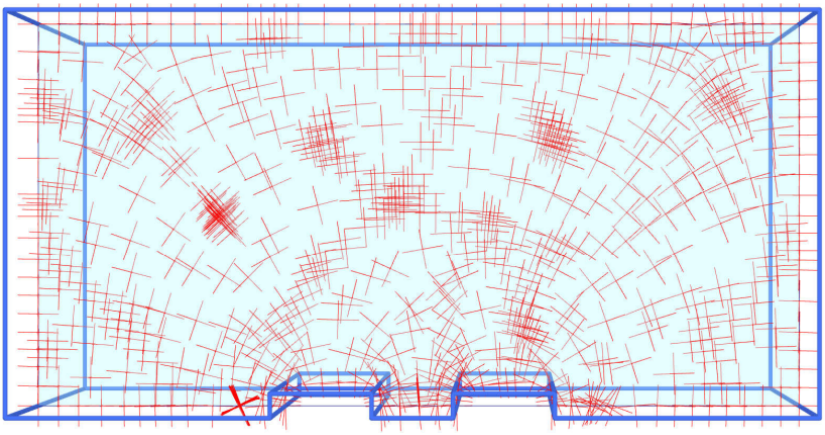


図 57: Phase_2 終了時での z = 25 m における主応力方向

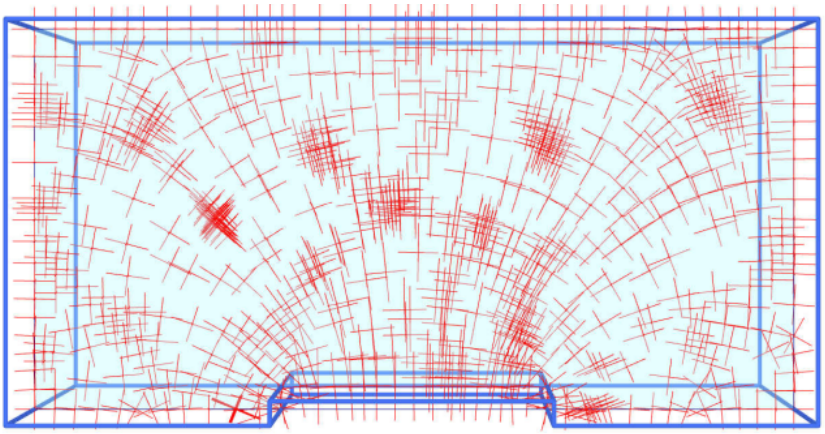


図 58: Phase_4 終了時での z = 25 m における主応力方向

5 シールドトンネルの段階掘削[GSE]

シールドトンネルのライニングは、多くの場合、トンネル掘削機内にボルトで固定されたプレキャストのコンクリートリングセグメントを使用してトンネルのライニングを形成することで構築します。トンネルのライニングの組み立て中、トンネル掘削機（TBM）は静止したままです。トンネルのライニングリングを完全に組み立てたら掘削を再開し、次のライニングリングを組み立てるのに十分な土が掘削されるまで続けます。そのため、施工プロセスは、トンネルのリングの長さ（多くの場合、約 1.5 m）の施工段階に分けることができます。これらの各段階では、同じ手順を何度も繰り返します。

これをモデル化するには、それぞれ長さ 1.5m のスライスで構成される形状を使用します。計算はいくつかの「塑性解析」フェーズで構成され、それぞれが掘削プロセスの同じ部分をモデル化します。つまり、トンネル面で破壊が発生しないようにするためにトンネル面に加える必要がある支持圧力、TBM シールドの円錐形状、TBM 内の土の掘削と間隙水、トンネルのライニングの設置、および土と新しく設置されたライニングとの間の空隙へのグラウト注入をモデル化します。各フェーズでは、計算フェーズの入力は同じですが、その位置はフェーズごとに 1.5m ずつ移動します。

目的

- TBM によるトンネル掘削プロセスをモデル化する。
- TBM の円錐形状をモデル化する。
- **「トンネルデザイナー」**を使用してトンネルの形状、軌道、シーケンシングを定義する。

形状

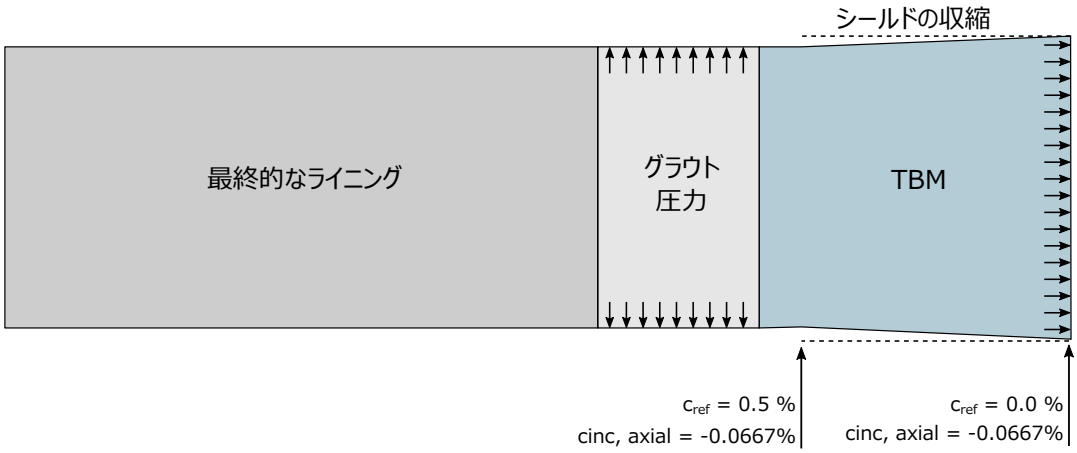


図 59: シールドトンネルモデルの施工段階

5.1 新しいプロジェクトの作成

モデルには、対称な半分だけが含まれます。モデルの幅は 20 m で、y 方向に 80 m まで延び、深さは 20 m です。この寸法は、想定される破壊のメカニズムの進展を可能にし、モデル境界からの影響を回避するのに十分な大きさとなります。

1. 入力プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。
2. **「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウの**「プロジェクト」**タブシートで、適切なタイトルを入力します。
3. 単位を既定のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. $x_{min} = -20$、$x_{max} = 0$。
   b. $y_{min} = 0$、$y_{max} = 80$。

5.2 土の層序の定義

地盤は 3 つの層で構成されます。柔らかい上部砂層は深さ 2m で、地表面から平均海抜（MSL）までに広がっています。上部砂層の下には厚さ 12m の粘土層があり、その下に非常に深くまで続く硬質な砂の層があります。硬質な砂の層については、このモデルでは 6m だけを含めます。したがって、モデルの底面は MSL の 18 m 下になります。土層はモデル全体で水平であると仮定するため、土層を記述するためのボアホールは 1 つだけで十分です。全水頭は MSL に対応します。

1. **「ボアホールを作成」**ボタンをクリックし、座標系の原点をクリックして（0 0 0）にボアホールを作成します。**「土層の修正」**ウィンドウが開きます。
2. 3 つの層を定義します。上から順に、上面が 2m で底面が 0m の砂の層、底面が-12m の粘土の層、底面が-18m の硬質な砂の層です。

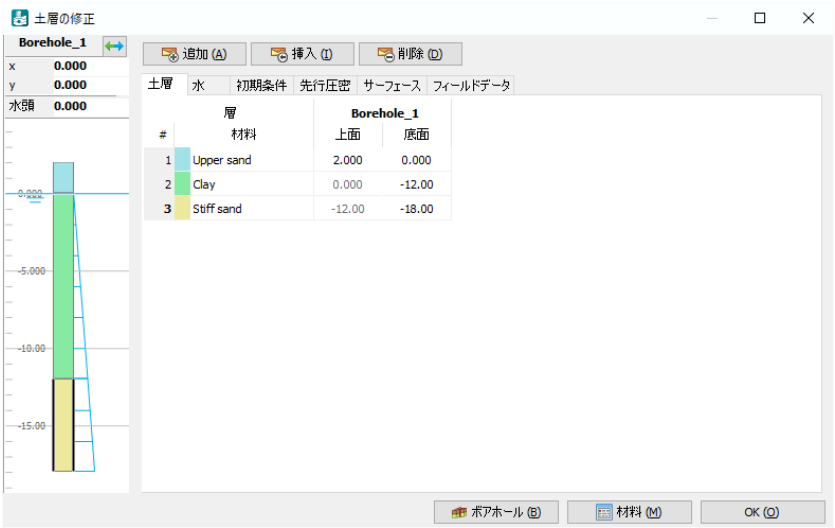


図 60: 土層分布

5.3 材料データセットの作成と割り当て

データセットの材料特性を表 14 (P78)に示します。

表 14: 土層の材料特性

特性	名前	上部砂	粘土	硬質砂	コンクリート	単位
一般						
土のモデル	モデル	モール･クーロン	モール･クーロン	モール･クーロン	線形弾性	-
排水タイプ	タイプ	排水	排水	排水	非多孔性	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	17.0	16.0	17.0	27.0	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	20.0	18.0	20.0	-	kN/m^3
構造						
ヤング係数	E'_{ref}	$1.3 \cdot 10^4$	$1.0 \cdot 10^4$	$7.5 \cdot 10^4$	$3.1 \cdot 10^7$	kN/m^2
ポアソン比	$\nu(nu)$	0.3	0.35	0.3	0.1	-
粘着力	c'_{ref}	1.0	5.0	1.0	-	kN/m^2
摩擦角	$\varphi'(phi)$	31	25	31	-	°
ダイレイタンシー角	$\psi(psi)$	0	0	0	-	°
インターフェース						
インターフェース強度	-	剛体	剛体	剛体	剛体	-
初期						
K_0 の決定	-	自動	自動	自動	自動	-

1. **「材料」**ボタンをクリックして材料データベースを開き、表 14 (P78)に従って、土層のデータセットとコンクリート製の最終的なトンネルのライニングのデータセットを作成します。
2. 材料データセットを対応する土層に割り当て（図 60 (P77)を参照）、**「土層の修正」**ウィンドウを閉じます。コンクリートのデータセットは後で割り当てます。

5.4 構造要素の定義

トンネル掘削は、長さ 9.0m、直径 8.5m のトンネル掘削機（TBM）によって行われます。TBM は土の中をすでに 25m 進んでいます。その後のフェーズでは、それぞれ 1.5m の前進をモデル化します。

注記: ここで検討するトンネルでは、トンネルのライニングが均質でトンネルが一度に構築されるため、セグメントは特定の意味を持ちません。一般に、セグメントの意味は次の場合に重要になります。

- トンネル（ライニング）をさまざまな段階で掘削または構築する必要がある場合。
- トンネルのセグメントによってライニングの特性が異なる場合。

- ライニングのヒンジ接続を考慮する場合（**「段階施工」モード**では、ヒンジはトンネルの設計後に追加することができます。『Reference Manual PLAXIS 3D』の*第 7 章「Definition of connections」*を参照してください）。
- トンネル形状が半径の異なる弧で構成される場合（NATM トンネルなど）。

トンネルのライニングの材料特性を表 15 (P79)に示します。

表 15: TBM を表す板の材料特性

特性	名前	TBM	単位
一般			
材料タイプ	-	弾性	-
単位 重量	γ	247	kN/m^3
構造			
等方性	-	有効	-
ヤング係数	E_1	$200 \cdot 10^6$	kN/m^2
ポアソン比	ν_{12}	0	-
厚さ	d	0.17	m
せん断弾性係数	G_{12}	$100 \cdot 10^6$	kN/m^2

注記: トンネルのライニングは曲面板（シェル）で構成されます。ライニングの特性は板の材料データベースで指定することができます。同様に、トンネルインターフェースは曲線インターフェースに過ぎません。

5.4.1 トンネルの作成

「構造物」モードで トンネルと TBM の両方の形状を定義します。

1. サイドツールバーの**「デザイナーを開始」**ボタンをクリックします。
2. リストから**「トンネルを作成」**ボタンをクリックします。
3. 描画領域で任意の場所をクリックして挿入点を定義します。**「トンネルデザイナー」**ウィンドウが表示されます。
4. **「選択エクスプローラー」**でトンネルの挿入点を（0 0 -13.25）に設定します（図 61 (P80)を参照）。

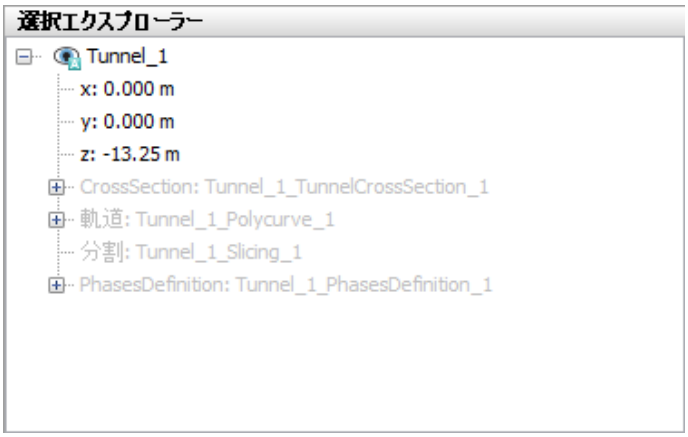


図 61: トンネルの挿入点

5. **「一般」**タブシートで、**「形状タイプ」**のドロップダウンメニューから「円形」オプションを選択します。
6. この例では、トンネルの左半分を生成します。「全体 or 半トンネル」のドロップダウンメニューで**「左半分を定義」**オプションを選択します。割り当てが適切に完了した**「一般」**タブシートのスクリーンショットを図 62 (P81)に示します。
7. **「セグメント」**タブシートをクリックして対応するタブシートに進みます。セグメントが自動的に作成されます。セグメントリストの下に、セグメントの特性を定義できる新しいボックスが表示されます。
8. **「セグメント」**ボックスで「半径」を 4 m に設定します。これはトンネルの内側の半径です。
9. **「サブセクション」**タブシートに進みます。
10. サイドツールバーの**「ライニング板厚を生成」**ボタン をクリックします。**「ライニング板厚を生成」**ウィンドウが表示されます。
11. 0.25 m の値を割り当て、**「OK」**をクリックします。割り当てが適切に完了した**「横断面」**タブシートのスクリーンショットを図 63 (P81)に示します。
12. **「プロパティ」**タブシートに進みます。ここでは、グラウト圧力、表面収縮、ジャッキの力、トンネル面圧力などのトンネルの特性を定義します。
13. **「スライス」**タブの横断面図で外側のサーフェースを右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「板を作成」**の順に選択します（図 64 (P82)を参照）。
14. エクスプローラーの下の部分で**「材料」**をクリックします。TBM 用に新しい材料データセットを作成し、表 15 (P79)に従って TBM の材料パラメータを指定します。

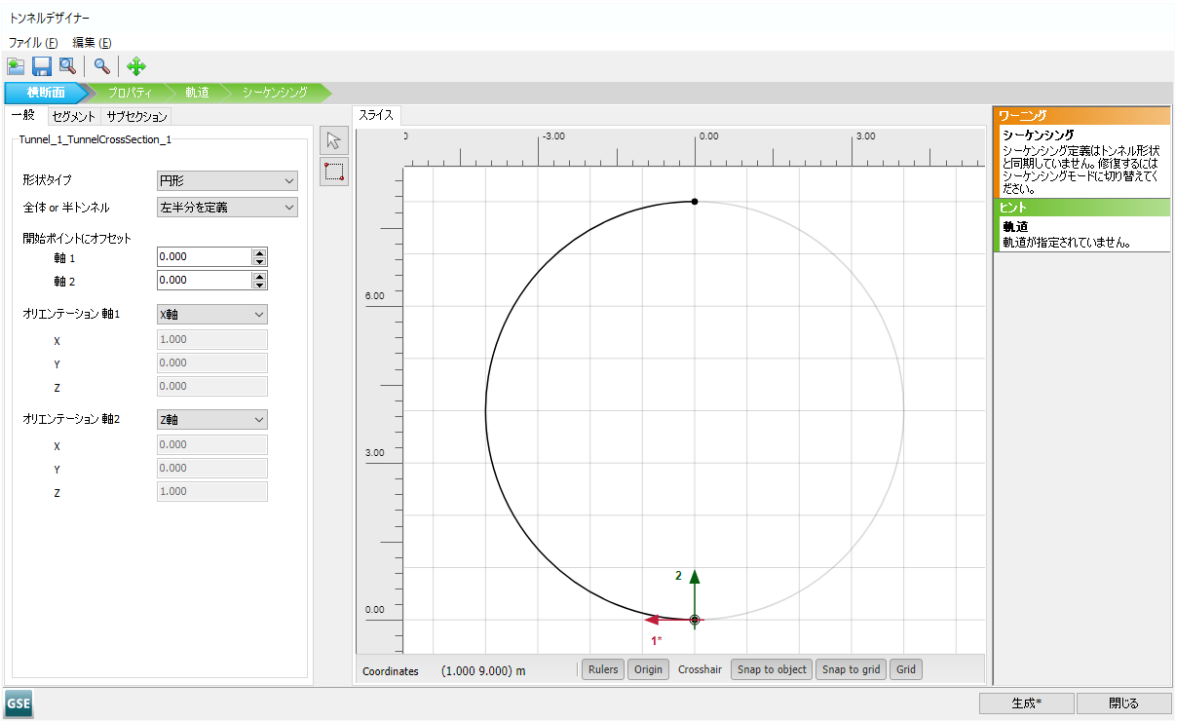


図 62: 「トンネルデザイナー」の「一般」タブシート

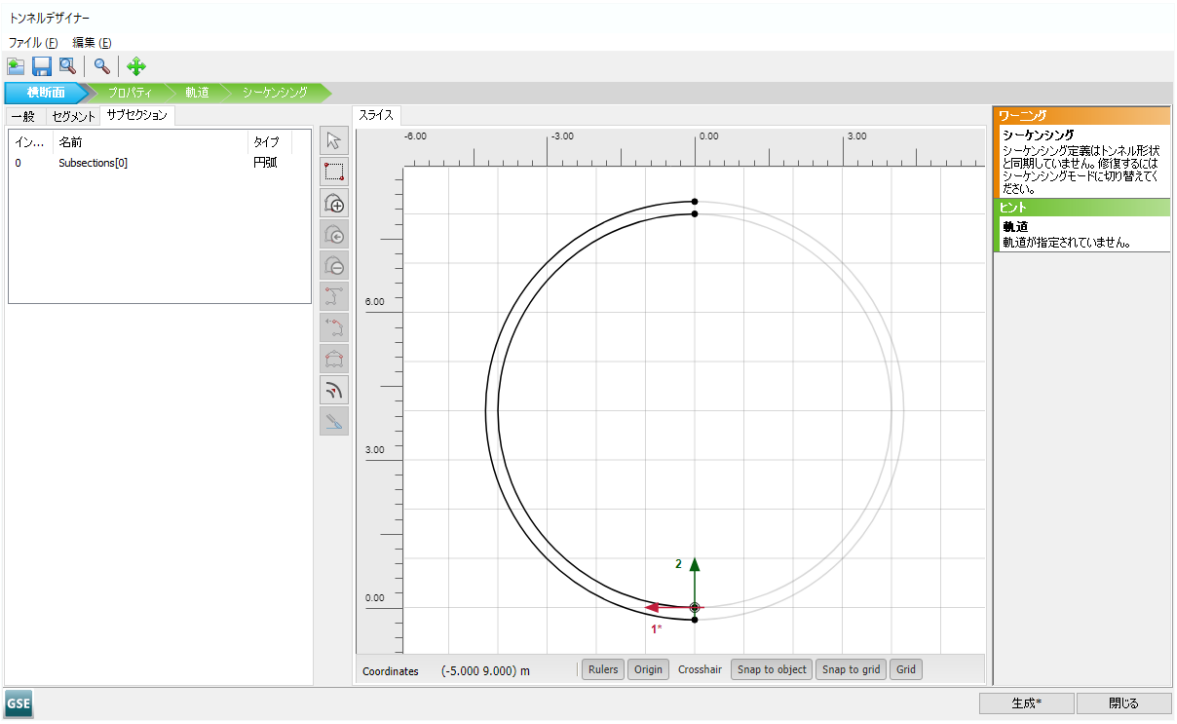


図 63: トンネルデザイナーの「横断面」タブシート

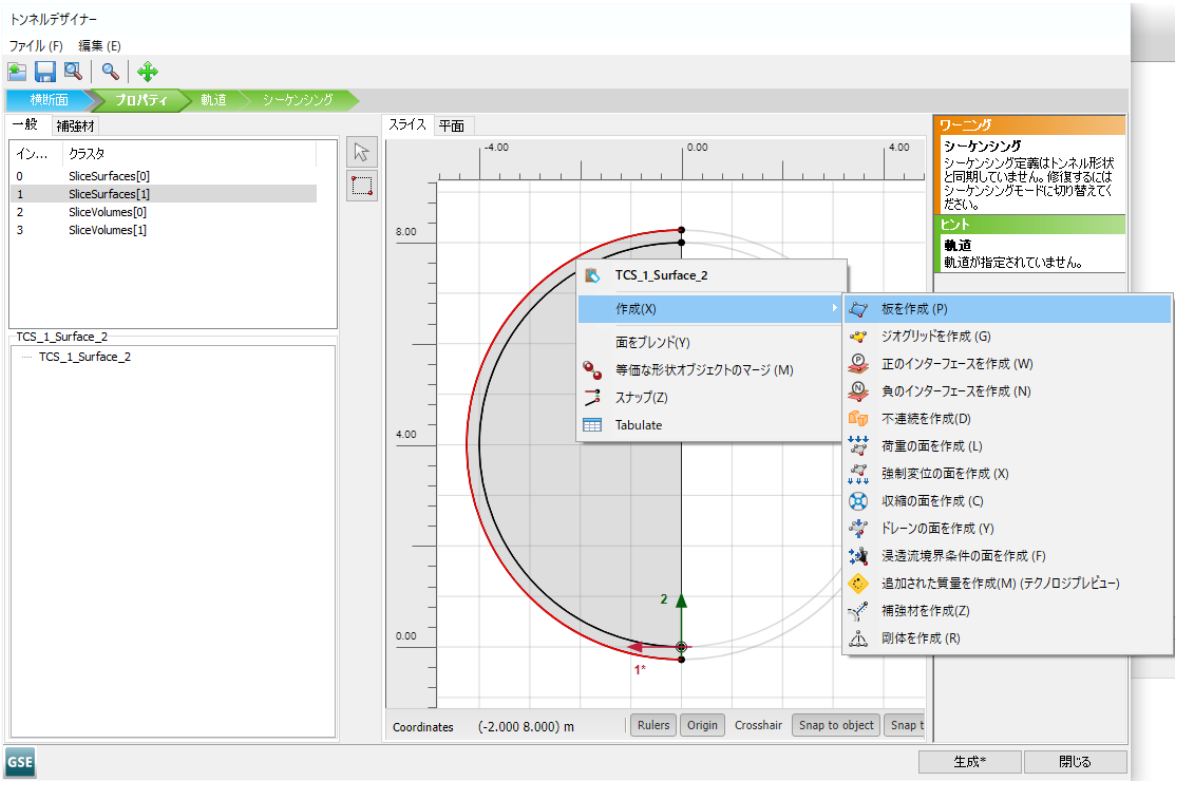


図 64: 板を作成するための「トンネルデザイナー」の「プロパティ」タブシート

5.4.2 表面収縮

TBM はわずかに円錐状の形状をしているため、トンネルの外側に地盤-構造の相互作用を追加する必要があります。一般に、TBM の後部の断面積は TBM の前面よりも約 0.5%小さくなります。直径の縮小は TBM の最初の 7.5m までで、後部までの最後の 1.5m の直径は一定です。つまり、断面の最後部は 0.5%の一様収縮、残りの 5 つの断面は基準値 C_{ref} = 0.5%で増分 $C_{inc,axial}$ = -0.0667%の線形収縮になります。その基準はトンネル施工中における掘削部分の最前面（切羽）に設定されます。これはシーケンシングステップの設定で行います。$C_{inc,axial}$ = -0.0667%/m はすべてのステップ（1_1～1_5）で同じです。**「収縮の面」**の詳細については、『Reference Manual PLAXIS 3D』を参照してください。

1. 同じ外側のサーフェースを右クリックし、表示されるメニューから**「負のインターフェースを作成」**をクリックして、トンネル全体の周囲に負のサーフェースを作成します。
2. 次に、トンネルの**「収縮の面」**を作成します。外側のサーフェースを右クリックし、**「作成」** > **「収縮の面を作成」**の順に選択します。
3. トンネルの**「選択エクスプローラー」**で **「SurfaceContraction」** > **「分布」** > **「軸の増分」**の順に選択し、C_{ref} = *0.5*%および $C_{inc,axial}$ = *-0.0667*%/m と定義します。収縮は正のローカルの *1* 軸の方向に減少するため、増分は負の値にする必要があります。

注記:

- トンネルの外形の 0.5%の表面収縮は、トンネルの体積の 0.5%の体積減少にほぼ対応します（表面収縮の値が小さい場合にのみ該当します）。

- 入力した収縮の値は、周囲のクラスタとオブジェクトの剛性によっては必ずしも完全には適用されません。

5.4.3 グラウト圧力

グラウト圧力を表すサーフェース荷重は、構築プロセスで一定です。トンネル掘削プロセスの仕様では、トンネルの上面（z = -4.75m）のグラウト圧力が-100 kN/m^2 で、深さが 1m 増すごとに-20 kN/m^2 ずつ増えていくと規定されています。グラウト圧力を定義するには、次の手順に従います。

1. 外側のサーフェースを右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「荷重の面を作成」**の順にクリックして、トンネル全体の周囲に荷重の面を作成します。
2. トンネルの**「選択エクスプローラー」**で、**「SurfaceLoad」** > **「分布」**のドロップダウンメニューから **「垂直, 鉛直増分」**を選択します。
3. $\sigma_{n,ref}$ を-100、$\sigma_{n,inc}$ を-20 に設定し、x_{ref}、y_{ref}、z_{ref} に値を割り当てて基準点を（0 0 -4.75）と定義します（図 65 (P83)を参照）。

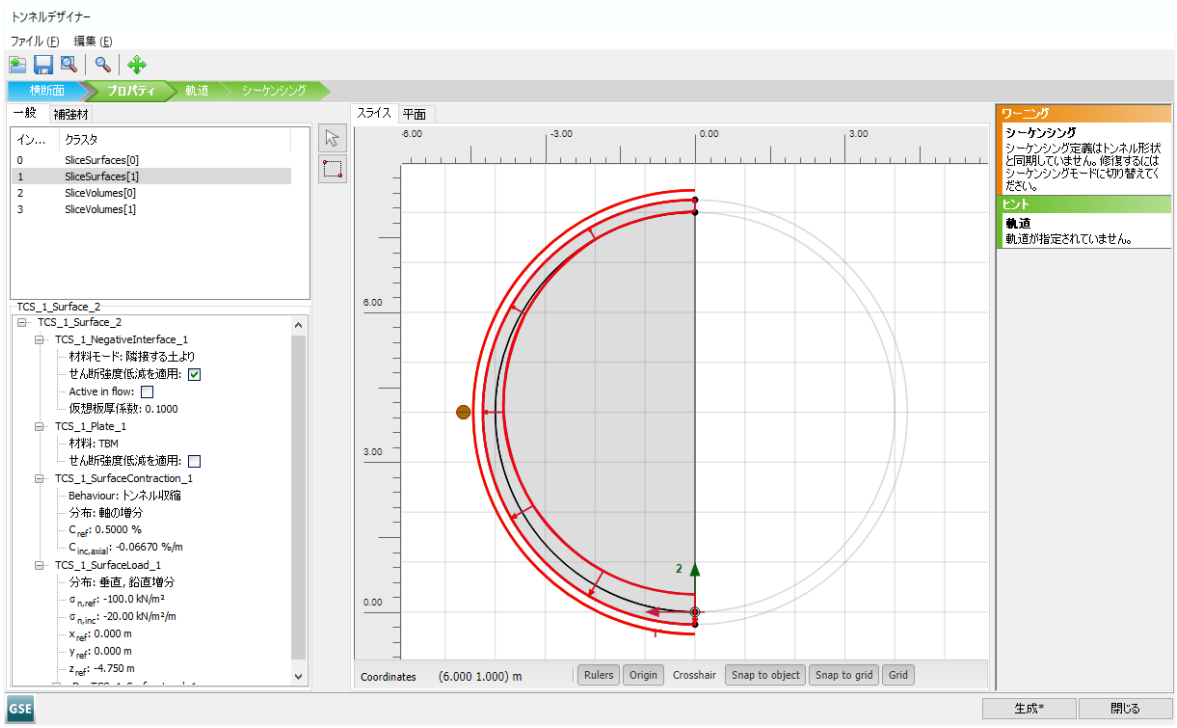


図 65: 「トンネルデザイナー」の「スライス」タブシート

5.4.4 トンネル面圧力

トンネル面圧力は、深さに応じて線形に増加するベントナイト圧力（ベントナイトスラリー、BS）または土圧（土圧バランス、EPB）です。TBM の前進をシミュレートするときの TBM の初期位置と連続する 4 つの位置について、トンネル面圧力を定義する必要があります。

1. 表示されたトンネル横断面図の上にある**「平面」**タブを選択します 。

2. 両方のサーフェースを選択して右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「荷重の面を作成」**の順にクリックして、トンネル全体の周囲に荷重の面を作成します。
3. 「選択エクスプローラー」のボックスで **「選択」** > **「荷重の面」**の順に選択し、**「分布」**オプションのドロップダウンメニューから**「垂直, 鉛直増分」**を選択します。
4. $\sigma_{n,ref}$ を-90、$\sigma_{n,inc}$ を-14 に設定し、x_{ref}、y_{ref}、z_{ref} に値を割り当てて基準点を（0 0 -4.75）と定義します（図 66 (P84)を参照）。

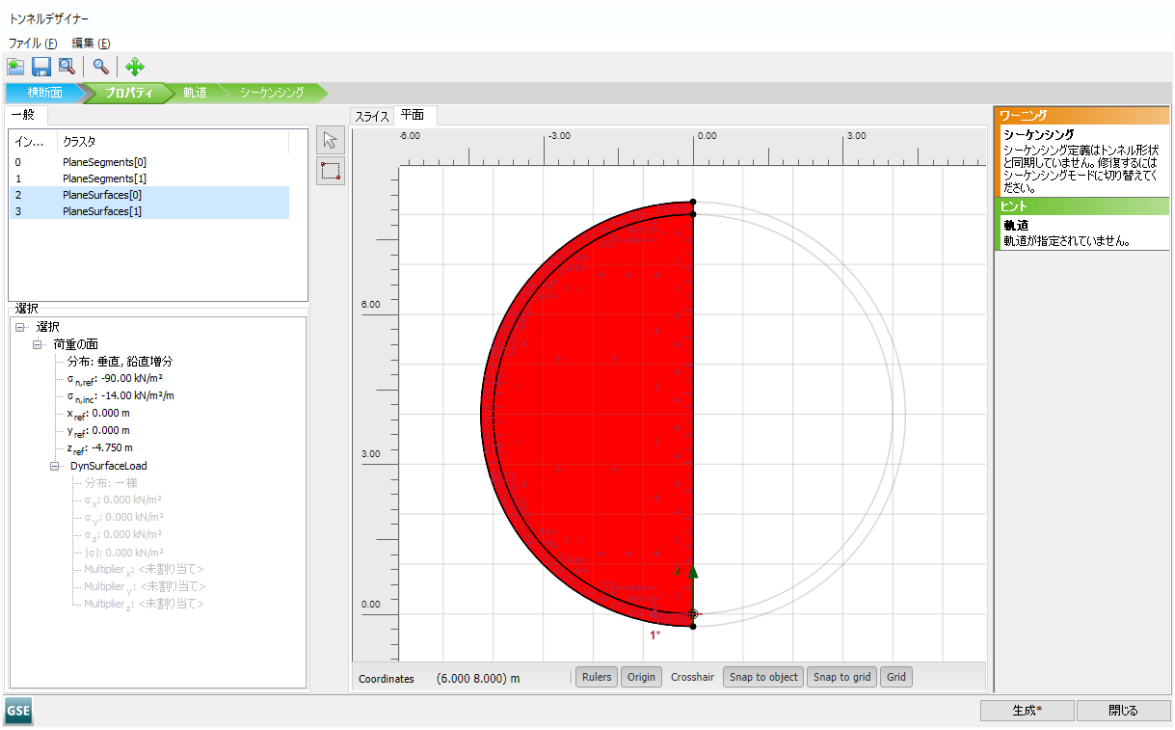


*図 66: **「トンネルデザイナー」**の「平面」タブシート*

5.4.5 ジャッキの力

掘削プロセスで TBM が前進するには、既存のトンネルライニングを押す必要があります。これは油圧ジャッキによって行われます。ジャッキによって最終的なトンネルのライニングに加えられる力を考慮する必要があります。これは、**「シーケンシング」**タブでトンネルのライニングに割り当てます。

5.4.6 軌道

次の手順は、掘削プロセスの経路の作成です。TBM は土の中をすでに 25m 進んでおり、その後 25m から 41.5m まで 1.5m ずつスライスを掘削して進みます。

1. **「軌道」**タブをクリックして対応するタブシートに進みます。
2. **「セグメント」**タブで、左のツールバーの**「追加」**をクリックします。
3. プロパティのボックスで、長さを 25 に設定します。
4. 次のセグメントを追加し、長さを 16.5 に設定します。
5. スライスを作成するには、**「分割」**タブに進みます。
6. 2 番目に作成したセグメントをクリックします。プロパティのボックスで、**「分割方法」**として「長さ」を選択し、**「分割長さ」**を 1.5m に設定します（図 67 (P85)）。

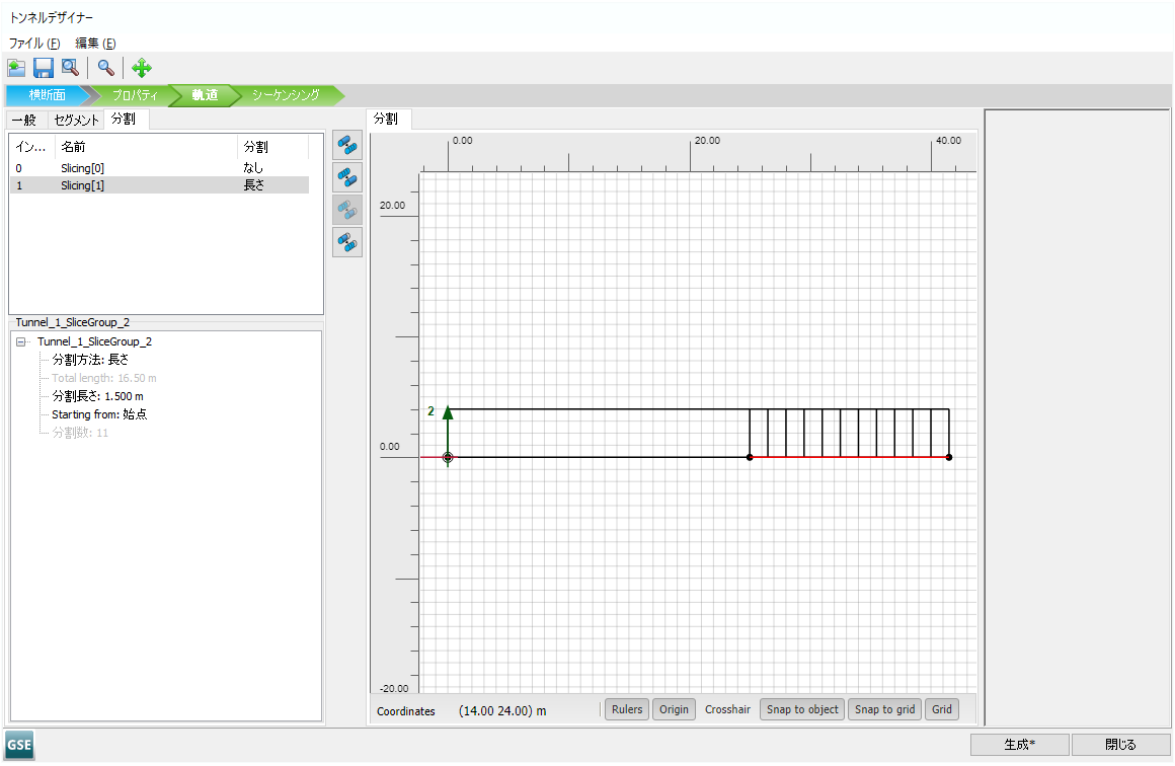


*図 67: **「トンネルデザイナー」**の「軌道」タブシート*

5.4.7 シーケンシング

「段階施工」モードでのフェーズの定義を簡単にするために、トンネルのシーケンシングを定義します。TBM の前方の土を掘削し、トンネル面に支持圧力を加え、TBM シールドを作動させて、シールドのコニシティをモデル化します。その後、TBM の後方のテールボイドによる圧力をモデル化します。さらに、油圧ジャッキによって TBM に加えられる駆動力を モデル化する必要があります。 最後に、新しいライニングリングを設置します。

1. **「シーケンシング」**タブをクリックして対応するタブシートに進みます。
2. **「シーケンシング」**タブシートで、**「掘削工法」**が「TBM」に設定されています。

a. **<Step_1_1、掘削面>**

- **「スライス」**タブ（表示されたトンネル横断面図の上）を選択し、トンネルの内部の領域を選択します。**「選択エクスプローラー」**で土を非アクティブにし、**「WaterConditions」**を「乾燥」に設定します。
- 同じく**「スライス」**タブシートで、外側のサーフェースを選択します。**「選択エクスプローラー」**で、負のインターフェース、板、および表面収縮をアクティブにします（図 68 (P86)）。
- 表面収縮について、C_{ref} = 0%に設定します（掘削の前面であるため）。
- **「平面の正面」**タブに移動し、すべてのサーフェースを選択します。面圧に対応するサーフェース荷重をアクティブにします（図 69 (P87)）。

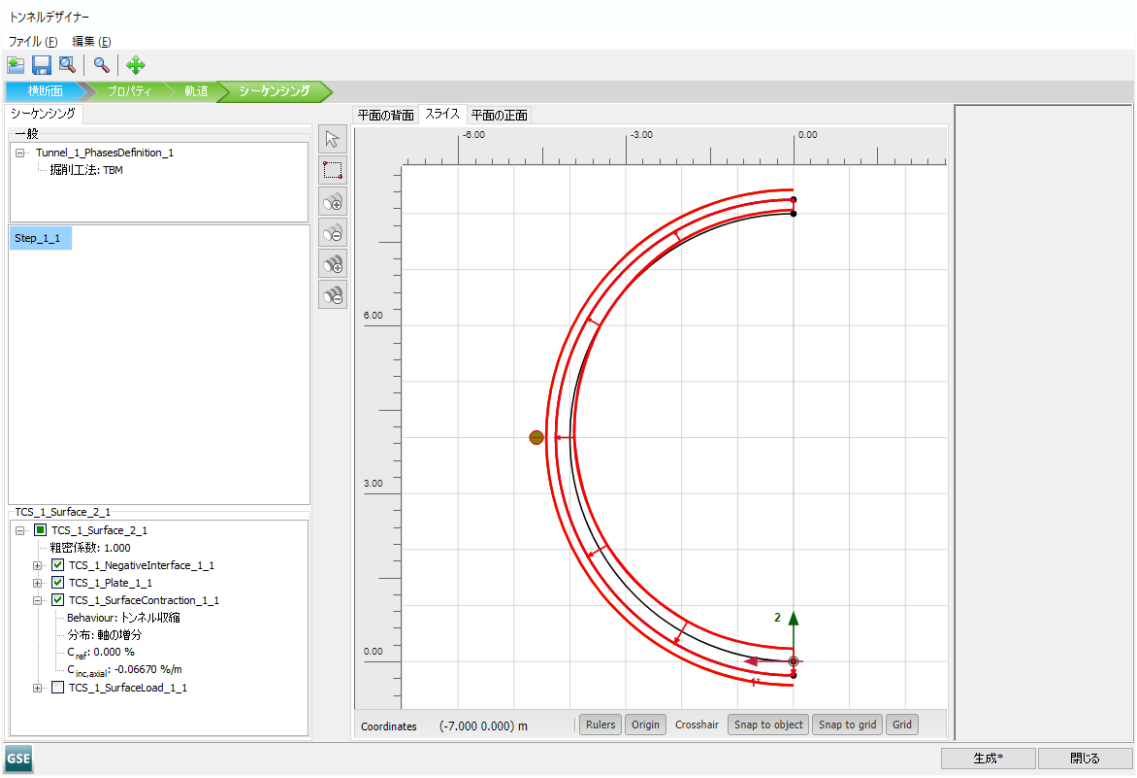


*図 68: Step_1_1 の**「トンネルデザイナー」**の「スライス」タブシート*

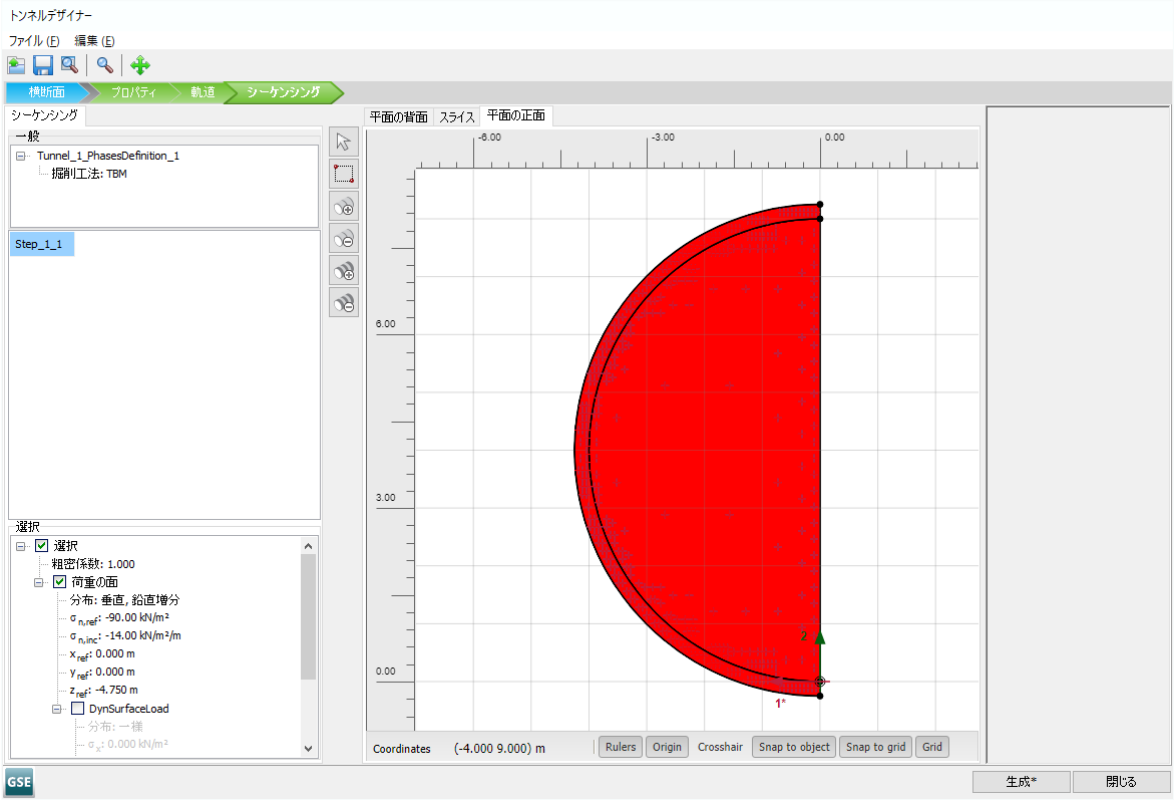


*図 69: Step_1_1 の**「トンネルデザイナー」**の「平面の正面」タブ*

b. **<Step_1_2、TBM とコニシティ>**

- **「トンネルフェーズステップを追加」**をクリックして新しいステップを追加します。TBM の前面との違いは面圧のみです。

- **「平面の正面」**タブに移動し、すべてのサーフェースを選択します。**「選択エクスプローラー」**で、面圧に対応するサーフェース荷重は既定で非アクティブになっています。
- **「スライス」**タブに移動し、外側のサーフェースを選択して C_{ref} = 0.1%に設定します（図 70 (P88)を参照）。

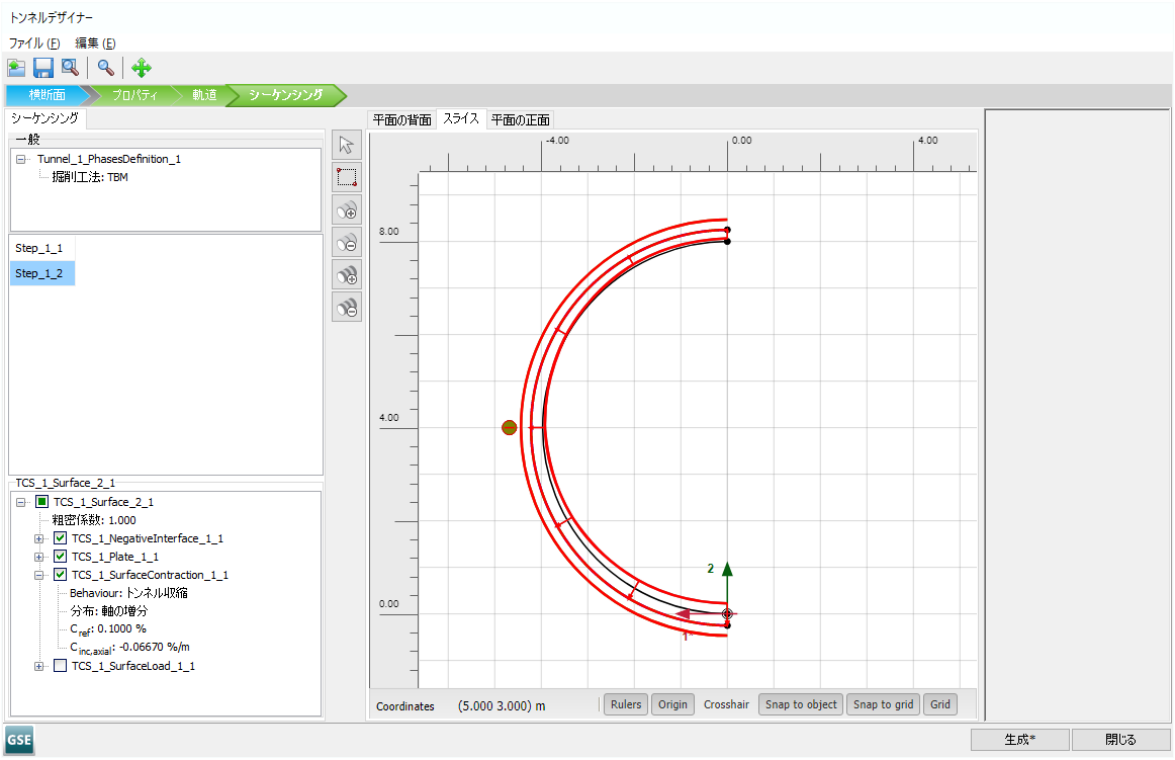


*図 70: Step_1_2 の**「トンネルデザイナー」**の「スライス」タブシート*

c.  **<Step_1_3～Step_1_5、TBM とコニシティ>**

- **「トンネルフェーズステップを追加」**ボタンを 3 回クリックして新しいステップを 3 つ追加します。これらのステップは、TBM シールドの残りの円錐部を定義するために必要です（図 71 (P89)）。
- それぞれのステップについて、**「スライス」**タブに移動して外側のサーフェースを選択し、**「選択エクスプローラー」**で表面収縮の値を次のように設定します。

Step_1_3:C_{ref}= 0.2%

Step_1_4:C_{ref}= 0.3%

Step_1_5:C_{ref}= 0.4%（図 71 (P89)を参照）

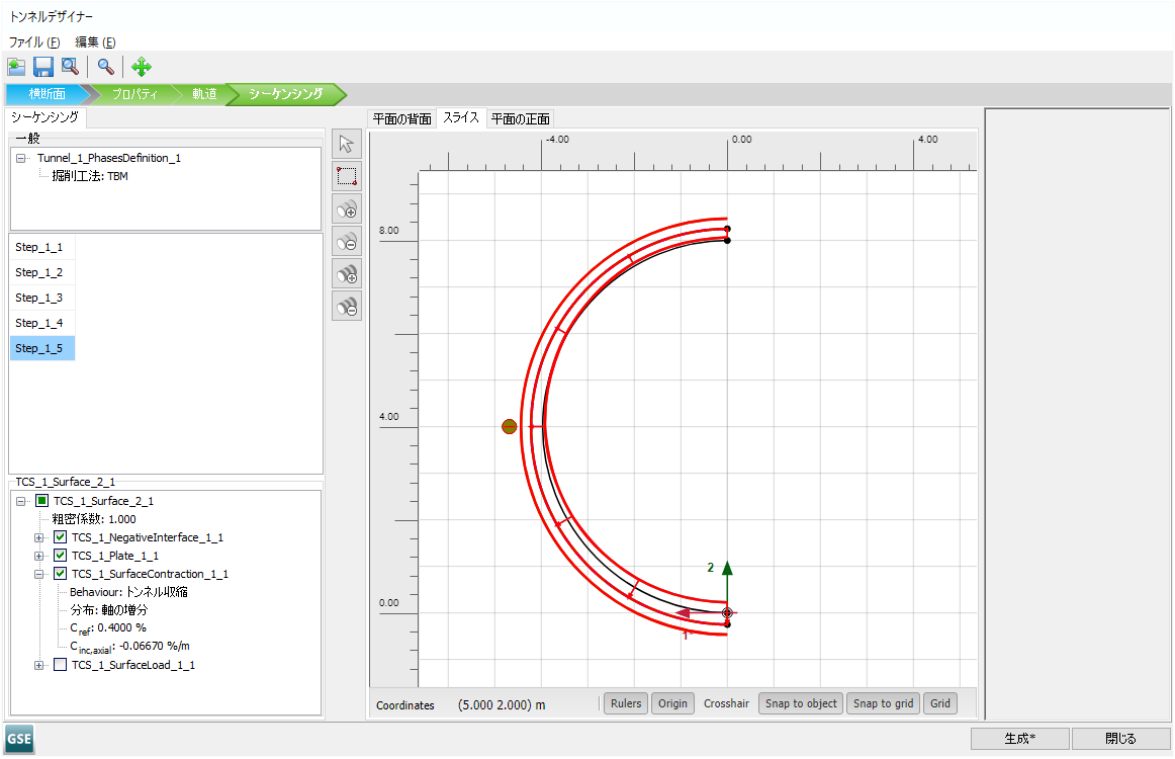


*図 71: Step_1_3 ～Step_1_5 の**「トンネルデザイナー」**の「スライス」タブ*

d. **<Step_1_6、シールドの後部>**

- シールドの最後のスライスの直径は一定です。**「スライス」**タブで外側のサーフェースを選択し、表面収縮を選択します。
- **「選択エクスプローラー」**で、**「SurfraceContraction」** > **「分布」**から「一様」オプションを選択して C_{ref} = 0.5%に設定します（図 72 (P90)）。

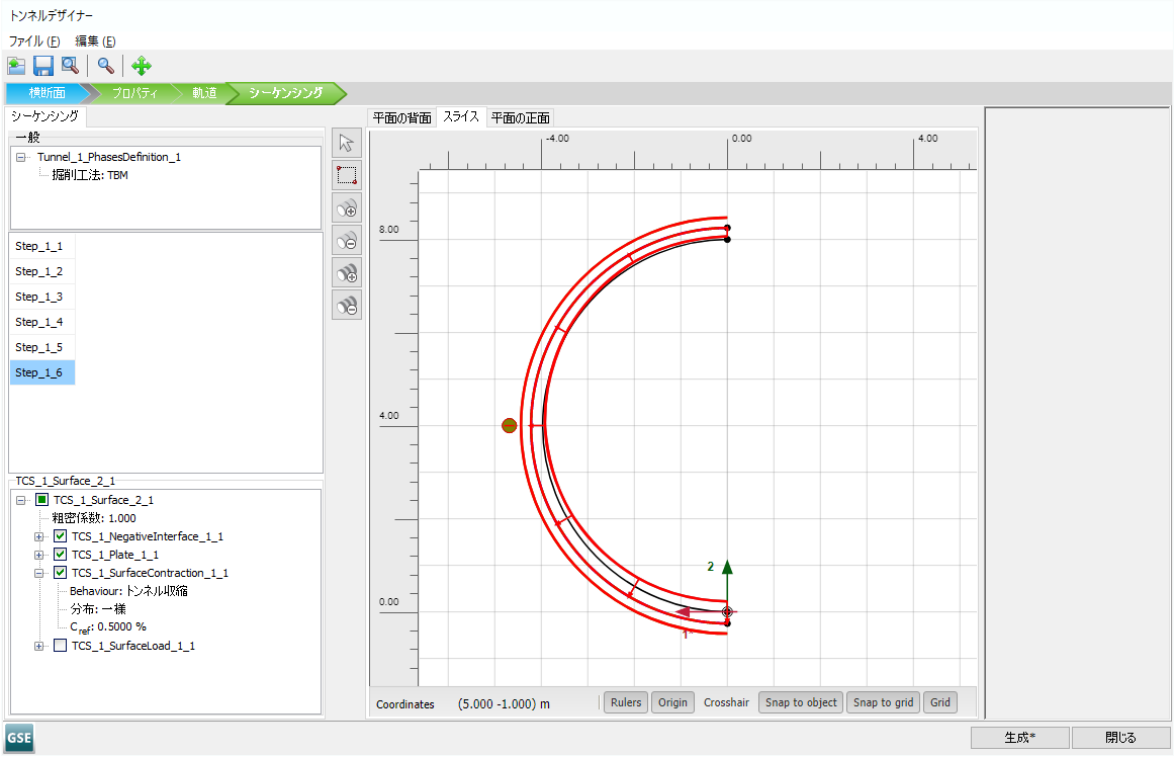


*図 72: Step_1_6 の**「トンネルデザイナー」**の「スライス」タブシート*

e. **<Step_1_7、グラウトとジャッキ推力>**

掘削プロセスで TBM が前進するには、既存のトンネルライニングを押す必要があります。これは油圧ジャッキによって行われます。ジャッキによって最終的なトンネルのライニングに加えられる力を考慮する必要があります。

- **「スライス」**タブを選択し、外側のサーフェースを選択します。
- 負のインターフェース、板、および表面収縮を非アクティブにします。
- **「選択エクスプローラー」**で、グラウト圧力に対応するサーフェース荷重をアクティブにします（図 73 (P91)）。

- **「平面の背面」**タブを選択し、外側のサーフェースを選択して最終的なライニングに対するジャッキ推力を定義します。
- **「選択エクスプローラー」**でサーフェース荷重をアクティブにし、分布に「垂直」オプションを選択して $\sigma_{n,ref} = 635.4\ \mathrm{kN/m^2}$ に設定します（図 74 (P92)）。

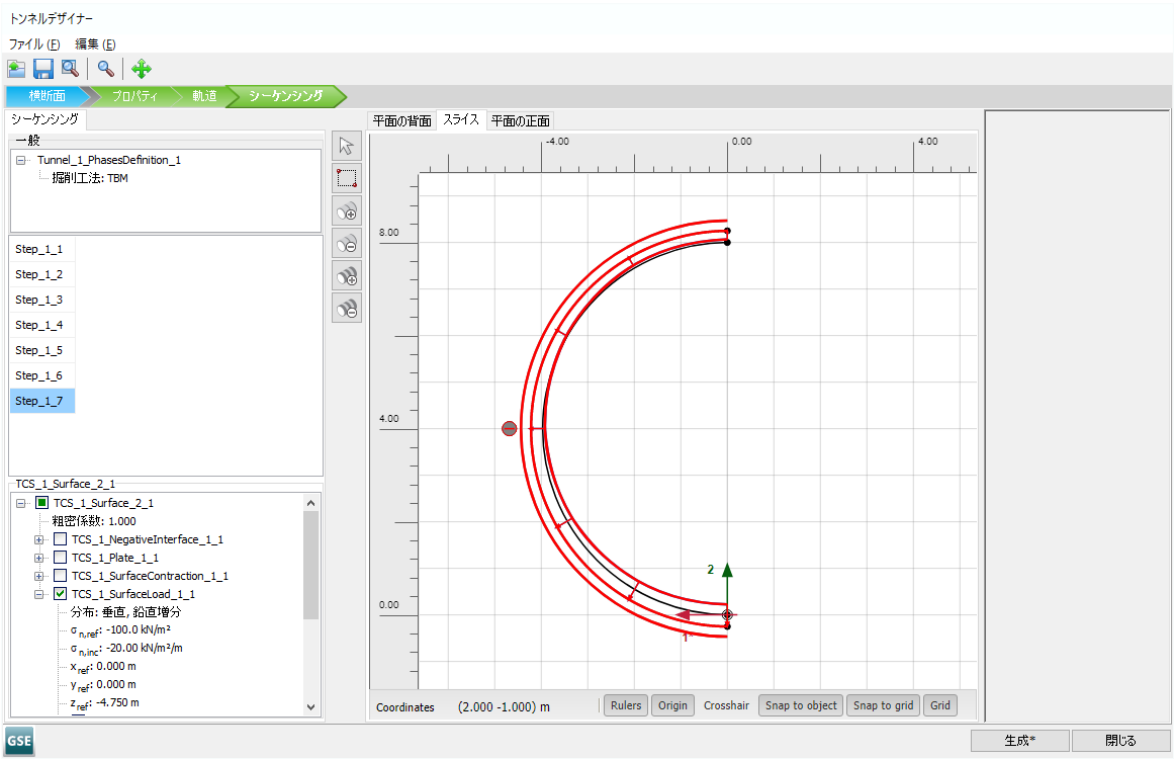


*図 73: Step_1_7 の**「トンネルデザイナー」**の「スライス」タブシート*

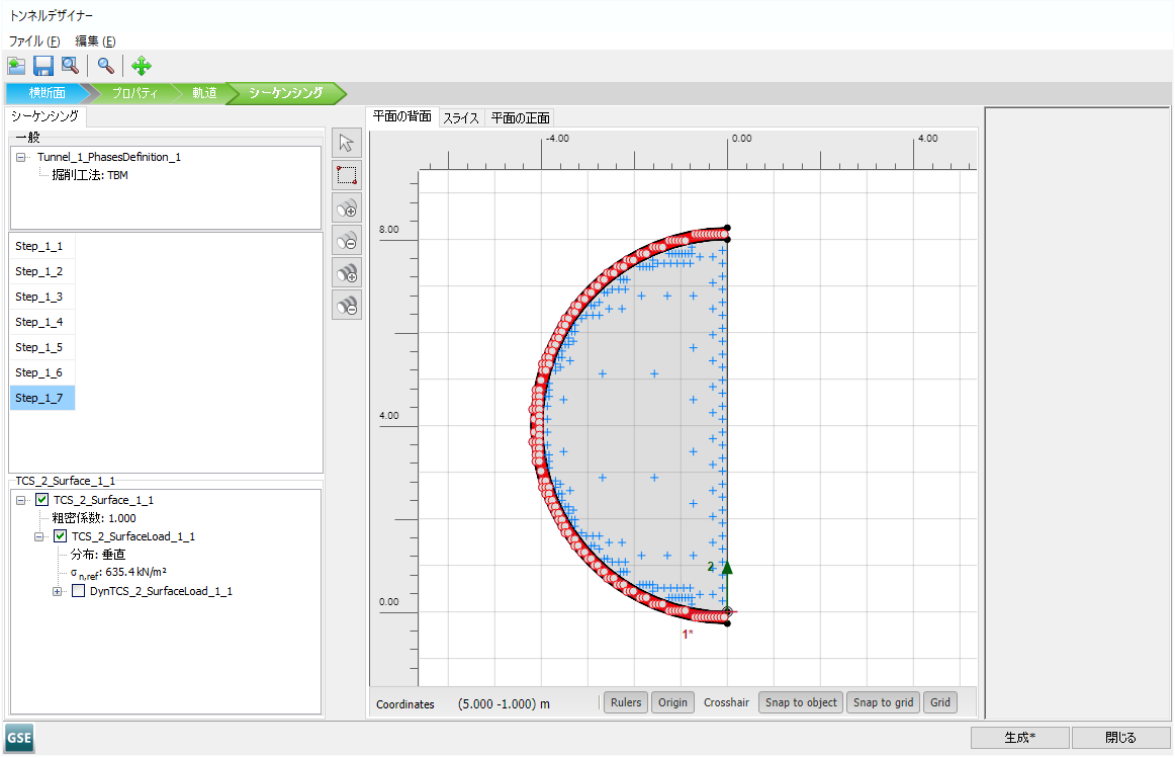


*図 74: Step_1_7 の**「トンネルデザイナー」**の「平面の背面」タブシート*

f.  **<Step_1_8、最終的なライニング>**

- **「スライス」**タブシートを選択し、外側のサーフェースを選択します。
- **「選択エクスプローラー」**で、グラウト圧力に対応するサーフェース荷重を非アクティブにし、負のインターフェースをアクティブにします。

- 同じく**「スライス」**タブシートで、外側の領域を選択します。その領域をアクティブにし、材料をクリックしてドロップダウンメニューから「Concrete」オプションを選択します（図 75 (P93)）。
- **「平面の背面」**タブシートを選択し、外側のサーフェースを選択します。
- **「選択エクスプローラー」**で、スラストジャッキに対応するサーフェース荷重を非アクティブにします（図 76 (P94)）。

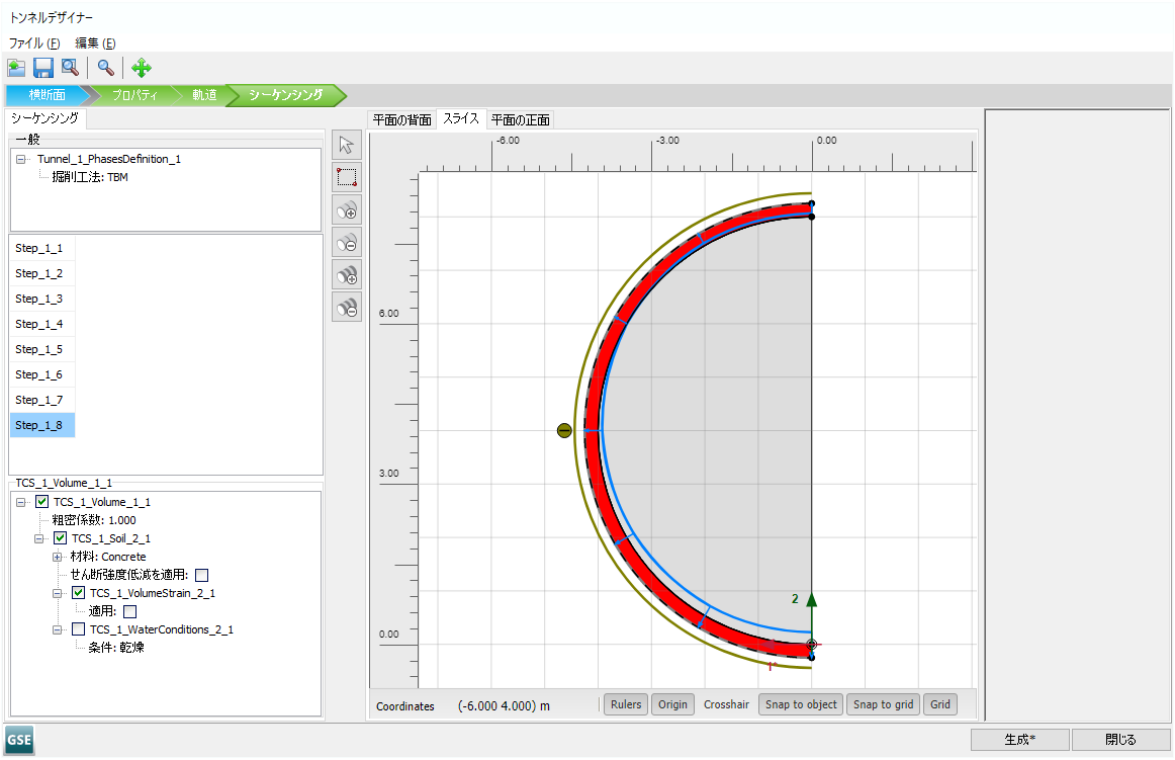


*図 75: Step_1_8 の**「トンネルデザイナー」**の「スライス」タブシート*

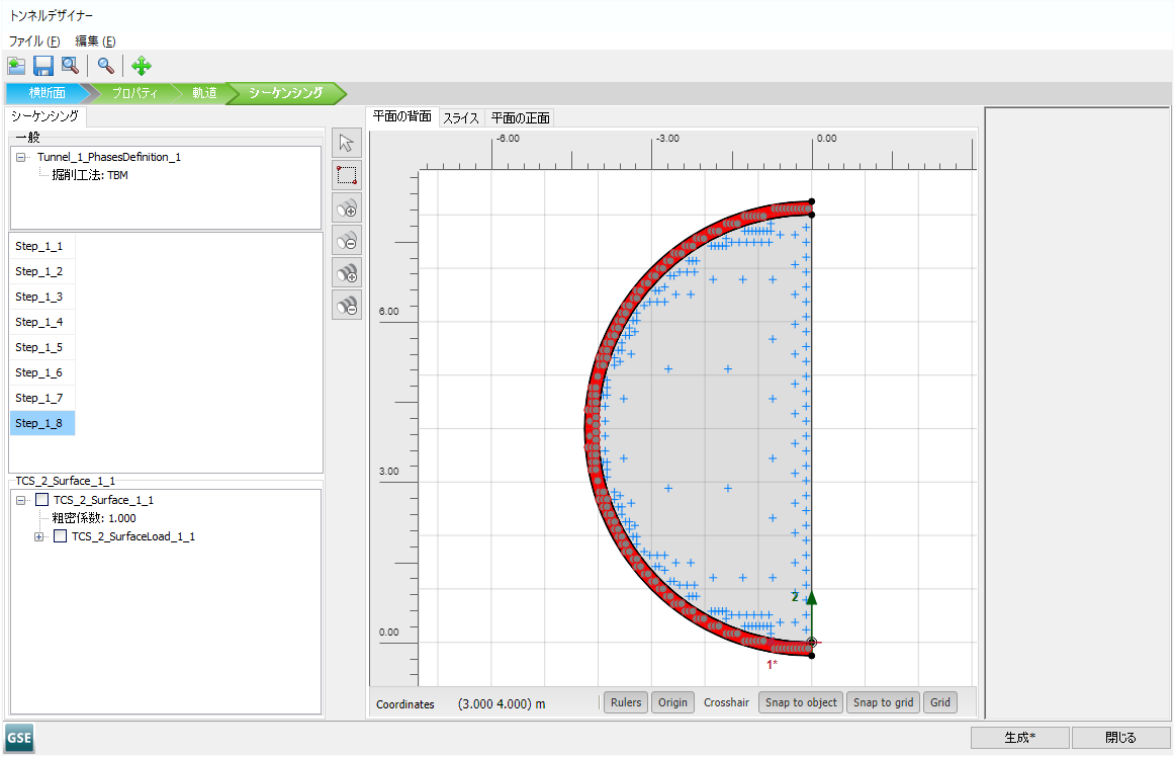


図 76: Step_1_8 の「トンネルデザイナー」の「平面の背面」タブシート

注記: *Step1_1～Step1_5* については、収縮増分 $C_{inc,axial}$ を-0.0667%にする必要があることに注意してください。

3. **「生成」**をクリックして、定義したトンネルをモデルに含めます。
4. スライスを作成するには、**「スライス」**タブシートに進みます。
5. **「トンネルデザイナー」**ウィンドウを閉じます。
   その後、**「構造物」モード**でモデルを作成します。**「オプション」**メニューをクリックし、**「構造物とあわせて曲面にローカル軸を表示」**を選択します （図 77 (P94)を参照）。

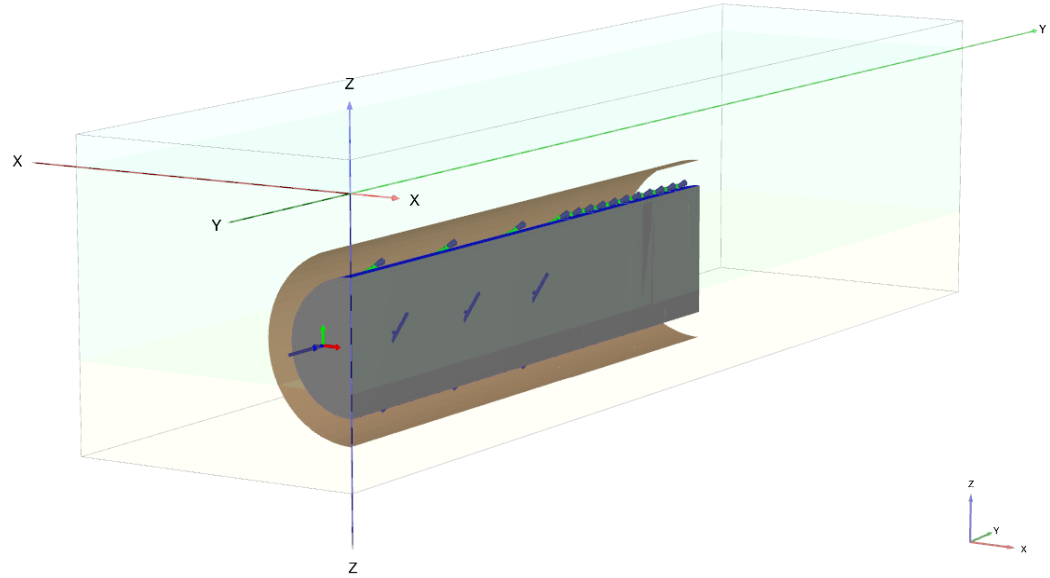


図 77: 「構造物」モードでの作成されたトンネル

5.5 メッシュの生成

「メッシュ」モードでは、全体的および局所的な細分化を指定してメッシュを生成することができます。この例では、既定の局所的な細分化のままでかまいません。

1. メッシュを生成するには**「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。**「メッシュオプション」**ウィンドウが表示されます。

   既定のオプション（「普通」）を使用してメッシュが生成されます。
2. **「メッシュ表示」**ボタンをクリックして、生成されたメッシュ（図 78 (P95)）を確認します。

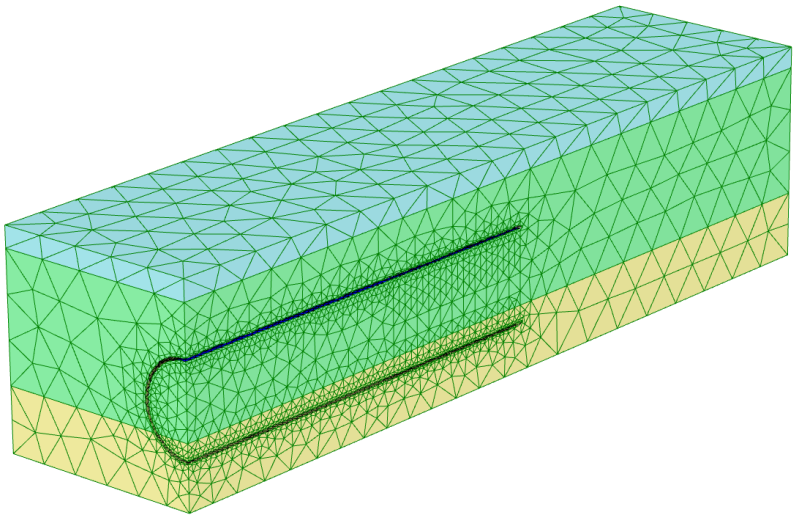


図 78: 生成されたメッシュ

メッシュを確認したら、出力ウィンドウは閉じてかまいません。これでメッシュ生成が完了し、計算フェーズの定義に必要なすべての入力の作成が完了しました。

5.6 計算の定義と実行

土の掘削とトンネルのライニングの施工を**「段階施工」**モードでモデル化します。水位は一定に保たれるため、**「フロー条件」**モードはスキップすることができます。メッシュ生成のために、トンネルは事実上、粘土層に位置する上部と硬質砂層に位置する下部に分割されていることに注意してください。結果として、トンネルの下部と上部の両方を考慮する必要があります。

最初のフェーズでトンネルを初めて有効化するため、このフェーズは以降のフェーズとは異なります。このフェーズでは、土の中をすでに 25 m 進んでいるトンネルをモデル化します。その後のフェーズでは、それぞれ 1.5 m の前進をモデル化します。

5.6.1 初期フェーズ

初期フェーズでは、「K_0 計算」を使用して初期応力を生成します。初期フェーズについては、既定の設定値のままでかまいません。

5.6.2 フェーズ 1:TBM の初期位置

最初のフェーズで、TBM がすでに 25 m 進んでいると仮定します。最初の 25 m の次の断面（25 m～26.5 m の断面）で TBM のすぐ後のテールボイドにグラウトが注入された領域を表します。その後の 6 つの断面（26.5 m～35.5 m）で TBM をモデル化します。

1. 最初の計算フェーズを追加します。
2. **「モデルエクスプローラー」**で「トンネル」を展開し、「Tunnel_1」を展開します。*「モデルエクスプローラー」*を*「Advance to next tunnel step」*オプションまで下にスクロールし、最初の 25 m の前進をシミュレートするために 7 に設定します。
   最終的なライニングは、次のフェーズでアクティブにします。最初の 25 m の TBM のコニシティを考慮するために、最終的なライニングを表すクラスタを非アクティブにする必要があります。TBM を表す板はアクティブにし、0.5%の収縮を適用します。
3. トンネルの内部が明確に見えるように、右側面図を選択してモデルの方向を変更します。
4. 描画領域で、最初の 25 m のライニングに対応する土層を選択します（図 79 (P96)）。

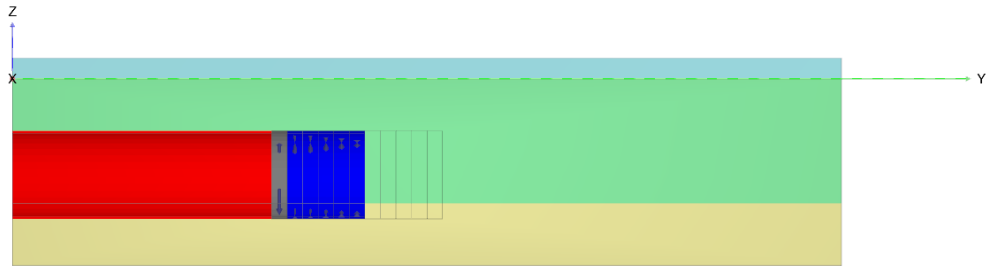


図 79: 土層の選択（0 m～25 m）

5. **「選択エクスプローラー」**で土を非アクティブにします。土は見えなくなりますが、非アクティブにした土が選択されたままであるため、非アクティブにした土を表すワイヤフレームは引き続き赤色で表示されます。

   注記: オブジェクトを非アクティブにすると、その領域やサーフェースは自動的に非表示になりますが、非表示のオブジェクトを表すワイヤフレームは残ります。計算フェーズでのアクティブでないオブジェクトの表示については、**「可視化の設定」**ウィンドウの対応するタブシートで定義することができます（『Reference Manual』の該当セクション）。

6. インターフェースはすでにアクティブになっています。トンネルの最初の 25 m の板と収縮をアクティブにするには、次の手順に従います。
   a. 表示されるメニューで**「板を選択」**オプションを選択します。モデルの 0 m から 25 m までの板を割り当てるサーフェースを選択します（図 80 (P97)）。
   b. **「選択エクスプローラー」**で、対応するチェックボックスをオンにして板と表面収縮をアクティブにします。

c. 描画領域で、25.0 m の位置の TBM の最後のスライス（グラウトとジャッキ推力）に対応する外側領域の外側面を選択します（図 81 (P97)）。TBM はこのフェーズでしか配置されず移動しないため、**「選択エクスプローラー」**でジャッキ推力に対応するサーフェース荷重を非アクティブにします。

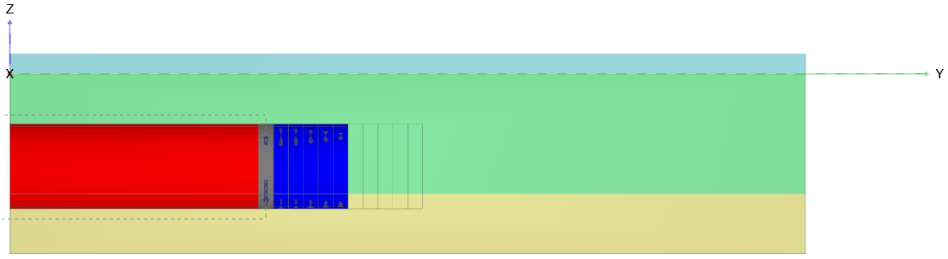


図 80: 板の選択（0 m ～25 m）

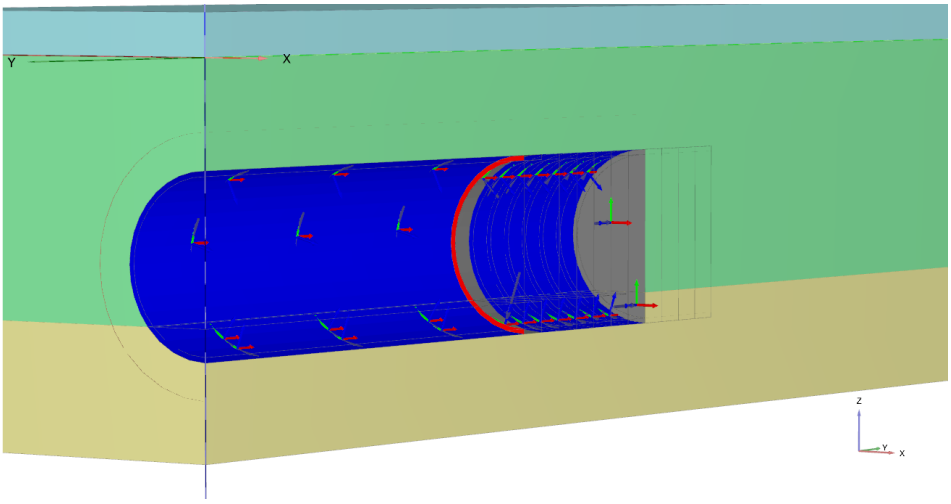


図 81: 地盤サーフェースの選択（25.0 m）

7. **「プレビュー」**ボタンをクリックして、定義したすべての内容をプレビューします（図 82 (P97)）。グラウト圧力とトンネル面圧力の両方が適用され、どちらも上から下に向かうにつれて大きくなることを確認します。

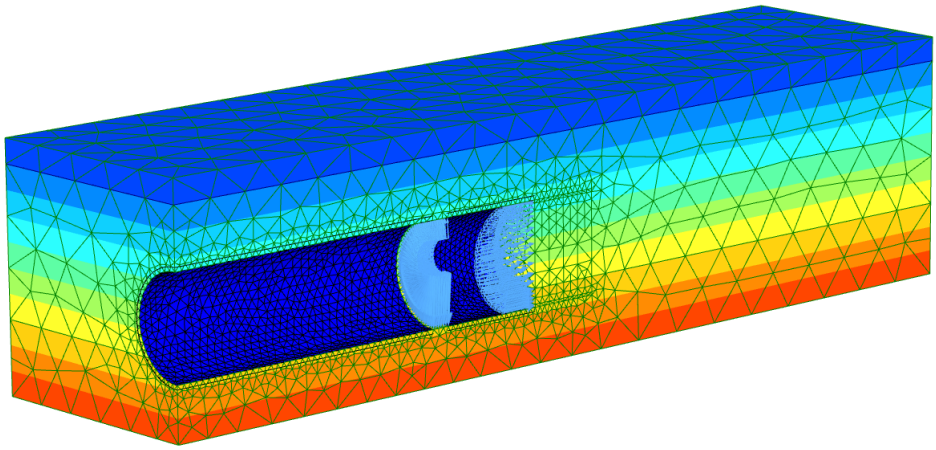


図 82: フェーズ 1 のプレビュー

5.6.3 フェーズ 2:TBM の前進 1

このフェーズでは、TBM の 1.5 m の前進（y = 35.5 から y = 37 まで）をモデル化します。

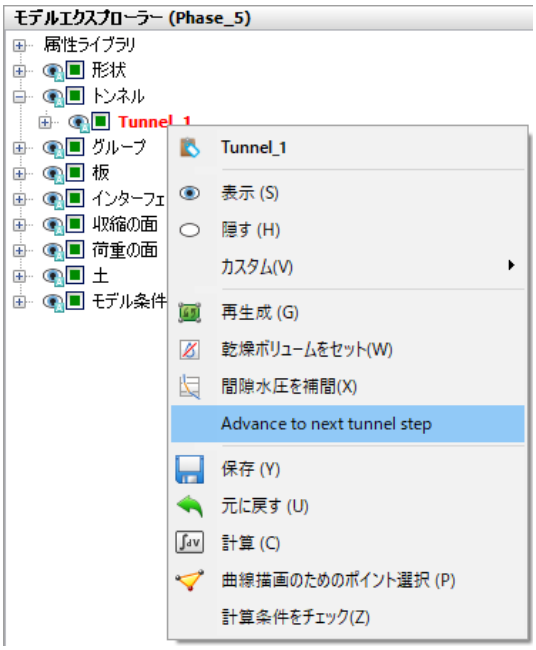


図 83: 「モデルエクスプローラー」の「Advance to next tunnel step」オプション

1. 新しいフェーズを追加します。
2. **「モデルエクスプローラー」**で「トンネル」を展開し、「Tunnel_1」を展開します。「モデルエクスプローラー」を**「Advance to next tunnel step」**オプションまで下にスクロールし、最初の 26.5 m の前進をシミュレートするために 8 に設定します。

5.6.4 フェーズ 3:TBM の前進 2

このフェーズでは、TBM を y = 37 から y = 38.5 まで進めます。

1. 新しいフェーズを追加します。
2. **「モデルエクスプローラー」**で「トンネル」を展開し、「Tunnel_1」を右クリックします。次に、**「Advance to next tunnel step」**をクリックします。

5.6.5 フェーズ 4:TBM の前進 3

このフェーズでは、TBM を y = 38.5 から y = 40 まで進めます。

1. 新しいフェーズを追加します。

2. **「モデルエクスプローラー」**で「トンネル」を展開し、「Tunnel_1」を右クリックします。次に、**「Advance to next tunnel step」**をクリックします。

5.6.6 フェーズ 5:TBM の前進 4

このフェーズでは、TBM の最終の前進（y = 40 から y = 41.5 まで）をモデル化します。

1. 新しいフェーズを追加します。
2. **「モデルエクスプローラー」**で「トンネル」を展開し、「Tunnel_1」を右クリックします。次に、**「Advance to next tunnel step」**をクリックします。
3. **「計算」**ボタンをクリックして計算を開始します。この例では荷重変位曲線を描画しないため、「曲線描画のための節点あるいは応力点が選択されていません」というメッセージは無視して計算を開始します。

5.7 結果

計算が完了したら、結果を出力プログラムで評価することができます。出力プログラムでは、変位と応力が完全な 3D モデルで表示されますが、計算結果は表形式で表示することもできます。現在の解析の結果を表示するには、次の手順に従います。

1. 「フェーズエクスプローラー」で最後の計算フェーズ（フェーズ 5）を選択します。
2. サイドツールバーの**「計算結果の表示」**ボタンをクリックして「出力」プログラムを開きます。出力プログラムには、既定では、選択した計算フェーズの終了時の 3 次元の変形図が表示されます。
3. 「変形」メニューから「全変位」を選択し、「u_z」を選択して、モデル内の全鉛直変位をコンタープロットとして表示します（図 84 (P100)）。
4. 地表面の沈下を確認するには、次の手順に従います。
   - 「水平断面」ボタンを選択して水平断面を作成します。
   - 表示されるウィンドウで、横断面の高さを 1.95m と入力します。
   - **「表示」**メニューから**「ビューポイント」** > **「右側面図」**の順に選択します。
   - **「メッシュ」**メニューで**「クラスタ境界」**を表示します。
   - **「表示」**メニューから**「分布面」**オプションを選択します。

     結果として、横断面を示すウィンドウが表示されます（図 85 (P100)）。地表面の最大沈下は約 1.9 cm です。

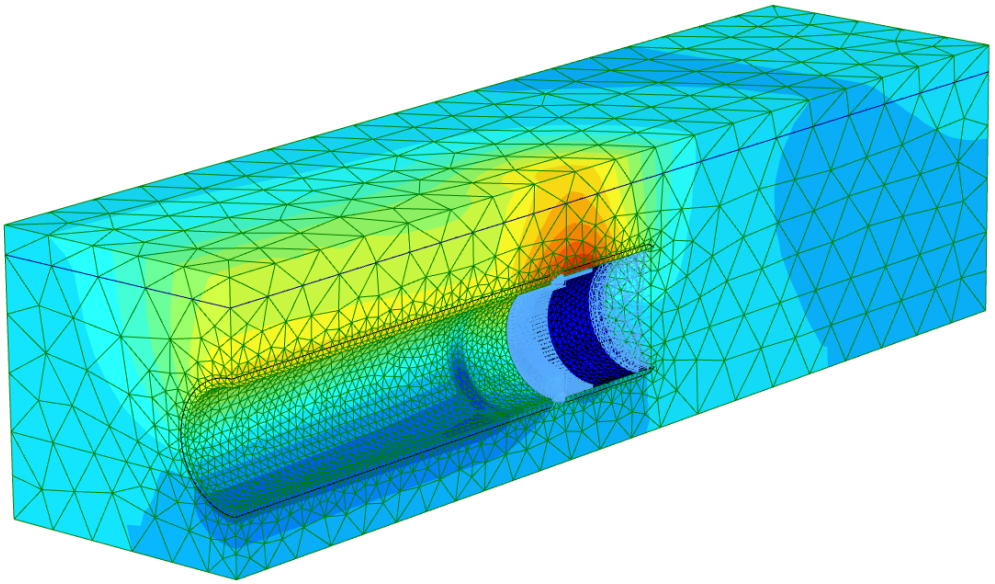


図 84: 最終フェーズ後の全鉛直変位 $u_z \approx 3.1cm$

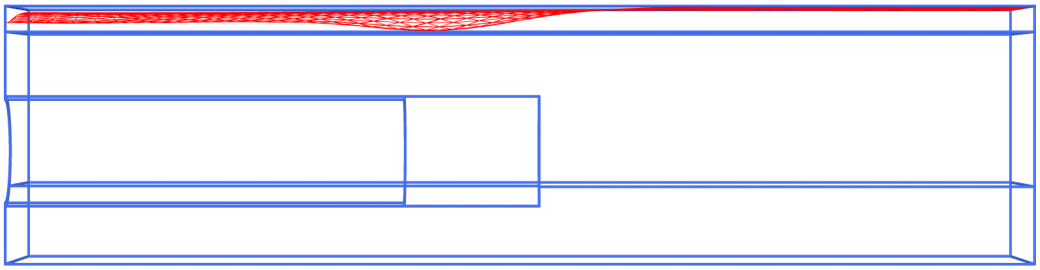


図 85: 地表面の沈下 $u_z \approx 1.9cm$

6 道路盛土の施工[ADV]

地下水位の高い軟弱地盤での盛土の施工においては、間隙水圧が増加する問題が生じます。このような非排水挙動は十分な有効応力が得られない原因となるため、盛土を安全に施工するには間に圧密期間を設けることが必要になります。圧密で過剰間隙水圧を消散させることで、地盤のせん断強度が必要な強度まで高まり、施工プロセスを進めることができます。

このチュートリアルでは、道路盛土の施工における上記のメカニズムの詳細な解析について考えます。この解析では、圧密解析と、安全率解析（phi-c 低減）を用いた安全率の計算という 2 つの新しい計算オプションが導入されています。また、圧密プロセスを高速化するためのドレーンのモデリングも含まれます。

目的

- ドレーンのモデリング
- 圧密解析
- 圧密による透水係数の変化
- 安全率解析（phi-c 低減）

形状

図 86 (P101)は、道路盛土の横断面を示しています。

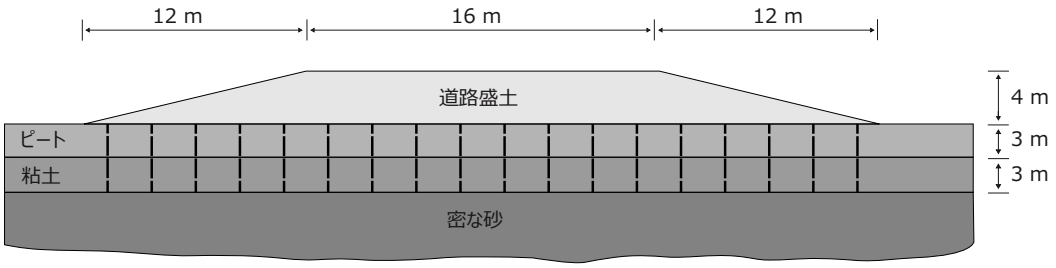


図 86: 軟弱地盤上の道路盛土の状況

6.1 新しいプロジェクトの作成

盛土の幅は 16 m です。斜面の傾斜は 1:3 です。左右対称であるため半分のみをモデル化します（この例では右半分を示します）。このプロジェクトでは、代表的な 2 m の断面について考えます。盛土自体は緩い砂質土で構成されます。地盤は 6 m までが柔らかい土になっており、この柔らかい土の層の上 3 m はピート層、下 3 m は粘土としてモデル化されます。浸潤線は原地盤の 1 m 下の位置になります。柔らかい土の層の下は密な砂の層で、このモデルでは 4 m とします。

1. 入力プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。

2. **「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウの**「プロジェクト」**タブシートで、適切なタイトルを入力します。
3. 単位を既定のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. $x_{min} = 0$、$x_{max} = 60$。
   b. $y_{min} = 0$、$y_{max} = 2$。

6.2 土の層序の定義

盛土の基礎を構成する土の層はボアホールを使用して定義します。盛土の層は**「構造物」モード**で定義します。

1. **「ボアホールを作成」**ボタンをクリックして（0 0 0）にボアホールを作成します。
   「土層の修正」ウィンドウが表示されます。
2. 図 87 (P102)に示すように、3 つの土層を定義します。
3. 水位は z = -1 m です。ボアホール柱状図の**「水頭」**の値を-1 と指定します。

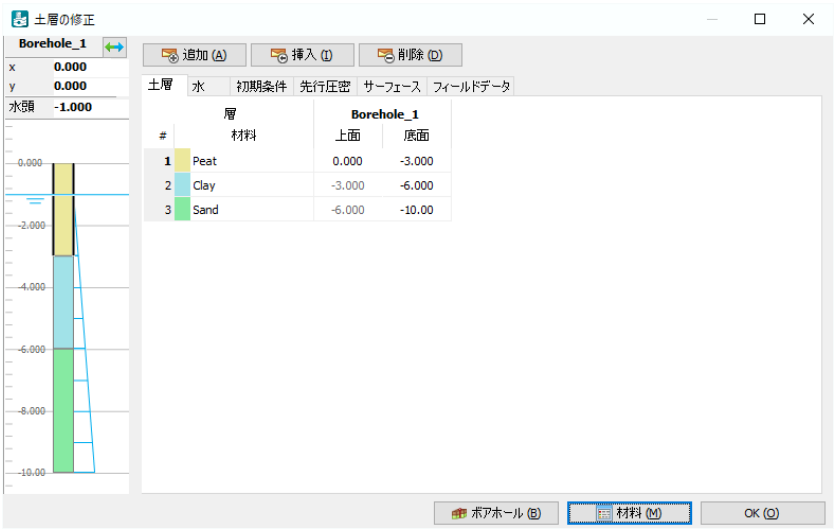


図 87: 土層分布

6.3 材料データセットの作成と割り当て

データセットの材料特性を次の表に示します。

表 16: 道路盛土と地盤の材料特性

パラメータ	名前	盛土	砂	ピート	粘土	単位
一般						
土の モデル	モデル	Hardening Soil	Hardening Soil	Soft Soil	Soft Soil	-
材料挙動のタイプ	タイプ	排水	排水	非排水（A）	非排水（A）	-
不飽和 単位重量	γ_{unsat}	16	17	8	15	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	19	20	12	18	kN/m^3
初期間隙比	e_{init}	0.5	0.5	2.0	1.0	-
構造						
標準的な排水三軸試験の割線剛性	E_{50}^{ref}	$2.5 \cdot 10^4$	$3.5 \cdot 10^4$	-	-	kN/m^2
一次圧密試験（載荷）の接線剛性	E_{oed}^{ref}	$2.5 \cdot 10^4$	$3.5 \cdot 10^4$	-	-	kN/m^2
除荷／再載荷剛性	E_{ur}^{ref}	$7.5 \cdot 10^4$	$1.05 \cdot 10^5$	-	-	kN/m^2
修正圧縮指数	λ^*	-	-	0.15	0.05	-
修正膨潤指数	κ^*	-	-	0.03	0.01	-
剛性の応力レベル依存性の指数	m	0.5	0.5	-	-	-
粘着力（定数）	c'_{ref}	1.0	0.0	2.0	1.0	kN/m^2
摩擦角	φ'	30	33	23	25	°
ダイレイタンシー角	ψ	0.0	3.0	0	0	°
地下水						
分類タイプ	-	USDA	USDA	USDA	USDA	-
モデル	-	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	-
土クラス	-	ローム質砂	砂	粘土	粘土	-
<2µm	-	6.0	4.0	70.0	70.0	%
2µm - 50µm	-	11.0	4.0	13.0	13.0	%
50µm - 2mm	-	83.0	92.0	17.0	17.0	%

地下水						
デフォルトを使用	-	データセットから	データセットから	なし	データセットから	-
水平透水係数（x 方向）	k_x	3.499	7.128	0.1	0.04752	m/day
水平透水係数（y 方向）	k_y	3.499	7.128	0.1	0.04752	m/day
鉛直透水係数	k_z	3.499	7.128	0.05	0.04752	m/day
間隙比依存性	-	無効	無効	有効	有効	
透水係数の変化	c_k	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	1.0	0.2	-
インターフェース						
インターフェース強度	-	剛体	剛体	剛体	剛体	-
インターフェース強度低減係数	R_{inter}	1.0	1.0	1.0	1.0	-
初期						
K_0 の決定	-	自動	自動	自動	自動	-
先行上載荷重	*POP*	0.0	0.0	5.0	0.0	kN/m^2
過圧密比	*OCR*	1.0	1.0	1.0	1.0	-

注記:

初期間隙比（e_{init}）と透水係数の変化（c_k）は、土の圧縮による透水係数の変化をモデル化するために定義する必要があります。このオプションは、高度なモデルを使用する場合に推奨されます。

1. **「材料」**ボタンをクリックします。
2. 表 16 (P103)に従って土の材料データセットを作成し、ボアホールの対応する層に割り当てます（図 87 (P102)を参照）。
3. **「土層の修正」**ウィンドウを閉じ、**「構造物」モード**に進んで構造要素を定義します。

6.4 盛土とドレーンの定義

盛土とドレーンは**「構造物」モード**で定義します。盛土の層を定義するには、次の手順に従います。

1. ツールバーの対応するボタンをクリックして、正面図が表示されるようにモデルの方向を変更します。
2. （0 0 0）、（0 0 4）、（8 0 4）、（20 0 0）に点を定義してサーフェースを作成します。
3. （0 0 2）と（14 0 2）を通る線を作成して、盛土の層を定義します。

4. ＜ Ctrl ＞キーを押しながらモデル内の作成した線とサーフェースをクリックして、その両方を選択します。
5. **「オブジェクトの押し出し」**ボタンをクリックします。図 88 (P105)に示すように、押し出しベクトルの y 成分に値 2 を割り当て、**「適用」**をクリックします。

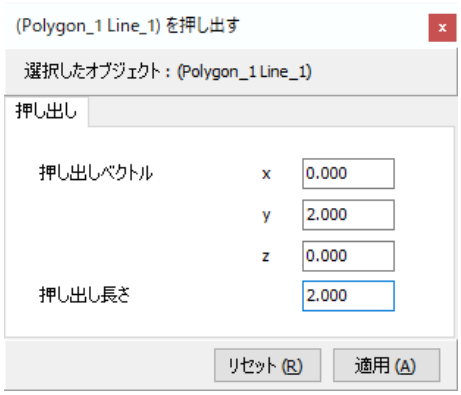


図 88: 「押し出し」ウィンドウ

6. 押し出しの前に作成されたサーフェースと線とそれに対応するポイントを削除します。
7. 押し出しによって作成されたボリュームを**右クリック**し、**「Soil_4」**>**「材料を設定」**>**「Embankment」**メニュー項目の順に選択します。

このプロジェクトでは、ドレーンが圧密時間に及ぼす影響をドレーンなしのケースの結果と比較することで調べます。ドレーンは計算フェーズでのみアクティブにします。

ドレーンは正方形のパターンで配置され、行（または列）内の隣り合う 2 つのドレーン間の距離は 2m です。このチュートリアルでは、1 行のドレーンのみを考慮します。ドレーンパターンを作成するには、次の手順に従います。

1. サイドツールバーの**「水理条件を作成」**ボタンをクリックします。
2. 表示されるメニューから**「ドレーンのラインを作成」**ボタンをクリックします。モデル内の点（1 1 0）と点（1 1 -6）の間にドレーンのラインを定義します。
3. **「配列を作成」**ボタンをクリックしてドレーンパターンを定義します。
4. **「配列を作成」**ウィンドウのドロップダウンメニューで**「形状」**>**「1D, x 方向」**メニュー項目の順に選択し、図 89 (P106)に示すようにパターンを指定します。

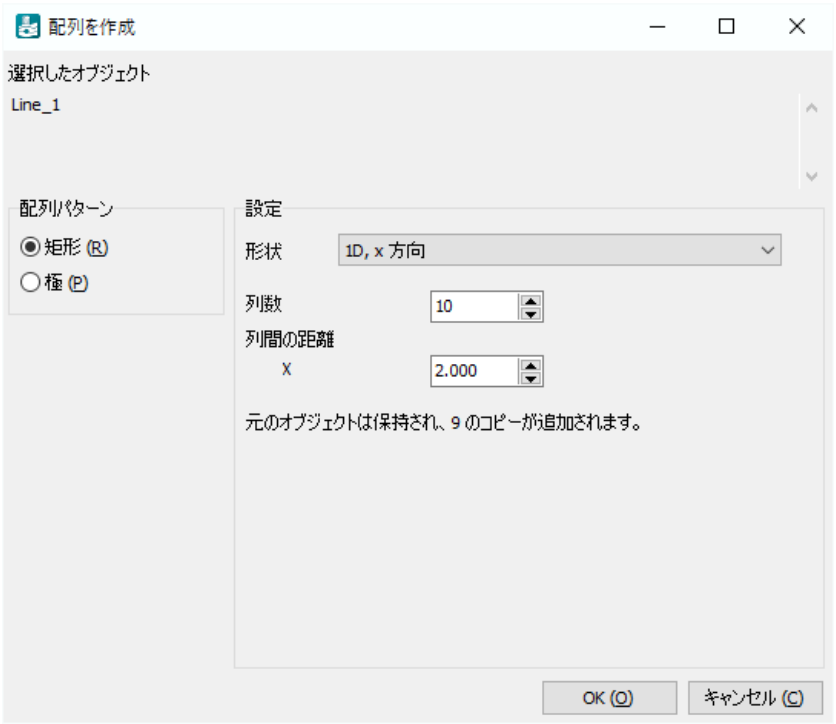


図 89: ドレーンパターンの設定

モデル形状を図 90 (P106)に示します。

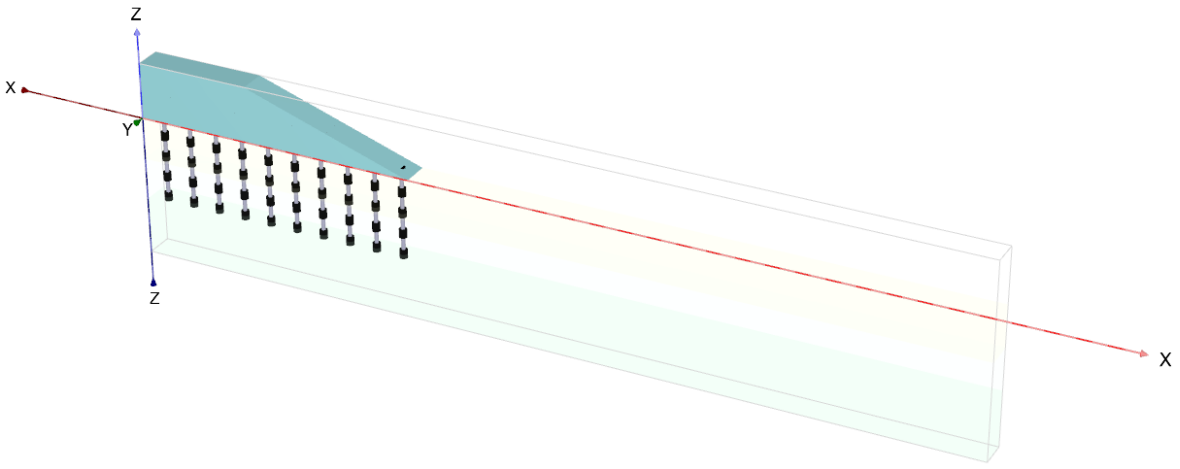


図 90: モデル形状

6.5 メッシュの生成

1. **「メッシュ」モード**に進みます。
2. 盛土を含む全体を選択し、**「選択エクスプローラー」**で**「粗密係数」**を 0.3 に設定します。
3. **「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。要素分割を**「粗い」**に設定します。

4. 生成されたメッシュを表示します。

生成されたメッシュを 図 91 (P107)に示します。

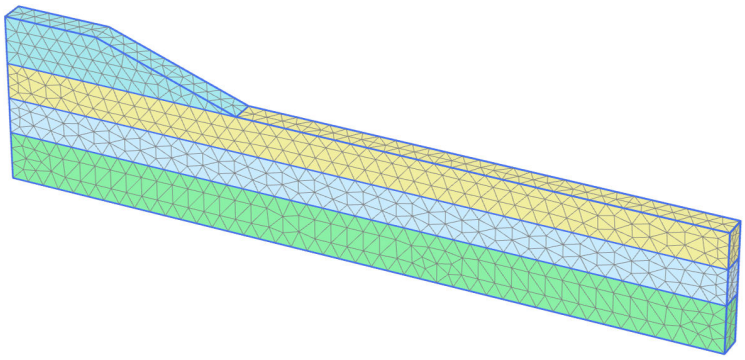


図 91: 生成されたメッシュ

6.6 計算の定義

盛土の施工プロセスを 2 回検討します。最初の計算では、ドレーンについては考慮しません。

6.6.1 初期フェーズ

最初の状況では、盛土は存在しません。したがって、対応する土のボリュームは初期フェーズでは非アクティブです。初期応力は**「K0 計算」**を使用して計算することができます。初期水圧は完全な静水圧であり、ボアホールに割り当てられた**「水頭」**の値で定義される一般的な浸潤線に基づきます。**「初期フェーズ」**では、**「間隙水圧計算タイプ」**に**「浸潤線」**オプションを選択します。**「Global Water Level」**は、ボアホールに指定された水頭で定義される水位に対応する**「BoreholeWaterLevel_1」**に設定します。

流れの境界条件は、**「モデルエクスプローラー」**で**「モデル条件」** > **「浸透流」**の順に選択して指定することができます。現在の状況では、左側の垂直境界（Xmin）は対称軸であり水平方向の流れは発生しないため、この境界は閉境界である必要があります。下側については、下部にある透水性の高い砂の層まで過剰間隙水圧が自由に流れ込むため開いています。上側の境界も明らかに開いています。定義が完了した**「浸透流」**サブツリーのビューを図 92 (P108)に示します。



図 92: 浸透流の境界条件

6.6.2 圧密解析

圧密解析では、計算に時間の次元が導入されます。圧密解析を正しく実行するには、適切な時間ステップを選択する必要があります。クリティカルな最小値に満たない時間ステップを使用すると、応力振動が生じる可能性があります。PLAXIS 3D では、圧密のオプションとして、このクリティカルな時間ステップを考慮した全自動の時間ステップ設定手順を利用することができます。この手順で使用する**「荷重タイプ」**パラメータの主なオプションは 3 つです。

- アクティブな形状への変更の影響を考慮しながら、事前に定義された期間にわたって圧密します（**「段階施工」**）。
- 形状のすべての過剰間隙水圧が事前に定義された最小値以下になるまで圧密します（**「最小過剰間隙水圧」**）。
- 地盤が指定した圧密度に達するまで圧密します（**「圧密度」**）。

圧密プロセス ― ドレーンなし

盛土の施工は 2 つのフェーズに分かれています。最初の施工フェーズの後、過剰間隙水圧を消散させるために 30 日の圧密期間が設けられます。さらに、2 番目の施工フェーズの後にも、最終的な沈下状態と判断するまでに一定の圧密期間が必要になります。

計算フェーズを定義するには、次の手順に従います。

フェーズ 1 ― 最初の施工

1. **「フェーズを追加」**ボタンをクリックして、最初の施工フェーズを導入します。

2. 「**一般**」サブツリーの「**計算タイプ**」で、ドロップダウンメニューから「**圧密**」オプションを選択します。
3. 「**荷重タイプ**」は既定で「**段階施工**」に設定されています。このフェーズではこのオプションを使用します。
4. 間隙水圧計算タイプとして「**浸潤線**」オプションが自動的に選択されています。計算フェーズの全体水位は「**モデルエクスプローラー**」>「**モデル条件**」>「**水**」サブツリーで定義できることに注意してください。
5. 「**時間間隔**」に 2 日の値を指定し、「**OK**」をクリックして「**フェーズ**」ウィンドウを閉じます。
6. 「**段階施工**」**モード**で、盛土の最初の部分を有効にします。

フェーズ 2 ― 最初の圧密

2 番目のフェーズも「**圧密**」解析です。このフェーズでは、最終時間までの圧密解析のみが必要なため、形状の変更は行いません。

1. 「**フェーズを追加**」ボタンをクリックして、次の計算フェーズを導入します。
2. 計算タイプとして「**圧密**」を定義します。
3. 「**時間間隔**」に 30 日の値を指定します。このフェーズでは、その他のパラメータについては既定値を使用します。

フェーズ 3 ― 最初の施工

1. 「**フェーズを追加**」ボタンをクリックして、次の計算フェーズを導入します。
2. 計算タイプとして「**圧密**」を定義します。
3. 「**時間間隔**」に 1 日の値を指定します。その他のパラメータについては既定値を使用します。
4. 「**段階施工**」モードで、盛土の 2 番目の部分を有効にします。

フェーズ 4 ― 長期的な圧密

4 番目のフェーズは、最小過剰間隙水圧までの「**圧密**」解析です。

1. 「**フェーズを追加**」ボタンをクリックして、次の計算フェーズを導入します。
2. 計算タイプとして「**圧密**」を定義します。
3. 「**荷重タイプ**」で、ドロップダウンメニューから「**最小過剰間隙水圧**」オプションを選択します。最小水圧については既定値（$|\text{P-stop}| = 1.0\ \text{kN/m}^2$）を使用し、その他のパラメータについても既定値を使用します。

計算フェーズの定義が完了しました。

6.6.3 計算の実行

1. 計算を開始する前に、**「曲線描画のためのポイントを選択」**ボタンをクリックし、次の点を選択します。最初の節点として、盛土の法尻部（20 0 0）を選択します。2 番目の節点は、過剰間隙水圧の進展（および減衰）をプロットするために使用されます。このためには、柔らかい土の層の中間にあるいずれかの点が必要であり、たとえば（0.7 0 -3）など、左側の境界に近い（境界上ではない）点を選択します。
2. 計算を開始します。

圧密解析では、計算情報ウィンドウの上部で進捗を確認することができます（図 93 (P110)を参照）。倍率に加えて、現在の最大過剰間隙水圧を示すパラメータ P_{max} も表示されます。このパラメータは、すべての過剰間隙水圧が事前に定義された値を下回るように指定する**「最小過剰間隙水圧」**圧密解析で役立ちます。



図 93: 「アクティブタスク」ウィンドウに表示される計算進捗

6.7 結果

計算が完了したら、フェーズ 3 を選択し、**「計算結果の表示」**ボタンをクリックします。**「出力」**ウィンドウに、盛土の最終パートの非排水施工後の変形図が表示されます。フェーズ 3 の結果から、この変

形図は非排水挙動による盛土の法尻部と後背地の隆起を示していると考えられます（図 94 (P111)を参照）。

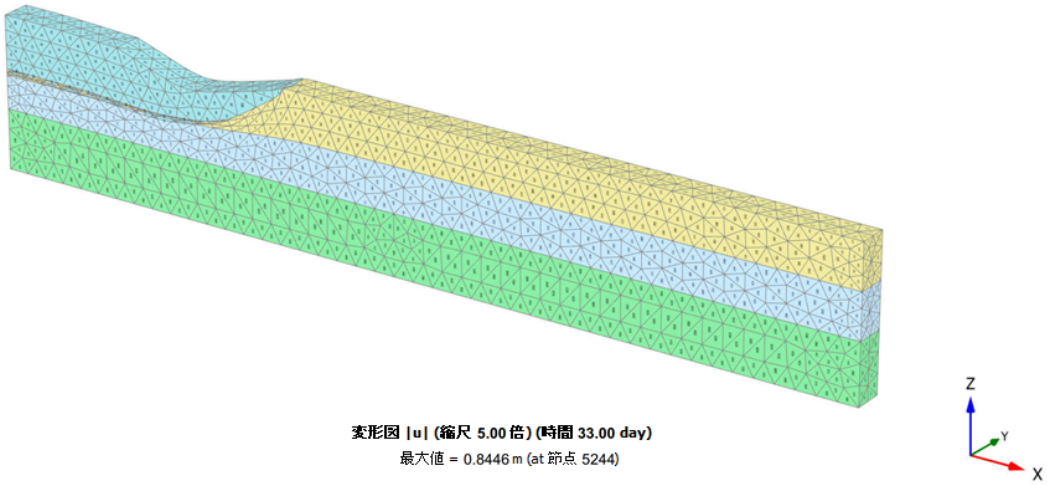


図 94: 盛土の非排水施工後の変形図（フェーズ 3）

1. **「変形」** > **「変位増分」** > **「|Δu|」**メニュー項目の順に選択します。
2. **「表示」** > **「矢線」**メニュー項目の順に選択するか、ツールバーの対応するボタンをクリックして、結果の矢線を表示します。

全変位の増分の評価から、図 95 (P111)で破壊のメカニズムが進展していることがわかります。

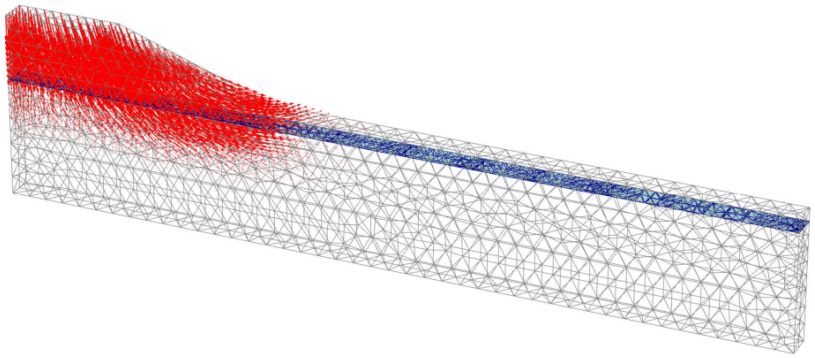


図 95: 盛土の非排水施工後の変位の増分

1. ＜ Ctrl+7 ＞キーをクリックして、進展した過剰間隙水圧を表示します（他のショートカットについては、PLAXIS 3D に関する『Reference Manual PLAXIS 3D』の付録 G を参照してください）。**「応力」**メニューで**「間隙水圧」**オプションが選択されているときに表示されるサイドメニューの対応するオプションを選択して表示することもできます。
2. **「中心の主方向」**をクリックします。過剰水圧の主方向が各土要素の中心に表示されます。色を付けて可視化する場合は、一般ツールバーの**「着色主軸」**を選択します。図 96 (P112)のように結果が表示されます。過剰間隙水圧は明らかに盛土の中央部の下で最も高くなっています。

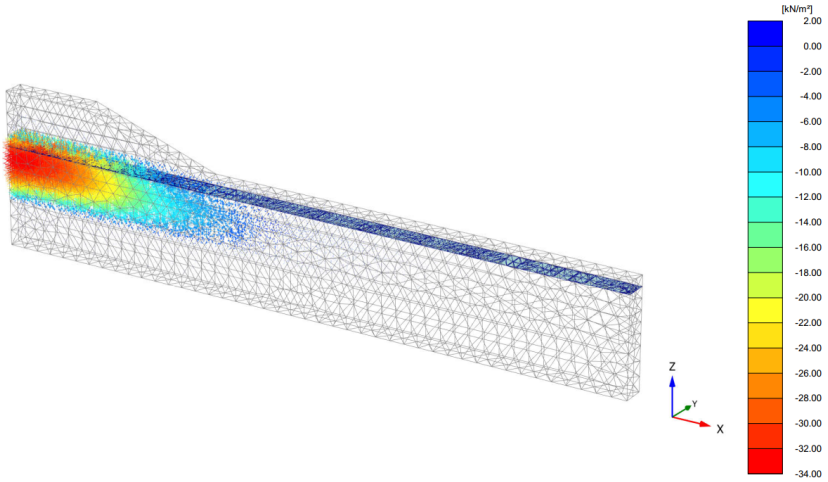


図 96: 盛土の非排水施工後の過剰間隙水圧（フェーズ 3）

1. ドロップダウンメニューでフェーズ 4 を選択します。
2. （0 1）と（60 1）を通る鉛直断面を定義します。
3. ツールバーの**「等高線」**ボタンをクリックして、結果を等高線として表示します。
4. **「表示」** > **「ビューポイント」**メニュー項目の順に選択します。対応するウィンドウが表示されます。
5. 図 97 (P112)に示すように、**「ビューポイント」**ウィンドウで**「正面図」**オプションを選択します。

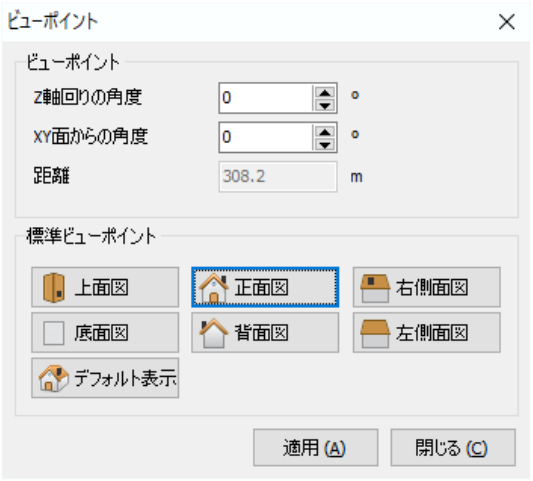


図 97: 「ビューポイント」ウィンドウ

6. **「スキャンラインを描画」**ボタンまたは**「表示」**メニューの対応するオプションを使用して、等高線ラベルの位置を定義します。

フェーズ 4 で原地盤の表面と盛土の沈下が大幅に進んでいることがわかります。これは過剰間隙水圧の消散（圧密）によるもので、これによって地盤の沈下がさらに進みます。次の図は、圧密後の残りの過剰間隙水圧を示したものです。最大値が 1.0 kN/m^2 を下回っていることを確認してください。

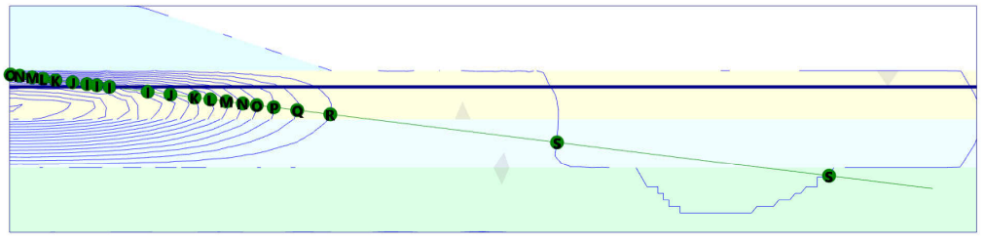


図 98: $P_{excess} < 1.0\ kN/m^2$ になるまで圧密した後の過剰間隙水圧の等高線

「曲線マネージャー」を使用して、盛土の下の過剰間隙水圧の進展を時間の経過とともに確認することができます。このような曲線を作成するには、次の手順に従います。

1. ツールバーの**「曲線マネージャー」**ボタンをクリックします。対応するウィンドウが表示されます。
2. **「グラフ」**タブシートで**「新規作成」**をクリックします。**「曲線生成」**ウィンドウが表示されます。
3. x 軸について、ドロップダウンメニューから**「プロジェクト」**オプションを選択し、ツリーで**「時間」**を選択します。
4. y 軸について、ドロップダウンメニューから柔らかい土の層の中間の点（2 番目の節点（0.7 0.0 -3））を選択します。ツリーで**「応力」** > **「間隙水圧」** > **「P excess」**の順に選択します。
5. y 軸について**「符号反転」**オプションを選択します。
6. **「OK」**をクリックして曲線を生成します。
7. ツールバーの**「設定」**ボタンをクリックします。**「設定」**ウィンドウが表示され、作成された曲線のタブシートが表示されます。
8. 調査対象の節点に対応するタブシートで**「フェーズ」**ボタンをクリックし、表示されるウィンドウでフェーズ 1～4 を選択します。
9. **「曲線名」**セルに「Phases 1 - 4」と入力して、曲線の名前を変更します。
10. **「適用」**をクリックしてプロットを更新します。
11. 出力のグラフを保存し、入力のプロジェクトを保存します。

注記: グラフ領域内に凡例を表示するには、グラフの名前を右クリックし、**「表示」** > **「グラフ内に凡例表示」**メニュー項目の順に選択します。

図 99 (P114)は、4 つの計算フェーズを示しています。施工フェーズでは過剰間隙水圧がわずかな時間で増加し、圧密期間には過剰間隙水圧が時間の経過とともに減少していきます。実際には、圧密は盛土の施工中からすでに少しずつ始まっています。

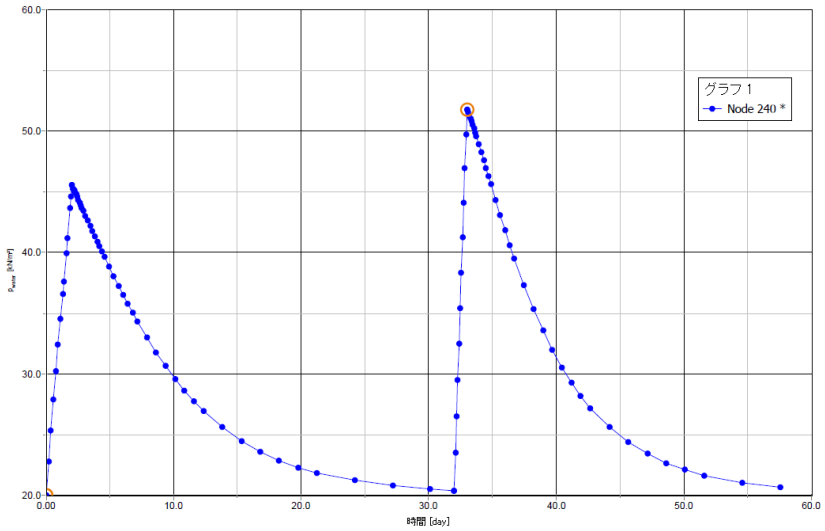


図 99: 盛土の下の過剰間隙水圧の進展

6.8 安全率解析

6.8.1 一般的な考慮事項

盛土の設計では、最終的な安定性だけでなく、施工中の安定性も考慮することが重要です。出力結果を見れば、2 番目の施工フェーズの後に破壊のメカニズムの進展が始まることは明らかです。

全体の安全率を評価することは、この段階はもちろん、施工の他の段階でも有用です。

構造工学では、安全率は、通常、載荷荷重に対する崩壊荷重の比率として定義されます。ただし、地盤構造の場合、この定義は必ずしも有用ではありません。たとえば、盛土の場合、荷重の大部分は土の重量によって生じ、土の重量の増加が必ずしも崩壊につながるとは限りません。実際、純摩擦性の土の斜面は、土の自重を増加させる試験では崩れません（遠心力載荷試験など）。したがって、安全率のより適切な定義は次のようになります。

$$Safety\ factor = \frac{S_{maximum\ available}}{S_{needed\ for\ equilibrium}}$$

Safety factor は安全率で、S はせん断強度を表します。S maximum available は使用可能な最大の S、S needed for equilibrium は釣合いを保つのに必要な S です。釣合いを保つために必要な計算された最小強度に対する実際の強度の比率が、土質力学で従来使用されている安全率です。標準的なクーロンの条件を導入することで、安全率は次のように求められます。

$$Safety\ factor = \frac{c - \sigma_n \tan(\varphi)}{c_r - \sigma_n \tan(\varphi_r)}$$

c および φ は入力強度パラメータで、σ_n は実際の鉛直応力成分です。パラメータ c_r および φ_r は、釣合いを維持できるだけの大きさの低減強度パラメータです。上記の原理は、PLAXIS 3D で全体の安全率を計算するために使用できる**「安全率解析」**の基礎です。この手法では、粘着力と摩擦角の正接が同じ比率で減少します。

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\varphi_r)} = \Sigma Msf$$

強度パラメータの低減は、合計倍率 ΣMsf によって制御されます。このパラメータは、破壊が発生するまで段階的に増加します。安全率は、一連の荷重ステップにおいて破壊時にほぼ一定の値が得られる場合に、破壊時の ΣMsf の値として定義されます。

「安全率解析」計算オプションは、**「フェーズ」**ウィンドウの**「計算タイプ」**ドロップダウンメニューに用意されています。

6.8.2 計算の定義

施工の各段階で道路盛土の全体の安全率を計算するには、次の手順に従います。

1. 新しい計算フェーズを追加します。
2. **「フェーズ」**ウィンドウの**「開始フェーズ」**で、ドロップダウンメニューからフェーズ 1 を選択します。
3. **「一般」**サブツリーで、計算タイプとして**「安全率解析」**を選択します。
4. **「荷重タイプ」**は自動的に**「倍率増分」**に変更されます。
5. 強度低減プロセスを制御する倍率の最初の増分**「Msf」**は自動的に 0.1 に設定されます。このチュートリアルではこの値を使用します。
6. **「間隙水圧計算タイプ」**ドロップダウンメニューの**「前のフェーズから圧力を使用」**オプションが自動的に選択され、灰色で表示されます（灰色で表示されているオプションは変更できません）。
7. 結果として得られる破壊のメカニズムから既存の変形を除外するには、**「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「変位をゼロリセット」**オプションを選択します。残りのすべてのパラメータについては既定値を使用します。これで、最初の安全率解析が定義されました。
8. 同じ手順に従って、各圧密フェーズの終了時の安定性を解析する新しい計算フェーズを作成します。計算タイプとして**「安全率解析」**を選択するほか、**「開始フェーズ」**パラメータとして対応する圧密フェーズを選択します。**「安全率解析」**のフェーズが表示された**「フェーズエクスプローラー」**を 図 100 (P115)に示します。

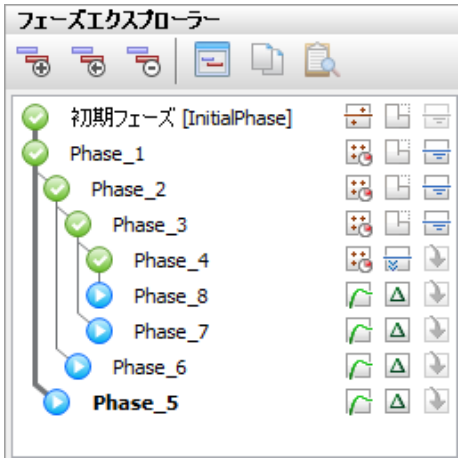


図 100: 「安全率解析」のフェーズが表示された「フェーズエクスプローラー」

9. 安全率解析フェーズを計算します。

注記:

- 「安全率解析」計算の**「最大ステップ」**の既定値は 100 です。**「段階施工」**計算とは対照的に、指定したステップ数は常にすべて実行されます。**「安全率解析」**計算では、多くの場合、100 ステップまでには破壊の状態に達します。達しない場合は、ステップ数を最大 10000 まで増やすことができます。

- 「安全率解析」では、多くの場合、Msf = 0.1 はプロセスを開始するための適切な最初のステップとなります。計算プロセス時、強度低減の合計倍率 ΣMsf の変化は、荷重前進手順によって自動的に制御されます。

6.8.3 結果の評価 — 安全率解析

「安全率解析」の計算で追加の変位が生成されます。全変位に物理的な意味はありませんが、最終段階（破壊点）の変位増分から、想定される破壊のメカニズムがわかります。

盛土施工の 3 つの各段階のメカニズムを表示するには、次の手順に従います。

1. 最後の**「安全率解析」**フェーズ（Phase_8）を選択し、**「計算結果の表示」**ボタンをクリックします。
2. **「変形」** > **「変位増分」** > **「|Δu|」**メニュー項目の順に選択します。
3. 表示方法を**「矢線」**から**「コンター」**に変更します。結果のプロットは、破壊のメカニズムについて良いヒントを与えてくれます（図 101 (P116)を参照）。変位の増分の大きさは関係ありません。

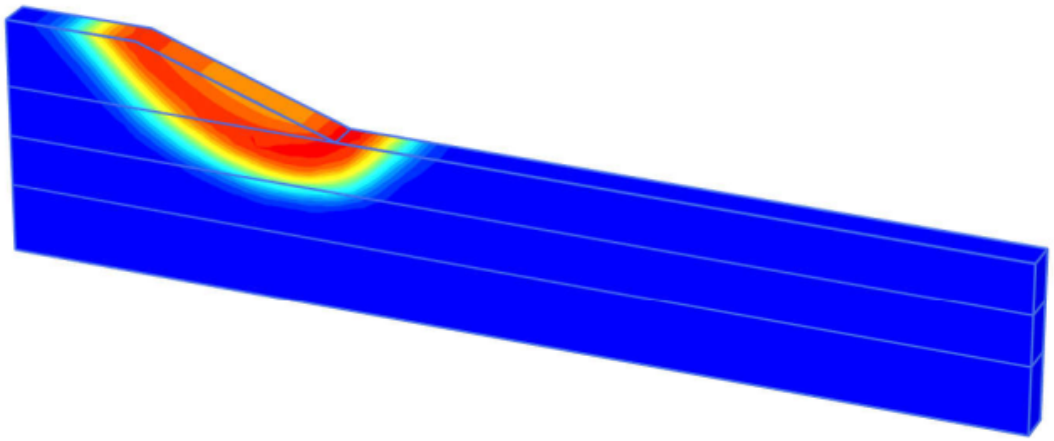


図 101: 最終段階における盛土の想定される破壊のメカニズムを示す全変位の増分のコンター

安全率は、**「プロジェクト」**メニューの**「計算情報」**オプションで確認できます。**ΣMsf** の値が前のいくつかの段階でほぼ一定であれば、この値が安全率となります。

ただし、安全率を評価するには、特定のノードの変位に対してパラメータ **ΣMsf** をプロットした曲線をプロットする方法が最も適切です。変位は関係ありませんが、破壊のメカニズムが進展したかがわかります。

4 つの状況の安全率を評価するには、次の手順に従います。

1. ツールバーの**「曲線マネージャー」**ボタンをクリックします。
2. **「グラフ」**タブシートで**「新規作成」**をクリックします。
3. **「曲線生成」**ウィンドウで、x 軸について盛土の法尻部（最初の節点）を選択します。**「変形」** > **「全変位」** > **「|u|」**メニュー項目の順に選択します。
4. y 軸について**「プロジェクト」**を選択し、**「倍率」** > **「ΣMsf」**の順に選択します。**「安全率解析」**のフェーズがグラフで考慮されます。結果として、曲線が表示されます。
5. **「グラフ」**タブで、x 軸のスケーリングの最大値を 1 に設定します。

図 102 (P117)は、計算されたフェーズの安全率を示しています。

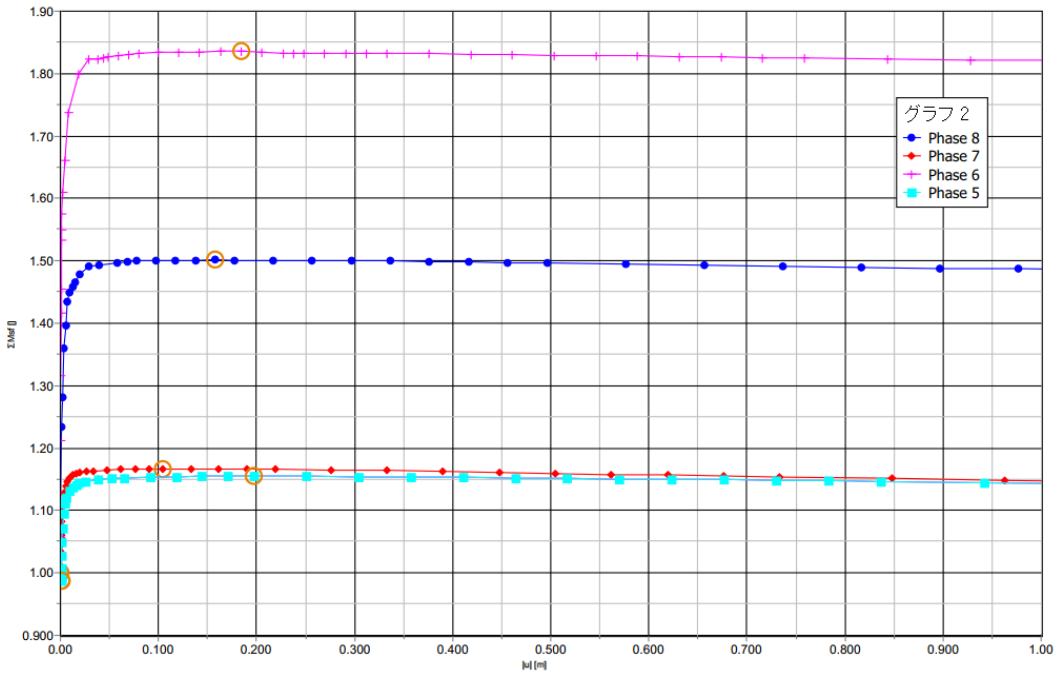


図 102: 安全率の評価

プロットされた最大変位は関係ありません。すべての曲線について、**ΣMsf** の値がほぼ一定であることがわかります。曲線上の点にマウスカーソルを合わせると、**ΣMsf** の正確な値を示すボックスが表示されます。

6.9 ドレーンの使用

このセクションでは、プロジェクトにおけるドレーンの効果を調べます。最初の 4 つの圧密フェーズと同じプロパティを持つ 4 つの新しいフェーズを導入することで、盛土の施工を再定義します。新しいフェーズの違いは次のとおりです。

- すべての新しいフェーズでドレーンをアクティブにする必要があります。
- 圧密フェーズの最初の 3 つ（1～3）の**「時間間隔」**は 1 日です。最後のフェーズは**「最小過剰間隙水圧」**に設定し、最小過剰水圧（「|P-stop|」）に 1.0 kN/m^2 を割り当てます。

1. 計算が完了したら、最後のフェーズを選択し、**「計算結果の表示」**ボタンをクリックします。**「出力」**ウィンドウに、盛土の最終パートの排水施工後の変形図が表示されます。ドレーンの効果を比較するために、節点（0.7 0 -3）の過剰間隙水圧の消散を使用します。
2. **「曲線マネージャー」**を開きます。
3. **「グラフ」**タブシートで、グラフ 1（節点（0.7 0 -3）の P_{excess} と時間のグラフ）をダブルクリックします。表示フェーズとしてフェーズ 1～4 を選択します。**「曲線マネージャー」**を閉じます。
4. ツールバーの**「設定」**ボタンをクリックします。**「設定」**ウィンドウが表示されます。
5. **「曲線を追加」**ボタンをクリックし、表示されるメニューから**「現在のプロジェクトより」**オプションを選択します。**「曲線生成」**ウィンドウが表示されます。

> **注記:** 新しい曲線を追加する代わりに、**「曲線設定」**ウィンドウで対応するボタンを使用して既存の曲線を再生成することもできます。

6. y 軸について**「符号反転」**オプションを選択します。
7. **「OK」**をクリックして選択したオプションを受け入れ、**「曲線生成」**ウィンドウを閉じます。
8. グラフに新しい曲線が追加され、対応する新しいタブシートが**「設定」**ウィンドウで開きます。
9. **「フェーズ」**ボタンをクリックします。表示されたウィンドウで**「初期フェーズ」**と最後の 4 つのフェーズ（ドレーン）を選択し、**「OK」**をクリックします。
10. **「設定」**で、**「適用」**をクリックして生成される曲線をプレビューします。
11. **「OK」**をクリックして**「設定」**ウィンドウを閉じます。図 103 (P118)は、過剰間隙水圧が消散するまでの時間に対するドレーンの効果を明確に示しています。

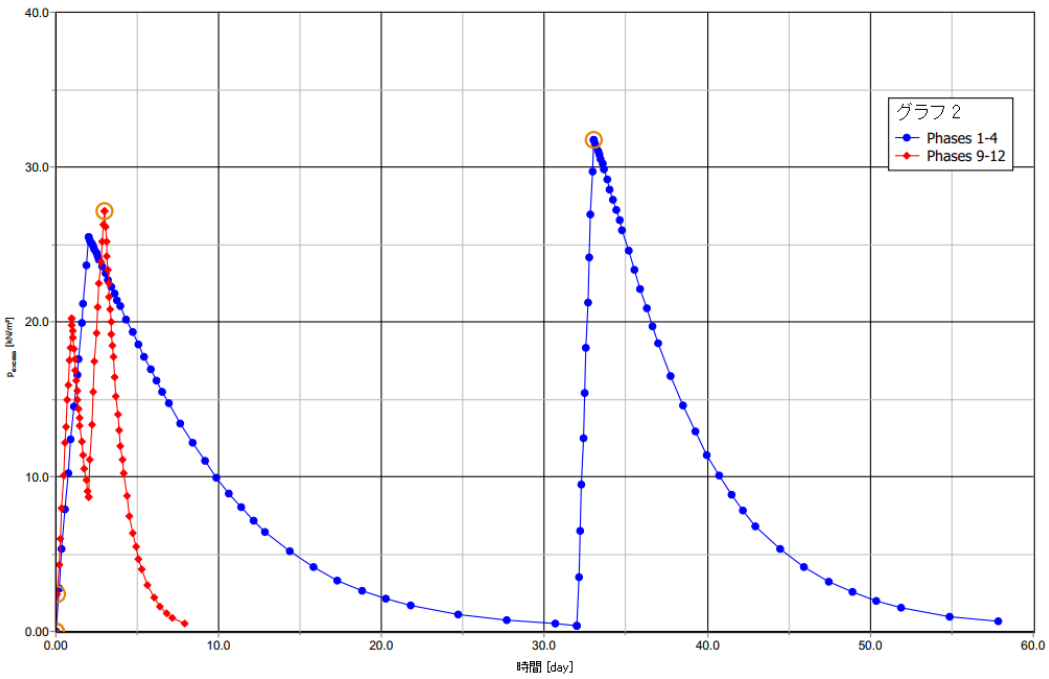


図 103: ドレーンの効果

7 急激な水位低下の解析[ULT]

この例では、水位低下という条件下での貯水池ダムの安定性について検討します。貯水位が急速に低下すると、ダムの内部に高い間隙水圧が残存して、ダムが不安定になる可能性があります。ダムは、粘土コアとその両側にある粒度の良い盛土からなります。地盤は過圧密のシルト質砂層で構成されます。

目的

- 浸透流変形完全連成解析を実行する。
- 時間依存の水理条件を定義する。
- 不飽和浸透流パラメータを使用する。

形状

検討対象となるダムは高さが 30m です。ダムの最上部の幅は 5m、底部の幅は 172.5m です。ダムの形状を以下に示します。ダム背後の通常水位は 25m の高さです。水位が 20m 低下する状況を想定します。ダムの右側の通常の浸潤線は地面から 10m 下です。

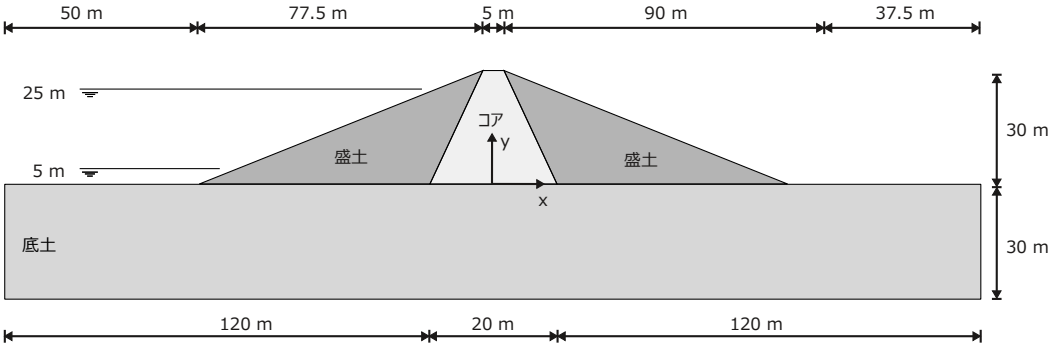


図 104: プロジェクトの形状

7.1 新しいプロジェクトの作成

ダムが広い谷にあると仮定し、モデルサイズを小さくするために、このモデルでは 50 m の代表長さについて考えます。

形状モデルを作成するには、次の手順に従います。

1. 入力プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。
2. **「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウで、適切なタイトルを入力します。
3. 単位を既定のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. x_{min} = -130.0m、x_{max} = 130.0m
   b. y_{min} = 0m、y_{max} = 50.0m

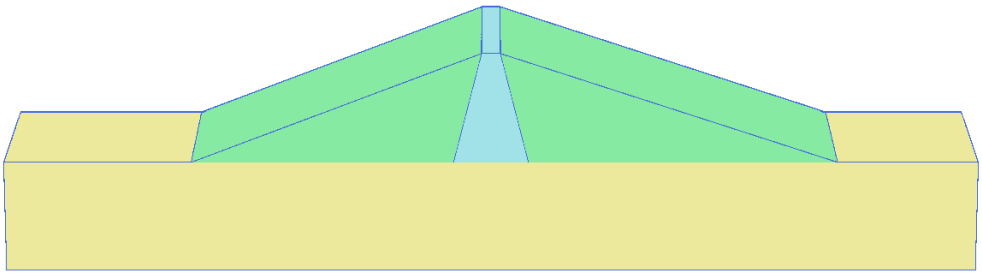


図 105: モデルの形状

7.2 土の層序の定義

基礎土を定義するには、ボアホールを追加して材料特性を割り当てる必要があります。このモデルでは、30m の過圧密のシルト質砂層を底土と見なします。

1. （0.0 0.0）にボアホールを作成します。
   「土層の修正」ウィンドウが表示されます。
2. 地表面（z = 0）から深さ 30m（z = -30）までの土層を追加します。
3. ボアホール内の**「水頭」**を-10m に設定します。水平な水位が自動的に生成されます。この水位を浸透流境界条件の面と組み合わせて**「完全連成解析」**の解析で使用します。

7.3 材料データセットの作成と割り当て

土層の材料データセットを 3 つ作成する必要があります。

各層の特性を表 17 (P120)に示します。

表 17: ダムと底土の材料特性

特性	名前	コア	盛土	底土	単位
一般					
土の モデル	モデル	モール･クーロン	モール･クーロン	モール･クーロン	-
排水タイプ	タイプ	非排水（B）	排水	排水	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	16.0	16.0	17.0	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	18.0	20.0	21.0	kN/m^3
構造					
ヤング係数	E'_{ref}	$1.5 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^4$	$5.0 \cdot 10^4$	kN/m^2

構造					
ポアソン比	$\nu(nu)$	0.35	0.33	0.3	-
ヤング係数の増分	E'_{inc}	300	-	-	kN/m^2/m
基準レベル	z_{ref}	30	-	-	m
非排水せん断強度	$s_{u,ref}$	5.0	-	-	kN/m^2
粘着力	c'_{ref}	-	5.0	1.0	kN/m^2
摩擦角	φ'	-	31	35.0	°
ダイレイタンシー角	ψ	-	1.0	5.0	°
非排水せん断強度の増分	$s_{u,inc}$	3.0	-	-	kN/m^3

地下水					
分類タイプ	モデル	Hypres	Hypres	Hypres	-
SWCC の調整方法	-	Van Genuchten	Van Genuchten	Van Genuchten	-
底土／表土	-	底土	底土	底土	-
土クラス	-	非常に細かい	粗い	粗い	-
水平方向の透水係数	k_x	1.0·10^{-4}	0.25	0.01	m/day
水平方向の透水係数	k_y	1.0·10^{-4}	0.25	0.01	m/day
鉛直方向の透水係数	k_z	1.0·10^{-4}	0.25	0.01	m/day

材料セットを作成するには、次の手順に従います。

1. **「材料セット」**ウィンドウを開きます。
2. 表 17 (P120)に示されている情報に従って、**「土とインターフェース」**材料タイプでデータセットを作成します。**「インターフェース」**タブシートと**「初期」**タブシートは関係ありません（インターフェースや**「K0 計算」**は使用されません）。
3. **「底土」**の材料データセットをボアホールの土層に割り当てます。

7.4 ダムの定義

ダムは**「構造物」モード**で定義します 。

1. （-80 0 0）、（92.5 0 0）、（2.5 0 30）、（-2.5 0 30）の点を指定してサーフェースを定義します。
2. （-10 0 0）、（10 0 0）、（2.5 0 30）、（-2.5 0 30）の点を指定してサーフェースを定義します。

3. 作成したサーフェースをすべて選択し、描画領域で右クリックします。**「交差と再クラスタ」**メニュー項目を選択します。
4. サーフェースをすべて選択し、(0 50.0 0) に沿って押し出します。ダムを表すボリュームが生成されます。
5. 土のボリュームの作成に使用したサーフェースを削除します。
6. 対応する材料データセットを土のボリュームに割り当てます。
7. 浸透流境界条件の面に時間依存の条件を割り当てることができます。表 18 (P122)の情報に従って浸透流境界条件の面を定義します（**「水理条件を作成」**ツールを使用）。

表 18: 浸透流境界条件の面

面	点
1	(-130 0 0), (-80 0 0), (-80 50 0), (-130 50 0)
2	(-80 0 0), (-2.5 0 30), (-2.5 50 30), (-80 50 0)
3	(-130 0 0), (-130 0 -30), (-130 50 -30), (-130 50 0)

7.5 メッシュの生成

メッシュの生成においては、**「要素分割」**パラメータを**「細かい」**に設定することをお勧めします。

全体の粗密を変更するには、次の手順に従います。

1. サイドツールバーの**「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。**「メッシュオプション」**ウィンドウが表示されます。
2. **「要素分割」**ドロップダウンから**「細かい」**オプションを選択します（図 106 (P122)を参照）。

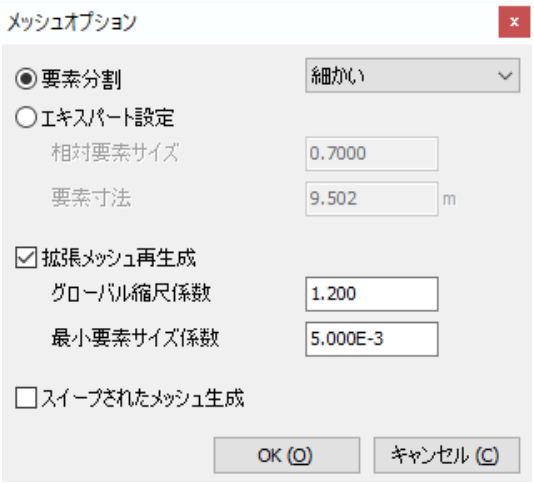


図 106: 全体の粗密の変更

3. **「OK」**をクリックして**「メッシュオプション」**ウィンドウを閉じ、メッシュを生成します。

4. サイドツールバーの**「メッシュ表示」**ボタンをクリックしてメッシュをプレビューします。生成されたメッシュを図 107 (P123)に示します。

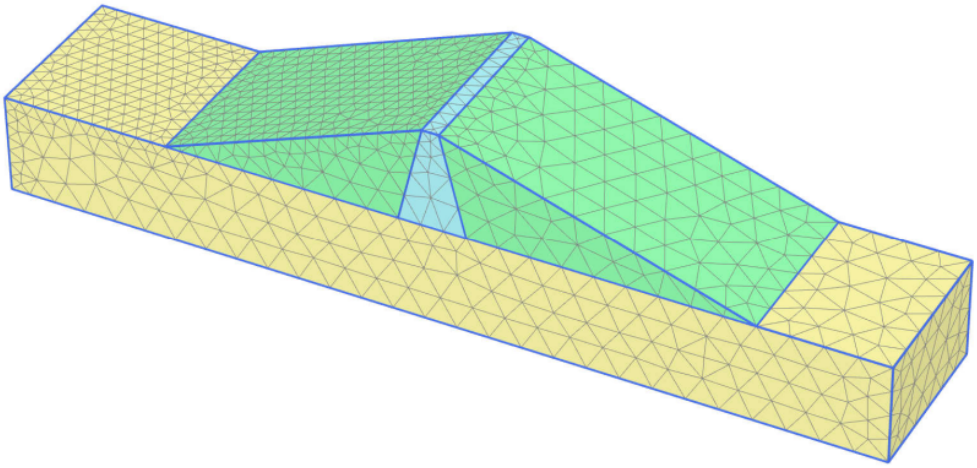


図 107: 生成されたメッシュ

7.6 計算の定義と実行

計算プロセスでは、 次のケースが考えられます。

- 初期状態（高貯水） ― 水位 25m が長期間続く状況。
- 急激な水位低下のケース ― 水位が 25m から 5m に急激に低下する状況。
- 低速な水位低下のケース ― 水位が 25m から 5m にゆっくり低下する状況。
- 低水位のケース ― 水位 5m が長期間続く状況。

初期フェーズに加えて、計算は 8 つのフェーズで構成されます。初期フェーズでは、**「重力荷重」**を使用して、通常の設定条件下でのダムの初期応力と初期間隙水圧を計算します。この状況では、水圧分布は、定常浸透流解析を使用して計算されます。1 番目のフェーズと 2 番目のフェーズは、両方とも初期フェーズ（貯水位が 25m のダム）から始まり、水位が 5m に低下します。違いは、これを行う時間間隔で、つまり水位が低下する速度が異なります（急速な水位低下と低速な水位低下）。どちらの場合でも、水圧分布は、浸透流変形完全連成解析を使用して計算されます。3 番目の計算フェーズも初期フェーズから始まります。このフェーズでは、5m という低い貯水位でのダムの長期的な挙動を検討するために、定常浸透流解析によって水圧分布を計算します。最後に、すべての水圧状況について、ダムの安全率を phi-c 低減によって計算します。

1. **「フロー条件」モード**に進みます。
2. 表 19 (P124)に示されている情報に従って、満水位のケースと低水位のケースに対応する水位を作成します。

表 19: 水位

水位	点
高貯水	(-130 0 25), (-10 0 25), (93 0 -10), (130 0 -10), (130 50 -10), (93 50 -10), (-10 50 25), (-130 50 25)
低貯水	(-130 0 5), (-10 0 5), (93 0 -10), (130 0 -10), (130 50 -10), (93 50 -10), (-10 50 5), (-130 50 5)

3. **「モデルエクスプローラー」**の**「属性ライブラリ」**で、作成したユーザー定義水位の名前を「High_Reservoir」および「Low_Reservoir」に変更します。

注記:

「ボアホールの水位」と水平でない**「ユーザ定義水位」**に対して、**「時間依存性」**などの変更を行うことはできません。

7.6.1 初期フェーズ:高貯水

1. **「段階施工」モード**に進みます。
2. **「フェーズエクスプローラー」**で初期フェーズをダブルクリックします。
3. **「フェーズ」**ウィンドウの**「一般」**サブツリーでフェーズの名前を「High reservoir」に変更します。
4. **「計算タイプ」**として**「重力荷重」**オプションを選択します。
「荷重タイプ」に選択できるオプションは**「段階施工」**のみであることに注意してください。
5. **「間隙水圧計算タイプ」**として**「定常浸透流」**オプションを選択します。
6. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「非排水挙動（A,B）を無視」**オプションと**「サクションを無視」**オプションが既定で選択されていることを確認します。**「数値制御パラメータ」**サブツリーと**「フロー制御パラメータ」**サブツリーのパラメータには既定値を使用します。
7. **「OK」**をクリックして**「フェーズ」**ウィンドウを閉じます。
8. **「段階施工」モード**で、盛土を表す土のクラスタをアクティブにします。
9. **「モデルエクスプローラー」**で**「モデル条件」**サブツリーを展開します。
10. **「浸透流」**サブツリーで、**「BoundaryYMin」**、**「BoundaryYMax」**、**「BoundaryZMin」**を**「閉境界」**に設定します。残りの境界は**「開く」**にする必要があります（図 108 (P125)を参照）。
11. **「水」**サブツリーで**「GlobalWaterLevel」**として高貯水位（「High_Reservoir」）を選択します。

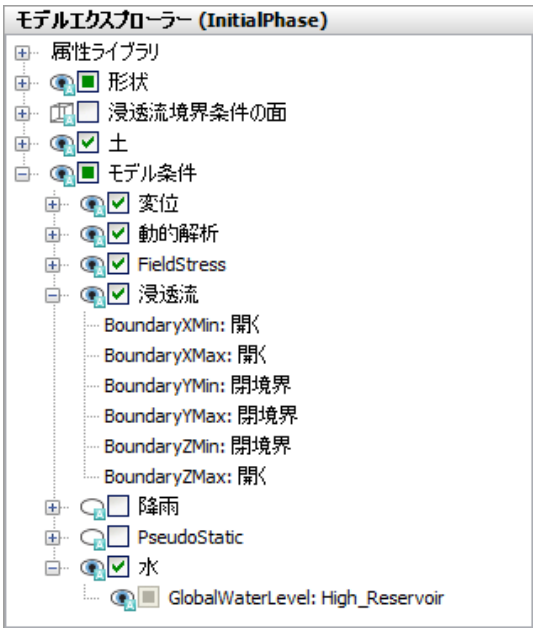


図 108: 浸透流の境界条件

7.6.2 フェーズ 1:急激な水位低下

急激な水位低下フェーズでは、貯水池の水位が 5 日間で z = 25m から z = 5m まで低下します。水位の変動を表す関数を定義するには、次の手順に従います。

1. 新しい計算フェーズを追加します。
2. **「フェーズエクスプローラー」**で新しく追加したフェーズをダブルクリックします。**「フェーズ」**ウィンドウが表示されます。
3. **「一般」**サブツリーでフェーズの名前を指定します（例: 「Rapid drawdown」）。
4. **「計算タイプ」**を**「完全連成解析」**に設定します。
5. **「時間間隔」**を 5 日に設定します。
6. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「変位をゼロリセット」**オプションが自動的に選択されます。
7. **「OK」**をクリックして**「フェーズ」**ウィンドウを閉じます。
8. **「モデルエクスプローラー」**で**「属性ライブラリ」**を展開します。
9. **「流れ関数」**を右クリックし、表示されるメニューから**「編集」**オプションを選択します。**「流れ関数」**ウィンドウが表示されます。
10. **「水頭関数」**タブシートで、対応するボタンをクリックして新しい関数を追加します。新しい関数がリストでハイライト表示され、関数を定義するオプションが表示されます。
    a. 急激な水位低下の関数に適切な名前を指定します（例: 「Rapid」）。
    b. **「シグナル」**ドロップダウンメニューから**「線形」**オプションを選択します。
    c. 水頭の低下量を表す**「Δ 水頭」**に-20m の値を割り当てます。
    d. 時間間隔を 5 日と指定します。定義した関数を図 109 (P126)に示します。

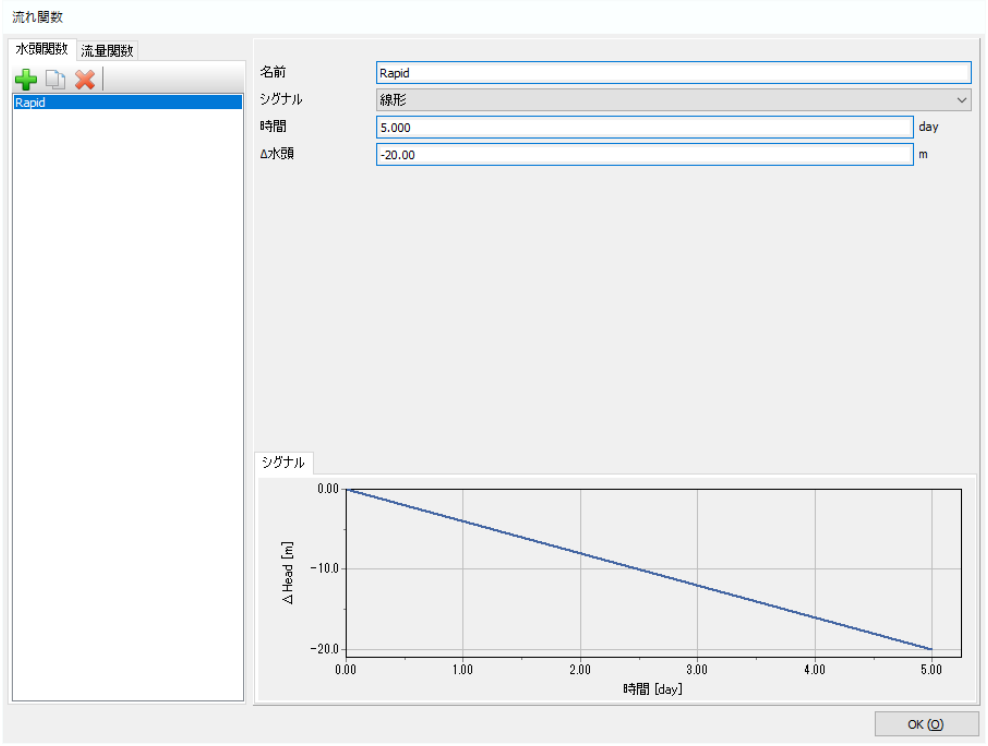


図 109: 急激な水位低下のケースの流れ関数

e.「**OK**」をクリックして「**流れ関数**」ウィンドウを閉じます。

11. 浸透流境界条件の面をすべてアクティブにします。
12. 描画領域で浸透流境界条件の面をすべて選択します。
13. 「**選択エクスプローラー**」で「**Behaviour**」として「**水頭**」オプションを選択します。水頭の分布は「**一様**」です。h_{ref} に 25m の値を割り当てます。
14. 時間依存性を「**時間依存**」に設定し、「**水頭関数**」として「**Rapid**」オプションを選択します。水頭関数に関する情報も「**選択エクスプローラー**」や「**モデルエクスプローラー**」に表示されます。
15. 「**モデルエクスプローラー**」>「**モデル条件**」>「**水**」で、「**GlobalWaterLevel**」として「BoreholeWaterLevel_1」オプションを選択します。

7.6.3 フェーズ 2:低速な水位低下

低速な水位低下フェーズでは、貯水池の水位が 50 日間で z = 25m から z = 5m まで低下します。水位の変動を表す関数を定義するには、次の手順に従います。

1. 「**フェーズエクスプローラー**」で初期フェーズ（「High reservoir」）を選択します。
2. 新しい計算フェーズを追加します。
3. 「**フェーズエクスプローラー**」で新しく追加したフェーズをダブルクリックします。「**フェーズ**」ウィンドウが表示されます。
4. 「**一般**」サブツリーでフェーズの名前を指定します（例:「Slow drawdown」）。
5. 「**計算タイプ**」を「**完全連成解析**」に設定します。
6. 「**時間間隔**」オプションを 50 日に設定します。
7. 「**変形制御パラメータ**」サブツリーで「**変位をゼロリセット**」オプションが自動的に選択されます。

8. 「**OK**」をクリックして「**フェーズ**」ウィンドウを閉じます。
9. 前に説明した手順に従って、新しい流れ関数を追加します（図 110 (P127)を参照）。
   a. 低速な水位低下の関数に適切な名前を指定します（例:「Slow」）。
   b. 「**シグナル**」ドロップダウンメニューから「**線形**」オプションを選択します。
   c. 水頭の低下量を表す「**Δ 水頭**」に-20m の値を割り当てます。
   d. 時間間隔を 50 日と指定します。

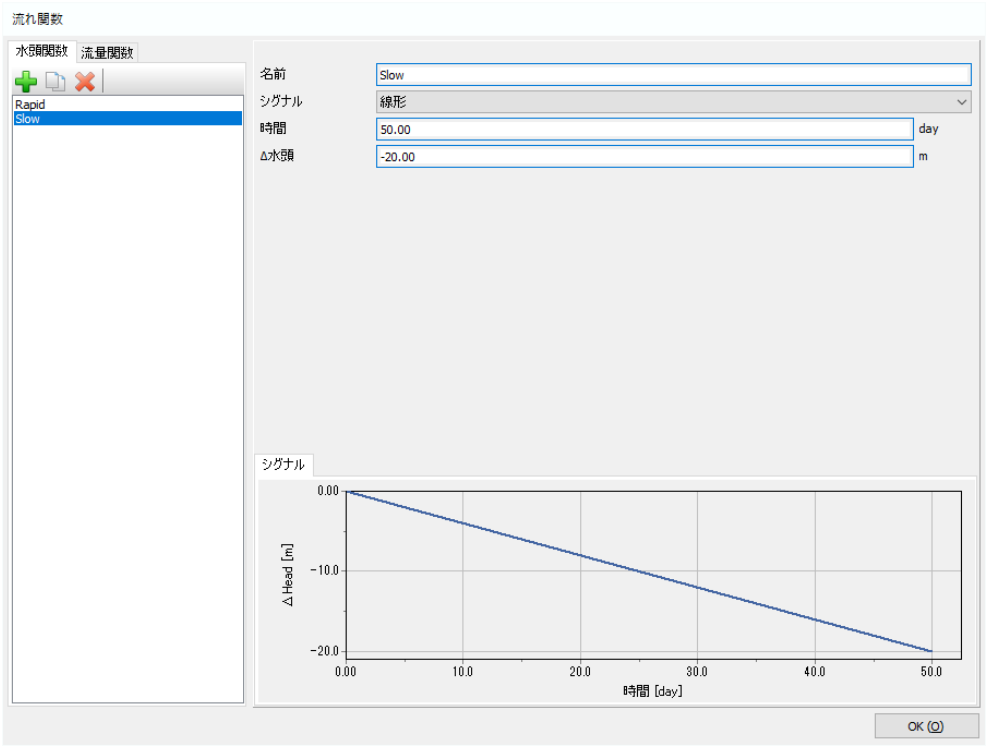


図 110: 低速な水位低下のケースの流れ関数

10. 浸透流境界条件の面をすべてアクティブにし、描画領域ですべて選択します。
11. 「**選択エクスプローラー**」で挙動として「**水頭**」オプションを選択します。水頭の分布は「**一様**」です。h_{ref} に 25m の値を割り当てます。
12. 時間依存性を「**時間依存**」に設定し、「**水頭関数**」として「**Slow**」オプションを選択します。
13. 「**モデルエクスプローラー**」の「**水**」サブツリーで、「**GlobalWaterLevel**」として「**BoreholeWaterLevel_1**」オプションを選択します。

7.6.4 フェーズ 3:低水位

このフェーズでは、低い貯水位の定常状態について検討します。

1. 「**フェーズエクスプローラー**」で初期フェーズ（「High reservoir」）を選択します。
2. 新しい計算フェーズを追加します。
3. 「**フェーズエクスプローラー**」で新しく追加したフェーズをダブルクリックします。「**フェーズ**」ウィンドウが表示されます。
4. 「**一般**」サブツリーでフェーズの名前を指定します（例:「Low level」）。
5. このフェーズでは、計算タイプは既定（「**塑性解析**」）のままにします。

6. このフェーズでは、**「間隙水圧計算タイプ」**は既定（**「定常浸透流」**）のままにします。
7. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「非排水挙動（A,B）を無視」**を選択し、**「変位をゼロリセット」**も選択されていることを確認します。
8. **「OK」**をクリックして**「フェーズ」**ウィンドウを閉じます。
9. **「モデルエクスプローラー」**で浸透流境界条件の面を非アクティブにする必要があります。
10. **「水」**サブツリーで**「GlobalWaterLevel」**として低貯水位（「Low_Reservoir」）を選択します。

7.6.5 フェーズ 4～7

フェーズ 4～7 では、前のフェーズに対する安定性計算をそれぞれ定義します。

1. **「フェーズエクスプローラー」**で Phase_1 を選択します。
2. 新しい計算フェーズを追加し、**「フェーズ」**ウィンドウに進みます。
3. **「一般」**サブツリーでフェーズの名前を指定します（例: 「Rapid drawdown - Safety」）。
4. **「計算タイプ」**を**「安全率解析」**に設定します。**「荷重タイプ」**として**「倍率増分」**オプションを選択します。
5. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「変位をゼロリセット」**オプションを選択します。
6. **「数値制御パラメータ」**サブツリーでフェーズ 4 の**「最大ステップ」**パラメータを 50 に設定します。
7. フェーズ 5～7 について同じ手順に従います （図 111 (P128)を参照）。

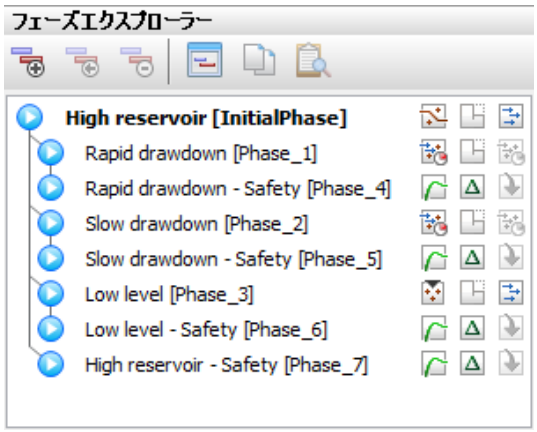


図 111: 「フェーズエクスプローラー」の最終ビュー

7.6.6 計算の実行

1. **「段階施工」モード**で頂上（-2.5 25.0 30.0）の節点を選択します。
2. 計算プロセスを開始します。計算の警告は無視します。
3. 計算が完了したらプロジェクトを保存します。

7.7 結果

1. 計算が完了したら、**「計算結果の表示」**ボタンをクリックします。

   「出力」ウィンドウに、選択したフェーズの変形図が表示されます。
2. **「応力」** > ***「間隙水圧」*** > P_{water} メニュー項目の順に選択します。
3. （-130 15）と（130 15）を通る鉛直断面を定義します。

注記:

- 既定では、凡例は横断面図でロックされているため、モデル内で横断面を再配置する場合、または他のフェーズで結果を表示する場合は、同じ層分布が使用されます。
- 凡例のロックを解除するには、凡例の下にある**ロック**アイコンをクリックします。凡例が固定されていないことが**ロック解除**アイコンで示されます。

間隙水圧分布に基づく 4 つの浸透流計算の結果を、次の 4 つの条件に応じて以下に示します。

- 高い（標準）貯水位の状況 ― 図 112 (P130)を参照してください。
- 貯水位が急激に低下した後の状況 ― 図 113 (P130)を参照してください。
- 貯水位がゆっくり低下した後の状況 ― 図 114 (P131)を参照してください。
- 低い貯水位の状況 ― 図 115 (P131)を参照してください。

変形解析で間隙水圧の変化を考慮すると、ダムのさらなる変形が発生します。これらの変形と有効応力分布は、フェーズ 1～4 の結果に基づいて表示できます。

フェーズ 1 と 2 では、凡例の設定を**「手動」**に変更し、値を次のように設定します。

- 最小値:-480
- 最大値:200
- 分割数:18

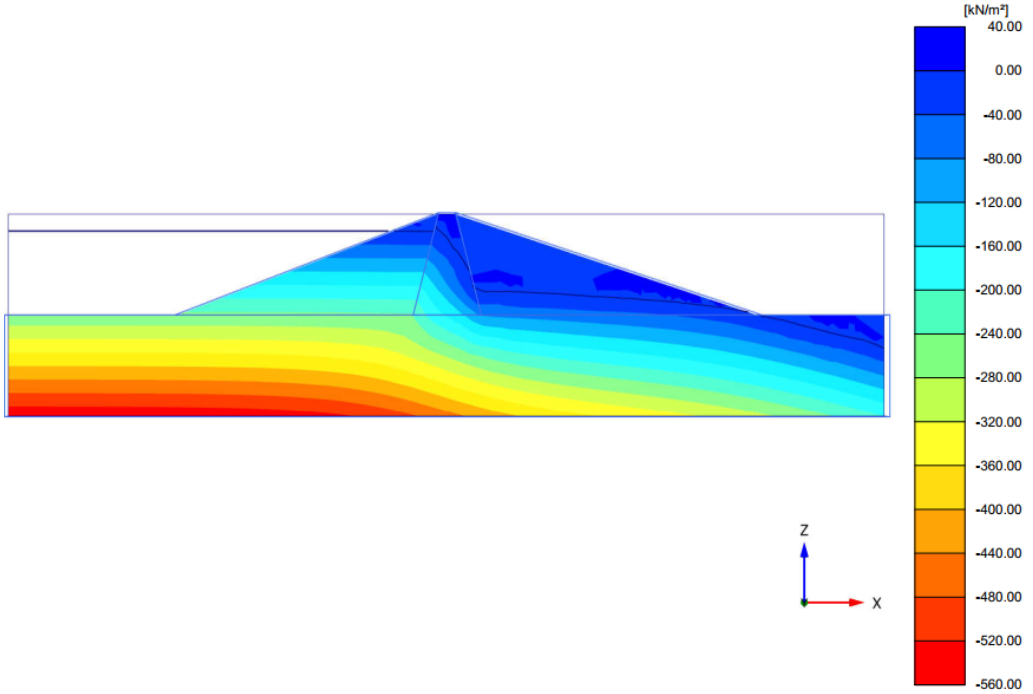


図 112: 高貯水位の間隙水圧分布（初期フェーズ）

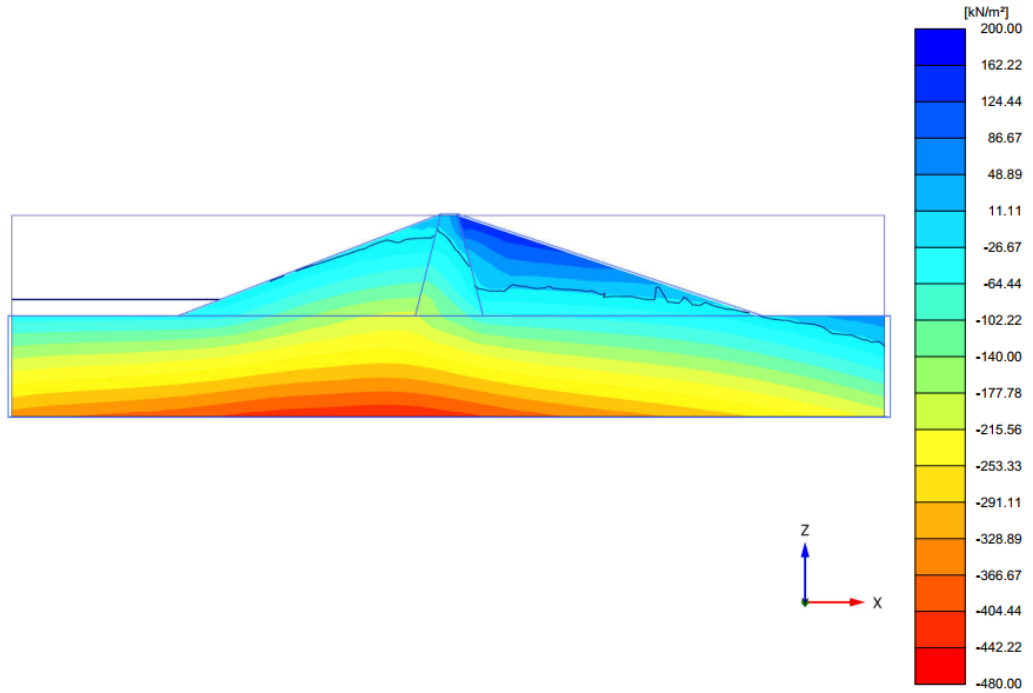


図 113: 急速な水位低下後の間隙水圧分布（Phase_1）

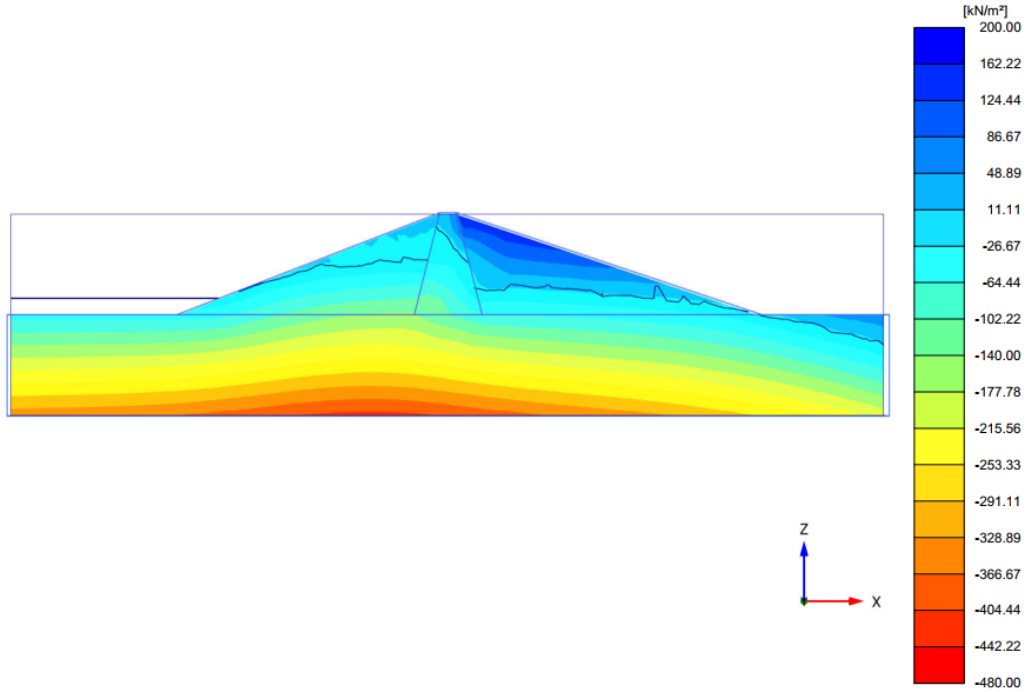


図 114: 低速な水位低下後の間隙水圧分布（Phase_2）

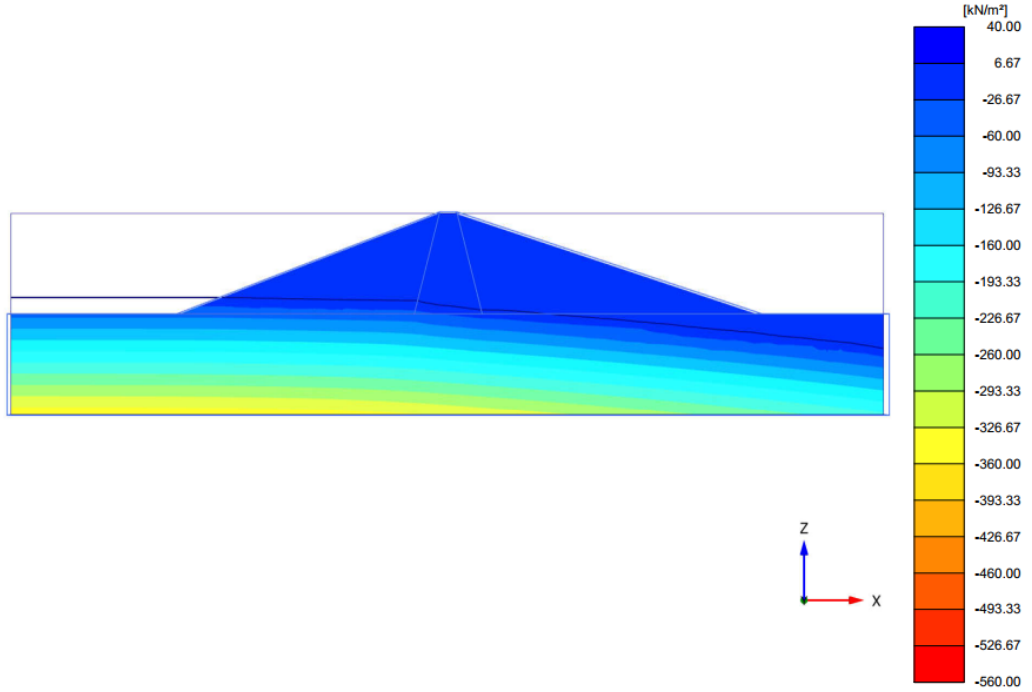


図 115: 低貯水位の間隙水圧分布（Phase_3）

このチュートリアルでは、上記の各ケースにおけるダムの安全率の変動に注目します。そのため、フェーズ 4～7 について **ΣMsf** の変化をダムの頭頂点の変位の関数としてプロットします（図 116 (P132)を参照）。

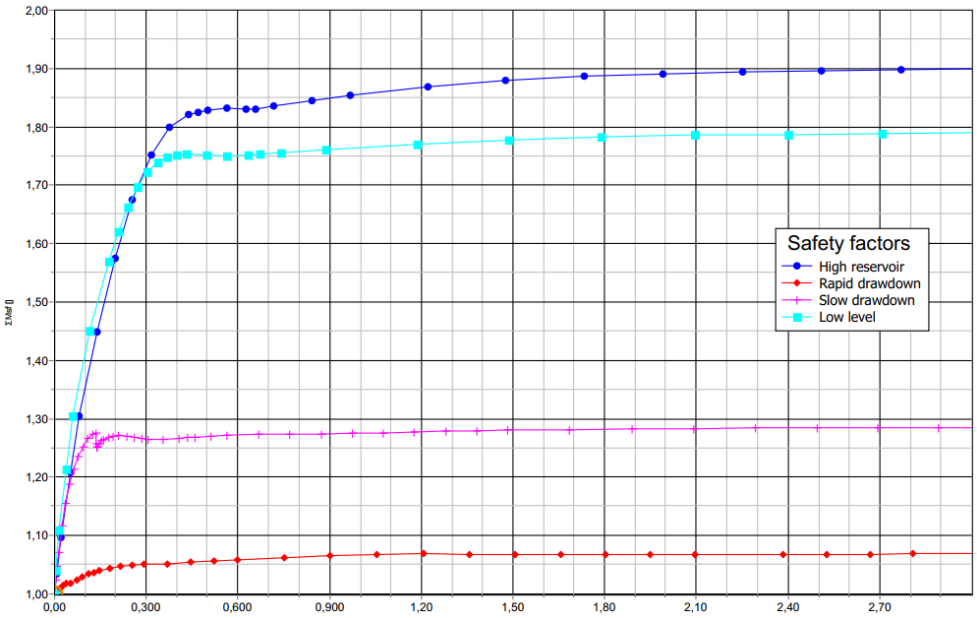


図 116: 各ケースでの安全率

貯水位の急激な低下は、ダムの安定性を大幅に低下させる可能性があります。PLAXIS 3D では、完全連成解析と安定性解析を実行して、このような状況を効果的に分析できます。

8

弾性基礎上のジェネレータの動的解析 [ULT]

このチュートリアルでは、振動源が周囲の土に与える影響を調べます。計算時間を短縮するために、対称線に沿った対称境界条件を使用して、形状全体の 4 分の 1 のみをモデル化します。粘性効果による物理的減衰をレイリー減衰を使用して考慮します。また、放射波の伝搬による「幾何学的減衰」が振動の減衰に大きく影響する可能性があります。

境界のモデル化は、動的解析計算における重要なポイントの 1 つです。モデル境界におけるスプリアス波の反射（実際には存在しない）を避けるには、境界に到達する波を吸収するために特別な条件を適用する必要があります。

目的

- **「動的解析」**の計算を実行する。
- 動的な境界条件（粘性）を定義する。
- 荷重倍率によって動的荷重を定義する。
- 材料減衰をレイリー減衰で定義する。

形状

振動源は、厚さ 0.2m で直径 1m のコンクリートのフーチングを基礎とするジェネレータです。ジェネレータによって引き起こされる振動はフーチングを通じて地盤に伝わります （図 117 (P133)を参照）。このような振動を、振動数 10Hz、振幅 10kN/m^2 の一様な調和荷重としてシミュレートします。フーチングの重量に加えて、ジェネレータの重量を 8kN/m^2 の等分布荷重としてモデル化します。

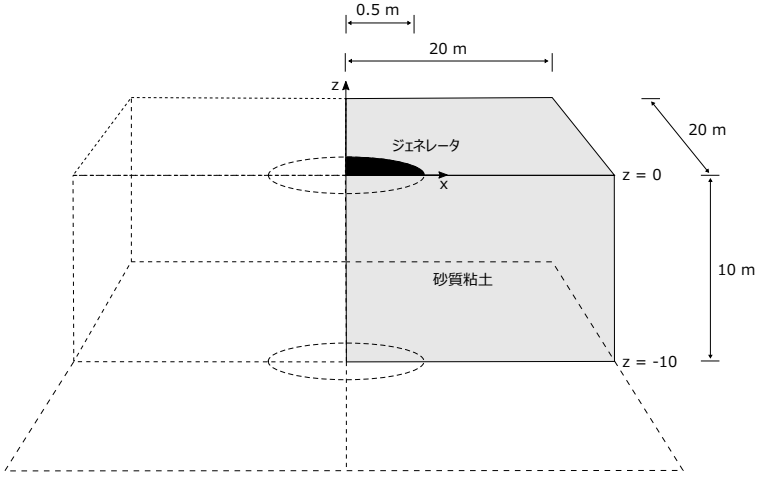


図 117: 弾性地盤上のジェネレータ

モデル境界は、反射による外乱の影響を避けるために、対象領域から十分に離す必要があります。スプリアス反射を避けるために特別な措置（吸収境界）を講じてありますが、それでも多少の影響は常にあ

るため、境界を遠くに離すことをお勧めします。一般に、動的解析では、静的解析よりもモデル境界を遠くに離します。

8.1 新しいプロジェクトの作成

形状モデルを作成するには、次の手順に従います。

1. 入力プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。
2. **「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウで、適切なタイトルを入力します。
3. 単位を既定のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. $x_{min} = 0$、$x_{max} = 20$。
   b. $y_{min} = 0$、$y_{max} = 20$。

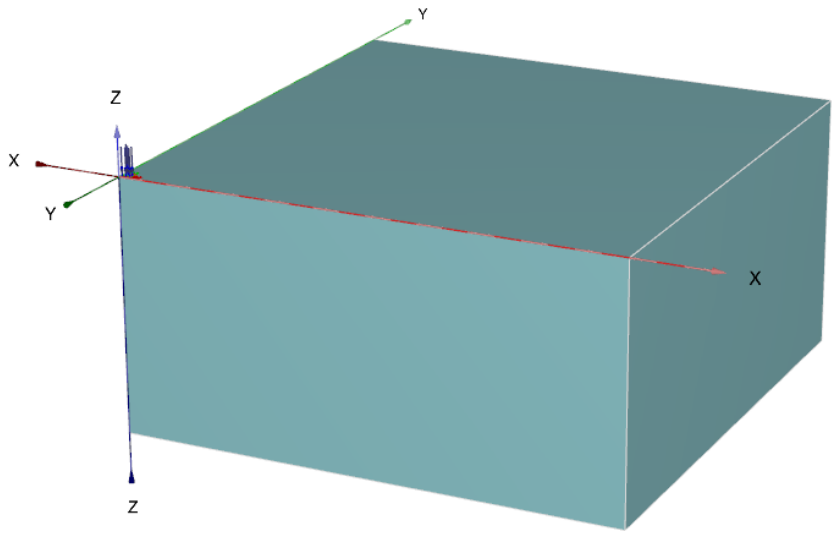


図 118: モデルの形状

8.2 土の層序の定義

1. 地盤は深さ 10 m の単一の層で構成されます。地表面は z = 0 です。
2. この例では水理条件は考慮せず、水頭は z = -10 に設定されていることに注意してください。

8.3 材料データセットの作成と割り当て

表 20 (P135)に従って材料データセットを作成し、土の層に割り当てます。

表 20: 材料特性

特性	名前	砂質粘土	単位
一般			
土のモデル	モデル	線形弾性	-
排水タイプ	タイプ	排水	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	20.0	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	20.0	kN/m^3
構造			
ヤング係数	E'_{ref}	$5 \cdot 10^4$	kN/m^2
ポアソン比	$\nu(nu)$	0.3	-
インターフェース			
インターフェース強度	-	剛体	-
初期			
K_0 の決定	-	自動	-
水平土圧係数	K_0	0.5	-

8.4 構造要素の定義

ジェネレータは**「構造物」モード**で定義します。**「ポリカーブ」**機能を使用して形状を定義します。

1. サイドツールバーの**「ポリカーブを作成」**ボタンをクリックし、挿入点として描画領域で（0 0 0）をクリックします。
2. **「一般」**タブシートで、このポリカーブの軸を既定の向きの軸（x 軸、y 軸）のままにします。
3. **「セグメント」**タブシートで、表 21 (P135)に示すように 3 つのセグメントを定義します。

表 21: セグメントのプロパティ

セグメント	セグメント 1	セグメント 2	セグメント 3
セグメントタイプ	ライン	円弧	ライン
セグメントのプロパティ	相対開始角度= 0° 長さ= 0.5m	相対開始角度= 90° 半径= 0.5m 断面角度= 90°	相対開始角度= 90° 長さ= 0.5m

4. セグメントを作成したら、ポリカーブデザイナーを閉じます。
5. ポリカーブを右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「サーフェースを作成」**オプションの順に選択します。
6. 作成したサーフェースを右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「荷重の面を作成」**オプションの順に選択します。
7. **「選択エクスプローラー」**で、**「荷重の面」**については**「一様」**分布をそのまま使用できます。圧力成分に（0 0 -8）を割り当てます。

8.4.1 動的倍率の定義

動的荷重は、荷重または強制変位の入力値と、対応する時間依存の倍率に基づいて定義します。

動的荷重の倍率を作成するには、次の手順に従います。

1. **「モデルエクスプローラー」**で**「属性ライブラリ」**サブツリーを展開します。
2. **「動的倍率」**サブツリーを右クリックし、表示されるメニューから**「編集」**オプションを選択します。

   「倍率」ウィンドウが表示されます。
3. **「荷重倍率」**タブをクリックします。
4. 
   「追加」ボタンをクリックして荷重の倍率を導入します。
5. **「振幅」**を 10、**「振動数」**を 10 Hz、**「フェーズ」**を 0°に設定した**「調和関数」**シグナルを定義します（図 119 (P136)を参照）。

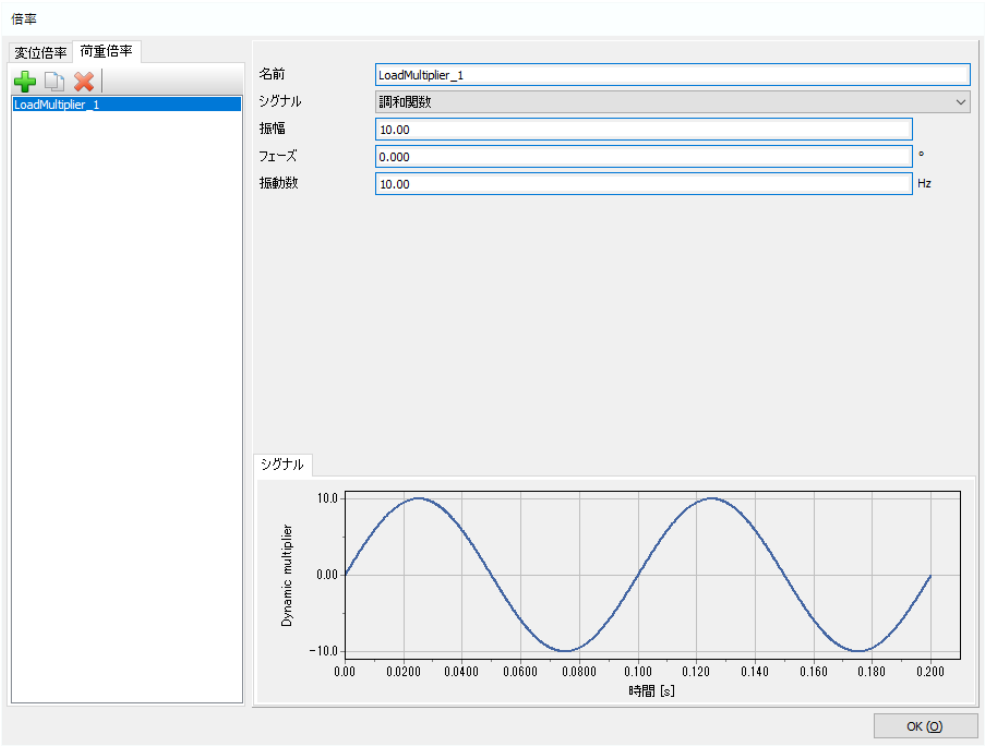


図 119: 「調和関数」の倍率の定義

6. 
   「選択エクスプローラー」の DynSurfaceLoad_1 で、荷重の成分を（0 0 -1）と指定します。
7. 動的荷重のサブツリーで「Multiplier$_z$」をクリックし、表示されるメニューから「LoadMultiplier_1」オプションを選択します。

注記:

動的倍率は、**「構造物」モード**のほか、**「段階施工」モード**でも定義することができます。

8.5 メッシュの生成

1. **「メッシュ」モード**に進みます。
2. **「粗密係数」**で 0.125 を割り当てて、ジェネレータに対応するサーフェースを細かくします。
3. **「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。**「要素分割」**には**「普通」**オプションが使用されます。
4. 生成されたメッシュを表示します（図 120 (P137)を参照）。

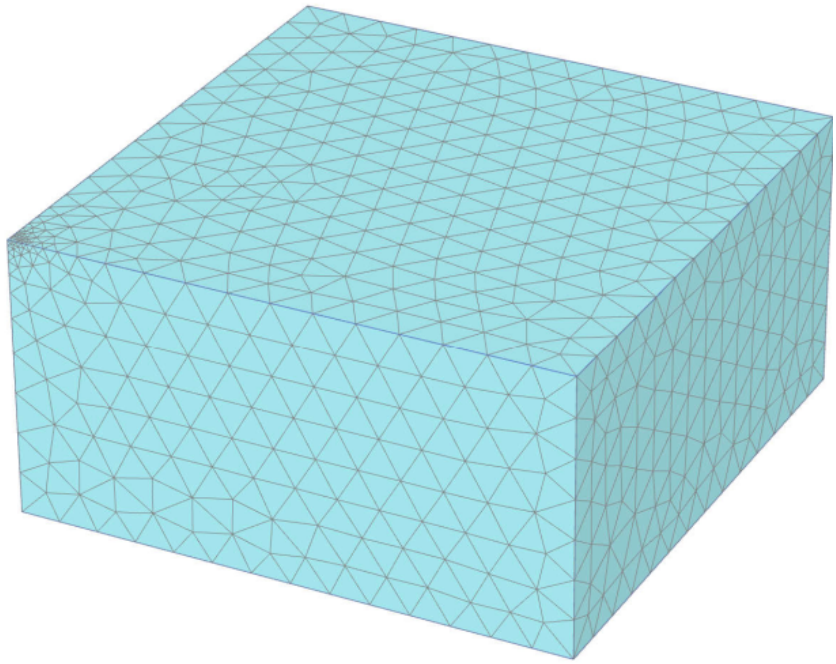


図 120: 生成されたメッシュ

注記: すべての動的解析計算において、波の数値分散を減らすために要素サイズに特別な注意を払う必要があります。大きい要素は高周波を通さないことに注意してください。波の伝達は波の速度と波の長さの両方で決まります。動的な入力に高周波が含まれている場合は、高周波をフィルタするか、より細かいメッシュを使用してください。

8.6 計算の定義と実行

計算は 4 つのフェーズからなります。初期フェーズでは、**「K0 計算」**を使用して初期応力を生成します。最初のフェーズは、静的荷重をアクティブにした**「塑性解析」**の計算です。2 番目のフェーズは、振動す

るジェネレータの効果を考慮した**「動的解析」**の計算です。3 番目の最終フェーズも**「動的解析」**の計算ですが、 ここではジェネレータをオフにするため、土は自由振動します。

8.6.1 初期フェーズ

1. **「段階施工」**タブをクリックして計算フェーズの定義を進めます。
2. 初期フェーズはすでに導入されています。このチュートリアルでは、初期フェーズの既定の設定値を使用します。

8.6.2 フェーズ 1: フーチング

1. 新しい計算フェーズ（Phase_1）を追加します。この計算フェーズでは、追加されたフェーズの既定の設定値を使用します。
2. **「段階施工」モード**で、図 121 (P138)に示すように、 サーフェース荷重の静的成分を有効にします。荷重の動的成分は有効にしないでください。

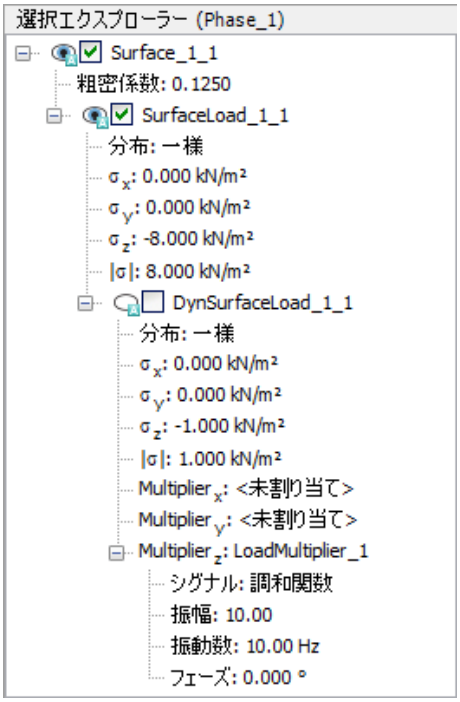


図 121: Phase_1 の作用荷重

8.6.3 フェーズ 2: ジェネレータの起動

このフェーズでは、振動数 10 Hz、振幅 10 kN/m2 の鉛直調和荷重を適用して、ジェネレータによって引き起こされる振動をシミュレートします。サイクル数は 5 で、合計時間間隔は 0.5 秒とします。

1. 新しい計算フェーズ（Phase_2）を追加します。
2. **「フェーズ」**ウィンドウの**「一般」**サブツリーで、計算タイプとして**「動的解析」**オプションを選択します。
3. **「時間間隔」**パラメータを 0.5 秒に設定します。
4. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「変位をゼロリセット」**パラメータを選択します。この計算フェーズでは、残りのパラメータについては既定値を使用します。
5. **「数値制御パラメータ」**サブツリーで**「デフォルトの反復パラメータを使用」**チェックボックスをオフにし、詳細設定を変更して**「時間ステップの決定」**を**「手動」**に設定します。
6. **「最大ステップ」**を 250 に設定します。
7. **「段階施工」モード**で、サーフェース荷重の動的成分を有効にします。荷重の静的成分は有効なままであることに注意してください（図 122 (P139)を参照）。

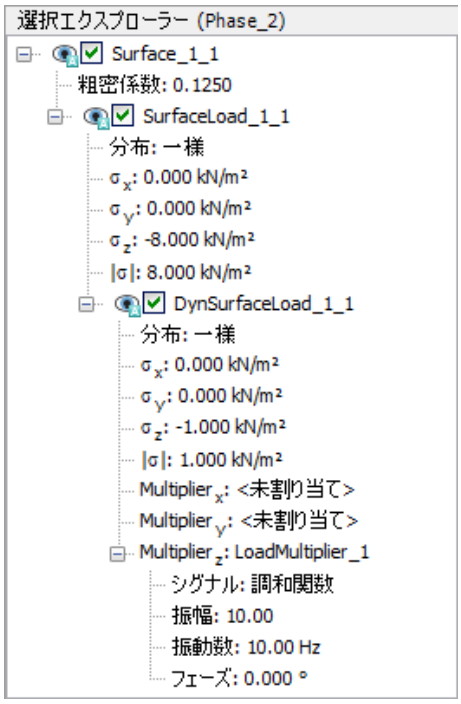


図 122: Phase_2 の作用荷重

土は実際には半無限媒質であるという点を考慮して、特別な境界条件を定義する必要があります。これらの特別な境界条件がないと、波がモデル境界で反射して摂動が生じます。このようなスプリアス反射を避けるために、Xmax、Ymax、Zmin で粘性境界を指定します。動的境界は、図 123 (P140)に示すように、**「モデルエクスプローラー」** > **「モデル条件」** > **「動的解析」**で指定することができます。



図 123: 動的解析計算の境界条件

8.6.4 フェーズ 3: ジェネレータの停止

1. 新しい計算フェーズ（Phase_3）を追加します。
2. **「フェーズ」**ウィンドウの**「一般」**サブツリーで、**「計算タイプ」**として**「動的解析」**オプションを選択します。
3. **「動的時間間隔」**パラメータを 0.5 秒に設定します。
4. **「数値制御パラメータ」**サブツリーで**「デフォルトの反復パラメータを使用」**チェックボックスをオフにし、詳細設定を変更して**「時間ステップの決定」**を**「手動」**に設定します。
5. **「最大ステップ」**を 250 に設定します。
6. **「段階施工」モード**で、サーフェース荷重の動的成分を無効にします。静的荷重は有効なままであることに注意してください。このフェーズの動的境界条件は、前のフェーズと同じにする必要があります。

このチュートリアルの**「フェーズエクスプローラー」**を図 124 (P140)に示します。

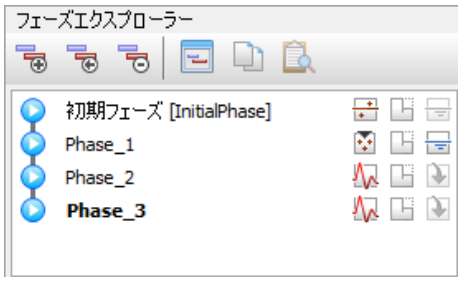


図 124: フェーズエクスプローラー

8.6.5 計算の実行

1. 曲線で考慮したい地表面の節点を選択します。たとえば、(1.4 0 0)、(1.9 0 0)、(3.6 0 0) です。
2. 計算を実行します。
3. プロジェクトを保存します。

8.6.6 減衰ありの追加の計算

2 番目の計算では、レイリー減衰を使用して材料減衰を導入します。レイリー減衰は材料データセットで入力することができます。手順は次のとおりです。

1. プロジェクトを別の名前で保存します。
2. 土の材料データセットを開きます。
3. **「一般」**タブシートの**「レイリー減衰」**で、「入力方法」として**「等価 1 自由度」**オプションを選択します（図 125 (P141)を参照）。
4. **「ξ_1」** と**「ξ_2」**の両方の値を 5%に設定します。
5. 振動数の ターゲット **「f_1」**と**「f_2」**の値をそれぞれ 9 と 11 に設定します。
6. **「α」**と**「β」**の値がプログラムによって自動的に計算されます。

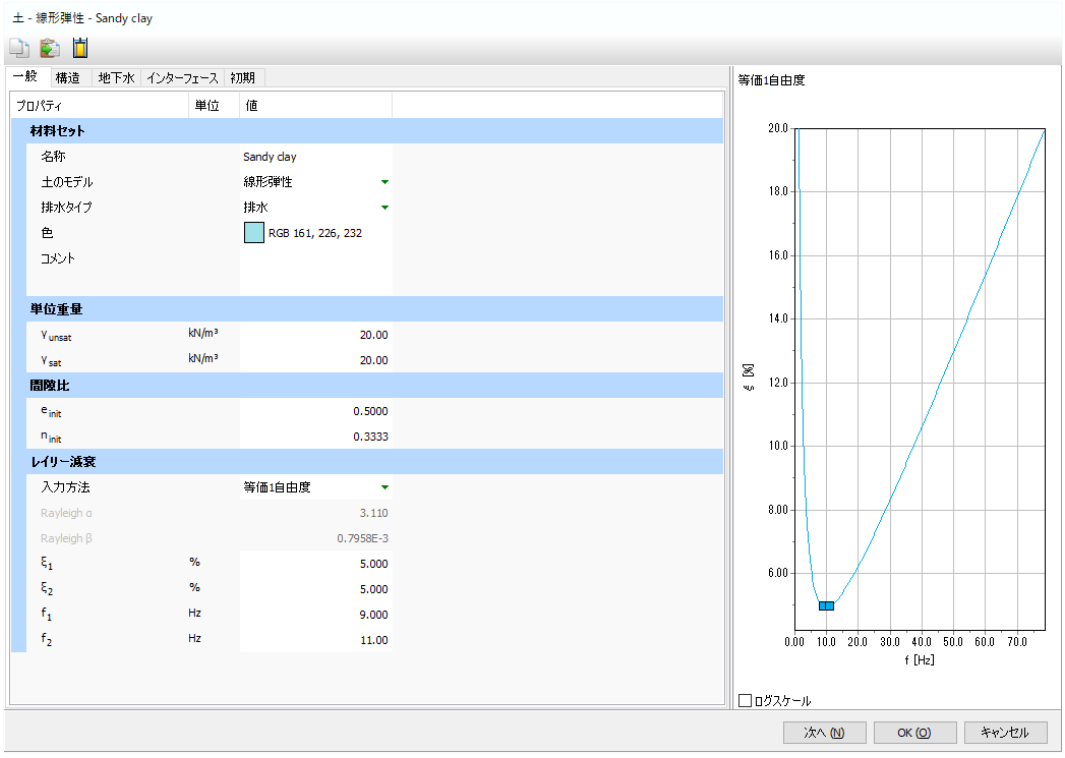


図 125: レイリー減衰の入力

7. **「OK」**をクリックしてデータベースを閉じます。

8. フェーズが（前に示した情報に従って）正しく定義されているかを確認し、計算を開始します。

8.6.7 結果

動的解析には**「曲線マネージャー」**機能が特に役立ちます。実荷重の経時的変化（入力）を表示し、さらに事前に選択したポイントの変位、速度、加速度の経時的変化も簡単に表示することができます。定義した倍率の経時的変化をプロットするには、x 軸に**「経過時間(動的)」**を割り当て、y 軸に u_z を割り当てます。図 126 (P142)は、構造物の表面において事前に選択したポイントの応答を示しています。減衰がなくても、波は幾何学的減衰に起因して散逸しています。

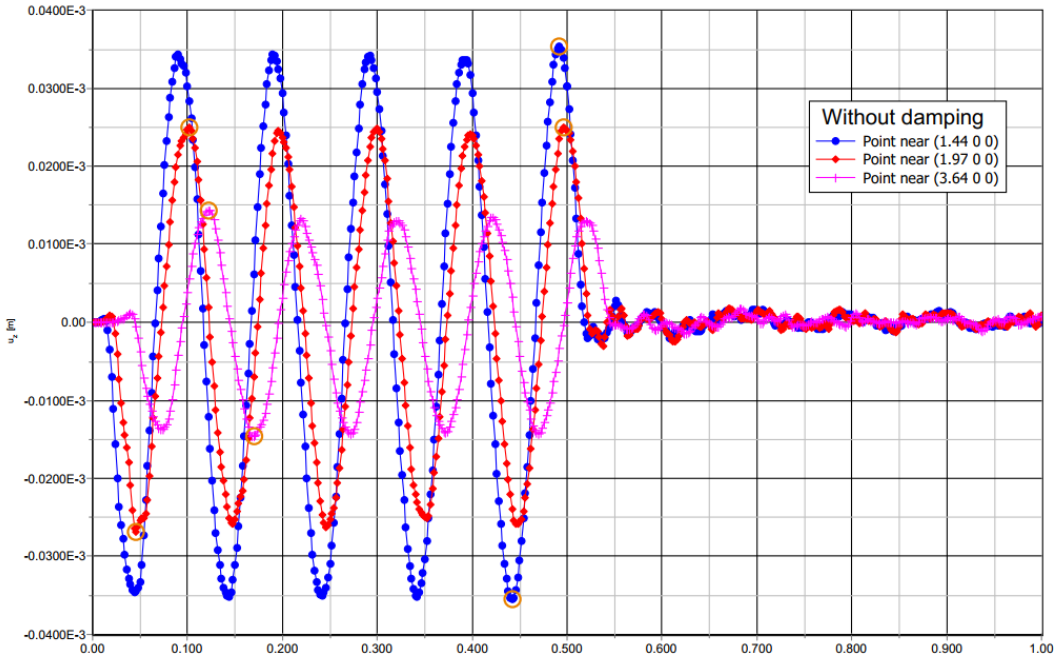


図 126: 振動源までの距離が異なる表面上のポイントにおける鉛直変位と時間（減衰なし）

図 127 (P143)は、材料減衰がある場合の、構造物の表面において事前に選択したポイントの応答を示しています。サーフェース荷重の動的成分を除去した後（t = 0.5 s）、しばらくして振動が収まっています。減衰なしの結果と減衰ありの結果を比較すると、変位の振幅も小さくなっています。

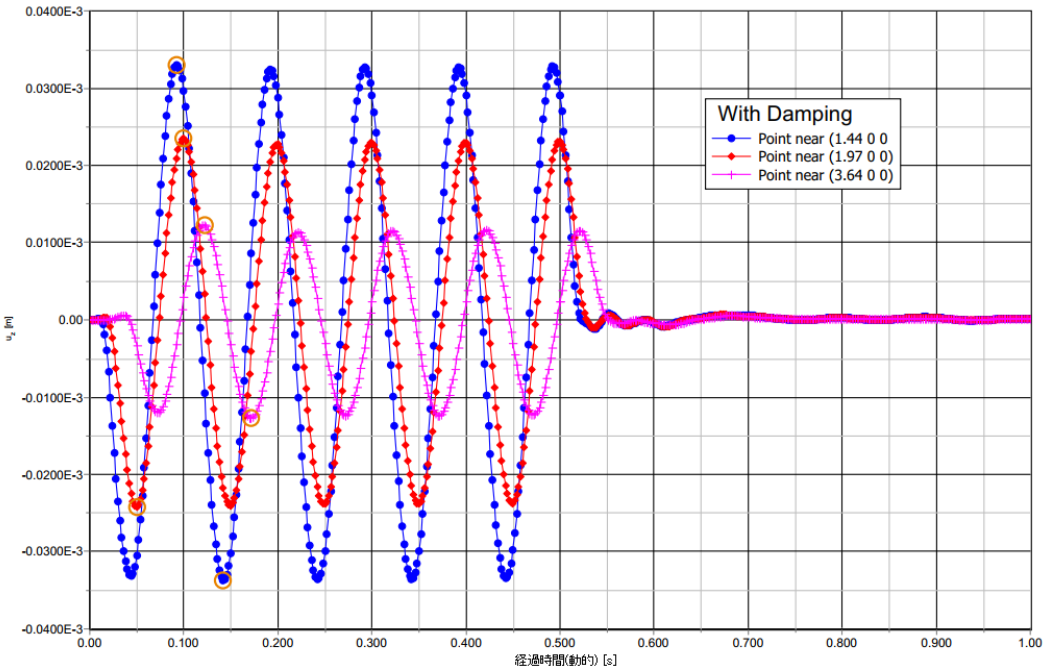


図 127: 鉛直変位と時間（減衰あり）

出力プログラムで**「変形」**メニューの該当するオプションを選択することにより、特定の時間の変位、速度、加速度を表示することができます。図 128 (P143)は、フェーズ 2 の終了時（t = 0.5s）の地盤内の全加速度を示しています。

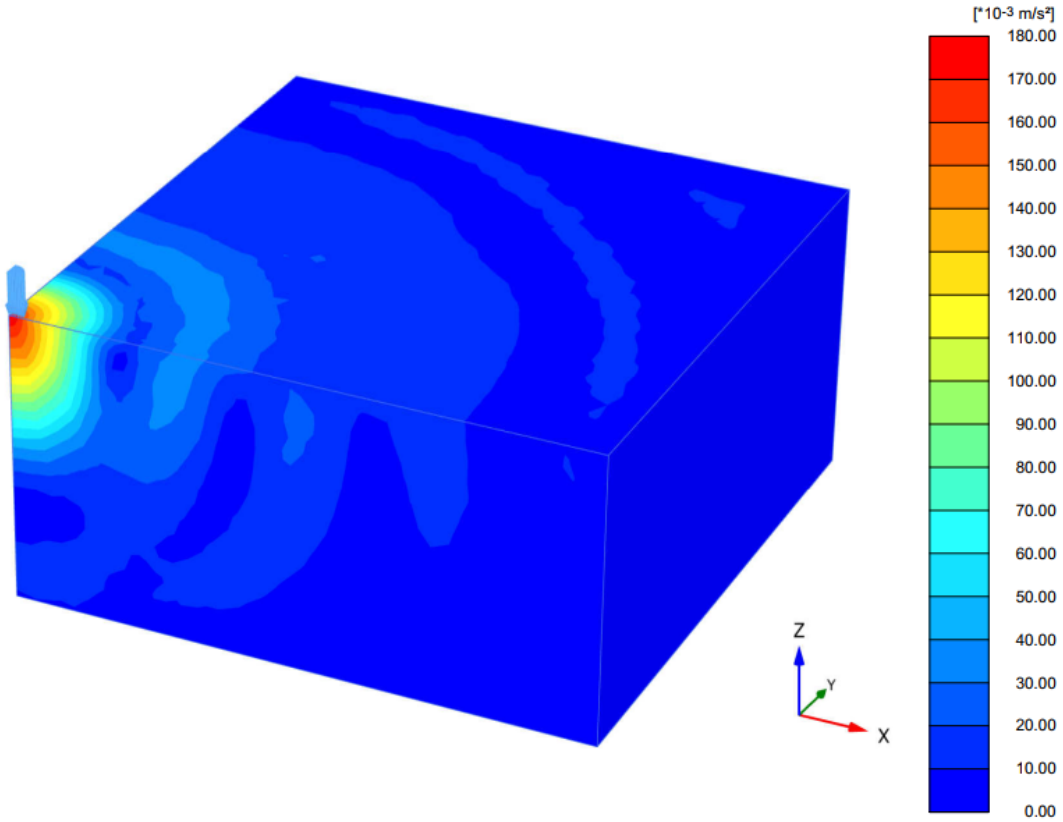


図 128: フェーズ 2 の終了時の地盤内の全加速度（減衰あり）

9 建物の自由振動および地震解析 [ULT]

この例では、5 階建ての長い建物について、自由振動と地震荷重を受けた場合の固有振動数を示します。2 つの計算では、次のように、異なる動的な境界条件を使用します。

- 自由振動では、**「粘性」**境界条件が考慮されます。このオプションは、動的な動力源がメッシュ内にある問題に適しています。
- 地震荷重では、**「自由地盤」**および**「底面粘性」**境界条件が考慮されます。このオプションは、モデル境界に沿って動的な入力が適用される地震解析に適しています。

目的

- **「動的」**計算を実行する。
- 動的な境界条件（自由地盤と底面粘性）を定義する。
- 変位倍率によって地震を定義する。
- 構造体の自由振動をモデリングする。
- Hardening Soil モデル（微小ひずみ剛性）によって履歴挙動をモデル化する。
- フーリエスペクトルによって固有振動数を計算する。

形状

建物の構造は、地上 5 階、地下 1 階です。幅は 10m で、高さは地下を含めて 17m です。地表面からの全高は 5×3m = 15m で、地下の深さは 2m です。値 $5kN/m^2$ が、床と壁の重量として使用されます。建物は深さ 15m の粘土層の上に構築されており、この層の下には密な砂の層があります。このモデルでは、砂層の深さを 25m と見なします。

9.1 形状の定義

建物の長さの方が幅よりもはるかに長く、地震による主な影響は建物の幅方向に現れると想定されます。その点を考慮し、モデルサイズを小さくするために、このモデルでは 3m の代表的な断面について考えます。形状を作成するには、次の手順に従います。

1. 入力プログラムを起動し、**「クイックスタート」**ダイアログボックスで**「新しいプロジェクトを始める」**を選択します。
2. **「プロジェクトプロパティ」**ウィンドウで、適切なタイトルを入力します。
3. 単位を既定のままにして、モデル寸法を次のように設定します。
   a. $x_{min} = -80$、$x_{max} = 80$
   b. $y_{min} = 0$、$y_{max} = 3$

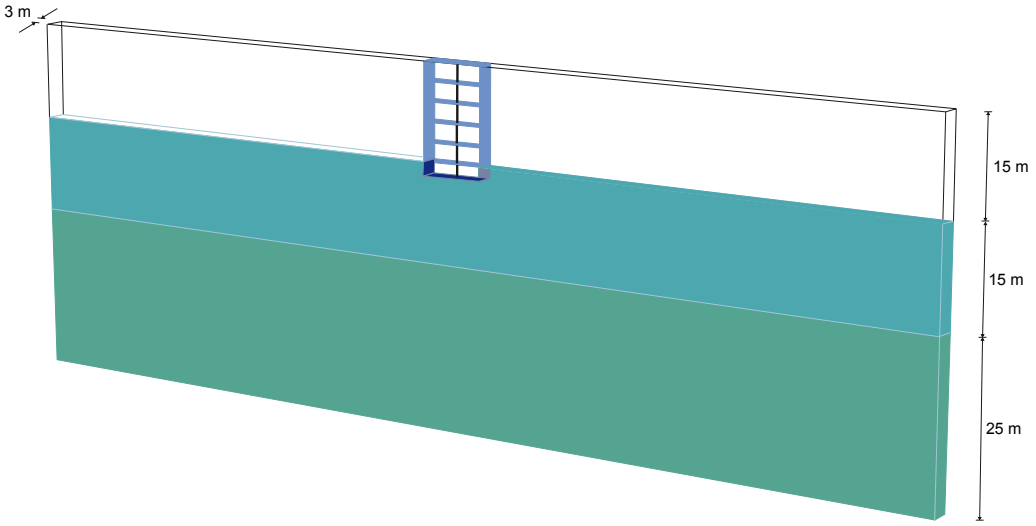


図 129: モデルの形状

9.2 土の層序の定義

1. 地盤は 2 つの層で構成されます。地表面（z = 0）から z = -15 までが**上部粘土層**です。
2. その下の z = -40 までが**下部砂層**です。
3. ボアホールの**「水頭」**に値-15 を割り当てて浸潤線を定義します。

9.3 材料データセットの作成と割り当て

このチュートリアルでは、2 つの材料データセットが必要になります。材料モデルの特性と詳細の一部を表 22 (P145)に示します。

表 22: 材料特性

特性	名前	上部粘土層	下部砂層	単位
一般				
土のモデル	モデル	HS small	HS small	-
排水タイプ	タイプ	排水	排水	-
不飽和単位重量	γ_{unsat}	16	20	kN/m^3
飽和単位重量	γ_{sat}	20	20	kN/m^3
構造				
標準的な排水三軸試験の割線剛性	E_{50}^{ref}	$2.0 \cdot 10^4$	$3.0 \cdot 10^4$	kN/m^2

構造				
一次圧密試験（載荷）の接線剛性	E_{oed}^{ref}	$2.561 \cdot 10^4$	$3.601 \cdot 10^4$	kN/m^2
除荷／再載荷剛性	E_{ur}^{ref}	$9.484 \cdot 10^4$	$1.108 \cdot 10^5$	kN/m^2
ポアソン比	ν_{ur}	0.2	0.2	-
剛性の応力レベル依存性の指数	m	0.5	0.5	-
微小ひずみでのせん断弾性係数	G_0^{ref}	$2.7 \cdot 10^5$	$1.0 \cdot 10^5$	kN/m^2
$G_s = 0.722\ G_0$ 時のせん断ひずみ	$\gamma_{0.7}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	-
粘着力	c'_{ref}	10	5	kN/m^2
摩擦角	φ'	18.0	28.0	°
ダイレイタンシー角	ψ	0.0	0.0	°

繰り返しせん断荷重を受けると、Hardening Soil モデル（微小ひずみ剛性）は典型的な履歴挙動を示します。実際の剛性は、微小ひずみのせん断剛性（G_0^{ref}）から始まり、せん断が増加するにつれて減少します。図 130 (P146)と図 131 (P147)は、係数減少曲線、つまりひずみに伴うせん断弾性係数の減衰を示しています。

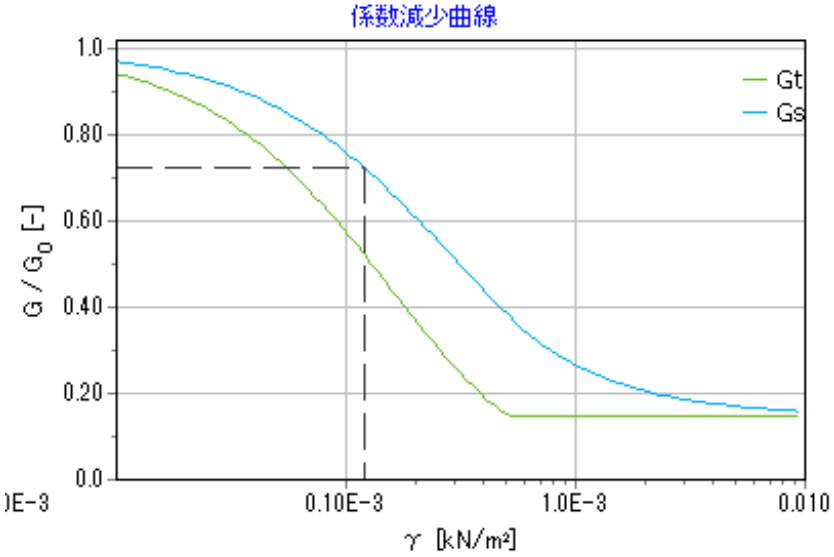


図 130: 上部粘土層の係数減少曲線

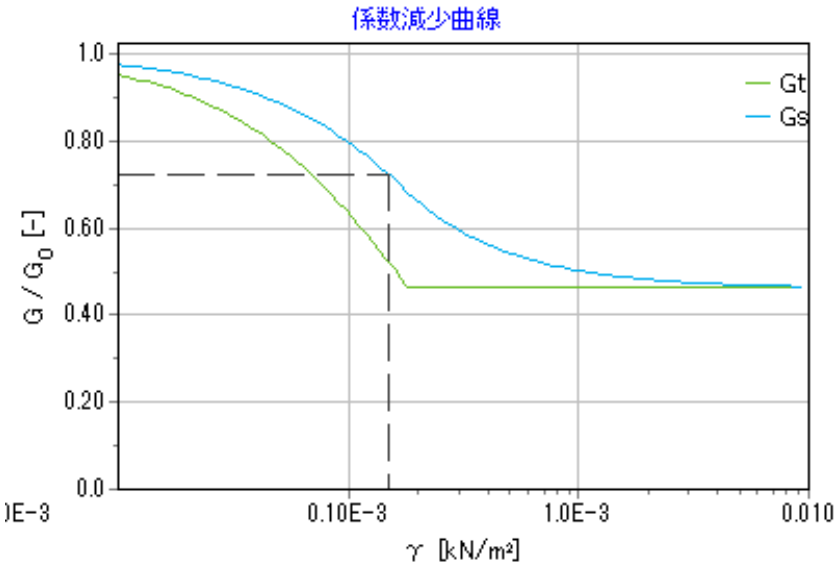


図 131: 下部砂層の係数減少曲線

Hardening Soil モデル（微小ひずみ剛性）では、接線せん断弾性係数は下限 G_{ur} によって制限されます。

$$G_{ur} = \frac{E_{ur}}{2\,(1+\nu_{ur})}$$

上部粘土層と**下部砂層**の G_{ur}^{ref} の値および G_0^{ref} に対する比率を表 23 (P147)に示します。この比率により、得られる最大減衰比が決まります。

表 23: G_{ur} の値と G_0^{ref} に対する比率

パラメータ	単位	上部粘土層	下部砂層
G_{ur}	kN/m^2	39517	41167
G_0^{ref}/G_{ur}	-	6.83	2.43

図 132 (P148) と 図 133 (P148)は、モデルで使用される材料における、せん断ひずみの関数としての減衰比を示しています。係数減少曲線と減衰曲線に関する詳細な説明については、下記の文献を参照してください。Brinkgreve, R.B.J., Kappert, M.H., Bonnier, P.G.(2007).Hysteretic damping in small-strain stiffness model.In Proc.10th Int.Conf. on Comp.Methods and Advances in Geomechanics.Rhodes, Greece, 737-742.

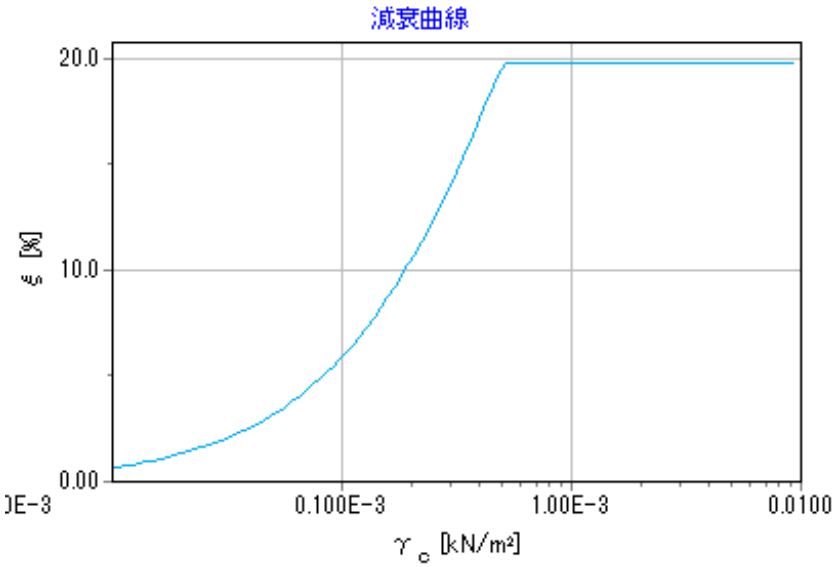


図 132: 上部粘土層の減衰曲線

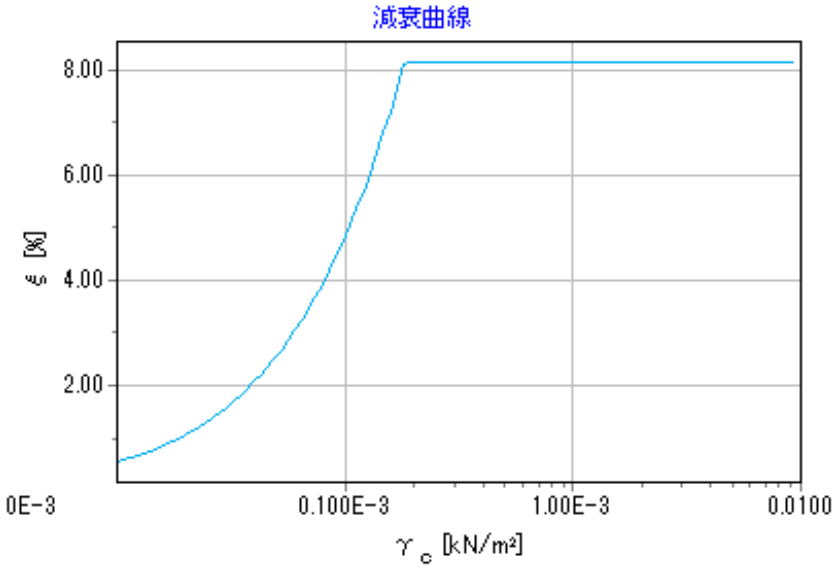


図 133: 下部砂層の減衰曲線

1. 表 22 (P145)に従って、材料データセットを作成します。
2. 対応する土層に割り当てます。上の層は主に粘土質の土で構成され、下の層は砂質土で構成されます。

9.4 構造要素の定義

モデルの構造要素は**「構造物」モード**で定義します。

9.4.1 建物の作成

建物の構造は、地上 5 階、地下 1 階です。幅は 10m で、高さは地下を含めて 17m です。地表面からの全高は 5×3m = 15m で、地下の深さは 2m です。値 5kN/m^2 が、床と壁の重量として使用されます。

建物に必要な材料データセットは 2 つです。それらの対応する 材料特性 を 表 24 (P149)に示します。

表 24: 建物の材料特性（板の特性）

パラメータ	名前	建物の残りの部分	地下	単位
一般				
挙動のタイプ	タイプ	弾性	弾性	-
材料重量	γ	33.33	50	kN/m^3
レイリー減衰 （直接）	α	0.2320	0.2320	-
	β	$8{\cdot}10^{-3}$	$8{\cdot}10^{-3}$	-
構造				
等方性	-	有効	有効	-
ヤング係数	E_1	$3{\cdot}10^7$	$3{\cdot}10^7$	kN/m^2
ポアソン比	ν_{12}	0	0	-
厚さ	d	0.3	0.3	m

構造定義

構造の 床と壁を作成するには、 次の手順に従います。

1. 点（-5 0 -2）、（5 0 -2）、（5 3 -2）、（-5 3 -2）を通るサーフェースを定義します。
2. z 方向の 1 次元配列を定義して、サーフェースのコピーを作成します。列数を 2 に設定し、列間の距離を 2m に設定します。
3. 作成した z = 0 のサーフェースを選択し、z 方向の 1 次元配列を定義します。列数を 6 に設定し、連続する列間の距離を 3 m に設定します。
4. 点（5 0 -2）、（5 3 -2）、（5 3 15）、（5 0 15）を通るサーフェースを定義します。
5. x 方向の 1 次元配列を定義して、垂直なサーフェースのコピーを作成します。列数を 2 に設定し、列間の距離を-10m に設定します。
6. 垂直なサーフェースと z = 0 の水平なサーフェースをすべて選択します。
7. 選択箇所を右クリックし、表示されるメニューから**「交差と再クラスタ」**オプションを選択します。地下と建物の残りの部分に異なる材料データセットを割り当てるため、**「構造物」モード**で交差を行うことが重要です。

8. 建物（地下、床、壁）を表す作成したすべてのサーフェースを選択して右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「板を作成」**オプションの順に選択します。
9. 表 24 (P149)に従って、構造を表す板の材料データセットを定義します。2 つの異なる材料データセットを地下と建物の残りの部分にそれぞれ使用することに注意してください。
10. z = -2 の水平な板と地表面より下の垂直な板に**「地下」**材料データセットを割り当てます。
11. モデル内の残りの板に対応する材料データセットを割り当てます。
12. 建物の地下における地盤構造の交差をモデル化するために、地下の外側にインターフェースを割り当てます。サーフェースのローカル座標系に応じて、正または負のどちらかのインターフェースを割り当てることに注意してください。

中央の柱

構造の中央の柱は、**「節点間アンカー」**機能を使用してモデル化します。モデル化の手順は次のとおりです。

1. 地下階の柱に対応する点（0 1.5 -2）と（0 1.5 0）を通る**線**を作成します。
2. 1 階の柱に対応する点（0 1.5 0）と（0 1.5 3）を通る**線**を作成します。
3. z 方向の 1 次元配列を定義して、後に定義した線のコピーを作成します。列数を 5 に設定し、列間の距離を 3m に設定します。
4. 作成した線を選択して右クリックし、表示されるメニューから**「作成」** > **「節点間アンカーを作成」**オプションの順に選択します。
5. 表 25 (P150)に従って材料データセットを作成し、アンカーに割り当てます。

表 25: 節点間アンカーの材料特性

パラメータ	名前	柱	単位
材料タイプ	タイプ	弾性	-
垂直剛性	EA	$2.5 \cdot 10^6$	kN

9.4.2 荷重の作成

静的荷重の作成

10kN/m の静的水平力を建物の左上隅に横方向に適用します。荷重を作成するには、次の手順に従います。

1. （-5 0 15）と（-5 3 15）を通るライン荷重を作成します。
2. 荷重の成分を（10 0 0）として指定します。

地震の定義

地震は、底面境界に強制変位を与え、その強制変位に動的倍率を割り当てることでモデル化します。

- **強制変位を定義するには、次のように操作します。**
  1. （-80 0 -40）、（80 0 -40）、（80 3 -40）、（-80 3 -40）を通る強制変位の面を作成します。

2. 強制変位の x 成分を**「強制」**と指定し、値 1.0 を割り当てます。強制変位の y 成分と z 成分は**「拘束」**です。既定の分布（**「一様」**）のままにします。

- **強制変位の動的倍率を定義するには、次のように操作します。**

1. **「モデルエクスプローラー」**で**「属性ライブラリ」**サブツリーを展開します。**「動的倍率」**を右クリックし、表示されるメニューから**「編集」**オプションを選択します。

   「倍率」ウィンドウが表示され、**「変位倍率」**タブシートが表示されます。
2. 倍率を追加するには、**「倍率」**ウィンドウの対応するボタンをクリックします。
3. **「シグナル」**ドロップダウンメニューから**「表」**オプションを選択します。
4. 地震データを含むファイルは Bentley コミュニティで入手することができます。
5. Web ブラウザでページを開き、すべてのデータをテキストエディタ（メモ帳など）にコピーし、拡張子*.smc を付けてコンピュータにファイルを保存します。
6. **「倍率」**ウィンドウで**「開く」**ボタンをクリックし、保存したファイルを選択します。**「インポートデータ」**ウィンドウで**ファイル拡張子タイプ**のドロップダウンリストから**「Strong motion CD-ROM ファイル」**オプションを選択し、**「OK」**をクリックしてウィンドウを閉じます。
7. **「データタイプ」**ドロップダウンメニューで**「加速度」**オプションを選択します。
8. **「ドリフト補正」**オプションを選択し、**「OK」**をクリックして倍率の定義を確定します。
9. **「動的倍率」**ウィンドウに、データのテーブルとプロットが表示されます（図 134 (P151)を参照）。

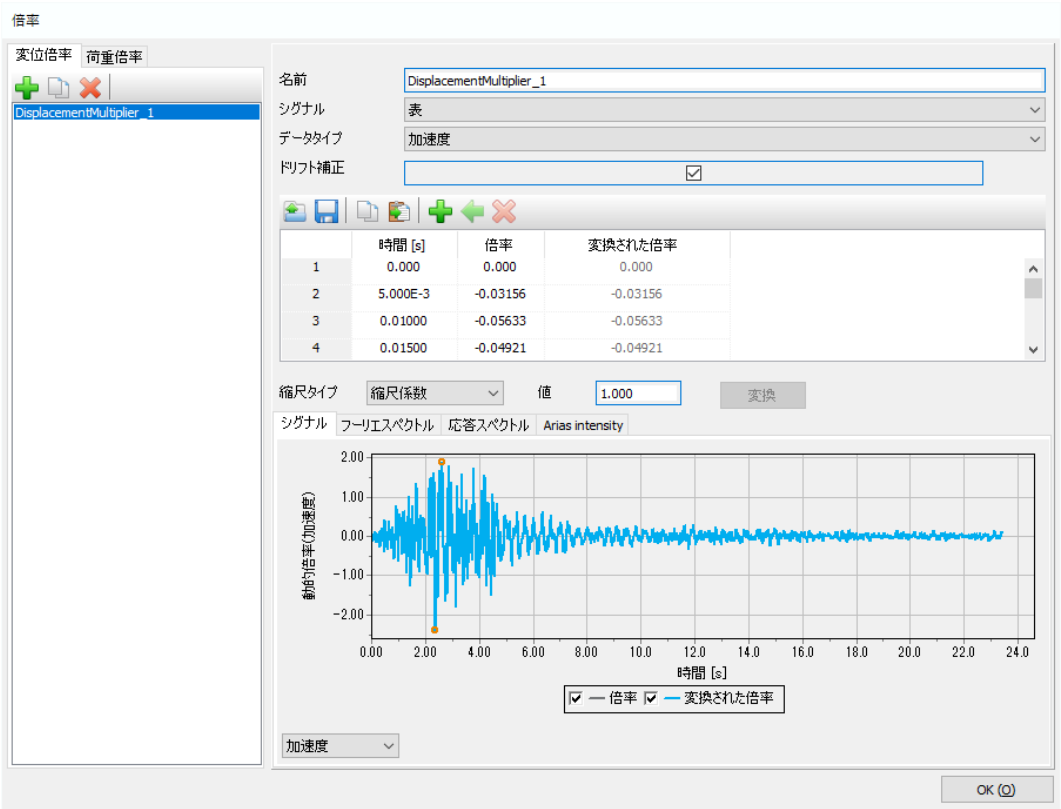


図 134: 「動的倍率」ウィンドウ

10. **「モデルエクスプローラー」**で**「強制変位の面」**サブツリーを展開し、DynSurfaceDisplacement_1 でドロップダウンメニューのオプションを選択することで倍率 $_x$ を x 成分に割り当てます。

9.4.3 境界上にインターフェースを作成

「自由地盤」と**「底面粘性」**を使用するには、**「構造物」モード**でモデルの垂直境界および底面境界に沿ってインターフェース要素を手動で作成する必要があります。インターフェース要素をモデル内に追加する必要があり、追加していない場合、**「自由地盤」**境界条件と**「底面粘性」**境界条件は無視されます。インターフェースを定義するには、次のように操作します。

1. (-80 3 0)、(-80 0 0)、(-80 0 -40)、(-80 3 -40) を通るサーフェースを作成します。作成したサーフェースを右クリックし、**「作成」** > **「正のインターフェースを作成」**の順にクリックしてモデル内にインターフェースを追加します。
2. (80 3 0)、(80 0 0)、(80 0 -40)、(80 3 -40) を通るサーフェースを作成します。作成したサーフェースを右クリックし、**「作成」** > **「負のインターフェースを作成」**の順にクリックしてモデル内にインターフェースを追加します。
3. モデルの底面のサーフェースは、強制変位によってすでに作成されています。モデルの底面のサーフェースを右クリックし、**「作成」** > **「正のインターフェースを作成」**の順にクリックしてモデル内にインターフェースを追加します。

9.5 メッシュの生成

1. **「メッシュ」モード**に進みます。
2. **「メッシュ生成」**ボタンをクリックします。要素分割を**「細かい」**に設定します。
3. 生成されたメッシュを表示します。

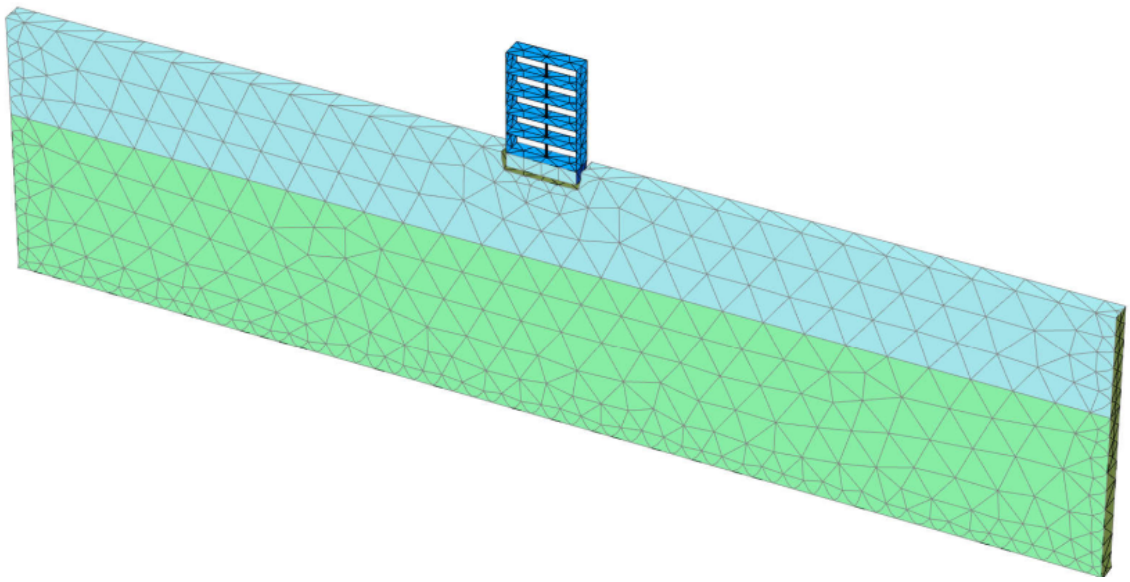


図 135: 生成されたメッシュ

9.6 計算の定義と実行

計算プロセスは、初期条件フェーズ、建物の構築、載荷、自由振動解析、地震解析で構成されます。

9.6.1 初期フェーズ

1. **「段階施工」**タブをクリックして計算フェーズの定義を進めます。
2. 初期フェーズはすでに導入されています。このチュートリアルでは、初期フェーズの既定の設定値を使用します。
3. **「段階施工」モード**で、建物と荷重が非アクティブであることを確認します。

9.6.2 フェーズ 1 - 建築構造

1. 新しい計算フェーズ（Phase_1）を追加します。この計算フェーズでは、追加されたフェーズの既定の設定値を使用します。
2. **「段階施工」モード**で、建物を構築し（すべての板、アンカー、および地下のインターフェースのみを有効にする）、地下のボリュームを無効にします。

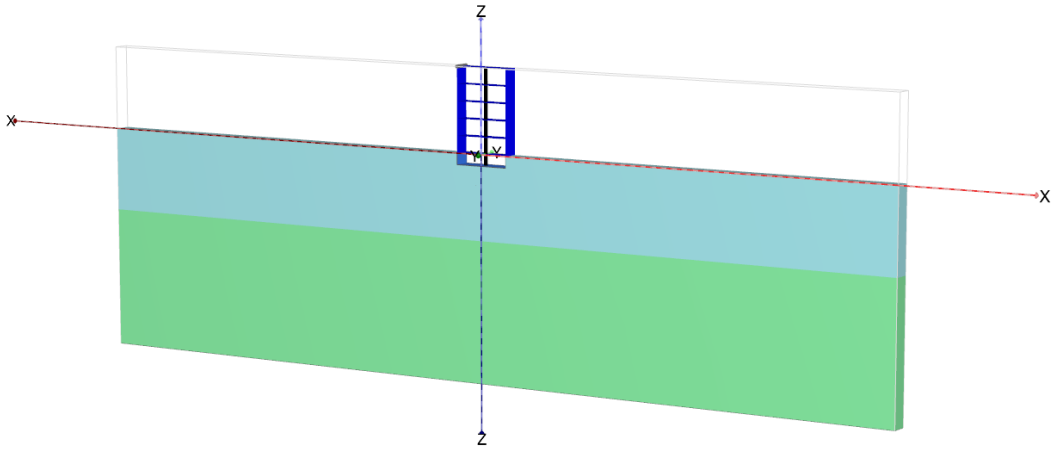


図 136: 建物の構築

9.6.3 フェーズ 2 - 加振

1. 新しい計算フェーズ（Phase_2）を追加します。

2. 「**フェーズ**」ウィンドウの「**変形制御パラメータ**」サブツリーで「**変位をゼロリセット**」を選択します。この計算フェーズでは、残りのパラメータについては既定値を使用します。
3. 「**段階施工**」**モード**でライン荷重をアクティブにします。荷重の値は、「**構造物**」**モード**ですでに定義されています。

9.6.4 フェーズ 3 - 自由振動

1. 新しい計算フェーズ（Phase_3）を追加します。
2. 「**フェーズ**」ウィンドウで「**計算タイプ**」として「**動的解析**」オプションを選択します。
3. 「**時間間隔**」パラメータを 5 秒に設定します。
4. 「**段階施工**」**モード**でライン荷重を非アクティブにします。
5. 「**モデルエクスプローラー**」で「**モデル条件**」サブツリーを展開します。
6. 「**動的解析**」サブツリーを展開します。既定では、x 方向と y 方向の境界条件が粘性に設定されています。y 方向の境界について「**なし**」オプションを選択します。BoundaryZmin を粘性に設定します（図 137 (P154)を参照）。

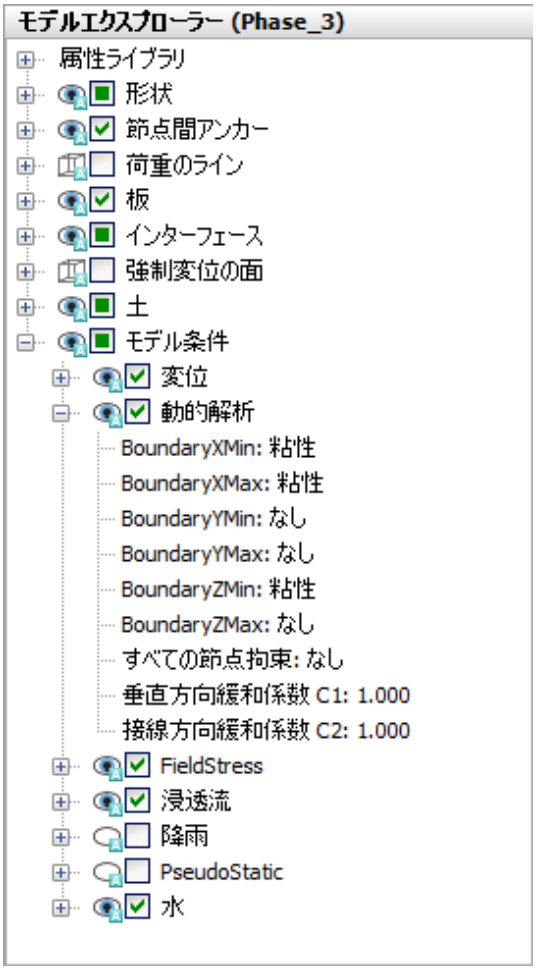


図 137: 動的解析計算の境界条件（Phase_3）

注記: 結果をよりわかりやすく示すために、自由振動と地震のアニメーションを作成できます。アニメーションを作成する場合は、**「フェーズ」**ウィンドウの**「パラメータ」**タブシートで**「保存するステップの最大数」**パラメータに適切な値を割り当てることで、保存するステップの数を増やすことをお勧めします。

9.6.5 フェーズ 4 - 地震

1. 新しいフェーズ（Phase_4）を追加します。
2. **「フェーズ」**ウィンドウで**「開始フェーズ」**オプションをフェーズ 1（建物の構築）に設定します。
3. **「計算タイプ」**として**「動的解析」**オプションを選択します。
4. **「動的時間間隔」**パラメータを 20 秒に設定します。
5. **「変形制御パラメータ」**サブツリーで**「変位をゼロリセット」**を選択します。この計算フェーズでは、残りのパラメータについては既定値を使用します。
6. **「数値制御パラメータ」**サブツリーで**「デフォルトの反復パラメータを使用」**チェックボックスをオフにし、詳細設定を変更して**「時間ステップの決定」**を**「手動」**に設定します。
7. **「最大ステップ」**を 1000、**「サブステップ数」**を 4 に設定します。
8. **「モデルエクスプローラー」**で**「モデル条件」**サブツリーを展開します。
9. **「動的解析」**サブツリーを展開します。x 方向の境界について**「自由地盤」**オプションを設定します。y 方向の境界はすでに**「なし」**に設定されています。BoundaryZmin を**「底面粘性」**に設定します（図 138 (P156)を参照）。

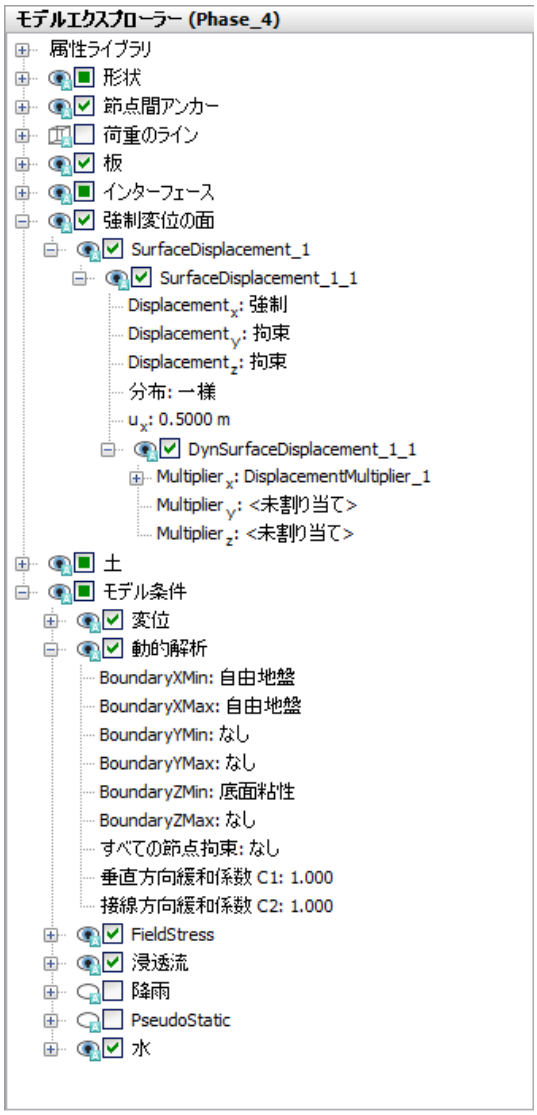


図 138: 動的解析計算の境界条件（Phase_4）

10. **「モデルエクスプローラー」**でモデルの境界上のインターフェースがアクティブになっていないことを確認します。
11. **「モデルエクスプローラー」**で**「強制変位の面」**とその動的成分をアクティブにします。u_x の値を 0.5m に設定します。モデルの底面の境界条件は**「底面粘性」**を使用して定義されることを考慮して、入力シグナルを露頭基盤波の半分とする必要があります。

9.6.6 計算の実行

1. 荷重変位曲線の点（0 1.5 15）、（0 1.5 6）、（0 1.5 3）、（0 1.5 -2）を選択します。
2. 計算を実行します。

9.7 結果

図 139 (P157)は、フェーズ 2（水平荷重の適用）の終了時における変形した構造物を示しています。

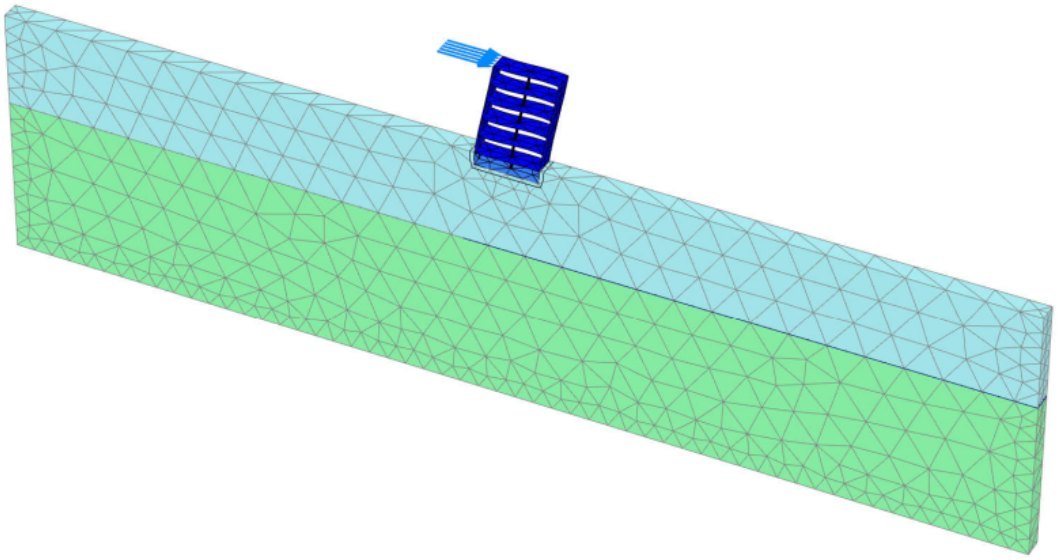


図 139: Phase_2 終了時の構造物の変形図

図 140 (P157)は、自由振動フェーズの選択した点 A（0 1.5 15）、B（0 1.5 6）、C（0 1.5 3）、D（0 1.5 -2）における変位の時刻歴を示しています。地盤および建物での減衰により、振動が時間とともにゆっくりと減衰していることが図からわかります。

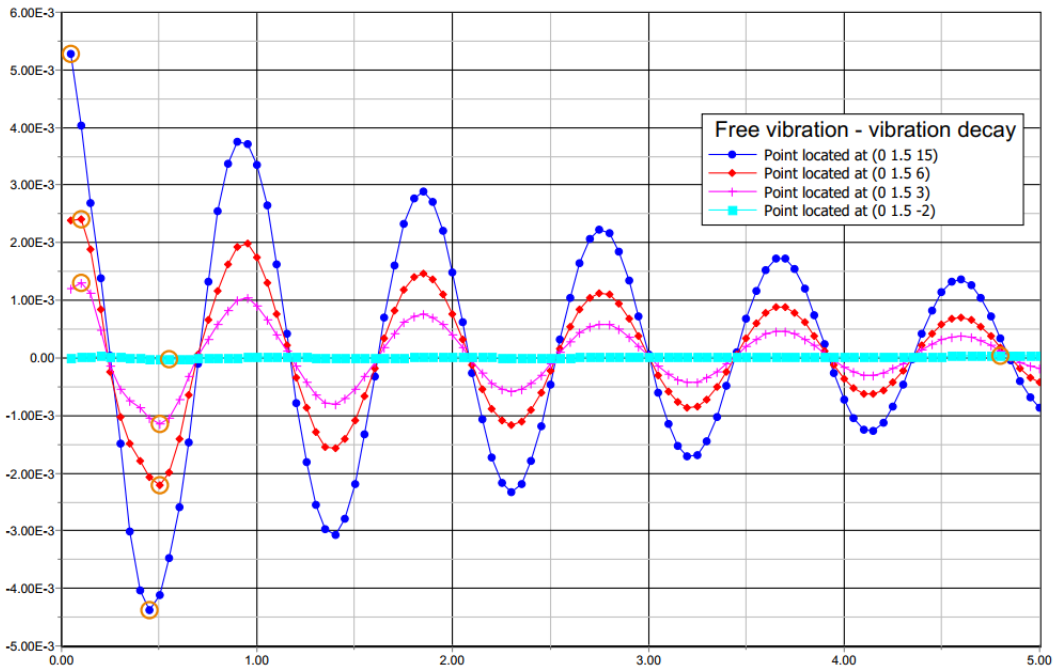


図 140: 変位の時刻歴（自由振動）

「曲線生成」ウィンドウの**「フーリエ」**タブシートで**「パワースペクトル」**を選択し、続いて「全変位」サブツリーで「u_x」を選択し、「OK」をクリックしてプロットを作成します。図 141 (P158)から、建物の支配的な振動数が約 1 Hz であると評価できます。結果をよりわかりやすく示すために、自由振動と地震のアニメーションを作成できます。

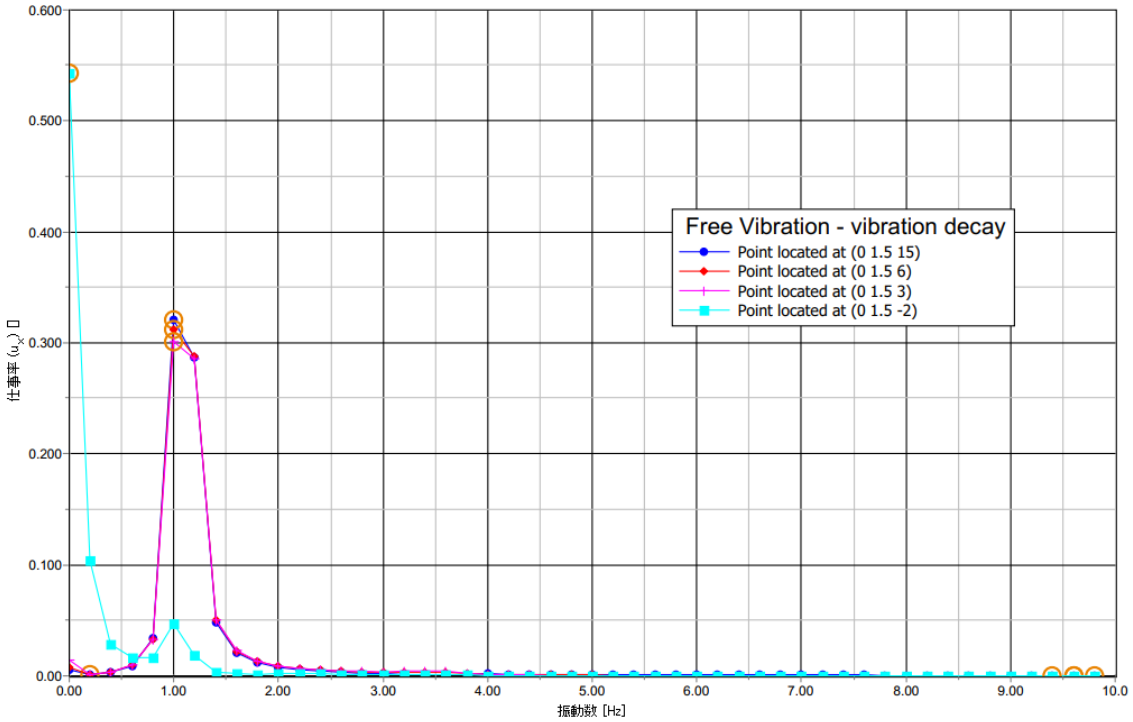


図 141: 振動数表示（スペクトル ― 自由振動）

図 142 (P159)は、地震フェーズの点 A（0 1.5 15）における変位の時刻歴を示しています。地盤および建物での減衰により、振動が時間とともにゆっくりと減衰していることが図からわかります。

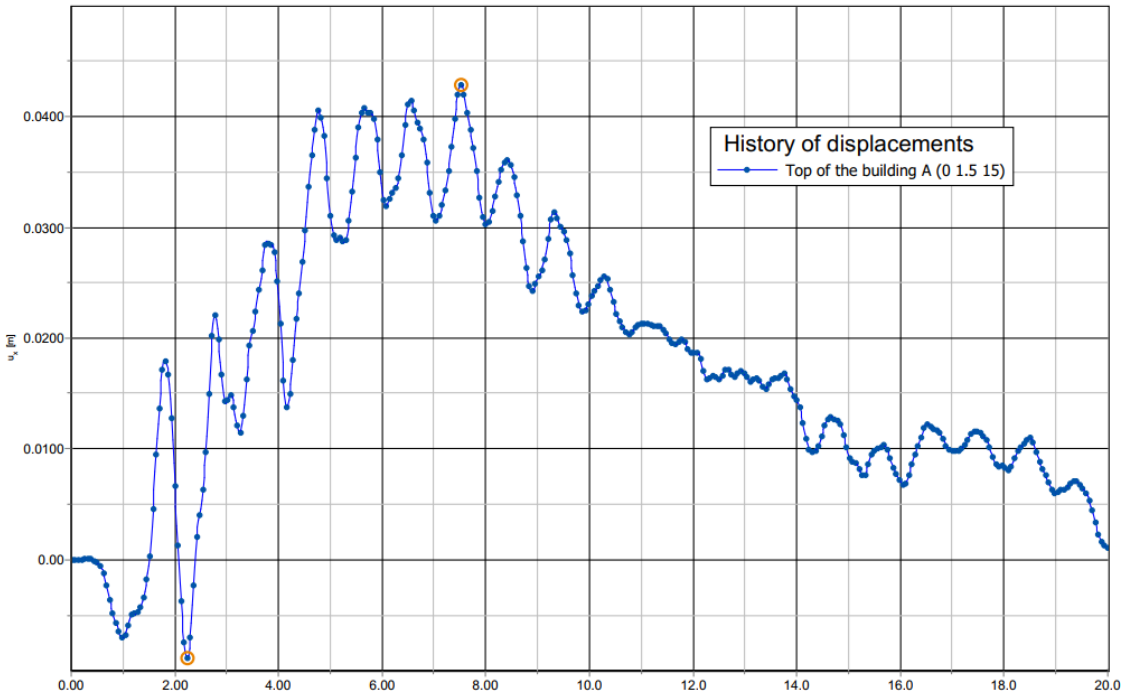


図 142: 建物の最上部における変位の時刻歴（地震）

地震フェーズの点 A（0 1.5 15）の時刻歴シグネチャは、フェーズ 4 の高速フーリエ変換によって正規化されたパワースペクトルに変換されており、図 143 (P159)のようにプロットされます。

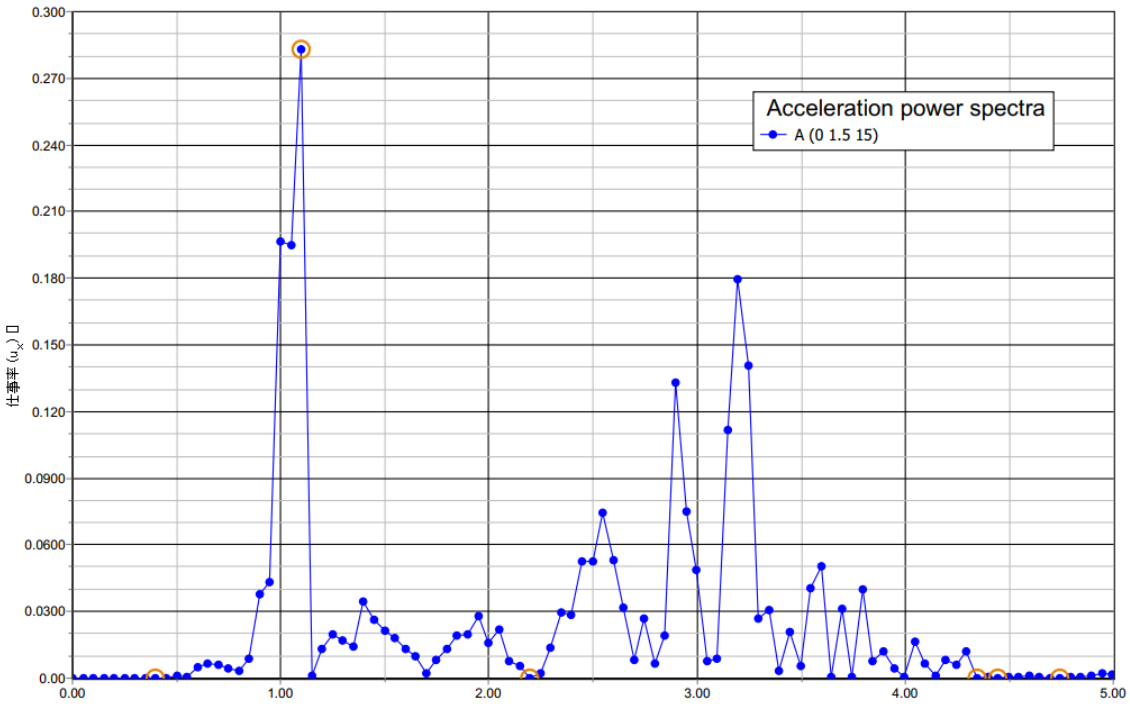
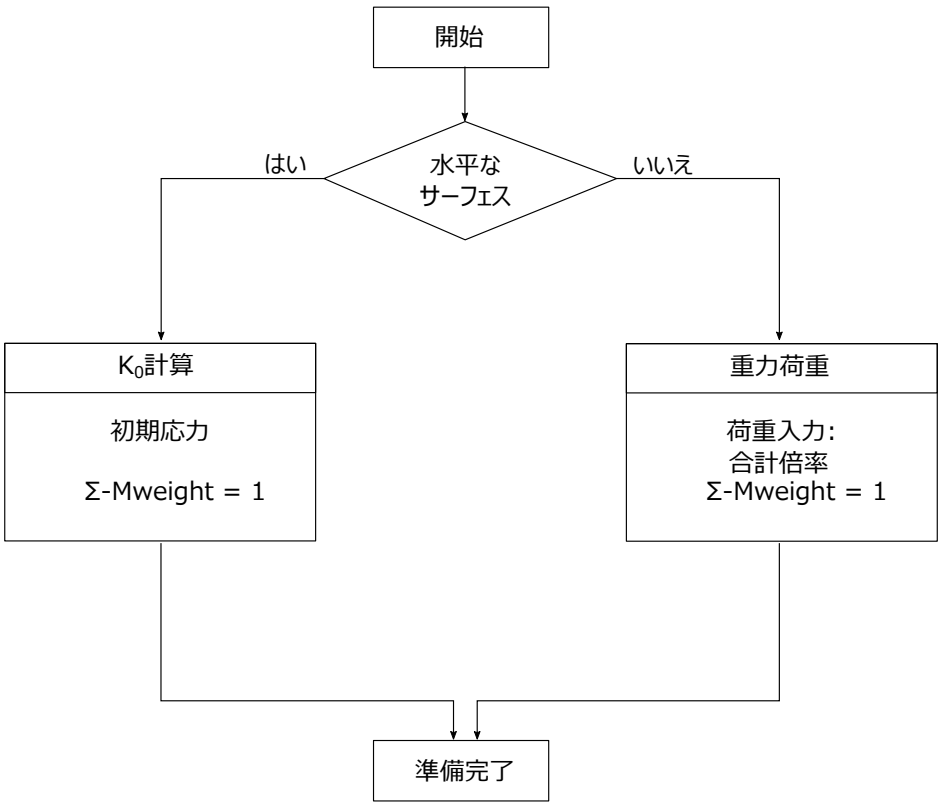


図 143: （0 1.5 15）における加速度パワースペクトル

付録

A

土の重量による初期応力の計算スキーム



水平でないサーフェースと水平でない重量の地層の例を次に示します。

