

UC-1 地盤解析シリーズ

弾塑性地盤解析 *GeoFEAS 3D / GeoFEAS 2D*

ELASTO-PLASTIC GEOTECHNICAL ANALYSIS

地盤の動的有効応力解析 *UWLC*

DYNAMIC EFFECTIVE STRESS ANALYSIS FOR GROUND

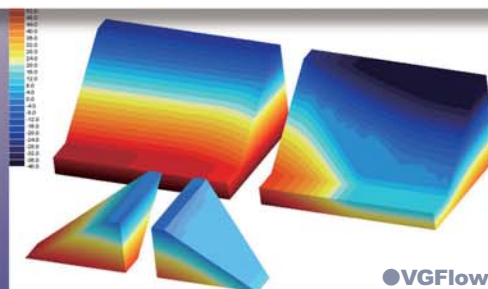
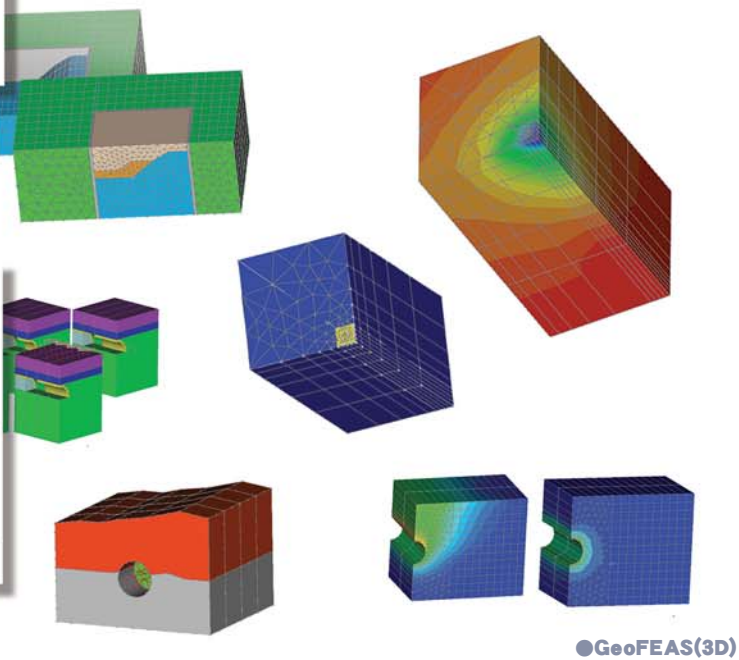
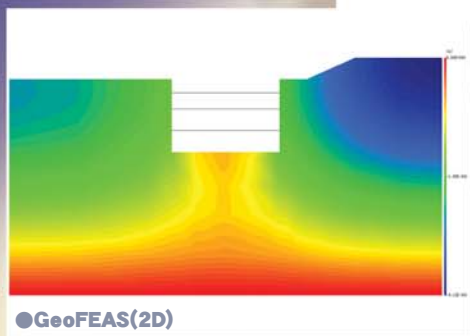
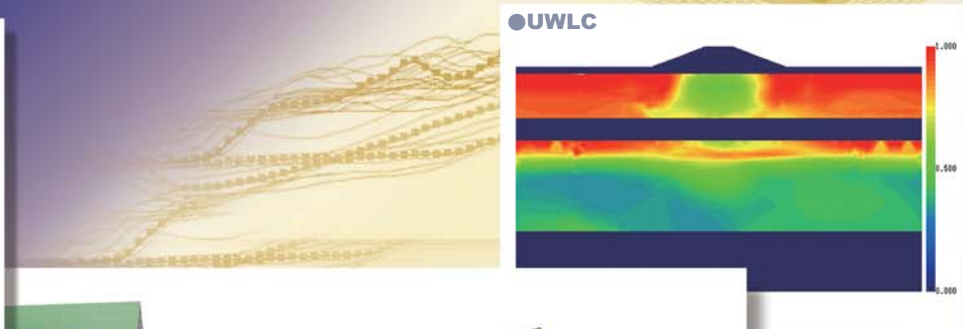
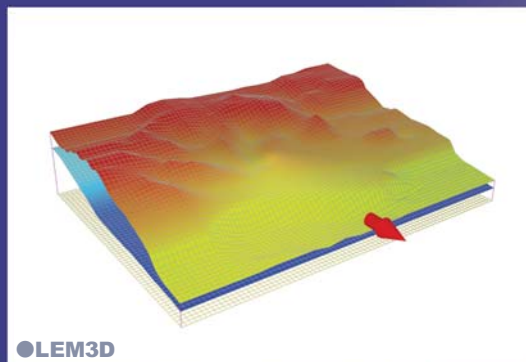
3次元地すべり斜面安定解析 *LEM 3D*

3-D SLOPE STABILITY ANALYSIS

3次元浸透流解析 *VGFlow*

VARIABLY SATURATED GROUNDWATER FLOW ANALYSIS

地盤解析支援サービス



3次元弾塑性地盤解析 GeoFEAS 3D

初版リリース: 2008.02

プログラム価格: ¥1,029,000

アカデミー価格: ¥472,500

Windows 2000/XP/Vista対応

有限要素法 (FEM) を用いた地盤の3次元応力変形解析プログラム

INTRODUCTION

GeoFEAS3Dは、Geotechnical Finite element Elastoplastic Analysis Software 3Dの略で、静的な条件下での地盤の応力～変形解析を行う3次元弾塑性地盤解析プログラムです。既にご愛用頂いております「GeoFEAS2D」は2次元問題専用(軸対称問題含む)ですが、本製品は、3次元問題専用プログラムとなります。

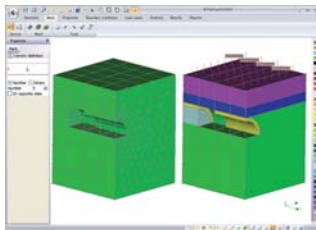
プログラムの機能と特長

■3次元解析の必要性

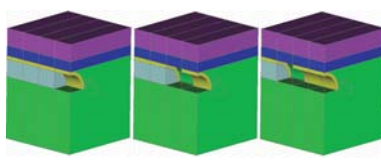
非線形である地盤の変形問題には、弾塑性FEM解析が必要であることは多くの設計者に浸透してきており、近年の性能照査型設計により、FEM解析を行う機会が増えてきています。「GeoFEAS2D」は2次元解析ですが、本来は、杭基礎問題、土留め工やトンネル掘削による周辺地盤への影響解析問題、斜面安定解析は、3次元的な現象であり、そのまま3次元問題として解析すべきであると考えられます。当社の地盤解析シリーズにおいて、解析部を開発して頂いている群馬大学大学院社会環境デザイン工学専攻の鶴飼先生、蔡先生におかれまして、3次元解析の有効性、重要性について論文、講演会などで広く謳われています。しかしながら、3次元解析は、コスト面、FEM解析特有の手間や難しさがあるために検討がなされていないのが実状です。このことは、メッシュ分割を含むモデル作成や解析結果の評価など、プリプロセッサ(データ作成)、ポストプロセッサ(結果表示)の性能に依存する部分において、より使いやすく、より理解しやすいツールが求められていると考えられます。本GeoFEAS3Dは、このわかりやすさを大きな目標として開発に取り組みました。本製品により、例えば、大きなプロジェクトの場合には、まず、その全般を2次元ベースで解析し、特に重要なケースのみを3次元でより詳細に解析を行うといったアプローチも充分可能になるものと考えられます。

■モデル作成とメッシュ分割

プリプロセッサでは、モデル作成、メッシュ分割、ステージ設定を行います。



▲トンネル逐次解析イメージ画面(Pre部)
メッシュ図(左)、荷重条件図(右)



▲トンネル逐次解析イメージ(Pre部)
左からトンネルを掘削しているモデルイメージ

2次元解析で扱うことが難しいと考えられる掘削進行方向の影響を、3次元モデルでは、そのままモデル化すればよいことがわかります。

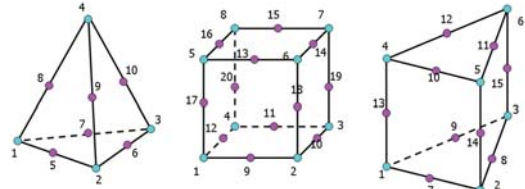
本製品のプリボストは、当社の仕様をCESAR-LCPCを開発したitech社に提示して開発を行っています。よって、基本的な処理の流れは、GeoFEAS2Dを継承しています。

■要素ライブラリー

2次元解析では、地盤を面要素でモデル化していますが、3次元解析ではソリッド(立体)要素を使用します。本製品では、4面体要素、5面体要素、6面体要素を用意しています。2次元解析における面要素は、3次元解析では、板要素とかシェル要素になりますが、本プログラムの初版では、板要素までの対応となります。

種類	項目
面要素 (板要素)	3節点3角形要素(1次)、4節点4角形要素(1次)、6節点3角形要素(2次) 8節点4角形要素(2次)
ソリッド要素	4節点4面体要素(1次)、6節点5面体要素(1次)、8節点6面体要素(1次) 10節点4面体要素(2次)、15節点5面体要素(2次)、20節点6面体要素(2次)
線要素	梁要素(1次)、棒要素(1次)、軸バネ、せん断バネ
ジョイント要素	6,8,12,16節点面ジョイント要素

構造物要素(板要素、梁要素、棒要素、軸方向バネ要素、せん断バネ要素)を定義することにより、地盤と構造物の相互作用を表現することができ、ジョイント要素による接触面指定も可能にしています。



▲立体要素(4面体、5面体、6面体)

■荷重、境界条件

GeoFEASは、全応力解析(地盤の透水現象を考慮しない解析)を行うプログラムですが、水圧を節点荷重として考慮することにより水圧の変化が地盤に及ぼす影響を検討することができます。荷重は、節点集中荷重、等分布荷重、分布荷重、体積荷重(自重、静的地震荷重)を考慮することができます。境界条件としては、単点拘束(水平ローラ、鉛直ローラ、固定、ピン)、多点拘束(MPC、ヒンジ)、強制変位を用意しています。施工ステップを勘案したステージ解析に対応しており、ステージごとに、材料定数の変更、境界条件の変更などの設定が可能です。

■プロセッサ

弾塑性地盤解析は地盤の応力・変形挙動を検討する上で最も基本となる手法ですが、解析モデル、要素定義や適用構成モデルを適切に設定することが重要となるため、解析プログラムに多種多様な機能が要求されると考えられます。

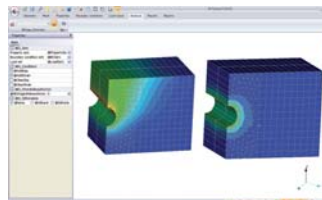
GeoFEASは、特に、土の構成モデルの充実を図り、最も簡単な弾性モデルから、地盤の弾塑性挙動を表現できる弾塑性モデルまで、13種類の構成モデルを用意し、弾性モデルについては、No-Tension解析ができ、全15種類に対応しています。また、ステージ解析とせん断強度低減法といった解析機能を併用することにより、掘削・盛土、斜面安定、支持力問題など地盤に係る幅広い問題に変形解析と安定解析を同時に実行することができます。

■ポストプロセッサ

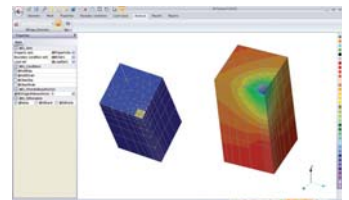
ポストプロセッサでは、モデル図、コンタ図、分布図などを用意しています。

(1)トンネル掘削解析:トンネル掘削解析結果をご覧ください。3次元解析結果により、奥行き方向の変状が、よく理解できることが伺えます。

(2)杭基礎問題:杭基礎問題の解析結果図(イメージ図)です。杭基礎全体の1/4を解析モデルにした例です。コンタ図は鉛直方向変位図です。沈下の変状を3次元的に把握できます。



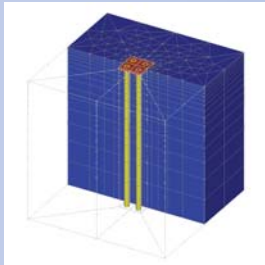
▲トンネル掘削問題解析結果
(GeoFEAS3DのPost部)



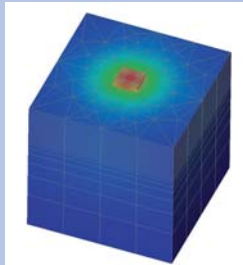
▲杭基礎問題解析結果
(GeoFEAS3DのPost部)

画面サンプル/出力例

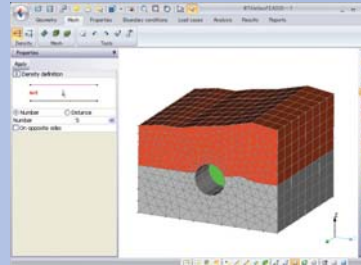
▼杭基礎問題(メッシュ分割)



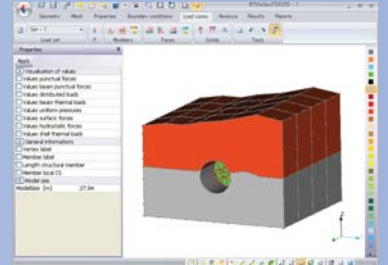
▼杭基礎問題(解析結果)



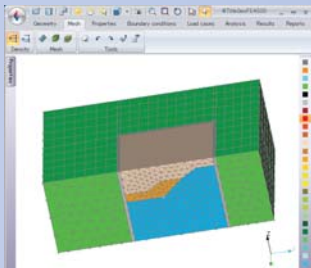
▼トンネル問題(メッシュ分割)



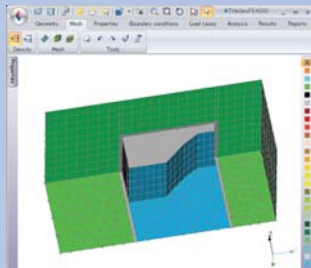
▼トンネル問題(解析結果)



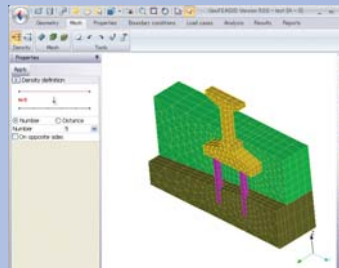
▼土留掘削問題(掘削前)



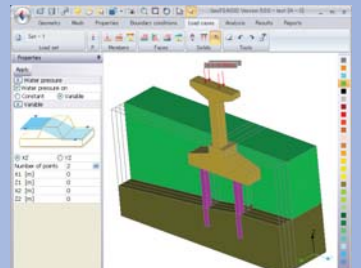
▼土留掘削問題(掘削後)



▼橋脚解析(メッシュ分割)



▼橋脚解析(荷重)



弾塑性地盤解析 GeoFEAS 2D

初版リリース: 2005.12.01

プログラム価格: ¥472,500

アカデミー価格: ¥157,500

Windows 2000/XP/Vista対応

有限要素法(FEM)を用いた地盤の応力変形解析プログラム

INTRODUCTION

GeoFEAS2Dは、静的な条件下での地盤の応力～変形解析を行う2次元弾塑性地盤解析プログラムです。斜面安定解析、土留め掘削解析、シールドトンネル掘削時の周辺地盤影響解析など地盤に関係する多くの分野において、弾塑性解析を実施する場合に、威力を発揮する汎用FEM製品です。本製品は、平面ひずみ解析、軸対称解析を対象とし、2次元PrePost版となっています。FEMモデルの作成はCAD的な入力方法に対応し、簡単に作成可能。SXFファイルからの読み込みにも対応しています。

プログラムの機能と特長

■解析方法

- (1) 解析種別: 静的全応力解析
- (2) 解析次元: 平面ひずみ解析、軸対称解析

■ソフトウェアの特長

- (1) ステージ解析: ステージ解析(施工ステップ解析)を実施することができます。ステージごとに、材料定数の変更、境界条件の変更、掘削時の応力解放率の設定が可能です。
- (2) せん断強度低減法: 解析ステージごとにせん断強度低減法による全体安全率の算出とすべり面の推定を行うことができます。3種類の弾・完全塑性モデルに対して、せん断強度低減法を適用することができます。
- (3) 局所安全率: 積分点ごとに局所安全率を算出することができます。
- (4) 浸透流解析との連携: 浸透流解析によって算出した水圧値を節点荷重として考慮することができます(ただし、ロードモジュール仕様)。
- (5) 解析機能の併用: ステージ解析とせん断強度低減法といった解析機能を併用することにより、掘削・盛土、斜面安定、支持力問題など地盤に関係する幅広い問題に変形解析と安定解析を同時に実行することができます。
- (6) 構成則の混在: 材料ごとに構成則を与えることができます。

■境界条件

境界条件として以下の4種類を定義することができます。

- ・ 節点自由度拘束(水平ローラ、鉛直ローラ、固定、ピン、強制変位)
- ・ 多点拘束(MPC) ・ バネ支点 ・ ピン結合

■要素ライブラリ

種類	項目	2次元	軸対称	備考
線要素	梁1次要素、棒1次要素	○	—	
	軸バネ/せん断バネ	○	—	バネ支点含む
	回転バネ/分布軸バネ/分布せん断バネ	×	—	
面要素	3節点三角形要素/4節点三角形要素	○	○	2次元・軸対称解析用1次要素
	6節点三角形要素/8節点三角形要素	○	○	2次元・軸対称解析用2次要素
ジョイント要素	4節/6節線線ジョイント要素	○	○	2次元2次元要素の間に適用

■構成モデル

- (1) 平面ひずみ要素・軸対称要素の構成モデル: 弾塑性地盤解析は地盤の応力・変形挙動を検討する上で最も基本となる手法ですが、解析モデル、要素定義や適用構成モデルを適切に設定することが重要となるため、解析プログラムに多種多様な機能が要求されると考えられます。GeoFEASは、特に、土の構成モデルの充実を図り、最も簡単な弾性モデルから、地盤の弾塑性挙動を表現できる弾塑性モデルまで、13種類の構成モデルを用意し、弾性モデルについては、No-Tension解析ができ、全15種類を実装しました。

モデル種類	構成モデル
弾性モデル	線形弾性モデル(等方性)、積層弾性モデル(異方性)
非線形弾性モデル	Duncan方式1(ボアソン比を定数)、Duncan方式2(体積係数を定義) 破壊接近度法(電中研方式)
非線形モデル	Hardin-Drnevichモデル、Ramberg-Osgoodモデル、鵜飼・若井モデル(UW-Clay)
弾・完全塑性モデル	Mohr-Coulomb方式(関連流れ則非関連流れ則)、Drucker-Prager方式(関連流れ則非関連流れ則)、Mohr-Coulomb/Drucker-Prager方式(非関連流れ則)
弾塑性モデル	Pastor-Zienkiewicz砂モデル、Pastor-Zienkiewicz粘土モデル
No-Tensionモデル	線形弾性モデル、積層弾性モデル

- (2) 梁要素、棒要素、バネ要素、ジョイント要素など: 梁要素は線形弾性モデル、棒要素、バネ要素に対して線形弾性モデルとバイリニアモデルを、ジョイント要素に対して線形弾性モデルとMohr-Coulomb方式を適用することができます。

■荷重

- ・ 集中荷重: 節点集中荷重(2次元・軸対称)
- ・ 等分布荷重、分布荷重: 線形分布荷重(2次元・軸対称)
- ・ 体積荷重(自重): 鉛直加速度(2次元・軸対称)
- ・ 地震荷重: 水平応答加速度(2次元)/鉛直応答加速度(2次元)
- ・ 節点水圧(2次元・軸対称)

GeoFEAS2は、全応力解析(地盤の透水現象を考慮しない解析)を行うプログラムですが、水圧を節点荷重として考慮することにより水圧の変化が地盤に及ぼす影響を検討することができます。

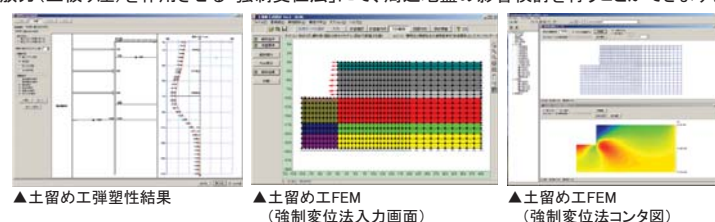
■ポストプロセッサ(後処理)

プロセッサ(解析部)の出力結果を処理します。結果図や数値の出力・確認を行います。本プログラムでは、主に以下の出力を行うことができます。

- ・ モデル図 ・ 変形図 ・ ベクトル図 ・ コンタ図 ・ 分布図 ・ 数値出力

■UC-1 土留め工の設計(別売)との連携

土留め工の設計では、弾塑性解析結果から得られる土留め壁変位を、地盤のみをモデル化したFEM解析モデルに強制変位として与え、掘削底面には、必要に応じて鉛直方向の掘削解放力(土被り圧)を作用させる「強制変位法」にて、周辺地盤の影響検討を行うことができます。



■適用範囲

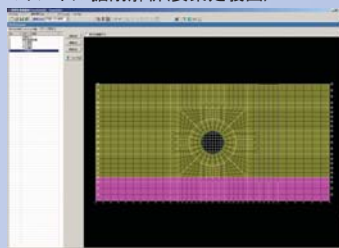
- ・ 地盤の応力・変形解析 ・ 斜面安定解析 ・ 土留め掘削解析
- ・ シールドトンネル掘削時の周辺地盤影響解析
- ・ NATM工法におけるトンネル施工検討解析
- ・ 水圧の変動が地盤に及ぼす影響の検討
- ・ 地盤と構造物の相互作用の検討 ・ 応答震度法

■参考文献

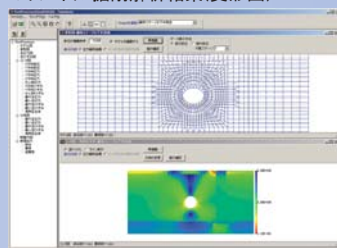
- ・ Potts, D., Axelsson, K., Grande, L., Schweiger, H. and Long M.: Guidelines for the use of advanced numerical analysis, Thomas Telford, 2002
- ・ 鹿島建設土木設計本部編: 新・土木設計の要点(5), トンネル, 鹿島出版会, 2003
- ・ 田中忠治, 鵜飼恵三, 河邑眞, 阪上最一, 大津宏康: 地盤の三次元弾塑性有限要素法, 丸善, 1996.
- ・ Zienkiewicz, O.C., Chan, A.H.C., Pastor, M., Schrefler, B.A. and Shiomi, S.: Computational Geomechanics with Special Reference to Earthquake Engineering, JOHN WILEY & SONS, 1999.
- ・ 後藤孝: 実践有限要素法, 大変形弾塑性解析, コロナ社, 1995
- ・ O. C. ツェンキーヴィッツ, ロバート・L. テイラー, 矢川元基訳: マトリックスと有限要素法[改訂新版], 科学技術出版, 1996

画面サンプル/出力例

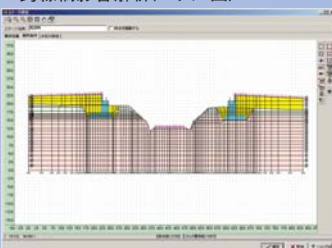
▼トンネル掘削解析(要素定義図)



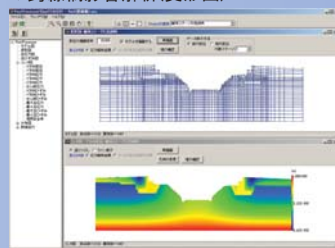
▼トンネル掘削解析結果(変形図)



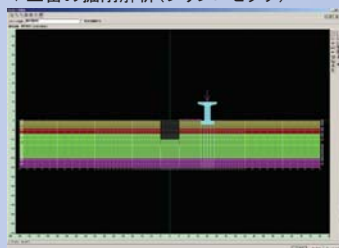
▼跨線橋影響解析(モデル図)



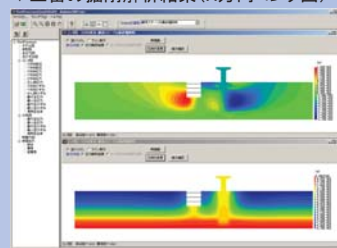
▼跨線橋影響解析(変形図)



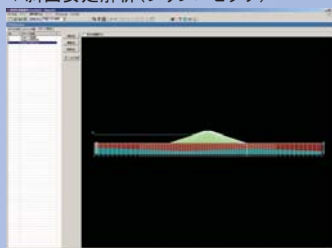
▼土留め掘削解析(プリプロセッサ)



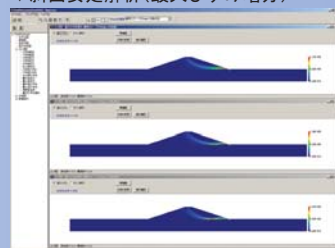
▼土留め掘削解析結果(X方向コンタ図)



▼斜面安定解析(プリプロセッサ)



▼斜面安定解析(最大ひずみ増分)



初期応力解析、全応力法・有効応力法の動的解析(液状化解析)プログラム

INTRODUCTION

有限要素法(FEM)を用いた地盤の動的変形解析プログラム。有効応力に基づく弾塑性理論による方法、地震時の過剰間隙水圧の発生、剛性の低下を考慮し、地盤の変形を時刻歴で計算可能。解析対象は、土構造物(堤防・盛土)の地震時安定性の検討、地中構造物の浮上りの検討、地盤と構造物の動的相互作用の検討等に適用可能です。また、液状化パラメータ決定機能プログラムを付属。FEMモデルの作成はCAD的な入力方法に対応し、簡単に作成可能。SXFファイルからの読み込みにも対応しています。

プログラムの機能と特長

■解析の特長

- (1) 要素試験シミュレーションを実施して液状化パラメータの設定が可能
- (2) 1次元解析および2次元解析を実施
- (3) 全応力法の動的解析と有効応力法の動的解析(液状化解析)が可能
- (4) 全応力法適用要素(水圧非考慮)と有効応力法適用要素(水圧考慮)の混在が可能
- (5) 地盤の透水現象を考慮した土/水連成の動的解析
- (6) 豊富な地盤の構成モデル(8種類)を適用でき、それらを自由に混在させることができる
- (7) 収束計算の高速化法であるラインサーチ、BFGSを採用
- (8) 動的解析の時間ステップを自動調整することにより、解析の安定化を実現

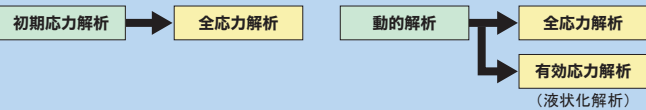
■適用範囲/検討事例

- (1) 全応力法を用いた地盤と構造物の動的相互作用の検討
- (2) 土構造物(例えば河川堤防)の液状化時を含む地震時安定性の検討
- (3) 液状化地盤内構造物の浮上りの検討
- (4) 液状化対策工として構造物による工法/固結工法/サンドコンパクションパイル工法/
- (5) 過剰間隙水圧消散工法に対応
- (6) 遠心振動実験や大型振動台実験など実験のシミュレーション
- (7) 1次元地震応答解析による詳細液状化判定

検討可能な液状化対策工

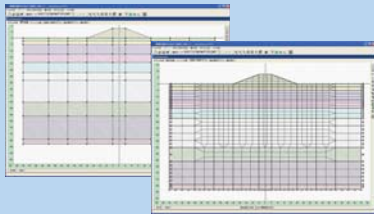
- (1) 構造物による工法
- (2) 固結工法
- (3) サンドコンパクションパイル工法
- (4) 過剰間隙水圧消散工法

解析機能



解析モデルの作成手順

- ◆ CAD的な操作で簡単に2次元FEMモデルを作成
- ◆ CADデータ(SXF)読み込みに対応
- ◆ メッシュ分割(ブロック分割法)
- ◆ 1次元解析モデルの簡易作成機能
- ◆ メッシュデータ出力機能
- ◆ 材料パラメータの表入力



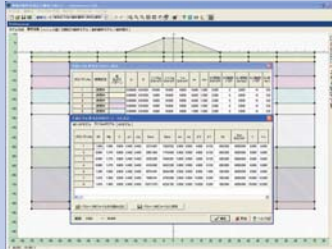
UWL 紹介文献

動的変形解析の概要と適用例(各種動的変形解析の方法)として紹介されています。

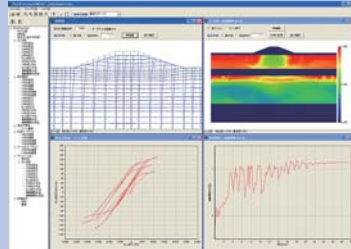
「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」平成12年3月(財)リバーフロント整備センター

画面サンプル/出力例

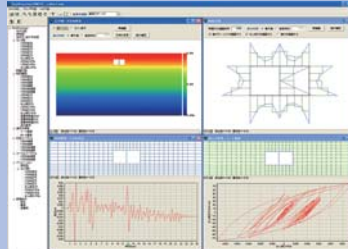
▼ブレ部の入力イメージ



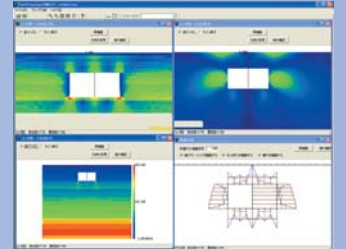
▼堤防の液状化時の検討



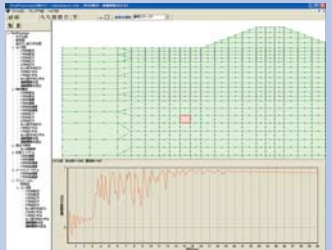
▼地盤とボックスカルバートの検討



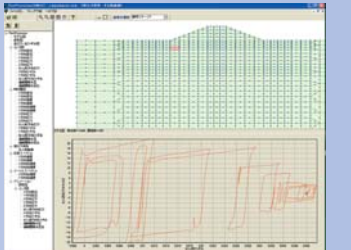
▼構造物との連成モデル(BOXカルバート)



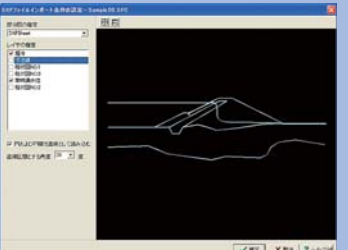
▼過剰間隙水圧比(2次元液状化解析)



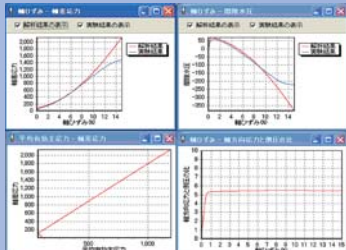
▼復元力特性(τ-σ曲線)



▼SXF図面データの読み込み機能



▼要素試験シミュレーションプログラム



3次元地すべり斜面安定解析 LEM3D

初版リリース: 2004.04.01

プログラム価格: ¥315,000

アカデミー価格: ¥105,000

Windows 2000/XP/Vista対応

三次元斜面安定解析・対策工設計プログラム

INTRODUCTION

本製品は、実際の地形形状や地すべり面を三次元形状で再現した斜面安定解析を行う事ができます。三次元地形形状は、(1) 地形断面図を多数入力する二次元的な操作で、比較的簡単に再現する方法、(2) 既存のDEMデータを利用する方法の2通りを用意しています。また、対策工として、三次元抑止力を用いた杭工の設計が可能であり、平面的な杭配置をイメージしやすいように配慮しています。また、現行の杭工の設計に関する基準類の記載が二次元抑止力を対象としている点を鑑み、二次元抑止力による杭工の設計も同時に検討できるように配慮しています。

プログラムの機能と特長

■解析方法

1. 解析方法: 二次元極限平衡分割法を三次元に拡張した、以下の3手法を扱うことができます。

- (1) ホランド (Hovland) 法
- (2) ホランド (Hovland(水中重量)) 法
- (3) 簡易ヤンブ (Janbu) 法

2. 計算種類: 常時並びに地震時において、以下の計算が可能です。

- (1) 安定率計算 (2) 逆算法 (c固定)
- (3) 逆算法 (φ固定) (4) c-tan φ関係図

3. 特殊機能

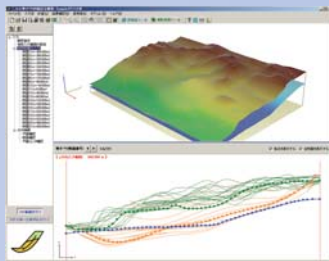
- (1) 地すべり面に任意水圧を考慮 (地下水面からの静水圧ではなく、別途検討された水圧を考慮できる) できます。
- (2) 地下水面の上下一括移動 (降雨による間隙水圧の上昇や、排水対策による効果などを概略検討) に対応できます。
- (3) 対策工の抑止力は、計画安全率を満足するように算出されるものです。設計基準類の多くは、二次元極限平衡法を対象とした計画安全率を規定していますが、三次元極限平衡法に対する計画安全率の規定は特に見あたりません。通常、二次元計画安全率 ($F_{sp}(2D)$) と等価な三次元計画安全率 ($F_{sp}(3D)$) を設定する場合は、計画安全率をやや大きめに見積る必要があります。そこで、本製品では、二次元計画安全率から三次元計画安全率を算出する方法を提案し、三次元計画安全率の設定ができるような補助機能を用意しています。

■主な解析、計算機能一覧

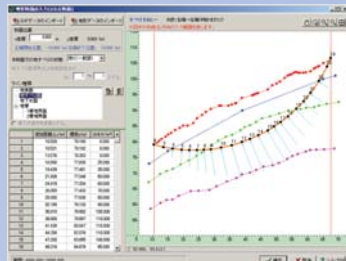
項目	詳細項目
解析法	簡易Janbu法、Hovland法、Hovland(水中重量)法
安全率の計算	cφを入力し、安全率を求める→必要抑止力の計算
地形	地層数(10層)
逆算法	c値を固定し、φを求める、φ値を固定し、Coを求める φ値を固定し、Ck経験値(増加係数)を求める、c-tan φ関係図の作成
対策工の設計	3次元/2次元抑止力による杭(くさび、せん断、抑え杭)の設計
特殊機能	2次元計画安全率から3次元計画安全率を算出する、地震時の検討 地すべり面における任意水圧の考慮、地下水面一括上下移動 DEMデータ直接入力、編集機能
ツール類	SXFデータインポートツール 浸透流解析結果連携ツール (SATL3D): 四面体1次要素 地形モデル変換ツール (GMTL3D) BoringCD/3D-Pro(GeoMap3D)→LEM用断面データ、LEM用DEMデータ

画面サンプル/出力例

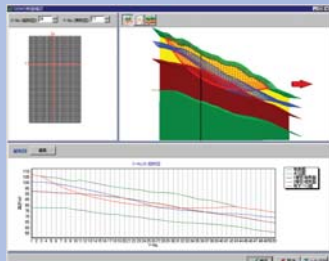
▼メイン画面



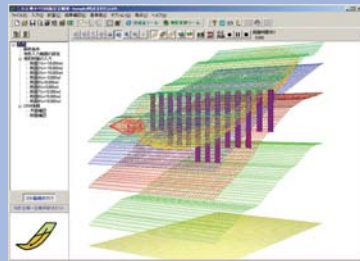
▼地形断面入力(任意水圧強度の入力含む)



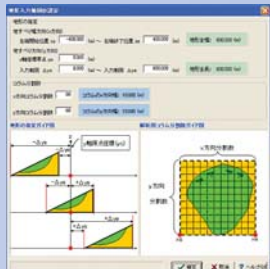
▼DEM断面確認(縦横断面図+3D表示)



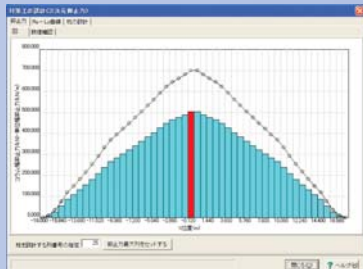
▼3D表示例(DEM型3D:多層地盤杭配置図)



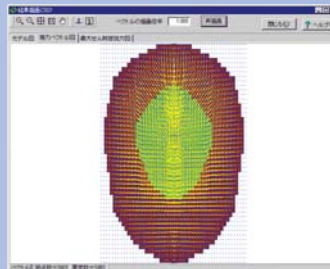
▼地形入力範囲の設定



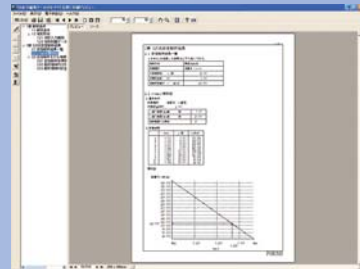
▼杭工の設計計算(抑止力分布図)



▼結果確認(推力ベクトル図)



▼印刷プレビュー



■適用範囲

大項目	中項目	小項目	制限値
地形	層数	多層地盤対応	10
	断面(測線)数		99
	SXFデータ読み込み	CADデータの読み込みに対応	○
	構成点数	地表面、地下面、地すべり面、層境界面	199
	水没地形	解析は水面を地表面まで強制的に下げている	—
解析	コラム分割数	x、y方向分割数	200

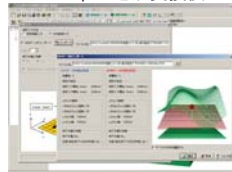
■対策工の設計について

- (1) 三次元解析結果(三次元抑止力)による杭工の設計計算ができます。
- (2) 同時に、二次元解析結果(二次元抑止力)による杭工の設計計算ができます。
- (3) 杭工の設計計算は、「くさび杭」、「せん断杭」、「抑え杭」の3種類に対応しています。
- (4) Ru-Ly曲線による最適杭位置の検討ができます。
- (5) 杭配置として、単列並びに千鳥配置の検討ができます。

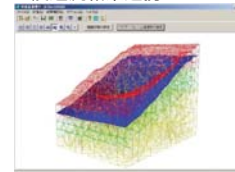
■ツール類(補助機能)

- (1) 【SXFデータインポート】 2次元断面の入力補助ツールとして、CADデータであるSXFファイルの読み込みをサポートしています。
- (2) 【地形モデル変換ツール】 BoringCD/3D-Pro(GeoMap3D)の地形データを変換した2次元断面データ、または、DEMデータを本製品でインポートできます。
- (3) 【浸透流解析結果連携ツール】 「3次元浸透流解析 (VGFlow)」または、他社製品の解析結果を定型テキストファイルとすることで、浸透流FEM解析結果より、地すべり解析に必要な地下水面を生成し、これを用いて、斜面安定解析を行うことができます。

▼GeoMap3D地形変換後



▼浸透流結果連携ツール



▼LEM3D→UC-win/Road



■描画、出力機能

- (1) 3D描画機能として、「測線型(Tin型)3D」と「DEM型3D」の両方を表示できます。同時に3Dモデル出力も可能(3DS形式、UC-win/Roadで読み込み可能)です。
- (2) 三次元斜面安定解析結果として、「推力ベクトル図」「最大せん断抵抗力図」などを用意しています。
- (3) 「Ru-Ly曲線」「c-tan φ関係図」なども報告書出力ができます。
- (4) ツリービューによる出力の選択、出力プレビュー機能をサポート。設計条件、計算結果を図表混じりでプリンタ出力、HTML出力が可能です。HTML出力、入力データのテキスト出力などをサポートしていることで、データの再利用、報告書の電子化にも便利です。

■参考基準類

- (1) 道路土工のり面工・斜面安定工指針 平成11年3月 社団法人 日本道路協会
- (2) 「地すべり鋼管杭設計要領」 社団法人 日本地すべり学会 2003.6

2次元／3次元、飽和／不飽和浸透流、定常／非定常FEM解析プログラム

Windows 2000/XP/Vista対応

INTRODUCTION

有限要素法(FEM)による飽和－不飽和浸透流解析プログラム。2次元あるいは3次元での複雑な地形境界形状モデルが容易に作成でき、メッシュ分割に際しては、要素タイプや要素次数等の設定による規則的メッシュ機能、オートメッシュ機能、リメッシング等が可能です。解析種別としては定常解析及び非定常解析が可能であり、解析区分としては2次元鉛直解析、2次元軸対象解析、2次元平面解析、3次元解析に対応しています。別売の「斜面の安定計算」への解析結果の連携が可能です。

プログラムの機能と特長

- **解析種別**：定常解析、非定常解析
- **解析モデル**：2次元鉛直問題／2次元軸対象問題／2次元平面問題／3次元問題
- **要素構成節点**：本プログラムでは、以下の要素を定義することができます。
 - 1次要素：3節点3角形要素、4節点4角形要素、8節点6面体要素、4節点4面体要素、6節点5面体要素
 - 2次要素：6節点3角形要素、8節点4角形要素、20節点6面体要素、10節点4面体要素、15節点5面体要素
- **初期条件**：圧力水頭が直線分布と仮定／圧力水頭の表入力／体積含水率が直線分布と仮定／体積含水率の表入力
- **境界条件**：以下に示す7種類の定義、水位変動境界と降雨境界との同時指定が可能です。水頭既知境界、流量既知境界、点源、浸出境界、浸出禁止境界、水位変動境界、降雨境界
- **不飽和浸透特性**：以下に示す2通りの計算が可能です。
 - ・van-Genuchtenモデル：(国内の代表的地盤に対して同定したパラメータを内蔵)
 - ・水分特性曲線($\psi-\theta$ 曲線)及び不飽和透水特性($K_r-\theta$ 曲線)の表入力による計算(「河川堤防の構造検討の手引き」平成14年7月 記載の曲線データのインポート可)
- **出力項目**：全水頭／流量／含水率／間隙水圧／x方向・y方向・z方向の流速／流速ベクトル
- **出力機能**：以下に示す解析結果の多彩な描画機能を有し、3次元モデルに対しては断面の切断や回転移動が可能であり、流況がビジュアル的に把握できます。コンタ図／アイソ・サーフェス図(等値曲面図)／カーブプロット(コンタ値グラフ表示)／サーフィス図(コンター分布を曲面で表現)／地下水面図／流線図／任意指定断面の流量値／指定節点値
- **適用範囲**
 1. 広域流域における降雨や湧水などの地下水影響解析
 2. 河川堤防における堤体内の浸潤面および水圧分布の把握
 3. フィルダム堤体の設計計算および貯水池周辺地山の浸透検討
 4. ため池堤体や防災調節池堤体の設計計算
 5. 土留め掘削時のパイピング、ボイルの検討 6. 被圧地下水の影響解析
 7. 地すべり地帯の水圧分布状況の解析、ならびに集水井の検討
 8. 河川締切工等の施工に伴う浸透流況変動の検討

■適用基準類

「改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)・同解説 設計編[Ⅰ]」 山海堂
 「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」 平成12年3月 財団法人リバーフロント整備センター
 「河川堤防の構造検討の手引き」 平成14年7月 財団法人 国土技術研究センター
 「多目的ダムの建設 設計編 昭和62年 (財)ダム技術センター」

プレボスト部概要

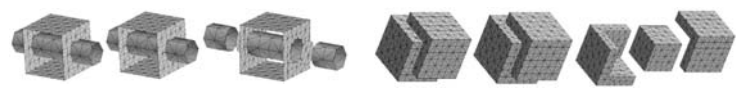
本製品は、3次元浸透流解析(VGFlow)のプレボスト版ですが、本製品の強力なメッシュ作成機能より、汎用の有限要素モデル作成ツールとしても充分にご利用いただけます。

■DEMデータに基づく地形・地層の面メッシュ作成

基準面メッシュ投影機能を用いることにより、基準平面メッシュ作成後に、DEMデータに基づく地形・地層の面メッシュを作成できます。

■ブール演算等を用いた面・立体メッシュ編集

面メッシュ交差部分分割機能、ブール演算機能、立体メッシュ切断機能を用いることにより、メッシュ作成後に、面メッシュ・立体メッシュを編集できます。



■材料パラメータや境界条件の設定

作成した有限要素に対して材料パラメータや境界条件等を設定できます。

■有限要素データの最適化およびテキスト出力

作成した有限要素モデルの節点番号・要素番号の並びを最適化し、以下の有限要素データをテキスト形式でファイル出力できます。

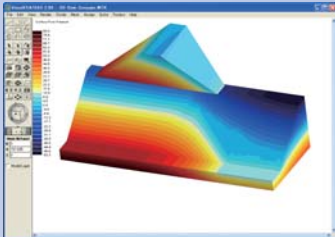
節点のデータ(座標、境界条件) 要素のデータ(要素タイプ、プロパティ番号、節点番号)
 材料のデータ(材料パラメータ) その他のデータ(浸透流解析の水頭既知境界条件に対応)

■様々なポスト出力機能

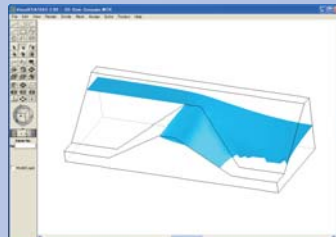
FEM解析結果は、コンタ図、アイソサーフェス図、地下水面図、ベクトル図、地下水面図、断面流量図、数値確認他の豊富なポスト出力機能により、三次元領域に対して解析結果の多角的な評価が可能です。

画面サンプル／出力例／解析事例

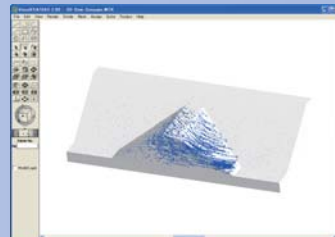
▼コンタ図



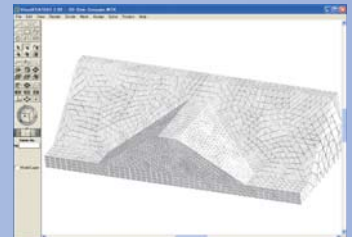
▼地下水位図



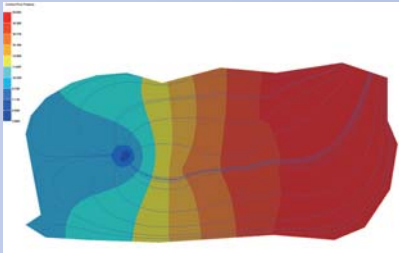
▼ベクトル図



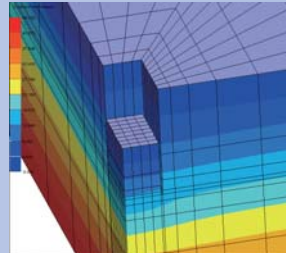
▼レンダリング例



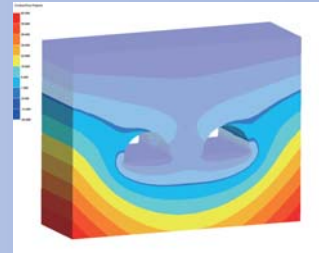
▼平面2次元解析の水圧コンタ図



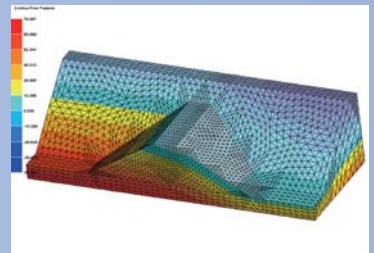
▼土留め掘削後の三次元水圧コンタ図



▼トンネルの三次元水圧コンタ図



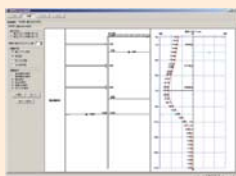
▼アースフィルダムの水圧のコンタ図



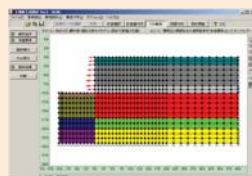
土留めFEMセット (土留め工/GeoFEAS2D)

セット価格：¥693,000 アカデミー価格：¥476,700

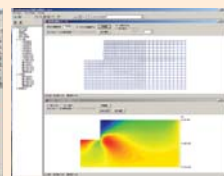
土留め工の設計では、弾塑性解析結果から得られる土留め壁変位を、地盤のみをモデル化したFEM解析モデルに強制変位として与え、また、掘削底面には、必要に応じて鉛直方向の掘削解放力(土被り圧)を作用させる「強制変位法」にて、周辺地盤の影響検討を行うことができます(「弾塑性地盤解析GeoFEAS2D」入力データ生成機能あり)。



▲土留め工弾塑性結果



▲土留めFEM (強制変位法入力画面)

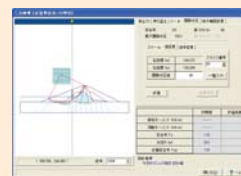


▲土留めFEM (強制変位法コンタ図)

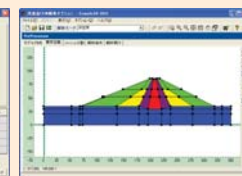
斜面FEMセット (斜面安定/VGFlow)

セット価格(浸透流FEM解析オプション含む)：¥819,000 アカデミー価格：¥588,000

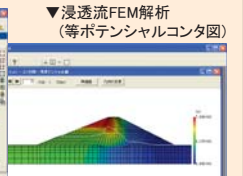
斜面の安定計算：浸透流FEM解析オプション(¥105,000)：鉛直2次元飽和／不飽和浸透流FEM解析及び解析結果のアニメーション出力が行え、その解析結果を斜面安定プログラムにインポートすることによる、浸透に起因するすべり破壊の照査が可能です(「河川堤防の構造検討の手引き」で規定される不飽和浸透特性をプログラム内蔵)。



▲斜面の安定計算 浸透流FEM解析オプション



▲浸透流FEM解析 (要素定義)



▼浸透流FEM解析 (等ポテンシャルコンタ図)

地盤解析支援サービス

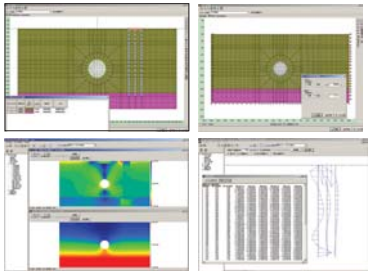
地盤解析、FEMモデルにおける初期モデルの作成を支援する技術サービス

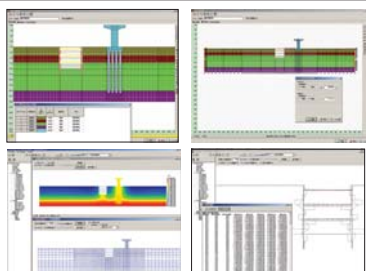
INTRODUCTION

地盤解析、FEMモデルにおける初期モデル作成をサポート。地震による液状化の影響（地中構造物の浮上り、液状化に伴う残留変位量の評価等）や対策工の検討・設計、集中豪雨による地下水の上昇、地盤の安定性の低下等の評価・対策、斜面の安定性の評価や対策工後の安定性向上の定量的評価、基礎の支持力評価や3次元対策工の検討・設計を行うユーザを支援する技術サービスです。本解析支援サービスでは、弊社技術サポートグループ、開発スタッフがバックアップを行います。データ作成から解析結果の処理・可視化まで一連の流れがスムーズに行え、3次元FEM解析が手軽に行えるサービスです。

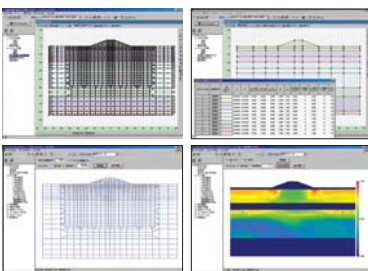
解析サービス例

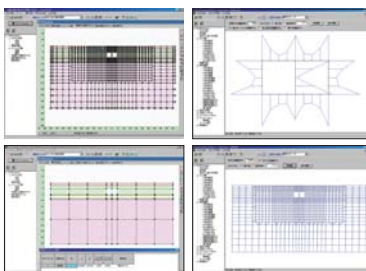
■弾塑性地盤解析(GeoFEAS)2D

トンネル掘削解析 ●節点数=1260 ●ステージ数=6 ●梁要素使用 ●2次元通常モデル 解析支援サービス費 ¥736,542	
---	---

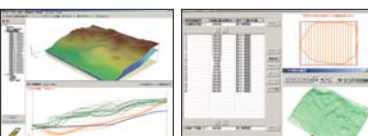
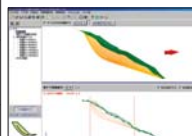
土留め掘削近接施工解析 ●節点数=1260 ●ステージ数=6 ●載荷荷重あり ●梁要素使用 ●2次元通常モデル 解析支援サービス費 ¥875,622	
---	---

■地盤の動的有効応力解析(UWLC)

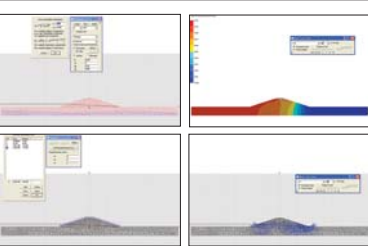
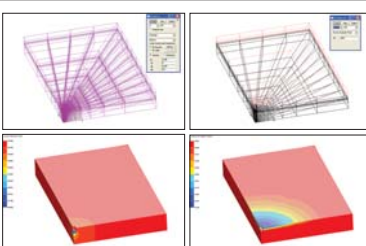
盛土 ●節点数=2440 ●ステージ数=1 ●地表面傾斜あり ●過載荷重なし ●ソリッドモデルのみ ●2次元通常モデル ●有効応力解析 解析支援サービス費 ¥93,551	
--	--

ボックスカルバート ●節点数=1103 ●ステージ数=1 ●地表面傾斜なし ●過載荷重なし ●ソリッドモデル・梁モデル ●2次元通常モデル 解析支援サービス費 ¥475,862	
--	--

■3次元地すべり斜面安定解析(LEM 3D)

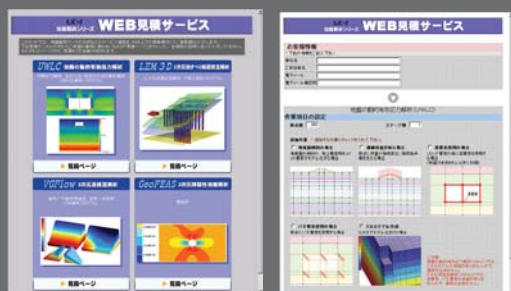
●節点数=3500 ●ステージ数=1 ●地下水位あり 解析支援サービス費 ¥250,809		●節点数=296 ●ステージ数=1 ●任意水圧を考慮する ●通常モデル 解析支援サービス費 ¥121,908	
--	---	--	---

■3次元浸透流解析(VG-Flow)

河川堤防の降雨の影響解析 ●節点数=738 ●過載荷重あり (降雨境界、水位変動境界) ●ソリッドモデルのみ ●2次元通常モデル ●非定常解析 解析支援サービス費 ¥402,549		3次元掘削 ●節点数=1692 ●地表面傾斜なし ●過載荷重なし ●3次元通常モデル ●ソリッドモデルのみ ●定常解析 解析支援サービス費 ¥720,238	
---	---	---	---

簡単!! WEB見積

各種解析モデルの構造規模、形式などの入力により簡単に見積金額を試算!



https://www2.forum8.co.jp/jiban_estimate/html/main.htm

FORUM 8 Training Seminar

受講費: ¥15,750(税込)

●弾塑性地盤解析 GeoFEASセミナー

FEM解析の基礎事項、「弾塑性地盤解析GeoFEAS」を用いたデータ作成、解析結果の評価方法等について、群馬大学 助教 蔡 飛 先生(工学博士)の講義を交えて行います。

社団法人 地盤工学会CPDプログラム認定

スケジュール: 9:30~16:30

9:30 弾塑性地盤解析 GeoFEASの概要
10:00 FEM解析の手順
11:10 弾塑性地盤解析 GeoFEAS の体験、練習
13:00 地盤材料特性とパラメータの決め方
15:15 弾塑性地盤解析 GeoFEAS の体験、練習
16:15 関連商品の紹介

●地盤の動的有効応力解析 UWLCセミナー

地盤解析実務者を対象にしたFEM動的解析の入門セミナー。有効応力に基づく弾塑性理論、地震時の過剰間隙水圧の発生、時刻歴解析による地盤の変形などについて、群馬大学助教蔡飛先生(工学博士)の講義を交えて解説いたします。

スケジュール: 9:30~16:30

09:30 地盤解析シリーズ概要
09:40 地盤の動的変形解析(解析理論)
11:00 地盤の動的変形解析(解析事例)
13:00 地盤の動的有効応力解析UWLCの概要
13:30 地盤の動的有効応力解析UWLCの操作実習
16:00 関連商品の紹介

第1回 FORUM8デザインコンファランス 特別講演会レポート

2007年9月27日東京コンファレンスセンター品川にて開催されました「第1回FORUM8デザインコンファレンス」における地盤関連の2つの特別講演をレポート致します。
本コンファレンスは、第5回UC-win/FRAM(3D)協議会を併催する形で、フォーラムエイトの設計、解析、CADソリューションを広く発表し、協議するものです。

地盤解析シリーズ特別講演「地盤解析の現状と課題」

■講師プロフィール

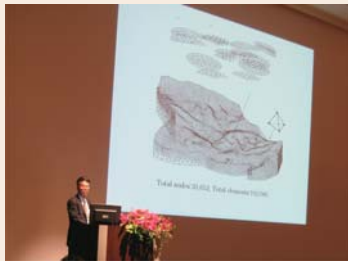
鵜飼 恵三[ウカイ ケイゾウ]<工学博士> 専攻:地盤工学

経歴:東京工業大学大学院理工学研究科修士課程、新潟大学工学部土木工学科助手、群馬大学工学部建設工学科助教授を経て、現在、同大学、大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻地盤工学研究室教授。(社)日本地すべり学会理事関東支部長。
受賞:1999年地盤工学会功労賞、2003年日本地すべり学会論文賞

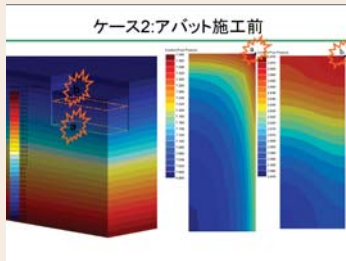
■講演レポート

鵜飼教授は地すべりを専門とし、現在は、特に地震時の土砂崩れをはじめとする研究に力を入れています。その契機になったのが、04年に発生した新潟県中越地震です。自ら他に類例を知らないというほど、大規模かつ多数の土砂崩れが山間部で発生したのを受け、災害調査を開始。以来、それまで十分に研究がなされていなかった地震時における斜面崩壊のメカニズムがほぼ解明できたことから、それを体系化するともに、その詳細について今後、本格的に発表していく予定とあります。また、フォーラムエイトの地盤解析シリーズにおいては、アドバイザー的な立場で、各製品の監修を行って頂いています。今回は、「浸透流解析における有限要素法の利用」「液状化による被害と対策」「最近のトピック地震災害」「地盤解析におけるFEMの利用、課題と展望」について、多くの適用事例を交えながらご講演を頂きました。

浸透流解析における有限要素法の利用では、砂質土の掘削に生じるパイピング現象について、土留め掘削と橋台基礎問題(図1)を例に、理論式、2次元FEM解析、3次元FEM解析を比較検証され、3次元解析の妥当性、必要性を述べられました。また、3次元解析による地すべりに対する集水井、集水ポーリングなどの排水効果の評価についてもその有効性を紹介して頂きました。液状化による被害と対策では、1964年新潟地震や2004年中越地震での液状化による被災例を紹介され、液状化が社会基盤施設に及ぼす影響の大きさから、液状化現象をFEM解析で再現し(図2)、性能照査を行うことの必要性について述べられておられました。最近のトピックとして「2004年中越地震により生じた岩盤斜面崩壊解析事例」「2007年中越沖地震により生じた液状化による宅地地盤の変状と被害」を紹介され、前者では、繰り返しせん断変位による地盤強度の急激な低下現象による地すべりメカニズム(図3)、後者については、今後、地盤改良・補強が宅地地盤の安全性をどのくらい高めたかを定量的に解明するために、動的解析ソフトであるUWLCIによるシミュレーションの必要性を紹介頂きました。最後に、地盤解析におけるFEMの利用、課題と展望ということで、(1)性能設計においてFEMを活用する(2)FEMソフトの使用性を向上させるという2点のご意見、ご助言を頂戴致しました。これからの設計法の中心になる性能設計においてFEMは不可欠であり、そのために、フォーラムエイトは、使用者のニーズと利便性を十分に考慮したFEMソフトの開発が重要であるという貴重なご意見を頂戴致しました。



▲図2 岸壁動変形解析結果



▲図3 動的弾塑性解析モデル

■参考文献

- ・地盤の3次元弾塑性有限要素解析, 丸善, 1996
- ・弾塑性有限要素法がわかる, 地盤工学会, 2003

道路・土工特別講演「斜面の安定計算事例と課題」

■講師プロフィール

蔡飛[サイ ヒ]<工学博士> 専攻:地盤工学

経歴:中国清華大学大学院工学研究科修士課程、中国水利省・交通省・電力工業省南京水利科学研究所 研究員、群馬大学工学部助手を経て、現在、群馬大学大学院環境デザイン工学専攻 助教。

受賞:2002年最優秀論文賞「地すべり、斜面安定と社会基盤施設の安全性に関する第三回国際会議(シンガポール)」、2003年最優秀講演賞「地盤環境における地下水問題に関する国際シンポジウムIS-OKAYAMA」、2004年研究奨励賞(社)日本地すべり学会

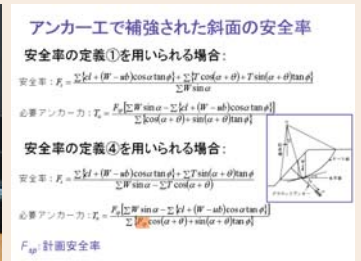
■講演レポート

蔡助教は地盤の数値解析をベースに地すべり対策工や液状化、浸透流解析などの研究に取り組んでいます。鵜飼教授と蔡助教、さらに若井准教授を加えた地盤工学研究室では、地盤の弾塑性、非線形問題を中心とした有限要素法による地盤解析に関する研究を行っています。その研究成果をベースに、「UC-1地盤解析シリーズ」を構成する「UWLC」「GeoFEAS」「VGFlow」「LEM3D」などのエンジンとなるソルバーの多くを蔡助教が開発、フォーラムエイトがプリ・ポスト部を付加する形で製品化を行っています。今回は、地盤解析として非常に身近で、かつ、重要と考えられる斜面の安定解析事例と今後の課題というテーマで、「安全率の定義」「新しい逆算法」「宅地盛土全体安定性の評価」「今後の課題」について講演を頂きました。

安全率の定義として、「すべり面上に作用する滑動を起こそうとする力に対するすべり面上のせん断抵抗力の比」「すべり面に沿って斜面が極限平衡状態になるようにせん断強度定数を低減させる係数」という2つの定義に基づいた安全率、並びに、必要抑止力の計算方法、また、両者の違いについて解説して頂きました(図1)。新しい逆算法では、現行の「経験式」「山上・植田法」「斉藤の方法」の説明に加え、新しい逆算法の考え方、並びに、ケーススタディによる妥当性の検証例を紹介して頂きました。宅地盛土全体安定性の評価では、「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説」より、盛土のり面の安定性、盛土全体の安定性、谷埋め型、腹付け型(図2)などをキーワードとして、円弧すべりよりも危険なすべり面が生じる場合があるといった注意点を指摘して頂きました。今後の課題として、(1)臨界すべり面の自動探索方法の提案、(2)せん断強度低減有限要素法(SSR-FEM)を用いて臨界すべり面を求め、そのすべり面に対して、基準や設計指針で要求された極限平衡法で安全率を計算する方法(図3)、(3)スライスの分割方法で、現在、一般的となっている等幅分割では、その分割数によって安全率にばらつきがあることから、等中心角分割法を提案され、そして、(4)三次元すべり検討の必要性などをご提案頂きました。検討手法として、考え方が比較的落ち着いていると思われる円弧すべり計算にも、いまなお、内在する問題点があることをあらためて認識すると同時に、新しい設計方法について、当社としても取り組んで参りたいと考えています。

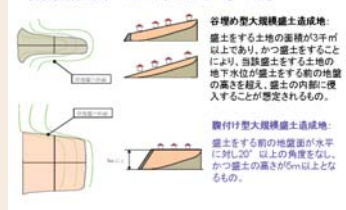


▲群馬大学 蔡飛助教



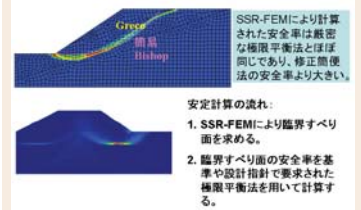
▲図1 安全率と抑止力の定義

耐震設計の基本的な考え方:



▲図2 宅地盛土全体安定性の基本的な考え方

せん断強度低減有限要素法(SSR-FEM)



▲図3 せん断強度低減有限要素法と安定計算

■参考文献

- ・斜面の安定・変形解析入門, 鵜飼恵三, 若井明彦, 蔡飛, ほか, 地盤工学会, 2006
- ・有限要素法による地すべり解析, 鵜飼恵三, 若井明彦, 蔡飛, ほか, 山海堂, 2006

■お問い合わせは、弊社または下記代理店へどうぞ。

東京本社 TEL 03-5773-1888 FAX 03-5720-5688 E-Mail f8tokyo@forum8.co.jp
大阪支社 TEL 06-6882-1888 FAX 06-6882-1880 E-Mail f8osaka@forum8.co.jp
名古屋事務所 TEL 052-551-1888 FAX 052-551-1883 E-Mail f8nagoya@forum8.co.jp
福岡営業所 TEL 092-271-1888 FAX 092-271-1902 E-Mail f8fuku@forum8.co.jp

FORUM8

株式会社 フォーラムエイト <http://www.forum8.co.jp>

東京本社 〒153-0051 東京都目黒区上目黒2-1-1 中目黒GTタワー15F
大阪支社 〒530-6013 大阪府北区天満橋1-8-30 OAPタワー13F
宮崎支社 〒889-2155 宮崎市学園木花台西2-1-1
名古屋事務所 〒450-0003 名古屋市中村区名駅南2-14-19住友生命名古屋ビル1F
福岡営業所 〒812-0025 福岡市博多区店屋町1-31 博多アーバンスクエア5F
N Z Ltd 7A/35 Sir William Pickering Drive PO Box 20006 Bishopdale Christchurch
海外窓口 中国上海(日浦福博科技有限公司)、ロンドン、ニューデリー、シンガポール

■社株・価格などカタログ記載事項を予告なく変更する場合があります。■価格は税込込みです。

(2008.02.5.000 CopyRight FORUM8 Co.Ltd.)