



## 建設ICTマスター養成講座 基礎養成編 選択分野別ソフトウェア実習

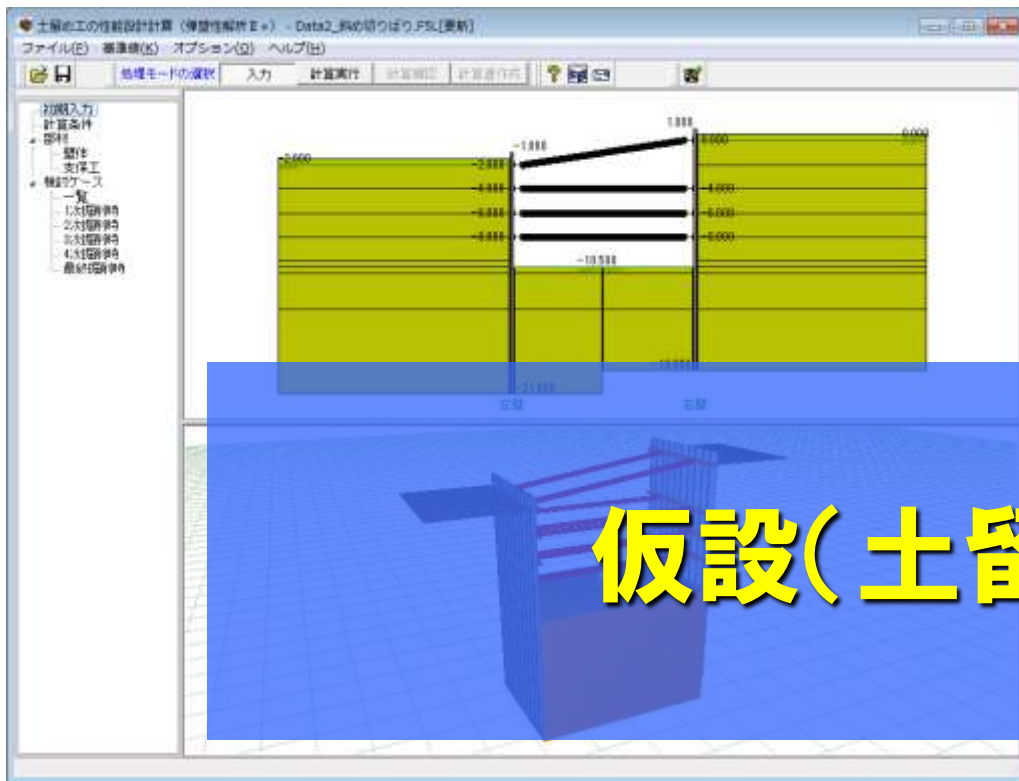


# 仮設（土留め工）

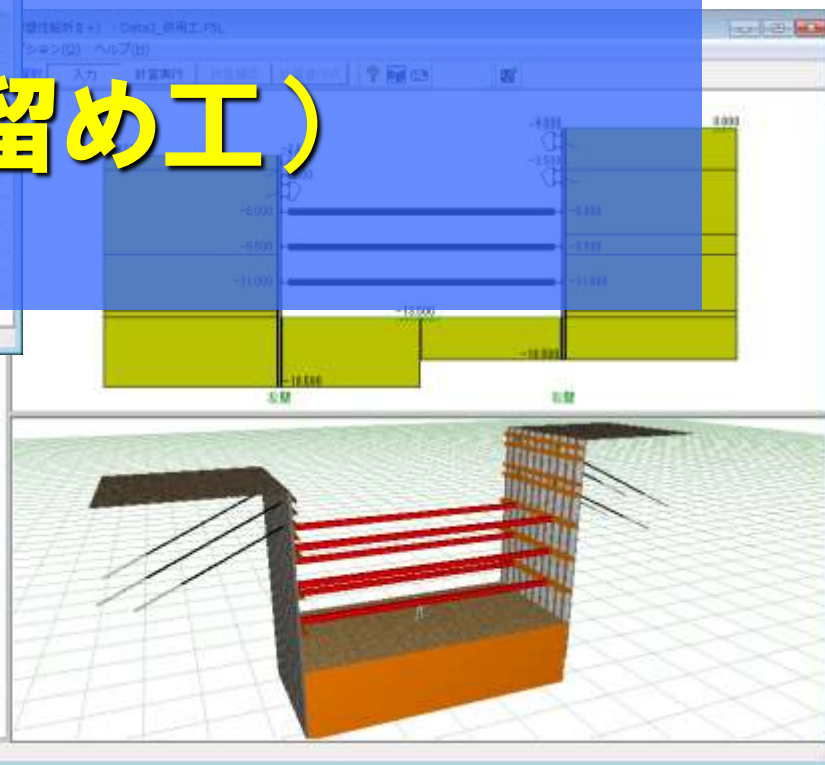


2020年9月8日

株式会社フォーラムエイト



仮設(土留め工)



VR 3D-CG FEM CAD Cloud

UC-1 series UC-win series Suite series

FORUM 8  
フォーラムエイト

# スケジュール

## I、「土留め工の性能設計計算」概要(13:30～14:15)

## II、操作実習 1 (14:15～15:00)

- ・ 偏土圧の作用する土留め（両壁一体解析）
- ・ 斜め切ばり（両壁一体解析）

## III、操作実習 2 (15:15～15:45)

- ・ 切ばり+アンカー併用工（両壁一体解析）

## IV、操作実習 3 (15:45～16:15)

- ・ 「支保工撤去順序の自由な設定」や「両壁一体解析の併用工で左右のアンカー数が異なる場合の検討」の設定など

## V、質疑応答など(16:15～16:30)

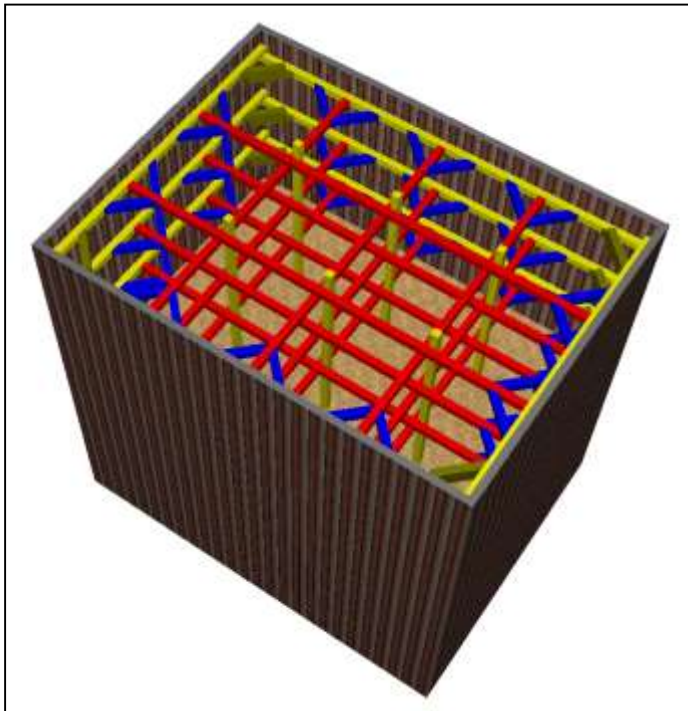
- ・ プログラムに関する質疑応答

# 土留め工の一般事項と仮設工シリーズ

## 土留め工とは

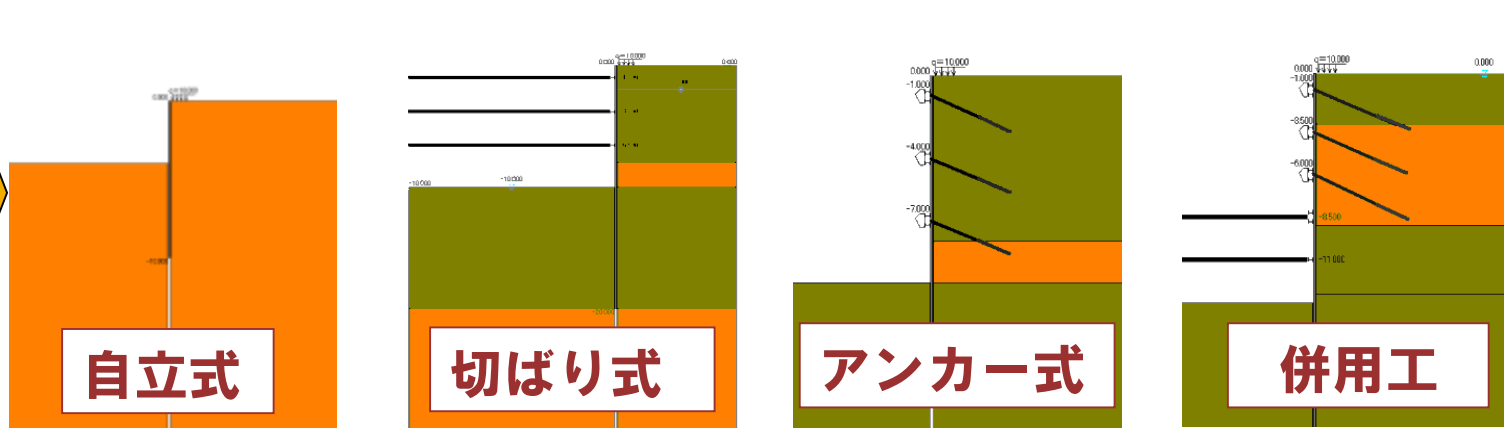
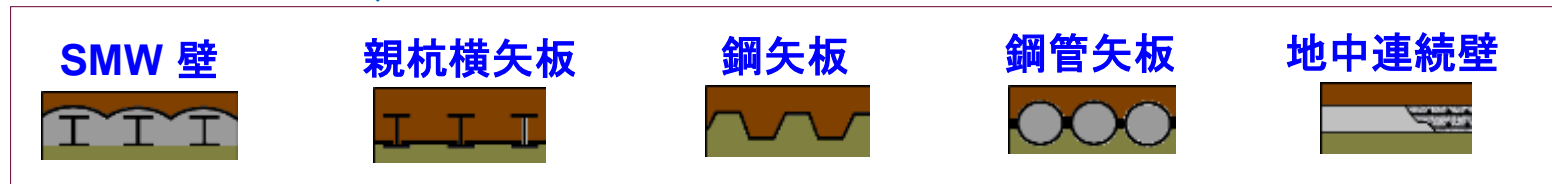
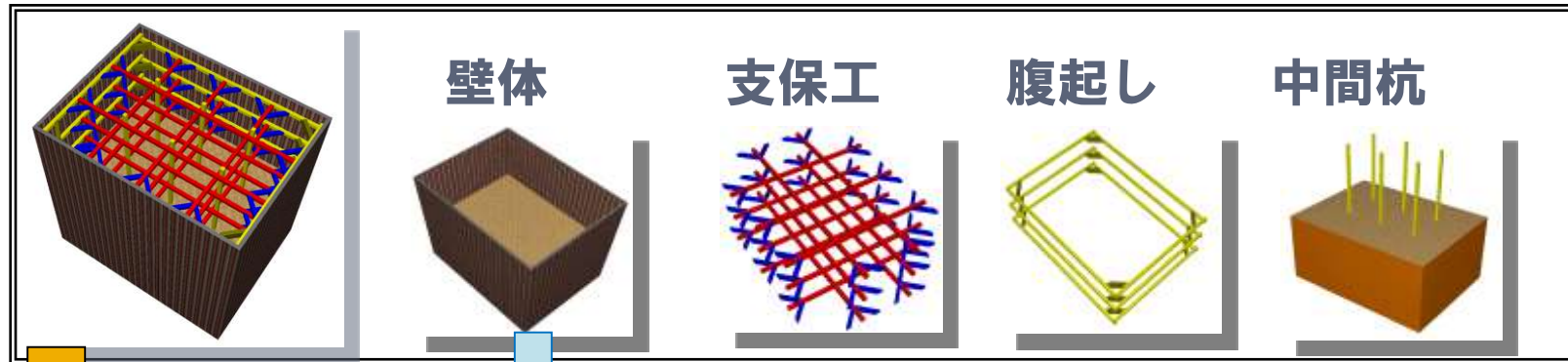
開削工法により掘削を行う場合に周辺地盤の崩壊を防止し、また、止水を目的として設けられる仮設構造物。土留め壁と支保工からなる。

土留め壁には、「親杭横矢板壁」「鋼矢板壁」「鋼管矢板壁」「柱列式連続壁」「地中連続壁」などがある。

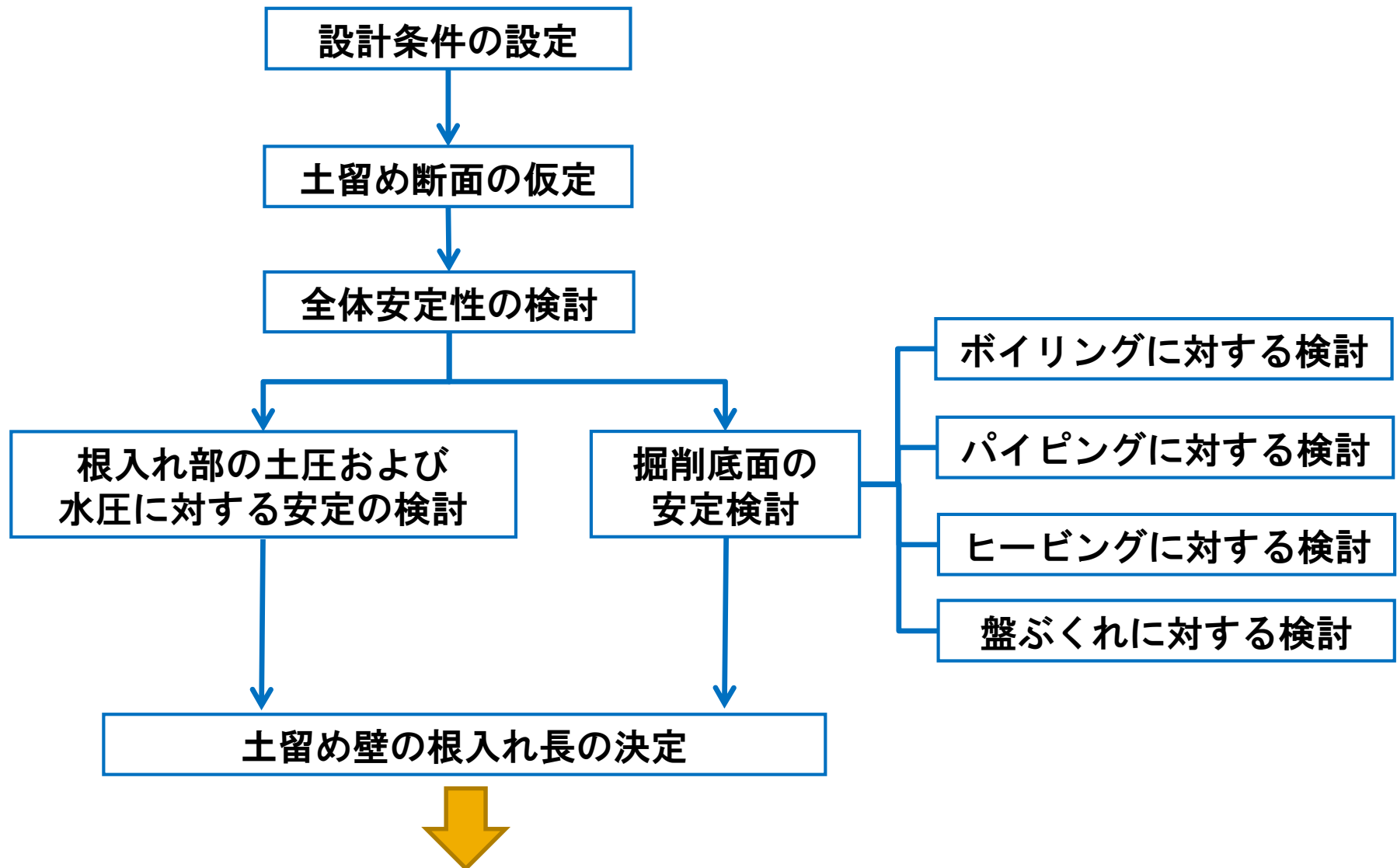




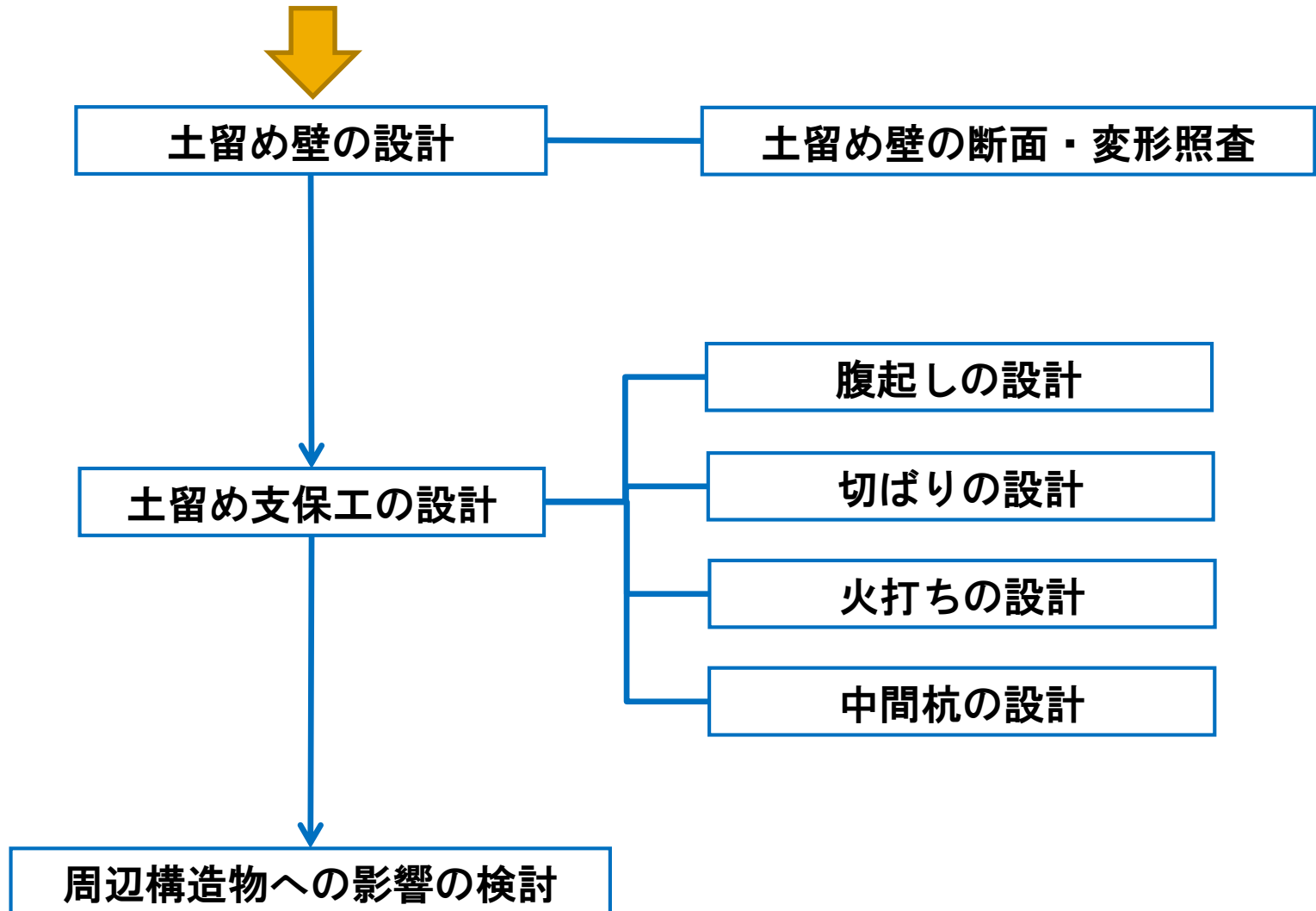
# 壁体種類と支保工形式



## 設計手順（その１）



## 設計手順（その2）





# 製品構成（仮設工シリーズ）

土留め工の設計・3DCAD

たて込み簡易土留めの設計計算

土留め工の性能設計計算  
（弾塑性解析Ⅱ+）

仮設構台の設計・3DCAD

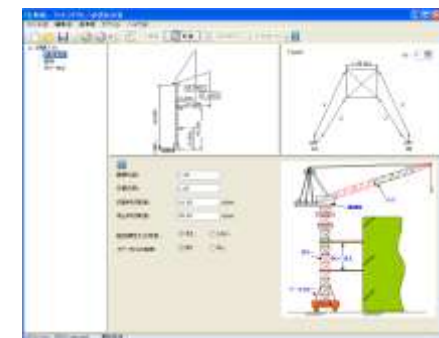
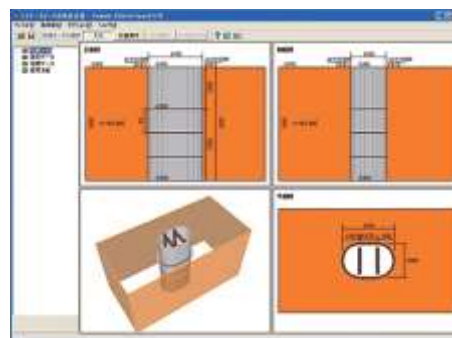
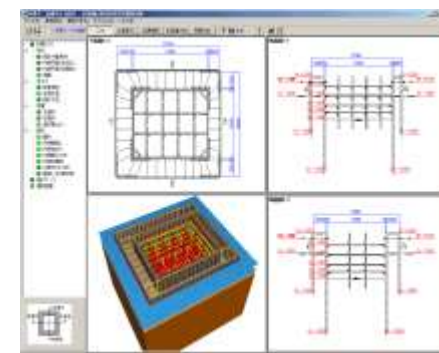
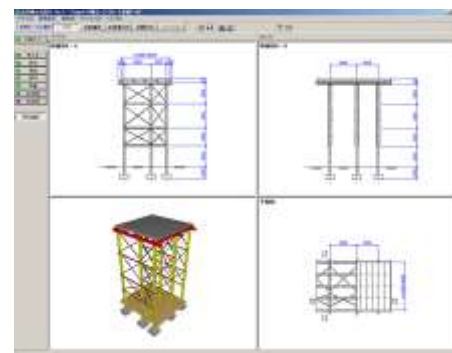
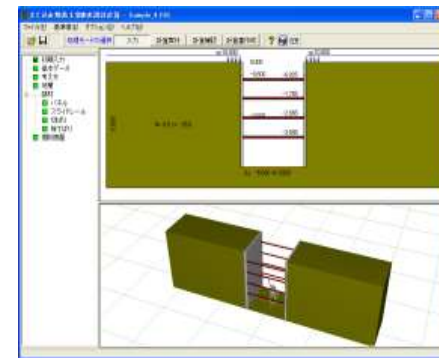
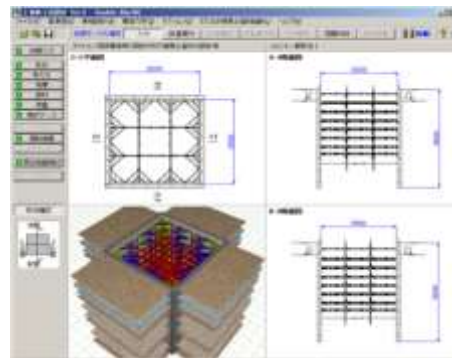
二重締切工の設計・3DCAD

切梁式二重締切工の設計・3DCAD

型枠支保工の設計計算

ライナープレートの設計計算

クライミングクレーンの設計計算



**仮設土エスイート**

※他に英語版や中国基準対応版がある製品もあります。

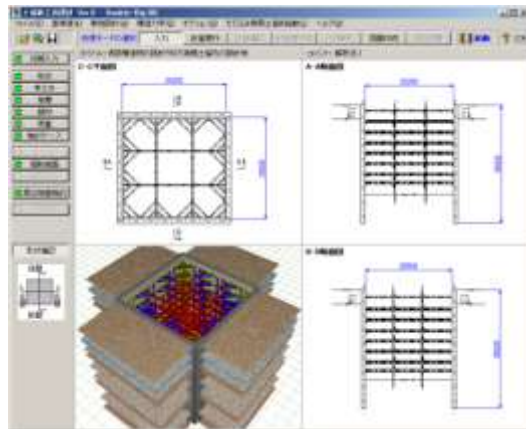
# 製品構成（土留め）

土留め工の性能設計計算  
（弾塑性解析Ⅱ+）

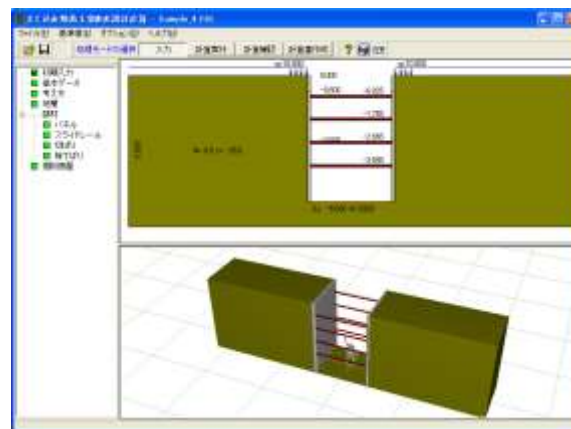
弾塑性法（解析法Ⅱ）に特化した製品。  
ESSolverを用いて弾塑性解析を行う。

## ■土留め工の設計・3DCAD

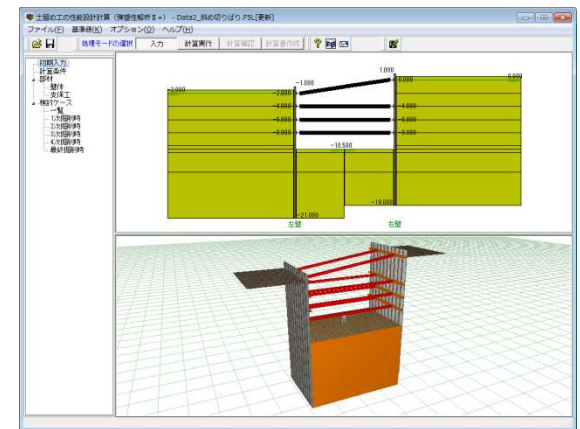
製品名	慣用法	弾塑性法	逆解析 ツール	旧製品
土留め工の設計 Ver. 16 Lite	○	×	×	土留め工の設計
土留め工の設計 Ver. 16 Standard	○	○	×	土留め工の設計 （フル機能版）
土留め工の設計 Ver. 16 Advanced	○	○	○	—



▲土留め工の設計



▲たて込み簡易土留めの設計計算



▲土留め工の性能設計計算

# 土留め工の性能設計計算 (弾塑性解析II+) の機能紹介

# 土留め工の性能設計計算（弾塑性解析Ⅱ+）

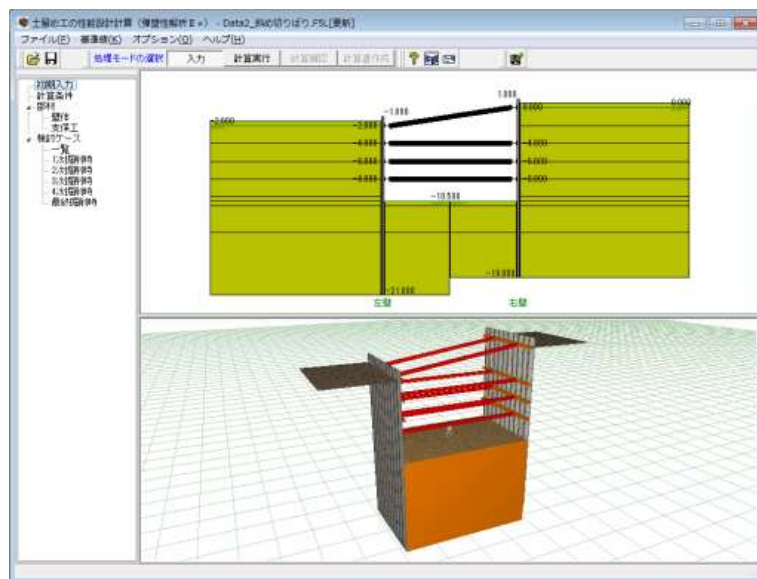
初版リリース：2013.3.29

Ver.2リリース：2014.1.23

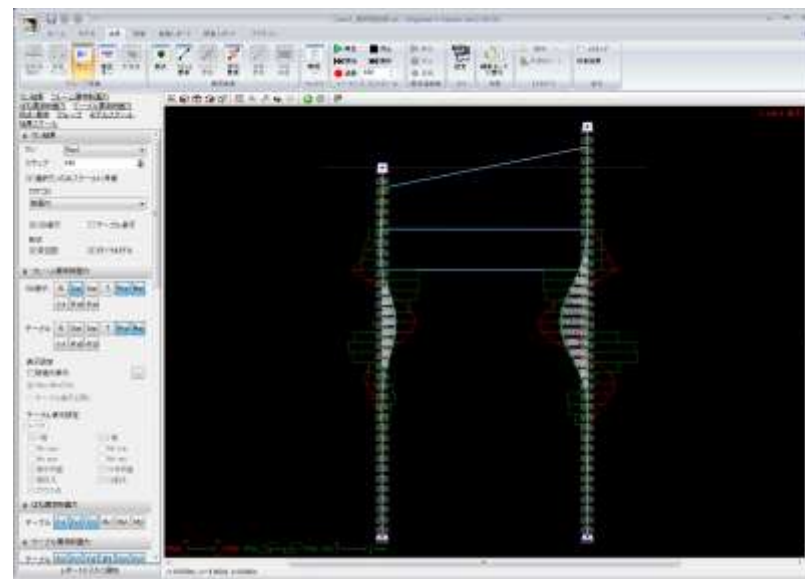
PSQ認証製品

本製品は「土留め工の設計」における解析法Ⅱ（「[Engineer's Studio®](#)」の計算部を用いた弾塑性解析。「土留め工の設計」ではVer. 10で対応）をさらに拡張させた弾塑性解析専用のプログラムです。

「土留め工の設計」では検討できない『斜め切ばり』や『切ばり+アンカー併用工の両壁一体解析』『支保工撤去順序の自由な設定』等に対応しています。



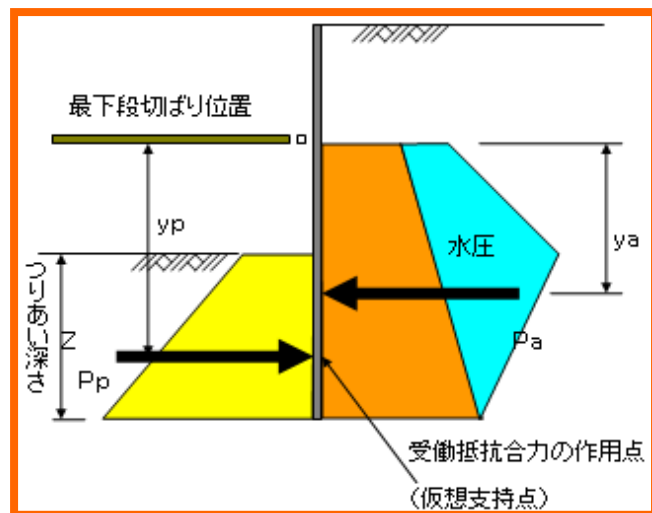
▲メインウィンドウ



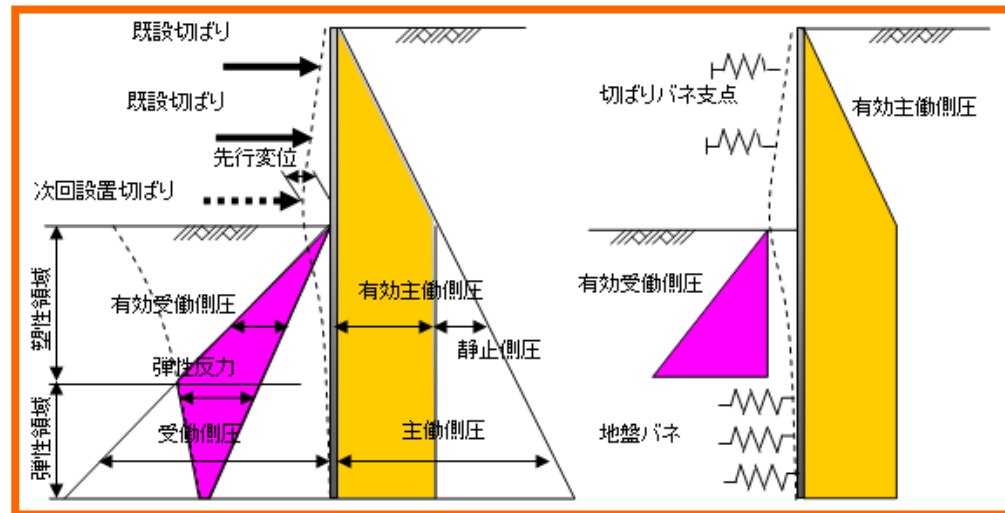
▲「Engineer's Studio®」による解析結果

# 弾塑性法とは

手法	説明
慣用法	切ばり位置あるいは地中の仮想支持点を支点にとり、壁体を単純ばりとして、背面側には見かけの土圧分布を用いる土留めの設計の一手法。
弾塑性法	土留め壁を有限長の弾性ばり、地盤を弾塑性床、支保工を弾性支承とした土留めの設計の一手法。 地盤や土留め壁の構造をより実際に近い形にモデル化でき、掘削に伴い発生する壁体のモーメントや変形の分布が壁の全長に渡って計算できる。



▲慣用法



▲弾塑性法

## 機能および特徴

計算方法	弾塑性解析（解析法Ⅱ） ※計算には当社「Engineer's Studio®」のソルバーを使用
解析種別	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 単壁解析</li> <li>▪ 両壁一体解析</li> </ul>
支保工	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 切ばり</li> <li>▪ アンカー</li> <li>▪ 切ばり+アンカー併用工</li> </ul>
計算結果	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 支保工反力</li> <li>▪ 壁体変位、</li> <li>▪ 壁体断面力（曲げモーメント、せん断力）</li> </ul>
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 斜め切ばりに対応</li> <li>▪ 切ばり+アンカー併用工（両壁一体解析）の計算に対応</li> <li>▪ 支保工撤去順序の自由な設定に対応</li> <li>▪ 側圧データのインポート機能（「土留め工の設計」よりエクスポートされたデータ）</li> <li>▪ 各検討ケースのESデータ（*.es）のエクスポート機能</li> </ul>



## 機能および特徴

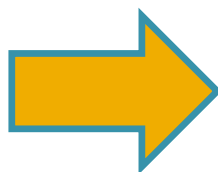
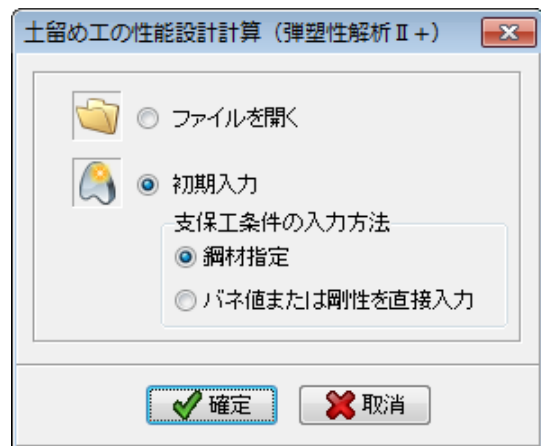
項目	土留め工の設計	土留め工の性能設計計算 (弾塑性解析Ⅱ+)
入力	適用基準や壁体条件、地層、支保工条件などを入力。 側圧は適用基準や地層条件などから内部計算される。	弾塑性解析に必要な条件を入力する。 適用基準選択や地層入力はなく、側圧を直接入力する必要がある。 (ただし、側圧や等価な本プログラムデータを土留め工の設計からエクスポートすることができる)
弾塑性解析	解析法Ⅰ、解析法Ⅱ	解析法Ⅱ
その他	基本的な弾塑性解析は行えるが、「斜め切ばり」や「切ばり+アンカー併用工での両壁一体解析」などに対応していない。	土留め工の設計では対応できない「斜め切ばり」や「切ばり+アンカー併用工での両壁一体解析」などに対応。 「土留め工の設計」の弾塑性法(解析法Ⅱ)について、さらに拡張させた計算を行う場合に活用する。 今後、「土留め工の設計」で対応困難な機能についてはこちらで対応予定(各検討ケースごとの任意荷重の設定など)

# Ver.1.1.0の改訂内容

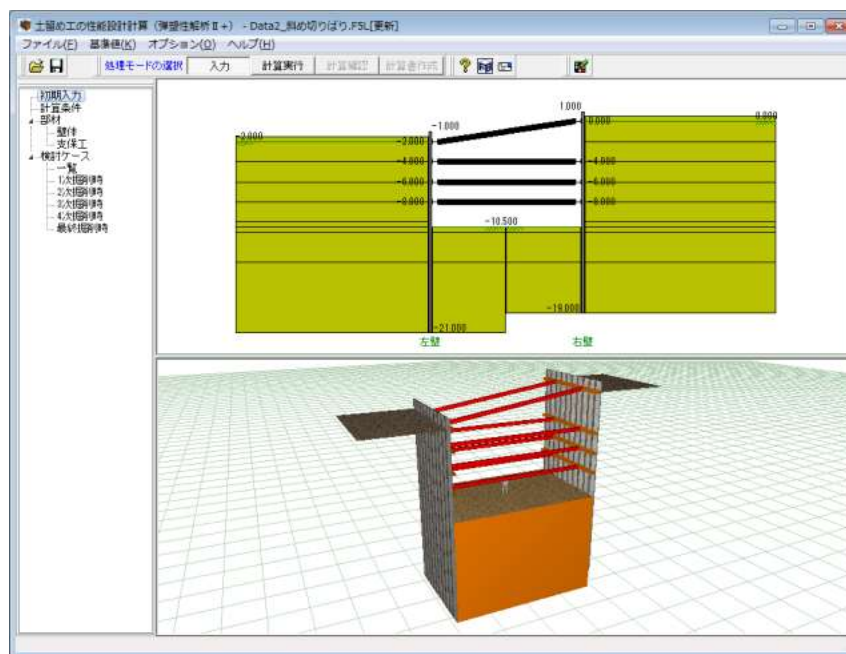
## 支保工条件の「鋼材指定」での入力に対応

汎用性を持たせるためVer.1.1.0以前は支保工条件の入力モードは「バネ値や剛性を直接入力」のみでしたが、本版より支保工条件を「鋼材指定」することができるようになりました。鋼製支保工およびアンカー支保工については「鋼材指定」モードを使用していただくことで、入力が容易になります。

(コンクリート製支保工などにつきましては、従来の通りバネ値や剛性を直接入力していただくことで対応可能です)



### ▲新規入力



### ▲メインウィンドウ

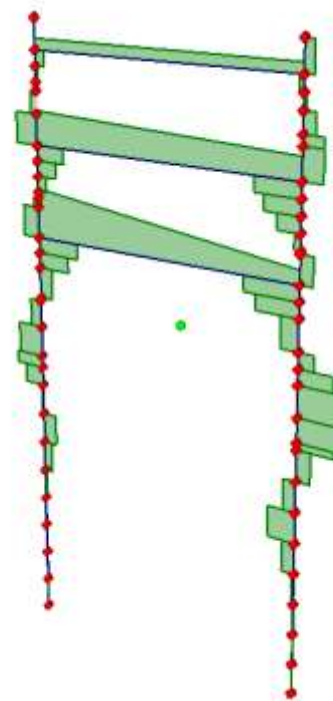
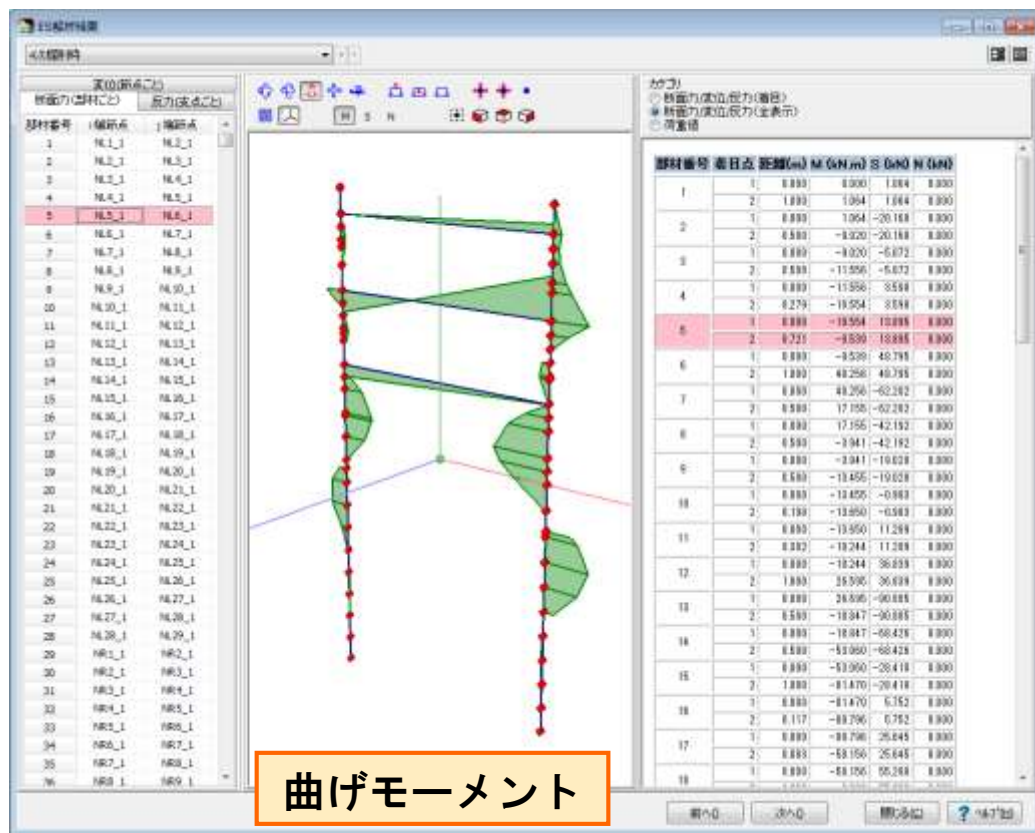
(鋼材指定の場合は3D描画画面が表示されます)

# Ver.1.2.0の改訂内容

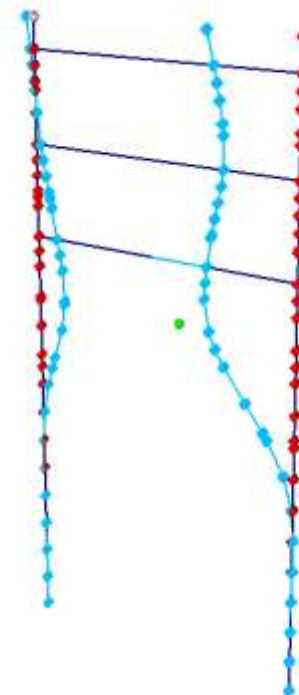
## 3Dモデルでの結果確認に対応

3Dモデルでの結果確認に対応しました。

計算モデル(ESモデル)とその結果を3次元的な描画で確認することができます。



せん断力

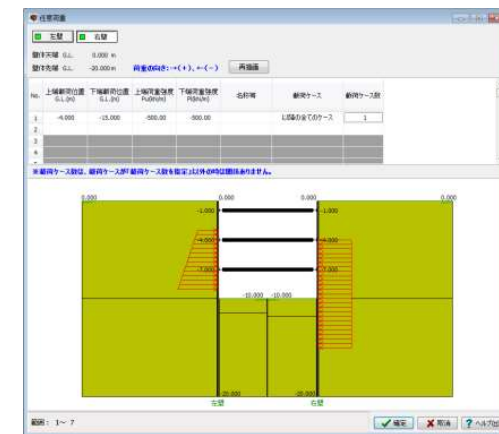
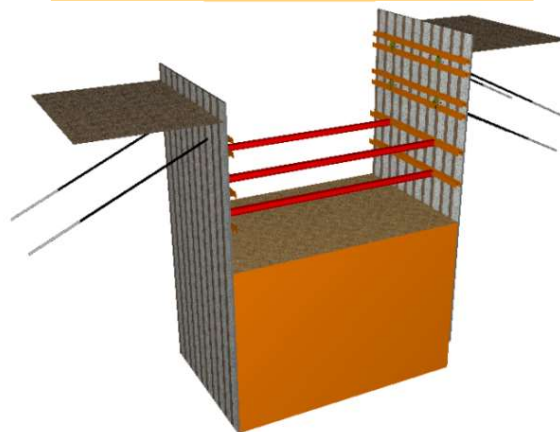
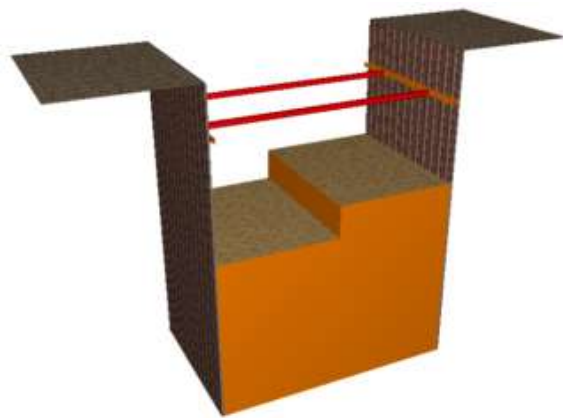
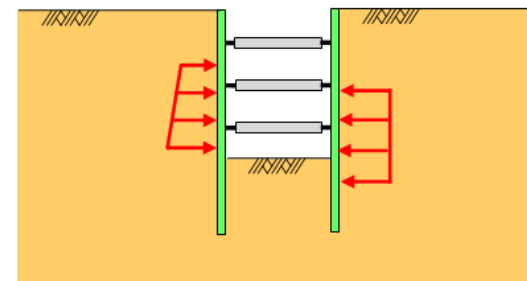
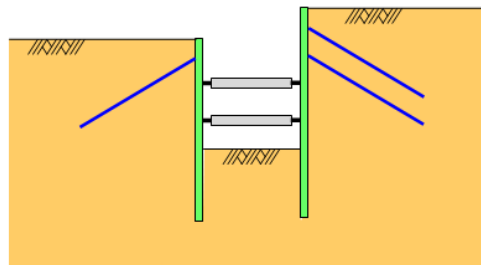
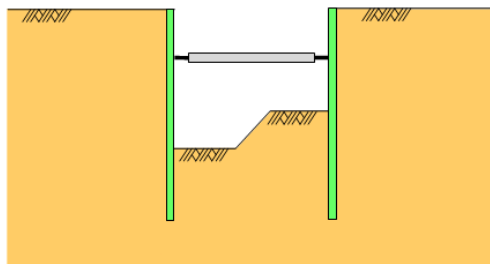


変位

## ▲結果確認画面

# Ver.2の改訂内容

- ・両壁一体解析において、左右の掘削深さが異なる場合の検討に対応
- ・各検討ケースにおいて任意荷重(分布荷重)の設定に対応
- ・切ばり+アンカー併用工で両壁一体解析の時、左右のアンカー段数が異なる場合に対応
- ・撤去時の盛替え支保工を設置した後の撤去に対応
- ・各検討ケースごとの形状バネの変更に対応



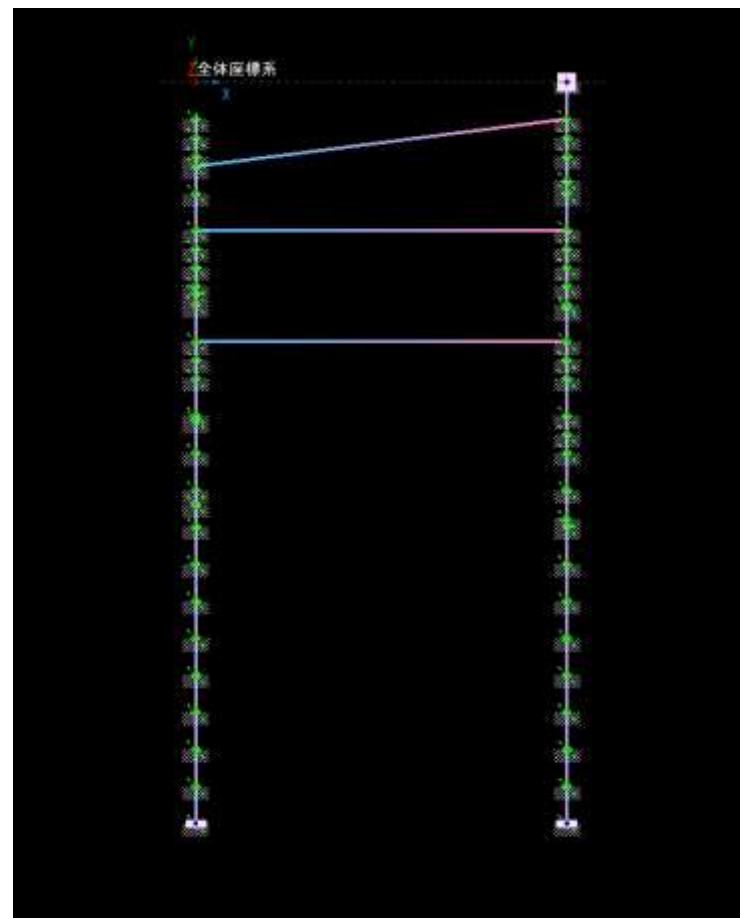
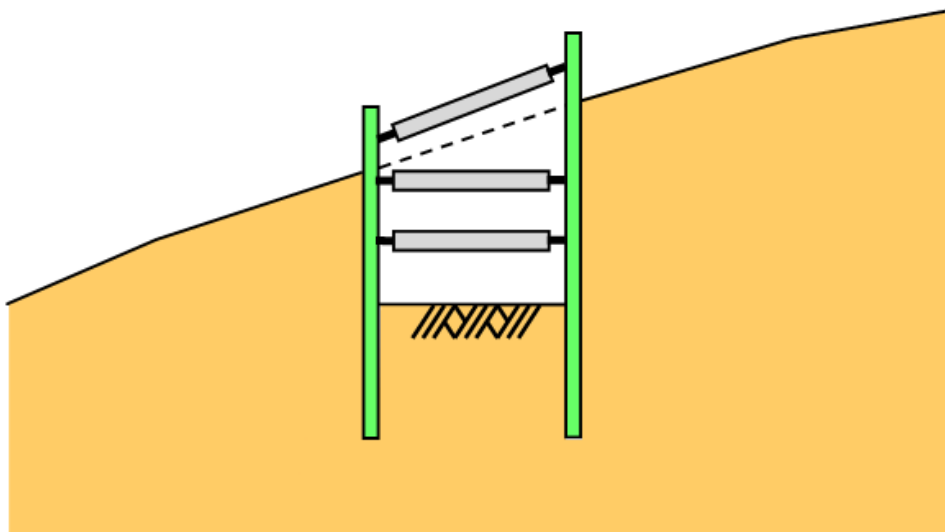
▲左右の掘削深さが異なる場合

▲左右のアンカー段数が異なる場合

▲任意荷重

## 機能紹介：斜め切ばり対応

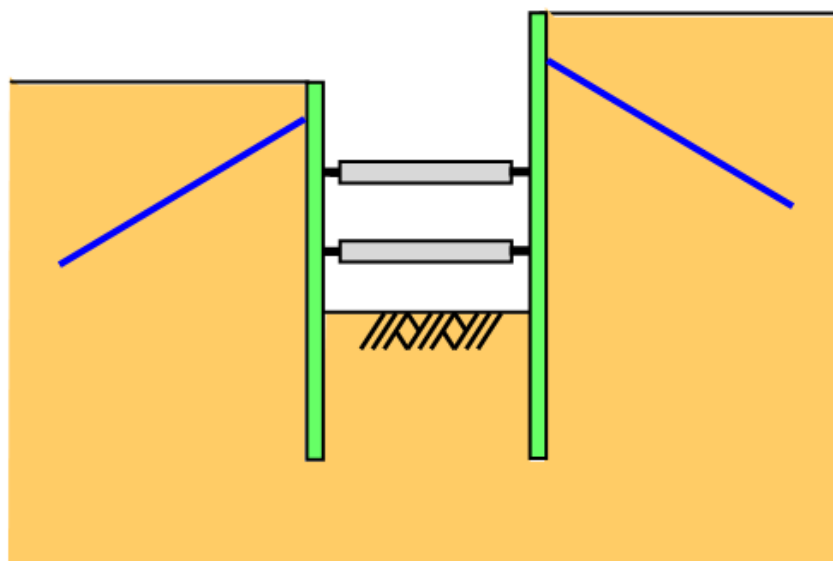
本製品では、切ばりを斜め方向（左右の設置高さが異なる）に設置することができます。（「土留め工の設計」では水平のみ）



▲ESモデル

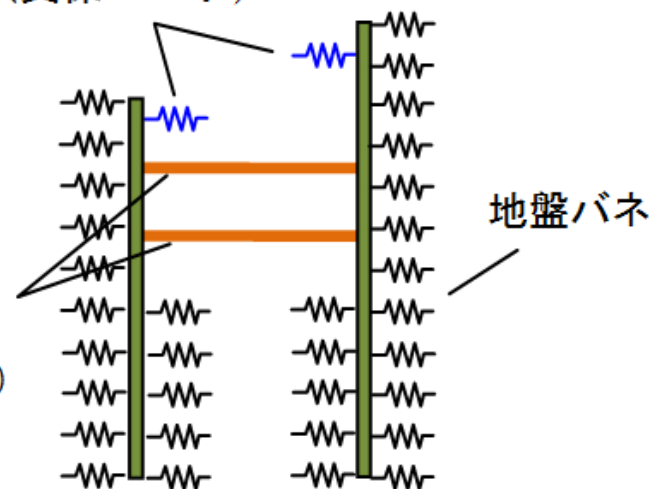
# 機能紹介：切ばり＋アンカー併用工での両壁一体解析に対応

本製品では、切ばり＋アンカー併用工で両壁一体解析（切ばりは剛体部材、アンカーは支保工バネとしたラーメンモデル）を行うことができます。  
（「土留め工の設計」では単壁のみ）



アンカー（支保工バネ）

切ばり  
（剛性部材）



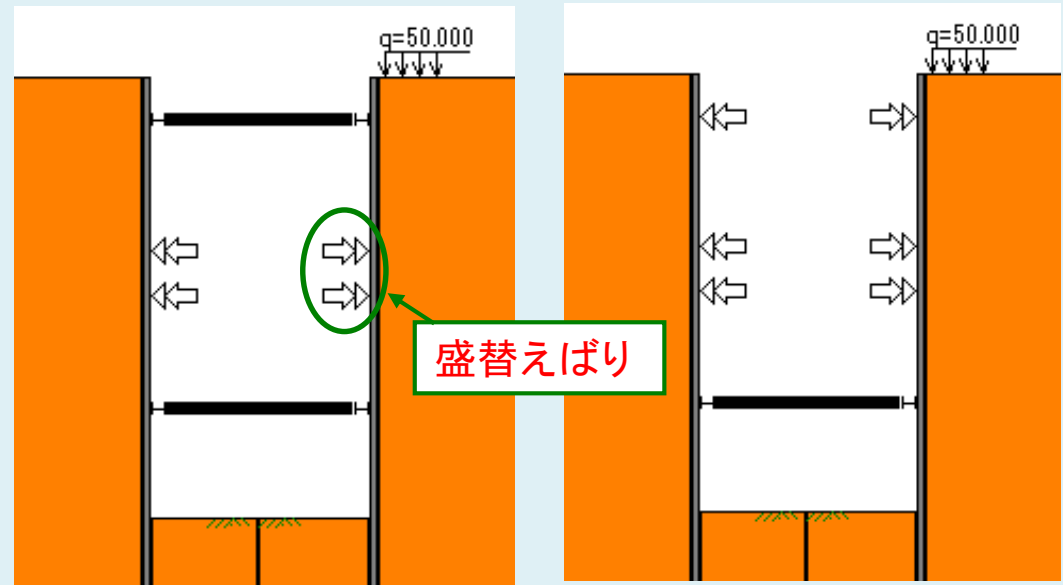
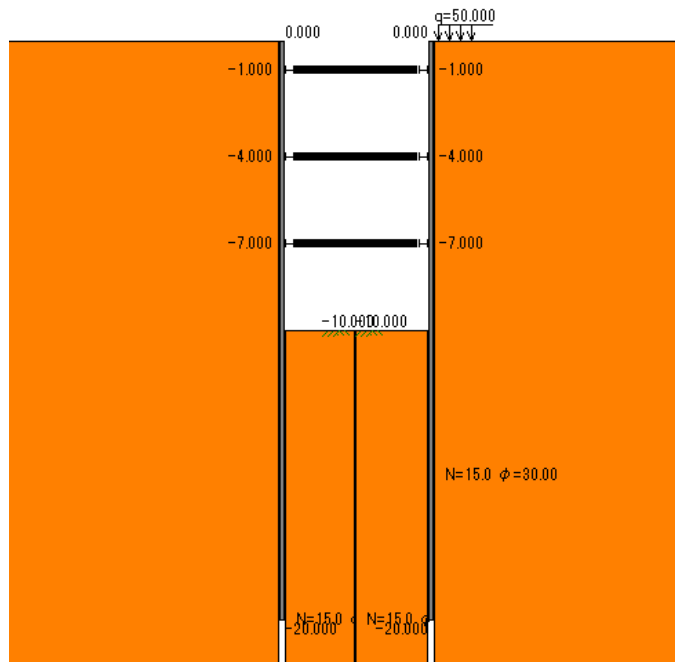
▲両壁一体解析（切ばり＋アンカー併用工）



## 機能紹介：支保工撤去順序の自由な設定

本製品では、支保工の撤去順序を自由に行うことができます（盛替えばりも自由に設置できます）。

（「土留め工の設計」では支保工の撤去は最下段から順番に撤去する必要があります。盛替えばりも同様に下段から設置します）

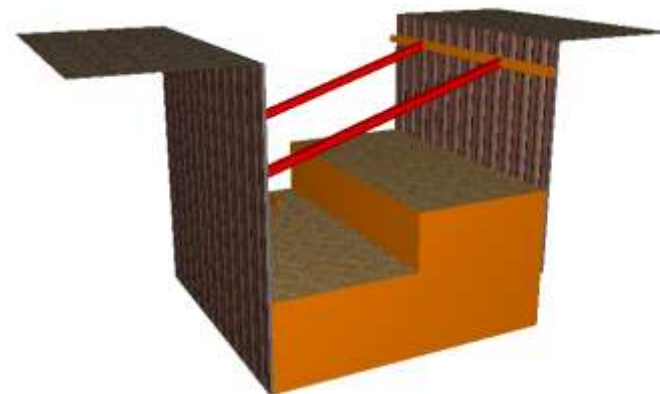
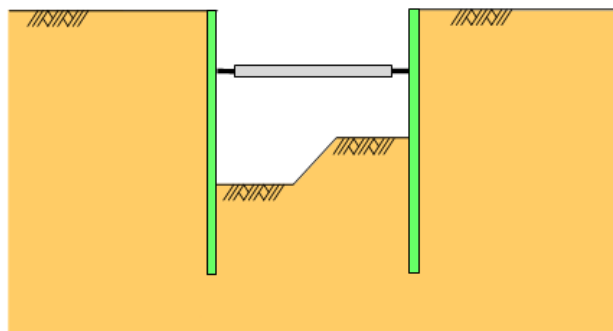


一次撤去  
（二段目切ばりを撤去）

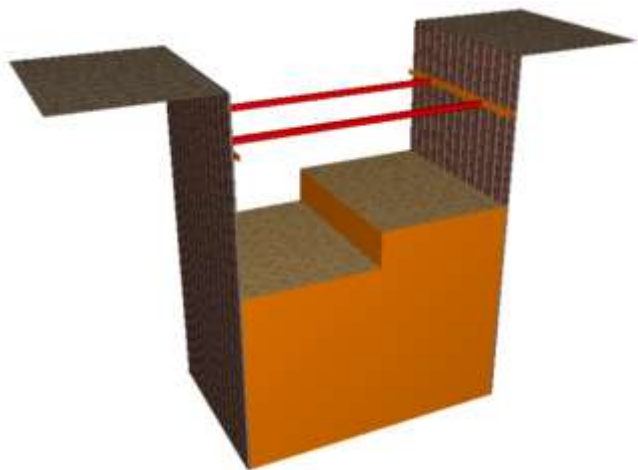
二次撤去  
（一段目切ばりを撤去）

## Ver.2：左右の掘削深さが異なる場合の検討に対応

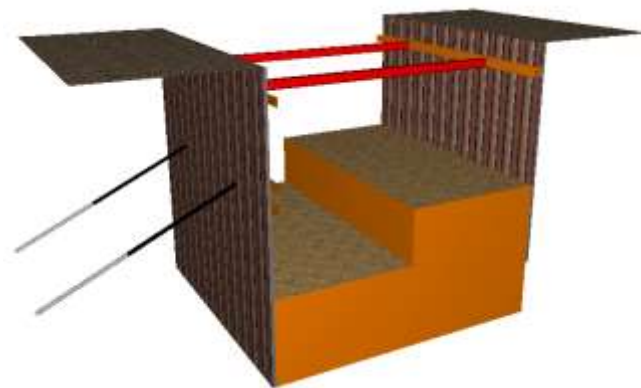
両壁一体解析の場合、左右の掘削深さが異なるケースの計算に対応しました。斜め切ばりや左右のアンカー段数が異なる場合などと組み合わせて使用することにより、今まで以上に様々な検討を行うことができるようになりました。



▲左右の掘削深さが異なる＋斜め切ばり



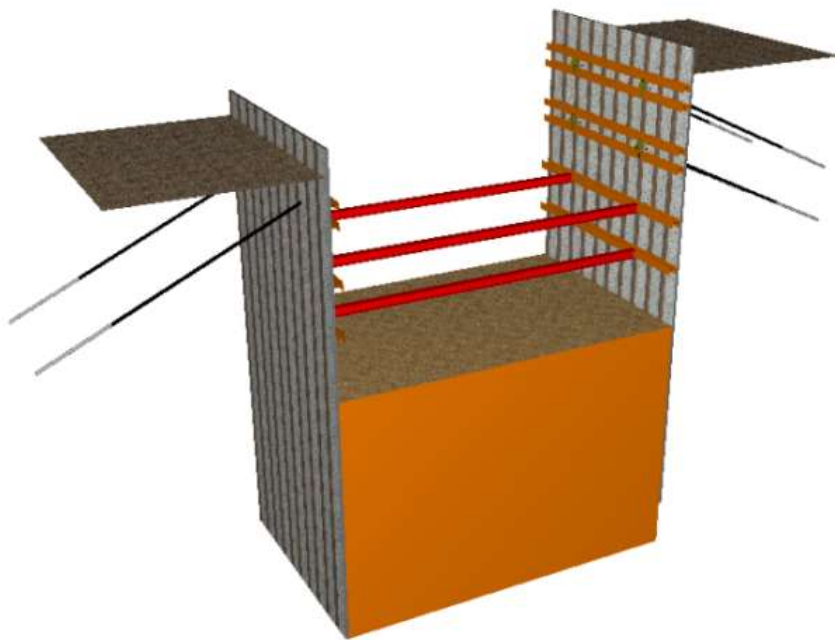
▲左右の掘削深さが異なる場合



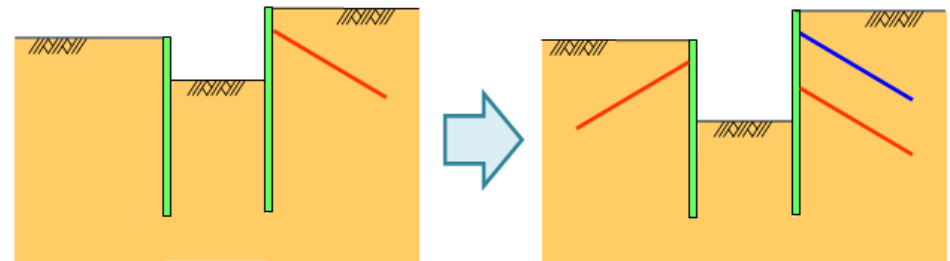
▲左右の掘削深さ＋アンカー段数が異なる

## Ver.2：左右のアンカー段数が異なる場合の検討に対応

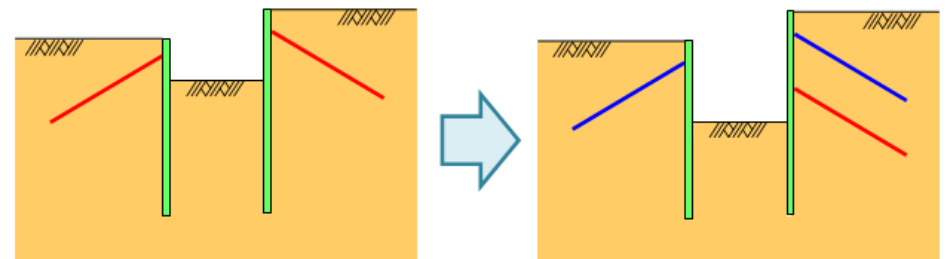
切ばり+アンカー併用工での両壁一体解析において、左右のアンカー段数が異なる場合の検討に対応しました。なお、アンカーの設置状態として、例えば下図のように設置パターンが異なる場合がありますが、設定により柔軟に対応することができます（「右1段目→左1段目→右2段目」のように3段階に分けることもできます）。



▲左右のアンカー段数が異なる場合



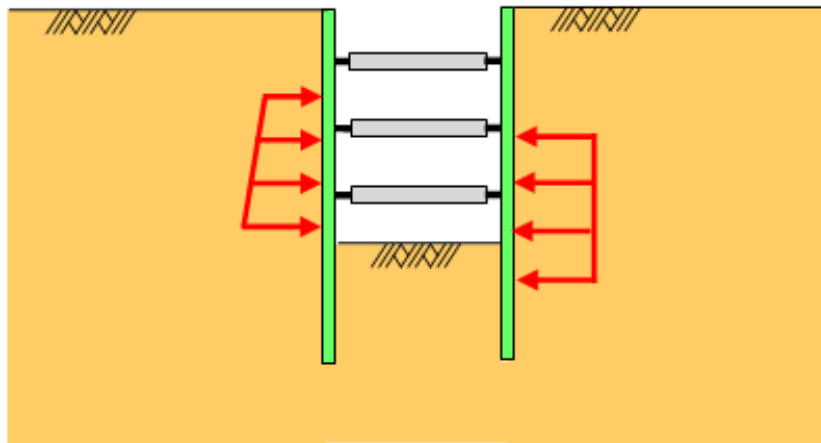
▲設置パターン1：右1段目→左1段目, 右2段目



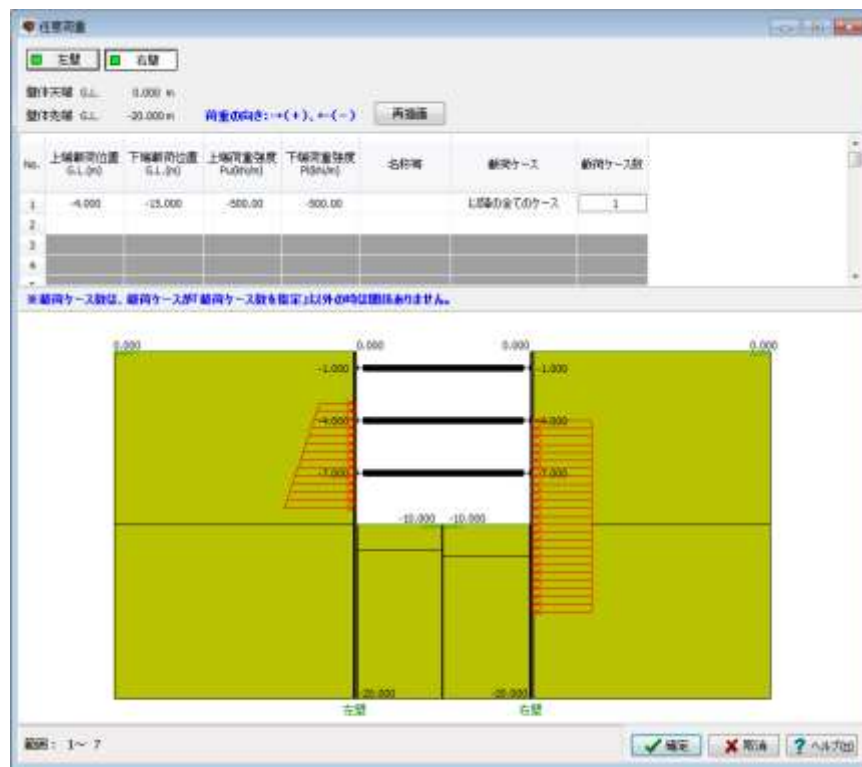
▲設置パターン2：右1段目, 左1段目→右2段目

## Ver.2：任意荷重の設定に対応

各検討ケースにおいて、任意荷重（分布荷重）の载荷に対応しました。任意荷重は各検討ケースの各壁ごとに分布荷重として最大20まで登録することができます。任意荷重は、掘削時はもちろん支保工撤去時にも载荷することができます。



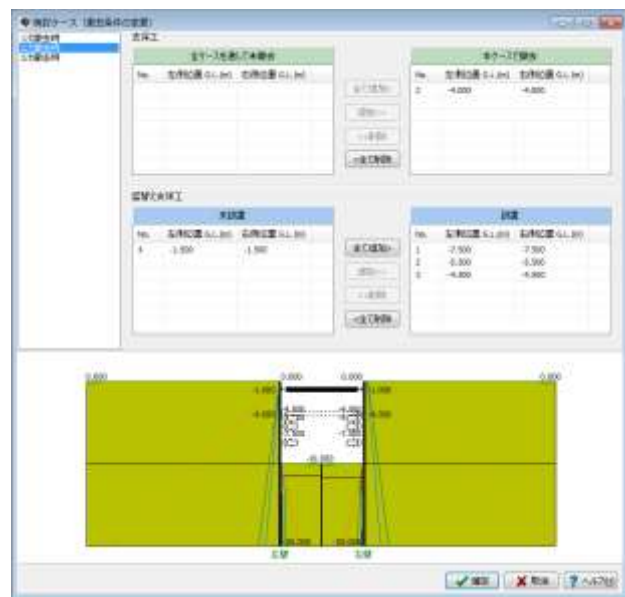
▲任意荷重（分布荷重）



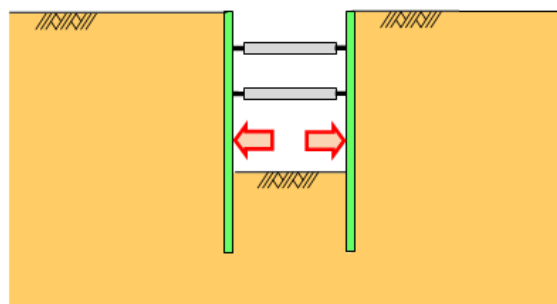
▲[任意荷重]の設定画面

## Ver.2：設置した盛替え支保工の撤去に対応

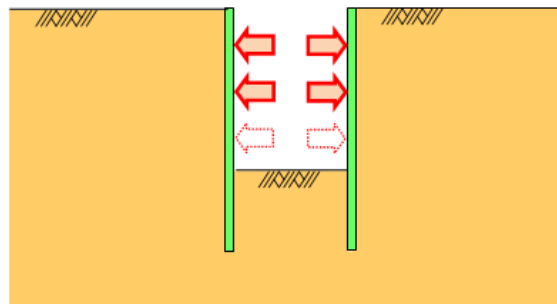
本バージョンより盛替え支保工を撤去できるようにしました。例えば、下図(右)は三段設置されている支保工を最下段から順番に撤去し、合わせて下から盛替え支保工を設置するケースですが、三次撤去時で最下段の盛替え支保工を撤去した(無効とした)例です。支保工の撤去と同様に、盛替え支保工の撤去についても撤去順序などに特に制限はありませんので、今まで以上に撤去ケースの自由な設定を行うことができます。



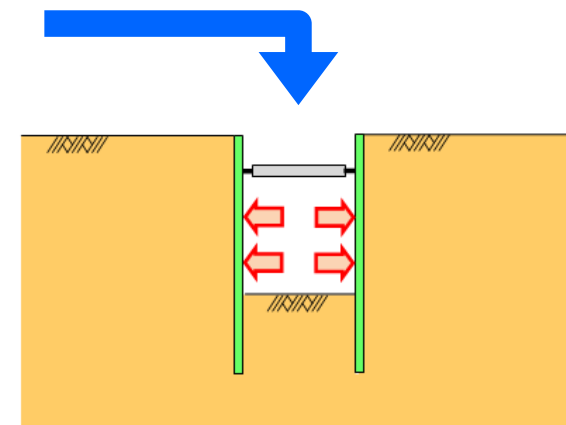
▲[撤去条件の変更]画面



【一次撤去時】



【三次撤去時】



【二次撤去時】

▲盛替え支保工の撤去



2009年2月リリース

# Engineer's Studio®

## 3次元積層プレート動的非線形解析

Engineer's Studio®は、弊社がプレ処理～計算エンジン～ポスト処理までの全てを自社開発した3次元有限要素法(FEM)解析プログラムです。  
土木・建築構造物の部位を1本棒に見立てたはり要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して、構造物の非線形挙動を解析するツールです。

### Engineer's Studio®の優れた機能

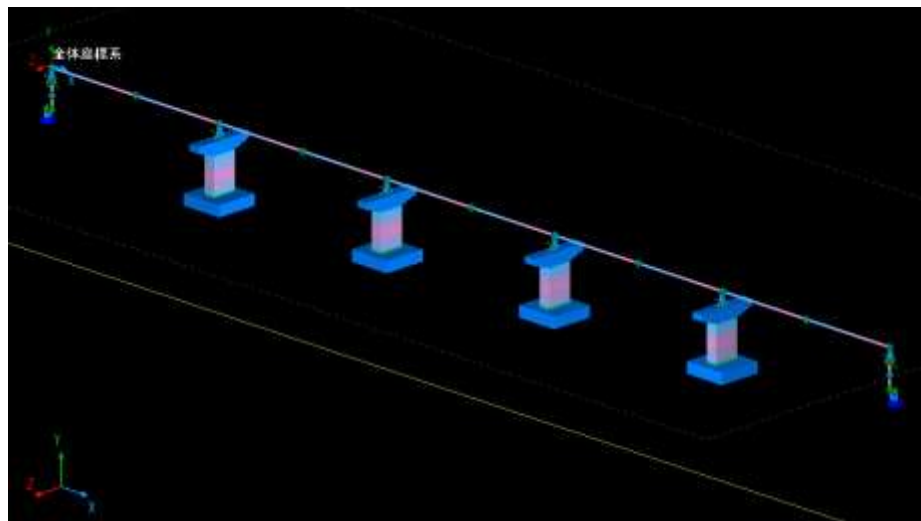
- ・世界最高水準のコンクリート解析理論、  
前川モデルをサポート
- ・新しい解析の提供により、  
既存設計構造物のバックチェックに活用
- ・ミッドリンプレート、大変形解析など  
広く構造物解析に適用できる
- ・リボンコントロール、入力ナビなど  
新しいCADインターフェース
- ・完全な当社独自開発解析ソフトで  
優れた柔軟性と拡張性



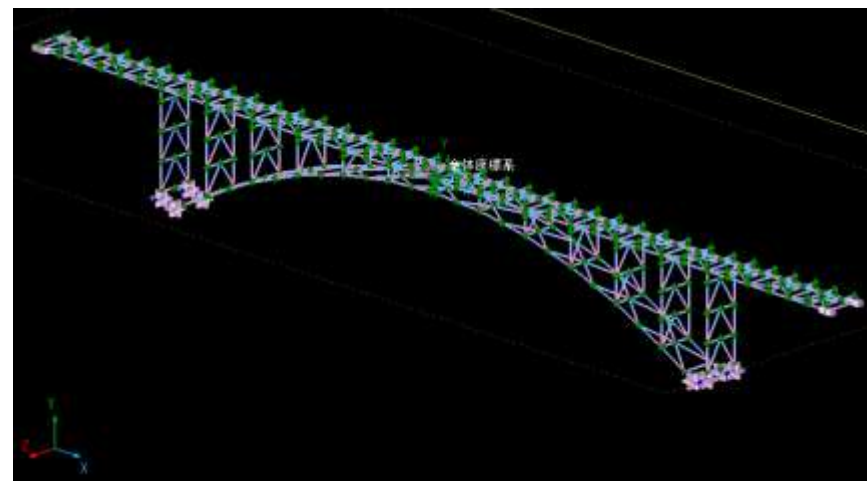
### Engineer's Studio®の使命

- ・社会にとってより良いものになるソフトウェアを目指します
- ・精度良い解析で高品質・安全なインフラ構築に役立ちます
- ・ユーザのビジネスチャンスにつながる新しいソリューションを提供します

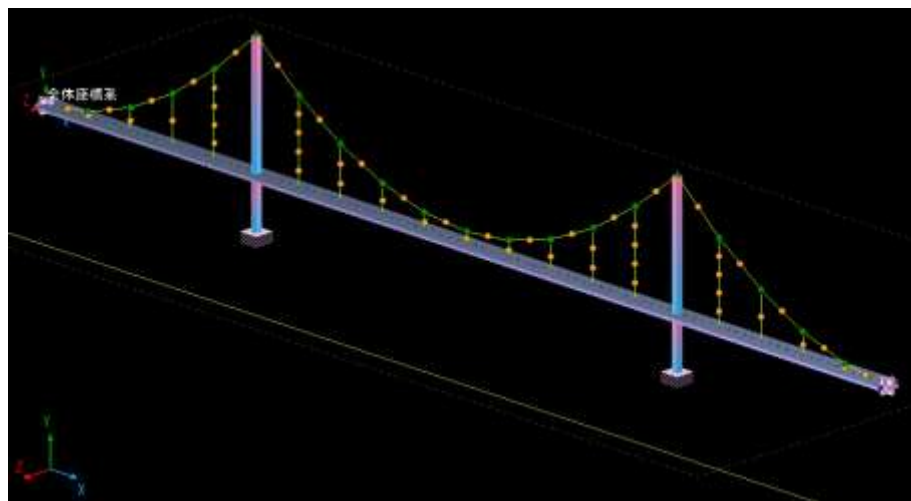




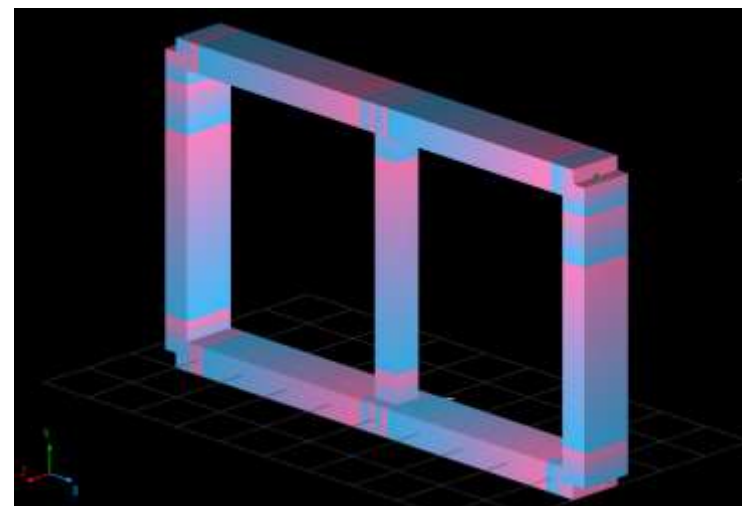
▲5径間連続桁橋(非線型解析)



▲アーチ橋(非線型解析)



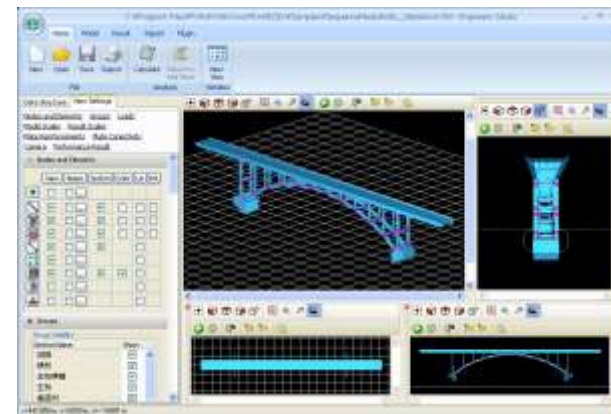
▲吊橋(線形解析)



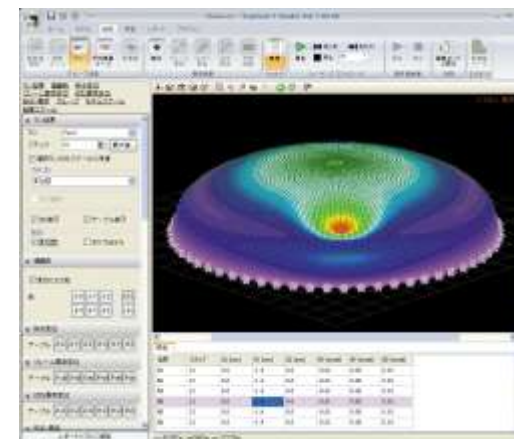
▲BOXカルバート(線形解析)

# Engineer's Studio®の特徴

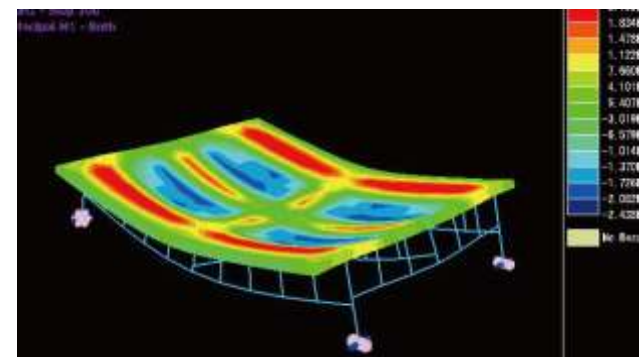
- ・東京大学コンクリート研究室で開発された、世界的に評価の高いコンクリート非線型構成則を実装しています。
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所主催の「E-ディフェンスを用いたC1-6実験(実大RC橋脚破壊振動実験)事前解析コンテスト 破壊モデル解析部門」において、本プログラムを用いた解析結果が優勝として表彰されるなど、実構造物の挙動を精緻にシミュレーションできることが照明されています。
- ・従来と比較して実際の構造物に近いモデル化が可能となり、より経済的な設計を支援します。
- ・マウス操作によるモデル作成が可能となり、設計者の負担を大幅に軽減します。



▲描画設定



▲平板要素のコンタ図



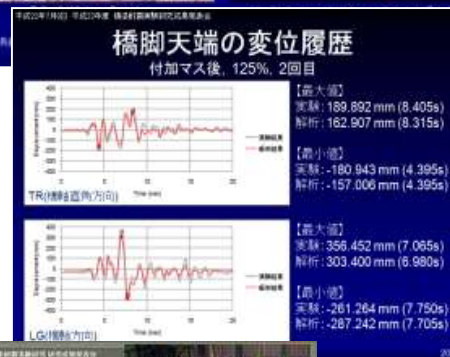
▲床版曲げモーメントコンター

# 研究プロジェクトへの参画と成功

## 2010年 連続優勝!! ブラインド解析コンテスト

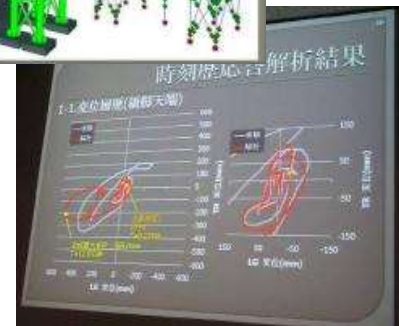
平成22年7月8日、平成22年度橋梁耐震実験研究成果発表会(主催(独)防災科学技術研究所)において実施された「高じん性モルタルを用いた実大橋梁耐震実験の破壊解析 ブラインド解析コンテスト結果発表・表彰」にて、当社社員とA-Works代表 青戸拡起氏、東京都市大学 吉川弘道教授の合同チームが優勝者として表彰されました。

解析対象橋脚は柱基部に高じん性モルタル(HPFRCC)を用いたもので、**次世代型高耐震RC橋脚**として期待されているものです。我々は**Engineer's Studio®**を用いて解析を行い、高い精度で実験結果を予測することができました。



## 2009年 事前解析コンテスト・ファイバー部門優勝!

平成21年3月5日、実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)を用いた橋梁耐震実験研究「橋梁は、地震にどこまで耐えられるか?」平成19・20年度橋梁耐震実験研究・研究成果発表会(主催(独)防災科学技術研究所、世界貿易センタービル3階)において実施された「C1-2実験事前解析コンテスト結果発表・表彰」にて、当社UC-win/FRAME3D解析支援チームメンバーが優勝者として表彰された。

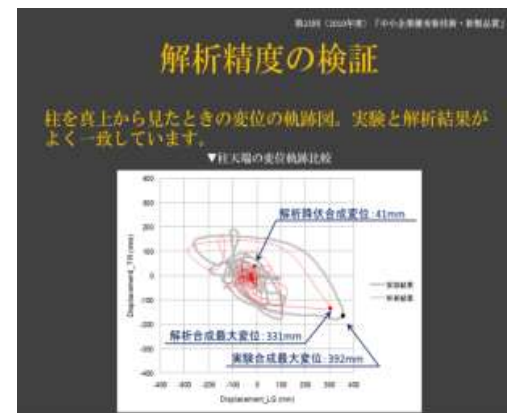
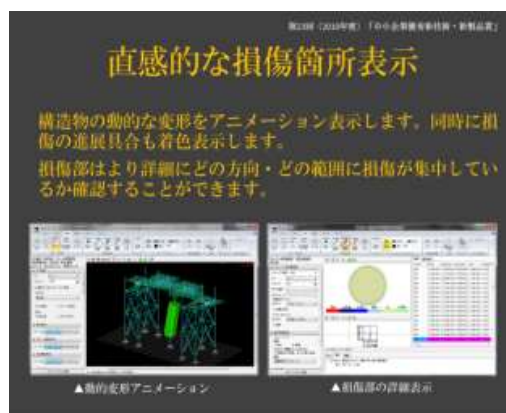
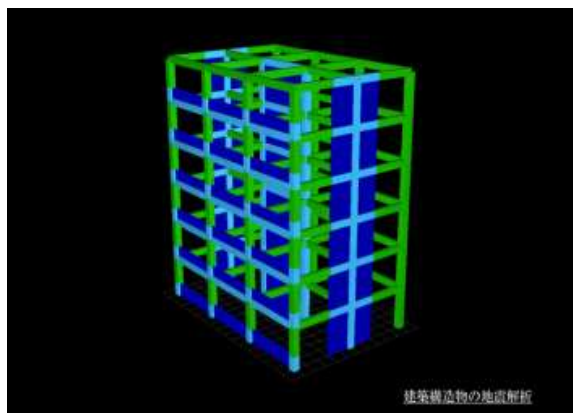


# 第23回中小企業優秀新技術・新製品賞 優良賞受賞！

<http://www.nikkan.co.jp/sanken/shingizyutu/23shingizyutu.html>

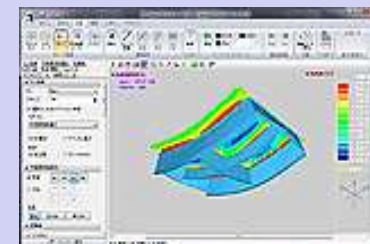
プロダクト名：構造解析プログラム「Engineer's Studio(R)」

「公益財団法人 リそな中小企業振興財団」と「日刊工業新聞社」が主催する、経済産業省中小企業庁後援の「第23回中小企業優秀新技術・新製品賞」のソフトウェア部門にて構造解析プログラム「Engineer's Studio(R)」が「優良賞」として表彰されました。



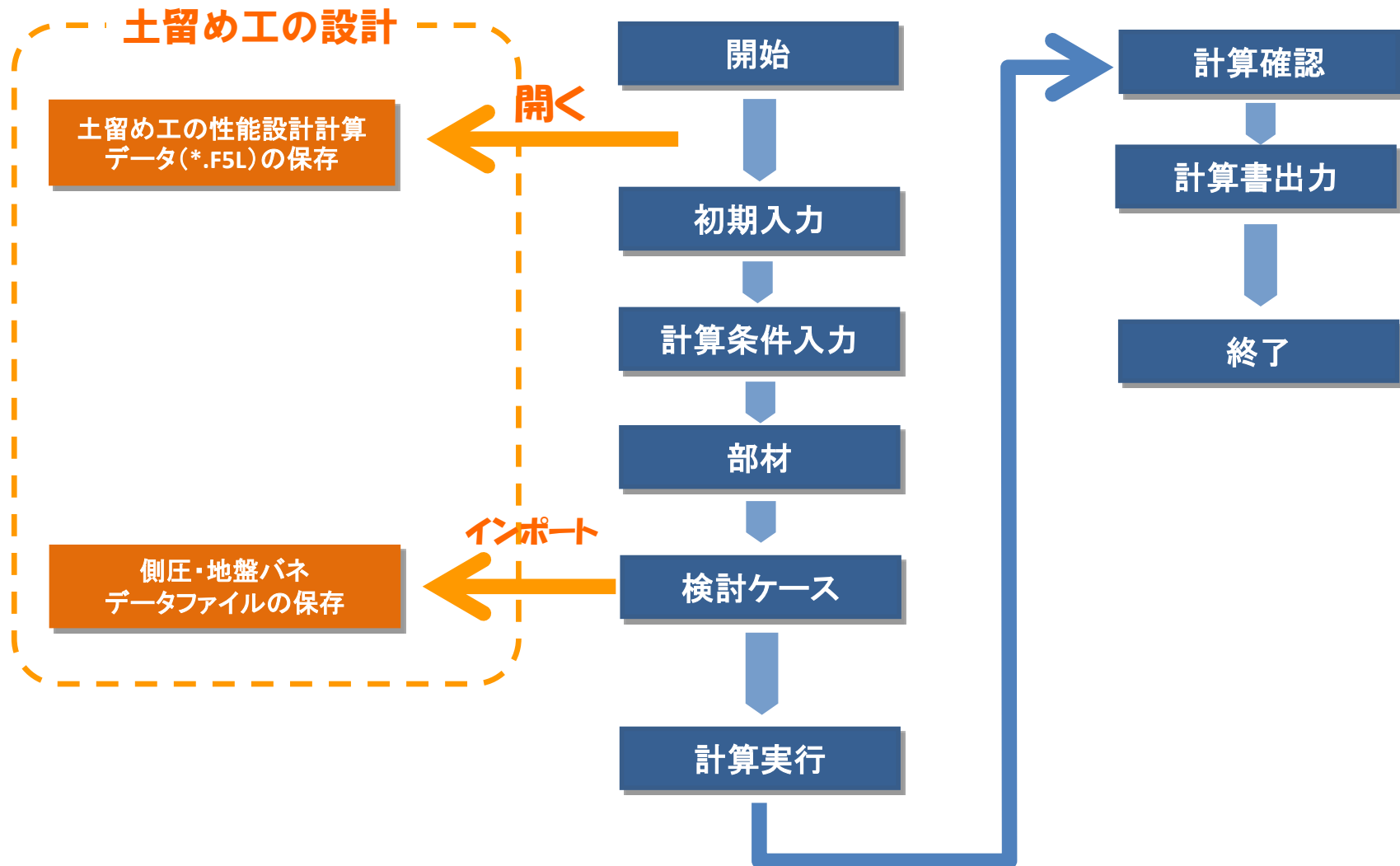
〔産学官連携特別賞〕

東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 教授  
前川 宏一氏





# 標準的な操作の流れ



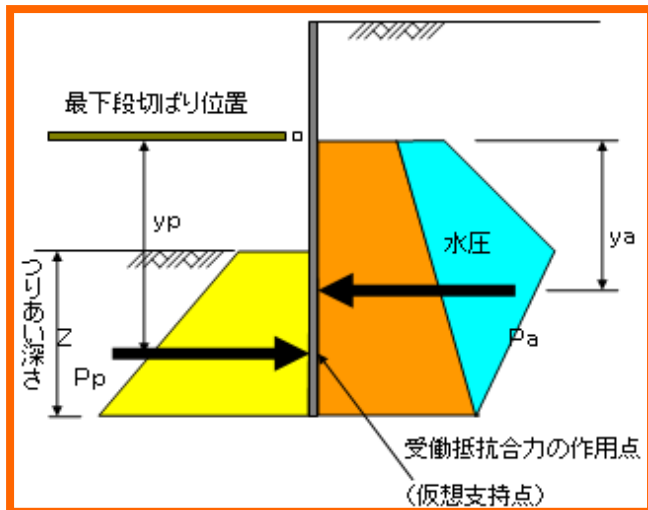
# 弾塑性法について

---

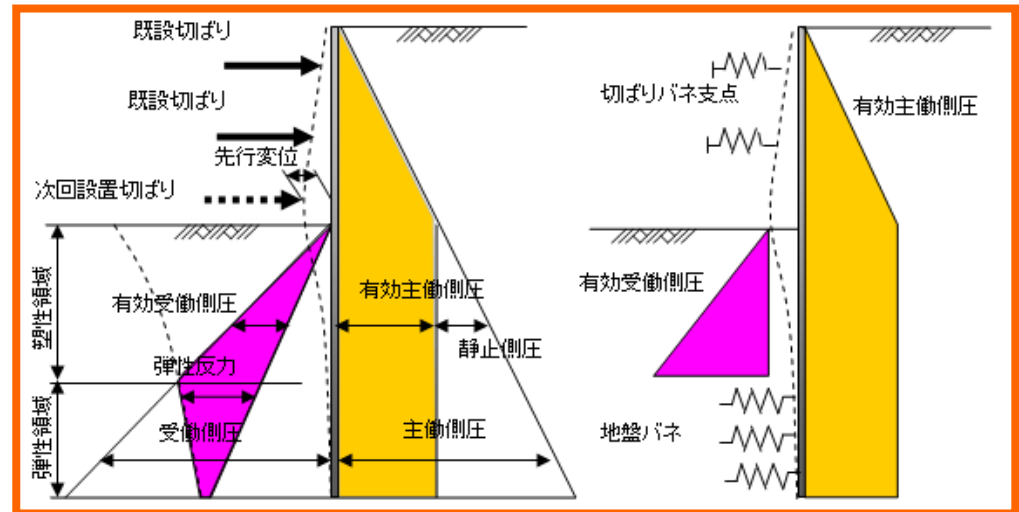


# 弾塑性法とは

手法	説明
慣用法	切ばり位置あるいは地中の仮想支持点を支点にとり、壁体を単純ばりとして、背面側には見かけの土圧分布を用いる土留めの設計の一手法。
弾塑性法	土留め壁を有限長の弾性ばり、地盤を弾塑性床、支保工を弾性支承とした土留めの設計の一手法。 地盤や土留め壁の構造をより実際に近い形にモデル化でき、掘削に伴い発生する壁体のモーメントや変形の分布が壁の全長に渡って計算できる。



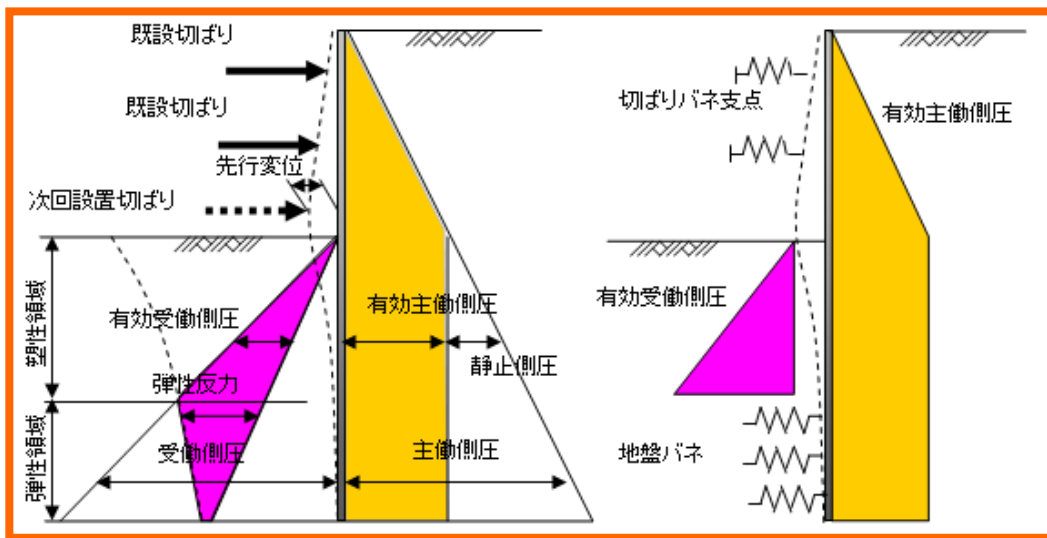
▲慣用法



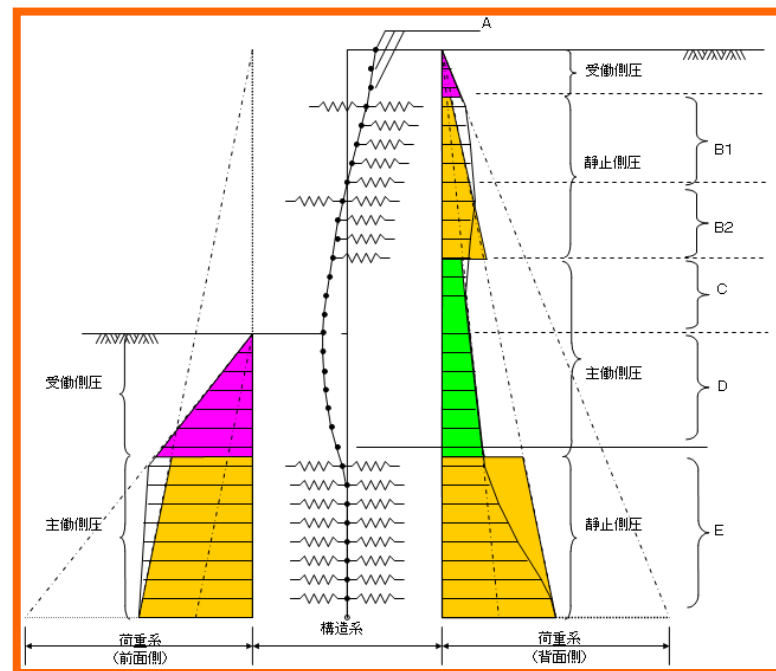
▲弾塑性法

# 弾塑性法とは（解析法Ⅰと解析法Ⅱ）

『解析法Ⅰ』『解析法Ⅱ』という呼び方は、「トンネル示方書p.137解説表3.17」、および「大深度土留め設計・施工指針(案)p.82」などのプレロードを導入した場合の解析法の説明文から引用しています(ただし、これらの図書では、プレロード導入時の解析方法の違いにより解析法ⅠとⅡを区別していますが、プレロードの有無に拘らず、本プログラムでは次ページの表のように定義しています)。また、解析法Ⅰを「拡張法(中村、中沢の方法」、解析法Ⅱを「土研の方法」と解釈して頂いても結構かと考えられます。



▲解析モデル(解析法Ⅰ)



▲解析モデル(解析法Ⅱ)

# 解析法ⅠとⅡの相違点（一般事項）

大項目	項目	解析法Ⅰ（中村・中沢の方法）	解析法Ⅱ（土研の方法）
一般	考え方	仮設指針p.100図2-9-32側圧、構造系の説明にあるように、「背面側から有効主働側圧が作用し、掘削側の塑性領域では有効受働側圧が、弾性領域では土留め壁の変位に比例した弾性反力が働く」という考え方。	仮設指針p.356の偏土圧が作用する土留めの検討例に記載のように、背面側の地盤にもバネを仮定し、「壁の変位に応じて受働土圧と静止土圧の差分を上限とする反力、あるいは静止土圧と主働土圧の差分を下限とする反力が発生する」という考え方。
	大前提	壁体は必ず掘削側に変形する。	壁体は、掘削側はもちろん背面側にも変形する。 背面地盤を弾塑性ばねとして評価する方法
	文献類	仮設指針p.97～（本文） 土木学会p.133～ 建築学会平成14年p.123～、etc	仮設指針p.356～（参考資料） 土研資料第2553号
	両壁一体解析	×	○

# 解析法ⅠとⅡの相違点（プレロードの扱い）

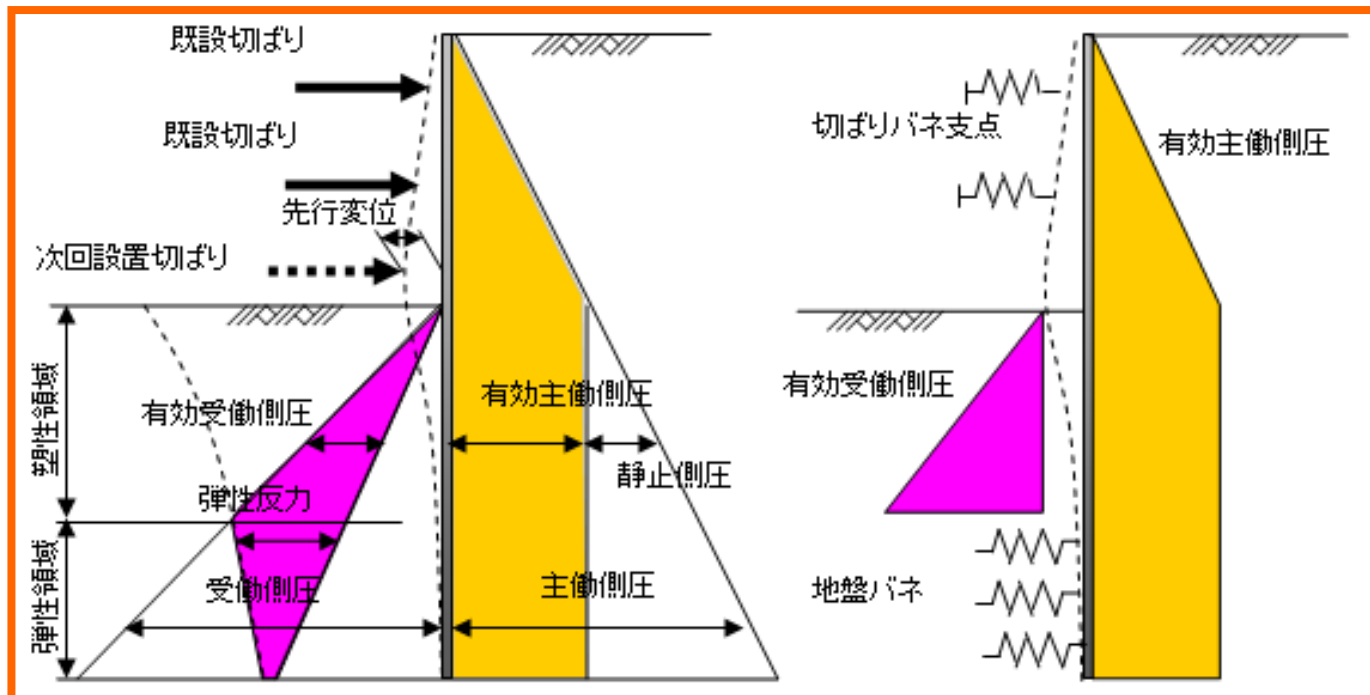
大項目	項目	解析法Ⅰ（中村・中沢の方法）	解析法Ⅱ（土研の方法）
プレロード時	方法	プレロードに対して、別途、背面地盤の地盤反力をばね反力として評価する方法	背面地盤を弾塑性ばねとして評価する方法
	内容	通常の弾塑性解析とは別に背面地盤の弾性ばねを考慮したモデルにプレロード時の外力を作用させ、重ね合わせる方法である。	背面側地盤にも掘削側地盤と等価な弾塑性ばねを考慮し、掘削時とプレロード導入時を同一モデルで解析するものである。
	評価（欠点利点）	プレロード導入による土留め壁の変形はかなり実用的な精度で得られるが、掘削時の構造系とプレロードに対する構造系が異なるという理論的矛盾がある。	掘削時およびプレロード時の土留め壁の力学的挙動を実用上十分な精度で評価できる。
	仮設指針の評価	実用的な精度	より精密に解析できる

# 解析法I

---

# 解析法 I にみる弾塑性法の基本仮定

- (1) 土留め壁は有限長の弾性ばりとする。
- (2) 側圧は、掘削による土質条件の変化に対処できるものとする。
- (3) 掘削底面以深において土留め壁に働く抵抗土圧(地盤反力)は土留め壁の変位に一次的に比例し、かつ、有効受働側圧を超えない(=>地盤バネは掘削側のみに考慮)。
- (4) 切梁は弾性支承として、そのバネ定数は設置間隔、断面積、長さ、ヤング係数等から求める。
- (5) ある掘削段階での切梁位置の変位および切梁軸力は、設置時にすでに発生している先行変位を考慮して求める。





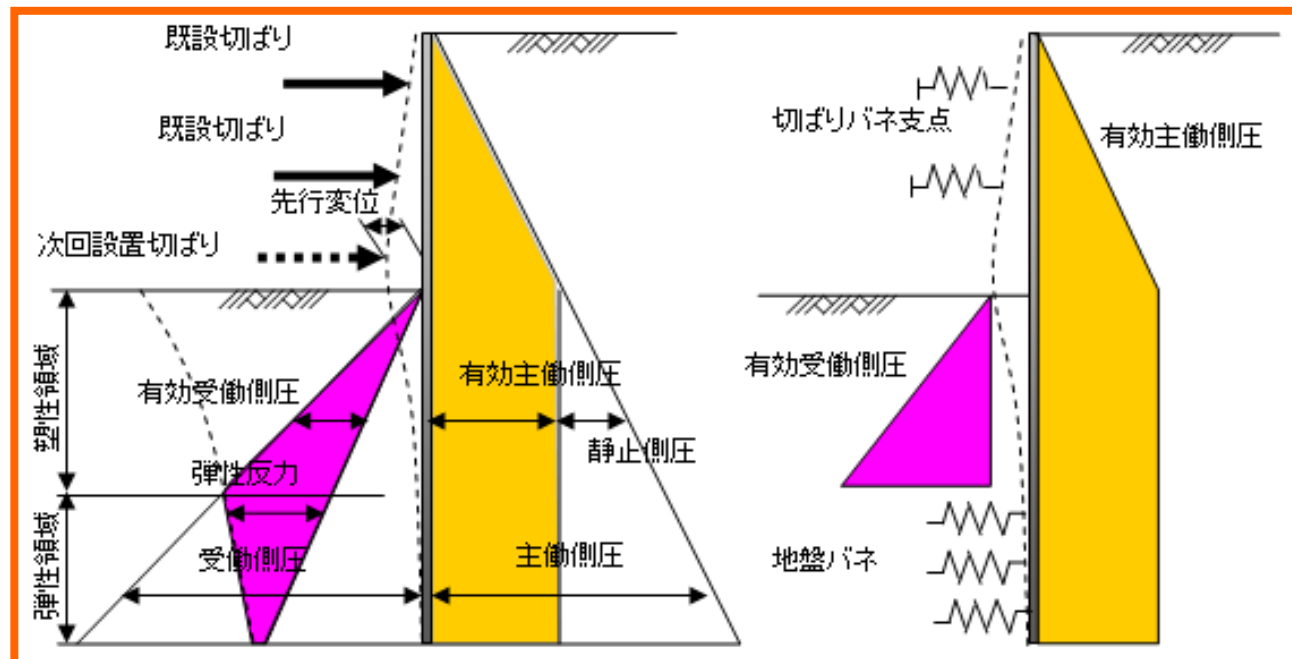
# 解析法 I における側圧の仮定

- (1) 掘削底面以浅には、土留め壁背面から主働側圧が作用するものとする。
- (2) 掘削底面以深には、土留め壁背面から主働側圧が作用し、掘削側は受働側圧が作用する。
- 掘削側は、「受働側圧」と「掘削側の静止側圧と弾性反力の和」とを比較して弾性領域(受働側圧を超えない)と塑性領域(受働側圧を超える)に分けて考える。

●有効主働側圧とは、背面側の主働側圧から掘削側の静止側圧を差し引いたもの

●有効受働側圧とは、掘削側の受働側圧から掘削側の静止側圧を差し引いたもの

“背面側から有効主働側圧が作用し、掘削側の塑性領域では有効受働側圧、弾性領域では土留め壁の変位に比例した弾性反力が働く”という表現となる。



# 先行変位に相当する荷重

## ■ 目的

新規に切梁を設置する位置における土留め壁の変位を直前の状態と同じにするために先行変位に相当する荷重を載荷させる。

## ■ 先行変位相当荷重

先行変位に相当する荷重は、切梁バネ値 × 先行変位) で計算する。

$$P = K_s \cdot \delta_o$$

ここに、

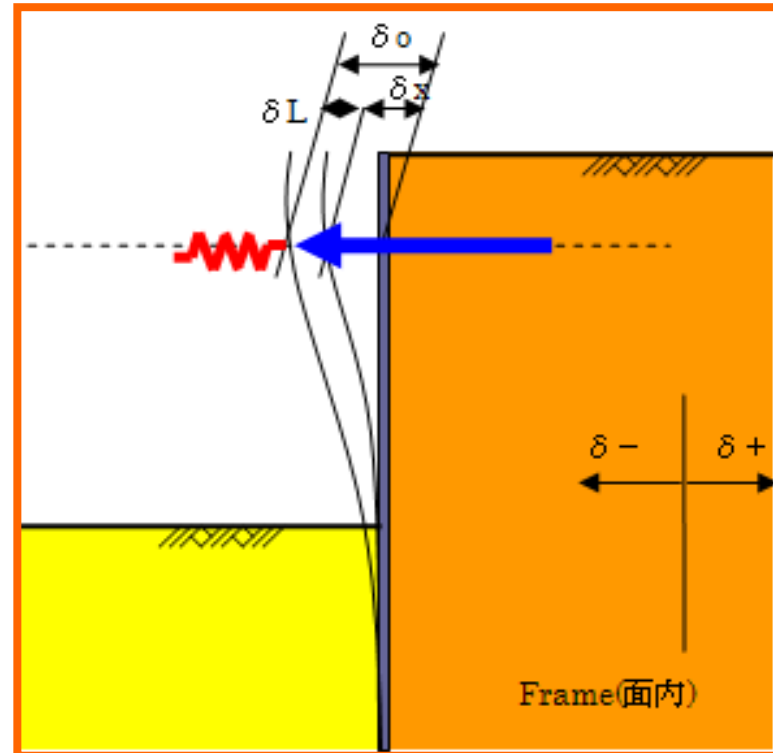
$K_s$ : 支保工バネ値

$\delta_o$ : 先行変位

$$\delta_o = \delta_x + \delta_L$$

$\delta_x$ : 支保工設置予定位置での壁体変位

$\delta_L$ : 施工ゆるみ(入力値+)

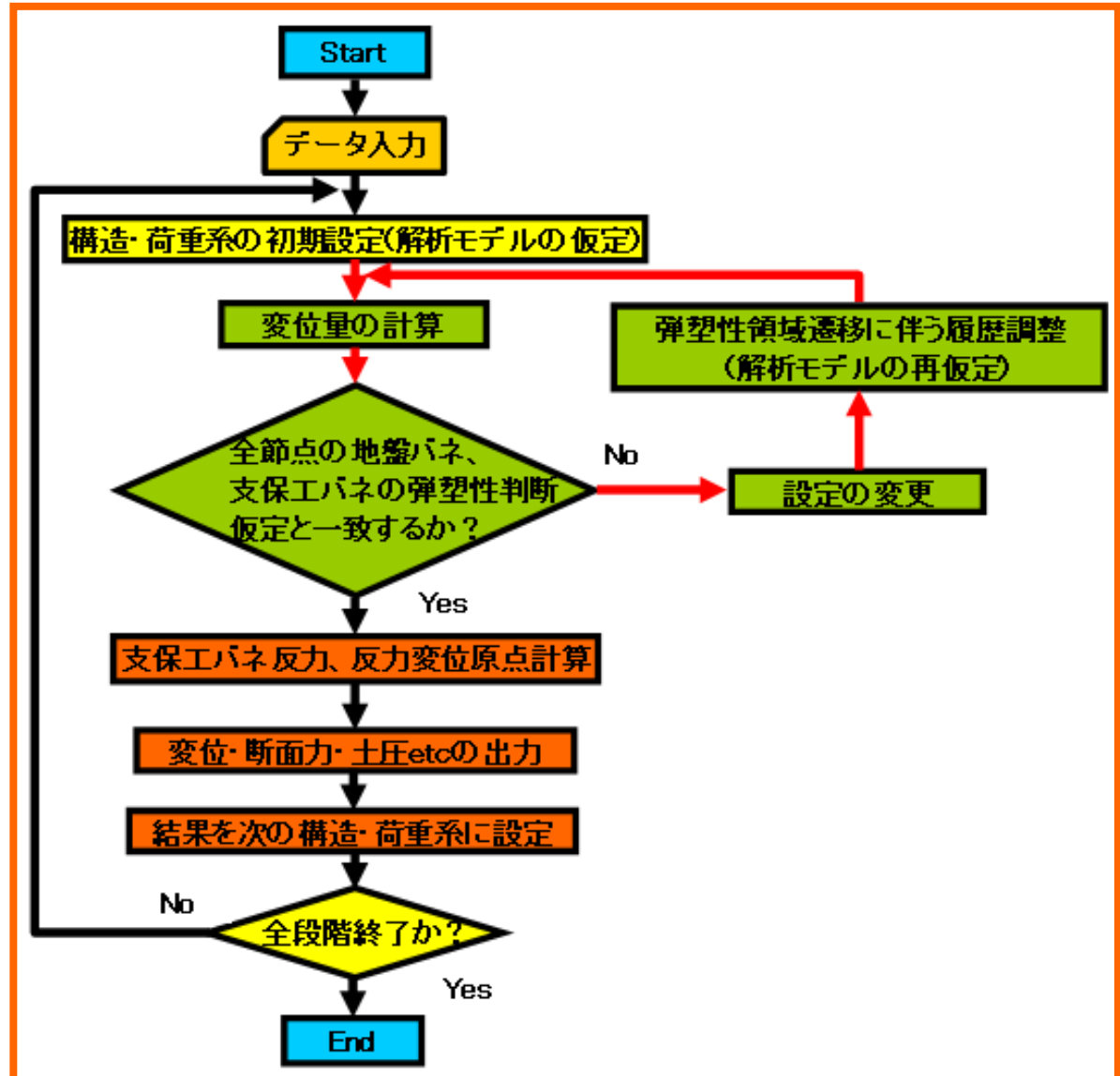


# 解析法Ⅰの解析フローチャート

## ■ 収束計算

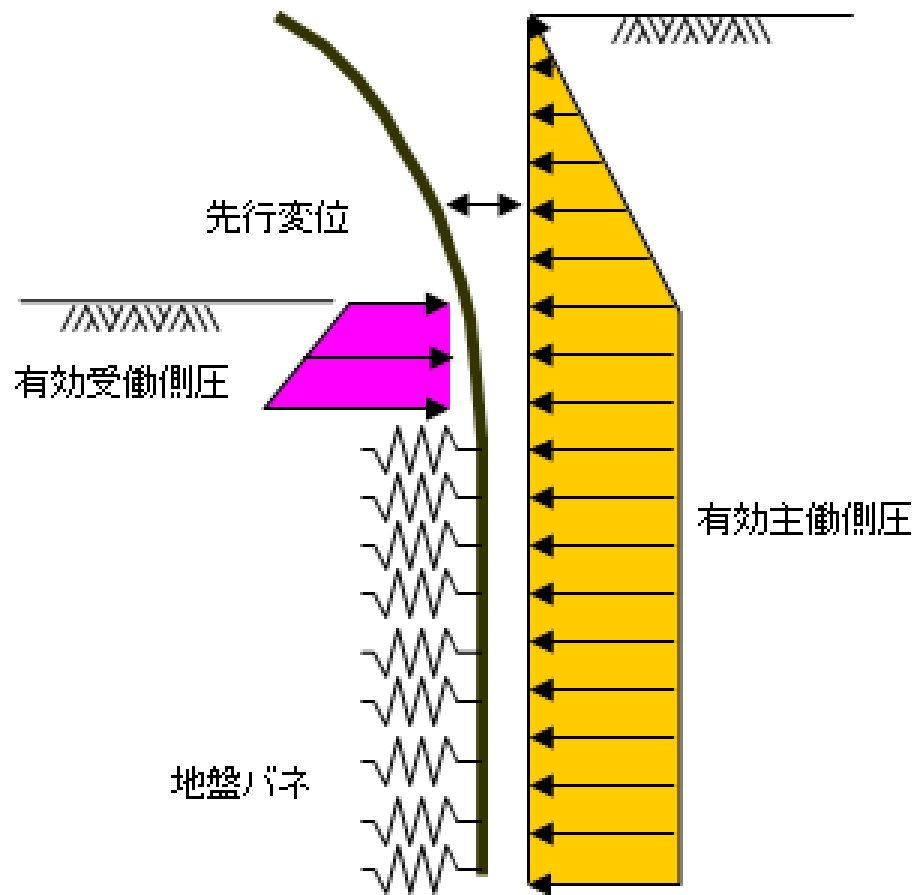
右図のフローチャート緑色の部分が、ある検討ケースにおける収束計算部になる。

全節点の地盤バネ状態、支保工バネ状態の弾塑性状態が、仮定した解析モデルと一致するまで、繰り返し計算を行い、一致した時点で収束計算が終了する。

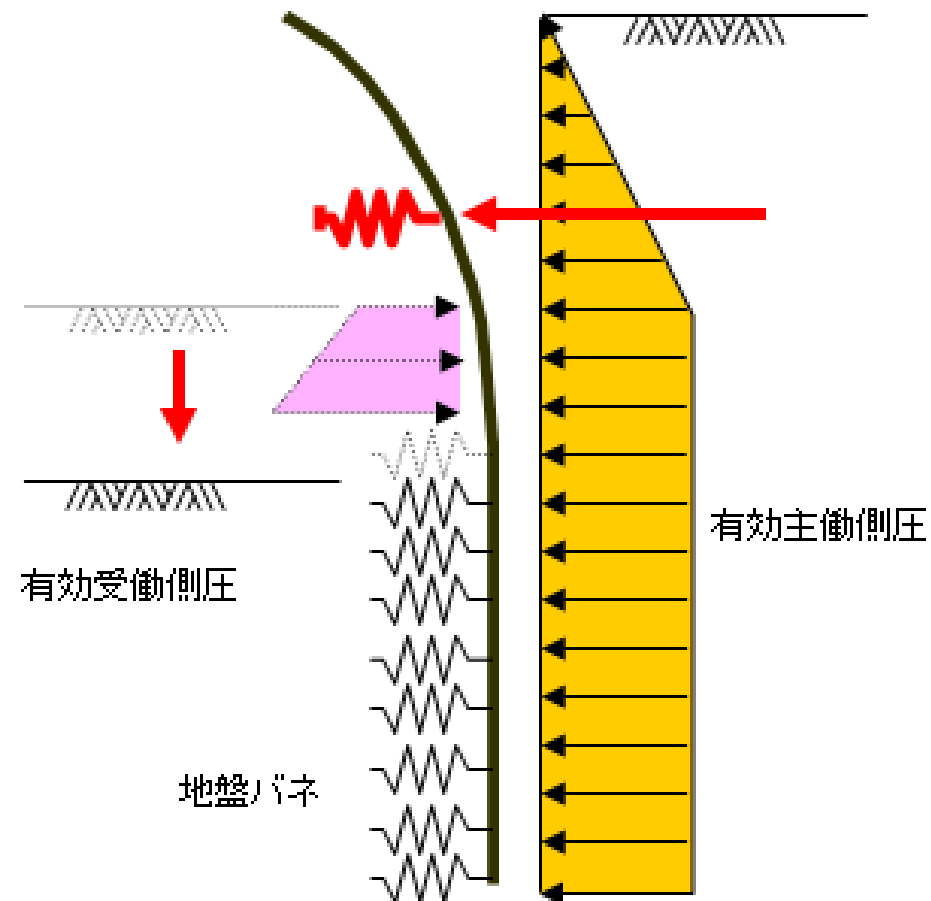


# 収束計算とは

## ■ 自立時の収束状態

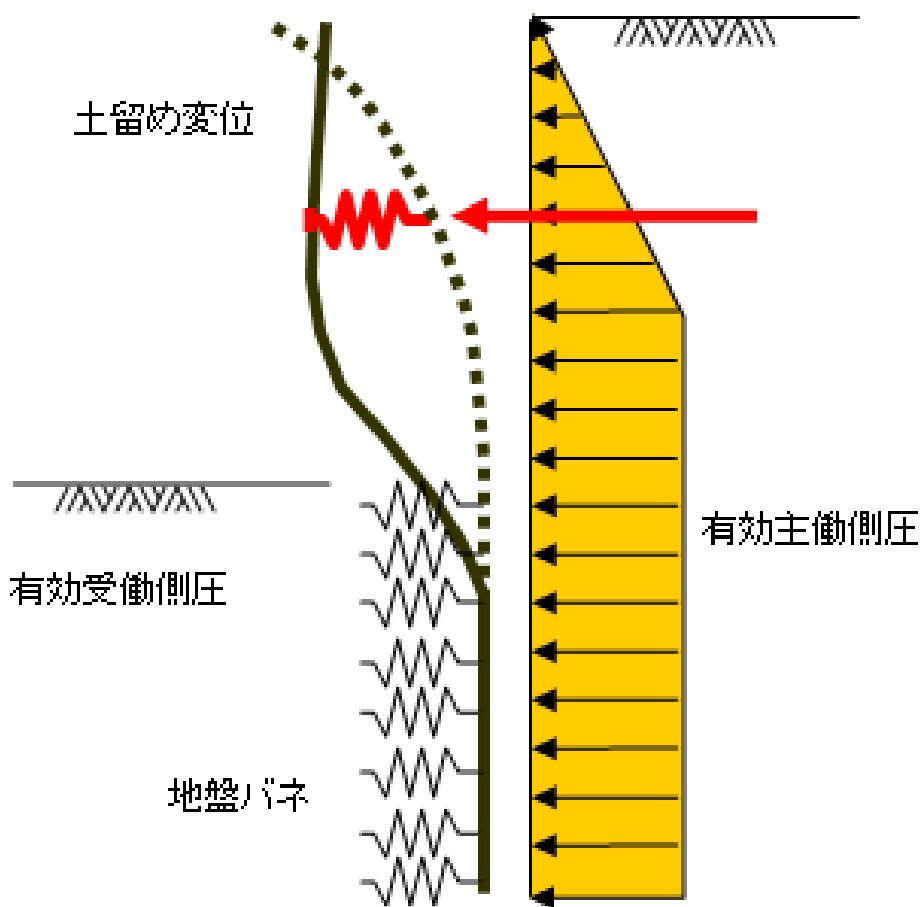


## ■ 2次掘削時の開始モデル (解析モデルの仮定)

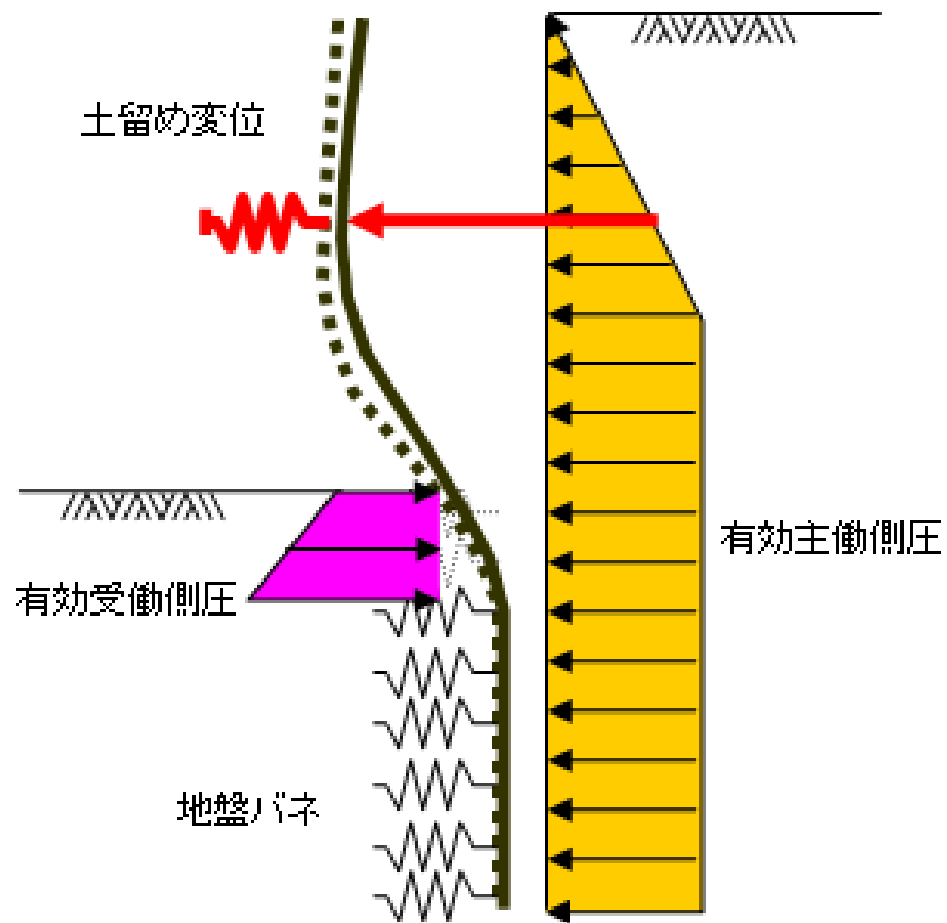


## 収束計算とは

■ 仮定した条件で解析した結果が一致しない

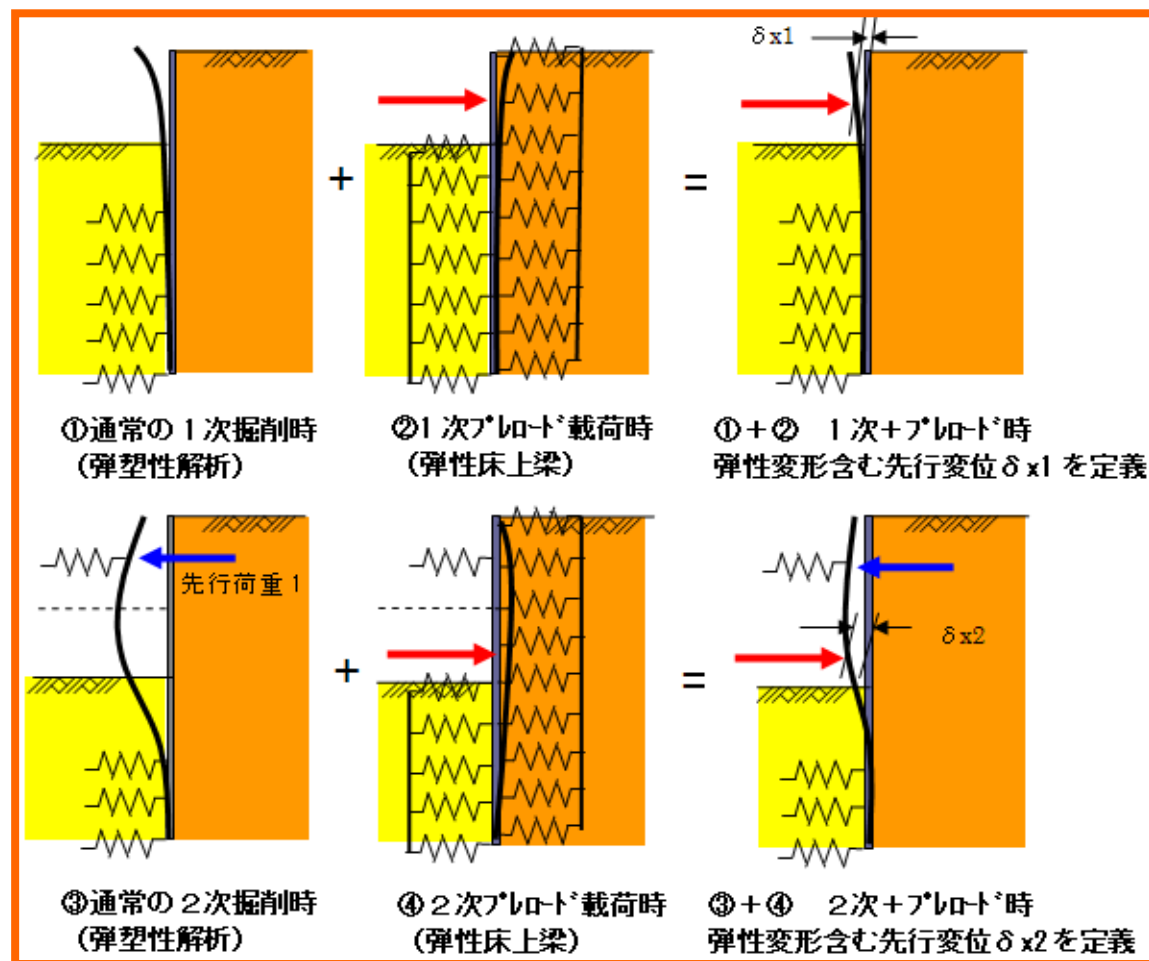


■ 仮定し直した条件で解析した結果が仮定と一致した。



# 解析法 I におけるプレロードの扱い

(背面側に変位することを想定していない) 解析法 I では、プレロードをかけない通常の掘削状態での弾塑性解析結果とプレロード荷重を弾性床上に作用する集中荷重と見做して計算した結果とを重ね合わせる方法で検討する。





# 解析法II

---

## 解析法Ⅱの基本的な考え方

解析法Ⅱとは、仮設指針P. 104では、上から5行目にある土木研究所の方法（土木研究所資料第2553号「大規模土留め壁の設計に関する研究」）、具体的には、仮設指針P. 356に示される「偏土圧が作用する土留めの設計」で行っている解析方法の事です。

土木研究所資料では、プレロード工法やアースアンカー工法を用いた土留め壁の挙動を解析するためには、従来（＝解析法Ⅰ）は、便宜上、プレロードをかけない通常の掘削状態での弾塑性解析結果とプレロード荷重を弾性床上に作用する集中荷重と見做して計算した結果とを重ね合わせる方法で検討していたのに対して、

- (1) 地盤の力学的非線形性から土留め壁の挙動は単に重ね合わせで表すことができない
- (2) 壁体の変位に伴う初期プレロード荷重の変化も厳密にモデル化できていない

と指摘しています。

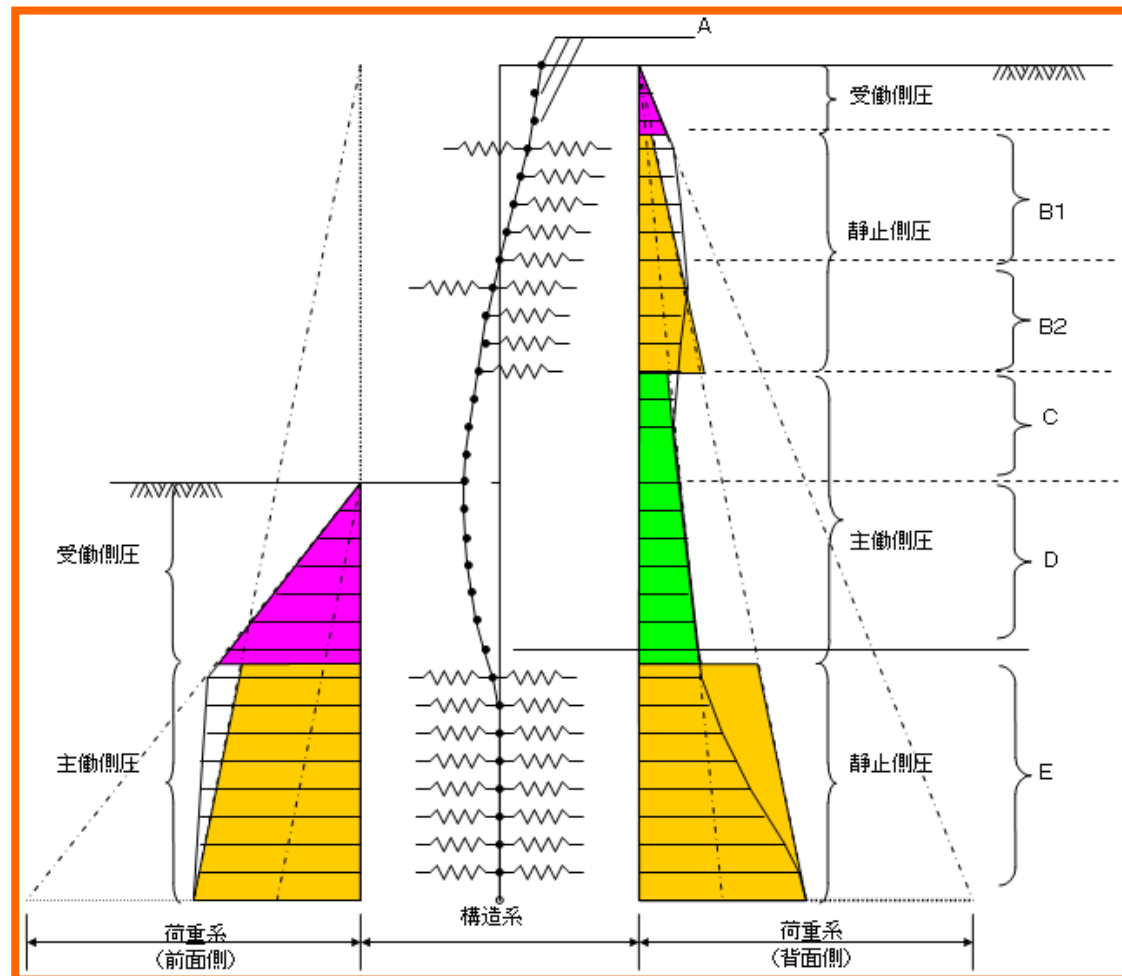
そこで、プレロードによる影響と掘削による影響とを一連の解析の中で相互に関係付けられるものでなければならぬとして、弾塑性法を基本的な考えとするが、**背面側にも地盤によるバネを設けて**プレロードの効果を考慮できるようにし、地盤の反力土圧～変位履歴経路を定めて変位に応じた土圧を壁体の前面・背面に渡って設定できるようにした解析方法を示しています。

## 解析法Ⅱの基本仮定

- (1) 土留め壁は有限長の弾性ばり、地盤を弾塑性床、支保工を弾性支承としてモデル化する。
- (2) 壁体に作用する側圧は主働側圧を下限とし、受働側圧を上限とする。すなわち、前面及び背面(地山)側の地盤バネは、地盤反力度が下限(主働側圧)または上限(受働側圧)に達したら、各極限側圧が作用するものとし、バネ剛性を0とする。
- (3) 壁体に作用する側圧とバネは、壁体の変位方向の変化に伴い以下の挙動を示す。
  - ①壁体を押している状態から壁体に押される状態に変位方向が変化する場合は、直ちに主働状態から受働状態に移行する。
  - ②壁体に押されている状態から壁体を押す状態に変位方向が変位する場合は、直ちに受働状態から主働状態に移行する。

# 解析法IIの解析モデル

地盤や支保工を弾塑性支承とみなし、各節点で支持された梁部材に側圧による荷重が作用する連続構造モデルを設定します。

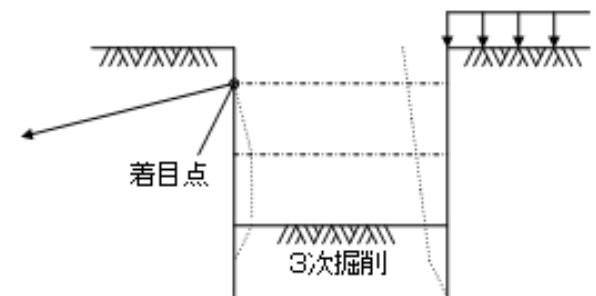
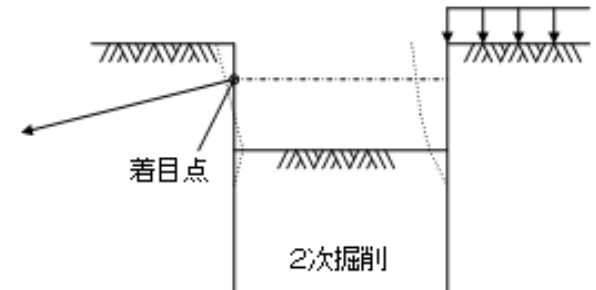
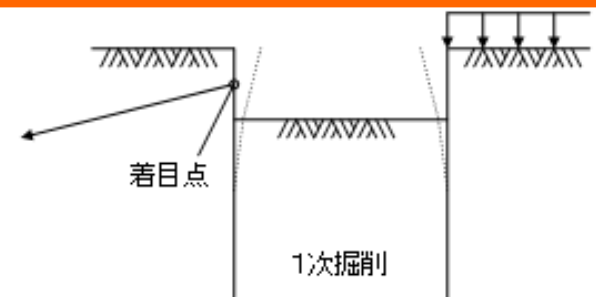
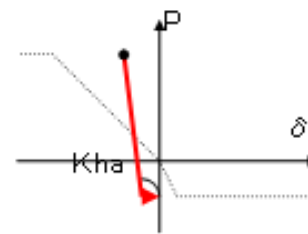
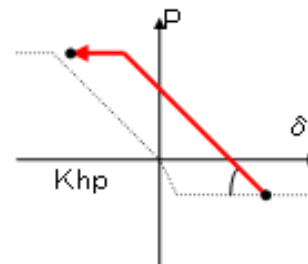
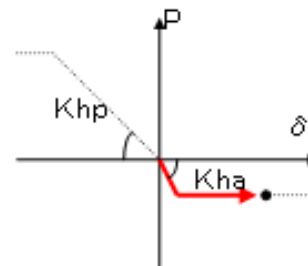


# 壁の変位と側圧の履歴（解析法II）

仮設指針P.359～P.360において、『偏土圧が作用する土留めは、掘削に応じて壁の変位が大きく変化する場合があります。』

この際の地盤反力は、同一の側圧経路を履歴するのではなく、下図に示すように変位の変化に伴い反力の発生状況もその都度変化するものとする。

すなわち、1次掘削で壁は大きく掘削面側へ変位して背面側の土圧は主働土圧になると仮定する。次に2次掘削でこの壁が対面壁により背面側へ押されるときに、壁の変位が主働側の塑性限界の位置に戻るまで背面側に反力が発生しないとするのではなく、背面側へ押された時点から背面側には地盤の圧縮に伴う反力が発生すると考える。ここでは、このような側圧の履歴を考慮した。』と記載されています。



着目点の地盤反力と変位の関係

掘削と土留め壁の変位の関係

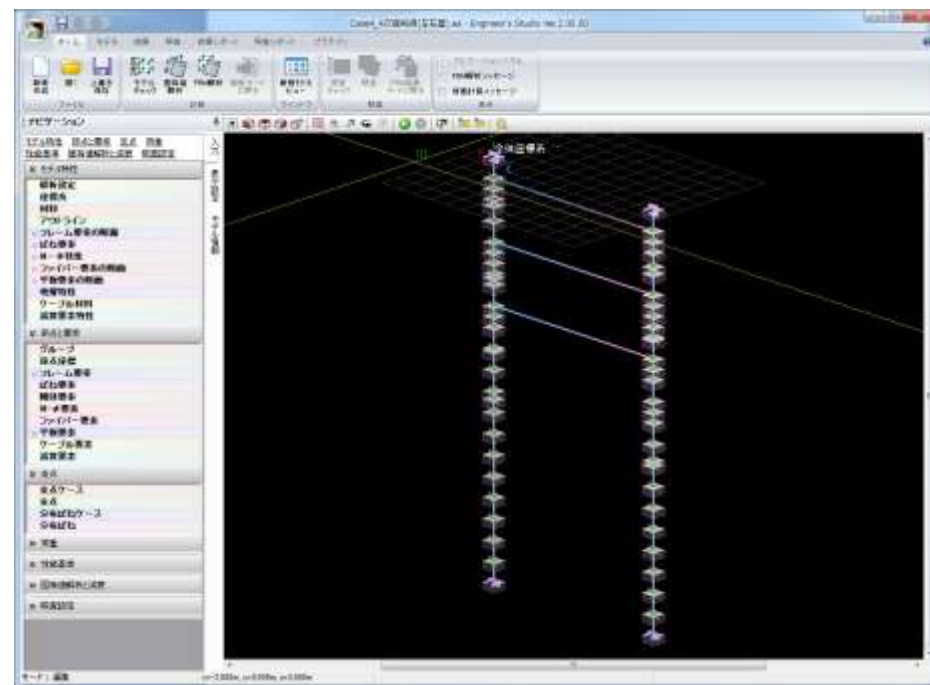
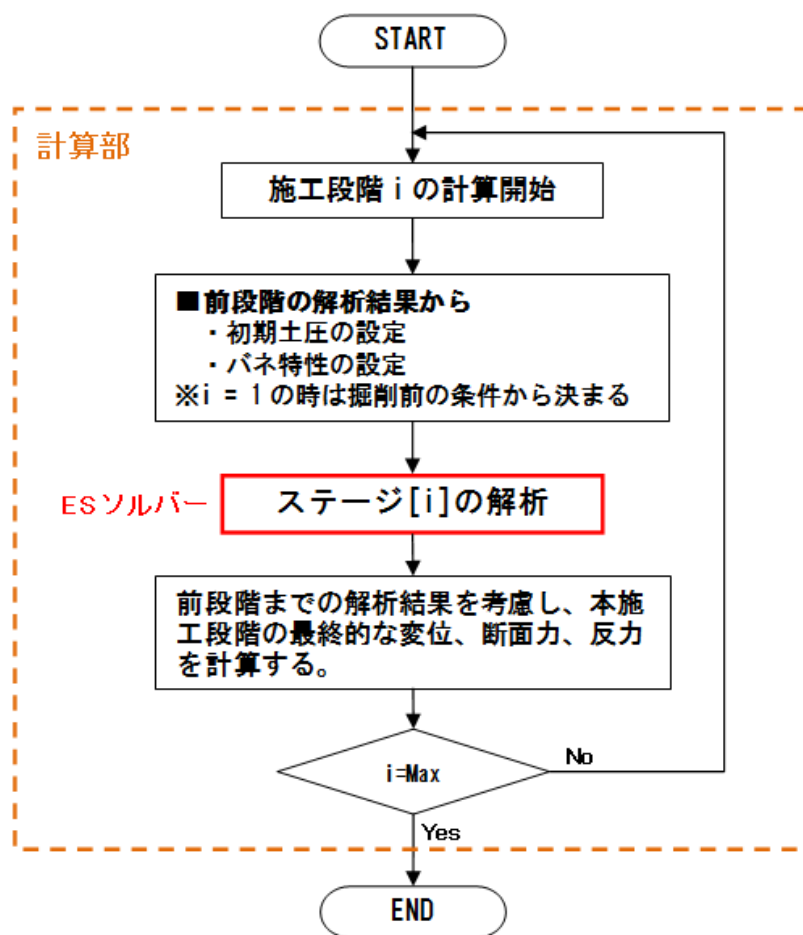


# 本プログラムでの取り扱い (解析法IIについて)

---

# 解析法IIについて

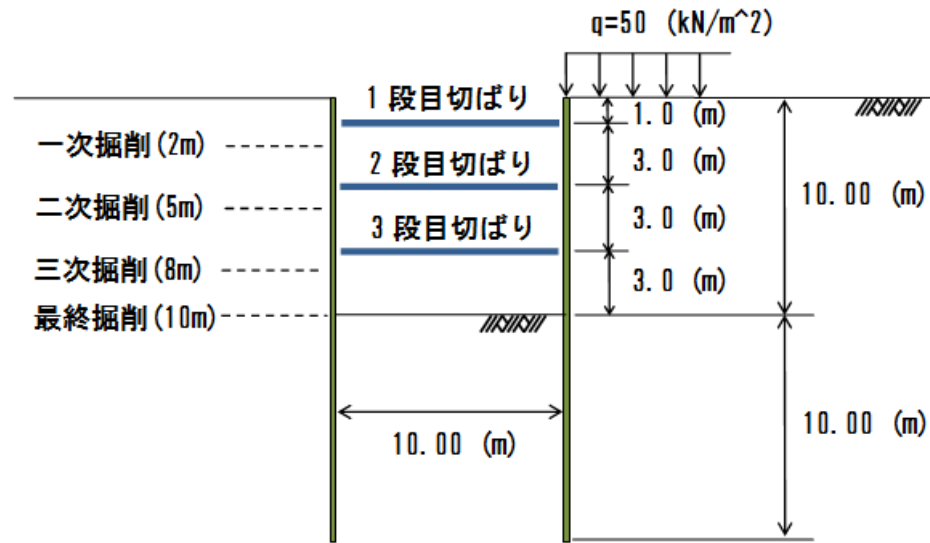
解析法Ⅱでは当社「Engineer's Studio®」の解析部を使用して各施工ステップごとに解析を行います。各ステップごとに解析を行うため、ある施工ステップの変位や断面力はそれまでの計算結果の累計となります。



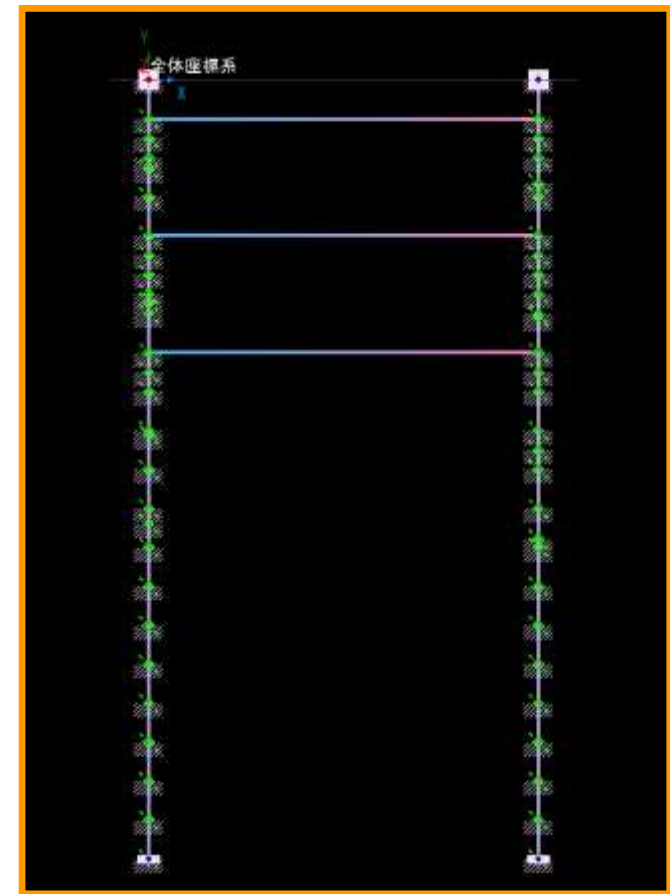
▲Engineer's Studio®

# 解析モデル

以下のようにモデル化されます。



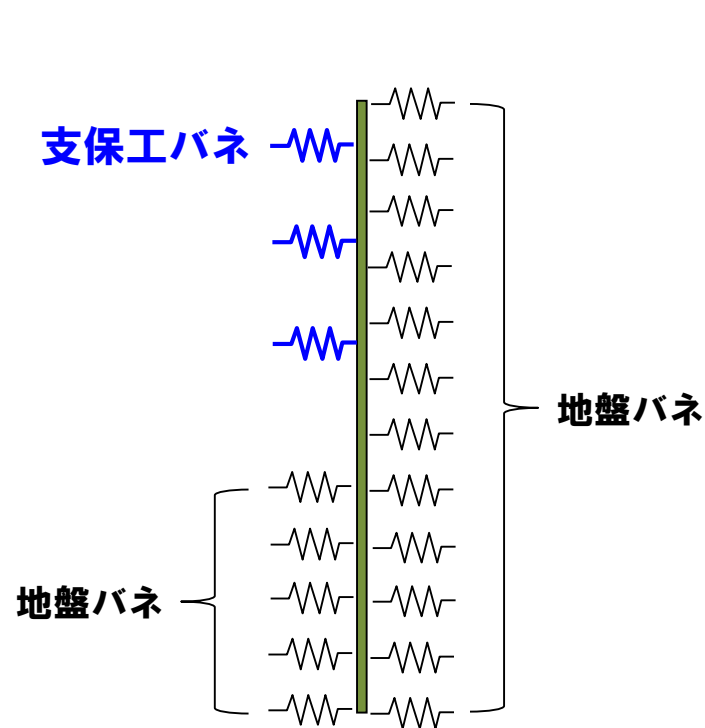
土留め壁	有限長の弾性ばり
支保工	支保工バネ (両壁一体解析の場合は剛性部材)
地盤	弾塑性地盤ばね (非対象バイリニアモデル)



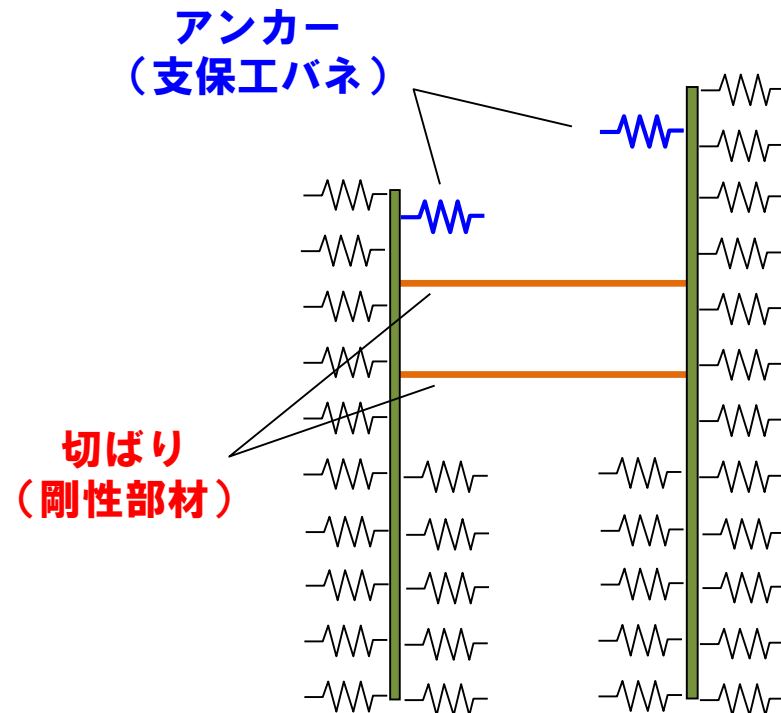
▲解析モデル(Engineer's Studio®)

## 解析モデル：支保工

単壁解析の場合、切ばりもアンカーも弾性ばねとしてモデル化します。  
両壁一体解析の場合、切ばりは剛性部材としてモデル化します（アンカーは支保工ばね）。



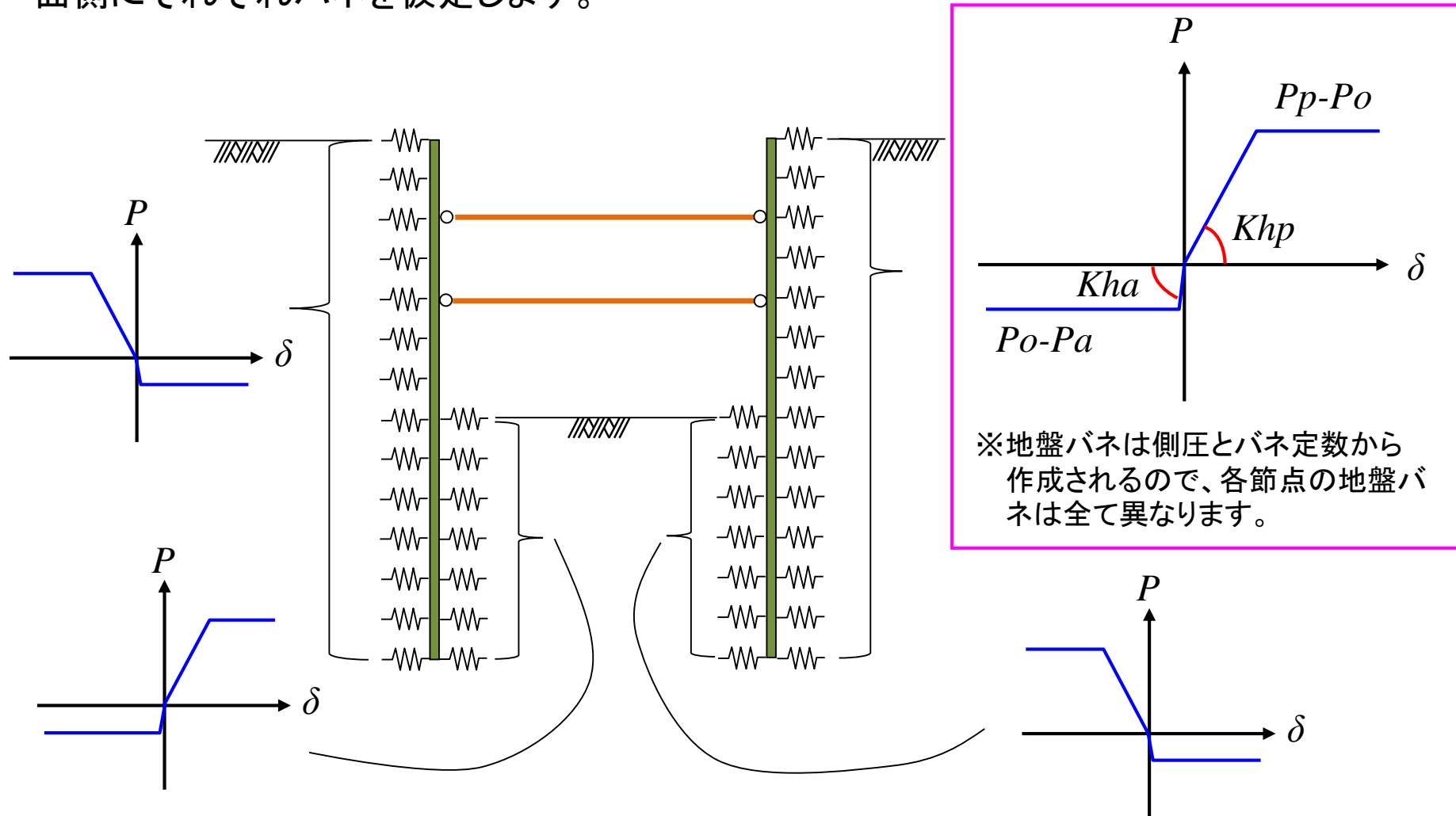
▲単壁解析の場合



▲両壁一体解析の場合

# 解析モデル：地盤ばね

地盤については、各節点に弾塑性地盤ばね(非対象バイリニアモデル)として考慮します。この時、掘削底面以浅には壁の背面側に、掘削底面以深には壁の背面側と掘削面側にそれぞれバネを仮定します。



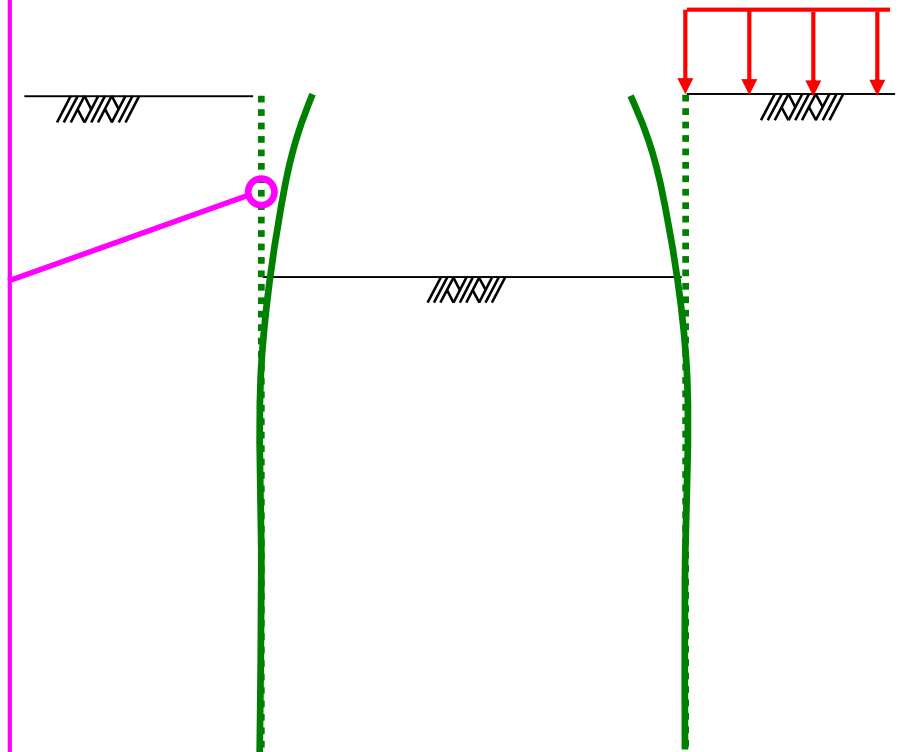
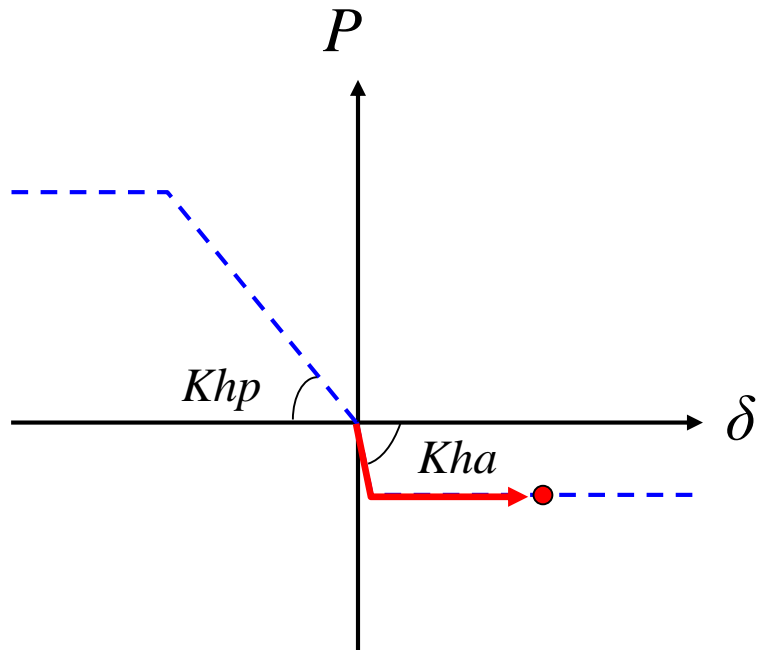


# 解析モデル：地盤ばねの挙動

## ■ 1次掘削時

着目点は掘削側に変位します。

着目点

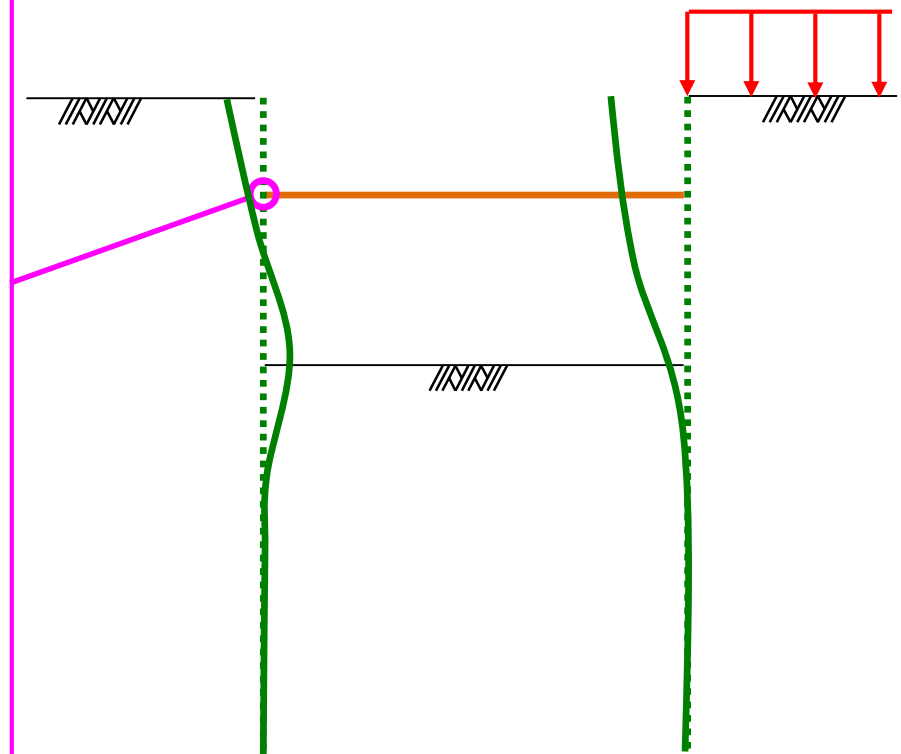
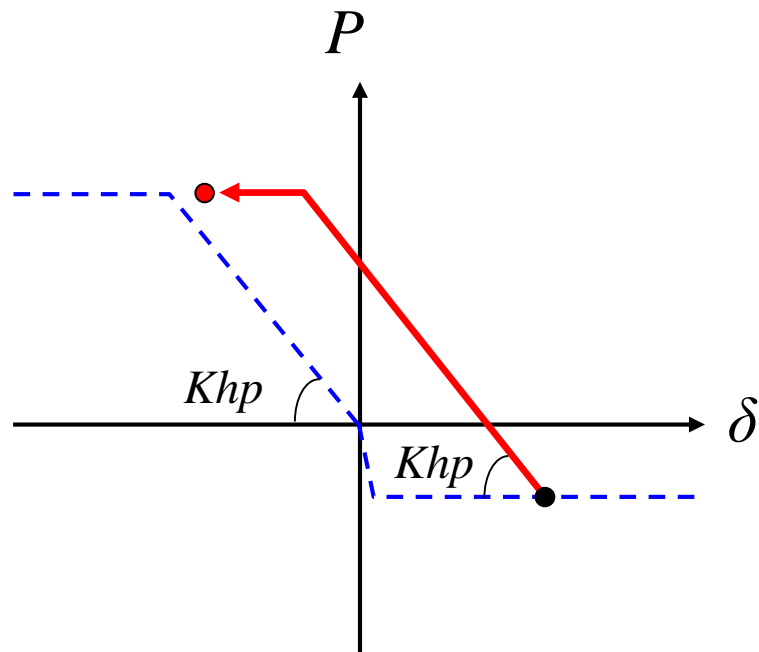


# 解析モデル：地盤ばねの挙動

## ■ 2次掘削時

偏土圧が作用するケースなので、2次掘削時に着目点は背面側に変位します。

着目点

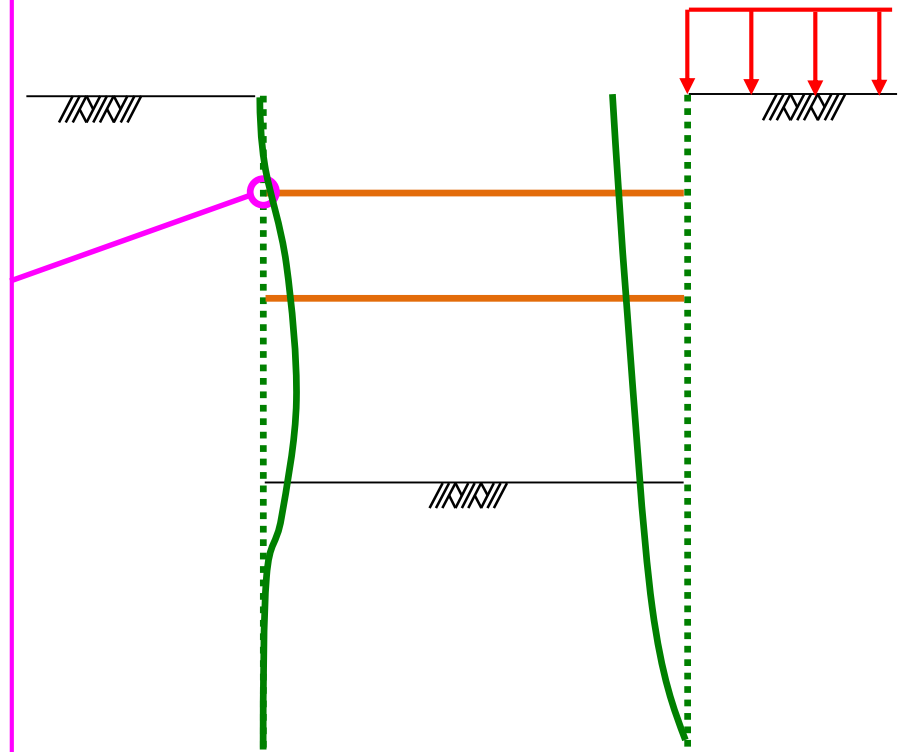
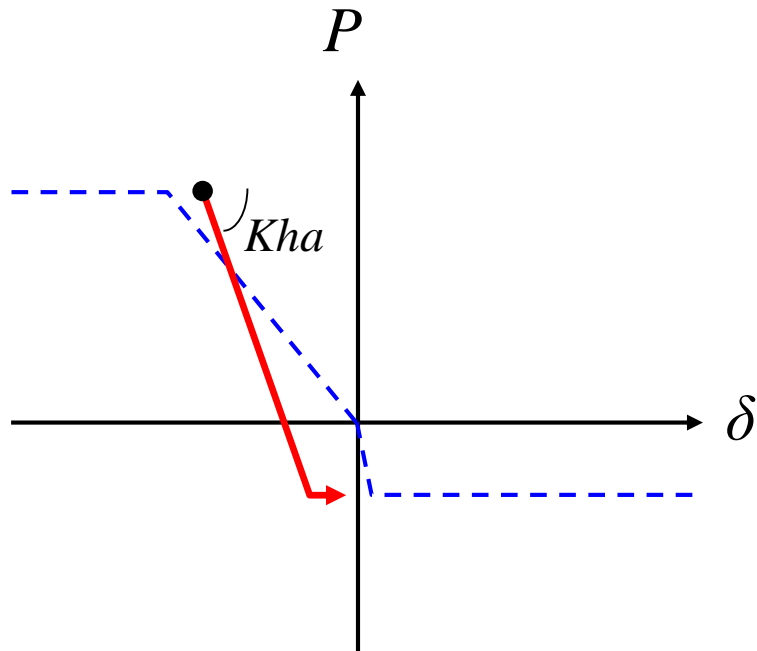


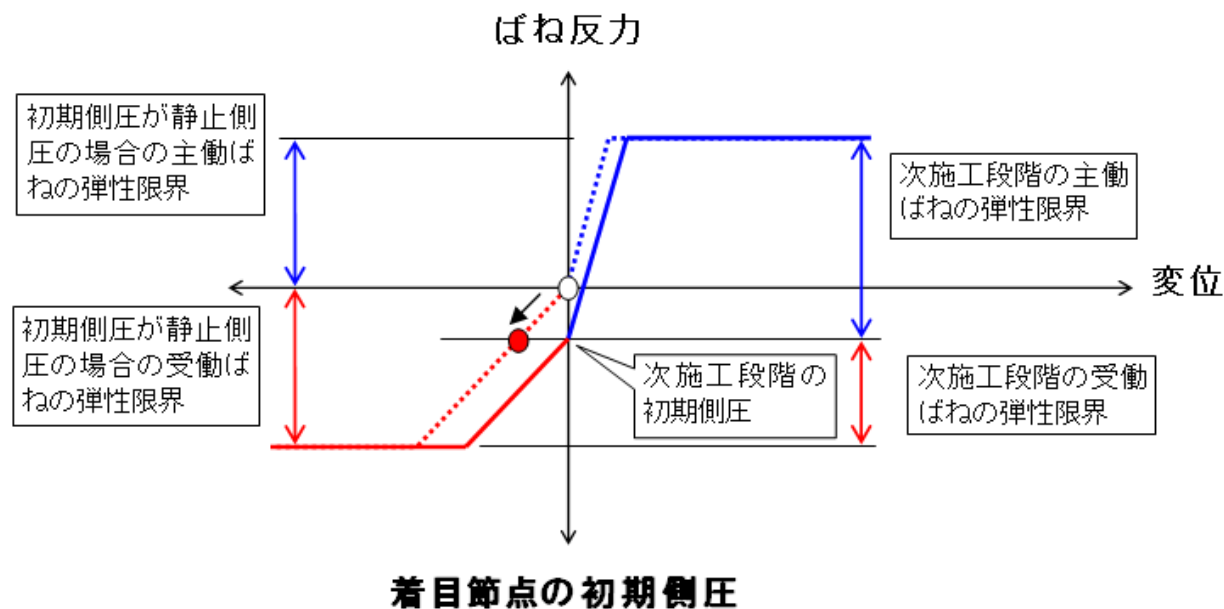
# 解析モデル：地盤ばねの挙動

## ■ 3次掘削時

3次掘削時に着目点は再び掘削側に変位します。

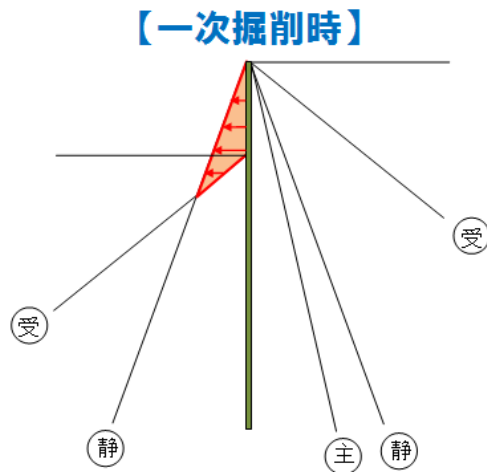
着目点



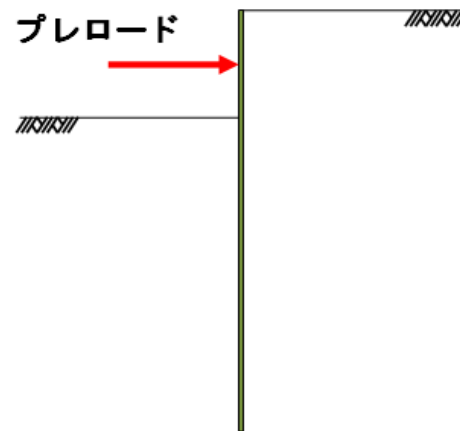


# 荷重について

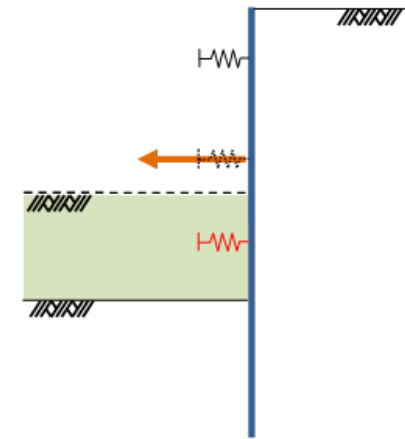
検討ケース	荷重名称	説明
掘削時	除荷荷重	掘削前と掘削後の側圧の差分を荷重として与える。
プレロード時	プレロード荷重	当該施工段階(プレロード時)にプレロードのみを載荷させる。
支保工撤去時	撤去荷重	撤去する支保工の反力と等価な値を除荷



▲除荷荷重



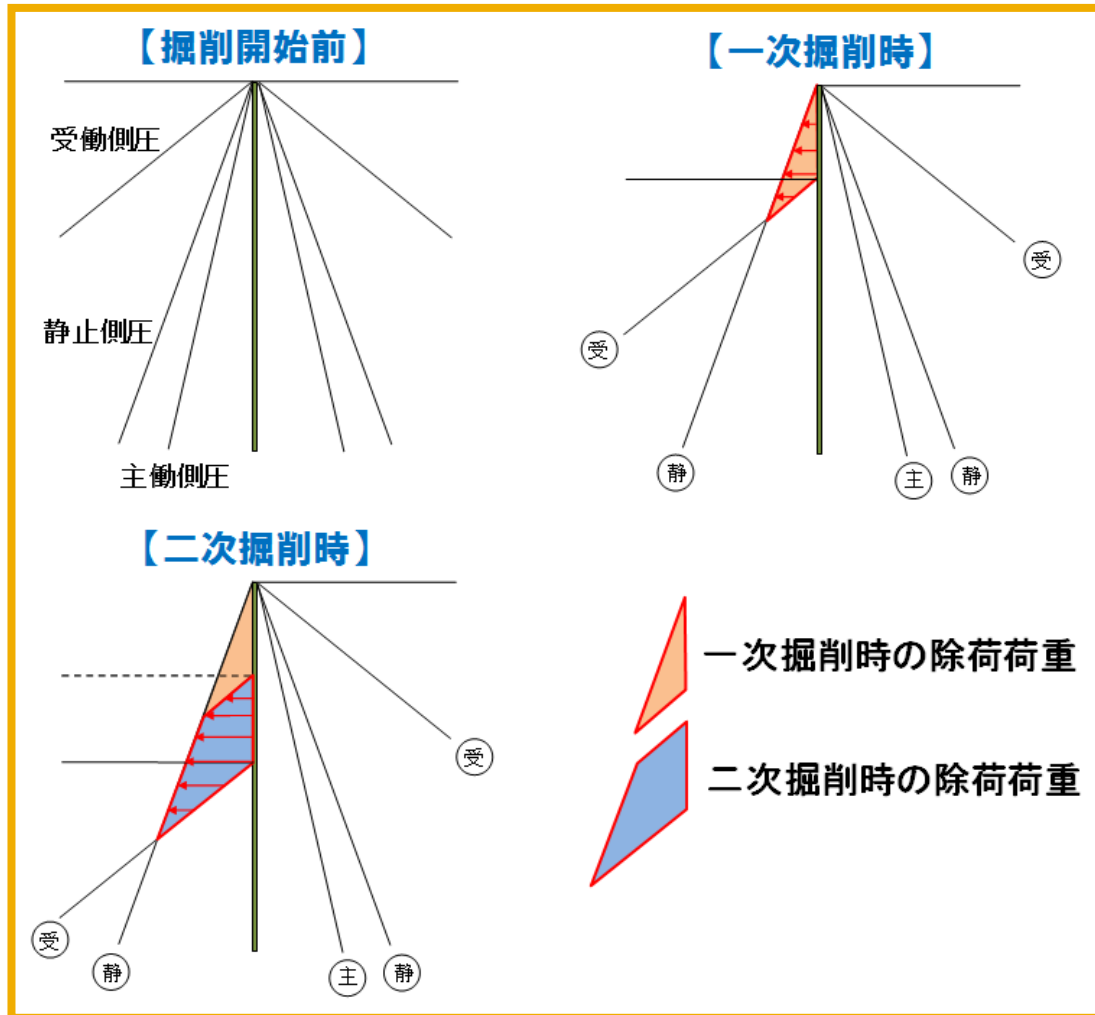
▲プレロード荷重



▲撤去荷重

# 荷重：掘削時

- 掘削前と掘削後の側圧の差分を荷重として与えて解析(除荷荷重)

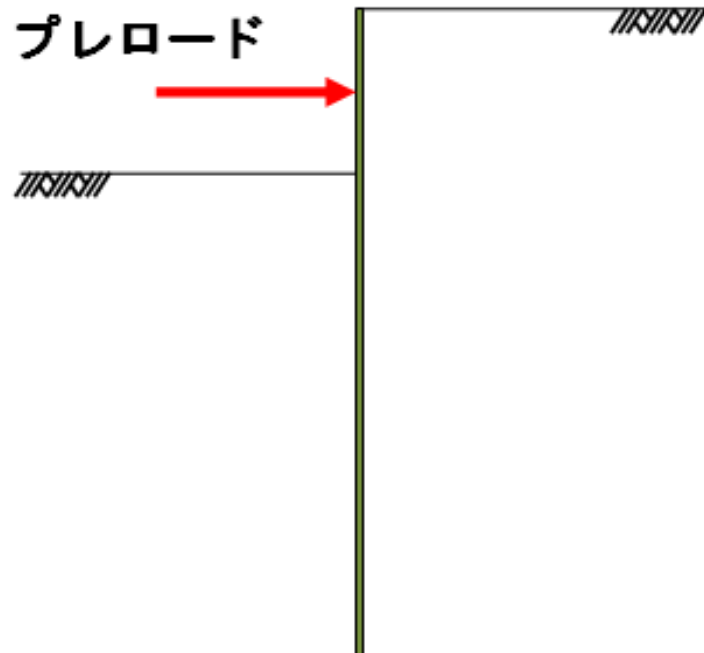


差分荷重を分割して(少しずつ) 載荷させ、分割数分の計算を行い、全差分荷重を載荷させる。

## 荷重：プレロード時

プレロードを検討する場合は、当該施工段階（プレロード時）にプレロードのみを載荷させます。

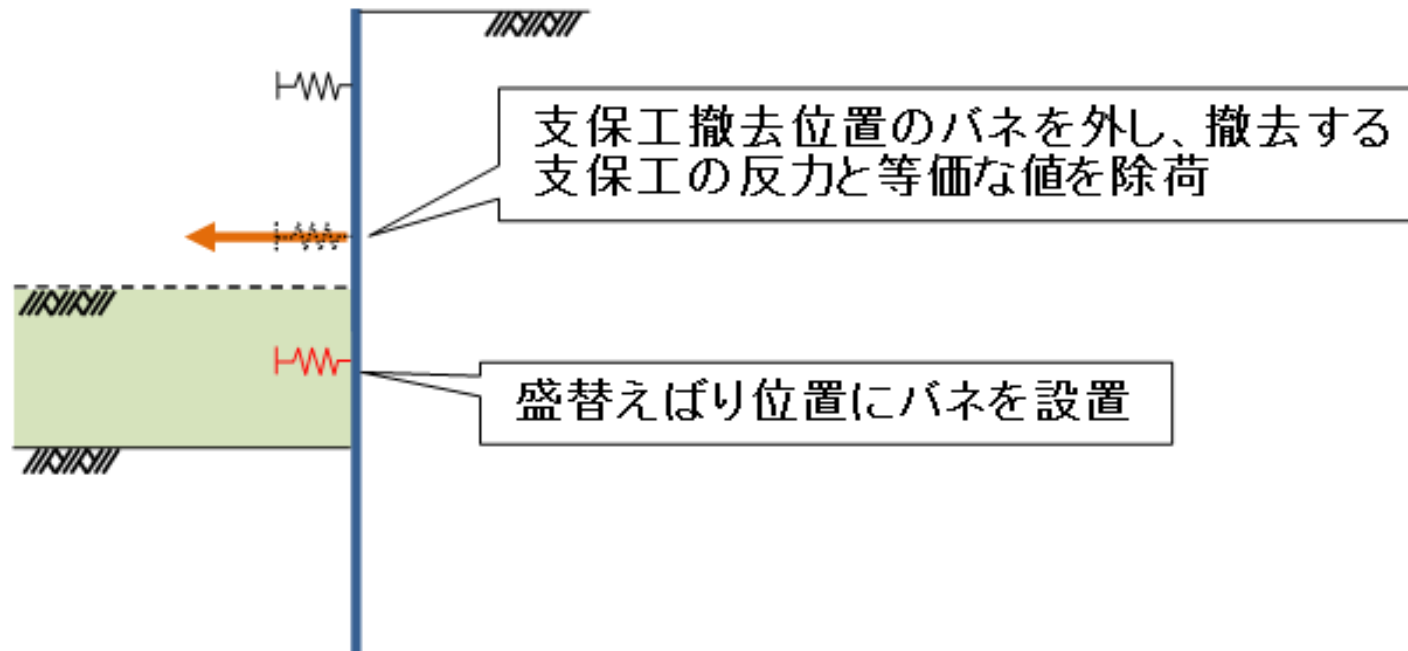
※解析法Ⅰでプレロードを考慮する際は、支保工バネ位置の変位をバネを設置しない場合の変位（先行変位）に一致させるために先行変位等価荷重を載荷していましたが、解析法Ⅱでは初期側圧にこの影響が反映されているので、先行変位等価荷重を載荷する必要はありません。





## 荷重：支保工撤去時

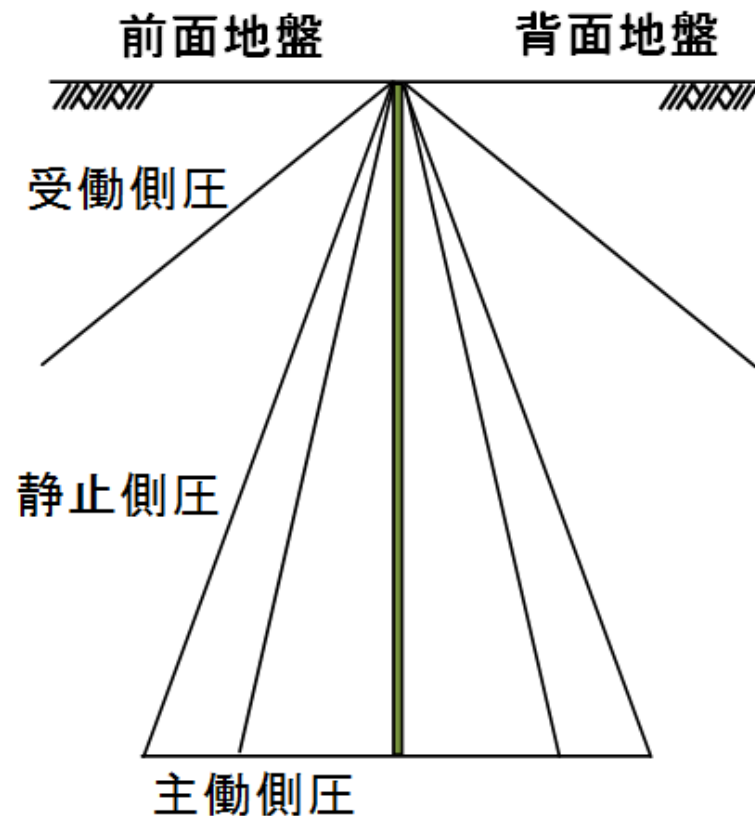
支保工撤去時は以下のように取り扱います。  
本プログラムでは、埋戻し地盤を考慮する場合は盛替えばりとしてモデル化します。



# 解析ステップモデル①

## (1)掘削開始前(建て込み時)

土留め壁の建て込み後、側圧が安定した状態であり、この前面及び背面の側圧(静止側圧)を初期側圧(初期側圧)とする。本プログラムでは、静止側圧については、この掘削開始前の安定状態を仮定して、掘削回数に関係なく履歴調整を行っています。

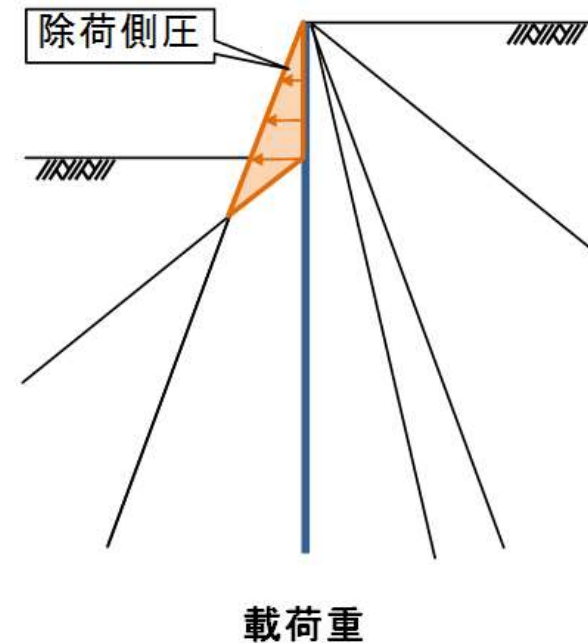
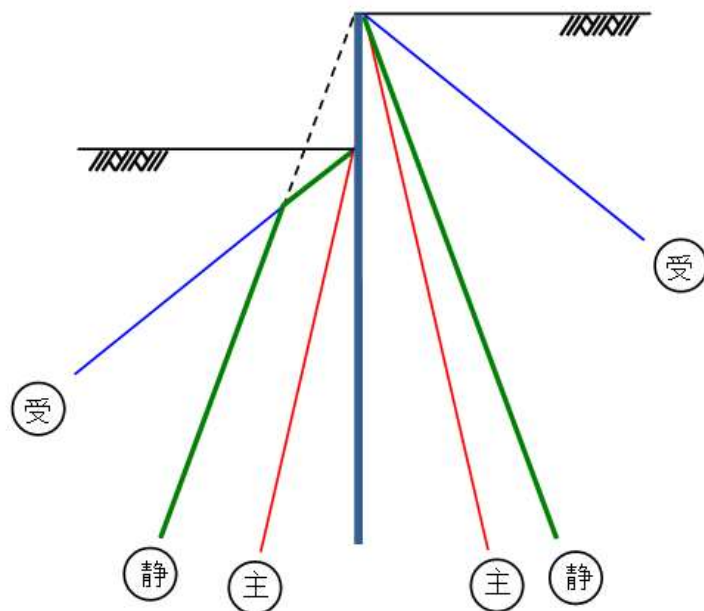


## 解析ステップモデル②

### (2)1次掘削後(1次掘削時の開始モデル):履歴調整

壁の変形を拘束しているため前背面共側圧の変化はない。ここで、前面側では掘削による土被りの減少に伴い受働側圧(上限)、主働側圧(下限)の履歴設定の調整をする。このステップでは、前面側の掘削後の主働、受働側圧を計算する。その上で、図の緑線部の荷重状態(静止側圧－除荷荷重)を求める。この荷重状態が1次掘削時の初期側圧になる。

なお、載荷重としては本掘削時の除荷荷重を掘削側への作用荷重として載荷する。

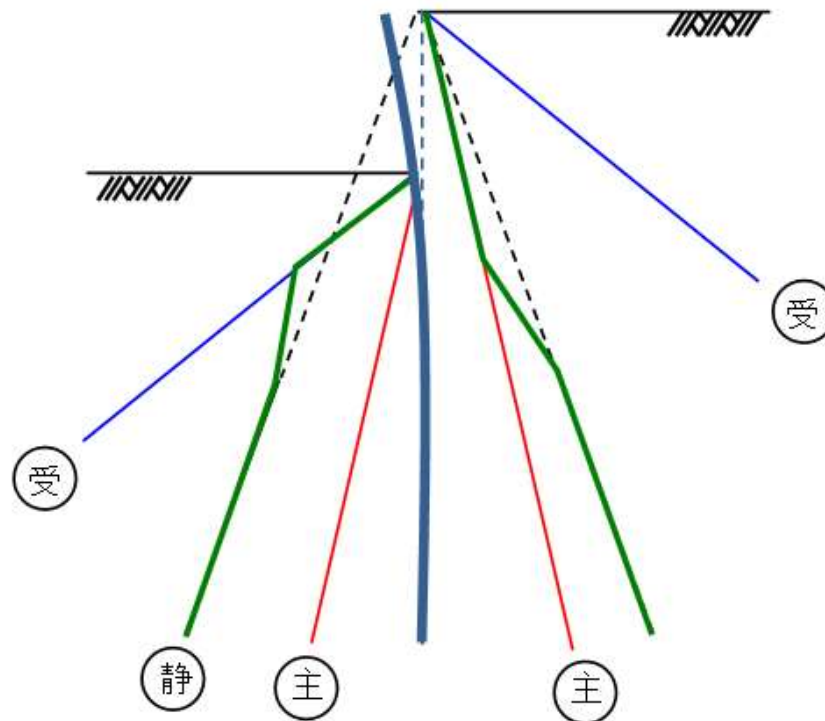


## 解析ステップモデル③

### (3)1次掘削後(1次掘削時の収束モデル):変形拘束の解除

壁の変形を解除するため、変形に応じて背面側圧は減少し、前面側圧は増加する。そして、設定された主働、受働の塑性境界を超えた分については塑性境界範囲内で再分配される。

このステップでは、(2)の荷重状態から「収束計算」を行う。図の緑色線が収束状態(荷重系)である。この荷重系(側圧＋地盤反力)が、次段階の初期側圧になる。

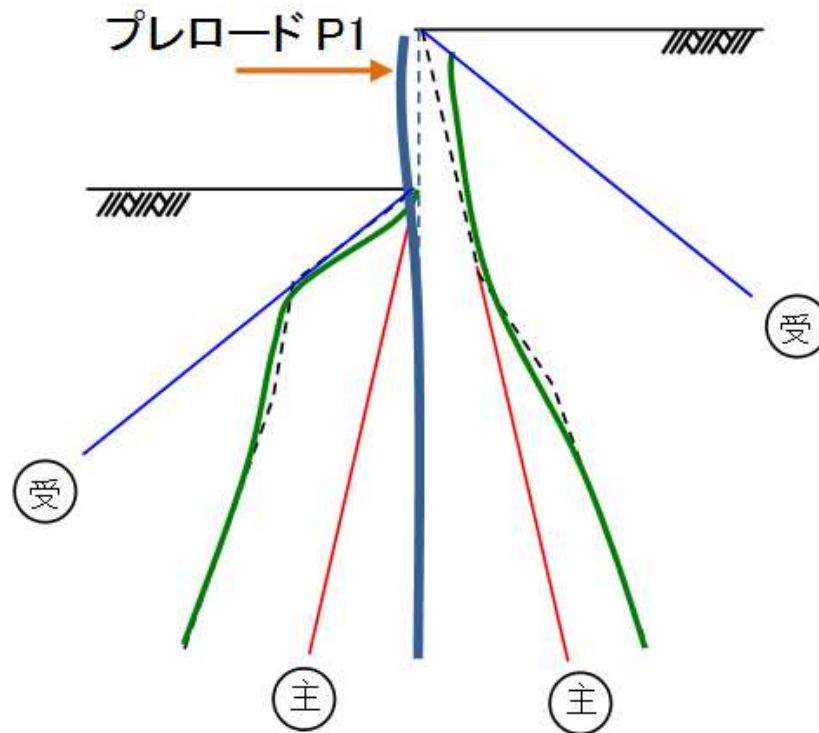


## 解析ステップモデル④

### (4)1段目支保工設置時のプレロード

プレロードにより壁は背面側へ押し戻され(3)と同様、変形に応じて側圧が作用する。また、背面でも受働塑性に至ることもある。

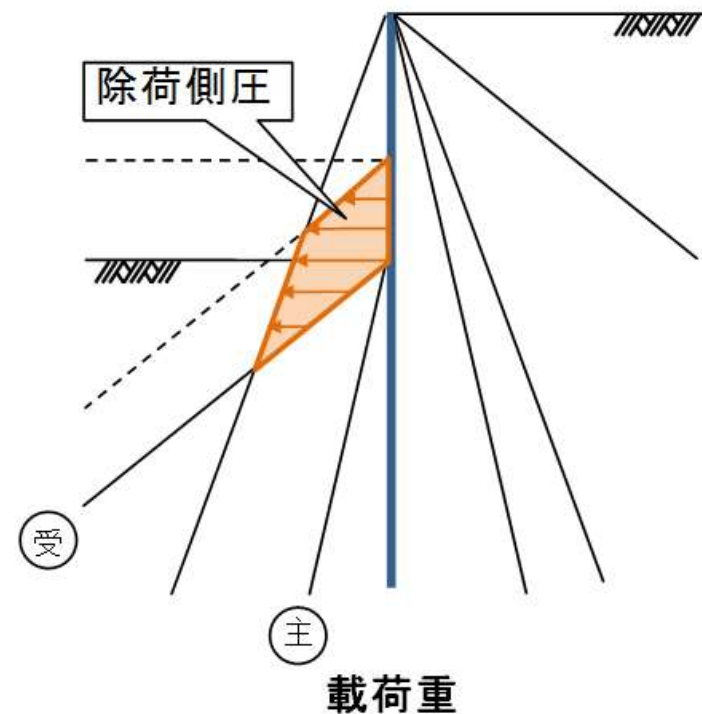
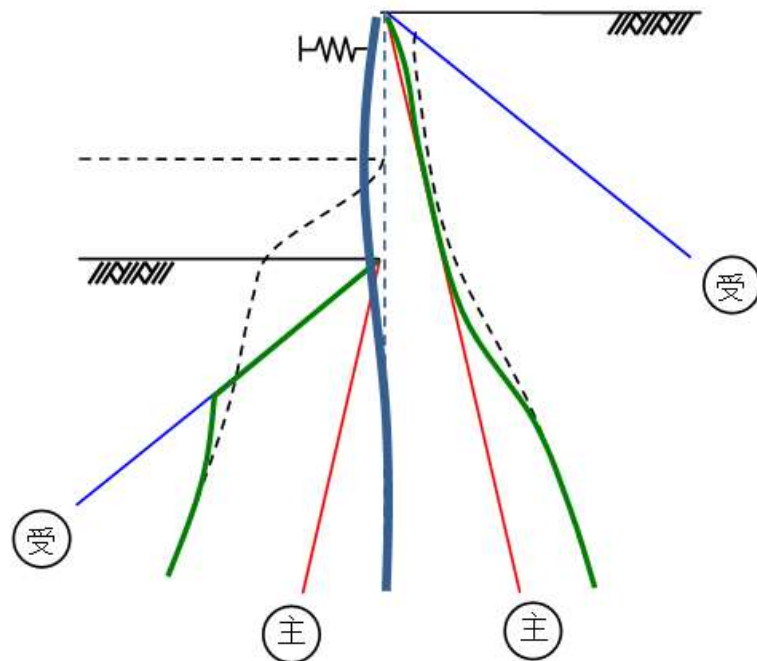
1次掘削と同様、「変形拘束→掘削→履歴設定の調整→拘束解除→変形→側圧の再分配」という過程を経る。この時、支保工反力がプレロード荷重からバネ支点反力へと変化する。



## 解析ステップモデル⑤

### (5)2次掘削時

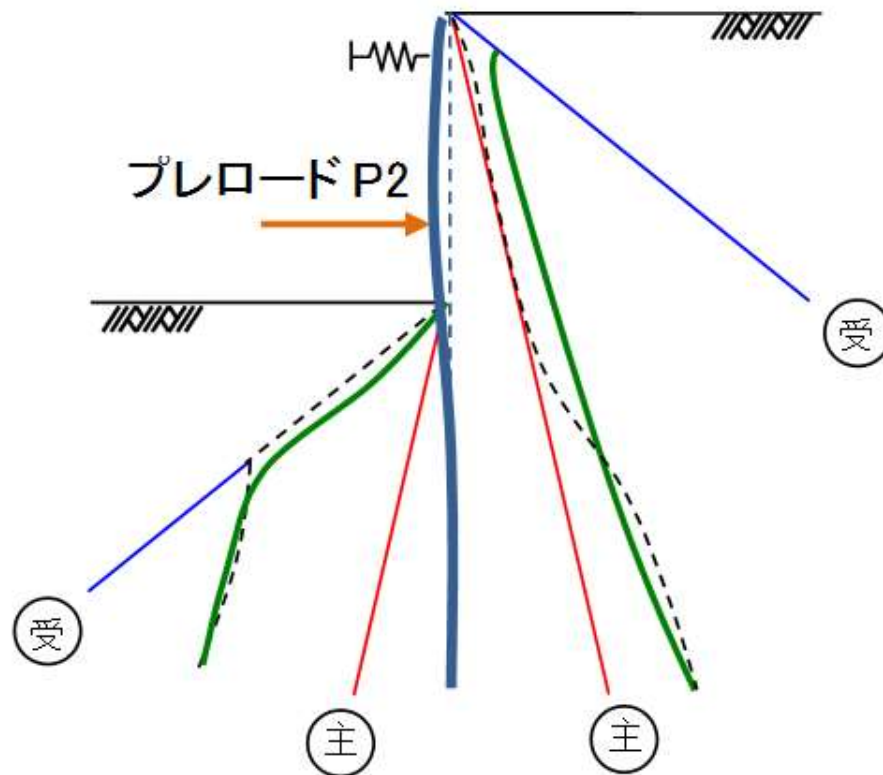
1次掘削と同様、「変形拘束→掘削→履歴設定の調整→拘束解除→変形→側圧の再分配」という過程を経る。この時、支保工反力がプレロード荷重からバネ支点反力へと変化する。



## 解析ステップモデル⑥

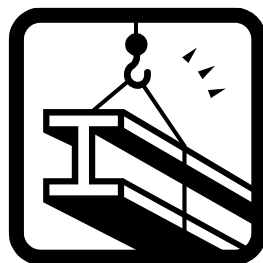
### (6)2段目支保工設置とプレロード

1次プレロード時と同様にして側圧が変化する。また、支保工反力も変化する。以下掘削終了まで(5)～(6)の繰り返しとなる。





## 操作実習



## 操作実習

- ①偏土圧が作用する土留め
- ②斜め切ばり
- ③切ばり+アンカー併用工
- ④その他

# **「土留め工の設計・3DCAD Ver.16」の紹介**

---

# 土留め工の設計・3DCAD Ver.16

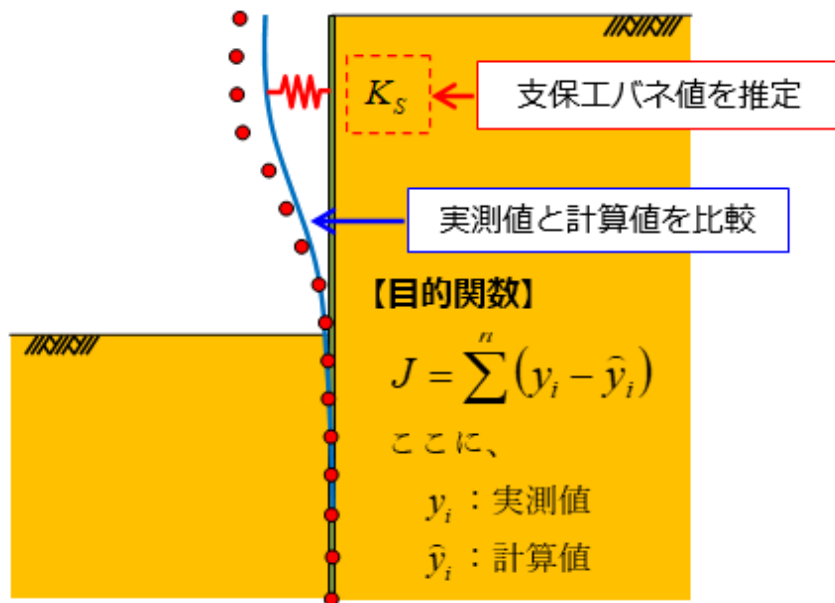
## Ver.16の主な改訂内容

リリース: 2020.8.31

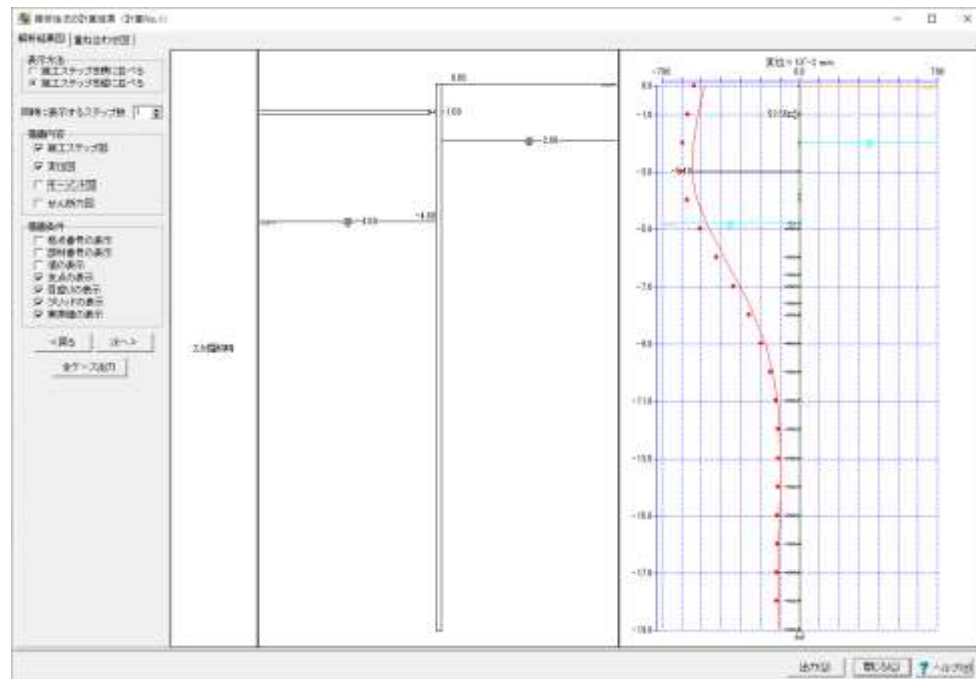
- 逆解析ツールのパラメータ推定として支保工のバネ値(水平バネ定数)に対応  
(Advanced版)
- 弾塑性法(解析法Ⅱ)において埋戻し土を考慮した撤去時の検討に対応(Standard版)
- 弾塑性法(解析法Ⅱ)の「掘削側の静止側圧の考え方」で『掘削後』に対応  
(Standard版)
- FEM解析(周辺地盤の影響)において局所安全率の計算に対応(Standard版)
- 法面の影響を考慮する場合、法面上への上載荷重の載荷に対応(Lite版)
- 鋼矢板 (ハット型) において材質SYW430に対応(Lite版)
- 腹起し(切ばり、火打ちなどの含む)の段数について4段までの検討に対応(Lite版)
- 3Dアトリビュート (属性表示) に対応(Lite版)
- その他要望対応

# 逆解析ツールのパラメータ推定として支保工のバネ値 (水平バネ定数) に対応

逆解析ツールによる推定パラメータとして、従来の地層パラメータに加えて支保工のバネ値(水平バネ定数)の推定に対応しました。逆解析ツールを用いることにより、推定パラメータを変動させた繰り返し計算を行い実測値とのフィッティングを行うことで、実際の変位等に応じた未知の支保工バネ値を推定することができます。



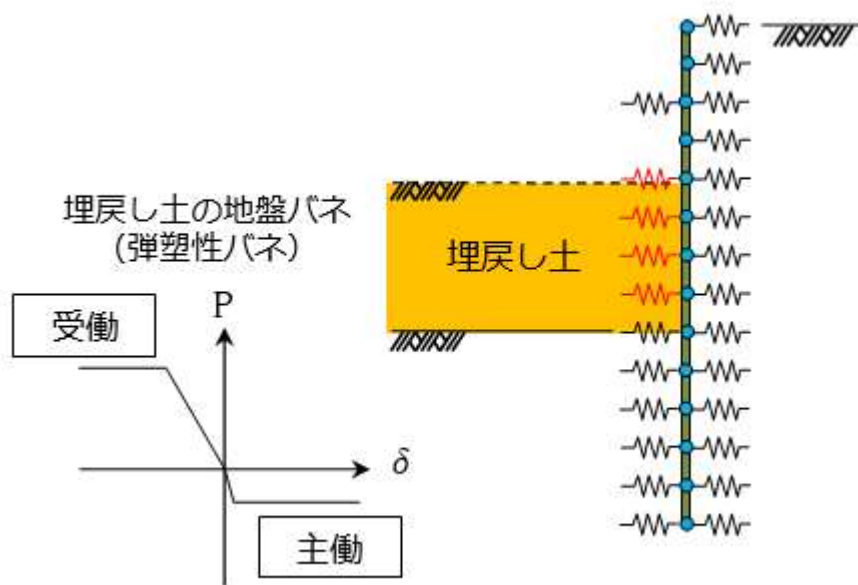
▲逆解析による支保工バネ値の推定



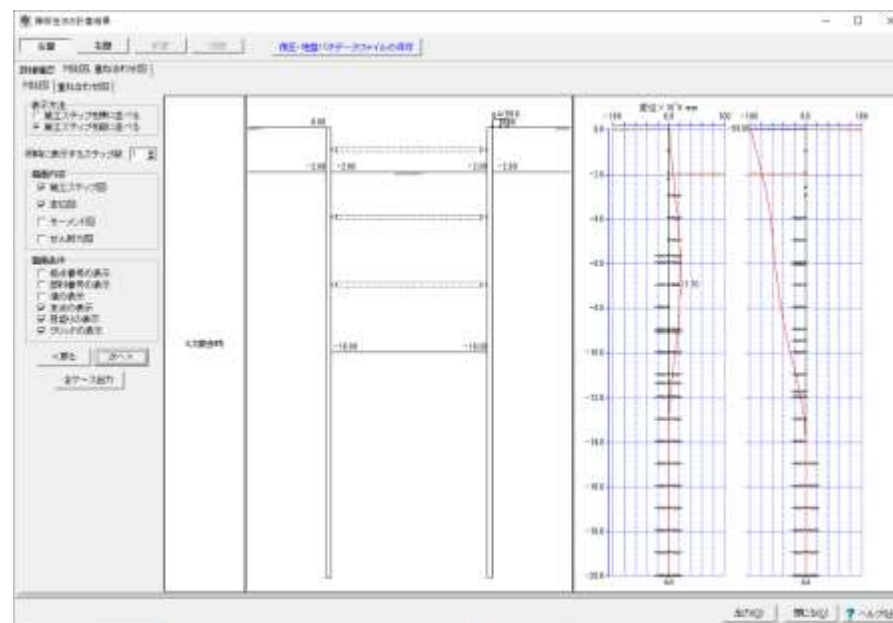
▲逆解析ツール(結果画面)

## 弾塑性法(解析法Ⅱ)において埋戻し土を考慮した撤去時の検討に対応

弾塑性法(解析法Ⅱ)の埋戻し土は通常的地盤バネと同様に弾塑性地盤バネ(非対称バイリニアモデル)として内部生成され、計算時に考慮されます。なお、弾塑性法の場合は従来通り盛替え支保工(弾性バネ)の設定も可能であり、埋戻し土と同時に設定することもできます。また、埋戻し土のみ、盛替え支保工のみの考慮も可能となっており、多様な弾塑性解析の検討を行うことができます。



▲埋戻し(弾塑性バネ)



▲埋戻し土を考慮した弾塑性解析結果

# 弾塑性法（解析法Ⅱ）の「掘削側の静止側圧の考え方」で『掘削後』に対応

掘削側の静止側圧の考え方において、「掘削後」の仮定による計算に対応しました。

仮設指針等の例では「掘削前」の仮定を用いておりますが、同時に「掘削後」の考え方も記載されております。本製品では入力スイッチにより簡単に計算を切り替えられますので、本対応により容易に比較検討ができるようになりました。

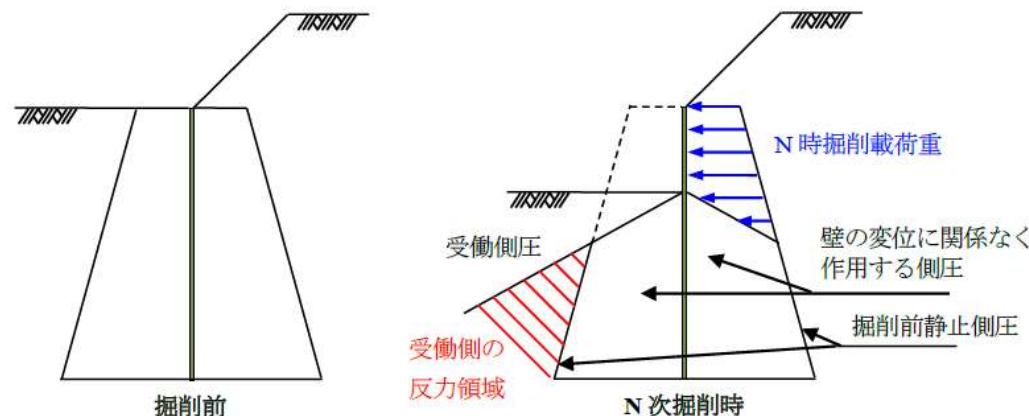


図-A 掘削面以深の壁の変位に関係なく作用する側圧の仮定（「掘削前」の仮定）

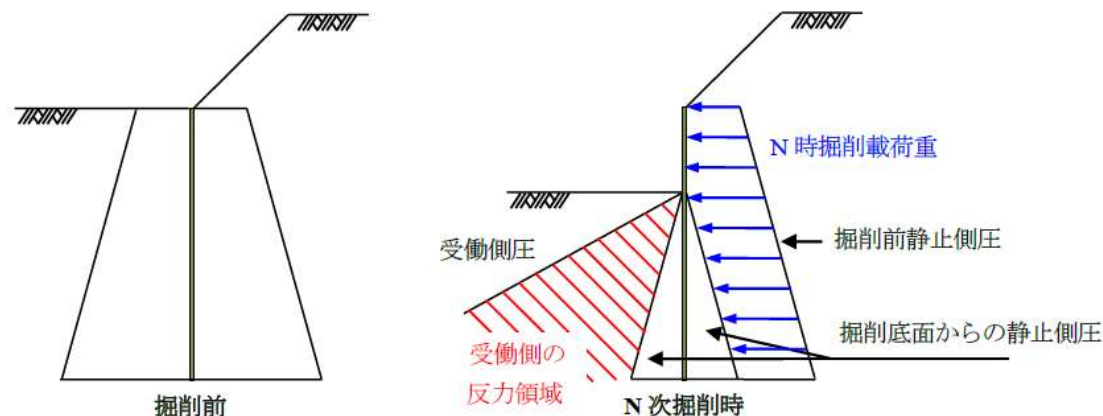
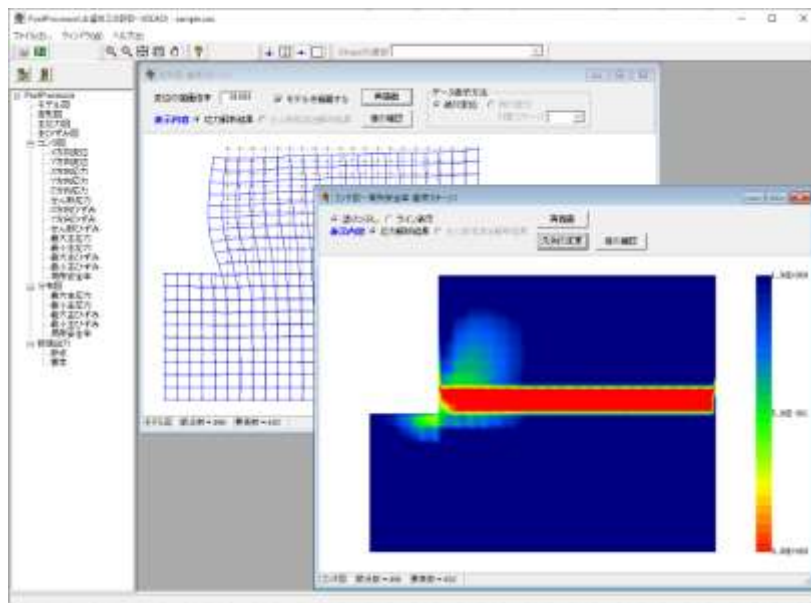


図-B 大きな偏土圧が作用する土留めに壁の変位に関係なく作用する側圧として掘削面からの静止側圧を適用した場合の概念（「掘削後」の仮定）

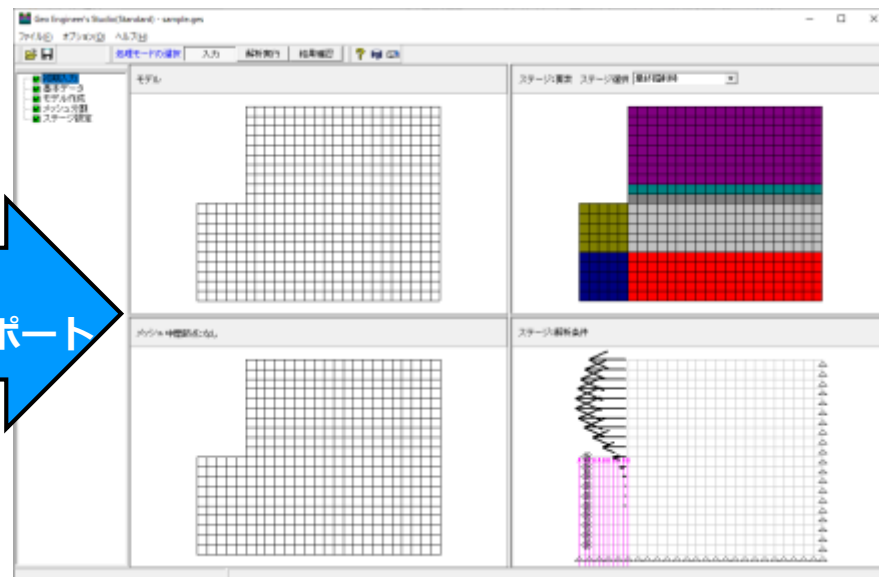


## FEM解析 (周辺地盤の影響) において局所安全率の計算に対応

局所安全率は入力した土質物性値に対する要素ごとの安全率であり、モデル中の不安定領域(地盤のゆるみの程度の評価など)を判定するために使用されます。局所安全率を計算するには従来のパラメータに加え、新たに地層の粘着力 $c$ と内部摩擦角 $\phi$ が必要となりますが。本製品では地層データとして入力された値を元にFEM解析に使用するパラメータも内部生成されますので、新たな入力の必要はなく、簡単に局所安全率の結果を確認することができます。



データ  
エクスポート



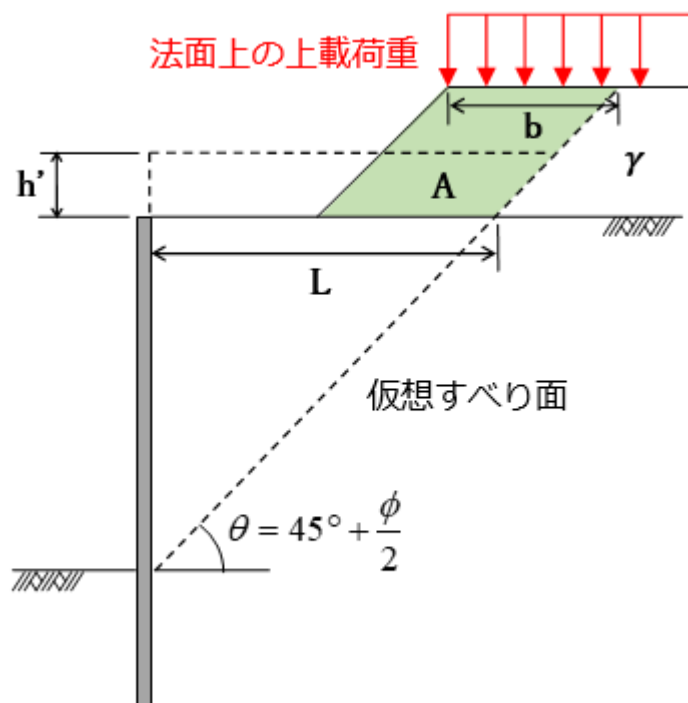
▲FEM解析結果(コンタ図が局所安全率)

▲Geo Engineer's Studio



## 法面の影響を考慮する場合、法面上への上載荷重の載荷に対応

法面上に上載荷重がある場合の計算に対応しました。本製品では通常無限長の上載荷重に加えて、法面の影響による荷重、有限長の上載荷重、建設用重機荷重など複数の上載荷重を同時に考慮することができますので、これまで以上に検討の幅が広がります。



$$q = q_1 + q_2$$

ここに、

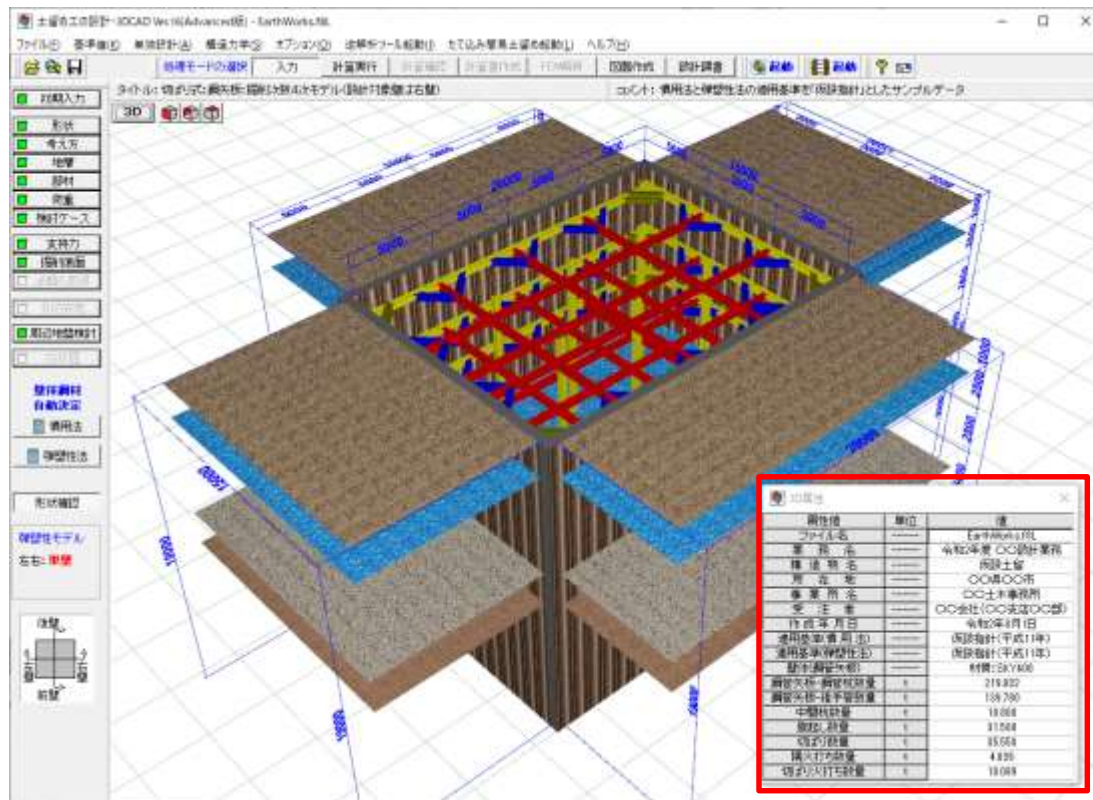
$q_1$  : 法面の土砂荷重

$q_2$  : 法面上の上載荷重

# 3Dアトリビュート（属性表示）に対応

3Dアトリビュート(属性表示)に対応しました。

- ・ファイル名   ・業務名などの一般事項   ・適用基準（慣用法、弾塑性法）
- ・壁体材質   ・壁体数量   ・切ばり数量   ・腹起し数量   etc



属性値	単位	値
ファイル名	----	EarthWorks.f8L
業 務 名	----	令和2年度 ○○設計業務
構 造 物 名	----	仮設土留
所 在 地	----	○○県○○市
事 業 所 名	----	○○土木事務所
受 注 者	----	○○会社(○○支店○○部)
作 成 年 月 日	----	令和2年8月1日
適用基準(慣用法)	----	仮設指針(平成11年)
適用基準(弾塑性法)	----	仮設指針(平成11年)
壁体(鋼管矢板)	----	材質:SKY400
鋼管矢板-鋼管杭数量	t	219.032
鋼管矢板-継手管数量	t	139.780
中間杭数量	t	10.800
腹起し数量	t	31.500
切ばり数量	t	35.550
隅火打ち数量	t	4.035
切ばり火打ち数量	t	10.089

