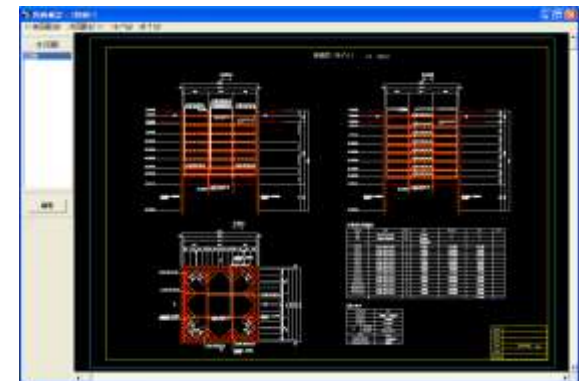
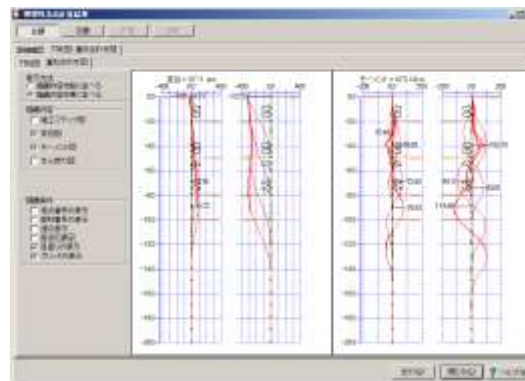
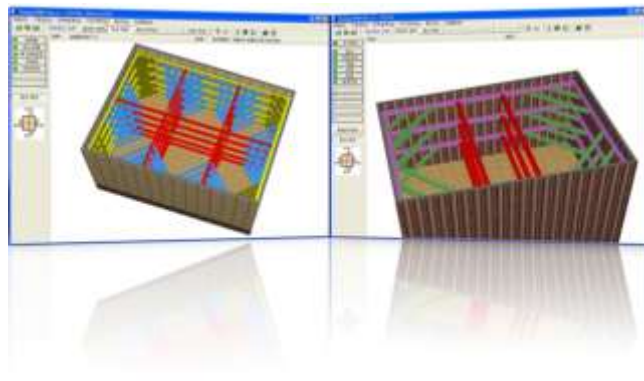


# 仮設（土留め工）

## Ⅲ.弾塑性法による土留め壁の設計

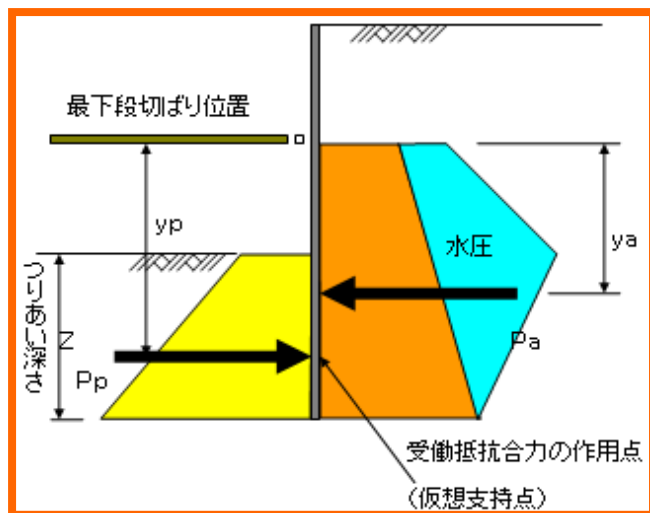


# 仮設指針の目次

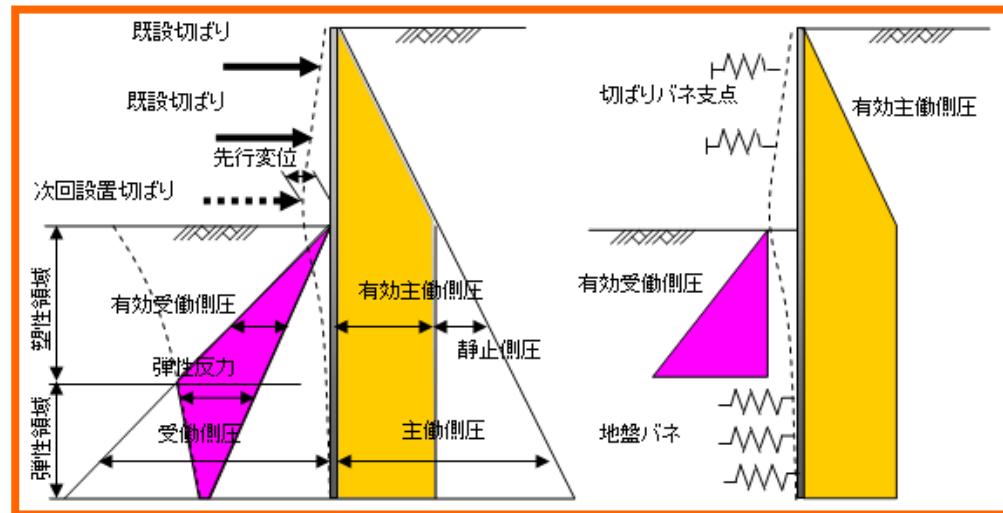
- 8.周辺構造物への影響に関する検討・・・・・・・・・・ V 部
- 9.土留め壁の設計
  - 9-1.設計一般・・・・・・・・・・ 終了
  - 9-2.土留め壁および中間杭の支持力
  - 9-3.掘削底面の安定・・・・・・・・・・ II、III 部**
  - 9-4.慣用法による土留め壁の設計・・・・・・・・・・ 終了
  - 9-5.弾塑性法による土留め壁の設計・・・・・・・・・・ III 部**
  - 9-6.土留め壁の部材設計
- 12.自立式土留めの設計・・・・・・・・・・ 終了
- 14.その他の設計
  - 14-1.控え杭タイロッド式土留めの設計
  - 14-2.偏土圧が作用する土留めの設計・・・・・・・・・・ III 部**

# 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。



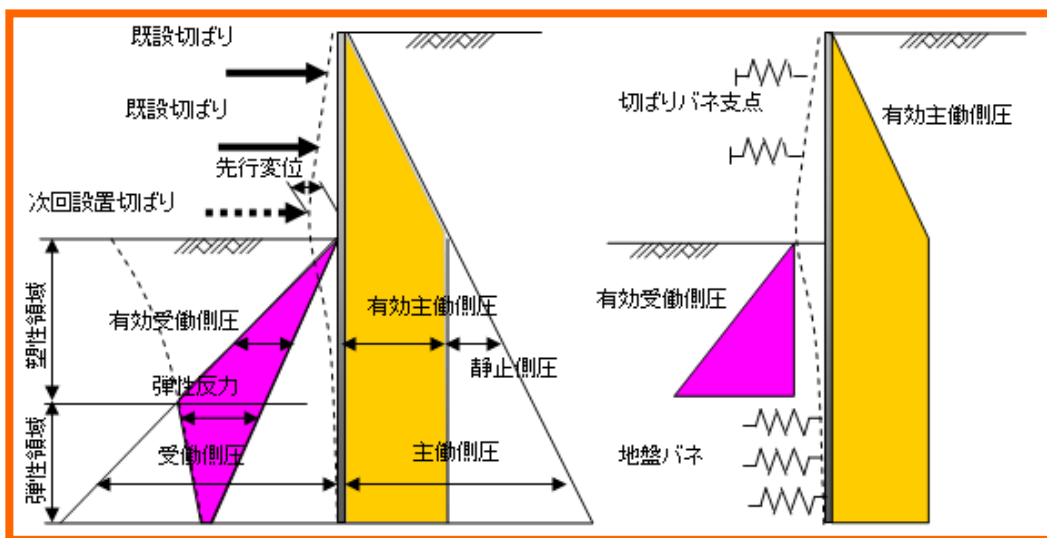
▲慣用法



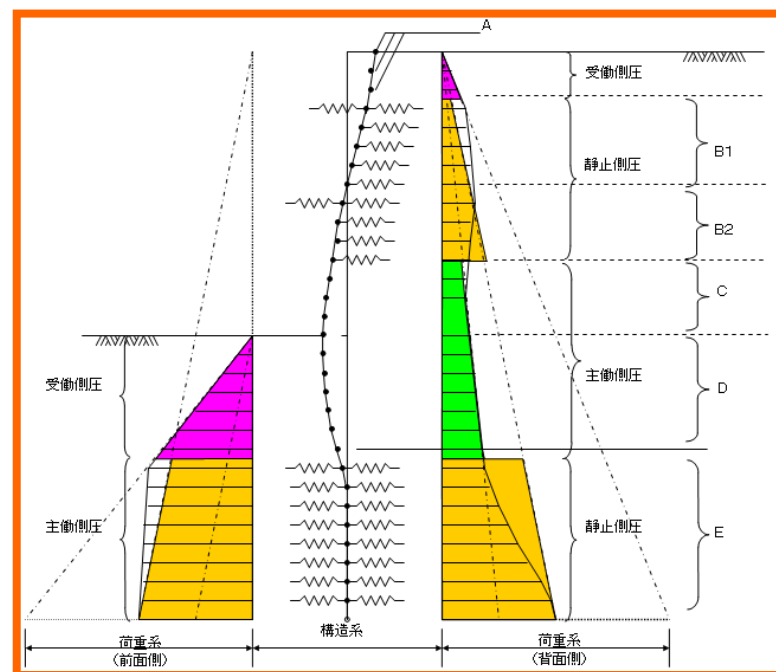
▲弾塑性法

# 弾塑性法とは(解析法 I と 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)

# 弾塑性法とは(解析法ⅠとⅡ)

本プログラムでは、『解析法Ⅰ』と『解析法Ⅱ』を下表のように定義しています。

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・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

# 一般事項

# 弾塑性法に用いる側圧

## ■ 主働側圧

砂質土については土圧と水圧を分離した側圧式を、粘性土については土圧と水圧を一体とした側圧式を用いる

### ● 砂質土の場合（ランキン土圧）

$$Pa = kas \left( \sum \gamma h + q - Pw_1 \right) - 2c\sqrt{Kas} + Pw_1$$

$$Kas = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

### ● 粘性土の場合（掘削面以浅）

$$Pa = Kap_1 \left( \sum \gamma h_1 + q \right)$$

### ● 粘性土の場合（掘削面以深）

$$Pa = Kap_1 \left( \sum \gamma h_1 + q \right) + Kap_2 \left( \sum \gamma h_2 \right)$$

N値	K a p 1		K a p 2
	推定式	最小値	
N ≥ 8	0.5 - 0.01H	0.3	0.5
4 ≤ N < 8	0.6 - 0.01H	0.4	0.6
2 ≤ N < 4	0.7 - 0.025H	0.5	0.7
N < 2	0.8 - 0.025H	0.6	0.8

## ■ 有効土被り圧の考え方

● 有効土被り圧は、全土被り圧から水圧を差し引く（仮設指針など）。

● 有効土被り圧は、水位以下は「土の水中重量を用いる」（共同溝指針）。

$$Pa = kas \{ q + \gamma(h - hw) + (\gamma - \gamma_w)hw \} - 2C\sqrt{kas} + \gamma_w \cdot hw$$



# 弾塑性法に用いる側圧

## ■ 静止側圧

### ● 砂質土の場合

$$P_o = K_{os} \left( \sum \gamma h - P_{w_2} \right) + P_{w_2}$$

$$K_{os} = 1 - \sin \phi$$

### ● 粘性土の場合

$$P_o = K_{op} \left( \sum \gamma h \right)$$

N 値	K o p
$N \geq 8$	0.5
$4 \leq N < 8$	0.6
$2 \leq N < 4$	0.7
$N < 2$	0.8

## ■ 受働側圧（クーロン土圧）

$$P_p = K_p \left( \sum \gamma h - P_{w_2} \right) + 2C\sqrt{K_p} + P_{w_2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\left( 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin \phi}{\cos \delta}} \right)^2}$$

# 地盤バネの考え方

## ■ 形状依存

仮設指針、土木学会、鉄道標準など

$$k_H = \eta k_{HO} \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

$\eta$ : 壁体形状に関わる係数

### ● 連続した壁体

$$\eta = 1.0$$

### ● 親杭横矢板

$$\eta = B_o / B_f \quad \text{ただし、}\eta \leq 4.0$$

$B_o$ : 親杭間隔

$B_f$ : 親杭フランジ幅

$k_{HO}$ : 平板載荷試験に相当する水平地盤反力係数

$$k_{HO} = \frac{1}{0.3} \alpha E_o$$

## ■ ひずみ依存

共同溝指針

$$K = K_o \frac{1.0}{\sqrt{Y_x}}$$

$K$ : 水平方向地盤反力係数

$K_o$ : 基準水平方向地盤反力係数

$$K_o = \frac{1}{125} \alpha E_o$$

$Y_x$ : 土留め壁のたわみ (mm)

# 土留め壁の剛性

解析に用いる土留め壁の断面二次モーメントは、その構造形式および使用材料を考慮して定めるが、各々の土留め壁の種類に応じて断面の有効率が異なるため、下表に示す値を用いる。

地中連続壁では、ひびわれによる剛性低下を考慮した。

鋼管矢板壁で、鋼管内にコンクリートの中詰めを行う場合、充填状況や付着状況に不明の点が多いため中詰めコンクリートの剛性を無視することとする。

土留め壁の種類	応力・変形計算時の断面二次モーメント
親杭横矢板壁	H型鋼の全断面有効
鋼矢板壁	全断面有効の45% ただし、鋼矢板継手部の掘削面側を鋼矢板頭部から50cm程度溶接したり、コンクリートで鋼矢板頭部から30cm程度の深さまで連結して固定したもの等については、断面二次モーメントを全断面有効の80%まで上げることができる。
鋼管矢板壁	継手部分を除いた、鋼管部分の全断面を有効
柱列式連続壁	芯材としての形鋼断面のみ有効
地中連続壁	コンクリート全断面を有効とした場合の60%

# 切梁、アンカーばねの求め方

- 切梁のバネ定数は、切ばり断面積、ヤング係数、長さ、水平間隔等を考慮して定める。

$$K_s = a \frac{2AE}{Ls}$$

A : 切ばりの断面積 {m<sup>2</sup>}

E : 切ばりのヤング係数 {kN/m<sup>2</sup>}

L : 切ばりの長さ(掘削幅) {m}

s : 切ばりの水平間隔 {m}

a : 切ばりのゆるみを表わす係数

a=0.5~1.0,

一般にジャッキ等でゆるみを除去する場合 a=1

- アンカーのバネ定数は、打設角度、自由長および水平方向打設間隔を考慮して定める。

$$K_a = \frac{A_s E_s \cos^2 a}{L_{sf} b}$$

A<sub>s</sub> : 引張材の断面積 {m<sup>2</sup>}

E<sub>s</sub> : 引張材のヤング係数 {kN/m<sup>2</sup>}

L<sub>sf</sub> : 引張材の自由長 {m}

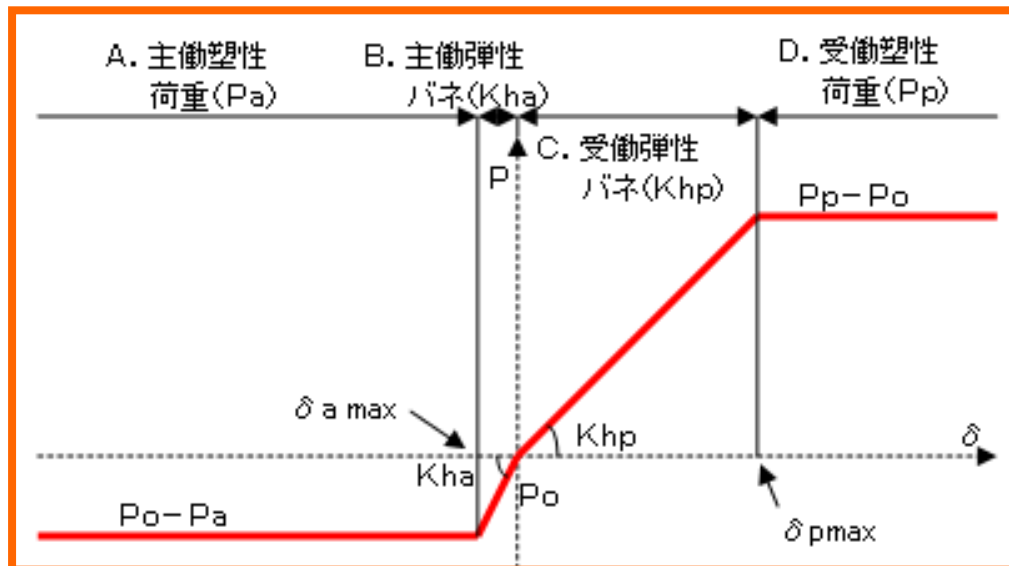
a : 水平からのアンカー傾角(度)

b : 水平方向のアンカー間隔 {m}

# 地盤バネの制御

## ■ 地盤バネの特性

掘削側地盤の側圧・水平地盤反力と変位の関係を右図に示す。



## ■ 地盤バネの制御

### ● 地盤バネ制御変位量( $\delta_{max}$ )の計算

$$P_{max} = k_h \times \delta_{max} \text{より、} \delta_{max} = P_{max} / k_h$$

### ● $\delta \leq \delta_{max}$ の時

弾性域(点)と評価。地盤バネを有効として有効受働側圧は非載荷。

### ● $\delta > \delta_{max}$ の時

塑性域(点)と評価。地盤バネを無効として有効受働側圧を載荷。

# 切梁の制御(解析法Ⅰ)

## ■ 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

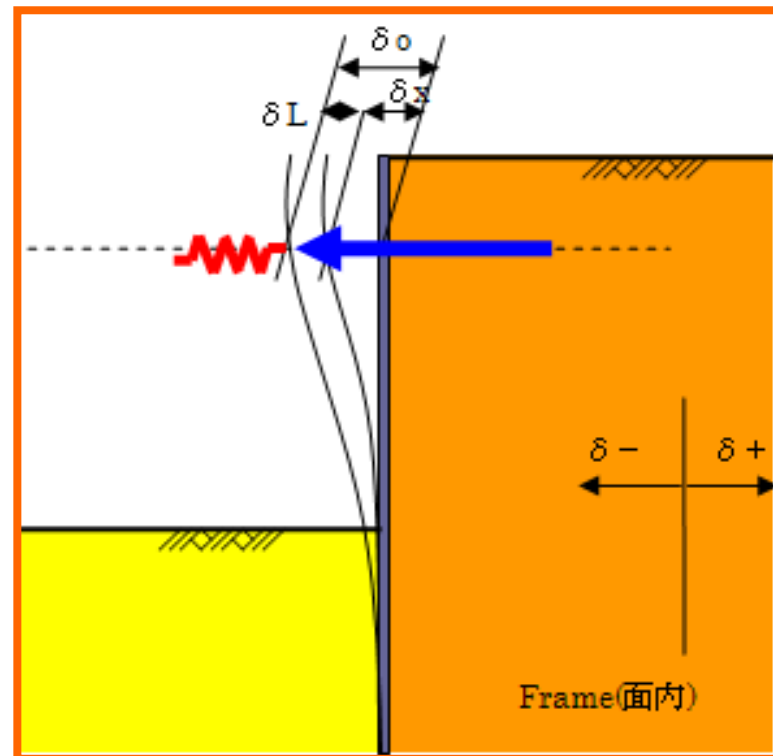
$\delta_L$ : 施工ゆるみ(入力値+)

## ■ 切梁の制御

ある時点の解析結果による切ばり位置の変位を  $\delta_{now}$  とすると、下記にて切ばりの有効か無効を判断する。

$\delta_{now} \leq \delta_o$ : 切梁は有効

$\delta_{now} > \delta_o$ : 切梁は無効



# 弾塑性法による照査項目

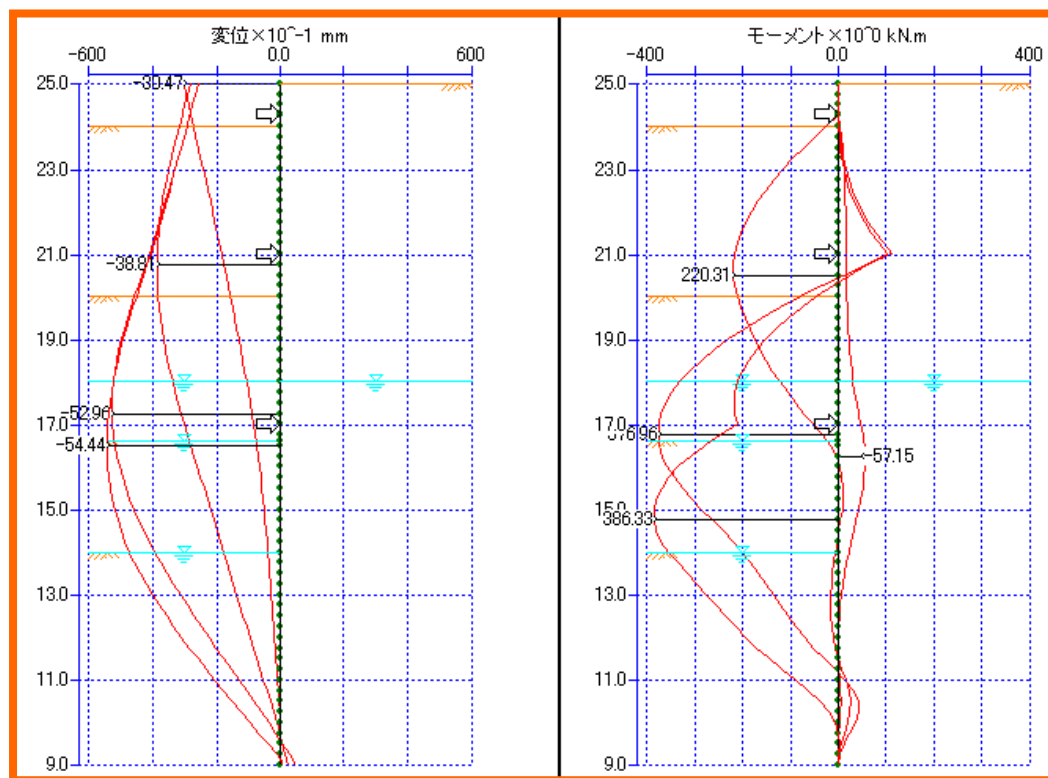
## ■ 弾塑性法に用いる側圧を用いた根入れ長の安定検討

本プログラムでは自立時は除く全掘削ケースを対象とする。

## ■ 弾塑性解析結果

- ①壁体断面力
- ②壁体変位
- ③壁体の弾性域長の照査
- ④支保工反力
- ⑤盛替支保工反力

## ■ 定常性の検討(安定度グラフ)



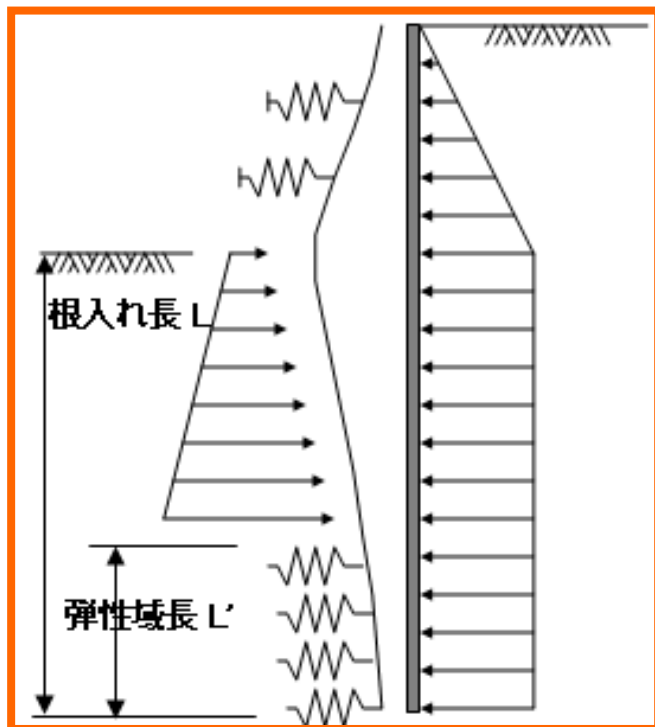
# 弾性域長の照査

## ■ 根入れ先端に弾性領域が存在することを確認する

根入れ部先端に弾性域がないと、変位、曲げモーメント、切ばり反力が著しく大きくなる恐れがある。

## ■ 弾性域率の検討

首都高速平成15年では必要弾性域率(弾性領域／根入れ長)を下表のように設定しています。



地盤		平成 2 年	平成 15 年
砂質土地盤		10%	10%
粘性土地盤	$N < 8$	10%	10%
	$N \geq 8$	50%	10%
地盤改良土		50%	50%



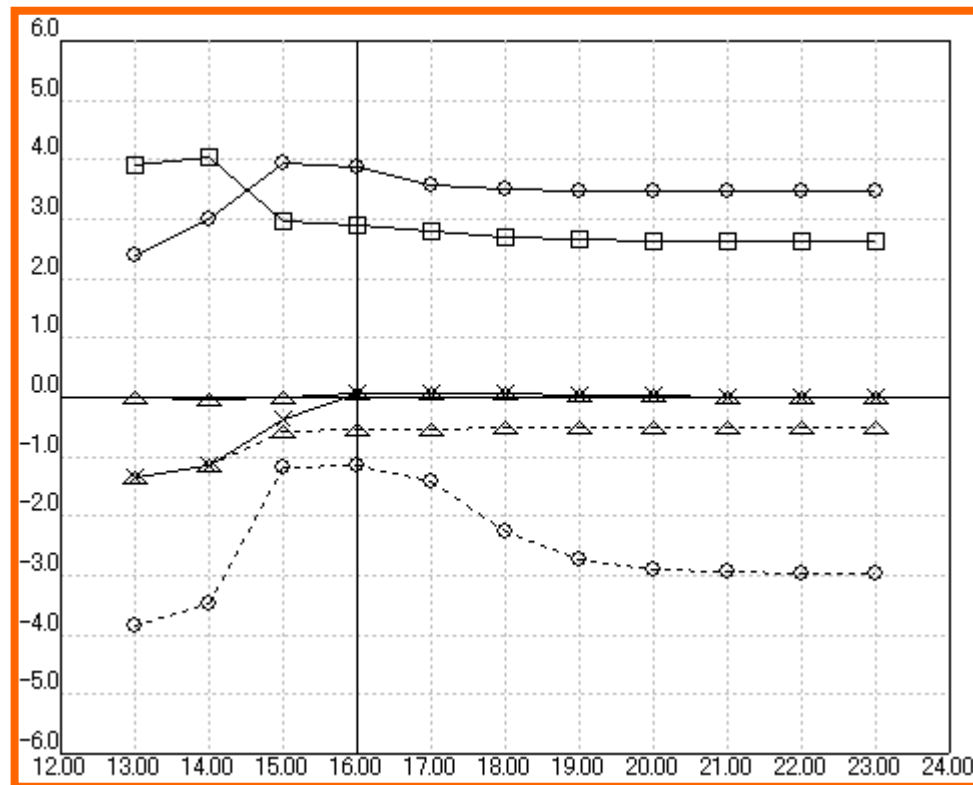
# 定常性の検討

## ■ 定常性の検討(安定度グラフ)

『仮設構造物設計基準 平成2年10月  
(財)首都高速道路厚生会』では、以下の解説があります。

「根入れ長を変化させると、山留め壁の応力と切ばりの軸力も変化する。(省略)地盤の若干の変化にも対応するためには応力・軸力が定常となる根入れ長を確保する必要がある。そのためには定常図を作成して判断する必要がある。」

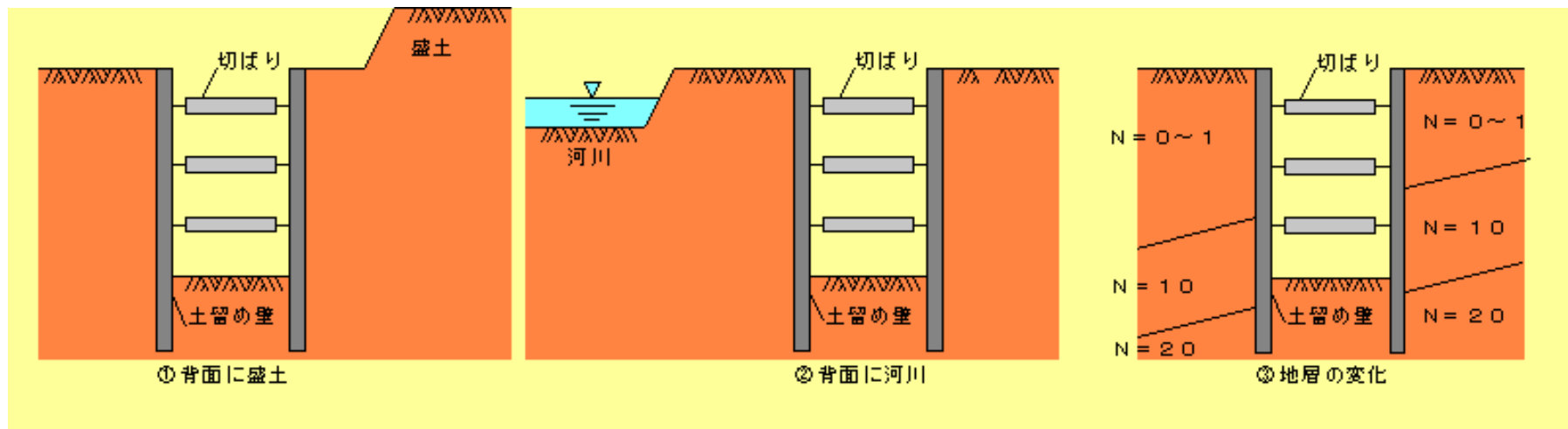
※ただし、平成15年設計基準では定常性の必要性はないという記述に変わっている。



# 兩壁一體解析

# 偏土圧が作用する土留め

## ■ 偏土圧が作用する土留めとは



## ■ 偏土圧が作用する土留め壁の設計法

- ① はりバネモデルによる両側土留め壁一体解析
- ② 有限要素法 (FEM) を用いた解析
- ③ 対面壁の影響を考慮した土留め弾塑性法による解析
- ④ 上載荷重のみを考慮した土留め弾塑性法による解析

# 偏土圧が作用する土留め

## ■ 有限要素法(FEM)を用いた解析

周辺の地形や地層構成および土留めを適切にモデル化し、FEMを用いて逐次解析を行うことで、周辺地盤の挙動等も考慮した偏土圧が作用する土留めの挙動を推定する。しかし、**FEMは計算条件による結果のばらつきが大きく**、FEMの結果をそのまま設計に用いる場合には、地盤の物性値等のモデル化について**十分な検討**を行わなければならない。

## ■ 対面壁の影響を考慮した土留め弾塑性法による解析

解析法Ⅰで、それぞれの土留め壁を単独に計算し、切ばり反力差から便宜的に偏土圧が作用する土留め全体の変位と応力を推定する。ここで、この切ばり反力差から対面壁の影響を考慮する方法としては、次に示す手順等がある。

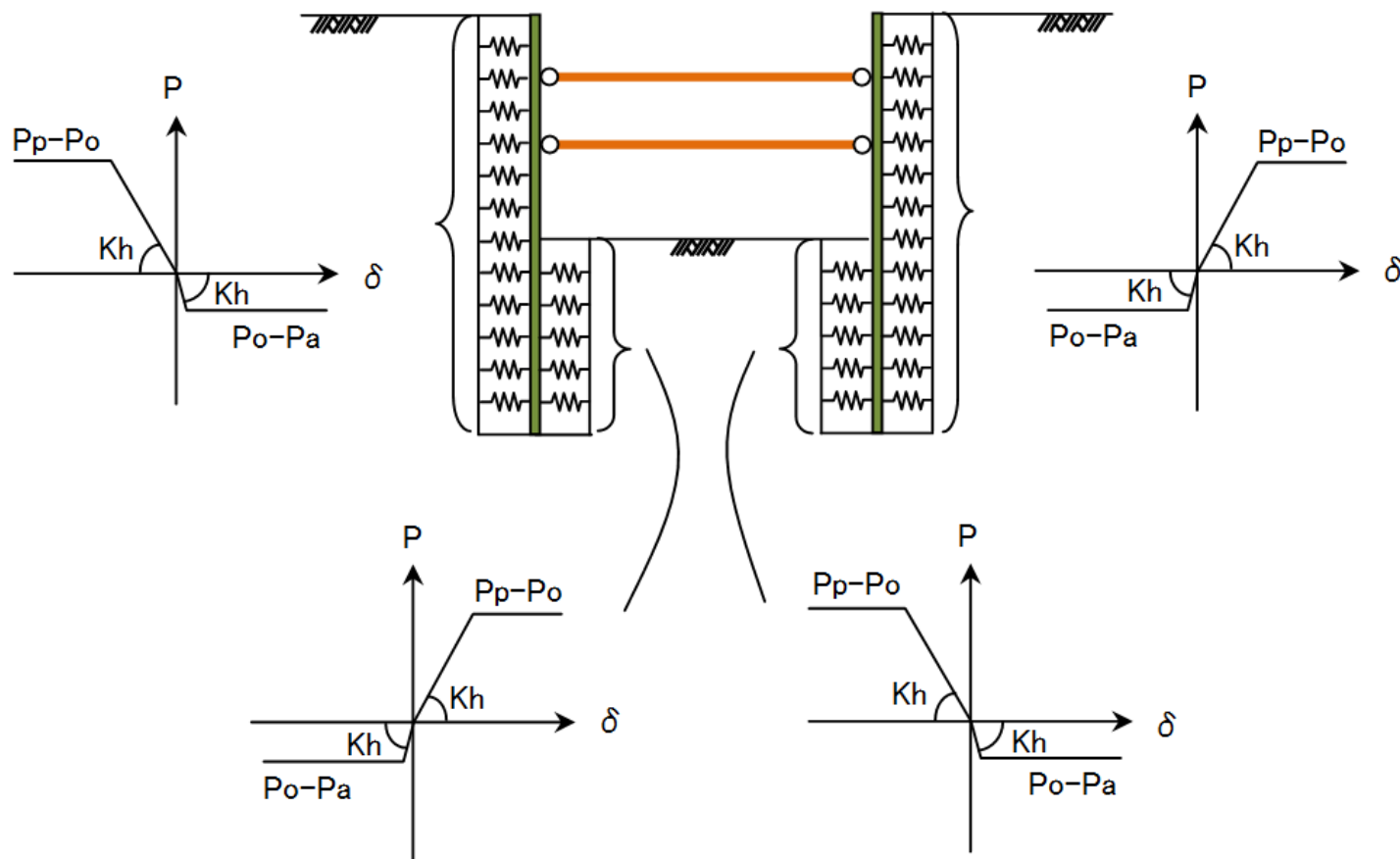
- ①それぞれの土留め壁を単独に計算し、切ばり反力差を算出する。
- ②切ばり反力差をプレロード荷重におきかえて再度偏荷重を受ける壁の対面側の計算を行う。
- ③対面壁の各切ばり位置における①と②の変位の差を算出する。
- ④①で計算した偏荷重を受ける土留め壁の反力で③で計算した変位差が増加するように各切ばりバネを算出する。
- ⑤④で算出したバネを用いて再度偏土圧が作用する土留め壁を計算する。

## ■ 上載荷重のみを考慮した土留め弾塑性法による解析

解析法Ⅰで偏荷重が載荷される壁を単独に計算する。荷重が対称な土留めとして計算するため対面壁の影響は考慮できず、特に片側の壁の背面に河川を有する場合等、背面側の受働抵抗が水平地盤と比較して著しく小さい場合の検討には用いることはできないが、単に片側の壁背面に偏荷重が載荷される場合で、かつ、**偏土圧の程度が小さい場合**には、**対面壁も同一のものを**用いることで**安全な設計**を行える場合がある。

# 両壁一体解析モデル

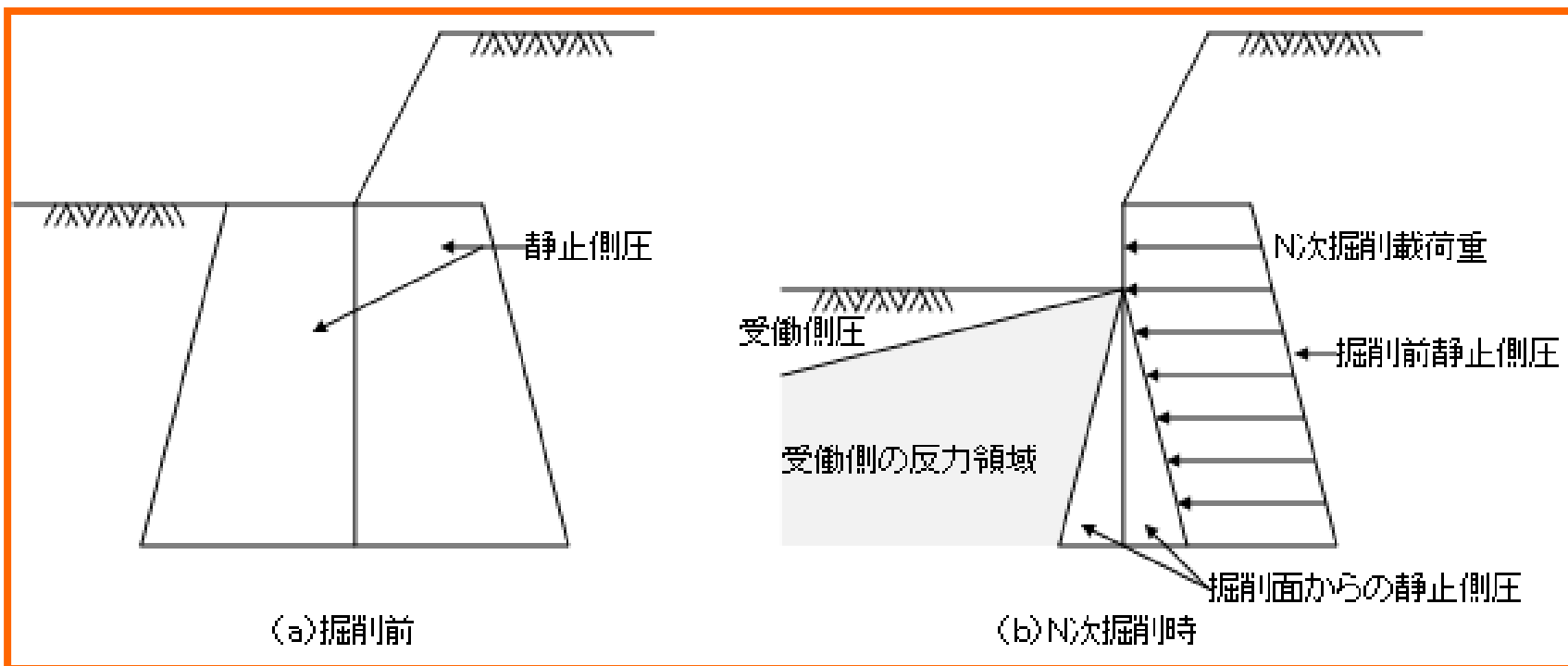
はりバネモデルにより両側の土留め壁と切ばりをモデル化し、偏土圧が作用する全体構造系の非対称な挙動に対し、壁の変位に応じて作用土圧が変化する過程を考慮した解析を行う。



# 静止側圧の扱い

掘削面以深の壁の変位に関係なく作用する土圧として、掘削面からの静止側圧を仮定している。この仮定を大きな偏土圧が作用する土留め壁に適用すると、下図に示すように1次掘削からの段階からこの影響が大きく、特に粘性土地盤の場合には根入れ先端までこの影響が及ぶため、変位が過大となり設計が成り立たないこともある。したがって、**実測値も勘案して掘削前の静止側圧が残留するものとした。**

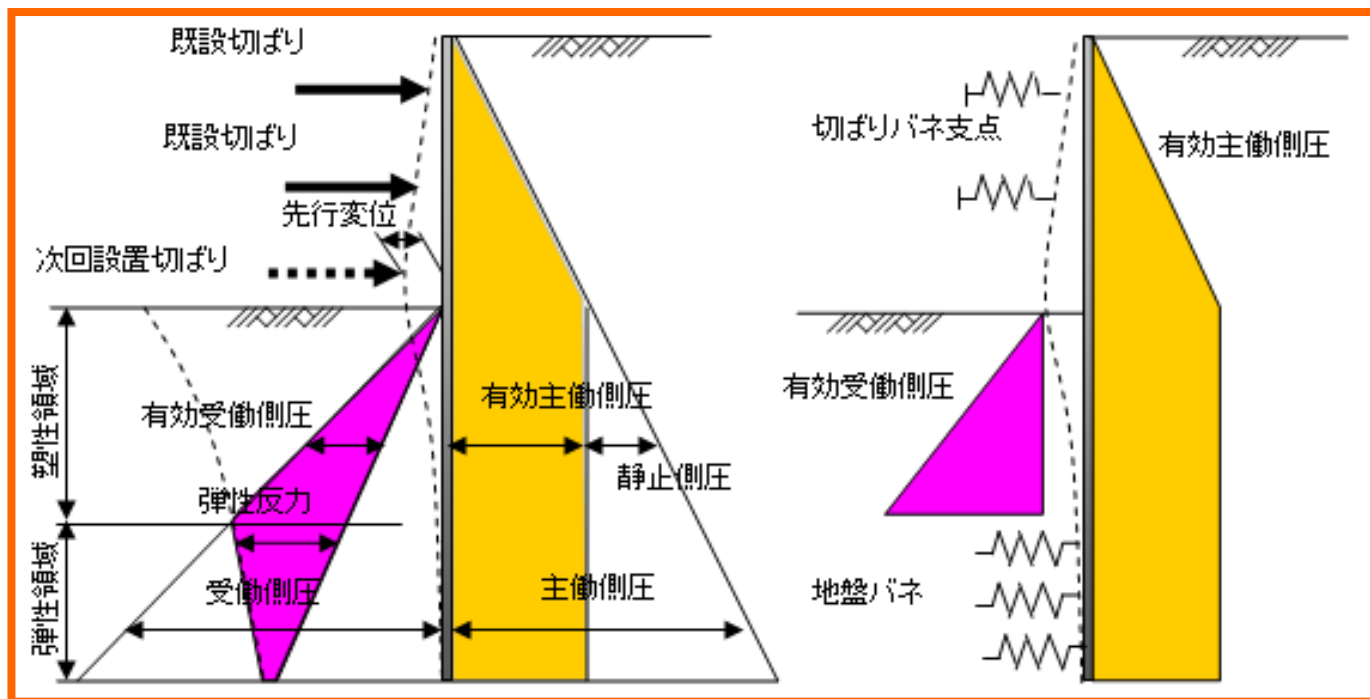
ただし、一般的な考え方として確立されたものではない。したがって、偏土圧の影響が小さいと考えられた場合には、掘削面からの静止側圧を仮定することが安全上望ましい。



# 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。





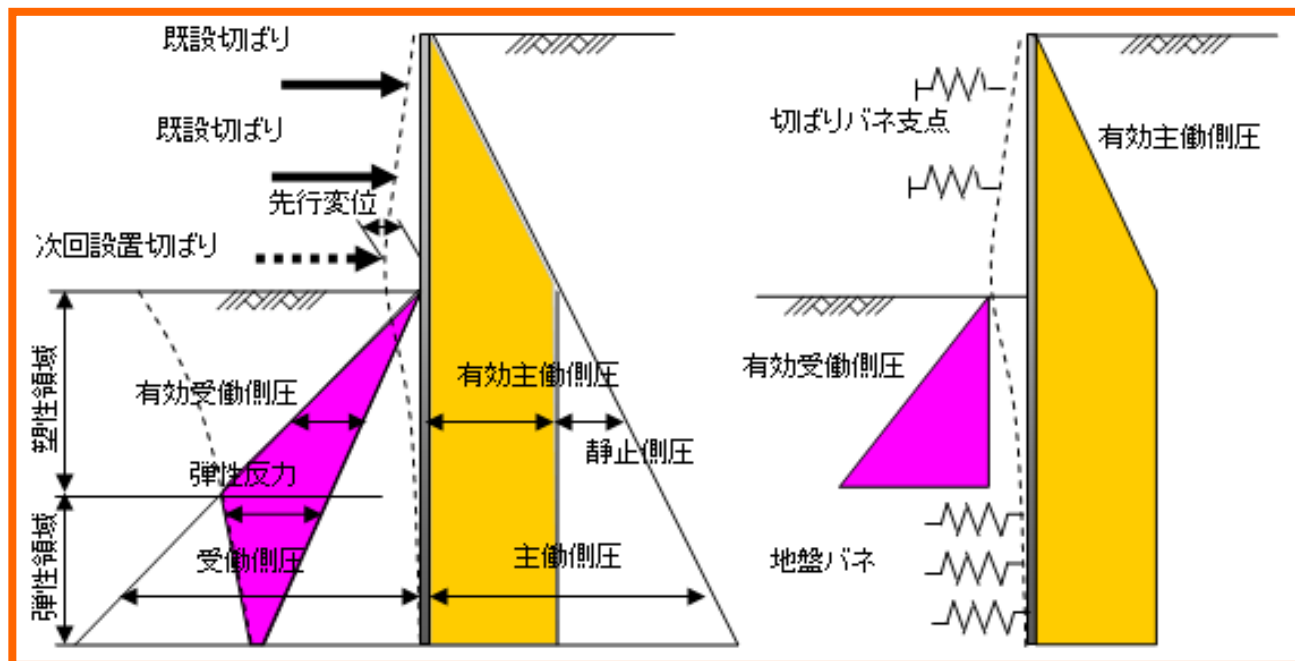
# 解析法Ⅰにおける側圧の仮定

- (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、

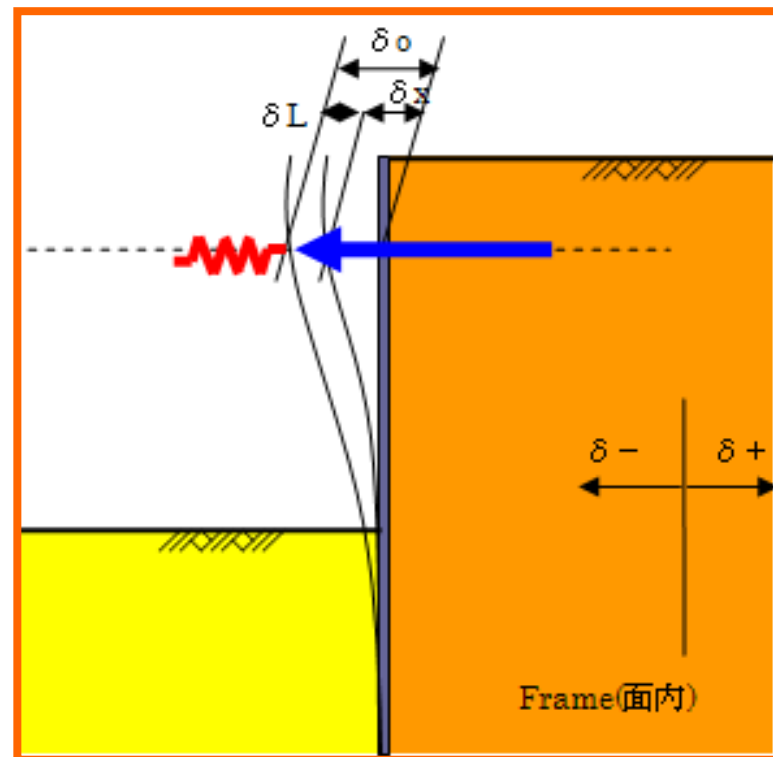
$K_s$ : 支保工バネ値

$\delta_o$ : 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+)

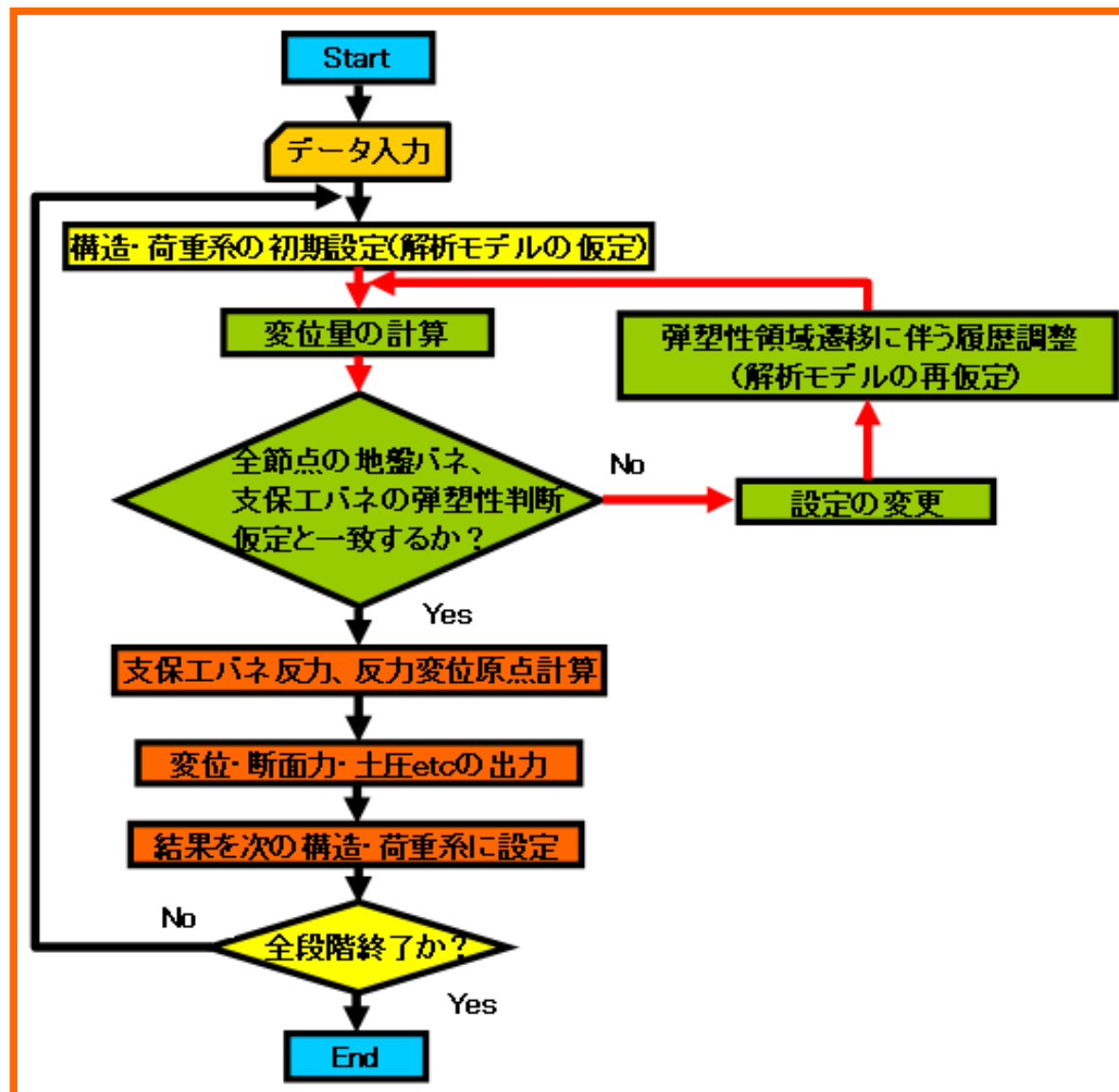


# 解析法Ⅰの解析フローチャート

## ■ 収束計算

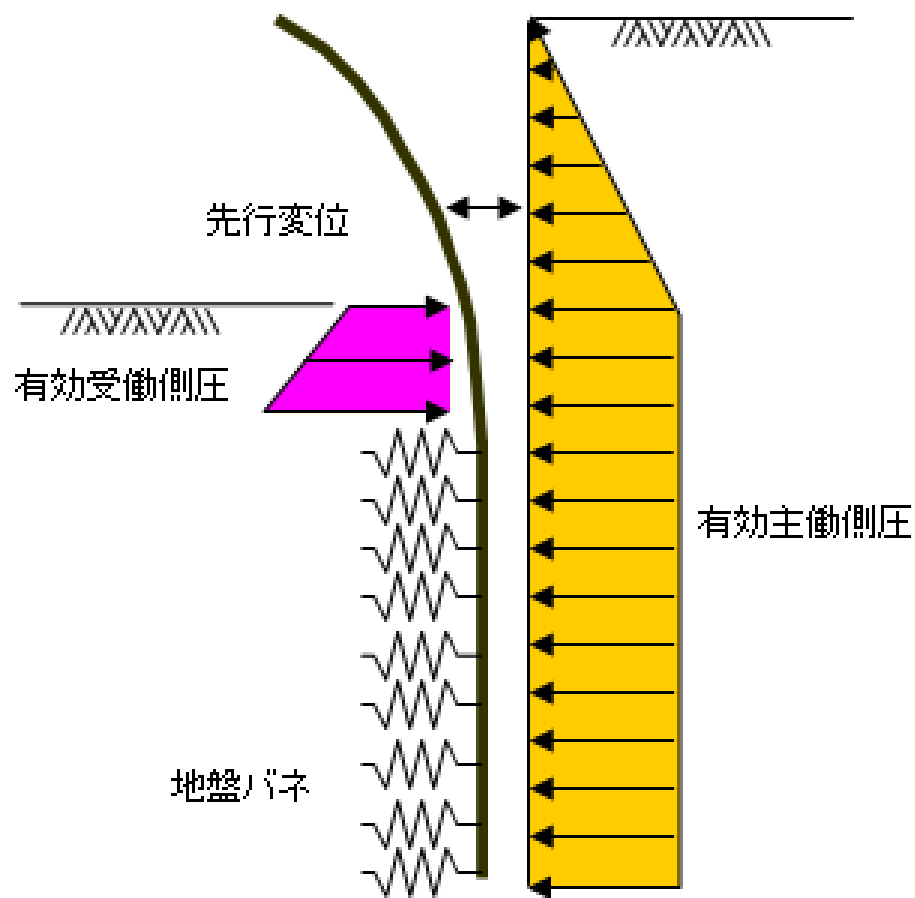
右図のフローチャート緑色の部分が、ある検討ケースにおける収束計算部になる。

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。

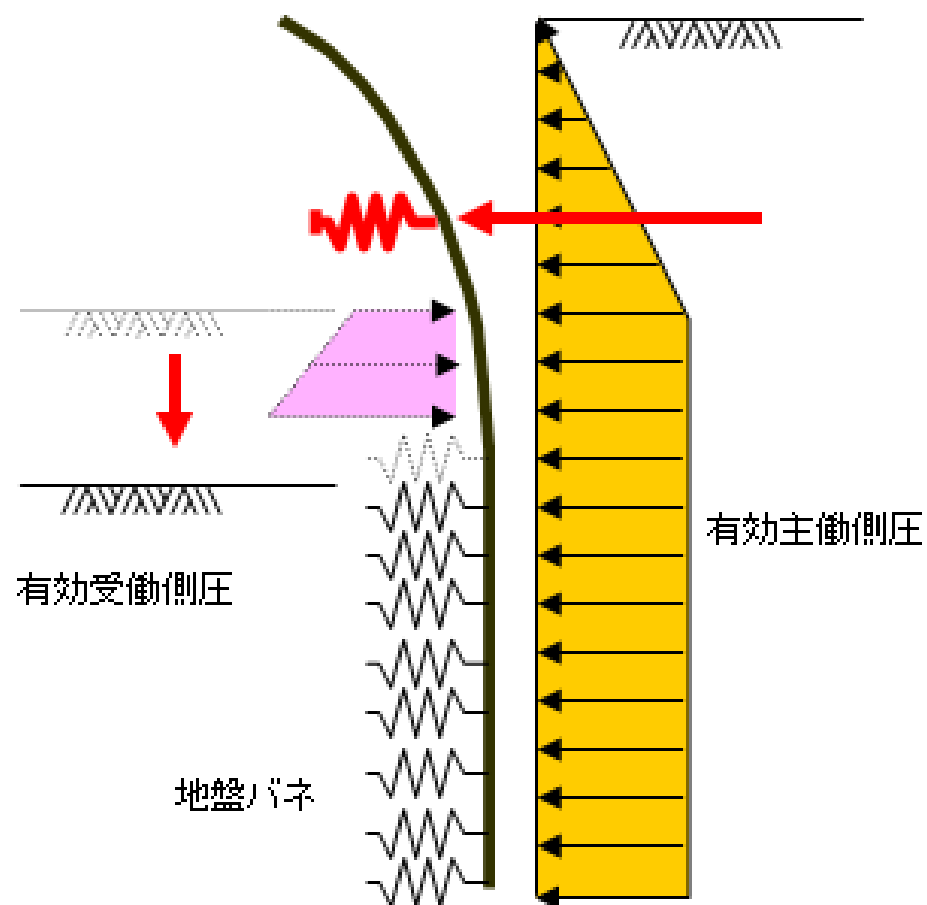


# 収束計算とは

## ■ 自立時の収束状態

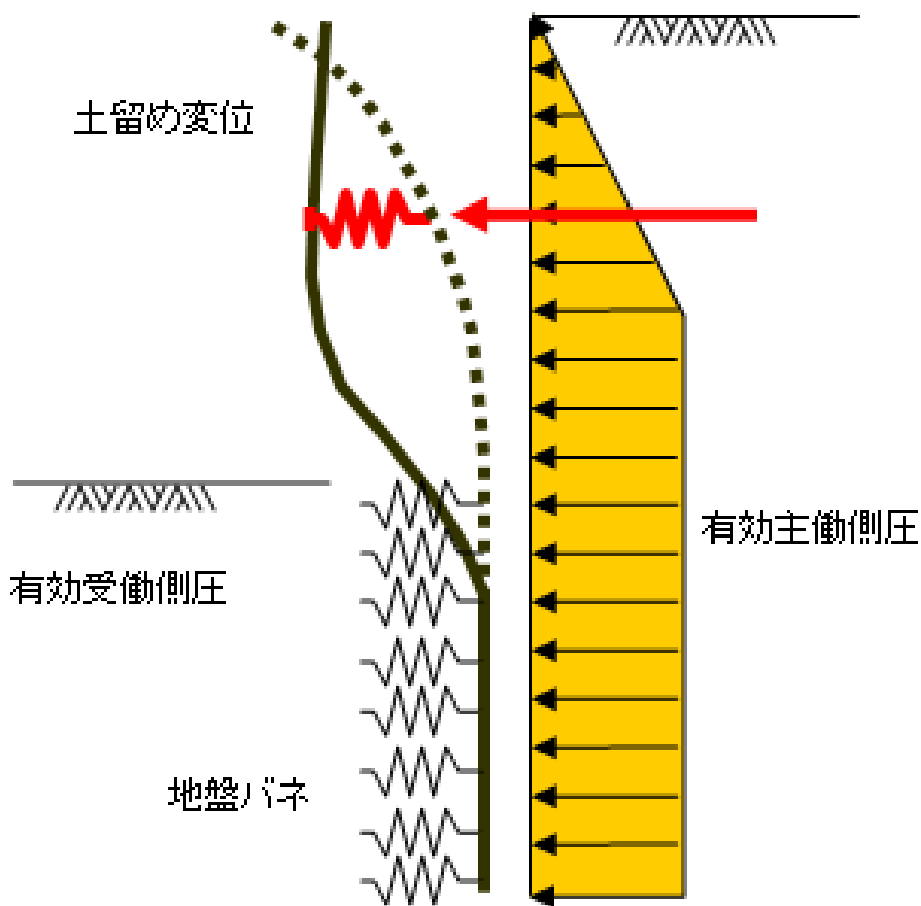


## ■ 2次掘削時の開始モデル (解析モデルの仮定)

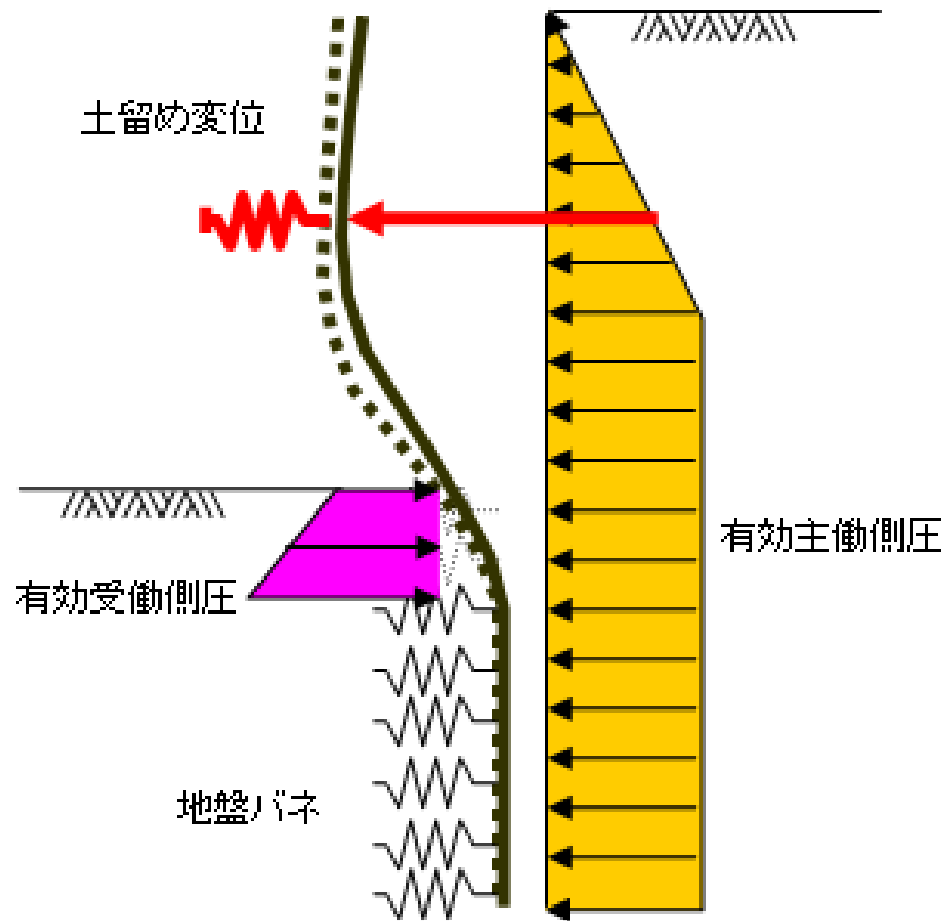


# 収束計算とは

■ 仮定した条件で解析した結果が一致しない

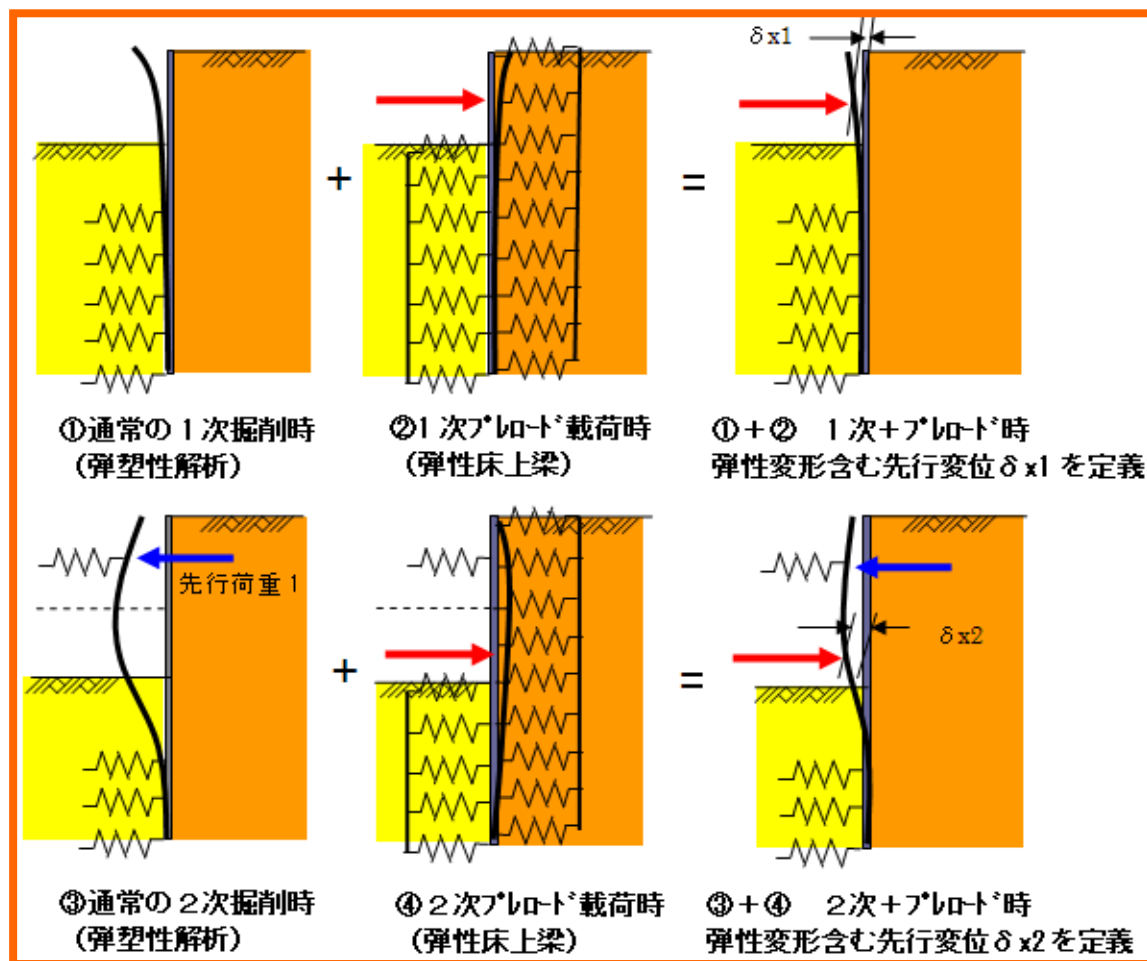


■ 仮定し直した条件で解析した結果が仮定と一致した。



# 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

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」に依ります。

文献では、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

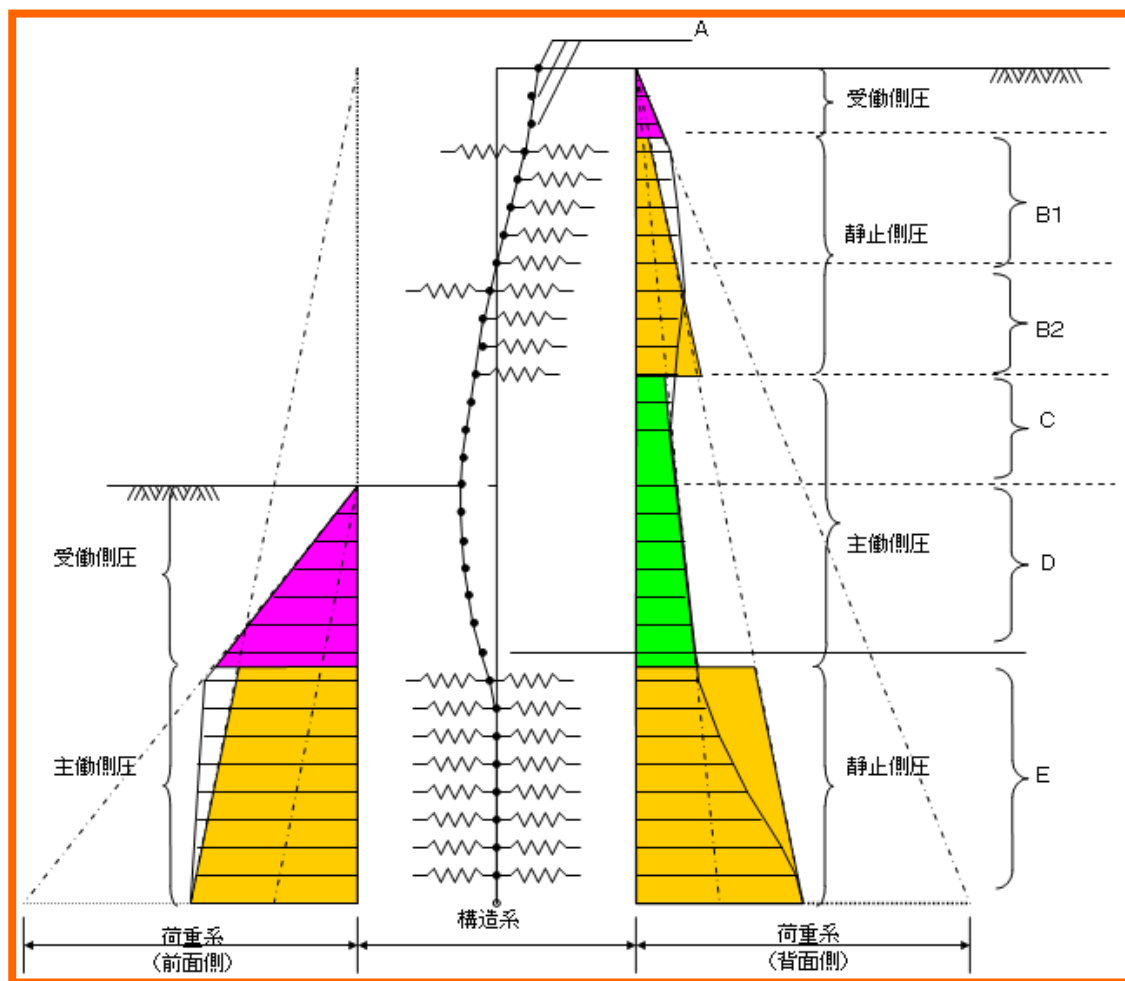
と指摘しています。

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ないとして、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。



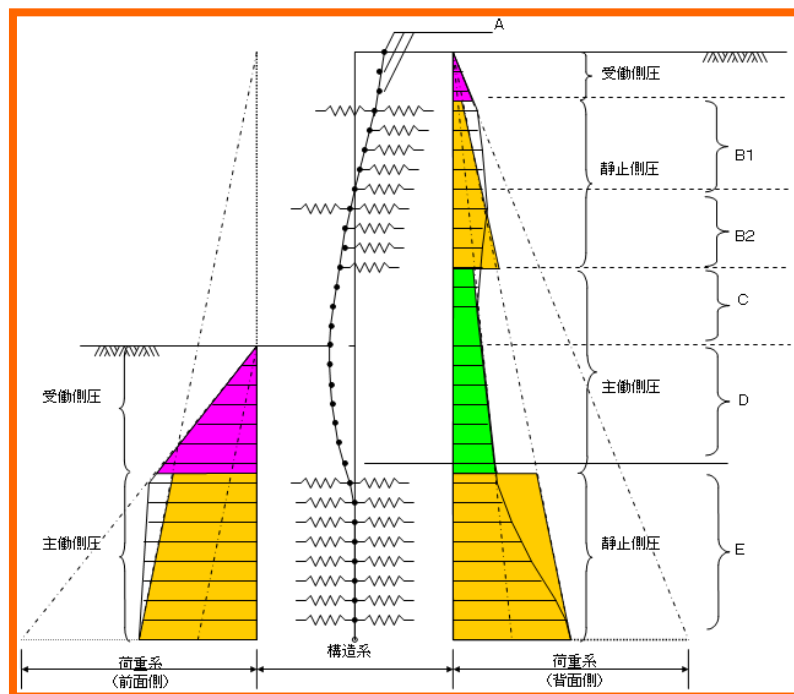
# 解析法Ⅱの解析モデル

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。



# 解析法Ⅱの解析モデル

区間	背面側地盤バネ	掘削側地盤バネ	背面側側圧	掘削側側圧
A	受働塑性によりバネ無	掘削につきバネ無	受働側圧	---
B	受働弾性によりバネ有	掘削につきバネ無	静止側圧	---
C	主働塑性によりバネ無	掘削につきバネ無	主働側圧	---
D	主働塑性によりバネ無	受働塑性によりバネ無	主働側圧	受働側圧
E	主働塑性によりバネ無	受働弾性によりバネ有	主働側圧	静止側圧
F	主働弾性によりバネ有	受働弾性によりバネ有	静止側圧	静止側圧

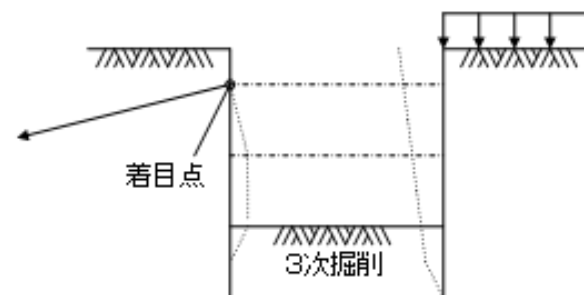
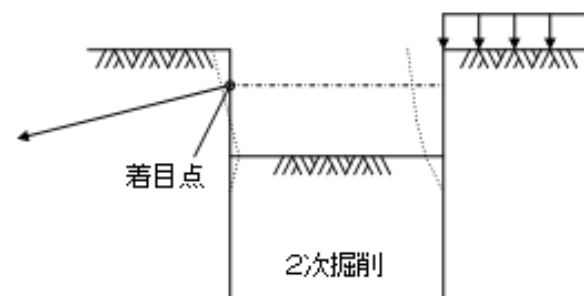
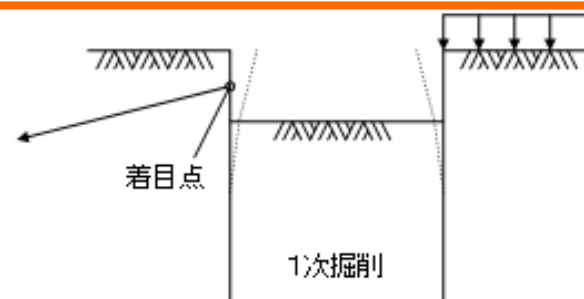
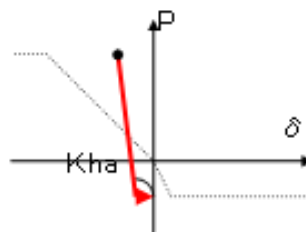
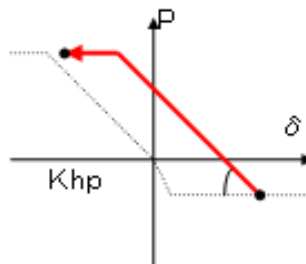
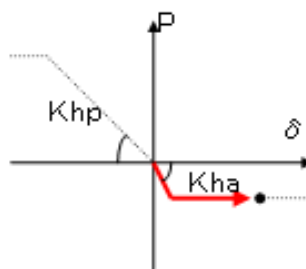


# 壁の変位と側圧の履歴(解析法Ⅱ)

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る。』

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。



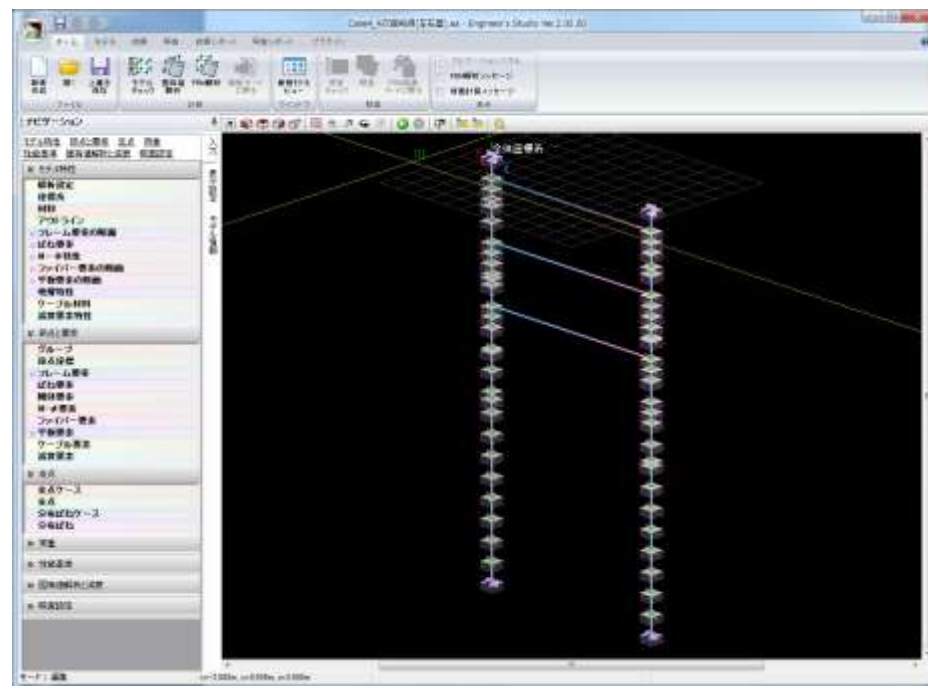
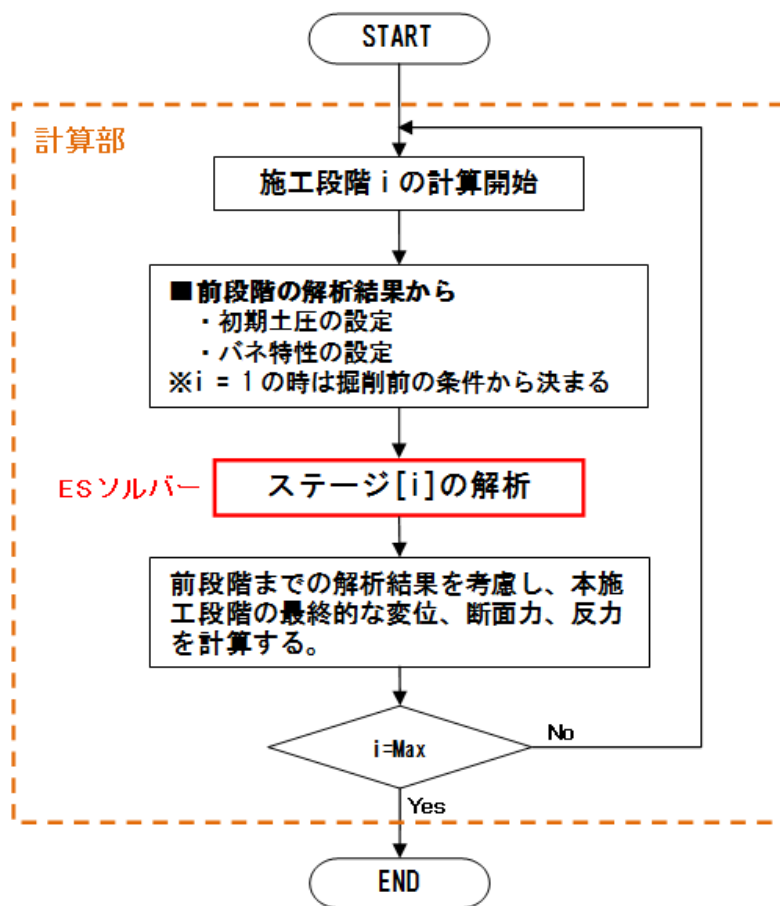
着目点の地盤反力と変位の関係

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)

# 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®



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。

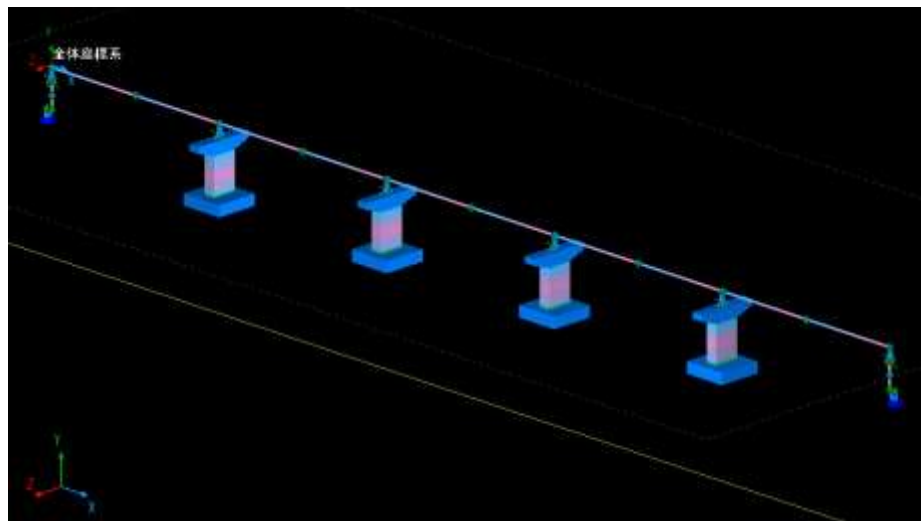
### Engineer's Studio®の優れた機能

- ・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
- ・ミンドリンプレート、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

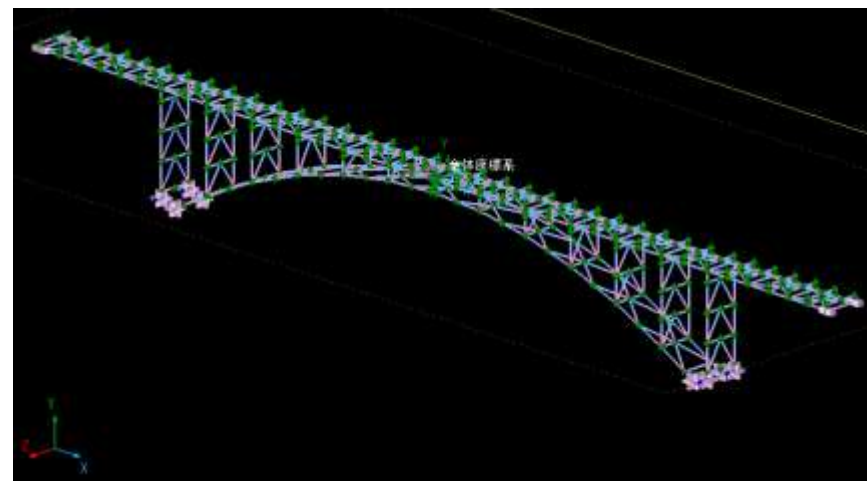


### Engineer's Studio®の使命

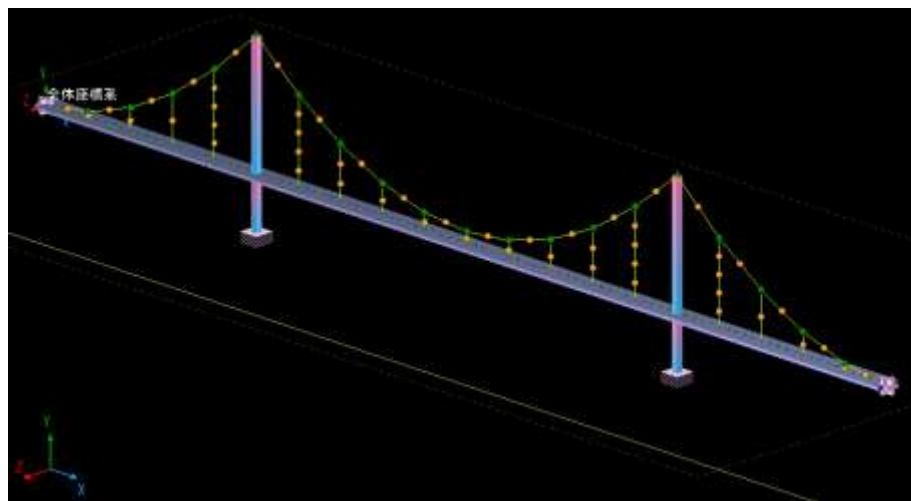
- ・社会にとってより良いものになるソフトウェアを目指します
- ・精度良い解析で高品質・安全なインフラ構築に役立ちます
- ・ユーザのビジネスチャンスにつながる新しいソリューションを提供します



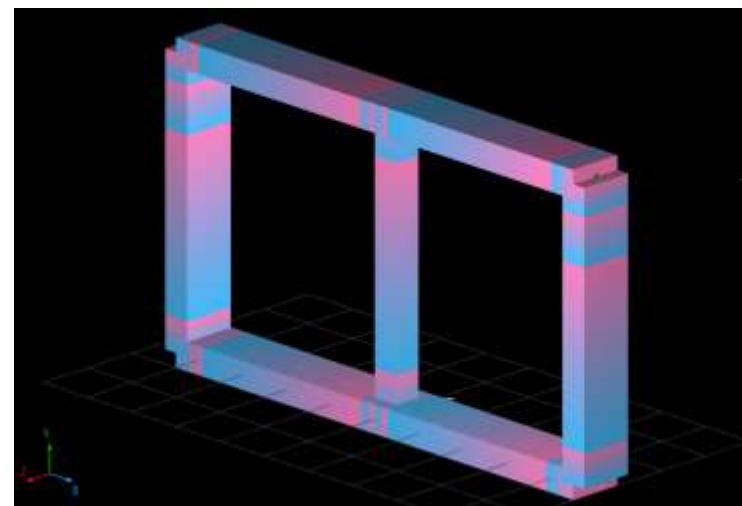
▲5径間連続桁橋(非線型解析)



▲アーチ橋(非線型解析)



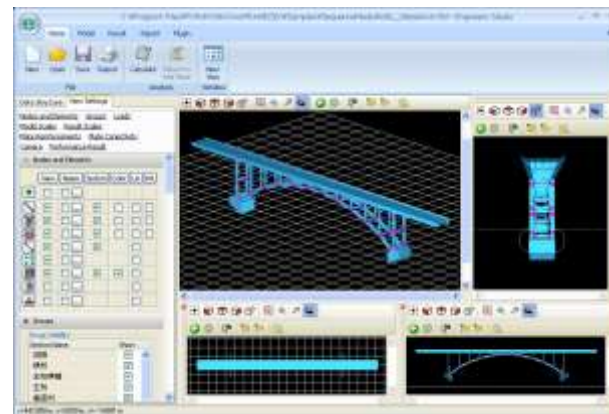
▲吊橋(線形解析)



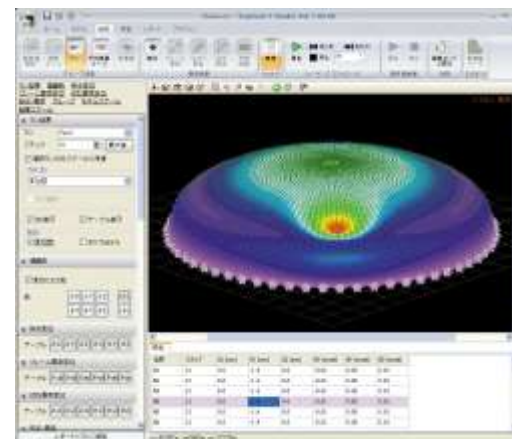
▲BOXカルバート(線形解析)

# Engineer's Studio®の特徴

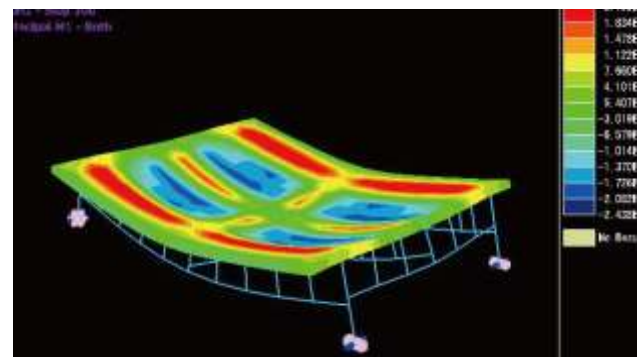
- ・東京大学コンクリート研究室で開発された、世界的に評価の高いコンクリート非線型構成則を実装しています。
- ・独立行政法人 防災科学技術研究所主催の「E-ディフェンスを用いたC1-6実験(実大RC橋脚破壊振動実験)事前解析コンテスト 破壊モデル解析部門」において、本プログラムを用いた解析結果が優勝として表彰されるなど、実構造物の挙動を精緻にシミュレーションできることが照明されています。
- ・従来と比較して実際の構造物に近いモデル化が可能となり、より経済的な設計を支援します。
- ・マウス操作によるモデル作成が可能となり、設計者の負担を大幅に軽減します。



▲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

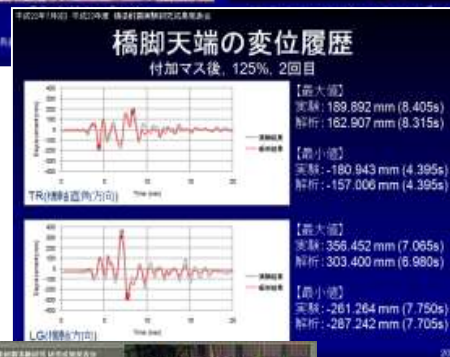


# 研究プロジェクトへの参画と成功

## 2010年 連続優勝!! ブラインド解析コンテスト

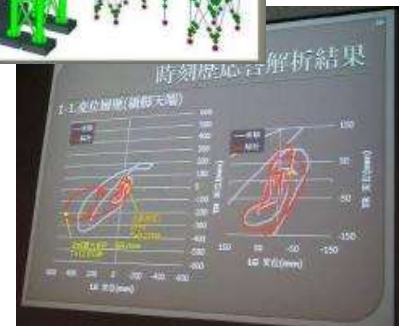
平成22年7月8日、平成22年度橋梁耐震実験研究成果発表会(主催(独)防災科学技術研究所)において実施された「高じん性モルタルを用いた実大橋梁耐震実験の破壊解析 ブラインド解析コンテスト結果発表・表彰」にて、当社社員とA-Works代表 青戸拡起氏、東京都市大学 吉川弘道教授の合同チームが優勝者として表彰されました。

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。

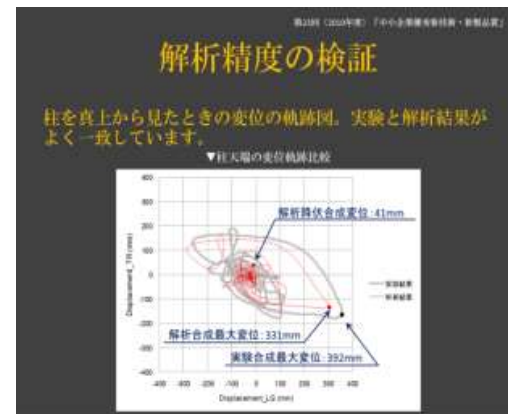
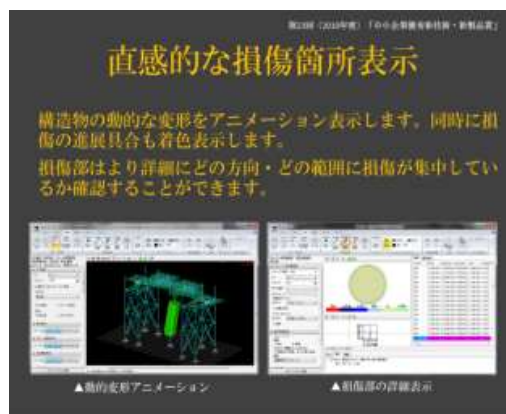
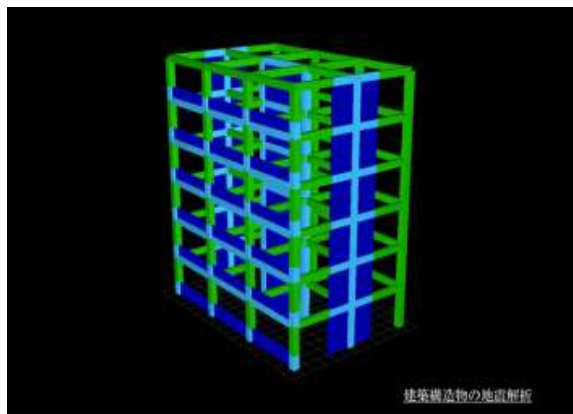


# 第23回中小企業優秀新技術・新製品賞 優良賞受賞！

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

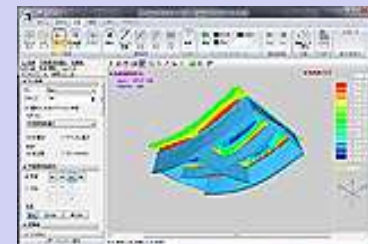
プロダクト名：構造解析プログラム「Engineer's Studio(R)」

「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。



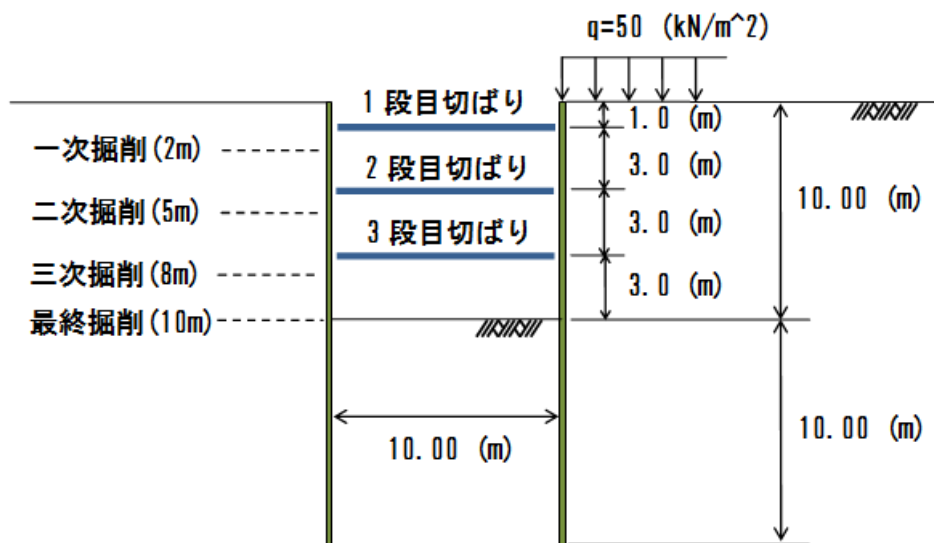
〔産学官連携特別賞〕

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

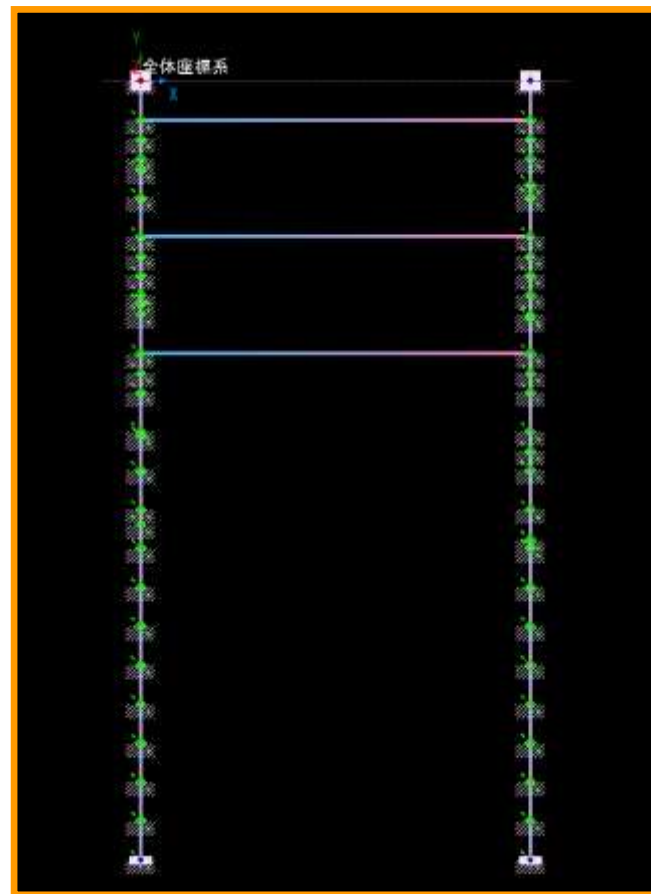


# 解析モデル

以下のようにモデル化されます。



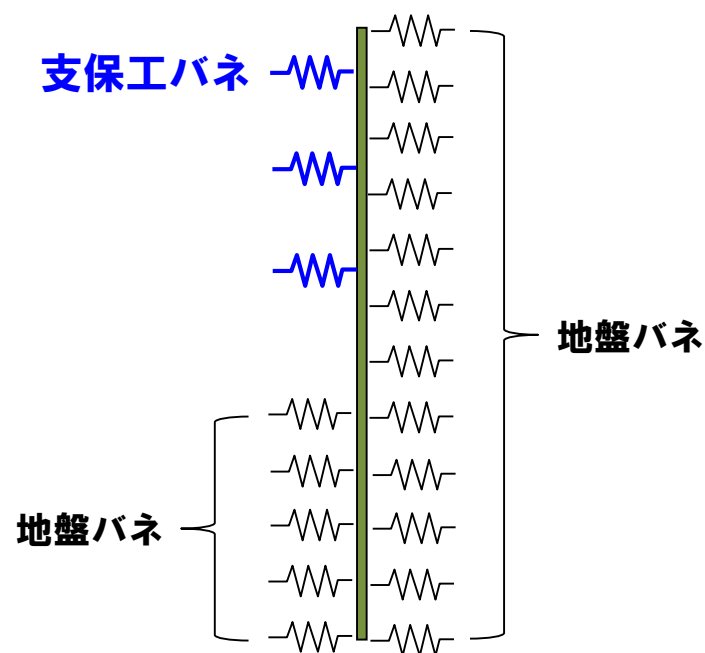
土留め壁	有限長の弾性ばり
支保工	支保工バネ (両壁一体解析の場合は剛性部材)
地盤	弾塑性地盤ばね (非対象バイリニアモデル)



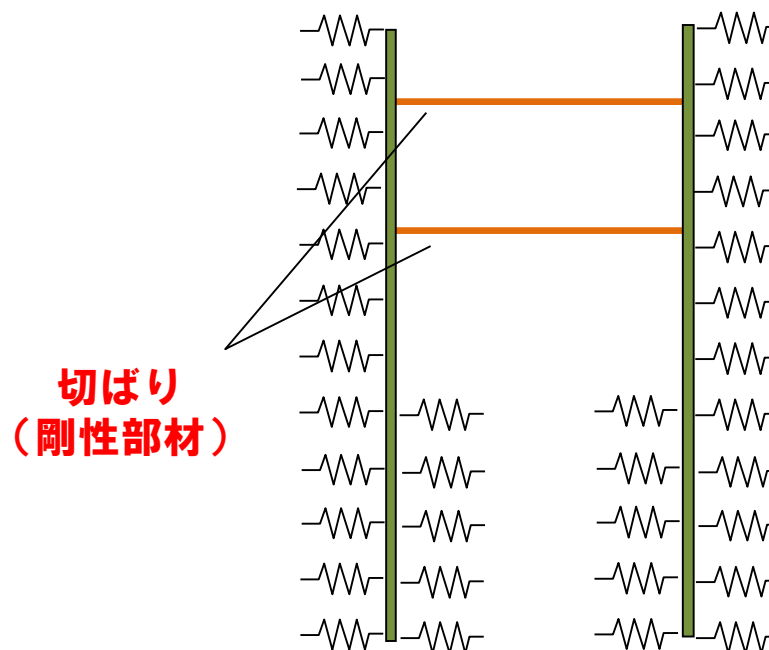
▲解析モデル(Engineer's Studio®)

# 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。



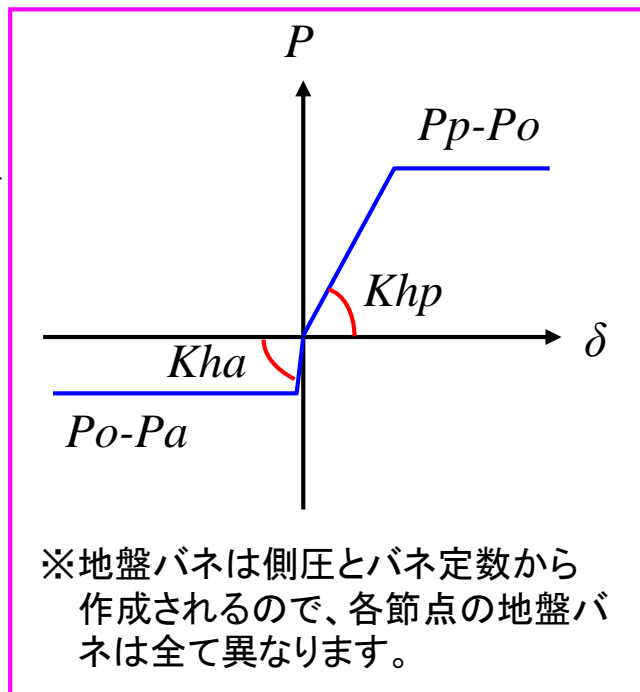
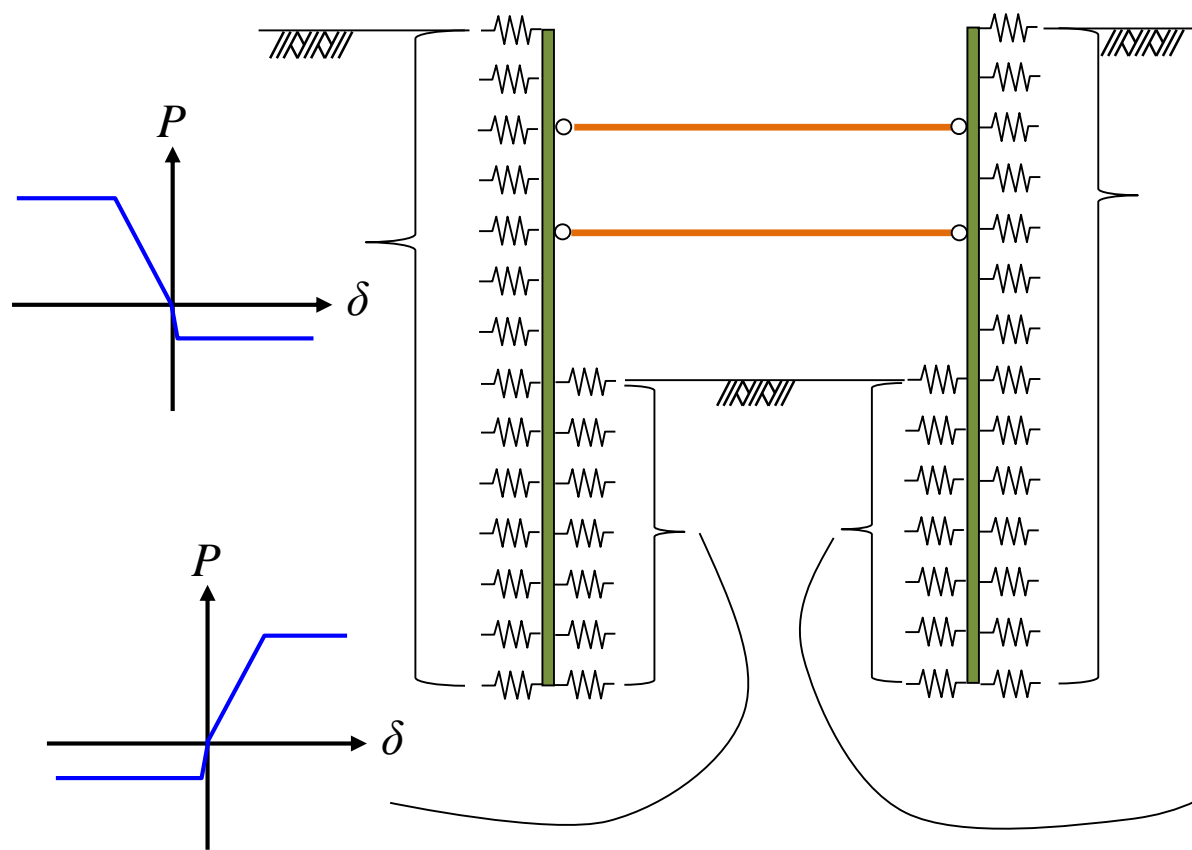
▲単壁解析の場合



▲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。

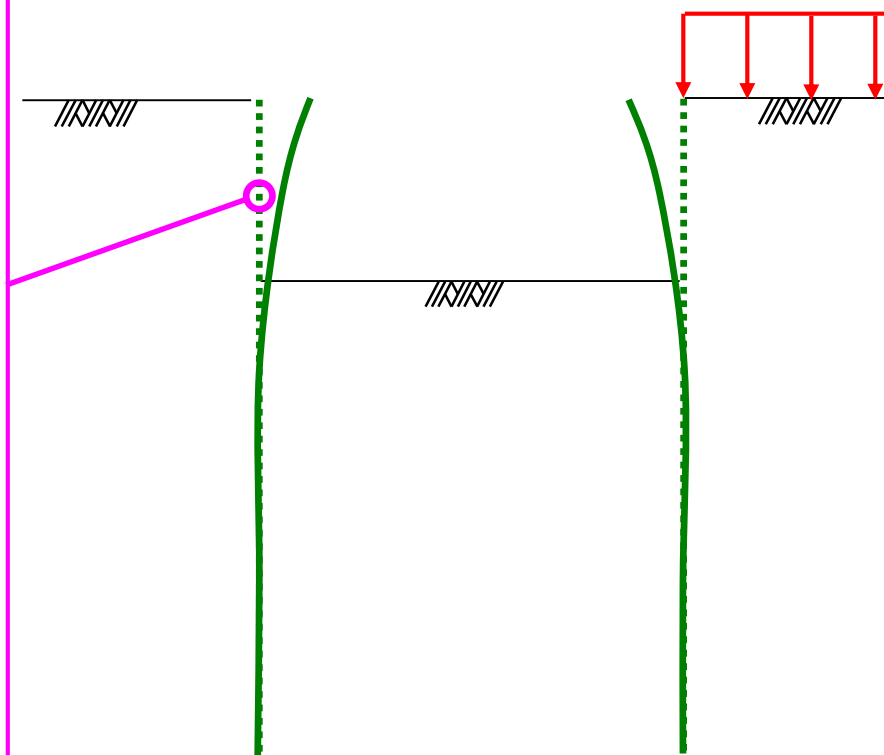
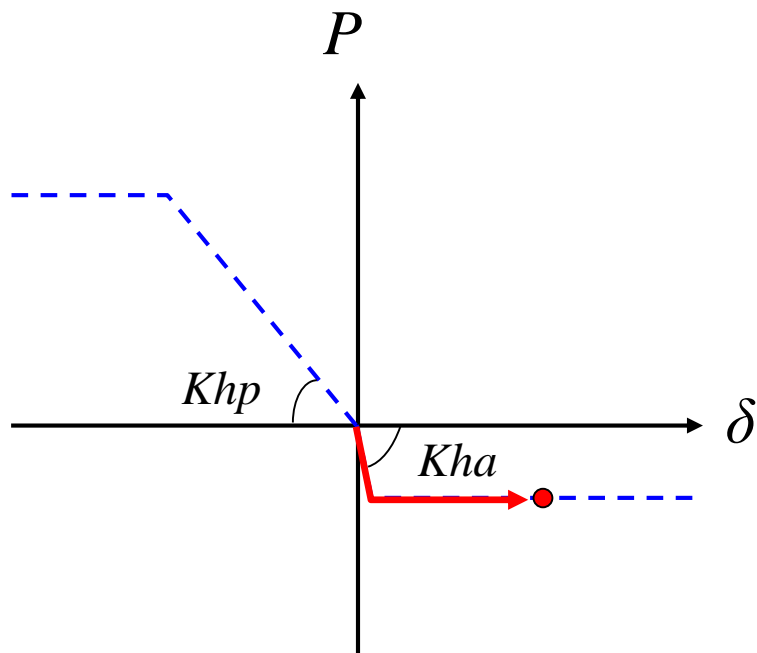


# 解析モデル：地盤ばねの挙動

## ■ 1次掘削時

着目点は掘削側に変位します。

着目点

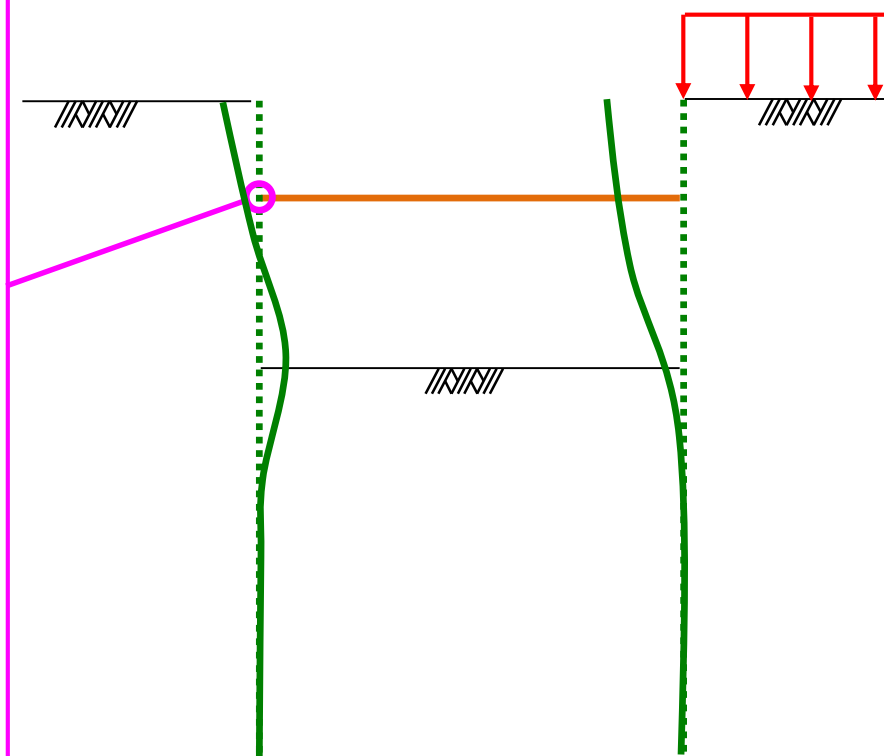
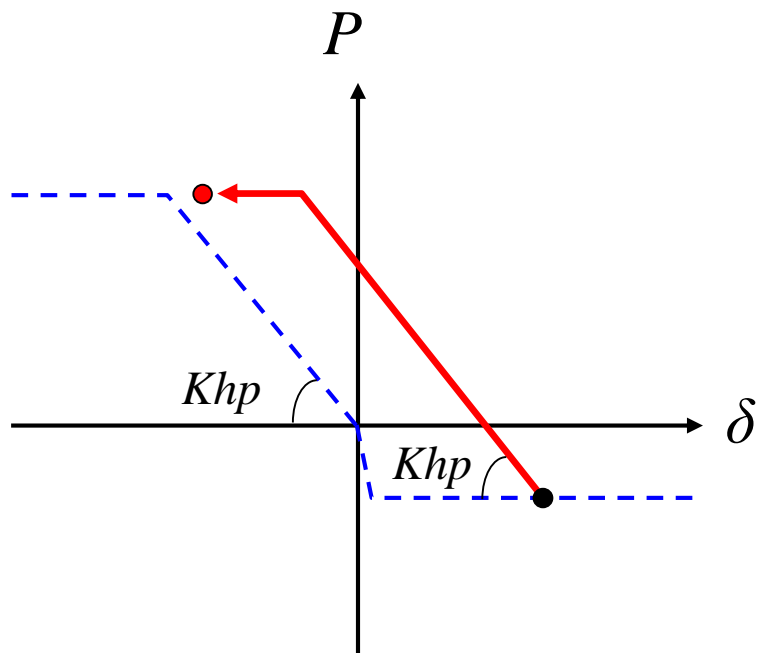


# 解析モデル：地盤ばねの挙動

## ■ 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

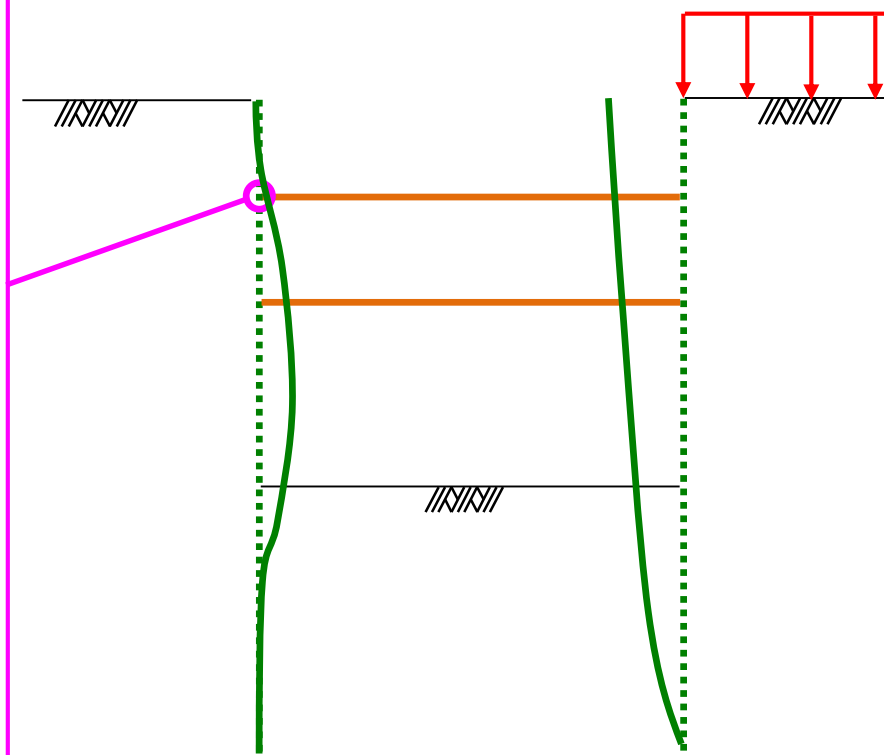
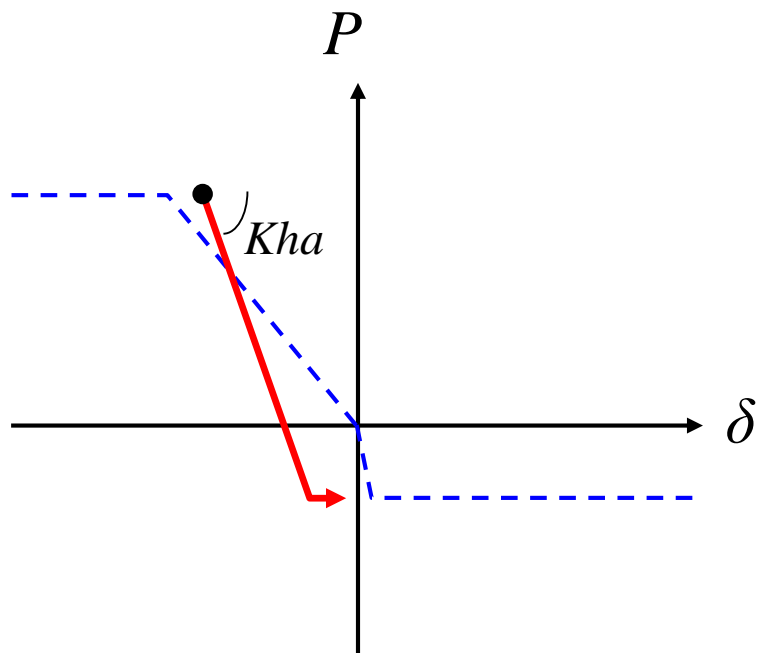


# 解析モデル：地盤ばねの挙動

## ■ 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



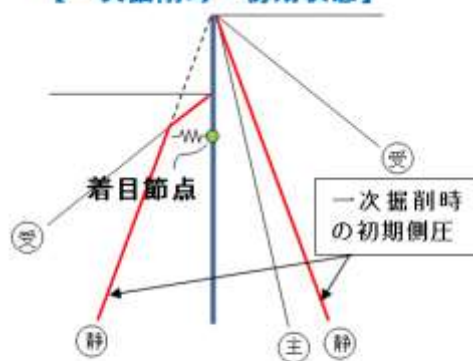


# 初期側圧(解析法ⅡES)

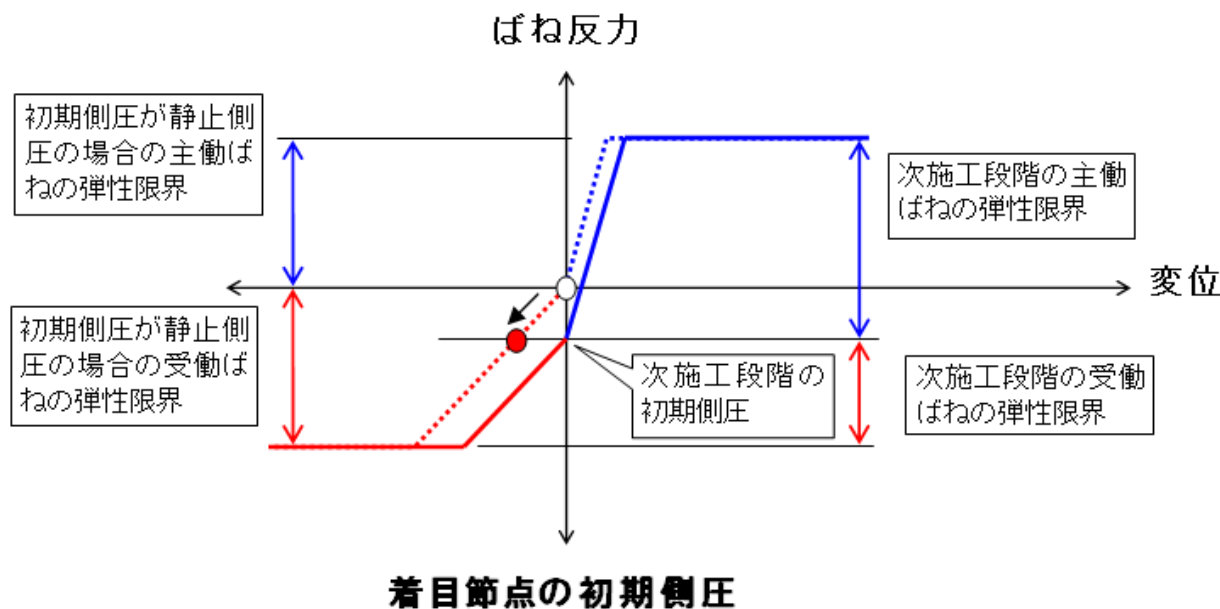
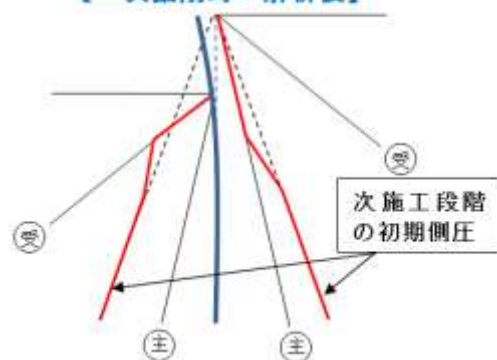
解析法ⅡESでは、各施工段階におけるバネの弾性範囲の変化に対応するために初期側圧という概念を用います。

初期側圧とは当該施行段階の初期状態において、背面側および掘削側から壁体実際に作用している側圧のことです。具体的には、前段階の最終側圧(解析後の側圧)が、当該施工段階の初期側圧となります。

【一次掘削時：初期状態】

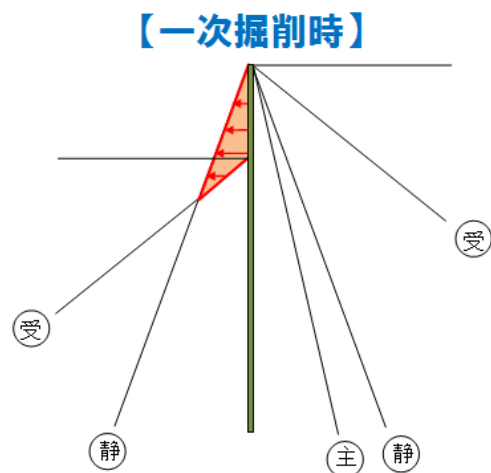


【一次掘削時：解析後】

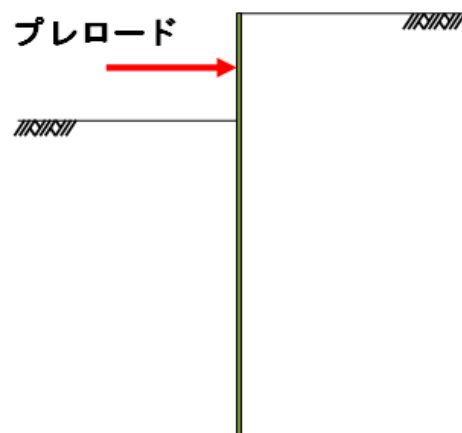


# 荷重について

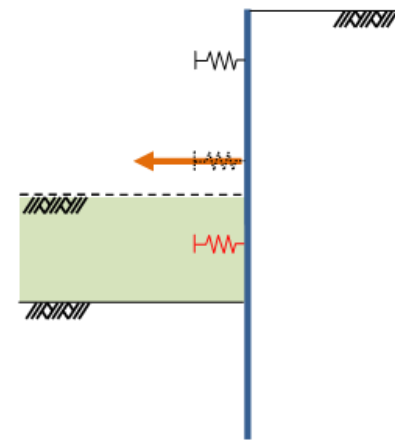
検討ケース	荷重名称	説明
掘削時	除荷荷重	掘削前と掘削後の側圧の差分を荷重として与える。
プレロード時	プレロード荷重	当該施工段階(プレロード時)にプレロードのみを載荷させる。
支保工撤去時	撤去荷重	撤去する支保工の反力と等価な値を除荷



▲除荷荷重



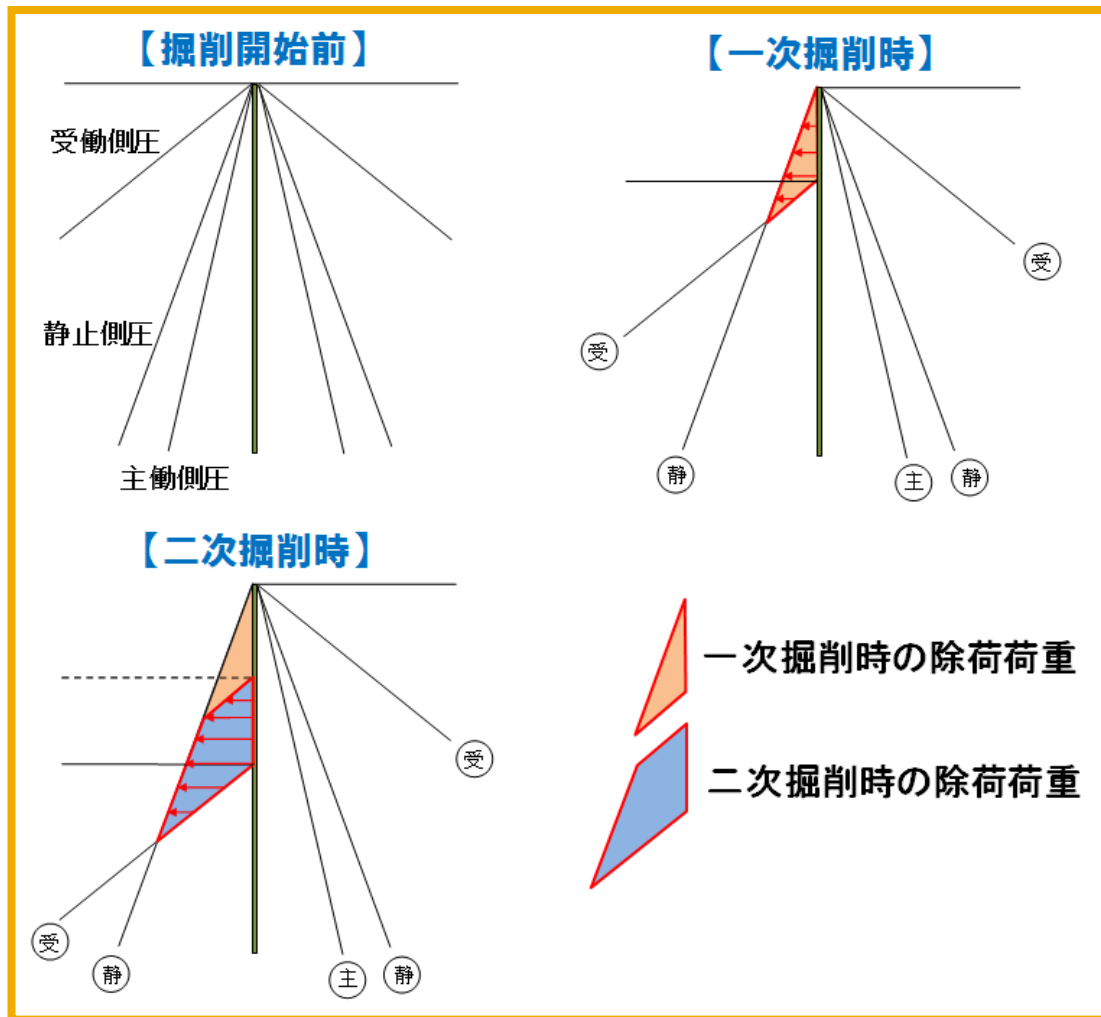
▲プレロード荷重



▲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)

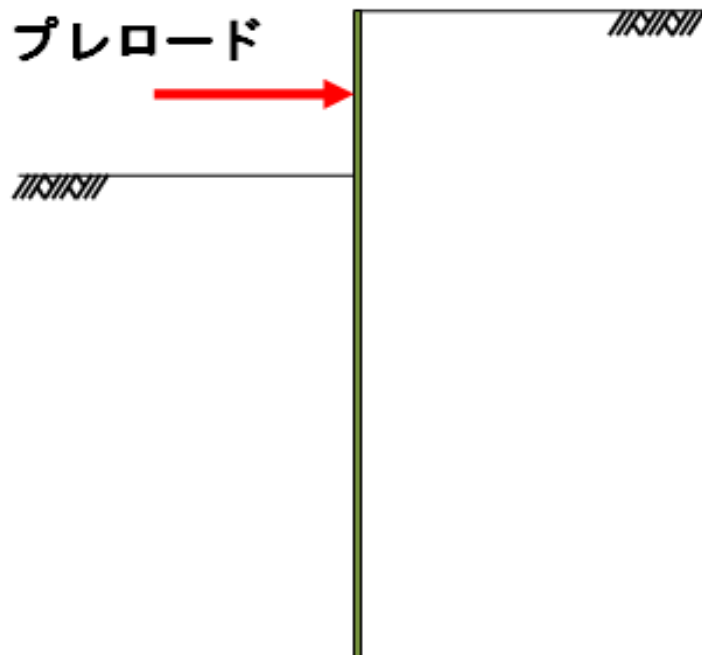


差分荷重を分割して(少しずつ) 載荷させ、分割数分の計算を行い、全差分荷重を載荷させる。

# 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。

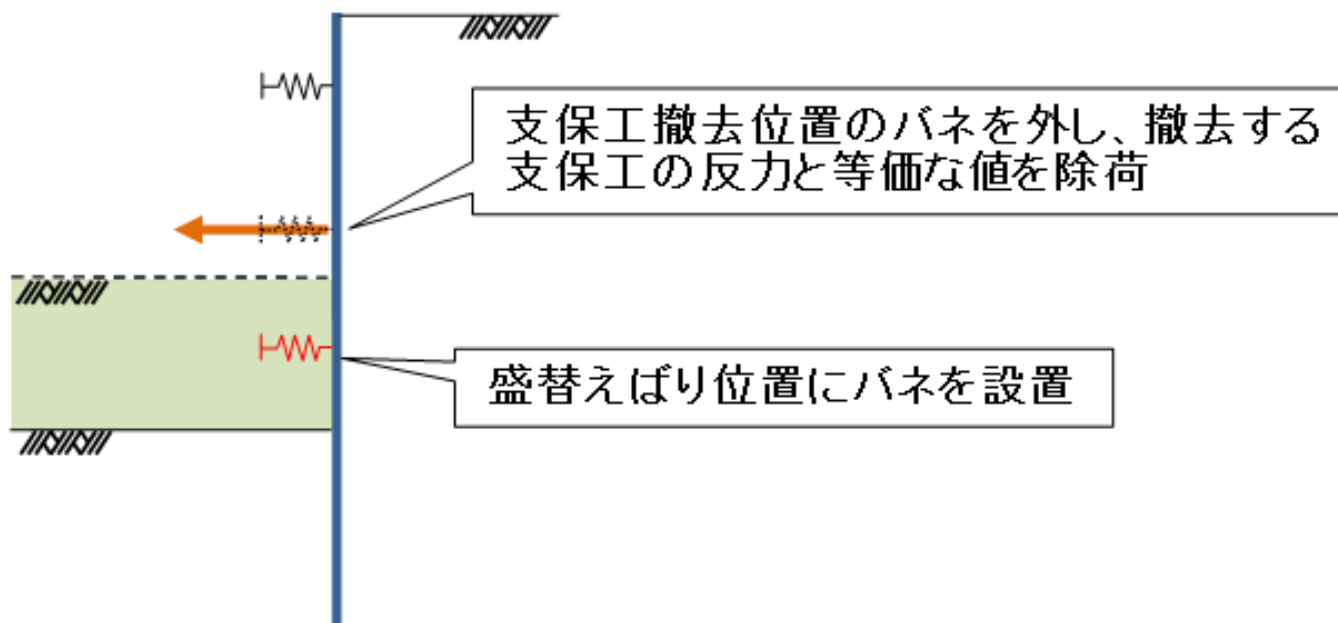
※解析法Ⅰでプレロードを考慮する際は、支保工バネ位置の変位をバネを設置しない場合の変位(先行変位)に一致させるために先行変位等価荷重を載荷していましたが、解析法Ⅱでは初期側圧にこの影響が反映されているので、先行変位等価荷重を載荷する必要はありません。



# 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。

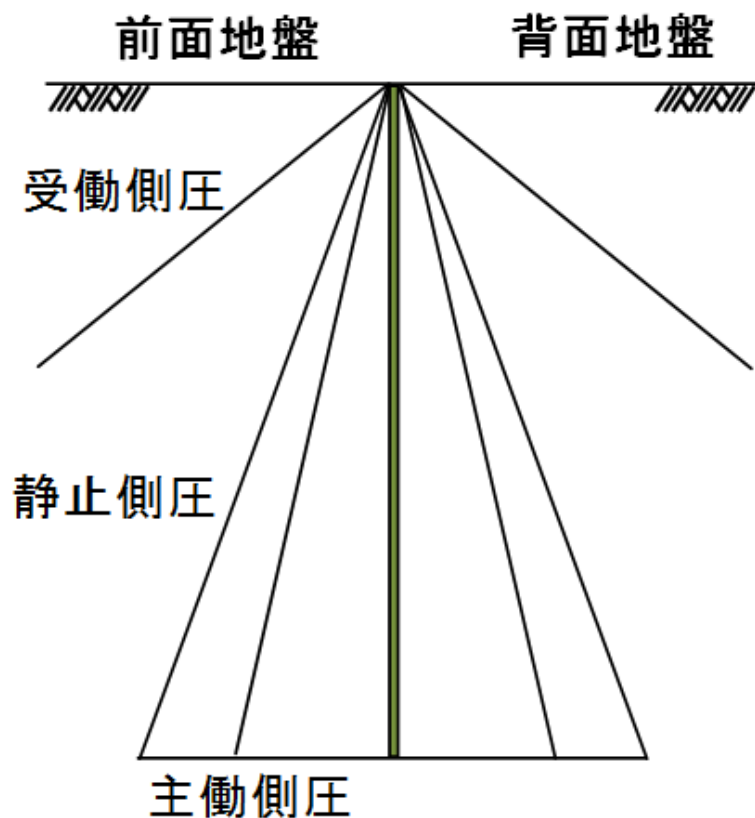
本プログラムでは、埋戻し地盤を考慮する場合は盛替えばりとしてモデル化します。



# 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。

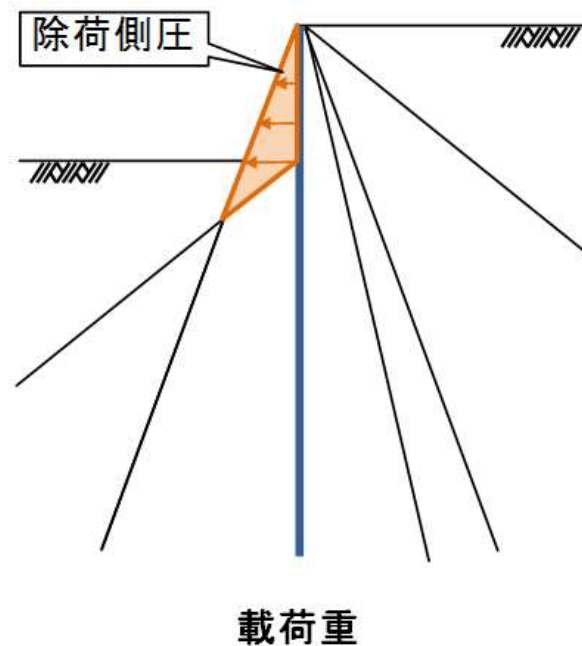
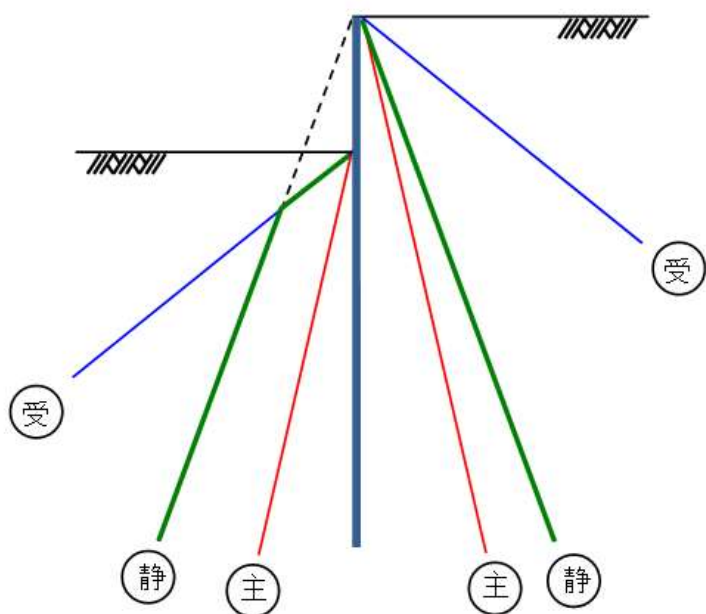


## 解析ステップモデル ②

### (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。

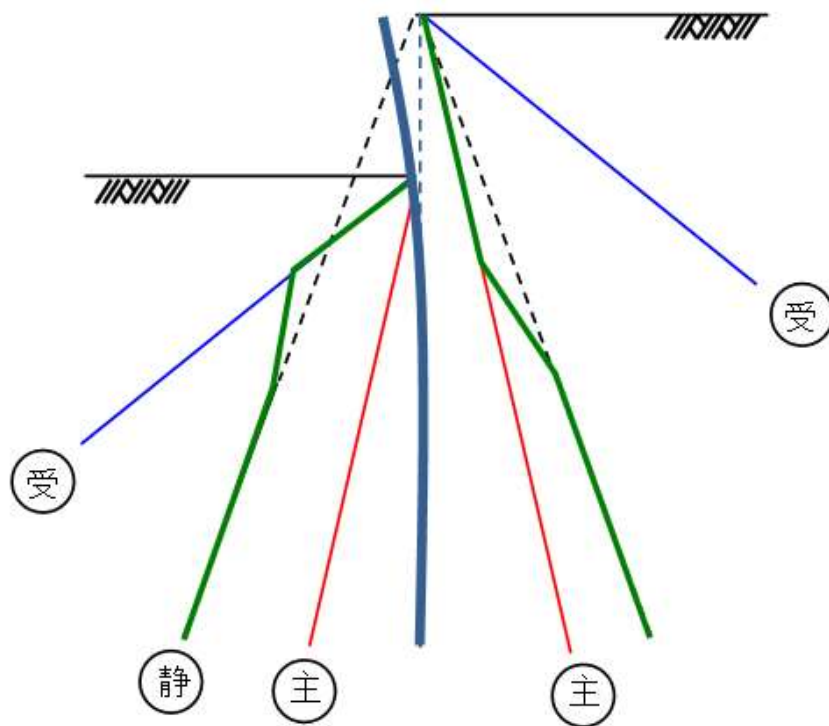


## 解析ステップモデル ③

### (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。



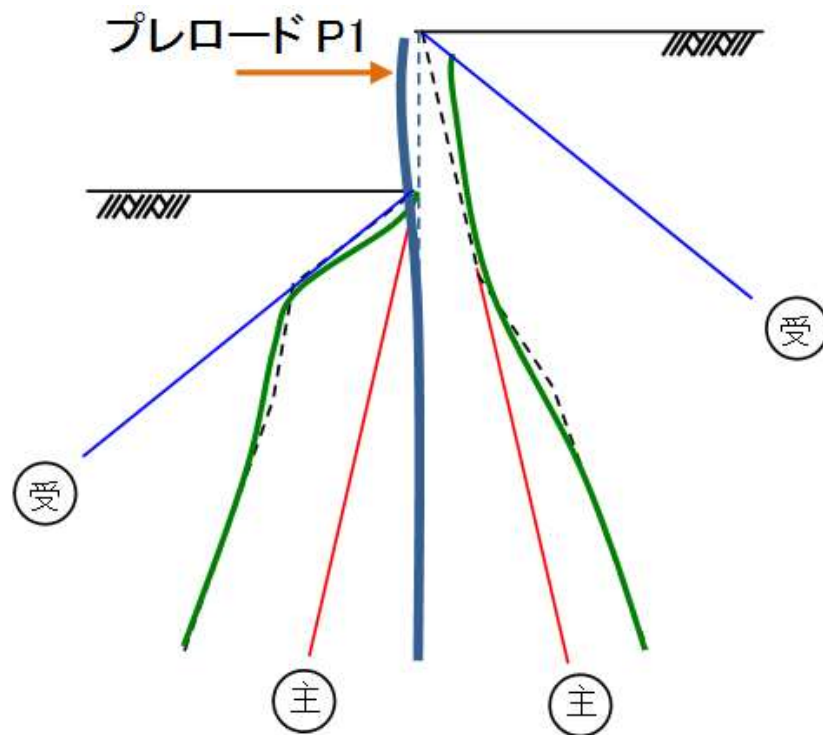


## 解析ステップモデル ④

### (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。

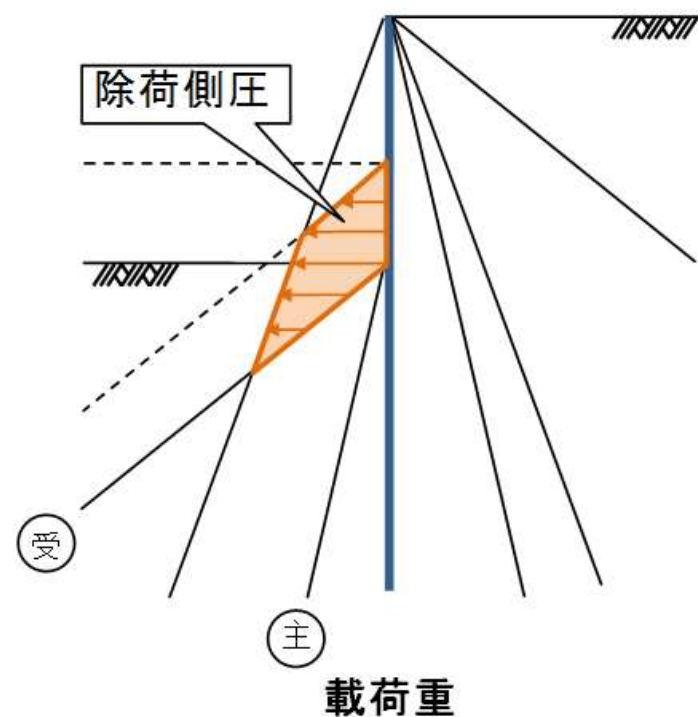
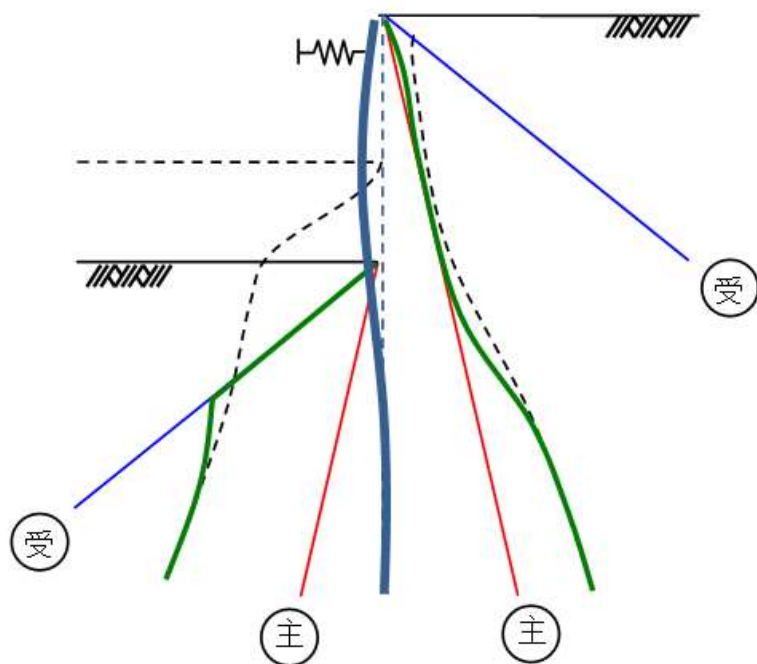
1次掘削と同様、「変形拘束→掘削→履歴設定の調整→拘束解除→変形→側圧の再分配」という過程を経る。この時、支保工反力がプレロード荷重からバネ支点反力へと変化する。



# 解析ステップモデル ⑤

## (5)2次掘削時

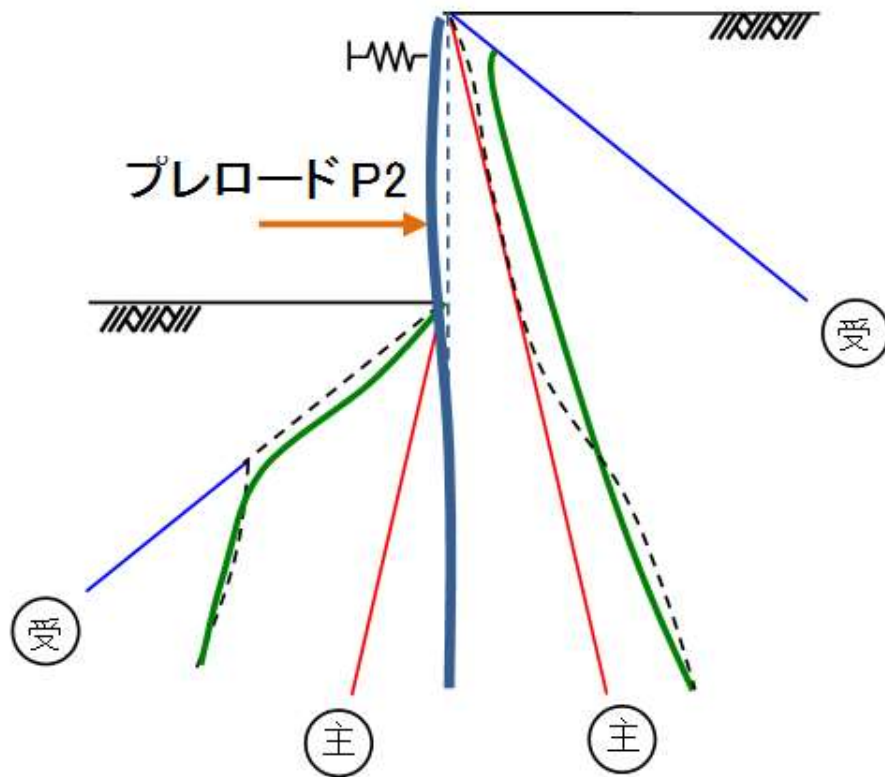
1次掘削と同様、「変形拘束→掘削→履歴設定の調整→拘束解除→変形→側圧の再分配」という過程を経る。この時、支保工反力がプレロード荷重からバネ支点反力へと変化する。



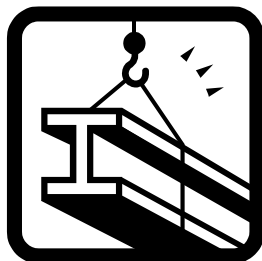
## 解析ステップモデル ⑥

## (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。



## プログラムによる設計演習(その4)



偏土圧モデル  
設計演習

# **「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+)

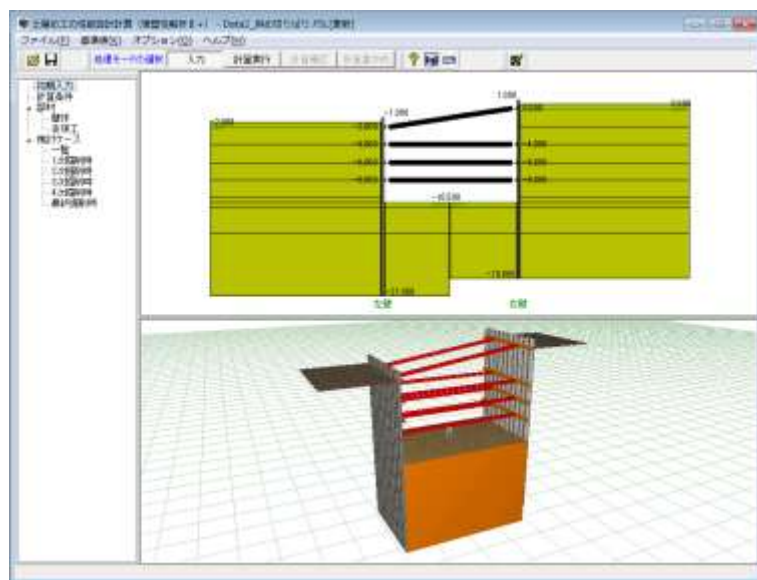
初版リリース：2013. 3. 29

¥212,000 (税別)

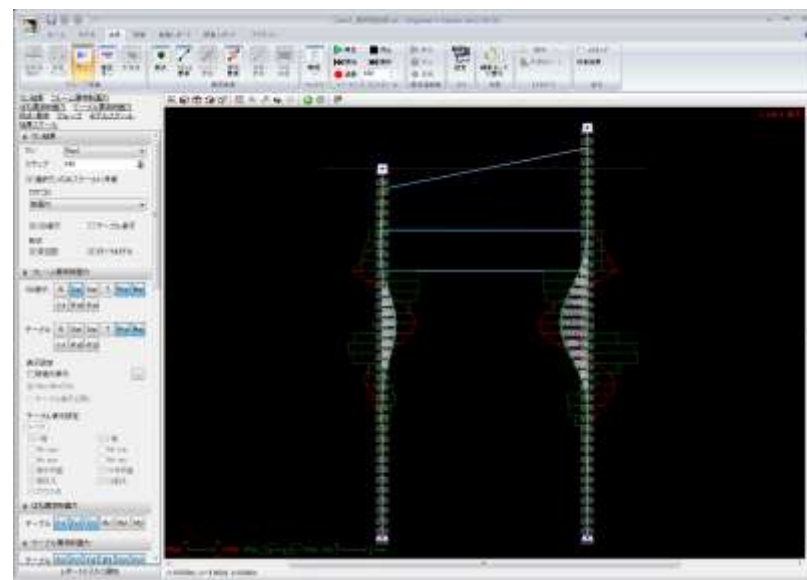
PSQ認証製品

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）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



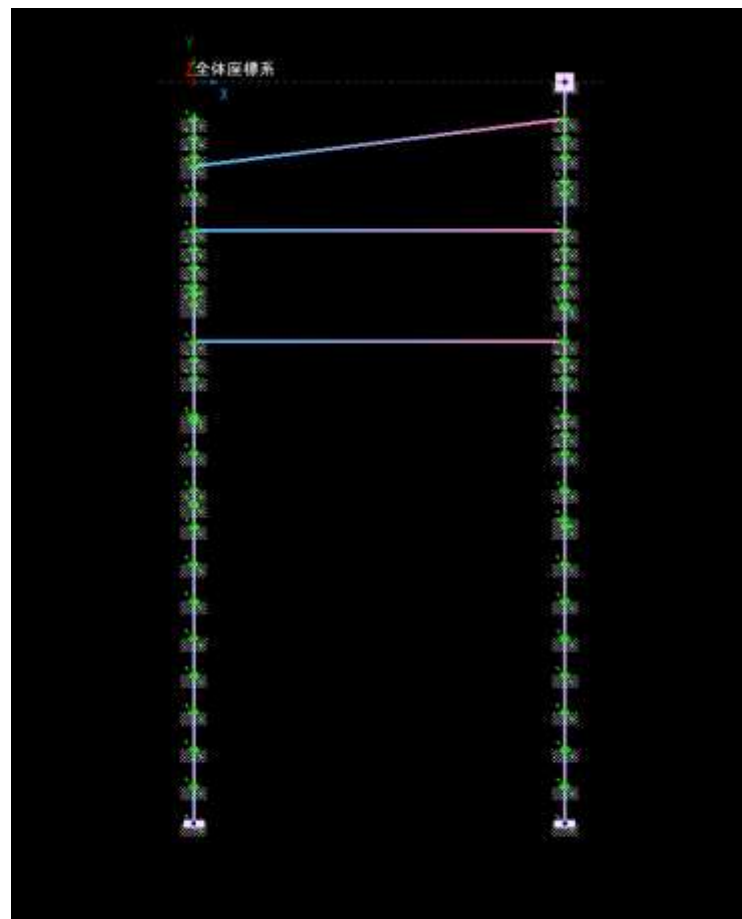
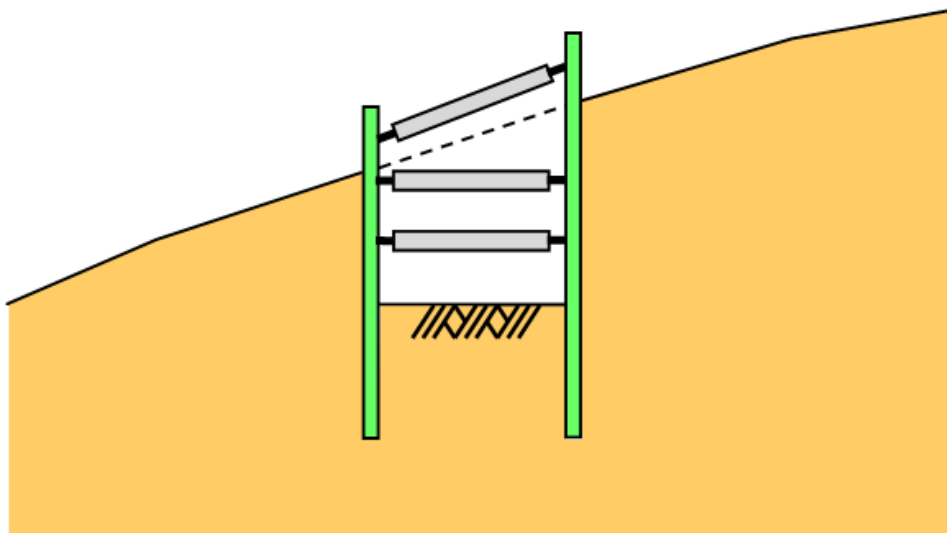
▲「Engineer's Studio」による解析結果

# 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	・ 単壁解析                      ・ 両壁一体解析
支保工	・ 切ばり              ・ アンカー              ・ 切ばり+アンカー併用工
計算結果	・ 支保工反力 ・ 壁体変位 ・ 壁体断面力（曲げモーメント、せん断力）
機能	・ 斜め切ばりに対応 ・ 切ばり+アンカー併用工（両壁一体解析）の計算に対応 ・ 支保工撤去順序の自由な設定に対応 ・ 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場合、左右のアンカー段数が異なる場合に対応 ・ 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） ・ 各検討ケースのESデータ（*.es）のエクスポート機能

# 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）



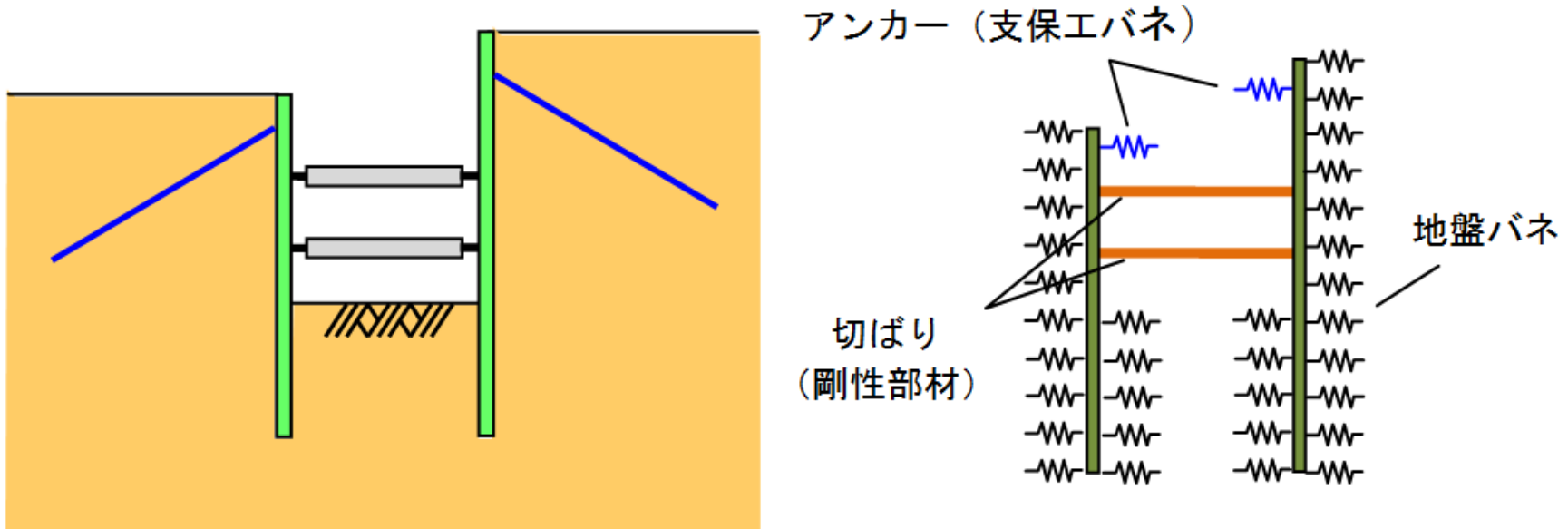
▲ESモデル



# 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）

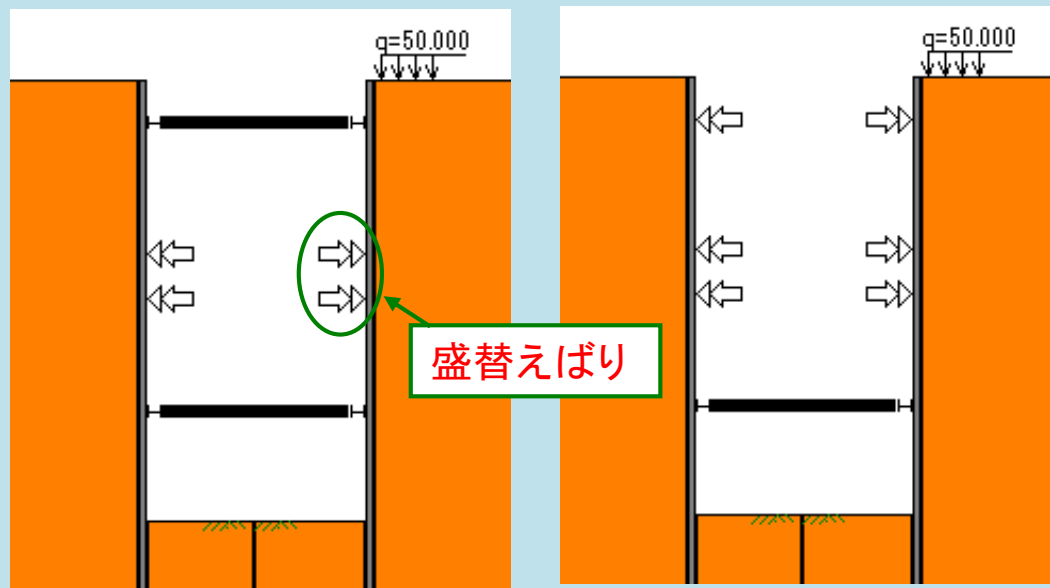
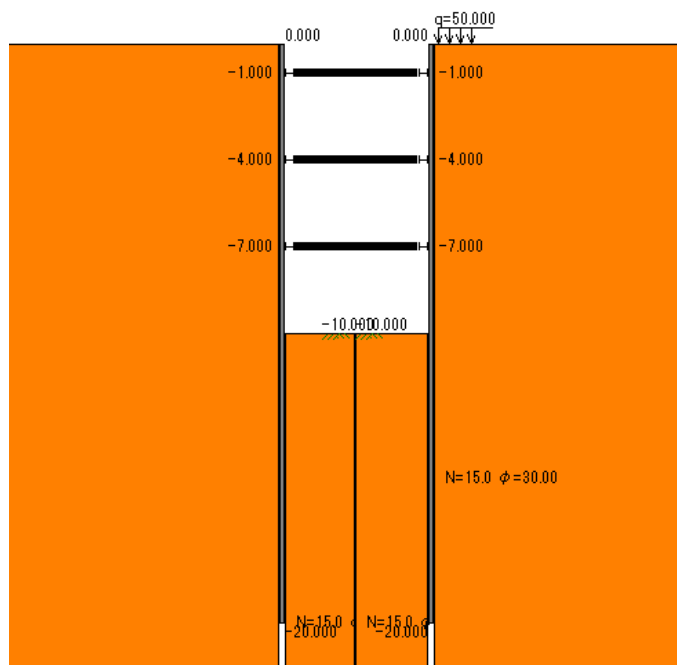


▲両壁一体解析（切ばり+アンカー併用工）

# 機能紹介: 支保工撤去順序の自由な設定に対応

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）



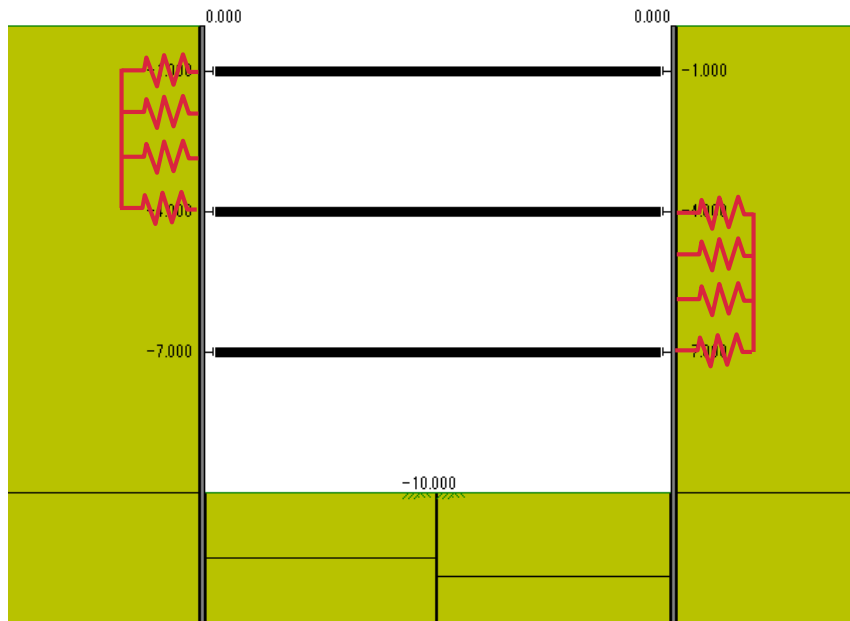
一次撤去  
(二段目切ばりを撤去)

二次撤去  
(一段目切ばりを撤去)

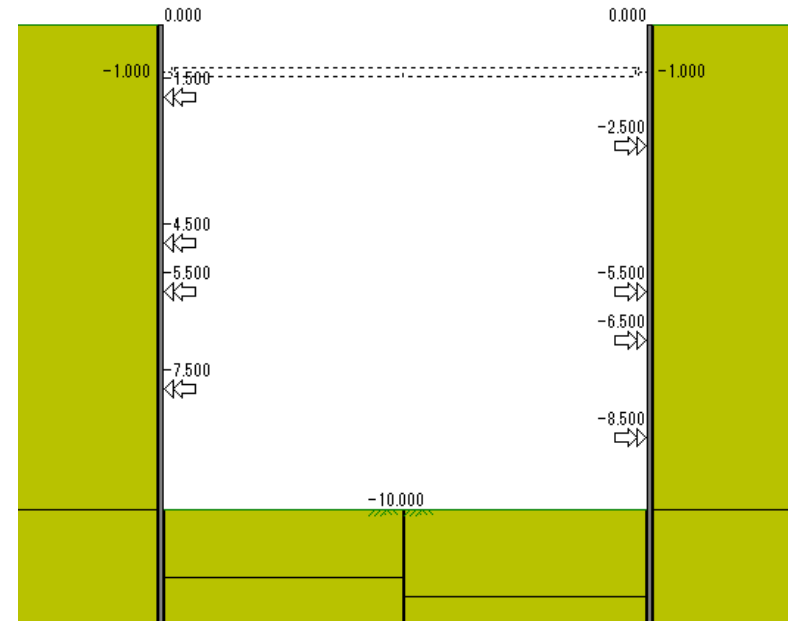
## その他の機能

その他に以下の機能に対応しています。

- ・形状バネの任意区間の設定
- ・盛替え支保工を左右異なる高さに設定(両壁一体解析)



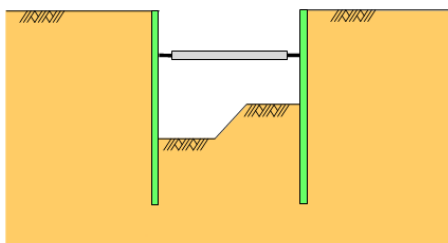
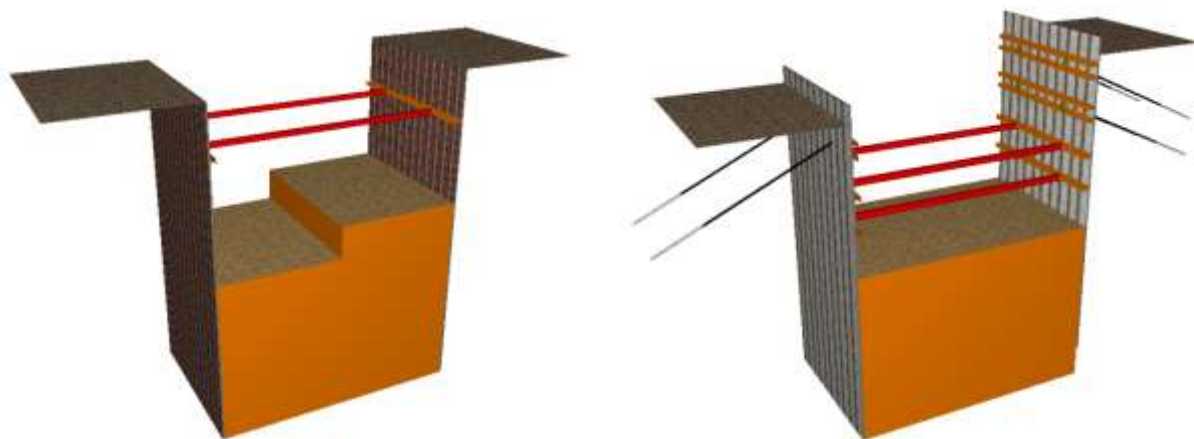
▲形状バネ（分布バネとして設定）



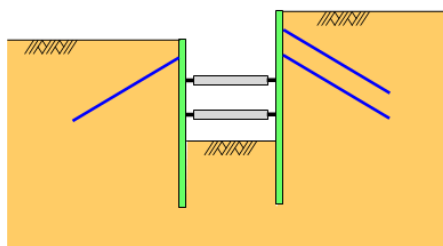
▲盛替え支保工

# Ver.2の改訂内容

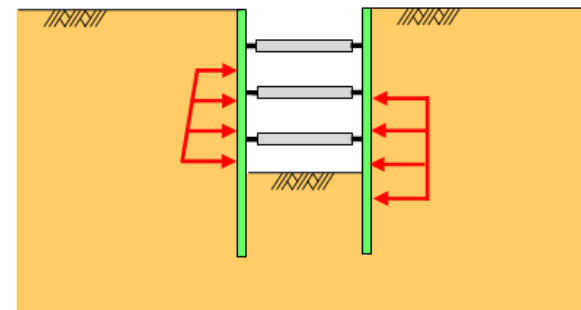
- ・両壁一体解析において、左右の掘削深さが異なる場合の検討に対応
- ・各検討ケースにおいて任意荷重(分布荷重)の設定に対応
- ・切ばり+アンカー併用工で両壁一体解析の時、左右のアンカー段数が異なる場合に対応
- ・各検討ケースごとの形状バネの変更に対応
- ・撤去時の盛替え支保工を設置した後に撤去できるようにしました



▲左右の掘削深さが異なる場合

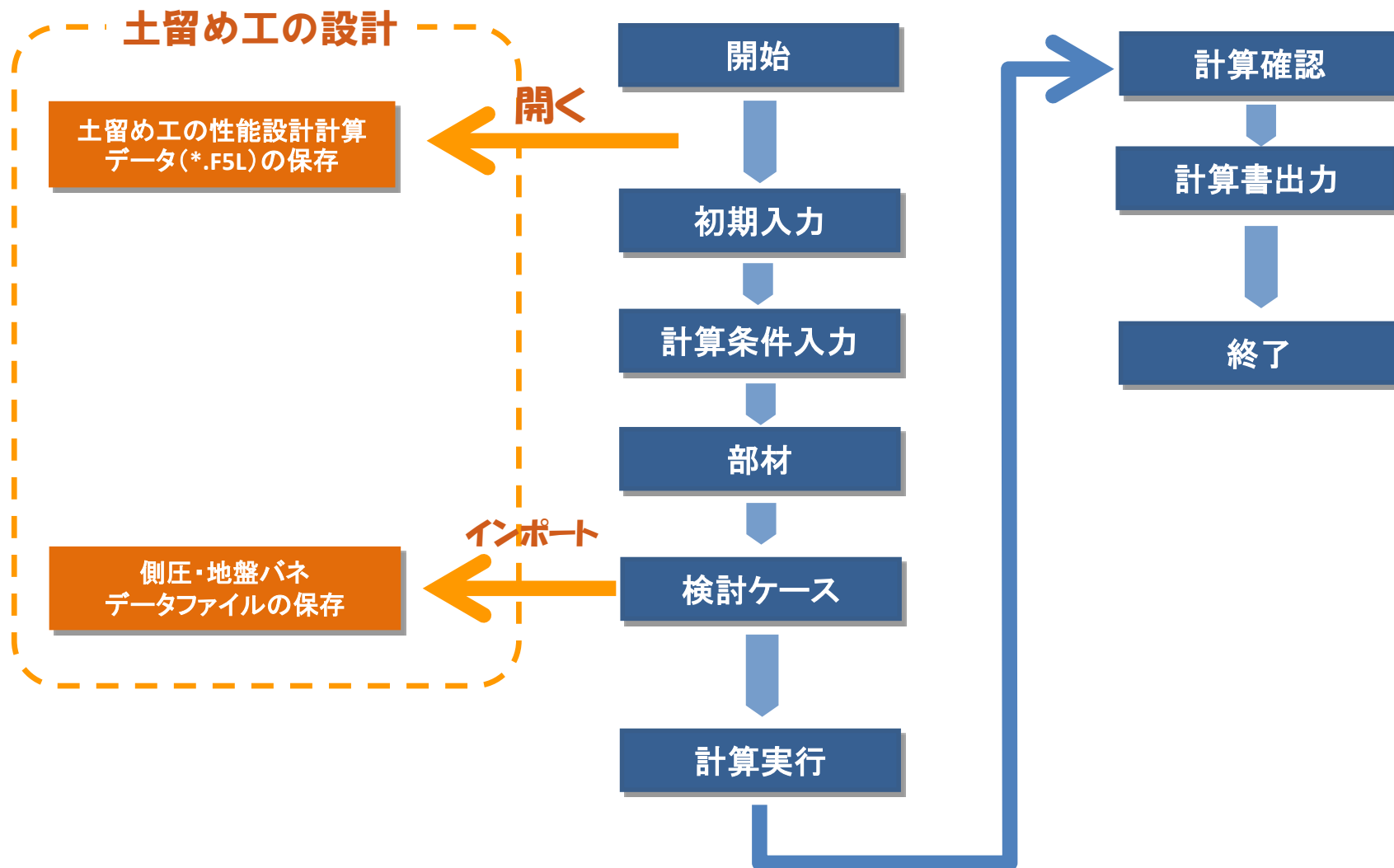


▲左右のアンカー段数が異なる場合

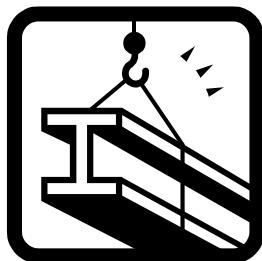


▲任意荷重

# 操作の流れ



# プログラムによる設計演習



斜め切ばりモデル

設計演習