

Session 5

CAD/GIS/CAE連携ワークフロー ケーススタディ1

## 地下構造物施工に伴う3次元地下水変動解析

株式会社 CRCソリューションズ  
社会基盤ソリューション部  
システム開発チーム  
松浦 敦  
新 良子

CAD/GIS/CAE Solution Fair 2005

Design & Simulation

AUTODESK®  
CIVIL 3D™

GEORAMA

Soil Plus

Sponsor



Cosponsor

Autodesk

### イントロダクション

- > 地下空間利用ニーズの増大
- > 地下空間利用による環境問題
- > 一次的現象に対する予測計算



Sponsor



Cosponsor

Autodesk

# 地下空間利用ニーズの増大



高速道路・鉄道の新設や整備事業

騒音、振動、景観悪化、用地確保、・・・

地下空間を活用するニーズ増大

周辺住宅地への環境配慮

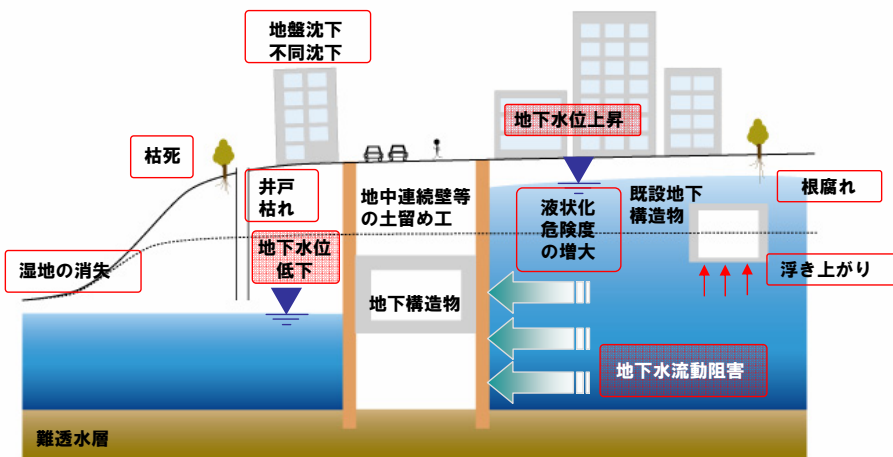
■参考資料：地下構造物建設による地下水流動阻害現象の環境影響評価 清水建設（株） 高坂 信章；三宅 紀治

# 地下空間利用による環境問題

地下構造物の建設により、地下構造物を横切る地下水流が遮断される。

- 地下水流の上流では、ダムアップ効果により地下水位上昇。
- 地下水流の下流では、地下水位が低下。

新たな環境問題が発生



■参考資料：地下構造物建設による地下水流動阻害現象の環境影響評価 清水建設（株） 高坂 信章；三宅 紀治  
■参考資料：等々力駅地下工事技術検討委員会資料

# 一次的現象に対する予測計算

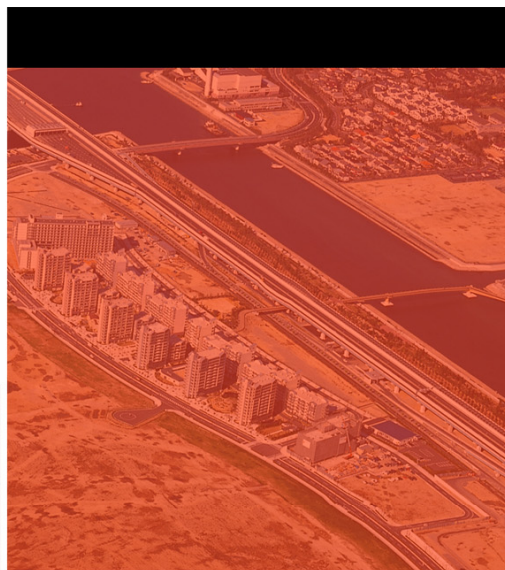
## 地下水流動阻害による影響評価



■参考資料： 地下構造物建設による地下水流動阻害現象の環境影響評価 清水建設（株） 高坂 信章；三宅 紀治

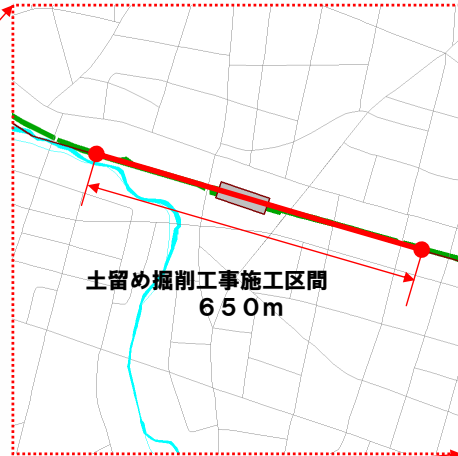
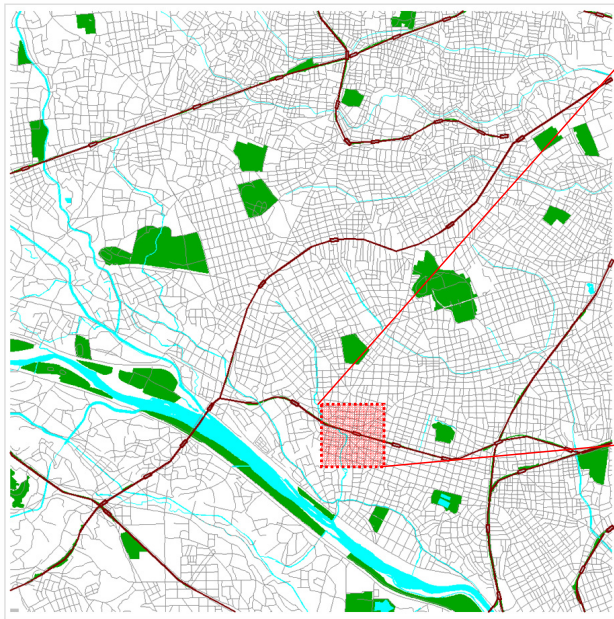
## 解析対象

- > 解析対象
- > 対策工について
- > 解析ワークフロー





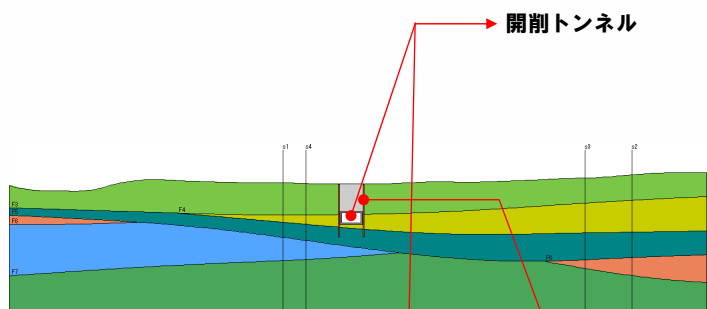
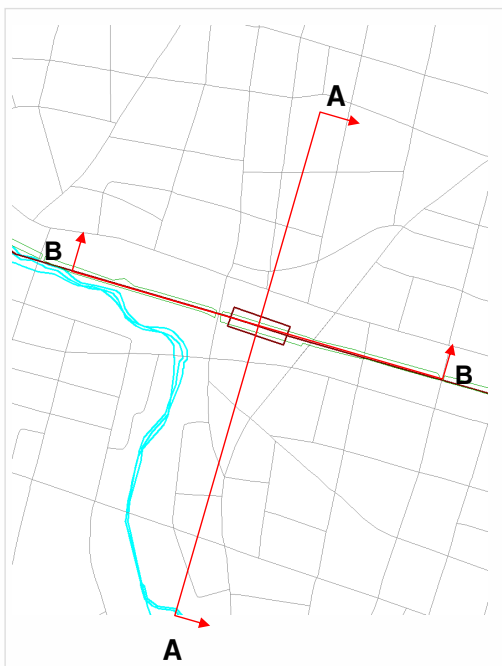
# 地下水変動解析 — 解析対象 1



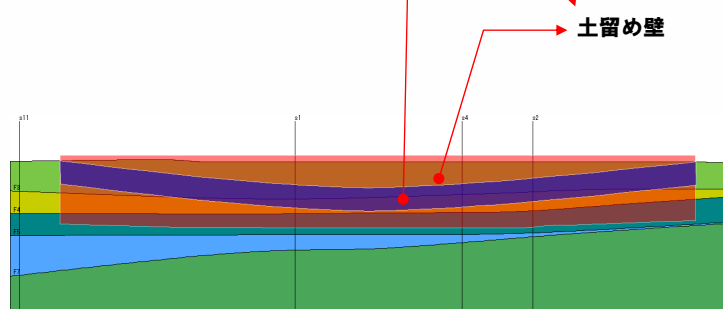
既設鉄道の整備事業に伴い、土留め掘削工事を行う。周辺環境への影響が懸念されるため、3次元浸透流解析を行い、対策工効果も含めて検討する。

このセッションで用いる地域、地層構成は解説のために作成したもので、解析事例は架空のものです。実在の地域、現象、団体とは一切関係ありません。

# 地下水変動解析 — 解析対象 2



地下構造物横断方向断面 A - A

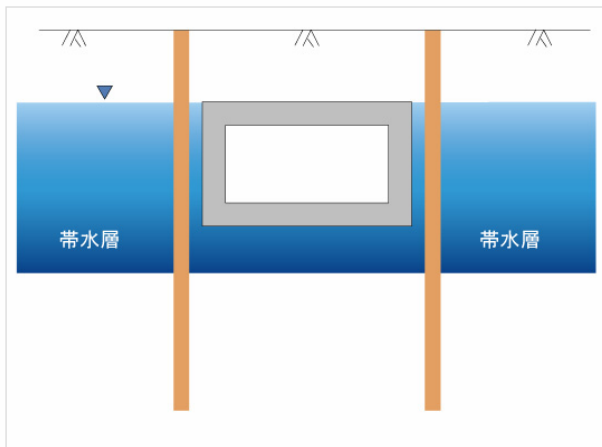


地下構造物縦断方向断面 B - B

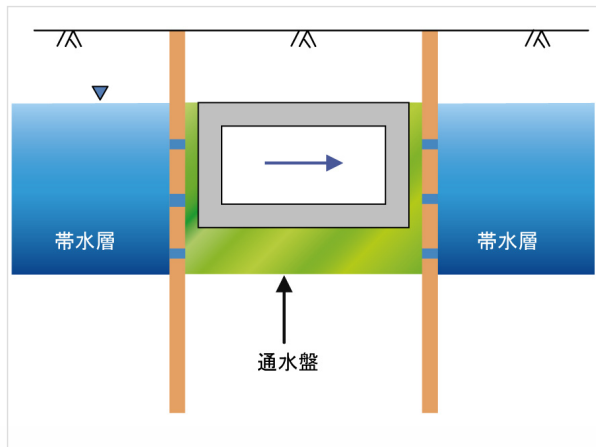


# 対策工について

無対策で地下構造物が帯水層に建設されると、地下水流動阻害が生じる可能性がある。その場合、上流側に湿潤化、下流側に井戸障害、地盤沈下などの影響が生じると考えられる。ここでは、対策工として、土留め壁に開口部を設置し、躯体周辺を透水性材料で埋め戻す方法をシミュレーションする。



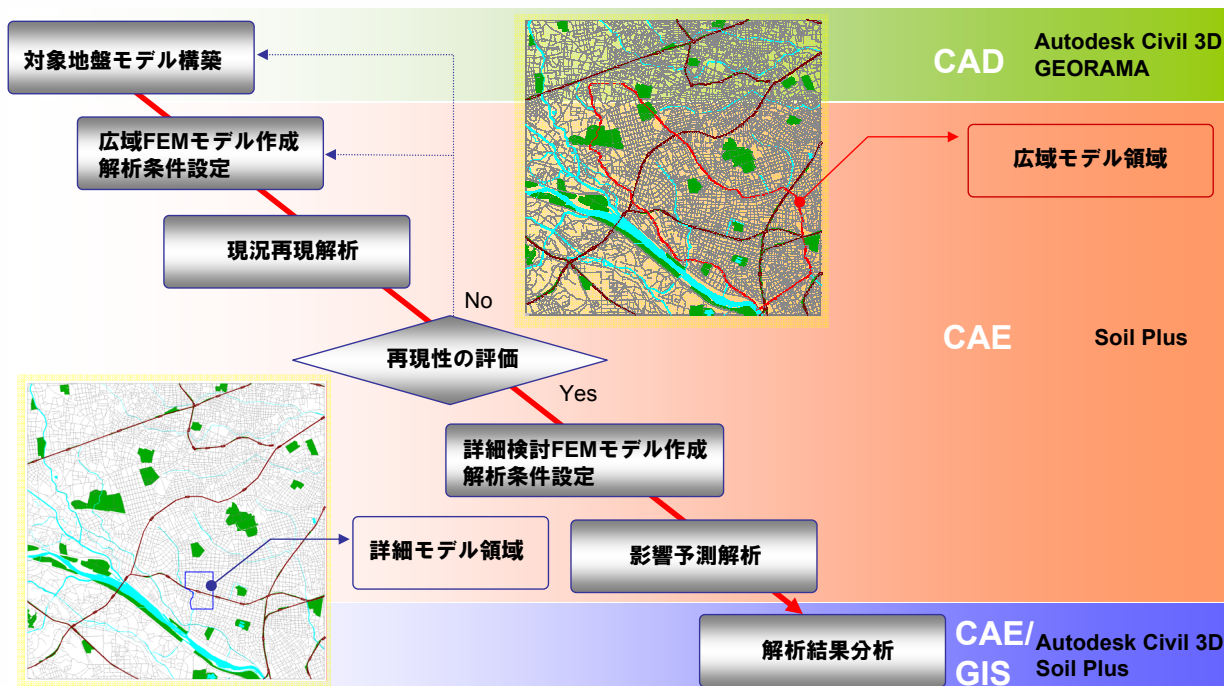
無対策



対策工

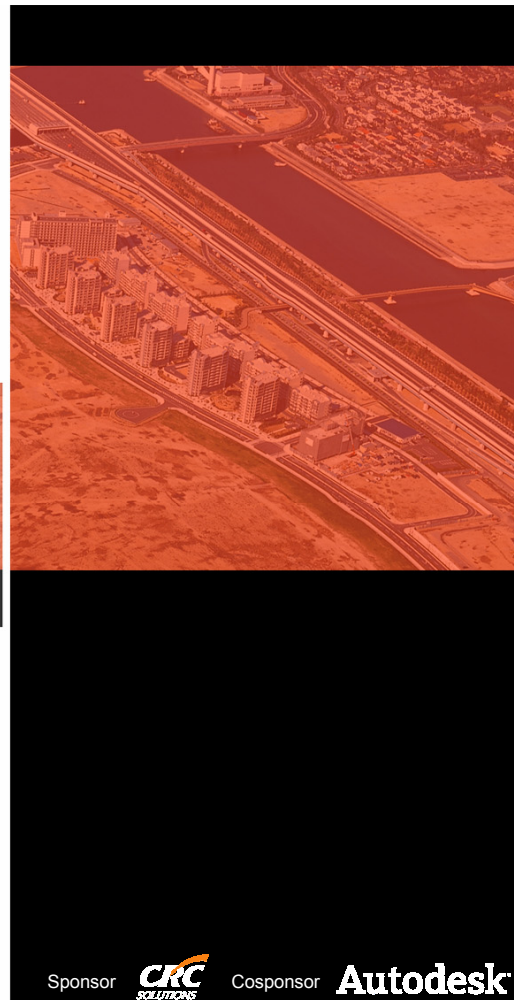
# 解析ワークフロー

このセッションでは、CAD→CAE→GISの解析ワークフローの解説に主眼をおいて解説する。



## 地盤モデル構築

- > 地形モデリング/調査データ
- > 断面整合モデル作成
- > 断面整合モデルから3次元地盤モデルへ
- > モデル領域の設定
- > 地盤モデルをFEMツールへ



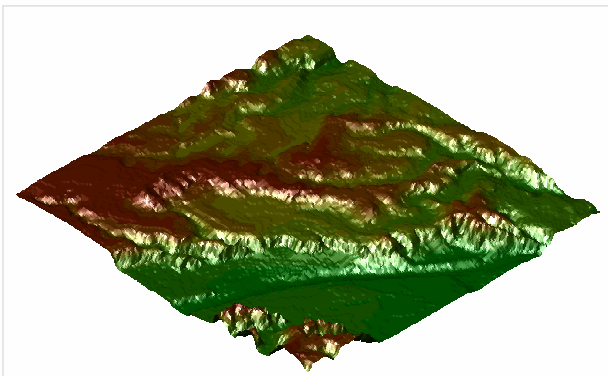
Sponsor **CRC solutions** Cosponsor **Autodesk**

## 地形モデリング/調査データ

Autodesk Civil 3Dの地形モデリング機能で地形を作成後、GEORAMA Drawingで調査データを入力。



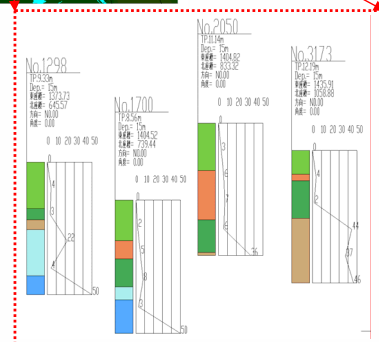
数値地図25000を使用



作成された地表面形状 : 鉛直倍率15で表示



ボーリングデータを入力

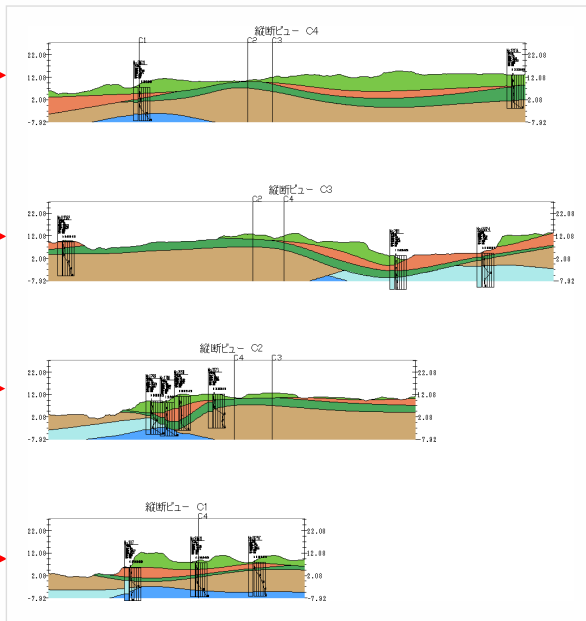
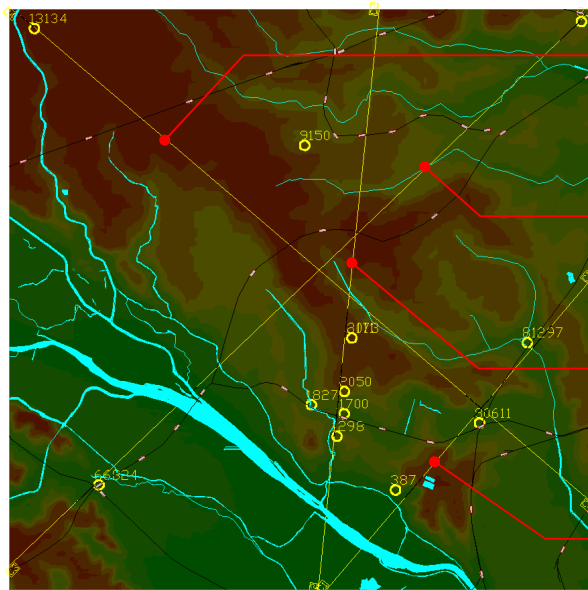


簡略柱状図を表示

CAD/GIS/CAE Solution Fair 2005

# 断面整合モデル作成 1

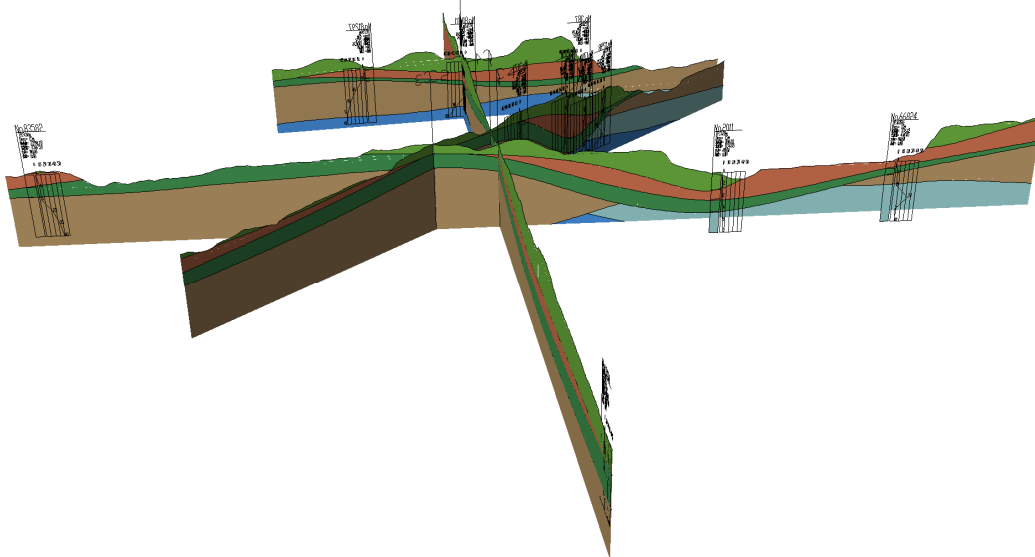
GEORAMA Drawingで3次元で整合性のとれた地質断面図を作成。



# 断面整合モデル作成 2

**GEORAMA**  
Drawing

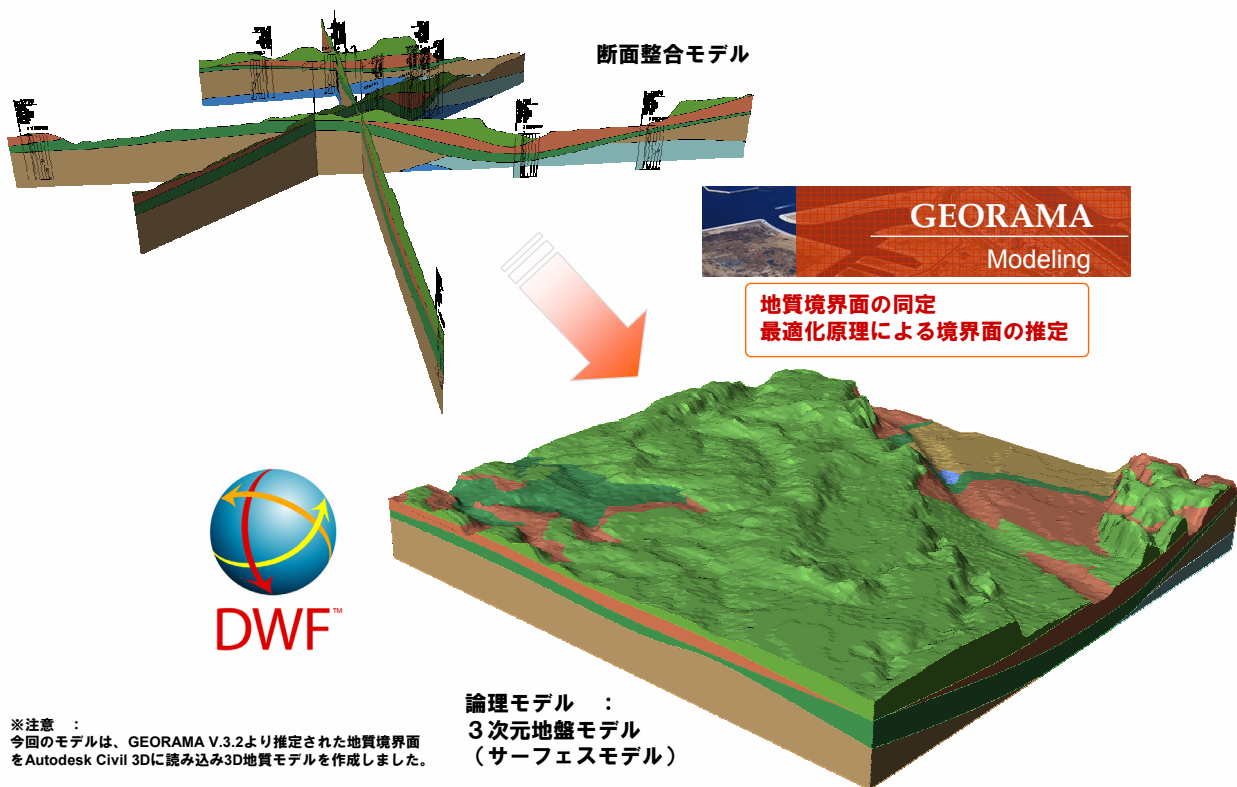
パネルダイアグラムで3次元で整合性のとれた地質断面図を確認。



パネルダイアグラム : 鉛直倍率15で表示



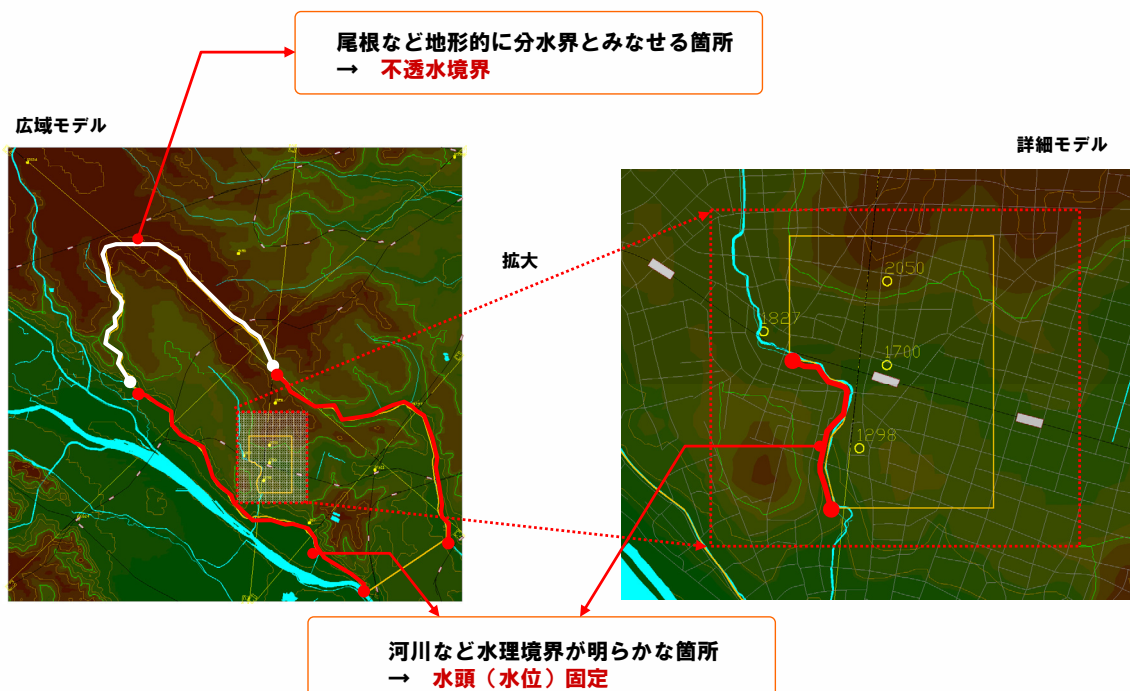
# 断面整合モデルから3次元地盤モデルへ



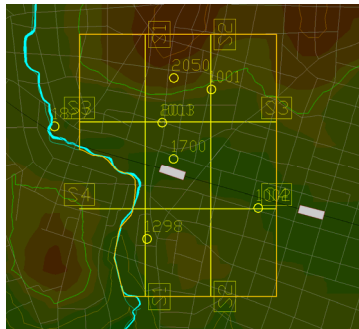
※注意 :  
今回のモデルは、GEORAMA V.3.2より推定された地質境界面をAutodesk Civil 3Dに読み込み3D地質モデルを作成しました。

# モデル領域の設定

現況再現解析では、再現性を高めるためできるだけ広域な領域を設定。その際、Autodesk Civil 3D & GEORAMAの地形・地質分析や、地図などの条件から最適なモデル領域を設定することが可能。

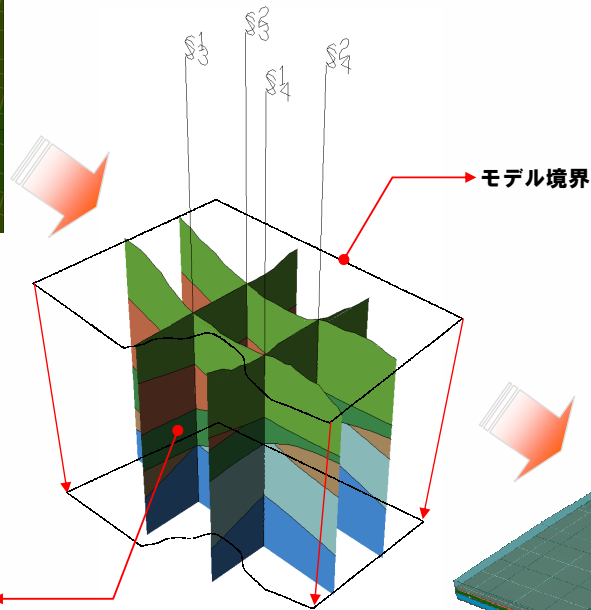


# 地盤モデルをFEMツールへ



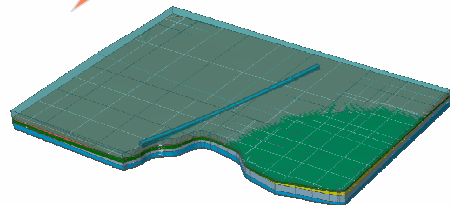
GEORAMAでモデル境界作成

【モデル境界+3D地盤モデル】を  
Soil Plusへコンバート



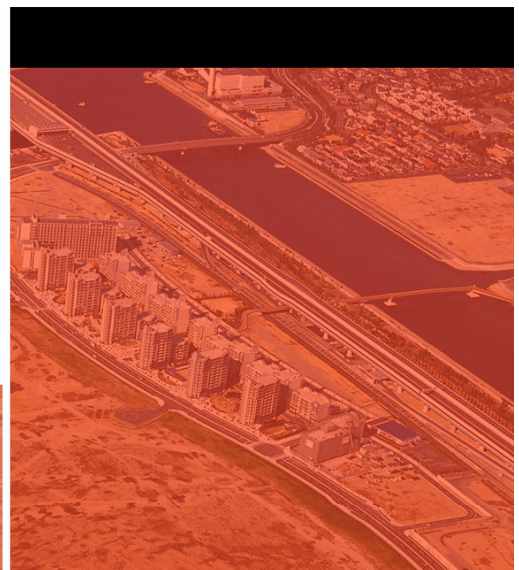
GEORAMA Modelingで  
作成した3D地盤モデル

Soil Plusの  
ソリッドブーリアン演算で  
ジオメトリ作成



## Soil Plusモデリング

- > GEORAMA → Soil Plus
- > 広域モデル作成
- > 詳細モデル作成

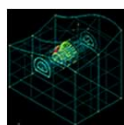
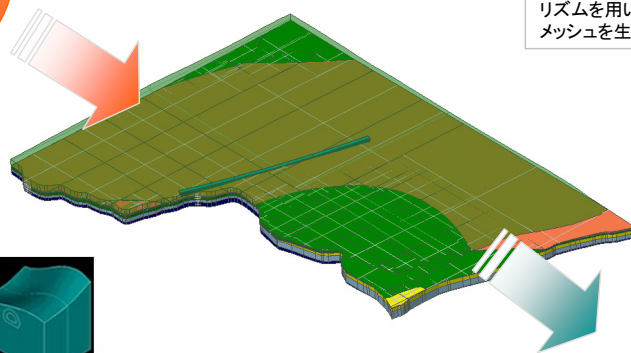


# ジオメトリ受け渡し

GEORAMA

ベースソリッド  
地層境界サーフェース

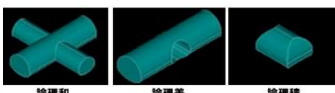
※ジオメトリとは  
メッシュ等を生成する際に利用する形状  
データのことです。  
SoilPlusでは、ジオメトリレベルでの高度な  
モデリング機能とオートメッシュ作成アルゴ  
リズムを用いて、複雑なモデルに対して、  
メッシュを生成することができます。



ワイヤーフレームモデル



ソリッドモデル



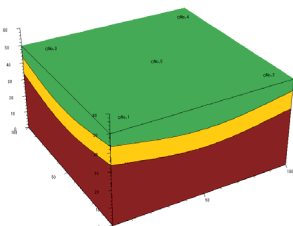
ソリッドモデリング  
ブーリアン演算

Soil Plus

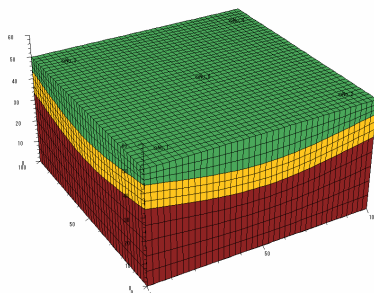
CAD/GIS/CAE Solution Fair 2005

# メッシュ分割 [ボクセルメッシュ]

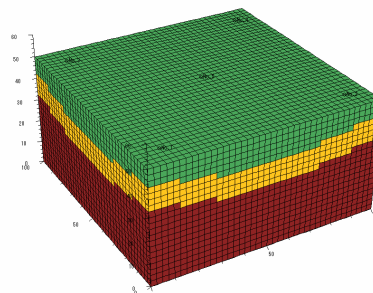
地盤の不整合がない場合



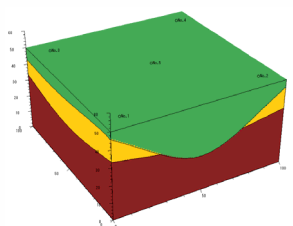
6面体通常メッシュ



ボクセルメッシュ



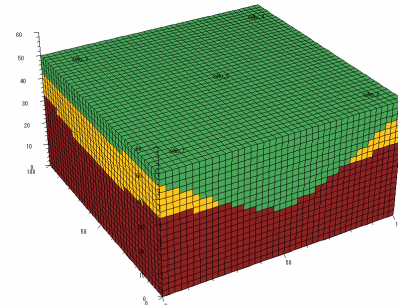
地盤の不整合がある場合



広域モデルのように全体の傾向を精度良く捉えたいという解析においては、ボクセルメッシュは有効な手段の一つです。

ボクセルメッシュによる分割でも、要素分割を細かくし、形状をなるべく表現できるように分割すれば、要素分割の労力が削減されるメリットのほか、要素形状が均一なため、計算精度、速度に関してもメリットがあります。

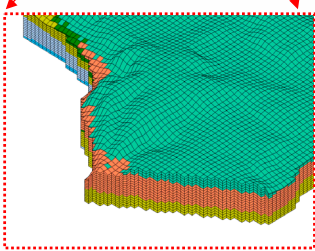
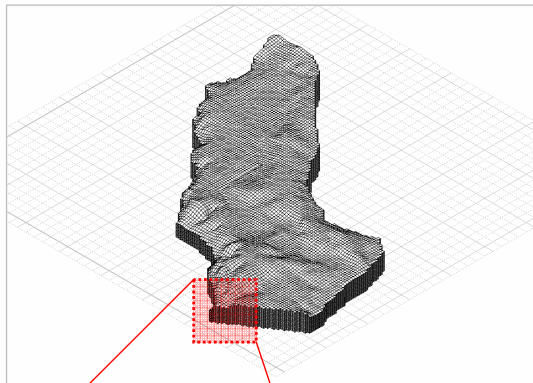
ボクセルメッシュ



CAD/GIS/CAE Solution Fair 2005



## メッシュ分割 広域



メッシュ拡大図

### <メッシュ作成>

広域モデルで全体の傾向を精度よく表現できるように均一な要素を生成。

### <物性値区分>

物性区分は、要素中心座標位置での地層を設定する。地層境界のサーフェスから要素の物性値を割り当てる。

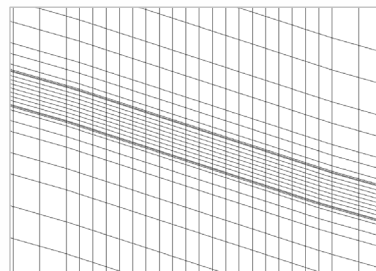
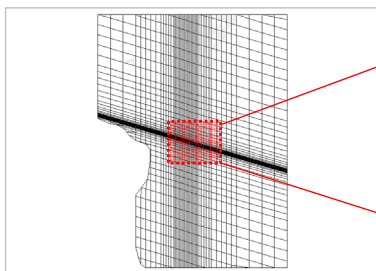


地層別メッシュ図

## メッシュ分割 詳細 1

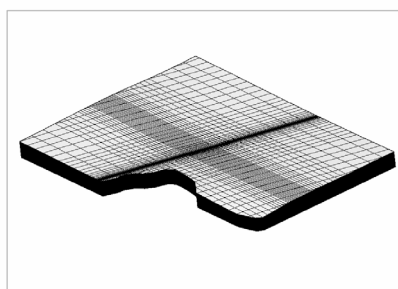
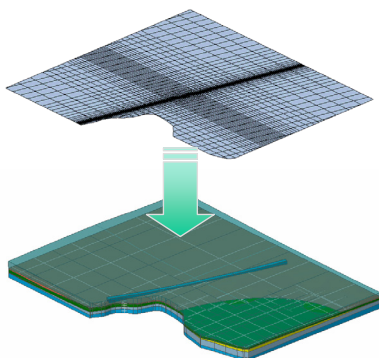
### <STEP1>

任意形状の平面メッシュ作成

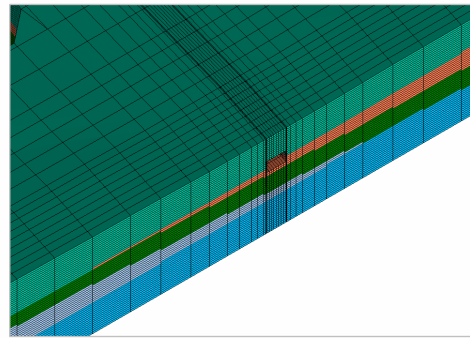
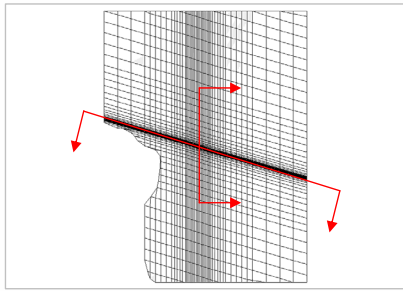


### <STEP2>

平面メッシュを元にボクセルメッシュ生成



## メッシュ分割 詳細 2



駅横断方向



トンネル縦断方向 (トンネル配置位置=白抜き)



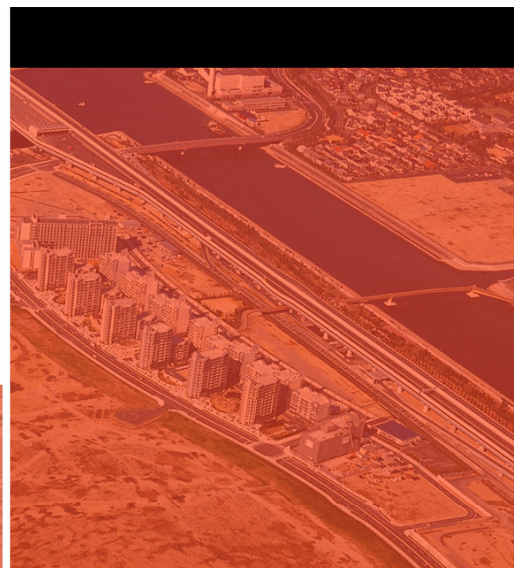
トンネル縦断方向 (山留め配置位置=赤色)

### <メッシュ作成>

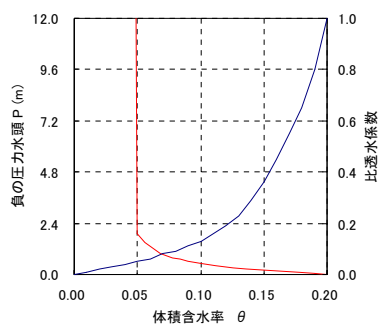
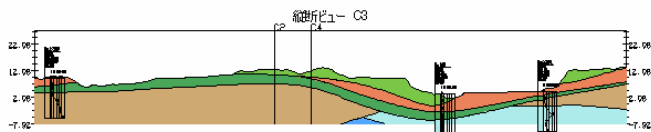
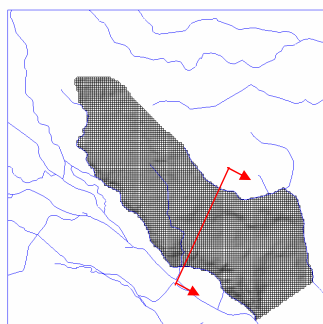
任意の平面メッシュを鉛直方向に押し出して  
ボクセルメッシュを生成可能。  
着目域に対しては十分に細かいメッシュとなる  
ようにする。

### 現況再現解析

- > 物性値緒元
- > 境界条件
- > 結果・考察



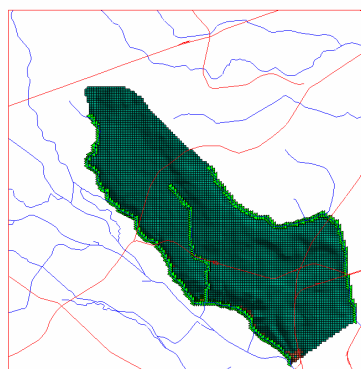
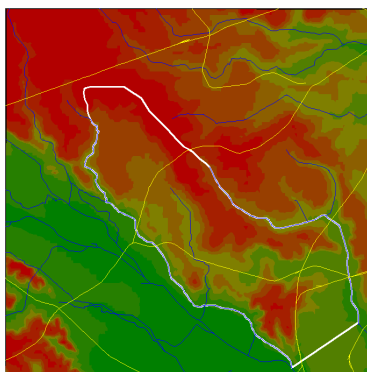
## 物性値



地質	透水係数 (cm/s)	不飽和特性
砂質土	1.00E-3	砂質土[S]
ローム	1.50E-5	粘性土[C]
粘性土	5.00E-6	粘性土[C]
砂礫	1.30E-2	礫質土[F]
粘性土	1.00E-6	粘性土[C]
シルト	1.00E-6	砂質土[SF]

※不飽和特性は河川堤防の構造検討の手引きの値を参照した。

## 境界条件 広域

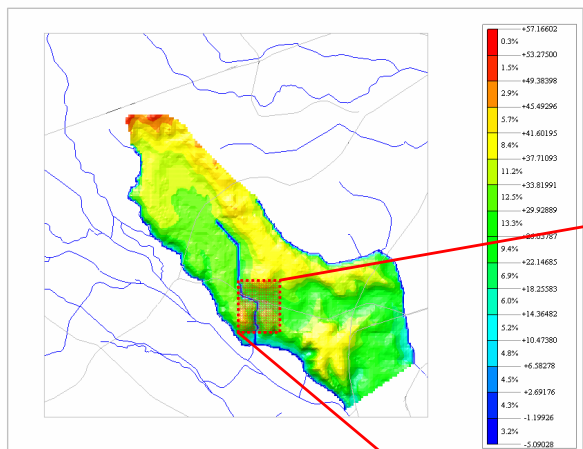


- **水頭固定境界** : 河川などの水理境界が明らかな箇所についてはその水位で水頭を固定。
- **不透水境界** : 尾根などの地形的に分水界と見なせる位置に設定
- **降雨境界** : モデル地表面全てに降雨条件を付与。  
浸透能は一律1.0に設定。



# 解析結果 広域モデル 1

## ■全水頭コンター図

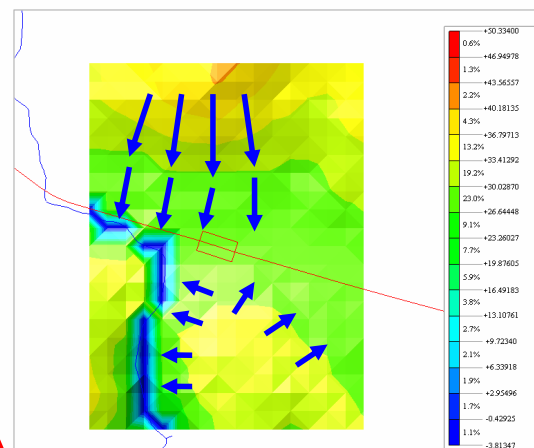


## 対象地盤の地下水流の傾向

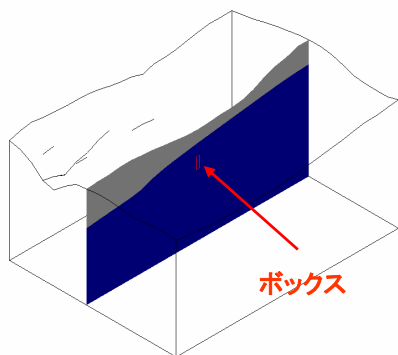
構造物の設置位置が、  
地下水流を遮断する位置  
にあることが分かる。



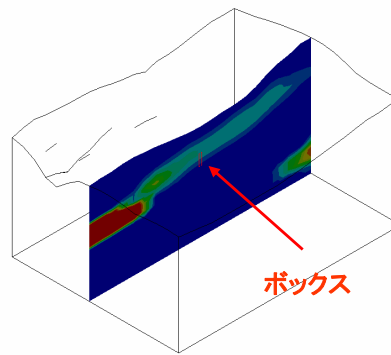
水位変動に対する影響大



# 解析結果 広域モデル 2



圧力水頭コンター図(水位面)



流速コンター図

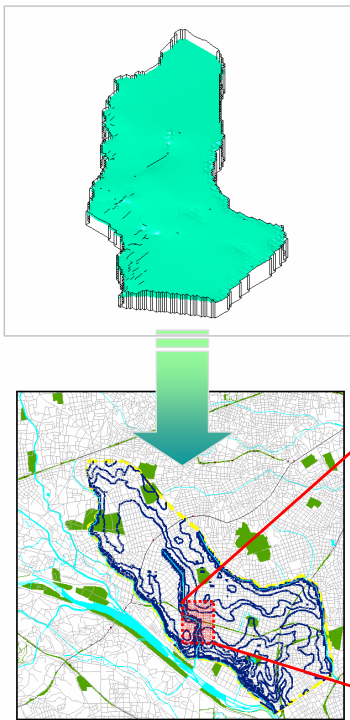
## 対象地盤の地下水流の傾向

構造物の設置位置が帯水層中にあることが分かる。



水位変動に対する影響大

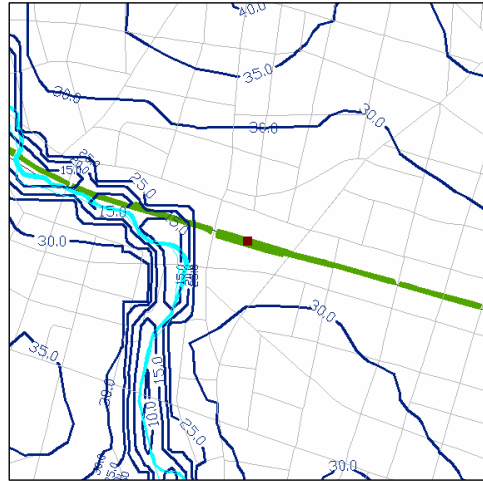
# 解析結果 広域モデル 水位等高線



地下水位座標データをAutodesk Civil 3Dに引き渡し、サーフェースとして設定し、地下水位面を描画。

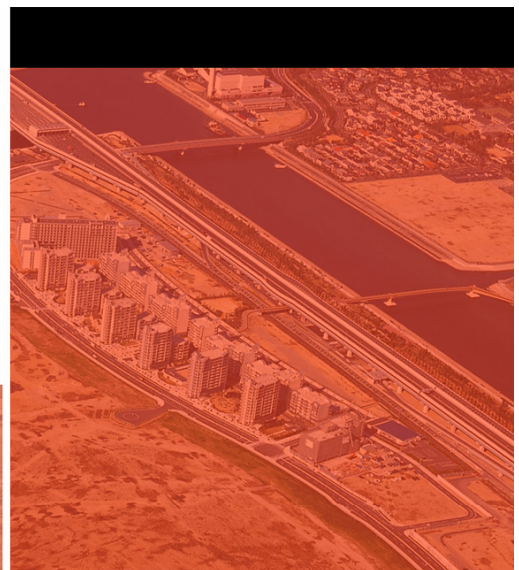
コンター図や水位等高線などの描画が可能。

→ **水位等高線との比較が可能**



## 影響予測解析

- > 解析内容
- > 境界条件
- > 対策工のモデル化
- > 結果・考察



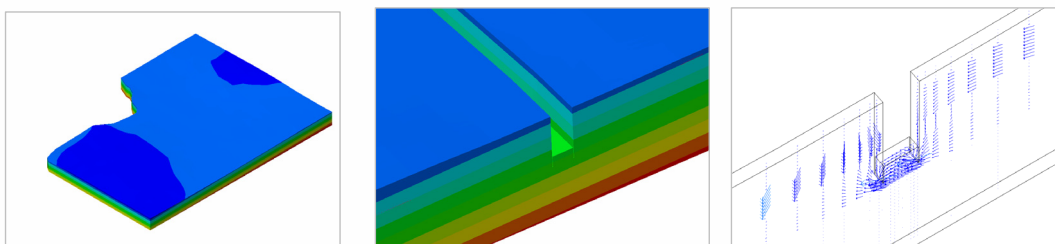
## 解析内容

■解析目的： 構造物施工前、施工後の地下水流動の変動予測

■解析種類： 3次元定常浸透流解析

■解析ケース： ケース1 無対策モデル  
ケース2 対策工モデル

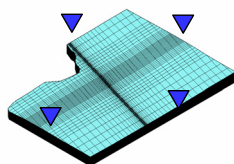
構造物施工中の影響は考慮せず、  
構造物の施工前と施工後にのみ焦点を当てて影響量を評価します。



## 境界条件・初期条件 広域 → 詳細

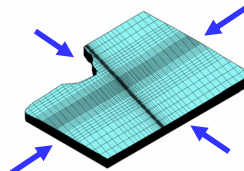
### <境界水位を固定>

構造物構築による水位変動が  
影響しないと仮定。



### <境界流量を固定>

構造物構築による影響は  
対象領域内だけであり、  
領域外からの流量は一定。

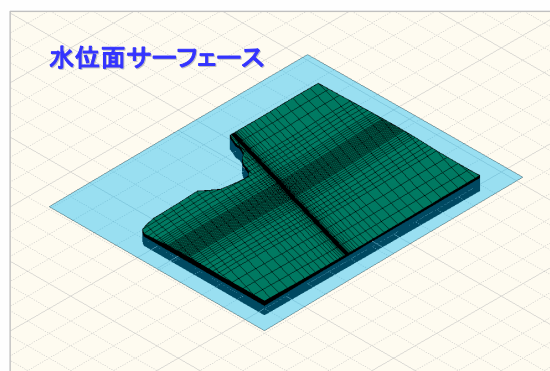


### 広域モデルからの水位の引継ぎ

1. 広域解析で得られた水位面を  
サーフェースとして設定
2. 初期条件にサーフェースを指定

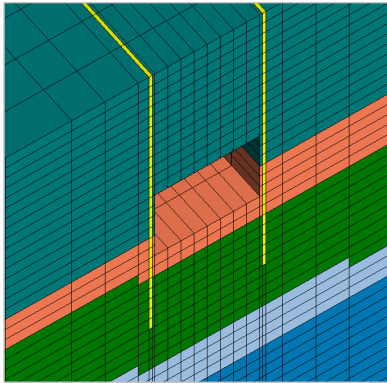
※SoilPlusでは、初期水位にサーフェースを定義することが  
できます。このとき各節点に設定される値は、指定した  
サーフェースまでの鉛直方向の投影距離が設定されます。  
(つまり圧力水頭値が与えられます。)

### 水位面サーフェース

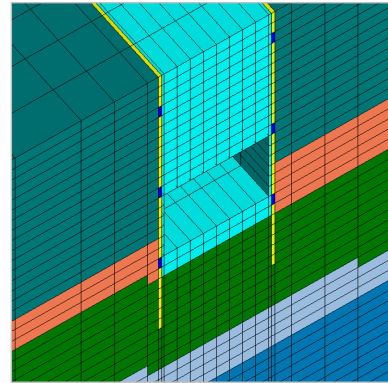




# 詳細モデル 山留め 対策工



無対策モデル



対策工モデル

材料	透水係数 (cm/s)	不飽和特性
山留め壁	1.00E-7	考慮しない
透水材	1.00E-2	考慮しない
通水孔	1.00E-4	考慮しない

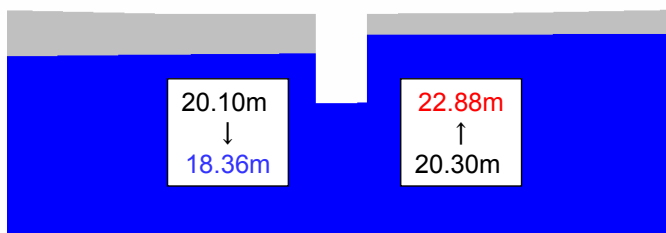
※通水孔には等価な透水係数を与える。

### <対策工のモデル化>

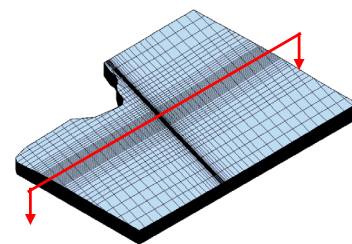
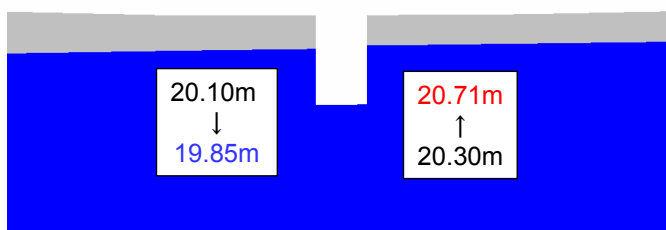
無対策モデル、対策工モデルともに共通のメッシュを使用する。要素の物性値を変更することにより対策工の効果を表現。

# 解析結果 詳細モデル 地下水位変動

## ■無対策モデル



## ■対策工モデル

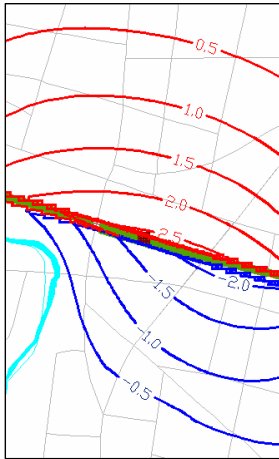


	下流側 (m)	上流側 (m)
ケース1 無対策	-1.74	2.58
ケース2 対策工	-0.25	0.41

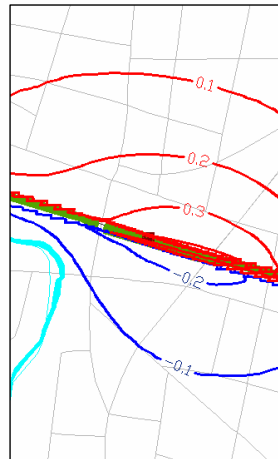
# 解析結果 詳細モデル 地下水位変動コンター

$$(差分コンター) = (施工後水位) - (初期水位)$$

地下水位変動の影響をコンター表示することにより、どの程度の範囲にどれくらいの影響があるかという影響量を空間的に評価することが可能。



ケース1: 無対策モデル



ケース2: 対策工モデル

プロセス1

影響予測

プロセス2

関連付け

プロセス3

影響レベル設定

# 解析結果 詳細モデル結果 GIS表示

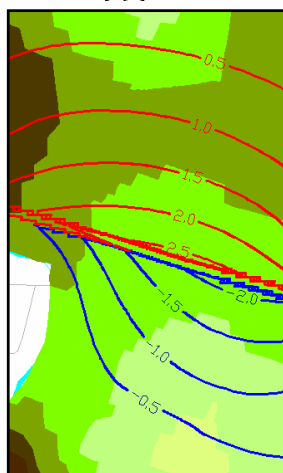
緩い砂層、軟弱な粘土層の深度方向の層厚を分布と水位変動コンターを重ねる。

液状化危険度の増大の検討

地盤沈下・不同沈下の検討

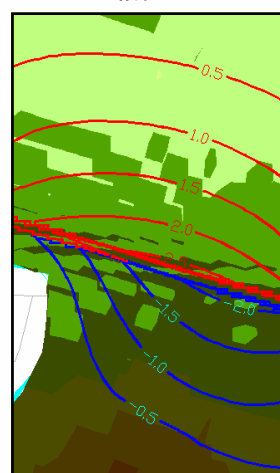
他の空間データと重ね合わせることでさまざまな検討をすることができる。

砂質土

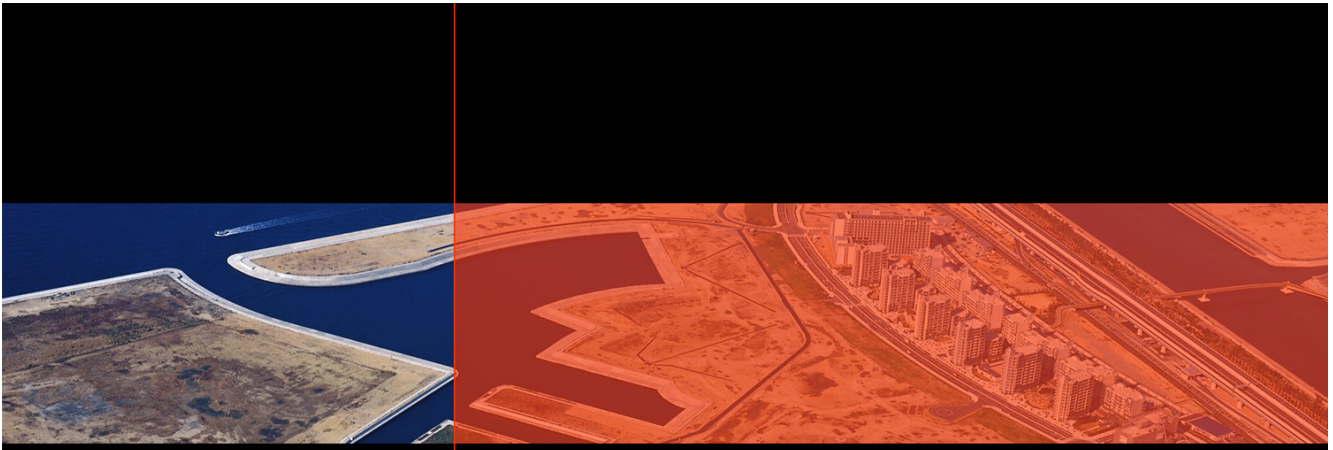


層厚(m)			表示
番号	MIN	MAX	
1	0	10	■
2	10	12	■
3	12	14	■
4	14	16	■
5	16	18	■
6	18	20	■
7	20	22	■

粘性土



層厚(m)			表示
番号	MIN	MAX	
1	0	2	■
2	2	4	■
3	4	6	■
4	6	8	■
5	8	10	■
6	10	12	■
7	12	14	■
8	14	16	■



Sponsor **CRC** sciences Cosponsor **Autodesk**