



ケーススタディ 地すべり対策
Autodesk Civil 3D/GEORAMA/Soil Plus
ツールを使ったワークフロー紹介

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
野口 利雄 / 青木 琢磨
新 良子 / 松浦 敦

CAD/GIS/CAE Solution Fair 2006

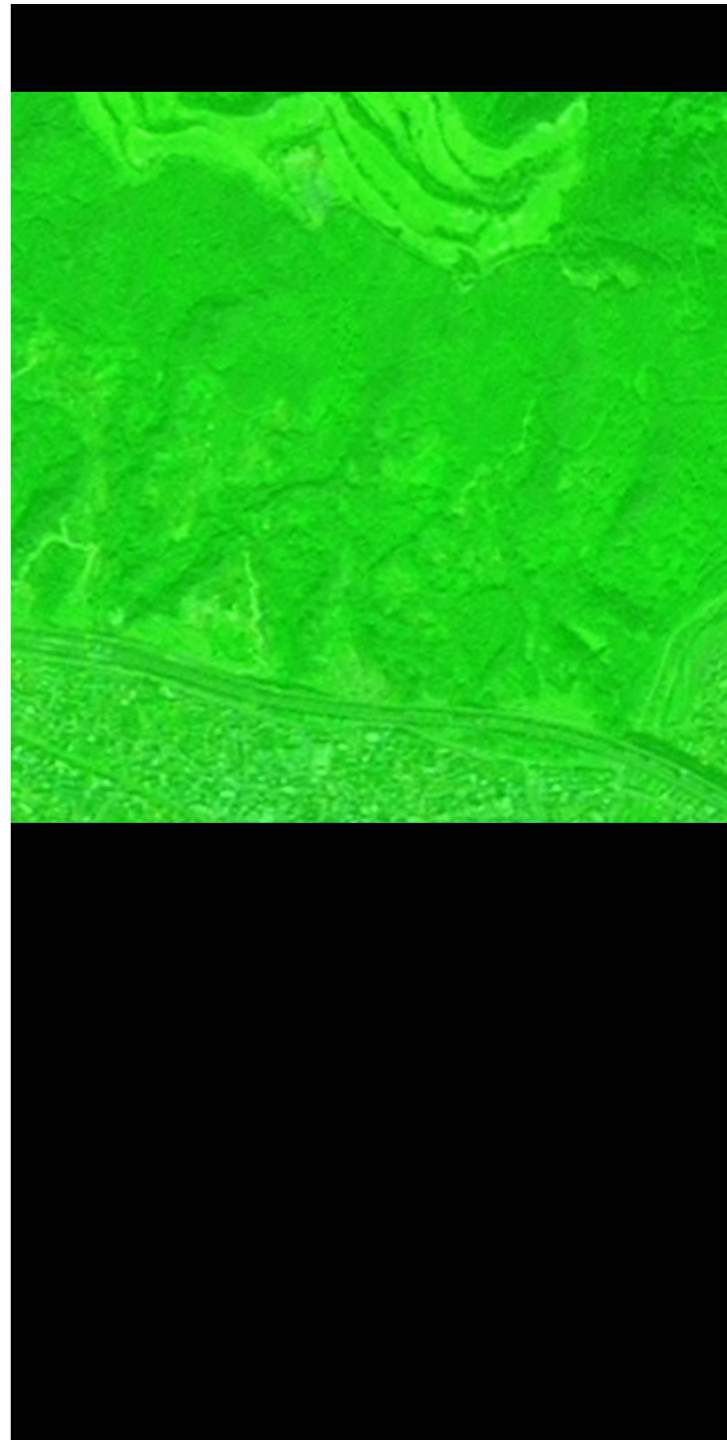
Design & Simulation



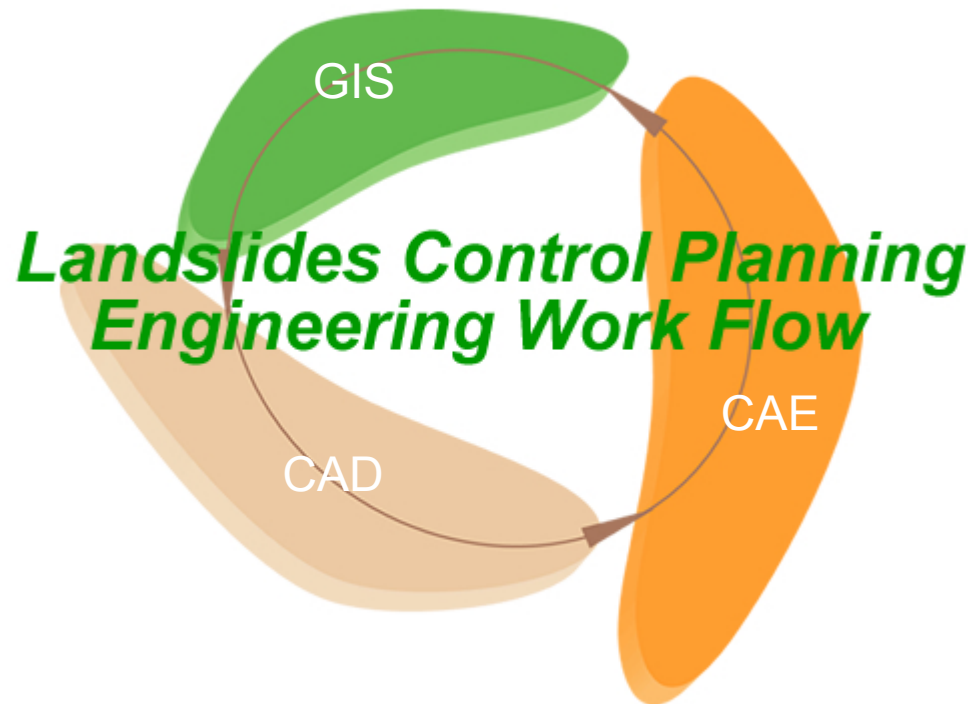


Introduction

- + ケーススタディ
地すべり対策ワークフロー
- + 地すべりとは
- + 地すべり対策工



ケーススタディ 地すべり対策ワークフロー紹介の趣旨



CAD/GIS/CAEの連携と、ツールの使用方法、機能の適用例に重点を置いて、地すべり対策を題材に、できるだけ現実に即したモデル・数値を用いてワークフローを紹介。

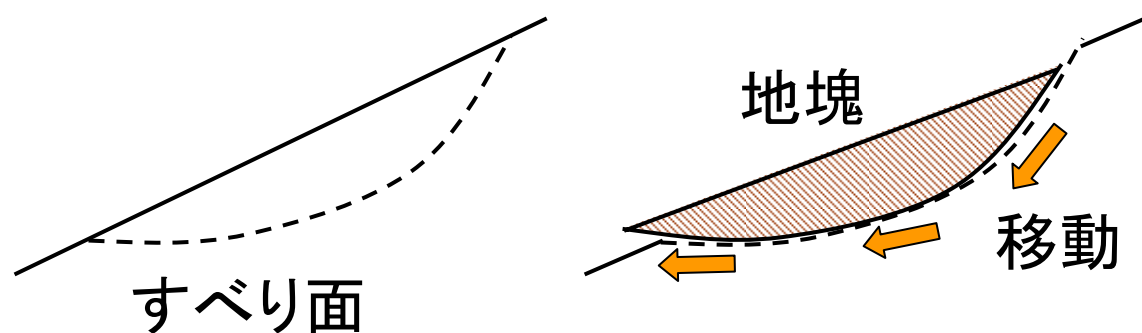
AUTODESK®
CIVIL 3D®

GEORAMA



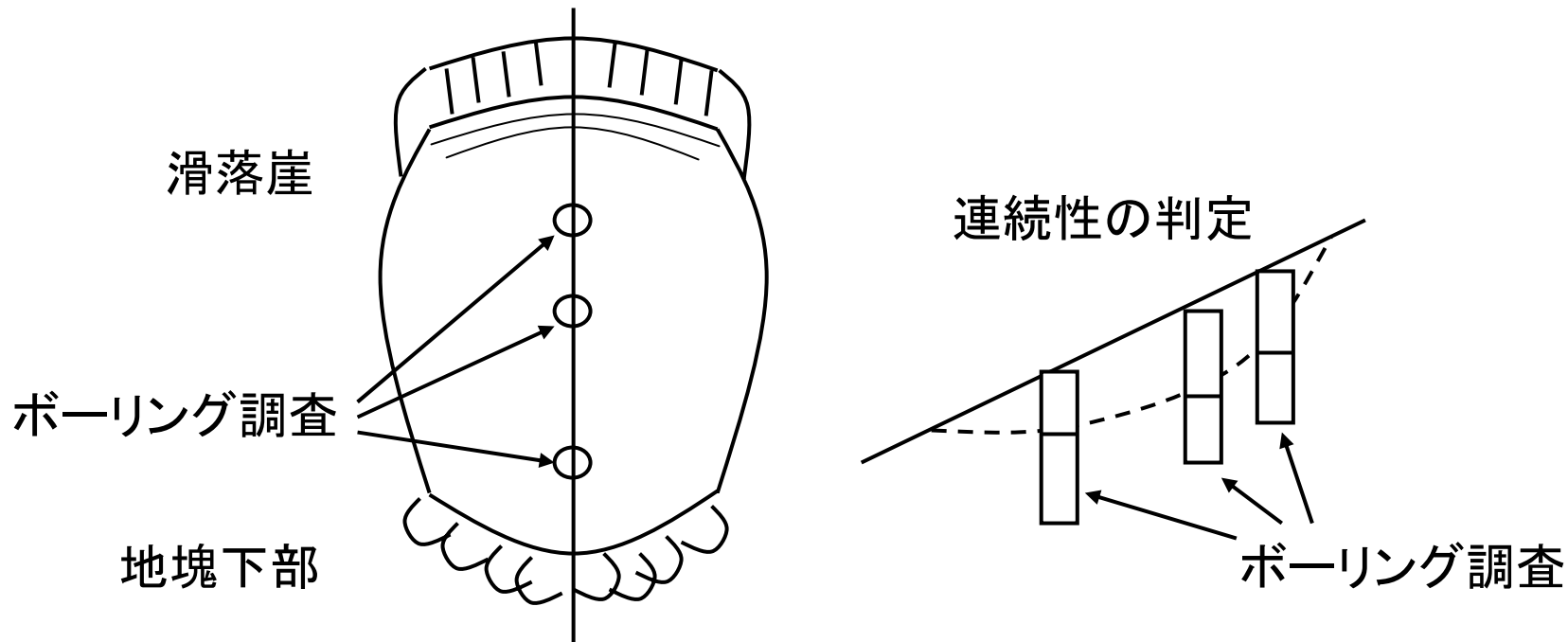
地すべりとは

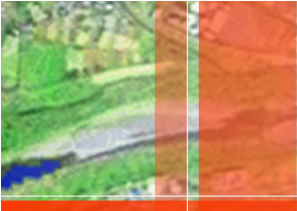
地すべり(Landslide)とは、斜面上にある地塊が、地下の地層中に円弧状または平面状に形成されるすべり面の上を移動する現象である。その動きは一般的には遅く、1日に数ミリ程度の場合が多いが、地震や降雨がきっかけで突然大規模、急激に発生する地すべりは、災害をもたらす。



すべり面

地中に二次元的、三次元的に生成され、主に粘土鉱物を含んだ第三紀層の堆積岩や、火山活動(熱水、温泉水の影響)などによる粘土化を受けた堆積岩内で生じる。すべり面の表面は、粘土化により剪断抵抗力を失い土塊の移動で磨かれているため、鏡面化しているものもある。すべり面の特定は、地塊上部の滑落崖、地塊下部の移動状況などから大まかな形を推測した上で、直線上にボーリング調査を行い得られたコアから柱状図を作製し連続性を判定する。





地すべりの原因

地すべりは地中にすべり面が形成され、地塊が不安定化することにより発生する。すべり面は、頁岩層などが粘土化したものであり、地質条件と地下水の相関関係により形成される。

○自然に発生する場合

融雪、豪雨、地下水位の上昇など、水に関係するもの

地震の振動に伴うもの

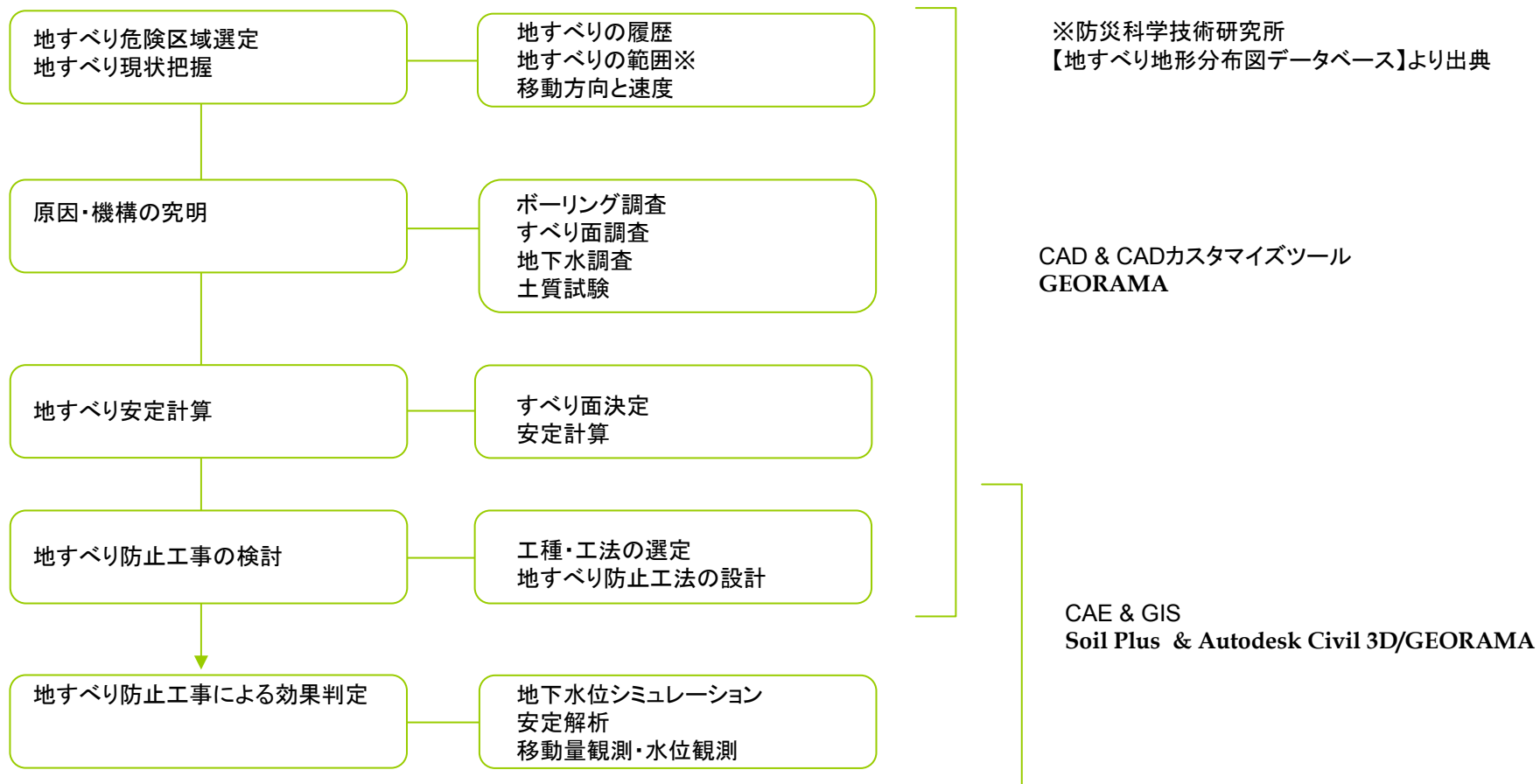
○人為的に発生する場合

既存の地すべり土塊が、道路建設などにより末端部が削られ安定を失って発生するもの

ダム建設、ため池など農業用水の設置に伴う地下水位の変化によるもの

地すべり対策の手順

地すべり対策の手順





対策工法選定時の留意事項

地形、地質、地すべりの活動状況、降水などの関連性等と滑動ブロック、すべり面の形態とその位置、地下水の分布と地下水位などの調査から、地すべりの機構を的確に把握し、工法を選定することが重要である。

1. 降雨量と地すべりの運動が関連している場合：地表水排除工が有効
2. 雨期などの長期降水が地すべりの運動や発生に密接に関連をもっている場合：深層地下水位排除工が有効
3. 風化した凝灰岩・泥岩等、粘質土の活動性地すべり：浅層地下水・地表水の処理が有効
4. 軟弱な粘質土塊の場合：地下水遮断工・地下水排除工が有効
5. 単一のブロックで、すべり面の形状が弧状をなしている場合：頭部での排土工、深層地下水排除工が有効
6. すべり面の形状が直線に近い場合：押さえ盛土・地下水排除工が有効
7. 小規模な地すべり：抑止工が有効

地すべり対策工(1)

地すべり対策工	抑制工	地表水排除工	水路工／浸透防止工	
		地下水排除工	浅層地下水排除工	明暗きょ工／横ボーリング工
			深層地下水排除工	集水井工／排水トンネル工
			地下水遮断工	
	排土工／押え盛土工			
抑止工	鋼管杭工／深礎工／アンカー工／擁壁工			

○抑制工

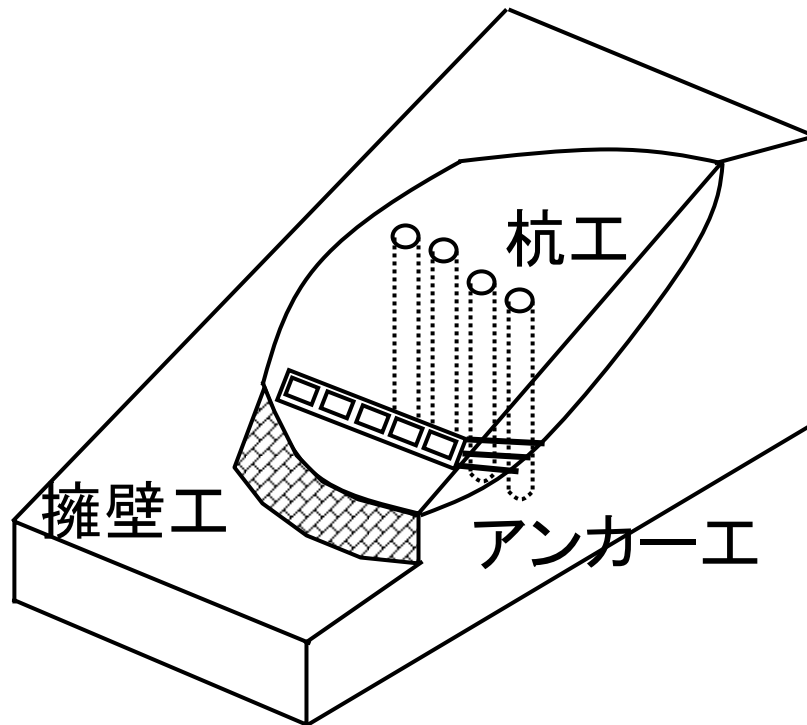
地すべり地の地形、地下水の状態などの自然条件を変化させることによって、地すべりの滑動力と抵抗力のバランスを改善し、地すべり運動を停止または緩和させる工法。

○抑止工

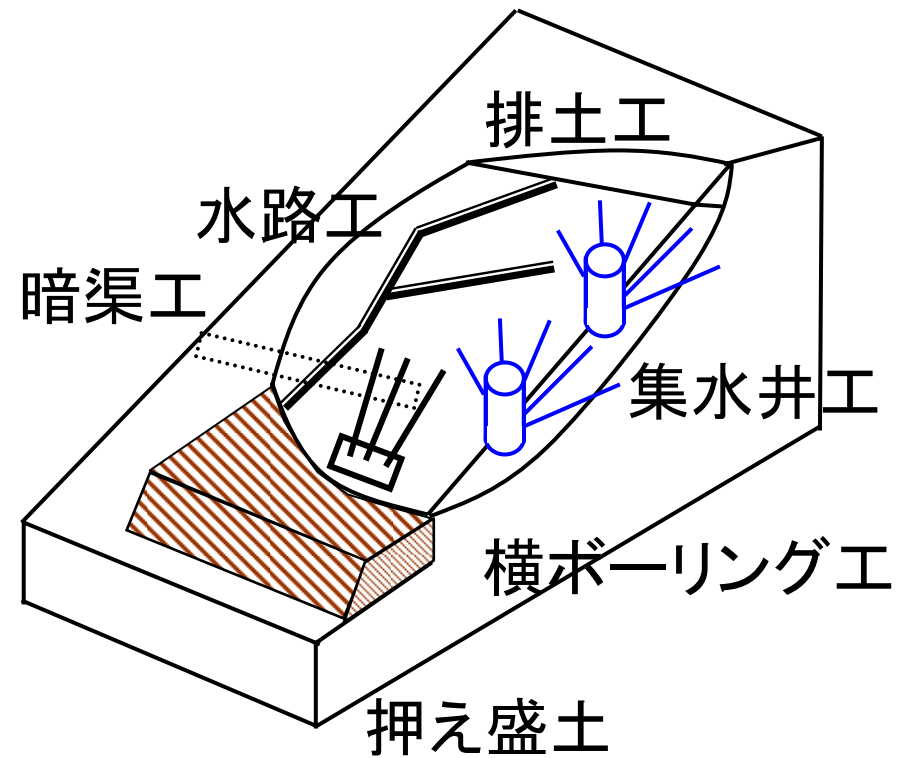
構造物の持つ抵抗力を利用して地すべり運動の一部または全部を停止させる工法。

地すべり対策工(2)

抑止工



抑制工





集水井とは

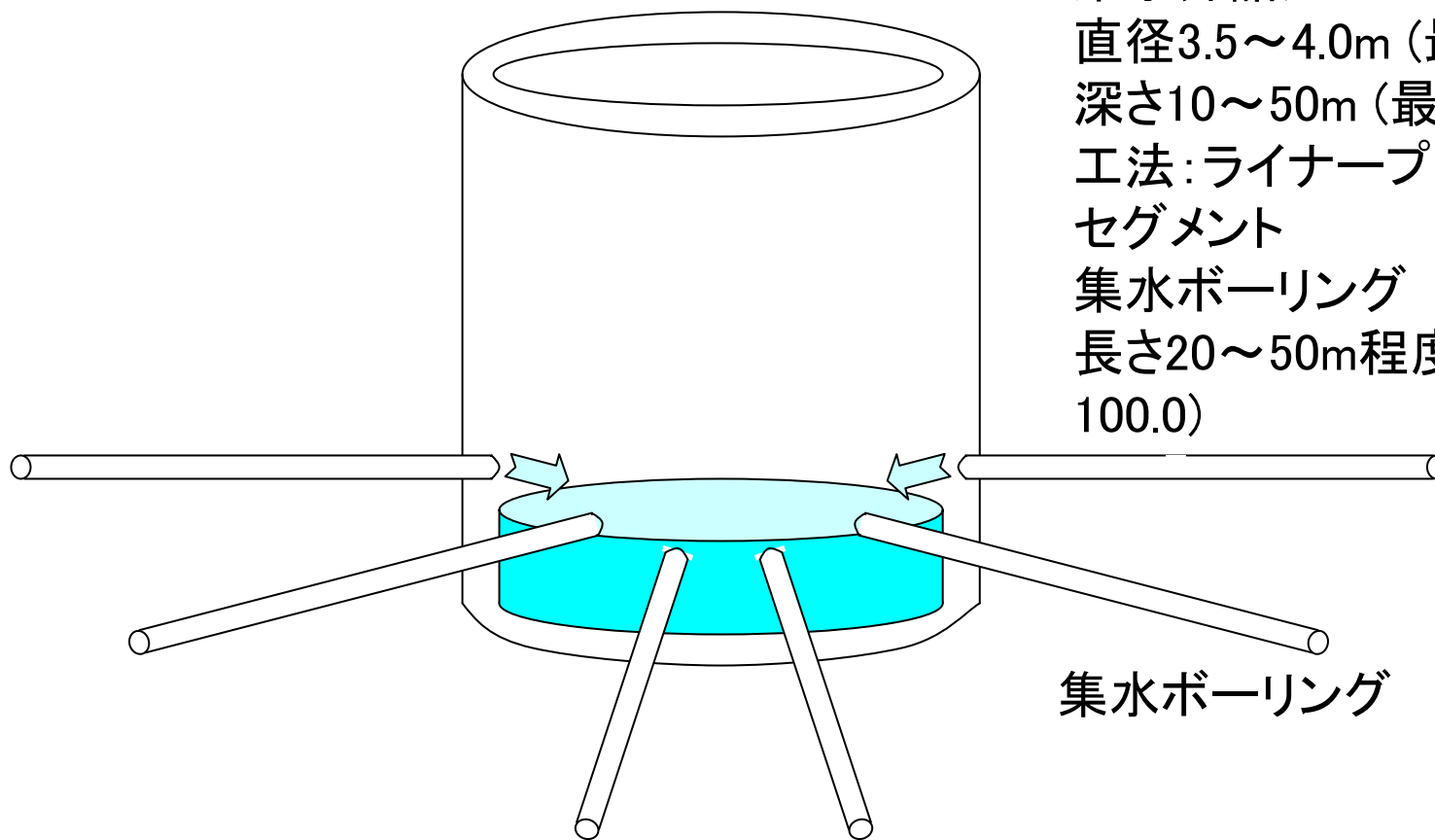
集水井とは地すべり対策に用いられ、地下水が滞水する部分や通り道に設置される井戸で、内部から掘られたボーリングにより地下水を集め、排水ボーリングにより排水を行う。

集水井工は、集水用の井戸を掘削する工法で、深いすべり面位置で集中的に地下水を集水しようとする場合や横ボーリングの延長が長くなり過ぎる場合に用いられる。

集水井は内径3.5～6.0mの円形の井筒であり、その井筒内の集水ボーリングからの集水効果に主眼を置くが、井筒自信の集水効果を得るために、井筒の壁面に集水孔を設ける場合がある。

なお、対策工効果を恒久的に持続するためには集水ボーリングの定期的なメンテナンスが重要となる。

集水井の概要



集水井諸元

直径3.5～4.0m (最大6.0)

深さ10～50m (最大60)

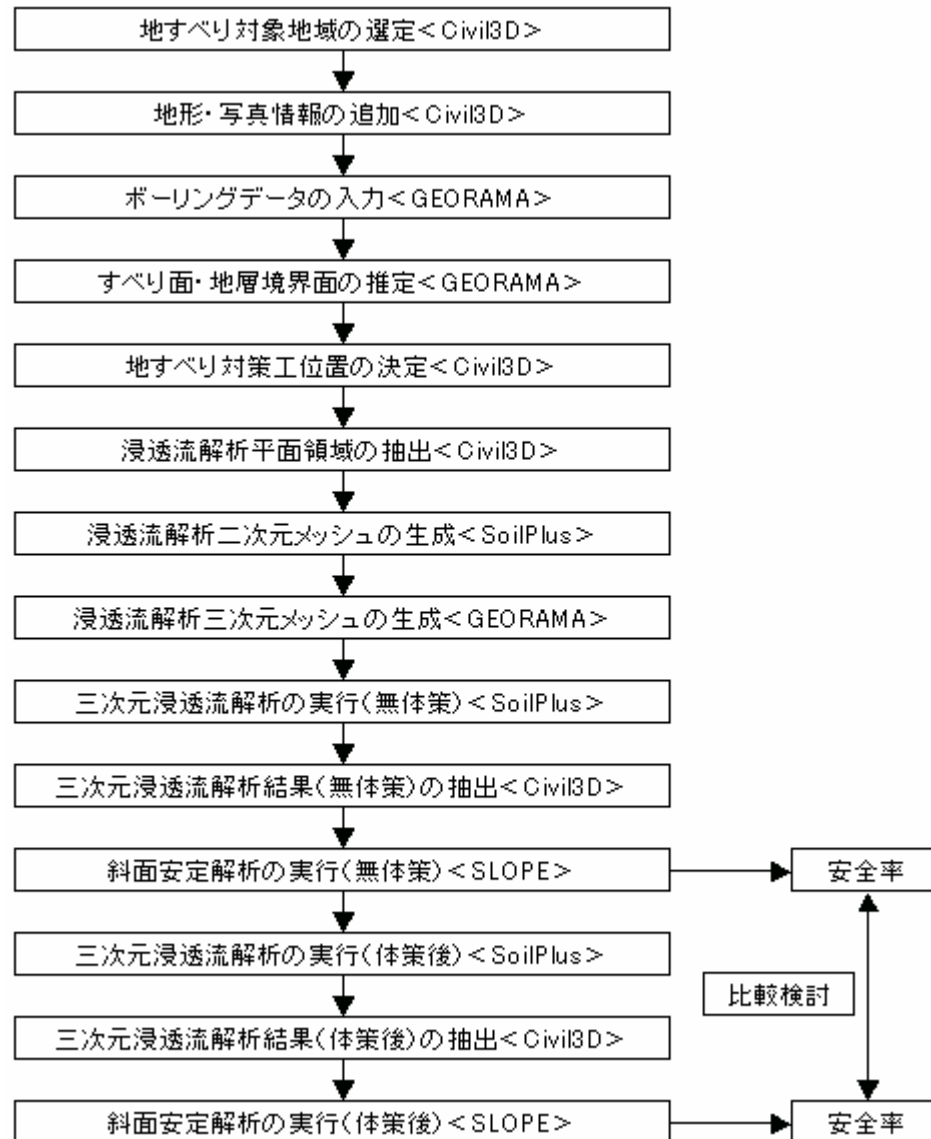
工法:ライナープレート、
セグメント

集水ボーリング

長さ20～50m程度(最大
100.0)

集水ボーリング

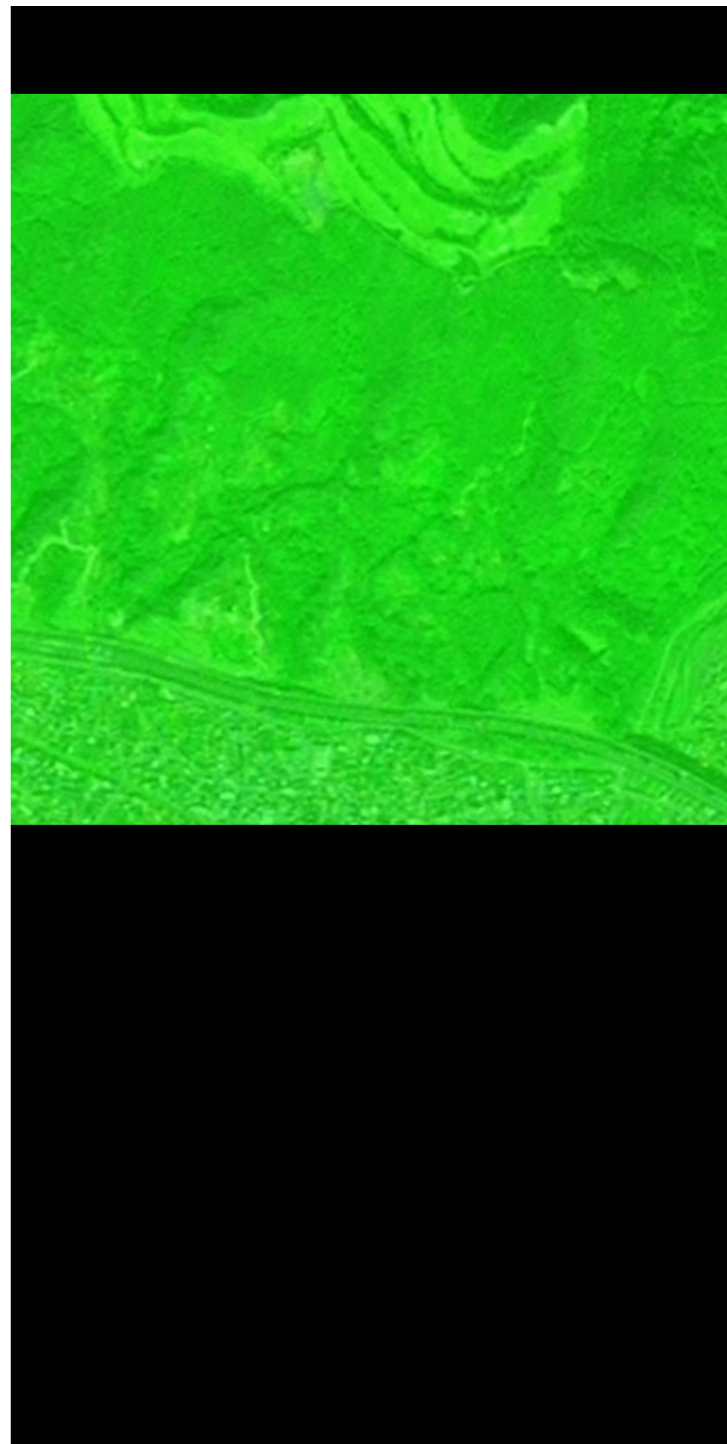
詳細ワークフロー



2

Workflow 1 Geological Modeling

- + 3次元地形作成／解析
- + 地盤モデリング範囲選定
- + 調査データエントリー
- + 3次元地盤モデリング



地すべり危険地区 データソース



Download

旧緯度経度

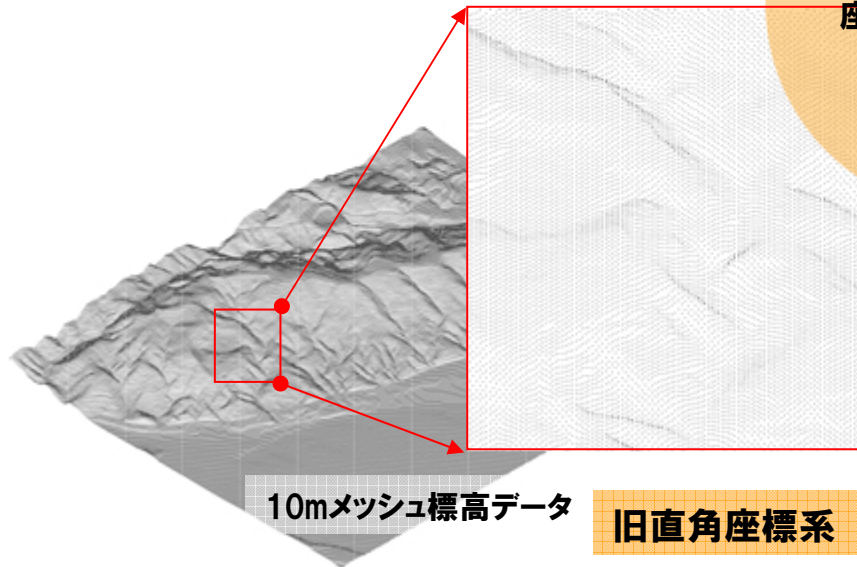
(独)防災科学技術研究所発行の地すべり地形分布図
<http://lweb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/jisuberi_mini/index.asp>より
地すべり地形分布図DXFベクターデータをダウンロード



新緯度経度

衛星写真

各々のデータソースの
座標系が異なる。



10mメッシュ標高データ

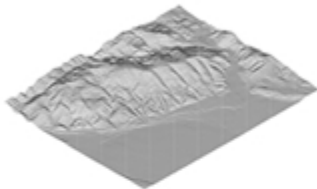
旧直角座標系



国土地理院
数値地図25000

新直角座標系

任意の座標系に変換／アタッチ



AUTODESK®
CIVIL 3D®
2007

AUTODESK MAP® 3D



ソース図面にアタッチ

旧日本測地系／世界測地系／直角座標系／緯度経度など、リアルタイムに座標変換する**投影変換エンジン**



ソース図面：新直角座標系

3次元地表面形状作成

様々なデータソースから3D地形モデルを作成。

AUTODESK®
CIVIL 3D®
2007

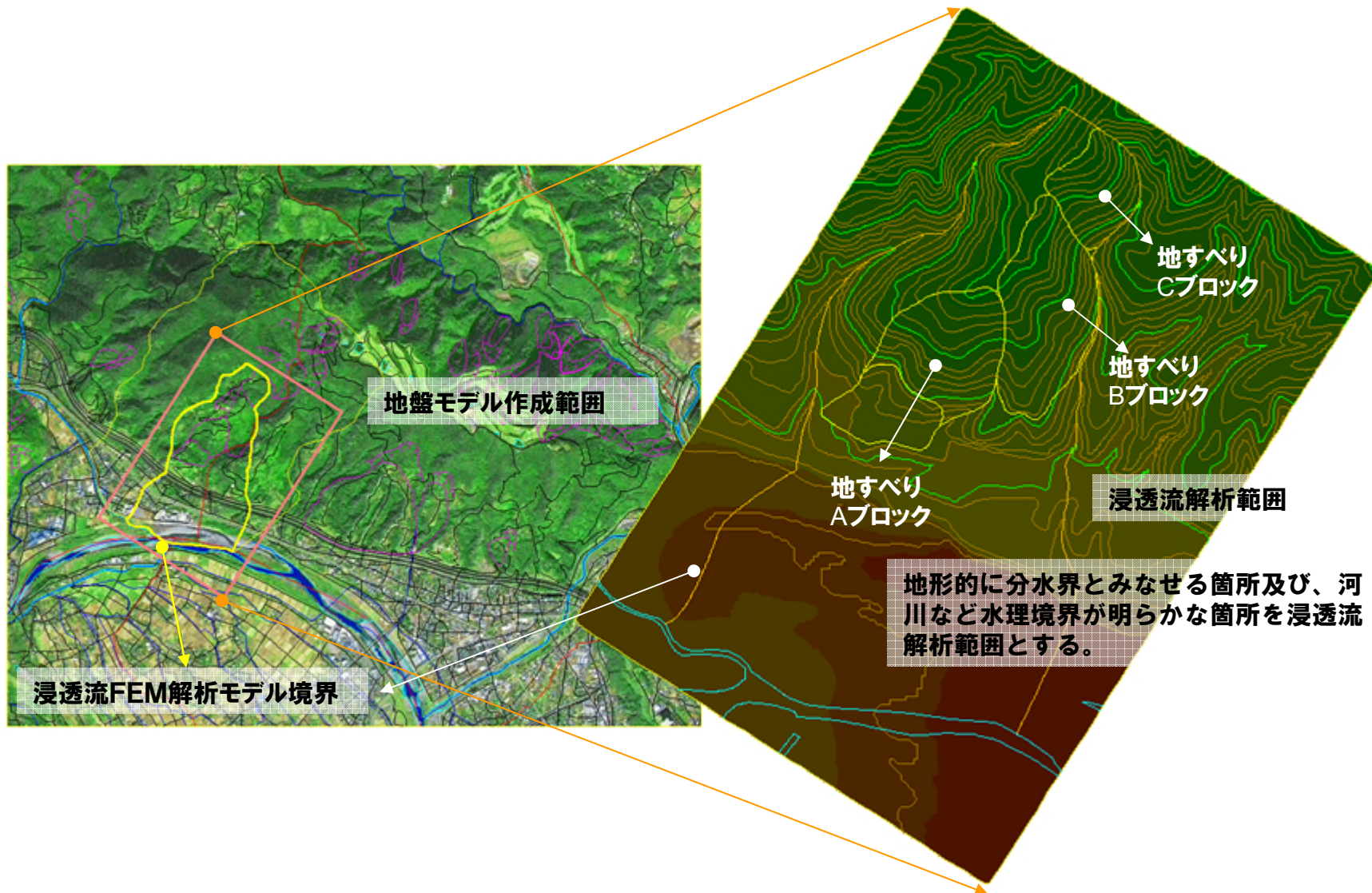


10mメッシュ標高データ

- CSVなどの外部ポイントファイル
- ブレークラインや境界線
- 等高線やAutoCADオブジェクト
- DM、SIMA-DM
-

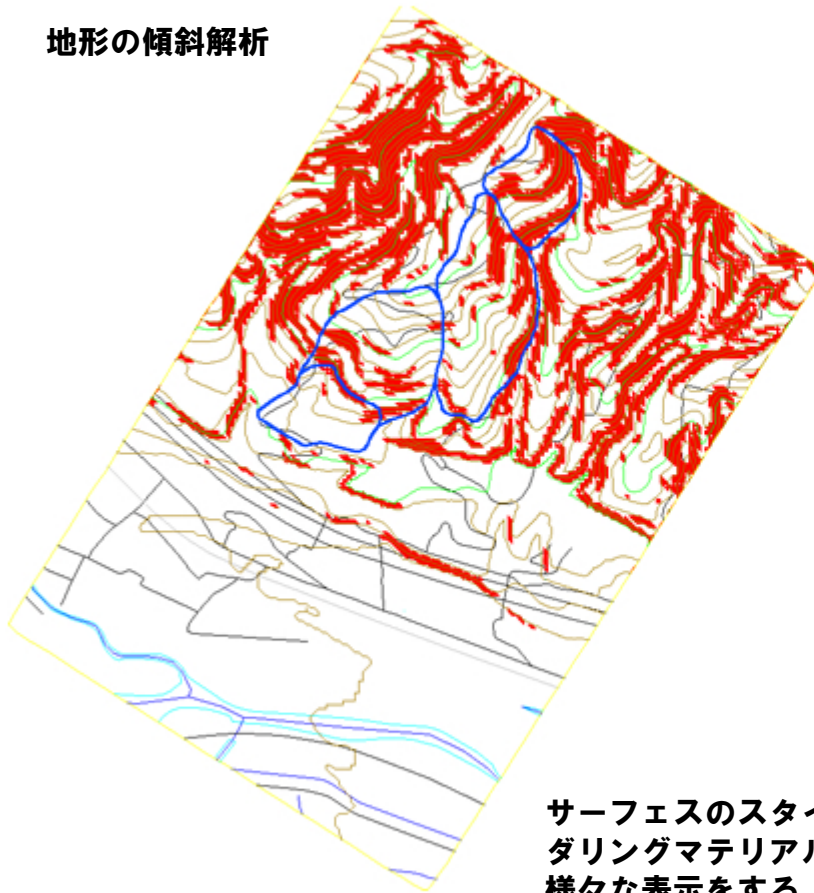
サーフェス:
標高/等高線表示

検討範囲 浸透流解析エリア設定

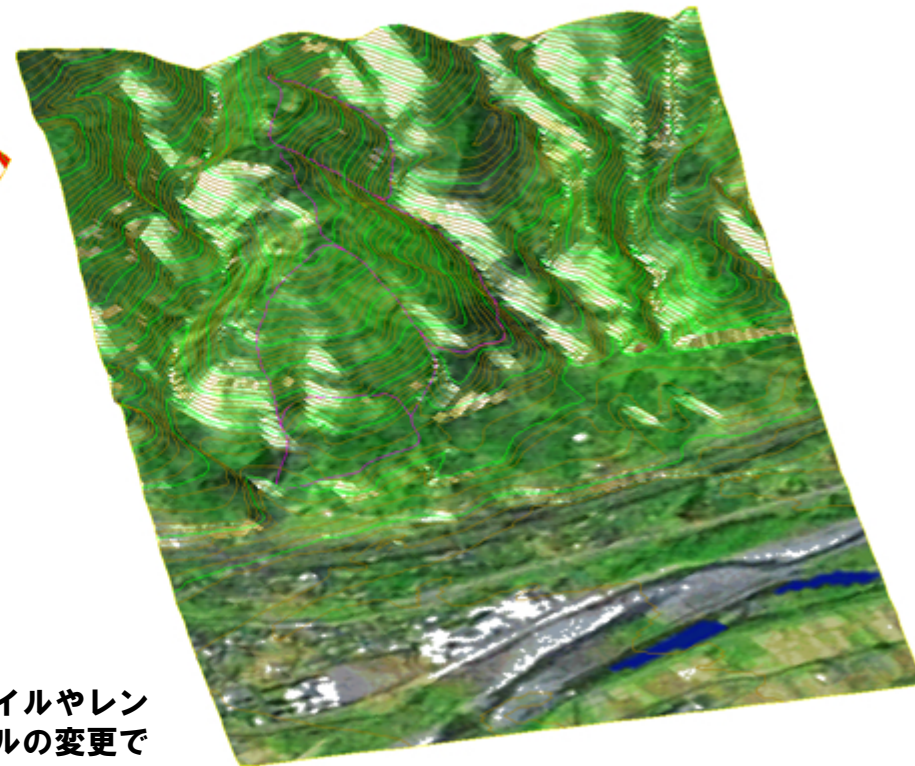


地表面解析 勾配解析／衛星写真ドレープ

地形の傾斜解析



衛星写真を3D地形にドレープ

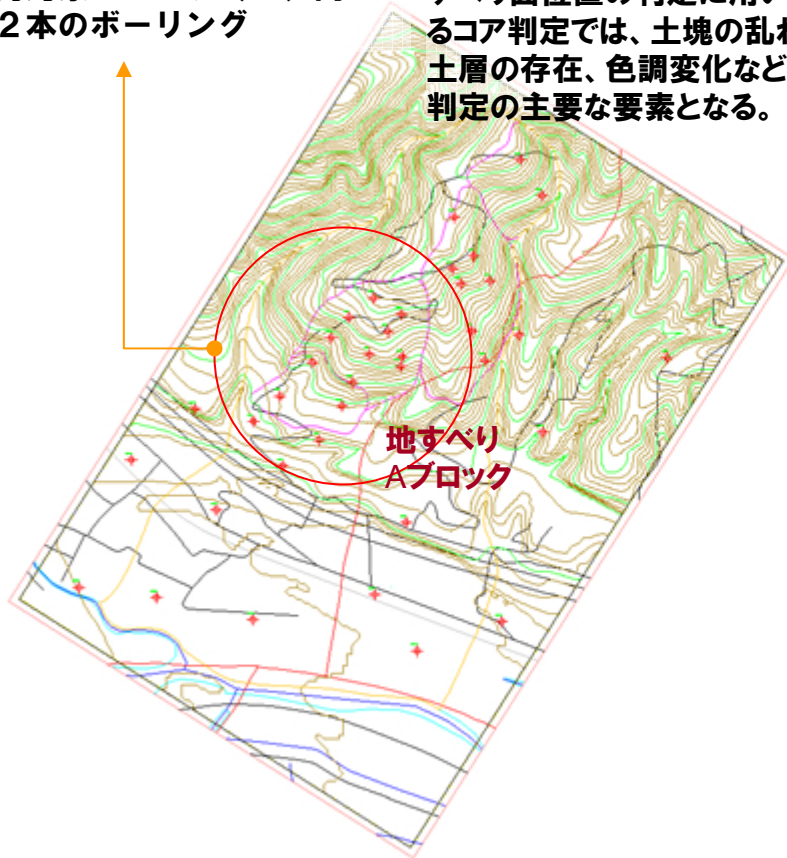


サーフェスのスタイルやレンダリングマテリアルの変更で様々な表示をする。

地盤モデル作成の準備 ボーリングデータ入力

検討対象ブロック (A) 内に
1 2本のボーリング

すべり面位置の判定に用いられる
コア判定では、土塊の乱れ、粘
土層の存在、色調変化などが、
判定の主要な要素となる。



地質・土質調査成果電子納品要領(案)

国土交通省

管理情報XML
ボーリング交換用XML

- 緯度経度情報
- ボーリング基本情報
(孔口標高、掘進角度など)
- 土質岩種区分
- 標準貫入試験
- ルジオン試験
- 岩級区分

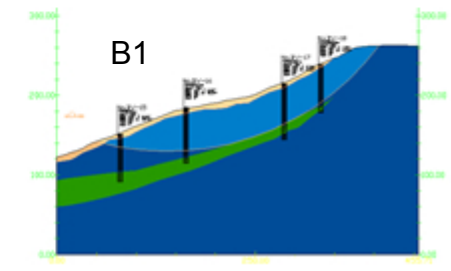
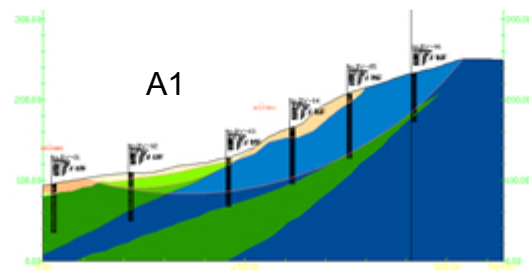
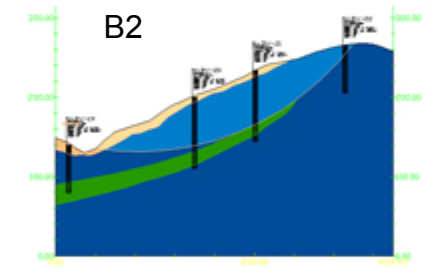
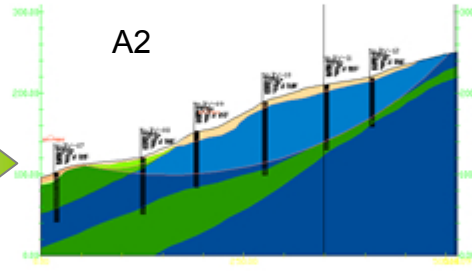
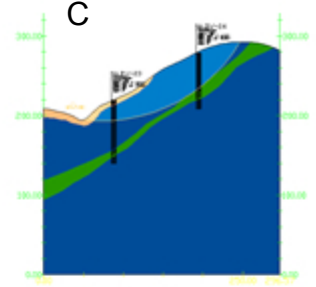
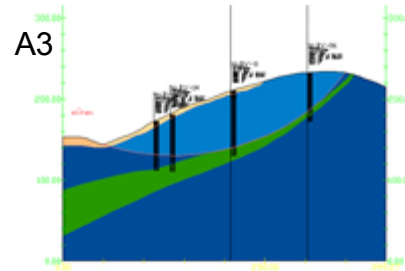
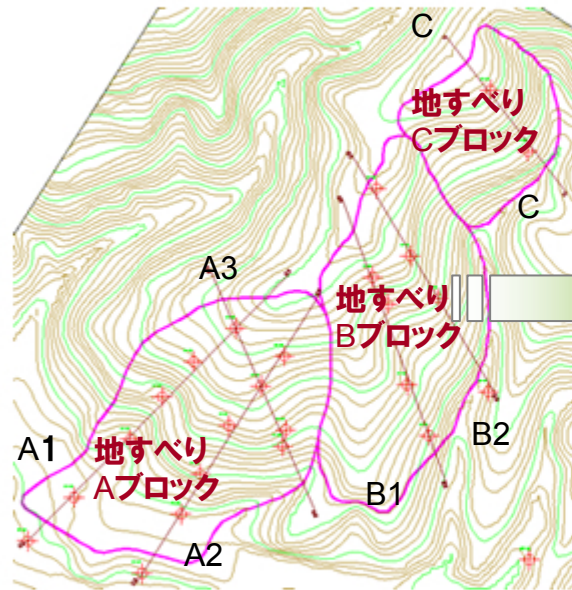
電子簡略柱状図

地質名	地質記号	ソイルコード	色
1 粘土層の砂	Sl	GRMA.CIRCLE.DOT	R240 G240 B255
2 粘土層の砂	S-C	GRMA.DOT.2	R300 G150 B254
3 D	S	GRMA.CIRCLE.1	R220 G255 B127
4 CL	Ave	GRMA.DOT.2	R036 G150 B000
5 砂質土	SF	GRMA.DOT.3	R255 G191 B127
6 CM2	MS	GRMA.LINE.5	R000 G076 B150
7 CM1	Sh	GRMA.LINE.9	R127 G095 B000
8			

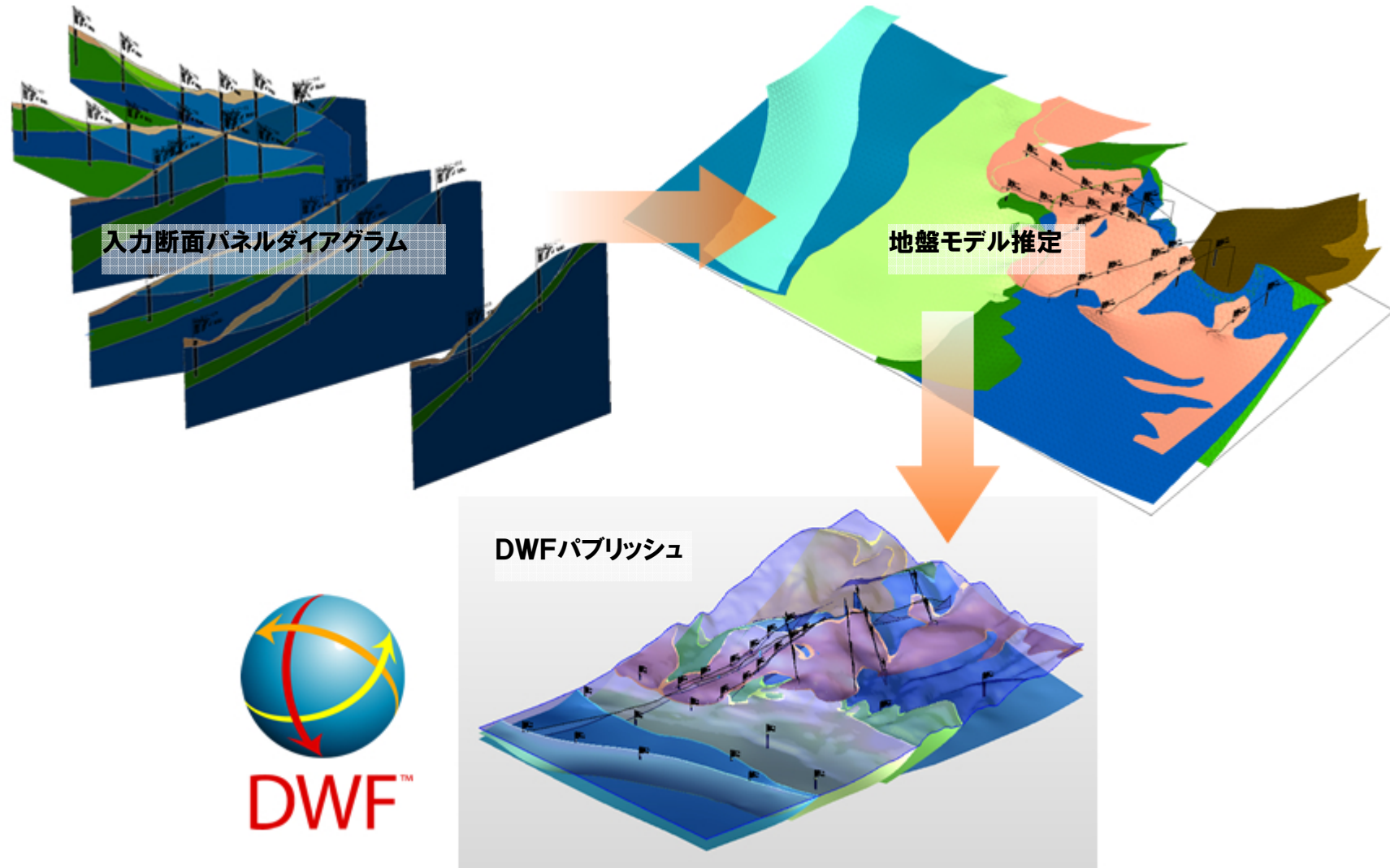
地質・岩種リスト

地盤モデル作成の準備 断面作成

検討地すべりブロックはA。ブロック内に3本の断面を設定。



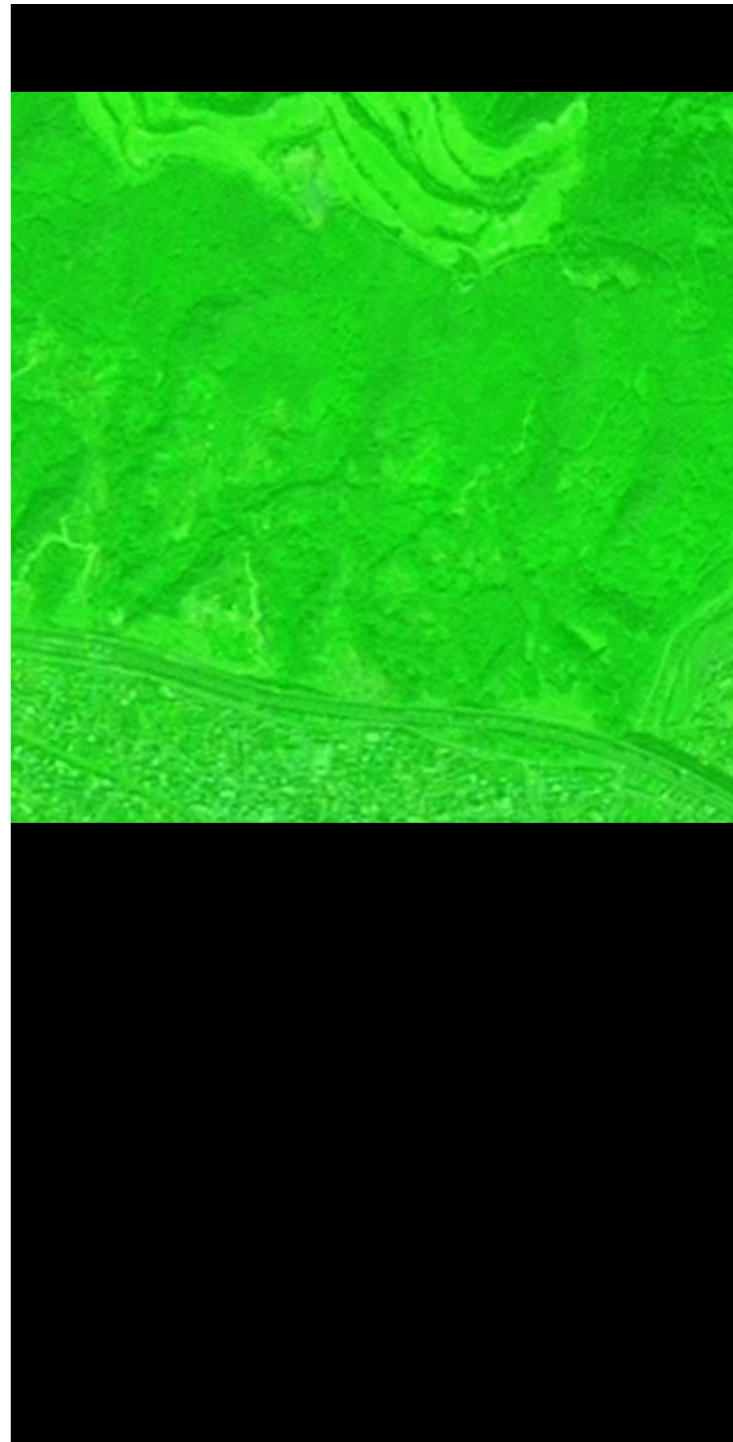
地盤モデル推定、DWFパブリッシュ



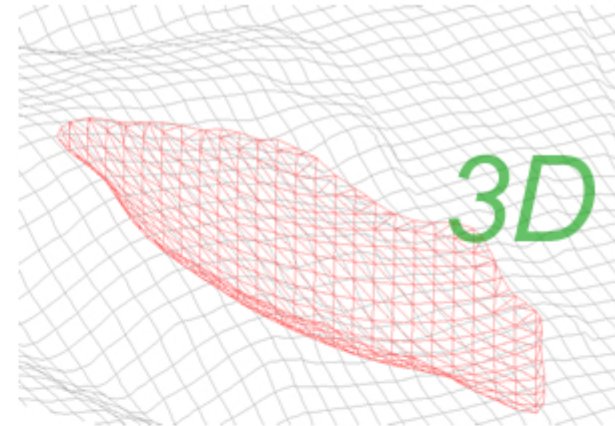
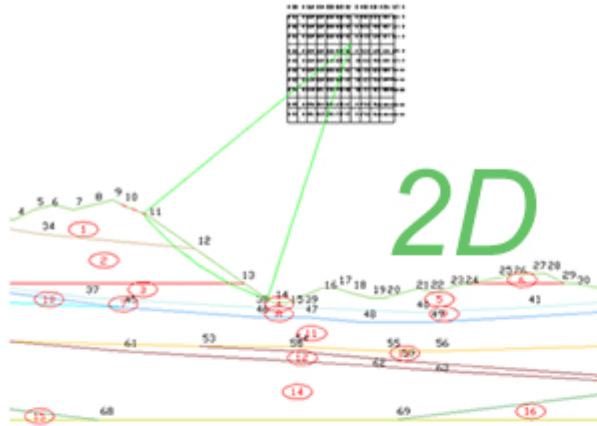


Workflow 2 Slope Stability

- + 斜面の安定解析法
- + GEORAMAによる地すべり面推定
- + 2次元／3次元すべり計算比較



斜面の安定解析法(2次元/3次元)



長所

- 解析ソフトが多く市販されており、安い設計単価で行うことができる。
- データの入力が扱いやすく、最小安全率となるすべり線を捜してくれる。

解析に対する費用が安い

短所

- × 設定したすべり線の方向と土塊を考慮した地すべり方向とは異なる可能性がある。
- × 安全率が小さく評価される。
- × 末端開放型のモデルや末端閉塞型のモデルでも解析結果が同じになる。

対策工の規模に与える影響が大きく、工事費の費用が高くなる。

長所

- 地すべり土塊の体積を解析結果に精度良く反映することができる。(平面的な広がりを考慮できる)
- 効果的な対策工法の検討ができる。

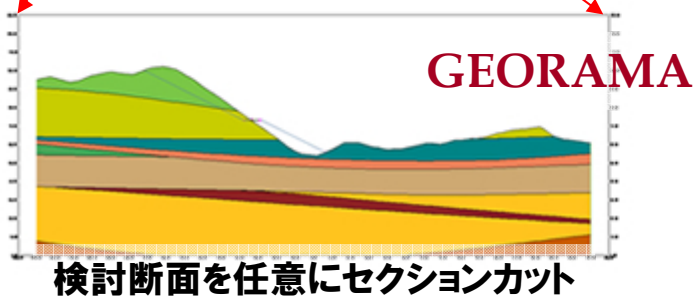
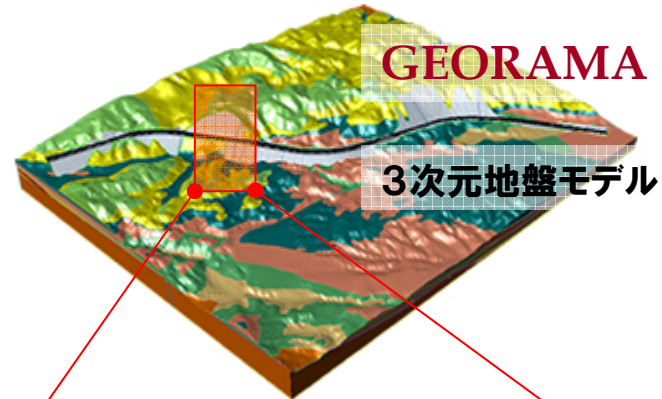
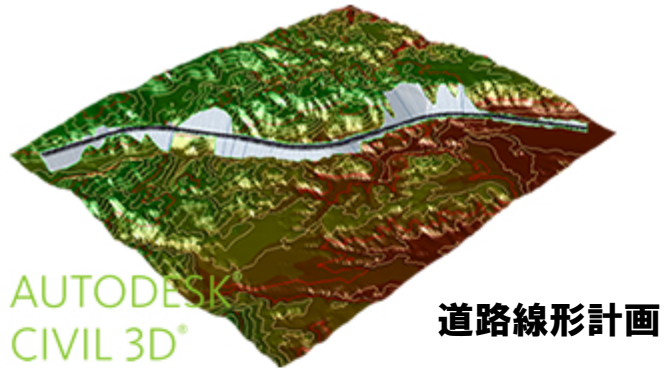
対策工の規模に与える影響が小さく、工事費の削減が可能。

短所

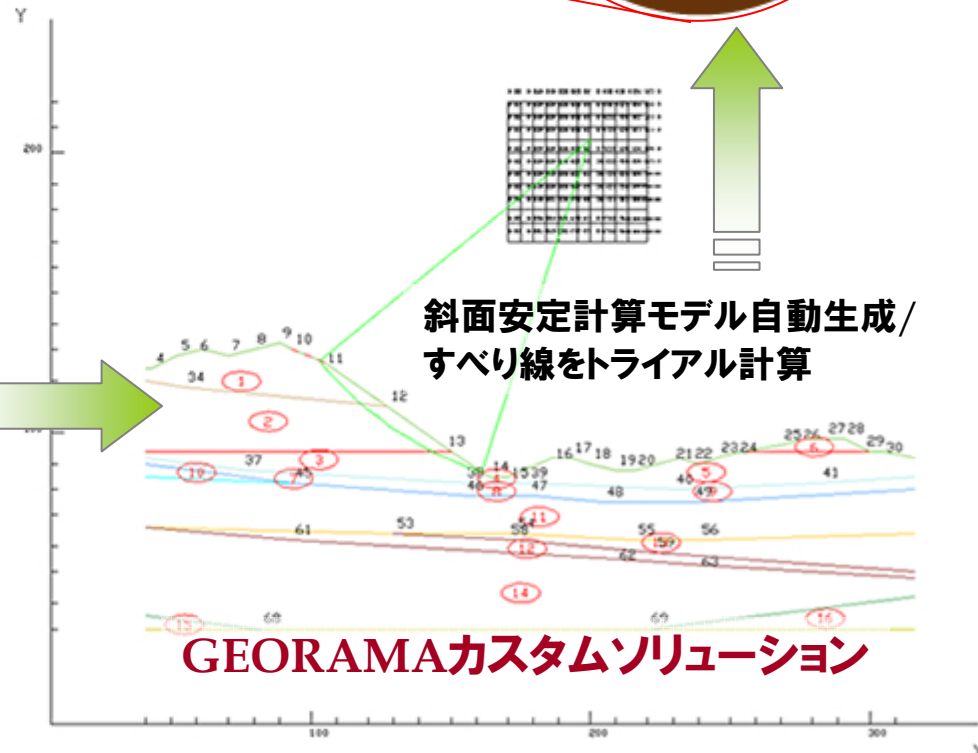
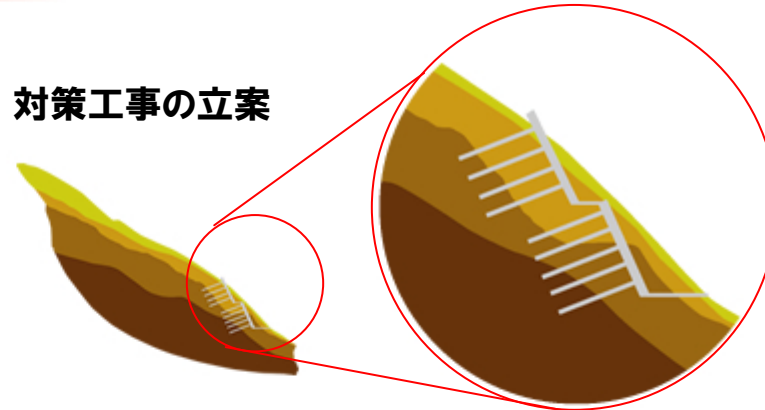
- × すべり面を推定するための入力データが多く、解析までに時間がかかる。
- × 市販ソフトもまだ少なく、解析費用も高い。
- × すべり面を推定するための調査ボーリングが必要となる。

調査・解析・設計に関わる費用が高い。

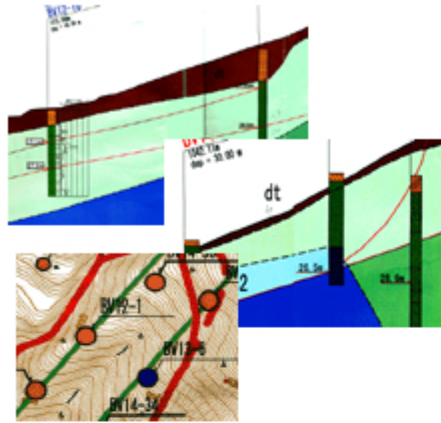
2次元斜面安定解析 活用例



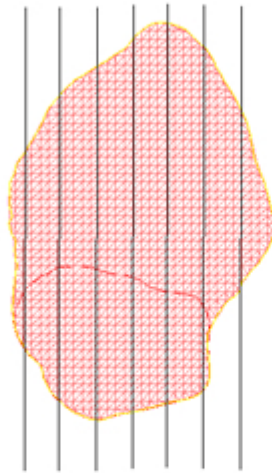
対策工事の立案



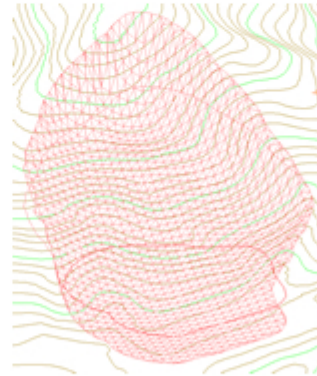
3次元斜面安定解析 活用例



調査データ整理・分析



複数のすべり線を過程・検証



3次元すべり面の推定/
3次元安全率解析

現実に近い崩壊を再現した設計が必要。
具体的で効果的な対策工法が求められる場合。

3次元設計が必要



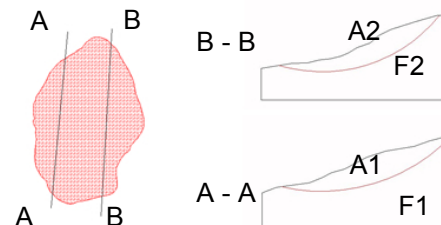
対策工事の検討・実施

主な3次元解析法

ラム・フィットマン
(近似的な3次元効果の評価)

複数の2次元断面の計算結果から算出。
断面位置は、中央と端部の位置が効果的。

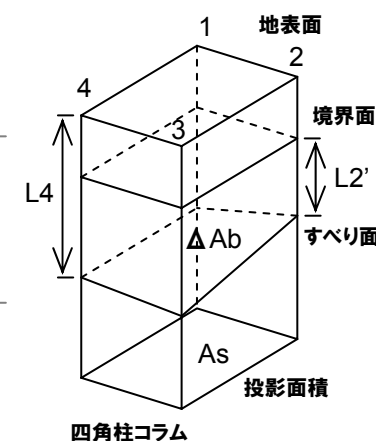
$$F = \frac{F1 \cdot A1 + F2 \cdot A2}{A1 + A2}$$



Hovland法

2次元のフェレニウス方を3次元に拡張。地すべり土塊を四角柱で、地すべり運動方向は既知であるという仮定の下で計算。間隙水圧は鉛直方向に作用。

$$F = \frac{\sum \{c \cdot \Delta A + (\Delta W - u \cdot \Delta A) \tan \Phi\}}{\sum \sum \Delta W \cdot \sin(\alpha yz)}$$



土木研究所の
Hovland法

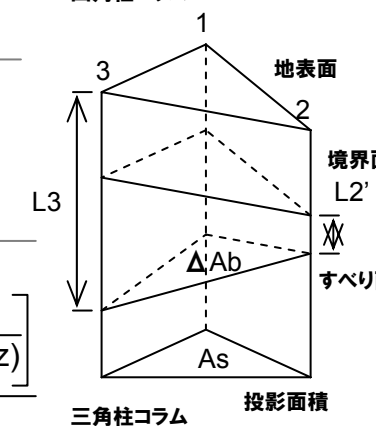
Hovland法に、最小の斜面安全率を示す測線方向が地すべり運動方向であるという考えで計算。間隙水圧は鉛直方向に作用。

基本式はHovland法と同じ

修正Hovland法
(吉松先生)

地すべり土塊を三角柱で、最小の斜面安全率を示す測線方向が地すべり運動方向であるという考えで計算。間隙水圧はすべり面に対して垂直方向に作用。

基本式はHovland法と同じ



Hovland水中重量法
(鶴飼先生)

修正Hovland法に間隙水圧の作用は水中重量を用いる。

基本式はHovland法と同じ
傾斜角を考慮した面積補正を行う。

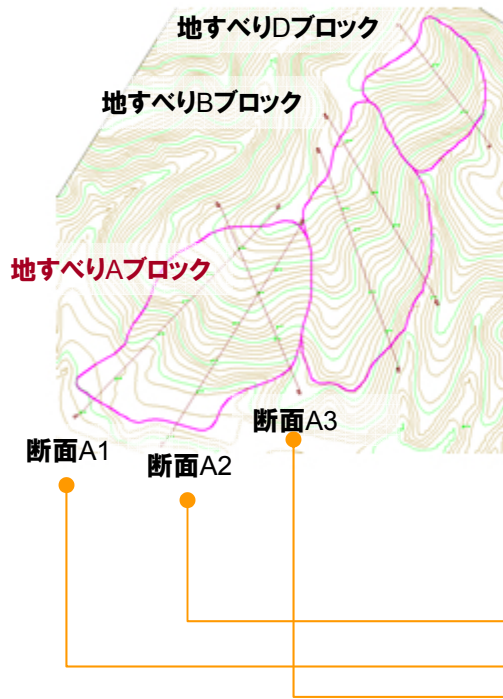
2次元簡易Janbu法を
3次元に拡張

2次元の簡易Janbu法を3次元に拡張。

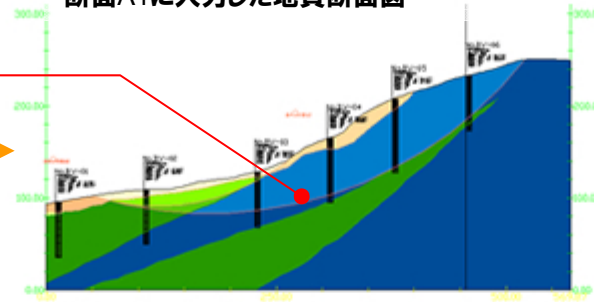
$$F = \frac{\sum \left[\frac{(c - u \cdot \tan \Phi) \Delta A + \Delta W \cdot \tan \Phi}{(1 + \sin(\alpha yz) \cdot \tan \Phi / F) \cdot \cos(\alpha yz)} \right]}{\sum \sum \Delta W \cdot \sin(\alpha yz)}$$

複数の地すべり地形断面図を作成

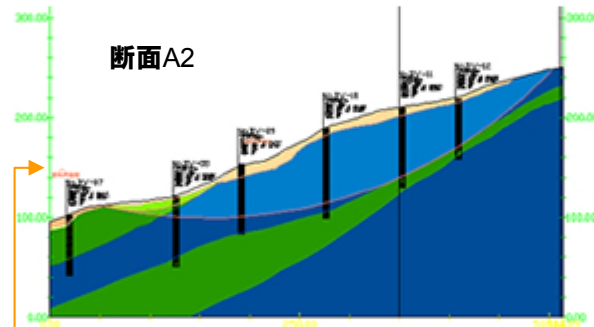
ボーリングから得られる地すべり想定線と地すべり土塊。A1、A2、A3の三断面で地すべり面形状を推定する。



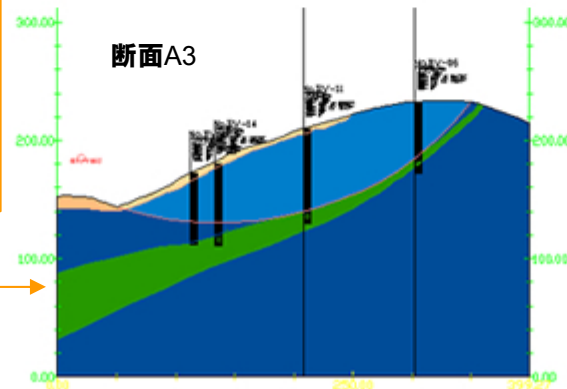
断面A1に入力した地質断面図



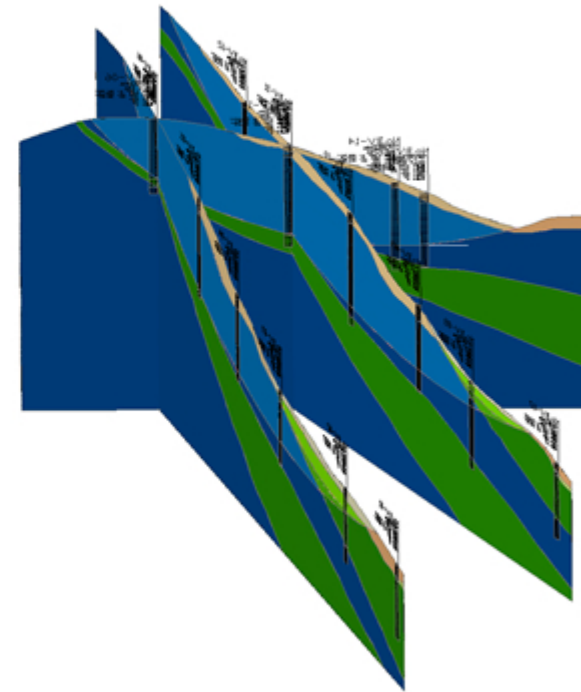
断面A2



断面A3

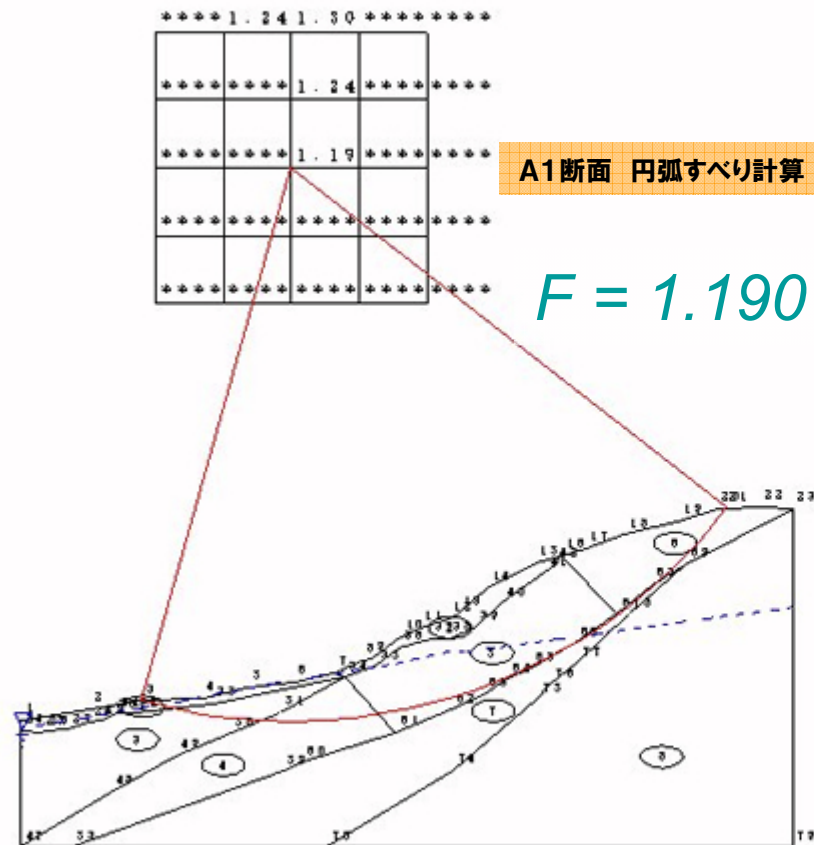


断面A1、A2、A3の入力地質断面図のパネルダイアグラム



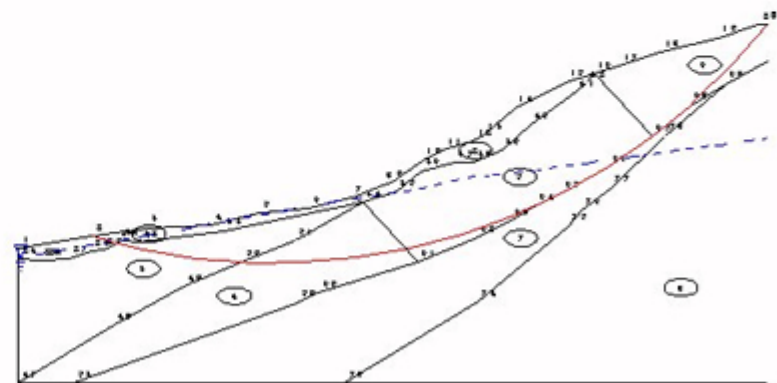
すべり面の妥当性の検討 A1断面

ボーリングから得られる地すべり想定線の妥当性を検討するために、A1、A2断面で2次元円弧すべり計算を行い比較した。

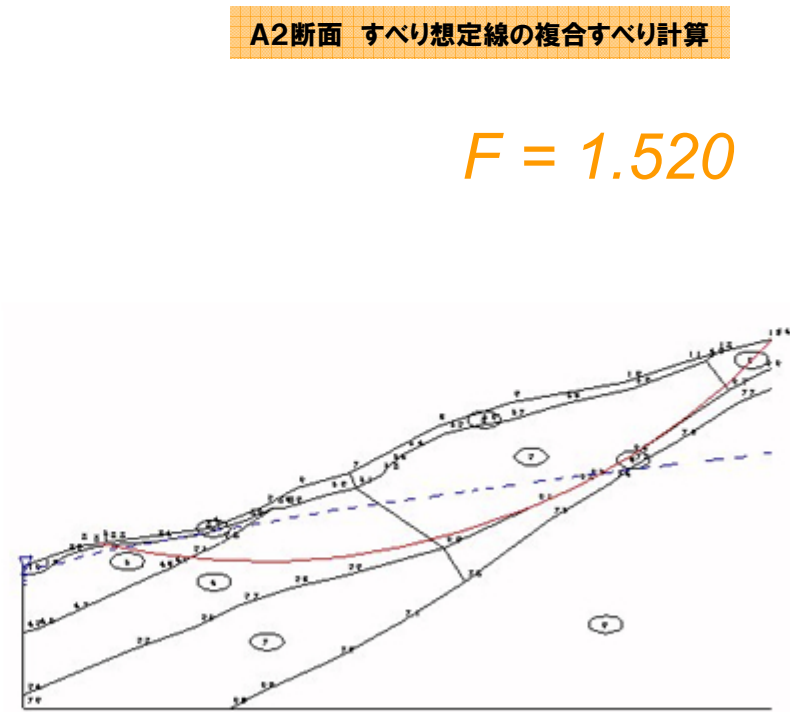
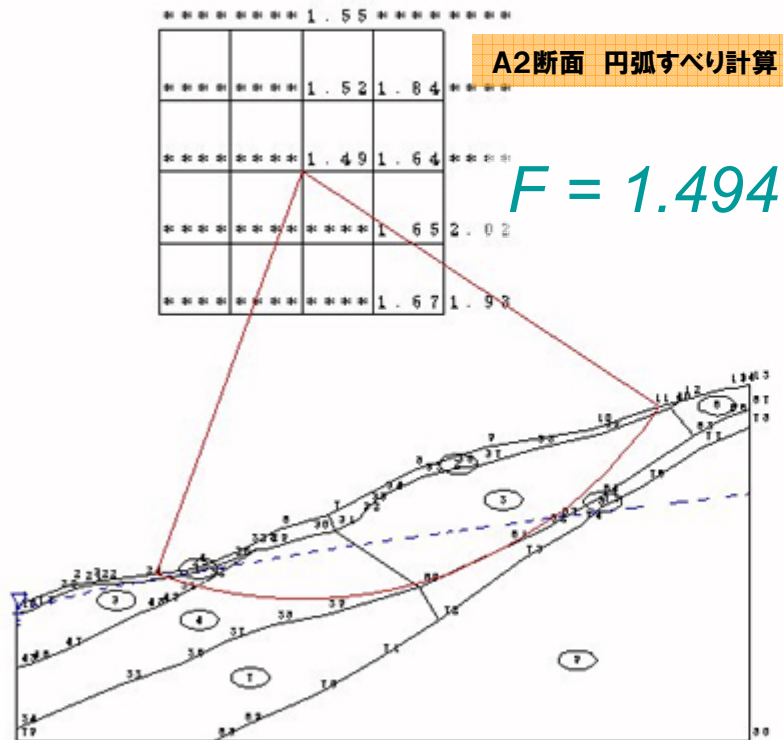


A1断面 すべり想定線の複合すべり計算

$F = 1.183$

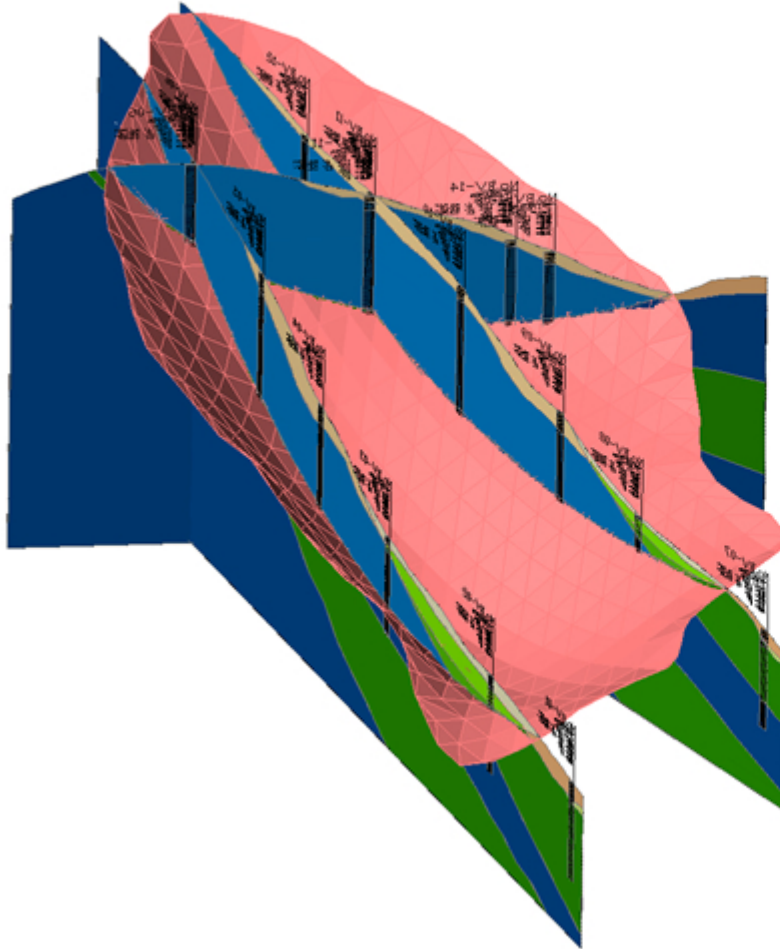


すべり面の妥当性の検討 A2断面

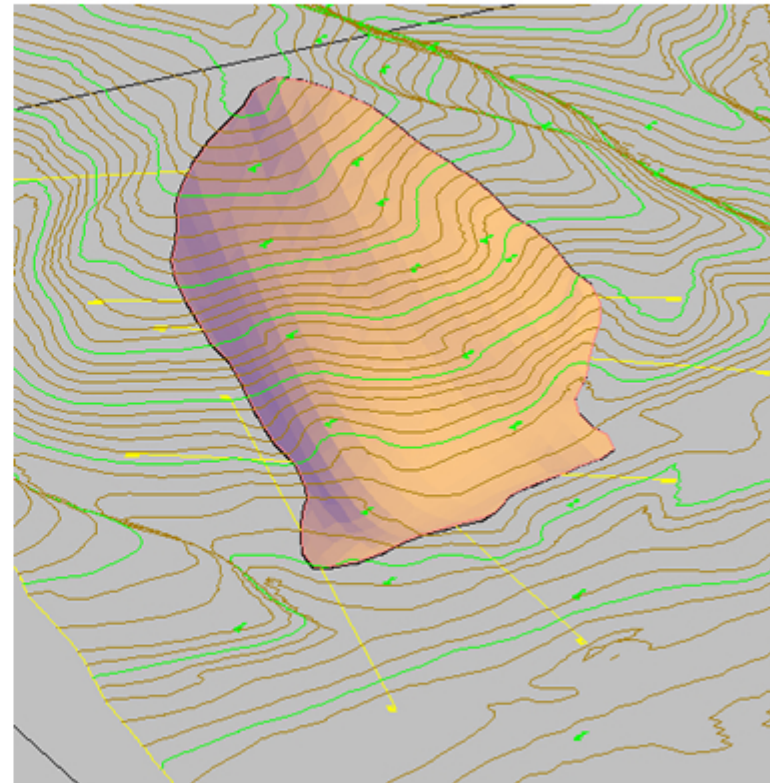


3次元すべり面形状の推定

推定された3次元すべり面形状とパネルダイアグラム



推定された3次元すべり面形状と地表面形状

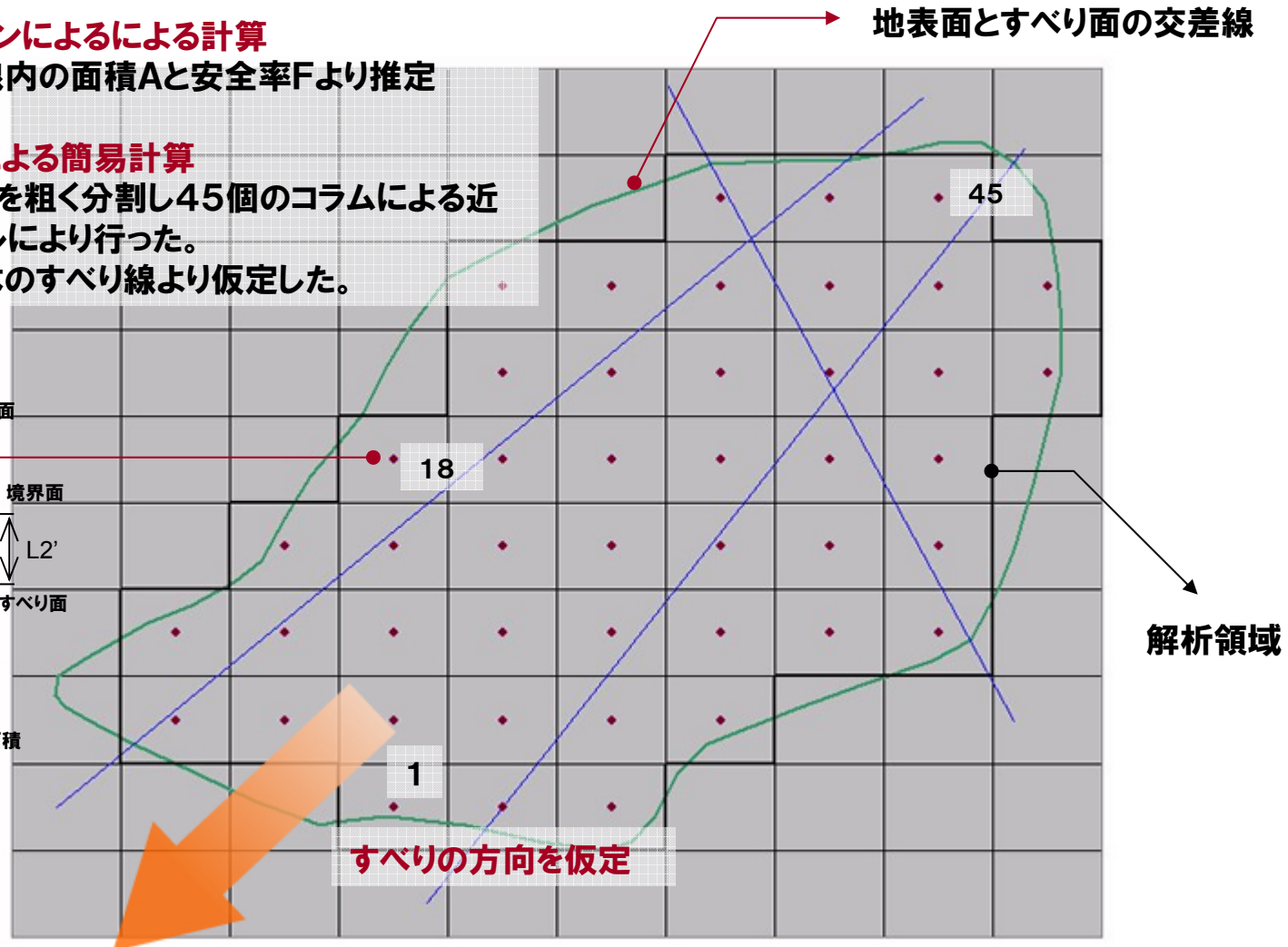
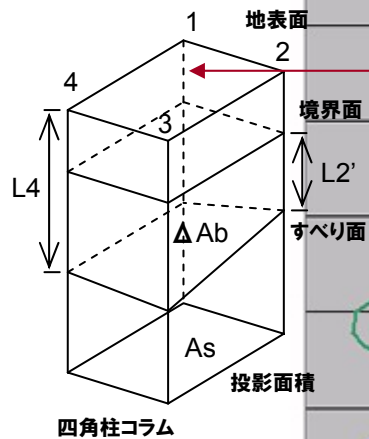


地表面サーフェスと地すべり面で演算することで、
地すべり土塊のボリューム計算も可能。
Autodesk Civil 3D土量計算機能

簡易3次元すべり計算

●ラム・フィットマンによる計算
2断面のすべり線内の面積Aと安全率Fより推定

●Hovland法による簡易計算
地表面解析領域を粗く分割し45個のコラムによる近似計算をエクセルにより行った。
すべり方向は2本のすべり線より仮定した。



すべり計算結果の比較

エクセルによる3次元すべり計算(現況水位)

NO	コラム中心座標		中心座標の標高			代表高さ		コラムの計算結果						解析結果	
	X座標	Y座標	地表面	すべり面	水位面	L1	L3	投影面積	体積V	σ_{yx}	ΔA	ΔW	U	すべり力	抵抗力
1	155.0	55.0	1125	1092	102.9	3.3	-6.3	2500	8255	-27.697	2824	165100		-76737	109438
2	205.0	55.0	1138	1067	108.4	7.1	1.7	2500	17671	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
3	255.0	55.0	1149	1085	111.6	6.4		2500	15135	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
4	55.0	105.0	1063	948	99.7	11.5		2500	15135	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
5	105.0	105.0	1137	860	105.7	27.7		2500	15135	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
6	155.0	105.0	1179	830	110.9	34.9		2500	15135	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
7	205.0	105.0	1196	926	116.3	27.0		2500	15135	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
8	255.0	105.0	1223	1049	120.8	17.3		2500	15135	-15.747	2597	353415	16.8	-95912	191891
9	305.0	105.0	1199	1165	121.1	3.4	4.6	2500	8603	-9.584	2535	172050	46.3	-28646	44224
10	55.0	155.0	1064	999	105.1	6.5	5.2	2500	16266	5.848	2513	325315	52.0	33148	124881
11	105.0	155.0	1119	812	112.2	30.7	31.0	2500	76770	37.723	3161	1535400	310.2	939424	336162
12	155.0	155.0	1225	687	117.9	53.8	49.2	2500	134555	12.759	2563	2691105	492.2	594317	838156
13	205.0	155.0	1344	767	123.4	57.6	46.7	2500	144122	-3.560	2505	2882430	466.9	-178991	1001550
14	255.0	155.0	1464	952	128.2	51.2	33.0	2500	128022	-6.622	2517	2560440	330.2	-295254	1011111
15	305.0	155.0	1471	1080	133.1	39.1	25.0	2500	97773	0.184	2500	1955465	250.4	6281	780012
16	355.0	155.0	1485	1149	136.9	33.5	22.0	2500	83827	1.994	2502	1676535	219.7	58335	663135
17	405.0	155.0	1453	1320	135.4	13.3	3.4	2500	33240	5.928	2513	664795	33.7	68661	347479
18	105.0	205.0	1273	1199	119.6	7.5	-0.3	2500	18645	37.723	3161	372895		228153	231094

3次元の計算結果は2次元の結果の1.055倍で、一般的にいわれている1.05倍~1.3倍の範囲内であった。

2次元と3次元の結果比較

	2次元		3次元		比率	
	複合すべり	円弧すべり	Hovland法	ラム・フィットマン	Hovland法	ラム・フィットマン
断面A-1	1.183	1.190	1.248	1.352	1.055	1.142
断面A-2	1.520	1.494				

19	1															
20	2															
21	2															
22	3															
23	3															
24	4															
25	1															
26	2															
27	2															
28	3															
29	3															
30	4															
31	205.0	305.0	179.3	135.0	143.7	44.3	8.7	2500	110783	50.048	3893	2215665	86.9	1698481	1103432	
32	255.0	305.0	197.3	117.0	147.2	80.3	30.2	2500	200684	54.370	4292	4013685	302.1	3262317	1590338	
33	305.0	305.0	214.1	127.4	151.4	86.7	23.9	2500	216709	35.509	3071	4334185	239.5	2517428	2093096	
34	355.0	305.0	213.1	143.0	154.6	70.1	11.6	2500	175156	23.845	2733	3503125	115.8	1416212	1853398	
35	405.0	305.0	203.4	160.6	156.8	42.8	-3.7	2500	107080	22.515	2706	2141605		820078	1249987	
36	455.0	305.0	199.2	194.7	157.0	4.5	-37.7	2500	11329	24.513	2748	226580		94007	144554	
37	205.0	355.0	206.6	186.8	147.7	19.8	-39.1	2500	49429	46.029	3601	988585		711476	588764	
38	255.0	355.0	213.0	163.1	152.6	49.9	-10.5	2500	124731	42.668	3400	2494620		1690713	1457269	
39	305.0	355.0	224.0	157.7	156.8	66.3	-0.8	2500	165778	44.368	3497	3315560		2318447	1931725	
40	355.0	355.0	228.3	169.9	160.4	58.4	-9.5	2500	146016	43.408	3441	2920320		2006812	1703253	
41	405.0	355.0	225.2	181.4	163.0	43.9	-18.4	2500	109722	36.801	3122	2194445		1314563	1282574	
42	455.0	355.0	222.9	217.5	163.7	5.4	-53.8	2500	13508	24.513	2748	270170		112092	169721	
43	305.0	405.0	232.8	206.6	162.8	26.2	-43.8	2500	65539	44.368	3497	1310770		916572	774259	
44	355.0	405.0	243.1	217.2	166.6	25.9	-50.6	2500	64808	43.408	3441	1296150		890700	765539	
45	405.0	405.0	245.3	218.8	168.9	26.5	-49.9	2500	66341	36.801	3122	1326825		794823	781654	
														$\Sigma =$	32650431	40747474
														F =	1.248	

GEORAMAによる3次元カスタムソリューション

1 複数の地すべり地形断面図を作成

2 すべり面の妥当性の検討

3 3次元すべり面の推定

4 地表面解析領域のメッシュ分割

5 コラム(三角or四角柱)の定義

6 コラムの体積、底面積、重量、水圧算出

7 コラム底面のすべり角度・方位の算出

8 コラムのすべり力、抵抗力、安全率の算出

9 対策工事の検討計算

Autodesk Civil 3D +
GEORAMA Drwaing / Modelingを
ベースとしたカスタムソリューション

設計CADを
エンジニアリングプラットフォームへ

Autodesk Civil 3D +
GEORAMA Drwaing / Modeling
+ Custom Solution

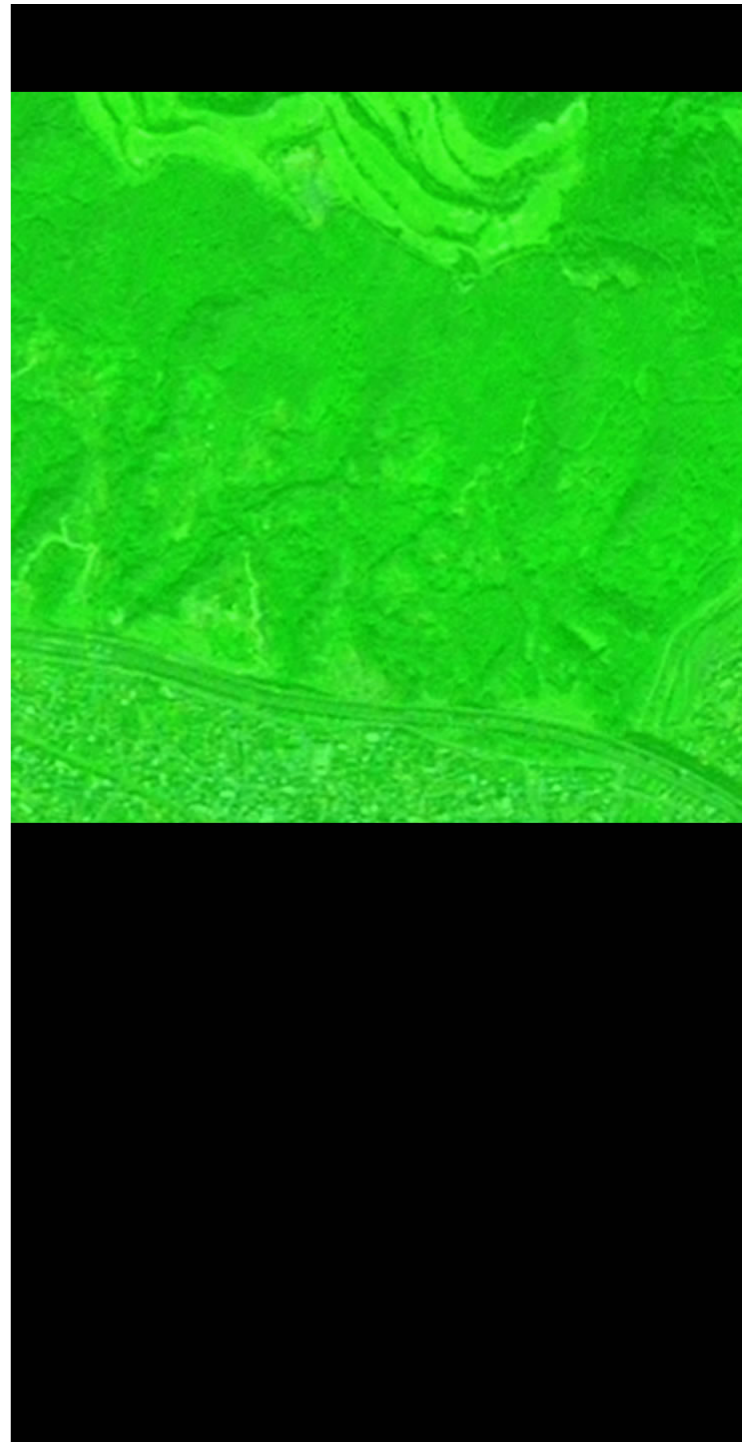
通常使い慣れたAutodesk CAD製品上で稼動する
設計計算システムを構築可能。エンジニアリングに
CADデータを有効利用。

4

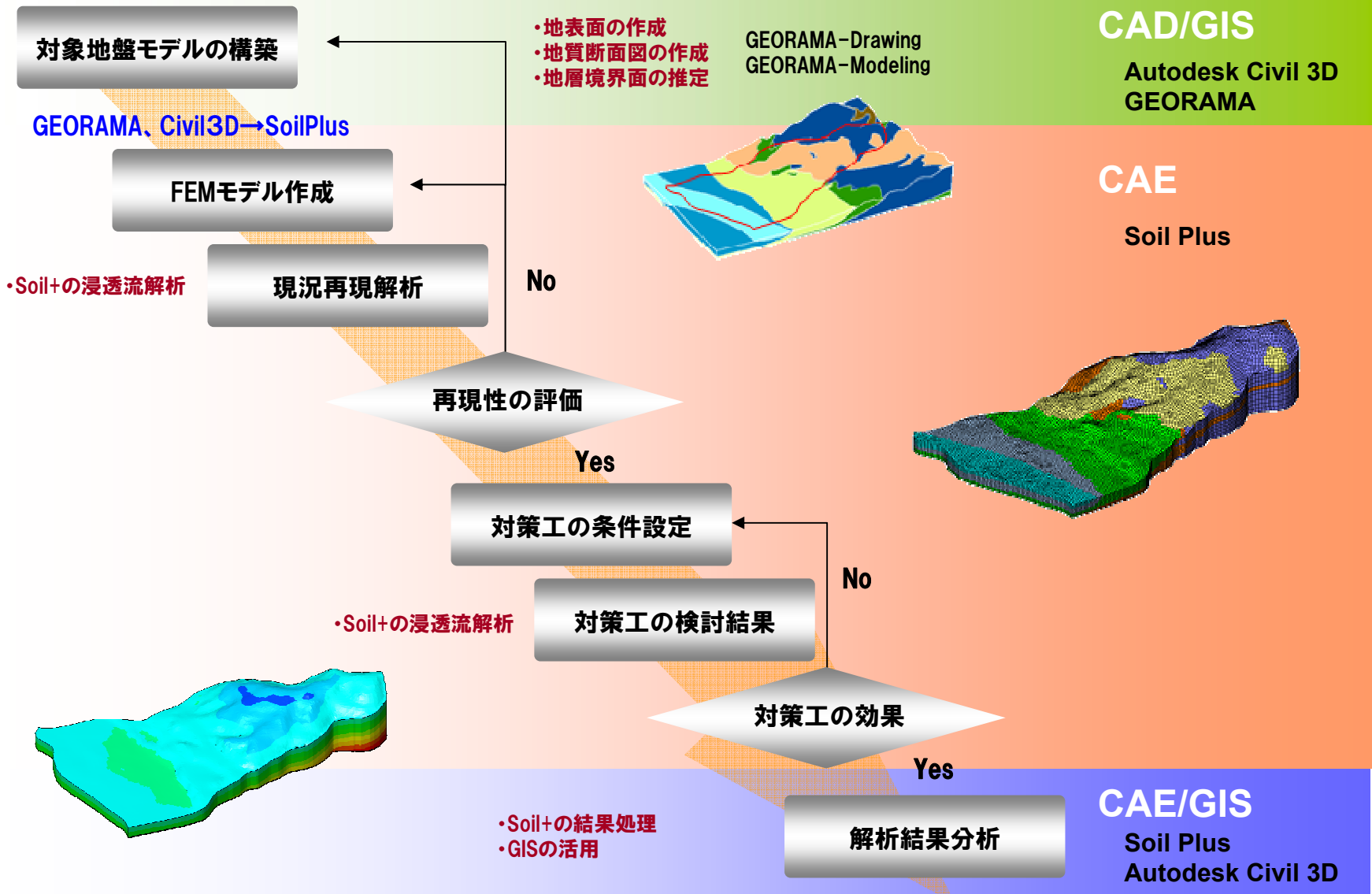
Workflow 3

FEM Analysis 浸透流解析

- + 解析フロー
- + 解析モデル、解析条件
- + 解析結果(デモストレーション含む)

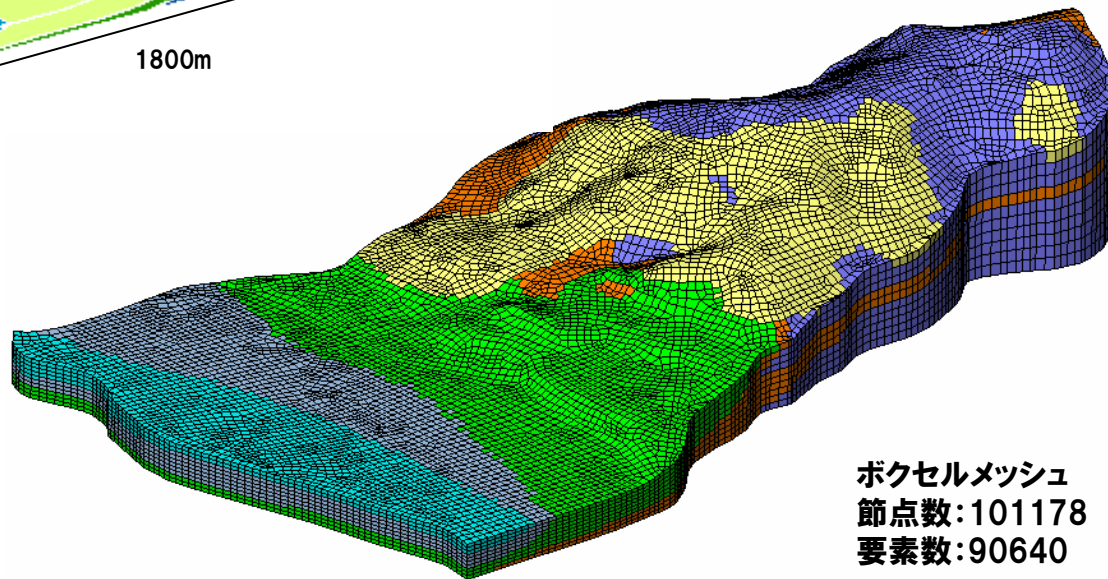


解析フロー



解析モデル

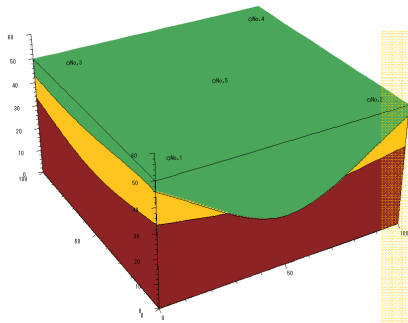
■モデル寸法・解析領域



ボクセルメッシュ
節点数:101178
要素数:90640

メッシュ分割 [ボクセルメッシュ]

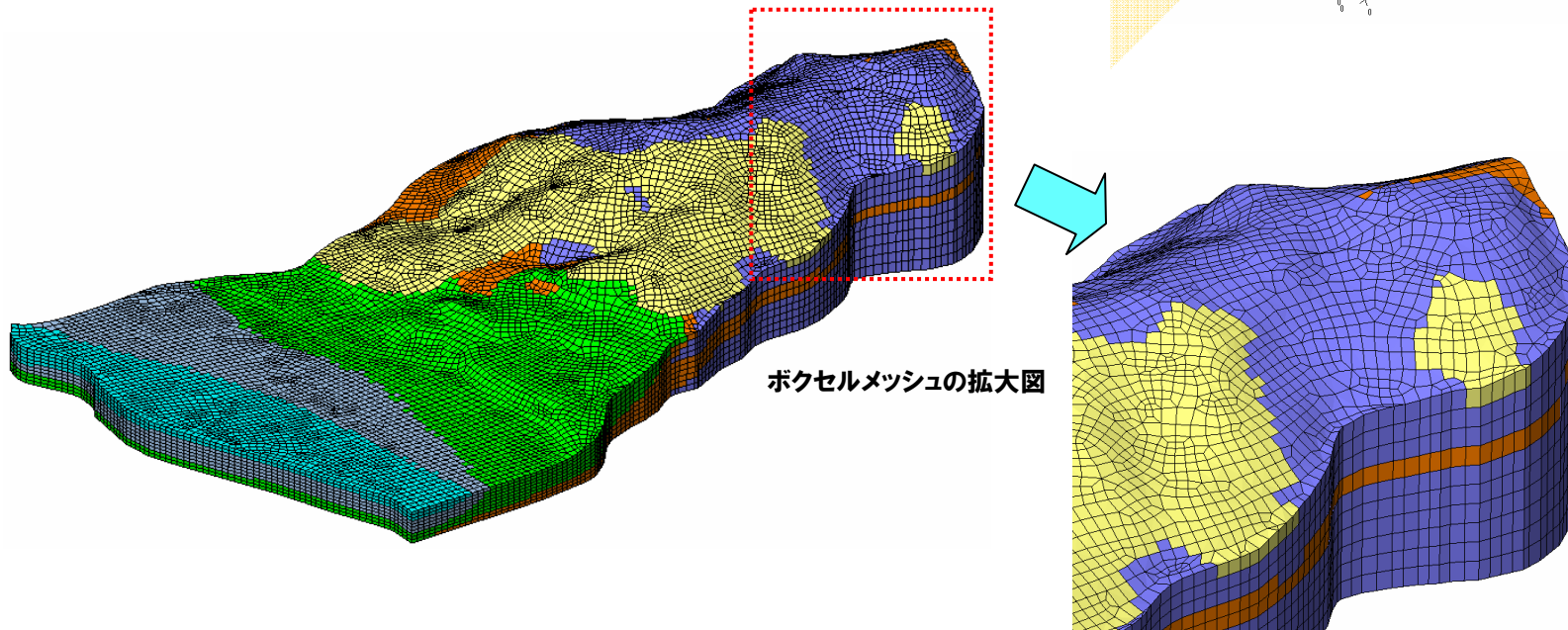
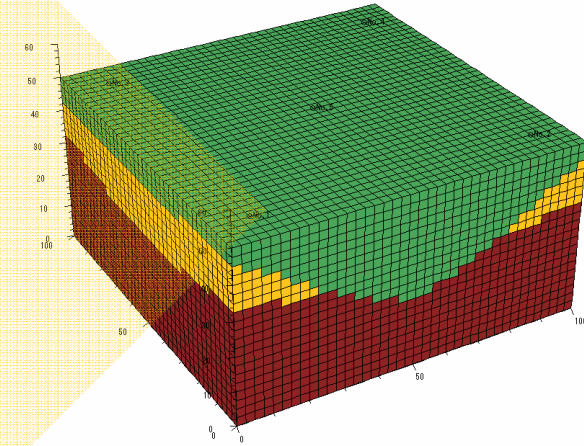
地盤モデル



浸透流解析のように広域モデルでの検討解析においては、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



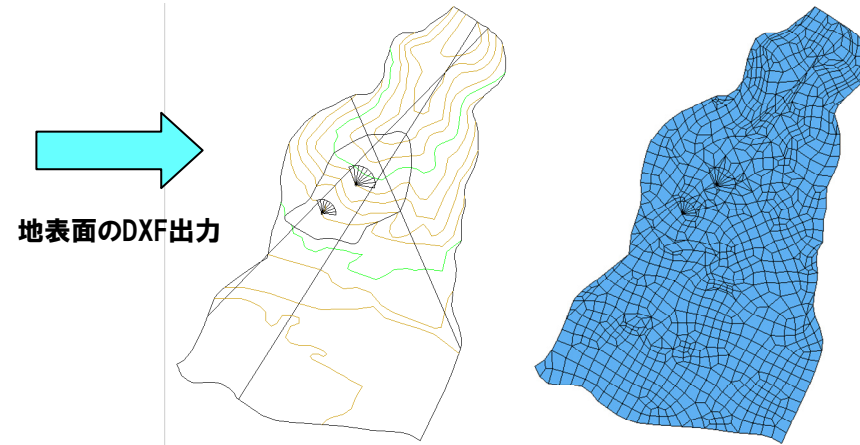
ボクセルメッシュの拡大図

ボクセルメッシュのモデリング手順

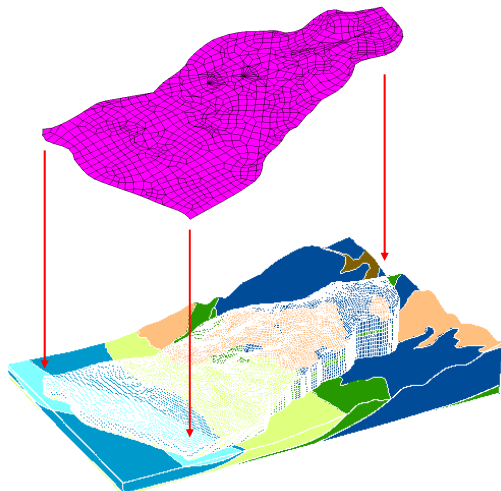
STEP 1 3次元地盤モデルの構築



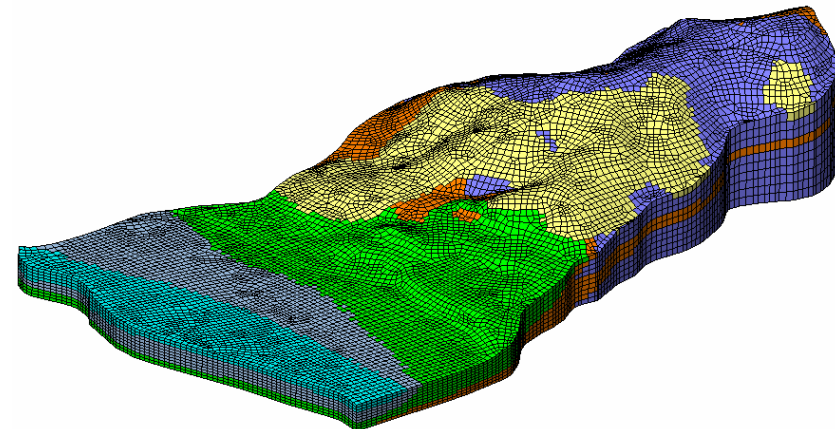
STEP 2 地表面の平面メッシュ作成



STEP 3 地表面メッシュを考慮した地盤モデル



STEP 4 ボクセルメッシュ作成

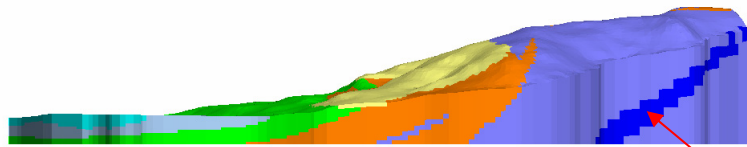


物性諸元

■ 物性区分・透水係数

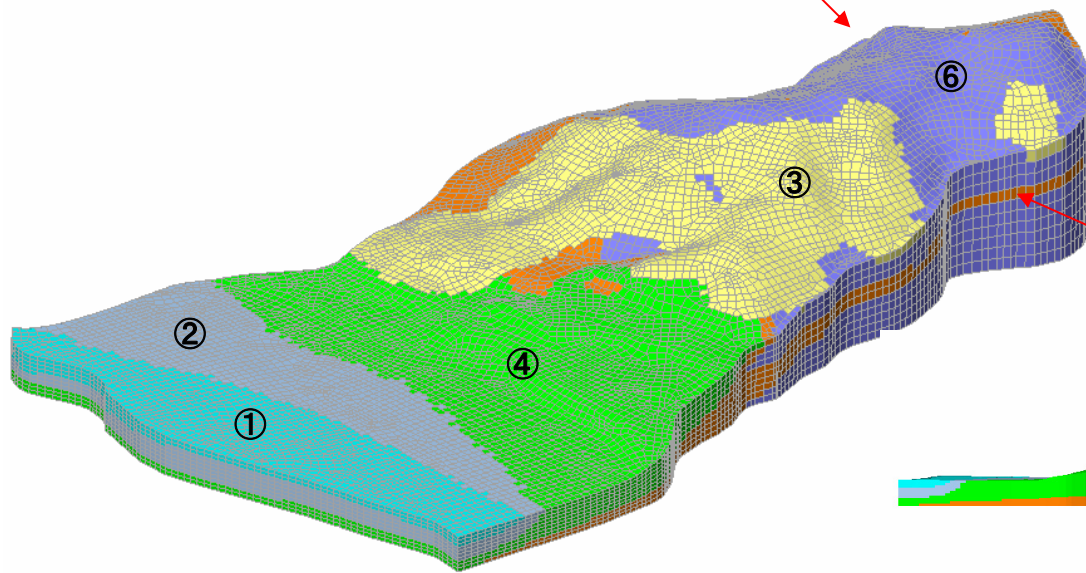
物性値一覧

物性区分	岩級	透水係数 K	
		m/hour	cm/sec
1	粒土混じり砂	3.60E-2	1.00E-3
2	粒土混じり砂	7.20E-2	2.00E-3
3	砂質土	3.60E-2	1.00E-3
4	D	3.60E-2	1.00E-3
5	CL	3.60E-3	1.00E-4
6	CM2	3.60E-3	1.00E-4
7	CM1	3.60E-3	1.00E-4

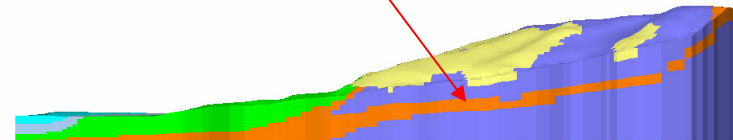


側面図(左)

⑦

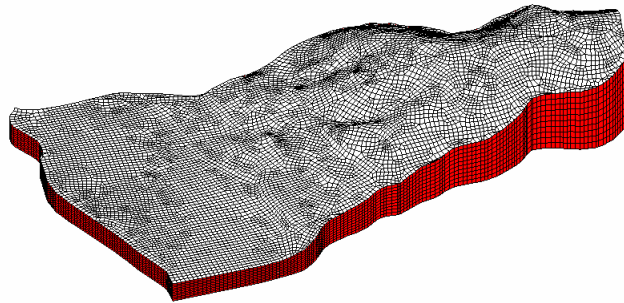


⑤



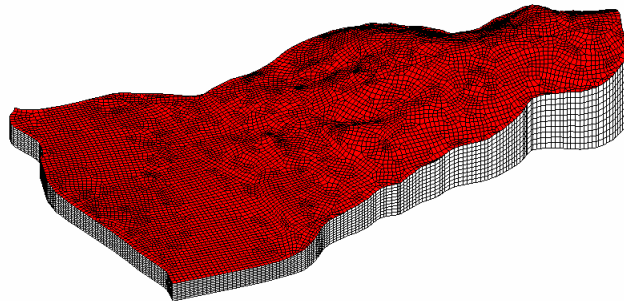
側面図(右)

境界条件の設定



■ 水頭条件

モデル側面の節点に水頭固定を設定。
地表面 -5mの水位で固定。



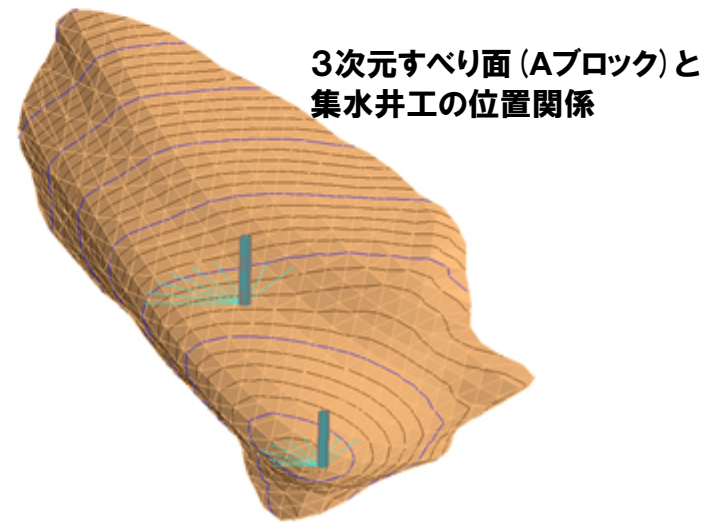
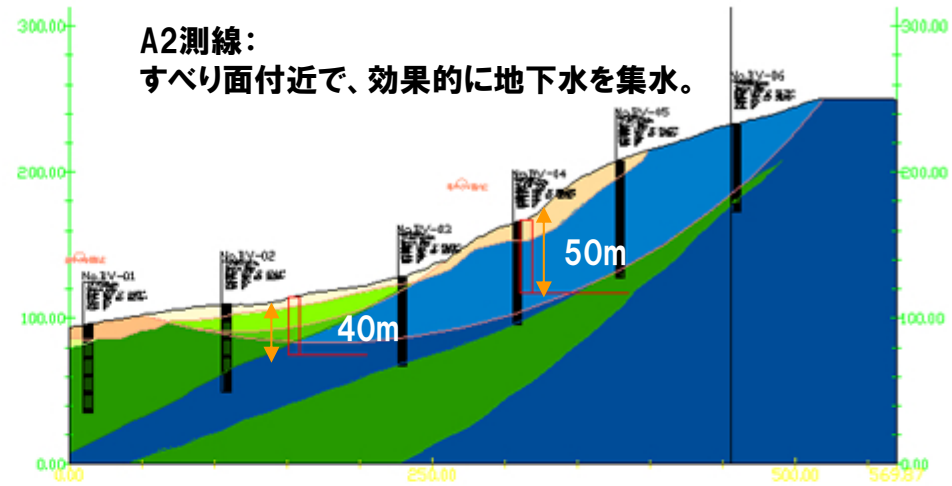
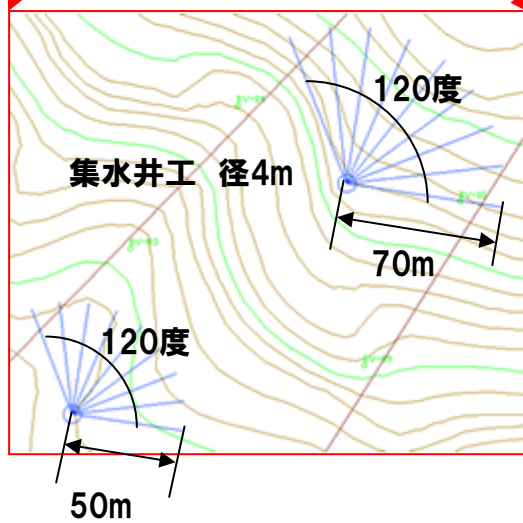
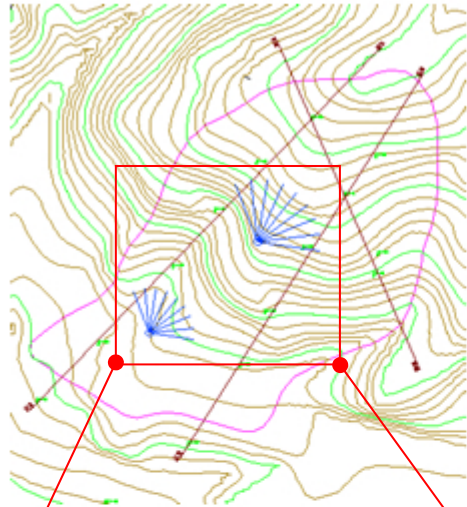
■ 降雨条件

モデル表面の全面に定常降雨を設定。

降雨強度 : 0.5 (mm/hour)

浸透能 : 1.0

集水井工による地すべり対策の検討



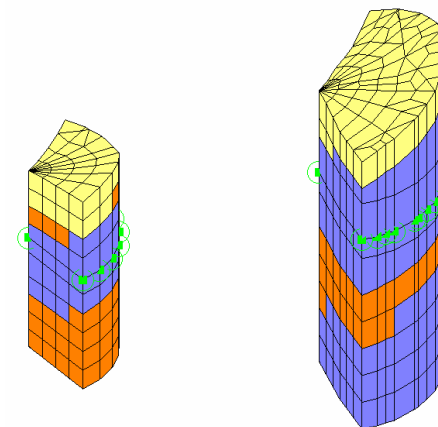
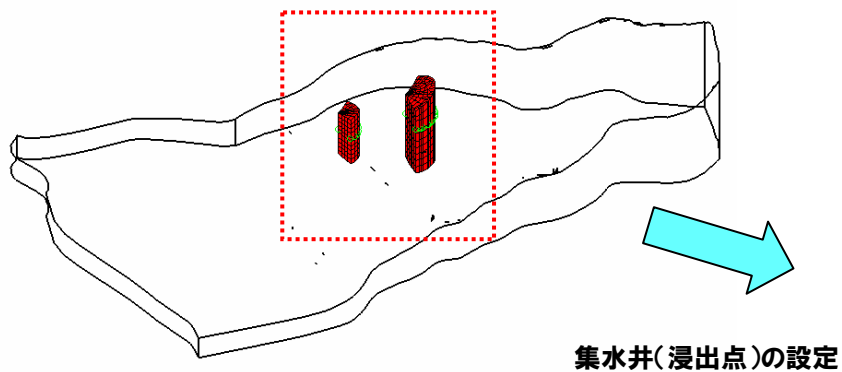
対策工のモデル化

■集水井のモデル化

集水地点の節点を浸出点として設定。

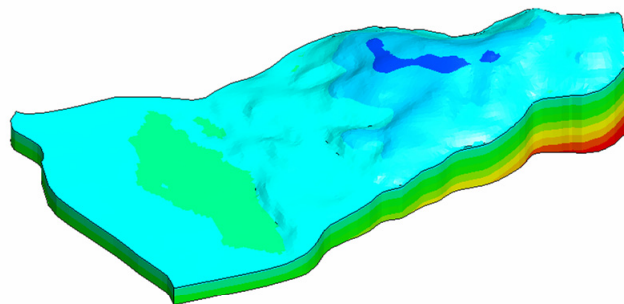
※浸出点とは
大気圧下を模擬した条件。具体的には以下の処理を行う。

- 飽和時 : 圧力水頭ゼロで水頭固定
- 不飽和時 : フリー

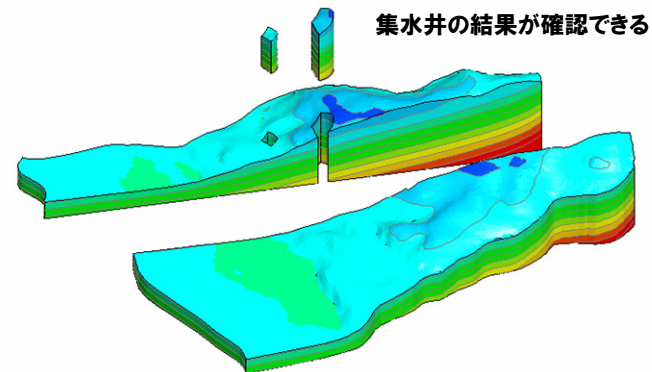


結果処理 その1

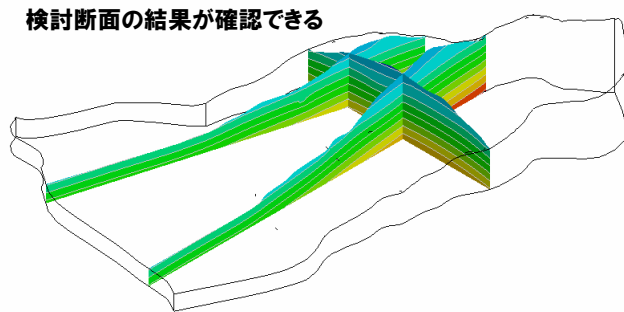
CASE 1 応答値の表示/確認



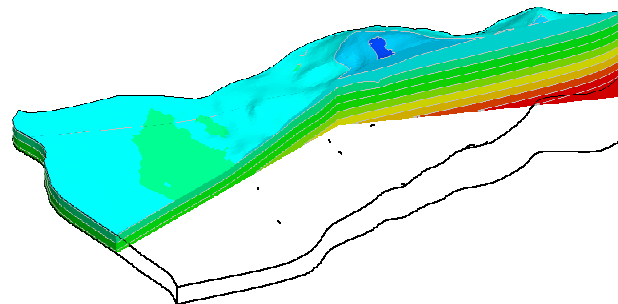
圧力水頭のコンター図



パーティションプロット



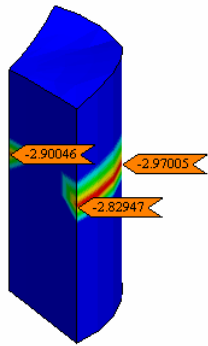
パネルダイアグラム



切断面図

結果処理 その2

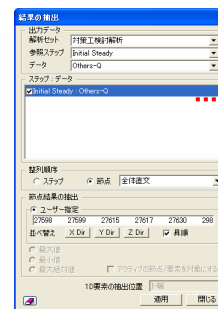
CASE 2 着目節点/要素の結果確認



集水井流量が確認できる

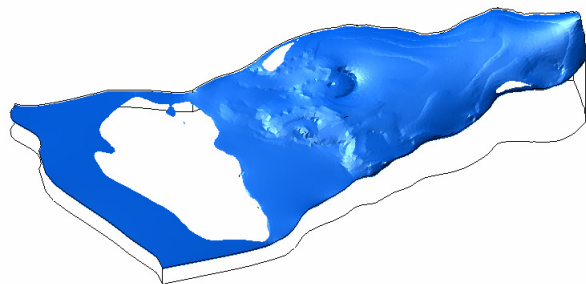
表示	タイプ	ID	X	Y	Z	結果値
1	節点	40131	-65345.00	-70225.90	73.7400	-2.93347
2	節点	40133	-65354.40	-70269.90	73.7400	-2.97005
3	節点	40123	-65384.70	-70918.50	73.7400	-2.90046
4	節点	27618	-60359.00	-70844.20	127.7200	-0.773081
5	節点	26632	-65234.50	-70798.70	127.7200	-0.519207
6	節点	29671	-65215.50	-70773.90	127.7200	-0.744268

画面上で選択した節点の応答値を確認

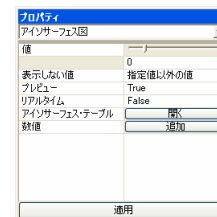
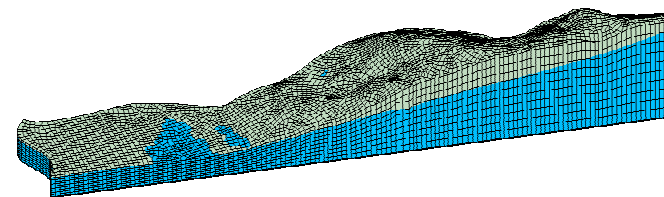


出力項目、ステップ、出力節点/出力要素を指定しテーブル出力

CASE 3 水位面の表示/出力



水位面が確認できる

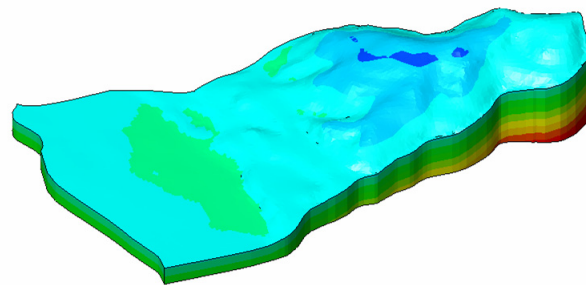


水位面座標値を
テーブルに出力

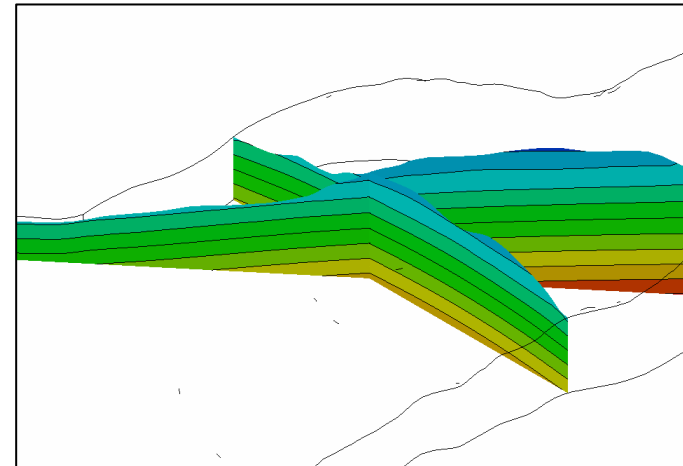
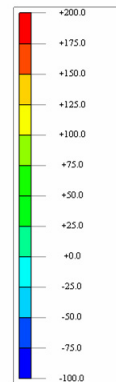
水位面の座標値を出力し、
GISでの検討ができる

解析結果 圧力水頭コンター

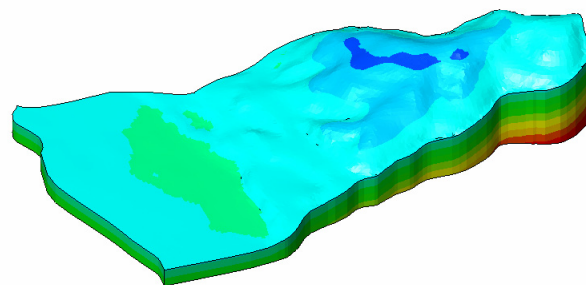
■ 現況解析



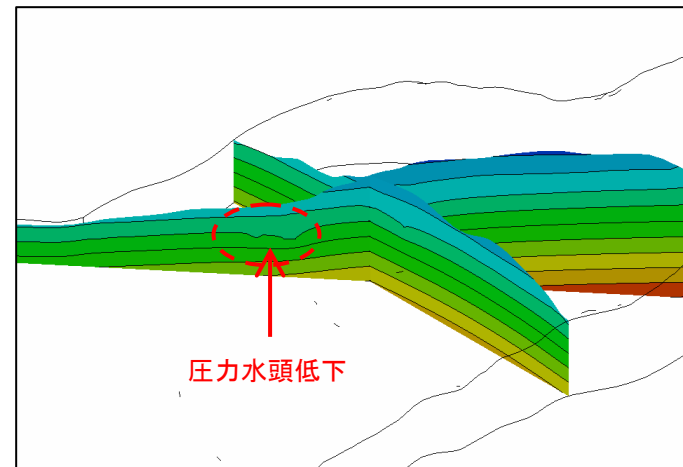
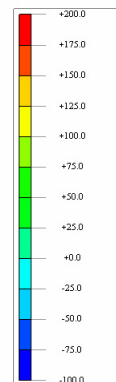
[UNIT] kN/m
[DATA] 現況解析, Initial Steady, HEAD-Pressure Head



■ 対策工検討解析



[UNIT] kN/m
[DATA] 対策工検討解析, Initial Steady, HEAD-Pressure Head

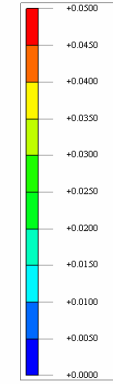
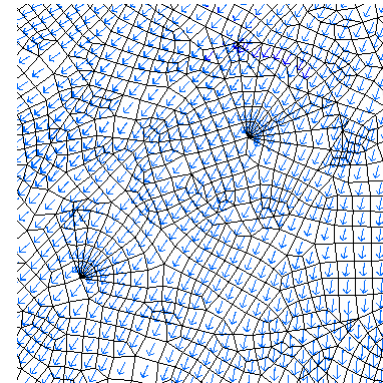
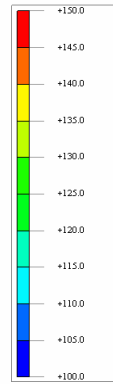
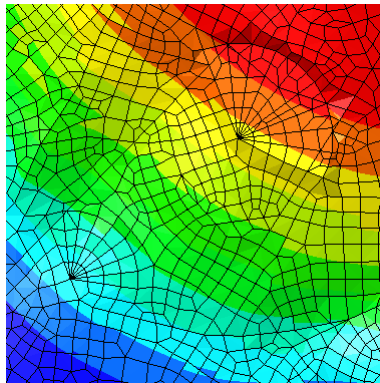


圧力水頭コンター図

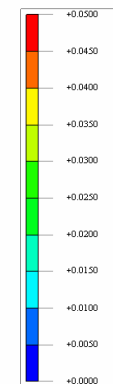
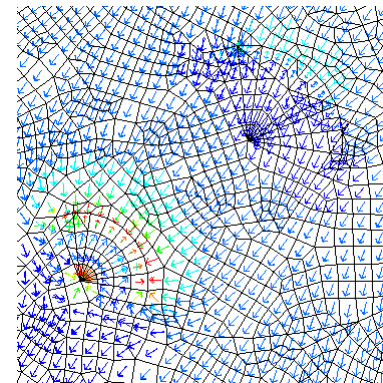
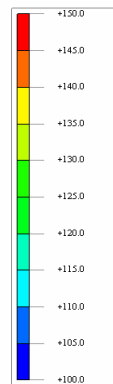
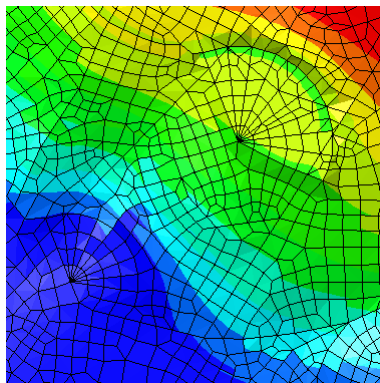
圧力水頭コンター図(マルチスライス)

解析結果 集水井付近の応答 (G.L.-50m)

■ 現況解析



■ 対策工検討解析



全水頭コンター図

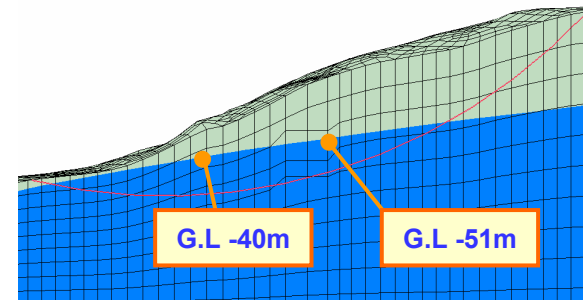
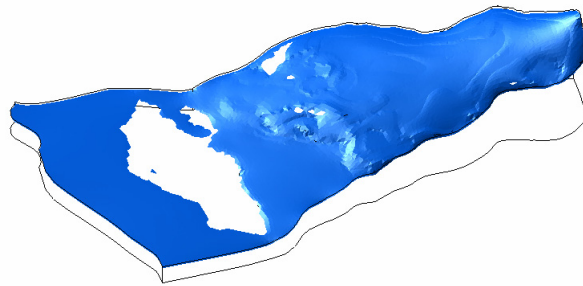
流速ベクトル図

解析結果 水位面の低下量

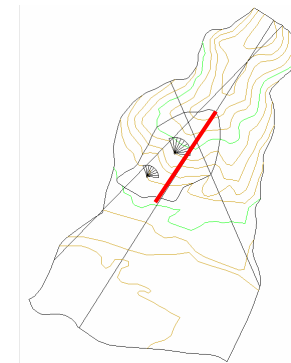
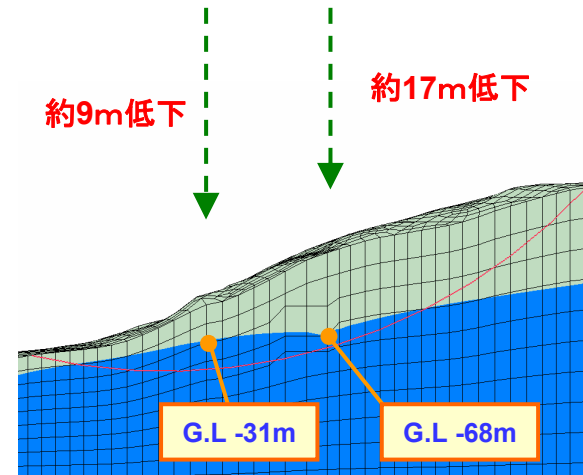
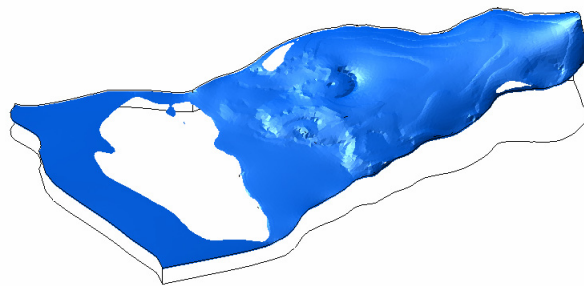
■ 地下水位の検討

すべり面近傍における地下水位の低下量を確認する。

■ 現況解析



■ 対策工検討解析



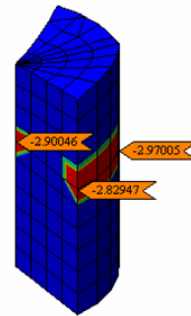
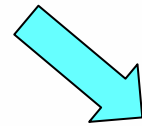
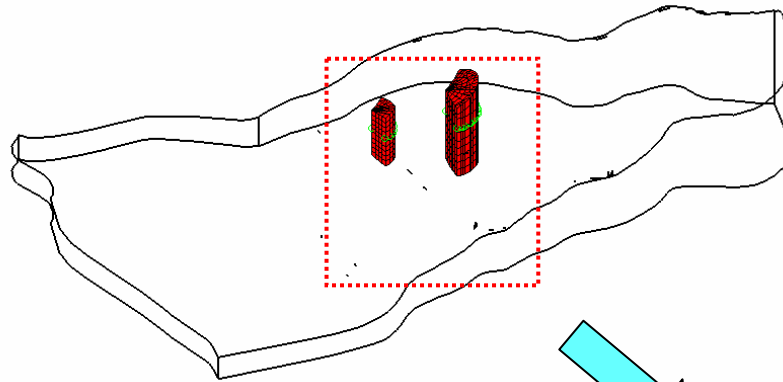
断面出力位置

水位線図

解析結果 集水井からの流出量

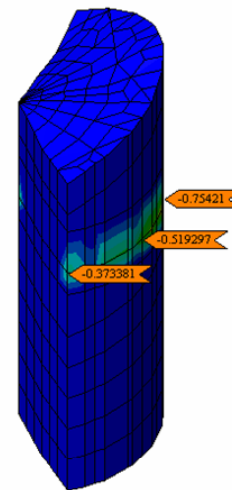
■ 集水井の性能の検討

解析結果から得られる流量が想定している集水井の性能で処理できるかを確認する。

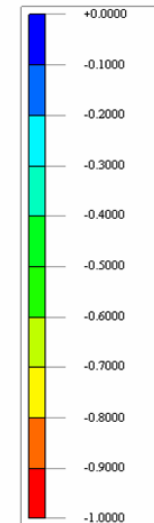


集水井流量
合計

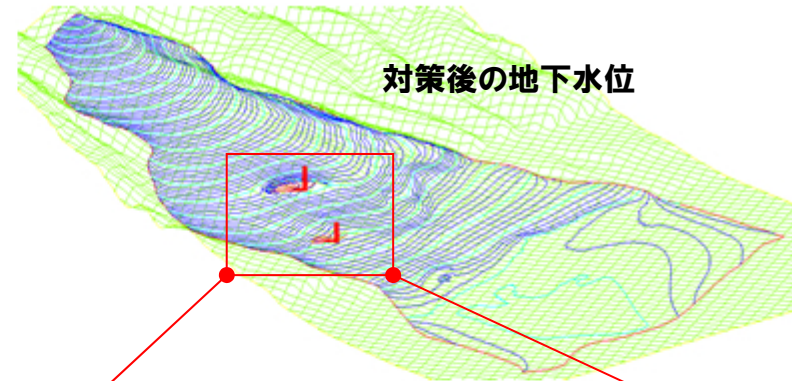
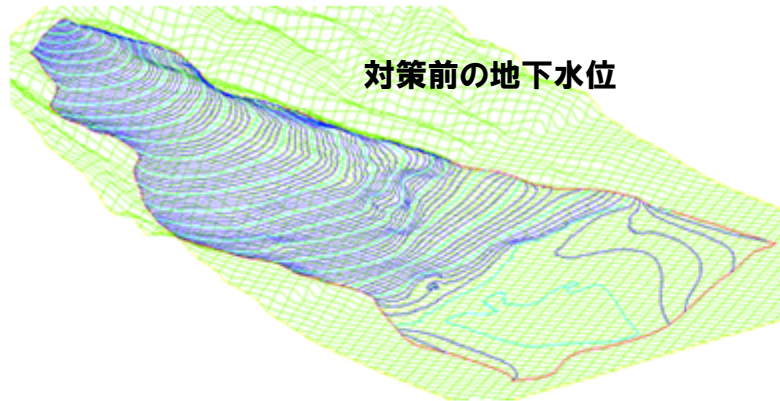
29.35 (m³/hr)
41.78 (m³/hr)



12.43 (m³/hr)

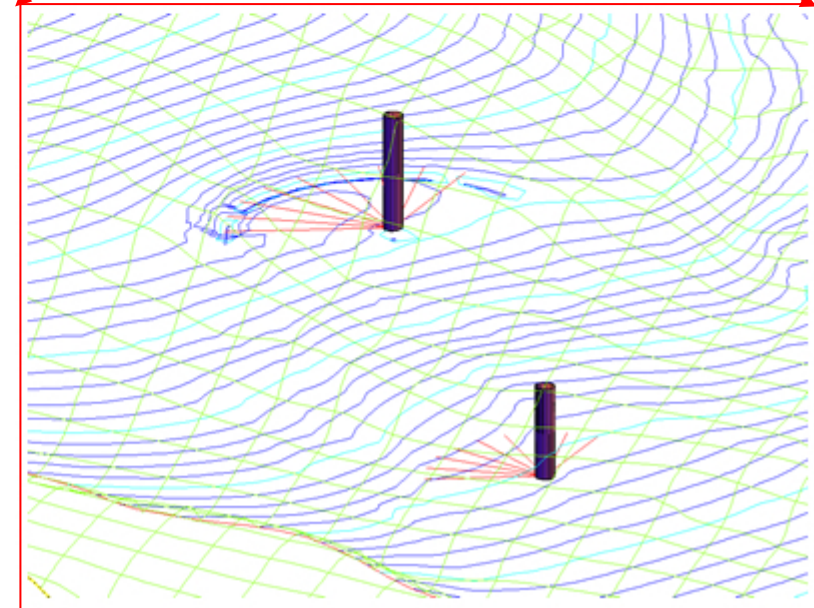
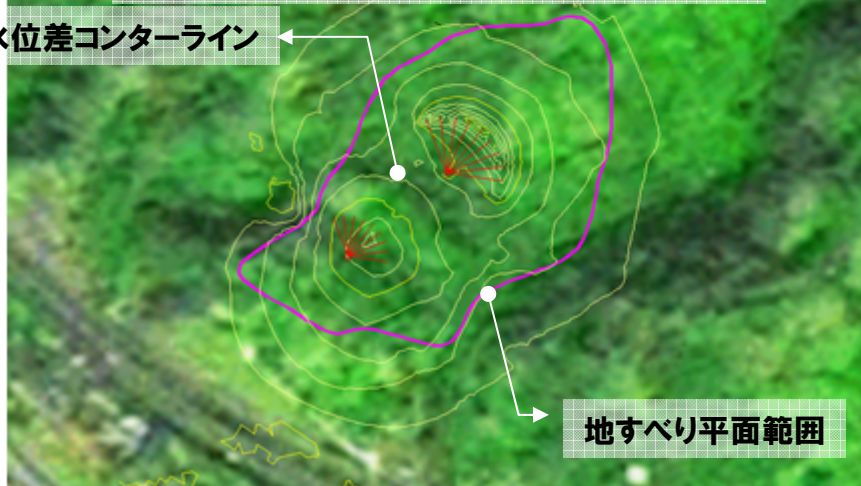


解析結果 水位の低下の効果の検討(GIS表示)

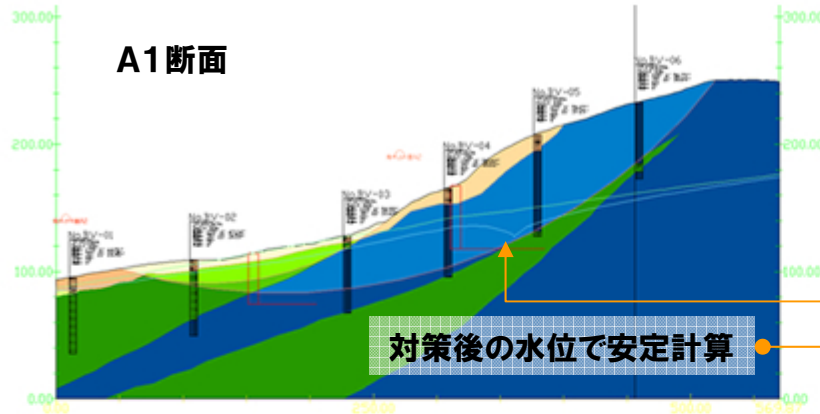


対策前水位 - 対策後水位 の差を演算し、
衛星写真に重ねて、地すべり範囲と同時に
水位差コンター図を表示

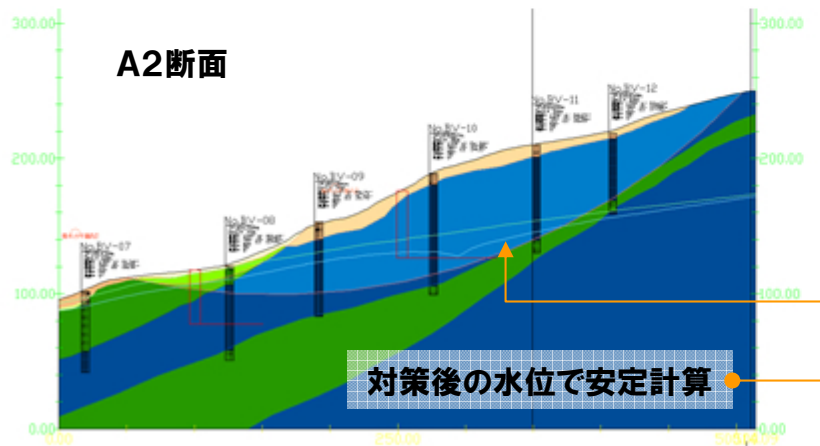
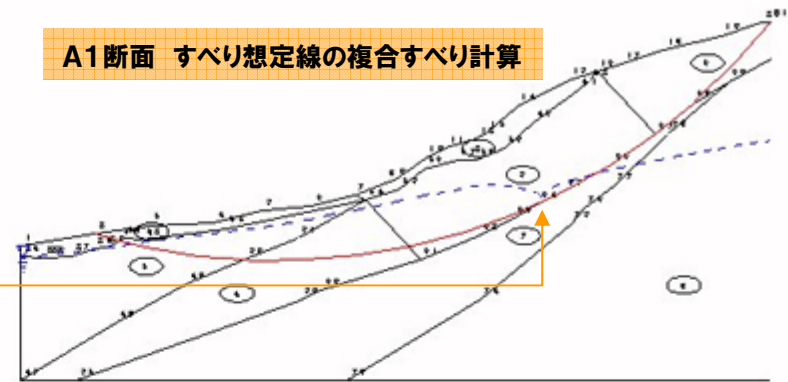
水位差コンターライン



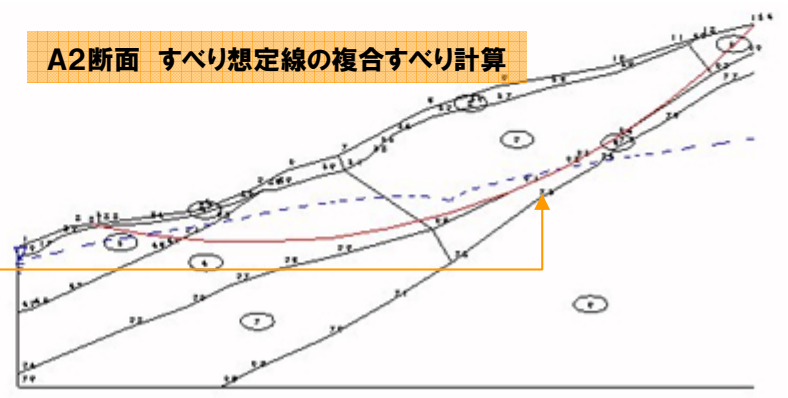
解析結果 安定計算(対策工の効果)



A1断面 すべり想定線の複合すべり計算



A2断面 すべり想定線の複合すべり計算



解析結果 安定計算(対策工の効果)

エクセルによる3次元すべり計算(地下水対策)

NO	コラム中心座標		中心座標の標高			代表高さ		コラムの計算結果					解析結果		
	X座標	Y座標	地表面	すべり面	水位面	L1	L3	投影面積	体積V	σ_{vx}	ΔA	ΔW	U	すべり力	抵抗力
1	155.0	55.0	1125	1092	1029	3.3	-21.3	2500	8255	-27.697	2824	165100		-76737	109438
2	205.0	55.0	1138	106.7	108.4	7.1	-13.3	2500	17671	-15.747	2597	253415		-95912	217032
3	255.0	55.0	114.9	108.5	111.6	6.4									
4	55.0	105.0	106.3	94.8	99.7	11.5									
5	105.0	105.0	113.7	86.0	105.7	27.7									
6	155.0	105.0	117.9	83.0	110.9	34.9									
7	205.0	105.0	119.6	92.6	116.3	27.0									
8	255.0	105.0	122.3	104.9	120.8	17.3									
9	305.0	105.0	119.9	116.5	121.1	3.4									
10	55.0	155.0	106.4	99.9	105.1	6.5									
11	105.0	155.0	111.9	81.2	112.2	30.7	16.0	2500	76770	37.723	3161	1535400	160.2	939424	609881
12	155.0	155.0	122.5	68.7	117.9	53.8	34.2	2500	134555	12.759	2563	2691105	342.2	594317	1060143
13	205.0	155.0	134.4	76.7	123.4	57.6	31.7	2500	144122	-3.560	2505	2882430	316.9	-178981	1218475
14	255.0	155.0	146.4	95.2	128.2	51.2	18.0	2500	128022	-6.622	2517	2560440	180.2	-295254	1229071
15	305.0	155.0	147.1	108.0	133.1	39.1	10.0	2500	97773	0.184	2500	1955465	100.4	6281	996519
16	355.0	155.0	148.5	114.9	136.9	33.5	7.0	2500	83827	1.994	2502	1676535	69.7	58335	879772

集水井工による対策浸透流解析の水位からの3次元すべり計算の結果を示す。安全率は1.2以上となり効果が示された。

地下水対策の検討の有無の比較

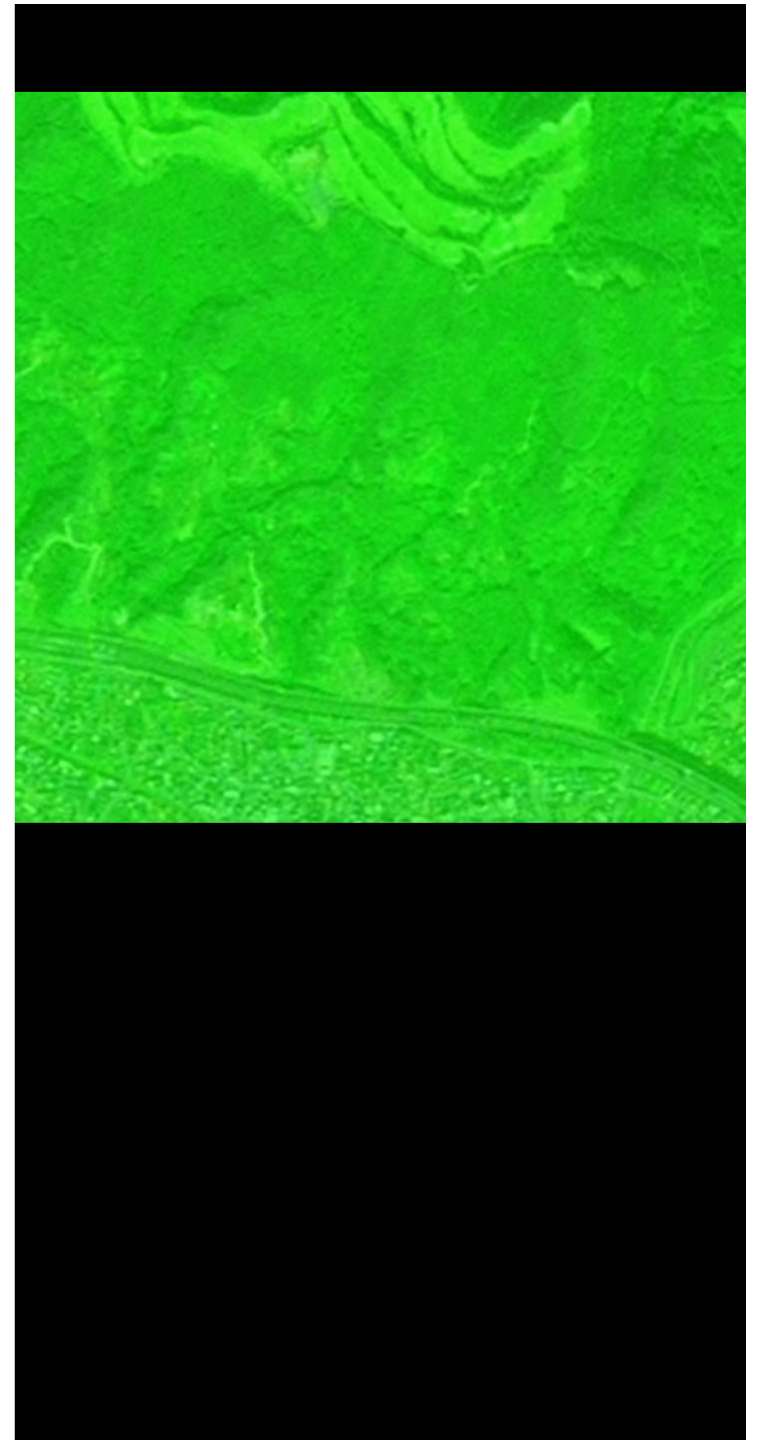
	2次元(複合すべり)			3次元(Hovland法)		
	現況水位	地下水対策	比率	現況水位	地下水対策	比率
断面A-1	1.183	1.322	1.117	1.248	1.433	1.148
断面A-2	1.520	1.660	1.092			

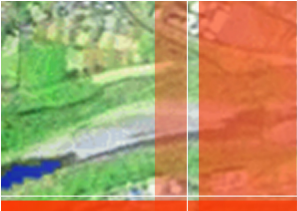
17	405.0														
18	105.0														
19	155.0														
20	205.0														
21	255.0														
22	305.0														
23	355.0														
24	405.0														
25	155.0														
26	205.0														
27	255.0														
28	305.0														
29	355.0	255.0	198.0	126.2	148.0	71.8	6.8	2500	179461	18.539	2637	3589220	68.1	1141204	1981747
30	405.0	255.0	187.5	147.0	149.8	40.4	-12.3	2500	101066	15.135	2590	2021320		527744	1179958
31	205.0	305.0	179.3	135.0	143.7	44.3	-6.3	2500	110783	50.048	3893	2215665		1698481	1298680
32	255.0	305.0	197.3	117.0	147.2	80.3	15.2	2500	200684	54.370	4292	4013685	152.1	3262317	1961994
33	305.0	305.0	214.1	127.4	151.4	85.7	8.9	2500	216709	35.509	3071	4334185	89.5	2517428	2359066
34	355.0	305.0	213.1	143.0	154.6	70.1	-3.4	2500	175156	23.845	2733	3503125		1416212	2036196
35	405.0	305.0	203.4	160.6	156.8	42.8	-18.7	2500	107080	22.515	2706	2141605		820078	1249987
36	455.0	305.0	199.2	194.7	157.0	4.5	-52.7	2500	11329	24.513	2748	226580		94007	144554
37	205.0	355.0	206.6	186.8	147.7	19.8	-54.1	2500	49429	46.029	3601	968585		711476	588764
38	255.0	355.0	213.0	163.1	152.6	49.9	-25.5	2500	124731	42.668	3400	2494620		1690713	1457269
39	305.0	355.0	224.0	157.7	156.8	66.3	-15.8	2500	165778	44.368	3497	3315560		2318447	1931725
40	355.0	355.0	228.3	169.9	160.4	58.4	-24.5	2500	146016	43.408	3441	2920320		2006812	1703253
41	405.0	355.0	225.2	181.4	163.0	43.9	-33.4	2500	109722	36.801	3122	2194445		1314563	1282574
42	455.0	355.0	222.9	217.5	163.7	5.4	-68.8	2500	13508	24.513	2748	270170		112092	169721
43	305.0	405.0	232.8	206.6	162.8	26.2	-58.8	2500	65539	44.368	3497	1310770		916572	774259
44	355.0	405.0	243.1	217.2	166.6	25.9	-65.6	2500	64808	43.408	3441	1296150		890700	765539
45	405.0	405.0	245.3	218.8	168.9	26.5	-64.9	2500	66341	36.801	3122	1326825		794823	781654
													$\Sigma =$	32650431	46797889
													F =	1.433	



Conclusion

- + セミナーのまとめ
- + 現状と展望
- +
- +





セミナーのまとめ

GISデータとボーリングデータから3次元的地すべり面、および地層境界面の推定を行った。

推定されたすべり面を基に、地すべり対策工である集水井の位置・諸元設定を行った。

GISデータと地層境界面から3次元浸透流解析モデル、および斜面安定解析を作成した。

対策工有無の3次元浸透流解析で得られた水位線を斜面安定解析に反映した。

簡易的な3次元斜面安定解析を実施して、2次元斜面安定解析結果との対比を行い、相互の比率が既存の経験値と同等であることを確認した。

対策工有無の3次元浸透流解析から得られた水位差コンター結果をGISにフィードバックした。



現状と展望

現状

Civil3D, GEORAMA, SoilPlusの連携により、地形情報、地質情報を反映した解析、および解析結果の地質情報へのフィードバックが容易に行えるようになった。

将来への展望

Autodesk Civil3D, GEORAMA, SoilPlusを融合したソリューションは今後も利用範囲の拡大に大きな可能性を有している。特にGIS的处理が地中まで拡張して行えることは、地盤解析の入力データ精度の向上、および結果の高度処理に寄与することを意味し、解析業務の生産性・付加価値向上に結びつくものと考えられる。

AUTODESK®
CIVIL 3D®

GEORAMA



