

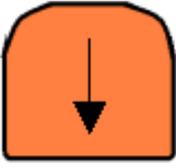
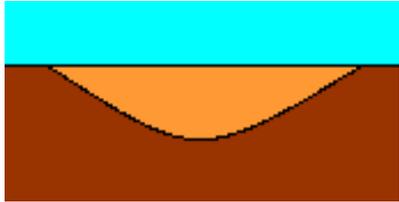
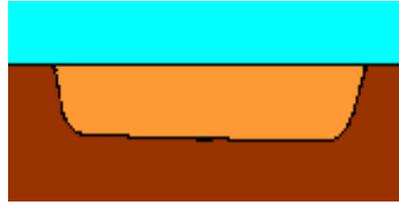
# 1. 安定計算

## 1.1 2次元解析と3次元解析

従来地すべり安定計算は2次元を主体として行われてきた。しかしこの2次元安定計算には以下のような問題がある。

- (1) 層厚が最大と想定した主測線において安定解析を行うため、一般に層厚の薄くなる地すべり縁辺部に対しては、算出される必要抑止力が過大となる。
- (2) 地すべり移動方向が計器観測結果等で判明している場合を除くと、設定した主測線方向と地すべり全土塊の最小安全率を示す方向とは異なる可能性がある。
- (3) 末端開放型でも末端閉塞型でも同じ解析結果になってしまう矛盾がある。

特に下記のようなすべり面の形状を有する地すべりについては、対策工の規模について大きな問題を有することが地すべり学会などで報告されている。報告によれば対策工の規模は70～80%ですむ場合も多いとされている。

すべり面の形状	影響が大きい	影響が小さい
平面形状		
横断形状		

当地区の地すべりは平面形状、横断形状ともに影響が大きいと判断でき、2次元解析では対策工の規模が過大となる可能性がある。したがって3次元解析が必要と判断できる。

## 1.2 3次元解析の手法

一般的に、地すべりを3次元解析する場合、以下の方法が使用されている。

### 複断面による解析法

- ・ 近似的な3次元効果の評価（ラム・フィットマン）

### 複断面による解析法

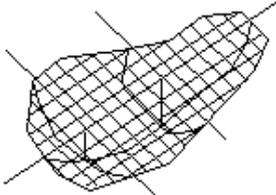
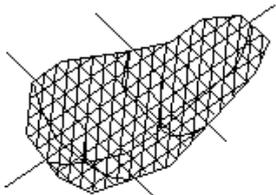
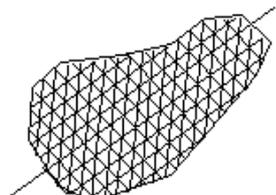
- ・ Hovland法（土木研究所）
- ・ 修正Hovland法（吉松）

### 有限要素法

- ・ 3次元FEM法

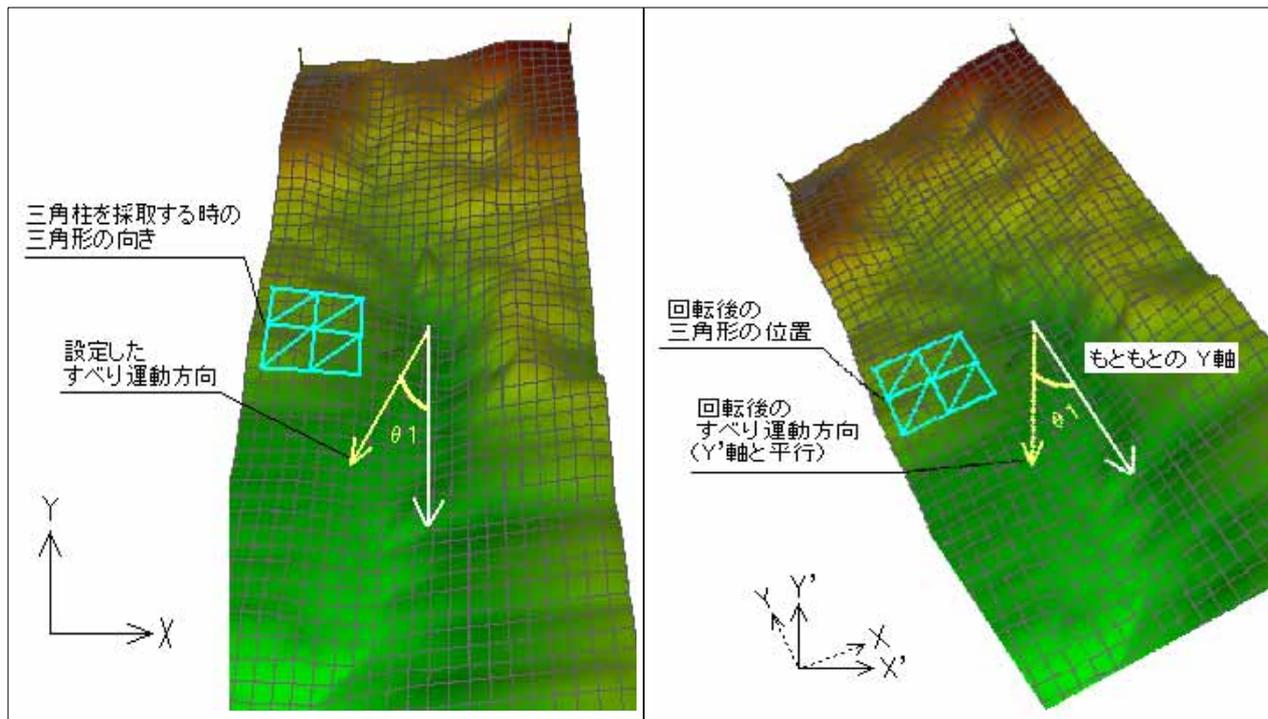
当地区の場合、修正Hovland法を用いれば、地すべりの形状や種々の影響を妥当に評価でき、また地すべりの移動方向も計算できる。したがって当地すべりの解析方法として「修正Hovland法」を使用する。

## 地すべりの検討手法比較表

解析法	理論	手法	適用
ラム・フィットマン解析 	<ul style="list-style-type: none"> <li>大変形理論</li> <li>不連続面におけるすべり運動解析</li> </ul>	2次元極限平衡法理論解析に横断形状を補正量として考慮。	地すべり全体のバランスを問題とする場合に適している。簡易で手計算でもできる。
3次元Hovl and法解析 	<ul style="list-style-type: none"> <li>大変形理論</li> <li>不連続面におけるすべり運動解析</li> </ul>	3次元極限平衡法理論解析。四角柱コラムの最大傾斜方向に滑動力が作用する。	地すべり全体のバランスを問題とする場合に適している。移動方向が既知である必要がある。
3次元修正Hovl and法解析 	<ul style="list-style-type: none"> <li>大変形理論</li> <li>不連続面におけるすべり運動解析</li> </ul>	3次元極限平衡法理論解析。三角柱コラムを用い、地すべり全体が一定方向に滑動する。移動方向を計算で求める。	地すべり全体のバランスを問題とする場合に適している。移動方向をトライアルによって求めることができる。
3次元FEM解析 	<ul style="list-style-type: none"> <li>微小変形理論</li> <li>メッシュの連動変形解析</li> <li>すべり面の概念はない</li> </ul>	3次元応力法理論（有限要素法解析）。応力と歪みの関係を用い応力の分布特性から斜面の安定性を論ずる。	土自体の変形量、沈下量を問題とする場合は極限平衡法では解けず、有効である。

1.3 修正Hovland法について

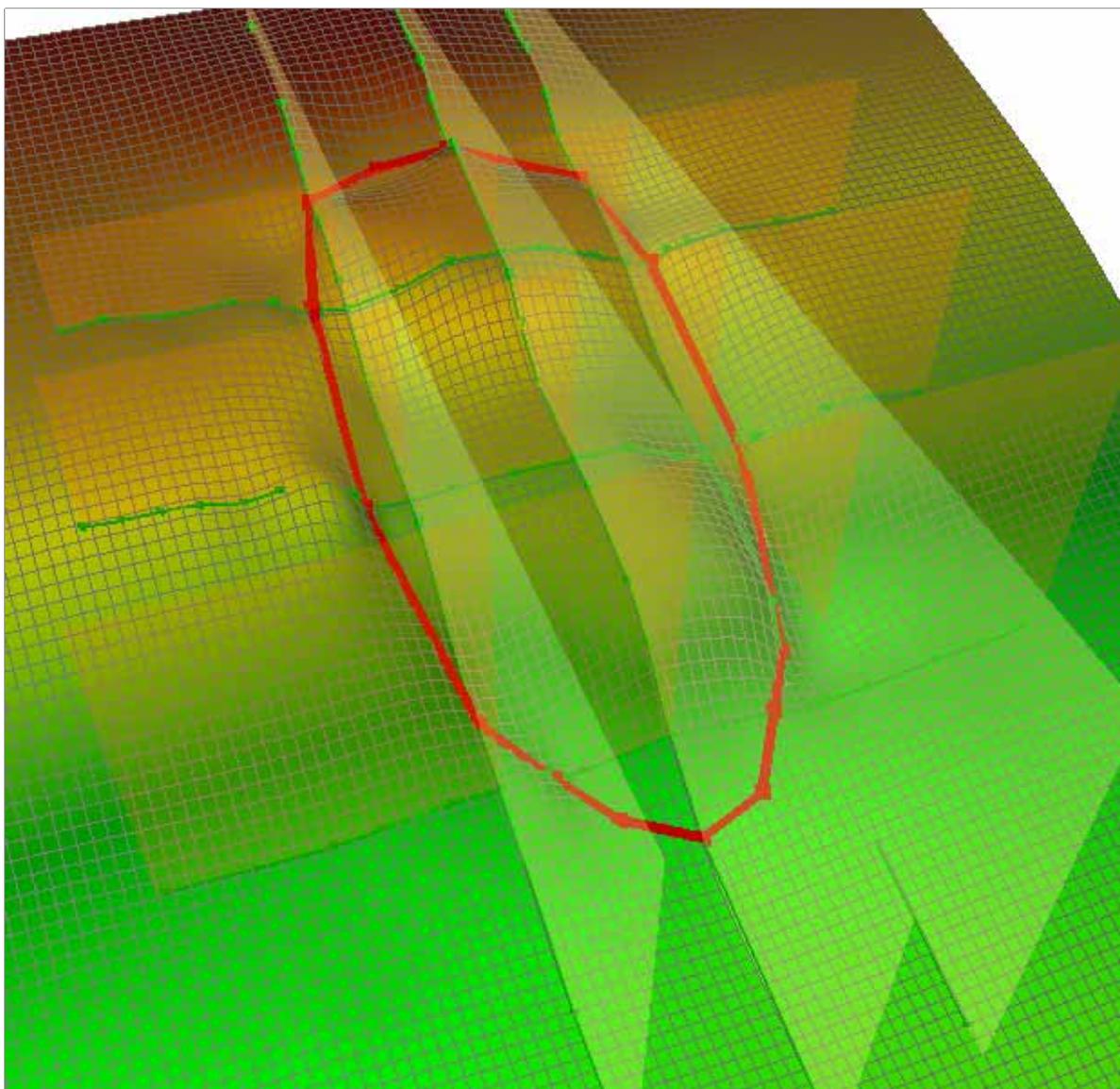
計算方法名	修正 Hovland法 (吉松氏)
用いる地塊柱	三角柱
特長	(安全率を複数計算した上で、二次補間法を用いて) 最小安全率を有する地すべりの運動方向が算出可能。
安全率の式	$F_s = \frac{\sum x y \{ CA + (W \cos(DIP) - U) \tan \phi \}}{\sum x y W \sin \alpha}$
計算式導出の仮定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 不静定内力は無視する</li> <li>・ すべり運動方向がY軸に平行 (つまり既知)</li> <li>・ 安全率はすべり面全域で一定</li> <li>・ 地すべり運動方向は頭部域から末端域まで直線とする</li> </ul>
三角柱のイメージ (修正Hovland法)	
基本的考え方	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 仮定するすべり運動方向を設定する。</li> <li>2. 運動方向がY軸と平行でないならば、その図形をY軸と平行になるまで回転移動をする。</li> <li>3. Y軸と同じになったら、その状態および回転後の座標における安全率を算出する。</li> </ol>



参考文献：地すべり三次元斜面安定解析（平成 7 年 1 月、愛媛県土木部砂防課 吉松 弘行）

#### 1.4 解析モデル

地すべり縦断面図、横断面図、地すべり範囲、その他のコントロールポイントからDEMデータを生成する。  
当地区での地形は以下の通りである。



## 1.5 安定計算結果

< 逆算 >

C - tan の関係式は次のとおりである。

$$x \ y \ W \sin \ yz \cdot F_s = x \ y \ { C A + (W \cos(DIP) - U) \tan \ }$$

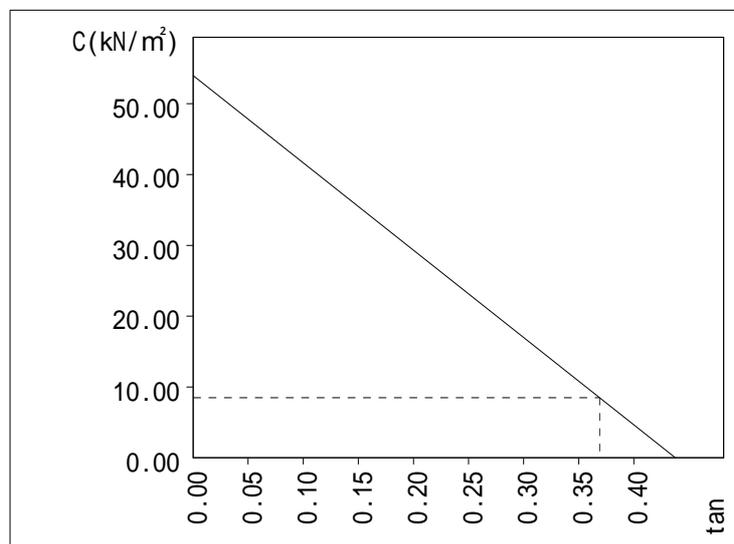
仮定安全率を  $F_s = 1.000$ 、 $C = 8.5$  (kN/m<sup>2</sup>)とした場合、 $\tan$  は次のように求められる。

$$\begin{aligned} \tan &= \frac{F_s \cdot x \ y \ W \sin \ yz - C \ x \ y \ A}{x \ y \ { W \cos(DIP) - U \}} \\ &= \frac{1.000 \times 351665.309 - 8.5 \times 6514.97}{803196.607} \\ &= 0.368886 \end{aligned}$$

ここで、

- F<sub>s</sub> : 仮定安全率
- C : 粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- A : コラムのすべり面面積 (m<sup>2</sup>)
- W : コラムの重量 (kN)
- U : 間隙水圧 (kN)
- DIP : すべり面の最大傾斜角 (°)
- : 内部摩擦角 (°)
- yz : すべり方向の傾斜角 (°)

< C - tan 関係図 >



以上から、次のC、値を採用する。

$$\begin{aligned} C &= 8.5 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ \tan &= 0.368886 \quad ( = 20.2483 \text{ }^\circ \text{)} \end{aligned}$$

## 1.6 必要抑止力計算

計画安全率  $p \cdot F_s = 1.200$  を満足する必要抑止力を計算する。

$$\begin{aligned} P_r &= p \cdot F_s \times T - S \\ &= 1.200 \times 351665.309 - 351665.019 \\ &= 70333.4 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

ここで、

$$S = x \cdot y \{ CA + (W \cos(DIP) - U) \tan \phi \}$$

$$T = x \cdot y W \sin \theta_{yz}$$

$p \cdot F_s$  : 計画安全率

$P_r$  : 必要抑止力 (kN)

$S$  : 地すべり抵抗力 (kN)

$T$  : 地すべり力 (kN)

$C$  : 粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$A$  : コラムのすべり面面積 (m<sup>2</sup>)

$W$  : コラムの重量 (kN)

$U$  : 間隙水圧 (kN)

$DIP$  : すべり面の最大傾斜角 (°)

$\phi$  : 内部摩擦角 (°)

$\theta_{yz}$  : すべり方向の傾斜角 (°)