

# 盛土の維持管理に適した 調査・評価法の提案

造るときは「仕様通り」に造れば良いが、維持管理は「それがいまどうなっているか」を適切に計測し評価する必要がある

# 土層強度検査棒による 簡易な地盤強度測定

施工から長い年月が経過した盛土地盤は、環境によって劣化環境が違い、個別に地盤強度が異なるため、原位置で透水性を簡易に計測することによって適切に評価し、維持管理する。

SS試験や、簡易貫入試験などの「換算N値」計測ではなく、直接地盤内でせん断試験を行うため、粘着力 $c$ ・内部摩擦角 $\phi$ が同時に取得できる。しかも、計測が簡易であるため、多数のデータを得て統計処理も可能。

※土層強度検査棒は(独)土木研究所が開発した機器です。参考資料:土木研究所資料 第4176号 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)(平成22年7月)材料地盤研究グループ 地質チーム



計測状況: 表層部が締め固めてある場合には、プレ削孔が必要

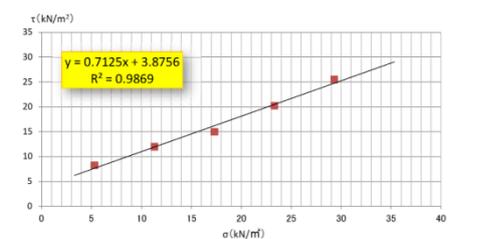
## OHTA-GEO 土層強度検査棒

ベーンコーンせん断試験(経験式法 Ver.2)											
調査件名	仙台市太白区鶴ヶ丘4丁目(大沼宅)			試験年月日	平成23年12月21日			時刻	10:00		
測点番号	No.11	深度	3.00 m	試験者(所属)	大田英輝・斎井俊孝			天候	晴		
経験式による粘着力 $c_{sk}$		3.9kN/m <sup>2</sup>		経験式による内部摩擦角 $\phi_{sk}$		35.5°		重力加速度		9.81(m/s <sup>2</sup> )	
<small>           注1: SS試験深度6.11m、S.5m付近で異常。SS試験で100kg目まで貫行法。換算N値=3.0地盤(粘性土評価として)。WN=125N            載荷時に土表を削り取って100mm程度貫入し下位層に入ったため除外。WN=125N、TN=2.2N・m、砂っぽい地盤である。         </small>											
先端コーンと450mmロッドの合計質量 $m_0$		0.33kg	3.23N	500mmロッド質量 $m_1$		0.32kg	3.19N				
ベーンコーンと羽根高(Hmm)		0.025		回転速度/分		60		地下水位(GL-)		2.3	
測定深度	$T_0$	$n$	$W_u$	$T_n$	$W_{50}$	$T_{50}$	$\sigma$	$\tau$			
(m)	(N·m)	(本)	(N)	(N·m)	(N)	(N·m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )			
3.00 m	0.1	6	0	0.65	22.07	0.55	5.30	8.25	1		
			25	0.90	47.07	0.80	11.30	12.00	2		
			50	1.10	72.07	1.00	17.30	15.00	3		
			75	1.45	97.07	1.35	23.30	20.25	4		
			100	1.80	122.07	1.7	29.30	25.50	5		
			125	#N/A	147.07	#N/A	35.30	#N/A	6		

※ $T_0$ : 先端コーンで $W_{50}$ の質量なしの場合の最大回転トルク(ロッドと孔壁の摩擦)(N·m)、 $n$ : 全ロッド数から最初のロッド(450mm)を除いた本数、 $W_u$ : 質量計の読み(N)、 $T_n$ : ベーンコーンで $W_n$ の質量の場合の最大回転トルク(N·m)、 $W_{50}$ :  $m$  mm、 $T_{50}$ :  $T_n - T_0$ 、 $\sigma$ : 標準重力加速度 9.81m/s<sup>2</sup> (土木研究所資料第4176号 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)より)

経験式法  $\sigma = 2.4 \times 10^{-4} W_{ve}(N/m^2)$ 、 $\tau = 1.5 \times 10^{-4} T_{ve}(N/m^2)$

経験式による粘着力 $c_{sk}$ : 3.9kN/m<sup>2</sup>、傾き(tan $\phi_{sk}$ ): 0.7125、経験式による内部摩擦角 $\phi_{sk}$ : 35.5°



※近似曲線の追加により、「線形近似」を選択し、数式を表示させる

## 解析例

### 土層検査棒ロッドセット



ロッド500mm × 9    ロッド450mm × 1    貫入コーン × 1  
 ハンドル × 1    スパナ × 2    持ち運び袋 × 1

### 計測キットセット

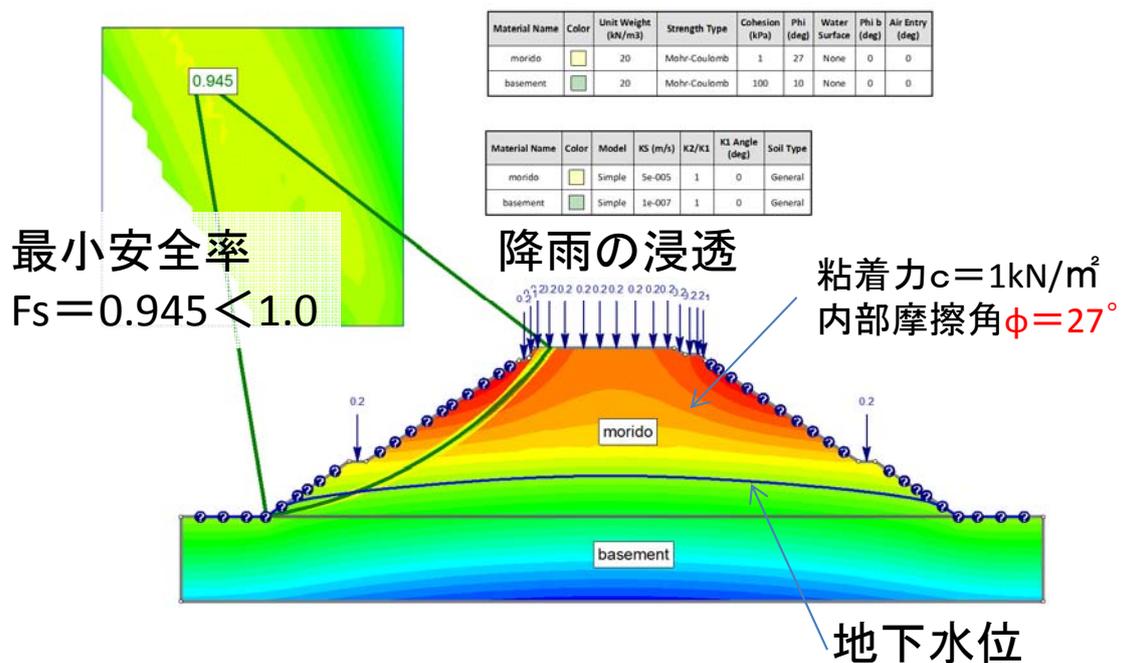
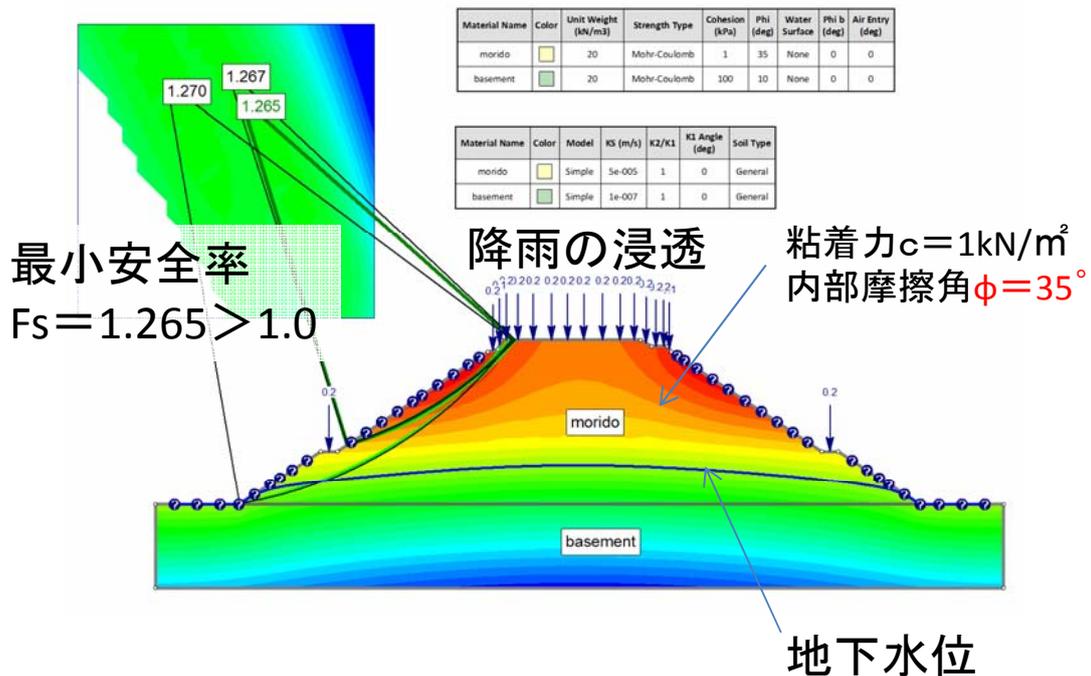


テンションゲージ × 1  
 トルクレンチ × 1  
 スパナヘッド × 1  
 取り付け高ナット × 1  
 羽根付き貫入コーン × 1  
 専用袋 × 1

## 土層強度検査棒の機器

# 地盤強度による安全率の違い

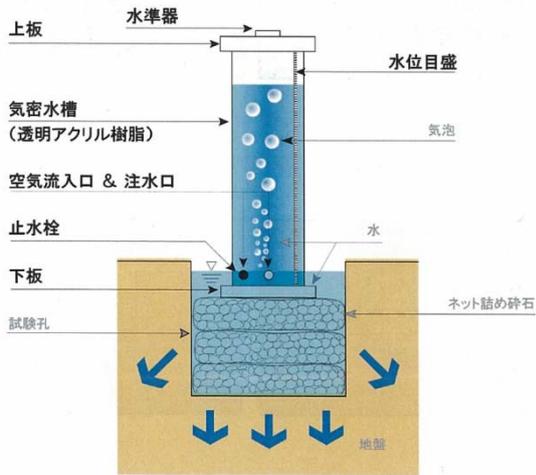
同じ地下水位条件でも、盛土地盤の強度が小さいほど安全率は小さく崩壊しやすい。



# 原位置透水試験

施工から長い年月が経過した盛土地盤は、環境によって個別に透水係数が異なるため、原位置で透水性を簡易に計測することによって適切に評価し、維持管理する。

※地盤工学会基準(JGS 1316-2003)「締め固めた地盤の透水試験方法」に準拠したマリオットとサイフォンの原理を用いた原位置透水試験方法;簡易な構造で取り扱いが容易



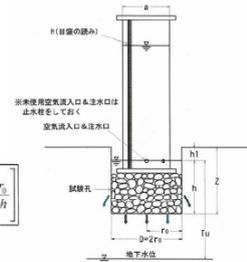
装置の模式図

① 測定開始時間 (時:分:秒)	実測	0:00:00	0:02:01	0:04:00
② (測定管目盛)H1 (cm)	実測	58.0	53.0	48.0
③ 測定終了時間 (時:分:秒)	実測	0:02:01	0:04:00	0:06:04
④ (測定管目盛)H2 (cm)	実測	53.0	48.0	43.0
⑤ 経過時間 (sec)	③-①	121	119	124
⑥ (読み値の差)ΔH (cm)	②-④	5.0	5.0	5.0
⑦ 試験孔中の水深h (cm)	⑦	24.0	24.0	24.0
⑧ 補給水量 (cm <sup>3</sup> )	$\pi \cdot (D/2)^2 \cdot \Delta H$	1418	1418	1418
⑨ 一定流入量Q (cm <sup>3</sup> /sec)	⑧/⑤	11.716	11.913	11.433
⑩ 試験孔の半径R0 (cm)	D/2	15.9	15.9	15.9
⑪ 透水係数k (cm/sec)	*	2.15E-03	2.19E-03	2.10E-03
透水係数の平均値				2.15E-03

⑫ 測定管径(a) (cm)	19.0
掘削深(z) (cm)	30.0
地盤から試験孔水位までの深さ(h1) (cm)	6.0
⑬ 水深(h) (cm)	24.0
削孔径 上位(i) (cm)	36.5
削孔径 中位(o) (cm)	29.5
削孔径 下位(h) (cm)	29.0
⑭ i)~h)の平均 (cm)	31.7

$$k = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[ \ln \left\{ \frac{h}{r_0} + \left( \frac{h}{r_0} \right)^2 + 1 \right\}^{1/2} \right] - \left[ \ln \left\{ \frac{r_0}{h} + 1 \right\}^{1/2} + \frac{r_0}{h} \right]$$

h: 試験孔内の水深  
 Q: 一定流入量  
 r<sub>0</sub>: 試験孔の半径  
 k: 透水係数  
 注) Tu>3hとなる場合の透水係数算定式



解析例



直径30cm、深さ30cmの穴を掘る



碎石を詰める

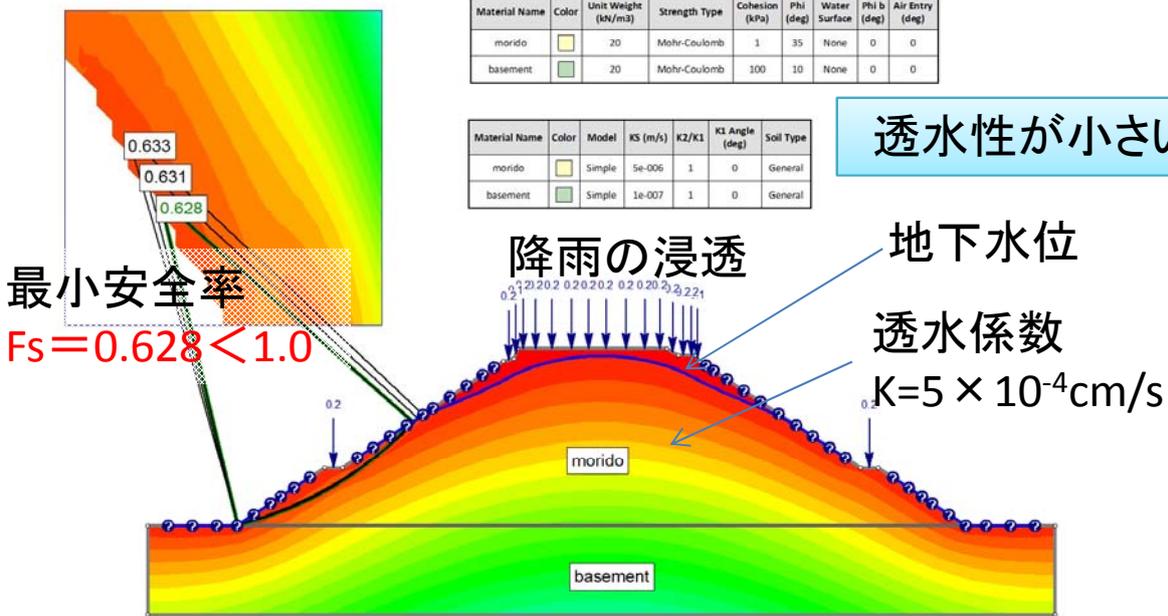


計測器および計測中の状況

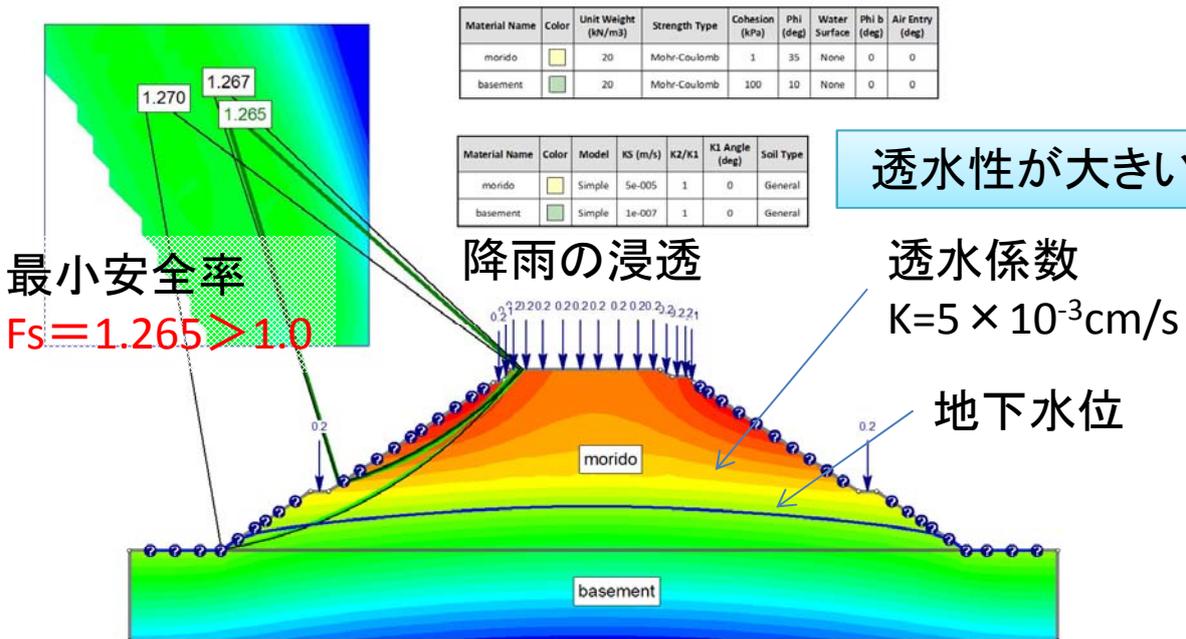
# 透水性の違いによる地下水位の違い

透水性が低い地盤は地下水位が高くなり(排水性能が悪い)、盛土が同じ強度であれば法面の安定性は低くなる

## 同じ強度を持つ盛土地盤の安定性比較



透水性が小さい

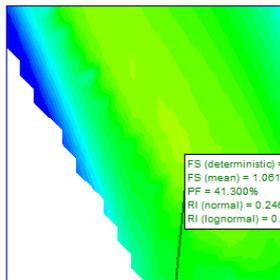


透水性が大きい

# データ取得数が多いと確率的解析が可能

確定論的安全率 $F_s=1.0$ は崩壊確率 $PF=約50\%$   
 $F_s=1.1$ は $PF=約30\%$ 、 $F_s=1.2$ は $PF=約20\%$ 、 $F_s=1.5$ は $PF=約2\%$

※確定論的安全 ( $F_s$ ; Factor of Safety): 唯一の土質定数で計算したときの唯一の安全率解  
 崩壊確率 ( $PF$ ; Probability of Failure): 土質定数をばらつかせて数多く計算し、安全率が1.0を下回る確率

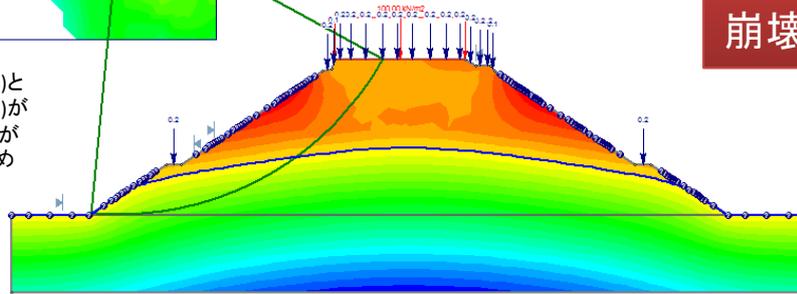


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Phi b (deg)	Air Entry (deg)
Morido	Yellow	20	Mohr-Coulomb	5	31.1	None	0	0
Basement	Green	20	Mohr-Coulomb	100	10	None	0	0

Material Name	Color	Model	K5 (m/s)	K2/K1	K1 Angle (deg)	Soil Type
Morido	Yellow	Simple	2e-005	1	0	General
Basement	Green	Simple	1e-007	1	0	General

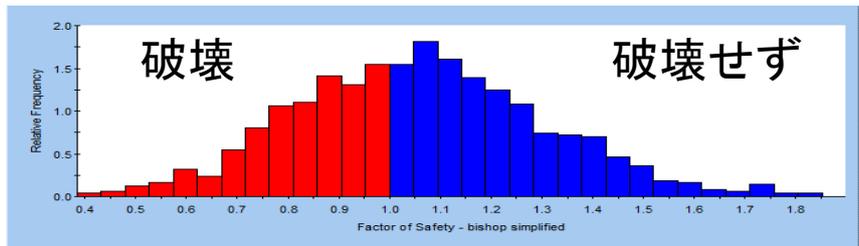
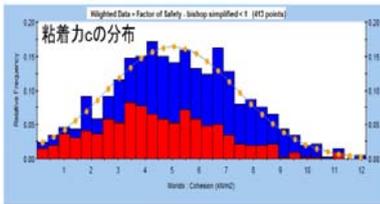
**確率解析結果**  
 安全率 $F_s=1.061$   
 崩壊確率  $PF=41.3\%$

確定論的安全率(1.038)と確率論的安全率(1.061)が異なるのは、粘着力値が負とならない操作のため

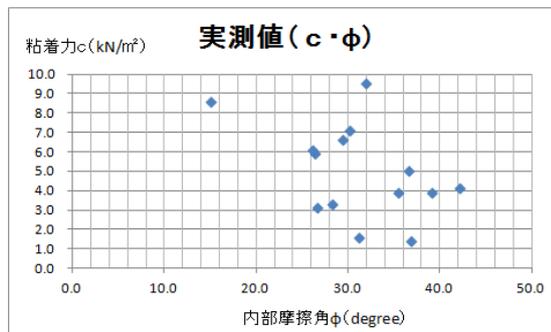
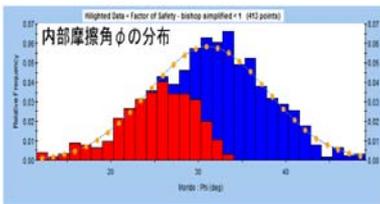


RI: Reliability Index  
 信頼性指数; この値が3以上であれば完全に安定(崩壊確率0%)な斜面

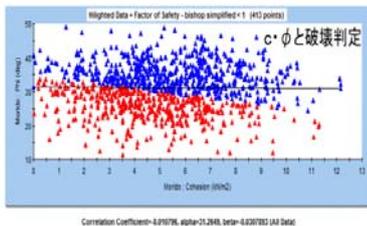
Highlighted Data = Factor of Safety - bishop simplified < 1 (413 points)



SAMPLED: mean=1.061 s.d.=0.2465 min=0.4092 max=1.828 (PF=41.300% RI=0.24553, best fit=Normal distribution)



	$\phi$ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )
実測値	36.9	1.4
	31.2	1.6
	26.6	3.1
	28.3	3.3
	35.5	3.9
	39.1	3.9
	42.2	4.1
	36.6	5.0
	26.4	5.9
	26.2	6.1
	29.4	6.6
	30.2	7.1
	15.0	8.6
	32.0	9.5
	平均値	31.1
標準偏差	6.84	2.43



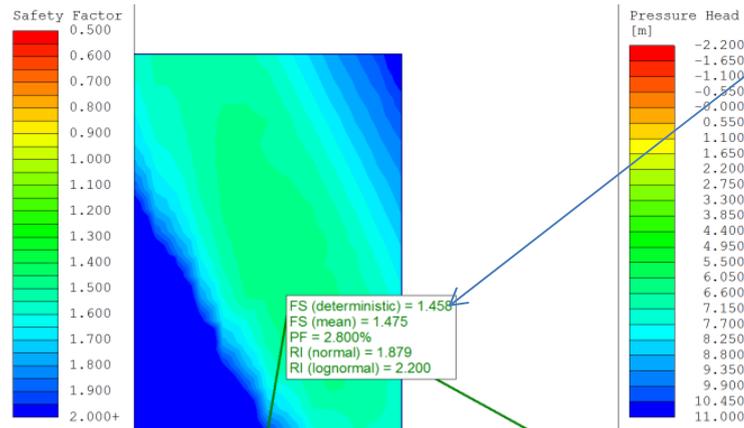
Correlation Coefficient=0.81978, alpha=71.2848, beta=0.020703 (All Data)

土層名	項目	分布形態	実測値の統計量			
			平均値	標準偏差	値の幅	
Morido	粘着力	正規分布	5.0	2.43	-5.0	7.29
Morido	内部摩擦角	正規分布	31.1	6.84	-20.52	20.52

※値の幅としては標準偏差×3とすることにより、実際の値が含まれる確率が99.73%となる。ただし、強度値がゼロを下回る場合には、ゼロを下限とする。

# 対策工設計・評価への利用

安全性(危険性)に問題がある盛土法面が存在した場合、調査結果を用いて対策工設計を可能とする効率的な調査・解析



## 安全性評価

安全性(危険性)評価には次の3項目から安定計算を実施

1. 盛土の強度特性の把握  
→ **土層強度検査棒**  
→ または、三軸圧縮試験
2. 盛土強度のばらつきの把握  
→ **数多くのデータの統計処理**
3. 地下水位  
→ **浸透流解析結果**

## 排水パイプ

排水パイプの設計には以下の点が必要

1. 補強効果を組み込むかどうかの判断
2. 2次元解析で地下水低下効果を評価するための「パイプの等価透水係数」の設定 (マニュアルあり)

## 水位低下効果

水位低下の想定には、つぎの2項目を用いて「浸透流解析」を実施

1. 盛土の透水係数の把握  
→ **原位置透水試験**  
→ または、粒度試験から推定
2. 想定降雨量

## 恒久排水補強パイプ施工状況

