

地盤パラメータの統計的不確実性を考慮した盛土の性能設計に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ株式会社

正会員　○小川　浩一
正会員　門田　浩一
正会員　松田　繁樹

1. はじめに

性能設計概念に基づく地盤パラメータの特性値は、原則として導出値（異常値を除外した粘着力や内部摩擦角の計測値など）の平均値（期待値）であり、統計的な平均値の推定誤差を勘案しなければならないとされている。
1) 統計的な推定誤差を考慮する場合、特性値は計測・試験のデータ数の影響を受ける。データ数を多くすると、統計的推定誤差は小さくなるが、調査のコスト・時間が増大する。しかし、適切な地盤パラメータの特性値を設定するためには、構造物の重要度や地盤条件等に応じた適度なデータ数が必要と考えられる。

本研究では、統計的推定誤差を考慮した地盤パラメータの特性値を用いて、地震時における軟弱地盤上の高盛土安定検討のケーススタディを行い、計測・試験データ数と期待総対策コストに関する一考察を行ったものである。

2. 検討方法

1) 地盤パラメータの特性値：統計的不確実性を考慮した特性値 x_k は、次式より推定する。¹⁾

$$x_k = \bar{x} - k_s s$$

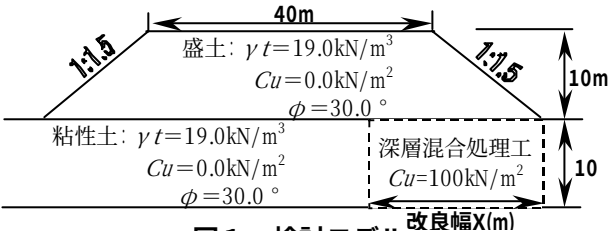
----- (式-1)

ここで、 $\bar{x}$ ：計測・試験結果の平均値、 s ：計測・試験結果の標準偏差、 k_s ：計測・試験数 n に応じた係数である。

信頼水準 1-α	計測・試験数n									
	2	3	4	6	8	10	20	30	100	∞
0.90	2.18	1.09	0.82	0.60	0.50	0.44	0.30	0.24	0.13	0.00
0.95	4.46	1.69	1.18	0.82	0.67	0.58	0.39	0.31	0.17	0.00

k_s の値は、計測・試験数 n と設定した信頼水準 $1-\alpha$ に依存する。「信頼水準 $1-\alpha$ 」を 0.90、0.95 とした場合の k_s の値は表1に示すとおりであり、標準偏差 s は計測・試験結果から決定される。

2) 検討モデル：盛土安定対策のケーススタディを行った検討モデルを図1に示す。今回は、粘性土の粘着力 Cu ($\phi=0$) を特性値（統計的不確実性を考慮）とし、盛土の湿潤密度 γt 及び内部摩擦角 ϕ 、基礎地盤となる粘性土の湿潤密度 γt 及び地盤改良強度を確定値とした。対策工法は深層混合処理工法（改良率 60%）を採用し、円弧すべり計算により、必要改良幅を設定した。粘性土の粘着力（試験結果）のデータ数は 2～20、粘着力の平均値を $Cu=40\text{kN/m}^2$ （限界盛土高さ 10m に相当する強度）、変動係数を 0.1、0.2、0.3、0.4 とした 4 ケースの正規分布モデルを想定した。また、設計水平震度 kh は中規模地震動 $kh=0.15$ とし、地震発生 の再現期間を 50 年と仮定した。



3) 期待総対策コストの計算方法：対策工の期待総コストは、土質調査コストも含めて “ $C_T = C_C + P_F C_F$ ” により算出する。ここに、 C_C ：初期対策コスト（土質調査コスト含む）、 C_F ：被害損失コスト（盛土が破壊した場合に必要な費用で、復旧コストや迂回損失コスト、人身損失コストなど）、 P_F ：破壊確率（特性値の信頼水準に応じて算出：信頼水準 90% の場合は、 $P_F = 5\%$ とする）、 C_T ：期待総対策コスト

4) コスト試算条件：期待総対策コスト

の試算条件を表2に示す。土質調査コストは、ボーリング 1 箇所 にサンプル数 2 本と仮定し、必要データ数に応じてコストを算出した。被害損失コストは、周辺

試算する道路盛土延長区間			100m
初期対策コストCc	調査費	サンプル数n=2/1bor	3～8.5百万円(bor数1～5箇所)
	対策費	深層混合処理工	8千万円～3.5億円(改良幅7～29m)
被害損失コスト	復旧費, 迂回損失, 人身損失など		5千万円, 1億円, 2億円, 3.5億円の4ケース

環境条件及び道路の要求性能によって大きく異なる。今回の検討モデルでは、初期対策コスト（8 千万～3.5 億円

程度）に対して被害損失コスト及び期待総コストの関係を検討するため、被害損失コストは初期対策コストより小さい場合から同程度になる場合を仮定し、5千万、1.0億円、2.0億円、3.5億円の4ケースで試算する。

3. 検討結果

信頼水準 0.90、0.95 の2ケースについて粘性土の粘着力の特性値を設定し、粘着力のデータ数と安全率、改良幅及び期待総対策コスト（供用期間 50 年）の関係を整理した。信頼水準 0.90 の結果を図2～図7に示す。検討の結果、地盤のばらつき（変動係数）により多少の違いはあるが、粘着力のデータ数が6個以上になると、期待総対策コストは収束傾向を示している（信頼水準の 0.95 の場合も同様の結果になる）。

性能設計概念に基づいた土構造物の設計を行う場合、計測・試験のデータ数が少ないと、地盤のばらつきに対する安全性の評価の精度が悪くなり、対策コストが必要以上に高くなってしまう。

本ケースでは、安全性と経済性の両者を向上させた土構造物の性能設計を行うためには、地盤パラメーターの特性を求める計測試験のデータ数が少なくとも6～10個程度必要と考えられる。

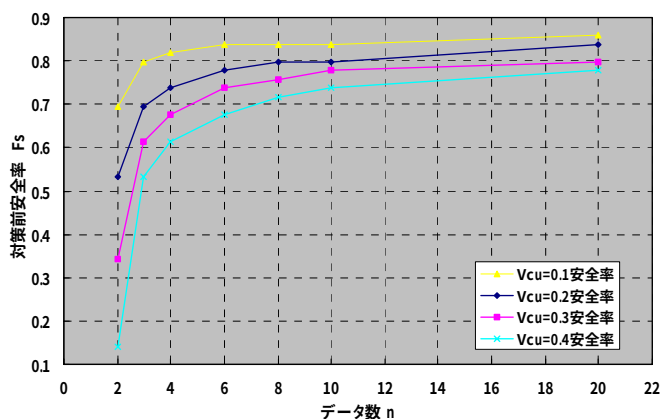


図2 データ数と安全率の関係($1-\alpha=0.9$)

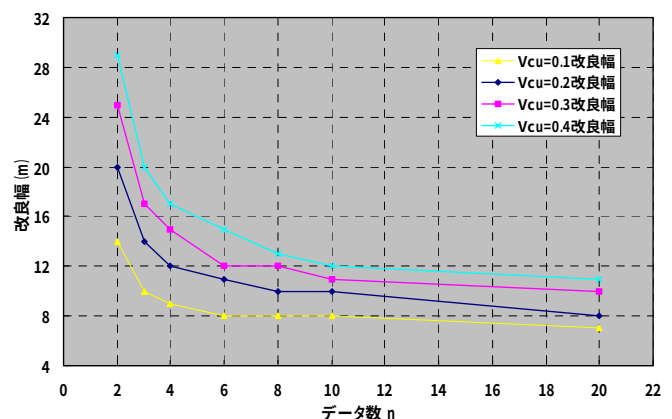


図3 データ数と改良幅の関係($1-\alpha=0.9$)

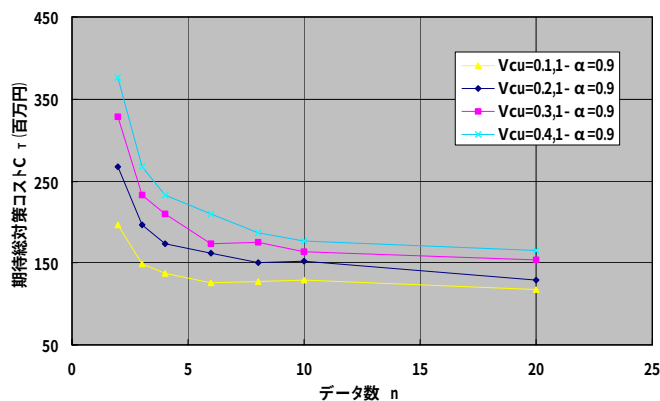


図4 被害損失コスト ($C_p=5000$ 万円)

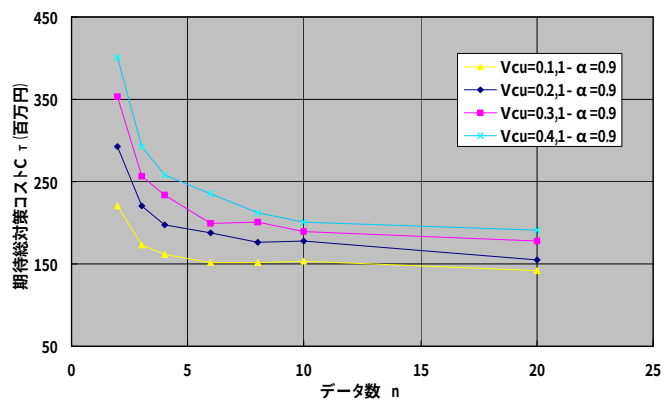


図5 被害損失コスト ($C_p=1.0$ 億円)

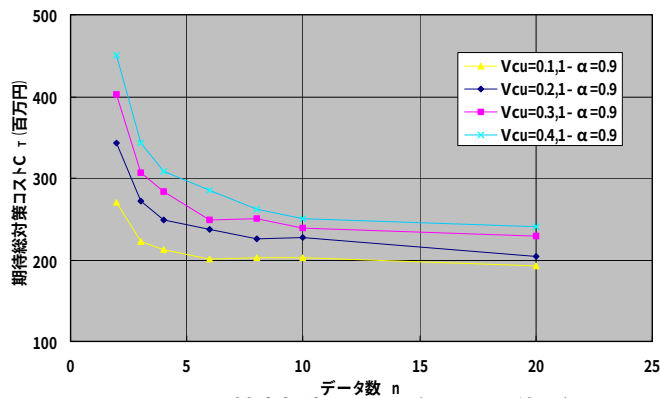


図6 被害損失コスト ($C_p=2.0$ 億円)

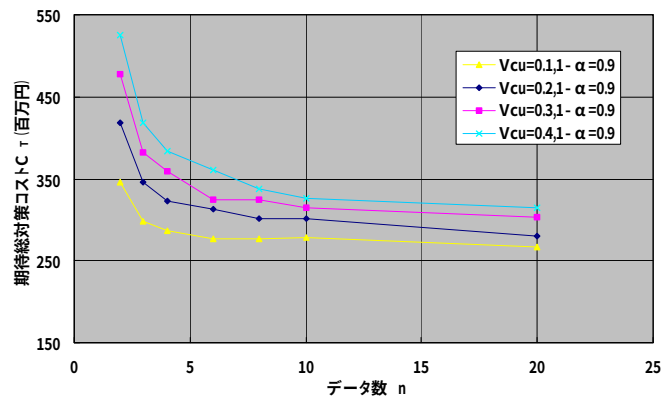


図7 被害損失コスト ($C_p=3.5$ 億円)

参考文献：1) 社団法人 地盤工学会 基準部基礎設計基準化委員会：「性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則」（案），基礎設計基準基準化委員会 報告書，2004.3