

軟弱地盤における盛土の信頼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 ○松田繁樹

正会員 門田浩一

正会員 小川浩一

1. まえがき

土構造物の安定対策設計法としては、安全率法と信頼性設計法の2つの設計手法がある。安全率法は「道路土工 軟弱地盤対策工指針」等に表示されている基準化された設計法である。一方、信頼性設計法は、不確実性・リスクに対する安全性を確率や統計的意思決定論を用いて定量的に評価し、最適設計案を決定する手法である。一般的な盛土構造物を対象とする場合、信頼設計法で求まる最適コスト案は、安全率法の目標安全率 $F_s = 1.2 \sim 1.3$ （地盤強度は試験の平均値：以下、平均強度と記す）を満足する対策案と概ね同じになる。¹⁾しかし、地盤強度にバラツキがある軟弱地盤上で計画される高盛土などの特殊な地盤条件で計画される場合、平均強度を用いた安全率法による設計だけでは、安全性と経済性のトレードオフの解決に限界があると考えられる。

本論では、信頼性設計法と安全率法の2つの設計法を用いて、地震時における軟弱地盤上の高盛土安定対策のケーススタディを行い、両者の検討結果を比較し、道路盛土構造物の安全性と経済性（ライフサイクルコスト）のトレードオフに関する一考察を行ったものである。

2. 検討方法

1) 信頼性解析方法：道路盛土安定対策（地震時）における

信頼性設計法の考え方の一例を（式-1）、図1に示す。

$$C_T = C_C + P_F C_F \quad (\text{式-1})$$

ここに、 C_C ：初期対策コスト、 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、 C_T ：期待総コスト

期待総コスト C_T の最小化を評価基準にするならば、 C_T が最小になる対策案（図1の場合はC案）が最適となる。 P_F は盛土が地震時に破壊する確率である。今回は、粘性土の粘着力 C ($\phi = 0$) を確率変数とした円弧すべり計算より算定し、安全率 F_s が $F_s < 1.0$ を破壊とする。また、盛土の湿潤密度 γ_t 及び内部摩擦角 ϕ 、粘土の湿潤密度 γ_t を確定値とする。

2) 検討モデル：盛土安定対策のケーススタディを行った基本検討モデルを図2に示す。対策工法は深層混合処理工法（改良率60%）とし、改良幅を10～20mまで変化させて、期待総コストが最小になる改良幅を最適対策案とした。盛土高さは10mとし、確率変数となる粘性土の粘着力は平均強度 $C = 40 \text{ kN/m}^2$ （限界盛土高さ10mに相当する強度）、変動係数0.1、0.2、0.3、0.4の4ケースの正規分布モデルとした。また、設計水平震度 k_h は中規模地震動 $k_h = 0.15$ とし、地震発生時の再現期間を50年と仮定した。

3) コスト試算条件：期待総コストの試算

条件を表1に示す。被害損失コストは、地

震時における盛土の被害状況、周辺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、初期対策コストが8千万～1億6千万円程度になる。そこで、初期対策コスト C_C 、被害損失コスト C_F 及び期待総コスト C_T の関係も検討するため、 $C_F < C_C$ から $C_F = 2C_C$ になる場合を仮定し、5千万、1億円、2億円の3ケースで試算する。

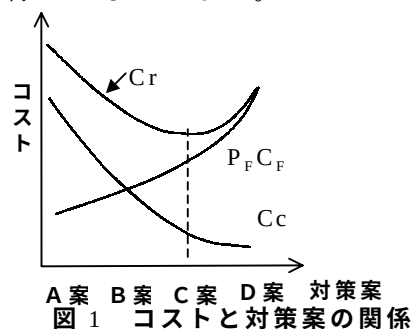


図1 コストと対策案の関係

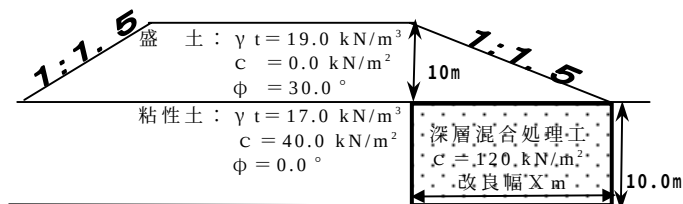


図2 基本検討モデル

表1 コスト試算条件

試算する道路盛土延長区間		100m (道路盛土縦断方向)
初期対策コスト C_C	深層混合処理工	8千万円～1億6千万円 (改良幅10～20m)
被害損失コスト C_F	復旧費、迂回損失、人身損失など	5千万円、1億円、2億円の3ケース

キーワード 信頼性解析, 安定解析, リスクマネジメント, ライフサイクルコスト

連絡先 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 新宿第一生命ビル 6F

パシフィックコンサルタンツ（株）TEL 03-3344-1087

3. 検討結果

検討モデルを用いた信頼性解析結果を図3から図6にまとめて示す。図3には、深層混合処理工の改良幅と地震時における盛土の破壊確率（1年間当たり）の関係を示し、図4～図6には被害損失コスト5000万～2億円における期待総コスト（供用期間50年）と改良幅の関係を示した。また、安全率法の検討結果を表2に示す。表2より、地震時の安全率 F_s （円弧すべり計算）が $F_s > 1.0$ になる必要改良幅 X は、粘性土の粘着力の平均強度を用いた場合で $X = 11.5\text{m}$ となり、（平均値－標準偏差）の強度を用いた場合で $X = 13 \sim 16\text{m}$ （変動係数 $0.1 \sim 0.4$ ）となった。

表2 安全率法による検討結果（深層混合処理工の必要改良幅の算定）

粘性土の粘着力 C_v		必要改良幅 X
平均値 m	40kN/m ²	11.5m
平均値 m －標準偏差 σ	変動係数 $V_{cu}=0.1$	36kN/m ²
	変動係数 $V_{cu}=0.2$	32kN/m ²
	変動係数 $V_{cu}=0.3$	28kN/m ²
	変動係数 $V_{cu}=0.4$	24kN/m ²

信頼性設計法と安全率法の比較検討の結果、被害損失コストが初期対策コストより小さいか、同程度の場合は、粘性土の粘着力のバラツキ（変動係数の大きさ）に関係なく、安全率法の平均強度で求めた必要改良幅（ $X = 11 \sim 12\text{m}$ ）が、概ね信頼性解析より求まる最小コストの改良幅となった。被害損失コストが初期対策コストより大きい場合は、変動係数が大きくなると伴に信頼性解析より求まる最小コストの改良幅も $13 \sim 18\text{m}$ と大きくなった。ただし、今回の検討ケースでは、安全率法の（平均値－標準偏差）の強度で求めた必要改良幅が $13 \sim 16\text{m}$ になることから、被害損失コストや地盤強度のバラツキが大きい場合でも、設計強度を平均強度から標準偏差程度割り引いて安定対策設計（安全率法）を行えば、概ね最適コスト案を選定できるものと考えられる。

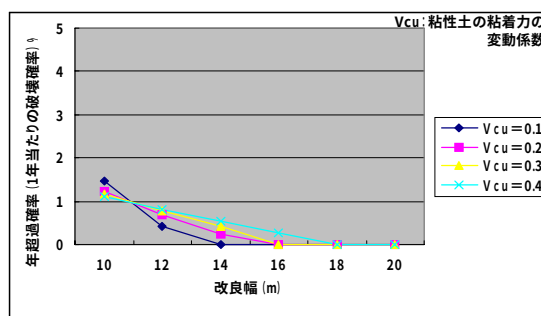


図3 地震時の盛土の破壊確率と改良幅

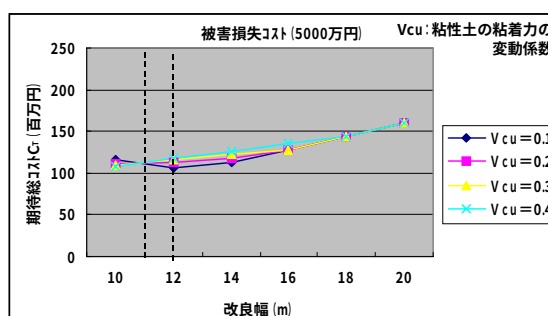


図4 改良幅と期待コストの関係

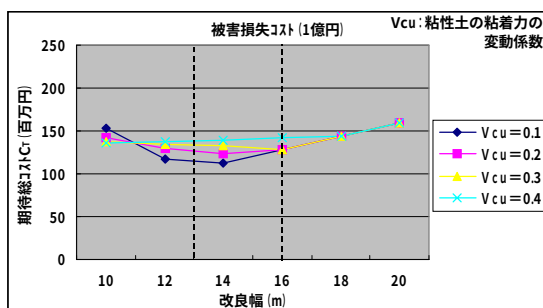


図5 改良幅と期待コストの関係

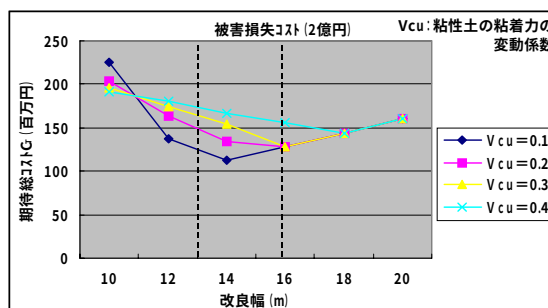


図6 改良幅と期待コストの関係

4. おわりに

信頼性解析は、破壊確率や期待総コストという尺度を導入して、安全性と経済性の関係を定量的に評価できるため、土構造物の性能設計の手段として有効と考えられる。また、安全率法で設計する際の最適設計条件の設定（最適コスト案を設計する地盤定数の設定等）に際しても有効と考えられる。今後は、施工時の盛土の安定問題や近接構造物への影響問題においても信頼性解析を導入し、安全性と経済性のトレードオフの解決に努めていきたい。

参考文献

- 1) 「地盤工学-信頼性設計の理念と実際-」 松尾 稔 技報堂出版 1984