

土層構成の不確実性を考慮した土留め工の信頼性解析

岐阜大学 学生会員 ○草野 友宏
 岐阜大学 正会員 大竹 雄
 岐阜大学 正会員 本城 勇介

1. 研究目的と方法

本研究は、総延長 640m に及ぶ線状に設置される土留め工を例題として、土層厚の推定誤差の定量化方法の開発を主眼に、線状地盤構造物の信頼性解析方法を提案するものである。

提案する設計スキームの考え方を図 1 に示す。設計の手順は、1)地盤解析、2)不確実性解析、3)信頼性解析の 3 つの部分に分けて行う。まず、地盤解析により応答曲面を導出し、不確実性解析により各不確実性の定量化を行う。最後に、応答曲面と不確実性情報に基づいてモンテカルロシミュレーション(MCS)により信頼性評価を行うものである。

2. 対象構造物の概要

対象施設は、半地下の高速道路を建設するために行われた土留め工であり、周辺には民家が近接している。図 2 に対象地盤を示しており、表層部が盛土(B 層)で、その下に砂礫(Dg 層)が堆積し、その下にはシルト分を多く含む砂質シルト(Dc 層)の 3 層からなっている。地盤調査は、ボーリング調査を 30~130m 間隔で計 8 ヶ所実施されている。

本研究の照査項目は、周辺環境に与える影響の指標となる土留め壁の最大変位量(D)、土留め壁の応力状態を制限するための最大曲げモーメント(M)の 2 項目とする。

3. 地盤解析

本研究は、土留め工の設計手法に弾塑性法¹⁾を用いる。代表断面には、土留め壁の H 鋼および掘削深度が平均的な Br.5 地点に設定する。この断面について、2 つの照査項目における応答曲面(RS)を回帰分析に基づいて導出する。回帰分析には、(a)対象地盤における約 20m 間隔の各土層厚(53 ケース)、(b)各土層の N 値に標準偏差程度のばらつきを与えたもの(10 ケース)、(c)地盤強度が Dc 層に比べ低い B 層や Dg 層が対象地盤より厚くなることを想定し、それらの土層厚を厚くした解析結果(16 ケース)を考慮した。表 1 には、回帰分析に用いる解析結果の各土層厚および各 N 値の検討範囲をそれぞれ示す。説明変数には、各土層厚(H_B, H_{Dg}, H_{Dc})と各土層の N 値(N_B, N_{Dg}, N_{Dc})を用いて、それぞれ回帰分析を行った。これにより採用した近似式を次に示し、決定係数は、最大変位量(D)が 0.99、最大曲げモーメント

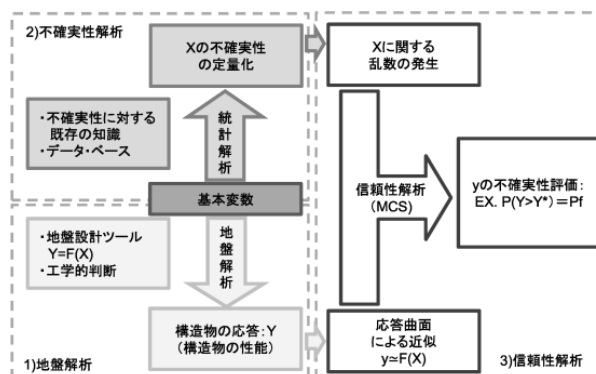


図 1 信頼性設計スキーム

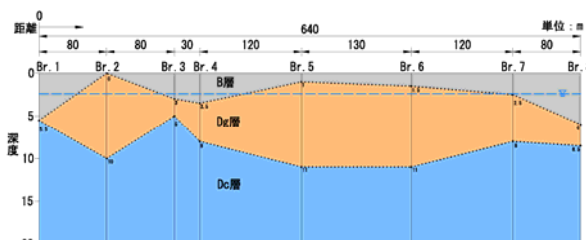


図 2 対象地盤

表 1 土層厚および N 値の検討範囲

	検討範囲			平均
$H_B(m)$	0	—	6.0	3.0
$H_{Dg}(m)$	0	—	15.0	5.5
N_B	10.0	—	20.0	15.0
N_{Dg}	14.5	—	23.5	19.0
N_{Dc}	9.0	—	15.0	12.0

(M)が 0.98 で、ほぼ完全に回帰できる。

$$D = 130.4 + 8.9H_B - 1.3H_B^2 - 10.3H_{Dg} - 1.0H_{Dg}^2 - 2.8H_{Dc} - 0.5N_B - 1.2N_{Dg} - 3.6N_{Dc} \quad (1)$$

$$M = 607.8 + 21.2H_B + 0.7H_{Dg} + 2.3H_{Dg}^2 - 74.0H_{Dc} + 5.5H_{Dc}^2 - 2.2N_B - 7.3N_{Dg} - 11.6N_{Dc} \quad (2)$$

4. 不確実性解析

4.1 土層厚の不確実性

各土層厚を、延長方向に連続的な確率場によりモデル化することを考える。確率場は、各土層厚の平均 μ と分散 σ^2 、そして延長方向の相関の高さを表す自己相関距離 θ_H により記述される。これらは、調査地点の各土層厚から推定し、その結果を表 2 に示す。ここでは、各土層の μ 、 σ^2 、 θ_H を既知とし、各土層の σ^2 、 θ_H については一定と仮定する。

キーワード 土留め工、土層厚、信頼性解析、応答曲面、Kriging、モンテカルロシミュレーション
 連絡先 岐阜大学 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)

表2 各土層の μ , σ , θ_H

層	μ (m)	σ (m)	θ_H (m)
B	3.0	2.10	100
Dg	5.5	3.94	100

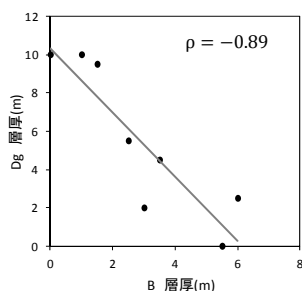


図3 B層とDg層の相関関係

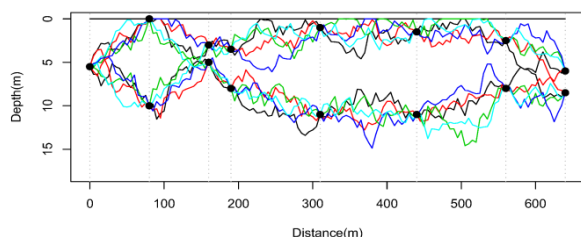


図4 試行例

対象地盤のモデル化においては、より対象地盤に近づけるけるため、二つの制約条件を加える。一つは、図3に示すように、B層厚とDg層厚に負の相関関係が見られ、もう一つは、地盤調査が行われた地点の土層厚を確定値として取り扱うため、調査地点ではその地点の土層厚となる必要がある。そのため、前者については、多次元確率変数の生成により2つの確率場の相関を考慮し、後者については、条件付きシミュレーション法を用いて調査地点の考慮を行う方法を考えた。この方法により、対象地盤の条件を用いて土層厚の生成を行った結果を図4に示す。生成された土層厚は、2層厚が負の相関をしており、さらに調査地点では、その地点の土層厚になっていることが確認できる。

4.2 その他の不確実性

N値の空間的バラツキと統計的推定誤差については、本城・大竹・加藤(2012)²⁾を用いて算定した。ここでは紙面の都合上、結果のみを表3に示す。設計モデル化誤差は、統計データの整理を行い定量化し、その結果についても表3に併せて示す。

5. 信頼性解析

現行設計で決定した断面寸法で信頼性設計(RBD)を行った。土留め工を、延長方向に5m単位で分割し評価単位とする。その評価単位毎に、導出した応答曲面と不確実性情報に基づいてMCSを実施し、対象区間全体の信頼性評価を連続的に実施する。また、各不確実性要因が対象構造物の信頼性に与える寄与度の分析を行った。図5には、最大変位量の超過確率 P_f を示す。これから、Br.5地点からBr.6地点の区間が大きく、最大で10%程度となっており、調査地点では、やや小さ

表3 各不確実性解析結果

		μ	σ	COV
空間的バラツキ	N_B	15.0	6.43	0.43
	N_{Dg}	19.0	1.83	0.10
	N_{De}	12.0	1.13	0.09
統計的推定誤差	N_B	15.0	7.69	0.51
	N_{Dg}	19.0	2.20	0.12
	N_{De}	12.0	1.35	0.11
モデル化誤差	変位	1.08	0.67	0.62
	曲げ	0.73	0.44	0.60

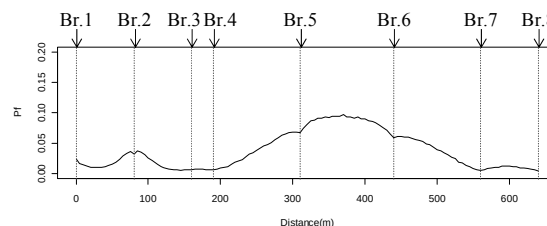
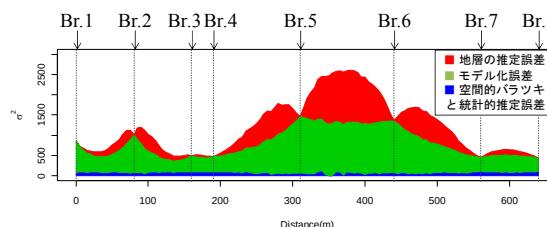
図5 最大変位量の超過確率 P_f 

図6 最大変位量の寄与率

い傾向にある。図6には、最大変位量の寄与率を示しており、青色がN値の空間的バラツキと統計的推定誤差、緑色が設計モデル化誤差、赤色が土層厚の推定誤差を表している。これから、調査地点間で土層厚の推定誤差が大きく、地盤調査配置の最適化に定量的な情報を提供できると考えられる。

6. 結論

- (1) 土留め工の信頼性解析において考慮すべき不確実性を分類・整理した。その上で、対象構造物を例にその具体的な取り扱い方法を整理した。
- (2) 不確実性解析では、本城・大竹・加藤(2012)²⁾の地盤パラメータの簡易評価理論を土層厚の推定誤差問題へ展開した。これにより、複数の土層厚を対象として、各土層厚における空間的バラツキのモデル化に加え、土層間の相関関係と調査地点の考慮する方法を示した。
- (3) 寄与度分析から、場所によっては、ボーリング調査を実施し、土層構成の把握をすることの効果も大きいことがわかり、本提案の信頼性解析とその寄与度の定量化が合理的な設計へ有効な資料を提供することを示した。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路土工 仮設構造物工指針，1999。
- 2) 本城勇介，大竹雄，加藤栄和：地盤パラメータ局所平均の空間的ばらつきと統計的推定誤差の簡易評価理論，Vol.68，No.1，2012