

地質統計手法に基づく複数の材料が混合されたため池堤体内部の強度分布評価 Evaluation of spatial distribution of strength inside earth-fills with use of geostatistics

○今出 和成*, 西村 伸一*, 柴田 俊文*, 珠玖 隆行*

○Kazunari Imaide, Shin-ichi Nishimura, Toshifumi Shibata, Takayuki Shuku

1. はじめに 重要な水利構造物であるため池堤体の維持管理のため、構造物内部の強度分布を適切に評価し、必要な対策を行うことが求められる。構造物内部の調査手法としてコーン貫入試験 (CPT) を用いることで精度が高く連続的なデータを取得できるが、統計的に均質な地盤を仮定した従来の地質統計手法では、平均的な値から大きく外れたデータは解析に活用できていない。そこで本研究では、データを3つのグループに分類してそれぞれ統計モデル化し、空間補間のために地質統計手法である条件付きシミュレーション (ここでは、解析コードとして SGSIM¹⁾ を使用する) を実施し、再統合して堤体内部強度の空間分布を評価した。

2. 現地調査 研究対象とした山池である A 池堤体の横断面図を Fig.1 に示す。低強度部は Bs, Ac 層で、天端から深度 9m 程度である。また、A 池堤体の天端において、2m 間隔で 15 地点と高密度に実施した CPT の平面図を Fig.2 に示す。

3. 地盤定数の統計モデル化 本研究では、CPT から得られる N 値である換算 N 値 N_c ²⁾ に対して、Fig.3 に示すように CPT 結果を N_{cmj} (平均), N_{co1} (高強度) および N_{co2} (低強度) に分類し、赤池の情報量基準 AIC³⁾ を最小化 (MAIC) することで、最適な平均値関数 μ , 標準偏差 σ , 相関距離 l_x, l_z , 共分散行列 C を選定し、統計モデルを決定した。AIC を次式に示す。

$$AIC = -2 \cdot \max \{ \ln fs(\mathbf{s}) \} + 2L \tag{1}$$

$$= M \ln 2\pi + \min \{ \ln |C| + (\mathbf{s} - \mathbf{m})' C^{-1} (\mathbf{s} - \mathbf{m}) \} + 2L$$

ここで、 M は測定箇所数、 L は平均値関数の回帰係数の数と共分散行列のパラメータの数の和、 \mathbf{s} は測定値ベクトル、 \mathbf{m} は平均値ベクトルである。 C は共分散行列で、 l_x, l_y, σ をパラメータとする。また、本研究では MAIC で適切な相関距離が求められなかった場合、一方向ごとにバリオグラムを調べ、相関距離とナゲット N_e を決定した。最終的に得られた $\log N_{cmj}$, $\log N_{co1}$ および $\log N_{co2}$ の統計モデルを Table1 に示す。

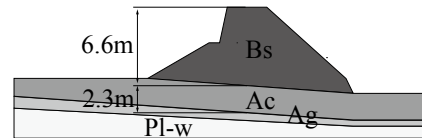


Fig.1 堤体の横断面図
Cross section of earth-fill

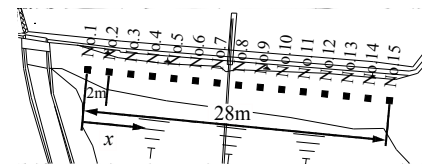


Fig.2 試験地点 (平面図)
Testing sites

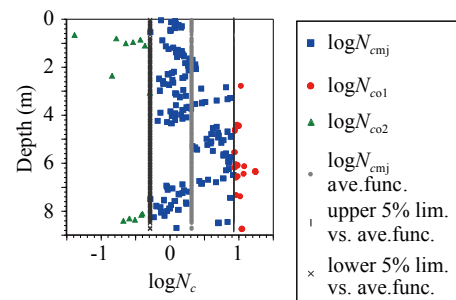


Fig.3 データの分類 (x=2m 地点)
Data classification at x=2m

Table1 分類毎の統計モデル
Statistical models of each group

平均値関数 (1: $\log N_{cmj}$, 2: $\log N_{co1}$, 3: $\log N_{co2}$)	
1:	$\mu = 0.396 - 0.019x - 0.032z$ $+ 0.001x^2 + 0.005z^2 - 0.001xz$
2:	$\mu = 0.935 + 0.015x + 0.007z$ $- 0.0005x^2 - 0.001z^2 + 0.001xz$
3:	$\mu = -0.672$
共分散関数 (1: $\log N_{cmj}$, 2: $\log N_{co1}$, 3: $\log N_{co2}$)	
1:	$C = 0.292^2 - 0.37 \exp(- x-x_j /9.94 - z-z_j /0.67) (i \neq j)$ $C = 0.292^2 (i = j)$
2:	$C = 0.077^2 \exp(- x-x_j ^2/7.33^2 - z-z_j ^2/0.01^2)$
3:	$C = 0.53^2 \exp(- x-x_j ^2/34.27^2 - z-z_j ^2/0.01^2)$

*岡山大学大学院環境生命科学研究所 Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University
キーワード: コーン貫入試験, ため池, 空間分布

4. 条件付きシミュレーション結果の再統合

条件付シミュレーションは、実測データの存在する地点で、シミュレーション結果が実測値と一致するように実測データを空間補間する手法である。ここでは、この手法を $\log N_{cmj}$, $\log N_{co1}$ および $\log N_{co2}$ に適用した。 $x=3m$ 地点におけるシミュレーション結果を 3 グループとも併せて Fig.4 に示す。ここで、同一深度において異なるグループの換算 N 値 N_c の差異を $D_1 = N_{co1} - N_{cmj}$, $D_2 = N_{cmj} - N_{co2}$ と定義する。また、A 池で取得した各グループに含まれるデータの分類の個数と割合を Table2 に示す。

3 つのグループの SGSIM 結果から、実測データの存在する地点では実測データを採用し、実測データの存在しない地点では、Table2 に示す割合で高強度・低強度データが出現すると仮定して、 D_1, D_2 の小さい地点から、解析領域全体で Table2 の出現確率を満足するように外れ値を採用した。

Fig.5, Fig.6 に N_{cmj} (平均) のデータのみを用いた場合と、SGSIM 結果を再統合した場合で $N_c > 8.5$ となる確率の空間分布を示す。Fig.5 では高強度となる確率が 0.3 以上の領域は少ない。一方、Fig.6 では実測データを中心に 0.3 以上の確率で外れ値が存在する地点が多くあり、 x 軸方向に最大 6m 程度、深度方向に最大 1m 程度の広がりを確認した。

5. まとめ ① すべての CPT 結果を用いた場合、データのばらつきが大きいため空間構造を推定できないが、平均・高強度・低強度の 3 グループに分類することで、平均グループのデータの空間構造を適切に推定できることを確認した。

② 複数の空間補間シミュレーション結果を再統合することで、従来手法では考慮できなかったレキ当たり等により発生する高強度部位の存在確率分布を適切に推定できることを確認した。

③ 今後の研究では、提案手法により得られる地盤定数の空間分布を考慮して、液状化確率評価を実施し、外れ値を考慮することによる影響を確認する予定である。

参考文献 1) Deutsch, C. V. and Journel, A. G.: *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*, Chapter 5, 1992, Oxford University Press. 2) 鈴木ら：コーン貫入試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係、日本建築学会構造系論文集，第 566 号，pp.73-80，2003. 3) Akaike, H.: A new look at the statistical model identification, *IEEE Trans. on Automatic Control*, AC-19, No.6, pp.716-723, 1974.

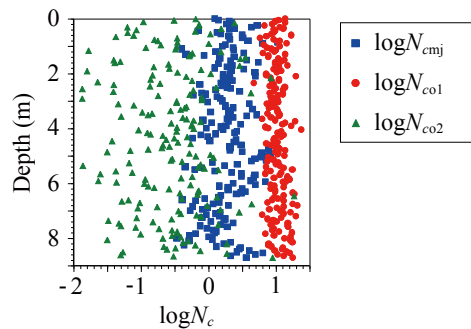


Fig.4 SGSIM 結果 ($x=3m$)
Distributions of SGSIM results
at $x=3m$

Table2 各グループに含まれるデータの個数と割合
Number of data and appearance rates of each group

	N_{cmj}	N_{co1}	N_{co2}
データ個数	1783	101	71
割合(%)	91.2%	5.2%	3.6%

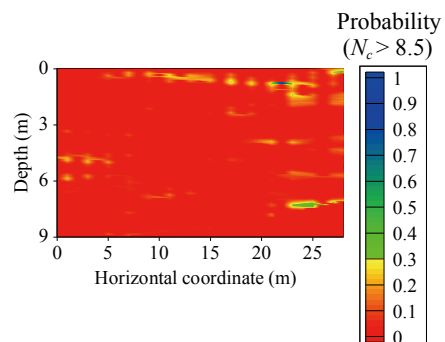


Fig.5 $N_c > 8.5$ となる確率分布
(N_{cmj} のデータのみ)
Probability distribution of $N_c > 8.5$
based on N_{cmj} data

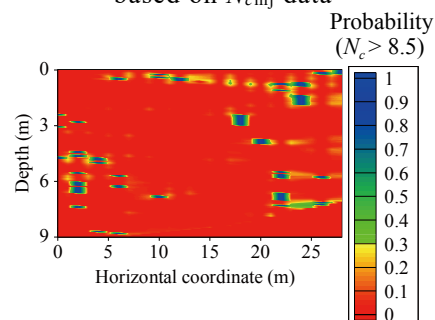


Fig.6 $N_c > 8.5$ となる確率分布
($N_{cmj}, N_{co1}, N_{co2}$ のデータ)
Probability distribution of $N_c > 8.5$
based on $N_{cmj}, N_{co1}, N_{co2}$ data