

CPT によるため池堤体内部 N 値の空間分布推定

Estimation of spatial distribution of N-value inside earth-fills with use of CPT

○今出 和成*, 西村 伸一*, 珠玖 隆行*, 柴田 俊文*, 村上 章**, 藤澤 和謙**

○Kazunari Imaide, Shin-ichi Nishimura, Takayuki Shuku, Toshifumi Shibata, Akira Murakami, Kazunori Fujisawa

1. はじめに 南海トラフ地震に備えて多くの老朽化ため池から、破堤といった甚大な被害となる可能性が高い、危険ため池を抽出することが重要な課題である。現在の一般的な調査手法であるボーリング調査では、時間やコストの問題から調査地点数が限られ、不均質な堤体内部の脆弱部を把握することが難しいことも課題である。このような背景から、本研究では、低コストで迅速に実施可能である電気式コーン貫入試験（以下 CPT）結果から地盤定数の統計モデルを求め、空間補間を実施した。さらに補間値の妥当性を検証し、堤体内弱部の把握に提案手法が有効であることを確認した。

2. 現地調査の概要 本研究の対象である A 池の平面図を Fig.1に示す。天端において 2m 間隔で 15 地点と高密度に CPT を実施している。また、Fig.2 は堤体の横断面図を示しており、天端から深度 9m 程度まで、Bs 層、Ac 層といった低強度部が存在している。

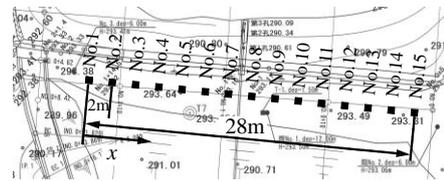


Fig.1 試験地点（平面図）
Testing sites

3. 地盤定数の統計モデル化 地盤強度は一般的に N 値を用いて表されるため、本研究では Robertson¹⁾や鈴木ら²⁾が提案した式(1)を用いて、CPT から得られる換算 N 値 N_c を求めた。

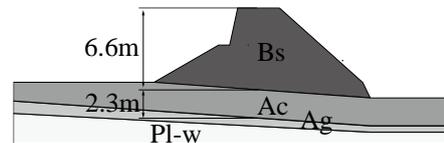


Fig.2 堤体の横断面図
Cross section of the earth-fill

$$N_c = 0.341I_c^{1.94}(q_t - 0.2)^{(1.34-0.0927I_c)} \quad (q_t > 0.2\text{MPa}) \quad (1)$$

$$N_c = 0 \quad (q_t \leq 0.2\text{MPa})$$

ここに、 I_c : 土質分類指数 (Robertson)
本研究では換算 N 値 N_c に対して、赤池の情報量基準 AIC³⁾を最小化すること (MAIC) により、最適な $\log N_c$ の平均値関数 μ , 標準偏差 σ , 相関距離 l_x, l_z , 共分散関数 C を選定し、統計モデルを決定した。ただし、AIC は式(2)で表される。

Table1 $\log N_c$ の統計モデル
Statistical model of $\log N_c$

平均値関数
$\mu = 0.402 - 0.024x - 0.0387z$ $+ 0.001x^2 + 0.006z^2 - 0.001xz$
共分散関数
$C = 0.365\sigma^2 \exp(- x_i - x_j /6.16 - z_i - z_j /0.66)$

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

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

ここで、 M は測定個所数、 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} は平均値ベクトルを表している。 \mathbf{C} は共分散行列を示しており、 l_x, l_z, σ がパラメータである。また、本研究では MAIC で適切な相関距離が求まらない場合、一方向ごとにバリオグラムを調べて相関距離とナゲットパラメータ N_e を決定している。得られた $\log N_c$ の統計モデルを Table1 に示す。

*岡山大学大学院環境生命科学研究科 Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

**京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

キーワード：コーン貫入試験，ため池，空間分布

4. 空間補間結果の検証 実測値から換算した N_c について、モデル化で得られた空間構造を考慮して 2000 回の条件付きシミュレーション⁴⁾を行い、 N_c の空間分布を求める。補間値の妥当性検証として、Fig.3 では $x=10\text{m}$ 地点で補間値と実測値を比較しており、さらに Fig.4 では、 $x=10\text{m}$ 地点における深度毎の補間値の平均値 μ と標準偏差 σ を用いて、 $(\log N_c - \mu) / \sigma$ により誤差を標準化してヒストグラムを調べ、標準正規分布と比較した。Fig.4 から、誤差の小さい補間値が多く得られていることが確認できたため、補間手法は適切であると判断できる。

5. N 値空間分布の算出 Fig.5 にいくつかのため池堤体で、近傍地点の N 値と CPT から得られる換算 N 値 N_c の比較結果を示しており、N 値と N_c の相関関係を示す式(3)が得られた。

$$N = (1.1076N_c + 1.7299)(1 + 0.271\varepsilon_r) \quad (3)$$

ここで、 ε_r は標準正規乱数であり、 N_c の増加に伴い換算誤差が大きくなることを考慮している。また、Fig.5 より CPT から推定される N_c は標準貫入試験から得られる N 値に比べ、小さい値となる傾向が分かる。得られた N_c の空間分布に式(3)を適用することで、CPT 結果に基づく詳細な堤体内部 N 値の空間分布が得られる。Fig. 6 は N 値が 3 以下となる確率の期待値の空間分布を示しており、堤体内部の脆弱部を詳細に把握することができた。

6. まとめ 高密度に実施した CPT 結果を用いて MAIC によって統計モデルを推定し、実測値とモデルに基づく補間値の比較から補間結果の妥当性を確認できた。よって、提案手法を用いて詳細に堤体内弱部が推定でき、ため池の危険性評価に活用できると考えられる。

謝辞: 本研究の調査遂行に当たり、広島県農林水産局農業基盤課の方々には格段のご配慮を頂いた。記して謝意を表する。

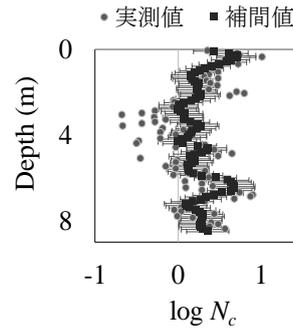


Fig.3 実測値と補間値の比較($x=10\text{m}$)
Comparison of in-situ data and estimated value at $x=10\text{m}$

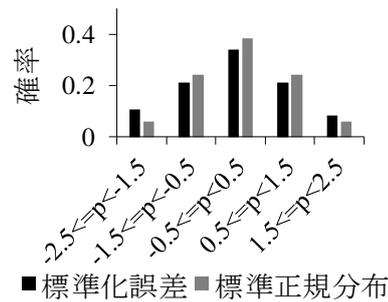


Fig.4 標準化誤差の分布
Distribution of standardized error

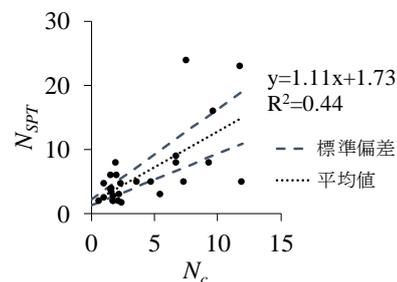


Fig.5 N 値と N_c の関係
Relationship between N_{spt} and N_c

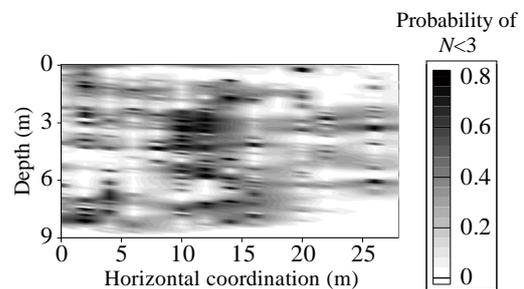


Fig.6 $N < 3$ となる期待値の空間分布
Mean value of spatial distribution of $N < 3$

参考文献 1) Robertson, P. K.: Soil classification using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.28, No.1, pp.151-158, 1990. 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. 4) Deutsch, C. V. and Journel, A. G.: *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*, Chapter 5, 1992, Oxford University Press.