

表面波探査とサウンディング試験結果の合成による盛土強度の空間分布推定

Spatial distribution for strength of embankments based on synthesis of sounding tests and surface wave method

高山裕太*・西村伸一*・鈴木 誠**・村上 章*・藤澤和謙*

Y. TAKAYAMA , S. NISHIMURA , M. SUZUKI , A. MURAKAMI and K. FUJISAWA

1.はじめに

一般に、地盤の強度を示す値として標準貫入試験によって観測されるN値が使われる。本研究は、さらに試験方法が簡易であるスウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）結果を利用して、より簡単に地盤の N 値を測定し、また、他の測定結果と組み合わせることにより信頼性の高い強度分布を把握することを目的としている。SWS 試験は高密度に強度分布を得ることができるが、得られる結果は点推定値であり、空間的な強度分布を得るためには観測値が得られない箇所について補間を行なう必要がある。そこで、補間法として地質統計学の一手法であるインディケータクリッキング法を用いる。また補助的な情報として、空間平均的なN値分布を与える表面波探査結果を利用する。

2.SWS 試験結果

H 池堤体上を堤軸に沿って、5m間隔で9箇所、SWS 試験を行った。SWS 試験から N 値への変換については稲田による式¹⁾を用いた。

$$N = 0.002W_{sw} + 0.67N_{sw} \quad (1)$$

W_{sw} : 荷重(N) N_{sw} : 貫入1m当たりの半回転数(回)

H 池では標準貫入試験(SPT)も行なわれており、図-1に SWS 試験結果と合わせて示している。両者を比較してみると比較的良い対応を示していることがわかる。

3.表面波探査結果

本研究では、S波との相関性が強く、計測精度の高い表面波を計測し、地盤のN値を推定している。計測では、受信器を2m 間隔で40m に配し、かけやを用いて加振した。S波速度とN値との相関は、式(2)に依るものとする。探査の結果を図に示しているが、深度方向に値が増大しており、堤体と地山の境界が明確である。ただし、S波分布の同定にはインバージョンが用いられており²⁾、本試験では、空間的に平均化されたS波とN値が求められていると理解される。

4.N 値の統計モデル

SWS 試験から得られた結果に統計処理を行なう必要がある。SWS 試験から得られた結果を確率場からの実現値とみなす。確率場における確率変数 $\psi=(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M)$ の実現値 $\Psi=(\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_M)$ が観測データとなり、観測値の分布が M 次元の正規分布であると仮定すると、確率密度関数は式(3)で与えられる。ここで、 $\mu=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M)$ は、確率変数 $\psi=(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M)$ の平均値関数である。式(4)

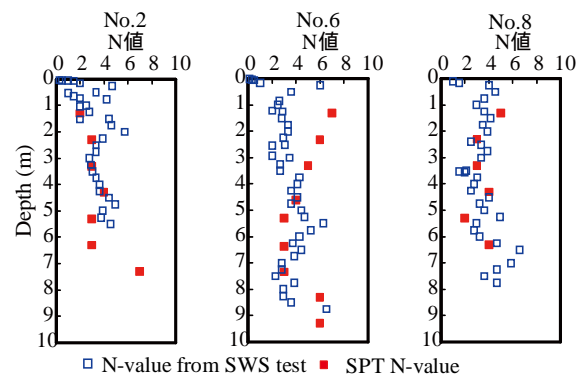
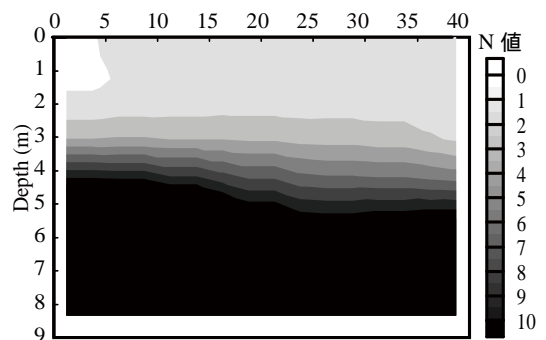


図-1. SWS と SPT の N 値の比較
Comparison between SPT and SWS of N-value



$$V_s = 80N^{\frac{1}{3}} \quad (0 \leq N \leq 50) \quad (2)$$

図-2. 表面波探査による N 値の空間分布
Spatial distribution of N-value measured from surface wave method

*岡山大学環境学研究科, Okayama University, **清水建設, Shimizu corporation,

キーワード: スウェーデン式サウンディング, 表面波探査, インディケータクリッキング

のように与える .

$$f_{\psi}(\psi) = (2\pi)^{-M/2} |C|^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\psi - \mu)^t C^{-1}(\psi - \mu)\right\} \quad (3) \quad \mu_k = \mu(x_k, z_k) \quad (4)$$

統計モデルを決定するにあたって、平均値関数、共分散関数を決める必要があるが、対数尤度を基にした情報規準 AIC(式(5))を利用した .C は M×M の共分散行列であるが、今回は式(4)が最も適切な関数であるとされた .ここで[]は、マトリクスを表し、σは標準偏差、l_x、l_zは、x、z 方向の相関距離、N_eは金塊効果を表すための定数である .

$$C = [C_{ij}] = N_e \sigma^2 \exp\left(-|x_i - x_j|/l_x - |z_i - z_j|/l_z\right) \\ i, j = 1, 2, \dots, M \\ N_e = 1(i = j), N_e \leq 1(i \neq j)$$

L: 統計モデルを決定するためのパラメータ数

$$AIC = -2 \cdot \max\{\ln f_{\psi}(\psi)\} + 2L \quad (5)$$

表に決定されたパラメータを示す . 求めた相関距離については一般的な値といえる .³⁾

5.インディケータクリッキング⁴⁾

本研究では、データの補間法としてインディケータクリッキング法を用いている .この手法では、主なデータ(ハードデータ)に補助データ(ソフトデータ)を組み合わせ、補間を行なうものである .ここでは、SWS試験結果によるN値をハードデータ、表面波探査結果によるN値をソフトデータとして用いる .

6.考察

SWS試験は、計測点では、高密度な測定結果を得ることができるが、計測点以外を推定するのは困難である .一方、表面波探査は、詳細な計測結果を得ることはできないが、平均的な傾向を捉えることができる .これらより相互補完するためSWS試験結果をハードデータとし、表面波探査結果をソフトデータとして利用し、インディケータクリッキングによって合成する .図-3にクリッキングによる結果を示しており、SWS試験によって結果が得られている箇所ではN値が詳細にあらわされており、結果が得られていない部分では、表面波探査結果が強く影響されていることがわかる .

7.まとめ

本研究はため池堤体において簡易で精度の高い強度分布を求めることを目的としている . SWS 結果についてN値の二次元の統計モデルを決定し、また、インディケータクリッキング法を利用することで、2種類の試験結果を合成し、より適切なN値の分布構造を得ることができた .また、N値と内部摩擦角には相関が見られ⁵⁾堤体の安定解析を検討することも可能である .

謝辞：本研究を遂行するにあたり、岡山県備前県民局にご協力を賜った . 記して深甚なる謝意を表する .

参考文献

- 1) 稲田倍徳: スウェーデン式サンディング試験結果の使用について、土と基礎、8(1), pp.13-18, (1960)
- 2) 林 宏一: 表面波を用いた地下浅層部の探査、非破壊探査、53(5), pp.254-259 (2004)
- 3) 西村伸一: 土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集、地盤工学会、pp.121 ~ 126, (2007)
- 4) C. V. Deutsch, A. G. Journel, Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press (1992)
- 5) 地盤工学会: N 値およびφ-c-φ-考え方と利用法-, 地盤工学会 (1992)

表-1. AIC により決定されたパラメータ
Determined statistical parameters by AIC

	相関距離(m)	N _e	σ
x 方向	6.14	0.604	1.24
y 方向	0.63		
平均値関数	μ = 1.98 + 0.816sin(x/5 - 0.5)π + 0.157z		

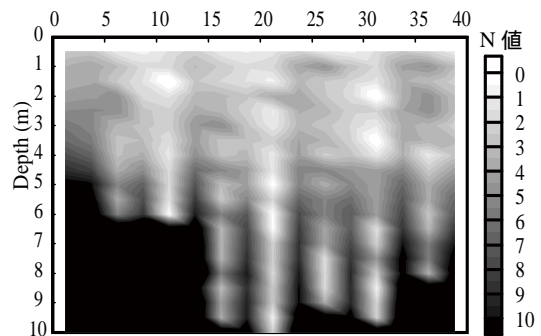


図-3. インディケータクリッキングによって合成された N 値の空間分布
Combined spatial distribution of N-value by Indicator Kriging