

表面波探査とSWS試験に基づくため池堤体の地盤強度分布推定 Estimation of spatial variability for strength of an earth-fill dam by using surface wave exploration and SWS test

○片山晃成・西村伸一・柴田俊文

Kose Katayama Shinichi Nishimura Toshihumi Shibata

1. はじめに

今後30年の間に南海トラフ地震が発生する可能性が非常に高いといわれている中で、耐震照査や整備が必要なため池の地盤構造を迅速かつ正確に推定することが求められている。本研究では地盤構造の物理探査法の一つである表面波探査とサウンディング手法の一つであるスクリーウエイトサウンディング試験による地盤強度分布推定を行い、その正確性を検討することを目的としている。

2. 調査方法

調査対象箇所は岡山県内のため池において設定した35mの測線である。調査対象地において表面波探査とSWS試験を行い、それぞれの試験から得られる地盤強度S波速度とN値の堤体における分布を比較する。計測点の配置をFig.1に示す。

本研究における表面波探査は0m地点から2m間隔で34m地点まで、合計18カ所に固有振動数4.5Hzの受振点(ジオフォン)を設置し、-1m地点から35m地点まで同じく2m間隔でカケヤを用いて順番に堤体に打撃を加えていき、合計19カ所に起振点を設けた。表面波探査の解析によって得られたS波速度構造図をFig.2に示す。

また、同試験箇所でSWS試験を行う。SWS試験は静的試験であり、試験効率がよく、地盤内の空間情報を得るのに非常に適している。またコンパクトな試験でもあるので、対象地のような狭小なサイトでも適用することができる¹⁾。本研究では、稲田によって示された以下の回帰式(1)を用いて、試験から得られたロッドの各深度における半回転数と荷重から換算N値(N_{SWS})を算出する²⁾。

$$N_{SWS} = 0.002W_{sw} + 0.067N_a \quad (1)$$

N_a : 半回転数

W_{sw} : 荷重による重力 (単位: N)

SWS試験によって得られるN値は点推定であるので、堤体地盤内のN値空間分布図を得るためにガウス過程回帰(GPR)を用いてN値の統計モデル化を図る。本研究では吉田らに示されたGPRの手順を参考にしている³⁾。この手法では決定される統計モデルがトレンド成分とランダム成分に分離されており、トレンド成分から地盤の層区分、ランダム成分から層内でのばらつきを把握することが出来る。GPRを用いて決定した統計モデルでは、モデル化の誤差の影響によりランダム成分の相関距離が水平方向、鉛直方向ともに非常に小さくなる傾向があり、本来の相関性の同定ができていない可能性がある。従って、ここではトレンド成分の同定にはGPRを用いるが、ランダム成分の空間構造を同定するためにセミバリオグラムを用いた。

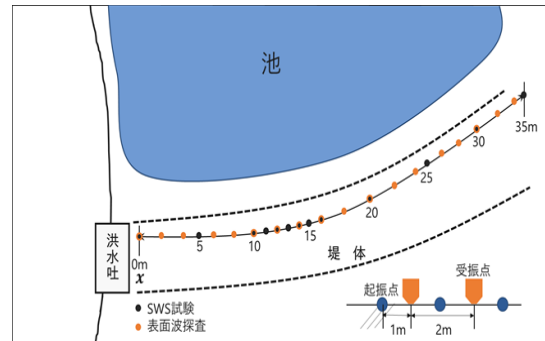


Fig.1 各計測点の配置
Arrangement of each measurement value point

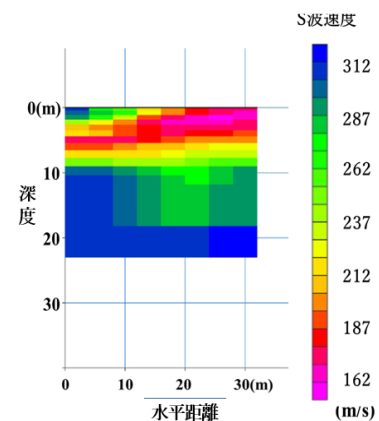


Fig.2 S波速度構造図
S-wave velocity structure

GPRとセミバリオグラムを用いて最終的に決定した統計モデルを以下の式(2)に示す. またTable.1に式中の各パラメータの値を示している.

$$k((x, z), (x', z')) = c^2 \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{|x-x'|^2}{l_x^2} + \frac{|z-z'|^2}{l_z^2}\right)\right) + \sigma^2 \exp\left(-\frac{|x-x'|}{l_x} - \frac{|z-z'|}{l_z}\right) \quad (2)$$

決定した統計モデルによって推定されたN値の空間分布図はFig.3のようになった.Fig.3上部の図がN値の空間分布を表しており,下部の図が各N値の標準偏差を表している.標準偏差の値から,N値空間分布図において十分な推定精度があるN値は図中の点線よりも上範囲だと考えることが出来る.

Trend			Random		
c	lx	lz	σ	lx	lz
0.282	2030	3.98	2.173	6.0433	0.3866

Table.1 決定されたパラメータ
Determined parameters

3. 解析結果

S波速度構造図とN値空間分布図を比較すると,深度10mあたりでS波速度もN値も大きな値を示しており.固い岩盤層が分布していることが考えられる.またS波速度構造図において特徴的なのが0m地点深度5mあたりから35m地点の表層近くにかけて斜めに小さい値のS波速度が分布していることだが,N値分布図では,27m地点あたりから35m地点までの表層近くにかけて同じように斜めにN値が小さい層の分布が確認できるものの,0~25m地点のN値にはそのような分布は見られない.また,N値において表層近くで非常に大きい値を示している箇所が二つあるが,S波速度構造図には似たような分布は見られない.部分的にそれぞれの地盤強度分布が一致する箇所もあるが,両図から明確な関連性を見ることができなかった.

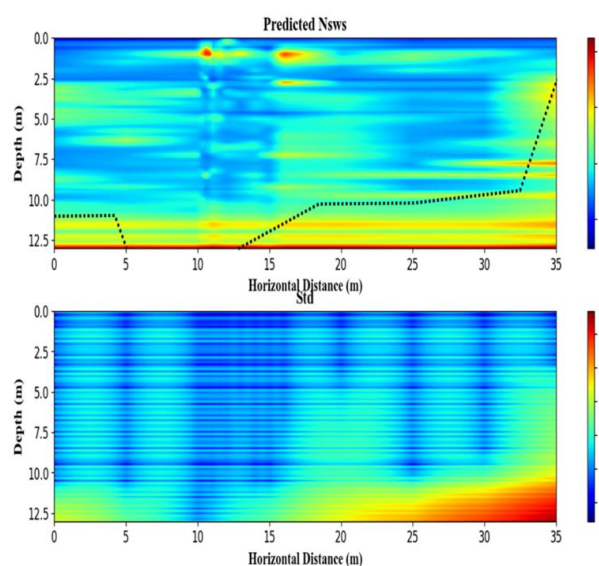


Fig.3 推定N値空間分布図
Estimated N-value spatial distribution map

4. まとめ

本研究において,S波速度と推定N値の分布は一致する箇所はあったものの,調査対象地点全体で明確な相関を見ることはできなかった.これは,二つの手法によって得られる解像度が大きく異なるためと考えられる.

今後の展望としてS波速度をN値に変換し,データフュージョンを行ってより地盤強度の分布を比較しやすくすることなどを考えている.またSWS試験を行った地点付近はN値の標準偏差が非常に小さくなっていることから,SWS試験の実施個所を増やし,N値の空間分布図の精度をさらに上げることも,より精密な表面波探査の精度検討のために必要であると考えられる.

参考文献

- 1) 地盤工学会地盤調査規格・基準委員会:地盤調査の方法と解説一二分冊の1-第3版2016,公益社団法人地盤工学会, p.366-403
- 2) 稲田倍徳:スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について,土と基礎 1960,vol.8,No.1, pp.13-18
- 3) Yoshida, I.,Tomizawa, Y.,Otake, Y., 2021. Estimation of trend and random components of conditional random field using Gaussian process regression. Computers and Geotechnics, 136, 1014179