

サウンディングと物理探査の合成による地盤探査方法

Subsurface investigation method by synthesized approach of sounding and geophysical survey

○ 西村伸一* 植田起也* 今出和成* 柴田俊文* 珠玖隆行*

NISHIMURA Shin-ichi, UETA Tatsuya, IMAIDE Kazunari, SHIBATA Toshifumi and SHUKU Takayuki

1. はじめに 効率的な地盤強度調査方法として、非破壊試験である物理探査が有効であるが、精度の問題が指摘される。これを補うためには破壊試験との併用が必須と考えられるが、高密度試験を達成するためには、サウンディング試験が有効である。本研究では、切土斜面の表層の安定を対象とし、物理探査手法として表面波探査、サウンディング手法として、簡易動的コーン貫入試験(DCP)を実施した。これらの結果を、地質統計学手法によって合成する方法を提案する。

2. サウンディングと表面波探査からN値への変換 Fig.1は、標準貫入試験によるN値 N_{SPT} と、DCP結果 N_d との関係を示している。この図の関係は、式(1)によってモデル化することができ、 N_d から N_{SPT} に換算することができる。

$$N_{SPT} = 0.562N_d(1 + 0.388\varepsilon_1) \quad (1)$$

ここで、回帰直線の変動係数は0.388であり、 σ 限界値が点線で示されている。 ε_1 は、 $N(0,1)$ の確率変数で、換算誤差を表す。表面波は、せん断波速度 V_s をよく近似するが、 N_{SPT} と正の相関を有していることが知られる。比較的強度の低い地盤で求めたこれらの関係をFig.2に示す。また、この関係は、式(2)として定式化される。

$$N_{SPT} = V_s^{1.403} \times 10^{(\varepsilon_2 - 2.537)} \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_2 = 0.244$ は回帰直線の標準偏差を示している。また、 ε_2 は、 $N(0,1)$ の確率変数で、換算誤差を表す。

3. 地質統計学シミュレーション 本研究では、2種類のデータの合成によって、より精度の高いN値の空間分布を求めるが、データの合成法として地質統計学手法の一つであるインディケータシミュレーション法¹⁾(IS)を用いている。この手法では、補助データ(ソフトデータ)を用いることができ、この情報によって主データ(ハードデータ)の分布を更新するという方法に基づいている。ここでは、DCP結果によるN値(式(1))をハードデータとして、表面波探査によるN値をソフトデータとして用いている。インディケータシミュレーションは、任意のパラメータ R (ここではN値)に対して、式(3)以下で定式化される。

$$i(\mathbf{u}; r_k) = \begin{cases} 1, & (R(\mathbf{u}) \leq r_k) \\ 0, & (R(\mathbf{u}) > r_k) \end{cases} \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

i は、パラメータ R の2値変換値である。 r はパラメータ R の任意の値を表し、 r_k ($k = 1, 2, \dots, K$)は R の特定の値で

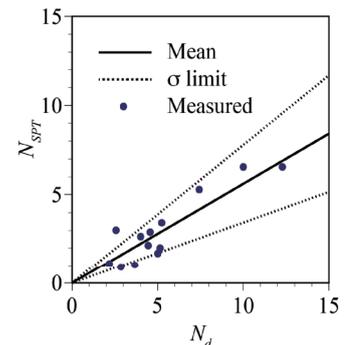


Fig.1 N_d と N_{SPT} の関係
Relationship between N_d and N_{SPT}

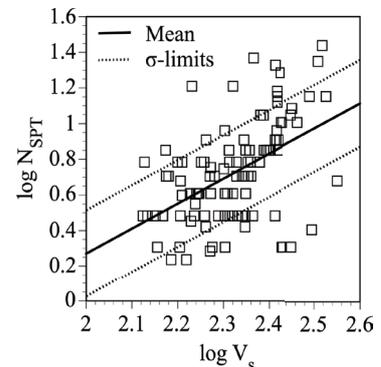


Fig.2 V_s と N_{SPT} の関係
Relationship between V_s and N_{SPT}

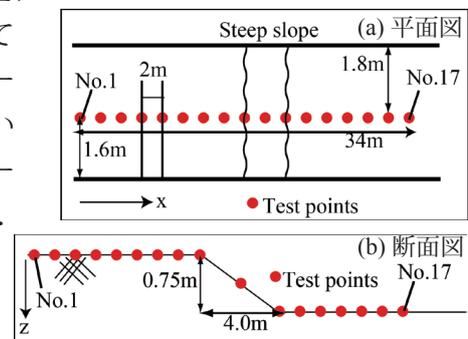


Fig.3 調査地点の概要
Profile of investigation site

* 岡山大学 Okayama University,
キーワード：サウンディング, 物理探査, インディケータシミュレーション

あり、2値変換の閾値を表しており、 K 段階存在する。 \mathbf{u} は座標を表し、 $\mathbf{u}=(x,y,z)$ であり、式(3)における i は、この座標点における値である。 n 個の計測点 \mathbf{u}_α における2値変換値 $i(\mathbf{u}_\alpha; r)$ から、式(4)をとおして、任意の位置 \mathbf{u} におけるパラメータ R の事後確率分布関数が得られる。

$$F(\mathbf{u}; r_k | (n+n')) = \text{Prob}\{R(\mathbf{u}) \leq r_k | (n+n')\} = \lambda_0 F(r_k) + \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha'}(\mathbf{u}; r_k) i(\mathbf{u}_{\alpha'}; r_k) + \sum_{\alpha'=1}^{n'} v_{\alpha'}(\mathbf{u}; r_k) w(\mathbf{u}_{\alpha'}; r_k) \quad (4)$$

$$\lambda_0 = 1 - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha'}(\mathbf{u}; r_k) - \sum_{\alpha'=1}^{n'} v_{\alpha'}(\mathbf{u}; r_k) \quad (5) \quad r^{(l)}(\mathbf{u}) = F^{-1}\left(\mathbf{u}; p^{(l)} | (n+n')\right) \quad (6)$$

式(4)中、 $F(r_k)$ は R の事前確率分布、 w はソフトデータ(n' 個)を表し、確率分布関数の形で与えられる。係数 $\lambda_{\alpha'}$ 、 $v_{\alpha'}$ は、ハードデータおよびソフトデータの補間係数で、それぞれ、 n 個および n' 個の既知点の条件から決定される。以下に、シミュレーション手順を示す。

- 1) 式(2)において、乱数を変数 ε_2 に割り当て、点 $\mathbf{u}_{\alpha'}$ ($\alpha'=1, 2, \dots, n'$)における N_{SPT} の乱数を作成する。これを1,000回繰り返す、各点における確率分布関数 $w(\mathbf{u}_{\alpha'}; r_k)$ ($\alpha'=1, 2, \dots, n'$)を決定する。
- 2) 事前確率分布 $F(r_k)$ を式(1)に基づいて決定する。ただし、乱数 ε_1 を1つの固定値とする。
- 3) $\mathbf{u}=\mathbf{u}_m$ (m : 任意点の番号)における係数 $\lambda_{\beta}(\mathbf{u})$ ($\beta=1, 2, \dots, n$)、 $v_{\beta}(\mathbf{u})$ ($\beta=1, 2, \dots, n'$)を決定する。
- 4) 事後確率分布 $F(\mathbf{u}, r_k | (n+n'))$ に基づいて、パラメータ R の乱数が作成される。シミュレーションでは、式(6)で作成される乱数 $r^{(l)}$ が、パラメータ R の実現値として使用される。ここで、 $p^{(l)}$ は、 $[0,1]$ の範囲の1様乱数を表し、添え字 l はモンテカルロ法の試行回数を表す。
- 5) 新たな乱数を ε_1 に与え、 $l \rightarrow l+1$ としてステップ2), 3), 4)を繰り返す。

4. 事例解析 調査地点は、マサ土から構成される切土斜面であり、調査平面図と断面図をFig.3(a)および(b)に与える。SWMの計測地点が図示されているが、計測間隔は2mである。また、 $x=2, 7, 12, 17, 22, 27, 32$ mにおいて、DCPを実施した。 N_d について、同定された統計モデルは以下のとおりである。式(7)は、平均値関数、式(8)は、共分散関数であり、ISに導入される。

$$m_k = -15.768 + 2.848x_k + 35.744z_k - 0.818x_k^2 - 0.161z_k^2 - 0.574x_k z_k \quad (7)$$

$$C = [C_{ij}] = 10.09^2 \exp\left(-\frac{|x_i - x_j|}{3.66} - \frac{|z_i - z_j|}{0.71}\right) \quad (8)$$

Fig.4は、ISを300回繰り返した結果である。Fig.4(a)は、 N_{SPT} の期待値の分布であり、斜面モデルの左右に比較的厚い弱層が存在する。Fig.4(b)は、標準偏差で、表層近くはDCP試験の点の存在で、結果の信憑性が高いため、標準偏差が小さくなっている。Fig.4(c)は、 $N_{SPT} < 2$ の確率、すなわち弱層の存在確率を示している。モデルの左右の端の部分に、軟弱層が存在している確率が高くなっている。

5. まとめ 表面波探査と簡易動的コーン貫入試験結果を合成して、地盤弱部の存在確率を示す方法を示し、実地盤で適用可能であることを示した。

引用文献1) Deutsch, C. V. and Journel, A. G.: Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press, 1992.

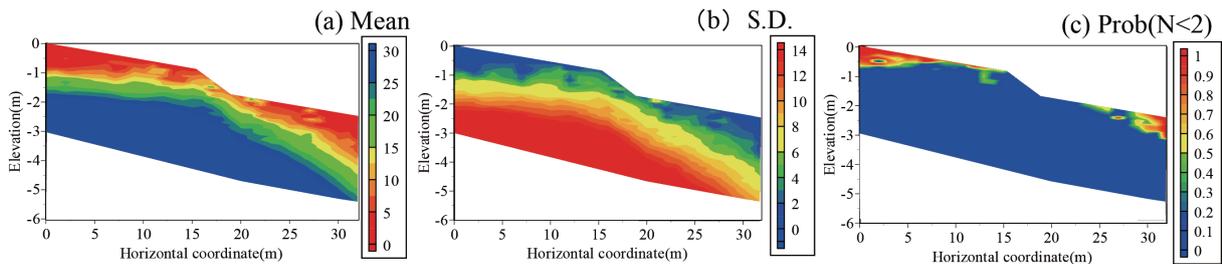


Fig.4 ISの結果
Results of IS