

# 低層建物を対象としたニューラルネットワークによる $m_v$ の評価方法

Evaluation of Volume Compressibility Coefficient by Artificial Neural Networks for the Low Rise Building

○ 小林 範之\*・吉武 美孝\*・武田 圭介\*\*・松原 洋志\*\*\*  
 Noriyuki KOBAYASHI, Yoshitaka YOSHITAKE, Keisuke TAKEDA and Hiroshi MATSUBARA

## 1. はじめに

低層建物の圧密沈下計算を行う際、簡便かつ経済的な調査による地盤情報から圧密沈下量を算定する方法が望まれる。これまでに、圧密試験によらない土質定数から体積圧縮係数  $m_v$  を推定する経験式がいくつか提案されている。しかし、その  $m_v$  により算定した沈下量と実測値の対応は必ずしも明らかにならず、統一的な方法がないのが現状である。

本研究では、圧密試験によらない新しい  $m_v$  推定法の提案を目的として、 $m_v$  推定における最適な土質パラメータの組み合わせをニューラルネットワーク (ANN) によって評価する。

## 2. $m_v$ 法による沈下計算

圧密沈下量の計算法としては、 $e - \log p$  法、 $C_c$  法、 $m_v$  法などがあるが、ここでは低層建物の沈下計算に利用されることが多い  $m_v$  法を用いることとする。これまでに提案されている圧密試験によらない  $m_v$  の推定法には次のものが挙げられる。1.  $w_n$  による推定<sup>1)</sup>、2. 粘着力  $c$  による推定<sup>2),3)</sup>、3. SWS による推定<sup>4),5)</sup>、4.  $w_n$  と SWS による推定<sup>6)</sup>。

## 3. ANN によるパラメータの評価

### 3.1 階層型 ANN

ANN とは脳神経系をモデルとした情報処理システムである。ここでは、複数のニューロンを結合してネットワークを構成した、中間層を 1 層とする合計 3 層の階層型 ANN を用いた (Fig.1)。教師信号  $y$  は、ニューロンの学習における正解値である。 $x$  は第 1 層の入力信号、 $net$  および  $out$  は第 2 層以下の入・出力信号、 $w$  は重み係数である。第  $n$  層、第  $j$  番目の入力と出力を式 (1)、(2) に表す。入出力関数  $f$  は、式 (3) に示すシグモイド関数とした。

$$net_j^n = \sum_{i=0}^{L_n} w_{ji}^{n,n-1} out_i^{n-1} \quad (1)$$

$$out_j^n = f(net_j^n) \quad (2)$$

$$f(net_j^n) = \frac{1}{1 + \exp^{-net_j^n}} \quad (3)$$

### 3.2 拡張ベイズ法による学習アルゴリズム

誤差逆伝播法などの既往の学習アルゴリズムは逐次型であり、学習の振動や最小点近傍での学習効率の低下などの問題が生じやすい。ここでは、一括型学習アルゴリズムとして拡張ベイズ法を用いた。

$$\hat{\mathbf{w}} = \mathbf{w}^* + (\mathbf{X}^T \mathbf{V}_s^{-1} \mathbf{X} + \lambda^2 \mathbf{V}_w^{-1})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{V}_s^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{X} \mathbf{w}^*) \quad (4)$$

\* 愛媛大学農学部；Faculty of Agriculture, Ehime Univ. キーワード；ニューラルネットワーク、体積圧縮係数、低層建物、拡張ベイズ法

\*\* 阪南コーポレーション；Hannan Corporation, Ltd.

\*\*\* 松原建設；Matsubara Construction Co., Ltd.

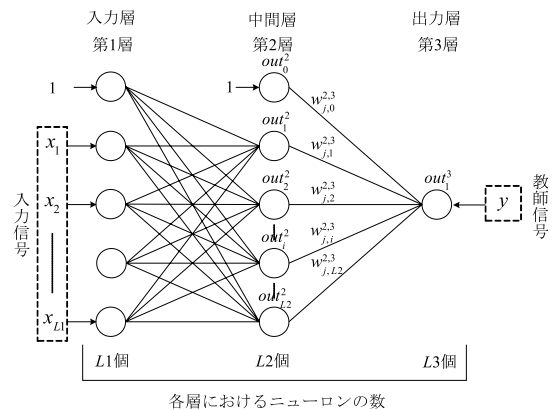


Fig.1 Three layered Perceptron network

Table 1 Results of multiple regression analysis

要因	標準偏回帰係数		
$d$	-0.22	-0.22	-0.36
$w_n$	0.56	0.37	0.31
$\rho_t$	0.98	0.78	0.56
$W_{sw}$	-0.21	-0.23	-
$q_u$	-0.14	-	-0.17
$CC$	-0.05	-0.12	0.01
重相関係数	0.60	0.59	0.58

ここで、 $\hat{w}$  : ベイズ推定による  $w$  ベクトル,  $w^*$ ,  $\sigma_w^2 V_w$  : 事前情報の平均  $w$  ベクトル, 共分散行列,  $\sigma_\epsilon^2 V_\epsilon$  : 誤差共分散行列,  $X$  : 感度行列,  $\lambda = \sigma_\epsilon^2 / \sigma_w^2$ .

#### 4. 解析結果

##### 4.1 重回帰分析

重回帰分析結果を Table 1 に示す. 全パラメータによる 1 ケースと,  $q_u$  および  $W_{sw}$  はどちらも土のせん断抵抗を示す値であるため, どちらか 1 つを含む 5 つのパラメータでの 2 ケースの重回帰分析を実施した.  $w_n, \rho_t$  の標準偏回帰係数  $b'$  の値が大きくなり,  $m_v$  に対する重みが多い.  $CC$  の  $b'$  は小さく  $m_v$  にあまり寄与しない. また,  $d, q_u$  および  $W_{sw}$  はそれぞれ負の値となり, 土の強度と  $m_v$  の間には負の相関がある.  $W_{sw}$  は拘束圧の影響が反映されており,  $q_u$  より  $m_v$  に対する重みが大きくなる. どのケースも重相関係数は小さく, 線形で評価には限界があることがわかる.

##### 4.2 圧密試験による $m_v$ との比較

Table 2 に解析ケースを示す. 解析ケースの 1~4 は, 2. で示した推定法の番号に対応している. Fig.2 に Case1~4 の学習結果を示す.  $m_v^S$  は ANN による  $m_v$  値 (出力信号),  $m_v^T$  は圧密試験による  $m_v$  値 (教師信号) である. Case 2, 3 のようにせん断抵抗のみの推定法はばらつきが大きく, 力学情報を持たない Case 1 の精度が良かった. また, 1 と 3 の合成手法である Case 4 では, 推定値が  $m_v^S = m_v^T$  の直線を中心に分布し, 高精度であった. Case 1~4 で最も精度の良かった Case 4 に  $\rho_t$  を加えたものを Case 5, さらに  $CC$  を加えたものを Case 6 とした. Fig.3 に Case 4~6 の学習結果を示す. Case 5 の推定値は  $m_v^S = m_v^T$  の直線上に集中し, Case 4 より精度が向上した. Case 6 の推定値も直線的に分布するが, やや過小に評価するため沈下量を小さく予測することになる.  $m_v^S$  と  $m_v^T$  との誤差を式 (5) により評価した.  $EF$  が 1 に近いほど  $m_v^S$  と  $m_v^T$  の誤差が小さいことになる. Case 1~6 の  $EF$  値はそれぞれ 0.639, 0.578, 0.559, 0.857, 0.890, 0.620 となり, Case 5 が最も精度が高いことがわかった. すなわち,  $m_v$  を推定するための最適な土質パラメータの組み合わせは,  $w_n, \rho_t, d, W_{sw}$  ということができる.

$$EF = \left\{ \sum_{i=1}^n (h_0 - \bar{h}_0)_i^2 - \sum_{i=1}^n (h_c - h_0)_i^2 \right\} / \sum_{i=1}^n (h_0 - \bar{h}_0)_i^2 \quad (5)$$

#### 参考文献

- 1) 田村昌仁, 枝広茂樹, 人見孝, 秦樹一郎: スウェーデン式サウンディングで自沈層が認められた地盤の許容応力度と沈下の検討, 建築技術, pp. 106-111, 2002.
- 2) 安達俊夫, 佐藤浩介: 軟弱地盤における戸建住宅の沈下計算, 基礎工, No.11, pp.29-31, 2003.
- 3) 稲田倍穂: 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, Vol. 8, No. 1, 1960.
- 4) 竹中準之助: 粘土のサンプリングとその信頼度, 日本材料試験協会, 1962.
- 5) 八尾真太郎, 平田茂良: 基礎と上部構造のバランス, 建築技術, No.2, pp. 114-117.
- 6) 松原洋志, 藤田秀明, 奈良伸太郎, 小林範之, 2005, 低層建物を対象としたスウェーデン式サウンディングによる  $m_v$  の評価方法, 第 40 回地盤工学研究発表会発表講演集, 1459-1460.

Table 2 Input parameters for ANN

	$w_n$	$\rho_t$	$d$	$q_u$	$W_{sw}$	$CC$
Case 1	○	○	○			
Case 2				○		
Case 3					○	
Case 4	○		○		○	
Case 5	○	○	○		○	
Case 6	○	○	○		○	○

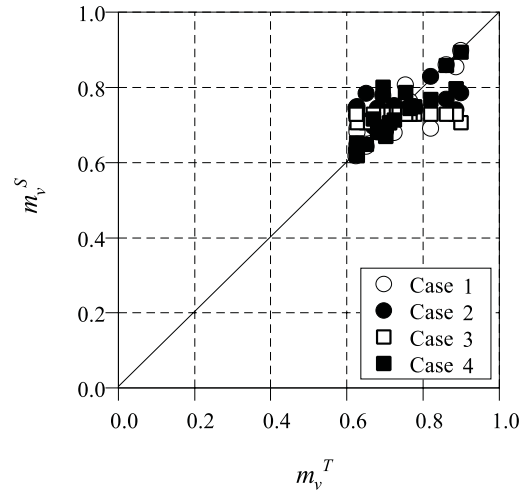


Fig.2 Relation between  $m_v^S$  and  $m_v^T$  (1~4)

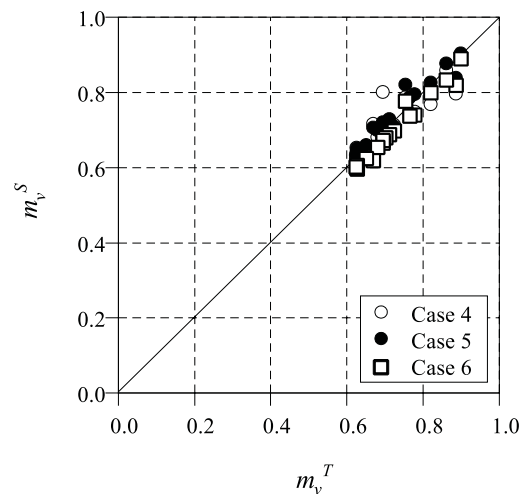


Fig.3 Relation between  $m_v^S$  and  $m_v^T$  (4~6)