

実測値に基づく長期残留沈下予測 Long-term Settlement Prediction Based on Measured Data

金山 素平* 東 孝寛** 大坪 政美** 筑紫 二郎*
Kanayama.M*, Higashi.T**, Ohtsubo.M** and Chikushi.J*

1.はじめに

現場計測に基づく将来沈下予測手法として、双曲線法、星埜法、門田の方法、浅岡の方法、 $\log t$ 法など様々な方法が提案されている。その中でも双曲線法は頻繁に使用され、その精度の良い事が数多くの文献において報告されている¹⁾。本研究では、非線形最小二乗法を用いて数式モデルのパラメータを同定し、室内長期圧密試験データおよび棚橋ら²⁾が報告した現場データの沈下予測を行った。

2.数式モデルとパラメータの同定

本研究において、一次圧密量を推定する数式モデルは式(1)の通りである。

$$S_p = a \cdot \left(1 - \sum_{n=0}^{100} \frac{2}{\alpha_n} \cdot \exp\left(-\alpha_n^2 \cdot \frac{b}{H_d^2} \cdot t\right)\right) \quad (1)$$

ここで、 S_p は一次圧密量、 H_d は排水距離、 $\alpha_n = (2n+1)\pi/2$ 、 a 、 b はパラメータ、 t は経過時間である。式(1)は、任意時間を経過した後の粘土層の沈下量を求める際に使用する式 $S = S_f \cdot U/100$ (S_f :最終沈下量、 U :平均圧密度)である。なお、計算の都合上 n は100までとした。次に、実測データが式(1)から逸脱し始める時間 t_{pend} から二次圧密が卓越する時間 t_s までの沈下量 S_m と、 t_s 以降の沈下量 S_s を予測する数式モデルはそれぞれ式(2)、(3)とした。

$$S_m = c \cdot \left(1 - \sum_{n=0}^{100} \frac{2}{\alpha_n} \cdot \exp\left(-\alpha_n^2 \cdot \frac{d}{H_d^2} \cdot t\right)\right) + e \cdot \ln(t/f), \quad t_{pend} < t \leq t_s \quad (2)$$

$$S_s = S_m(t_s) + g \cdot \ln(t/h), \quad t > t_s \quad (3)$$

ここで、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 、 h はパラメータであり、 f と h の初期値はそれぞれ t_{pend} と t_s に設定した。また、 $S_m(t_s)$ は t_s における式(2)の値である。式(2)は圧密理論に従う沈下と二次圧密による沈下が混在することを表現し、式(3)は二次圧密が時間の対数軸に対して直線的に増加することを表現している。したがって予測沈下量 S は、 $t = t_{pend}$ の場合 $S = S_p$ 、 $t_{pend} < t \leq t_s$ の場合 $S = S_m$ 、 $t > t_s$ の場合 $S = S_s$ である。本研究では、最大8個のパラメータを同定するため、非線形最適化手法であるLevenberg-Marquadt法^{3),4)}を用いた。

3.考察

室内長期圧密試験には、深さ13.8mから採取した不攪乱海成粘土を使用した。土粒子密度 ρ_s は2.655 (g/cm³)、粘土分、シルト分、砂分含有率はそれぞれ49.9、48.7、1.4 (%)、自然含水比 w_n は86.4 (%)である。試験は両面排水条件であり、試料の初期高さは2cm、試験期間は約3ヶ月とした。Fig.1は、圧密圧力628kPaの場合の時間沈下曲線とその予測結果を示している。この時間沈下曲線は逆S字状を呈しており、1,000 min以降において、沈下量は対数時間に対してほぼ直線的に増加している。沈下予測には100、1,000、1,440 minまで

*九州大学生物環境調節センター

**九州大学大学院農学研究院

*Biotron Institute, Kyushu University

**Faculty of Agriculture, Kyushu University

キ - ワ - ド : 沈下予測, 非線形最小二乗法, 長期残留沈下

のデータに対してフィッティングした結果を示している。 t_{pend} と t_s は、式(1)のフィッティングの結果と時間沈下曲線の形状からそれぞれ 16.5, 1,000 min に設定した。100, 1,000 min までのデータに対する沈下予測結果は、式(1), (2)を使用して求めている。したがって式(3)における二次圧密領域に関する情報はなく、式(2)における二次圧密量に関するパラメータのみでは将来の二次圧密の予測に対して信頼性が低く、結果的にやや大きめの沈下量を算出している。1,440 min までのデータに対する沈下予測結果は式(1)-(3)から求めており、 t_s 以降においても十分な二次圧密に関する情報があるため実測値とほぼ等しい値となっている。

Fig.2 の時間沈下曲線は、棚橋らが報告した佐賀県鹿島町の有明粘土地盤上に築造された堤防盛土の事例²⁾である。彼らは、かさ上げ盛土施工後 30 年経過時の沈下量を検討しており、103.7 (双曲線法), 122.4 (星埜法), 94.0 (慣用法), 139.0 (安原法), 123.0cm (棚橋法)と報告している。本研究においては、 t_{pend} を 1,800 に設定し、式(1), (2)を使用して非線形最適化を行ったところ、予測沈下曲線は図中の実線のようなになった。沈下量測定開始から約 10 年を経ても一次圧密が支配的であると判断できる。式(1)において同定されたパラメータから、最終沈下量(a)は 97.3cm, 圧密係数(b)は $449\text{cm}^2/\text{day}$ となり、慣用法の最終沈下量と比較的よく一致している。また、式(2)から 30 年後の沈下量は 105.2cm と算出され、双曲線法による予測値とほぼ等しい値を示した。今後も更なる検討とデータの収集に努めたい。

4.まとめ

本研究において、非線形最小二乗法である Levenberg-Marquadt 法を使用して、室内長期圧密データおよび現場データに対して将来の沈下予測を行った。室内データの予測に関して、二次圧密挙動に対して十分な情報がある場合、沈下予測値は実測値とよい一致を示したが、二次圧密の情報が不十分である場合、大きめの沈下量を算出する結果となった。現場データに対して将来の沈下予測を行った結果、双曲線法による予測値とほぼ等しい値を示した。

参考文献 1)例えば、世良至、殿垣内正人、川井田実 (1993):実測値に基づく軟弱地盤の沈下予測法の精度と適用性、土と基礎 41(2), pp.11-16, 2)棚橋由彦、安原一哉、斎藤芳徳 (1993):有明粘土地盤の長期残留沈下とその予測、土と基礎 41(2), pp.17-22, 3)数値計算ハンドブック (1990), pp.778-789, 4)Numerical recipes in fortran second edition (1992), pp.675-683.

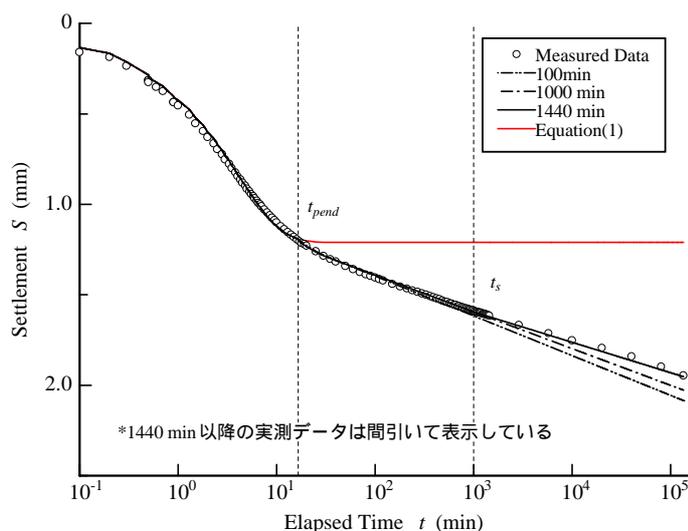


Fig.1 Time-settlement curve and prediction results (Laboratory data)

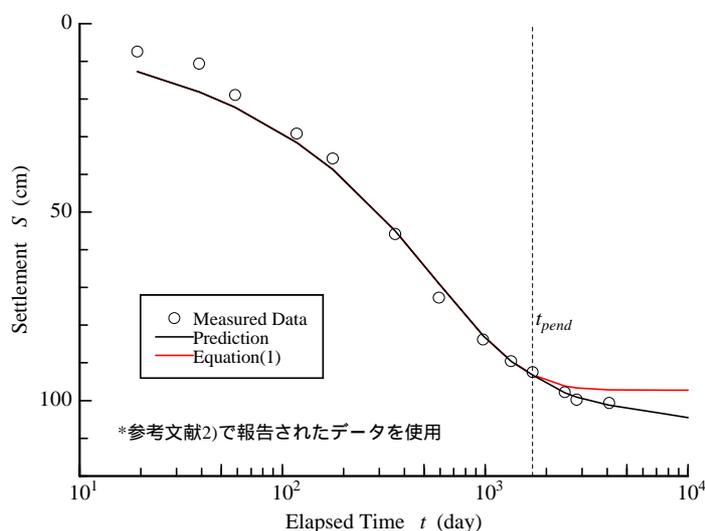


Fig.2 Time-settlement curve and prediction result (In-situ data)