

レオロジーモデルを用いた粘土の圧密沈下挙動の検討 Examination for Consolidation of Clay Using Rheology model

○中村哉仁*, 金泉友也 **金山素平**
Nakamura K. *, Kanaizumi T. *, Kanayama M. *

1. はじめに

三陸沿岸部の農用地は、現在復興のための度重なる盛土によって長期的かつ大規模な圧密沈下が懸念されている。圧密現象の内圧密理論に従わない二次圧密が広く知られ、永年にわたり様々な研究がなされてきた。しかし、未だ解明には至っておらず、様々な諸説があるが、一定有効応力下のクリープ現象だとされている。本研究では、応力緩和やクリープといった粘弾性挙動を扱うレオロジーに着眼し、構築した粘弾性モデルによる圧密沈下挙動の表現能力を検討した。

また、粘弾性モデルの応用的なパラメータ導出手段として、ANN を用いた。ANN による学習能力に期待し粘弾性モデルの圧力と構成パラメータの入出力関係を検討した。

2. 試験方法

レオロジーモデルの構成要素となるのが Spring と DashPod である。Spring はバネを模した 100% 弾性モデルで応力 S 、変形率 γ 間にフックの法則が適応され、弾性係数 G として表す。DashPod は 100% 粘性モデルで応力 S 、変形率 γ 間にニュートンの粘性則が適用され、粘性係数 η として表す。この 2 種の要素の組み合わせから、粘土のレオロジーモデルを構築し粘弾性挙動を表現する。Fig.1 はそれぞれ 2 つの構成要素からなる四要素モデルである。実測沈下データは単一なカオリン粘土供試体を対象とした 9 段階の圧密試験から求め、実測ひずみ ε に対して四要素モデルの一般式を適用、非線形最小二乗法を用いてパラメータを導出した。求めたパラメータから圧密沈下曲線を再現し、実測値と比較、その適合度を調べた。適合度の指標として平均適合率 AFV (= 計算値/実測値) と AFV の標準偏差 SD を用いた。AFV が 1 に、SD が 0 に近いほど適合度が高いことを示している。

ANN を用いたパラメータ導出は、荷重 S と供試体高 H を入力値、モデルのパラメータを教師データとして採用し、入出力関係を学習させた。十分な学習を行った後、入力値に対するパラメータを出力した。教師データと、得られた出力値を比較しその適合度から ANN の有効性を検討した。

次に未知の入力値に対する ANN の出力能力を検討するため、学習後の ANN に新規入力値とする中間値を与え、新規入力値に対応するパラメータを出力した。新規入力値に相当する圧力を用いて、再びカオリン粘土圧密試験を行った。得られた沈下データと出力値を比較しその適合度を調べた。

3. 結果と考察

Fig.2 は、圧密試験の実測値と四要素モデルの沈下曲線を比較した一例である。レオロジーモデルで再現した沈下曲線は、载荷初期の応力緩和と明瞭なクリープ挙動が確認でき、実測値に近似している。しかし、それでも実測値との間には若干の差異が確認できる。Table.1 は全荷重段階における適合値を示した表である。全ての圧密圧力を通して高い適合度が確認できる。特に圧密圧力 $S=4.9\sim 156.9\text{kN/m}^2$ においては優れた結果を示している。また、 $S=313.8\sim 1255.3\text{kN/m}^2$ では、適合度が低くなっている。これは、卓越したクリープの表現において、四要素モデルでは限界がありパラメータが不足しているためだと考えられる。実測値との更なる整合性を高めるには、粘弾性モデルの改良が必要である。

Fig.3 は教師データのパラメータと ANN で出力したパラメータを比較したグラフである。教師データは、初期荷重において乱雑な挙動がみられるが、荷重段階が進むにつれ規則的な挙動に推移している。対して出力値は終始滑らかな曲線を描いている。これは、ANN が教師データのパターンを学習し、最適化したためだと思われる。結果的に 2 曲線は、高圧密領域では、ほぼ合致してお

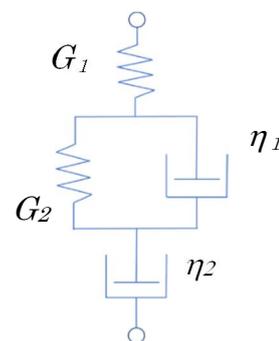


Fig. 1 四要素モデル

*岩手大学大学院 総合科学研究科, **岩手大学農学部

* Graduate school of General Sciences, Iwate University, ** Faculty of agriculture, Iwate University,

キーワード: レオロジー, 粘弾性挙動, 二次圧密, ANN

り、ANN の有効性が確認できる。この結果の要因として、実測ひずみの挙動の違いが考えられる。実測ひずみは、圧密圧力 $S=4.9\sim 9.8\text{kN/m}^2$ 下では小さくクリープが不明瞭な挙動である。しかし、 $S=19.6\sim 1255.3\text{kN/m}^2$ 下では大きくクリープが卓越した挙動を描く。そのため、ANN がよりパターン性の強い後者の特徴を学習し最適化したことで、高压密圧力領域の再現性が良好になったと考えられる。低压密圧力領域における適合度の改善には、学習をパターン別に分けて行うことが考えられる。

Fig.4 は二回目の圧密試験の実測値と ANN による出力値の比較結果の一例である。出力値は実測値との差異が大きく AFV, SD 共に値が悪い結果となった。Table.2 から、この結果は全荷重段階で確認できるが、 $S=29.4\text{kN/m}^2$ 以降から徐々に適合度の向上が確認できる。これは、 $S=4.9\sim 14.7\text{kN/m}^2$ までは、ひずみの小さなパターンであり学習精度が劣る圧密領域である。対して、 $S=29.4\text{kN/m}^2$ 以降はひずみの大きく優れた学習精度の圧密領域である。ANN の学習が順当であることから、試験時における供試体の充填や加水の誤りといった実験の不備が考えられる。今後、圧密試験の再実施による結果の再確認が必要である。

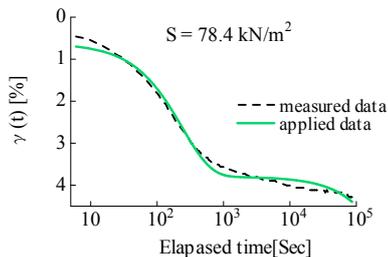


Fig.2 実測値とモデル値の沈下曲線

Table1 各圧密圧力下における適合度

圧密圧力[kN/m ²]	4.9	9.8	19.6	39.2	78.4	156.9	313.8	627.6	1255.3
平均予測率 AV	1.0046	1.0154	1.0862	1.0108	1.0078	1.0071	1.0047	0.9922	1.0211
標準偏差 SD	0.0662	0.1030	0.6346	0.0990	0.0752	0.0725	0.0647	0.0634	0.0925

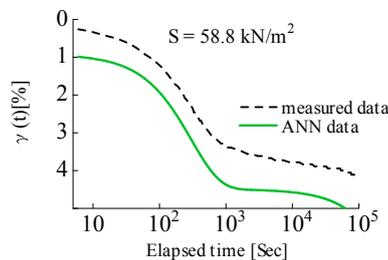


Fig.4 実測値と出力値の沈下曲線

Table2 各圧密圧力下における適合度

圧密圧力[kN/m ²]	4.9	9.8	14.7	29.4	58.8	117.7	235.2	470.7	941.5
平均適合率 AFV	0.6712	3.2551	0.6913	1.2903	1.4045	1.0831	0.8645	0.9431	0.7799
標準偏差 SD	0.4144	1.9633	1.0168	0.5494	0.3879	0.2957	0.0450	0.0882	0.0865

4. まとめ

本研究では、粘土地盤の圧密現象の表現において、応力緩和やクリープなど様々な粘弾性挙動を扱うレオロジーに着眼した。構築した粘弾性体模型、四要素モデルを用いて圧密沈下挙動の表現能力を検討した。適用結果から、実測値の沈下曲線に対して、四要素モデルでの再現が確認できた。四要素モデルで再現した沈下曲線は応力緩和とクリープの表現をもち、実測値との高い適合度が得られた。しかし、高压密領域では差異が大きくなりモデルの再構築が見込まれる。

ANN を、パラメータ導出の応用的な手段として用いた。得られた出力値は、総じて高い評価ができるがひずみの挙動パターンによって適合度が左右される。学習パターンを分けることで改善が期待される。新規の入力値に対しても、ANN はパターン性の強い出力値を導出したが、実測値との適合度は優れた結果は得られなかった。また、同じ圧密領域においても、実測値間で差異があったことから、圧密試験の再実施による検証が必要である。

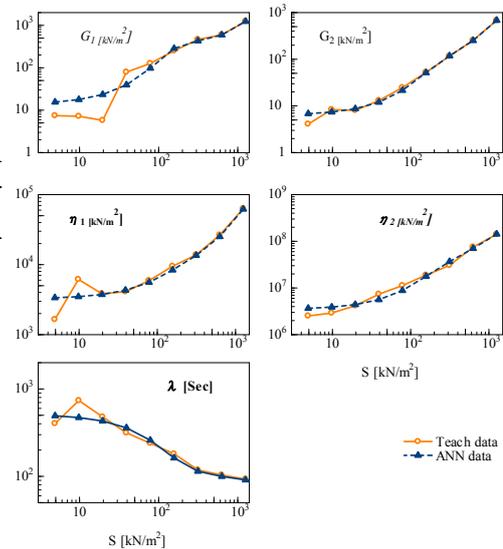


Fig.3 パラメータの推移