

地盤の圧密沈下実測データに基づいた予測とその高精度化 Prediction of ground consolidation settlement based on measurement records and its high accuracy

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

1. はじめに

農地・農業用施設を保護するため軟弱地盤上に築造される海岸堤防などの盛土構造物の沈下は古くから学術・実務上の重要な問題である。軟弱粘土地盤における既存構造物の沈下状況調査や土質データの収集・動体観測は重要であり、多くの場合、動体観測結果を利用した沈下予測に基づいた適切な沈下管理が行われる。東日本大震災によって甚大なる被害を受けた多くの沿岸地域は、震災から7年が経過した現在、被災した農地や海岸堤防および防潮堤などの防災施設の復旧復興が行われている。これらの施設を建設し、管理維持することは、沿岸地域社会の持続を保障する点で重要となることから、構造物築造後の観測データを利用しその動態を精度良く予測することが必要となる。本研究では、金山ら(2009)とKanayama at al. (2014)の研究結果を参考にし、実測値に基づく地盤圧密沈下予測法の構築を目的とし、ニューラルネットワークによる沈下予測手法を使用した盛土地盤沈下の予測を行い、その予測精度について検討している。

2. ニューラルネットワークモデルと適用事例

本研究ではニューラルネットワークの持つ非線形性、学習能力、並列性に着目し、動体観測に基づく沈下予測手法を構築し地盤沈下予測への適用性とその予測精度を評価する。本研究で用いるニューラルネットワークの入出力関係は、金山ら(2009)による沈下速度の収束に着目した入出力パターンを採用した。学習過程で用いる教師データは、分割数を20とし学習データの規則性を向上させるため3次スプライン補間法と3次エルミート補間法の2種の補間法を用いて等時間間隔へと補正を行った。

本研究では、岩手県陸前高田市の盛土造成地域を対象地とし、設置された沈下板20箇所を観測点とした圧密沈下実測データを用いた。本研究で用いた実測値は不規則に変動している。この変動は、現場計測時における誤差に由来するものと考えられる。Fig 1は、陸前高田市高田地区の嵩上げ区域に設置された沈下板の位置図(都市再生機構, 2016)である。本研究では20箇所の観測点のうちNo.4, No.6における実測沈下データを用いた(Table 1)。ニューラルネットワークによる沈下予測に用いたデータは、最大盛土厚に達した後のデータである。また、予測に用いるデータの範囲が予測結果に及ぼす影響を明らかにするために、実測沈下量の最終値 S_f に対する各実測値 S_i の沈下量の比を沈下量比 $R (= S_i / S_f \times 100 (\%))$ と定義し、様々なケースのデータを用いてそれぞれ沈下予測を行った。

3. 結果と考察

Fig 2は、二つの補間法の違いを示した図である。これから、エルミート補間法による値は、スプライン補間法に比べ、地盤の沈下挙動をより適切に表現している。これはスプライン補間法が区間を低次元多項式で結ぶものであるのに対し、エルミート補間法が滑らかな三次元曲線により補間する手法であるという違いから生じたものと考えられる。Fig 3にニューラルネットワークを使用した地盤の沈下量予測精度の検討を沈下板No.4, No.6双方について示す。No.4においては

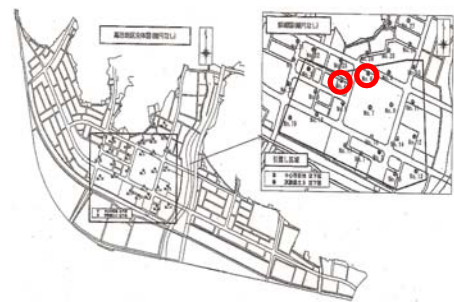


Fig 1 陸前高田地区 観測点位置図

Table 1 観測点データ

観測点	No.4	No.6
観測開始年日	2014/12/10	2014/10/16
観測終了年日	2015/9/24	2015/5/5
最大盛土厚(m)	8.4	6.8
最終沈下量(m)	0.199	0.480

*岩手大学大学院総合科学研究科, **北海道庁, ***岩手大学農学部
1 Graduate school of General Sciences, Iwate University, 2 Hokkaido Government,
3 Faculty of agriculture, Iwate University,
キーワード: ニューラルネットワーク エルミート補間 スプライン補間

沈下量比 $R=75\%$ 、No.6 においては $R=84\%$ までのデータを教師データとして使用した。これから、No.4 で顕著であるようにスプライン補間法から予測した挙動がばらつきの大きく沈下を過大評価する傾向であるのに対し、エルミート補間法から出力した結果では終始滑らかな沈下予測挙動を示している。Table 2 は、本モデルによる予測結果の精度を比較した表である。二乗平均平方根誤差 RMSE は学習誤差を示している。この表から全ての学習誤差は 0.01 から 0.18 と低い値を示していることが分かる。このことから本ネットワークモデルの学習障害はなかったことが分かる。観測点 No.6 においては、補間法の違いによる平均予測率に及ぼす影響が No.4 ほど明白ではなかった。これは No.6 の実測データの変動が No.4 よりも低く安定した挙動を示していたためであると考えられる。このように観測したデータの変動が不規則である場合、オーバーシュートを生じず振動が少ないエルミート補間法を採用すると予測精度が向上することが分かった。

また、エルミート補間法を採用したデータを使用し、盛土築造後から 10 年および 20 年経過した地盤沈下の将来予測を行った (Fig 4)。なお、この予測は Table 1 の実測データに基づくものであり、最終観測日以降の盛土地盤状況の変化は考慮されていない。最大盛土厚に達したときの地盤の沈下量は、No.4 において 14.6 cm、No.6 において 41.5 cm であった。これに対して本モデルによって予測した 10 年、20 年後の地盤沈下量は、No.4 ではそれぞれ 23.5 cm、23.6 cm、No.6 ではそれぞれ 51.9 cm、52.0 cm と算出された。計測された沈下量と比較すると、約 10 cm ほど地盤の沈下が進むと予想される。現場の動態観測に基づく代表的な沈下予測手法として双曲線法が知られ、国内外で多用されている。双曲線法による予測では、No.4 において 22.5 cm、No.6 において 49.0 cm となった。本モデルの予測値と比較すると過小ではあるが、概ね等しい値となっていることが分かる。今後の継続的な観測と検証が望まれる。

4. まとめ

本研究では、観測初期の限られた実測値に基づく地盤圧密沈下予測法の構築を目的とし、ニューラルネットワークによる沈下予測手法を使用し盛土地盤沈下の予測とその精度について検討した。本研究で用いた実測値は不規則に変動していたため、学習データの規則性を向上させるため、2 種類の補間法を用いて等時間間隔データを作成した。エルミート補間法による値は、データが平滑ではない場合、スプライン補間法の値と比べて地盤の沈下挙動をより適切に表現することが分かった。ニューラルネットワークを使用した地盤の沈下量予測精度を検討した結果、エルミート補間法を使用した場合、沈下量を過大評価する傾向にあるが、地盤の沈下挙動を再現することが分かった。本モデルによって予測した 10 年後、20 年後の地盤沈下量は、No.4 ではそれぞれ 23.5 cm、23.6 cm、No.6 ではそれぞれ 51.9 cm、52.0 cm と算出された。今後の継続的な観測と十分な検証が必要である。

参考文献

- 金山素平, 山下裕貴, 東孝寛, 大坪政美(2009): 実測値に基づいた圧密沈下予測手法の検討 —ニューラルネットワークを利用した沈下予測—, 農業農村工学会論文集, 259, 61-69.
- Kanayama, M., Alexander, R. and Leon, A. P. (2014): Using and improving neural network models for ground settlement prediction, Geotechnical and Geological Engineering, 32(3), 687-697.
- 都市再生機構(2016): 許容残留沈下量に対する盛土の沈下量評価業務 報告書 [高田地区中心市街地], 1-6.

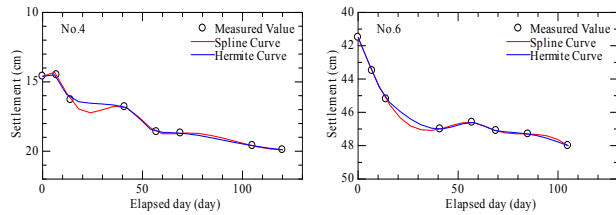


Fig 2 補間法の違いによる沈下挙動の変化

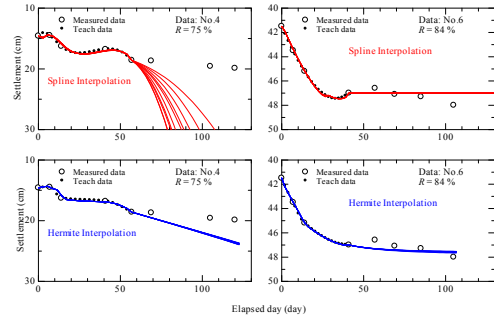


Fig 3 地盤の沈下量予測の検討

Table 2 予測結果の精度の比較

観測点	RMSE		平均予測率	
	Spline	Hermite	Spline	Hermite
No.4				
R(%)				
75	0.10	0.10	2.12	1.12
94	0.18	0.14	1.02	1.01
No.6				
R(%)				
84	0.03	0.01	0.99	1.00
89	0.06	0.13	0.99	1.00

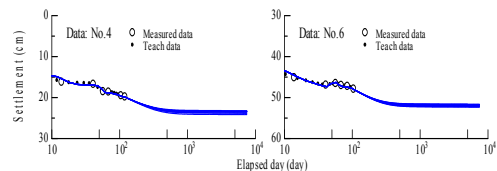


Fig 4 地盤沈下量の将来予測