

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K05880

研究課題名（和文）機械学習に基づく農業水利施設設計の完全自動化

研究課題名（英文）Automization of structural design based on machine learning

研究代表者

珠玖 隆行（Shuku, Takayuki）

岡山大学・環境生命科学学域・准教授

研究者番号：70625053

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、「機械学習に基づいた農業水利施設設計の完全自動化」の実現へ向けた基礎的研究課題、具体的には完全自動化のための要素技術の開発に取り組んだ。本研究を通して、限られた地盤調査データから、設計に利用可能な3次元の地盤モデルを自動で構築できる方法論の構築、設計計算（力学モデルを用いた計算）を実施することなく設計結果が得られるサロゲートモデルを構築、することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで技術者により行われていた設計を機械により代替しようとする研究であり、業務の効率化だけでなく、技術者不足という業界の根本的な問題の解決にも貢献できる社会的意義のある研究である。また、データの少ない施設設計・施工の分野でも機械学習の方法論が適用可能であることを示した学術的意義もある研究である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project is to develop methodologies which can contribute to design full automation for infrastructures. Through this project, we have developed 1) the method that can create three-dimensional subsurface model with limited site investigation data and 2) a statistical model to perform design calculation without mechanical calculation or computation.

研究分野：農業農村工学

キーワード：機械学習 設計自動化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年の機械学習の方法論およびコンピュータの著しい発達により、現在の仕事の多くが人工知能によって代替される可能性が指摘されている。とくに、Frey and Osborne (2013) は現在の仕事の多くが人工知能に代表されるコンピュータに代替される可能性について定量的に検討し、英国では約 35%、米国では 47%、日本では 49% の労働人口がコンピュータ技術に代替されることを示した。この論文の社会的なインパクトは大きく、機械学習や人工知能に関する実用研究を加速させる一つのきっかけとなった。彼らの研究の中で、土木建設に関わる仕事の中でも、測量や地盤調査などの単純作業はコンピュータに代替される可能性が高いと示した一方、設計技術者が行う「仕事」に関しては代替可能性が低いとしている。この理由として、設計技術者には機械が習得することが困難な創造性や社会的知性が要求されることを挙げている。このような研究と並行して、実際に、建設工事に情報通信技術 (ICT) を有効活用しようとする「i-Construction」が国土交通省により推進され、ドローンによるレーザー測量や無人バックホウによる土構造物の無人化施工が実現している。一方で、施設・構造物の設計に関しては、依然として技術者の深い経験や高度なセンスが要求されるとし、そのコンピュータへの代替可能性についてはほとんど議論されていない。しかしながら、技術者の高齢化が急速に進行するとともに、その確保が困難となっている状況を踏まえると、現在は極めて困難であると認識されている設計技術者のコンピュータ技術への代替の可能性や施設の設計・施工の完全自動化に関する研究が、近い将来求められる。【参考文献】 Frey, C. B. and Osborne, M. A.: The future of employment: How susceptible are jobs to computerization, University of Oxford, pp.1-72, 2013.

2. 研究の目的

本研究は、最新のデータサイエンスに基づいて施設設計を自動化しようとするものであり、これまでに単純作業の代替手段としての応用を中心に発展してきたコンピュータに、高度な判断が要求される「設計」を代替できる方法論 (アルゴリズム) を構築する。

3. 研究の方法

本研究では、設計における 2 つのプロセス、地盤の自動モデル化、設計 (構造計算、力学計算) の自動化、に取り組んだ。に関しては、現在技術者が実施している「少ない原位置調査データから、地盤の 3 次元構造を推定する」というプロセスの自動化に取り組んだ。具体的には、ベイズの定理に基づいた機械学習の方法を地盤のモデル化用に高度化し、高度化した方法の有効性を数値実験および実データとの比較により検証した。に関しては、設計計算を代替することができる統計モデル (サロゲートモデル) の構築に取り組んだ。具体的に、モデル選択とパラメータ推定を同時に実行できるスパースモデリングと呼ばれる方法論に着目し、施設設計に特化したモデルを構築した。構築したモデルの精度検証として、実際に力学計算した結果と、統計モデルによる結果を比較した。

4. 研究成果

地盤の自動モデル化

提案手法により推定した地盤のモデルと実際の地盤モデルの比較を図 1 に示す。対象とした地盤は 3 層からなり、図 2 と表 1 に推定に用いたデータをまとめている。真の地盤断面図は非常に複雑な構造をしているが、提案手法にどの程度不均質な地盤が再現可能かを確認した。データが少ない場合 (T1)、推定精度が低くなったが、T2 や T3 を用いた推定結果は、不均質な地盤断面図の特徴を捉えることができている。とくに T3 に関しては、ほぼ真の地盤と同じような断面図が推定できている。提案手法は、原位置で得られたデータを機械 (アルゴリズム) に入力すれば、自動で地盤モデルを推定してくれるため、本研究を通して、設計の完全自動化に貢献できる技術を開発することができた。

設計計算の自動化

地盤構造物の有限要素解析を対象とした代替モデルを図 3 に示す。代替モデルを構築する方法として、Ridge 回帰と lasso (スパースモデリング) を用い、精度の比較も実施した。図 3 において、曲面が代替モデル、プロットが代替モデルの構築に用いたデータを表している。この問題においては、学習データ数は 200 である。図 4 は、代替モデルを用いて実施したモンテカルロ計算と、有限要素解析を用いて実施したモンテカルロ計算の比較を示している。有限要素解析の結果が真のデータであり、代替モデルがどの程度この真のデータを捉えることができるかを検証した。精度を定量的に評価するため、KL-divergence を計算し比較した。Ridge と lasso によるモデルの KL-divergence はそれぞれ 0.0658 と 0.0301 となった。値が小さいほど、真の分布に近いことから、lasso のほうが精度が高いことが明らかとなった。しかしながらどちらのモデルを用いたとしても工学的に十分な精度で構造計算を代替できるモデルが構築できた。

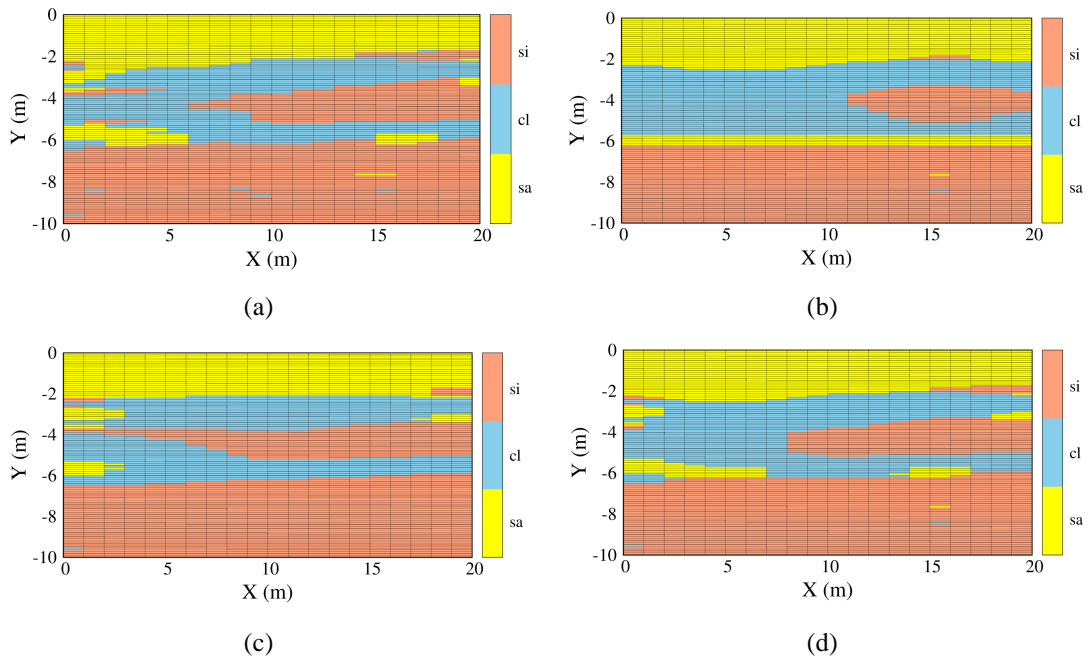


図1 提案手法による地盤断面図の推定，(a)真の地盤モデル，(b)T1の結果，(c)T2の結果，(d)T3の結果

表1 推定に用いたデータ

データセット	ボーリングの数と場所
T1	2 (BH2, BH4)
T2	3 (BH1, BH3, BH5)
T3	5 (BH1, BH2, BH3, BH4, BH5)

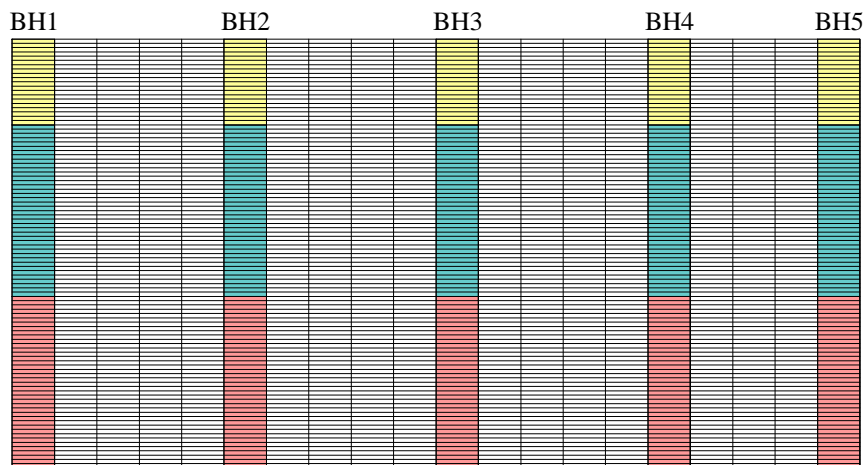


図2 推定に用いたボーリングデータの位置

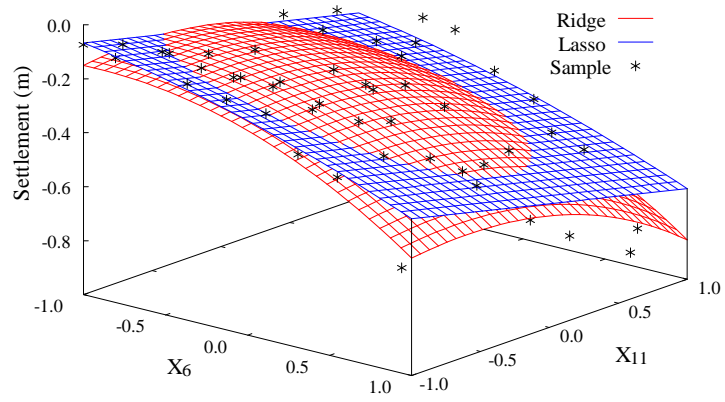


図3 地盤構造物の有限要素解析を代替するモデル

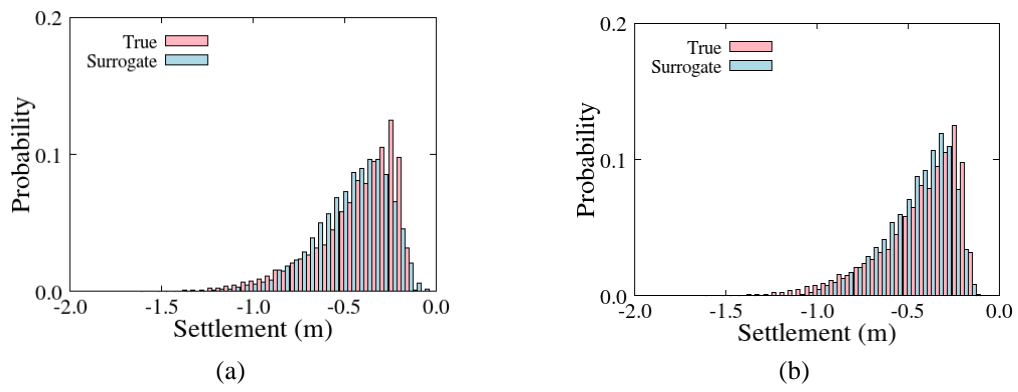


図4 モンテカルロ計算（確率分布）の比較，(a) Ridge，(b) Lasso

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shuku Takayuki, Phoon Kok-Kwang	4. 巻 17
2. 論文標題 Data-driven subsurface modelling using a Markov random field model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards	6. 最初と最後の頁 41 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17499518.2023.2181973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shuku Takayuki, Phoon Kok Kwang	4. 巻 9
2. 論文標題 Comparison of Data-Driven Site Characterization Methods through Benchmarking: Methodological and Application Aspects	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 10.1061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/AJRUA6.RUENG-977	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Phoon Kok-Kwang, Cao Zi-Jun, Ji Jian, Leung Yat Fai, Najjar Shadi, Shuku Takayuki, Tang Chong, Yin Zhen-Yu, Ikumasa Yoshida, Ching Jianye	4. 巻 62
2. 論文標題 Geotechnical uncertainty, modeling, and decision making	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101189 ~ 101189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2022.101189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 SHUKU Takayuki, YAMAMOTO Shinya	4. 巻 78
2. 論文標題 A STUDY ON OPTIMAL DESIGN OF GEOTECHNICAL STRUCTURES USING QUANTUM ANNEALING	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. C (Geosphere Engineering)	6. 最初と最後の頁 116 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejge.78.2_116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Shuku and J. Ching	4. 巻 6
2. 論文標題 Case Histories on 2D/3D Underground Stratification Using Sparse Machine Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Geoenvironment Case Histories	6. 最初と最後の頁 35-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4417/IJGCH-06-04-03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Phoon Kok-Kwang, Shuku Takayuki, Ching Jianye, Yoshida Ikumasa	4. 巻 1
2. 論文標題 Benchmark examples for data-driven site characterisation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards	6. 最初と最後の頁 1~23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17499518.2022.2025541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shuku Takayuki, Phoon Kok-Kwang	4. 巻 133
2. 論文標題 Three-dimensional subsurface modeling using Geotechnical Lasso	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 104068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2021.104068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshida Ikumasa, Shuku Takayuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Bayesian Updating of Model Parameters by Iterative Particle Filter with Importance Sampling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 4020007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/AJRUA6.0001047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shuku Takayuki、Phoon Kok-Kwang、Yoshida Ikumasa	4. 巻 128
2. 論文標題 Trend estimation and layer boundary detection in depth-dependent soil data using sparse Bayesian lasso	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 103845 ~ 103845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2020.103845	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Phoon Kok-Kwang、Ching Jianye、Shuku Takayuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Challenges in data-driven site characterization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17499518.2021.1896005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Shuku, M. Nishio, S. Nishimura, T. Shibata	4. 巻 1
2. 論文標題 Surrogate models based on sparse estimation for geotechnical reliability analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 16ARC	6. 最初と最後の頁 TC304-006-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 珠玖隆行・津田大成・西村伸一・柴田俊文	4. 巻 9
2. 論文標題 機械学習に基づく室内試験用メタンハイドレートサンプルの自動選択	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 構造物の安全性および信頼性	6. 最初と最後の頁 523-524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takayuki Shuku
2. 発表標題 Automatic Selection of Methane Hydrate Soil Samples Based on Statistical Data Analysis
3. 学会等名 7th Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Application (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takayuki Shuku
2. 発表標題 A Sparse Polynomial Surrogate Model for Geotechnical Reliability Design
3. 学会等名 7th Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and Its Application (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Takayuki Shuku's website https://sites.google.com/view/takayukishukuswebsite/home 研究者個人website https://sites.google.com/view/takayukishukuswebsite/home
--

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------