

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780235

研究課題名(和文) データ同化に基づいた環境に配慮した農業施設の設計・施工・維持管理システムの構築

研究課題名(英文) Development of a design method for agricultural hydraulic systems based on data assimilation

研究代表者

珠玖 隆行 (Shuku, Takayuki)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・助教

研究者番号：70625053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「データ同化に基づいた設計・施工・維持管理システム」を新たに構築することを目的とし、3年間研究を実施した。得られた主要な成果は以下の通りである。1)地盤工学的問題に特化したデータ同化手法(アルゴリズム)の提案とその精度検証、2)建設工事にかかる費用だけでなく、環境負荷も考慮した新しい意思決定基準、Life Cycle and Environmental Costを新たに提案し、数値実験によってその有用性を示した。、3)模型実験により構造物の施工過程を再現できる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research project is to develop a support system of hydraulic structures for irrigation and drainage based on data assimilation. We achieved the following three tasks:1) We developed an algorithm of data assimilation which can be applied to geotechnical problems and verified its applicability, 2) We proposed a new ecofriendly Life Cycle Cost criteria and studied its usefulness through numerical experiments, 3) We confirmed that model tests for construction process of structures can be designed.

研究分野：地盤工学

キーワード：データ同化 ライフサイクルコスト 模型実験

1. 研究開始当初の背景

国内の社会資本整備に関する研究の動向は、以下に示す3つのテーマによって特徴付けられる。

- 1) WTO/TBT協定に端を発する技術基準の国際化、およびこれまでの仕様規定型設計法に代わる新しい設計手法(性能規定型設計法)に関する研究
- 2) 無人化施工等の ICT (Information and Communication Technology, 情報通信技術)に関する研究、および ICT を活用した情報化施工の一般化・実用化に関する研究
- 3) 更新時期を迎えた大量の社会資本の維持管理・更新手法の開発、およびアセットマネジメントに関する研究

これらの研究は、設計・施工・維持管理のそれぞれの分野で進められ、成果が挙げられているものの、設計～施工～維持管理を統合して支援する方法論についてはほとんど議論されていないと言える。また、農業施設の中でも土構造物を対象とした研究やその実務への応用については、コンクリート構造物や鋼構造物のそれらと比較して遅れているのが現状である。これは、土構造物の設計・解析手法の精度の低さに起因するものであり、土構造物で扱う不均質な地盤材料の力学特性は、土骨格と間隙水の相互作用によって大きく変化し、近年の精緻なシミュレーションモデルを用いたとしても、実地盤の挙動を正確に把握することは困難である。さらに、解析に用いる地盤定数の設定には高度な技術的判断が要求され、その判断によって結果が大きくばらつくことが知られており、安定して信頼性の高い解を得るためには未だ多くの課題が残されている。これまで土構造物の信頼性設計法・解析法に関する研究は多数実施されているものの、設計や施工、維持管理を統合的に扱う方法論の研究はほとんど実施されていない。農業施設(土構造物)を対象とした設計・施工・維持管理の意思決定では、依然として経験的な判断が多く、最先端技術の採用に際しても、その初期投資額にのみ着目してしまい、生涯費用という観点から意思決定がなされることは少ない。また、たとえ既存の LCC 基準を用いて意思決定を行ったとしても、環境負荷や環境リスクを考慮しないことが多く、最も環境コストのかかる方法を最適案とみなす可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、各分野で発達してきた技術を統合した設計・施工・維持管理を逐次的に支援できるシステムを構築し、最新技術の有効性を定量的に示すとともに、環境負荷や環境リスクを考慮した新しい意思決定基準を提案し用いることで、高い効率性と

品質を有する環境にやさしい社会資本を提供することを目的とする。

3. 研究の方法

先述した背景およびこれまでの研究成果をもとに、本研究では以下の課題に取り組んだ。

1) 地盤工学的問題に特化した粒子フィルタアルゴリズムの開発: 弾塑性モデルのパラメータ同定に適用可能な逐次重点サンプリング (Sequential Importance Sampling, SIS) と粒子の退化を解決するアルゴリズムである融合粒子フィルタ (Merging Particle Filter, MPF) を組み合わせた新しいアルゴリズムを提案し、数値実験によりその適用性を検証した。

2) 環境負荷・環境リスクを考慮した新しい意思決定基準の提案: 環境のような「非市場財(市場価格を持たないような財)」を定量化するために、社会科学・経済学の分野で発展してきた仮想評価法 (Contingent Valuation Method, CVM) に着目し、アンケート調査により、環境の価値の定量化を試みた。さらに、推定した環境価値の設計への適用例を数値実験により示した。

3) 模型実験による構造物施工過程の再現: 遠心模型実験を用い、構造物の施工過程を再現した。さらに、実験により得られた計測データを、実構造物の観測データとみなし、提案したデータ同化手法を適用し、その実用性について検証した。

4. 研究成果

得られた主要な結論を以下にまとめる。

1) 地盤工学的問題に特化した粒子フィルタアルゴリズムの提案: 図1は、提案した粒子フィルタアルゴリズムの弾塑性パラメータ同定問題への適用結果を示している。図の縦軸がパラメータ、横軸が計算ステップを表す。比較のため、既存の粒子フィルタアルゴリズム、SIR、SIS、MPFの結果も併せて示した。「Proposed」が提案手法による結果を示している。図より、SISとProposedは真値に収束しているが、その他のアルゴリズム、SIRとMPFは真値に収束していない。提案手法は弾塑性のパラメータ同定にも適用可能であることがこの結果から理解できる。さらに、退化の程度を確認するために粒子の頻度分布に着目する(図2)。SISの結果に着目すると、3500あたりの頻度が最も高く、その他の頻度はそれと比較して小さくなっている。一方、提案手法では、正規分布を示しており、SISと比較して、分布の推定精度が高いと言える。よって、提案したアルゴリズムは地盤弾塑性問題に適用できると同時に、退化の

問題も防ぐことができる。

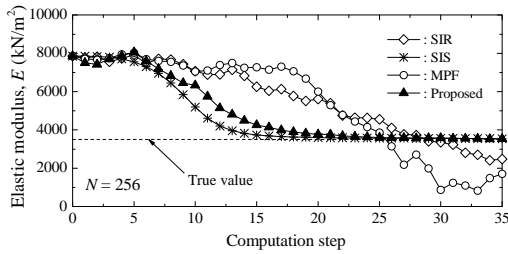


図1 パラメータ同定結果

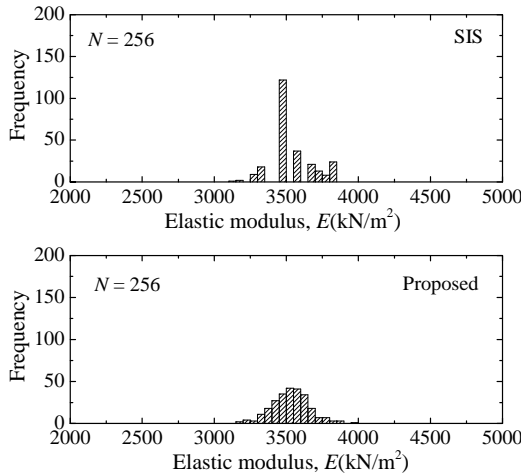


図2 粒子の分布性状

2)環境負荷・環境リスクを考慮した新しい意思決定基準の提案：本研究では、生態系（具体的にはアユの産卵場）を保全するための支払意思額（Willingness To Pay, WTP）を明らかにすることを主目的とし、仮想評価法に関するマニュアルを参考に質問票を作成した。使質問票の配布は岡山県在住の一般県民を対象に web 上で行い（2013 年 12 月）、300 の有効回答が得られた。全回答者における男女の割合は、男性 165、女性 135 であった。CVM により得られた生態系の価値に関する生存関数を図 3 に示す。縦軸は受諾確率、横軸は支払意思額を表す。この関数を積分することで、環境の価値が以下のように得られる。

$$E[WTP] = \int_0^{\infty} x \cdot \exp(-0.0008x) dx \quad (1)$$

$$= 1250(\text{JPY})$$

ここで $E[\cdot]$ は期待値、 x は支払意思額を表す。この値を用いることで、建設工事によって失われる生態系の経済的価値を評価することが可能となる。

さらに、得られた環境の価値を用いて、図 4 に示す河川掘削工事の中で最も環境負荷の小さい施工案を同定した。その結果を表 1 に示す。表の C_e が環境負荷額を表し、この値が大きいくほど、環境への負荷が大き

いことを意味する。計算の詳細は割愛するが、本研究で得られた環境の価値を用いることで、環境の負荷を考慮した構造物の設計・施工が実現できることがわかる。

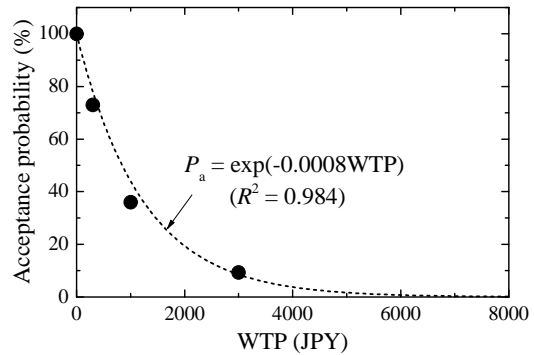


図3 支払意思額の生存関数

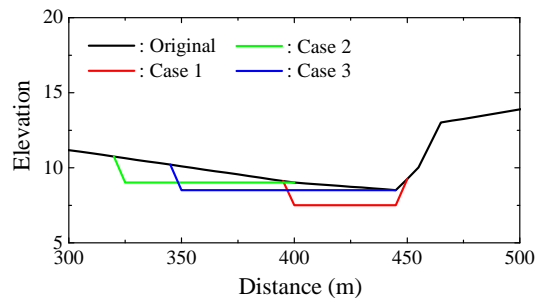


図4 河川掘削工事案（3 ケース）

表 1 各掘削ケースの生態系の経済的損失

Case	$\beta \times C_{e0}$	C_e (MJPY)
0	0.000×71.36	0.00
1	0.127×71.36	9.06
2	0.131×71.36	9.35
3	0.136×71.36	9.70

3)模型実験による構造物施工過程の再現：図 5 に示す容器に、カオリンを用いて地盤を作成し、その地盤上に盛土を建設する過程を再現する実験を実施した。その際、図 6 に示す手順に従って実験を行った。盛土は 3 層に分けて盛立て、その際の側方変位および沈下を観測した。観測は地盤中に乾麺を埋め込んだターゲットの移動量を計測することで行った。計測データの一例を図 7 に示す。図には載荷荷重の継時変化も示した。図より、盛土建設に伴って、基礎地盤が沈下していく様子が再現できていることが分かる。しかしながら、軟弱地盤で観測されるような残留沈下は観測されなかつ

た .

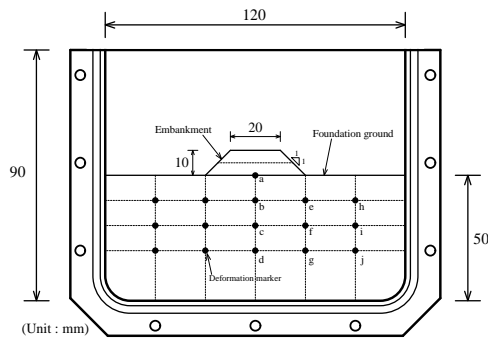


図5 模型実験の概要

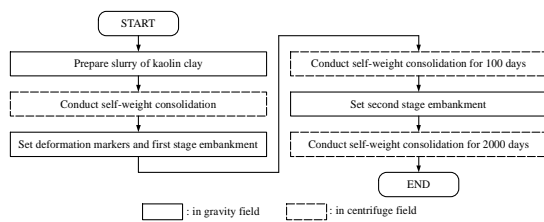


図6 実験の手順

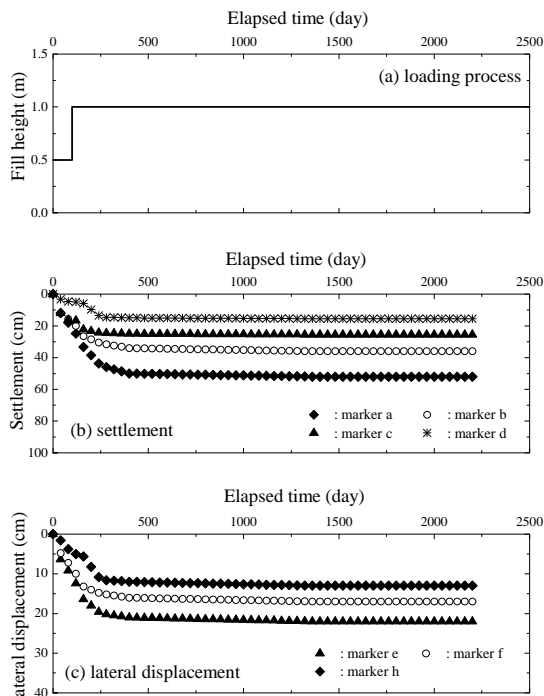


図7 実験結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Shuku, T. A., Nishimura, S., Murakami, A. and Fujisawa, K.: A new sampling algorithm

in particle filter for geotechnical analysis, *Geotech. Eng. J. SEAGS & AGSSEA*, Vol.43, No.3, pp.32-39, 2013 (査読有り).

[学会発表](計5件)

珠玖隆行, 下門靖尚, 西村伸一, 柴田俊文: 仮想評価法による河川生態系の経済価値の推定, 第49回地盤工学研究発表会, (北九州), 北九州国際会議場, 2014, 7月17日.

下門靖尚, 珠玖隆行, 西村伸一, 柴田俊文: 経済性と環境負荷を考慮した地盤構造物の設計例, 第49回地盤工学研究発表会(北九州), 北九州国際会議場, 2014, 7月17日.

Shuku, T., Nishimura, S. and Shibata, T.: Centrifuge evaluation of data assimilation for deformation behavior of clay foundation, *Proc. 1th Int. Conf. Civil and Build. Eng. Inf.(Tokyo)*, pp. 225-233, JASSO, 7th November, 2013.

Shuku, T., Nishimura, S., Shimokado, Y. and Shibata, T.: An eco-friendly design method for geotechnical structures based on LCC, *Life-Cycle of Structural System* (Tokyo), Waseda University, pp.1398-1404, 18th November, 2014.

Shuku, T., Nishimura, S. and Shibata, T.: Observational design method for earth structures using particle filter, *Proc. of the 2th ICVRAM and the 6th ISUMA* (UK, Liverpool), Liverpool University, 14th July, pp.2449-2458, 2014

[その他]

ホームページ等

<http://www.eme.okayama-u.ac.jp/Sections/SHISETSU/shuku/shuku.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

珠玖 隆行 (SHUKU Takayki)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・助教

研究者番号: 70625053