

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20380136

研究課題名 (和文) 土構造物ストックマネジメントのための統合化計測/データ同化による機能診断システム

研究課題名 (英文) System of Functional Diagnosis for Stock Management of Soil Structures Based on Integrated Measurement/Data Assimilation

研究代表者

村上 章 (MURAKAMI AKIRA)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：80157742

研究成果の概要 (和文)：

土構造物を対象として、そのストックマネジメントに必要な統合化計測～データ同化・機能診断～リスク評価～LCC 算定の総合的なシステムの確立を目論んだ。研究期間において、高精度表面波探査装置を岡山市内ため池堤体に持ち込み、相関式を用いて N 値空間分布を求め、堤体と地山の境界が明確であることなど基本的な特性を把握した。さらに、データ同化を用いた土構造物の劣化判定を試み、豪雨によるため池破堤のリスクおよび LCC 算定法を提案した。

研究成果の概要 (英文)：

This research aimed to establish the system of functional diagnosis for stock management of soil structures using integrated measurements, data assimilation, risk evaluation, and estimation of LCC. The spatial distribution of the strength parameters of decrepit earth-fill dams, and the identification methods of distribution are discussed. Generally, the strength of the earth-fill is predicted from the SPT N-values. While, in this research, the Swedish Weight Sounding Tests (SWS Tests) are conducted to obtain the spatial distribution of the N-values as the simpler method, and the statistical model of the N-values is determined based on the sounding tests. For this task, the Minimizing Akaike's Information Criteria (MAIC) method is employed, and the semi-variogram method is also used to identify the spatial correlation characteristics. The spatial distribution of the N-value is identified from the sounding tests with high resolution, since the point estimations are obtained with short intervals. To interpolate the point estimate values, the indicator simulation method, which is one the geostatistical methods, is employed. In the method, the hard data (primary data) and the soft data (complementary data) can be used simultaneously. Results from the SWS and the Surface Wave Method (SWM), which is one of the geophysical exploration methods, are dealt with as hard and soft data, respectively. With synthesizing two results, the accurate spatial distribution of the N-values can be identified.

A computational method, incorporating the finite element model into data assimilation using the particle filter, is presented for identifying deteriorated area within soil structures based on measured data on the settlement and the pore pressure. The effect of improving of the embankment is evaluated in relation to the safety of the embankment against the earthquake and the heavy rain within the framework of the reliability-based design. Risk and the LCC of the soil structures are evaluated from the overall considerations listed above.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学 農業土木学・農村計画学

キーワード：土質力学・応用力学

1. 研究開始当初の背景

農業水利構造物のストックマネジメントは喫緊に要請されている社会的課題であり、本研究の中心課題もこれに資することを目的とした。ストックマネジメントの中心対象となる施設はコンクリート構造物が主体であるが、本研究では特に土構造物を対象として、そのストックマネジメントに必要な統合化計測～データ同化、機能診断～リスク評価～LCC算定の総合的なシステムの確立を目論んだ。

2. 研究の目的

土構造物に関する劣化診断技術は、コンクリート構造物のそれに比べれば、未だ発展段階にあり個々の要素技術にとどまっている。上記の統合化計測項目に、表面波探査、比抵抗映像法探査等の非破壊探査を加えるとともに、データ同化から得られる変形・応力状態や、観測に基づいて再構成された物性パラメータ値も考慮して、本研究では土構造物の機能診断を総合的に行う技術を確立する。

一方、上記の総合的な機能診断と並行して、土構造物の劣化モデルを構築し、劣化度スコアにより将来の性能を予測する。同時に予測性能に基づき、土構造物のリスクやLCCの評価式を算定し、これを最小化する改修までの供用期間、改修方法について検討する。特に本研究では、計測の統合化、データ同化による予測・機能診断に加えて、研究分担者の研究成果によるリスク評価およびLCC算定に関する新しい手法を有機的に結合させ、総合的なシステムの確立を目指した。

3. 研究の方法

N値の統計モデルに基づく堤体内部の劣化箇所の診断法と信頼性解析法について検討した。サウンディングから決定されたN値の統計モデルに、表面波探査から得られた情報を組み合わせることによって、より信頼性の高いN値の強度分布を推定するのが、その特色であ

る。まず、サウンディング試験結果からN値の空間分布を表現するために、堤体縦断面に関して統計モデルを検討した。次に、この統計モデルに基づき、地質統計学の一手法であるインディケータシミュレーション法 (IS) を利用して、N値空間分布の推定を行った。本手法によって、平均N値の空間分布やN値が、管理基準として設定したN値の閾値を下回る確率を求めることができる。この確率値の経時変化から、劣化の進行度合いが推定でき、堤体の維持管理に役立つと考えられる。さらに、決定したN値の統計モデルの横断面に対するモデルを決定し、堤防の安定解析を行った。円弧すべりによる安定解析法にモンテカルロ法を適用し、破壊確率を求めた。最終的に、堤防の改修前と改修後の破壊確率を求めることによって、信頼性設計を実施した。計算された破壊確率を利用して、期待総コスト (LCC) を求め、堤体の改修の効果を評価した。

上記とは別に、堤体への載荷試験に伴う変形を計測し、内部の劣化箇所の同定を行う方法を検討した。手法の実問題への適用可能性を実証するため、既設設備である室内模型遠心実験装置を用いて空洞を有する飽和粘土地盤を作成し、変形観測を実施した。これに、粒子フィルタを利用して地盤内の空洞の大きさと位置を検出する手法の開発を行った。用いる粒子の相関性を考慮した方法によって、予測精度が向上することを明らかにした。

4. 研究成果

当初予定した研究計画をほぼ達成し、その成果は国内・国際論文誌に投稿した。掲載決定したものは下記5. に掲げており、その他に査読中の論文も数編ある。

今後は、平成23年度より採択された基盤研究(A)「データ同化による越流侵食リスクに基づく農業水利施設(群)のアセットマネジメント」(代表：村上 章)において、得られた成果を発展させる方針である。

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 21 件)

- ① Shibata, T. and Murakami, A. (2011): A stabilization procedure for soil-water coupled problems using the Element-Free Galerkin Method, Computers and Geotechnics, doi:10.1016/j.compgeo.2011.02.016, 査読有
- ② 西村伸一, 高山裕太, 鈴木 誠, 村上 章, 藤澤和謙 (2011): 堤体盛土におけるN値空間分布の推定, 土木学会論文集 (掲載決定済み), 査読有
- ③ Murakami, A., Nishimura, S., Suzuki, S., Mori, M., Kurata, T. and Fujimura, T. (2011): Determination of the partial factors for the verification of the bearing capacity of shallow foundations under open channels, Georisk (掲載決定済み), 査読有
- ④ Fujisawa, K., Kobayashi, A. and Aoyama, S. (2011 in print): Discussion of “Theoretical description of embankment erosion owing to overflow” Geotechnique, 59(8): 661-671 (2009), Geotechnique, 査読有
- ⑤ Fujisawa, K., Murakami, A. and Nishimura, S. (2010): Simultaneous modeling of internal erosion and deformation of soil structures, Geoenvironmental Engineering and Geotechnics: Progress in Modeling and Applications (GSP204), ASCE, pp.71-78, 査読有
- ⑥ Murakami, A., Wakai, A. and Fujisawa, K. (2010): Numerical methods, Soils and Foundations, Vol.50, No.6, pp.877-892, 査読有
- ⑦ Nishiyama, T. and Hasegawa, T. (2010): Finite element analysis for the shear strength appearing in in situ rock shear tests, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol.10, No.1, doi:10.1088/1757-899X/10/1/012084, 査読有
- ⑧ Fujisawa, K., Murakami, A. and Nishimura, S. (2010): Numerical analysis of the erosion and the transport of fine particles within soils leading to the piping phenomenon, Soils and Foundations, Vol.50, No.4, pp.471-482, 査読有
- ⑨ 珠玖隆行, 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙 (2010): 粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化, 応用力学論文集, Vol.13, pp.195-202, 査読有
- ⑩ 藤澤和謙, 西村伸一, 村上 章 (2010): 有限体積法による浸透流の動的挙動に関する数値解析, 応用力学論文集, Vol.13, pp.67-77, 査読有
- ⑪ Nishimura, S., Fujisawa, K. and Murakami, A. (2010): Reliability-based design of earth-fill dams based on the spatial distribution of strength parameters, Georisk, Vol.4, No.3, pp.140-147, 査読有
- ⑫ Hommels, A., Murakami, A. and Nishimura, S. (2009): A comparison of the Ensemble Kalman filter with the unscented Kalman filter: Application to the construction of a road embankment, GEO International, pp.52-54, 査読有
- ⑬ Fujisawa, K., Kobayashi, A. and Aoyama, S. (2009): Theoretical description of embankment erosion owing to overflow, Geotechnique, Vol.59, No.8, pp.661-671, 査読有
- ⑭ 村上貴志, 村上 章, 阪口 秀 (2009): 一面せん断強度に対する個別要素法パラメータの同定, 応用力学論文集, 第12巻, pp533-540, 査読有
- ⑮ 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一 (2009) (ア): 侵食速度を用いた土粒子流亡によるパイピングの進展解析, 応用力学論文集, Vol.12, pp395-403, 査読有
- ⑯ 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸, 樋口知之 (2009): 粒子フィルタによる地盤解析のデータ同化, 応用力学論文集, Vol.12, pp.99-105, 査読有
- ⑰ 西村伸一, 森 俊輔, 藤澤和謙, 村上 章 (2009): 豪雨時の越流破堤に対するため池堤体の信頼性設計, 応用力学論文集, Vol.12, pp.89-97, 査読有
- ⑱ 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一 (2009) (ア): 土の内部で生じる土粒子侵食の解析手法, 農業農村工学会論文集, 第260号, pp85-93, 査読有
- ⑲ 村上 章, 西村伸一, 鈴木 誠, 森 充弘, 倉田高士, 藤村達也 (2009): 開水路基礎の支持力問題における信頼性解析, 農業農村工学会論文集, 第260号, pp69-75, 査読有
- ⑳ 村上 章, 西村伸一, 鈴木 誠, 森 充弘, 倉田高士, 藤村達也 (2009): 開水路基礎の支持力照査における部分安全係数の算定, 農業農村工学会論文集, 第259号, pp.71-78, 査読有

- ⑫ Fujisawa, K., Kobayashi, A. and Yamamoto, K. (2008): Erosion rates of compacted soils for embankments, Journal of Geotechnical Engineering, JSCE, Vol. 64, No2, pp. 403-410, 査読有

[学会発表] (計 24 件)

- ① 片岡資晴, 村上 章, 大野進太郎, 藤澤和謙, 中村和幸 (2011): 弾塑性地盤挙動のデータ同化, 第 60 回理論応用力学講演会 (電子版), 東京工業大学大岡山キャンパス 2011. 03. 08.
- ② 福元 豊, 阪口 秀, 村上 章 (2010): DEM における地盤の破壊基準モデル化のための一軸圧縮シミュレーション, 第 67 回農業農村工学会京都支部研究発表会, pp. 2-3~2-4, 三重県総合文化センター 2010. 11. 18.
- ③ 片岡資晴, 村上 章, 藤澤和謙, 飯塚 敦, 大野進太郎 (2010): 粒子フィルタによる弾塑性モデルのデータ同化, 第 67 回農業農村工学会京都支部研究発表会, pp. 2-1~2-2, 三重県総合文化センター 2010. 11. 18.
- ④ 亀谷 聡, 西村伸一 (2010): 粒子フィルタによる盛土の劣化箇所の同定, 第 65 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp. 115-117, 山口教育会館 2010. 10. 27.
- ⑤ 西村友希, 西村伸一, 藤澤和謙, 珠玖隆行 (2010): 土構造物の長期沈下に関わる信頼性設計, 第 65 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp. 112-114, 山口教育会館 2010. 10. 27.
- ⑥ 辻林厚一, 藤澤和謙 (2010): 混合材料の侵食速度を堤体侵食に関する実験的研究, 第 65 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp. 121-123, 山口教育会館 2010. 10. 27.
- ⑦ 佐藤太一, 藤澤和謙 (2010): 有限体積スキームによる堤体の表面侵食計算法の開発, 第 65 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp. 91-93, 山口教育会館 2010. 10. 27.
- ⑧ 新名大輔, 藤澤和謙 (2010): 土中侵食の数値解析とそれによる変形を考慮した弾塑性モデル, 第 65 回農業農村工学会中国四国支部講演会, pp. 88-90, 山口教育会館 2010. 10. 27.
- ⑨ 柴田俊文, 林 芳信, 高田龍一 (2010): 水平荷重が作用するポール基礎部の砂地盤土圧特性, 第 65 回土木学会年次学術講演会, III-314, pp. 627-628, 北海道大学札幌キャンパス 2010. 09. 03.
- ⑩ 柴田俊文, 高田龍一, 林 芳信 (2010): 砂地盤におけるプレキャストコンクリートポール基礎の土圧特性, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, pp. 370-371, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス 2010. 09. 02.
- ⑪ 西山竜朗, 長谷川高士 (2010): 界面内蔵有限要素を用いた直接せん断の解析, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, pp. 318-319, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス 2010. 08. 31.
- ⑫ 藤澤和謙, 西村伸一, 村上 章, 辻林厚一 (2010): 土の侵食速度測定と室内越流破堤実験, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, pp. 326-327, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス 2010. 08. 31.
- ⑬ 西村伸一, 近藤祐介, 藤澤和謙 (2010): 堤体物性値の不確定性を考慮した洪水解析, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, pp. 322-323, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス 2010. 08. 31.
- ⑭ 村上貴志, 村上 章, 福元 豊 (2010): 個別要素法による土の破壊基準モデル化のための数値実験, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, pp. 320-321, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス 2010. 08. 31.
- ⑮ 村上 章, 片岡資晴, 珠玖隆行, 西村伸二, 藤澤和謙, 中村和幸 (2010): 粒子フィルタによる実地盤挙動のデータ同化, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, pp. 316-317, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス 2010. 08. 31.
- ⑯ 西村伸一, 土居慶彦, 藤澤和謙 (2010): 二次元圧密模型実験とモデルパラメータの同定, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 741-742, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 20.
- ⑰ 片岡資晴, 珠玖隆行, 村上 章, 藤澤和謙, 西村伸一, 中村和幸 (2010): 粒子フィルタを用いた地盤挙動観測値のデータ同化, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 761-762, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 19.
- ⑱ 珠玖隆行, 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸 (2010): フィルタ特性が地盤挙動のデータ同化結果に及ぼす影響, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 759-760, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 19.
- ⑲ 柴田俊文, 林 芳信, 高田龍一, 深田祐太郎, 三川翔平 (2010): 水平荷重を受けるポール基礎に作用する土圧の検討, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 1055-1056, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 18.
- ⑳ 高山裕太, 西村伸一, 鈴木 誠, 村上 章, 藤澤和謙: (2010): インディケータシミュレーションによる表面波探査とサウンディング試験結果に基づく N 値の合成, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 73-74, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 18.
- ㉑ 藤澤和謙, 西村伸一, 村上 章, 辻林厚

一 (2011) : 土の侵食速度測定と堤体の室内越流破壊実験, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp.1727-1728, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 18.

- ⑳ 福元 豊, 村上貴志, 村上 章 (2010) : 個別要素法における破壊基準モデル化のための一面せん断シミュレーション, 第 45 回地盤工学研究発表会, pp. 301-302, 愛媛大学城北キャンパス 2010. 08. 18.
- ㉑ 藤澤和謙, 村上 章, 西村伸一 (2010) : 有限体積スキームを用いた動的な作用を受ける浸透流の数値解析, 第 15 回計算工学講演会, pp. 949-952, 九州大学医学部百年講堂 2010. 05. 26.
- ㉒ 柴田俊文, 林 芳信, 高田龍一 (2010) : 砂地盤に作用するポール基礎の土圧分布特性, 第 62 回土木学会中国支部研究発表会 (電子版). 徳山工業高等専門学校 2010. 05. 15.

[その他]

ホームページ等

<http://www.agrifacility.kais.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 章 (MURAKAMI AKIRA)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号 : 80157742

(2) 研究分担者

西村 伸一 (NISHIMURA SHINICHI)
岡山大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号 : 30198501
西山 竜朗 (NISHIYAMA TATUROU)
愛媛大学・農学部・准教授
研究者番号 : 30294440
柴田 俊文 (SHIBATA TOSHIFUMI)
松江工業高等専門学校・准教授
研究者番号 : 30342546
藤澤 和謙 (FUJISAWA KAZUNORI)
岡山大学・大学院環境学研究科・講師
研究者番号 : 30510128

(3) 連携研究者

鈴木 誠 (SUZUKI MAKOTO)
清水建設・技術研究所・副所長
研究者番号 : 90416818