

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26252040

研究課題名(和文) 豪雨/地震災害リスク評価を考慮した農業水利施設(群)のアセットマネジメント

研究課題名(英文) Asset management of agricultural facilities considering risk evaluation of heavy rain/earthquake disaster

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,500,000円

研究成果の概要(和文)：地震災害リスクと豪雨災害リスクを統合したアセットマネジメントシステムの構築につき、任意年の地震リスク=損失額×地震損失確率を算定し、最終的にLCC=供用年内のリスク+改修費用+維持管理費用を得る。LCCを最小化することで最適な改修および維持管理方法を決定する。この解析を複数の対象地域(ため池群の流域とその下流地域)で実施し、一連の分析を統合化した意思決定システムを完成させた。上記の研究成果は、論文や口頭発表を通じて公表した。さらに、一般市民向け研究成果公開事業「京都大学アカデミックデイ」にて発表・説明した。

研究成果の概要(英文)：Asset management system for agricultural soil structures based on integration of disaster risk for both earthquake and heavy rain has been constructed. Minimized life cycle cost considering those risk, repair and management fare leads to optimal strategy of repair and management. This method is applied to several regions including irrigation pond and its basin. Results have been presented through journal manuscripts and national conferences, and also on the occasion of Kyoto University Academic Day.

研究分野：農業土木学

キーワード：アセットマネジメント 農業水利施設 地震災害リスク 豪雨災害リスク ライフサイクルコスト

## 1. 研究開始当初の背景

農業水利施設は、近年の豪雨・地震など自然災害の激甚化や老朽化に対応した防災・減災対策の強化が必要とされる。豪雨によるため池の破堤防止は地域環境保全の要因であるほか、地震についてはナショナル・レジリエンスに向けて農林水産分野に課せられた課題であり、ため池を初めとする農業水利施設の耐震診断、耐震化対策が求められる。両要因による災害リスク評価・マネジメントは喫緊の研究課題である。

豪雨災害リスクについて、越流（表面流による侵食）とパイピング（浸透流による内部侵食）に対する予測が必要となるが、その予測精度は高くない。その理由として、従来は表面流による侵食と浸透流によるそれとを別々に議論したが、実際の現象ではそれらが複合的に進行し、土構造物の劣化・崩壊につながる事が挙げられる。分担者らは両者について検討しており、本研究では表面流と浸透流による侵食が複合する現象を対象とした精度の高い被害予測法を開発する。

地震災害リスクについて、フィルタイプの堤体では地震によって堤軸方向に亀裂が生じることが多いが、このような損傷は堤体のせん断破壊防止を主眼とする国内外の現設計法では考慮されない。分担者らはこのような現象に関して室内模型実験を行い、堤体内に体積膨張ひずみが生じることを明らかにした。しかし、この現象を的確に再現する数値モデルの構築は難しく、堤体の不均一性を考慮した解析が必要である。そこで本研究では、実験結果の再現を目的としたモデルの開発を行うとともに、詳細な実験を遠心力載荷装置により実施する。

ため池のリスク評価・LCC算定および老朽化に対する維持管理について、信頼性設計理論をベースとした意思決定法の開発を行う。LCCは地震災害リスクに維持管理費と対策費を加算することにより評価される。リスク評価の研究については、その基礎となる地震ハザード・フラジリティ評価を含め、多くの研究が進展し、分担者らも土構造物の地震災害リスク評価に新たな成果を得た。リスク評価には合理的な地震被害想定が必要であるが、被害事象の多重性と複雑さのため十分な解決策がないほか、維持管理法と対策法も十分でない。本研究では合理的な被害想定法を確立するとともに、維持管理の基礎となる内部診断技術を開発する。内部診断には、サウンディングや物理探査が有効であるが、加えて堤体の経時的な変位観測をもとにデータ同化を行い、堤体強度分布の遷移を予測する。

## 2. 研究の目的

ため池などの農業水利施設（土構造物）を対象として、地球温暖化により激甚化する豪雨災害や、遠からず襲来が予想される東海・東南海地震の被害を防ぎ（防災）、軽減する（減災）こと、また老朽化した施設の機能を

診断し、長寿命化をはかることは、農業農村工学における喫緊の要請であるとともに、地盤工学上の重要な学術課題である。本研究の目的は、1) 豪雨災害リスク・地震災害リスクを水利施設(群)について評価し、経済的な改修・対策工を選定する手法を開発すること、2) 挙動観測に基づく構造物の内部診断を行い、補修工を策定することにある。最終的には、豪雨/地震災害リスク評価に対策費・維持管理費を同時に考慮したライフサイクルコスト（LCC）に基づく農業水利施設(群)のアセットマネジメントシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

土構造物の地震時挙動を評価するために、堤体のフラジリティ曲線（地震時損傷曲線）を数値解析で検討する。その妥当性の検証および地震時挙動の詳細把握のために、遠心力載荷装置を用いたモデル実験も行う。過去の補修データを用いてフラジリティ曲線から地震損失関数を算出することで、ため池堤体の地震災害リスクを評価するシステムを構築する。ついで、土の表面（越流破壊）/内部侵食（パイピング）について構築済みのモデルを高度化し、近年頻発する豪雨災害データベースでモデルを検証し、堤体の豪雨災害リスクを評価する。さらに、サウンディング・物理探査にデータ同化を加えた技術を開発させ、構造物の内部を可視化した機能診断をはかる。各リスク評価と機能診断に基づいて、最適な維持管理法や対策工法を選択するために、供用期間のLCC最小化に基づくアセットマネジメントシステムを完成させる。

## 4. 研究成果

平成28年度にはLCCの算定を行った。これにあたり、維持管理および改修のための対策工法の選定が要求される。対策工の選定のためには、内部診断結果に基づいて、複数の代替案が必要となる。例えば、堤体表面のみの補修・補強を行う場合から大規模な改修を行う場合まで、様々な対策レベルを検討する必要がある。この研究期間には、各対策が堤体の安定性に及ぼす影響について解析的に検討を進める。

平成29年度は、地震応答解析に地盤物性値のばらつき、地震波形の不確定性を考慮してモンテカルロ法を実施し、地震破壊確率の計算を行った。地盤物性値のばらつきは、決定した統計モデルから決定される。この際、換算誤差にもモンテカルロ法が適用される。地盤物性は、仮に土質試験から直接決定された場合、換算誤差が0であるので、安全性評価に対してインセンティブが与えられることになる。得られた破壊確率から、地震フラジリティ曲線が確定される。これに、地震ハザードから得られる地震の発生確率を乗じることで、任意年の地震損失確率が決定される。

対策工の程度が破壊確率に直接影響する

ため、地震損失確率は対策工のレベルをパラメータとした関数となる。一般に、大規模な対策になるほど破壊損失確率は減じるが、対策費用が増大することになる。すなわち、損失確率と対策費用はトレードオフの関係にある。

上記を統合したアセットマネジメントシステムの構築につき、平成 28~29 年度にかけて、任意年の地震リスク = 損失額×地震損失確率を算定し、最終的に LCC=供用年内のリスク + 改修費用 + 維持管理費用を得る。LCC を最小化することで最適な改修および維持管理方法を決定する。この解析を複数の対象地域(ため池群の流域とその下流地域)で実施し、一連の分析を統合化した意思決定システムを完成させた。

上記の研究成果は、論文や口頭発表を通じて公表した。さらに、一般市民向け研究成果公開事業「京都大学アカデミックデイ」にて発表・説明した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 78 件)

Sharma, V., Fujisawa, K., Murakami, A., Velocity based time-discontinuous Galerkin space-time finite element method for elastodynamics, Soils and Foundations, 査読有, Vol.58, 2018

Murakami, A., Shinmura, H., Ohno, S., Fujisawa, K., Model identification and parameter estimation of elastoplastic constitutive model by data assimilation using the particle filter, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 査読有, 2017  
DOI:10.1002/nag.2717

藤澤 和謙, 杉野 公亮, 村上 章, 鉛直上向き浸透流を受ける非粘着性材料の限界掃流力測定, 土木学会論文集B2(海岸工学), 査読有, Vol.73, No.2, 2017, I\_535-I\_540

Chaudhary, B., Hazarika, H., Murakami, A., Fujisawa, K., Mitigation of earthquake induced damage of breakwater by geogrid reinforced foundation, Marine Georesources & Geotechnology, 査読有, 2017  
DOI: 10.1080/1064119X.2017.1391902

Arimoto, S., Fujisawa, K., Murakami, A., Coupled analysis of Navier-Stokes and Darcy flows by the Brinkman equations, 査読有, Vol.48, No.4, 2017, 40-49

Nishimura, S., Shibata, T., Shuku, T., Imaide, K., Geostatistical analysis for identifying weak soil layers in dikes,

Geotechnical Risk Assessment and Management, Proc. of the Geo-risk 2017, 査読有, GSP285, 2017, 529-538

Suzuki, M., Yasutuki, Y., Hanada, K., Utsumi, H., Reliability of levees against seepage failure considering uncertainties of soil properties and occurrence of maximum floodway water level, Georisk 2017, 査読無, 2017, 609-618

Shuku, T., Fujisawa, K., Nishimura, S., Shibata, T., Numerical simulation of embankment failure due to overflow by Moving Particle Semi-implicit method, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, 査読有, Vol.84, 2016, I\_31-I\_38

Nishimura, S., Shibata, T., Shuku, T., Diagnosis of earth-fill dams by synthesized approach of sounding and surface wave method, Georisk, 査読有, Vol.10, 2016, 312-319  
DOI: 10.1080/17499518.2016.1197406

Nishimura, S., Shuku, T., Shibata, T., Reliability-based design of earth-fill dams to mitigate damage due to severe earthquakes, Georisk, 査読有, Vol.10, 2016, 83-90

Kobayashi, A., Liu, B., Tsukada, Y., Chijimatsu, M., Modeling of evaporation processes under the ground, International Journal of Geomate, 査読有, Vol.11, Issue 25, 2015, 2403-2409

Ibrahim, A., Zabri, A., Nakahata, K., Identification of elastic parameters of an inclusion by a particle filter using ultrasonic wave, International Journal of Mechanical and Material Engineering, 査読有, Vol.10, Issue 1, Article 23, 2015,  
DOI: 10.1186/s40712-015-0050-y

Shuku, T., Fujisawa, K., Nishimura, S., Shibata, T., Numerical simulation of embankment failure due to overflow by Moving Particle Semi-implicit method, IDRE Journal, 査読有, Vol.84, 2016, I\_31-I\_38

Nishimura, S., Shuku, T., Fujisawa, K., Prediction of multidimensional deformation behavior based on observed value, Int. J. of Geomech, 査読有, Vol.14, 2014, 04014011\_1-10,  
DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000334

藤澤 和謙, 村上 章, 鉛直上向きに生じる浸透破壊後の浸透流速と土粒子速度の予

測理論, 地盤工学ジャーナル, 査読有,  
Vol.9, No.4, 2014, 511-520

Nakahata, K., Chang, J., Takahashi, K.,  
Ohira, K., Ogura, Y., Finite integration  
technique for coupled acoustic and elastic  
wave simulation and its application to  
noncontact ultrasonic testing, Acoustical  
Science and Technology, 査読有, Vol.35,  
No.5, 2014, 260-268  
DOI: 10.1250/ast.35.260

〔学会発表〕(計 116 件)

藤澤 和謙, 村上 章, 杉野 公亮, 上  
向き浸透流作用下での限界掃流力測定, 第52  
回地盤工学研究発表会, 2017

古川 智大, 高松 亮佑, 村上 章, 中  
畑 和之, 藤澤 和謙, 粒子フィルタと弾性  
波探査シミュレーションによる地盤パラメ  
ータの推定, 平成29年度農業農村工学会大会講  
演会, 2017

中畑 和之, 辻田 篤史, 藤澤 和謙,  
村上 章, 粒子フィルタによる欠陥の位置と  
大きさの推定のための弾性散乱振幅の導入,  
第21回応用力学シンポジウム, 2018

西村 伸一, 水間 啓慈, 柴田 俊文,  
珠玖 隆行, 応答曲面法による豪雨時のため  
池破堤に関するリスク評価, 土木学会第72回  
年次学術講演会, 2017

Suzuki, M., Reliability of levees  
against seepage failure considering  
uncertainties of soil properties and  
occurrence of maximum floodway water level,  
GeoRisk 2017(ASCE) (国際学会), 2017

Fujisawa, K., Murakami, A., Nishimura,  
S., Estimation of hydraulic conductivity  
in an embankment using particle filter, 6th  
Asian-Pacific Symposium on Structural  
Reliability and its Applications (国際学  
会) 2016

西村 伸一, 柴田 俊文, 珠玖 隆行,  
西垣 誠, 今出 和成, CPTによる河川堤防  
の弱点箇所同定, 第51回地盤工学研究発表  
会, 2016

花田 光司, 鈴木 誠, 河川堤防の湿潤  
破壊によるフラジリティ評価, 第51回地盤工  
学研究発表会, 2016

小林 晃, ため池堤体の安全性について,  
ため池フォーラム in 和歌山, 2016

花田 光司, 鈴木 誠, 吉浪 康行, 河

川堤防の浸透流解析による地盤安定性検討,  
第50回地盤工学研究発表会, 2015

Kobayashi, A., Yamamoto, K., Tsukada,  
Y., Prediction of failure of small  
earth-fill dams by heavy rains,  
International conference on landslides and  
slope stability advancement of research,  
practice and integrated solutions on  
landslides (国際学会), 2015

西村 伸一, 柴田 俊文, 珠玖 隆行,  
古宅 瑞穂, 水間 啓慈, ため池の地震時お  
よび豪雨時の総合リスク評価, 土木学会第70  
回年次学術講演会, 2015

Fujisawa, K., Numerical simulation of  
seepage-induced erosion of soils by  
solving the Darcy/Navier-Stokes coupled  
flows, The 13th US National Conference on  
Computational Mechanics (国際学会), 2015

山下 伸幸, 中畑 和之, 村上 章, 動  
弾性有限積分法を用いたダム地震時応答解  
析, 平成27年度農業農村工学会大会講演会,  
2015

増谷 優, 山下 伸幸, 村上 章, 藤澤  
和謙, 欠測値を有する地盤挙動を対象とした  
EMアルゴリズムによる観測誤差分散推定と粒  
子フィルタによるパラメータ同定, 第49回地  
盤工学研究発表会, 2014

霧井 翔平, 小林 晃, 村上 章, 弾塑  
性モデルを用いたため池堤体の地震時挙動の  
解析, 第49回地盤工学研究発表会, 2014

Murakami, A., Fujisawa, K., Ohno, S.,  
Shuku, T., Nishimura, S., Parameter and  
model identification using the particle  
filter for geotechnical applications, 14th  
International conference of the  
International Association for Computer  
Methods and Advances in Geomechanics, 2014

Kobayashi, A., Hayashi, H., Yamamoto,  
K., Tsukada, Y., Seismic behavior of  
ripraps of earth filled dam, Asian Rock  
Mechanics Symposium, 2014

〔その他〕  
ホームページ等  
[http://www.agrifacility.kais.kyoto-u.ac.jp/index.h  
tml](http://www.agrifacility.kais.kyoto-u.ac.jp/index.html)

## 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

中畑 和之 (NAKAHATA, Kazuyuki)

愛媛大学・大学院理工学研究科(工学系)・  
教授

研究者番号：20380256

西村 伸一 (NISHIMURA, Shinichi)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・教  
授

研究者番号：30198501

藤澤 和謙 (FUJISAWA, Kazunori)

京都大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号：30510218

小林 晃 (KOBAYASHI, Akira)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号：80261460

鈴木 誠 (SUZUKI, Makoto)

千葉工業大学・創造工学部・教授

研究者番号：90416818