

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292143

研究課題名(和文) 発展型システム信頼性理論を用いた農業生産基盤施設群の総合リスク評価システムの構築

研究課題名(英文) Development of total risk evaluation system for the agricultural infrastructures by use of evolutionary system reliability theory

研究代表者

西村 伸一 (Nishimura, Shinichi)

岡山大学・環境管理センター・教授

研究者番号：30198501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近い将来の発生が予想される南海・東南海地震や頻発する集中豪雨に備えて、農業生産基盤施設群(水利施設や干拓堤防など)の適切な維持管理を目的とするリスク評価手法の構築を目指した。具体的な成果は次の通りである。1) 盛土構造物の地震時安定性および破堤のメカニズムを明らかにするための実験装置を試作し、盛土構造物の液状化機構を明らかにした。2) 地震時および豪雨時の斜面および構造物の安定性および氾濫被害を予測するための解析手法を開発した。3) サウンディングと物理探査を基本とする現地試験法を開発し、現地での実施によって有効性を確認した。4) 農業生産基盤施設群の総合リスク評価法の開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research, the risk evaluation system has been developed for the maintenance of the agricultural infrastructures such as dams, other irrigation facilities and polder dikes against the severe earthquakes and the heavy rains. The concrete outcomes are as follows. 1) The model test system has been developed to study the liquefaction behavior of the embankment structures, and the mechanism of the liquefaction inside the structures has been clarified. 2) The analytical tools to evaluate the stability against the earthquakes, and the heavy rains, and evaluate the dam breaches and floods, have been developed. 3) The sounding tests and the physical exploration tests have been proposed and their effectiveness has been verified by applying the tests to the in-situ problems. 4) The total risk evaluation system for the optimum maintenance of the agricultural infrastructures has been proposed.

研究分野：地域環境工学・計画学

キーワード：リスク評価 地震 豪雨 農業生産基盤施設 ため池 サウンディング試験 表面波探査 信頼性理論

1. 研究開始当初の背景

日本の大部分を占める農村地域は、様々な社会資本で成立しているが、とりわけ、地域社会を支える重要施設として、農業水利施設群が多く見られる。今後予想される地震(南海・東南海地震)や頻発する集中豪雨に対して、これらの施設の被害が想定され、対策が急務である。一方、海岸の農村地域に広がる干拓地では、低平な地形条件から危惧される津波被害はもとより、地震と津波が相まって、干拓堤防の破堤が懸念される。このような中、我が国の進むべき方向性を示す「日本再生戦略」(H24.7.31 閣議決定)に「防災・減災の取組強化」が掲げられ、さらには、農業水利施設の整備目標等を定める「土地改良長期計画」(H24.3.30 閣議決定)においても、「防災・減災力の強化」が政策課題の一つに位置付けられた。このように、災害に強い農村地域の構築は、我が国において重点的に取り組むべき課題の一つとなっている、これらの状況に鑑み、個々の農業水利施設のみならず、広い範囲の農業生産基盤施設全体を対象として、災害に対する適切な維持管理及び補修計画手法の具体化が重要である。

2. 研究の目的

近い将来の発生が予想される南海・東南海地震や頻発する集中豪雨に備えて、農村地域に存在する農業生産基盤施設群(水利施設や干拓堤防など)に対する防災対策が急務である。本研究では、これら構造物の適切な維持管理を目的とするリスク評価手法の構築を目指す。これら施設の防災は、周辺の斜面安定や河川水害に密接に関わっている。すなわち、構造物や自然斜面の損傷事象は関連しているため、一つのシステムと考えられる。システムのリスクや信頼性の評価を行う方法論をシステム信頼性理論と呼ぶ。さらに、この理論を観測情報によってシステムの状態を時間更新できる方法論(発展型システム信頼性理論と定義する)に拡張する。本手法によって、対象地区全体のリスク評価を実施可能とし、有効かつ効率的な地域防災指針を提案する具体的には、次の4項目について研究を実施した。

1) 盛土構造物の地震時安定性および破堤のメカニズムを明らかにするための基礎実験

2) 地震時および豪雨時の斜面および構造物の安定性および氾濫被害を予測するための解析手法の検討

3) 現地試験法の開発と現地での実施

4) 農業生産基盤施設群の総合リスク評価法の開発

3. 研究の方法

(1) 盛土構造物の地震時安定性および破堤のメカニズムを明らかにするための基礎実験

動的載荷模型試験装置を試作し、とくに、

ため池堤体や干拓堤防の液状化被害を想定した模型実験を実施する。本模型実験による結果に基づき、解析による現象の再現性を検討する。

(2) 地震時および豪雨時の土構造物の安定性および氾濫被害を予測するための解析手法の検討

研究代表者らがこれまで、開発してきた基礎的な解析技術を整理・改良し、総合的な災害解析を行う。地震による構造物の動的応答や液状化解析は有限要素法を用い、洪水解析には有限体積法を用いる。また、堤防の破堤現象の模擬を、粒子法の一つである MPS 法を発展させることによって実施する。

(3) 現地サウンディング試験および物理探査

実際の構造物に、開発した解析手法を適用するため、様々な現地調査が必要である。ボーリング試験結果および標準貫入試験結果を参考とするとともに、様々なサウンディング試験を実施する。また、さらに簡便な物理探査(弾性波探査)を実施し、サウンディング結果との相関性を明らかにする。これらの方法によって、土構造物の内部構造が同定され、解析のための情報を与える。

(4) 農業生産基盤施設群の総合リスク評価法の開発

大規模災害では、農業生産基盤施設の直接被害の他に、これらの破壊事象による間接被害の可能性が高い。例えば、液状化→堤防天端の沈下→越流→決壊→農業生産施設被害という事象の連鎖が考えられる。即ち、施設の損傷事象は互いに関連しており、構造物単体での安全性の評価では全く不十分である。本研究では、地域一帯の構造物を群と捉え、これらの損傷事象の相関性を考慮したリスク評価を合理的に行うべく、システム信頼性理論の開発を目指す。この求められたリスクに基づいて、構造物の維持管理や対策工法を評価する。

4. 研究成果

(1) 盛土構造物の地震時安定性および破堤のメカニズムを明らかにするための基礎実験

主に、地震時の盛り土構造物内の液状化挙動を模擬するための実験を実施した。開発した、試験装置を図-1に示す。また、この試験から得られた。結果の一例を図-2に示す。局所荷重が大きいほど、液状化による沈下が大きくなっていく傾向が明らかに現れている。

(2) 地震時および豪雨時の土構造物の安定性および氾濫被害を予測するための解析手法の検討

地震時および豪雨時に、ため池の安定性を解析する手法を検討した。図-3は、地震時のため池堤体に南海地震を想定した地震波を載荷した場合のせん断ひずみ分布を示したものである。内閣府から発表されている南海地震のサンプル地震波からランダム波を作

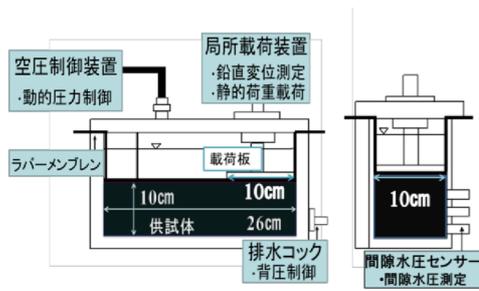


図-1 作成した模型実験装置

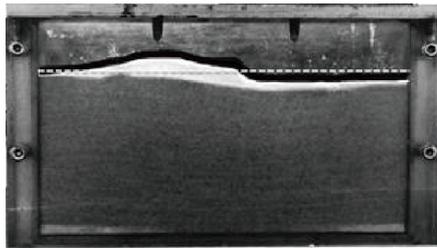


図-2 液状化した模型地盤

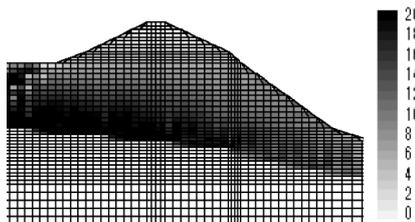


図-3 地震時のひずみの分布

成して、地震時破壊確率を計算した。

(3) 現地試験法の開発と現地での実施

複数のため池堤防において、スウェーデン式サウンディング試験(SWS)および電気式コーン貫入試験(CPT)を実施した。また同時に表面波探査を実施した。サウンディング試験結果を、地質統計学手法を用いて、空間的内挿補間する方法を提案している。サウンディングから得られるのは、点情報であり、計測点が無い場所では補間値の不確かが大きくなる。これを補完するために、表面波探査結果が合成される。SWS結果とSWM結果を標準貫入試験結果N値に変換し、ため池堤体の縦断面におけるN値の期待値を求めた結果を図-4に、また、N値が閾値(ここでは、2と設定)を下回る確率を図-5に示している。これら結果に基づいて、堤体の弱部が同定されると同時に、この結果を内部摩擦角などの強度定数に変換することによって、解析のパラメータとしても利用した。

(4) 農業生産基盤施設群の総合リスク評価法の開発

① 今後50年における地震と、洪水によるため池郡の破堤確率を求める方法を提案し、氾濫流域の総合リスクを評価する手法を提

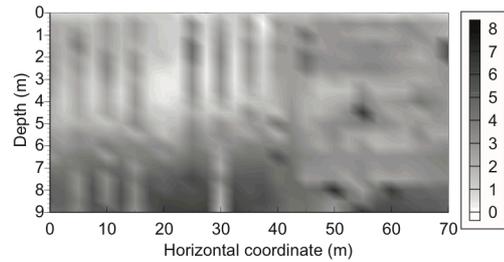


図-4 ため池堤防断面におけるN値の空間分布(期待値)

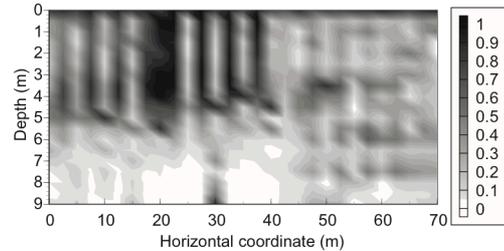


図-5 ため池の断面でN値が2を下回る確率の分布

案した。

② CPT結果から、強度と土質判定を同時に行い、ため池堤体内の液状化確率を算定する方法を提案した。この結果から、堤体の液状化脆弱性を算定し、地震ハザード関数から堤防の今後50年における液状化発生確率を計算する方法を提案した。

③ ため池郡が、破堤した場合の想定被害の算定方法について考察した。計算された氾濫域の一例を図-6に示す。本研究では、従来の方法より簡便な方法で、氾濫域の被害額想定する手法を提案した。また、破堤シミュレーションに基づいて被害想定するプロセスを、応答曲面を用いた簡便式で表現し、流域のリスクを評価する簡便なシステム信頼性解析手法を提案することができた。

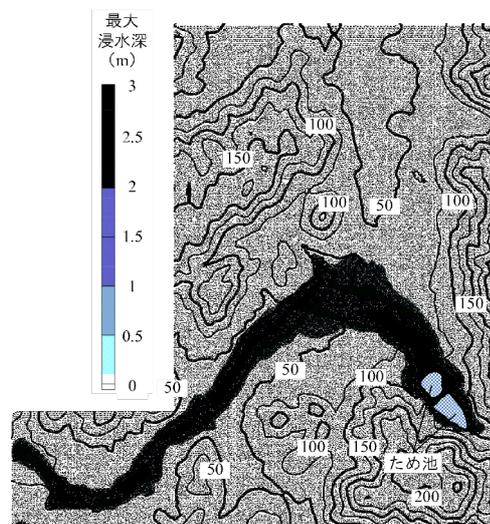


図-6 氾濫解析による最大浸水深の一例

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 24 件)

1. Shuku, T., Fujisawa, K., Nishimura, S. and 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, 2016, No.301, pp.1-31-38
2. 水間啓慈・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行、応答曲面法によるため池破堤リスクの簡易評価、農業農村工学会論文集、査読有, No.301, 2016, pp. I-47-I55
3. Nishimura, S., Shuku, T. and Shibata, T., Reliability-based design of earth-fill dams to mitigate damage due to severe earthquakes, Georisk, 査読有, 10(1), 2016, pp.83-90, DOI:10.1080/17499518.2015.1124123.
4. 水間啓慈・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行、応答曲面法によるため池破堤時の被害額の簡易推定、農業農村工学会論文集 査読有, No.299, 2015, pp.I_147-I_153
5. Shuku, T., Nishimura, S. and Shibata, T., Sensitivity analysis of earth-filled dams based on experimental design, Transactions of The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering, 査読有, 83(4), 2015, pp.II_77-II_82
6. 水間啓慈・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行、ため池破堤による想定被害額の簡易評価手法、農業農村工学会論文集、査読有, No.295, 2015, pp.39-46
7. Shibata, T., Nishimura, S., Fujii, M. and Murakami, A., Evaluation of Strength of Soft Ground Improved by Vacuum Consolidation, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 査読有, 46(1), 2015, pp.95-102
8. Nishimura, S., Shuku, T. and Fujisawa, K., Prediction of multidimensional deformation behavior based on observed value, Int. J. of Geomech, 査読有, 14(3), 2014, pp.04014011_1- pp.04014011_10
9. 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, 9(4), 2014, pp.511-520
10. 藤澤和謙, 辻村康祐, 村上 章, CWENOスキームによる浸透破壊中の砂の移動と浸透流の数値シミュレーション, 地盤工学ジャーナル, 査読有, 9(4), 2014, pp.521-532
11. Shuku, T., Nishimura, S., Murakami, A. and Fujisawa, K. : A new sampling algorithm in particle filter for geotechnical analysis, Geotech. Eng. J. SEAGS & AGSSEA, 査読有, 43(3), 2013, pp.32-39

12. 西村伸一, 珠玖隆行, 山田典弘, 柴田俊文, 模型実験結果に基づく長期沈下予測法の検証, 土木学会論文集A2 (応用力学), 査読有, 69(2) (土木学会応用力学論文集, Vol.16), 2013, pp.I_29-I_38
13. 藤澤和謙, 有本慎一, 村上 章, Darcy-Brinkman 式を用いた非圧縮性流れと Darcy 流の同時解析手法, 農業農村工学会論文集, 査読有, 287, 2013, pp.35-44
14. K. Fujisawa, A. Murakami, S. Nishimura and T. Shuku: Relation between seepage force and velocity of sand particles during sand boiling, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 査読有, 43(2), 2013, pp.8-16

[学会発表] (計 57 件)

1. 今出和成・西村伸一・珠玖隆行・柴田俊文・村上 章・藤澤和謙, 地質統計学手法によるため池堤体における CPT 先端抵抗分布の推定, 第 70 回農業農村工学会中国四国支部講演会, 2015.10.7, 広島
2. 水間啓慈・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行, 応答曲面法によるため池破堤時の被害額の簡易推定, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 2015.9.2, 岡山
3. 西村伸一・古宅瑞穂・柴田俊文・珠玖隆行・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, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 2015.9.2, 岡山
4. 今出和成・西村伸一・珠玖隆行・柴田俊文・村上 章・藤澤和謙, 地質統計学手法によるため池堤体における CPT 先端抵抗分布の推定, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015.9.3 札幌
5. 西村伸一・藤井杏佐弓・珠玖隆行・柴田俊文, 粒子フィルタを利用した長期沈下挙動予測法の検証, 土木学会第 18 回応用力学シンポジウム, 2015.5.17, 金沢
6. K. Fujisawa, Numerical simulation of seepage-induced erosion of soils by solving the Darcy/Navier-Stokes coupled flows, The 13th US National Conference on Computational Mechanics, 2015.7.27, サンディエゴ
7. 今出和成・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行, 簡便な動的模型実験の開発, 第69回農業農村工学会中国四国支部講演会, 2014.11.5, 鳥取
8. 今出和成・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行, 簡便な動的模型実験とその解析, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.7.17, 北九州
9. 児谷吉紘・西村伸一・珠玖隆行・柴田俊文, サウンディング試験による地盤物性値の空間分布の推定, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.7.16, 北九州
10. 上田航平・西村伸一・珠玖隆行・柴田俊文・村上 章・藤澤和謙, 静的コーン貫入試験 (CPT) によるため池堤体の強度分

- 布推定, 第49回地盤工学研究発表会,
2014.7.16, 北九州
11. S. Nishimura, H. Nagao, K. Fujisawa, T. Shuku and T. Shibata, Reliability-based design of earth-fill dams considering probability of heavy rains and uncertainty of soil properties, The 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems, 2014.4.14, 仙台
 12. K. Fujisawa, S. Arimoto and A. Murakami, Numerical simulation of seepage flows in porous media coupled with Navier-Stokes flows, The 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems, 2014.4.14, 仙台
 13. 児谷吉紘・西村伸一・珠玖隆行, 弾性波探査によるため池堤体の改修効果の評価, 平成25年度農業農村工学会大会講演会, 2013.9.4, 東京
 14. 珠玖隆行・西村伸一・川崎 元・尾形恒夫・藤澤和謙, 粒子法によるニューマチックケーソンの施工過程解析, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.25, 富山
 15. 西村伸一・珠玖隆行・長尾遥奈・藤澤和謙, 斜面構造物の洪水時における下流域のリスク評価, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.24, 富山
 16. 藤澤和謙, 村上 章, 有本慎一, 川並俊輔, 非圧縮性流体の数値解法による流体(層流)と浸透流の連成解析, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.25, 富山

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 伸一 (NISHIMURA, Shin-ichi)
岡山大学・大学院・環境生命科学研究科・教授

研究者番号：30198501

(2) 研究分担者

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

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

水間 啓慈 (MIZUMA Keiji)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・施設工学研究領域・研究員

研究者番号：10645360

柴田 俊文 (SHIBATA Toshifumi)
岡山大学・大学院・環境生命科学研究科・講師

研究者番号：30342546

(3) 連携研究者

()

研究者番号：