

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：34416
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21380144
 研究課題名（和文）
 地震と豪雨災害リスクを考慮した農業水利施設のアセットマネジメント手法
 研究課題名（英文）
 Asset management method for irrigation structure considering seismic and downpour disaster
 研究代表者
 小林 晃（KOBAYASHI AKIRA）
 関西大学・環境都市工学部・教授
 研究者番号：80261460

研究成果の概要（和文）：

ため池堤防の内部状況を簡易に推定するために電磁波、電気、弾性波探査結果の自己組織化マップを用いて内部状況を推定する手法を提案した。これらの手法を京都府内のため池および岩手県の津波被災したため池で実施した。堤体に地震動が作用した場合に生じる縦亀裂のメカニズムの解明を小規模簡易振動台実験で検討した。また、堤体の越流浸食による安全率の変化を堤体保護工の違いを考慮して解析した。GISを用いて地震リスクを考慮した水利施設のアセットマネジメントを行った。

研究成果の概要（英文）：

The Self-Organization Map of electromagnetic wave, electric and elastic wave exploration results was applied to estimate the inner situation of embankment. The proposed method was applied to irrigation tanks in Kyoto and Iwate prefecture. The mechanism of vertical crack in embankment due to seismic movement was examined by the small and simple shaking table. The change in safety factor of embankment due to overflow period was examined for the various slope protection methods. The asset management of irrigation system was examined with GIS by considering the earthquake risk.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

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：農業水利構造物，診断技術，リスクマネジメント，アセットマネジメント，地震，GIS，豪雨，予測手法

1. 研究開始当初の背景

農業を取り巻く環境は少子高齢化，輸入産物の増加などその発展を阻害する要因が多い。しかし，食料自給率の向上は国家的課題であり，農業の活性化は地方の活性化と密接に関係しており，農業の復興は我が国にとって非常に重要な課題である。しかしその産業のインフラである農業水利施設の多くは老朽化しており，通常の産業と同じように地震・豪雨のリスクを考慮した維持管理を行い，現存施設を延命させて使用する必要がある。

リスクの見積もりには破壊確率の予測が必要であるが，研究開始当初の学術レベルでは，地震時や洪水越流時の堤体の被災のメカニズムが不明であり，その破壊確率は推定できなかった。また，パイプライン，開水路，ポンプ場など複数の施設からなる水利システム全体のアセットマネジメントを検討した例はなかった。

そこで当初は以下の技術の開発が必要であった。

- (1) 施設の現状の調査手法
- (2) 施設の損傷のメカニズムの解明とその予測手法
- (3) リスクを考慮したアセットマネジメント手法

2. 研究の目的

上記の必要な技術の開発が本研究の目的である。具体的には以下の事項について検討した。

- (1) 土構造物の内部診断技術の精度向上と地震時の挙動メカニズムの解明
- (2) 斜面保護工法の越流破壊の抑止力の定量的評価手法の開発
- (3) GIS を用いた、農業水利施設群の地震リスクを考慮した維持補修計画を算定する手法の開発

3. 研究の方法

- (1) 土構造物の内部診断技術の精度向上と地震時の挙動メカニズムの解明

①電気・電磁波・弾性波探査による非破壊検査結果に自己組織化マップを適用して内部状況を検討する手法を京都府と津波で被災した岩手県の実際のため池堤防について適用した。

②小規模簡易振動台を用いて堤体の挙動観測を画像処理で行う手法を開発し，地震時堤体挙動を観察した。

- (2) 斜面保護工法の越流破壊の抑止力の定量的評価手法の開発

① 堤体法面を洪水による流水が通過すると，浸食作用により法面勾配が増加し安全率が低下する状況を解析し，破壊確率の時間変化を推定した。

- (3) GIS を用いた、農業水利施設群の地震リスクを考慮した維持補修計画を算定する手法の開発

① 滋賀県高島市で県によって整備された，現状劣化レベルの GIS 情報と，東海・東南海・南海地震で予測される震度予測を重ね合せて，地震リスクを考慮したアセットマネジメントを試みた。

4. 研究成果

- (1)土構造物の内部診断技術の精度向上と地震時の挙動メカニズムの解明

①ため池堤防の非破壊検査

ため池堤体で電気探査，電磁波探査，弾性波探査を行った。弾性波探査では反射位置とそのパワーのみでなく，2つの受信器を用いた簡易な弾性波分布推定結果を用いて内部状況の推定を行う手法を開発した。この4つの観測値を自己組織化マップにより分類し，内部状況を推定することを試みた。その結果，堤体の漏水箇所に対応する部分に図-1の囲み部分のように他と異なる各測定量の組合せの箇所があり，内部の異常箇所を推定できることが分かった。また，岩手県のため池では堤体内部に比抵抗の低い箇所が帯状に分布しており，津波により浸透した塩水が内部に残存している状況がわかったが，それは弾性波の反射位置や速度分布とは相関を見いだせなかった。

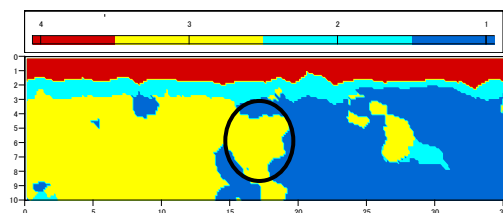


図-1 ため池堤体の SOM 結果例

② 地震時縦亀裂のメカニズム

幅 610 mm，高さ 480 mm，奥行き 250 mm の小型振動台上に堤体模型を設置し，振動台に正弦波を入力して挙動観測を行った。入力する振動は振幅と周波数で制御されている。振幅は 0 mm～12 mm まで 1 mm 刻みで制御することができ，周波数は 0.100 Hz から 2.450 Hz まで 0.010 Hz 刻み

で調節できる。したがって、最大入力加速度はおよそ 280 gal となる。観測は模型断面に多数の標点を設置し、振動中の連続写真から画像解析により標点の動きを解析した。本実験で用いたカメラは解像度が約 600 万画素 (2112 H: 2816 V) である。

本実験は準備が簡単であるので、各実験ケースを 2 度行い、その平均値をとって評価し、挙動の信頼度を高めた。実験の結果、含水比が挙動に大きな影響を与えており、最適含水比あるいはそれより湿潤側で締固めることが有効であることが分かった。体積ひずみ分布に関しては、図-2 に示すように圧縮域と引張域が垂直軸に沿って交互に現れ、中央部分で引張領域が分布することが分かった。中央部での引張応力が天端のクラックの発生原因であると推察できた。

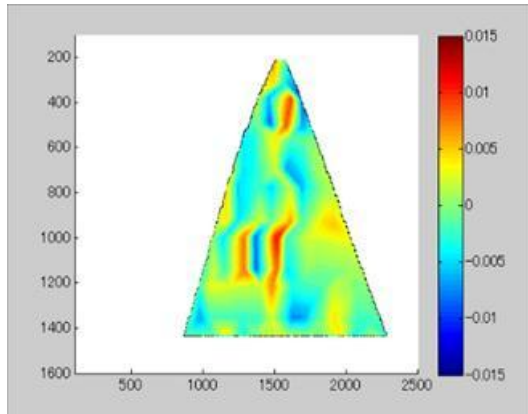


図-2 体積ひずみ分布の例 (正が引張)

(2) 斜面保護工法の越流破壊の抑止力の定量的評価手法の開発

堤頂部が保護された盛土堤体を越流水が流下するときの浸食速度を用いて堤体下流側の法面勾配の越流浸食による変化を考えた。浸食速度に関しては依然応募者が行った浸食実験結果で検証した。

変化した法面勾配の変化を法面保護工の違いを考慮して求め、各法面保護工による法面の安全率の経時変化を求めた。その結果を図-3 に示す。このように植生やジオテキスタイルのようなメッシュ構造物による法面保護だけでは越流浸食に対して十分ではなく、Open Mat と呼ばれるメッシュ構造に植生を組み込んだ保護工が有効であることが分かった。また、コンクリートなどによる保護はある限界流速までは極めて安定であるが、その流速を超えると突然破壊し、保護機能が喪失するため、避難が困難な状況になる可能性がある。

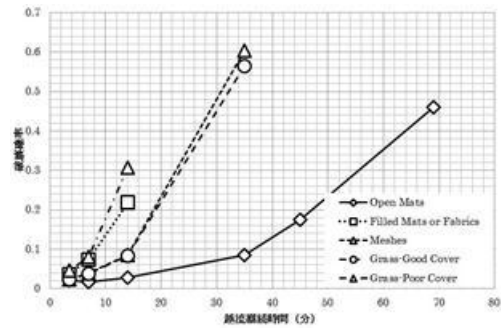


図-3 法面保護工の違いによる破壊確率の経時変化の違い

(4) GIS を用いた農業水利施設群の地震リスクを考慮した維持補修計画を算定する手法の開発

滋賀県高島地区では農業水利施設の劣化状況調査の結果が GIS 上に登録されており、その施設の仕様も登録されている。その情報を滋賀県より提供していただき、施設群のライフサイクルコストを補修する劣化レベルを変えて計算し、どの補修シナリオが最もコストを低減させるのかを検討した。その際、劣化曲線を実測されたデータをもとに平均劣化曲線と標準偏差分早く劣化する早期劣化曲線について算定した。その結果を表-1 に示す。補修シナリオはそれぞれの構造物で最も安価となるものを選択し、複数の農業水利施設群からなるシステムの 40 年間のライフサイクルコストである。同表にみられるように劣化曲線の選定が結果に大きく影響を持っており、慎重な劣化曲線の選定が必要である。

表-1 劣化曲線の違いによる LCC (円)

早期劣化曲線	平均劣化曲線	早期曲線/平均曲線
274,001,000	189,118,000	1.45

また、防災科学研究所が提供している全国地震動予測地図、滋賀県防災危機管理局が提供している液状化予測マップを重ね合わせ合わせて、過去の被災例から推定した震度による破壊確率から本地域の地震時の施設の破壊確率を求めた。2 次被災については水の輸送停止による事業停止による損、周辺住居数データを用いて推定した住民被害の見積もりを行い災害リスクの算定を行った。これにより補修シナリオの補修順序付けを行った。

その結果、下流側への事業停止に大きく影響を及ぼす上流側の順位が高くなり、下流側地域は周辺住居の災害はあるもののリスクは小さくなった。このような検討により補修順位の決定が可能であることを提案した。

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 15 件)

1. Adham, A.K.M, Kobayashi, A. and A. Murakami (2011): Effect of climatic change on groundwater quality around the subsurface dam, Int. J. Geomate, 1, pp.25-31 査読有
2. Suzuki K, Inoue K, Tanaka T. and Kobayashi A (2011): Quantifying Macrodispersion in Stratified Porous Formations Using Image Processing and Spatial Moment Analysis, Int. J. Geomate,1, pp.88-94 査読有
3. Yamamoto K. and Kobayashi A. (2011): Evaluation for Expansive Strain of Degraded Mortar with Damage Mechanics Model, Key Engineering Materials, Vol. 452-453, pp. 193-196 査読有
4. Inoue K, Takenouti R, Kobayashi A., Suzuki K. and Tanaka T. (2011): Assessment of UV Excited Fluorescent Dye Technique for Estimating Solute Dispersion in Porous Media, Journal of Rainwater Catchment Systems, 17, pp.1-9 査読有
5. Kiyama S. (2011): Development of a Marine Ecosystem Dynamic Computable General Equilibrium Model and Its Application to a Fishery Depression Problem, International Journal of Energy and Environment, 6(2), pp.251-259 査読有
6. A.K.M. Adham and Kobayashi A.(2010): Effect of global warming on the dissolution of limestone, Journal of Rainwater Catchment Systems, 15-2, pp.1-9 査読有
7. Inoue K, Uffink G.J.M, Kobayashi A., Matsunaga N. and Tanaka T.(2010): Disparity of macrodispersivity estimated from temporal and spatial moments using random walk particle tracking in heterogeneous porous formations, Journal of Rainwater Catchment Systems, 15-2, pp.21-31 査読有
8. A.K.M. Adham, Kobayashi A. and Teranishi S. (2010): Dissolution of limestone and sustainable groundwater development from underground dam area, Journal of Rainwater Catchment Systems, 16-1, pp.1-9 査読有
9. Kobayashi A., Hayashi T, Yamamoto K. and Kiyama S. (2010), Mechanism of

failure and damage probability of irrigation tank at Mid Niigata prefecture earthquake, Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering 266,pp.11-18 査読有

10. Kiyama S. (2010), Feasibility of Rural Regeneration by Cooperative Watershed Resources Management in Japan, International Journal of Environment and Sustainable Development, 9(1/2/3), 269-293 査読有
11. Kobayashi A., Yamamoto K, Inoue K. and Aoyama S.(2009): Permeability estimation from fracture frequency by indicator simulation, Journal of Rainwater Catchment Systems, 14, pp.1-8 査読有
12. 木山正一 (2009): 地域開発・環境計画の Web 評価システムの開発, 環境システム研究論文集 (土木学会), Vol.37(1), 57-64 査読有
13. Fujisawa K, Kobayashi A. and Aoyama S. (2009): Theoretical description of embankment erosion due to overflow, Géotechnique, 59, pp.661-671 査読有
14. A.K.M. Adham and Kobayashi A. (2009): Effect of global warming on the dissolution of limestone, Journal of Rainwater Catchment Systems, 15, pp.1-9 査読有
15. 小林晃 (2009) : 灌漑施設の LCC 分析, 地盤工学会誌, Vol.57, No.3, Ser. No. 614, pp.22-25 査読有

[学会発表] (計 27 件)

1. Kobayashi A. and Harada J. (2012): Asset Management of Water Supply System Considering Earthquake Risk Management, 8th International Symposium on Social Management Systems and Morakot Post-Disaster Reconstruction Symposium, Taiwan, Gaoxiong, May 3rd.
2. Kiyama S.(2012): Impact of Seedling Release on Marine Ecosystem, Fishery, Regional Economy: A Case Study of Clam Fishery Depression in Maizuru Bay, Japan, 2nd Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Indonesia, Bandung, Feb.4th
3. Kiyama S.(2011): Causal Analysis of Manila Clam Fishery Depression in Maizuru Bay, Japan: An Empirical Study by Ecological-CGE Model, 7th IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy,

- Environment, Ecosystems and Sustainable Development, France, Angers, Nov. 18th
4. Miyanaga Y., Kobayashi A., Murakami A. (2011): Earthquake behavior of irrigation tank using model shaking tests, EIT-JSCE Joint International Symposium on Geotechnical Infrastructure Asset Management, Thailand, Bangkok, Aug. 30th
 5. 岡田謙吾, 小林晃, 宮永泰光 (2011): 易な弾性波速度分布による非破壊検査手法, 農業農村工学会全国大会, 福岡県福岡市, Sep. 7th.
 6. Koyama, T. Shimizu, H, Chijimatsu, M, Kobayashi, A., Nakama, S. and Fujita, T. (2011): Numerical simulations for the coupled thermal - mechanical processes in Äspö Pillar Stability Experiment - continuum and discontinuum based approaches-, the 4th International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geosystems: Fundamentals, Modelling, Experiments and Applications, Australia, Perth, July 7th
 7. Chijimatsu, M, Koyama, T, Kobayashi, A., Shimizu, H. and Nakama, S. (2011): Simulation of the spalling phenomena at the Äspö Pillar Stability Experiment by the coupled T-H-M analysis using the damage model, the 4th International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geosystems: Fundamentals, Modelling, Experiments and Applications, Australia, Perth, July 7th.
 8. Kiyama S.(2011): Development of Iterative Multiplier Method for Information Estimation Depending on Regional Dimensions, The 31st IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control, Austria, Innsbruck, Feb.15th
 9. Tanaka S. and Kobayashi A. (2010): Studies of analysis about sand specimen by Acoustic Emission, EIT-JSCE Symposium on Engineering for Geo-Hazards: Earthquakes and Landslides - for Surface and Subsurface Structures, Thailand, Bangkok, Sep. 7th.
 10. Okada K. and Kobayashi A. (2010): New inference method of inner situation of irrigation tank by elastic wave exploration, EIT-JSCE Symposium on Engineering for Geo-Hazards: Earthquakes and Landslides - for Surface and Subsurface Structures, Thailand, Bangkok, Sep. 7th.
 11. Teranishi S. and Kobayashi A. (2010): Groundwater analysis at the subsurface dam and optimum distribution of intake wells, EIT-JSCE Symposium on Engineering for Geo-Hazards: Earthquakes and Landslides - for Surface and Subsurface Structures, Thailand, Bangkok, Sep. 7th.
 12. 大江 慎哉, 小林 晃 (2010): 農業用排水路を用いたマイクロ水力発電, 農業農村工学会大会講演会, 兵庫県, 神戸市, Aug. 31th.
 13. 小林 晃, 寺西 俊 (2010): 統計的手法を利用した地下ダムにおける地下水の挙動解析, 農業農村工学会大会講演会, 神戸
 14. 岡田 謙吾, 小林 晃 (2010): 新しい弾性波探査によるため池の内部推定, 農業農村工学会大会講演会, 兵庫県, 神戸市, Aug. 31th.
 15. 田中 信爾, 小林 晃 (2010): 土供試体の一軸圧縮試験におけるA E計測, 農業農村工学会大会講演会, 神戸
 16. 荒居 旅人, 小林 晃, 湯谷 啓明 (2010): 模型振動実験からみたため池堤体の動特性, 農業農村工学会大会講演会, 兵庫県, 神戸市, Aug. 31th.
 17. 小林 晃, 山本 清仁 (2010): 損傷変数と膨張ひずみによるモルタルの変形挙動評価, 農業農村工学会大会講演会, 兵庫県, 神戸市, Aug. 31th
 18. Kobayashi A., Yamamoto K, Chijimatsu M. and Fujita T. (2009): Reliability analysis of near field behavior of HLW repository, Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems, 大阪府, 大阪市, Sep. 14th
 19. Teranishi S, A.K.M. Adham and Kobayashi A. (2009): Effect of permeability of underground dam on the performance, EIT-JSCE Joint International Symposium, Geotechnical Infrastructure Asset Management Thailand, Bangkok, Sep. 3rd
 20. Ooe S. and Kobayashi A.(2009): Setting method of spiral water mill of micro hydro-power, EIT-JSCE Joint International Symposium, Geotechnical Infrastructure Asset Management Thailand, Bangkok, Sep. 3rd
 21. A.K.M Adham, 小林 晃 (2009): 石灰岩の溶解への地球温暖化の効果, 農業農村工学会大会講演会, 茨城県, つくば市, Aug.5th
 22. 寺西 俊, 小林 晃 (2009): 統計的手法

- を利用した地下ダムにおける地下水の挙動解析，農業農村工学会大会講演会，茨城県，つくば市，Aug.5th
23. 田中 信爾，小林 晃(2009)：砂質土供試体の一軸圧縮試験におけるAE計測，農業農村工学会大会講演会，茨城県，つくば市，Aug.5th
24. 岡田 謙吾，小林 晃，常松 英史，湊 聖史 (2009)：弾性波探査による非破壊検査法の検証，農業農村工学会大会講演会，茨城県，つくば市，Aug.5th
25. A.K.M. Adham and Kobayashi A. (2009)：Effect of intensity and pH of rain on the dissolution of limestone, International Offshore and Polar Engineering Conference, 大阪府，大阪市，Jun. 22th
26. Kobayashi A., Hayashi T. and Yamamoto K. (2009)：Mechanism of failure of irrigation tank due to earthquake, Prediction and Simulation Methods for Geohazard Mitigation, 京都府，京都市，May 26th
27. Yamamoto K, Kobayashi A. and Aoyama S.(2009)：Damage parameters of rocks degraded by chemical effects of salt water, ISRM-Sponsored International Symposium of Rock Mechanics: "Rock Characterization, Modeling and Engineering Design Methods", China, Hong Kong, May 20th

[その他]

ホームページ等

<http://www2.kansai-u.ac.jp/promane/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小林 晃(KOBAYASHI AKIRA)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号：80261460

(2)研究分担者

木山 正一 (KIYAMA SHOHI)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号：20293920