

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24380133

研究課題名(和文)事業継続計画を取り入れた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 business continuity plan

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：災害による事業停止期間を少なくし農業を継続して行えるように補修計画を立案する手法を構築した。パイプラインについては補修順序の決定を解析結果を用いて立案する方法を提案した。ため池については確率論的DCF法の投資指標を用いることの有効性を示した。地震で見られるため池天端軸方向亀裂のメカニズム検討のために遠心力載荷震動実験を行い、引張亀裂であることを確認した。津波で塩害被害にあった陸前高田での現地調査を行い、不飽和部における塩分吸着能について現地計測と数値解析により明らかにした。パイプラインの変形測定装置を作り、現地での適用を行い、人力では把握が難しい漏水箇所の推定が本装置で可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The management method considering the agricultural activity continuity was examined for the asset management of pipeline and earth-fill dam. For the pipeline system, it was found that the method and location of repair based on the numerical results gave the high safety of the entire system at the early stage of usage. It was also clear that the effect of the early repair for the earth-fill dam was shown by the investment index of the probabilistic DCF method. The mechanism of the crack in the axis direction at the crown by earthquake was confirmed as a tensile crack by the centrifugal loading shaking tests. Moreover, the adsorption mechanism of salt on the unsaturated soil was studied by the on-site investigation and numerical simulation. The deformation of pipeline was examined on the site by the newly developed measurement equipment and the location of the failure which was difficult to search by the manual measurement was identified by the developed equipment.

研究分野：農学

キーワード：農業水利施設 アセットマネジメント 地震リスク パイプライン ダム 環境影響 ため池 事業継続計画

### 1. 研究開始当初の背景

農業水利施設のアセットマネジメントは自治体や国において積極的に進められている。研究代表者は自治体や国の委員会に多く参加しており、施設の長期供用の実態や管理体制について調査していた。そのような経験から現状の農業水利施設のアセットマネジメントはリスクマネジメントの観点で欠落しており、さらには被災後の事業継続計画に関しては全く意識の外にあることを痛感した。事業継続計画を考慮する場合、被災に対するリスクを減少するようにマネジメントする必要があり、また、設計指針に考慮されていない被災現象があれば、そのメカニズムを理解し、それを防護するような補修が必要となる。そのような背景から本研究では当初、事業継続を目標としたアセットマネジメントとして、滋賀県高島地区のパイプライン施設を対象として補修順位を決定するシステムの構築を目指した。また、ため池の診断法として岩手県のため池を対象として非破壊検査による現状把握と微細亀裂の同定手法の開発を計画した。また、パイプラインの変形調査法として 3D カメラを用いた計測手法の開発を目指した。

### 2. 研究の目的

上記のような研究開始当初の背景と目的であったが、研究開始後、滋賀県姉川左岸地区のパイプライン施設に対象を変更した。これは姉川地区で発生する想定地震動が作成され、その情報を入手できたからである。また、ため池の診断手法を岩手県の被災現場に適用しようとしたが、農業施設としての圃場の塩害の方が被害としては深刻であったので、急遽圃場の塩害状況の把握とその状況分析を行うことにした。したがって、以下のような課題を研究目的とした。

- (1) 事業継続を考慮したアセットマネジメント手法の検討
- (2) 塩害圃場の塩分の除去メカニズムに関する検討
- (3) ため池やダム地震時挙動に関する知見の収集
- (4) パイプライン変形調査技術の開発

### 3. 研究の方法

- (1) 事業継続を考慮したアセットマネジメント手法の検討  
滋賀県姉川東地区のパイプラインシステムをモデル化し、プレート型と内陸型の地震応答解析を行い、その結果を用いたアセットマネジメントを提案。  
ため池の補修事業の評価を B/C ではなく、確率論的 DCF 法で行い、事業の収支を考慮した投資指標を提案。
- (2) 塩害圃場の塩分の除去メカニズムに関する検討

陸前高田市で塩害にあった圃場の塩分濃度変化を電磁波探査で 2 年間計測し、その結果を用いて、塩分の不飽和部での吸着メカニズムを検討。

- (3) ため池やダムの地震時挙動に関する知見の収集

福島県で被災したダムの状況と計測された余震記録の分析によりダムの挙動を把握。

遠心力載荷試験により、ダム天端に生じる亀裂のメカニズムの確認。

- (4) パイプライン変形調査技術の開発  
1D レーザー距離計を用いた計測ロボットを作成し、実地での検証を行う。

### 4. 研究成果

- (1) 事業継続を考慮したアセットマネジメント手法の検討

#### パイプラインシステム

滋賀県姉川左岸にあるパイプライン施設は琵琶湖からの揚水を口径 500~1800mm のパイプで総延長 23.3km の管網であり、15 箇所の分土工から農地 990ha に配水している。N 値から地盤の解析パラメーターを推定し、3 次元の地盤モデルを作成しパイプはビーム要素でモデル化した。内陸型地震は 1909 年の姉川地震の震源断層である柳ヶ瀬・関ヶ原断層からの地震であり、最大加速度  $4.1\text{m/s}^2$  である。プレート型地震は東海・東南海・南海地震で最大加速度  $2.45\text{m/s}^2$  である。この 2 つの地震波を入力し、パイプに生じる応力とひずみを求め、引張破壊と引き抜き分離の安全率から補修順序を求めた。補修箇所及び順序は引張破壊と引き抜きで異なり、安全率は引き抜きの方がはるかに小さい。そこで年間予算に制限を設けて、安全率の小さなおとところから順に引き抜き対策を実施したところ、20 年後に施設全体の安全率が急激に増加した。これはこの時点で危険な箇所が収束するためである。このように数値解析結果をもとに危険箇所を抽出し、危険度の高いところから補修する計画により、事業継続が可能な施設の維持が早期に完了することがわかった。

#### ため池

ため池の耐震改修事業の成否は B/C で検討される。しかし、これは現状のリスクを過大に肯定しており、施設の事業に対する価値を評価していない。そこで、確率論的 DCF 法を用いて地震リスク、農業の多面的機能を考慮した事業収益、補修による維持管理費の低減を考慮した事業全体の中の補修工事の時期の評価を行った。その結果、期待収益や LCC は補修工事を遅らせる方が有利となり、現状において補修事業を率

先して行わない管理団体の意思決定を裏付けた。しかし、投資指標は工事開始を遅らせると供用期間中に収益が損失を上回る確率が小さくなり、早期に補修した方が有利となることを示した。この投資指標を考慮すれば、事業継続を考慮した補強工事投資順序の決定の一助となる可能性を示した。

(2) 塩害圃場の塩分の除去メカニズムに関する検討

陸前高田の圃場で周波数電磁探査法を用いて計測した電気伝導度と塩素濃度を求める 1:5 浸水出法の電気伝導度の関係を Archie の式から推定し、塩素濃度を推定した。その結果、被災後 1 年半、および 2 年経過しても地表から 1.1m 程度の深度まで塩分濃度が確認された。通常、塩分は非吸着物質と考えられているので、迅速に塩分は降雨により除去されると思われるが、実際には塩分は除去されずに残っていた。これは不飽和部において吸着するものと推定し、不飽和部において飽和度に反比例するように遅延係数が大きくなると設定したところ、概ね実測値を再現できた。このことから塩害被害では不飽和部の吸着現象が被害を長引かせていることがわかった。

(3) ため池やダム地震時挙動に関する知見の収集

福島県で計測された余震記録の分析によるダム挙動の把握

福島県で地震により堤体法面保護工のリップラップ材に変形が生じたダムの挙動を DDA と NMM という個別変形法と連続体解析を合わせた手法で検討した。その結果、リップラップの下方の変形は石の地震による移動が要因であり、堤体変形の影響はないことがわかった。一方、上部の変形は堤体の浅部滑りが要因であることを確認した。

さらに、加速度計を堤体および地山に 9 つ設置したダムの余震記録を入手し、その分析を行った。その結果、図 - 1 に示すように天端では場所により非常に異なる挙動を示しており、これは堤敷の谷形状の影響が大きいことが推定された。

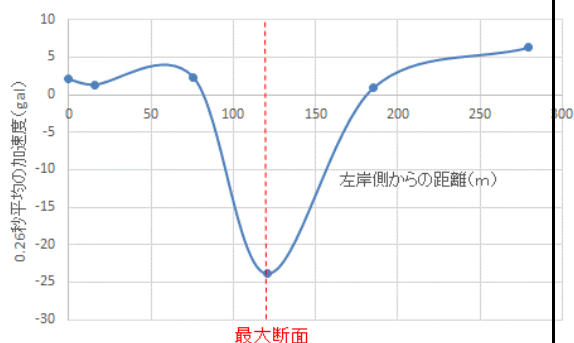


図 - 1 天端における上下流方向の加速度分布

遠心力载荷試験により、ダム天端に生じる亀裂のメカニズムの確認

1G 振動台実験で確認したダム天端における引張応力の発生を遠心力実験でも確認した。遠心力実験は自重を再現できるため、拘束圧依存性の強い土質材料では実際に近い挙動を再現できる。図 - 2 は振動台中央部における体積ひずみ分布である。正が引張であり、天端に大きな引張ひずみが見られる。これより天端に生じる軸方向亀裂は現行の設計指針では考慮されていない引張亀裂であることが判明した。

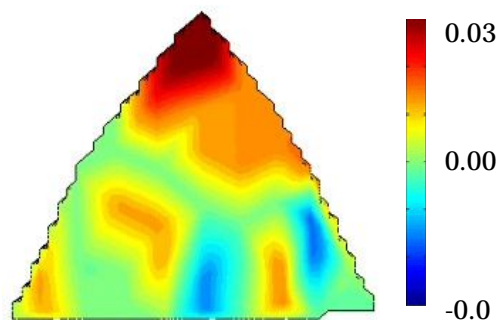


図-2 体積ひずみ分布 (引張が正)

(4) パイプライン変形調査技術の開発

当初、3D カメラによる形状計測手法を開発したが、1D レーザー距離計を回転させて計測する手法の方が精度が高いことが判明したので、この装置を自動走行ロボットに搭載してパイプ内を移動する装置の開発を行った。そして、その装置を現地に適用して実用性を検証した。その結果、実際のパイプ内には水があり、自動走行は困難であることがわかった。しかし、現地での計測精度は手動計測と比較すると非常に高く、破損箇所の漏水部を特定することができた。

## 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 12 件)

1. 井上 裕貴, 安室 喜弘, 檀 寛成, 小林 晃: パイプライン管内形状の連続的な三次元画像形状計測手法, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 2015, Vol.70, No.2, I\_243-I\_248 査読あり
2. Tsukada Y., Kobayashi A. and Chijimatsu M., Predictable coupled behavior of buffer material in HLW repository, Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, No.1, 2014, pp. 385-390 査読あり
3. Kobayashi, A., Hayashi H., Yamamoto K. and

- Tsukada Y. Behavior of Ripraps of Earth Filled Dam, Proceeding of Asian Rock Mechanics Symposium, 2014, No.1, OS2-4 査読あり
4. 小林晃, 本岡千鶴, 塚田泰博, 森川俊英: 地中熱ヒートポンプシステムのコストにおける地下水流の影響, Kansai Geo-Symposium 2014~地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集, 2014, No.1, pp.21-26 査読あり
  5. 小林晃, 山本清仁, 塚田泰博: アースダムの補修投資時期の考え方, 斜面・のり面の劣化モデルとLCC評価による斜面防災対策に関するシンポジウム発表論文集, 2014, No.1, pp.79-86 査読あり
  6. 小林晃, 山本清仁, 岡田謙吾: ため池堤体の効率的調査法—簡易弾性波速度分布測定のプロ案と複合評価—, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), 2014, Vol.70, No.1, pp.1-10, 査読あり
  7. Kiyama Shoichi, Kobayashi Akira: A Top-down Model Incorporating Bottom-up Technological Information for Feed-in Tariff Policy Analysis, Proceedings of the 15th International Conference on Mathematics and Computers in Business and Economics, 2014, No.13, pp.21-30, 査読あり
  8. Kiyama Shoichi: Use of Data Assimilation in an Integrated Model of the Economics of Marine Ecosystem, International Journal of Energy and Environment, 2013, Vol.7, pp.55-63, 査読あり
  9. Y. Miyanaga, A. Kobayashi and A. Murakami: 1-G Model Test with Digital Image Analysis for Seismic Behavior of Earth Dam, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 2013, Vol. 44 No.2, pp.27-34, 査読あり
  10. A. Kobayashi and J. Harada: Asset management of water supply system considering earthquake risk management, 社会マネジメント学会論文集, 2012, SMS12-2155, pp.1-11, 査読あり
  11. 井上一哉・鈴木克季・島田遥・小林晃・田中勉: 色素トレーサと画像処理, 空間モーメント法を融合した不飽和領域における縦分散と横分散の推, 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学), 2012, Vol.68, No.2, I\_527-I\_538, 査読あり
  12. Kiyama S.: Estimation of bioeconomic parameters in a two-country model by the extended Kalman filter, Proceedings of the 3rd International Conference on Development, Energy, Environment, Economics, 2012, No.1, pp.93-97, 査読あり
- [学会発表] (計 28 件)
1. Kiyama S. and A. Kobayashi: Roles of Payments for Ecosystem Services in Agro-food Demands and Welfare, 143rd EAAE/AAEA Joint Seminar of Consumer Behavior in a Changing World: Food, Culture and Society, 2015.3.25, Naples, Italy
  2. Kiyama S. and A. Kobayashi: Prospects for Biodiversity from the Perspectives of Forest Size and GDP Per Capita, 11th International Conference on Environmental, Cultural, Economic, and Social Sustainability, 2015. 1.21, Copenhagen, Denmark
  3. Hiroki Inoue, Hiroshige Dan, Akira Kobayashi and Yoshihiro Yasumuro: Inner Surface Measurement with RGB-D Camera Using Multiple Light Markers, 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 2014年11月16日 ~2014年11月18日, シャルジュヤ (UAE)
  4. 鶴井翔平・小林晃・村上章: 遠心力載荷試験を用いた地震時におけるアースダム堤体挙動に関する研究, 第71回研究発表会講演要旨集, 農業農村工学会京都支部, 2014年11月13日, ホテルグランヴェール岐山・岐阜市.
  5. 衛藤優, 山本清仁, 武藤由子, 原科幸爾, 倉島栄一, 小林晃: 電磁探査による津波被害を受けた水田の土壤電気伝導度分布の評価, 農業農村工学会東北支部第57回研究発表会, 2014.10.30, ハーネル仙台 (宮城県仙台市)
  6. Tsurui S., Kobayashi A. and Murakami A.: Investigation of seismic behavior of earth dam embankments by using FEM and centrifugal loading tests, EIT-JSCE Joint International Symposium on Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries 2014, 2014. 8.26, Bangkok Thailand
  7. 衛藤優, 山本清仁, 橋本良二, 小林晃, 原科幸爾, 倉島栄一: 津波被災防潮林における電磁探査調査, 平成26年度農業農村工学会大会講演会, 2014.8.24, 朱鷺メッセ (新潟県新潟市)
  8. 鶴井翔平・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年7月17日, 北九州国際会議場・北九州市
  9. Kiyama Shoichi, Kobayashi Akira: ,A Policy Assessment under Uncertainty of Fishery Management and Marine Ecosystem: Japanese Clam Fishery Collapse, Feb. 25-27, 2014, Leipzig, Germany
  10. Kiyama Shoichi, Kobayashi Akira: An Economic Ecosystem Assessment of Economically Less-Competitive Fisheries with Incomplete Observations: A Case study of Japanese Clam Fishery in Maizuru Bay, Proceedings of the 4th Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics, Feb. 12-14, 2014,

- Busan, Republic of Korea
11. 小林 晃, 山本清仁, 塚田康博: AE による土構造物の変形モニタリング, 第 19 回アコースティックエミッション総合コンファレンス論文集, pp73-76, 2013.12.5, 第 19 回アコースティックエミッション総合コンファレンス, 関西大学(大阪府)
  12. Kobayashi, A., Yamamoto K. and Y.Tsukada: Deformation analysis of pipeline with laser displacement meter and 3D camera, The 9th International Symposium on Social Management Systems, 2013.12.3 . Sydney, Australia
  13. Yusuke Inui, Yoshihiro Yasumuro, Hiroshige Dan: A SERVER-CLIENT SYSTEM FOR OPTIMIZED PLANNING OF OUTDOOR 3D LASER SCANNING, The 9th International Symposium on Social Management Systems (SSMS2013), Society for Social Management System, 2013.12.2, Sydney, Australia
  14. Yoshihiro Yasumuro, Arata Nagakusa, Hiroshige Dan, Akira Kobayashi: Inner Surface Measurement with RGB-D Camera for Pipeline Assessment, the First International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI2013), (ISSN: 9784990737108), 2013.11.8, 東京コンベンションホール(東京都)
  15. Yoshihiro Yasumuro, Masanori Aoki, Hiroshige Dan, Taisuke Ishigaki, Tatsuaki Nishigata, Masataka Imura: Object Surface Modeling for Practical-Based Fluid Simulation, the First International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI2013), (ISSN: 9784990737108), 2013.11.8, 東京コンベンションホール(東京都)
  16. Yoshihiro Yasumuro, Shizuka Kusakabe, Hiroshige Dan, Masahiko Fuyuki: 3D barrier free verification for wheel chair access, the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality 2013 (CONVR2013) , (ISBN- 13:978- 0-9927161- 0-3), 2013.10.30, London, UK
  17. 小林 晃・林 拓人: 地震リスクとBCPを考慮した農業水利システムのアセットマネジメント, 2013 . 9 . 5、平成 25 年度土木学会全国大会 ,日本大学津田沼キャンパス, 千葉県
  18. 靄井翔平、小林晃、村上章: 有限要素法を用いた地震時におけるアースダム堤体挙動の解析、農業農村工学会全国大会、2013.9.4,東京農業大学(東京都)
  19. 小林 晃・林 拓人: リップラップ保護斜面の挙動解析と劣化予測,第 4 8 回地盤工学研究発表会 ,2013.7.24, 富山国際会議場、富山市
  20. 宮永 泰光・小林 晃・村上 章: 画像解析を用いたアースダム堤体の地震時挙動,第 4 8 回地盤工学研究発表会 , 2013.7.24, 富山国際会議場、富山市
  21. 山本清仁,小林 晃: 電気探査および弾性波探査によるため池堤体の塩水分布の推定, 農業農村工学会全国大会, 2012 年 9 月 19 日, 北海道大学(北海道)
  22. 宮永泰光,小林 晃,村上章: 画像解析を用いた振動台実験によるため池堤体の地震時挙動, 農業農村工学会全国大会, 2012 年 9 月 19 日, 北海道大学(北海道)
  23. H. Hayashi and A. Kobayashi: Seismic Behavior of Embankment Slope by Using Discontinuous Deformation Analysis (DDA), EIT-JSCE Joint International Symposium on Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries 2012, 2012. 9.14, Bangkok Thailand
  24. Y. Miyanaga, A. Kobayashi, and A. Murakami: Seismic Behavior of Earth Dam by Shaking Table Tests Using Image-processing Technique, EIT-JSCE Joint International Symposium on Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries 2012, 2012. 9.14, Bangkok Thailand
  25. I. Kanaya, Y. Yasumuro, S. Shigetomi, A. Yoshikawa, H. Dan, M. Fuyuki, Y. Kawae, H. Kamei: Volume Computation of The Monument of Queen Khentkawess, IEEE 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (ISSN: 978-1-4673-2563-9), 2012.9.2, Milano, Italy
  26. 林 拓人,小林 晃: 不連続変形法を用いた堤体法面保護工の挙動解析, 第 47 回地盤工学研究発表会, 2012年7月15日, 八戸工業大学(青森県)
  27. 宮永泰光,小林 晃,村上章: 画像解析を用いた振動台実験によるため池堤体の地震時挙動, 第 47 回地盤工学研究発表会, 2012年7月15日, 八戸工業大学(青森県)
  28. A. Kobayashi and J. Harada: Asset management of water supply system considering earthquake risk management, The 8th International Symposium on Social Management Systems, 2012 年 5 月 3 日, Kaohsiung, Taiwan
- 〔図書〕(計 1 件)
- Kobayashi A. (分担執筆): Springer, Geotechnical, Geotechnical Prediction and Practice in Dealing with Geohazards, 2013, pp.115-129.
- 〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)  
取得状況(計 0 件)

〔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

### (3)研究分担者

安室 喜弘 (YSUMURO, YOSHIHIRO)

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：50335478

### (4)研究分担者

山本 清仁 (YAMAMOTO, KIYOHITO)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：60362430