

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 28 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21380146

研究課題名（和文）溜池ストックマネジメントのための性能劣化モデルの構築と劣化予測システムの開発

研究課題名（英文）Construction of performance degradation model and development of performance estimation system for stock management of irrigation tank

研究代表者：

小林 範之 (KOBAYASHI NORIYUKI)

愛媛大学・農学部・准教授

研究者番号：00314972

研究成果の概要（和文）：

溜池を対象として、そのストックマネジメントに不可欠である機能診断手法の確立と劣化予測システムの開発を試みた。愛媛県の漏水のある3か所の溜池を調査対象とし、比抵抗電気探査と表面波探査を実施した。この2つの探査結果を有機的に結合させるために、自己組織化マップ SOM を用いた。2つの探査結果に高水位時と低水位時における比抵抗値の変化率を加えることで、堤体内の土質を自動的かつ客観的に推定することができた。また、漏水対策として実施されたグラウト充填領域の推定に本手法を適用し、その出来形を評価した。さらに、モンテカルロフィルタにより地盤内の劣化箇所を予測する手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

This research aimed to establish the method of functional diagnosis and to develop the performance estimation system for stock management of irrigation tanks. The field investigations by two types of the geophysical exploration methods, that is, the electrical resistivity method and the surface wave method, are carried out in three overage irrigation tanks. The spatial distributions of the electric resistivity and the S-wave velocity are individually obtained by the two methods, and the self-organizing map (SOM) is employed to combine the two results organically. SOM is a type of artificial neural network that is trained using unsupervised learning to produce a two dimensional discretized representation called a map. This makes SOM useful for visualizing low-dimensional views of high dimensional data. The soil types are classified automatically and objectively with the S-wave velocity, the electric resistivity and the change ratio of electric resistivity measured in full water level and low water level adopted as the input vectors. This procedure also enables us to estimate the grouting area. A computational method, incorporating the finite element model into identification using the Monte Carlo filter, is suggested in order to estimate deteriorated area within embankment of irrigation tank based on measured data on the settlement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2010 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2011 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	10,900,000	3,270,000	14,170,000

研究分野：農業工学，農業土木学・農村計画学
科研費の分科・細目：材料・施工
キーワード：溜池

1. 研究開始当初の背景

溜池の性能劣化は，主に次の項目によって診断される。

- ① 堤体法面崩壊等による断面不足
- ② 洪水流量に対する余裕高不足
- ③ 堤体下流面における浸透水の流出，漏水。
- ④ 堤体材料の劣化
- ⑤ 余水吐の流入部断面不足。
- ⑥ 付帯構造物のコンクリート劣化。

しかしながら，実際にはこれらの項目が複雑に影響しあい，劣化が進んでいく。これまでの溜池に対する性能劣化診断技術は，個々の要素技術としてはある程度の成果を出しているが，コンクリートのそれに比べれば未発達の状態であり，総合的な評価もされていない。また，それに伴う溜池の性能劣化モデル，性能劣化予測モデルも提案されていない。さらに，溜池は小規模分散型の水源地であり，一元管理することが求められる。

本研究は，上記の背景により，溜池のストックマネジメントに特化した性能劣化モデルの構築と劣化予測システムの開発を目指すものである。

2. 研究の目的

農業水利構造物のストックマネジメントは，適切な維持管理，効率的な更新整備により，既存ストックの有効活用の観点から長寿命化をはかり，ライフサイクルコストを低減するものであり，社会的要請も大きい。しかしながら，現時点においてストックマネジメントの対象は，コンクリート構造物が主体であり，土構造物を対象としたものはほとんどない。これは，土構造物の性能劣化診断および性能劣化予測がコンクリート構造物のそれと比較して困難であるからに他ならない。本研究では，ストックマネジメントのための土構造物，特に溜池の性能劣化予測システムの確立を目指すものである。

具体的には，比抵抗電気探査および高精度表面波探査等の非破壊検査による堤体内部の状態（漏水状況等含む）の把握と溜池堤体の変形挙動から逆解析によって得られる材料の劣化状況を考慮し，溜池の性能劣化診断を総合的に行う技術を確立する。さらに，上記の総合的な性能劣化診断の結果から，溜池の性能劣化モデルを構築する。また，観測時の劣化度により劣化モデルのリモデリングを行い，「Kalman フィルタ」を組込んだ性能劣化予測モデルを再構築する。最後に複数の溜池を一元管理するために，本性能劣化モデル

を GIS に組み込み新しい溜池性能劣化予測システムの開発を目指す。

3. 研究の方法

愛媛県の漏水のある3か所の溜池を調査対象とし，比抵抗電気探査と表面波探査を実施した。比抵抗電気探査からは堤体の粘土成分や含水率の影響，表面波探査からは堤体の硬さが2次的に把握できる。これまではこの2つの非破壊探査を個々の要素技術として利用してきたが，ここでは，この2つの探査結果（図1, 2）を有機的に結合させるために，自己組織化マップ SOM を用いた。SOM は高次元のデータを教師信号なしのニューラルネットワークで与えられたデータの類似度を表現することができるものである。これにより，2つの探査結果に高水位時と低水位時における比抵抗値の変化率を加え，堤体内の土質を自動的かつ客観的に推定することができた（図3）。また，漏水対策として実施されたグラウト充填領域の推定に本手法を適用し，その出来形を評価した。さらに，常時微動測定により卓越振動数を求め，表面波探査で求めた固有振動数との比較により，溜池の動特性を推定した。これにより，常時微動計測による溜池堤体の劣化を推定できる可能性を示唆した。

上記とは別に，対象地点の地震危険度を地震動の年発生確率を用いて評価し，地盤のせん断抵抗に関するばらつきを距離相関をも

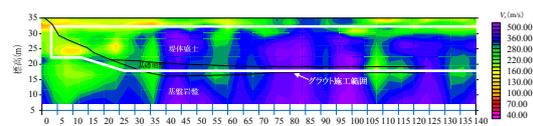


図1 表面波探査によるS波速度分布

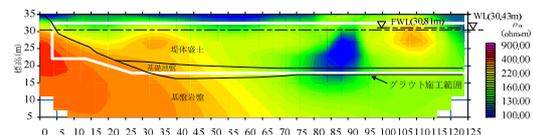


図2 比抵抗電気探査による ρ_a 分布

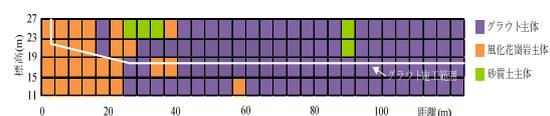


図3 SOMによる堤体土質区分

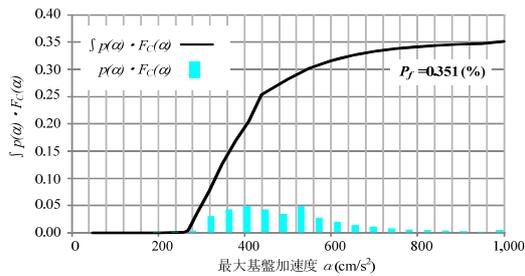


図4 MCSによる年損傷確率

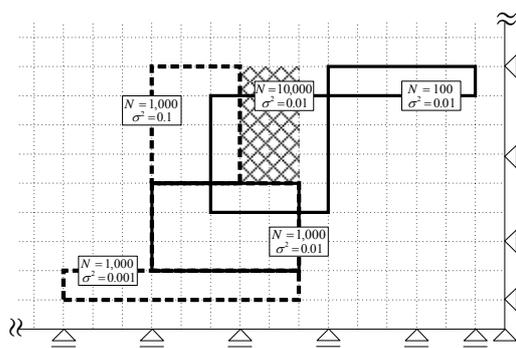


図5 劣化箇所の推定におけるNとσの影響

つ不均質場で表現し、土質の不確かさを考慮した土構造物の損傷確率から、地震リスクを年損傷確率 P_f として評価した。不均質場の発生には、Fenton and Vancarcke (1990) が提案した local average subdivision 法を用い、モンテカルロシミュレーション MCS により損傷確率を求めた (図4)。これによりライフサイクルコストを算定することが可能になる。また、地盤表面の沈下データから地盤内部の劣化箇所を予測する手法を検討した。推定手法にはモンテカルロフィルタを用い、乱数の幅および推定値の分散の影響を検討した (図5)。

4. 研究成果

当初予定した研究をほぼ計画通りに達成し、その成果は国際会議での発表および国内論文集に投稿した。登載が決定した成果は下記の5. に記載した。その他にも査読中の論文が数編ある。

今後は平成24年度より採択された基盤研究(c)「ため池の劣化度と動特性の関係の明確化とため池性能劣化予測モデルの構築」(研究代表者：小林範之)において、得られた成果を耐震性に関する機能診断へと発展させる計画である。

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10件)

- 1) Fujihara, M., Kobayashi, N., Nishiyama, T., Izumi, T. and Yoshitake, Y., 2012, Effect of

impervious zone width of an embankment dam on blanket design length, Journal of Rainwater Catchment Systems, 査読有, (掲載決定).

- 2) Lapong, E., Fujihara, M., Izumi, T., Hamagami, K., Kobayashi, N. and Kakiyama, T., 2012, Water quality characterization and index optimization, Journal of Rainwater Catchment Systems, 査読有, (掲載決定).
- 3) Yoshitake, Y., Kobayashi, N., Fujihara, M., Nishiyama, T. and Izumi, T., 2012, A Simple model for estimating phreatic surface location and seepage discharge through a small homogeneous earth dam on inclined foundation, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, 査読有, (掲載決定).
- 4) Kobayashi, N., Mochida, J., Sumida, Y. and Yoshitake, Y., 2012, Evaluation of arching action generated in the backfill between outlet conduit and existing embankment, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, 査読有, No. 278(80-2), 145-152.
- 5) 藤原正幸, ラボン エドワード, 泉智揮, 濱上邦彦, 小林範之, 垣原登志子, 2012, 四万十川支流広見川のSS負荷量とそれに及ぼす水田農業の影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 68, No.4, I_631-I_636.
- 6) Kobayashi, N., Fujihara, M., Nishiyama, T., Izumi, T. and Yoshitake, Y., 2011, Optimum design of triangular/rectangular soil blanket under given volume of blanket material, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, 査読有, No. 276(79-6), 31-36.
- 7) Fujihara, M., Kobayashi, N., Nishiyama, T., Izumi, T. and Yoshitake, Y., 2011, Optimum design of triangular / rectangular soil blanket under given design seepage discharge, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, 査読有, No. 276(79-6), 25-30.
- 8) Yoshitake, Y., Kobayashi, N., Fujihara, M. and Nishiyama, T., 2011, An analytical solution of seepage discharge from a reservoir of embankment dam with triangular soil blanket and its applicability, Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal, 査読有, No. 272(79-2), 65-71.
- 9) 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, 査読有, 10(1), 012084.
- 10) 石井将幸, 小林範之, 野中資博, 吉武美孝, 2009, 締固め土の水浸に伴う体積変化について, 雨水資源化システム学会誌, 査読有, Vol. 15, No.1, 9-16.

[学会発表] (計 15 件)

- 1) 江川典子, 小林範之, 吉武美孝: 地盤の不確実性を考慮した杭基礎構造物の年損傷確率. 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会: III-258, 2011 年 9 月 8 日, 松山市.
- 2) 西山竜朗・長谷川高士: 層状岩盤の破壊解析手法の検討. 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 410-411, 2011 年 9 月 7 日, 福岡市.
- 3) 井上丈嗣・下宮万生・西山竜朗・長谷川高士: ロックフィル材料の破碎強度評価における影響因子に対する実験的検討. 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 412-413, 2011 年 9 月 7 日, 福岡市.
- 4) 小林範之, 森本宝, 吉武美孝: 自己組織化マップを援用した物理探査によるグラウト充填領域の推定. 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会, 544-545, 2011 年 9 月 7 日, 福岡市.
- 5) Lapong, E., Fujihara, M., Izumi, T., Hamagami, K., Kakihara, T. and Kobayashi, N.: River Suspended Sediment Load Transport Analysis with Data Stratification. 平成 22 年度応用水理研究部会講演集, 13-17, 2010 年 12 月 11 日, 川崎市.
- 6) 小林範之, 吉武美孝: 底樋改修時の盛土に発生するアーチ作用に対する基礎地盤および旧堤体の影響. 日本雨水資源化システム学会第 18 回研究発表会講演要旨集, 135-136, 2010 年 11 月 6 日, 岐阜市.
- 7) 森本宝, 小林範之, 吉武美孝: 表面波探査と比抵抗電気探査によるグラウト充填領域の推定. 第 65 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, 85-86, 2010 年 10 月 27 日, 山口市.
- 8) 小林範之, 吉武美孝, 隅田勇太郎: 底樋改修時の盛土に発生するアーチ作用の定量的評価. 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会, 368-369, 2010 年 9 月 2 日, 神戸市.
- 9) 西山竜朗・長谷川高士: 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, 368-369, 2010 年 8 月 31 日, 神戸市.
- 10) 持田純弥, 小林範之, 吉武美孝: ため池底樋改修時の盛土に発生するアーチ作用の検討. 第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集, 955-956, 2010 年 8 月 18 日, 松山市.
- 11) 倉増敬, 小林範之, 吉武美孝: DEM と MPS 法のカップリングによる土石流の解析. 第 64 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, 130-132, 2009 年 10 月 28 日, 徳島市.
- 12) 三浦桂子, 西山竜朗: 既知すべり面の安定解析における普及手法と RBSM 法の比較. 第 64 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, 118-120, 2009 年 10 月 28 日, 徳島市.
- 13) 山下 賢, 西山竜朗: 長期供用ダムの漏水量の解析. 第 64 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, 121-123, 2009 年 10 月 28 日, 徳島市.
- 14) Lapong, E., Fujihara, M., Kobayashi, N., and Toshiko Kakihara: Estimation of Suspended Sediment Load by Power and Logarithmic Function Methods Using Mean Load within Discharge Classes. Proceedings of the Annual Congress of Japan Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering in 2009, 400-401, 2009 年 8 月 4 日, つくば市.
- 15) 小林範之, 吉武美孝, 佐藤史恵: 地震による盛土残留変位に対する非超過確率の算定. 平成 21 年度農業農村工学会大会講演要旨集, 648-649, 2009 年 8 月 4 日, つくば市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 範之 (KOBAYASHI NORIYUKI)

愛媛大学・農学部・准教授

研究者番号: 00314972

(2) 研究分担者

西山 竜朗 (NISHIYAMA TATSURO)

愛媛大学・農学部・准教授

研究者番号: 30294440

吉武 美孝 (YOSHITAKE YOSHITAKA)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号: 20033326