

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：34509

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24510189

研究課題名(和文) 消波被覆工の防災機能維持を目的とする保全支援モデルの開発

研究課題名(英文) Maintenance support model for disaster prevention function of wave-eliminating device

研究代表者

佐藤 毅 (SATOW, Takashi)

神戸学院大学・共通教育センター・准教授

研究者番号：30304405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：消波施設は常に波等による浸食を受け、その消波性能が緩やかであるが低下していく。消波性能の低下を確率過程としてとらえ、施設の性能劣化、および異常波浪などによりもたらされる強い外力との大小関係、または累積された施設劣化に依存し施設破壊が発生すると仮定する。このような状況下において、予防的に保全を実施、もしくは施設破壊後に保全を実施する保全方針のもと、保全費用最小化を目的とする意思決定問題として定式化を行った。また、予防保全時期の存在条件についても議論を行い、数値実験を交え議論を行った。結論として、最適予防保全方針が導出され、期待保全費用の抑制が期待できる結果を得た。

研究成果の概要(英文)：It applies some results of maintenance models to an armour block facility. The armour block facility is subject to waves which occur at a stochastic process. As a result, facility's resistance deteriorates with elapsed time. The deterioration process is assumed as a stochastic process. The facility is broken by a strong shock when a load of the shock exceeds the resistance level. The broken facility is maintained immediately as corrective maintenance. In order to reduce a total maintenance cost, we carry out preventive maintenance. As a criterion for maintenance decision making, it adopts a total expected maintenance cost over an infinite time horizon. A necessary condition to minimize the criterion is discussed. Finally, some numerical examples are given.

研究分野：信頼性工学

キーワード：消波工 維持管理 確率過程 最適方針

1. 研究開始当初の背景

自然災害による社会基盤施設の被災が増加傾向にある。これからの社会基盤施設の計画，設計に当たっては災害のリスクコントロールから破損も視野に入れた維持管理問題がクローズアップされている。維持管理問題において重要な視点は，社会基盤施設に対し働く負荷（外力）に伴う劣化あるいは破壊現象が生じた場合，その損傷に伴う施設の機能低下を社会的性能レベルと併せて適切に診断し，補修することで機能，防災力を回復させる点である。適切な補修は施設の寿命を延ばし，さらにLCC(ライフサイクルコスト)を低減することを目指すものである。この研究構想を実現化するためには，「被覆工への作用外力による損傷レベルと消波機能の劣化過程に関する知見」と，「補修費用と被災に伴う背後地の資産的便益費等も含めたLCCを考慮した補修費用に関する最適保全問題に関するモデル構築」が重要課題である。

2. 研究の目的

- (1) 被覆材の移動滑落による形状変化による消波性能の劣化に関する時系列的な連鎖関係，すなわち被覆材の損傷に伴う消波性能の劣化による反射率等の増大などの変動特性を明らかにする。
- (2) 被災被覆工の補修について，完全補修もしくは不完全補修のいずれか，もしくは両補修によるハイブリッド型保全を考える。このさい，被覆工の被災率等の増加に伴う性能劣化に基づき，段階的，もしくは連続量としての補修レベルを定義し，保全問題の決定変数として用いる。
- (3) 上述の補修レベルを制御変数とする「被災被覆工の補修に関する限界制御方策」について数理的モデル化を行う。
- (4) 点検・検査結果の完全性と不完全性が，計画的被覆工保全計画に与える影響分析を実施する。この分析に関し，点検・検査しきい値なる概念を新たに導入し，不

完全情報下における適切な点検・検査機会を定量的に議論する。

- (5) 上述のしきい値を用いた計画的被覆工保全問題を提案し，供用期間における適切な保全方策について解析的，およびコンピュータによるシミュレーション実験による検討を行う。

3. 研究の方法

- (1) 被覆材の損傷モード別の消波性能劣化変動性に関するデータ収集

堤体被覆層の被災進行に伴う反射率の時間変動特性を明らかにするため，2次元不規則波造波水槽を用いた被覆工の断面変形に伴う各種性能劣化を対象に実験的検討を実施。

- (2) 各種性能の劣化過程における不確実性に関する確率論的研究

消波構造物がもつ各防災性能の各限界状態に至るまでの時系列的な事象間の連鎖関係を考慮した損傷モード別における堤体断面変形量に関する超過確率，また損傷モード別における各性能の喪失確率及び許容値を明らかにする。

- (3) 被災レベルと補修レベルを考慮した供用期間における維持管理費用の導出

許容被災レベル内において，適切なる補修時期，つまりは補修レベルを決定するかが研究対象となる。被災をもたらす外力源である自然現象（地震，津波，台風など）発生を確率過程とみなし，また，各外力が被覆工にもたらす被災度もまた確率分布として捉える。予防補修費用や事後補修費用，各補修による背後地の資産的便益費を考慮した評価規範を設定し，目的関数を導出する。導出した目的関数値を最小化する補修レベルについて解析的，ならびに数値実験による導出を行う。

- (4) 点検・検査結果の正確さが，維持管理における意思決定に与える影響分析

被覆工の被災レベルは一般に管理職員による点検・検査により実施されるが，検査結果が真の被災レベルを反映できない場合が存在する。この状況下において，適切な維持管理を実施すべく点検しきい値なる概念を導

入する。点検しきい値は上下限値の2つの値からなり、無駄な点検・検査の排除を目的に導出される確率量である。支援システム上において、点検・検査しきい値を採用した場合と採用しない場合の比較検討も実施する。

(5) 被覆工の修復に関する意思決定支援システムの開発

消波被覆工の被災劣化に対し、各損傷モードに対応した保全機会に関する支援システムを開発する。システム開発の基本スタンスは、下記3種の評価規範もと、LCC削減を実現する最適予防保全方策の策定である。予防保全手法としては、古典的ではあるが汎用性の高い年齢予防保全、補修レベル型予防保全、さらには点検・検査の結果からその後の保全計画を修正する状態依存型予防保全などを計画している。

4. 研究成果

(1) 「被覆材の損傷モード別の消波性能劣化変動性に関するデータ収集」および「劣化過程における不確実性に関する確率論的研究」

劣化変動性に関するデータ収集については、実験データにもとづく捨石護岸の被災進行過程のモデル化を通して実施している。取得データより、変形量パラメータによる被災度をランク分け、被災度割合とその推移を求め、被災進行過程に対しマルコフ連鎖モデルの適応性を検討した。造波水路内に消波ブロックによる消波工のモデルを設置し、不規則葉を一定時間作用させるごとに断面形状を計測した。この実験データを多数取得し、消波工の変形量と変形量を表すパラメータとの関係式を得た。この関係式を用いて数値波動水路を用いて被災に伴う越波量の変化を検討し、変形量のパラメータと越波量の関係も得られた。被災度のランク分けとともに、被災度の進行過程に修復事象を考慮したマルコフ連鎖モデルを用い、期待総費用を導出した。

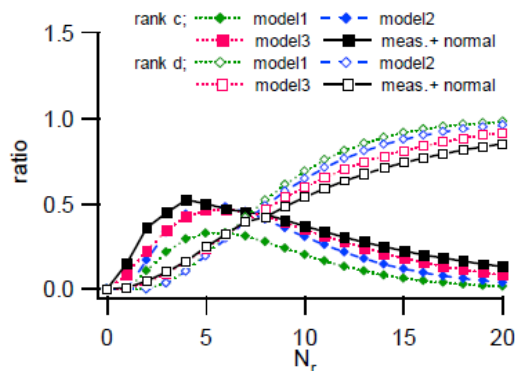


図1：ランク別の割合の変化

。このモデルによる検討の結果、特定のタイミングで補修を実施することにより期待総費用を抑えることができることが判明した。

(2) 「劣化過程における不確実性に関する確率論的研究」

劣化進行を点検により把握するが、点検結果の不確実性が保全意思決定に与える影響分析の基礎となる理論の構築を実施している。劣化自体の不確実性と点検結果の不確実性を分けて考え、施設保全の意思決定問題をとらえたい。そこで、点検結果の不確実性に対し、対象構造物の構造と点検結果が持つ質的意味を考慮し、いつ点検を実施すべきかを決定する確率モデルの基礎的枠組みを提案。

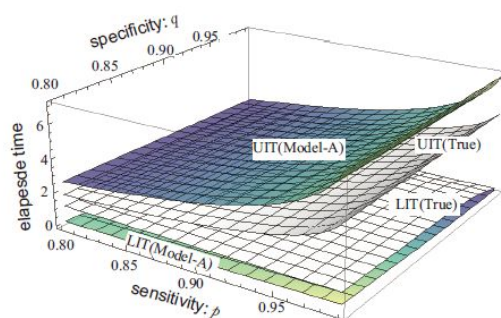


図2：点検しきい値の上下限値の例

さらに複雑な構造に対する点検実施時期に対する近似手法についても検討した。

また、先に提案した点検領域を考慮したモデルの有効性を検討するため、従来型点検保全モデルと提案型保全モデルの優劣に関する比較も実施している。数値実験による比較の結果、点検精度や劣化過程の違いにより両モ

デルの優劣が入れ替わることが判明した。つまり、状況により点検実施計画の基本的枠組みを使い分ける必要があることが判明した。また、施設の劣化過程をマルコフ連鎖の状態としてとらえるのではなく、時間の経過とともに状態が連続的に変化する確率過程としてとらえ、特定の条件下で施設破壊が発生する仮定のもと、施設の運用期間、外因性負荷、および劣化量などに着目した予防保全モデルを定式化した。その式を用い、解析的な議論や数値実験により、期待維持管理費用を最小化する予防保全機会の存在を確認することができた。

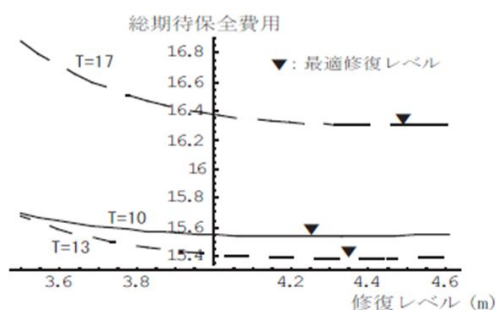


図 3: T 年毎の計画保全下における最適補修レベル

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 5 件)

(1)太田隆夫, 松見吉晴, 鳩野敦士, 佐藤毅, 実験データにもとづく捨石護岸の被災進行過程のモデル化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, vol. 68, No. 2, 2012, p.911-915.

(2)Takashi Satow, Boundary Estimation of Inspection Threshold for Multi-Component System, 査読無, Vol. 21, 2014, p.14500031. 1-14.

(3)Takao Ota, Hiroyuki Kawamura, Yoshiharu Matsumi, Takayuki Hirayama, Evaluation of life cycle cost for wave-dissipating works considering occurrence probability of high waves, 査読有, vol. 75, 2016, p.675-679.

〔学会発表〕(計 11 件)

(1)佐藤毅, マルチユニットシステムに対する点検しきい値の上下限, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年 09 月 11 日 ~ 2012 年 09 月 12 日, ウィンクあいち.

(2)Takao Ota, Modeling of Damage Progression for Rubble Mound Revetment, 7th International Conference on Asia and Pacific Coasts, 24/09/2013 ~ 26/09/2013, Indonesia(Nusa Dua, Bali).

(3)佐藤毅, 不完全点検下における多状態システムの点検結果について, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2015 年 03 月 26 日 ~ 2015 年 03 月 27 日, 東京理科大学.

(4) 佐藤毅, 累積型損傷過程の消波工保全への応用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2015 年 09 月 10 日 ~ 2015 年 09 月 11 日, 九州工業大学.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 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 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
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

佐藤 毅 (SATOW, Takashi)
神戸学院大学・共通教育センター・准教授
研究者番号: 30304405

(2) 研究分担者

松見 吉晴 (MATSUMI, Yoshiharu)
鳥取大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00135667

(3) 連携研究者

太田 隆夫 (OTA, Takao)
鳥取大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70233129