

機関番号：15101  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20560479  
 研究課題名(和文) 消波被覆工の防災機能の劣化診断と補修の意志決定のための支援システムの開発  
 研究課題名(英文) Development of decision making system on degradation of disaster prevention function of block mound seawall and on its repair  
 研究代表者  
 松見 吉晴 (YOSHIHARU MATSUMI)  
 鳥取大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：00135667

研究成果の概要(和文)：本研究は、被覆ブロックの被災量と消波機能及び越波低減性能の各劣化に関する評価システムをニューラルネットワークにより構築する共に、補修の意志決定について状態依存型点検モデルの基づく数理的モデル化により、最終的に護岸前面の消波被覆工の被災に伴う防災機能の劣化及び修復診断に関する支援システムを開発するものである。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop a performance evaluation system on the wave energy-dissipating function of seawall with the accumulative damage of armor layer. Firstly, based on numerical experiments which are conducted to investigate the variations of reflection coefficient of the seawall under condition of the damage progression of an armor layer, a neural network system is applied to evaluate the causal relation of the reflection coefficient and the damage parameter. Secondly, by applying the time-dependent reliability theory to the making decision problem of repair of damaged armor blocks, maintenance policies for armor blocks are discussed to minimize total expected maintenance cost over target horizons.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,200,000 | 660,000   | 2,860,000 |
| 2009年度 | 700,000   | 210,000   | 910,000   |
| 2010年度 | 700,000   | 210,000   | 910,000   |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：海岸工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：消波性能, 被覆工の累積損傷, 補修問題, ニューラルネットワーク, 期待保全費用

#### 1. 研究開始当初の背景

自然災害の規模が拡大し、社会基盤施設の中核施設・構造物の被災が増加傾向にある最近の状況下では、“安全”なはずの構造物がその供用期間中に破損する例が数多く発生しており、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型設計

法の確立が必要と考えられている。この維持管理型設計法とは、外力の作用履歴に伴う劣化あるいは破損した場合、その損傷に伴う機能低下を構造物の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、防災力を回復させて構造物の寿命を延ばし、さらには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。また、この設計

法の概念のもとでの機能低下に伴う災害リスクコントロールは、ソフトな防災対策によるカバーも含め、トータルとして住民、社会基盤のセキュリティを維持しようとするものである。そこで、本研究は、この維持管理型設計法の考え方を海岸構造物の内、背後地を有する護岸被覆工の補修・更新の意志決定問題に導入しようとするものである。

この研究構想を実現化するためには、「被覆工の作用外力に伴う損傷レベルと消波及び越波低減機能の劣化過程に関する知見の蓄積」と、「補修費用と補修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制御問題に関する数理モデルの構築」が重要な課題となる。この種の海岸保全施設へのライフサイクルマネジメントの導入に関する研究は、性能設計を導入しようとする気運に伴って 1999 年代から現在の空港港湾研究所で開始され、その後、特定構造物を対象に研究論文数が数編でいる程度である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、堤体として代表的な前面に被覆消波工を有する護岸を対象に以下に示す研究について明らかにするものである。

- (1) 被覆材の累積損傷に伴う消波性能、越波低減性能の劣化度合に関する研究
- (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
- (3) ニューラルネットワークに基づく機能劣化の診断システムの開発
- (4) 数理モデルに基づく消波施設耐力と外的負荷を考慮した応急修復に伴う保全問題に関する研究

## 3. 研究の方法

- (1) 被覆材の累積損傷に伴う消波性能、越波低減性能の劣化度合に関する研究

本研究は、傾斜護岸の被災実験で得られた断面変化のデータをもとに断面形状のモデル化を行い、モデル断面を用いた実験と数値計算により、傾斜護岸の消波・越波量低減性能に及ぼす断面変形の影響について検討したものである。

実験に用いた護岸模型は、初期断面におけるのり面勾配が 1:1.5 および 1:2、静水面からの天端高 0.15m、天端幅 0.1m である。作用させた不規則波は、期待スペクトルに JONSWAP スペクトルを用い、有義波周期  $T_{1/3}=1.6s$  として作成した信号により、有義波高を  $H_{1/3} \approx 10cm$  として造波したものである。堤体の断面形（岸沖方向）の測定には、レーザー変位センサを用い、波を 20 分間作用させるごとに 5 測線で堤体断面を測定し、その平均をとって断面形とした。初期断面を基準として、堤体の変形量を表すパラメータ  $S$  を

求めた。断面変形が法面の上部に達するまで、繰り返し同じ波を作用させる実験を 4 回ずつ行った。これにより得られた断面形状データをもとに、変形度合いの段階ごとに断面形のモデル化を試みた。断面形状データから、変形量を表すパラメータ  $S$  の大小によらず断面が変化しない点の位置（中心）はほぼ一定であること、侵食部分の上端の位置は  $S$  の関数として与えられることがわかった。護岸のり先は初期断面の位置に固定し、上端・中心・のり先の 3 点間を sin 曲線で結ぶことにより、図-1 に示すようなモデル断面を作成した。さらに、モデル断面を用いた実験と数値モデルにより反射率と越波流量を求め、断面変形の進行に伴うそれらの変化特性を検討した。

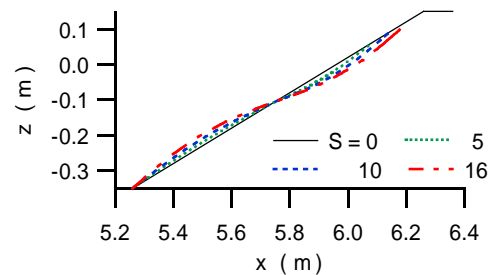


図-1 モデル断面（初期のり面勾配 1:2）

- (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

本研究では、捨石で構成される護岸を対象とした確率的な劣化過程・補修モデルの構築を最終的な目的として、その際に必要となる断面変形量の統計的特性について、同一の波浪条件下での水理模型実験で得られた多数のデータにもとづいて検討を行った。

多数の断面変形データを取得するために、多方向不規則波造波水槽内に 10 基の水路を設置した。多方向不規則波造波装置は、幅 0.6m の 14 枚の造波板からなるサーペント型で、両端 2 枚ずつを除いて造波板ごとにベニヤ板で仕切り、長さ 8.6m、高さ 0.6m の造波水路を 10 基作成した。各水路には、被覆層およびコア部からなる捨石護岸の模型を設置した。初期断面におけるのり面勾配は 1:1.5、静水面からの天端高 0.15m、天端幅 0.1m である。作用させた不規則波は、JONSWAP スペクトルを期待スペクトルとし、有義波周期  $T_{1/3}=1.2s$  として作成した一方向不規則波の信号により、すべての造波板を同位相で駆動させて造波したものである。有義波高は  $H_{1/3} \approx 11cm$  とした。

護岸の断面形（岸沖方向）の測定には、レーザー変位センサを用いた。波を 1 回（約 27 分間）作用させるごとに、1 水路あたり 3 測線（15cm 間隔）で断面を測定し、各測線で初期断面を基準として、断面の変形量を表すパラメータを求めた。同じ波を繰り返し 7 回

作用させて、断面変化のデータを取得することを1回の実験とし、これを13回行った。得られた断面データの合計は2700個(初期断面を含めると3090個)である。

(3) ニューラルネットワークに基づく機能劣化の診断システムの開発

護岸前面における消波被覆工の被災進行に伴う反射率や越波量の変化に関する実験的に検討より、被覆工の断面変化と反射率および越波量変化との因果関係において、被災率という単一のパラメータだけでは明確な回帰式を見出せることが出来ないことがわかった。そこで、本研究はパラメータ間の因果関係の分析に有効なニューラルネットワークを利用して、被覆材の被災に伴う被覆層の断面変化における反射性能を客観的に判断できる支援ツールを提案するものである。具体的には、現場サイドで容易に目視計測できる被覆材の被災個数や被災領域、並びに設計条件等(例えば、堤体諸元や設計波浪条件等)のデータを入力値とし、被覆工の損傷に伴う反射率を出力値として評価する被覆層の断面変化における反射性能に特化した消波性能評価システムを開発するもので、消波ブロック被覆堤の被災形態としては、消波工天端付近での被災、消波工法面での被災、および消波工天端と法面の両方での被災の3パターンを対象としている。

ニューラルネットワークを利用した消波性能の予測モデルの構築に当たっては、入力データとその入力データに対応した出力データ(教師データと呼ぶ)を与え、ニューラルネットワークによる出力値が教師データの出力値に近い値が出るまでネットワークを調整させるために多数の入力と出力データに関する教師データが必要となる。本研究では、教師データを数値波動水路CADMAS-SURFを用いて作成することにした。そこで、CADMAS-SURFにおける流体力係数の設定を行うために水理模型実験を行った。また、ニューラルネットワークの検証用データ収集を目的として不規則波による反射率計測実験も併せて行った。

法面被災断面のモデル化の場合、図-2に示すように被災開始位置を固定し、侵食断面および堆積断面を次式のように正弦曲線で表すことにした。累積損傷における被災幅の増長モデルについては、被災率1の時に被災幅を被覆材3個分とし、その後の被災率の増加に伴って被災幅を被覆材1個分ずつ堤体斜面に沿って天端方向へ延長させた。静水面から被災開始位置までの距離については、3種類変化させた。天端高の低下モデルは、図-3に示すように消波材の沈下のみを対象とし、天端の低下量を被災率に該当する侵食面積と天端高の低下面積が等しくなるように設定

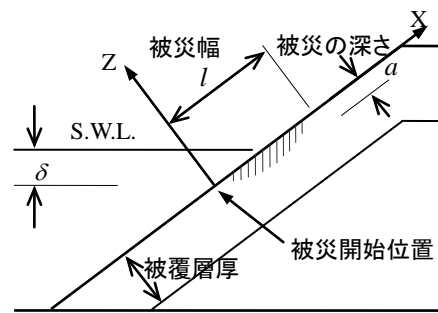


図-2 法面被災の場合

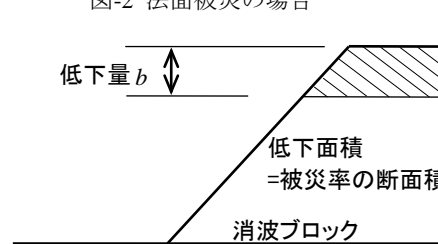


図-3 天端高の低下の場合

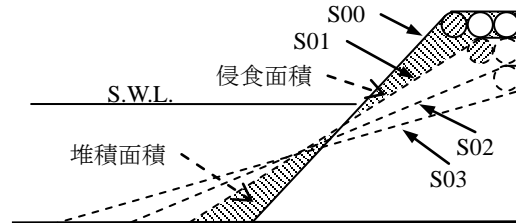


図-4 複合被災の場合

した。複合被災モデル化は、実験結果を参考に図-4に示すように設定した。まず、複合被災の初期断面(被災レベルをS00と呼ぶ)として、天端幅を被覆材3個分とする。次に、被災が1段階進行(S01)すると、天端幅と天端高を被覆材1個分減少させ、堤体法先位置を水平方向へ侵食面積と堆積面積が等しくなるように前進させている。被災が2段階進行(被覆材2個分減少:S02)、3段階進行(被覆材3個分減少:S03)した場合もブロック層分の低下と、その被災断面積分だけ法面の勾配を緩くしていくモデルである。ここでは、初期断面を含め計4種類の複合被災断面を対象とした。法面の初期勾配は3種類、天端高は2種類変化させた。

(4) 数理モデルに基づく消波施設耐力と外的負荷を考慮した応急修復を伴う保全問題に関する研究

海岸構造物の保全問題において、供用期間中、被災により補修の可能性がほとんどないように施設を設計する従来の設計法に対し、一時的にはある程度の損傷を許容し、事後・予防保全を考慮した設計法の必要性が認識され始めている。保全計画策定には、施設の物理・性能面の劣化過程を把握し、施設破壊への信頼性評価が重要である。本研究では、施設劣化を確率過程とみなし、施設運用上有効と考えられる基礎的な保全モデルを提案、

期待総保全費用に代表される評価規範のもと、最適な保全方策について数理的解析、および計算機による感度分析等を実施した。

施設劣化過程として、2種類の劣化過程を用いた。一つは衝撃型累積損傷過程であり、他方はガンマ過程を基礎とした peaks-over threshold モデルである。累積損傷過程は、施設劣化を引き起こす力（衝撃）が確率過程に従い生起し、その結果として施設に損傷が生じ累積されると考える。本研究では、累積損傷量がある一定量に達した場合、施設破壊が生じると仮定される。海岸構造物の信頼性評価において累積損傷モデルは余り知られておらず、今後の応用が期待できる。後者の施設劣化モデルは、経年劣化表現で頻繁にもちいられるガンマ過程を基礎に、施設耐力と外力の大小関係により施設破壊事象の生起を表現する確率過程であり、コンクリート構造物の破壊過程表現にもちいられている。これら施設劣化過程に対し、複数の施設保全モデルを提案している。

#### 4. 研究成果

##### (1) 被覆材の累積損傷に伴う消波性能、越波低減性能の劣化度合に関する研究

のり面勾配 1:1.5 の護岸について、変形量を表すパラメータ  $S=0, 7, 10, 14$  のモデル断面を用いた実験における越波流量  $q_o$  と反射率  $K_R$ 、および  $S=0, 3, 5, 7, 10, 12, 14$  のモデル断面を用いた数値計算による  $q_o$  と  $K_R$  を、図-5 に示す。ただし、 $q_o$  は  $S=0$  での値で除したもので、 $K_R$  は  $T_{1/3}=1.6s$  の波に対するものである。 $S$  の増加につれ  $q_o$  の実験値は増加し、 $S=14$  では  $S=0$  の2倍近くであったが、計算結果では逆に約35%の減少となった。実験においては、変形の進行に伴って飛沫状の越波が増加するようになり、このことが実験値と計算値で傾向が異なる原因と考えられる。 $K_R$  については、実験値では減少傾向を示し、 $S=0$  と  $14$  では約0.11の差となったのに対し、計算結果ではほぼ一定となっている。モデル断面による実験では、 $T_{1/3}=1.2, 1.3, 1.4, 1.8, 2.0s$  の不規則波についても反射率を推定したが、何れも減少傾向を示し、変化量は約0.06~0.1であった。のり面勾配 1:2 の護岸についても、ほぼ同様の結果が得られた。

##### (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

本研究の成果は、以下のように要約される。

- a) 波の繰り返し回数ごとの変形量パラメータ  $S$  の平均値  $S_m$  および標準偏差  $\sigma_s$  は、図-6 に示すように1回目の波の作用で大きく増加した後、緩やかに増える傾向を示す。
- b) 各測線の断面データから求めた変形量パラメータについては、全データの度数分布と波の繰り返し回数ごとの度数分布のいず

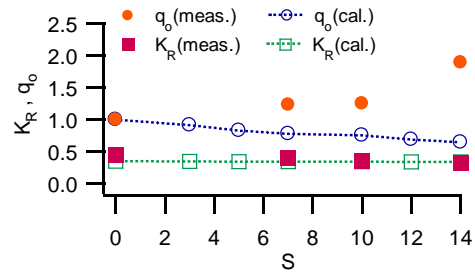


図-5 反射率、越波流量の比較 (勾配 1:1.5)

れに対しても、正規分布で近似することができる。図-7 に波の繰り返し回数が5のときの、変形量パラメータの度数分布と正規分布の比較を示す。

- c) 波の繰り返し回数ごとの変形量パラメータ間には高い相関性が見られる。
- d) 変形量パラメータの変化量（増分）の平均値・標準偏差は、波の繰り返し回数が多くなると変動が小さくなる。隣り合う波の繰り返し回数での増分の間には、弱い相関性が見られる。このことから変形量パラメータは、断面変形の初期段階を除いて、ほぼ一定で弱い相関のある増分をもつ確率過程に従うことが推測される。
- e) ある波の繰り返し回数での変形度が大きいほど、つぎの波の作用後に同じ変形度ランクにとどまる割合が高くなる。

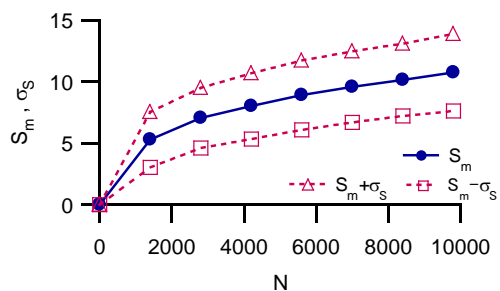


図-6 S の平均値・標準偏差の変化

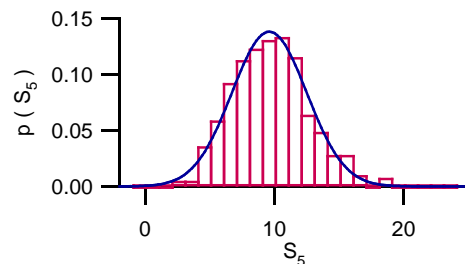


図-7 S の度数分布と正規分布の比較

##### (3) ニューラルネットワークに基づく機能劣化の診断システムの開発

###### ① 被覆層の被災進行に伴う反射率の変化

被覆層の累積被災断面に対する反射率の数値実験では、波浪条件として規則波を対象とし、周期には1sから2sまで0.2s間隔で変化させた6種類を使用した。各周期における

波高は、対象被覆材毎に算定した安定限界波高を採用した。反射率の解析には、入反射分離法を用いた。反射率は被覆層の被災進行に伴って、波形勾配によっては減少傾向、または減少後増加する不規則な変化傾向を示した。特に被災進行に伴って侵食域の後退と堆積域の前面へのせり出しが生じる場合、砕波形式の変化と複合断面における反射波源の位相差、さらには被覆層の層厚の増減に伴う堤体透過層内におけるエネルギーロス等が影響し、反射率に対して波形勾配による変化があらわれたものと考察された。このように、被覆層法面被災、天端高の低下、並びに複合被災条件では、反射率と被災率の間には明確な対応関係が認められず、被災率という観点から護岸被覆工の被災進行に伴う消波性能の劣化について直接的に評価することは難しいことが明らかになった。

#### ② 消波性能の予測モデル

ニューラルネットワークを用いて護岸前面の被覆層における被災進行に伴う消波性能の変化予測に関するモデルを構築した。

本研究で採用したニューラルネットワークは、入力層、中間層、出力層からなる階層型モデルである。入力層ユニットには、複合被災パターンの場合の被災に関する諸量として3項目（天端幅/代表粒径、天端沈下量/代表粒径、被災時の法面勾配）、護岸の堤体諸元として6項目（法先水深、天端高、コア高、法面勾配、被覆材の代表粒径および空隙率）、設計波浪条件として2項目（波高、周期）の計11項目を用いている。また、法面被災の場合の被災に関する諸元には、被災率、被災幅、被災位置を用いている。

図-8は、複合被災の場合の水理模型実験より得られた反射率の実験結果と、ニューラルネットワークを利用した予測モデルによる反射率の予測結果を比較したものである。消波性能に関する予測モデルは、実験結果をほぼ±10%程度の誤差で予測できており、被覆層の累積被災と護岸の反射性能に関する評価に対してニューラルネットワークの適用性の可能性が確認できた。

#### (4) 数理モデルに基づく消波施設耐力と外的負荷を考慮した応急修復を伴う保全問題に関する研究

##### ① □ 累積損傷過程を基礎とした保全モデル

本施設劣化モデルに対し、予防・事後保全いずれが実施された場合においても、施設は運用開始時と同じ性能を有する状態（新品）まで機能回復が行われると仮定する。

##### 有限計画期間を考慮した制御限界モデル

供用期間内において、累積量  $k$  以上  $K$  未満の場合に予防保全を実施するモデルを提案した。評価規範を総期待保全費用とし導出し、数値実験により総期待保全費用を最小化する

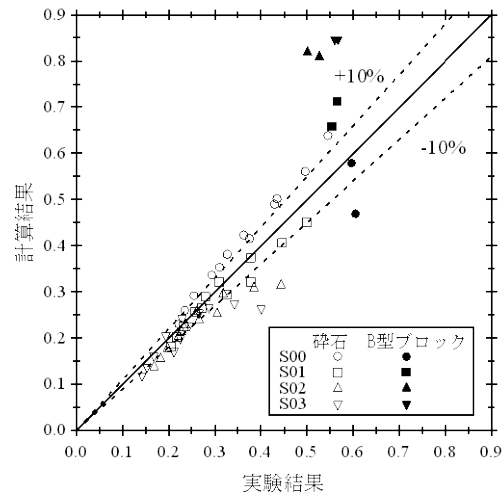


図-8 複合被災の場合の反射率に関する実験結果と計算結果の比較図

る最適予防保全レベル  $k^*$  について議論した。結果、一衝撃あたりの平均損傷量のみならず、損傷量の分散も最適予防保全レベルに影響を与えることが判明、施設環境に依存した保全計画の必要性が明らかとなった。

##### 無限計画期間における年齢保全モデル

海岸保全施設の供用期間は、実施には長期間となる場合が多い。従来の LCC 算定だけではなく、単位期間あたりの総期待保全費用を評価規範と設定することも保全計画立案上、有効な手法と考えられる。そこで、再生報酬定理を用い無限計画期間における単位期間あたりの総期待保全費用を年齢予防保全モデルに適用し、最適予防保全方策について議論した。結果、最適保全方策の解析的な条件付け、ならびに予防保全年齢が費用最小化に影響を与えることが確認できた。

##### 無限計画期間における制御限界モデル

先の無限計画期間における単位期間あたりの総期待保全費用を規範に、累積損傷量  $k$  で予防保全を実施する制御限界モデルについて議論を実施した。その結果、最適保全方策の有限性に関する理論的解析による条件付け、ならびに予防保全年齢が費用最小化に大きな影響を与えることが確認できた。

##### ② □ ガンマ劣化過程を基礎とした Peaks-over threshold モデル

本施設劣化モデルに対し、予防保全手段としては年齢予防保全を基礎とした以下の3モデルを提案した。予防保全時において、施設は運用開始時と同じ性能を有する状態（新品）まで機能回復が行われると仮定する。

##### 一定水準修復モデル

施設破壊事象が生じた場合、施設は事前に定めるある一定の性能水準まで修復される。本保全モデルに対し供用期間における期待総保全費用を導出。さらに期待保全費用を最小化する最適予防保全水準について議論した。結果、有限な最適修復レベルは存在する

ものの、費用に対する感度はさほど大きくない。しかし、予防保全年齢に対する最適修復レベルの感度は大きく、予防保全年齢との組合せに注意が必要であることが判明した。

#### 現状回復モデル

施設破壊事象が生じた場合、施設は破壊発生直前の状態と同状態まで修復される。いわば一時修復的な保全モデルであり、一般に小修理(minimal repair)と呼ばれる。本モデルに対し、無限計画期間における単位時間当たりの総期待保全費用を導出した。また、期待費用最小化を目的とした最適予防保全年齢について議論した。

#### 現状回復回数制限モデル

先の現状回復モデルに対し、施設破壊時の一時修復回数に制限を設定した保全モデルである。これは、施設老朽化にともなう頻繁な一時修復は非効率・非経済的と予測されるため、一定回数以上は事後修復を実施せず、完全修復となる予防保全に切り替えるモデルである。無限計画期間における単位期間あたりの期待総保全費用を導出し、最適事後保全回数について議論を実施した。

以上より、施設環境を考慮した適切な予防保全計画の立案・実行により保全費用の削減が可能であることが示された。今後は、施設破損量に依存した保全期間、社会的損失を具体的に考慮した数理的保全モデルの提案と、保全計画の開発が目標である。

#### 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 11 件)

- ① 太田隆夫, 松見吉晴, 佐藤毅, Statistical Characteristics of deformation quantity of rubble mound seawall, Coastal Structure 2011, 査読有, 2011, 印刷中
- ② 松見吉晴, 太田隆夫, 大野賢一, 護岸被覆工の天端と法面の複合被災における消波性能の予測モデル, 土木学会論文集B3 (海洋開発), 査読有, 第 67 巻, 2011, 印刷中
- ③ 佐藤毅, 松見吉晴, 河合一, 異なる事後保全形態に従う消波ブロック保全, 電子情報通信学会信学技法, 査読無, 2010, 1-5
- ④ 佐藤毅, 松見吉晴, 太田隆夫, 消波施設耐力と外的負荷を考慮した応急修復を伴う年齢型予防保全問題, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 査読有, 第 66 巻, 2010, 931-935
- ⑤ 太田隆夫, 松見吉晴, 木村晃, 捨石護岸の断面変形量の統計的特性について, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 査読有, 第 66 巻, 2010, 871-875
- ⑥ 松見吉晴, 太田隆夫, 大野賢一, 護岸被覆工の累積損傷に伴う反射率の評価システムについて, 土木学会論文集B2 (海岸工

学), 査読有, 第 66 巻, 2010, 826-830

- ⑦ 太田隆夫, 松見吉晴, 木村晃, 傾斜護岸の断面変形のモデル化と性能評価, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 査読有, 第 66 巻, 2010, 721-725
  - ⑧ 太田隆夫, 木村晃, 松見吉晴, Wave runoff and overtopping on gentle slope revetment behind artificial reef, Recent Advances in Marine Science and Technology 2008, 査読有, 2009, 76-86
  - ⑨ 佐藤毅, 松見吉晴, 太田隆夫, 供用期間を考慮した消波ブロックの損傷度に基づく予防補修問題, 土木学会海岸工学論文集, 査読有, 第 56 巻, 2009, 951-955
  - ⑩ 太田隆夫, 松見吉晴, 木村晃, 傾斜堤および傾斜護岸における断面変形のモデル化と性能評価, 土木学会海洋開発論文集, 査読有, 第 25 巻, 2009, 175-180
  - ⑪ 松見吉晴, 河合直樹, 太田隆夫, 護岸被覆工の被災劣化に伴う反射率変化に関する予測診断システムの開発, 土木学会海洋開発論文集, 査読有, 第 25 巻, 2009, 169-174 [学会発表] (計 3 件)
  - ① 太田隆夫, 傾斜護岸の断面変形過程の特性について, 土木学会中国支部研究発表会, 2011年5月21日, 岡山大学
  - ② 佐藤毅, 異なる事後保全形態に従う消波ブロック保全, 電子情報通信学会信頼性研究会, 2010年5月28日, 岡山大学
  - ③ 太田隆夫, 傾斜護岸における断面変形のモデル化について, 土木学会中国支部研究発表会, 2009年5月30日, 広島工業大学 [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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

##### (2) 研究分担者

太田 隆夫 (OHTA TAKAO)  
鳥取大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 70233129  
佐藤 毅 (SATOU TSUYOSHI)  
鳥取大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 30304405  
平成 20 年度のみ  
木村 晃 (KIMURA AKIRA)  
鳥取大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 20027262