

氏名	はんざわ みのる
授与学位	半澤 稔 博士(工学)
学位授与年月日	平成23年9月14日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 土木工学専攻
学位論文題目	消波ブロックの設計の高度化に関する研究
指導教員	東北大学教授 田中 仁
論文審査委員	主査 東北大学教授 田中 仁 東北大学教授 真野 明 東北大学教授 今村 文彦

論文内容要旨

1. 研究背景及び目的

近年、「安全・安心」な社会の構築が声高に叫ばれ、様々な分野で取り組みがなされており、港湾、海岸等の海域施設も例外ではない。従来から施設整備が進んできたにも関わらず、未だに種々の災害に見舞われている。例えば、平成19年9月の台風9号によって神奈川県・西湘バイパスにおける擁壁倒壊や路面崩壊などの被害が発生しており、平成20年2月には寄り回り波によって富山湾を中心に港湾や海岸に被害が発生している。平成23年3月11日に発生したマグニチュード9.0という歴史上国内最大規模の「東北地方太平洋沖地震」並びに、それに起因する「大津波」により、東日本の太平洋沿岸を中心に未曾有の被害が発生し、それは「東日本大震災」として歴史に刻まれることとなった。

本研究は、海域施設でポピュラーな「消波ブロック」を対象に、「安全・安心」に向けて設計面での高度化に資することを目的として、港湾、海岸各々について主要な構造物を取り上げ、従来取り組まれてこなかった課題について検討を行っている。すなわち、港湾については消波ブロック被覆混成堤を対象に、消波工の信頼性設計の適用検討を、また、海岸については離岸堤を対象に、津波防災の観点からの効果並びに、消波ブロックの安定性について検討を行ったものである。

2. 風波を対象とした消波ブロックの設計の高度化に関する検討

港湾では「信頼性設計や性能設計」に向けた動きに対応するため、被害を具体的に考慮する設計法が望まれるようになってきた。設計波高を超えた場合にどの程度の被害が生じるかといった、シナリオを想定した考え方もまた必要となっており、既に防波堤のケーソンに関してはそうした取り組みがなされている。一方、消波ブロックについて見ると、以下に示すハドソン式によって必要重量を求める設計が行われてきているが、前述の設計体系への対応はできていない。

$$W = \frac{\gamma_r H_{1/3}^3}{KD(Sr-1)^3 \cot \alpha} \quad (2.1)$$

ここに、 W ；石又はブロックの必要重量 (tf)， γ_r ；石又はブロックの空中単位体積重量(tf/m³) (1tf/m³=9.8kN/m³)， S_r ；石又はブロックの海水に対する比重， α ；被覆斜面が水平面となす角(度)， $H_{1/3}$ ；設計有義(m)， KD ；主として被覆材の形状及び被害率等によって定まる係数

以上を背景にファン・デル・メーアや鹿島らによって、消波ブロックの新しい安定性評価式への取り組みが提なされてきたが、従来のデータを表現しきれていなかった。そこで、本研究では種々の検討を加えた結果として以下の新しい安定性評価式を構築した。

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{\gamma_r H_{1/3}^3}{Ns^3 (Sr-1)^3} \\ Ns &= C_H [2.32 (N_0/N^{0.5})^{0.2} + 1.33] \\ C_H &= 1.4 / (H_{1/20}/H_{1/3}) \end{aligned} \right\} (2-2)$$

ここに、 N_0 ； D_n の幅の断面内におけるブロックの移動個数(図-2-1)， D_n ；ブロックの代表径(体積の3乗根)， N ；作用波数， C_H ；碎波係数， $H_{1/20}$ ；1/20最大波高である。図-2-2により新提案式は既往の実験データとの適合性が非常に高いことが確認される。

次に、式(2-2)を基にモンテカルロ法により、沖波、潮位、波浪変形、被災度など、種々パラメータの統計的変動性を考慮した上で、構造物の寿命(50年)における累積被災度を計算する手法を提案した。図-2-3は計算例として沖波波高9.2m、周期14.1sの場合の期待被災度(50年箇における累積被災度の統計的な平均値)を海底勾配が1/50と1/10について示したものである。ブロックは各々の水深毎に波高を求め、式(2-2)で N_0 を0.3、 N を1,000として計算される重量を対象としている。図-2-4は1/50の場合について重量の割り増しによる効果を見たものである。これらの図から、従来、同一レベルの安定性を想定して設計していた構造でも、期待被災度の観点からは安全度に差があること、また、重量割り増しの効果が定量的に把握できることがわかる。以上より、消波ブロックについても信頼性設計に向けた新たな知見を得ることができた。

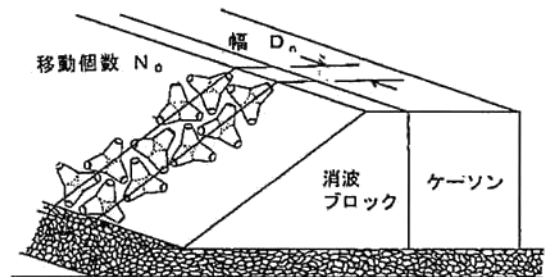


図-2-1 被災の定義

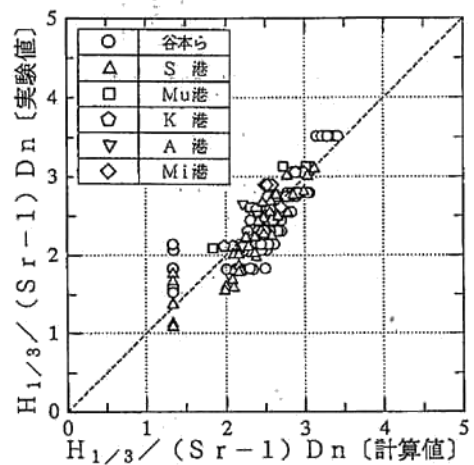


図-2-2 新提案式と既往データとの適合性

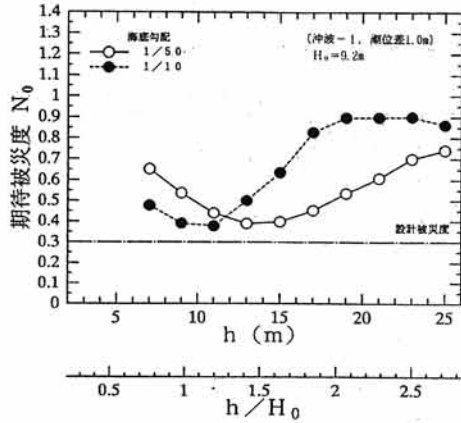


図-2-3 期待被災度

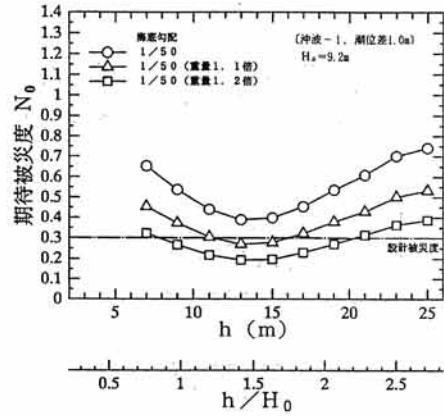


図-2-4 重量割り増しによる期待被災度の比較

3. 津波に対する消波ブロックの効果および安定性に関する検討

図-3-1 に検討に用いた実験水槽および、離岸堤断面を示す。離岸堤はテトラポッド(質量 59 g)により天端 3 個並びで形成した。天端高はクリアランス(静水面上高さ) hc を 4cm としたケース(通常タイプ) および、 hc を 0cm としたケース(水中部のみ) の 2 つのケースを対象とした。水中部のみ断面は、津波第一波により離岸堤に被災が生じた場合を想定し、後続波に対する離岸堤の効果を把握するために設定したものである。なお、本研究においては、実験波浪は孤立波を対象としている。

図-3-2 は遡上高について離岸堤の効果を見たものであり、横軸は H_0/h_0 (h_0 : 沖水深, H_0 : 波高計 No. 1 での波高), 縦軸は離岸堤がない場合に対するある場合の遡上高比率をとっている。通常タイプの離岸堤によって水深小では 10%~70%, 水深大では 35%~70% 程度に遡上高が低減されることがわかる。また、被災想定断面(水中部のみ) でも 40%~80% (水深小), 60%~80% (水深大) と低減されることがわかる。図-3-3 は遡上高と同様に、離岸堤による海岸堤防に作用する波力の低減効果を見たものである。通常タイプの離岸堤によって、波力は 60%以下に低減できることがわかる。また、水中部のみ断面の場合でも波力低減効果は明確であり、波力は 80%以下に抑えられることがわかる。図-3-4 は津波に対する離岸堤の安定性についての検討結果例であり、津波(孤立波)(入射波高 $\eta_{max}=15.5cm$) の来襲前後の断面変化を示している。

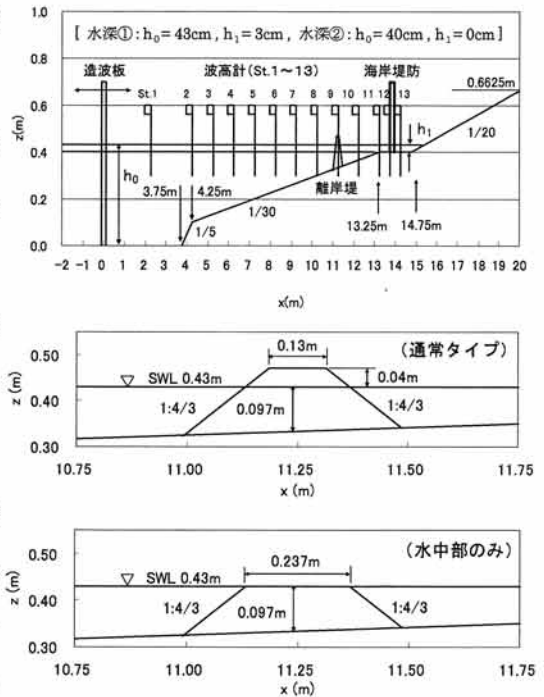


図-3-1 水槽内配置および離岸堤断面

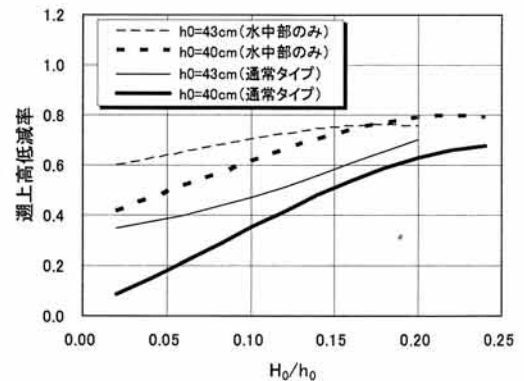


図-3-2 遡上高低減効果

離岸堤は津波に対しては、岸側斜面での被災が顕著となることがわかる。その他一連の実験から、離岸堤消波ブロックの被災は、波の峰が通過した後にあたかも滑り破壊のような被災が生じる傾向が見られること、風波と津波を比較した場合、同一の波高（津波高）に対しては、津波の方が風波よりも被害は大きくなる傾向があること、離岸堤設置水深が小さい方が被災は大きくなる傾向などがわかった。被災発生状況を基に、安定性向上策として離岸堤岸側法尻を固定することが考えられた。図-3-5は対策を施した場合の断面変化測定結果であり、安定性向上効果が確認された。

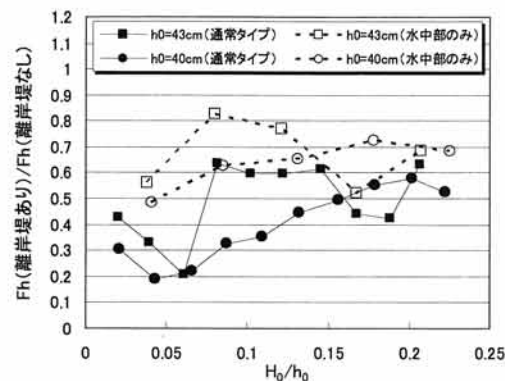


図-3-3 海岸堤防波力低減効果

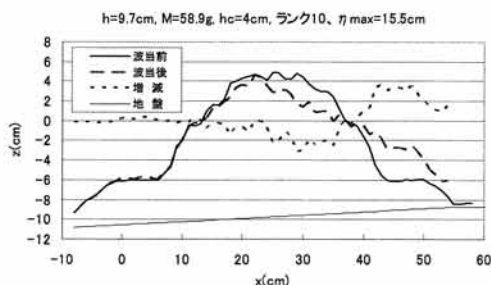


図-3-4 津波来襲前後の断面変化（法尻固定なし）

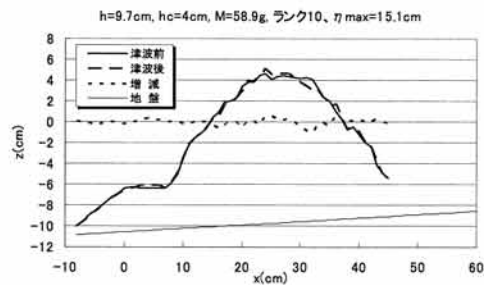


図-3-5 津波来襲前後の断面変化（法尻固定あり）

次に、数値波動水路（CADMAS-SURF）を津波の検討に拡張適用した結果の一例を示す。図-3-6は海岸堤防に作用する波圧分布についての計算結果を実験結果と比較したものである。図から計算結果は実験結果とよく合っていることがわかる。この他、津波波形や波圧などの時系列も計算によってよく表現できることを確認しており、数値波動水路を離岸堤の効果も含めて津波（孤立波）の検討に適用できる可能性を確認できた。

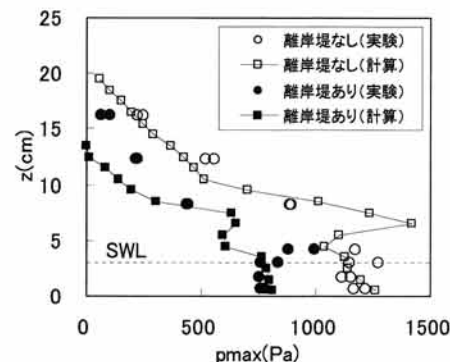


図-3-6 数値計算と実験の比較（ $H_0=5\text{cm}$ ）

4. 総括

本研究では、消波ブロック被覆混成堤を対象に、消波ブロックの新しい安定性評価式を構築し、それをベースにモンテカルロ法を用いた消波工の信頼性設計手法を提案した。単に安定重量を求めるだけでなく、種々パラメータを、統計的な変動性をも踏まえて取り込むことが可能となり、消波ブロックの信頼性設計に向けた貴重な一歩を踏み出した。また、離岸堤を対象に津波に対する機能および、挙動に関する実験的な検討を行い、津波に対する防災面での効果並びに、消波ブロックの安定性に関して新たな知見を得ることができた。更に、主に風波にのみ適用されてきた数値波動水路が、離岸堤の津波防災効果についても適用可能であるという有益な成果を得ることができた。本研究は、消波ブロックの設計の高度化の側面から、水工学分野の進展に寄与するものである。

論文審査結果の要旨

近年、「安全・安心」な社会の構築が叫ばれており、港湾、海岸等の海域施設も例外ではない。本研究は、海域施設で用いられている消波ブロックを対象に、設計面での高度化に資することを目的として、港湾、海岸各々について主要な構造物を取り上げ、従来取り組まれてこなかった課題について検討を行っている。すなわち、港湾については消波ブロック被覆混成堤を対象に、消波工の信頼性設計の適用検討を、また、海岸については離岸堤を対象に、津波防災の観点からの効果並びに、消波ブロックの安定性について検討を行った。

第1章では「序論」として本論文の背景、目的並びに、論文構成について記述している。

第2章では、既往の研究をレビューし課題を整理するとともに、本研究の位置付けを記述している。

第3章では、消波被覆混成堤の消波ブロックについて、従来の設計では取り込んでこなかった被災の程度や、作用波の数といったパラメータを含んだ新しい安定重量算定式の検討を行った。さらに、モンテカルロ法を用いた被災度期待値に関する計算手法を提案し、種々パラメータの影響について検討を行った。以上より、消波ブロックについても、単に安定重量を求めるだけでなく、種々パラメータを統計的な変動性をも踏まえて取り込むことが可能となった。これは、港湾工学分野において信頼性設計への方向性を切り開いた貴重な成果である。

第4章では、離岸堤について従来検討が進んでいなかった津波を対象に、離岸堤の持つ背後海岸への遡上高低減効果や、海岸堤防への波圧低減効果並びに、ブロック自体の安定性について実験的な検討を行った。また、離岸堤の持つ海岸堤防への波圧低減効果に対する数値波動水路の適用についても検討を行った。以上より、離岸堤の持つ津波に対する防災面での効果並びに、消波ブロックの安定性に関しての知見が得られた。また、従来主に風波にのみ適用されてきた数値波動水路が、離岸堤の津波防災効果についても適用可能であることを示した。これは、海岸工学分野において貴重な知見である。

第5章では、本研究の結論を示すとともに、今後の課題並びに展望をまとめている。

以上要するに、港湾および海岸の主要構造物に使われる消波ブロックの機能・設計法に関して、新たな知見が得られたことから、海岸・港湾工学分野の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。