

報告書の要約

助成番号	研究開発テーマ名		係留式越波対策工の実現に向けた基礎的検討	
令和 7 年 2 月 25 日付 第 15-4 号	助成研究者	ふりがな 氏名	やましろまさる 山 城 賢	印
		所属	九州大学大学院工学研究院	

1. はじめに

気候変動による台風の強大化や海面上昇の影響により、越波の発生頻度が高まり、これまでは生じていなかった護岸においても越波が発生するようになる。その影響は港湾施設においても大きいと想定される。対策としては、護岸の嵩上げや消波工の設置などが考えられるが、空間や地形、コスト等の制約により実施が困難な場合もある。著者らは、図-1 に示すような既存の直立護岸に円柱体を係留する低コストかつ簡易な越波対策工（以後、係留式越波対策工と呼ぶ）を提案している。本研究では、係留式越波対策工の実現に向け、これまでの断面 2 次元的な検討を継続し、入射波や対策工の条件が異なるデータをさらに追加して、対策工の最適条件の選定手法を提案した。並行して、今後、斜め入射波や対策工の配置の影響を詳細に評価するため、平面水槽を用いた水理模型実験と 3 次元数値シミュレーションに関する基礎的な検討を行った。

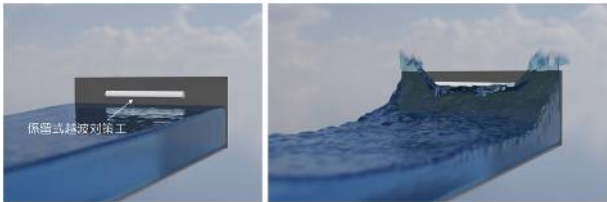


図-1 係留式越波対策工のイメージ（左：設置状況，右：越波を防ぐ様子（数値シミュレーション結果））

2. 係留式越波対策工の概略

係留式越波対策工はパラペットなどの剛構造物ではなく、軽量円柱を 2 本の係留索で既存の護岸に吊り下げる柔構造物で、波に追従して上下に動く点が特徴である。本対策工は大規模な越波を防ぐことを目的としたものではなく、気候変動に伴う海面上昇によって図-1 のような護岸を遡上する越波を対象としている。また、本対策工は定期的なメンテナンスが必要となるが、既往技術に比べると設置・撤去が容易で、初期コストも大幅に低減することができ、ライフサイクルコストは本対策工が有利になると考えている。

3. 水理模型実験結果に基づいた最適条件選定手法の提案

水理模型実験は、断面 2 次元造波水路に縮尺 1/45 の模型護岸を設置し、対策工を釣り糸（3 号）により係留して、護岸の内部に設置したひずみゲージにより係留索に作用する張力を計測した。入射波は 9 種類の規則波（ $H=6.67, 8.89, 11.1\text{cm}$, $T=0.745, 1.04, 1.34\text{s}$ の組み合わせ）で、対策工は、過去の結果に新たな条件を加え、全 11 ケースとなった。

最適条件の選定フローを図-2 に示す。現地での施工性などを考慮し、対策工の寸法等によるデータを選択し、選定フローにおいて必要となる①「対策工の設置高・直径」および②「係留索に掛かる張力」に関する選定図を作成した。図-3,4 はいずれも横軸を打ち上げ高と天端高の比および設置高と対策工の直径の比としており、縦軸はそれぞれ無次元越波流量、重力で無次元化した張力である。図の凡例は 9 種の入射波条件を示し、プロットの大きさは対策工の直径を示す。また、極大値を包絡する曲面を示している。これらの図を用いて、以下のように最適条件を決定する。1: 入射波や護岸の条件から模型実験や数値シミュレーションにより打ち上げの状況を把握し、横軸の「打ち上げ高／天端高」が決定する。2: 図-3 より、対象護岸の無次元許容越波流量を包絡面が下回る「設置高／直径」の条件を選定する。3: 図-4 より最大作用張力が求まる。4: 最終的に、設置場所の状況や施工性、コストなどを考慮して、対策工の長さや直径を決定する。

平面水槽（長さ 20m×高さ 0.6m×幅 9.0m）を用いた斜め入射波による実験について基

基礎的検討を行った。対策工の条件は、長さ5cm、直径2.5cm、設置位置は天端から2.5cm下である。入射波は断面実験と同じ9種の規則波で入射角は45度とした。斜め入射波では沿い波となり大きく打ち上らないため、天端高を9cm（水深25cm）と低くして波が対策工に作用するように調整した。その結果、斜め入射波では対策工に強く作用せず、張力が抑えられることがわかった。

4.3 次元数値シミュレーションの基礎的検討

数値シミュレーションには、DualSPHysics v5.4 を用い、実装されている動的係留ラインモデル MoorDyn により係留索を表現した。まず、断面2次元シミュレーションにおいて、壁面境界に no-slip 条件を適用することで係留索に作用する張力の再現性が向上することを確認した。さらに、今後の対策工の3次元挙動に関する詳細な検討を念頭に、斜め入射波による基礎的な検討を行った。DualSPHysics では、透過境界を設定できないことに加え、護岸と対策工を斜めに配置すると対策工が不安定な挙動を示した。それらを踏まえた検討の結果、計算領域として、図-5 に示す正方形の水槽内に斜め45°に導波板を二枚設置して水路を形成し、その内部に護岸と対策工を配置した。なお、導波板は護岸までとし、導波板からの反射波が護岸に極力向かわないようにした。これにより、造波板から斜め方向に一様に伝播する波が対策工に作用する過程を、水槽側壁からの反射波の影響を抑制しつつ再現できた。対策工について、長さ5cm、直径2.5cm、設置位置は天端から2.5cm下の条件で計算を行った。図-6 に、入射波が $H=8.89\text{cm}$ 、 $T=1.04\text{s}$ のケースの張力の計算結果を示す。一波毎に変動しているが、妥当な結果が得られた。

5. おわりに

本対策工の実用化に向け、水理模型実験の結果から、最適条件の選定手法を提案した。また、斜め入射波では、直入射に比べて係留策に作用する張力が小さくなる傾向があることを示した。数値シミュレーションによる係留式越波対策工の詳細な検討を可能とすることを目的に基礎的な検討を行い、no-slip 条件の導入により張力の再現性が向上することに加え、斜め入射波を対象とした3次元シミュレーションにおける計算領域の設定等について重要な知見を得た。

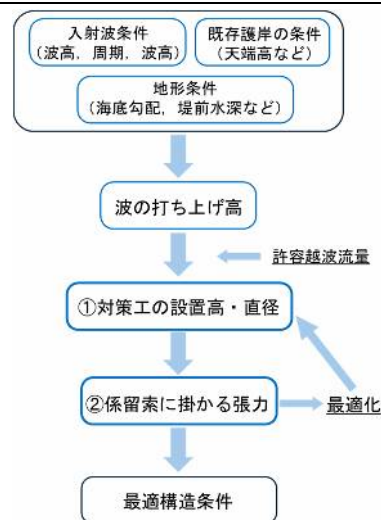


図-2 最適条件選定フロー

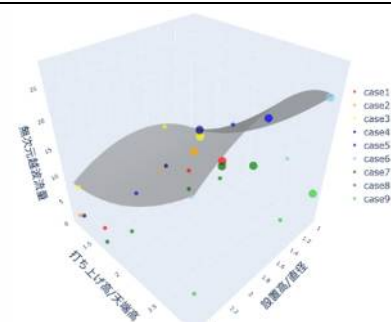


図-3 越波流量に関する選定図

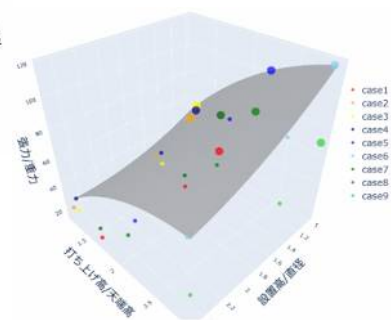


図-4 張力に関する選定図

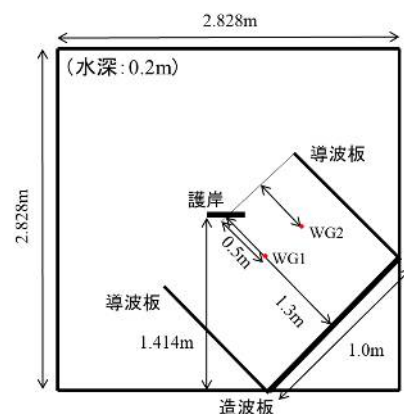


図-5 計算領域の設定

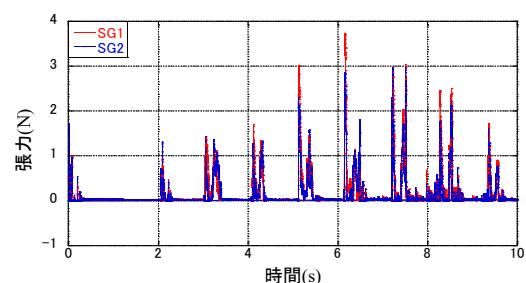


図-6 張力の計算結果の例