

係留式越波対策工の作用張力に関する数値シミュレーション

九州大学大学院 学生会員 ○坂本 聡太, 新免 和明
 九州大学大学院 正 会 員 山城 賢, 児玉 充由
 東亜建設工業株式会社 正 会 員 原 知聡, Ain Natasha Balqis,
 倉原 義之介, 武田 将英

1. はじめに

地球温暖化による台風の強大化や海面上昇の影響により、将来的に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と考えられる。将来的な越波被害の増大への対策としては、護岸の嵩上げや消波工の設置などが考えられるが、設置する空間や地形の制約、社会情勢の変化に伴う国や自治体の財政悪化などにより、これらの対策工を新設するのは困難な場合もある。以上の観点から、中谷らは既存の直立護岸に図-1 に示すような円柱状のもの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、不規則波を用いた水理模型実験により、大きな越波低減効果が期待できることを示した¹⁾。また、数値シミュレーションにより、係留式越波対策工の挙動を再現できることを確認した²⁾。しかし、中谷らが実施した数値シミュレーションは水理模型実験と比べて水路長が非常に短い試算であり、本対策工の実現に向けて重要な検討項目である係留索に作用する張力の再現性は不十分であった。本研究では、著者らが規則波を用いて係留索に作用する張力を検討した水理模型実験³⁾を数値シミュレーションにより再現し、作用張力の再現精度の向上を試みた。



図-1 係留式越波対策工

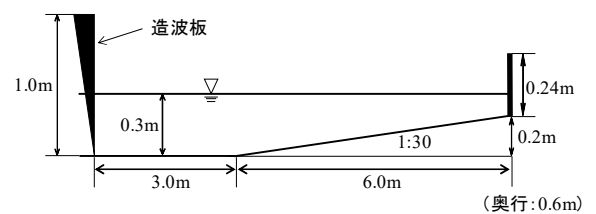


図-2 計算領域

2. 係留式越波対策工の概要

本対策工は、小規模な越波を対象としており、図-1 に示すような円柱状の物体を 2 本の係留索で既存の直立護岸に吊り下げたもので、波に追従して上下に動く。この構造により、運搬や施工、交換、維持管理が容易に行え、陸側からの景観も妨げないといった利点がある。

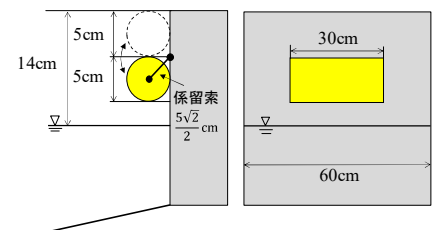


図-3 護岸部拡大図

3. 数値シミュレーション

3.1 シミュレーションモデル

数値シミュレーションには、オープンソースの DualSPHysics v5.0⁴⁾を使用した。DualSPHysics は粒子法の SPH 法に基づく流体解析ソルバーである。粒子法は、格子法では高精度な計算が困難である激しい碎波などの大変形を伴う現象においても精度良く計算することができる。また、GPU を用いた並列計算により、CPU 単体の場合と比べて大幅に計算時間を短縮できる。DualSPHysics v5.0 には動的係留ラインモデルの MoorDyn が実装されている。MoorDyn ではランプドマス法に基づいて係留ラインを再現でき、係留索に掛かる張力を出力できる。本研究ではこの機能を用いて係留索を再現した。

表-1 係留索に関するパラメータ

	Case1	Case2
ライン剛性(N)	154	29.4
直径(m)	3.30×10^{-4}	
1m当たりの質量(kg/m)	9.75×10^{-5}	
減衰比	0.8	

表-2 計算条件

総粒子数	17,565,084 個
流体粒子数	9,963,989 個
粒子間距離	5 mm
造波時間	22 s

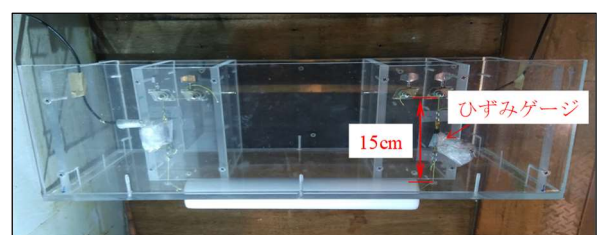


図-4 上から見た模型護岸³⁾

3.2 計算条件

図-2 に計算領域を示す。対策工の寸法は水理模型実験³⁾に合わせて 図-3 のとおりに設定し、重量も実験模型と同じ 38g とした。MoorDyn で係留索を再現する際に必要なパラメータは、模型実験で使用した釣り糸 (4 号) を参考に表-1 のとおりに設定した。本研究では、ライン剛性 (ヤング率と断面積の積) の値が異なる 2 つのケースで計算を行った。模型実験とヤング率が等しくなるようにライン剛性を設定したものを Case1, バネ定数が等しくなるように設定したものを Case2 とした。図-4 に示すように模型実験では護岸背後にひずみゲージを接続し張力を計測したため、係留索の全長が数値シミュレーションより 15cm 長い。

Case2 ではこの長さの違いを考慮してライン剛性の値を調整した。ライン剛性以外の条件は Case1, 2 で共通であり、入射波は沖波波高 11.1cm, 周期 1.34s の規則波である。その他の条件は表-2 に示す。

3.3 シミュレーション結果

図-5 は水理模型実験と数値シミュレーションで対策工に波が作用する様子を比較したものである。数値シミュレーションにおいて、実験と同様に波によって対策工が持ち上げられ、波の打ち上げを遮る様子が再現されている。図-6 は係留索に掛かる張力の時系列であり沖から見て SG1 が右側, SG2 が左側の係留索である。波により持ち上げられた対策工が波の打ち上げを防ぐときに大きな張力が作用している。しかし、Case1 では模型実験と比較して非常に大きな張力が作用している。これは、ライン剛性が大きいと係留索の伸びによる衝撃緩衝効果が小さくなり、大きな張力が生じたと考えられる。一方、Case2 では模型実験と同程度の張力が作用している。模型実験と係留索のバネ定数を合わせたことにより、対策工の持ち上がり高まで忠実に再現され、波から受ける力を正しく評価できている。

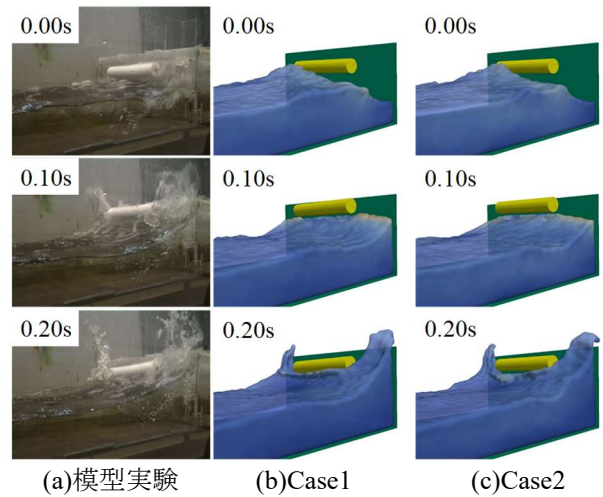


図-5 係留式越波対策工に波が作用する様子

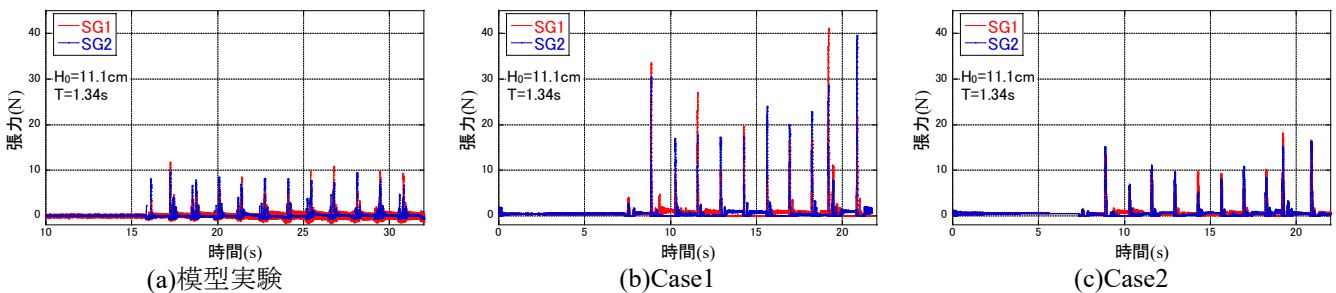


図-6 係留索に掛かる張力の時系列

4. おわりに

本研究では、数値シミュレーションにより、著者らが提案する係留式越波対策工の係留索に作用する張力を正確に再現することを試みた。その結果、係留索のバネ定数が等しくなるようにライン剛性を設定することで、作用張力を精度よく再現できることを確認した。今後は、数値シミュレーションにより様々な条件について係留式越波対策工の実現に向けた検討が可能となった。

【参考文献】

- 1) 中谷ら (2019) : 新たな越波対策工の提案とその効果に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.75, No.2, pp.145-I_150
- 2) 中谷ら (2021) : 簡易越波対策工の基本特性評価のための数値シミュレーション, 令和3年度土木学会西部支部研究発表会概要集 CD-ROM
- 3) 坂本ら(2021) : 簡易越波対策工の越波低減効果と作用張力に関する基礎的研究, 令和3年度土木学会全国大会年次学術講演会概要集 <https://confit.atlas.jp/guide/event/jsce2021/proceedings/list?lo=fin&eventCode=jsce2021>
- 4) Crespo AJC et al. (2015) : DualSPHysics: open-source parallel CFD solver on Smoothed Particle Hydrodynamics(SPH), Computer Physics Communications, Vol.187, pp.204-216