

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

九州大学 学生会員 ○中谷 和博

九州大学 正 会 員 山城 賢

九州大学 児玉 充由

東亜建設工業 (株) 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で、これまで越波が生じていなかった護岸においても将来的に越波が発生するようになることが考えられる。このような越波被害の増加の対策としては、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、近年既設の護岸に越波低減効果を付加する簡易な対策工が開発されている。著者ら¹⁾は図-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、簡易越波対策工と呼ぶ）を提案し、水理模型実験により越波低減効果が期待できることを示し、また、数値シミュレーションにより越波低減効果を評価できることを確認した。しかし、当時の数値シミュレーションでは係留索を再現できず、対策工を固定した簡単な条件での計算であった。簡易越波対策工の越波低減効果の詳細な検討には、対策工の挙動を正確に再現できる数値シミュレーションが必要である。本研究では係留索を含む簡易越波対策工の挙動について、数値シミュレーションによる再現を試みた。



図-1 簡易越波対策工模型

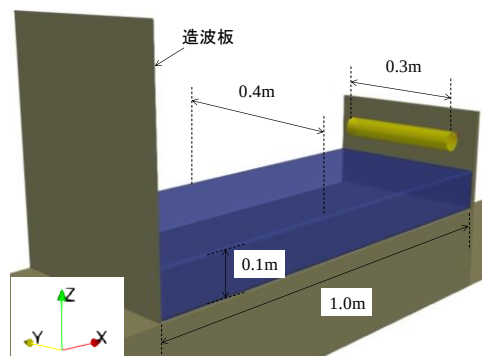


図-2 計算領域

2. 簡易越波対策工の概要

本越波対策工は円柱状の物体を2本の係留索で既存の護岸に吊り下げるもので、波に追従して上下に動く点が特徴である。また運搬や施工、交換、維持管理が容易に行えることを考慮しており、陸側からの景観も妨げない。著書らは水理模型実験により本対策工が6割以上の高い越波低減効果を有することを確認した¹⁾。

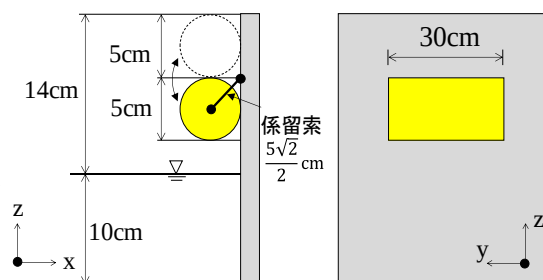


図-3 護岸部拡大図

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、オープンソースである DualSPHysics v5.0²⁾を使用した。DualSPHysics は粒子法の一つである SPH 法(Smoothed Particle Hydrodynamics)に基づく流体解析ソルバーである。計算格子を作成する必要がなく、ラグランジュ法であるので対流項を計算しなくてよい。粒子法は、格子法を用いた有限要素法や有限体積法では計算が困難である激しい碎波や水塊の分裂などの大変形を伴う現象を計算することができる。また、DualSPHysics は GPU によ

表-1 係留索に関するパラメーター

パラメーター	説明	値
ea	係留索の剛性(N)	29
diameter	係留索の直径(m)	0.0037
massDenInAir	係留索の単位長さ当たりの質量(kg/m)	0.0607
ba	内部減衰(Ns)	-0.8
can	横方向付加質量係数	1
cat	接線付加質量係数	0
cdn	横方向抵抗係数	1.6
cdt	接線抵抗係数	0.05

る並列計算が可能であり、数十万個を超える粒子を扱う大規模なシミュレーションを比較的容易に実施できることも利点の一つである。

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¹⁾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。

DualSPHysics v5.0 には MoorDyn と呼ばれる係留ラインを再現できる機能が実装されており、それを用いて係留索の再現を試みた。係留索のシミュレーションには表-1 に示すパラメーターを設定する必要があるが、本研究ではそれぞれデフォルト値を入力した。作用させた波は波高 10cm、周期 1.0s の規則波である。また、計算における人工粘性モデルの粘性係数は 0.01 と設定した。その他の条件は表-2 に示す。

3.3 数値シミュレーションの結果

図-4 は数値シミュレーションと水理模型実験で波が護岸に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ことがわかる。しかし、断面 2 次元的な計算であるにもかかわらず、一度波が作用すると、対策工の一端が不自然に持ち上がるなど不安定な状態になる(図-5)。これを改善するため、対策工の護岸に垂直な軸まわりの回転を制限するように設定した。その結果、図-6 に示すとおり、対策工の不自然な挙動が改善された。図-7 は係留索に掛かる張力の時系列であり海から見て ch1 が右側、ch2 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いでいるときに大きな張力が作用している。ただし、波が作用していないときにも張力が小刻みに変動している。これは係留索を多数の要素に離散化して表現するために生じる内力の共振が原因である可能性があり、さらに検討が必要である。

4. おわりに

本研究では、DualSPHysics と MoorDyn を用いた数値シミュレーションにより、著書らが提案している簡易越波対策工の挙動を再現可能であることを示した。今後、簡易越波対策工の実用化に向けて、越波低減効果や係留索に掛かる張力などについて定量的な検討ができ、水理模型実験を補完するツールとして利用できるよう、数値シミュレーションのさらなる精度向上を目指す。

【参考文献】

- 1) 中谷 和博, 山城 賢, 児玉 充由, 武田 将英, 倉原 義之介, 原 知聡, 西山 大和(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.I_145-I_150.
- 2) Crespo AJC, Domínguez JM, Rogers BD, Gómez-Gesteira M, Longshaw S, Canelas R, Vacondio R, Barreiro A, García-Feal O (2015). DualSPHysics: open-source parallel CFD solver on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Computer Physics Communications, Vol.187, pp.204-216

表-2 計算条件

総粒子数	2,322,730 個
液体粒子数	1,372,800 個
粒子間距離	3 mm
造波時間	8 秒
計算時間間隔	0.1 秒

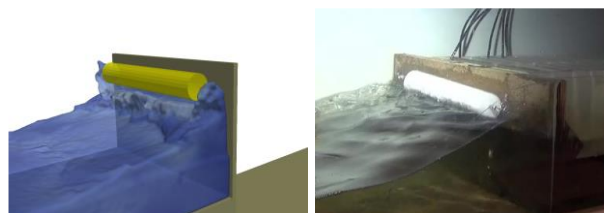


図-4 波が護岸に作用する様子(左:数値シミュレーション, 右:水理模型実験)

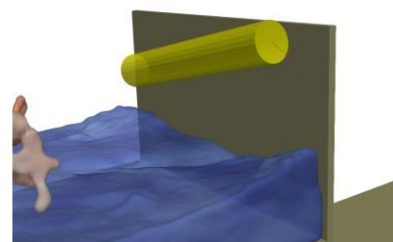


図-5 波作用後の護岸の様子

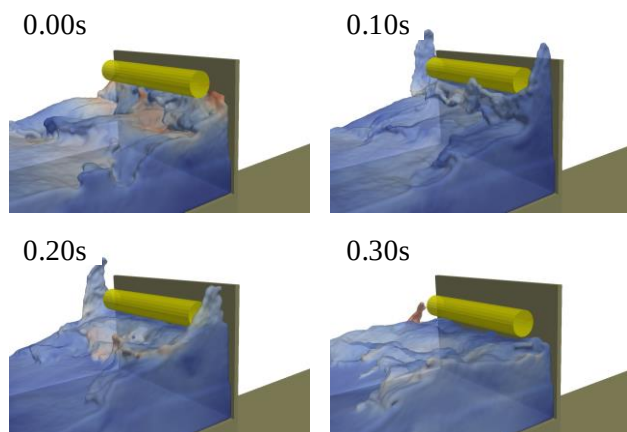


図-6 護岸に垂直な軸まわりの回転を制限したシミュレーション

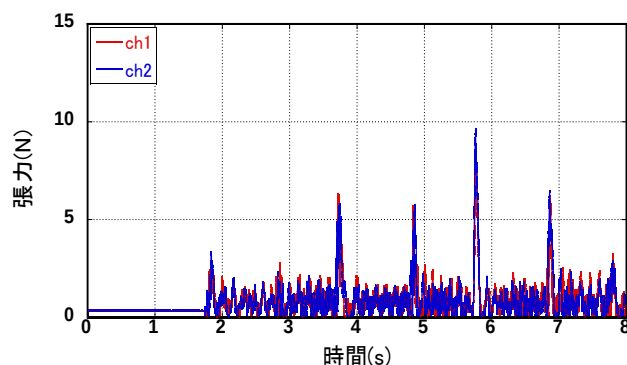


図-7 係留索に掛かる張力の時系列