

数値波動水路プログラムを用いたハイブリッドケーソンに作用する波圧の特性評価

Evaluation of Wave Pressure on a Hybrid Caisson Using a Numerical Wave Flume Program

○木村周平¹, 玉沖竜晟¹, 寺田拓海², 惠藤浩朗³, 西田淳⁴, 石橋榮稔⁴

*Shuhei Kimura¹, Ryusei Tamaoki¹, Takumi Terada², Hiroaki Eto³, Atsushi Nishida⁴, Masatoshi Ishibashi⁴

Abstract: At present, the wave pressure on hybrid caissons (HBC) is estimated using the Goda formula, which was originally developed for RC caissons and does not account for the presence of a footing. Therefore, in this study, a numerical wave tank program based on the Volume of Fluid (VOF) method (CS3D) was introduced to investigate the wave pressure characteristics acting on HBCs, with the aim of improving the overall validity and reliability of the analytical approach. As a result, consistency with the Goda formula and other existing proposed formulas was confirmed, demonstrating the validity of the CS3D analysis.

1. はじめに

Figure 1 に示すハイブリッドケーソン (以下, HBC) は, その形状および材料構成の違いにより, RC ケーソンに比べて滑動および転倒に対する抵抗性が高い. 現在, HBC のフーチング

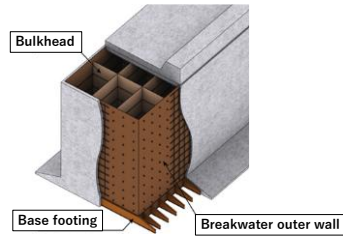


Figure 1 HBC image

上下面に作用する圧力は互いに相殺すると仮定し, RC ケーソンと同様の手法で設計されている. しかし, この仮定によりフーチングの効果が十分に考慮されず, 強度および安定性が過大に評価されるおそれがある. 従って, フーチングに作用する波圧分布の特性を明らかにし, HBC の合理的な断面設計に資する検討が求められる.

本研究では Volume of Fluid (VOF) 法を用いた数値解析手法である数値波動水路プログラム「CADMAS-SURF/3D ver.1.5^[1]」(以下, CS3D) を導入することで, HBC に作用する揚圧力・抑圧力などの波圧特性の把握および解析手法全体の妥当性や信頼性を高めることを目的とする. あわせて, CS3D によって得られた波圧分布を「江崎式^[2]」, 「合田式^[3]」, 「DualSPPhysics ver.5.2^[4]」(以下, DSPH) と比較することで, 数値解析による評価結果の妥当性を検証する.

2. 解析モデルと諸条件

Figure 2 に本解析で用いる解析モデルの概略図を示す. 造波方法には任意の位置から波浪を生成可能な造波ソースを用いている. また堤体および水槽端部による多重反射を抑制するため, 解析領域の両端にはエネルギー減衰帯を設置した. Table 1 に本研究で用いる不規則波の解析条件を示す.

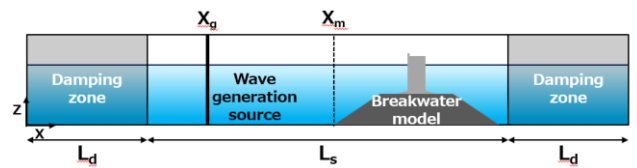


Figure 2 Schematic diagram of the analysis model

Table 1 Calculation conditions

	Case1	Case2
Significant wave height	0.20 m	1.19 m
Significant wave period	2.50 s	5.00 s
Water depth	0.82 m	21.9 m
Mound porosity	50 %	
Output time	500 s	

3. 水槽実験模型の波圧評価

江崎らによる水槽実験をもとに CS3D を用いてケーソンに作用する前面波圧, 揚圧力の算定を行った. 各波圧は江崎らの水槽実験結果, 既存の算定式, 田村ら^[5]の DSPH による解析結果と比較し, CS3D の妥当性を検証した. Figure 2 に示す解析領域にはエネルギー減衰帯 (L_d) = 1.5 m, 構造物設置範囲 (L_s) = 8.0 m, 造波ソース位置 (X_d) = 4.0 m を設定している. また Figure 3 に示す水槽実験に対応した防波堤モデルをマウンド先端位置 (X_m) = 8.0 m に設置している. 解析条件は Table 1 に示す Case1 の不規則波浪を用いた. メッシュサイズは波高の 1/10 を満たすように設定し, 水平方向・鉛直方向ともに一定幅とし 0.01 m とした.

Figure 4, 5 にケーソンに作用する前面波圧, 揚圧力, の解析結果を示す. 前面波圧について CS3D の解析結果は実験値と同様の傾向を示しているが, 下回る結果となった. その要因として波のエネルギーの減衰が影響していると考えられる. また, CS3D の結果よりも DSPH による解析結果の方が実験値に近い挙動を示しており, DSPH

1:日大理工・学部・海建 2:日大理工・院・(前)海建 3:日大理工・教員・海建 4:日本エンジニアリング株式会社

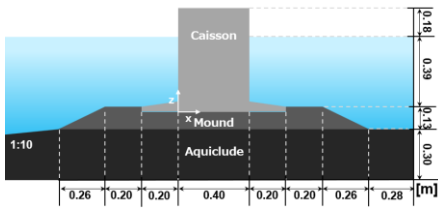


Figure 3 Breakwater model in Case1

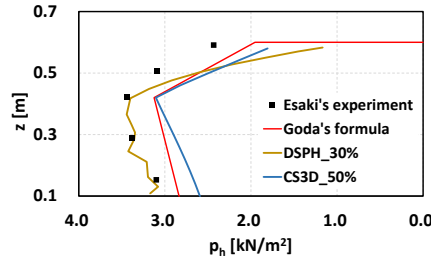


Figure 4 Horizontal pressure distribution in Case1

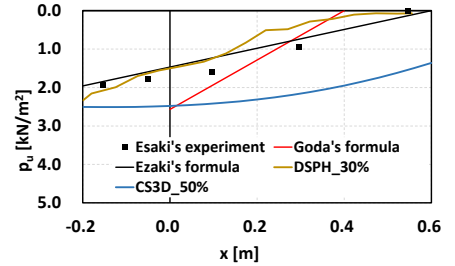


Figure 5 Uplift pressure distribution in Case1

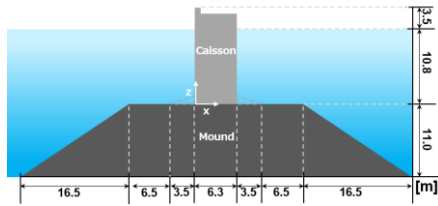


Figure 6 Breakwater model in Case2

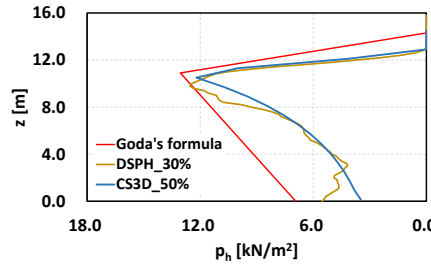


Figure 7 Horizontal pressure distribution in Case2

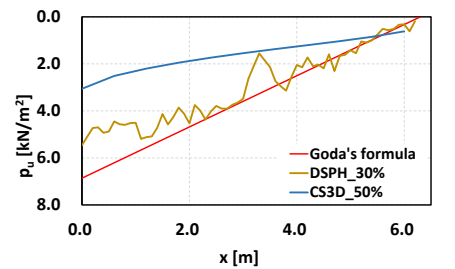


Figure 8 Uplift pressure distribution in Case2

の方が波圧分布の再現性に優れていると考えられた。揚圧力については実験値を上回る傾向が示された。その要因としては、減衰領域の設定範囲が不十分で波エネルギーの減衰が十分に行われない点や、マウンド部の透過性のモデル化に課題があることが考えられる。これらの圧力には誤差はあるものの、その分布形状には一貫性があり、CS3Dによる解析について一定の妥当性が確認された。

4. 実海域規模の波圧評価

HBCの施工事例をもとに合田式と比較するため、フーチングのない形状の防波堤をモデル化し、CS3Dを用いてケーソンに作用する前面波圧、揚圧力の解析値と合田式による算定値、DSPHによる解析結果と比較した。Figure 2に示す解析領域には $L_d=40\text{m}$, $L_s=100\text{m}$, $X_g=50\text{m}$ を設定している。また、Figure 6に示す水槽実験に対応した防波堤モデルをマウンド先端位置 $X_m=100\text{m}$ に設置している。解析条件は Table 1 に示す Case2 の不規則波浪を用いた。メッシュサイズは波高の 1/10 を満たすように解析メッシュは水平・鉛直方向ともに固定幅とし 0.1m とした。

Figure 7, 8 にケーソンに作用する前面波圧および揚圧力の解析結果を示す。合田式と CS3D の比較においては、波圧分布が完全に一致しない部分も見られた。しかし、最大波圧が発生する堤体上部から堤体下方に向けて、減衰する分布傾向が確認された。また、DSPH による解析において、CS3D のような曲線的な分布形状ではないものの、同様の挙動が再現された。最大圧力の作用位置については、合田式、CS3D、DSPH のいずれにおいてもおおよそ水面付近に位置することが確認された。前面波圧の分布

に関しては、合田式との誤差はあるものの、主要な圧力特性については合理的な対応関係が得られた。揚圧力については、DSPH の解析結果は合田式と概ね一致した一方で、CS3D による解析結果は異なる傾向を示した。

5. おわりに

本研究により、実験規模における HBC に作用する各圧力は、江崎らの水槽実験結果、既往の算定式、さらに DSPH による解析結果と概ね整合する挙動を示すことが確認された。また、実海域規模における RC ケーソンに作用する各圧力についても、合田式による算定値および DSPH 解析結果との対応が認められた。しかしながら、両者の結果は完全な一致には至らず、本解析手法についての課題が明らかとなった。今後、この相違の要因を解明するため、減衰領域の設定範囲やマウンド部の透過率などについて系統的な計算を実施し、HBC の前面波圧、揚圧力、抑圧力の解析精度の向上に努める。

参考文献

- [1] 一般財団法人沿岸技術研究センター:「CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発, 沿岸技術ライブラリーNo.39」, 2010.12
- [2] 江崎慶治, 高山知司, 安田誠宏: フーチングを有するケーソン式防波堤に作用する波圧の算定式の検証, 土木学会海洋開発論文集, 第 22 巻, pp.319-324, 2006.
- [3] 合田良実: 耐波工学, 鹿島出版会, 2008.
- [4] Crespo, AJC, Dominguez, JM, Rogers, BD, Gomez-Gesteira, M, Longshaw, S, Canelas, R, Vacondio, R, Barreiro, A, Garcia-Feal, O.: "DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)," Computer Physics Communications 187, 204-216. 2015.
- [5] 田村直輝, 石橋榮稔, 西田淳, 惠藤浩朗: SPH 法によるハイブリッドケーソン式防波堤の波圧算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) pp.99-100. 2024