

ハイブリッドケーソンに作用する波圧評価のための透過性マウンドに関する数値解析

Numerical Analysis of Permeable Mound for Wave Pressure Evaluation on Hybrid Caisson

○市川温基¹, 木村将崇¹, 寺田拓海², 恵藤浩朗³, 西田淳⁴, 石橋榮稔⁴

*Haruki Ichikawa¹, Masataka Kimura¹, Takumi Terada², Hiroaki Eto³, Atsushi Nishida⁴, Masatoshi Ishibashi⁴

Abstract: To perform a rational cross-sectional design of hybrid caissons, it is necessary to compare the pressure distribution with that given by Goda's formula and determine an appropriate mound configuration. Therefore, this study conducted numerical simulations that replicate real sea conditions, aiming to identify suitable parameters for modeling mound permeability. The results showed that when the model was constructed within a reasonable range, the calculated values were close to those obtained using Goda's formula.

1. はじめに

現在、ハイブリッドケーソン (HBC) の安定性は合田式による波圧で評価されており、フーチングに作用する圧力は考慮されず設計が進め

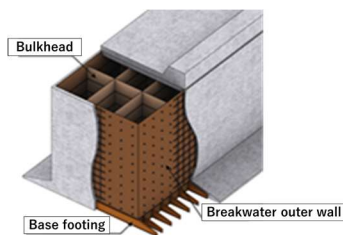


Figure 1 HBC image

られている。田村ら^[1]は、HBC に作用する波圧を SPH 法^[2]により解析し、江崎ら^[3]の実験結果と比較して妥当性の検証を行った。しかし、より合理的な HBC の断面設計を行うためには、フーチングに作用する圧力の正確な評価が求められる。そこで本研究では、特に揚圧力の評価に影響を与える透過性マウンドを構成するパラメータの特性把握を目的とし、SPH 法による各種系統計算を実施した。

2. 研究方法

本研究では、流体挙動の非線形性にも対応可能な粒子法の一つである SPH 法に基づく流体解析コード「DualSPHysics ver. 5.2^[4]」を用いて、水槽実験規模ではなく実海域規模のケーソンを対象とした数値解析を実施した。ケーソンに作用する圧力分布を精度良く算定するためには、水粒子がマウンド内部を通過可能である必要がある。そのため透過可能な形状にマウンドをモデル化し、透過マウンドモデルの空隙率や捨石径を変化させた解析を実施する。これにより得られたケーソンに作用する波圧分布を確認し、その結果を既存の設計指針である合田式と比較する。

3. 解析条件

解析領域は実海域規模を想定し、長さ 200m、水深 21.9m の二次元の水域とし、Table 1 に示す解析条件で不規則波中の解析を実施した。Figure 2 は解析領域に設

置したケーソンおよびマウンドであり、マウンド部は Figure 3 に示すように円形の捨て石モデルを規則的に配置し、マウンド部の透過性を再現している。マウンドは、Figure 3 に示すマウンド捨て石の中心間距離 (L) と捨て石の半径 (R) といったパラメータで構成され、マウンドの通水部分の幅 (d_r) や空隙率 (φ) は L と R から定まる。また Figure 4 は、実際に使用例が多い φ と R の範囲を図化したものである。また、d_r の通水部を通過する水粒子の数を n とする。各要素の変化が前面波

Table 1 Calculation conditions and wave condition

Significant wave height	1.19 m
Significant wave period	5.00 s
Maximum wave height	2.14 m
Particle size	0.03 m
Simulation time	500 s
Total number of particles	4,430,000 particles

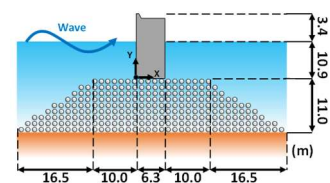


Figure 2 Caisson model and mound model

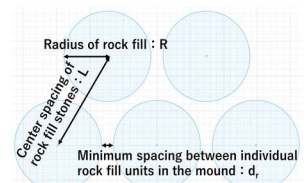


Figure 3 Mound rock fill drawing

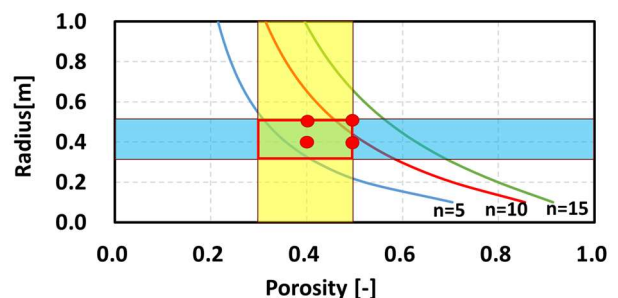


Figure 4 Graph of porosity and rock fill radius

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

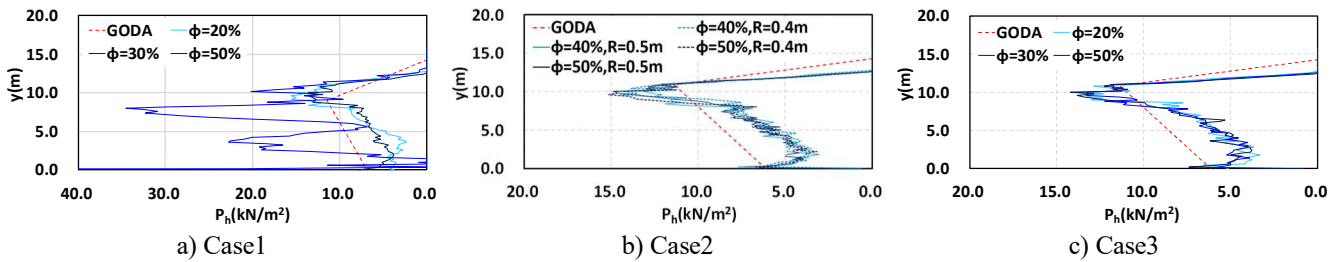


Figure 5 Distribution of frontal wave pressure acting on the caisson

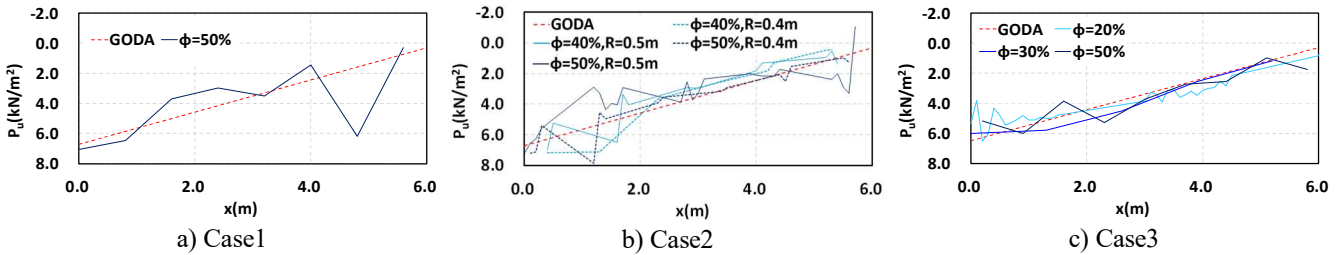


Figure 6 Distribution of uplift pressure acting on the caisson

圧および揚圧力に与える影響を確認するため、田村の実験規模における既存研究では、 ϕ を30%とした場合に、合田式と一致するという結果が示されていた。そこで田村の解析条件を参考に L を0.8と設定し、 ϕ を20, 30, 50%の比較を行ったものを Case1 とする。Figure 4の範囲から、 ϕ が40, 50%の2種類と R を0.4, 0.5mの2種類の組み合わせ、計4通りの比較を行ったものを Case2 とする。更に、 n を6と設定し、 R と ϕ を変化させた Case3 の解析を行い、比較検討を行った。

4. 解析結果および考察

4.1. ケーソンに作用する前面波圧

Figure 5 にケーソンに作用する前面波圧の解析値と合田式による計算値を示す。Figure 5a より Case1 の ϕ が30%の解析では合田式による波圧分布と異なる結果が得られた。一方でその他の解析結果は合田式の計算値と概ね一致する傾向が確認された。前面下部の波圧が合田式よりも小さく出力される傾向については、合田式が安全側に設計されており、実際の圧力よりもやや大きめに評価されることが要因であると考えられる。

4.2. ケーソンに作用する揚圧力

Figure 6 にケーソンに作用する揚圧力の解析値と合田式による計算値との比較を示す。Figure 6a に田村らの既存研究を参考に $L=0.8m$ とした際の揚圧力の解析値を示す。Figure 6a より ϕ が20%および30%のマウンドでは、合田式と大きく乖離していた。主な要因として、 d_r が0.096mと狭く、通水部を通過できる n が少ないため、水粒子がマウンド内に滞留し、流動性が損なわれたことが挙げられる。この影響により、揚圧力が実際以上に高く評価されたと考えられる。一方、 ϕ が50%のマウンドでは、 d_r が0.2mと広く、通水部を通過できる n が多いため、合田式による算定値と概ね一致

する揚圧力分布が得られた。以上のことから、既存研究と一致しない結果が一部確認されたため、マウンドの透過モデル化の見直しが必要であると判断した。そのため、実際の施工例を参考にし、 R や ϕ の範囲を図化した Figure 4 の40, 50%の2種類と R を0.4, 0.5mの2種類の組み合わせ、計4通りの解析を行い、Figure 6b に揚圧力の解析値を示した。Figure 6b より、いずれのケースも合田式に近い値を示した。このことから、Figure 4 で示した範囲内で、現実的な条件に基づいてモデル化を行えば、解析上も問題がないことが確認された。しかし、 ϕ や R による明確な傾向は得られなかった。そこで、 n を6と設定した Case3 のマウンドの解析を行い、Figure 6c に揚圧力の解析値を示す。Figure 6c より、Figure 6b と比較し揚圧力の変化は見られず、合田式との整合性は保たれていることを確認した。

5. おわりに

本研究より、 n 、 R および ϕ がマウンドの圧力に影響を与えていることを確認された。中でも、 n が圧力に与える影響が大きく、 $n=5\sim 10$ の範囲でのマウンドをモデル化することで、合田式に基づく揚圧力分布は十分に再現可能であると考えられる。

参考文献

- [1] 惠藤浩朗, 田村直輝, 西田淳, 石橋榮稔: 粒子法によるハイブリッドケーソン式防波堤の揚圧力と抑圧力算定に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 2024.
- [2] Gingold, R.A. and Monaghan, J.J.: Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars, Mon. Not. R. Astron. Soc., Vol. 181, pp. 375-389, 1977.
- [3] 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, 土木学会論文集 B2(海岸工学)Vol.45, pp.319-324, 2006.
- [4] Crespo, A.J.C, Dominguez, J.M, Rogers, B.D, 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.