

ジャケット式栈橋床版に作用する圧縮空気と波による揚圧力評価

Evaluation of Lifting Pressure Due to Compressed Air and Waves Acting on Jacketed Pier Slabs

○清水朝貴¹, 光村美南¹, 寺田拓海², 恵藤浩朗³

*Tomoki Shimizu¹, Minami Komura¹, Takumi Terada², Hiroaki Eto³

Abstract: This study investigates uplift pressure acting on pier decks during extreme waves generated by typhoons or earthquakes. When air is trapped between the deck and the water surface, compression and expansion of the air amplify the uplift pressure, leading to possible deck failure or pile extraction. To clarify this mechanism, a two-phase simulation using DualSPHysics, based on the Smoothed Particle Hydrodynamics method, was conducted. The analysis revealed that uplift pressure strongly depends on wave conditions and that trapped air significantly increases the pressure magnitude. These findings provide useful insights for the safety assessment and wave-resistant design of pier structures.

1. はじめに

台風や地震等の影響により高波浪が発生した場合、栈橋床版には揚圧力が作用し、これが栈橋を支持する杭の引き抜きや床版の破壊といった構造的損傷を引き起こすおそれがある。そのため、波浪条件に応じた床版下面に作用する揚圧力の特性の把握は極めて重要である。栈橋に作用する波の揚圧力に関して、岡本ら^[1]は数理解析により床版下面に閉じ込められた空気層の圧縮・膨張が揚圧力の増減に寄与することを示したが、非圧縮性流体を対象としており圧縮性の影響は十分に考慮されていない。これを踏まえ、今ら^[2]は SPH 法^[3]の一種である DualSPHysics^[4]を用いた気液連成解析により圧縮性流体として再現を試みた。しかし現実的な波浪条件を考慮した解析が不足しているなど初期検討にとどまっていることから、今後はより実際の施工事例に即した評価が求められる。

2. 解析条件

本研究では Figure 1 に示す栈橋モデルを対象に揚圧力評価を実施する。ここで、グレーチングを設けない場合を Case 1、グレーチングを設ける場合を Case 2 とし、Figure 1 に示すとおり Case 1 の場合はグレーチン

グ相当部分 1.0m も含め、栈橋の全長を 30 m とする。また分散関係式により、周期 8s と水深 15m の関係から、波長 (λ) は 53m と求まり、本解析におけるストローク (d) は、 λ を基準に $\lambda/30$ および $\lambda/40$ とし、粒子間距離を 0.1 m として 30 s 間の解析を行った。

3. 結果および考察

3.1 気液連成解析と液体解析による揚圧力評価

Figure 1 を用いて、気液連成解析と液体解析をそれぞれ行い、栈橋床版に作用する揚圧力の大きさを明らかにする。Figure 2 は液体解析と気液連成解析でのそれぞれの解析結果を示している。ここで液体のみによる解析の揚圧力を p_w 、気液連成解析のトータル圧力を p_t 、波による水圧を p_l 、圧縮空気による圧力を p_a とする。

波の作用が比較的小さい 10s 付近においては、液体解析により得られた値の方が大きい。しかし、栈橋床版に波が作用し始めると、床版下面に空気が閉じ込められることにより空気が圧縮され空気圧が上昇し、その影響が顕著に現れていることが確認された。以上の結果より、今後は気液連成解析で解析を行うこととし、気液連成解析では空気圧の影響により揚圧力が増大し、液体解析よりも大きな値を示すことが確認された。ま

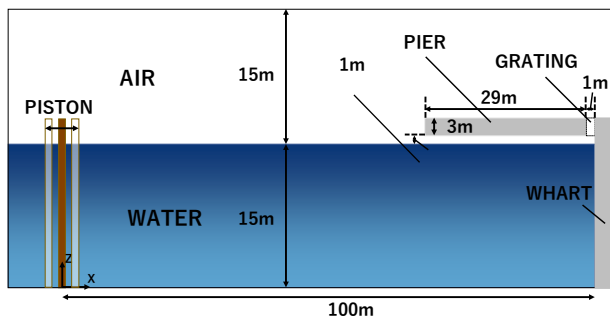


Figure 1 Cross-sectional view of the pier model

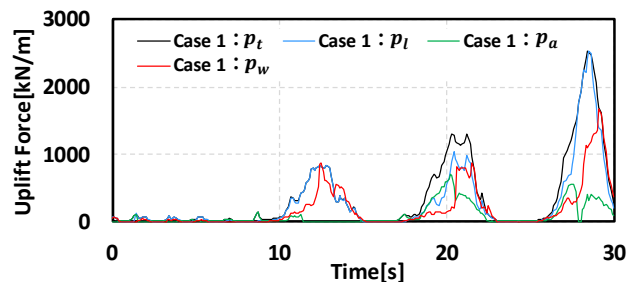


Figure2 Evaluation of uplift pressure using gas-liquid coupled analysis and liquid analysis

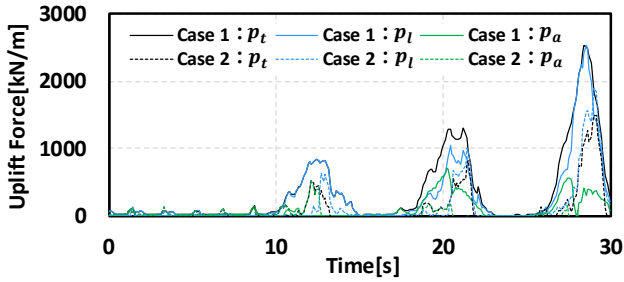
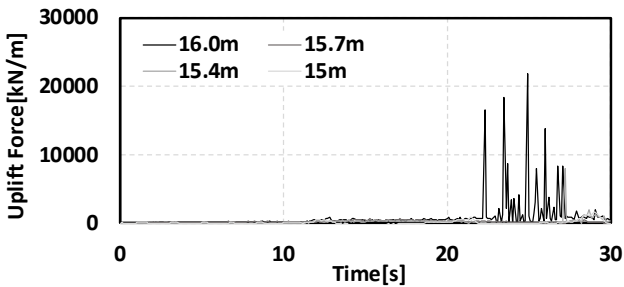
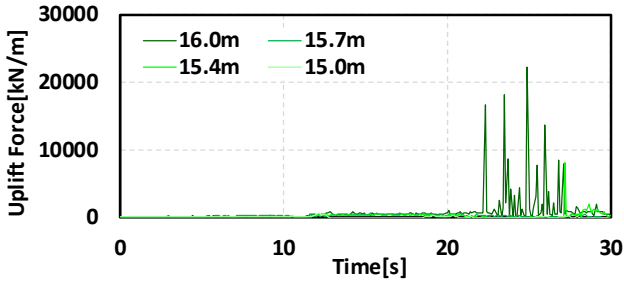


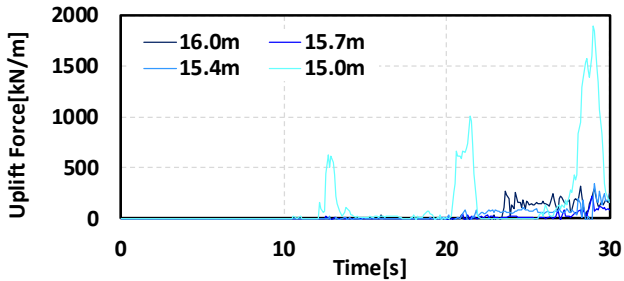
Figure 3 Comparison of Case 1 and Case 2



a) Total pressure : p_t ($d=\lambda/30$)



b) Air pressure : p_a ($d=\lambda/30$)



c) Water pressure : p_l ($d=\lambda/30$)

Figure 4 Uplift pressure acting on the pier deck due to tidal variation in Case 2

た、設計や安全基準では、水圧だけでなく、圧縮空気による空気圧の影響も考慮することが重要となる。

3.2 グレーチングの有無による揚圧力評価

Case1, 2のグレーチングの有無における揚圧力の解析結果を Figure 3 に示す。グレーチング無しのケースでは、10秒付近、20秒付近、30秒付近でピークが発生し、特に30秒付近では最大で約2500kN/mに達した。このとき水圧に加えて空気圧が大きく寄与しており、トータル圧力を増大させていることが分かる。一方、グレーチング有りのケースではピーク荷重が全体的に低減し、最大で約1800kN/m程度に留まった。一方で、グレーチング有りの場合には空気の逃げ道が確保され

るため、圧縮空気による空気圧が抑制される。その結果、トータル荷重は主に水圧に依存する形となり、ピーク荷重が大幅に低減することが確認できた。このように本解析条件下においてはグレーチングの設置が栈橋床版に作用する揚圧力の抑制に有効であることが確認された。

3.3 潮位変化による栈橋床版に作用する揚圧力

Figure 4 に示す潮位変化に伴う揚圧力の変化について考察する。Figure 4a より、潮位の上昇に伴い栈橋床版に作用するトータルの圧力は増加する傾向が確認された。また Figure 4b を見ると、潮位の上昇により床版下に空気が閉じ込められ、空気圧が高くなる傾向も確認でき、最大で22000kN/mほどまで達している。これは潮位が上がることにより栈橋床版の空気が閉じ込められて、その逃げ場が制限されたためと考えられる。そのため栈橋床版にかかる圧縮空気による空気圧は無視できないことが分かった。よって、Figure 4a, 4b より、トータル圧力の大部分が空気圧に依存していることが明らかとなった。一方で、Figure 4c を見ると潮位の低下により、水圧が増加する傾向が見られた。これは、潮位が低い場合に栈橋床版に波頂が作用している状況となり、動水圧が増加したことが要因とも考えられるが、今後より系統計算を実施して考察する必要がある。また、潮位が高い場合には栈橋が水面下に没した状況となり、動水圧は低下する結果を示した。

4. おわりに

本研究により、栈橋床版に作用する揚圧力は大部分が空気圧に依存しており、栈橋を設計するにあたり空気圧の存在は無視できないことが分かった。今後は、施工事例を用いて解析を行い、栈橋床版に作用する揚圧力の特性把握に努める。

参考文献

- [1] 岡本大史, 大久保寛, 笠原宏紹, 渡部真史, 有川太郎: 三次元流体解析を用いた栈橋に生じる揚圧力の定量的評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 76, pp. 787-792, 2020.
- [2] 今悠紀, 寺田拓海, 惠藤浩朗: SPH法を用いた水柱崩壊による水面波の生成と水柱サイズの関係性, 日本大学理工学部学術講演会, 2024.
- [3] Gingold, R. A. and Monaghan, J. J. :Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars, Mon. Not. R. Astron. Soc, Vol. 181, pp375-389, 1977.
- [4] Crespo, AJC, Dominguez, JM, Rogers, BD, Gomez-Gesteira, M, Longshaw, S, Canelas, R, Vacondio, R, Barreiro, A, Garcia-Feal, O(2015). "DualSPHysics : Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)," Computer Physics Communications 187, 204-216.