

杭構造物における波の打ち上げ高に関する三次元数値解析

大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○本田 隆英
 同 上 フェロー会員 伊藤 一教
 同 上 正会員 織田 幸伸

1. はじめに

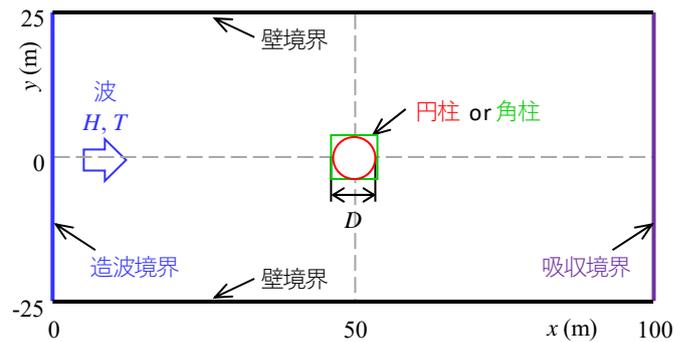
洋上風力発電施設の杭基礎に作用する波力は、杭径 D が波長 L に対して小さい場合 ($D/L < 0.2$)、モリソン式により求められる¹⁾。このとき、 $D/L < 0.2$ では波の進行を阻害しないものとして、波力の作用上限は通過波の最高水位とされる。ただし、来襲波浪により杭基礎前面で通過波の最高水位を大幅に超える打ち上げが発生した場合、水塊が風車羽根に衝突し、運転に支障をきたす恐れがある。そこで本研究では杭基礎を対象とし、杭基礎の断面形状や波形勾配が異なる条件で、波の打ち上げ高に関する数値解析を実施した。

2. 数値解析方法

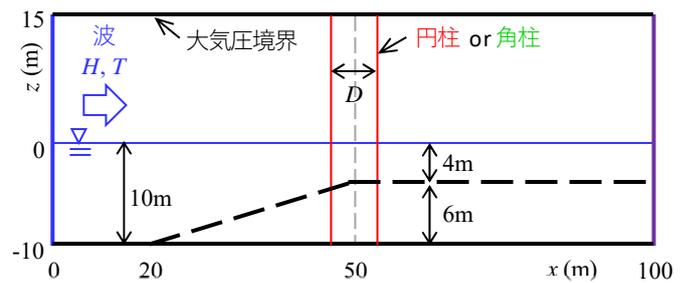
数値解析には、VOF 法に基づく気液二相の三次元流体解析コード OpenFOAM[®] (v1806) を使用した。解析領域を図-1 に示す。解析は三次元とし、平面領域の中央に円柱または角柱の杭基礎を配置した。沖側境界から波高 H 、周期 T の規則波を入射させ、陸側端部で吸収境界を設定した。解析ケースは表-1 に示すように、海底が水平床で入射波高・周期は固定して杭径を変化させた CASE 1 と、海底に一樣斜面を設けて杭基礎の直前または直後で碎波する複数の波形勾配の来襲波浪を対象とした CASE 2 を設定した。解析格子サイズおよび解析時間は、予備解析により次の通りとした。解析格子は $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1\text{m}$ の構造格子を標準とし、杭基礎周辺は SnappyHexMesh 機能 (level 1) により細分化した。解析時間は、造波開始から打ち上げ高がほぼ安定する 4 波程度とした。杭基礎前面の水位は VOF 値を海底から積分することで算出し、初期水面 $z = 0\text{m}$ を基準とした最高水位を打ち上げ高 η_{max} とした。

3. 解析結果

CASE 1 の結果として、杭径 D を波長 L で無次元化した D/L と打ち上げ高 η_{max} の関係を図-2 に示す。同図には、 $D = 0\text{m}$ として杭基礎を設置しない通過波による最高水位と、杭基礎設置位置 ($x = 50\text{m}$) に直立壁を設置した完全反射条件での打ち上げ高を合わせて示す。打ち上げ高 η_{max} は、 D/L の増大に伴って大きくなり、円柱に比べて角柱の方が大きい。CASE 1 では、波浪阻害の影響がほとんどないとみなされる $D/L < 0.2$ の条件で杭径 D を設定したが、本結果では通過波の約 2 倍の打



(a) 平面図



(b) 縦断図

図-1 解析領域

表-1 解析ケース

	CASE 1	CASE 2
入射波高 H (m)	4.0	4.0 ~ 6.0
入射波周期 T (s)	8.0	6.0 ~ 15.0
杭径 D (m)	0 ~ 14.0	7.0
海底勾配	なし	あり (図-1(b)の点線)

キーワード 杭構造物, 打ち上げ, 数値解析, OpenFOAM

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7234

打ち上げ高が算出された。次に碎波条件で入射波を変化させた CASE 2 について、円柱の場合の結果を図-3 に示す。入射波の周期 T および波高 H の増大とともに、打ち上げ高 η_{max} は大きくなっている。打ち上げ高 η_{max} を入射波高 H で無次元化し、波形勾配 H/L で整理したものを図-4 に示す。図-2 と同様に打ち上げ高は角柱の方が大きく、碎波条件において波形勾配 H/L が小さいほど入射波高に対する打ち上げ高 η_{max}/H は大きくなる結果が得られた。次に、打ち上げ水塊の厚さ η_R と波形勾配 H/L の関係を図-5 に示す。同図の縦軸は、図-6 に示すように杭基礎前面で発生した打ち上げ水塊の鉛直厚さ η_R を入射波高 H で無次元化したものである。図-5 より、円柱の場合は入射波高 H の 0.1~0.2 倍程度の厚さの打ち上げ水塊が発生し、角柱についてはばらつきがあるものの最大で 0.8 倍の厚さの打ち上げ水塊が算出された。

4. まとめ

本解析結果より、杭径が波長の 0.2 以下であっても打ち上げ高は通過波の 2 倍程度に大きくなる場合があり、特に来襲波が杭基礎前後で碎波する条件では波形勾配が小さいほど顕著であることが分かった。杭基礎の断面形状によっては、打ち上げが大きく、洋上風力発電施設では風車羽根への水塊衝突の検討の必要性が示唆された。今後は、本解析で得られた結果の水理模型実験による検証と、打ち上げ高の増大が波力増加に及ぼす影響の検討を実施する予定である。

参考文献

- 1) 土木学会 (2011) : 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010 年版], 582p.

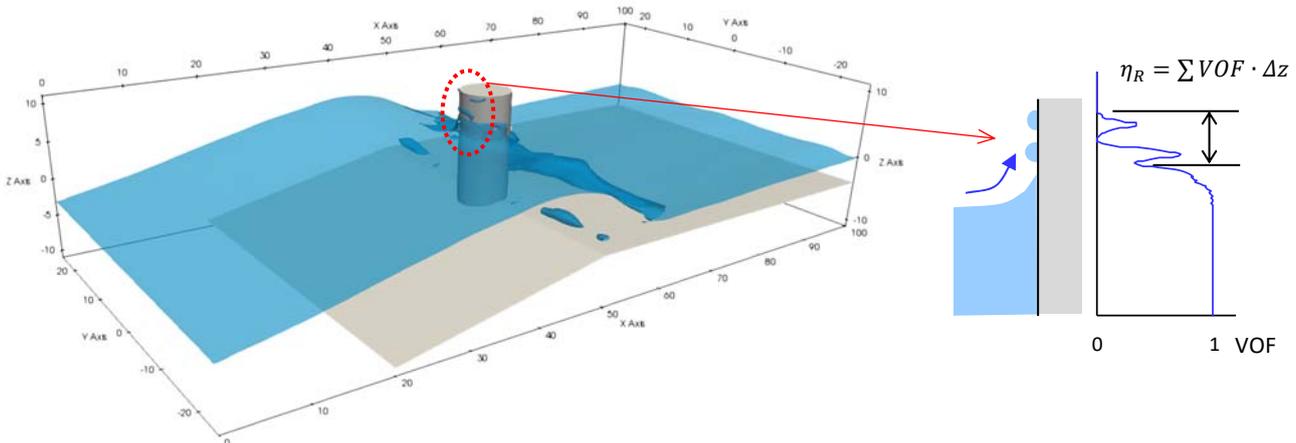
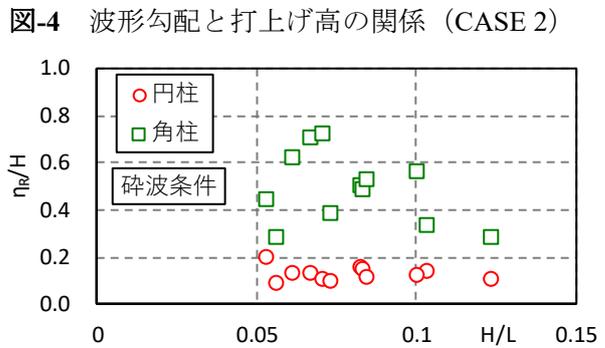
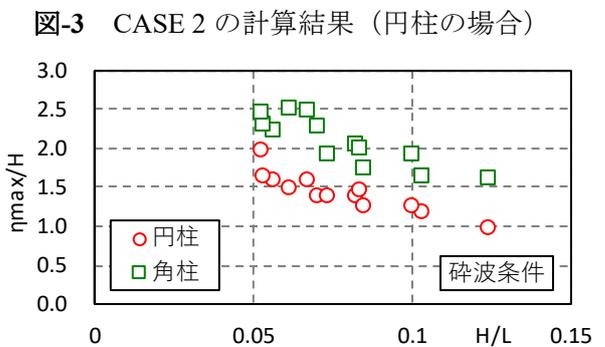
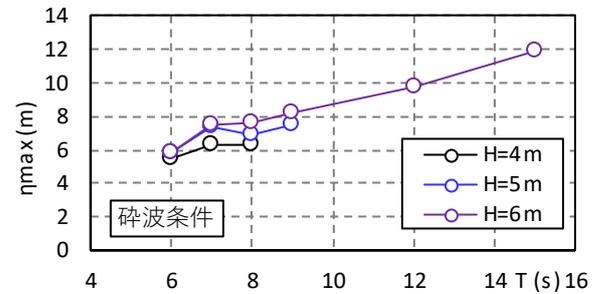
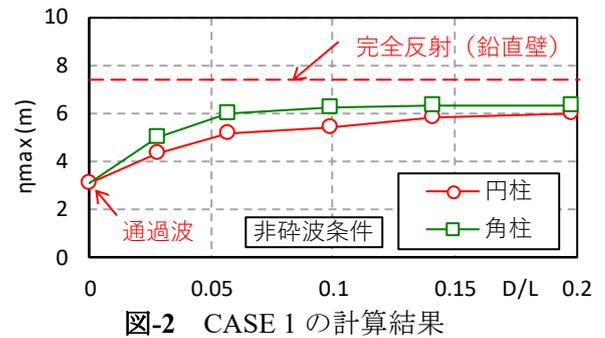


図-6 打ち上げ水塊の発生状況と打上げ厚 η_R の算出方法 (CASE 2, 円柱, $H = 6.0\text{m}$, $T = 12.0\text{s}$)