

大径杭の吊り荷動揺を対象とした水理実験

大成建設（株） 技術センター 正会員 ○小俣 哲平，織田 幸伸，本田 隆英
大成建設（株） 洋上風力発電プロジェクト部 正会員 福原 哲

1. 目的

洋上風力発電施設の建設プロジェクトにおいて，大型クレーン船上での吊り荷の運動評価は，プロジェクトの施工計画において重要となる．船体と吊り荷の連成運動に関する研究は多数あるが^{例えば1)}，モノパイル基礎のような長大な杭の吊り荷動揺を考慮した研究は少ない．そこで本研究では，クレーン船と大径杭の模型を用いた水理模型実験を行い，波浪中における船体及び杭の動揺特性について検討した．

2. 実験条件

図1に実験に使用したクレーン船及び杭の模型を示す．実際の起伏式起重機船を参考に1:75縮尺とし，表-1に示す諸元で実験模型を製作した．係留は計8本のカタナリー係留とした．係留索の初期張力，船体の喫水や慣性モーメントは実機に合わせ調整を行った．吊り荷は，実際の施工を考慮し，杭が気中にある状態と，水中に半没水している状態，杭がない状態（杭用の吊りフックのみ）の3種類の状況を想定した．また，水深は400mmとし，波高27mm，周期0.58秒～2.08秒の規則波及び不規則波を用いて検証した．船体及び杭上部の動揺量はモーションキャプチャーにより計測した．

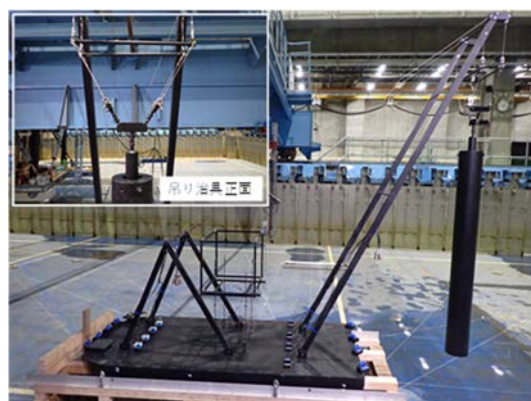


図1 実験模型

表1 模型諸元

船体[mm]	長さ	幅	高さ
	1600	733	100
排水量[kg]	63.7		
吊り荷重量[kg]	4.67		
杭外径[mm]	127		
杭長[mm]	1175		

3. 実験結果

図2は周期1.08秒の規則波を船尾方向から作用させたケースにおける杭の動揺の様子であり，図3は同ケースでの杭上端部の変動量（船首船尾方向変位）の時系列結果である．両図から杭上端部の動揺量は杭が気中にある状態よりも半没水状態の方が大きいことが確認できる（図2右図）．この動揺特性は作用波の周期に関わらず確認された．気中及び半没水のどちらの状態においても，杭は上端と下端が逆位相で変動する動揺モードの回転運動であった．半没水状態になると回転中心が下方（水面付近）に移動し，水の抵抗により杭下方の運動が制限されるため，その分杭の上端分の動揺が大きくなったと考えられる．これに加えて半没水状態では吊り索長が長く，杭上端部の変位可能範囲が大きくなることも杭の動揺量が大きくなった要因と考えられる．実施工において杭の降下に伴い吊り索が長くなる際は，杭上部の動揺量が大きくなることに注意が必要となる．図4はピーク周期1.5秒の不規則波を作用させたケースでの各吊り荷状態における Surge, Pitch, 吊り荷の動揺量（船首船尾方向変位）スペクトルを杭の状態別に示した結果である．同図より，吊り

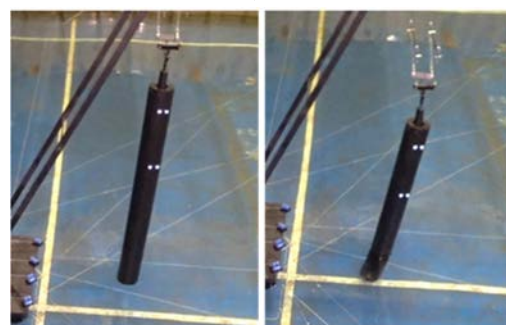


図2 杭の様子（左：気中，右：半没水）

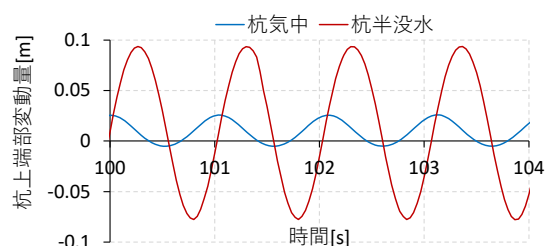


図3 杭上端部変動量

キーワード 洋上風力，作業船，大径杭，船体動揺，水理模型実験

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1

大成建設 技術センター社会基盤技術研究部 TEL080-1305-7437

荷動揺の応答は船体の Pitch 応答に類似しており、吊り荷の動揺は主に船体の Pitch に起因していることが確認できる。また、0.2Hz 付近の Surge にも応答しており、吊り荷の動揺には Pitch による動揺に加え、Surge による変位成分も含まれることが確認できる。さらに、杭が気中にあるケース及び杭用吊りフックのみのケースでの吊り荷動揺には 0.4~0.45Hz 付近にピークが見られるが、これは吊り荷自体の動揺の固有周期で不規則波に含まれる同周期成分に応答したと考えられる。吊りフックのみのケースでは 2.5s (0.4Hz)、杭が気中にあるケースでは 2.2s (0.45Hz) で大きく動揺しているが、重心位置で考えると吊フックのみの方が吊長が長いため、固有周期が長くなっている。一方で、半没水のケースでは、水の抵抗のため 0.4~0.45Hz 付近の応答は見られない。また、船体の Pitch 動揺を起因とする杭の動揺が卓越し、杭が気中にあるケースにはない 0.9Hz より高周波数域での応答が大きくなっている。これは、上述したように水中部分の杭の運動が水の抵抗力で拘束されることで吊り杭の動揺モードが変化し、杭上端部の動揺量が大きくなったことが要因である。ただし、この変化傾向は杭の没水長に依存すると考えられ、没水長が長くなると杭の動揺は小さくなると推定される。また、杭が気中にあるケースのみ 0.6Hz 付近において吊り荷動揺の応答が小さくなっている。0.45Hz と 0.75Hz 付近の 2 つの動揺ピークで動揺のモードが変化しており、この間で過渡的に杭上端部の動揺が小さくなっていると考えられる。図 5 に各吊り荷状態における Surge, Pitch 及び吊り荷の規則波に対する動揺の応答量を示す。最大変位振幅を作用波高で除して単位波高あたりに換算した値を示した。同図より、吊り荷の状態にかかわらず、吊り荷の動揺量は船体の Pitch の固有周期 1.3 秒付近で大きく応答しており、上述したように船体の Pitch の影響を強く受けることが分かる。また、吊り荷の状態によって、1.3 秒付近の周期帯における船体 Pitch の応答結果が変化しており、船体動揺は吊り荷の影響を受けていることが分かる。また、吊り杭の固有周期に近い波周期 2.1 秒以外では、杭の動揺量は半没水状態の方が気中にある状態より大きくなっている。一方、吊りフックのみのケースでは吊り荷自体の運動はないため、動揺量は吊り荷の固有周期付近で大きくなっていると考えられる。

4. 結論

吊り荷の動揺は船体動揺と吊り荷自身の固有周期に起因する動揺が複合した運動であり、特に船体の固有周期付近で動揺が大きくなった。一方で船体動揺も吊り荷やその吊り状態の影響を受けることが分かった。また、杭のような長尺物の場合、上下端逆位相の回転運動を示すため、半没水状態の杭では没水長にもよるが、その回転中心が下方に移動するとともに、吊り索長も長くなることで上端部の動揺は大きくなることが分かった。

参考文献

1)大坪ら：クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価，日本船舶海洋工学会論文集，30 巻，pp.187-200，2019。

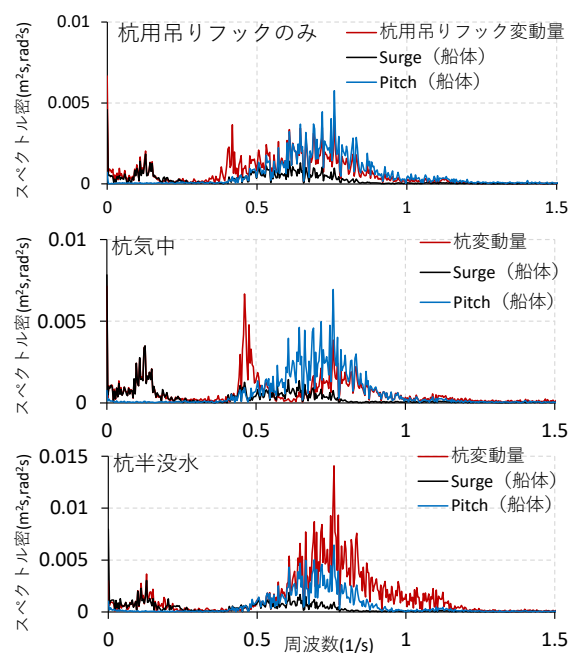


図 4 周波数応答スペクトル

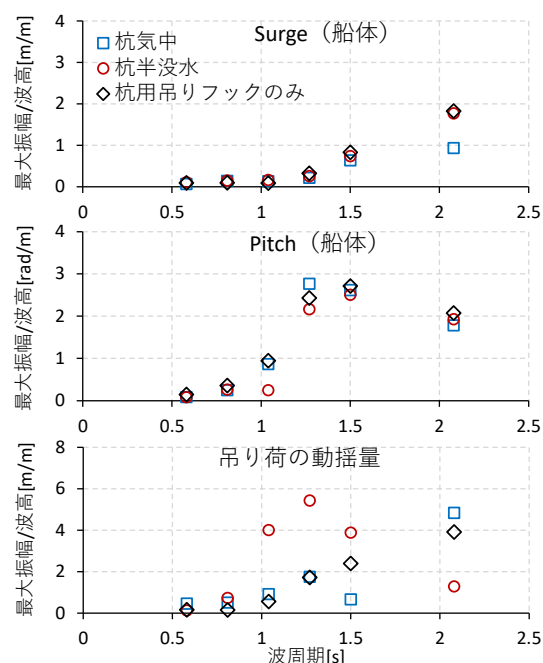


図 5 応答周期関数