

吊り下げられた円筒の没水長の違いによる自由動揺の変化

東亜建設工業(株) 正会員 ○西山大和, 武田将英, 松田信彦, 江口三希子
船舶海洋工学コンサルタント合同会社 河邊寛

1. 研究の目的

波浪中における起重機船のフックとシャックルの運動¹⁾や、起重機船から吊り下げられた吊荷が水中にある時の吊荷の運動²⁾は、近年研究が進展してきている。一方、鋼板セルや鋼管杭などの中空円筒物体が、水中に完全に没していない(半没水)状態で、起重機船やクレーン付台船によって吊り下げられているときに、波や流れによってどのように動揺するかはあまりよく分かっていない。本研究では、これらの動揺を把握するための手始めとして、吊り下げられた中空円筒を対象に、没水長が異なる場合の自由動揺について、水理実験により調べた。

2. 自由動揺実験

(1) 実験方法

自由動揺実験に用いた円筒(図-1参照)は、外径 $D=15\text{cm}$ (厚さ 0.3cm) $\times$ 高さ $H=18\text{cm}$ の亚克力製(質量 365g)で、糸で4点吊りできるように、天端から 0.5cm 下がった位置に直径 0.2cm の孔を円周方向 90° 毎に合計4箇所設けた。また、後述する画像解析用に、円筒側面の天端から 1cm 下がった位置に直径 2cm の赤色マーカーを3個(P1, P2, P3)貼りつけた。P1-P2, P2-P3間の距離は、円周方向に 4cm である。さらに、初期の傾きを与えるために、円筒右側面の中央1か所に、糸Bが設置できるようにピースが取り付けられている。

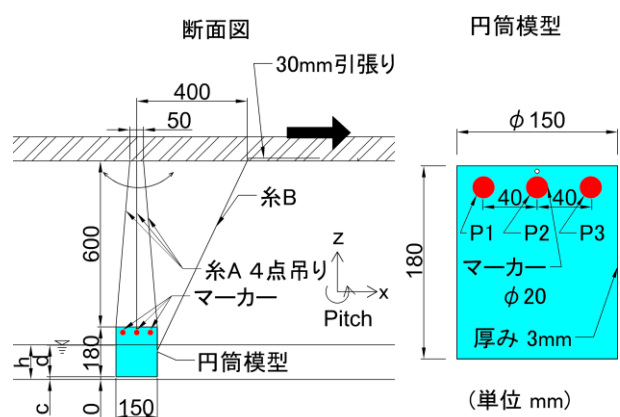


図-1 実験装置

自由動揺実験は、幅 0.30m $\times$ 高さ 0.60m $\times$ 延長 30.0m の側面ガラス張りの鋼製水槽を用いて実施した。図-1に実験装置を示す。円筒は、実験中にねじれが生じにくいよ

うに、4本の糸Aを用いて、円筒より上方 60cm の位置から吊り下げた。本研究では、流体力が最も大きくなると考えられる着底直前の状態を想定し、水底面と吊り下げた円筒とのクリアランスを $c=1\text{cm}$ に固定した。

自由動揺実験で与える初期の傾きは、滑車を使って模型側面に取りつけた糸Bを 3cm だけ引っ張り、初期の傾きが約 1.5° となる位置で静止して与えた。その後、瞬時に手を放すことで、円筒吊荷を自由動揺させた。今回の自由動揺実験では、上述した円筒の吊り方は変化させずに、水深を表-1に示す10種類に変化させた。実験は、それぞれの水深で3回繰り返した。

表-1 実験条件

ケース名	水深 $h(\text{cm})$	没水長 d/H	クリアランス c/H	円筒の 水没状態
Case-0	0	----	----	気中
Case-1	1	0.000	0.056	気中
Case-2	2	0.056	0.056	半没水
Case-4	4	0.167	0.056	半没水
Case-8	8	0.389	0.056	半没水
Case-12	12	0.611	0.056	半没水
Case-16	16	0.833	0.056	半没水
Case-19	19	1.000	0.056	完全没水
Case-20	20	1.056	0.056	完全没水
Case-26	26	1.389	0.056	完全没水

(2) 動揺量の測定方法

動揺量の測定方法は、江口ら³⁾を参考にした。自由動揺実験における吊り下げられた円筒の動揺量(Pitch)は、先に示したマーカーの重心を追跡する2次元動画解析により、マーカー2点(P1-P2もしくはP1-P3)の座標から求めた。解析に用いた動画は、水槽側面からビデオカメラを用いて、自由動揺状況を 60fps で撮影したもので、自由動揺を与えてから自由動揺が収まるまで、もしくは 65s 間経過するまで動画解析を行った。Pitch周期 T_{pitch} は、得られたPitch波形が極小となる時刻から算出した。

(3) 実験結果

円筒吊荷の自由動揺実験の Pitch の時系列を図-2に示す。自由動揺実験では、円筒吊荷は滑らかな軌跡を描いたものの、図に示す動画解析によって得られた Pitch 波形には、動画解析に起因するホワイトノイズが含まれていた。初期の傾斜角を明らかにするために、移動平均処理やバンドパスフィルター処理は行っていない。

はじめに、円筒吊荷が気中にある Case-0 は、Pitch 振幅があまり減衰せずほぼ一定で、 T_{pitch} は単振子の固有周期 $T_{air} = 2\pi(L/g)^{1/2} = 1.55s$ (ここに、円筒の重心までの距離 $L = 0.69m$ 、重力加速度 $g = 9.8m/s^2$) とほぼ同じであった。一方、Case-1 では、 T_{pitch} は Case-0 と等しかったものの、円筒底面と自由表面との摩擦力によって、Pitch 振幅の減衰が見られた点が特徴的である。

次に、半没水状態では、いずれも減衰振動が見られたが、円筒の没水深によってその傾向が大きく異なった。相対的に没水深が小さいケース (Case-2, 4, 8) の方が Pitch 振幅の減衰が大きく、今回の実験の範囲では、1 回の振動のみで静止した Case-4 の減衰が最も大きくなった。また、図-3 に示す没水深と Pitch 周期 (第 1 波) の関係からは、半没水状態 (図中△) では、没水深に応じて T_{pitch} が大きくなる傾向が見られた。これは、没水深の増加に応じて、付加質量が増加したためと考えられる。

最後に、完全没水状態でも減衰振動が見られた。ただし、 T_{pitch} は、半没水状態よりも大きな値をとり、今回の実験の範囲では、Case-20 が最も大きい結果となった (図-3 中の○印)。また、Case-20 では、 $t=40s$ 以降に、不規則な動きが観察されたが、円筒の天端の自由水面の運動の影響を受けたものと考えられる。

以上より、吊り下げられた円筒の自由動揺は、没水長に応じた付加質量の影響によって、大きく特性が異なることが分かった。

3. 主要な結論

本研究の結果、吊り下げられた円筒の自由動揺は、円筒の没水長によって大きく異なることが分かった。特に、半没水状態では、円筒の没水深が小さいケースの方が相対的に Pitch 振幅の減衰が大きかった。また、半没水状態では、没水深に応じて T_{pitch} が大きくなる傾向が見られた。なお、今回の実験は、1 種類の円筒を対象に、円筒と水底面とのクリアランスや円筒の吊り下げ長さを固定した条件で行っていない。したがって、一般化するために、より一層の研究推進が望まれる。

参考文献

- 宮崎哲史, 武田将英, 倉原義之介, 浅沼丈夫, 津田宗男, 河邊寛: 波浪中の起重機船と吊フック, シャクルの連成運動, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. I_1051-I_1055, 2014.
- 河邊寛, 津田宗男, 宮崎哲史, 倉原義之介, 松田信彦, 諫山太郎: 吊り荷が水中にある時の起重機船の波浪中の運動, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, Vol. 21, pp. 495-498, 2015.
- 江口三希子, 武田将英, 岩本浩明, 松田信彦: 減揺タンクを用いた浮遊ケーソンの動揺特性に関する自由動揺実験, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp. I_979-I_984, 2017.

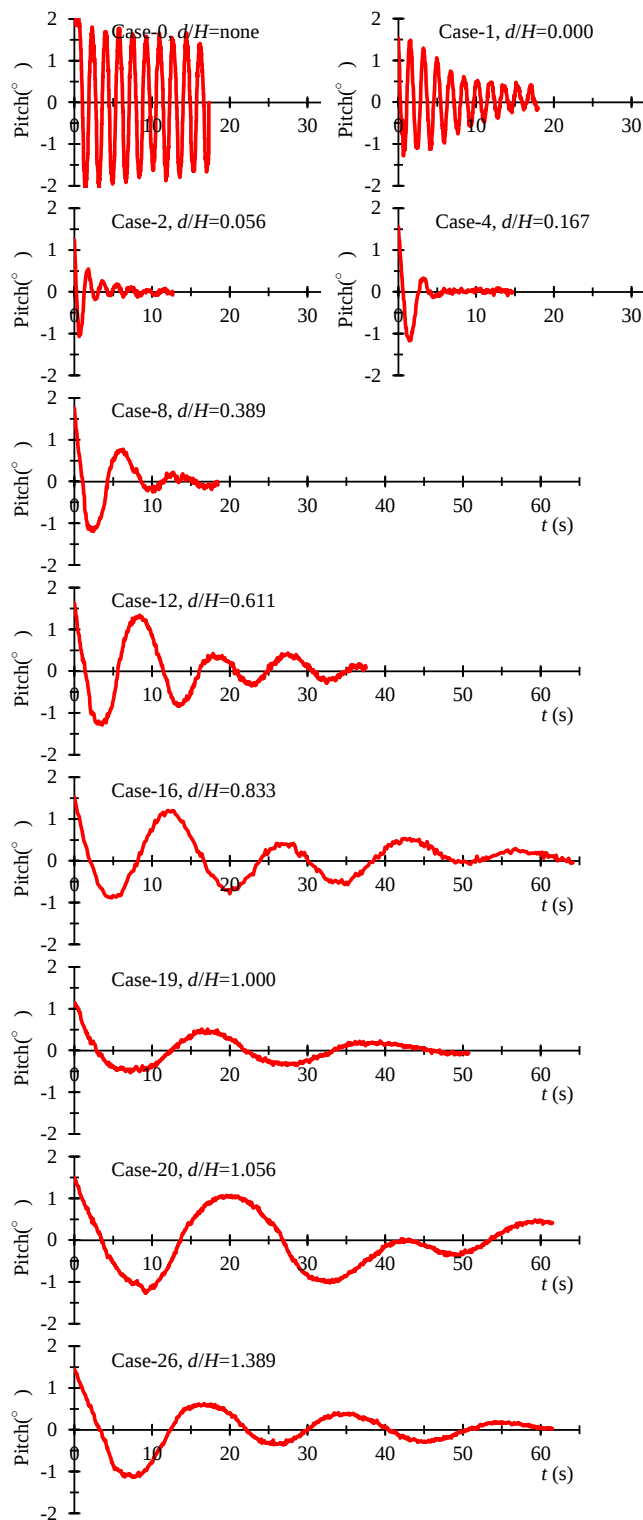


図-2 円筒吊荷の自由動揺実験の Pitch 時系列

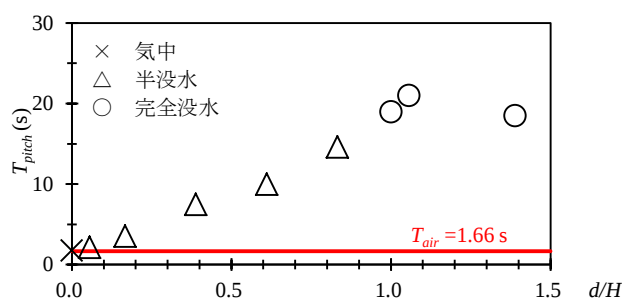


図-3 円筒吊荷の没水深と Pitch 周期 (第1波) の関係