

不規則波下におけるケーソン動揺低減対策としての減揺タンクの有効性に関する一考察

名古屋大学工学部 学生会員 ○竹山俊介
 名古屋大学大学院 学生会員 白井開斗
 名古屋大学大学院 正会員 中村友昭, 趙 容桓
 名古屋大学大学院 フェロー 水谷法美
 東亜建設工業株式会社 正会員 倉原義之介, 武田将英

1. はじめに： 海上に浮遊したケーソンは、波浪条件によっては大きく動揺する可能性がある。この動揺対策の一つとして、ケーソン上部への減揺タンクの設置が検討されており、広い自由水面を持つ Flume 式減揺タンクを対象としたケーソンの動揺低減に関する研究が行われてきた。中村ら(2019)は一方方向規則波下および多方向不規則波下におけるケーソン模型の動揺実験を実施し、減揺タンクの設置によりケーソンの回転運動が低減されることを確認した。ただし、この研究では入射波周期と減揺タンク内の自由水量のケース数が十分とは言えなかったことから、中村ら(2021)はより多くのケースを対象に一方方向規則波実験を行った。この実験により、減揺タンクによる動揺低減効果があることと、自由水量により減揺効果が変化することが確認されている。また、動画の解析により自由水による作用モーメントとケーソンの回転運動の関係が明らかにされている。その結果を踏まえ、本研究では、一方方向不規則波および多方向不規則波下におけるケーソン模型の動揺実験を行い、中村ら(2021)の一方方向規則波実験の結果と比較しながら考察をする。

2. 水理模型実験の概要： 図-1、図-2 に、縮尺 1/50 一方方向不規則波実験および多方向不規則波実験に使用した水槽の概略図を示す。使用したケーソン模型は図-3 に示すように天井部が開放された矩形ケーソンであり、圧力計が側面に 8 箇所埋め込まれている。また、浮体の動揺振幅を測定するため、ケーソン模型内の底部には姿勢角検出器 IMU が設置されている。実験では、模型の Yaw 方向の回転を抑制することと模型が沖へ流されないようにすることを目的として、模型上部の四隅に十分軽い材料からなる係留索を緩く取り付けられた状態でケーソン模型を静水深 $h = 0.30 \text{ m}$ の水面に浮かべた。また、図-3 に示すように、長さの異なる 2 種類の減揺タンクをケーソン上部に Surge 方向に 2 個、Sway 方向に 2 個設置した。タンク 1 個あたりに注入する自由水量 W_{fs} は 0 kg, 0.10 kg, 0.20 kg の 3 パターンとした。減揺タンクを設置した状態におけるケーソン模型の Heave 方向の並進運動の固

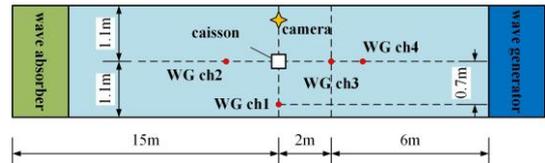


図-1 一方方向不規則波実験に用いた水槽

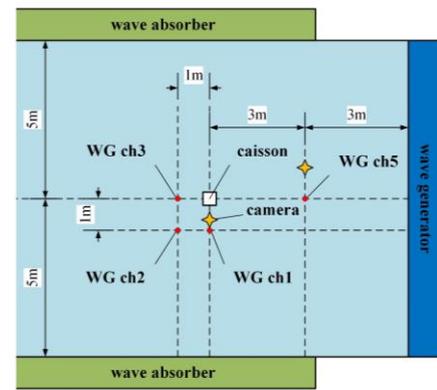


図-2 多方向不規則波実験に用いた水槽

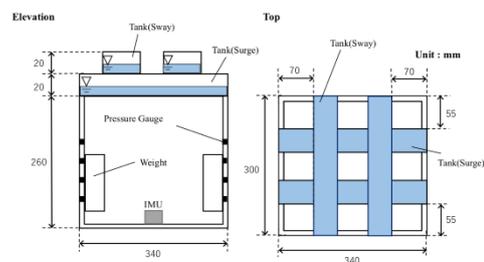


図-3 減揺タンクを設置したケーソン模型

表-1 入射波条件 (静水深 $h = 0.30 \text{ m}$)

一方方向不規則波	多方向不規則波	
T_s [s]	T_s [s]	S_{max}
1.13	1.13	10
1.41	1.56	25
1.56	1.84	25
1.70	2.83	25
1.84		
2.26		
2.83		

有周期 T_{h0} は 0.97 s, Pitch 方向の回転運動の固有周期 T_{p0} は 1.88 s である. 表-1 に入射波条件を示す. 不規則波の周波数スペクトルは修正 Bretschneider 光易型とし, 有義波高の目標値は 0.030 m とした. 有義波周期 T_s は, 一方向実験では 7 種類, 多方向実験では 4 種類とした. 多方向実験における方向分布関数は光易型とし, 方向集中度パラメータ S_{max} は T_s に応じて $S_{max}=10$ と 25 の 2 種類を用いた. ケーソン模型の動揺のうち, Heave, Roll, Pitch の時系列波形を分割し, 分割された波の中で全振幅が上位 1/3 のものを抽出して平均した値を動揺全振幅の有義値 ζ_{amp} , α_{amp} , β_{amp} とした.

3. 実験結果と考察: 図-4 に, 一方向不規則波をケーソン模型に作用させたときの Pitch の全振幅 β_{amp} と有義波周期 T_s の関係を示す. ここで, β_{amp} はケーソン模型の幅 B の半分の長さに乗じて動揺の回転角度を端部の上下動の大きさに変換し, 有義波高の測定値 H_s で除すことにより無次元化している. 図-4 より, W_{fs} が 0 kg の場合, 固有周期に相当する $T_s/T_{p0} = 1$ より若干小さい有義波周期において $\beta_{amp}B/2H_s$ のピーク値が現れており, W_{fs} が増加すると固有周期付近のピーク値が小さくなっていることが確認できる. 固有周期近くにおいて, 減揺タンクにより Pitch が低減されるという結果は中村ら(2021)の規則波実験と同じであり, 減揺タンクは一方向不規則波においても固有周期の時に大きな Pitch の低減効果を示すと言える. 一方, 固有周期以外においても Pitch

が低減している. これは, 不規則波には様々な周波数成分が含まれており, 固有周期と離れた有義波周期の不規則波を作用させたケースでも固有周波数の成分波が存在するため, その成分波による Pitch が低減されて β_{amp} が幅広い有義波周期に対して小さくなったと考えられる. また, W_{fs} が 0 kg の結果に対し, 0.10 kg の時のピークが低周期側に移動している. この変化は自由水による固有周期の変化に対応すると推測される. 図-5 に, 多方向不規則波をケーソン模型に作用させたときの Pitch の全振幅 β_{amp} と有義波周期 T_s の関係を示す. 同図より, 多方向不規則波についても一方向不規則波と同様に, W_{fs} が 0 kg のとき, 固有周期に近い有義波周期のケースで $\beta_{amp}B/2H_s$ がピークとなっており, W_{fs} が増加するにつれてピーク値が減少していることが分かる. また, 固有周期近傍以外の有義波周期のケースにおいても W_{fs} の増加とともに $\beta_{amp}B/2H_s$ が減少していることも一方向不規則波の結果と類似している. 以上より, 多方向不規則波下においても減揺タンクを設置することで, ケーソンの Pitch を低減できると言える.

4. 結論: 本研究では, ケーソン模型を用いた一方向不規則波実験および多方向不規則波実験を行い, ケーソン模型の動揺特性と減揺タンクの設置に伴う変化について検討した. 一方向不規則波と多方向不規則波のどちらにおいても, 自由水が入っていない場合, ケーソンの固有周期近くで Pitch の全振幅が最大となることと, 自由水量の増加により全ての有義波周期において Pitch の全振幅が低減し, 特に固有周期付近では顕著であることが確認された. また, 一方向不規則波については, 自由水を注入することで固有周期の変化に伴う振幅のピークの低周期側への移動が確認された. 引き続き不規則波下における減揺タンクの効果について詳細な検討を行っていく所存である.

参考文献:[1] 中村ら(2019):浮遊ケーソンの動揺に与える減揺タンクの効果とその簡易的な評価方法に関する研究, 土論 B3 (海洋開発), Vol. 75, No. 2, pp. I_403-I_408. [2] 中村ら(2021):浮遊ケーソンの動揺に対する減揺タンクの有効性と減揺メカニズムに関する実験的研究, 土論 B3 (海洋開発), Vol. 77, No. 2, pp. I_619-I_624.

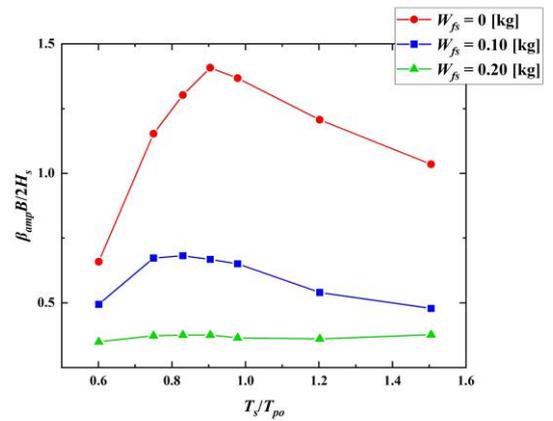


図-4 Pitch 振幅-周期関係 (一方向不規則波)

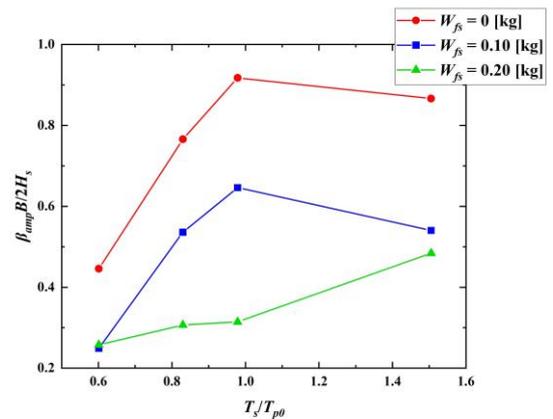


図-5 Pitch 振幅-周期関係 (多方向不規則波)