

浮遊ケーソンの動揺に与える減揺タンクの自由水量の影響に関する一考察

名古屋大学工学部
名古屋大学大学院工学研究科
名古屋大学大学院工学研究科
東亜建設工業株式会社

学生会員 ○白井開斗
正会員 中村友昭, 趙 容桓
フェロー 水谷法美
正会員 倉原義之介, 武田将英

1. はじめに： 浮遊ケーソンの曳航作業と据付作業では、波浪条件によってはケーソンが大きく動揺することから、作業の安全性、据付精度、作業効率の向上のため、浮遊ケーソンに対する効果的な動揺低減技術の確立が望まれている。その一つとして、浮遊ケーソンの上部への減揺タンクの設置が江口ら(2017)によって提案されている。減揺タンクは、浮体動揺の固有周期を変化させる効果と、浮体の減衰を増大させる効果により、浮体の動揺を低減させることを目的とした装置である。実際に、江口ら(2017)が行った減揺タンク付きケーソン模型の自由動揺実験により、回転運動の固有周期を変化させる効果と、回転運動の減衰を強める効果が確認されている。また、中村ら(2019)が行った減揺タンク付きケーソン模型の波浪下動揺実験においても、ケーソンの回転運動を低減させる効果が確認されている。ただし、減揺タンクに搭載されている自由水量が動揺に与える影響に対する検討は十分とは言えない。本研究では、減揺タンク付きケーソン模型の規則波下動揺実験を実施し、減揺タンクに搭載する自由水量の違いが動揺低減効果に与える影響に着目して考察を行う。

2. 水理実験の概要： 2次元造波水路において、縮尺 1/50 の実験を行った。図-1 に実験装置の概略図を示す。また、図-1 の断面図と同じ方向から観察した模型の断面図を図-2 に示す。ケーソン模型と減揺タンクの諸元を表-1 に示す。水路に減揺タンクを設置したケーソン模型を浮遊させ、ケーソン上部の 4 箇所の角を斜め上方向に緩くカテナリー係留した。減揺タンクは天端に蓋のある直方体型であり、図-1 の x 方向に長辺が向くもの (Surge 方向のタンク) と y 方向に長辺が向くもの (Sway 方向のタンク) が 2 個ずつ設置されている。タンク 1 本あたりの自由水量 W_f は、0 kg, 0.05 kg, 0.10 kg, 0.15 kg, 0.20 kg の 5 通りとした。入射波の波高は 0.03 m とし、周期は 0.85~3.96 s の 9 通りとした。造波時には、ケーソンと同じ岸沖位置における水位変動を電気容量式水位計 W1 で計測した。また、図-1 での y 軸まわりの回転運動を Pitch β と定義し、水平な状態をゼロ点、右ねじ方向を正とし、姿勢角検出器 IMU で計測した。計測された

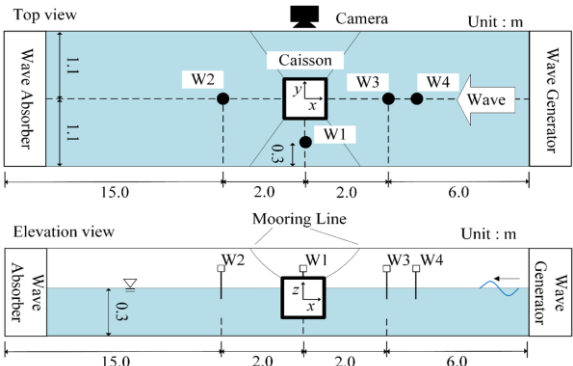


図-1 実験装置の概略図 (W1~W4：水位計)

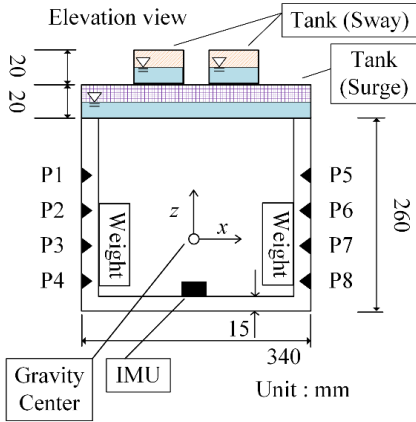


図-2 模型の断面図 (IMU：姿勢角検出器)

表-1 ケーソン模型と減揺タンクの諸元

空タンク付きケーソン		
幅 B [m]	0.34	
奥行き L [m]	0.30	
高さ H [m]	0.26	
質量 [kg]	16.1	
重心高さ [m]	0.114	
縦メタセンタ高さ [m]	0.026	
Pitch 固有周期 T_{p0} [s]	1.88	

減揺タンク	Surge 方向	Sway 方向
長辺内寸 [m]	0.337	0.297
短辺内寸 [m]	0.057	
高さ内寸 [m]	0.017	
板厚 [mm]	1.5	
タンク 1 個の質量 [kg]	0.13	0.11
タンク図心位置高さ [m]	0.27	0.29

データから、ケーソンの動揺量が安定し、かつ水路端部からの反射波の影響を受けていない時間帯のデータを抽出し、5波平均をとることで、W1での波高 H_i と周期 T_i 、Pitchの全振幅 β_{amp} を求めた。

3. 実験結果及び考察： 図-3に、入射波が作用し動揺が安定したときのケーソンのPitch β の時間変化を5周期分示す。同図では、ケーソンと同じ岸沖位置にあるW1での水位変動がゼロアップクロスしたときを $t/T_i=0$ とした。自由水の搭載されていない $W_{fs}=0\text{ kg}$ のケースと比較して、自由水の搭載したすべてのケースで β の振幅が小さくなっていることが確認できる。その一方で、多くの自由水を搭載した $W_{fs}=0.15\text{ kg}$ や $W_{fs}=0.20\text{ kg}$ のケースでは、Pitch β が正の方向に偏って発生している。これは、自由水を多く搭載したことにより、静水状態でケーソンの傾きが大きくなり、動揺が安定した後もその傾斜が影響していることが原因だと考えられる。また、 $W_{fs}=0\text{ kg}$ のケースでは、 β の位相がW1での水位変動よりも $\pi/4$ 程度進んでおり、 W_{fs} の増加とともに位相差が大きくなる傾向があることが観察できる。

Pitchの全振幅 β_{amp} と入射波周期 T_i の関係に与える自由水量 W_{fs} の影響を図-4に示す。ここで、 T_{p0} は表-1に示したケーソンのPitchに関する固有周期である。

図-4より、 $W_{fs}=0\text{ kg}$ のケースにおいては、入射波周期 T_i が固有周期 T_{p0} に一致した付近で、Pitchの全振幅 β_{amp} が最大値をとっていることが確認できる。一方、自由水を搭載したケースでは、Pitchの全振幅 β_{amp} が最大値をとるときの入射波周期 T_i が自由水を搭載していないケースと比べて小さくなる傾向が認められる。このことから、自由水には浮体動揺の固有周期を変化させる効果があることが示唆される。

また、図-4より、 $W_{fs}=0\text{ kg}$ のとき β_{amp} が最大となる $T_i/T_{p0}=1$ 付近では、自由水を搭載することによりPitchの全振幅 β_{amp} を小さく抑えられることがわかる。その効果は自由水量が多いほど強く得られ、最も多くの自由水を搭載した $W_{fs}=0.20\text{ kg}$ のケースでは、Pitchの全振幅 β_{amp} を1/4ほどに抑制できている。また、入射波周期 T_i が固有周期 T_{p0} より大きい場合も、多くの場合、Pitchの全振幅 β_{amp} を抑制する効果が得られていることがわかる。このことから、自由水がケーソンの減衰を増大させる効果を有していると言える。

一方、入射波周期 T_i が固有周期 T_{p0} より小さい場合、自由水の搭載によってPitchの全振幅 β_{amp} が増大するケースがあることが確認できる。これは、前述した固有周期を変化させる自由水の効果により、ケーソンの固有周期 T_{p0} が若干小さくなった影響を受けたことが原因だと考えられる。

4. おわりに： 本研究では、減揺タンクに搭載する自由水量の違いがケーソンの動揺低減効果に与える影響に着目して水理実験により検討を行った。その結果、入射波周期がケーソンのPitchの固有周期と同程度大きい場合、自由水を搭載することで動揺低減が図れること、特に入射波周期がPitchの固有周期と同程度のときは、静水状態でケーソンの傾きに留意する必要があるものの、最も多くの自由水を搭載したケースで、最も大きな動揺低減効果を得られることが明らかになった。今後、さらなる検討を行う所存である。

参考文献： [1] 江口ら (2017), 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp. I_979-I_984. [2] 中村ら (2019), 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 75, No. 2, pp. I_403-I_408.

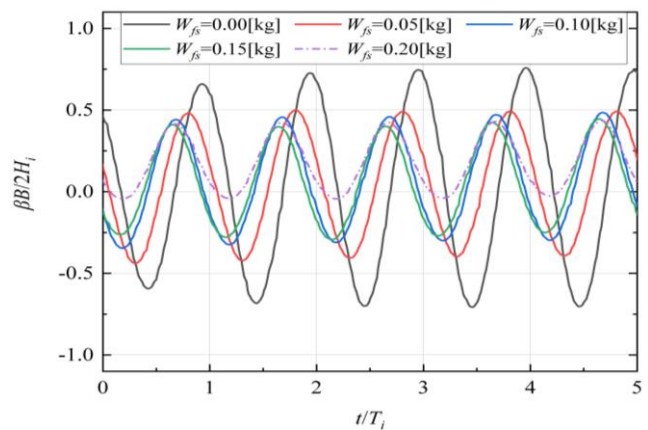


図-3 Pitch β の時間変化 (入射波周期 1.70 s)

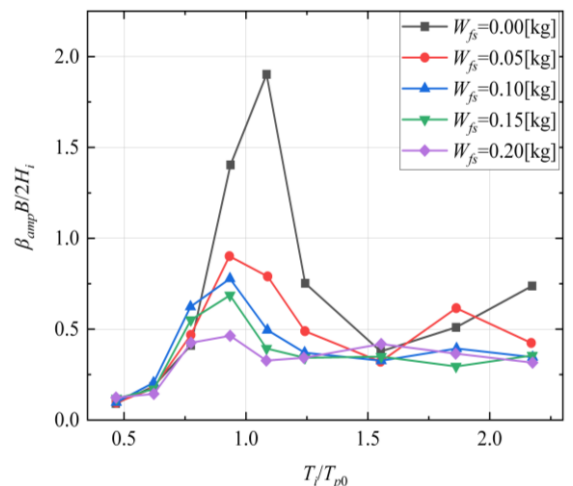


図-4 Pitchの全振幅 β_{amp} と周期の関係