

減揺タンクを搭載した浮遊ケーソンの波浪中動揺低減に関する水理実験

東亜建設工業(株) 正会員 ○江口三希子 東亜建設工業(株) 正会員 武田将英
 東亜建設工業(株) 正会員 倉原義之介 東亜建設工業(株) 正会員 松田信彦
 東亜建設工業(株) 正会員 西山大和

1. はじめに

防波堤や護岸に用いられるケーソンの曳航・据付作業は、波浪の影響を受けやすい。特に、波の周期が長い外洋では、静穏であっても浮遊ケーソンの動揺が大きくなる場合がある。中でも回転方向の揺れが大きくなると、作業員の転落や転倒、ワイヤー破断によるはねられなどの災害発生が高まる。そのため、作業の安全性を確保する効果的な動揺低減対策技術の開発が望まれている。

江口ら¹⁾は、動揺低減対策技術として、造船分野で実用化されている減揺タンクの適用を試み、減揺タンクを搭載した浮遊ケーソンの動揺特性を自由動揺実験により把握した。さらに、動揺解析にて不規則波浪中の減揺効果を確認した。ここで、減揺タンクとは、浮体に自由水をもつタンクを設置し、タンク内の自由水の動きと浮体の揺れの位相差を90度にすることで発生させた減衰力により回転揺れを抑える技術を指す²⁾。

本研究では、規則波を作用させた水理模型実験を実施し、水量を変化させた場合の減揺タンクによる浮遊ケーソンの動揺低減効果を調べた。

2. 水理模型実験

1) 実験の概要

図-1に水理模型実験の概略図を示す。本実験は、フルード則に基づき実験縮尺を1/50とし、江口ら¹⁾と同じく2100tの矩形ケーソンを模擬した塩化ビニル製ケーソン模型を使用した(表-1)。その諸元は、長さ0.34m×高さ0.26m×幅0.30m、喫水 $d=0.16$ m、初期排水量16.80kgである。ケーソンの重心と喫水の調整には鉛を

用いた。減揺タンクは、長さ0.34m×高さ0.07m×幅0.20m、厚さ2mmの亚克力製で天端が開放されているものを使用した。このタンクをケーソン天端に上載し、水深0.26mの二次元造波水路(長さ50.00m×高さ1.20m×幅1.00m)内に、4点係留で浮かべた(図-1)。模型は、長さ方向をX軸とした座標軸で、Pitch(縦揺)方向に動揺が生じるように設置した。なお、本実験はXZ断面の鉛直2次元問題として取り扱った。そのため、係留にてケーソンに大きなYaw(船首揺)が生じないようにした。

2) 実験ケース

実施した実験ケースを表-2、図-2に示す。ここで、表-2中の W_f は減揺タンク内の自由水量、 W はケーソン単体の初期排水量である。実験は、減揺タンクの有無および自由水量による低減効果の違いを把握するため、CASEA:減揺タンクなし、CASEB:減揺タンクあり(B-1: $W_f=0.20$ kg, B-2: $W_f=0.40$ kg, B-3: $W_f=0.60$ kg)の全4ケースを実施した。そして、各ケースにおいて水平床における入射波高が $H=3$ cmとなる表-3に示す周期 T の規則波を作用させた。

3) 動揺量の測定方法

ケーソンの動揺量(Pitch:縦揺およびHeave:上下揺)は、図-2に示すケーソンの左上端に設置した球体マーカーの重心運動を追尾する3次元動画解析を行い、マーカー3点の座標から求めた。動画解析に用いた動画は、水路天端から2台のビデオカメラ(図-1のカメラ1及び2)を用いてケーソンの動揺状況を60fpsで撮影した

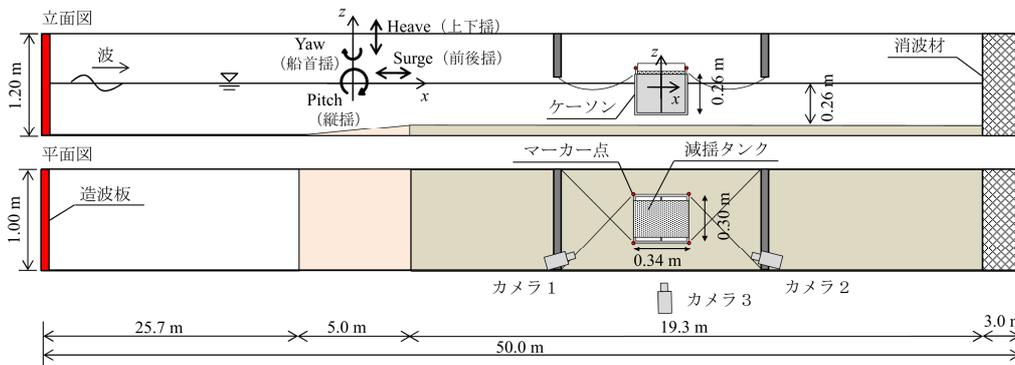


図-1 実験装置の概略図(上:立断面 下:平面図)

表-1 模型諸元

	縮尺
	1/50
隔室数	4室
長さ	L 0.34m
幅	B 0.30m
高さ	H 0.26m
喫水	d 0.16m
初期排水量 W	16.80kg

キーワード 減揺タンク, 浮遊ケーソン, 回転揺れ, 水理実験
 連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター TEL 045-503-3741

もので、波が安定してから約 60 秒間記録した。得られたマーカーの位置情報から、各成分の動揺量に変換し、その有義値を算出した。また、記録用として水路正面(カメラ3)から動揺状況を撮影した。

4) 実験結果

波浪周期別の Heave の動揺量を図-3 に、Pitch の動揺量を図-4 に示す。ただし、図は、実スケールでの値にしている。図中の黒塗りが CASEA (減揺タンクなし)、白抜きが CASEB-1~B-3 (減揺タンクあり) の結果を示しており、いずれも横軸は 1/1 縮尺に換算した波浪周期である。図中の破線は、自由動揺実験から算出したケーソン単体での Heave と Pitch の固有周期である。なお、一般的に浮体は、各動揺モードで固有周期を有しており、この固有周期と波浪周期が同調すると揺れが大きくなることが知られている。

減揺タンクなしに着目すると、図-3 と図-4 から、固有周期付近で動揺量が増加しているのが認められる。それぞれ動揺量は、Heave が周期 8.0s のときに 1.93m、Pitch が周期 12.0s のときに 17.4° となった。

次に、減揺タンクありに着目する。図-3 から Heave の動揺量は、全ケースで CASEA の動揺量とほとんど変化がないことが分かる。これは、減揺タンクでは、上下方向の動揺を抑えることができないためである。一方で、回転方向の揺れの Pitch は、固有周期付近の周期 12.0s で CASEA に比べて CASEB の動揺量が大きく低減した(図-4)。 $W_f/W=1\%$ 程度の自由水量で約 7 割、 $W_f/W=2\%$ 以上の自由水量で約 9 割の動揺低減効果が得られた。自由水量の違いにより低減効果に差が出たのは、発生する減衰力の大きさが異なるためだと考えられる。なお、波浪周期が 12.0s 未満では、CASEB-2 及び B-3 の Pitch がやや大きくなっているが、動画を確認したところ、係留索に起因するものであった。

実海域では、様々な周期帯の波をもつ不規則波が作用するが、減揺タンクを用いることで、回転揺れの固有周期に近い波に起因するケーソンの動揺を効果的に抑えることができると期待される。

3. おわりに

本研究では、減揺タンクによる浮遊ケーソンの動揺低減効果を水理模型実験から検討した。その結果、減揺タンク内の水量に依存するものの、固有周期に近い波浪周期で回転揺れの Pitch の動揺量を約 7 割~9 割低減できることが分かった。ただし、浮力に起因する上下揺れである Heave に対しては、減揺効果は得られなかった。

一定の減揺効果が得られたことから、浮遊ケーソンの動揺低減対策技術として有効であると考えられる。今後

表-2 実験ケース

CASE	条件	自由水量 W_f (kg)	W_f/W (%)
CASEA	タンクなし	0.00	0.00
CASEB-1	タンクあり	0.20	1.19
CASEB-2	タンクあり	0.40	2.38
CASEB-3	タンクあり	0.60	3.57

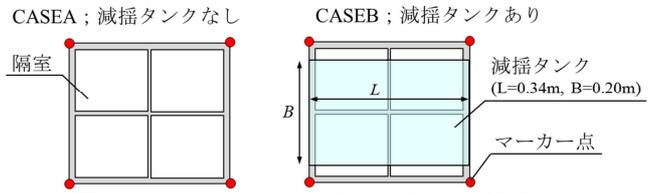


図-2 各実験シリーズにおける模型平面図

表-3 波浪条件

周期 T (s)	0.57, 0.85, 1.13, 1.41, 1.70, 1.98
波高 H (cm)	3.00

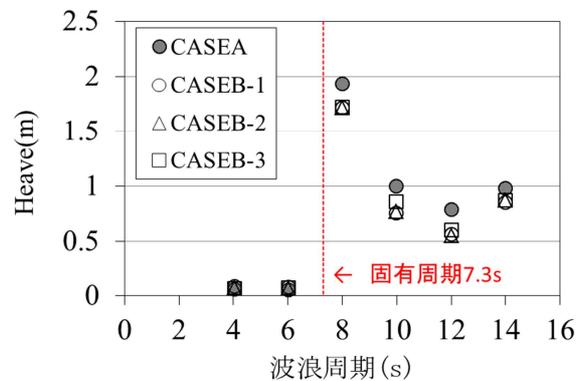


図-3 波浪周期による Heave の動揺量の変化

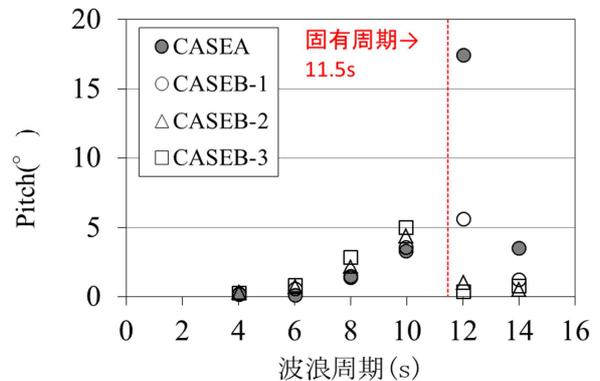


図-4 波浪周期による Pitch の動揺量の変化

は、実海域への適用を視野に入れて、多方向不規則波浪場での検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 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, I_979-I_984, 2017.
- 2) 門松浩司: アンチローリングタンク, 日本造船学会誌, 大 815 号, pp.342-344, 1997.