

3 連結浮体のアクティブ制御による動揺制御実験

関西大学大学院 学生員 井澤達也 関西大学総合情報学部 正会員 古田 均
 大阪大学大学院 正会員 古川忠俊 横河工事(株) 正会員 八木貴之
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき 浮体構造は、その使用目的に応じて、波浪などによる動揺を低減させる必要がある。そのため、没水水平板や端部形状などを工夫し、パッシブな方法で浮体を動揺制御する試みがなされてきた。浮体を居住空間のような施設に利用する場合には、微小な動揺に抑える必要がある。このような場合、パッシブ制御法では限界がある。ここでは、数種類の制御デバイスと制御アルゴリズムを組合せたアクティブ制御法を考案し、3つの浮体が連結された模型による動揺制御実験を平面水槽で行ったので、その結果を報告する。

2. 動揺制御実験

ここでは、連結型浮体の Roll 応答に着目し、中央部浮体の動揺のアクティブ制御法を実験的に検討する。

(1) 供試体：供試体は、3つの浮体を連結した塩化ビニル製のポンツーン型である。平面水槽の寸法や計測機器の性能などを勘案し、想定実機の 1/40 縮尺模型とした。浮体の構造諸元を表-1 に示す。3つの浮体は、制御デバイスを浮体間の連結部に2機ずつ設置した。3連結浮体をその四隅と水槽底のアンカー点とをバネで係留し固定した。平面水槽と模型の設置状況を図-1 に示す。

(2) 制御デバイスと制御アルゴリズム：制御の対象は中央部浮体の Roll 応答である。そのため、中央部浮体まわりに生じるモーメントが相殺できる制御デバイスを考案した。すなわち、つぎの2種類の制御デバイスを製作した。ただし、2つの制御デバイスを同時には使用しない。

1) 連結制振装置：浮体間の連結部に2機ずつ計4機の制振装置を設置し、中央部浮体の両端部に相反する鉛直力を作用させてモーメントを発生させ、Roll 応答を低減する装置

2) Active Mass Damper (AMD)：AMD

を中央部浮体の図-1 に示す位置に設置し、任意の高さに設けられた可動マスを前後にスライドさせて中央部浮体まわりのモーメントを相殺する装置

また、制御デバイスを駆動させるための制御アルゴリズムとして、つぎの3方式を考案した。

a) LQ 最適制御方式 (LQ)：制御力と制御効果の要求を評価関数で表し、これを最小にするような最適ゲインマトリックスをもとに制御力を決定する方法

b) 外乱相殺型フィードフォワード制御方式 (FF)：浮体に作用する外乱を単一周波数の正弦波とみなして推定し、相反する力を惹起して浮体の動揺を制御する方法

c) 加速度フィードバック制御方式 (FB)：構造の応答加速度をフィードバックし、見かけ上、浮体の慣性モーメントを大きくして短周期の応答を低減する手法

なお、これらの組合せは表-2 のとおりである。

表-1 構造諸元

	端部浮体	中央部浮体	一体型浮体
長さ L	2.25m	2.25m	2.25m
幅 B	0.75m	1.50m	3.00m
深さ D	237.5mm	237.5mm	237.5mm
喫水 d	125mm	125mm	125mm
排水量 Δ	211kg	422kg	844kg
重心高さ KG	203mm	203mm	203mm
横メタセンタ高さ GM	224mm	1,339mm	-
慣動半径 xx	220mm	440mm	879mm
Roll固有周期 T_{roll}	1.33sec	1.61sec	-

表-2 各種制御状態

	制御デバイス	
	連結制振装置	AMD
制御アルゴリズム	LQ	
	FF	
	FB	

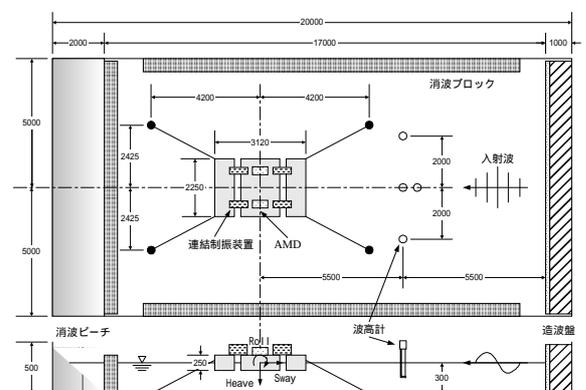


図-1 模型設置状況 (単位：mm)

Keywords：連結型浮体，アクティブ制御，水槽実験，制御機構

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL/ FAX：06-6368-0882

(3)実験条件：設置対象海域を大阪湾とし，平面水槽の水深を 300mm とした．波浪として，実機での波周期が 4.4 秒～10 秒の間で，7 種類の規則波と 4 種類の不規則波を用いた．なお，波高は 25mm 程度である．
 (4)検討項目と計測項目：表-2 に示す 4 種類の制御法による動揺制御実験のほか，比較のため，つぎの 2 種類の動揺実験も行った．すなわち，一体型浮体(United)と 非制御連結型浮体(Uncontrolled)による動揺実験である．これらはいずれも非制御の場合である．ちなみに，一体型浮体とは，3 つの浮体を剛結して一体化したものである．

計測項目は Roll, Heave, Sway の変位と上下加速度で，Sway 以外は個々の浮体で計測した．さらに，連結制振装置による動揺制御実験の場合には，惹起された制御力も計測した．

3.実験結果とその考察 先に述べたように，規則波と不規則の実験を行ったが，紙面の都合上，規則波の結果のみを述べる．

波上側端部，中央部，および，波下側端部の 3 つの浮体の Roll 応答は，図-2 のようである．ここに，縦軸は Roll 応答の片振幅を入射波高の片振幅で正規化した応答倍率である．図-2(b)から明らかなように，LQ 制御と FF 制御を用いれば，良好な動揺制御ができる．特に，LQ 制御の場合，その応答は一体型浮体のそれより小さい．一方，FB 制御の場合，その応答は長周期帯で非制御のそれを上回り，十分な動揺制御が得られていない．これは FB 制御が 4.4 秒の波周期に対してゲイン調整されていたためである．当然のことながら，短周期帯では十分な制御効果が得られた．また，AMD 制御は惹起できる制御力が小さいため，その応答は連結制振装置による制御法のそれに比べて大きく，非制御のそれとあまり変わらない．

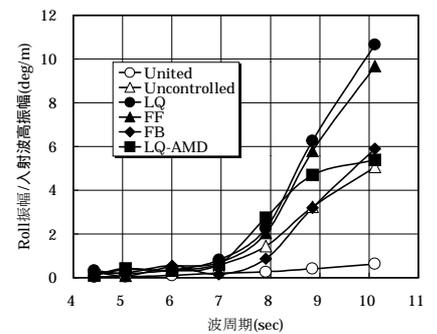
なお，図-2(a)と(c)に示す端部浮体の応答から明らかなように，中央部浮体の動揺に対して制御効果が顕著であった LQ 制御と FF 制御の応答は，中央部を制御した反動で非制御時のそれより増大している．

図-3 に上下方向の加速度応答の結果を示す．ただし，加速度計を Heave と Roll の連成で上下の動揺が最大となる浮体の端部に設置した．それゆえ，図-3(b)によれば，上下方向の加速度応答は概ね Roll 応答と定性的に一致している．図-3(a)には短周期帯での応答を拡大して示したが，4.4 秒での結果が特徴的である．すなわち，LQ 制御の応答は非制御のそれより増大している．また，4.4 秒の周期で制御効果が最大になるようにゲイン調整された FB 制御の応答が最も減少している．

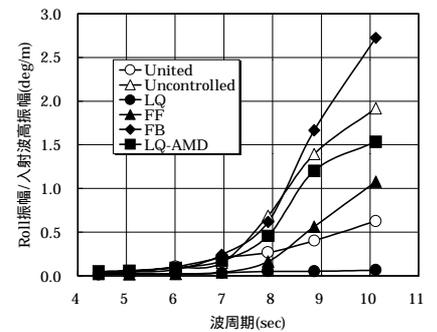
4.あとがき 浮体の Roll 応答をアクティブに制御するため，2 種類の制御デバイスを製作し，平面水槽で模型浮体の動揺制御実験を行った．その結果，3 連結浮体の中央部浮体の Roll 応答が効果的に低減できた．

謝辞：本研究は，(社)日本鋼構造協会のオリンピック支援海上施設研究特別委員会（委員長：渡邊英一教授）・制御技術 WG の研究成果の一部である．実験は関西大学工学部土木工学科海岸工学研究室の平面水槽で行った．ご協力を頂いた関係者各位に感謝の意を表する次第である．

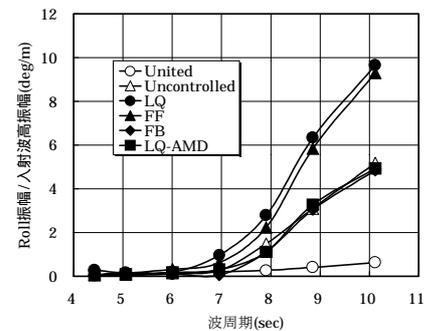
参考文献：1)古川ら：日本建築学会近畿支部研究報告集，第 38 号・構造系，pp.285-288，1998-7．



(a)波上側端部浮体

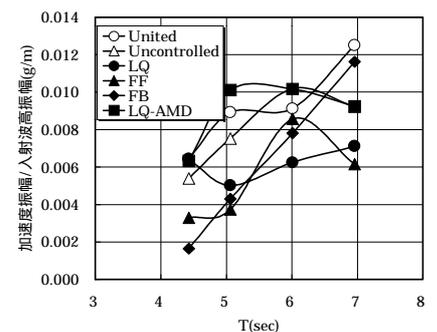


(b)中央部浮体

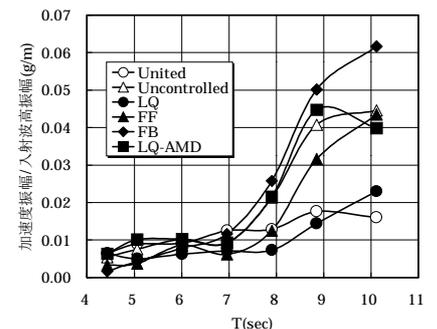


(c)波下側端部浮体

図-2 浮体の Roll 応答



(a)短周期帯の結果



(b)全周期帯域の結果

図-3 上下方向の加速度応答