第Ⅰ部門　　3ユニットからなる連結浮体の動揺制御に関する実験的研究

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　古川忠稔
関西大学大学院　学生員　井澤達也　関西大学工学部　学生員○八木貴之
関西大学工学部　正会員　堂垣正博

1. まえがき

近年，浮体を空港や防災施設などに利用する計画がある．さらに発展させ，浮体を都市の沿岸部に設置し，多機能な空間を創生しようとも考えられている．

ここでは，生活空間の一部として利用できる浮体の動揺制御に必要な制御デバイス機構と制御アルゴリズムを確立するために行った3つのポンツーンユニットが連結された浮体模型の実験について報告する．

2. 動揺制御実験の概要

(1)供試体と試験の種類：長さが 120m で，幅が 90m 相当のポンツーン型浮体を想定し，その 1/40 縮尺の模型を塩化ビニルで製作した．ただし，模型は分割された3つのユニット，すなわち，浮体①，浮体②，浮体③からなる．その寸法諸元を表-1 に示す．

3 つのユニットが制御機構を備えたデバイスで連結されたモデルに対し，以下の実験を行う．

(ⅰ)一体型浮体（United）

(ⅱ)非制御の連結型浮体（Uncontrolled）

(ⅲ)制御連結型浮体（制御時）

ただし，前者の2ケースは(ⅲ)との比較のために行われる実験である．また，一体型浮体は3つのユニットをボルトで剛結した模型である．なお，浮体の四隅と水槽底に設けたアンカー点をコイルスプリングとワイヤーで図-1 のように係留した．

(2)制御デバイスと制御アルゴリズム：本実験では，つぎの2種類の制御デバイス機構

(ⅰ)連結制振装置

(ⅱ)Active Mass Damper（AMD）

とつぎの3つの制御アルゴリズム

(a)LQ 最適制御方式（LQ）

(b)外乱相殺型フィードフォワード方式（FF）

(c)加速度フィードバック方式（FB）

を組み合わせ，3 連結浮体の動揺を制御する（特に，浮体②の回転運動を制御する）．その応答を一体型浮体や非制御浮体のそれらと比較し，制御による動揺の低減効果を検討する．ここに，連結制振装置とは，前後2ヶ所の連結部分にそれぞれ2機ずつ設置された制振装置によって，浮体②の両端に上下方向の偶力を発生させ，浮体の回転運動を制御しようとするものである．また，AMD とは，図-1 に示されるように，浮体②の中央部に設置した2機のマスを前後に動かして偶力を発生させ，浮体の回転運動を制御しようとするものである．ただし，AMD 方式では，LQ 最適制御のみを検討する．

(3)実験条件：設置対象海域を大阪湾とし，つぎのような種々実験条件を設定した．

(a)水深：大阪湾の平均水深が 10m～15m なので，実験では現地の水深 12m 相当の 300mm とした．

(b)波浪条件：波は，模型の真正面から作用する単一方向の波とし，設定波高は 25mm（実機相当 1m）とした．波周期は，4.4 秒から 10 秒までの間で規則波 7 ケース，不規則波 4 ケースの計 11 ケースを想定した．

(4)計測項目：各浮体の運動応答に関する計測項目として，回転運動（Roll 応答），上下運動（Heave 応

表-1　模型の寸法諸元

			実機レベル		模型	
			浮体①，③	浮体②	浮体①，③	浮体②
長さ	L	(cm)	9000.00	9000.00	225.00	225.00
幅	B	(cm)	3000.00	6000.00	75.00	150.00
深さ	D	(cm)	950.00	950.00	23.75	27.35
喫水	d	(cm)	500.00	500.00	12.50	12.50
排水量	Δ	(t)	13838.00	27675.00	0.21	0.42
重心高さ	KG	(cm)	813.00	813.00	20.33	20.33
慣動半径	κ_{xx}	(cm)	879.00	1758.00	21.98	43.95
ROLL固有周期	T_{roll}	(sec)	8.40	10.20	1.33	1.61

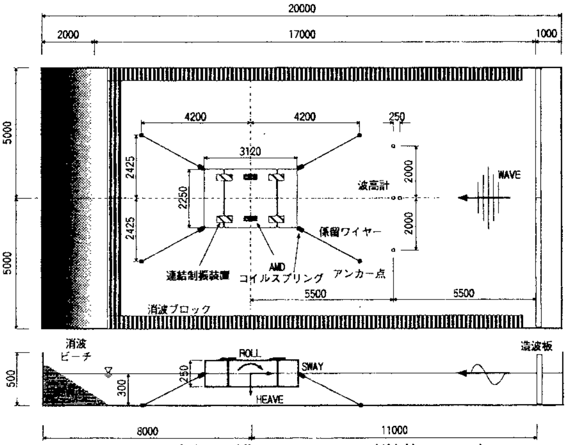


図-1　平面水槽と模型の配置図（単位：mm）

Hitoshi FURUTA, Tadatoshi FURUKAWA, Tatsuya IZAWA, Takayuki YAGI, Masahiro DOGAKI

答），水平運動（Sway 応答），加速度応答（上下方向）を測定する．また，連結制振装置内に組み込まれたロードセルによって発生制御力を計測する．

3. 実験結果とその考察

一体型浮体，非制御浮体，3 方式の制御浮体，AMD 制御浮体のそれぞれに 11 ケースの波を作用させ，計 66 ケースの実験を行ったが，ここでは規則波実験の結果について述べる．

本研究では，浮体②の動揺に着目している．浮体②における運動応答を描くと，図-2(a)～(d)を得る．ここに，縦軸は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，横軸は実機レベルの波周期である．

図-2(a)に示す Roll 応答において，LQ 制御と FF 制御ではその効果が全周期にわたって現れている．特に，LQ 制御では，入射波周期が 10 秒の時，一体型浮体の 1/7 以下および非制御浮体の 1/30 以下の応答を示しており，全周期にわたって一体型浮体よりも応答が減少した．一方，FB 制御は，短周期の入射波に対して制御効果が現れるようにシステム設計したため，短周期帯域での制御効果は認められるが，長周期帯域では非制御浮体の応答を上回り，十分な効果が得られなかった．AMD 制御は，発生可能な制御力が小さかったために，目立った制御効果が得られなかった．

図-2(b)の Heave 応答によれば，制御時の応答が非制御時よりも若干上回っているが，その差はさほどなく，制御による悪影響がなかった．また，図-2(c)の Sway 応答によれば，Roll 応答に対して効果のあった LQ 制御と FF 制御の応答が非制御時よりもかなり大きくなった．なお，端部に取付けた加速度計の計測データより，LQ 制御による浮体②の応答は低減されており，図-2(c)の Roll 応答とよく対応している．

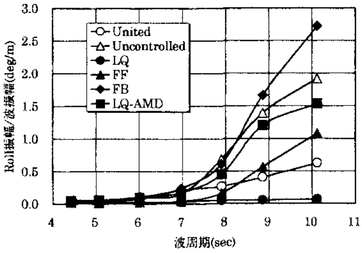
連結制振装置から発生された制御力を波周期との関係で描くと，図-3 を得る．ここに，図の(a)と(b)は波上側と波下側にそれぞれ 2 機づつ取付けられた制振装置から発生された制御力の平均値を示している．同図より，必要な制御力はいずれの制御アルゴリズムでも波上側の方が波下側よりも大きい．波周期が 10 秒の結果を参照すれば，実機では約 2.7MN の制御力が必要である．

4．あとがき

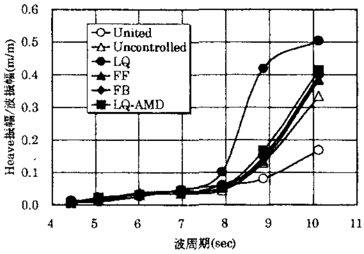
3 連結型浮体の動揺制御実験を行い，中央ユニットの回転運動を LQ 制御や FF 制御で効率的に制御できることが立証できた．

謝辞：本研究は，（社）日本鋼構造協会海上施設研究特別委員会（委員長：京都大学渡邊英一教授）に設置された制御技術 WG の研究活動として行った．実験は関西大学工学部土木工学科海岸工学研究室所有の平面水槽で行った．各位に深く感謝する次第である．

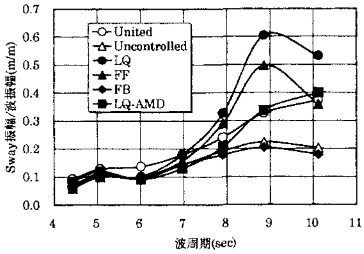
参考文献：1）古川ら：日本建築学会近畿支部研究報告集，第 38 号・構造系，pp.285-288，1998.



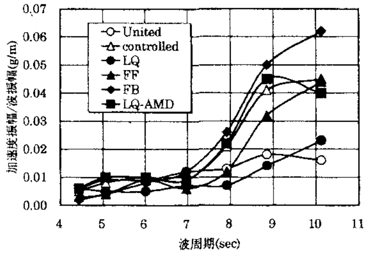
(a) Roll 応答



(b) Heave 応答

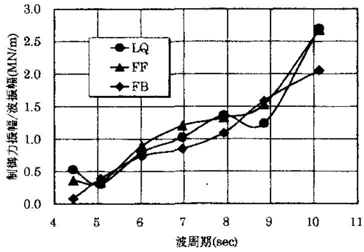


(c) Sway 応答

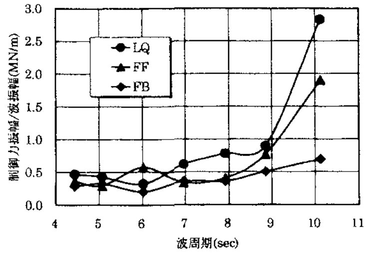


(d) 加速度応答

図-2　浮体②における運動応答



(a) 波上側制御装置の平均応答



(b) 波下側制御装置の平均応答

図-3　発生制御力