



研究ノート

連結部に制御装置を組み込んだ 複数連結浮体の動揺制御

古川 忠稔*

Vibration Control of Floating Structure with using
active controlled connecting device

Key Words : Floating Structure, Structural Response, Vibration control, Active Control

1. はじめに

日本は四方を海に囲まれた総面積約372,741km²の島国であり、そのうち山地・丘陵地が72.8%を占める¹⁾。そこで工業用地等の不足を補うため、我が国では埋め立てによる土地造成がこれまで大規模に行われている。しかし近年では波打ち際や干潟、海岸線の環境保全の観点から、あるいはこれまでの埋め立てにより浅海域そのものが減少していることもあり、埋め立てによる土地造成がますます困難となっている。そこで今後は、これまで利用頻度が低かった、より水深の深い海域を利用する技術開発が求められている。

筆者らが所属する「日本鋼構造協会オリンピック支援会場施設研究調査委員会」は、現在大阪市が立候補している2008年のオリンピック開催時に、選手宿泊施設やプレスセンター等として使用されることを短期的には想定しつつ、長期的にはビオトープ、周辺域の海水浄化機能、廃棄物処理機能、クリーンエネルギープラントを含む環境に優しい海洋都市空間の創造を行うことを目標に掲げ、浮体構造物に関する研究開発を実施してきた²⁾。

浮体構造物のイメージを図1に示す。この浮体構造物は放射状に伸びた6つの浮体(L245m×B120m)から構成されており、外周で約580mほどのサイズとなる。この浮体構造物は、例えば大地震等の災害

時に、状況に対応して全体あるいは一部を切り離して曳航し、災害時の移動基地として使用することも想定している。そこで一部の浮体には病院、救急救助施設あるいは緊急避難設備をも組み込むことも想定されており、一部浮体はその機能に応じて通常より大幅に動揺レベル低減させ、質的に高い居住空間を確保する必要がある。この目的のため、対象浮体に動揺制御装置を組み込んで、浮体動揺を低減させることを試みた。

2. 連結型浮体動揺制御

浮体動揺は浮体の動特性と周辺の海象、気象条件により支配される。良く知られているように、浮体が十分大きくなれば、浮体動揺の固有周期にくらべ外乱である波浪周期が相対的に短くなり振動レベルは小さくなる。また同じ浮体でも停船時では揺れが増大することも経験的にも良く知られている。

これまでも船舶工学分野を中心に各種浮体動揺制御手法が開発されており、アンチローリングタンクや可動マスにより能動的制御を行うことも行われ

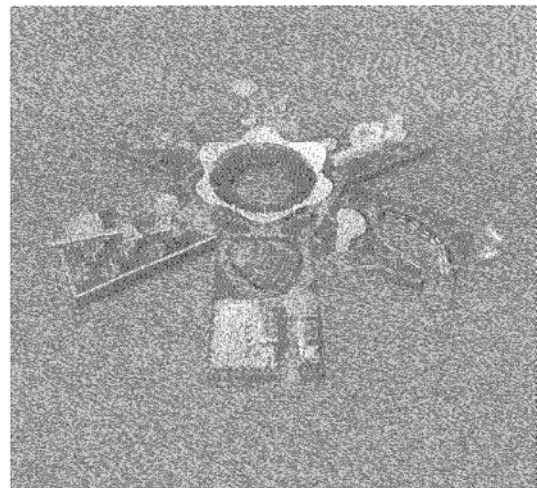


図1 浮体構造物のイメージ図



* Tadatoshi FURUKAWA
1962年4月8日生
1988年京都大学大学院工学研究科修士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・地球総合工学専攻、学内講師、博士(工学)、耐震工学、構造動力学
TEL 06-6879-7355
FAX 06-6879-7627
E-Mail furukawa@ga.eng.osaka-u.ac.jp



図 2 実験状況

ている³⁾。しかし今回の制御対象は $245\text{m} \times 120\text{m}$ と巨大で浮体の慣性質量が非常に大きく、発生可能な制御力の限界から考えて浮体全体の動揺レベルを低減することが現実的ではない。そこで、ここでは浮体を複数個に分割し、これら複数個の浮体がおの必要とされるレベルに動揺を低減すればよいと発想し、浮体連結部に制御デバイスを組み込むことを考案した^{4,5)}。あわせて浮体動揺のうち、現実的に最も問題となることが多いRoll運動のみ低減をはかることを試みた。

さらに前述のように、浮体動揺の固有周期と外乱の卓越周期はもともとかなり乖離した領域での動揺制御を行うことや、浮体はその動揺周期に依存して見かけの慣性質量や減衰力がかなり変動することを考慮して、ここでは能動的な制御を行うことを選択した。制御則としては制御効果と装置規模のバランスを考慮できるLQ最適制御則とともに、外乱を積極的に相殺するフィードバック・フィードフォワード併合制御則(以下フィードフォワード併合と記す)や、見かけの慣性質量増大により応答倍率のさらなる低減をはかる加速度フィードバック併用など各種の制御則を採用した。

3. 縮尺モデル実験による効果の検証

連結型減揺装置の効果を検証するため、平面水槽を用いた動揺制御実験を実施した。制御対象浮体は長方形浮体の1基のみで、模型縮尺1/40の部分模型を用いた。浮体の分割は3分割とし、中央部浮体の幅を端部浮体の2倍幅とした。

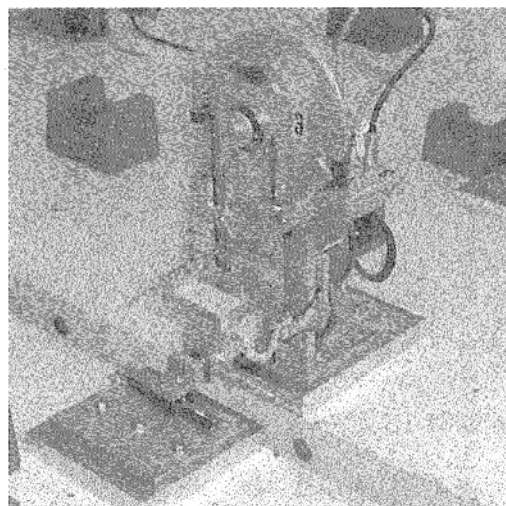


図 3 連結型動揺制御装置

実験時の状況を図2に示す。動揺制御装置は図3に示す様に、プーリーとワイヤにより、サーボモータ駆動力をスライドブロックに伝達し、隣接する浮体を上下動させる機構を用いている。実験ではこの動揺制御装置を隣接する浮体間に各2基、合計4基用いた。図4に、規則波入力時の実験データより得られた中央部浮体の実縮尺換算のRoll運動応答倍率を制御則毎に示す。同図には制御効果の比較のため、分割浮体を一体化した場合および連結浮体の非制御時をあわせて記している。これより、LQ最適制御とフィードフォワード併合時は入射波周期全域で良好な制御効果が得られ、特にLQ最適制御は一体型の応答よりも小さくなっている。ただし、LQ以外の制御則で効果が明瞭でないのは、これらの場合、

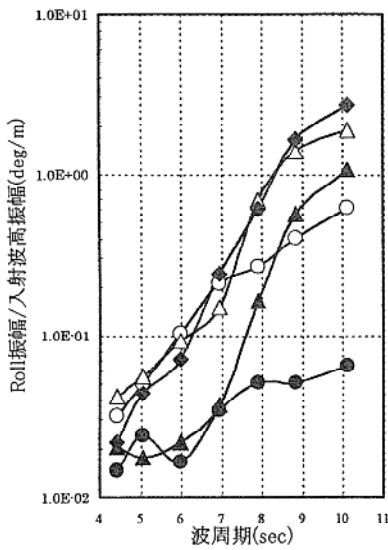


図4 Roll 応答倍率 (中央部浮体・実縮尺換算)

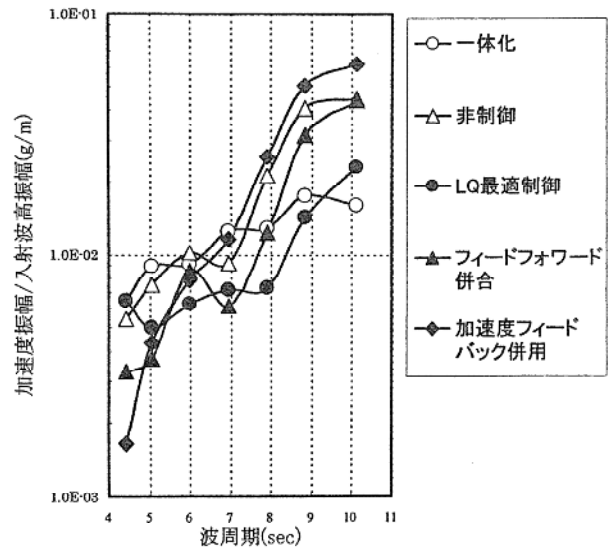


図5 加速度応答倍率 (中央部浮体端部・実縮尺換算)

制御の前提として入射波浪周期を特定周期と仮定した(この場合は4.4秒)ためである。

図5に中央部浮体の鉛直応答加速度倍率を示す。加速度計はHeave運動とRoll運動の連成により上下動揺が最大となる浮体端部に設置されている。図より入射波周期が短い4.4秒波入射時は、LQ最適制御時では非制御時より応答が若干増加しているが、入射波がこの周期のとき効果が最大となるようチューニングされたフィードフォワード併合と加速度フィードバック併用制御では応答が低減されていることがわかる。

4. おわりに

ここでは高い居住性が要求される浮体を対象とし、動揺量低減のため連結部に能動型制御装置を組み込み動揺制御を行う手法について、実験的に検証した結果について簡単に報告した。

また本報ではふれなかったが、本研究では制御力を組み込んだ形で、波浪による浮体動揺を予測する解析手法の開発も平行して実施しており、実験結果との比較による精度の検証と、実機レベルでの応答予測や必要な制御装置能力の算定も行っている⁶⁾。

今後は実験と解析を有機的に組み合わせることにより、制御効果を高める上で効果的な浮体の分割比率や有利な浮体断面形状に関する研究や、さらに効果的な動揺制御装置や制御アルゴリズムの開発が必要とされている。

謝辞：本研究は日本鋼構造協会オリンピック支援会場施設の調査委員会における研究の一環とし

て行われたことを付記するとともに、ご協力頂いた制御WGメンバー各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大阪大学地球総合工学入門編集委員会編「地球総合工学入門」大阪大学出版会、pp.80-81、1999年4月。
- 2) オリピック支援海上施設特別研究会調査・研究報告書 - MOBY DICKプロジェクト -, (社)日本鋼構造協会、2000年3月。
- 3) 小池裕二, 吉海 研, 広重栄基, 牟田口勝生: 能動型減揺装置の開発と実海域試験一統報一, 日本造船学会論文集, 第185号, pp.111-117, 1994年。
- 4) Tadatoshi Furukawa, Yushi Yamada, Hitoshi Furuta, Eizaburo Tachibana: Experimental Study on Vibration Control of Unit-Linked Floating Structures, Proc. of the 1st International Conf. on Advances in Structural Engineering & Mechanics, pp.833-838, 1999.8.
- 5) 大山 巧, 長谷部雅伸, 古川忠稔, 古田 均: 最適制御理論に基づく複数連結浮体の動揺制御, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.866-870, 1999年。
- 6) 大山 巧, 長谷部雅伸, 古田 均, 古川忠稔, 松浦正巳, 藤田 孝, 小池裕二: 複数連結浮体を対象とした能動型動揺制御技術に関する研究, 海岸工学論文集, 第47巻, 2000年, (印刷中)。