

カテナリー係留された浮体の波浪応答解析手法の提案

愛知県 正会員 山田 裕貴
 名古屋大学大学院 フェロー ○水谷 法美
 韓国海洋科学技術院 正会員 李 光浩

1. 目的

係留索で係留された浮体によって波を制御する浮体式防波堤は、浮体下部に遊水域を持つことから海水交換性を有し、背後水域への環境面での影響を軽減することが可能であること、また、海底地盤の大規模な工事を要しないことから経済性に優れていることや設置時の環境負荷が抑えられるなどの利点があげられる。浮体式防波堤の主な消波機能としては、浮体による入射波の反射、浮体運動による強制砕波の促進、および発散波と入射の位相差の利用、浮体周辺の渦や摩擦によるエネルギー消散などが挙げられる。このように浮体式防波堤は従来の重力式防波堤と比べてより複雑な消波メカニズムを有している。李ら(2008)は、李・水谷(2007)によって開発された任意形状の不透過境界を有する物体と流体の連成解析が可能である Immersed Boundary (IB)法を用いた数値波動水路を用い、斜め緊張係留浮体を対象に数値計算を使った浮体の波浪応答に関する研究を行っている。しかし、一般には浮体式構造物は緊張係留ではなくカテナリー係留が用いられている。そこで本研究では、カテナリー係留された浮体の波浪応答を解析可能な数値解析手法を構築することを目的とする。なお、本報では、カテナリー形状の係留索を対象とした計算について主に述べることにする。

表-1 計算条件

$d(\text{m})$	$A(\text{m}^2)$	$G_w(\text{kN/m})$	$E(\text{kN/m}^2)$	n
0.127	0.043	2.86	2.79×10^7	100

2. カテナリー形状の係留索の静的解析

まず、浮体構造物を考慮しない場合の係留索のみの静的解析について述べる。本研究では、Wang et al. (2010)が用いたモデルを参考に、海底面と浮体構造物を繋ぐ係留索の数値計算を行った。本モデルでは、係留索を n 個（本研究では $n=100$ ）に分割し、各分割点での力の釣合関係から各分割点における座標、仰角および張力をそれぞれ求めた。初期条件として、浮体との接続点での座標(x_{n+1} , z_{n+1})および張力 T_{n+1} を与え、同点における仰角 α_{n+1} については、収束計算を行うことで適切な値を算出した。計算条件は表-1 に示す通りである。

図-1 に T_{n+1} を変化した場合における係留索の形状を示す。また、図-2 に同条件における Wang et al. (2010)の結果も示す。両図から $T_{n+1}=1200(\text{kN})$ の際に大きくたわみ、 T_{n+1} の増大に伴いケーブルの形状が直線に近づいており、本計算結果は Wang et al.らと同様の形状を示していることがわかる。さらに、図-3 および図-4 に示す浮体との接合点での仰角 α_{n+1} および海底面との接続点における張力 T_1 を比較した結果からも、多少の誤差は認められるものの、両者は良好に一致している。以上

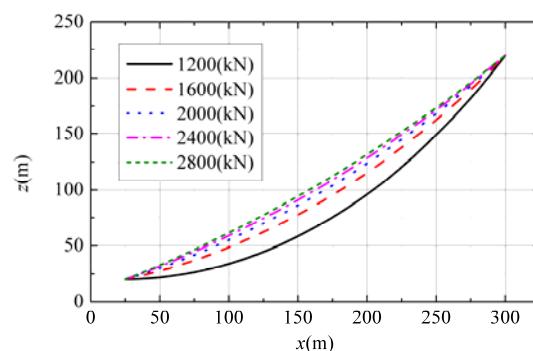


図-1 係留索の形状の算定結果

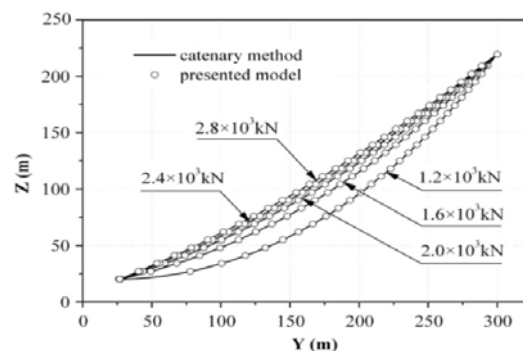


図-2 Wang et al.(2010)による係留索の形状

キーワード カテナリー係留, 浮体構造物, Immersed Boundary 法, Volume Of Fluid 法

連絡先 〒464-8603 名古屋市中千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 052-789-4630

のことから、本モデルはカテナリー形状の係留索を適切に表現できていると判断できる。

3. カテナリー係留された浮体の波浪応答解析手法

本研究では、李・水谷(2007)によって開発された IB 法に基づいた数値波動水槽に上述したカテナリー形状

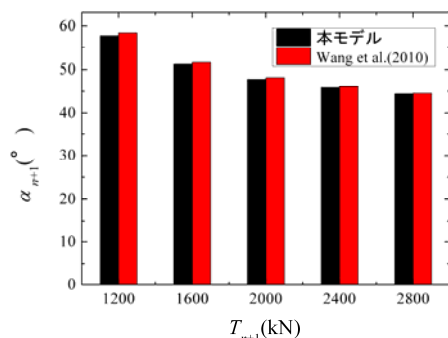


図-3 浮体との接合点での仰角(α_{n+1})の比較例

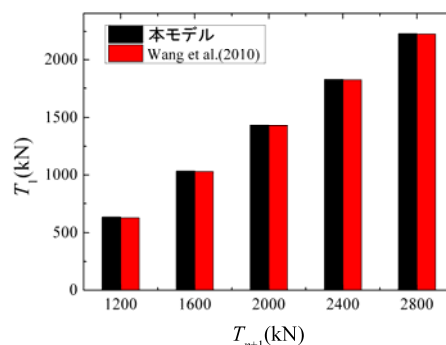


図-4 海底面との接続点における張力(T_1)の比較例

の係留索の計算スキームを導入することで、カテナリー係留された浮体の波浪応答の解析手法の構築を行った。本研究で用いた数値波動水槽は、複雑な自由表面の変化を精度良く追跡できる Volume Of Fluid (VOF) 法および、流体と構造物の相互作用を解析できる IB 法で構成されている。カテナリー係留された浮体の動的応答を解析するにあたり、浮体との接続点の座標、張力および係留索の仰角が必要となる。ここで、係留索に作用する張力については、係留索の長さを常に一定に保つように調整し、適切な値を繰り返し計算することで求める。座標については、前のタイムステップでの力の釣り合いから各接続点での加速度を求め、その値から算出する。以上のように計算を行うことで、図-5 に示す初期状態の浮体の波浪応答の解析を行った。そして図-6 に例示するようにカテナリー係留された浮体と波との相互作用を計算することができた。

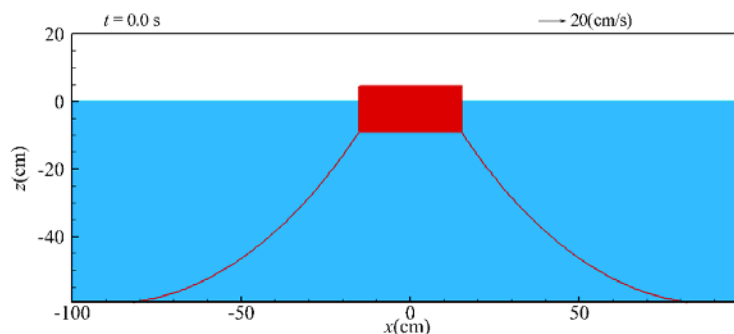


図-5 初期状態 ($T=0.9s$, $H_i=4.8cm$) の様子

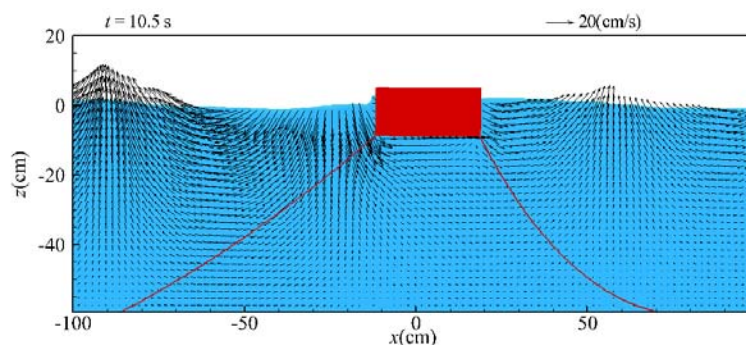


図-6 最大張力発生時 ($T=0.9s$, $H_i=4.8cm$) の様子

4. 結論

本研究では、係留索の形状を求める際に必要となるパラメータを繰り返し計算によって求めることで、カテナリー係留された浮体の波浪応答の解析手法の構築を行った。そして、浮体の動揺にともなう係留索の形状の変化を表現できた。引き続き、浮体に作用する波力と張力、および浮体の変動量の時間変化を水理模型実験等の比較を行って、本解析手法の詳細な検討を行う必要がある。

<参考文献>

- 李・水谷(2007) : Immersed Boundary 法による数値波動水槽の構築とその応用に関する研究 - 水平円柱周りの波浪場への適用 -, 海工論文集, 第 54 巻, pp.821-825.
- 李・水谷・後藤(2008) : IB 法による緊張係留浮体の波浪応答に関する有限変位解析, 海工論文集, 第 55 巻, pp.891-895.
- L.Z. Wang, Z. Guo and F. Yuan(2010) : Quasi-static three-dimensional analysis of suction anchor mooring system, Ocean Eng., Vol.37, pp. 1127-1138.