

水柱振動型波力発電装置における過剰共振の抑制法について

宮崎大学工学部 学生会員 松木尚諒 後藤俊紀
宮崎大学 正会員 村上啓介 真木大介

1. はじめに

近年、環境問題への関心から化石燃料に替わる再生可能エネルギーの活用の機運が高まっている。再生可能エネルギーの開発は様々で、太陽光や風力、地熱等が挙げられる。また、波エネルギーも再生可能エネルギーの一つである。これら再生可能エネルギーを活用した発電技術のうち、波力発電は未だ商業発電として実用化に至っていない。その理由としては、波力発電システムの耐波安定性や施工費用等の問題が挙げられる。波力発電は、潜在エネルギーが大きい外洋を対象に開発が進められてきた経緯がある。そのため、上述の問題から発電コストが低減できずに実用化に至っていない。この問題を解消する一方法として、波振幅が小さい内湾等を対象にした発電技術の開発が考えられる。筆者らは、小振幅の波から効率的にエネルギーを取り出す方法として、円筒管型波動共振システムの活用を検討してきた。このシステムは、防波堤等の直立壁前面に円筒管を多数設置し、管内の水面振動を共振させてエネルギーを取り出すものである。昨年度の研究では、円筒管内にリニア型発電機を取り付けて不規則波浪場での発電を検証した。本システムは、円筒管内の水塊が持つ固有周期付近の波を選択的に増幅する。従って、不規則波群中に含まれる固有周期に近い大振幅の波（有義波高の数倍の波）も増幅されるので、過剰な共振によるシステムの稼働性の維持が課題となる。本研究では、円筒管型波動共振システムの共振特性を維持したうえで、大振幅の波に対して効果的な共振抑制機能を有する装置の開発を目的とした。

2. 実験条件

本研究では、円筒管上部に空気ノズルを設けて円筒管内の過剰共振を抑制する実験（ケースA）と、円筒管内の一部に粗度を設けて過剰共振を抑制する実験（ケースB）を行った。

(1) ケースAの実験方法

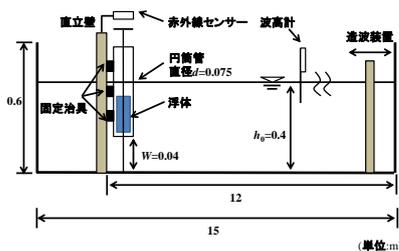


図-1 浮体運動における実験水槽

実験は図-1に示す長さ15m、幅0.4m、高さ0.6mの二次元造波水路を用いた。水路内の水深は $h_0=0.4\text{m}$ とし、造波板から12mの位置に設置した直立壁前面に円筒管を設置し、円筒管の内径は $d=0.075\text{m}$ とした。本研究では、過剰共振の抑制方法として空気ノズルを円筒管上部に取り付けた。ノズルの開口比（ノズルの面積を円筒管上部の面積で割った百分率）は1~4%の4種類とした。また、水底面から円筒管下端までの距離（下端クリアランス）を $W=0.04\text{m}$ にした。本実験では、円筒管内に浮体を挿入し、その運動を計測することで空気ノズルによる過剰共振の抑制程度を検討した。実験には不規則波を用い、有義波高を $H_{1/3}=0.05\text{m}$, 0.08m , 0.11m の3通りに、有義波周期 $T_{1/3}=1.0\text{s}$, 1.3s , 1.8s の3通りに設定し、それぞれ組み合わせて実験を行った。

(2) ケースBの実験方法

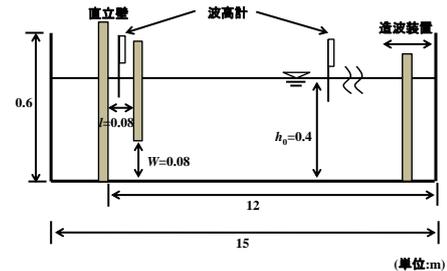


図-2 粗度を適用した実験水槽

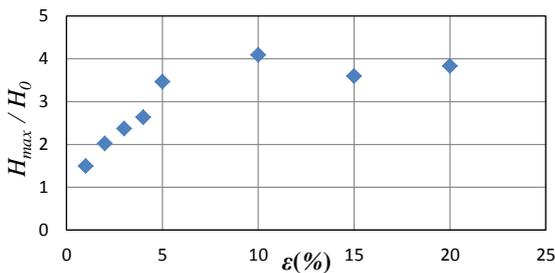
粗度を適用した実験は図-2に示す。用いた水槽と模型の取り付け位置、および水深はケースAと同じである。なお、ケースBでは、粗度の取り付けの関係から、ケースAの円筒管と同程度の幅を持つ矩形管を用いた。この矩形管の固有周期を実験で求めたところ、下端クリアランスによらず $T=1.4\text{s}$ であったので、以下の不規則波実験では、下端クリアランスを $W=0.08\text{m}$ にし、 $T=1.4\text{s}$ 前後の有義波周期の波を造波することとした。矩形模型の両側面に、粗度高さ3.0cmの突起を設置した。粗度は静水面から上方に取り付けることとし、その最下の粗度の位置は有義波高の0~3倍の間で設定した。また、実験は粗度の間隔を粗度高さの1倍~3倍に変えて行った。なお、入射波の有義波高は $H_{1/3}=0.05\text{m}$, 0.08m , 0.11m 、有義波周期は $T_{1/3}=1.0\text{s}$, 1.4s , 1.8s の3通りとした。

3. 実験結果と考察

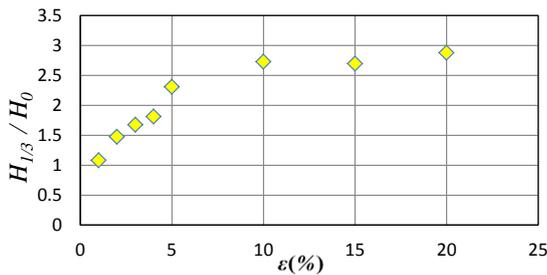
(1) ケースAに関する実験結果

円筒管上部にノズルを設けた時の増幅特性を図-3に示す。横軸はノズル比、縦軸は増幅率(H_o は入射波高、 H_{max} は円筒

管内の最大波高、 $H_{1/3}$ は円筒管内の有義波高)を示している。図-3(a)について見ると、それぞれの増幅率はノズル比が小さくなると減少していることがわかる。特にノズル比が1%になると増幅率が極端に落ち、最大波に対する抑制効果が顕著になる。一方、図-3(b)について見ると、平均的な波に対する減衰率は最大波高と同程度となっている。このことは、空気ノズルを用いた場合は、全ての波成分に対して共振抑制機能を発揮していることを示しており、不規則波群中に含まれる大振幅の波成分のみを減衰させる機能は期待できないことが分かる。



(a) 最大波に関する増幅率



(b) 有義波に関する増幅率

図-3 $H=8.0\text{cm}$ $T=1.3\text{s}$ 実験結果

(2) ケースBに関する実験結果

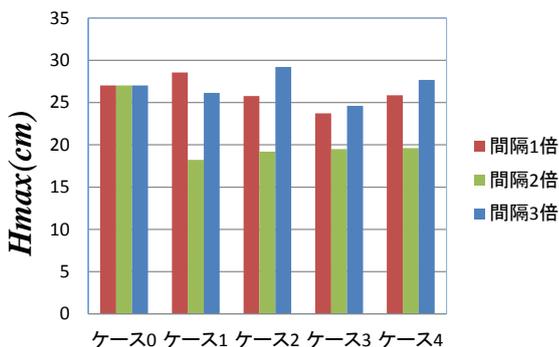


図-4 最大波高の結果($H=8.0\text{cm}$ $T=1.4\text{s}$)

粗度を付けた場合の最大波高の違いを図-4に示す。図中のケース0は粗度がない場合、ケース1～ケース4は粗度の取り付け位置を変えた場合である。最大波高の減衰に対して粗度間隔は重要であり、粗度周辺に効果的に渦が形成される間隔(本実験では粗度高さの2倍)で高い減衰効果が確認で

きる。なお、粗度間隔が広がると、粗度周辺での渦の形成は明確であるが、粗度数が不足することから十分な減衰効果が得られない。図-5は不規則波中に含まれる個々波を大きい順に並べて示したものである。図より、静水面上から上方に粗度高さの2倍で粗度を配置したケースでは、有義波高付近の波の低減率に比べて最大波付近の波の低減率が大きいことが確認できる。このことは、静水面上から上方に適切な間隔で粗度を配置することで、不規則波群中に含まれる大振幅の波成分のみを減衰させる機能が期待できることを示していると考えられる。

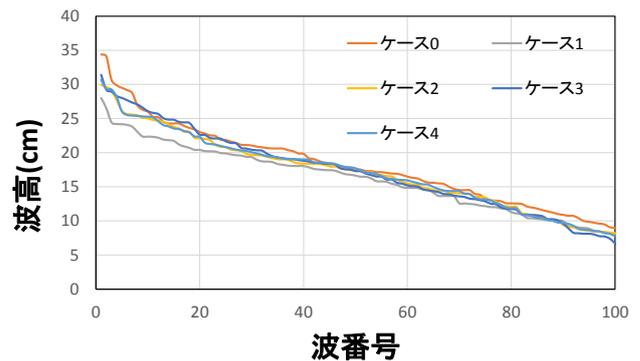


図-5 波高の降順並び($H=11.0\text{cm}$ $T=1.4\text{s}$)

4. まとめ

(1) 空気ノズルを用いて円筒管内の過剰共振を抑制する場合、不規則波群中に含まれる全ての波成分で同程度の減衰が生じることから、大振幅の波成分のみを減衰させる機能は期待できない。

(2) 一方、水面上から上方に適切な間隔で粗度を配置することで、不規則波群中に含まれる大振幅の波成分のみを選択的に減衰させることができる。

(3) その際、最大波高の減衰に対して粗度間隔は重要なパラメータとなる。粗度間隔は粗度周辺に効果的に渦が形成されるように取る必要がある。

(4) 本実験は、粗度高さが3.0cmの場合についてのみおこなった。粗度高さは円筒管内の振動抑制に対して重要なパラメータであるので、今後は粗度高さの影響についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 村上啓介・岡本英久・真木大介:波動ポンプを活用した波エネルギーの効率的な抽出に関する研究, pp97~102, 2013
- 2) 高橋重雄・安達崇:日本周辺の波パワーとその利用に関する考察, pp874~878, 1989
- 3) 木村晴保・藤田喜英:波動ポンプの開発, pp620~624, 1977