

微小間隙を伴う複数矩形浮体に作用する波力特性に関する研究

金沢大学工学部 正会員 ○斎藤武久・石田 啓
Shanghai Jiao Tong University Miao Guoping

1. はじめに 海洋空間の有効利用を目的に、現在、超大型浮体への期待が高まっている。超大型浮体は、浮体要素の連結により実現されるが、連結工程において、浮体要素同士の極端な近接状態が発生する。従来、船舶の接岸や船舶同士の近接による干渉問題は広く知られているが、浮体間距離が極めて短い場合に関する研究例は少ない。本研究では、微小な間隙を有する複数矩形浮体に作用する波力特性に関して理論的に考究する。

2. 解析方法 図-1 に座標系を示す。本研究では、問題を 2 次元に限定し、一定水深 h 内に喫水深 d で M 個の矩形浮体が存在する場合を想定する。矩形浮体は、幅 b_m ($m=1, \dots, M$)、間隙幅を $2a_m$ ($m=1, \dots, M-1$)、 $2a_m \ll d$ とし、線形波理論を用い、入射波を振幅 A 、角振動数 ω の規則波とする。理論展開は、固定された浮体を対象に回折波理論を用いて、領域分割法と漸近接合¹⁾²⁾を組み合わせることにより行うが、その概要を以下に示す。まず、図-2 に示すように、流体場を浮体から離れた反射波領域 (I)、浮体下部領域 (II)、透過波領域 (III) に領域分割する。この際、領域 (I) では入射波、反射波および擾乱波、領域 (III) では透過波および擾乱波の速度ポテンシャルをそれぞれ定義し、領域 (II) では、擾乱波に加えて、微小間隙による影響を間隙を無視した大型浮体表面に配置された湧き出し点のポテンシャルとして定義する。微小間隙を伴わない通常の領域分割法では、未知数となる反射波、透過波および擾乱波の振幅の数と、領域 (I) と (II) および領域 (II) と (III) における境界条件式の数が一致するため問題は一意に解けることになるが、本研究では、湧き出し強さが新たな未知数として加わる。そこで、領域 (II) において図-1 に示すように、流体場を間隙内部領域 (1)、間隙付近領域 (2)、間隙外部領域 (3) に分割して、各領域内の速度ポテンシャルを未知数を含む形で定義し、他の領域に対してそれぞれ漸近展開すると共に、接合して新たな条件式を誘導する¹⁾²⁾。以上の漸近接合法の導入により、微小間隙を含む図-1 の問題は、定義した未知数と境界条件式および漸近接合法による条件式の数が一致することによって一意に解けることになり、全ての領域における速度ポテンシャルが定められることになる。なお、矩形浮体に作用する波力は、求まった各速度ポテンシャルを線形化されたベルヌーイの定理に代入することによって求めることができる。

3. 解析結果および考察 解析例では矩形浮体幅を b で一定とし、距離の次元を h ($=1.0$) で、鉛直および水平方向波力をそれぞれ $\rho g A b$ および $\rho g A d$ (ρ : 流体密度, g : 重力加速度) で無次元化する。図-3 に、 $b=1.0$, $d=0.3$, $2a=0.01$ で 2 つの矩形浮体が存在する場合の解析結果を示す。図-3 (a) および (b) は矩形浮体に作用する鉛直方向波力および水平方向波力の特性を表す。図より、 $kh=3.1$ 付近において、鉛直および水平波力に鋭い極値が見られる。特定の無次元波数に対する波力の極値の出現は、共振現象の発生を意味するが、図-3 (c) に示す微小間隙内での水面変動 (A により無次元化) において、確かに $kh=3.1$ 付近で著しく水面が高まっており、微小間隙内での共振現象の発生を確認することができる。

ただし、本研究では線形ポテンシャル理論を用いているため、非現実的な波力および水面の高まりが確認されているが、以上の現象は、実際の流体場に存在する本質的なものであり、線形ポテンシャル理論の仮定により増幅された形で表現されているものと考えられる。なお、2 つの矩形浮体に作用する波力を足し合わせ、微小間隙を含む単一浮体に作用する波力特性と間隙を無視した単一浮体に作用する波力特性を図-3 (d) に示すが、この場合、両者に違いは見られなかった。このことは、微小間隙を伴って連結された大型浮体に作用する波力は、間隙を無視した単一浮体によって算定できることを意味するが、局部的に共振に伴う応力集中の可能性を無視することはできない。図-4 (a) および (b) に透過率

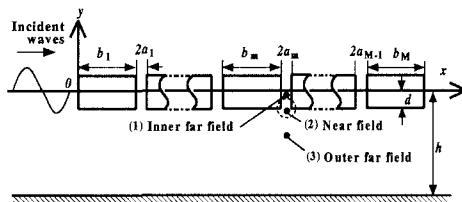


図-1 座標系

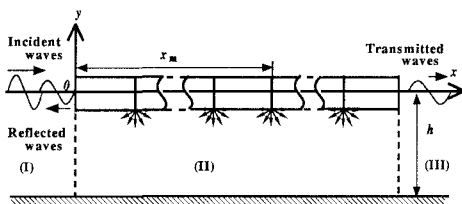


図-2 領域分割

および反射率を示すが、 $kh = 3.1$ 付近の共振発生時を除いて、 $I_{\text{初}}'$ は保存されていることが分かる。また、共振時には、透過率および反射率がゼロとなり、間隙内への $I_{\text{初}}'$ 集中が確認できる。ところで、漸近接合法の導入過程において、微小間隙内の振幅が無限大となる理論解として、

$$\frac{2a_m}{\pi} \ln(h-d) \frac{e}{2a_m} + d - g/\omega^2 = 0$$

の関係式が誘導される。間隙幅が微小な場合、解は $d - g/\omega^2 = 0$ となるため、粗い評価ではあるが、共振時における入射波の角振動数 ω と喫水深 d の

関係は逆比例の関係にあるとすることができる。図-5 に 5 つの矩形浮体を対象に喫水深の変化に伴う波力特性を示すが、確かに、喫水深の減少に伴い共振点は高周波側へシフトすることが確認できる。なお、図-4 より浮体幅が共振点のシフトに及ぼす影響は極めて小さいことが分かる。また、間隙幅の変化が共振点のシフトに及ぼす影響は浮体幅と同様に小さいことを解析により確認している。

4. まとめ 本研究では、微小間隙を有する複数矩形浮体に作用する波力特性について考究した。結果として、浮体間の微小間隙内で、特定の波数に対する共振現象が確認された。その特徴として、共振現象の出現特性は、矩形浮体の喫水深に依存するこれまで報告例のない新たな共振現象であることが明らかになった。

参考文献

- 1) C.C.Mei : The applied dynamics of ocean surface waves, Word Scientific, Singapore, pp.199-206, 1989.
- 2) G.P.Miao, T.Saitoh, H.Ishida : Water wave interaction of twin large scale caissons with a small gap between, Coastal Engineering Journal .(Accepted)

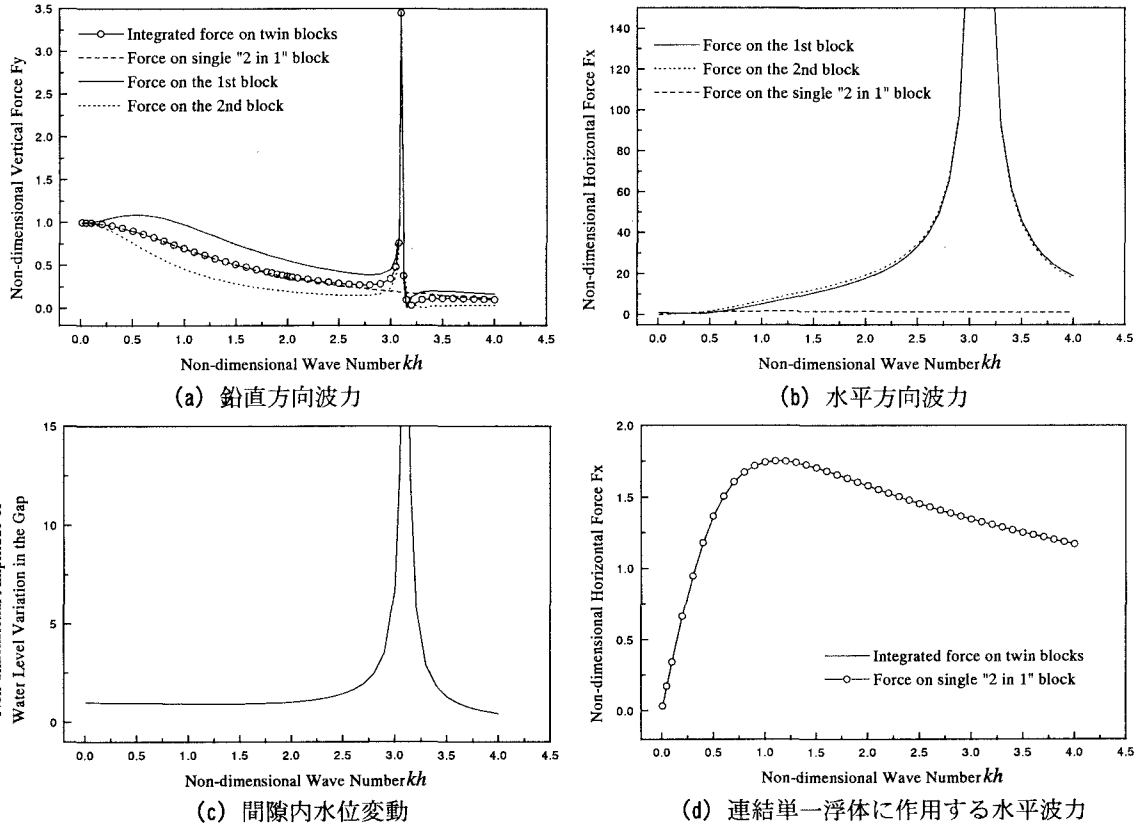


図 - 3 矩形浮体に作用する波力特性 ($b=1.0, d=0.3, 2a=0.01, 2\text{blocks}$)

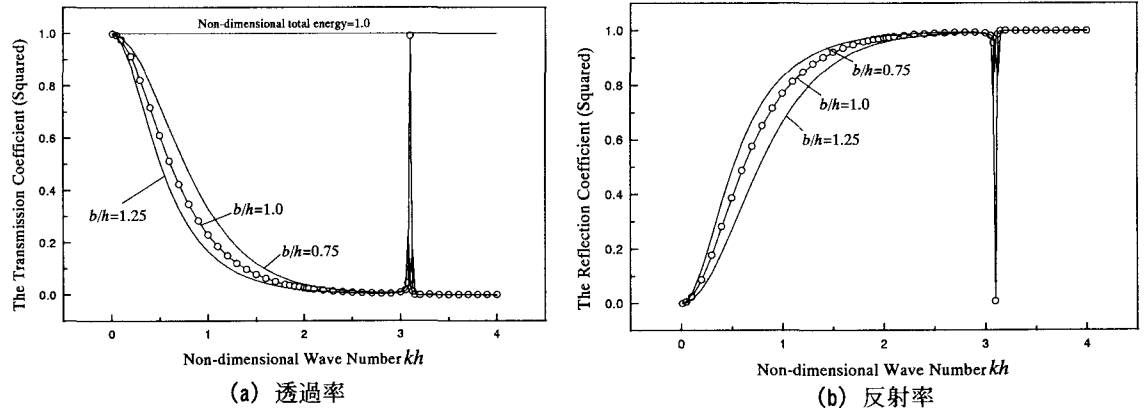


図 - 4 浮体周りの透過波および反射波特性 ($d=0.3, 2a=0.01, 2\text{blocks}$)

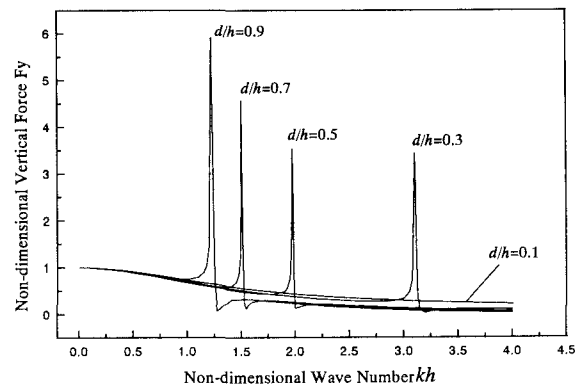


図 - 5 喫水深の変化に伴う波力特性の変化 ($b=1.0, 2a=0.01, 5\text{blocks}$)