

複数の矩形浮体要素から構成された大型浮体の微小間隙内における流体共振特性に関する研究

金沢大学大学院

○高橋善之

金沢大学工学部 正会員 斎藤武久・石田 啓

1. はじめに 海洋空間の有効利用を目的とした超大型浮体構造物は、複数の浮体要素から構成されるため、従来から建設途中や建設後に、浮体要素間で微小な間隙が発生することが指摘されている。しかし、このような微小間隙のスケールは、浮体要素の代表長さに比べて極めて小さいため、微小間隙の存在がこれまで技術的に論じられることは少なかった。これに関して、著者ら^{1),2)}は室内実験により、2つの矩形浮体要素間の微小間隙内で流体共振が発生することを確認すると共に、管径が非一様なU字管の解析に用いられるエネルギー保存則による解析法を援用し、流体共振の発生条件を、入射波および浮体の幾何形状条件を含む理論解として整理することに成功している。本研究では、複数の微小間隙内での流体共振の発生条件を整理する第一段階として、2つの微小間隙を伴う3つの矩形浮体要素を対象とした実験を行い、流体共振の発生条件を実験的に整理する。さらに、エネルギー保存則による解析法とは別に、サージタンク内の振動解析に用いられる解析法を援用することにより、複数の微小間隙を伴う場合の流体共振の発生条件に関する理論解の誘導手法を検討する。

2. 実験 図-1に実験装置の概要を示す。間隙幅 $2a$ を1~7cmの範囲で変化させ、喫水深 d を25.2, 15.3, 10.3cmとして、水槽中央に入射波の進行方向長さ $B=50$ cmの亚克力製浮体を3つ固定し、計12通りの浮体設置状況を想定した。入射波には、周期 $T=0.69\sim 2$ s、波高 $H=2.3\sim 2.5$ cmの規則波を用い、合計300ケースの実験を行った。図-2に間隙No.1内の波高特性を例示する($d=25.2$ cm, $d/h=0.5$)。図中、横軸は入射波の無次元波数 kh を表す。また、縦軸は間隙内波高 H_g を入射波高 H で除した無次元波高を表し、 H_g/H の大きさが流体共振の発生規模を表す。図より、間隙において、 $kh=1.25\sim 1.5$ の場合に H_g/H に極値が現れ、間隙内で流体共振が発生していることが分かる。さらに、流体共振発生時の無次元波数は、間隙幅の増加と共に低周波側へシフトしていることが分かる。No.2の間隙においても同様の結果が得られている。また、流体共振発生時の無次元波数は、喫水深の増加と共に低周波側へシフトしていた。この結果は、間隙が1つの場合¹⁾と同様の傾向を示すが、図-3に示すように、間隙が2つの場合、流体共振発生時の kh (下付添字は間隙個数を表す)は、1つの場合に比べ、より低周波側で流体共振が発生することが分かった。ただし、No.1および2の間隙で流体共振が発生する場合、水面変動の位相がNo.1および2共に同位相で変化する上述の $kh=1.25\sim 1.5$ の場合に加えて、位相遅れを伴い、同位相の場合とは異なる流体共振の発生が確認されている(図-4参照)。

4. 理論解析 図-5に浮体の配置と各長さの定義を示す(A :断面積, L :長さ)。本研究では、微小間隙内の流体振動を急遮断されたサージタンク内の振動と見立て、間隙内の固有振動数 ω_g を誘導し、入射波の角振動数との関係から、流体共振の発生条件を理論的に誘導する。管路の非定常流に関する1次元化された運動方程式を領域I, II, IIIに適用して各対象長で積分し、連続式 $A_I v_I = A_{II} v_{II} = A_{III} v_{III} = A_{III} dx/dt$ (v は各領域内の平均流速, 下付き添え字は各領域に対応)を用いると、間隙内の水面変動に関する次式の関係が誘導される。

$$\left(\frac{d^2 x}{dt^2}\right) + g \left(\left(1 + \frac{A_{III}}{A_I}\right) / \left(L_I \frac{A_{III}}{A_I} + L_{II} \frac{A_{III}}{A_{II}} + L_{III}\right) \right) x = 0 \quad (1)$$

ただし、 $L_I = L_{II}$ であり、対象領域の摩擦損失と非線形効果は無視している。式(1)の解を誘導し、図-1と5の長さの定義、 $A_{III}/A_I \ll 1$, $2a \ll 1$ の仮定を用いると、間隙内の流体振動に関する固有振動数 ω_g は次式となる。

$$\omega_g = \sqrt{g \left(1 + \frac{A_{III}}{A_I}\right) / \left(L_I \frac{A_{III}}{A_I} + L_{II} \frac{A_{III}}{A_{II}} + L_{III}\right)} = \sqrt{g / \left(\frac{2aB}{h-d} + d\right)} \quad (2)$$

上式は、間隙内での流体振動に関する固有振動数が、水深を含めた浮体の幾何形状により表現されたことを意味する。ここで、浮体の幾何形状条件として $2aB/(h-d) + d$ を l とおき、流体共振の発生条件を誘導する。入

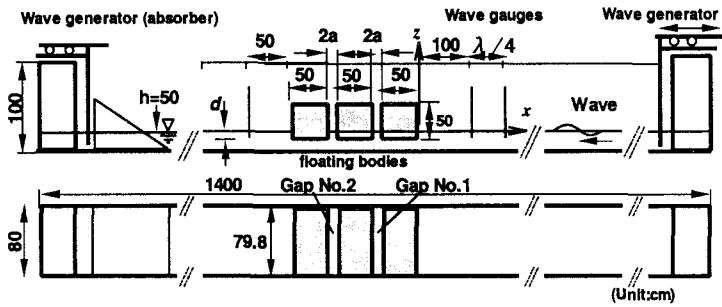


図-1 実験装置の概要

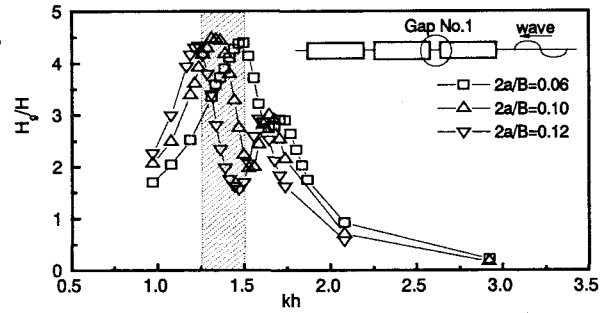


図-2 間隙内の波高変化特性 ($d/h=0.5$)

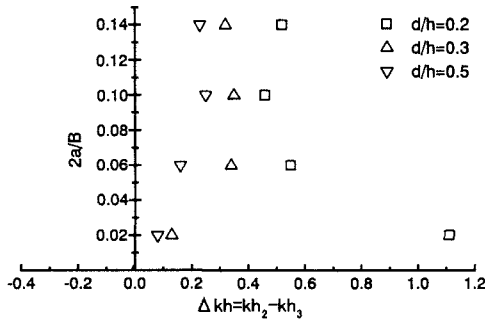


図-3 共振発生時の無次元波数の差

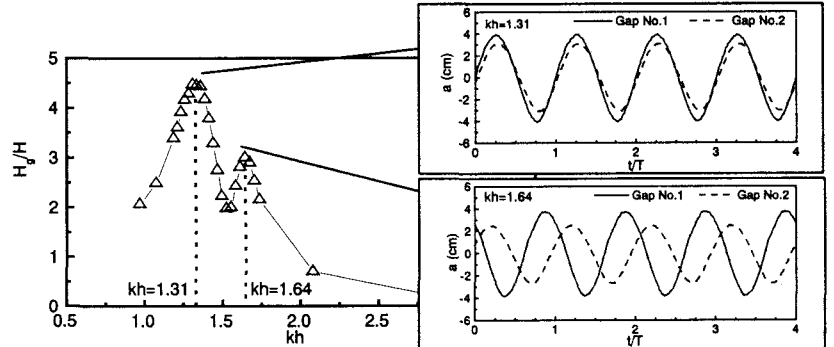


図-4 共振発生時の間隙内水面変動特性 ($d/h=0.5$, $2a/B=0.10$)

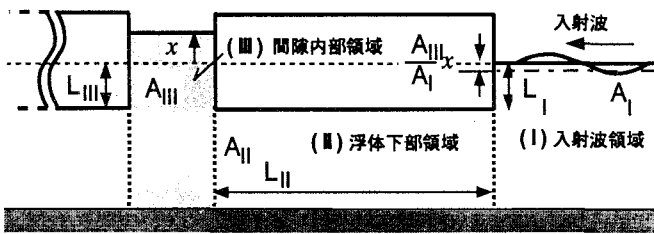


図-5 浮体の配置および各長さの定義

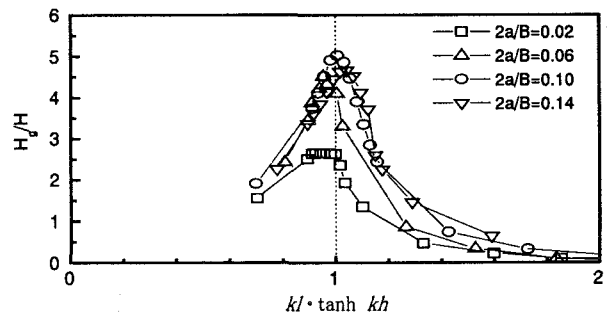


図-6 流体共振の発生条件 ($d/h=0.5$)

射波として角振動数 ω_{in} が分散関係式 $\omega_{in} = gk \tanh kh$ ($k = 2\pi/\lambda$; λ : 波長) を満たす規則波を想定した場合、間隙内での流体共振の発生条件は、外力となる入射波の ω_{in} と間隙内の ω_g が一致する場合であり、 $kl \tanh kh = 1$ となる。次に、既往の実験結果²⁾ (1つの微小間隙を伴う2つの矩形浮体要素を対象) を用いて理論解の妥当性を検討する。図-6は、横軸を $kl \tanh kh$ 、縦軸を無次元波高 H_g/H として喫水深 25.2cm ($d/h=0.5$) の場合の実験結果を整理したものである。図より、 H_g/H の極値は $kl \tanh kh = 1$ で発生し、理論解の妥当性が確認できる。なお、以上の手法は、間隙の個数が増加した場合、各間隙下部領域を挟む領域区間の1次元化された運動方程式を連立することにより拡張が可能である。

5. まとめ 本研究では、複数の微小間隙内での流体共振の発生条件を整理する第一段階として、2つの微小間隙を伴う3つの矩形浮体要素を対象とした実験を行い、流体共振の発生条件を実験的に整理し、複数の微小間隙を伴う場合の流体共振の発生条件に関する理論解の誘導手法に関する基礎的な検討を行った。実験結果より、3つ矩形浮体間の2つの間隙内での流体共振の発生条件の特徴は、1つの微小間隙の場合と同様であるが、1つの場合に比べ、より低周波側で顕著な流体共振が発生した。さらに、複数の間隙を伴う場合への応用が可能な、急遮断されたサージタンク内の振動解析手法を援用して行った1つの間隙の場合の流体共振の発生条件は、実験結果と非常によく一致した。現在、2つの微小間隙を伴う場合の流体共振の発生条件を誘導中である。

参考文献

- 1) 斎藤武久, 荒木孝之, G.P.Miao, 石田 啓: 大型浮体を構成する浮体要素間の微小間隙内における流体共振特性に関する実験的研究, 海洋開発論文集, 第19巻, pp595-600, 2003.
- 2) 斎藤武久, 瀬戸 徹, G.P.Miao, 石田 啓: 大型浮体を構成する浮体要素間の微小間隙内における流体共振特性とその発生条件, 海洋開発論文集, 第20巻, pp1317-1322, 2004.