

ケーソン護岸連結目地内における流体共振特性に関する研究

金沢大学大学院

○稲田春野

金沢大学工学部 正会員 斎藤武久・石田 啓

1. はじめに 悲しく痛ましい事故となった、平成 13 年の大蔵海岸陥没事故¹⁾では、事故原因は、ケーソン護岸目地の陸側に敷設された防砂板の破損に伴う背後砂の流れ出しによると報告されている。この中で、防砂板の破損理由には、海側に対して開放された目地内に進入する波の繰り返し運動に伴う、防砂板の変形および磨耗が挙げられている。事故再発防止のため、防砂板の耐久性、陸側地盤内の間隙水圧変動特性などに関して、といった多くの議論が必要とされるが、主要な外力となる目地内の流体挙動の把握は必要不可欠なテーマの一つと考えられる。しかし、連結目地などのスケールは構造物の代表長さ比べて非常に小さいため、目地内の流体挙動に関して、これまで技術的に議論されることは少なく、不明な点が多く残されているのが現状である。これに関連して、著者らは、近接ケーソン間の微小間隙内²⁾およびケーソン防波堤連結目地内³⁾において、流体共振現象が発生することを数値解析および理論解析により明らかにし、実験によって微小間隙内における流体共振現象の発生を確認している。本研究では、ケーソン護岸連結目地内の流体特性に着目し、目地内における流体共振現象の発生の有無、さらにその発生条件を理論的および実験的に検討する。

2. 理論解析 本研究では、幅の狭い矩形港湾における湾内水面振動に関する理論解析法⁴⁾に従い、線形ポテンシャル理論を用いて、目地内における流体共振現象の発生条件を整理した。このとき、目地内での流体共振現象の発生条件は、 $kL = (2n+1)/2 \cdot \pi$, $n=0,1,\dots$ (k : 入射波の波数, L : 目地長さ) のように誘導された。

3. 実験装置および実験方法 図-1 に実験装置の概要を示す。水槽中央部に長さ $L = 77\text{cm}$, 幅 $B = 38.5\text{cm}$ の 2 つの亚克力製ケーソンを設置し、目地後方端を遮蔽かつ入射波側端を開放することにより、入射波に対向して無限列となるケーソン護岸の配置を想定した。この際、水槽側面とケーソンとの間に亚克力板を挿入することにより、目地幅を $a = 3, 2, 1.4\text{cm}$ として変化させた。実験では、水深を 20cm に固定し、入射波周期 $T = 0.83 \sim 4\text{s}$, 入射波高 $H = 1.2 \sim 1.4\text{cm}$ とし、合計約 200 ケースを実験の対象とした。目地内部および目地外部の水位の時間変化は入射波の進行方向に平行な水槽の中心線上の 17 箇所において容量式波高計を用いて計測した。このとき、目地内部では 1 つ、目地外部では 3 つの波高計を移動しながら、造波開始直後に 160s 間の計測を行った。後述する平均波高の空間分布の算定では、計測された水位の時間変化データの中で、後半の 100s 間のデータを用いて計算を行った。また、目地内部の水面変動記録は、水槽側面に設置したデジタルビデオカメラ (30 コマ/s) で撮影を行い、静止画像データとして取得した。なお、流体共振発生域の判定では、 $H = 1.5\text{cm}$ 以下の入射波高に対して、入射波周期を変化 (入射波の周波数を 0.01Hz 間隔で変化) させる各実験ケースで、計測された目地内最大波高 H_g が入射波高の 5 倍を上回る入射波周期の範囲を共振発生域とした。

4. 実験結果および考察 写真-1 に目地内で確認された特異な水面形状を例示する。写真-1(a) は $kL = 1.45$ の場合であるが、目地内では、目地後方端を腹、目地入射波側端を節とする 1 次モードの流体共振現象が発生していることが分かる。さらに、写真-1(b) の $kL = 4.46$ の場合、目地後方端および目地入射波側端より約 $L/3$ だけ目地内の位置で腹、目地入射波側端で節となる 2 次モードの流体共振現象が発生していることが分かる。なお、目地内の水面変動の周期は、入射波の周期と一致し、入射波の周期が (a) および (b) の場合から離れた場合、目地内ではこのように特異な水面変動は確認できなかった。このため、これらの水面変動は、特定の入射波周期に応答した目地内の特異な水面変動であり、目地内での流体共振の発生を示すものである。次に、図-2 に、目地幅が 2cm の場合の波高の空間分布を例示する。図中において、 $x = -77\text{cm} \sim x = 0\text{cm}$ の位置が目地内部に相当する。図より、目地後方端 $x = -77\text{cm}$ および約 $x = -25\text{cm}$ の位置で目地内波高が極端に大きくなる場合が確認できる。それぞれ、1 次モードと 2 次モードおよび 2 次モードの流体共振発生時の目地内波高に対応する。なお、ケーソン前面では、いずれの場合も重複波が発生していることが分かる。さらに、目地内での流体

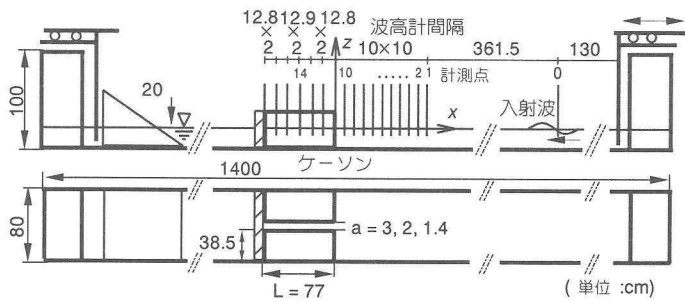


図 - 1 実験装置

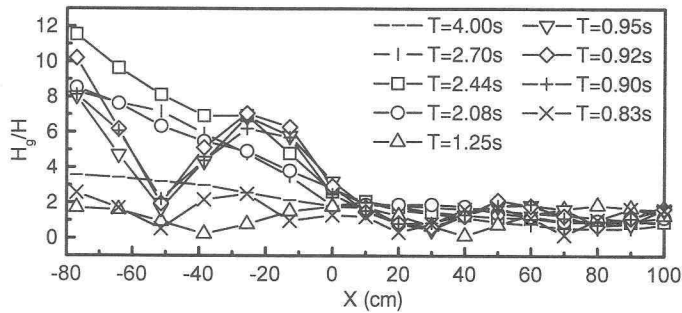


図 - 2 波高の空間分布 (間隙幅 2cm)

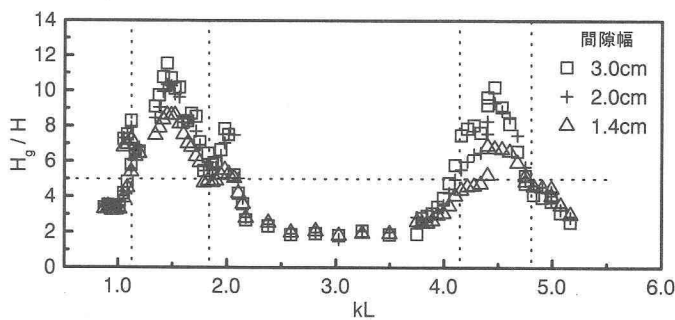


図 - 3 流体共振の発生範囲

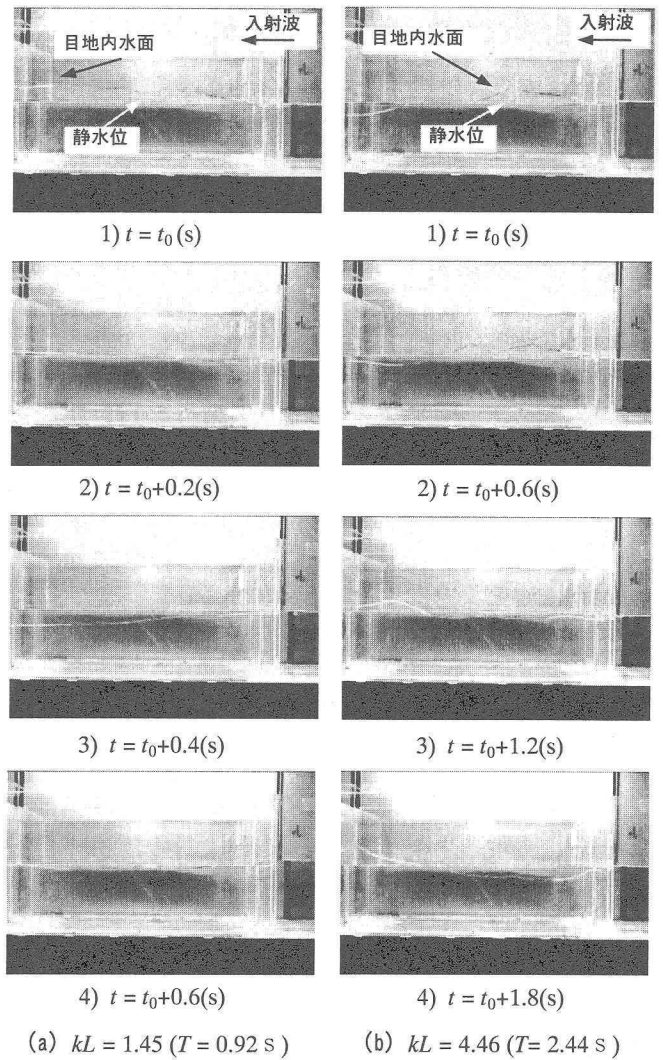


写真 - 1 共振時の間隙内水面形状の例
(間隙幅 2 cm, $H=1.3$ cm)

共振現象の発生範囲を図-3に示す。図中、横軸 kL は、入射波周期および水深により線形波理論から求めた波数 k と目地長さ L との積からなる無次元波数であり、縦軸は、各実験ケースで計測された目地内最大波高 H_g と入射波高 H との比を表す。図より、本研究で定義した H_g/H が5倍を超える流体共振現象の発生範囲は、目地幅の変化によって多少変化するが、およそ $kL = 1.1 \sim 1.8$ (1次モード) および $4.1 \sim 4.8$ (2次モード) であり、それぞれのモードで、発生条件にある程度の範囲があることが分かる。さらに、 kL が約 1.5 および 4.5 で H_g が最大となり、流体共振現象が最も顕著となっているが、この結果は、理論解析による目地内での流体共振現象の発生条件 ($kL = 1.57$ ($n=0$) および $kL = 4.75$ ($n=1$)) と非常に良く一致するものであった。

5. まとめ 本研究では、ケーソン護岸連結目地のような微小間隙内での流体運動特性に着目し、目地内での流体共振現象の発生の有無および発生条件を理論的および実験的に検討した。結果として、目地内における強い流体共振現象の発生が実験的に確認された。また、入射波高と目地内波高との比が5を超えるような共振状態の発生には kL に幅があることが明らかになった。さらに、目地内波高は、 $kL = (2n+1)/2 \cdot \pi$, $n=0,1,\dots$ の場合に極めて高く、理論解析および実験結果が一致することが分かった。

参考文献

- 1) 大蔵海岸陥没事故調査小委員会：平成13年度 大蔵海岸陥没事故調査小委員会 最終報告書 2002.
- 2) Miao, G.P., Saitoh, T. and Ishida, H.: Water wave interaction of twin large scale caissons with small gap between, *Coastal Engineering Journal*, Vol.43, No.1, pp.39-58, 2001.
- 3) 斎藤武久・荒木孝之・G.P.Miao・石田 啓：ケーソン連結目地内での流体共振特性とその発生条件, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.786-790, 2003.
- 4) C.C.Mei: The applied dynamics of ocean surface waves, World Scientific, Singapore, pp.199-206, 1989.