

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560473

研究課題名（和文） 海岸・海洋構造物連結目地内における流体共振特性の体系化  
—実海象条件への拡張—

研究課題名（英文） Systematization of fluid resonance in narrow joint gaps of coastal and ocean structures -Extension to actual water wave conditions-

研究代表者

斎藤 武久 (SAITOH TAKEHISA)

金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号：40242531

研究成果の概要（和文）：本研究では、ケーソン式海岸構造物連結目地など、構造の代表長さ比べて極めて微小な領域での発生が報告されている流体共振現象に関して、実際の海象条件下における流体共振の発生条件および発生規模の体系化を試みた。既往研究で蓄積された直交入射の場合における目地内での流体共振特性を基礎に研究を進展させ、実際の海象条件で重要な要素となる波向きおよび波の不規則性に関する知見を実験的に整理し、体系化に向けた理論モデルの構築をおこなった。

研究成果の概要（英文）：This project aims to systematize the occurrence condition of fluid resonance in narrow joint gaps of coastal and ocean structures for example caisson-type coastal structures and the amplification of wave height in the gaps under actual water wave condition. The occurrence such as resonant phenomena has been reported as unique phenomena in very narrow area compared with the typical structure's length. In this study, we develop our research works based on the knowledge about the characteristic on fluid resonance due to orthogonal regular incident wave. The effects of incident wave angle and irregularity of incident wave are shown experimentally, and the theoretical model is constructed to systematize the occurrence condition of fluid resonance and the amplification of wave height in the gaps.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,200,000 | 660,000   | 2,860,000 |
| 2009年度 | 600,000   | 180,000   | 780,000   |
| 2010年度 | 800,000   | 240,000   | 1,040,000 |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：ケーソン式海岸構造物，連結目地，流体共振

## 1. 研究開始当初の背景

幼い尊い命が犠牲となった大蔵海岸陥没事故では、「ケーソン護岸連結目地の陸側に敷設された防砂板の破損」が事故原因と報告されている。同様な事故を未然に防止するため、防砂板に適切な耐久性を要求することにな

るが、その前提として、外力となる目地内の流体運動の特性を正確に把握するは必要不可欠となる。しかし、海岸・海洋構造物に内在する連結目地のスケールは極めて小さく、これまで目地内の流体運動を議論することがほとんどなかった。痛ましくも悲しいこの事故を教訓に、目地のような微小間隙内の流

体運動を体系的に把握することが重要な課題となっている。

## 2. 研究の目的

海岸・海洋構造物に内在する連結目地内での流体運動特性として、研究代表者らは、規則波の直交入射を対象とした理想的な状況となるものの、既往の研究において、連結目地内では、特定の入射波条件のもとで、目地内の波高が極端に増幅する「流体共振現象」が発生すること、さらに、流体共振発生時の目地内波高は、例えば、ケーソン護岸連結目地の場合、入射波高の10倍を超えることなどを実験的に明らかにし、発生条件および発生規模を整理するとともに、数値モデルの開発を行ってきた。

本研究では、目地内での流体共振現象の発生に関する上述の実験および数値モデルの開発で得られた知見を発展させ、実海象条件下におけるケーソン式護岸およびケーソン式防波堤連結目地内での流体共振現象の発生条件および発生規模の体系的を目的とする。なお、流体共振現象の発生は、荒天時に限らず静穏時でも、目地内では特異な流体力が発生することを示唆するため、発生回避、もしくは発生時の規模が予測できることが大切と言える。

## 3. 研究の方法

既往の規則波の直交入射の場合から、実海象条件を対象とする場合、入射波の不規則性および入射角の変化を考慮する必要がある。本研究では、まず、図-1に示す平面水槽実験（ケーソン式護岸およびケーソン式防波堤の場合）により、規則波を対象として流体共振特性に及ぼす入射角の影響を明らかにする。さらに、波の不規則性が目地内での流体共振特性に及ぼす影響を明らかにし、流体共振の発生条件および発生規模を予測評価する数値モデルの開発を試みる。なお、後述するように、今回対象とした入射角の変化範囲（ $\alpha = 15^\circ$  まで）では、入射角の違いによって目地内での流体共振特性に変化は見られなかった。このため、共振発生条件およびその規模の体系化にあたっては、既往の2次元造波水槽での実験結果を参考にし、平面水槽を用いた不規則多方向実験を実施するには至っていない。

数値モデルの開発では、線形ポテンシャル理論に基づき、漸近接合法を用いて流体共振の発生条件および発生規模の算定を試みるが、従来の目地沖側端部を原点とする座標系では、入射波速度ポテンシャルを原点へ漸近展開することが、入射角を直交入射へと拘束

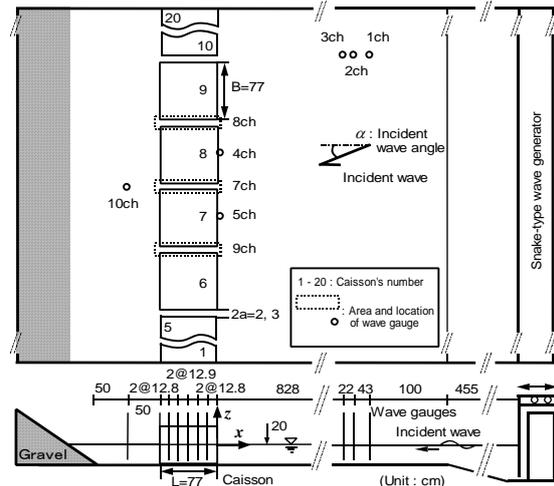


図-1 実験装置の概要（ケーソン式防波堤）

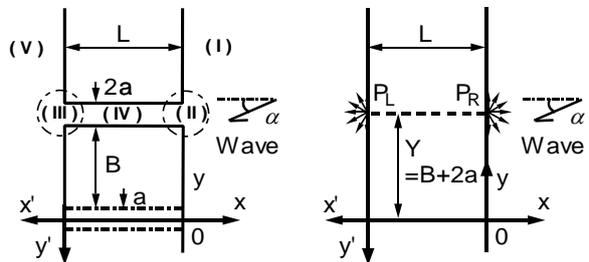


図-2 座標系の概要

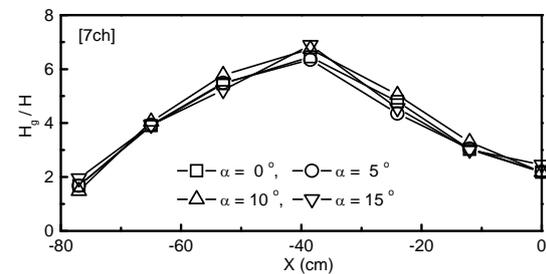


図-3 目地内平均波高の空間分布（ $T=1.28s$ ）

し、入射角の影響を取り込むことができない。そこで、本研究では図-2に示す座標変換を用いて漸近速度ポテンシャルを誘導し、入射角の影響を数値モデルに取り込んでいる。また、目地内での波高増幅率の再現には、目地内でのエネルギー消散効果を取り込んでいる。

## 4. 研究成果

図-1に示すケーソン式防波堤の場合、同様な水深と入射波条件を採用した既往の2次元断面水槽では（入射角を $0^\circ$ とした場合に対応）、目地内での波高増幅は、特定の入射波周期で最大となり、目地内では、目地端部を節とする1次モードに近い波高分布の発生が

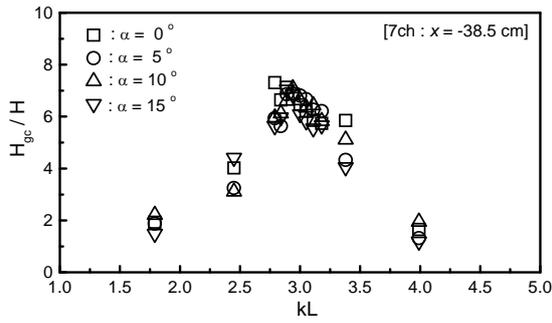


図-4 無次元波数  $kL$  および目地内での波高増幅率  $H_{gc}/H$  との関係

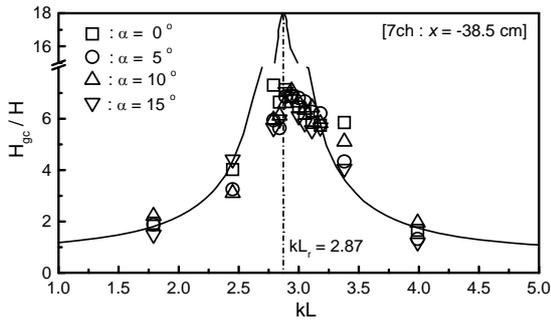


図-5 無次元波数  $kL$  および目地内での波高増幅率  $H_{gc}/H$  との関係 (実験結果および理論解析結果)

確認されている。同様な入射波周期を用いて、入射角を変化させた場合の目地内の平均波高分布特性を図-3 に示すが、入射角の変化に関わらず 1 モードの流体共振に近い水面形状を示し、最大波高を含め、それぞれの計測位置における波高にもほぼ変化がないことが分かる。さらに、入射角の違いによる目地内の流体共振の発生条件に関連して、入射波周期と目地内の波高増幅率との関係をより詳細に検討するため、入射波の無次元波数  $kL$  ( $k$ :波数,  $L$ :目地長さ) と目地中央部での波高増幅率  $H_{gc}/H$  ( $H_{gc}$ :目地中央部での波高,  $H$ :入射波高目地) との関係を図-4 に示す。図より、今回対象とした実験条件の範囲では、目地内での顕著な流体共振の発生条件に及ぼす入射角の影響は確認できない。また、 $kL=2.9$  付近において増幅率が最大となることは、既往の 2 次元断面水槽実験での結果とも一致している。以上の結果は、入射角の影響が、異なる目地間での水面変動の位相差には寄与するものの、目地内での流体共振の発生条件および水面変動の大きさには寄与しないことを示唆している。

次に、単一の目地を想定し、漸近接合法を用いた理論解析から誘導された共振スペクトルを図-5 に示す。なお、理論解析では、実験結果で示唆された、入射角の影響は、異なる目地間での水面変動の位相差には寄与す

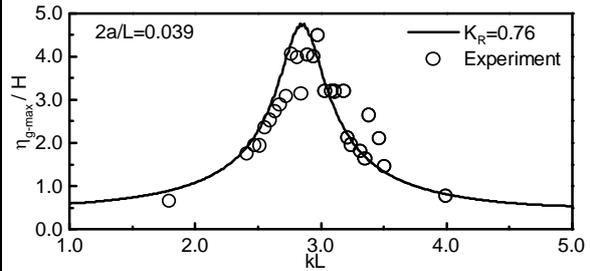


図-5 目地内水面変動の応答スペクトル (実験結果および理論解析結果)

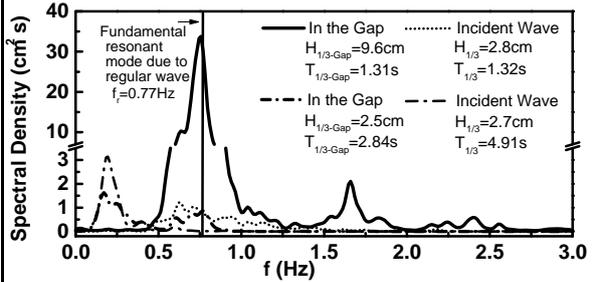


図-6 目地内水面変動の応答スペクトル特性

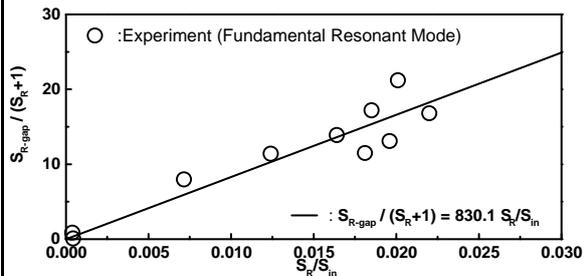


図-7 流体共振の発生規模

るものの、目地内での流体共振の発生条件および水面変動の大きさには寄与しないことが理論的に誘導されている。このため、図中の解析結果 (実線) は入射角によらず 1 つとなる。図より、スペクトルが極値となる無次元波数の値は実験結果と良好に一致し、理論解析結果の妥当性が確認できる。さらに、複数の目地の存在を考慮した理論解析を展開した結果、目地内で流体共振が顕著となる場合の入射波周期の理論値は、隣接目地の存在により変化するものの、対象とした実験範囲内では、層は木による発生周波数の解像度を下回る程度の変化であり、入射角の影響を無視した 2 次元層は水槽による実験をベースに目地内での流体共振特性の体系化が可能であることが明らかになっている。

以上の目地内における顕著な流体共振の発生条件に加えて、流体共振発生時における波高増幅率の予測モデルの構築に際しては、目地内のエネルギー消散効果として、振動流として記述される一方のポテンシャル成分 (沖側向き方向) に減衰係数を付加した理論

モデルを用いて、減衰係数の同定をおこなった。図-6に解析結果の一例を示すが、沖側の目地端部から入射したエネルギーに対して、目地岸側端部からおおよそ7割強の反射、つまり3割弱の波高減衰によって目地内での波高増幅率が再現できることが分かる。より詳細な検討は必要となるものの、現状において、連結目地内で最も流体共振が顕著となる入射波および目地形状寸法との関係および共振発生時の波高増幅の規模が本モデルを用いて再現可能となっている。

今回の対象範囲では入射角の変化が流体共振特性への寄与へは無視できる程度であるとする上述の結果を参考に、波の不規則性に関しては、目地への直交入射を対象とした実験データを用いて発生条件およびその規模の整理を試みた。図-7にケーソン式防波堤の場合の一例を示すが、入射波の周波数帯域に含まれる共振周波数（規則波入射時の共振周波数）の有無から共振の発生が特定できることが明らかになっている。さらに、流体共振の発生規模に関しては、図-8に示すように、目地内波高の増幅率  $S_{R-Gap}/S_R+1$  を入射波に含まれる共振周波数成分比  $S_R/S_{In}$  で整理した場合、両者にはほぼ線形的な比例関係があることが分かった。

以上のように本プロジェクトでは連結目地内での流体運動特性として、実海象条件に対応した目地内での流体共振現象の発生条件および発生規模を実験的に整理し、さらに、予測モデルの構築に成功している。ただし、発生した流体共振が目地内部および目地外部での底質等に与える影響など、流体共振の発生の有無を含め、既設構造物に内在する災害危険度を評価するには至っていない。今後、実存する構造物および周辺地形等の現地データをもとに、流体共振の発生にともなう災害ポテンシャルを評価することが課題である。なお、本プロジェクトでは、大型浮体に内在する微小間隙内での流体共振特性に関する数値モデルの開発も進めてきたが、浮体構成要素の組み合わせおよび入射角の変化、さらに不規則波の入射による共振特性の検討には至らなかった。今後の研究課題として継続的に研究を進めていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 細沼宏之・齋藤武久，ケーソン防波堤連結目地内での流体共振特性に及ぼす入射角の影響，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol. 66, No. 1, (2010), pp. 831-835, 査読有
- ② Ichikawa, M., Saitoh, T. and Miao, G. P.,

Theoretical analysis on wave and structure interaction around composite-type coastal structure - A case study of a seawall and detached breakwaters -, Proc. 9th Int. Conf. on Hydrodynamics, (2010), pp. 482-488, 査読有

- ③ 齋藤武久・吉岡利和，ケーソン護岸連結目地内での流体共振特性に及ぼす入射角の影響，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 65, No. 1, (2009), pp. 926-930, 査読有
- ④ Hosonuma, H., Saitoh, T. and Ishida, H., Effects of incident wave angle on resonant fluid motions in joint gaps of caisson-type breakwater, Proc. 5th Int. Conf. Asian Pacific Coasts, Vol. 4, (2009), pp. 177-183, 査読有
- ⑤ Saitoh, T., Hosonuma, H. and Ishida, H., Resonant fluid motions in joint gap of caisson-type breakwater under random wave attack, Proc. of Int. Conf. Coasts, Marine Structures and Breakwaters, ICE, Vol. 2, (2009), pp. 446-456, 査読有
- ⑥ 岩田秀樹・三輪貴史・齋藤武久，エネルギー損失効果を考慮した大型浮体要素間微小間隙内での流体共振発生条件，海洋開発論文集，第 25 巻，(2009)，pp. 695-700, 査読有
- ⑦ 市川督人・泉 周作・齋藤武久，複合式波浪制御構造物周りでの相互干渉波動場の理論解析－護岸と離岸堤群から構成される場合－，海洋開発論文集，第 25 巻，(2009)，pp. 599-604, 査読有
- ⑧ 齋藤武久(他 5 名)，ニューラルネットワークを用いた人工リーフ周辺の水理特性評価－トラップ式ダブルリーフを対象として－，海岸工学論文集，第 55 巻，(2008)，pp. 971-975, 査読有
- ⑨ Saitoh, T., Hosonuma, H., Miao, G. P. and Ishida, H., Resonance of Fluid in narrow joint Gaps of Caisson-Type Breakwater, Proc. 31th Int. Conference Coastal Engineering, ASCE, (2008), pp. 3632-3644, 査読有
- ⑩ 細沼宏之・齋藤武久・藤井 誠・石田 啓，不規則波の入射に伴うケーソン防波堤連結目地内での流体共振特性，海洋開発論文集，第 24 巻，(2008)，pp. 495-500, 査読有

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

齋藤 武久 (SAITOH TAKEHISA)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号：40242531