金沢港で荒天時における循環流の検証実験

金沢工業大学　学生会員　○氷見　和也
金沢工業大学　正会員　有田　守

1. はじめに

金沢港では建設当初から土砂の流入が激しく航路上に土砂埋没が生じており，航路確保のため多額の費用を用い継続的に維持浚渫が行われている．金沢港埋没のメカニズムに関して波間ら(2003)は，数値シミュレーションで埋没実態を解明するため波浪条件には大規模な地形変化を生じさせるには年数回程度の悪天候時の高波浪が大きな外力の 1 つとして考え 1 年間に 1 日程度発生する波浪として代表波高 5.5 m，周期 10.8 s を選定し，さらに港内副振動が港内航路の埋没に影響していると考え港内副振動で生じる水面変動を考慮し検討した．数値シミュレーションの結果港内海浜流の特徴として高波浪時の最盛期に湾口部にあたる防波堤の遮蔽域に時計回りの循環流が形成され，工業用地前面には湾奥に向かう速い流れが確認された．副振動を考慮したことにより海浜流のみによる予測では表現できなかった航路部の堆砂形状を表現することができ，金沢港内埋没に副振動が大きく影響していることが判明した．しかし波浪条件と底質条件を単一にしたため定量的な再現精度に課題が残された．田中ら(2010)は，波間ら(2003)が使用した条件を見直し金沢港の埋没予測の精度向上を目的とし，波浪条件として金沢港沖の NOWPHAS で得られた高波浪データから波高ピーク時刻の 48 時間を条件として選定し，底質条件は金沢港で 2009 年 12 月に採取分析した底質組織を採用し数値シミュレーションを行った．波浪条件と底質条件を見直したことにより，金沢港埋没実態の定量的な再現精度が向上し，港内での砂と泥の混合状態という質的な状況変化を再現したことにより狭隘部では他の航路泊地とは異なり砂分が多く含まれることが判明した．

本研究では金沢港内の海浜流の特徴であり金沢港の埋没に大きく関わりがある高波浪時に湾口部で形成される時計回りの循環流を再現することで数値シミュレーションの検証を行う．

2. 実験概要

本研究は，縦 15 m×横 5 m の平面水槽上に西防波堤の長さが現地 2300 m 時の長さを採用し，**図-1** に示す 1/350 モデルを設置し平面造波装置を用いて実験を行った．西防波堤のモデル寸法は 6.5 m であり，防砂堤の寸法は 2 m である．波浪条件の波高 0.02 m が水深 0.05 m では造波装置で出せなかったため，金沢港のモデルの下に**図-2** のように 0.11 m の土台を設置し造波装置前の水深を 0.16 m にし波高計の地点で波高 0.02 m の波高を出した．海浜流の計測方法にはトレーサーに 5 mm の発泡ビーズを使用し撮影した画像を用いて PIV 解析を行い湾口部に循環流が形成されるかを調べた．

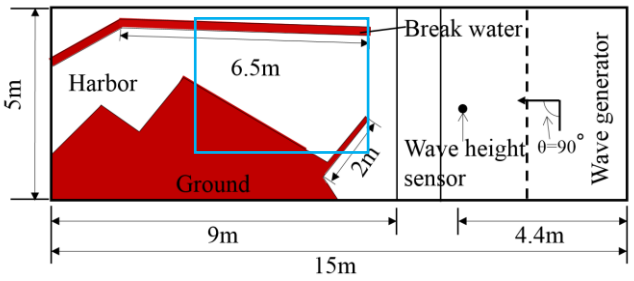

図-1 金沢港モデル平面図

図-2 金沢港モデル断面図

3. 実験条件

波浪条件は田中ら(2010)が数値シミュレーションで使用した波高と周期の経時変化の最盛期にあたる波高 6.94 m，周期 11.4 s を選定し，1/350 モデルに整合させ作用させた．モデルでの波向を検討するため**図-3** のように湾口部にトレーサーを配置し 3 分後のトレーサーの位置を確認した．造波装置から水平に波が発生する 90°から 100° 110° 120° の条件で各角度 3 回行い，10 分経過するか静止するまで実験を行った．

表-1 波浪条件

波高(m)	周期(s)	波向(°)	水深(m)
0.02	0.6	90	0.05
0.02	0.6	100	0.05
0.02	0.6	110	0.05
0.02	0.6	120	0.05

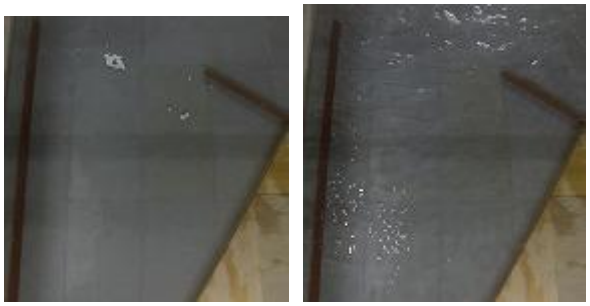

図-3 波向検討実験

4. 実験結果

(1)波向の検討

表-2 は実験結果をまとめたものである．90° では循環流が発生せずトレーサーが湾奥に流れるだけであった．100° と 120° では循環流が発生しない場合があり実験条件には適していないと考えた．波向 110° の場合 3 回すべての実験でトレーサーが湾内で循環したため本実験では波向 110° を採用する．

表-2 波向検討実験結果

	1 回目	2 回目	3 回目
90°	×	×	×
100°	○	×	○
110°	○	○	○
120°	×	○	○

(2)循環流再現実験

循環流再現実験では図-1 の青枠の領域にトレーサーを均等に配置し 15 分経過するかトレーサーが停止するまで動画を撮影した．PIV での解析領域は湾内に限定し，探査領域 128 px の時検査領域 64 px，探査領域 64 px の時検査領域 32 px の 2 段階で解析を行い，画像サンプリング 1 s の画像を 10 枚使用した．図-4 は波浪条件を金沢港モデルに作用した時の流れを PIV で解析した結果である．湾口部から入射した波がモデルでの工業用地前面中央部から防波堤に向かい防波堤に沿って湾口部に向かう流れが発生している．このように湾口部では図-5 の数値シミュレーションで見られた時計回りの循環流が形成された．しかし数値シミュレーションで形成された工業用地に沿って狭隘部に向かう速い流れは観測できなかった．

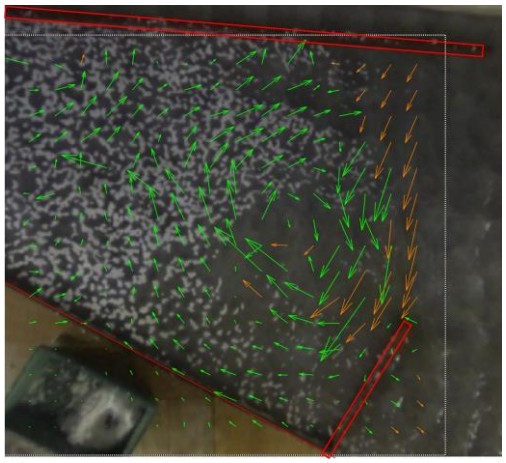

図-4 解析結果

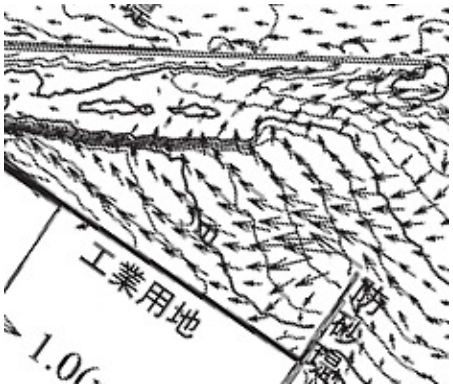

図-5 田中ら(2010)によるシミュレーション

4. 考察

平面造波装置による実験の結果，湾口部では時計回りの循環流が再現された．循環流が発生する要因は湾口部から斜めに波が入射し，工業用地前面で反射して防波堤に向かう流れが発生し，その後防波堤に沿って流れるため循環すると考えられる．この結果より，波間(2003)の数値シミュレーションで示された循環流が本実験でも確認され，数値シミュレーションで示された循環流の妥当性が検証された．

実験と数値シミュレーションにより金沢港内の漂砂機構解明を行い，埋没対策として防砂堤の配置の検討やサンドバイパスなど金沢港内の土砂管理について行う際の知見が得られた．

参考文献

1)波間純男，高橋政秋，松本祐二，山田貴裕，黒木敬司:金沢港内の堆砂量とその平面分布の予測，海岸工学論文集，第 50 巻，2003

2)田中知足，由比政年，高山知司，栗山善昭，山田貴裕，石田啓：金沢港の埋没実態とそのメカニズム，土木学会論文集 B2，Vol 66，NO1，2010