

金沢港の埋没実態とそのメカニズムについて

平義章*・高山知司**・田中知足***・杉浦宏****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 参与

*** 前 国土交通省 北陸地方整備局 金沢港湾・空港整備事務所 所長

**** 国土交通省 北陸地方整備局 金沢港湾・空港整備事務所 工務課長

金沢港の施設整備進捗に伴う段階的な地形変化における、港内埋没を数値シミュレーションにより検討し、施設整備中の埋没に対して効果的な施設整備手順及び抜本的漂砂対策工を検討した。検討にあたり、現地データに基づいた種々の解析によって埋没実態及び埋没メカニズムを明らかにし、埋没予測の精度向上を図った。

キーワード:埋没特性, 底質分布特性, 波浪特性, 副振動特性, 再現計算

1. はじめに

金沢港では、近年の船舶の大型化に対応するため、平成 18 年度より大浜多目的国際ターミナル整備事業に着手している。完成に先立ち、事業効果の早期発現を図るため、暫定水深 12m で供用が開始された(図-1 参照)。

波間ら(2003)¹⁾は、金沢港内で生じる副振動に着目した地形変化計算を行って、航路泊地の埋没の再現を試みているものの、底質条件を単一粒径としたこと、および波浪条件を単一波浪としたことが原因となって、航路上の一部に定量的な再現精度の課題が残されている。

そこで、現地データに基づいた種々の解析によって埋没実態及び埋没メカニズムを明らかにし、将来における金沢港の埋没予測の精度を高めることを目的として、本研究を実施した。

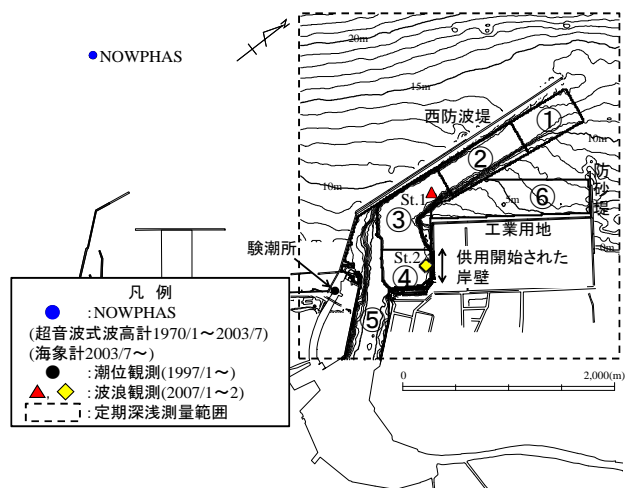


図-1 金沢港の施設名称と 2009 年の等深線

2. 金沢港の埋没実態

2-1 埋没特性

航路泊地を含む金沢港内の埋没特性を把握するため、深浅測量成果に基づき地形変化解析を行った。

図-1 に示す外郭施設のうち、港内に運ばれる漂砂を抑制する目的で現在整備が進められている防砂堤(図中右)の延伸履歴を図-2(a)に示し、図-1 に示す領域①~④の総埋没量を図-2(b)に示す。さらに、図-2(c)は、2004 年以降に再び延伸された防砂堤の効果と影響を確認するため、防砂堤延伸前の 2000~2003 年と防砂堤延伸開始から大規模な浚渫工事直前の 2004~2007 年との 2 期間に分けた領域別埋没速度である。図-2(b) に示す総埋没量は、毎年増加を続けており、直線近似により求めた埋没速度は 16.8 万 m³/年 に及ぶ。図-2(c) に示す 2 期間の埋没速度を比較すると、主たる埋没域は、2 期間ともに狭隘部(③)であるものの、2004 年以降の埋没は、その狭隘部では緩和し、港口部(①、②)で増加している。

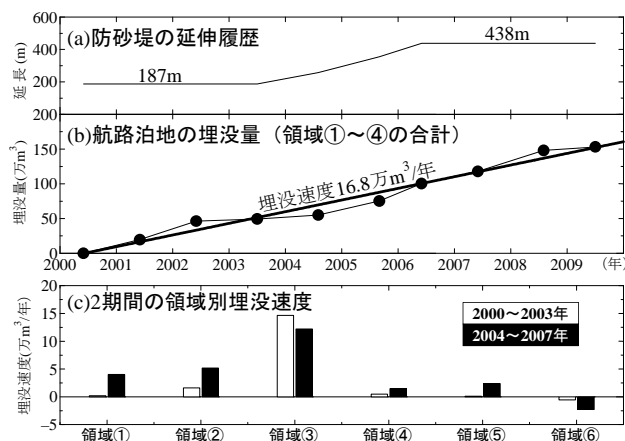


図-2 埋没量算定領域と防砂堤施工履歴及び埋没量

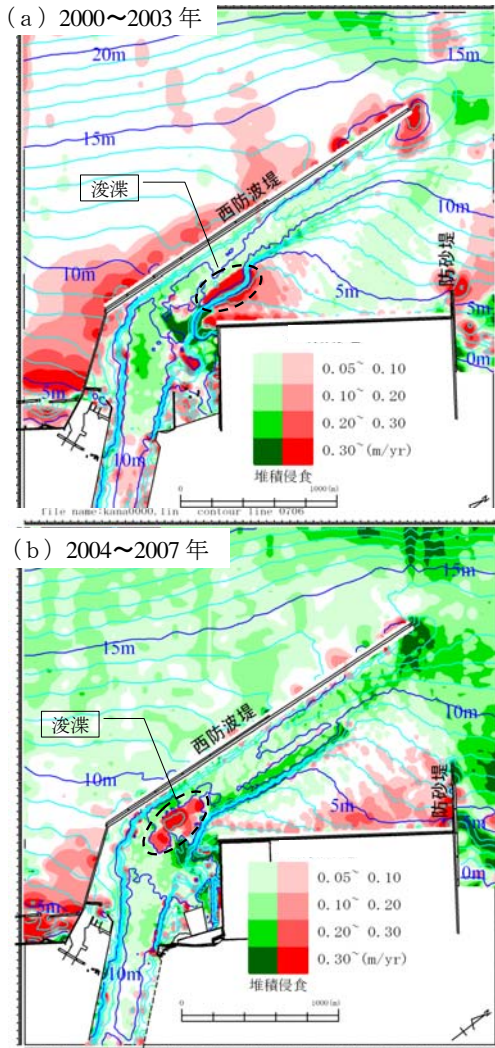


図-3 地形変化速度の平面分布

図-3(a)を見ると、2000～2003年の地形変化速度の平面分布は、金沢港の狭隘部で埋没による堆積と浚渫による侵食が現れている。これに対し、図-3(b)に示す2004～2007年の地形変化は、狭隘部の0.3m/年以上の変化に加え、防砂堤北側の浅海域からその沖合と、さらに狭隘部に至るまでの航路泊地上において、0.1m/年以上の埋没が連続して分布している。

2.2 底質分布特性

航路泊地とその周辺に沈降する底質の分布特性を把握する目的で2009年12月に採取分析した底質組成とその中央粒径を図-4に示す。

港外で採取されたNo.11～14の底質は、沖合に向かって泥分が多くなるとともに、中央粒径も細くなる。港内でも、No.22～24、32～33、42は、港外の底質とよく似た分布を示している。航路泊地上の底質のうち、No.41を除く4地点(No.21、31、43、51)の底質は、港外や工業用地前面の底質に比べて泥分の含有率が高くなって、中央粒径は0.1mm以下となる。

埋没量が最も多い狭隘部に位置するNo.41の底質は、中央粒径が0.15mm程度と航路泊地上で採取された他

の4地点の底質に比べて砂分が多い。

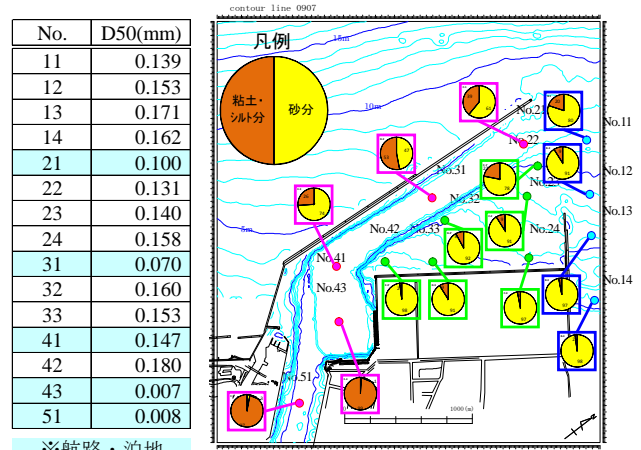


図-4 底質組成と中央粒径

2.3 波浪特性

金沢港に来襲する波浪特性を調べるために、図-1に示した金沢港沖のNOWPHASによる波浪観測データから、5年分の波浪データを用いて、波高・波向の出現特性を把握した。

図-5は、波高・波向別の出現頻度図である。最多出現波向は、出現率32.3%のNNWであり、次いで出現率18.3%のNWである。このように、隣接する石川海岸の沿岸漂砂について検討した田中ら(1997)²⁾の卓越する漂砂方向と一致する。

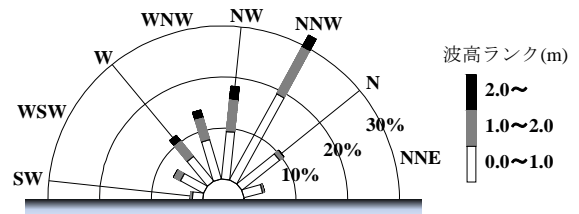


図-5 波高ランク別の波向出現頻度

2.4 副振動特性

金沢港の験潮所においてサンプリング間隔15sで測得された水位データを調べた波間ら(2003)¹⁾は、金沢港では港口部を節とし、港奥部を腹とした周期40分の副振動が生じていると報告しているが、地形的な制約条件下の特異な現象の可能性があるので、同様の副振動が狭隘部の埋没域で生じているか、また、その流速が底質移動に影響するかについて確認する必要がある。そこで、港内2地点で波浪観測を行って、副振動の有無を再度調べた。その結果を図-6に示す。

図-1に示したSt.1、St.2及び験潮所の3地点の水位に対しスペクトル解析を行った結果、どれも周期39分にスペクトル密度が大きくなる特徴が見受けられた。さらに、防砂堤延伸前後の副振動の変化を調べた結果、防砂堤延伸前後の固有周期と振幅に変化は認められず、冬季には0.2m程度の振幅の増大が確認された。

以上より、金沢港では、港湾形状に依存した周期 39 分の副振動とこれに伴う流れが発生していたことが追認された。

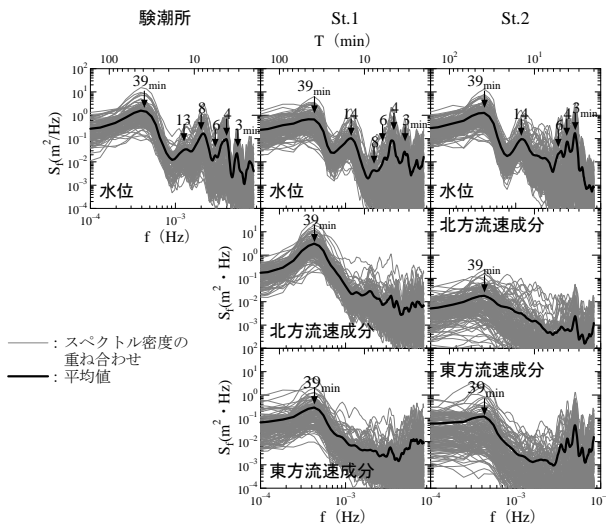


図-6 水位および流速成分の周波数スペクトル

3. 埋没実態の再現計算

現地データで確認された種々の計算条件を反映させた地形変化シミュレーションを実施して、金沢港の埋没実態の再現を試みた。

3.1 再現対象地形

再現対象地形は、再現対象期間を網羅する波向データがあり、かつ底質採取時期に近い方が望ましい。そこで、近年の埋没傾向を示す図-3(b)の地形変化速度の平面分布と埋没量を再現対象地形とした。

3.2 計算方法

用いた計算方法は、エネルギー平衡方程式による波浪変形を計算した後、radiation stress を介して海浜流を算定して波と流れの場を評価し、浮遊砂の移流拡散方程式を解くフラックスモデル（鶴谷ら，1989）³⁾により地形変化を計算するものである。地形変化の計算においては、底質別に底面せん断力および漂砂量を求め、漂砂の連続式で地形変化（片寄ら，2007）⁴⁾を求めることとした。

3.3 計算条件

a) 波浪条件

港内埋没に対しては、高波浪の影響が強いため、金沢港に来襲した高波浪の出現状況と気象要因について整理を行った。NOWPHAS で観測された 39 年分の波浪データのうち、高波浪の上位 39 位から波高ピーク時刻の前後 48 時間を抽出し、波高と周期の経時変化を重ね合わせた結果を図-7(a)と(b)に示す。また、波向については、2003 年 7 月以降に来襲した高波浪のうち、波高 3

m 以上の高波浪を抽出し、波向の経時変化を重ね合わせた結果を図-7(c)に示す。これにより、冬型気圧配置の北上による波の発達・最盛・減衰過程といった日本海側特有の変化を捉えた、-18~30 時間までを 6 時間毎に平均した 8 波浪を波浪条件として与えることとした。

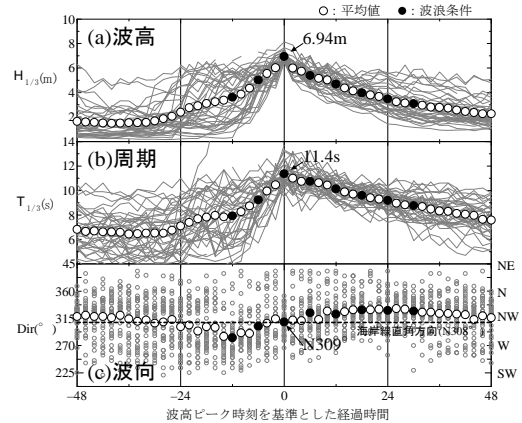


図-7 高波浪の重ね合わせおよび平均的特性

b) 境界条件

港内で確認された副振動を海浜流計算に考慮するため、験潮所の振幅が 0.2m、周期が 40 分になるよう規則的な水位変動を沖側境界で与えた。

c) 底質条件

底質条件は、2009 年の底質採取結果を勘案して、泥分と砂分の粒径をそれぞれ 0.007mm、0.15mm とした。また、それぞれの沈降速度と巻上げ限界せん断力については、Soulsby (1997) ⁵⁾ に倣い、0.004cm/s と 1.589cm/s を沈降速度として、0.028N/m² と 0.140N/m² を巻上げ限界せん断力とした。さらに、再現対象初期の 2004 年の初期含泥率のうち、港外および工業用地前面の含泥率は、水深を関数とした近似式から面的に与え、航路泊地上の含泥率は、固定床で計算した波と流れから求めた底面せん断力を関数とした近似式に基づき面的に与えた。底質の巻上げ係数は、泥分・砂分ともに試行計算の上 0.0154 とし、これに波の出現率を乗じて再現計算を実施した。

3.4 計算結果

図-8 は、波浪最盛期の流況計算結果である。

西防波堤による波の回折域となる港口部では、循環流が形成されている。一方、工業用地前面では、港口部に向かう循環流の他に、工業用地に沿って狭隘部に向かう 0.5m/s 以上の速い流れが形成されている。これに対し、狭隘部の流速は 0.1m/s 以下となって、工業用地前面に比して流速が減衰している。しかしながら、副振動による流速を加えることによって、狭隘部においても泥分の移動限界以上の流速となっている。

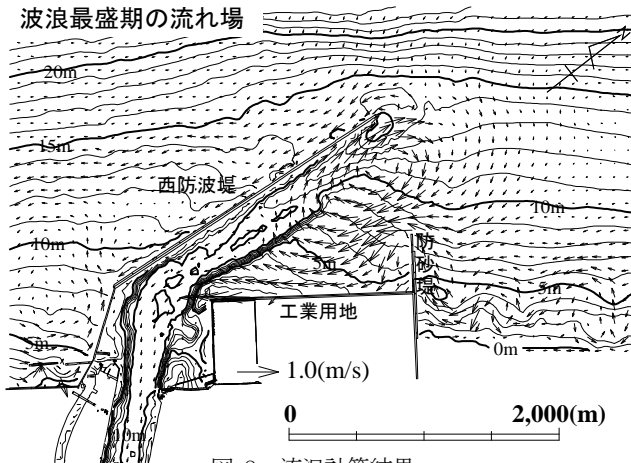


図-8 流況計算結果

図-9 は、48 時間経過後の地形変化の計算結果であり、図-10 は、図-2(c)に示す領域別埋没量に採取分析した底質の含有率を乗じて求めた底質組成別埋没量を実測値と計算値と比較した結果である。

図-9 に示す計算による地形変化は、地形変化解析で確認された防砂堤北側の浅海域からその沖合、さらに狭隘部に至るまでの連続した埋没を再現していることに加え、埋没の激しい狭隘部で 0.3m 以上の埋没も再現している。

実測値と計算値を定量的に比較した図-10(a)をみると、領域⑥を除けば、港口部および狭隘部の埋没を定量的によく再現している。

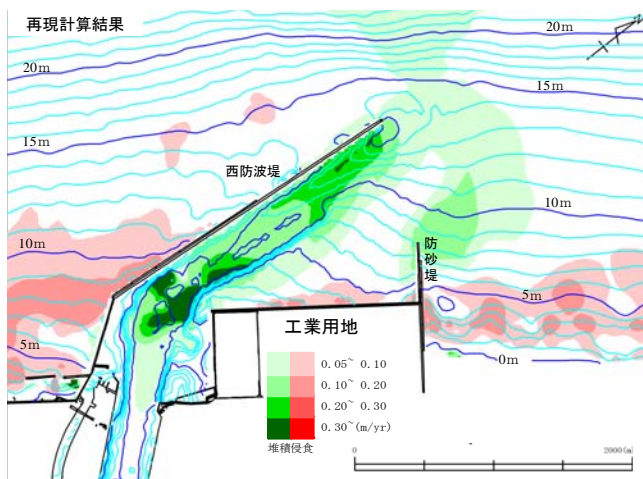


図-9 地形変化計算結果

底質組成別に埋没量を求めて、実測値と計算値の比較を行った図-10(b)(c)によると、泥分と砂分が同じ割合で埋没する港口部の実測値(①, ②)に対し、計算も泥分と砂分がほぼ同じ量だけ埋没している。また、砂分の含有率が 75%程度の割合で埋没する狭隘部の実測値(③)に対しても、計算による砂分の埋没量は、泥分と砂分の総埋没量の約 80%を占めた。さらに、砂分の含有率が 5%以下の港奥部(④, ⑤)の埋没に対し

ても、計算による砂分の埋没量は、ほぼゼロとなった。このように本シミュレーション結果は、金沢港の埋没実態を定量的に再現しているだけでなく、砂と泥の混合状態という質的な状況変化も再現しているといえる。

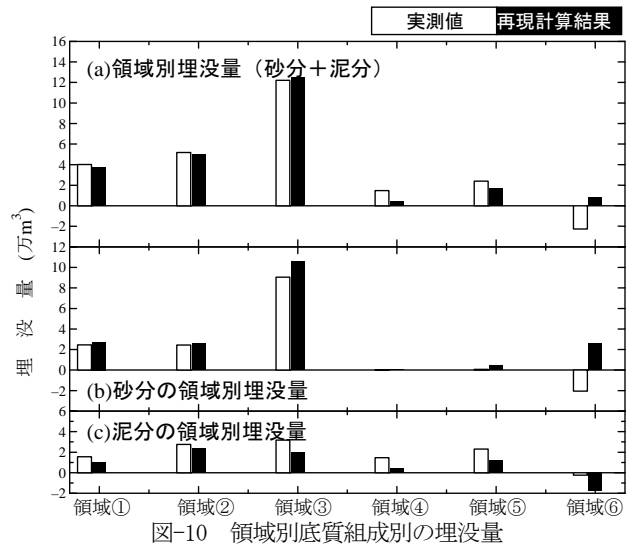


図-10 領域別底質組成別の埋没量

4. まとめ

以上の結果により、以下のように結論付けられる。

- ① 航路泊地の埋没は、防砂堤の延伸前後で埋没域に変化が生じるものの、ほぼ一様な速度で増加していた。
- ② 埋没の激しい狭隘部の底質は、周辺の航路泊地と異なり、砂質分が多く含まれていた。
- ③ 埋没の主要因は、大きな砂移動を生じさせる波浪と浮遊泥の移動を助長する副振動であった。
- ④ 波浪観測データから得られた波浪の発達・最盛・減衰過程や現地の底質特性、副振動特性を考慮して計算した結果、計算は金沢港の埋没実態を精度良く再現していた。

5. おわりに

謝辞：本研究遂行にあたり、「金沢港港内埋没対策検討会」の委員の方々の貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 波間・高橋・松本・山田・黒木 (2003) : 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
- 2) 田中・佐藤・川岸・石川・山本・浅野(1997) : 石川海岸における漂砂機構, 海岸工学論文集, 第 44 巻
- 3) 鶴谷・村上・入江 (1989) : 多層レベルモデルによる航路埋没の予測計算, 海岸工学論文集, 第 36 巻
- 4) 片寄・村上・山田・原 (2007) : 八戸港内の埋没実態と予測モデルの構築, 海岸工学論文集, 第 54 巻
- 5) Richard Soulsby (1997) : Dynamics of marine sands (A manual for practical applications)

