

防波堤堤頭部付近の洗掘とその対策

村上敏幸*・三井道雅**・加藤利弘***

* (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 調査役

*** 前 国土交通省 九州地方整備局 宮崎港湾・空港整備事務所 所長

宮崎空港の防波堤の南側先端部前面において、局所的な洗掘が発生しており、防波堤本体への影響が懸念されている。そのため、複雑な海底地形とその要因（波浪・潮流）を明らかにした上で、洗掘の状況と堤体の安定性を分析している。本論文は、その取り組みや成果の一部について紹介したものである。

キーワード：洗掘、反射波、高波浪、海浜流、シミュレーション

1. はじめに

宮崎空港南防波堤の沖の海底地形は、従来から洗掘・堆積を繰り返していたが、平成18年度の深浅測量の結果、直径100m、最深部-15m（周辺地盤は-8m程度）の洗掘が確認された（図-1参照）。その後の最新の深浅測量調査の結果（平成19年9月測量）では、最深値が-16.6mとなっており、防波堤前面の洗掘は回復していない。宮崎空港南防波堤は、空港用地への越波抑制の機能を有しており、洗掘により堤体が被災を受けた場合は空港の供用へ与える影響が大きいため、早急な対応が必要となっている。本論文は、南防波堤先端部において生じている複雑な海底地形をもたらす要因を解明するとともに、堤体の安定を保つための洗掘防止対策の取り組みや成果の一部について紹介したものである¹⁾。

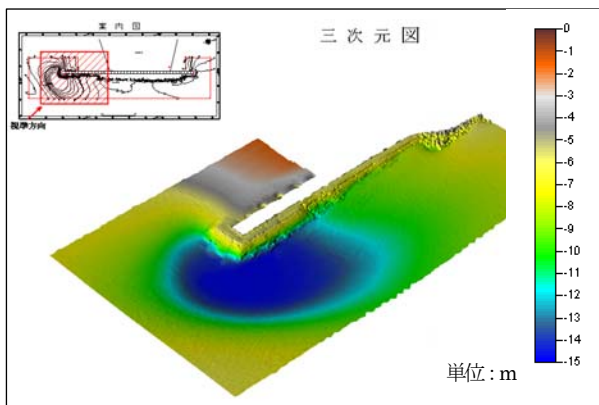


図-1 南防波堤沖側の洗掘孔（平成18年7月測量）

沖側の海底地形は、平行等深線で形成されており、沖合いに向けて水深が深くなる大水深海域である。滑走路2,500mの延長工事は、昭和58年(1983)年から開始され、平成2(1990)年に供用が開始された（図-2）。

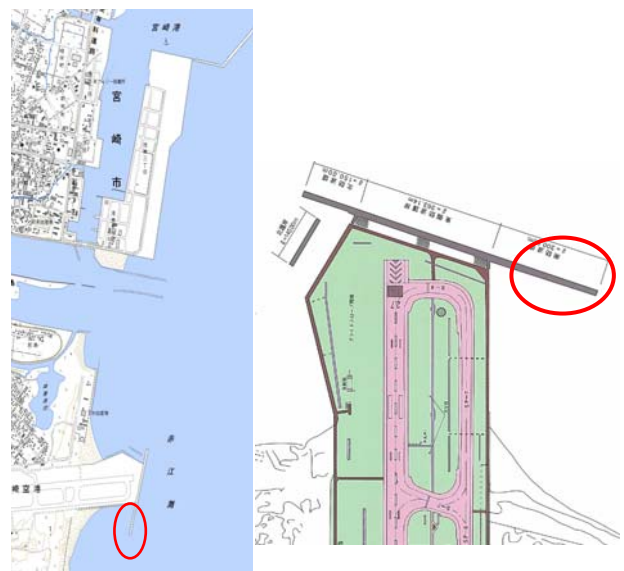


図-2 対象箇所

2.2 南防波堤断面

対象となる南防波堤の断面図を図-3に示す。防波堤の構造形式は上部斜面ケーソン堤である。

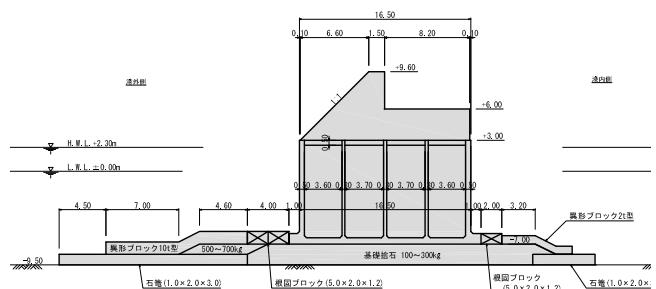


図-3 南防波堤標準断面図

2. 宮崎空港南防波堤について

2.1 対象箇所の概況

宮崎空港は日向灘に面しており空港の北側には大淀川が流下し、その北側には宮崎港が整備されている。空港

3. 地形変化特性の把握

3.1 防波堤周辺の地形変化特性

空港周辺の経年的な地形変化を図-4 及び図-5 に示す。

南防波堤付近では、以下の①～⑤の期間で洗掘が確認された。①1993 年 2 月～1994 年 1 月、②1997 年 2 月～1997 年 12 月、③1999 年 2 月～2000 年 3 月、④2004 年 1 月～2004 年 12 月、⑤2004 年 12 月～2006 年 2 月 (図は直近の④と⑤を表示)。

南防波堤付近で洗掘部が形成されると同時に、防波堤前面沖側に堆積域が形成される。洗掘が発生した翌年には、洗掘部が堆積し埋め戻される場合が多い。

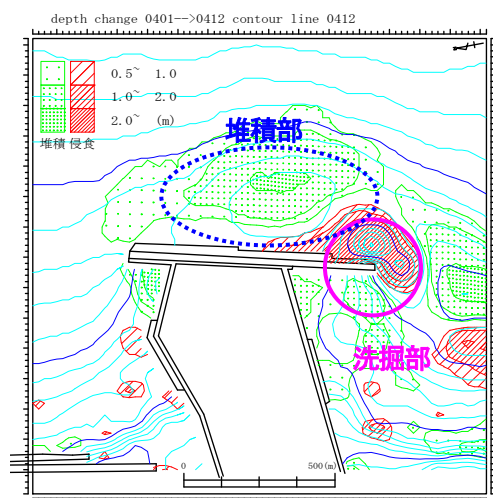


図-4 2004 年 1 月～2004 年 12 月

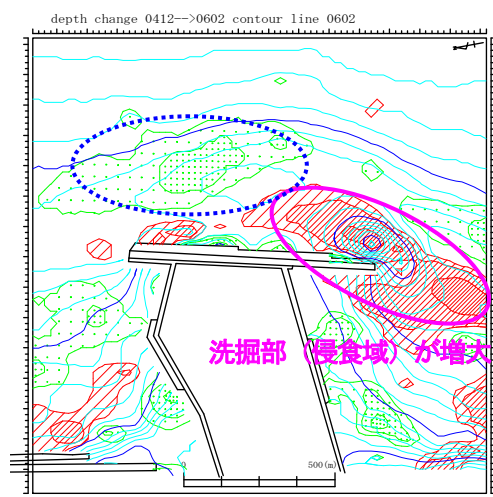


図-5 2004 年 12 月～2006 年 2 月

3.2 洗掘要因の検討

図-6 に洗掘箇所の平均水深の経時変化に、各測量期間における波エネルギーの総量、期間中の最大有義波高を合わせて示す。洗掘箇所では、空港外郭施設整備途中の 1983 年から 1993 年までは水深変化が軽微であるの対

して、1994 年に水深が 4 m 以上深くなってから最近までは、高波浪に対応して洗掘が生じている。

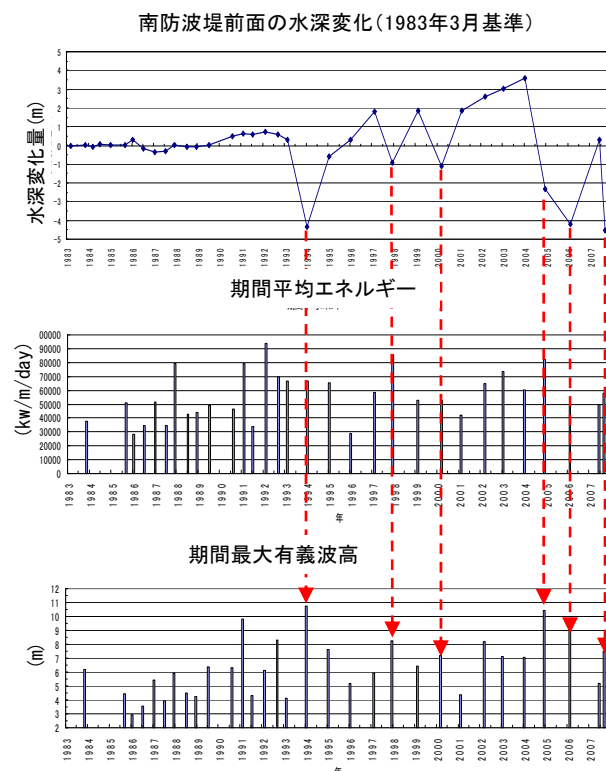


図-6 洗掘箇所の水深変化と波浪出現状況の関係

3.3 洗掘要因の推定

洗掘要因については、地形変化状況と構造物周辺の波浪変形や海浜流の特性等との関係を、数値シミュレーションにより総合的に検討した。

(1) 局所洗掘について

図-7 に示すように防波堤堤頭部付近では、波による水粒子運動による速い流れとそれによる渦が発生し、その流れは周期が長いほど大きく、局所洗掘を引き起こすことが多いとされている。

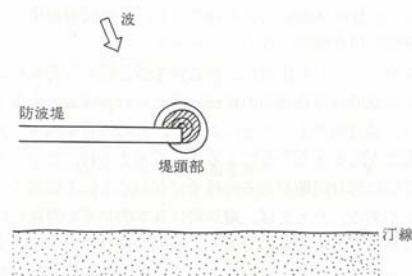


図-7 防波堤堤頭部の洗掘²⁾

(2) 波、流れの計算による洗掘要因の検討

洗掘が発生した 2004 年 1 月から 2004 年 12 月の測量期

間中の高波浪を対象とした波、流れの計算を行った。反射率は消波工部を反射率 0.4 とし、北及び南防波堤の消波工がない部分を 0.9 と設定し、入射波向は S 方向とした。

計算は、対象海域内の波高、波向分布を求める波浪変形計算、海浜流の分布を求める海浜流計算とした。

計算結果より、南防波堤前面では反射波の影響により空港護岸部に比べて波高が高い。空港の南側海浜部では沿岸方向北向きの強い海浜流が発生し、南防波堤端部まで到達している。南防波堤端部では、南側海浜流とは逆方向（南方向）の局所的な流れが生じる。

(3) 洗掘要因の仮説

現況把握結果により、南防波堤前面で生じている洗掘には、台風の影響による高波浪が寄与していると判断される。この高波浪時の洗掘は、波による底質の巻き上げ、海浜流による移流拡散、反射波（重複波）の影響及び構造物近傍の局所的な影響等が複雑に作用することにより発生していることが想定される。

一方、南防波堤前面の洗掘は、空港外郭施設概成後から数年はほとんど見られなかったのに対して、1994 年以降に頻発している。これは、近年、比較的高波浪の発生が多いことも原因と考えられるが、一度、形成された洗掘孔に回復過程で粒径の小さな砂が堆積し、その後底質が締め固まらない状況で高波浪が作用するために、移動しやすい状況となっていることも想定される。このため洗掘は今後も進行していくことが否定できない。

以下に、ここまでの検討結果より想定される洗掘要因の仮説を整理する。

【仮説①：高波浪と海浜流の影響】

台風等の高波浪時に海底の土砂が巻き上げられ、海浜流により輸送される。構造物の端部では、特に流れが強くなるため、局所的な洗掘が発生する（図-8）。

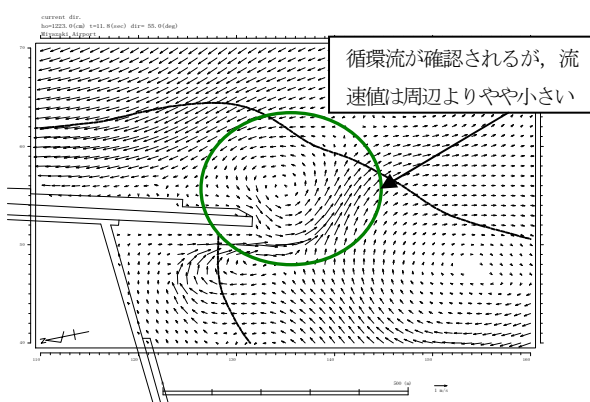


図-8 海浜流分布図（南防波堤付近）

【仮説②：反射波の影響】

図-9 は重複波領域での前面洗掘と波長の節・腹との関係を示したものである。現地では、L タイプの洗掘が多く、

節で侵食（ $L/4$ ）、腹で堆積が起るとされている。

洗掘発生時の高波浪条件では、周期が 12 s 程度となる場合が多く、その場合の洗掘が生じる節の位置は防波堤から 50~60m 程度となる。

南防波堤は、前面に消波ブロックが設置されていないため反射の影響が大きく、防波堤前面での重複波領域での洗掘が発生している可能性がある。最大洗掘深が発生している場所と重複波の節の位置（ $L/4$ ）を比較してみると、概ね両者の位置は一致している（図-10）。

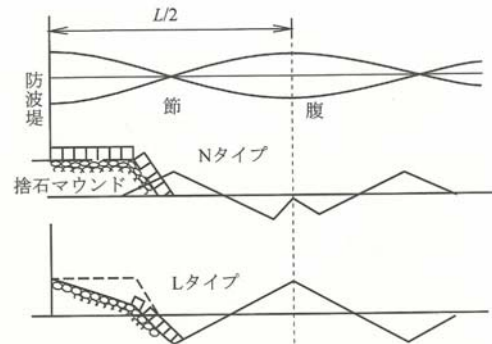


図-9 重複波による洗掘諸元³⁾

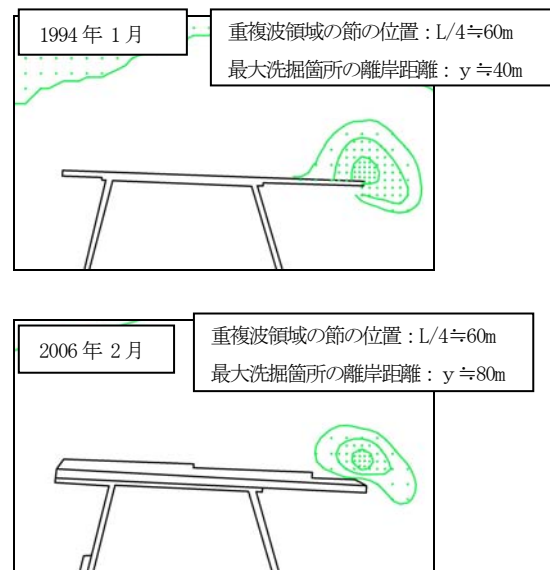


図-10 洗掘位置と現地の最大洗掘箇所の関係

【仮説③：構造物近傍での局所的な影響】

南防波堤端部では局所洗掘で示したように、水粒子による速い流れとそれによる渦が発生していることが推定される。現地視察時にも、小さいながらも南防波堤堤頭部での渦の発生が確認された（図-11）。高波浪時には、この渦の規模も大きくなり、その影響で海底の土砂が巻き上げられ洗掘が生じていることが推定される。

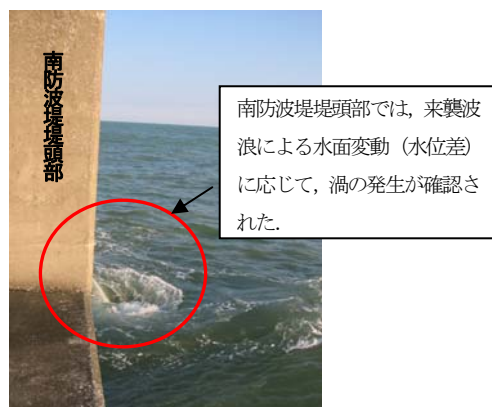


図-11 南防波堤堤頭部における渦の発生状況

【仮説④：洗掘孔形成（1993 年の高波浪）後の影響】

1993 年には有義波高で 10m を超える台風が 2 回来襲しており、その後の測量時に規模の大きな洗掘孔の形成が確認できた。後の測量時には、洗掘孔は埋め戻されて洗掘前の水深まで回復していた。この過程では、高波浪時に沖側へ堆積した粒径の小さな砂が洗掘孔に堆積し、その後の高波浪で洗掘孔が形成されやすくなっていることが想定される。

ボーリング調査結果によれば、南防波堤堤頭側と空港側での N 値はともに、深度 2.5m 未満において 15 以上であることから、締まりの程度は良好な地盤であった。従って、洗掘された後に粒径の小さな砂で埋め戻された箇所の地盤は、N 値が 15 未満の軟らかい地盤（底質の細粒化）となり、地形の変化が生じ易い箇所となっていることが考えられる。

また、1993 年の高波浪時には、南防波堤が被災を受けており、根固めブロックとアスファルトマットによる復旧が行われている。これより、砂と構造物との境界で生じる洗掘が想定されるが、断面的に見た場合には、現在の洗掘の規模が圧倒的に大きいため、影響は少ないと判断される。

(4) 現時点での洗掘要因の判断

前述の洗掘要因については、どれか一つが原因というわけではなく、それぞれが複雑に作用している可能性が高い。

波、流れのシミュレーションでは、S 系の高波浪時の海浜流は、南防波堤より北防波堤周辺の海浜流が速い。一方、南防波堤堤頭部は、循環流が形成されると共に、渦の発生もみられる場所である。このような構造物堤頭部周辺での局所的な流れの影響が洗掘に寄与していることが想定される。

また、宮崎空港外郭施設建設後から現在までの地形変化を見ると、空港護岸の消波ブロックが設置されている前面ではほとんど洗掘が生じていないため、反射波や構造物の端部の局所的な影響が大きいことが推定される。

よって、現時点では、仮説の②と③を重視した対策を

実施するものとし、その効果と影響をモニタリングすることを提案した。

4. 洗掘対策工法の概要

前述の検討より、南防波堤前面での洗掘は今後も進行していくことが否定できず、洗掘による堤体への影響が懸念され、早急な対策が必要である。

洗掘への対応方策としては、反射波を抑制する方法と洗掘を発生させない方法、基礎の変形を制御する方法が考えられた。基本的には反射波を抑制する方法とした。

直立部の前面に消波ブロックを設置する方法は、最も有効であると判断された。消波ブロック設置により衝撃砕波の発生防止も期待出来る。また、消波工は周辺地形への影響も少ない。なお、消波ブロックを設置する場合は、法先の洗掘防止対策工が必要である。

5. 今後の課題

反射波対策については、南防波堤堤頭部を含む直立堤部分の全範囲を対象とするが、実施時の効果をモニタリングすることも検討する（堤頭部より先行して整備）。

本検討で想定した洗掘要因の内、「防波堤堤頭部の局所的な渦の影響」や「洗掘箇所の細粒化の影響」については、定量的な確認がなされていない。よって、対策工の実施前及び実施中については、対策工の効果を確認すると共に必要に応じて洗掘要因を把握するための調査を行うことが重要と考えられる。

6. おわりに

これまでの検討においては、洗掘の主要因を②、③に絞込み、洗掘対策と今後の課題を提案することができた。

今回の検討成果は、宮崎空港南防波堤洗掘防止対策検討委員会の委員の精力的な議論の成果と考えている。特に、委員長として意見を取りまとめて頂いた鹿児島大学浅野教授、港湾空港技術研究所栗山室長、宮崎大学村上准教授にお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 九州地方整備局宮崎港湾・空港整備事務所：宮崎空港南防波堤洗掘防止対策技術検討業務 報告書
- 2) 海岸施設設計便覧(2000 年度版) 土木学会 pp. 113
- 3) 入江功、灘岡和夫、近藤隆道、寺崎賢次：重複波による防波堤前面での二次元的海底洗掘、港湾技術研究所報告 Vol. 23 No. 1, pp. 3～52, 1984