

新潟西海岸における潜堤背後の洗掘溝の漂砂特性

金井実*・三井道雅**・吉田秀樹***・加藤一正****

* (財) 沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

** 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** 前 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所 所長

**** (株) エコー 顧問

新潟西海岸では、平成元年より面的防護工法による海岸侵食対策が実施され現在に至っている。本稿は、新潟西海岸の課題の一つである潜堤背後の洗掘溝の漂砂特性と養浜砂の流出防止対策について考察するものである。

キーワード：面的防護工法，潜堤，洗掘溝

1. はじめに

新潟西海岸は、信濃川からの莫大な流出土砂によって発達形成してきたが、河川改修や大型ダム建設、河口部の突堤建設、あるいは明治42年着工の大河津水路の建設などにより、土砂流出量が大幅に減少したため、明治後期以降に汀線の後退が進んだ。

新潟西海岸の防護工事は、昭和初期から既に開始されていたが、本格的な海岸侵食工事は、昭和26年に「新潟港技術調査委員会」が新潟西海岸侵食対策工事の全体計画を策定した後に開始された。この計画に従い潜堤、離岸堤、突堤群を建設し、それまでの急激な侵食を食い止めた。その後、昭和62年には面的防護工法による侵食対策計画が決定された。

この面的防護工法の考えは、図-1に示すような沖合約500m地点の潜堤及び海岸から直角に伸びる突堤等を複合的に建設し、潜堤の背後には、養浜により砂浜を造成する方法で海岸を保全するもので、平成元年に着工し、現在に至っている。

本稿では、面的防護工法開始時の経緯や潜堤の建設開始直後から確認され、面的防護工法を進める上で、課題となった潜堤背後に形成される洗掘溝の形成機構の解釈に関して、今までの調査資料をもとに紹介する。また、新たに実施した現地調査結果から潜堤背後の漂砂特性を考察すると共に養浜砂流出対策の基本方針を提案するものである。

2. 面的防護工法による侵食対策事業の開始

新潟西海岸の抜本的な海岸保全の検討を行うため、旧運輸省第一港湾建設局は、学識経験者を中心とする新潟西海岸技術検討委員会を1983(昭和58)年度から組織して調査を開始した。委員会では、1985(昭和60)年度まで面的防護工法を前提とした検討がなされた。その結果、沖合に何らかの構造物を建設することで、海底面を含む海

岸全体の安定の向上を図ることが必要であると、建設する構造物は、潜堤が適しているという技術的な考え方を示した。

これに基づいて、新潟西海岸の侵食対策事業は、1986(昭和61)年度から国直轄事業として開始された。

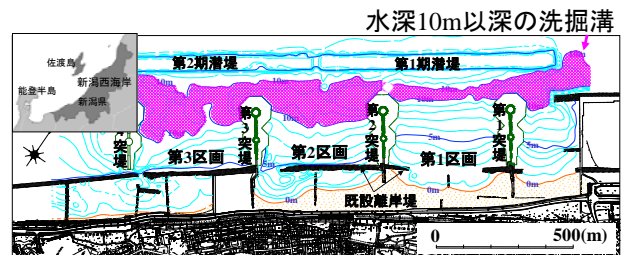


図-1 新潟西海岸の位置と施設名称(現況概要)

2.1 侵食対策事業の基本方針の策定

面的防護工法という新しい方式を取り入れるにあたり、1983(昭和58)年度～1985(昭和60)年度に設置されていた技術検討委員会を拡大・発展させて1986(昭和61)年度に再スタートした。そして、委員会における2年間の審議の結果「侵食対策事業の基本方針」が策定された。なお、この基本方針の中には事業の基本的考え方のキーワードとなる面的防護工法、養浜などの言葉がでてこないことから、本事業は従来型の侵食対策として開始せざるを得なかったことが推察できる。

ただし、その時には将来的に砂浜の持つ海浜防護機能を生かした面的防護工法として実施する方針があったため、委員会では以後に検討する事項として、平面形状、養浜砂の投入方法、施工手順等5つの項目を挙げている。

以上の項目をまとめた報告書において、当時の新潟港工事事務所は、「委員会は十分な検討を行ったが、自然の偉大さは、はかり知れないので、現地工事は慎重に行い、その安定性について現実と検討結果を対比しながら進める。」と述べている。また、委員長は、「委員会を終えるに当り、事業の展開に合わせて調査を継続し、適宜見直

しをしていただくようお願いした。」と述べ、状況の監視をしつつ事業を推進することの重要性を指摘している。

2.2 潜堤背後の洗掘

1988(昭和63)年3月、基本方針を策定する際にまとめられた「今後行うべき検討事項」には、潜堤背後の洗掘に関する記述はなく、潜堤背後の洗掘は予期されていなかった。しかし、1989(平成元年)年11月に実施した現地調査の結果には早くも潜堤背後に洗掘の兆候が確認された。図-2に観測地点の位置図(部分)を示す。1989(平成元年)年11月の時点では、第1突堤135.8m、第2突堤116.5m、潜堤は暫定断面(20m幅、完成断面は40m幅)で100mが施工されていた。調査結果の傾向として、St.9では早い時期に侵食が生じた後は、侵食量が増加することはないが、回復することもないというものであった。この結果に対して、1989(平成元年)年度に再開した委員会において「これから潜堤がさらに延びていくので、これらの調査結果から何らかの対策を検討することが必要になるかも知れない。」と指摘している。

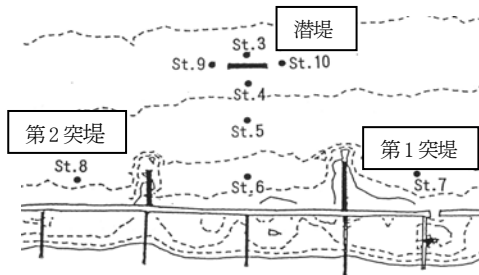


図-2 観測位置図(部分・1989(平成元年)年11月)

3. 潜堤背後の洗掘溝形成機構

上記の指摘は、潜堤の建設が進捗する過程で背後の洗掘溝が拡大形成した場合、潜堤の安定性に影響を及ぼし、将来的に何らかの対策が必要になることを示唆するものであった。

その後、潜堤の建設が両端方向へ延伸する段階において、潜堤背後の洗掘溝形成機構に関して、2通りの解釈がなされている。

3.1 潜堤端部背後に発生する洗掘に伴って形成される潜堤背後の洗掘溝

一つの解釈は、移動床断面実験(水平縮尺1/50, 垂直縮尺1/25, $d=0.2\text{mm}$)による地形変化確認では、洗掘溝は再現できないという結果による。

図-3は、二次元の移動床断面実験による潜堤背後の洗掘再現実験(1995(平成7)年度実施)の結果である。潜堤は暫定断面、天端水深2mの状態、現地換算波高 $H=5.5\text{m}$, $T=11\text{s}$ の波を1時間作用させた後の断面地形である。底質材料の珪砂($d_{50}=0.11\text{mm}$, 比重2.6)と砂($d_{50}=0.20\text{mm}$, 比重2.6)の結果は似ているが、現地で生じている洗掘地

形(図中赤線)を再現していない。

この潜堤背後の洗掘が再現できなかった実験結果について、1996(平成8)年3月に開催された技術検討委員会では、潜堤両端部付近陸側の洗掘は断面実験では基本的に再現できない。つまり「潜堤背後の洗掘溝は、潜堤両端部で生じる局所洗掘が潜堤の延伸に伴って洗掘地形を残しながら移動した結果、沿岸方向に細長い洗掘溝が形成されたのである。」という解釈(以降、機構A)をしている。これは、断面実験で再現できなかったのだから、逆にこの結果は潜堤端部の局所洗掘が残されて洗掘溝になったことを示唆しているというものである。

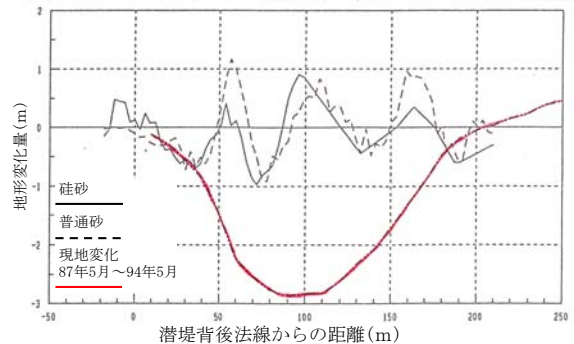


図-3 二次元移動床模型による潜堤背後の洗掘再現実験

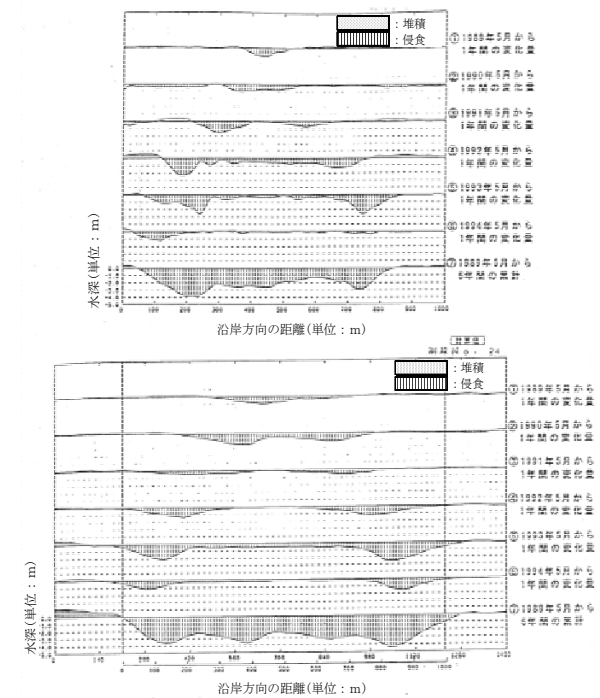


図-4 期間毎の沿岸方向断面地形(上段実測・下段計算)

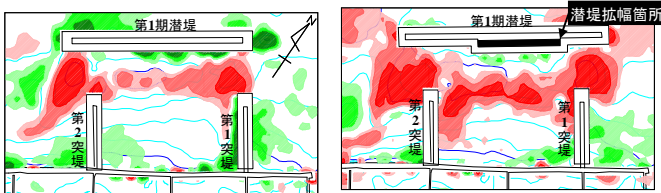
さらに、一連の実験結果等を加味することによって再現性を向上した計算モデルによる計算結果が1997(平成9)年3月に報告されている。図-4は、このモデルによって潜堤が中央から両端に向かって建設される際の潜堤背後の地形変化を計算し、1989(平成元年)年5月から1年毎の変化量を示したものである。

図-4に対しても、潜堤背後の洗掘溝は、機構Aによって形成されるという解釈であった。

3.2 潜堤背後に発生する沿岸流によって

形成される潜堤背後の洗掘溝

図-5は第1区画沖で整備される第1期潜堤の端部が第1・第2突堤沖まで延伸された後に生じた2期間の地形変化である。2期間における構造物の条件の違いは、潜堤の延長および潜堤天端幅である。潜堤天端幅は、暫定断面(天端幅15m~17m)から完成断面(天端幅40m)に拡幅したため約25m異なる。



(a)左: 暫定断面 1992年(平成4年)~1993年(平成5年)
 (b)右: 完成断面 1993年(平成5年)~1994年(平成6年)
 【赤: 洗掘, 緑: 堆積】

図-5 暫定断面と完成断面の地形変化の平面分布

暫定断面で整備された潜堤の背後で生じた地形変化(図-5(a))を見ると、潜堤両端部の洗掘だけではなく、背後にも沿岸方向に帯状の侵食域が形成されることがわかる。その後、延長250mにわたって完成断面に拡幅した後に生じた地形変化(図-5(b))も、潜堤背後に帯状の侵食域を形成しており、その侵食深さは0.5~1.5mに達し、暫定断面で生じた侵食深さを上回る。

上記で述べた洗掘溝の断面形状と潜堤の位置関係を比較すると、潜堤天端幅を暫定断面から完成断面に変化させると最大洗掘深が現れる場所が岸方向に約20m移動しており、この距離は潜堤の拡幅量に対応していることが確認できる。

このようにして形成された潜堤背後の洗掘は、機構Aだけでは説明できない。

さらに、図-3に示した移動床断面実験では、現地で生じる洗掘発生の重要な外力の一つである強い沿岸流が再現できていないとして、擬似的に沿岸流が発生する断面水路実験を行っている。実験結果は、洗掘量、洗掘域は若干異なるものの、洗掘現象は概ね再現されるものであった。つまり、潜堤背後の洗掘溝の形成には、潜堤背後に発生する強い沿岸流の作用が大きく関係しているという結果であった。

また、潜堤背後の洗掘溝に養浜砂を投入し、その挙動を追跡する現地試験を実施している。図-6に第1区画の洗掘溝内に投入した養浜砂量の経年変化状況を示す。

2002(平成14)年9月~10月にかけて投入した1.5万 m^3 の養浜砂が、その8年後には投入範囲内には確認できないという結果であった。これは、投入した養浜砂は、潜堤背後に発生する強い沿岸流によって流出したものであると解釈できる。つまり、「潜堤上で碎波に伴う強い流れが潜堤背後に突入して海底砂を巻き上げ、浮遊状態とな

った砂が、沿岸流で運ばれて洗掘溝が形成される。」(以降、機構B)ことを示している。

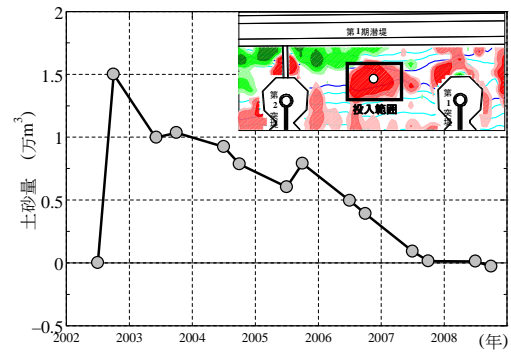


図-6 養浜砂の土砂量経年変化区

4. 洗掘溝を含む潜堤背後の漂砂調査

潜堤背後の洗掘溝が確認された当初には、洗掘溝の拡大が潜堤の安定性に大きな影響を及ぼすことが懸念されたが、洗掘溝の拡大は、潜堤の安定性には大きな影響を与えない一定規模で平衡状態となった。そのため、しばらくの期間、洗掘溝形成機構の解明は、委員会の大きなテーマではない状況が続いた。

4.1 洗掘溝形成機構の解明と

洗掘溝岸側の漂砂特性

侵食対策事業の開始以後、新潟西海岸の中でも整備が優先された第1区画は、2000(平成12)年までに約40万 m^3 の養浜を行って完成し、8年が経過した。しかし、整備を進める過程において、潜堤の延伸に伴い、潜堤背後の洗掘溝の拡大形成が確認された。さらに、第1区画に投入された養浜砂は、年間0.7~0.8万 m^3 の割合で区域外へ流出することが明らかになった。そのため、この第1区画で起きている養浜砂の流出経路を解明し、より維持管理の少ない養浜砂流出対策を検討するには、洗掘溝の形成機構を特定することの重要性が再認識された。

また、地形変化解析を実施した吉田ら2008(平成20)年の考察^{1),2)}では、洗掘溝のさらに岸側の養浜砂は、非可逆的かつ2次元的な沖向き移動を生じ、更に洗掘溝の現状は平衡状態にあると述べている。したがって、第1区画の養浜砂は、洗掘溝を通過して区画外に流出している可能性がある。

以上から、洗掘溝形成機構の確認に加えて、維持管理の少ない方策を検討する上で、洗掘溝より岸側の漂砂特性を把握する調査を実施した。

4.2 蛍光砂調査

洗掘溝の漂砂特性は、複雑な水理現象による砂移動であり、相似則の問題や現地で生じる複合的な外力場を実験に取り込むことが難しいため、蛍光砂を現地に投入して追跡する調査を実施した。蛍光塗料は、使用できる色が少ないため、投入地点は、汀線付近と洗掘溝とした。

汀線付近を蛍光砂の投入地点に選定した理由は、いまだに特定されていない汀線付近の養浜砂の流出経路を把握するためである。また、洗掘溝を選定した理由は、蛍光砂が拡散することなく洗掘溝に留まれば機構Aが、移動すれば機構Bも洗掘溝の形成機構に含まれると判断できると考えたためである。

現地調査は、2008(平成20)年11月～2009(平成21)年2月の3ヶ月間に図-7に示す海域で実施し、高波浪来襲後の3回に蛍光砂の採取を実施した。図-7には、観測期間中の最大波高5.53mを観測した後に実施した第3回蛍光砂検出結果を示す。

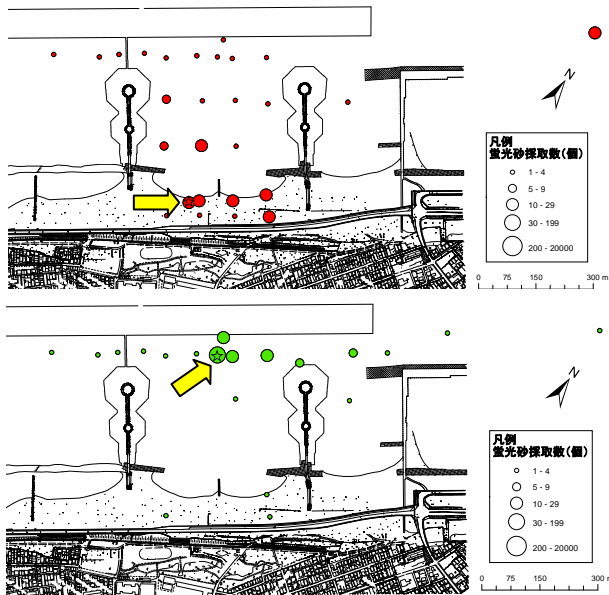


図-7 第3回蛍光砂検出結果(黄色の矢印: 蛍光砂投入位置)

4.3 蛍光砂追跡調査結果と漂砂特性の考察

3回の蛍光砂追跡結果とそこから考察される潜堤背後の漂砂特性を以下にまとめる。

- 沖波波高5m程度の波浪が来襲すると、洗掘溝に投入した蛍光砂と洗掘溝に沈降した蛍光砂は留まることなく移動したことから、洗掘溝の形成は、前記の機構Aだけでなく、機構Bも寄与している。
- 汀線付近に投入した蛍光砂は沖向きに移動し、洗掘溝に投入した蛍光砂は、投入地点より岸側の総検出数が少なかった。このことから、洗掘溝より岸側の移動方向は、非可逆的且つ2次元的な沖向き移動である。
- 洗掘溝に到達した蛍光砂と洗掘溝に投入した蛍光砂の

主な移動方向は北東方向であったことから、洗掘溝より岸側の養浜砂の主な流出経路は、浅海域から沖向きに移動して洗掘溝まで到達した後、第1突堤先端を通過して区画外に流出する経路である。

5. 養浜砂流出対策の基本方針

上記のとおり、養浜砂の区画外への流出過程が確認された。こうした過程を経る養浜砂の流出を防止するには、砂が洗掘溝に沈降する前に捕捉する方策(例えば、潜堤)が有効であると考えられる。すなわち、沖向き移動する砂を捕捉するだけでなく、潜堤背後で再生する波を再び碎波させる消波機能を持ち、背後を更に静穏化することで養浜地形の安定化を図る方策が有効であると考えられる。

6. まとめ

潜堤背後の洗掘溝形成機構と漂砂特性を以下に示す。

- ① 洗掘溝の形成機構は、潜堤端部に生じる洗掘の残存だけでなく、潜堤背後で生じる洗掘も含まれる。
- ② 洗掘溝より岸側の砂の移動方向は、非可逆的且つ2次元的な沖向き移動である。
- ③ 主な砂の流出経路は、浅海域の砂が沖向き移動で洗掘溝に到達した後に第1突堤先端を通過して区画外に流出する経路である。
- ④ 有効な養浜砂の流出対策は、洗掘溝に沈降する砂を捕捉する方策であると考えられる。

7. おわりに

当初、潜堤の安定性に関する課題として捉えられた洗掘溝の形成は、その後、海岸浸食対策の上で大きな課題となった。そこには、隠れた現象こそが本質的な課題であるという、一種の教訓を感じる。

本稿は、新潟西海岸に関する調査成果をとりまとめたものである。調査にあたっては、新潟西海岸技術検討委員会の各委員はじめ、関係者から貴重なご意見、ご指導を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 吉田秀樹・清水利浩・伊部知徳・山田貴裕・片野明良(2008) : 大規模潜堤背後の海浜地形の特徴と地盤沈下による断面変化, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 751-755
- 2) 伊部知徳・三井道雅・吉田秀樹(2008) : 新潟西海岸における地形変化特性について, 沿岸技術研究センター論文集No. 8, pp. 1-4