

直立護岸前面に設置した離岸堤（潜堤）周辺の地形変化

松本典人*・池内章雄**・奥田 聡***

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 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 新潟港湾空港技術調査事務所 前任建設管理官

福井港海岸において、冬季波浪の越波対策として、直立護岸前面に離岸堤（潜堤）が順次設置された。その後、潜堤周辺の地形が著しく変化した。直立護岸前面に潜堤を設置した例がないため、現地に波高計等を設置し、観測データを解析整理し、潜堤周辺の地形変化や水理特性を把握し、地形変化の要因について考察した。

キーワード：潜堤、潜突堤、地形変化、洗掘、現地観測

1. はじめに

福井港海岸（福井地区）は、福井県北部を流れる九頭竜川（一級河川）の河口付近に位置し、当海岸背後には国家石油備蓄基地及び県内有数の工業団地が立地している。

当海岸では護岸前面において洗掘が生じ、さらに日本海特有の冬期風浪と相俟って、護岸前面の消波ブロックの飛散・沈下や越波による護岸背後の水叩きの吸出し・陥没被害が進んでいた（図-1 参照）。そのため、護岸防護機能の確保を目的として、護岸部には、吸出し及び液状化対策として溶液型薬液注入工による地盤改良¹⁾と、海岸部には、越波対策として直立護岸前面に離岸堤（潜堤）の設置が進められてきた（図-2 参照）。現在、護岸の前面に離岸堤（潜堤）を施工した例はないことから、海岸部の深浅測量による地形変化を観察している。

離岸堤（潜堤）の設置後、直立護岸と離岸堤（潜堤）の間（以下、潜堤背後）が洗掘され、この進行によって

は護岸の安定を損ない兼ねないことが懸念された。

そこで、この周辺の地形変化状態を明らかにするために、潜堤周辺の深浅測量に加えて、潜堤周辺の流速等の水理特性を調べた。未だ経過観察段階ではあるが、本報告は、これらの現地観測データを解析整理し、地形変化のメカニズム等について考察したものである。



図-1 護岸部の吸出しによる影響

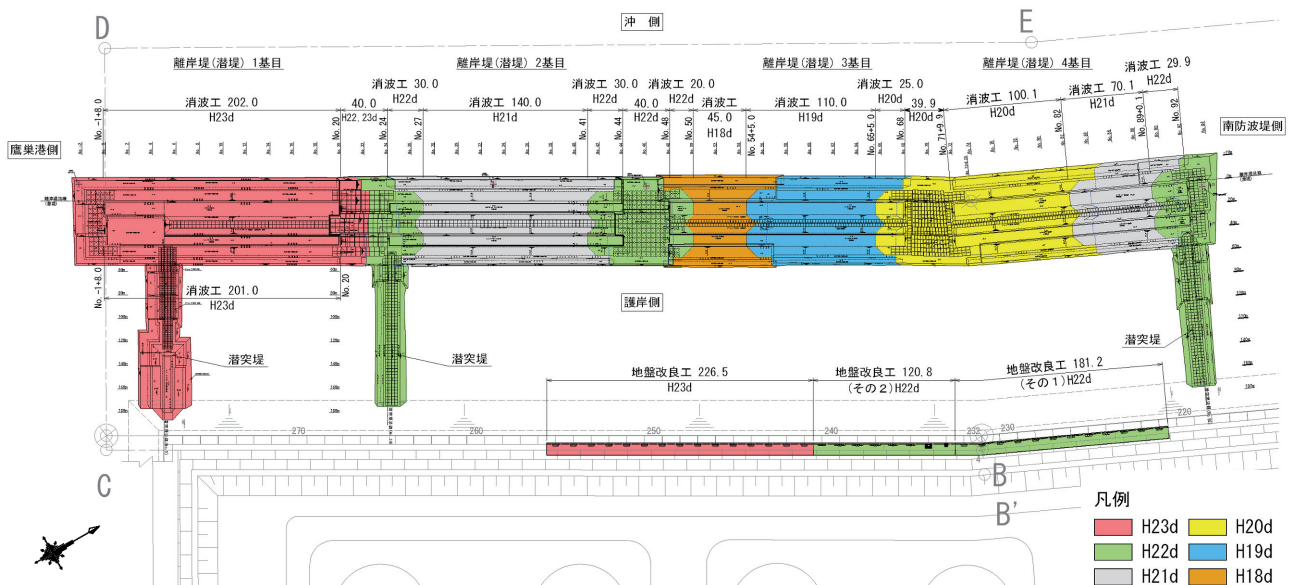


図-2 離岸堤（潜堤）設置位置図及び施工時期

2. 地形変化の現況把握

福井港海岸は、海岸地形の安定化及び護岸越波量の低減を目的として、2006年度から離岸堤（潜堤）（以下、潜堤）を施工している。

福井港海岸全体の2006年と2011年の水深変化の平面分布を図-3に示す。潜堤を施工した後、既設離岸堤より北側の地形は、比較的安定しているが、潜堤背後では洗掘が生じていることがわかる。

潜堤周辺の水深変化の平面分布を図-4に示す。潜堤背後で洗掘を受け、護岸に近づくほどその洗掘が大きくなっていることがわかった。一方、潜堤の沖側では堆積していた。この領域の土砂収支を調べると、潜堤背後の洗掘量と潜堤沖側の堆積量が概ね釣り合っており、潜堤背後の土砂が沖側に堆積したと考えられる。第2～4基目の潜堤背後の水深変化を図-5に示す。各潜堤で施工時期が異なるが、いずれも潜堤設置後、潜堤背後で洗掘が生じており、特に設置から約2年で3～4mの顕著な洗掘が生じている。その後、徐々に水深変化は小さくなり、洗掘が落ち着いていく様子が窺える。

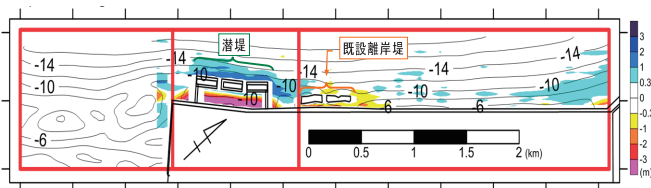


図-3 潜堤施工後の水深変化の平面分布（2006年6月と2011年6月の比較）

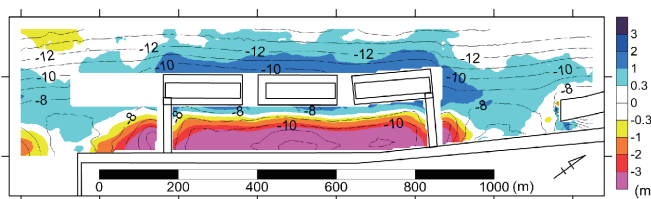


図-4 潜堤周辺の水深変化の平面分布(2006年6月と2011年6月の比較)

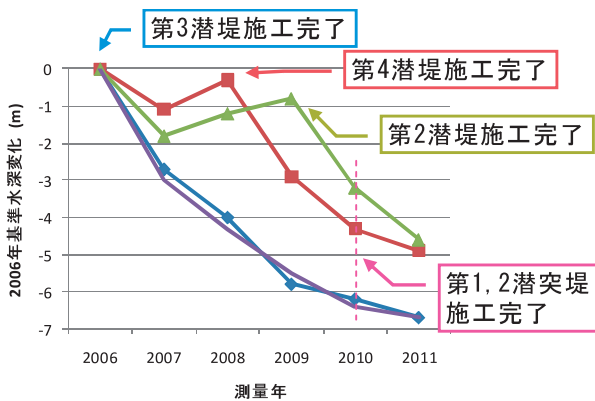


図-5 第2～4基の潜堤背後の水深変化

3. 現地観測データの解析

3.1 計測機器

現地観測の計測機器の設置位置などを図-6に示す。現地観測は、波浪、流況、濁度、砂面変動の計測を行っており、平成22年10月下旬～平成23年3月初旬の冬季波浪の時期に実施している。よって、現地計測は、図-2に示す平面図のうち、第1基目潜堤が未施工（平成23年度施工）の状況で実施している。計測機器は、潜堤背後を中心に、潜突堤を挟む形で設置し、その比較検討として、潜堤のない地点（地点J）にも配置した。

3.2 潜堤及び潜突堤周辺の水理特性

底層流速を観測した10地点での平面的な流速の出現状況から流速の卓越方向を図-7に示す。現状の福井港海岸の水理特性は以下ようになる。

- ・ 潜堤のない地点Jでは沿岸流速が卓越していた。
- ・ 潜堤内の地点D, E, F, C, B, B', Hでは、総じて沖向き流速が卓越していた。
- ・ 中央部（第3基目の潜堤背後）の地点B, B'では、沖向き流速が卓越し、沿岸方向の卓越は認められなかった。
- ・ 開口部の地点Cは、沖向きの流速が卓越していたが、地点Bの流速と同程度であり、開口部で特に強い沖向き流れが誘発される状況は確認できなかった。
- ・ 第2基目の潜堤背後の地点D, E, Fでは、沖向き流速が卓越し、沿岸方向にはやや南向きの傾向を示した。第1潜突堤の外側の地点Gではやや南に向けた沖向きの流速が卓越した。

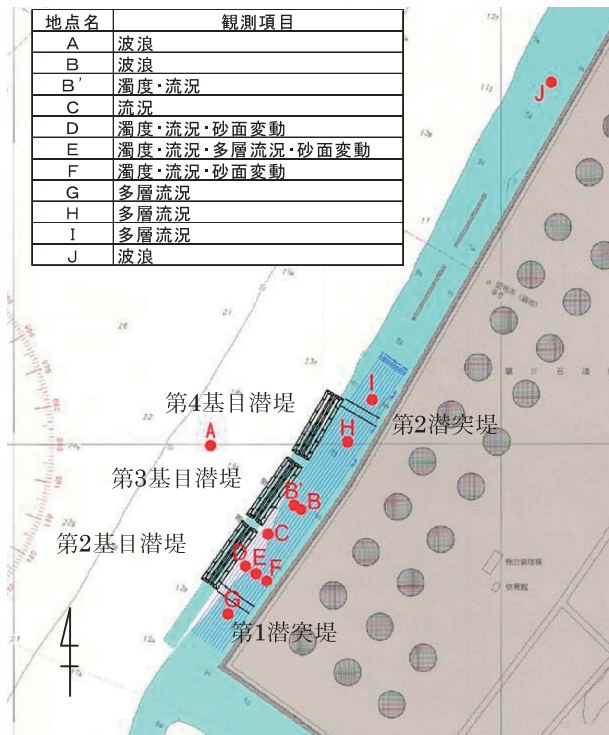


図-6 計測機器の設置位置図

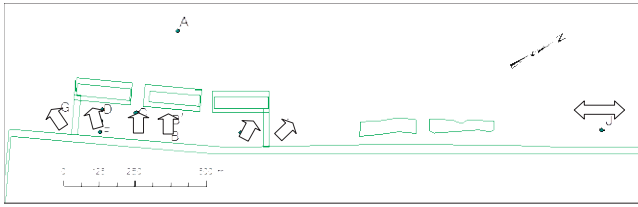


図-7 各地点における流速の卓越方向

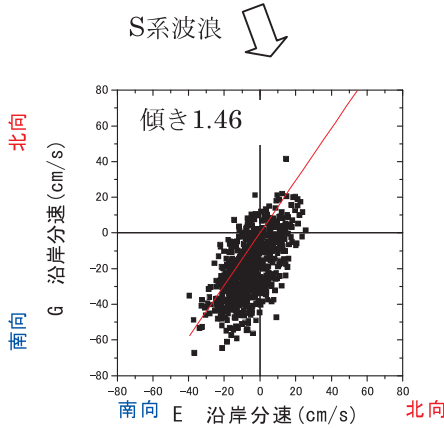


図-8 第1潜突堤の内外における沿岸流速

- 第4基目潜堤背後の地点Hでは、第2基目潜堤背後とは逆に、北向きの沿岸流が卓越する傾向を示し、第2潜突堤の外側の地点Iではやや北に向けた沖向きの流速が卓越した。

福井港で観測された底層流速は、潜堤が設置されていない地点Jでは波向に対応した沿岸流速が支配的になるのに対して、潜堤内では沖向き流速が支配的となり、潜突堤周辺では沖向き流速と両端（外側）に向かう沿岸流が発生した。

潜突堤の内外における沿岸流速（地点E及びG）の相関関係を図-8に示す。この図より、第1潜突堤周辺の沿岸流は、南から波が入射する場合でも潜堤の外側の地点Gで南向き流速が卓越することから、入射波の波向にほとんど依存せず南向きが卓越することがわかった。このことから、このような潜堤周辺の流れは、潜堤上での碎波によって潜堤背後で大きな水位上昇が起こり、これによって堤外に向かう流れが卓越したためと考えられる。

また、潜突堤の内外の沿岸流速成分を比べると、潜突堤の内側の沿岸流速が小さくなる傾向を示した。これは、潜突堤により、沿岸流が流れにくくされたためと考えられる。潜突堤は潜堤背後の水位上昇により生じる沿岸方向の流れを低減する効果があることは確認できた。

潜突堤の内外における岸沖流速（地点E及びG）の相関関係を図-9に示す。この図より、潜突堤の内外の岸沖流速成分を比べると、潜突堤内の岸沖流速成分が大きくなっており、潜突堤により沿岸流が制御されたことにより、潜堤と潜突堤に囲まれた範囲の水位が上昇し、潜堤を越えて沖向きの流れが卓越したものと考えられる。

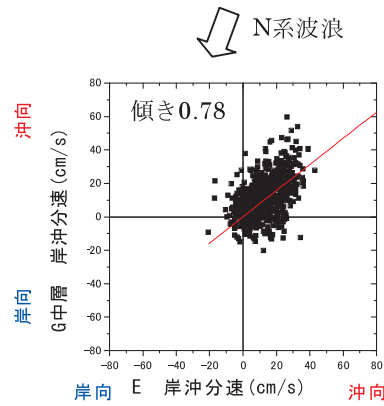


図-9 第1潜突堤の内外における岸沖流速

3.3 潜堤周辺の地形変化の要因に関する考察

計測期間中、沖側の地点Aの有義波高6mを越えるような時化が3回観測（2010年12月4日、2010年12月26日、2011年1月16日）され、このとき、いずれも顕著な地盤高の低下が認められた。そこで、この時化の期間に着目して、土砂が移動する条件等を調べるため、土砂の移動を計測した超音波砂面計の計測データを整理した。代表的な例として、2010年12月4日の地点D、E、Fにおける砂面移動を図-10に示す。これらの計測結果から以下のことがわかった。

- 潜堤背後の地点Dは、地点Aの波の発達期に、他地点に比べて大きな洗掘が生じている。また、地点Aの波の最盛期に洗掘が緩やかになり、徐々に堆積（地盤高が回復）する傾向が認められた。
- 入射した波は、潜堤を越える際に碎波すると考えられ、潜堤近傍の地点Dでは、碎波した波により、土砂が巻き上げられ、浮遊状態となったものと推察される。この浮遊した砂が岸沖方向の流れにより、沖側へ流され、沖側が堆積したものと考えられる。
- 潜堤背後の地点Eは、地点Dの洗掘開始から少し時間が経過してから洗掘が始まり、その後、地点Dと同様に徐々に堆積する傾向が認められた。
- 潜堤背後の地点Fは、さらに地点Eの洗掘開始から少し時間が経過してから洗掘が始まった。しかし、地点D、Eと異なり、地点Aの波が減衰期になっても、徐々に洗掘が生じていた。
- 地点Fが洗掘される時期に、地点D、地点Eで堆積する傾向を示すことから、地点Fで洗掘された土砂が地点D、地点Eに移動したものと推察される。
- 地点Fは、洗掘された後、土砂の供給源がなく、洗掘された状態で残ったものと考えられる。
- 潜堤背後の洗掘が顕著となる場合の特徴は、地点Aの波向が護岸直角方向から入射し、最大有義波高が4~6mとなっている点である。また、このとき、地点D、E、Fの岸沖流速も速くなっている。
- 地点Aの有義波高が6m程度でも、波が南から入射した場合（2010年11月10日観測）では、波の発達期においても、顕著な地形変化は認められなかった。

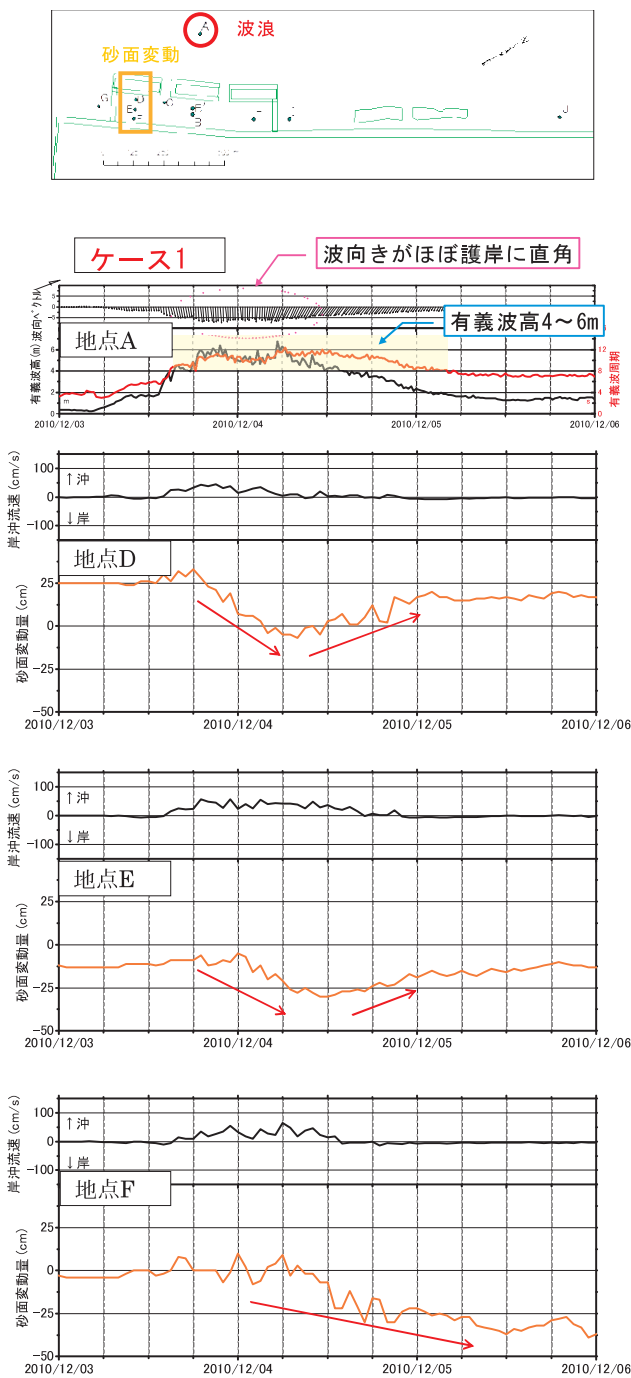


図-10 地点Aの波浪と地点D, E, Fの砂面移動 (2010年12月4日)

地点Dでは、砕波した波によって土砂が巻き上げられ、岸沖方向の流れによって移動すると推察した。土砂が巻き上げられる理由として、潜堤天端での強制砕波による乱れが考えられた。そこで、潜堤背後で観測した流速データから、周波数スペクトルを計算し、周波数0.5Hz以下を積分したものを「乱れ」として整理した。

地点Aの有義波高と乱れの関係を図-11に示す。波高4mを越えると、いずれの地点においても乱れが増大した。これは、潜堤背後の洗掘が、地点Aの有義波高が4m以上となった際に顕著に現れたことと一致している。

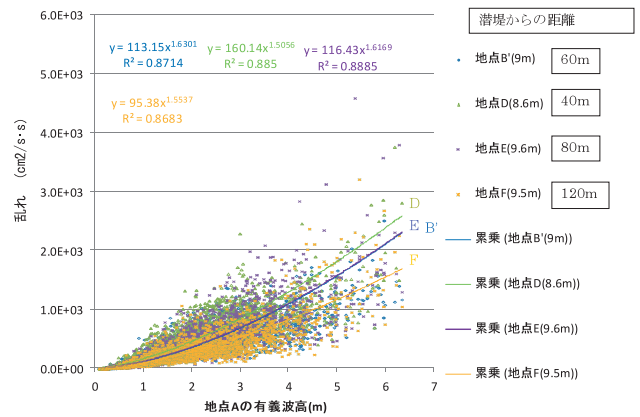


図-11 地点Aの有義波高と乱れの関係

また、地点毎で見ると、潜堤に近いほど乱れが大きくなり、地点Dの乱れが最も大きくなった。これは、時化時の洗掘過程で地点Dの洗掘量が最も大きくなることと一致している。以上から、潜堤天端での強制砕波による乱れも洗掘の主な要因と考えられる。

4. まとめ

福井港海岸において、直立護岸への越波対策として、潜堤を直立護岸前面に設置した。このような前例がなかったことから、現地計測データを解析整理し、潜堤周辺の地形変化、及び流速等の水理特性を調べ、地形変化の要因等について考察した。その結果を以下にまとめる。

- 潜堤施工後、1～2年で潜堤背後に大きな洗掘が生じたものの、その後、徐々に地形変化は小さくなっている。
- 潜堤のない直立護岸の前面は、沿岸流速が卓越するが、潜堤及び潜突堤を設置した場合、潜堤背後の流れは、岸沖流速が卓越する。これは、潜堤と護岸との間の水位上昇に起因するものと考えられる。
- 潜突堤の内外の流速結果から、潜突堤により、潜堤背後の沿岸流速が抑制されたことが確認できた。
- 潜堤背後の洗掘は、波向が護岸に直角方向の場合で、かつ有義波高4m以上の場合に生じた。
- 潜堤背後の地点D, Eの洗掘は、地点Aの波の発達期に生じ、有義波高4m以上で、波向が護岸直角方向のとき顕著に現れた。
- 護岸に近い地点Fの洗掘は、波の減衰期に生じ、逆に、この時期に潜堤に近い地点D, Fで堆積傾向を示した。このことから、岸沖の流れによって、護岸に近い場所の砂が沖側へ堆積したものと推察される。
- 潜堤堤天端での強制砕波による乱れが洗掘の主な要因と考えられる。

今後、現地計測を継続し、最大の洗掘深さ、及び護岸前面の洗掘が大きくなるメカニズム等について、さらに検討する必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 松本典人・阿部龍介・池内章雄・廣木智秀：埋立護岸における吸出し・液状化対策に関する実証実験，沿岸技術研究センター論文集No. 11, pp. 17～20, 2011.