

のり先が波に晒されて危険となった 緩傾斜護岸の改善策

IMPROVEMENT METHOD OF GENTLY SLOPING REVETMENT WITH DANGEROUS EXPOSED SLIPPERY TOE

宇多高明¹・野志保仁²・熊田貴之³

Takaaki UDA, Yasuhito NOSHI and Takayuki KUMADA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター審議役なぎさ総合研究室長
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

²学生会員 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

³正会員 博(工) (株) 水圏科学コンサルタント技術部
(〒145-0064 東京都大田区上池台 1-14-1 明伸ビル)

In order to recover sandy beach, an improvement method of gently sloping revetment with dangerous exposed slippery toe was proposed by the nourishment of gravels. Ishikawa coast was selected as an example of the study. On this beach, gently sloping revetment has been built in front of the existing seawall, resulting in disappearance of sandy beach. Protruded gently sloping revetment was damaged by waves. The effect and stability of beach nourishment were predicted by the contour line change model. Their effectiveness was confirmed by numerical simulations.

Key Words : *Gently sloping revetment, beach nourishment, gravels, Ishikawa coast, contour line change model*

1. まえがき

わが国では全国各地で緩傾斜護岸が造られてきた。本来、緩傾斜護岸は十分広い前浜がある場所で造られるべきであり、また沿岸漂砂に伴う海浜変形の著しい海岸の汀線付近で建設することは、その安定性が損なわれる恐れが大きいことから避けることが望ましいとされていた。それにもかかわらず、海岸特性についての十分な検討も行われずに計画され、施工された例は全国至るところにある。筆者ら^{1) 2)}は、もともと前浜が狭い場所で緩傾斜護岸を造ることは前浜を潰すことから誤りであり、また前浜の狭い海岸で緩傾斜護岸を建設すれば、のり先が常時海に入るので生物付着が著しくなり汀線へ近づけなくなることから、そのような使用法は避けるべきことを主張してきた。また最近では、越波やうちあげ高の点からも緩傾斜護岸は直立護岸よりも防護機能が劣ることを明らかにした³⁾。これらを考慮すれば、緩傾斜護岸の建設はよほど注意深く行わなければならない。しかしながら、各地の海岸では既に多くの場所で緩傾斜護岸が完成し、供用されている事実は重く

受けとめなければならない。現に存在する施設に対し、それを造る際の留意点を述べても何の意味もないからである。唯一意味があるのは、それらの改善方策を示すことである。そこで、本研究では、まず石川海岸での事例をもとに実際の問題点を指摘するとともに、その解決に結びつく、具体的に実行可能で、かつ明瞭な形で効果も見込める改善策の提案を行う。

2. 石川海岸の事例

(1) 調査区域の概要

石川海岸の手取川河口北側隣接部では、沖合に2基の人工リーフが設置されるとともに旧来の直立護岸を前出しする形で緩傾斜護岸を造るという環境整備が行われた。図-1は2002年撮影の空中写真を拡大し、調査区域の詳細を示したものである。手取川河口には平行導流堤(南側は透過構造、北側は不透過構造)が設置されている。河口の北側では、右岸導流堤を南側の境界条件として、その北側にはそれぞ

れ長さ（幅）が約170m（52m）、170m（52m）の人工リーフが平均汀線の沖合67mに設置されている。これらを便宜上1号リーフ、2号リーフと呼ぶ。またこれらの北側に隣接してもう1基の人工リーフが施工中である。さらに人工リーフの岸側には従来から離岸堤が設置されていた。これらも便宜上右岸導流堤から北側に1,2号離岸堤と呼ぶ。環境整備事業で造られた緩傾斜護岸の詳細調査を行ったのは1号離岸堤の北側区域であり、2003年7月15日にこの区域の現地踏査を行った。

(2) 現地調査

写真-1は、図-1に示す2号離岸堤を望みつつ、整

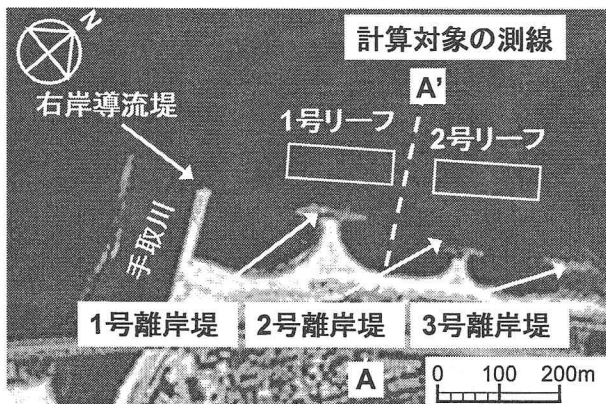


図-1 手取川河口における施設の配置



写真-1 1, 2号離岸堤間から2号離岸堤を望む

備された緩傾斜護岸を撮影したものである。テラス状のコンクリートブロックが整然と並んでいる。のり先には砂浜は全く存在せず、波が直接作用している。一見すると何も異常がないように見える。しかしのり面のほぼ中央には写真に示すように立ち入り禁止のロープが張ってあった。一般に、離岸堤の開口部に位置する緩傾斜護岸ののり先部においては常時波浪が作用するために、のり先に生物が付着して足が滑り易く危険、という理由がロープを張った理由と思えた。しかしこの区域にさらに接近すると、写真-1の中央やや左側では、写真-2のようにのり先が生物付着で滑り易かっただけでなく、根固めの蛇籠が破壊され、ワイヤーが切れて危険な状態となっていた。さらに2号離岸堤へ接近すると、写真-3のようにテラス状に並んだ緩傾斜護岸のコンクリートブロックが、波力により全体に持ち上げられており、ブロックの不陸が生じていた。また写真-3では、コンクリートのテラス上に白い表示板が貼り付けてあるが、それを拡大して示したのが写真-4である。「これより先は滑りやすく危険です 立ち入りを禁止します」とある。すなわち、海岸管理者は、のり面が滑りやすく危険であることを十分認識していることが分かる。写真-5は、写真-3では遠方に見えていたコンクリートののり面の被災状況を拡大したものである。上下のコンクリートブロックのかみ合わせによって固定されていたブロックが、強大な波力によって上部へ持ち上げられ、かみ合わせが外れ



写真-2 緩傾斜護岸ののり先



写真-3 2号離岸堤近郊の緩傾斜護岸



写真-4 緩傾斜護岸に付けられていた表示

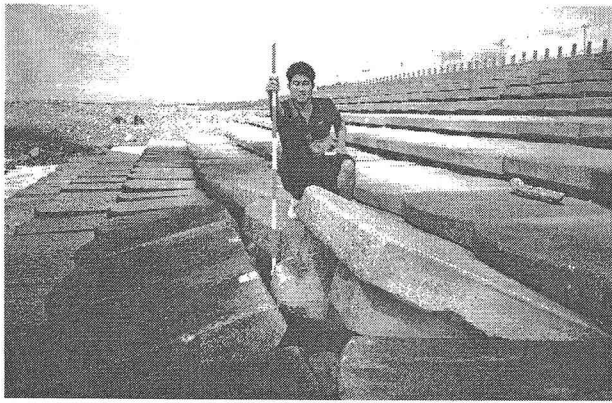


写真-5 コンクリートのり面の被災状況



写真-6 3号離岸堤背後から2号離岸堤を望む



写真-7 2号離岸堤隣接部における緩傾斜護岸の被災状況



写真-8 2号離岸堤背後の舌状砂州端部に集積した捨石



写真-9 3号離岸堤の北側状況

た状況がよく分かる。このように環境整備で造られた緩傾斜護岸に多くの異常が表れ、危険となったために上述のように立ち入り禁止措置が取られたのである。

図-1に示した1, 2号離岸堤の背後では、離岸堤の長さや離岸距離の関係から、背後に形成される舌状砂州の規模が小さく、両者の中央部では緩傾斜護岸のり先が波に露出するような配置となっていたことが上述の被災原因である。したがって単に災害復旧によって緩傾斜護岸を原形復旧したとしても再度災害は免れないと考えられる。

写真-3に示す2号離岸堤の背後を越え、3号離岸堤の背後付近から踏査順序と逆に2号離岸堤背後の舌状砂州と、その北側に設置された緩傾斜護岸を遠望

したのが写真-6である。2号離岸堤の北側でも長大なコンクリート斜面が延びている。その中央部は黒く見えることから、常時波の作用を受けていることが明らかである。さらに、写真-6で2号離岸堤の隣接部ではその北側よりも緩傾斜護岸のり先が海側に突き出ているが、この部分においてコンクリートのり面の被災状況を撮影したのが写真-7である。写真-5の場合と同様、テラス面が完全に持ち上げられていた。さらに護岸の南端部、2号離岸堤背後の舌状砂州との交点付近を撮影したのが写真-8である。隅角部付近には本来石川海岸で見られる礫よりはるかに大きな重量数百kgの巨礫の堆積が見出された。石川海岸にもともと存在しない巨礫であること、また一般に緩傾斜護岸のり先には根固め工が設置されることから、写真に示す巨礫は、緩傾斜護岸のり先に沿って設置された根固め捨石が波の作用で運ばれ、離岸堤背後の舌状砂州の付け根まで運ばれ堆積したことを意味している。

一方、3号離岸堤の北側でも写真-9のようにほぼ連続的に緩傾斜護岸が設置されていたが、その前面には前浜は全く存在せず、のり先が波に洗われていた。このためコンクリートブロックの沈下により、のり面が大きな不陸が生じていることが見て取れる。写真-9の中央部にさらに接近して撮影したのが写真-10である。緩傾斜護岸の断面形を撮影したものであるが、右端には従来の直立護岸のパラペットが見えている。写真の手前側ではパラペットの基部が



写真-10 3号離岸堤北側の緩傾斜護岸の断面形

ら長大なコンクリート斜面が造られている。またその前方ではパラペットの天端高に合わせて護岸が前出しされ、天端にはテラスが造られている。のり面勾配が一定であるがゆえに、護岸が前出しされた場所ではのり先水深が増加し、のり先の被災危険度の増加を招いている。写真-11は一連の環境整備の行われた区間の北端状況を示す。直立護岸の前面に残されていたわずかな海浜地が緩傾斜護岸の建設によって埋められたことがよく分かる。

3. のり先が危険となった緩傾斜護岸の具体的改善策

(1) 改善策を考える際の基本

上述の例が示すように、緩傾斜護岸が既設直立護岸に前出しする形で造られた事例はかなり多くある。このようにして緩傾斜護岸を造ることは越波防止上直立堤と比較して防護機能が落ちることについては既に明らかである³⁾。しかし現に前出しされて造られているという事実には重いものがある。簡単には撤去できないからである。またもともと、緩傾斜護岸は汀線へのアクセスを容易にし、親水性を高めるという理由で造られてきた。しかし現実には緩傾斜護岸ののり先が海に直接入るような条件下では、のり先で生物付着が起こって汀線へ近づくことは困難となるし、また汀線付近での波力が強大であるために緩傾斜護岸は非常に破壊されやすくなる。しかし海岸管理者は、施設の建設自体が誤りであったと認めることは難しい。そこで別の改善策が模索されることになる。この間にものり先に波浪が直接作用する海岸にあつては脆弱化した緩傾斜護岸の被害が続くので、災害復旧工事が必要となる。災害復旧にあつては一般には原形復旧が行われるが、緩傾斜護岸にあつてはとくにその前面水深が増大している場合、原形復旧を行ってもすぐに再度災害に悩まされる。災害復旧では再度災害の防止は一つの重要な視点であるが、それすら満足できなくなる可能性が高い。

再度災害の防止に重点を置く方法もある。それは緩傾斜護岸ののり先に大量の捨石または異形コンクリートブロックを並べる方法である。実際、この方



写真-11 環境整備区間の北端状況

法を用いた海岸も多くある。しかしこの方法を採用したとき、そもそも汀線へのアクセスを確保し、親水性を高めるという目的で緩傾斜護岸を造ったという行為の目的と逆行することとなり、説明責任が果たせなくなる。

さらに、都道府県管理の海岸にあつては施設の建設に国庫補助金が投入された場合、施設を撤去する際には昭和30年施行の補助金等の適正化に関する法律（適化法）の支配を受けるので国に補助金を返還する義務が生じ、現今の赤字財政の時代にはそれも大きな困難を伴う。このように考えると、過去の行為をあまりに強く否定せずに、実質的な改良が可能な手法の提示が必要である。

(2) 具体策の提案

最も容易に思いつくのは養浜であろう。前出しした分だけ汀線を冲向きに前進させればよいという考え方である。しかしこれは容易には成功しない。なぜならば、養浜砂はその海岸における波による地形変化の限界水深 (h_c : 石川海岸にあつては約9m) まで動き、海底勾配がほぼ一定に保たれるような復元力が働いているので、汀線付近のみ局所的に汀線を前進させることは物理的に不可能であるからである。沿岸・岸沖方向への砂の流出を止めるには水深約10mに達する先端水深を有する大規模施設で砂の流出を防止しなければならず、それには莫大な予算が必要となるし、また周辺海浜への影響も非常に大きくなる。このことから単に養浜を行えばよいという案は必ず失敗に繋がる。

そこで新しい案が考えられる。礫による養浜である。前出の写真-8を参照されたい。これによれば離岸堤背後には集中的に礫が堆積している。このように一般に礫は汀線付近にうちあげられて1/3程度の急な前浜勾配をなして安定することが知られている。すなわち、細砂での養浜であれば養浜砂の大部分は沖方向へと流出し、汀線付近には多くとどまらないので、養浜材料を礫とするのである。

(3) 粒径分級を考慮した縦断形予測モデルによる養浜効果の確認

本研究では、のり先が波に晒されて危険となった

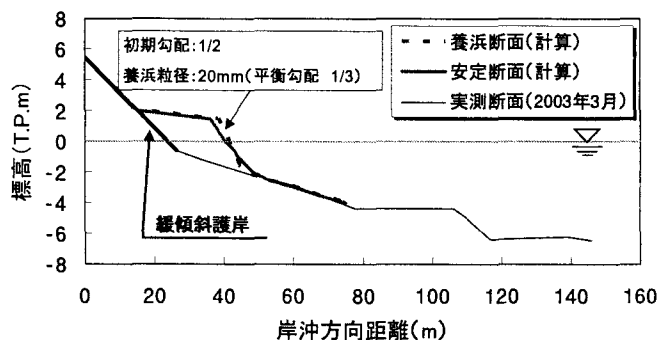


図-2 ケース1の予測結果

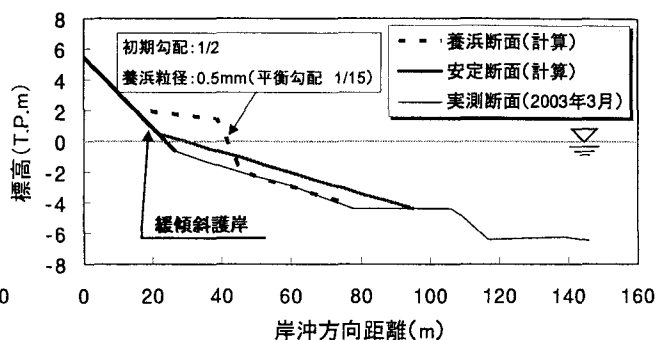


図-3 ケース2の予測結果

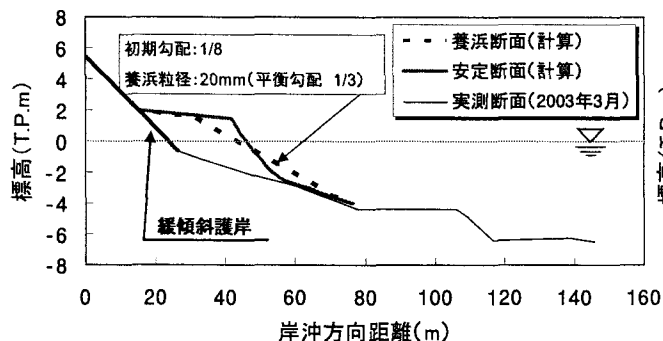


図-4 ケース3の予測結果

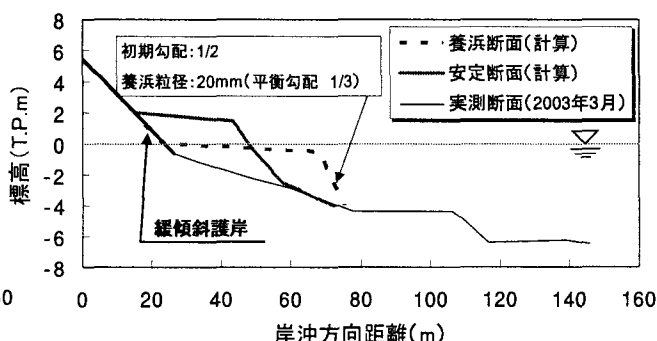


図-5 ケース4の予測結果

緩傾斜護岸の改善策としての礫養浜を提案する。一般に、粒径が20mm程度の礫は汀線付近に打ち上げられ、1/3程度の急な前浜勾配を形成して安定することが知られている⁴⁾。そこで、緩傾斜護岸ののり先の露出を防ぐために、緩傾斜護岸の前面で礫養浜を行った後の海浜縦断面形の変化を熊田ら⁵⁾の養浜時縦断面形予測モデルにより予測した。予測に使用した測線は図-1に示すA-A'測線である。

計算は4ケースからなる。ケース1では、標高2mから-4m付近まで礫を急勾配(1/2)で養浜した。ケース2は、同じ範囲において美川海岸の同粒径砂0.5mmを急勾配(1/2)で養浜したもの、ケース3は礫を緩勾配(1/8)で養浜したものである。またケース4では、海上工事によって礫を養浜箇所に投入することを考え、水面から-4m付近まで礫を急勾配(1/2)で養浜した。養浜礫は、従来の調査結果⁴⁾より、粒径20mmに対する平衡勾配は1/3とし、0.5mmに対する平衡勾配は1/15とした。いずれの計算においても沿岸方向の変化は生じることがなく、縦断面のみ変化すると仮定する。この理由は、対象海岸にあっては緩傾斜護岸の両側に既設離岸堤があり、それらの間で養浜を行った場合、離岸堤により沿岸漂砂の流出を阻止することが可能と考えたためである。

ケース1の計算結果を図-2に示す。養浜時よりも若干勾配は緩いが、初期勾配が礫の平衡勾配と近かったために、海浜縦断面形はほとんど変化せず、礫は冲向き漂砂によって移動することなく、緩傾斜護岸の前面に留まった。これに対し、細粒の0.5mmの粒径砂を用いたケース2では、図-3に示すように粒

径0.5mmの砂の平衡勾配は1/15と緩いために、砂は冲向き漂砂によって移動し、緩傾斜護岸ののり先にはほとんど砂が付かず、護岸ののり先保護にはほとんど効果が出ない。このことから、緩傾斜護岸ののり先の保護を行うには砂養浜よりも礫養浜が好ましいことが明らかである。

一方、礫を緩勾配(1/8)で養浜したケース3では、図-4に示すように波の作用により礫は岸側に打ち上げられ、急な平衡勾配(1/3)を形成して安定した。さらに水面下のみで養浜を行ったケース4では、図-5に示すように水面下の礫は h_R まで打ち上げられ、礫の平衡勾配1/3を形成し安定した。すなわち、礫を水面下で養浜したとしても、波の作用を強く受ける汀線付近を中心に岸向きの漂砂が強く発生し、 h_R 付近まで礫が打ち上がることが分かる。

4. 期待される効果

以上の計算結果によれば、養浜断面を種々変えて礫養浜を行った場合、いずれも最終的に緩傾斜護岸ののり先を礫で覆い、護岸ののり先の保護が可能になったことが分かった。礫養浜自体は我が国各地で行われてきているので、この知見は特に新しいものではない。しかし、本論文では任意形状で礫養浜を行った場合の海浜縦断面形の変化を定量的に予測可能としたことから、その実施に際しての有効な手段が得られたと考えられる。現況では緩傾斜護岸の被災が続くと考えられることから、再度災害の防止上有効な手立てになると考えられる。さらに、礫浜は浸透性が

高いために越波の低減にも役立つので、防護レベルの向上にも繋がる。また緩傾斜護岸ののり先が礫で覆われることで、生物付着が完全に防止できるので利用者の安全性の確保のためにも有効であるし、礫は汀線付近に急勾配をなして堆積するので、礫の沿岸方向への流出を防止する施設規模は最小限にすることができ、石川海岸にあっては既設の離岸堤と背後の舌状砂州が防砂突堤として役立てることができることも利点である。欠点は、もともとこの付近は砂礫浜であったことから、そこに礫のみ敷かれた場合の海岸環境の変化である。しかしこれとても現況のように一部破損した緩傾斜護岸がむき出しとなっている状況と比較すれば、はるかに状況改善になると考えられる。

参考文献

- 1) 宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・清野聡子：緩傾斜堤に係わる様々な問題点の整理，海洋開発論文集，第15巻，pp. 523-528，1999.
- 2) 宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・清野聡子：緩傾斜護岸の望ましくない使用法とその是正法，海洋開発論文集，第17巻，pp. 631-636，2001.
- 3) 芹沢真澄・宇多高明・小林昭男・星上幸良・三波俊郎・古池 鋼：直立護岸との比較における緩傾斜護岸の越波量の評価と問題点，海洋開発論文集，第19巻，pp. 237-242，2003.
- 4) 門松武・宇多高明・大杉広徳・伊藤弘之：東播海岸の西島地区における礫養浜の現地実験，海岸工学論文集，第38巻，pp. 301-305，1991.
- 5) 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄・小林昭男：混合砂による養浜時縦断形予測モデル，海岸工学論文集，第50巻，pp. 596-600，2003.