

新しいのり面被覆工法の開発

豊 島 修*

1. はじめに

近年全国的に海岸侵食の傾向が強まり、従来の砂浜上に設置されて来た海岸堤防や護岸が急激な汀線の後退によって各地で破堤・欠壊する事例が相次ぎ、場所によっては2度、3度とほぼ同様な被災をくり返した事例もあり、関係者がその対策に苦慮している所も少なくない。

これらの原因にはいろいろの要素が考えられるが、堤防・護岸の構造物の側に限って見れば、その表のり面による波の反射と、前面基礎洗掘および“吸い出し”が大きなウェイトを占めていることは、従来から経験的によく知られている所である。

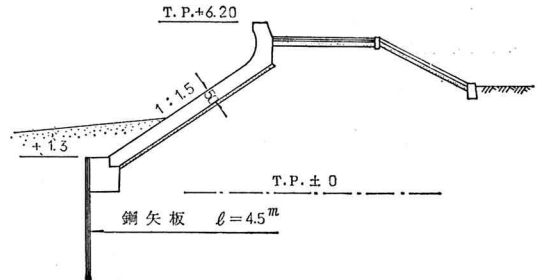
筆者はかねてから“やわらかい工法”を提唱し、侵食性の海岸では原則としてコンクリート被覆護岸や矢板付バットレス護岸はやめて、緩傾斜ののり枠工法や異形コンクリートブロックによるのり面被覆工法を採用するよう推奨してきた。これらのラフな工法は波の反射や基礎洗掘を小さくし、吸い出し作用を防止する効果があると考えられるからであった。

しかし、これらの工法も、他の原因で汀線が次第に後退し、基礎前面が洗掘されるようになると、基礎工なしの構造が場合によっては弱点となって、のり面下部の基礎工相当部が被災するおそれがないわけではない。

このため筆者は、多少の洗掘にも耐え、蛇籠工のように地盤の変化に応じて適宜沈下追従してゆく屈撓性を有し、コンクリートブロック間の連繋が十分確保され、かつ、のり面被覆工のうち下部の方のブロックがそのまま基礎工の機能を十分発揮するような工法について鋭意研究を進めて来たが、ここに一つの成案を得ることができたので報告する次第である。

2. 従来ののり面被覆工の問題点

わが国の海岸堤防・護岸の新設・改良は、昭和25年度から国の予算補助による公共事業としてスタートしたが、昭和28年の13号台風および同34年の伊勢湾台風を経験して、初めて海岸工学的な見地からの本格的な工法・技術が採用されるようになった。



図—1 傾斜式コンクリート被覆堤防

その後は“伊勢湾型”ともいふべき図—1のような、傾斜式のコンクリート被覆型が、その工費の低廉と施工容易の点から全国各地で用いられるようになったが、これらが全国的に普及し始めるのとほぼ時を同じくして、全国的に海岸侵食の傾向が大きくなり、これらの傾斜式コンクリート被覆工法は前面海浜の消失を促進し、簡単に吸い出しを受け、盛土上にコンクリートを被覆しただけの工法は、のり面を支える何ものもなく、簡単にバラバラに被災するところとなった。



写真—1 傾斜式コンクリート被覆堤防の破堤

このような被災例が各地で報告されるようになって、多少の吸い出しにも耐えられ、背面土砂が少々流出しても自立して何とか効用を発揮しつつける可能性が強いという考え方から、バットレスタイプの表のり被覆工法が多額の期待を持たれて登場し始めた。

このバットレスタイプ（扶壁式）は、底版をひろくって支持力を大きくし、背面土砂が多少吸い出されても表のり単独で相当の波圧まで耐えうることを期待して、

* 正会員 工博 東海大学教授 海洋学部海洋土木工学科

扶壁で補強したもので、基礎洗掘に対してはかなりの深さまで抵抗できるようにカットオフを十分入れ、その上に、なおそれ以上の洗掘に対しても“吸い出し”を防ぐための“用心工法”としてカットオフの下に矢板を打ったものである。

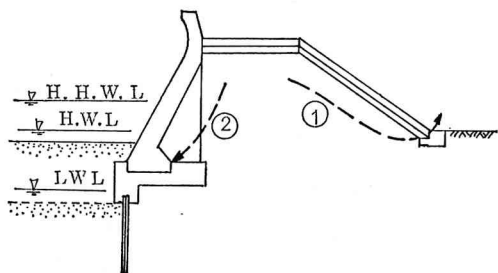


図-2 バットレスタイプ表のり被覆堤防

バットレスタイプは底版をひろくとり自立機能を高めたので耐波性が向上し、簡単に被災しなくなるだろうとの期待のもとに施工され始めたが、一方では、従来の傾斜式コンクリート被覆堤防の表のり勾配が平均 1:1.5 程度であったのに対し、バットレスタイプは 1:0.5 が普通であり、波の反射は傾斜式にくらべてかなり大きくなり、前面海浜の砂浜消失が促進されるおそれが十分予想された。

しかし、バットレスタイプが海岸堤防として用いられている限り、“吸い出し”のおそれは少なかった。

すなわち、海岸堤防の場合は、越波や降雨の堤体内への浸水・滲透は比較的少ない上に、たまに入ってきたこれらの堤内滲透水は主として上図の①のように裏のり尻から排水され、②のように堤体内間隙水としてたまることは少ないと考えられる。したがって、前面海浜が侵食されて入射波の波力が大きくなり、波力によってバットレス被覆工が被災することはあっても、その前に吸い出しによって裏側に空洞が生じ簡単に倒壊するという事例はどちらかといえば少ないと考えられる。

しかるに、バットレス被覆工が“護岸”として用いられるようになってから“吸い出し”によって簡単に被災しバラバラになることが明らかになって来た。

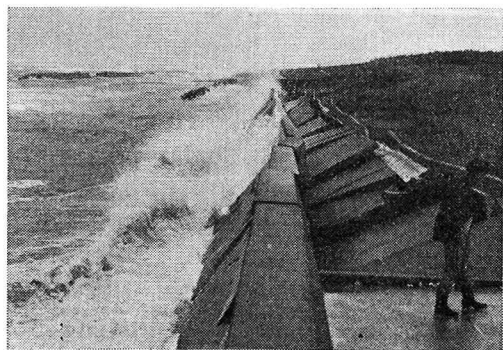


写真-2 バットレスタイプ護岸の吸い出しによる被災

護岸の場合は背後地の方が高い場合が多いので、越波や降雨のみならず、背後地斜面の流出水や、排水溝、排水口からの漏水や小河川・溝渠の溢水などかなり広範囲の水が護岸背後に集まって来る可能性がある。

前面砂浜が図-3の①のように十分高い場合はほとんど問題はないと思われるが、②のように H.W.L. 位の高さまで砂浜が低くなると入射波の反射によって護岸の前面洗掘が著しくなり、前浜は急速に侵食されて、L.W.L. またはそれより低い③の位置まで急激に低下する。

こうなると、入射波は護岸直前まで来て再砕波するようになり、衝突波の一部は図中の④のように大きく護岸上にうち上がり、衝突の際にバットレス護岸に大きな衝撃力を与えるようになる。

次に一転して前面の波面が谷の位置(図中の⑤)に下がると、瞬間的に負の水圧が働け、バットレス護岸の堤内側の間隙水圧との間に大きな圧力差が生ずる。

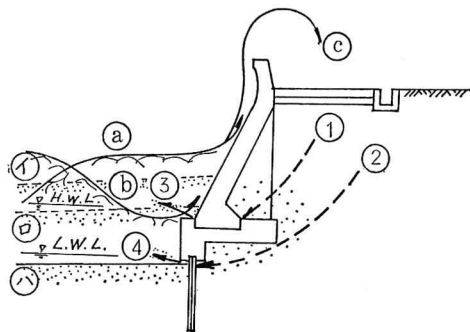


図-3 バットレスタイプ護岸の吸い出し機構

こうして堤内被圧間隙水は、①から③へ、あるいは②から④へと土砂を伴いながら護岸前面へと吸い出されてゆき、堤体内は空洞化し、次第に強まるのり面への波力に耐え切れなくなってカットオフの上下あるいはのり面途中の施工継手から折損し、倒壊してゆく、そして多くの場合、②の吸い出しによって底版下の砂も動き、底版は支持力を失ない、バットレス本体は一瞬矢板1枚にて支えられた形となり、直ちに矢板頭部が挫屈・破壊してのり面本体が倒壊する。かくて底版も矢板も期待された機能を発揮しないままに多くの護岸が被災した。

3. バットレスタイプの改良案

多少の洗掘に対しても十分の自立性を期待して底版をひろくって考え出されたバットレスタイプではあったが、先に述べたように、その固さと止水工法とがわざわざ逆に吸い出しを促進する結果となった。そこで筆者は、これを吸い出しに強い侵食性海岸向きに改良する方法を検討した。これを図-4に示す。

まず、護岸背後の土砂の代りに栗石や碎石を用いて充填し、越波や降雨その他の堤内間隙水が滲透しても、こ

れを表のり面に多数設けられた排水孔から直ちに排水させ、間隙水圧を高めないとともに、排水に伴う土砂の流出を止める。次に表のりも基礎工も止水性は全く必要がないので、止水矢板や止水板は一切やめる。また折角ひろくとした基礎底版には、同時被圧などの集中力に十分対抗できるよう栗石を十分注意して敷き均す。なおこの基礎栗石が前面洗掘で散乱しないよう、前面に消波兼用の根固工を設置する。

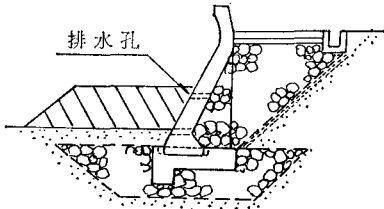


図-4 パットレストाइプ護岸の改良案

このように、堤体内側の間隙水が簡単に排水できるようになると、吸い出しもなくなり、このパットレストाइプ護岸はかなり長期間にわたって安定し、効用を発揮しつづけると思われる。

それでは、この形が侵食対策護岸として最ものぞましい形であるかという点、実はまだ大きな問題が残っている。それは表のり面による波の反射の問題である。

今まで各地の侵食性海岸で、護岸を設置したためにかえって砂浜が消失してしまったという例がかなり多いことに注目する必要がある。これは、地盤を被覆して土砂が持ち去られるのを防ぐために設置した筈の護岸が、従来の天然海岸にくらべて入射波を大きく反射するため、護岸前面の砂は今までより大量に沖へ持って行かれ、護岸の背後はカバーしても、前はかえって砂浜が無くなってしまい、護岸のない所の方がまだ広く砂浜が残っているという結果を招いて、果してこれが侵食対策なのかと疑問をいだかざるを得ない事例が決して少なくないということである。

このような観点から次に考えた改良案は、図-5 に示すような異形ブロック被覆護岸である。従来も異形ブロック張り護岸として比較的海底勾配の緩かな海岸に小規模のものを設置した例がいくつかあるが、図-5 に示す

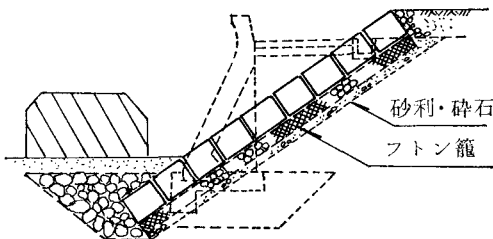


図-5 異形ブロック被覆護岸

ものは、外洋に面し、かなりの波力が予想される海岸において、図-4 よりさらに一步進んだ工法として筆者が考案したものである。すなわち、排水用の孔を多数あけた表のりコンクリートを型枠を用いて現場打設するよりも、のり面全体を多くの空隙をもつプレキャストの異形ブロックで被覆した方が有利と考えたからである。

この工法は、

- 1) 表のり被覆ブロックおよびその下に敷かれたフトン籠、栗石、砂利層によって、堤体内間隙水の排水は勿論、うちあがった波のかかなりの部分はブロックの隙間や栗石、砂利層を通してゆっくりとタイミングがずれて表のり尻へ出て来るので、のり面表面のもどり流れは小さくなり、のり面の反射率の低減と相まって、前面洗掘がかなり緩和される可能性がある。
 - 2) 入射し衝突して来る波が、ブロック1個ごとに別々にかつ時間差がついて当ることによって集中的な同時波圧は著しく減少する。
 - 3) 全体が屈撓性に富み、のり裏に空洞が生ずるおそれは極めて少ない。
 - 4) 全体がラフな開放性構造であるので、止水矢板や止水のための工法が全く不要である。
 - 5) 止水矢板や基礎工コンクリートなどが無いので、仮締切工法が著しく簡易化され、前面消波堤の一部を先行施工することによって工期は大幅に短縮できる。
- といった機能と特性を具えており、従来のパットレストाइプ表のり被覆護岸にくらべれば数段有利な工法ということができよう。

たまたま、7920 台風により大きく被災した静岡県静岡海岸の災害復旧工法としてこの工法が採用されたが、今のところまずまずの成果を得ている²⁾。

しかしこの工法にも次のような問題が残されている。

- 1) ブロックは一応同一種、同一重量に限られる。
- 2) 鉄筋又は連結金具で十分相互に連結しておく必要がある。
- 3) 前面砂浜が侵食されて基礎部分が露出するようになると、基礎部分のブロックはのり面のブロックと同一重量のものであるため、波で叩かれ、あおられるおそれがあり、この場合鉄筋や連結金具では保持できなくなってブロックが散乱する可能性がある。
- 4) 鉄筋や連結金具は何回か波浪の衝突を受けている間に、錆びたり曲がったりして、疲労し折損するおそれがあり、ブロックの耐用年限にくらべて連結金具の維持に問題が残っている。

これに対し筆者は、上に述べたような問題点を一気に解決し、砂浜海岸に設置される海岸堤防または護岸の表のり工法としては目下のところ最も安定性が高いと考えられる新しい工法を開発した。そして、この工法を可能ならしめたのが新型ブロックの考案であった。

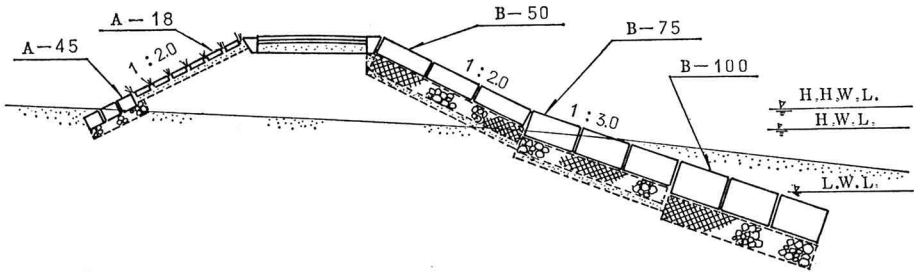


図-6 新しいのり面被覆工法—CBS 工法

4. 新しいのり面工法—CBS 工法の開発

新工法 CBS 工法は Chainless Block Setting 工法 (図-6) であり、この工法は同時に考案した新型ブロックによって可能となったものである。

まず、この新型ブロックの特長を述べる。

- 1) 面の形は正方形の両脇をしぼった臼型で、上下に孔をあけた 8 の字型をしている (図-7)。
- 2) 厚さは型枠の組み合わせによって適宜に変えられるようになっており (表-1)、同一平面形で厚さと重量の異なる数種類のブロックの製作が可能という特長をもっている。
- 3) ブロックの積み方、張り方、並べ方は、図-8 に示すように互いに半分づつずらしブロックの胴のくびれが相互にかみ合うように並べる、これによって、左右方向に著しいゆるみが発生しない限り上下方向には抜けないようになっている。
- 4) 並べ方には密な並べ方のほか、図-9 に示すような疎な並べ方も可能である。この場合には各ブロック間の間隙を適宜に保持させるために、各ブロックの間に適当な栗石やコンクリートブロック (塊) などを詰めて各ブロックの位置が大きく移動しないようにする必要がある。
- 5) 仮に中央付近のブロック 1 個 (図-10 の黒塗) が何らかの原因で取り外されたとしても、その周辺の 6 個のブロック (図中のハッチ印) はそれぞれ隣り合うブロックにはさまれて、黒塗りブロックの抜け跡へ移動しようとしてもできない機構に

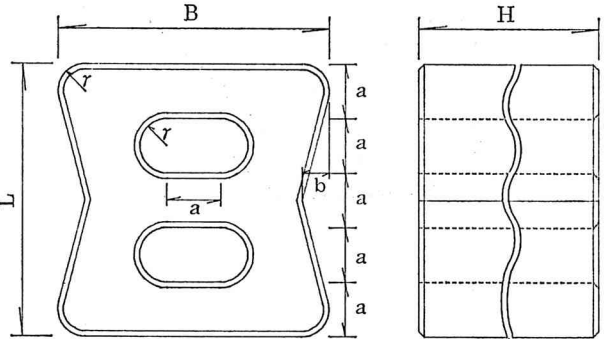


図-7 CBS 工法用新型ブロック一般図

表-1 新型ブロック一般仕様

型	Bm	Lm	規格	Hcm	公称重量	実重量	体積	型枠面積	a	b	r	使用場所
A	0.50	0.50	A-18	18	80 kg	79.47 kg	0.03455 m³	0.7097 m²	ca	ca	5	堤防裏(砂のり)
			A-45	45	200 kg	199.2 kg	0.08660 m³	1.511 m²	10	5	ca	河川護岸
B	1.50	1.50	B-50	50	2 t	1.946 kg	0.846 m³	6.25 m²	ca	ca	ca	海岸表護岸(上)
			B-75	75	3 t	2.942 kg	1.279 m³	8.46 m²	30	15	15	海岸表護岸(中)
			B-100	100	4 t	3.940 kg	1.713 m³	10.68 m²				海岸表護岸(下)

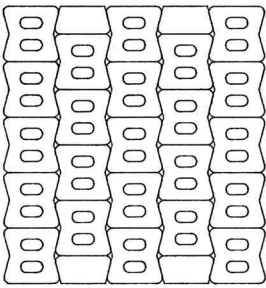


図-8 密な並べ方

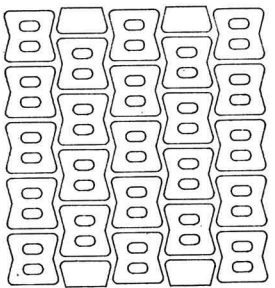


図-9 疎な並べ方

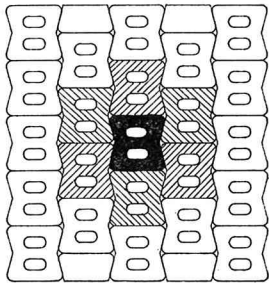


図-10 ブロック 1 個を抜く

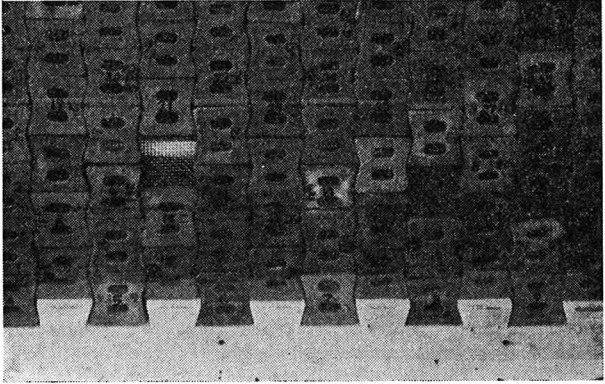


写真-3 ブロック 2 個を取り外して行なった模型実験

っており、これについては東海大学海洋学部の二次元大型水槽における縮尺(1/30)の模型実験において、ブロック2個を取り外して最も条件の厳しい波を数10波連続して当てた結果十分安定であることが確かめられている(写真-3)。

以上述べたような特長を有する新型ブロックを、砂浜海岸の表のり被覆工に用いる新しいのり面工法、CBS工法の特長は次のとおりである。

- 1) 前にも述べたように、このブロックは並べるだけで十分なブロック相互の連繋性を有するので、鉄筋や連結金具あるいはコンクリートなどを一切使用せず、現場で直接空積み・空振りで施工することを最大の特長とする。
- 2) 同一平面形でありながら、厚さ、重量の異なるブロックを現地で容易に製作できるので、図-6に示すように、基礎部には4tクラスの基礎ブロックを据え、のり尻部には3tクラスを用い、のりの中腹から上部にかけては2tクラスを用いるなど、全く同一種のブロックを並べる如く容易に被覆することが出来、基礎工からのり面上部まで一連の被覆が可能である。
- 3) ブロックはすべて空張りであるから、かなりの屈撓性を有するとともに、のり面の中で適当に勾配を変化させることも容易である。
- 4) 基礎からのり面まですべて空張りであるから、吸い出しの生ずる余地はなく、当然ながら、止水矢板や止水工法は全く不要である。
- 5) 前面基礎部の多少の洗掘に対しては、基礎部のブロックが上部のブロックと連繋を保ったまま直ちに追隨して行くので、急激な基礎洗掘や基礎工のり尻部の空洞化などの生ずるおそれはかなり小さい。
- 6) のり面全体が空隙の多いラフなブロック張りでありまたブロックは1個ごとに別々に動き得るので、入射波の衝突による波力や、入射波の反射率などは在来の同一勾配のコンクリート被覆堤防にくらべても著しく減少するものと思われる。
- 7) ブロックの下には適当なフトン籠や栗石・砂利層が置かれるので、うちあげ波のかかなりの部分はのり面から滲透し、表面を流下するもどりの流れの量と流速はかなり小さくなることが予想され、上述の反射率の軽減とも相まって、前面砂浜の洗掘を減少させ、場合によっては逆に堆砂の促進につながる可能性も少なくない。
- 8) 東海大学海洋学部における模型実験によれば、二次

元造波水槽による、静岡海岸をモデルとした波うちあげ高に関し、新型ブロックをのり面に被覆したモデルの場合は、そのブロック間およびフトン籠等の空隙が有効に作用したためか？ 在来のコンクリート被覆堤の場合にくらべて、波のうちあげ高が1~2割小さくなることが判明している。

以上のような工学的・構造的特長のほかに、このCBS工法は、また次のような特長を有する。

- 1) 基礎の施工にあたり、従来の止水矢板やカットオフなど矢板打ちやコンクリート現場打設が全く不要であり、床掘後簡単な1本土台程度で基礎ブロックを1列に敷き並べることによって基礎工の施工はほぼ完了するので、仮締切の工法やその期間が著しく簡易化、短縮化されて、工期が大幅に短縮され、また基礎工施工中の手もどりの工事などがほぼなくなる利点をもつ。
- 2) 仮に将来侵食が進んで、在来設置のブロックの重量が軽すぎると思われる時は、厚手のブロックと現場で比較的容易に取り替えが可能である。
- 3) 先端部が地盤の変化によく追隨し、これに伴って下部のブロックも自然と勾配が変化してゆくであろうから、砂浜上に設けられる船揚場等の構造には最適であると考えられる。
- 4) 天端付近および裏のりには、疎に並べたA型のブロックの空隙に芝を用いる工法が現場の環境ともマッチして有効であろう。
- 5) 当然のことながら、この工法はなるべく緩勾配に施工されることがのぞましい。波返しは特に設けず、代りに越波対策して裏のり、裏のり尻にもこのブロックA型を用いて十分被覆しておけば、堤防・護岸新設後も、海浜への出入りはどこからでも自由にできる利点をもつ。

6. おわりに

年々急速に進行しつつあるわが国の砂浜消失現象に対し、このCBS工法は従来の工法にくらべてかなり有利な点が多く、現状では砂浜に新設するのり面被覆工としては最も適した工法ではないかと考えられる。

御意見、御批判を頂ければ幸いです。

参考文献

- 1) 豊島 修・斉藤 晃・小菅 晋・煙山政夫: 7920台風による駿河湾沿岸の海岸災害について、第27回海講論文集, pp. 552~556, 1980.
- 2) 豊島 修・高橋 彌・鈴木 勲: 静岡海岸の侵食特性について、第28回海講論文集(予定), 1981.