

海岸構造物前面の海底洗掘防止工法について

嶋田長彦*・児島和之*・河野二夫**

1. ま え が き

海岸や港湾構造物の被災の多くは構造物前面に作用する波や流れにより海底面が洗掘することに起因している。これらの洗掘を防止する工法としてコンクリート版や化学材料マットあるいはアスファルトマットで海底面を被覆する工法が実用化されているが¹⁾、いずれも模索的な段階にあると思われる。これらの被災の原因の一つが海底面の洗掘変形と被覆材が一体化しないために、被覆面と海底面の間に空洞が発生するためであると判断し、洗掘によって海底面が大きく変形した場合でも、その洗掘面に常に密着して可撓できるコンクリート版と防砂シートから成る複合部材を開発した。本論文は開発した複合部材（洗掘防止材）とその適用性について述べたものである。

2. 海岸構造物の被災について

自然海岸に海岸護岸や防波堤などの構造物が設置されると、波や流れが影響を受け、その結果として構造物周辺が洗掘したりして被災の原因になることが考えられる。このような構造物周辺の海底洗掘機構については多くの研究成果が発表されている。他方、洗掘を防止する工法については尾崎らは過去の文献を整理して5種類に分類している²⁾が、大別すれば堤体前面に消波工を設置する工法³⁾と海底や海岸構造物の法面を被覆する工法³⁾になる。

次に、被災の内容については入江が詳細な研究を行っている⁵⁾。すなわち、ケーソンの移動、本体根固工の散乱、マウンド被覆工の散乱、消波工の散乱、法先地盤の洗掘などである。彼は過去63ケースの被災断面を検討し被災の特徴を次のようにまとめている。防波堤の設置水深が10m以下で沖側海底勾配が1/50より急な場合に被災例が多く、他方水深が15m以上で海底勾配が1/100より穏やかな場合は、防波堤法先の洗掘による災害が圧倒的に多いのが特徴である。

3. 複合部材（洗掘防止材）

洗掘防止対策としてアメリカ、ヨーロッパでは、主に透水性のキャンバスを底質流出防止材として使用し、その上にプレキャストコンクリートで押えを施したものが実用化されている。

例えば、アメリカでの実施例として Terrafix などはカタログ等から判断すると、シートの上に、プレキャストコンクリートをロープで縫い、押え材として使用している。またオランダで開発されたソルコマットは、基布の上に小重量のコンクリート塊を接着剤で結着したもので、我が国にも導入され広く普及している。これらの洗掘防止工法は、主に河川の開発に活用されているもので、外力も比較的小さく、従って複合部材の単位面積当りの重量も小さなものである。

本報告の複合部材は、外洋における洗掘防止を目的としたものであり、以下に述べる防砂シート、可撓性コンクリート版および結合剤から構成される。

(1) 防砂シート（底質流出防止材）

我が国では、不透水性の化学材料も数種実用化されているが、地下湧水とか負圧の低減など考慮すると透水性のものが望まれる。消波ブロック等の下に透水性のキャンバスを活用している例も多く、これらのキャンバス類も大別すると繊維を織った布と、繊維質のものを接着剤で固めた不織布に分類できる。

前者の糸を織ったものは、繊維の方向性が一定で、上からの押え材（主にコンクリート）との摩擦係数が一般的に小さい欠点がある。後者の不織布の場合、摩擦係数は大きい繊維の解け出し等の欠点を有している。

土木資材としてのキャンバス利用は歴史もあり、多種多様の中から選択が行えた。本報告の複合部材には耐久性の面から、化学材質としてポリプロピレン系のキャンバスを選んだ。

化学材料ポリプロピレンの欠点は、紫外線による強度劣化にあり、カーボン加工により紫外線対策を施している。表-1にはキャンバスシートの物性が示してある。

次に、表-2にはキャンバスシートの耐候性の試験内

* 正会員 水工技研株式会社

** 正会員 工博 富崎大学教授 工学部土木工学科

表-1 キャンバスシートの物性

項 目	内 容
強度 縦	305 kg/5cm
〃 横	272 kg/5cm
伸度 縦	23.7 %
〃 横	11.2 %
厚 さ	1.42 mm
重 量	357.6 g/m ²
透水係数	6.79 × 10 ⁻² cm/sec

表-2 キャンバスシートの耐候性の試験内容

項 目	内 容
試験機	WE-SUN-HC型
温 度	ブラックパネル温度計63° C
降 雨	(スプレー)120分中18分間
詳細:	JIS-A-1415

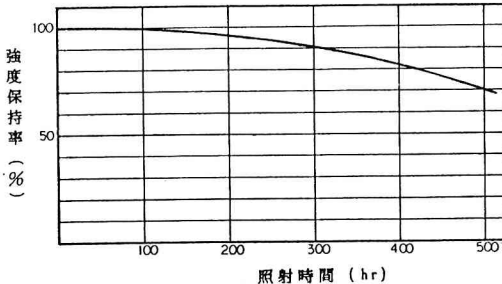


図-1 耐候性の試験結果

容と図-1 にはその試験結果を示してある。

一般に本試験の 200 時間を 1 年分の照射量として換算されている。この試験の結果では、2 年半の自然照射で残留強度 70% を有する値となっている。現実には海中で活用されるものであり、陸上より紫外線は極めて少なく諸外国においても土木資材として実用化されている。

(2) 可撓性コンクリート版 (押え材)

外洋に面する海洋開発資材としては、押え材の重量も飛躍的に大きなものが必要となり、施工システムも合せた多角的検討が必要である。厚さ 0.5 m ~ 1.0 m のコンクリート版を自由に曲げるためには、コンクリート版の中に沢山のヒンジを設けることが考えられる。部材は隣接する部材相互にオーバーラップさせ、そのオーバーラップ部を回転に対し自由なヒンジ構造とすれば、可撓性のコンクリート版を形成することが可能である。図-2 が可撓性コンクリート版を構成する単位部材の形状である。図-2 の部材で構成された可撓性コンクリート版の特性は、空隙率 48%, 上載する集中荷重を隣接する部材に分散する機能を有している。

(3) 結 合 剤

防砂シート (キャンバスシート) と押え材との間の摩

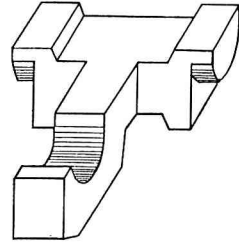


図-2 コンクリート版の単位部材形状

擦係数 $\mu=0.4$ 程度で、キャンバスシートの上にそのままコンクリートを載せた場合、滑動力に対する抵抗力が小さい。またそのような状態では、折角シートの持つ有効な引張力を活用することができない。摩擦係数 $\mu=0.4$ をできるだけ $\mu=1.0$ に近付ける方法としてゴム系の未加硫ゴムに着目した。付着力は 2 kg/cm^2 と比較的小さいが、防砂シートとコンクリート版との一体施工を可能にし、しかも海中でも粘着力を発揮できる材質であり、各パーツ間の結合性が保たれる等の有利性を有している。

(4) 複合部材の施工方法

キャンバスシートと押え材を別々に海底に敷設するには、施工面でロスが多く、また海底に粘着力のある未加硫ゴムでシート上に粘着させることは、施工精度面で不可能である。本報告の洗掘防止工法は、工場でキャンバスシートの上に押えコンクリート版を未加硫ゴムで粘着させた複合部材としてシステム化したものである。写真-1 はその施工状況で、1 パーツを $5 \text{ m}^2 \sim 10 \text{ m}^2$ の単位として据付ける。据付けには写真-1 に示す特殊サスペンダーを使用している。パーツ間の結合部には、キャンバスシートの上に帯状の未加硫ゴムが貼付されている。写真-2 は、海底に敷設された複合部材の状況である。

4. 洗掘防止材の工学的特性

(1) 複合部材に作用する外力の評価方法

洗掘対策の必要な場所は、主に砕波領域内であり、外

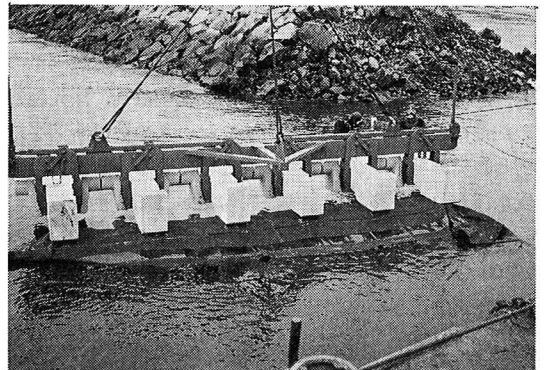


写真-1 複合部材の施工状況



写真-2 複合部材の海底敷設状況

力は押えコンクリート版の端部に作用する水平力 F を次式により求めた。

$$F = 0.31 \cdot C_D \cdot A \cdot w_0 \cdot H \quad \dots\dots\dots (1)^{(6)}$$

ここに、 H ：堤前面の波高(m)， C_D ：抗力係数， A ：受圧投影面積(m²)， w_0 ：海水の単位重量(t/m³)である。式(1)は、魚礁の安定重量を算定する場合の外力を求める式として使用されている。

(2) 複合部材の安定性

洗掘防止材には、消波ブロック等の上載荷重があり、洗掘防止材の滑動は無視できる。図-2 に示したコンクリート版の転倒に対し版厚と波高の関係を図-3 に示した。この関係図はブロック（単位部材）の重心位置に作用する水中重量と同位置に作用すると仮定した水平外力（式(1)の F の値）による単位部材底面端部におけるモーメントの総合が零になるとして算定したものであり、図-3 の横軸には式(1)の波高 H を与えてある。

(3) 複合部材の敷設幅

構造物法尻より洗掘防止版を出す長さは、想定洗掘深さとの関係で決まるもので、定量的把握は困難である。

図-4 は敷設幅の参考断面を示す。図中の B_2 、 B_2' は上載する消波ブロック等が直接現地盤に接しない長さを所要幅とした。表-3 には敷設幅の目安を示した。

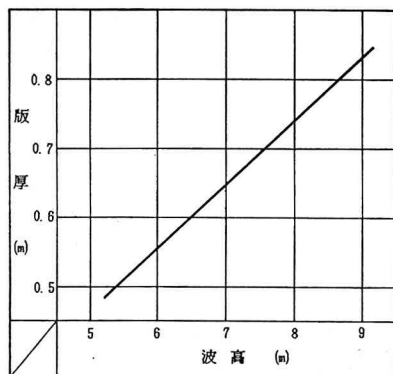


図-3 コンクリート版厚と波高の関係

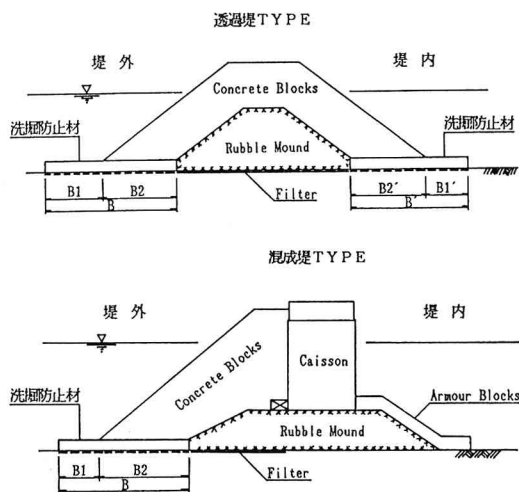


図-4 敷設幅の参考断面図

表-3 敷設幅の目安

版 厚	波浪条件	B1 (堤外)	B1' (堤内)
0.50 (m)	$T < 10$ (s)	3列並び以上 (2.78m以上)	2列並び以上 (2.03m以上)
〃	$T \geq 10$ (s)	4列並び以上 (3.53m以上)	3列並び以上 (2.78m以上)
0.80 (m)	$T < 10$ (s)	3列並び以上 (4.44m以上)	2列並び以上 (3.24m以上)
〃	$T \geq 10$ (s)	4列並び以上 (5.64m以上)	3列並び以上 (4.44m以上)

5. 水理模型実験

可撓性コンクリート版とキャンバスシートとの複合部材の模型実験は、介在する諸条件が多過ぎて、実物との相似性を合わせることが極めて難しい。第1に洗掘防止材模型の製作面における点、第2には洗掘現象を再現する底質粒径に問題があり、本実験は現象面の定性的傾向を見る補足的なものとして行った。

(1) 実験諸元

実験は、幾何縮尺を 1/30, $H_0 = 12$ cm, 周期 $T = 1.0$ s とし、底質材には中央粒径 $d_{50} = 0.08$ mm のガラスビーズを使用した。

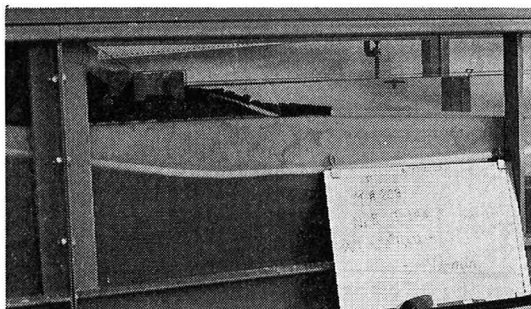


写真-3 実験断面

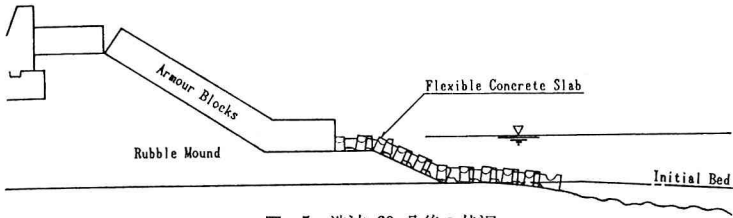


図-5 造波 60 分後の状況

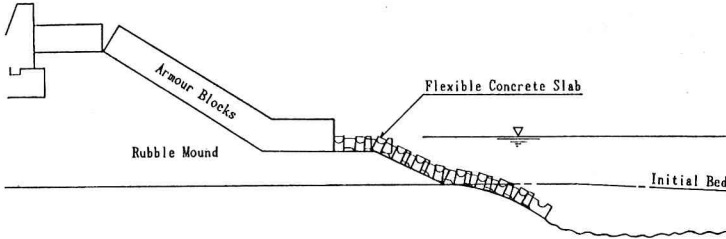


図-6 造波 180 分後の状況

(2) 実験内容と方法

模型実験は、長さ 29 m、幅 0.30 m、高さ 0.50 m のフラップ式造波水路を使用し、規則波を用いた二次元実験とした。

護岸前面の海底勾配は 1/20 とし、洗掘防止版先端部まではレベルとした。水位は、洗掘防止版付近で碎波する様に $h=6.67$ cm とした。写真-3 は実験断面を示す。

本実験では、波は計 180 分間作用させ、波作用 15 分、30 分、45 分、60 分、110 分、150 分、180 分後に地形変化をスケッチおよび写真により撮影し解析した。

(3) 実験結果

洗掘防止版の模型は、先端部から変位が始まり、波作用時間の経過とともに洗掘が進行して行った。図-5 は波作用 60 分後、図-6 は 180 分経過時点の海底地形変化と洗掘防止版の変位状況であり、洗掘防止版先端部は、底質の安息角程度で平衡状態になることが定性的傾向として確認された。

6. 現地の適用例

本論文の複合部材は、山口・九州地区で 20 カ所の実績を残しているが、沖で入射波高の観測されている長崎県手熊漁港の実施例について述べる。本事業は海岸環境整備の一環として、透過性の離岸堤を築造するもので標

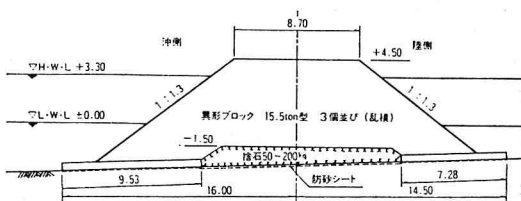


図-7 手熊漁港離岸堤標準断面図

準断面を図-7 に示した。当初この離岸堤は、堤前波高を 4.9 m として検討され、洗掘防止対策として版厚 50 cm の複合部材が消波ブロックの基礎に施工された。施工後、昭和 59 年 8 月 21 日台風 10 号、昭和 60 年 10 月 5 日台風 20 号の波浪条件を表-4 に示した。表-4 に示した波浪条件で、洗掘防止版の標準的変位量を写真-4 に示した。

その後の昭和 62 年 8 月 31 日台風 12 号では、近隣漁港に大きな災害が発生した。この台風の波浪観測データはとれていないが、高潮位と重なり本離岸堤にも設計波高を上回る波浪が作用したものの

表-4 台風時波浪条件

台 風 名	沖波観測データ	現地推定堤前波高
昭和59年8月21日 10号台風	H1/3=4.17m, T1/3=10sec	H1/3=3.8 m
昭和60年10月5日 20号台風	H1/3=4.26m, T1/3=10sec	H1/3=3.9 m



写真-4 先端部変位状況



写真-5 地盤の抱護状況

と推定され、現地調査の結果、離岸堤前面の現地盤が、洗掘によって約 3.5 m 程さがっている。

昭和 62 年 8 月 31 日台風 12 号来襲後の複合部材の変位は写真—5 に示すごとく、堤脚の洗掘に対し順応し、基礎地盤を抱き込む抱護状況を示している。この実証は、水理模型実験による抱護挙動とよく一致している。

7. あとがき

洗掘現象に対する本複合部材の挙動は、水理模型実験と実物によるものとは、ほぼ同一の状態を示すことが確認された。構造物前面の洗掘が連鎖的に広がり構造物の安定を脅かす。これらについては未解決の問題が多く、今後は洗掘に関する種々の要因を探求し、各要因の相関性について研究を進めたい。また、本複合部材は多くの実績を有しており、キャンパスシートの疲労度等を追跡調

査として行いたい。

参 考 文 献

- 1) 尾崎 晃・鴻上雄三・田崎邦男・中野 浩・小川明久：洗掘防止工の現状と海底面被覆工の波力に対する安定性，第 34 回海岸工学講演会論文集，pp. 416～420，1987.
- 2) 入江 功・栗山善昭・浅倉弘敏：防波堤前面の洗掘防止工について，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp. 445～449，1985.
- 3) 尾崎 晃・鴻上雄三・松崎勝夫・田崎邦男・西川利一：アスファルトマットの撓み変形の模型化と洗掘実験，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp. 450～454，1985.
- 4) 同上文献 1) に同じ.
- 5) 入江 功：港湾施設の機能維持のための漂砂対策に関する研究，九州大学学位論文，pp. 15～17，1985.
- 6) 全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針，pp. 130～131，1984.