

連繋性のある新型緩傾斜護岸ブロックの開発

(財) 電力中央研究所 長谷川 寛
(財) 電力中央研究所 正会員 鹿島 遼一

1. はじめに

最近の海岸保全計画では、侵食対策と同時に魅力ある海岸環境の創出に着目するようになってきている。そのような対策工として、汀線より前面で波を低減させる離岸堤や汀線陸上部に連繋性のあるブロックを張り、前浜の喪失予防と堆砂の促進を期待する緩傾斜護岸などが施工されてきている。しかし、離岸堤は、侵食対策としては優れているが、条件によっては堆砂量が多くなり過ぎたり、景観が悪いなどがクローズアップされる例が多くなってきている。もう一方の緩傾斜護岸は、親水性や景観面から良い海岸環境を創出することができる工法として、十分広い砂浜がある場所や海底勾配が緩やかな場所に採用されている。しかし、この護岸に用いられるブロックは波浪に対する安定性や護岸前面の堆砂を促進させる集水孔の形状と配列に対して不明な点が多い。また、この護岸に、直接大きな波浪が来ると、法先から不安定になることがある¹⁾。したがって、このような条件に対しては消波機能が期待できる潜堤と親水性のある緩傾斜護岸を組み合わせれば、海浜の侵食を防止することができ、静穏時には堆砂を促進するアメニティの高い海岸保全工となり得ると考えられる(表-1)。

表-1 海岸保全工の機能

対策工	離岸堤	潜堤	緩傾斜護岸		潜堤+ 緩傾斜護岸
機能					
消波性	○ 有る	△ 若干有る	× 無し		△ 若干有る
侵食防止	○ 有る	× 無し	○ 有る		○ 有る
堆砂性	○ 有る	× 無し	△ 平常時促進	⇒	△ 平常時促進
景観	× 悪い	○ 良い	○ 良い		○ 良い
親水性	× 悪い	○ 良い	○ 良い		○ 良い

本研究は、親水性と景観に優れた海浜保全工の開発を目的に、潜堤と組み合わせて用いる緩傾斜護岸用ブロックとして、より安定な連繋性のあるコンクリートブロックを考案し、その水理特性を実験により把握し、まとめたものである。また、このブロックの特徴である連繋性を生かすと、防波堤根固や人工藻礁工への応用が可能であるのでその場合の安定性について水理模型実験により把握したものである。

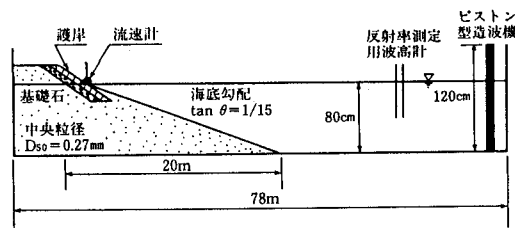


図-1 中型造波水路

2. 透水板実験とブロック形状の開発

(1) 目的

水理模型実験により、前浜の堆積促進に有効と認められるブロック張り緩傾斜護岸の基本的形状を抽出し、その結果を踏まえて新型ブロックを開発する。

(2) 方法

実験は長さ77 m、幅0.9 m、高さ1.2 mの二次元造波水路を用いた(図-1)。その水路内に粒径0.27 mmの砂で侵食性の海浜になりやすい1/15の海底勾配を作り、縮尺1/20程度の移動床模型実験を実施した。

護岸模型は方形開孔を規則的に配列した法勾配 1/2の透水板模型とし、汀線が後退する波(波高10 cm~30 cm)を作用させ、開孔率、開孔形状および開孔配置と前浜の侵食・堆砂特性と反射率の関係を調べた。

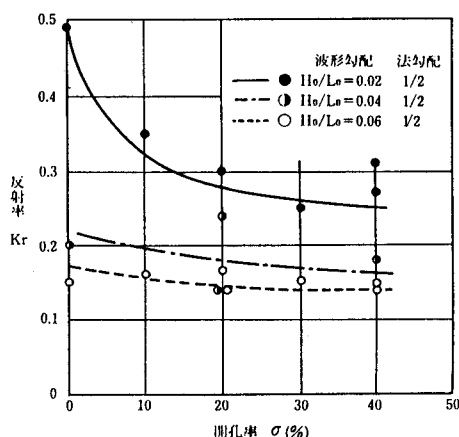


図-2 開孔率と反射率の関係

(3) 結果と考察

前浜の侵食程度は護岸法先の洗掘によって表わされ、その規模は、一般的に、護岸の反射率が增大すると前面水域の擾乱が大きくなり侵食が増大されやすくなる。榎木²は法先の洗掘と反射率の関係を実験で調べ、その関係が比例することを報告している。

このことから洗掘を小さくするには、護岸による反射率を小さくする必要がある。一方、護岸法面背後の侵食は、護岸による非被覆率、つまり開孔率とともに増大すると考えられる。このようなことから、反射率(図-2)と法先の洗掘量を測定し、前浜の堆積促進に効果があるブロック張り緩傾斜護岸護岸の基本的形状を抽出した³。

- ① 開孔率：図-3に示す侵食深さを反射率と背後の侵食傾向から判断すると、透水板護岸の堆積機能が最大に発揮できる開孔率は20%付近と考えられる。
- ② 開孔形状と配置：開孔形状は縦長(汀線直角方向に長い)より横長で、開孔配置は格子状より千鳥配置の方が堆積効果がある。

(4) ブロック形状の開発

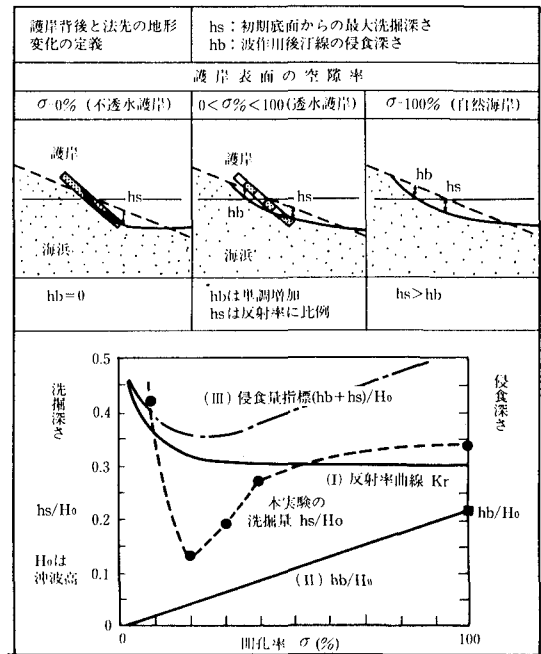
前浜の堆積促進に効果がある護岸平面形状から、開孔はブロックの組み合わせで形成すること、また三次元的な連繋性を持たせること、を基本に緩傾斜護岸のためのブロックとそれによる護岸構造を考案した。考案したブロックと工法の特徴は次の通りである。なお、新型ブロックの名称をシーサップと命名した。

- ① 考案したブロックは図-4の示す通りであり、直方体から上面と下面の2隅を鉤形にきりとった形状でその接合部は案内斜面を有し噛み合わせが良い。この形状は比較的に単純なので施工性に優れていると言える。
- ② 接合部を重ね合わせて横長の開孔を千鳥に形成させ、かつその開孔率は接合長さを据え付け時に調整することにより変えることができ、施工がしやすい(図-5)。
- ③ 図-6に示すように、重ね合わせ構造のブロック1個を護岸面に垂直上方に引き抜くとき、ブロック3個分の重量の引き抜き抵抗がある。

3. シーサップブロック模型による水理模型実験

(1) 目的

シーサップブロックの緩傾斜護岸による侵食防止と堆砂促進効果の確認と護岸ブロックの所要重量を算定するための水理実験を実施した。



護岸法先の洗掘は反射率に比例する。したがって(I)の反射率曲線は洗掘深さに読み変えることができる。(II)は護岸背後の侵食深さを表す。(III)は両者の和であるが、これが最小の時、護岸機能が最大に発揮される。

図-3 開孔率と護岸機能

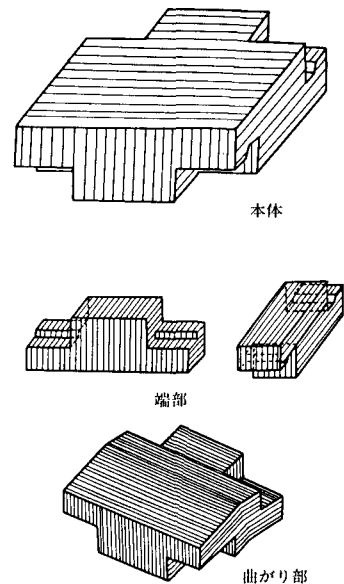


図-4 シーサップブロック

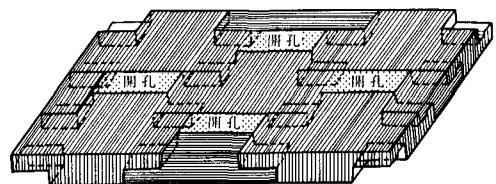


図-5 シーサップ護岸の築造法

(2) 方法

侵食防止と堆砂促進効果の確認実験は、長さ 9cm、幅 6cm、高さ 3cm、接合部2cm×2cm× 1.5cm、重量263g、開孔率18%のモルタル製ブロック模型を使用した移動床実験を行った。実験の方法は前述した透水板護岸実験と同様である。所要重量の算定実験は上記のブロックとそれと相似な 48 g, 87 g, 197gの4 種類のブロックを用いて、水深30cmの固定床上に法勾配 1/3の護岸を設置し、護岸が被災する限界波高を測定した。

(3) 結果と考察

シーサップ護岸は、前浜に堆積を生じさせるため、堆積性波浪条件の範囲を拡大することが明らかになった。このことは波の遡上時に運ばれる砂が、戻り流れ時に下方の開孔に順次捕捉して、護岸前面に砂が堆積することによると考えられる。

護岸の所要重量は護岸の被災限界波高 H_d から、(1)式によるハドソンの公式により求め、図- 7に示す。その結果、法勾配 1/3～ 3/4の条件における実験から既存の同一重量のブロックより安定であることが判った。

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H_d^3}{K_d(S\gamma - 1)^3 \cot \beta} \quad (1)$$

ここに W :重量(tonf),

H_d : 限界波高(m),

$\tan \beta$: 法勾配,

γ_r : コンクリートの単位体積重量(tonf/m³),

K_d : 護岸の安定係数,

$S\gamma$: 海水に対する比重

4. シーサップ護岸の堆砂特性と安定性に関する確認実験

(1) 目的

大型造波水路(写真- 1)を用いた実規模に近い実験を実施し、シーサップ護岸の堆砂促進効果の確認と断面構造の検討および遡上高を把握することを目的とする。

(2) 方法

実験は模型縮尺 1/5とし、中央粒径0.27mmの砂で1/15の海底勾配を作り、重量3.0ton f相当のシーサップで法勾配 1/5の護岸を設置した。その護岸に侵食性ないし侵食・堆積の中間の波を作用させた。実験の目的、条件および護岸前面の侵食・堆積結果を表- 2に示す。なお、清水(1987)⁴⁾の方法により、実験に用いた砂を現地に換算すると、0.27mm～1.35mmの中細砂に相当している。

(3) 結果と考察

確認実験の結果から、1/3法勾配では護岸中央の開孔部から砂が吸い出され、被災が生じたが、勾配 1/5では安定であり、かつ、堆砂促進効果があった(写真- 2)。

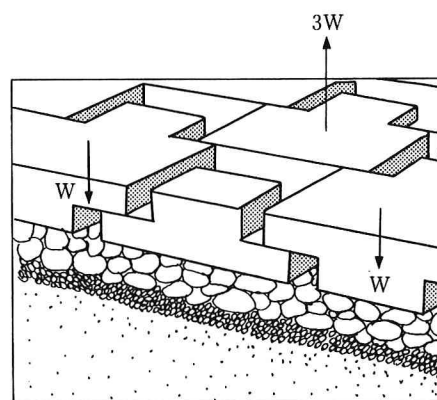


図- 6 引き抜き抵抗

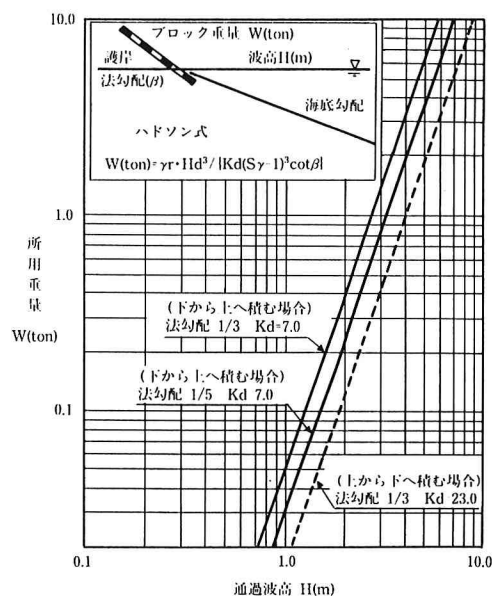


図- 7 シーサップ護岸の所要重量



写真-1 大型造波水路

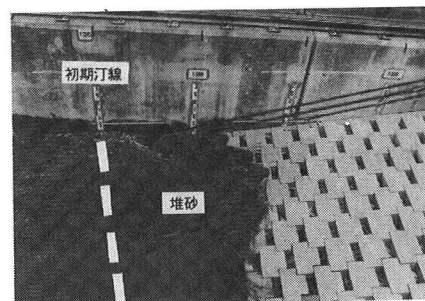


写真-2 砂の堆積の実証

表-2 実験条件と結果

実験 Case	実験の目的	波条件 (実験値)			護岸条件 開孔率	前浜の 状況
		波浪	波高	周期		
01	自然海岸の侵食地形製作	規則波	0.5m	4.5s	----	侵食
02	堆積・侵食限界波高の把握	"	0.4m	6.0s	20%	堆積
03	"	"	0.5m	6.0s	"	中間
04	不規則波で地形変化の測定	不規則波	$H_{1/3}=0.55\text{m}$	$T_{1/3}=4.5\text{s}$	"	中間
05	護岸断面の安定性の検討	規則波	1.5m	6.0s	"	侵食
06	反射率、遡上高などの検討	"	0~1.5m	4.5~7.5s	25%	----
07	"	"	"	"	0%	----

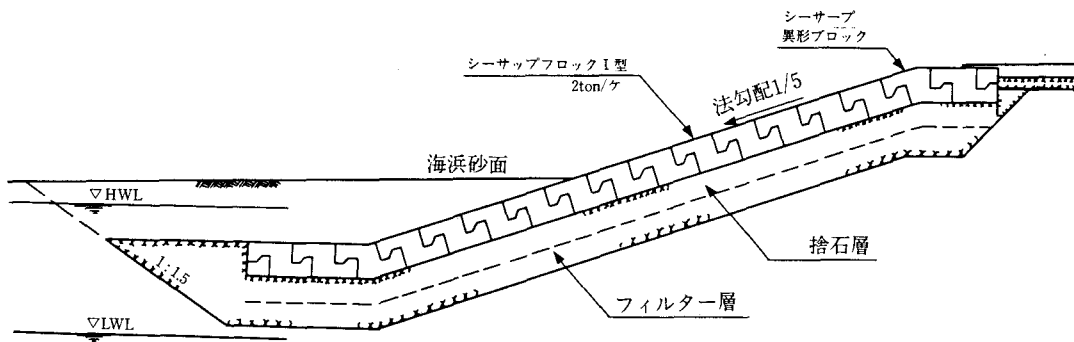


図-8 シーサップ護岸の断面構造

また、シーサップ護岸は侵食性の波に対し被災を生じることなく背後の侵食を防止し、その後の侵食・堆積の中間領域の波に対し、前面の侵食地形の回復させることを確認した。1/5法勾配で砂の吸い出しを生じさせない安定な断面構造は図-8に示すようにブロックの下の捨石層厚が50cm、その下のフィルター層厚25cmの二層構造が適切と判断した。

波のはい上がり特性を図-9に示す。これによると、開孔を有するシーサップ護岸へのはい上がりは不透水の護岸に対して約1/2に低減され、護岸の天端高が設計波の波高位あれば越波はほとんどないと判断できる。

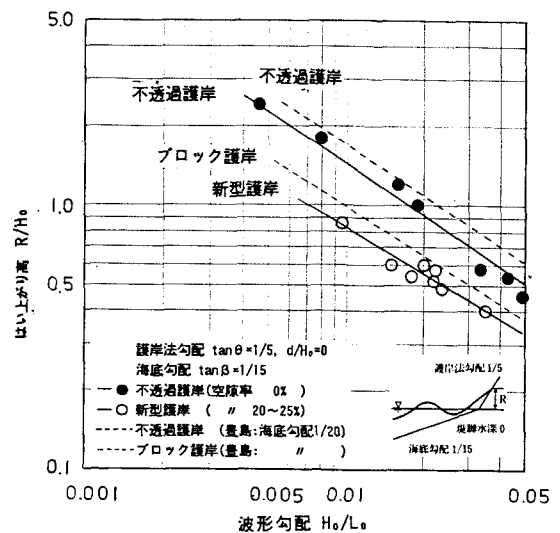


図-9 はい上がり高

5. シーサップブロックの応用

(1) 目的

シーサップブロック護岸の応用として、三次元的な連繋性を生かした防波堤根固工(図-10)と人工藻礁工(図-11)の所要重量などを水理実験により明らかにする。

(2) 方法

実験の方法は3.の水理模型実験と同じであり、波高の小さい波から、順次波高を増大させて、根固と藻礁ブロックの移動限界波高を測定した。

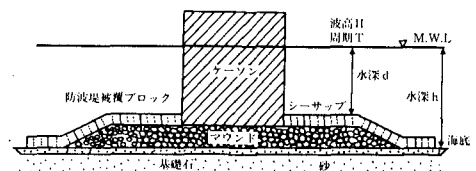


図-10 防波堤根固工

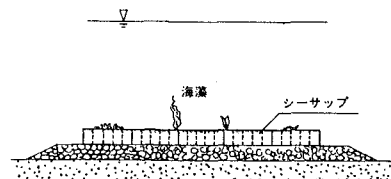


図-11 人工藻礁工

(3) 結果と考察

防波堤根固被覆工については、所要重量を算定できるように、安定限界に関する実験結果を(2)式で整理した。その結果、マウンド水深 d と設置水深 h の比が $d/h=0.7$ の場合(図-12)、シーサップの根固被覆工と被覆石の安定係数はそれぞれ $Ns^3=150$, $Ns^3=22$ であり、方塊より安定係数が高い。設計する場合は(3)式より設置地点の有義波高を求め(2)式に代入して所要重量を計算することができる。

$$W = \frac{\gamma r \cdot H^3}{Ns^3 (Sr-1)^3} \quad (2)$$

$$H = KsH' \quad (3)$$

ここに W :重量(tonf),

H :設置地点の通過有義波高(m),

γr :コンクリートの単位体積重量(ton f/m^3),

Ns :根固被覆ブロックの安定係数,

Sr :コンクリートの海水に対する比重,

Ks :浅水係数,

H' :換算沖波波高(m)

人工藻礁については、所要重量を合理的に決める算定式は提案されていないが、ここでは、重力と揚力のつり合いの式を基本として導かれる(4)式に示す流れのパラメータ Frc を導入して安定性の評価をした⁵⁾。 Frc を算定するのに必要な人工藻礁工上の軌道流速は微小振幅波理論により(5)式で与えた。図-13の被覆石、図-14の方塊および図-15のシーサップの実験結果から、移動限界定数 Frc を求めると、それぞれ $Frc=1.90$, $Frc=1.15$, $Frc=1.60$ となり、被覆石とシーサップが安定性が高く、方塊はこれより不安定であることが判る。これにより、人工藻礁の所要重量は、不規則波群における最高波に対して移動を生じないことを条件とし、(6)式に移動限界定数 Frc と最高波に対する流速 Ub を代入することにより決めることができる。図-16に底面流速に対する被覆石シーサップ、方塊の所要重量を示す。なお、 2tonf 相当を越える被覆石は一般的に入手がむずかしいので、それに代わってシーサップは安定な藻礁工として用い得ると言える。

$$Frc = \frac{\gamma r^{1/6} \cdot Ub}{g^{1/2} \cdot W^{1/6}} \quad (4)$$

$$Ub = \frac{\pi H}{T \sinh(2\pi d/L)} \quad (5)$$

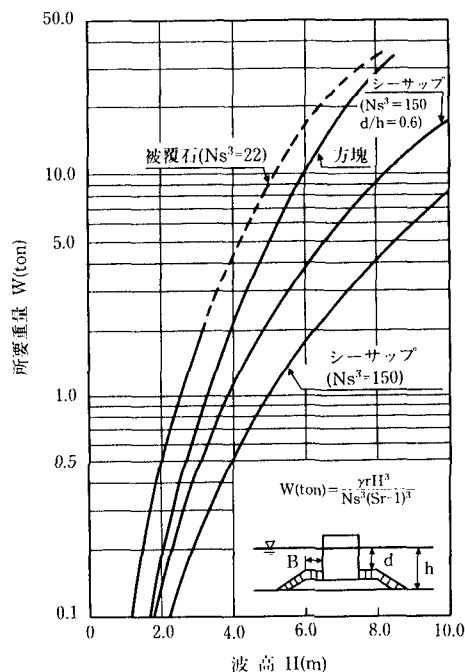


図-12 防波堤根固工の所要重量

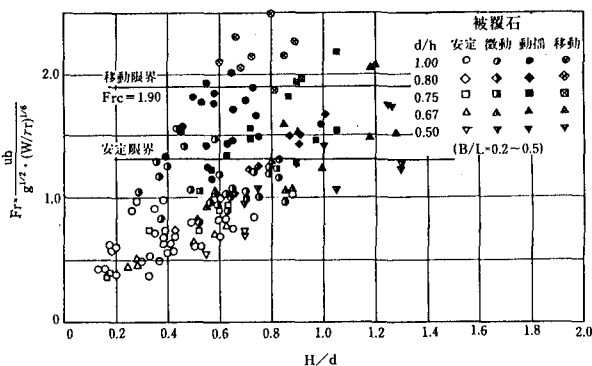


図-13 被覆石の安定性

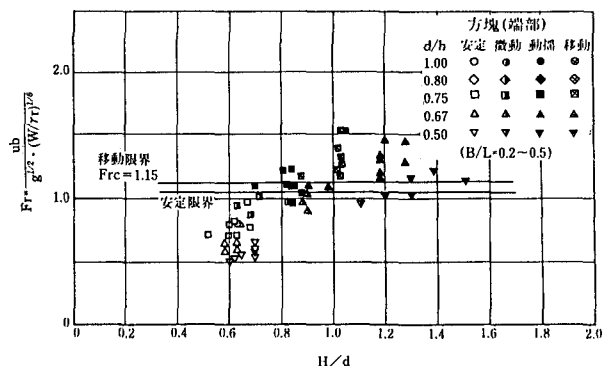


図-14 方塊の安定性

$$W = \frac{\gamma_r \cdot Ub^6}{g^3 \cdot Fr^6} \quad (6)$$

ここに、 W ：被覆材の所要重量(tonf)、
 γ_r ：被覆材の単位体積重量(tonf/m³)、
 U ：被覆工直上の流速 (m/s)、
 g ：重力の加速度(m/s²)、
 Fr ：藻礁工の安定係数、
 d ：被覆工の天端水深(m)、
 L ：波長(m)、
 T ：周期(s)

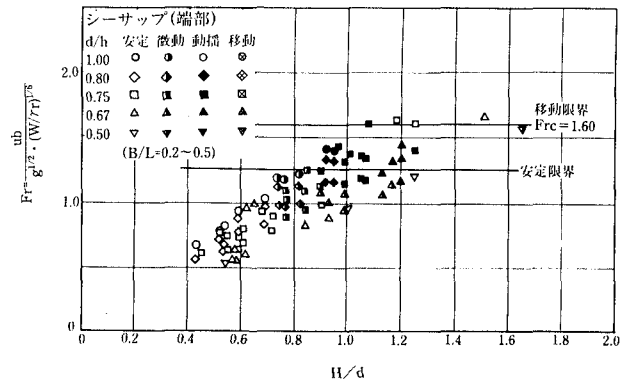


図-15 シーサップの安定性

6. おわりに

シーサップ護岸は捨石とブロック張りが主体となるため、同様な機能を有する階段式護岸における根止め工や階段部の工事に比べ海象の影響は受けにくく、工事期間が短縮できる。また、シーサップブロックは図-17に示すように、それを製作する型枠の面積が小さく、護岸のトータル被覆面積に対する型枠面積の比は既往の消波ブロックなどと比較して小さくなり経済的に有利であると言える。

今後は、防波堤根固工や藻礁工などにおけるシーサップ端部および比重の軽い場合のシーサップブロックの安定性について検討する予定である。

参考文献

- 1) 青木東雄, 芦田義則, 森吉尚, 宇多高明, 小俣篤：緩傾斜堤の設計手法について，第36回海岸工学論文集，pp.658～pp.662，1989
- 2) 榎木 亨：海岸堤防基部の洗掘機構に関する研究（その1），第14回海岸工学講演会講演集，pp329～355，1967
- 3) 長谷川寛, 鹿島達一：緩傾斜護岸用シーサップブロックの開発，電力中央研究所，研究報告U87007，pp18，1987
- 4) 清水隆夫：岸沖海浜変形の縮尺効果，電力中央研究所，研究報告U87059，pp27，1987
- 5) 長谷川寛：海底被覆工およびマウンド被覆工の所要重量，電力中央研究所，研究報告（準備中）

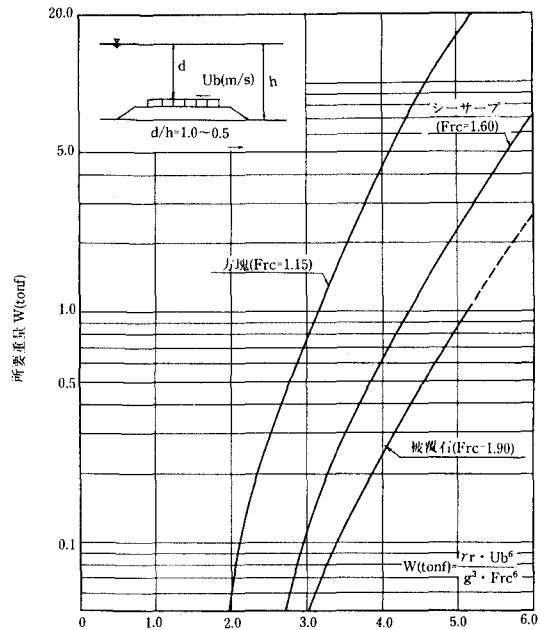


図-16 底面流速 Ub (m/s)

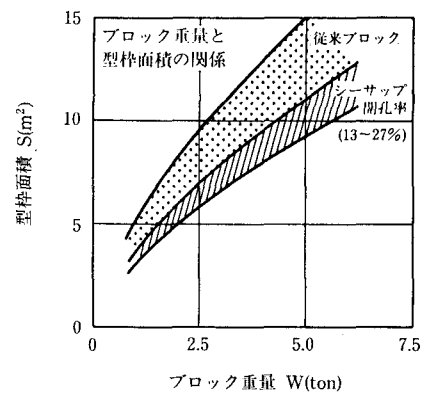


図-17 ブロック重量と型枠面積の関係