

ケーソン式低天端護岸の水理特性に関する研究

HYDRAULIC MODEL TEST ON WAVE OVERTOPPING FOR COMPOSITE-TYPE SEAWALLS WITH LOW CROWN HEIGHT

岩瀬浩二¹・池谷毅²・安部鐘一³・能登谷勇人⁴

Koji IWASE, Tsuyoshi IKEYA, Shoichi ABE and Hayato NOTOYA

¹正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

²正会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

³正会員 北海道電力株式会社 土木部 (〒060-8677 北海道札幌市中央区大通東一丁目)

⁴正会員 北電興業株式会社 技術部 (〒060-0031 北海道札幌市中央区北1条東三丁目1番地)

Offshore man-made islands and reclaimed lands are planned for making use of ocean space. Seawalls are important to reduce wave overtopping rate. Recently, seawalls with low crown height are needed to reduce construction cost. Hydraulic model tests were conducted to evaluate overtopping quantity of four kinds of composite-type seawalls with low crown height. Firstly, wave overtopping quantity is measured to determine the crown heights. Secondly, wave pressure on caissons and parapet is measured to design four types of seawalls considering the site condition. At last, volume of wave dissipating concrete block and concrete caisson is compared with each other in order to evaluate cost reduction of seawall construction. It was found out that the seawall with concrete block on the top of caisson has the highest performance on reduce wave overtopping.

Key Words : Composite-type seawall with low crown height, wave overtopping, wave pressure, hydraulic model test, cost reduction

1. はじめに

海洋空間の有効利用に対する社会的要求の観点から、機能集約型の沖合人工島や水深が大きな海域の埋立造成地は、環境との調和を取りながら今後とも建設が進めらるものと考えられる。大水深で波浪条件の厳しい海域に築造するためには、越波を抑止できる堅固な防波護岸が必須となるが、従来の消波護岸では建設費の増大が問題となる。そこでコスト縮減と好ましい景観を実現するための低天端護岸が必要となってくる。

最近、コスト低減と親水性の面から、低天端を指向した護岸の研究¹⁾が盛んになっている。一般に防波護岸はコンクリートケーソンと消波ブロックの組み合わせからなる混成堤が主流である。今回ケーソン式護岸を対象とし、ケーソンと消波ブロックの組み合わせの中で、コスト低減を主眼とした低天端護岸の水理特性に関する実験的研究を行った。

本報は、考案した新護岸の越波現象を主とする水理特性と数量の縮減効果から見た経済性を、従来の消波護岸を基準として評価した結果について述べるものである。

2. 対象とした護岸形式

防波護岸の最も重要な機能は、後背地の重要構造物を越波から防護することである。今回の研究の対象とした護岸形式を図-1に示す。

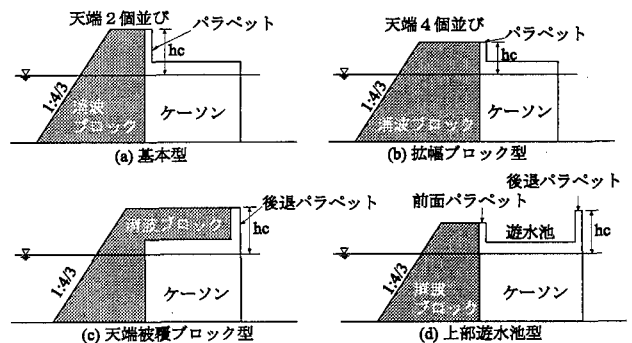


図-1 護岸形式

(a)基本型は設計方法が確立されており、従来から実用に供されている消波ブロック被覆護岸であり、新護岸の越波抑止効果とコスト評価の基準とした。

(b)拡幅ブロック型は、消波ブロックの天端を4個並びとして拡幅し、ブロックによる消波効果を期待して護岸天端の低下を目指したものである。

(c)天端被覆ブロック型は、ケーソン天端上に消波ブロックを2層積みで配置し、波浪のエネルギーの集中する静水面上部を十分に消波して越波を抑止することを期待した護岸である。基本発想は消波ブロック部分の内、波浪エネルギーの減衰への寄与の少ない部分にケーソンを入れ込むことである。

(d)上部遊水池型は、ケーソン上に遊水池を設け、ここに水塊を飛び込ませることによって波浪エネルギーを減衰させることを主眼とした護岸である。

それぞれ護岸の天端高さを低下させて、消波ブ

ロック量とケーソン体積を基本型より減少させてコスト低減を目指した形式である。

3. 現地条件

想定した現地条件を表-1に示す。越波防護効果の指標となる後背地への許容越波流量 q_a は、港湾の設計基準²⁾を参考にして $0.02\text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ とした。この値を護岸の選定を行う際の越波防護性能の基準とした。施工時の波浪による滑動安定計算からケーソンの最少必要幅 B は12mとなった。

表-1 現地条件

諸 元	数 値
護岸設置水深	12m
海底勾配	1/100
換算沖波	$H_0'=8.3\text{m}$, $T_0=13\text{sec}$
設計波	$H_{\text{max}}=9.1\text{m}$, $H_{1/3}=6.9\text{m}$, $T_{1/3}=13\text{sec}$
許容越波流量	$q_a=0.02\text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$
最少ケーソン幅	12m

4. 護岸選定のための水理実験方法

2次元造波水路を用いた断面実験により護岸の越波特性と波圧特性に関する検討を行った。実験縮尺は1/50とした。今回の実験では風の影響は考慮しなかった。

図-2に実験水路への模型の設置状況を示す。長さ60m,高さ1.5m,奥行き0.7mの水路に1/100勾配の斜面を置き,所定の水深位置に護岸模型を据え付けて設計波の諸元を有する不規則波を作用させた。周波数スペクトルはBretschneider-光易型とした。

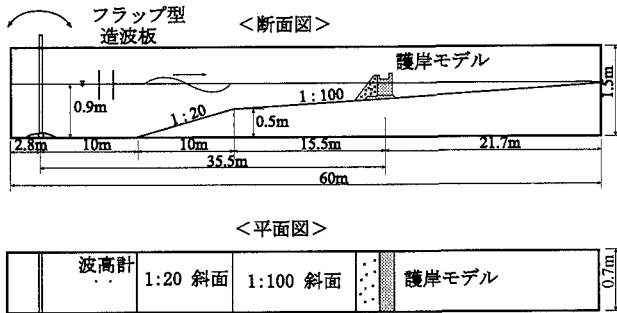


図-2 実験水路

今回の実験では護岸の形状を様々に変化させる必要があるため、ケーソン部の前面パラペットと後退パラペットの高さおよびケーソン一般部の高さ、さらにケーソン幅等を自在に変化できる鋼製ケーソンモデルを用いた。図-3に形状可変ケーソンモデルを示す。

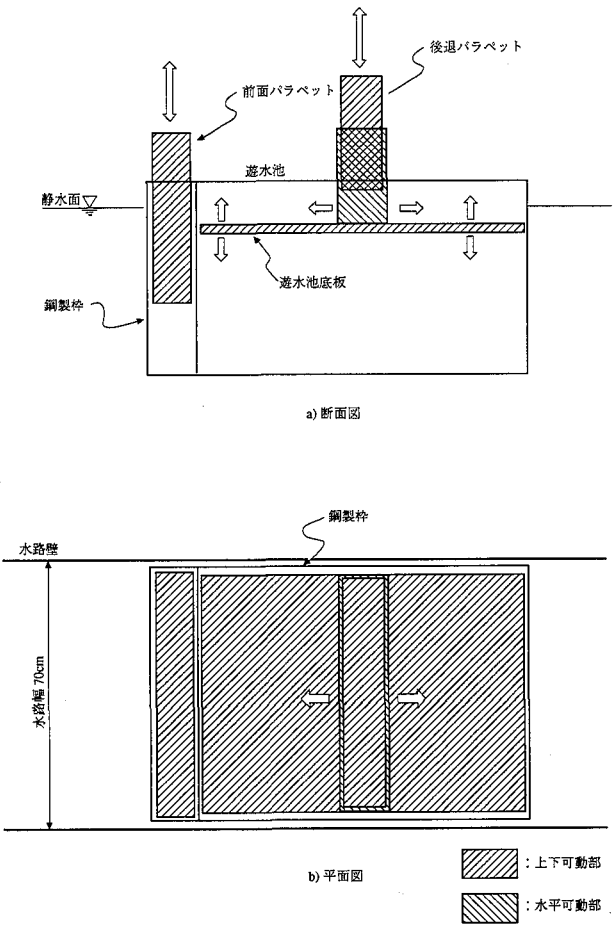


図-3 形状可変ケーソンモデル

越波流量の測定方法を図-4に示す。護岸に入射しパラペットを越える水を升到り流し込んでロードセルで連続的に測定した。作用時間は波数にして約600波とし、計測時間中の平均越波流量を求めた。また、跳波の高さは目視により観察した。

ケーソンに作用する波圧の測定方法を図-5に示す。パラペットおよびケーソン前面に波圧計を埋め込んで計測した。なお、衝撃的な波圧を精度良く計測するため、サンプリング周波数は500Hzとした。同時に消波ブロックの安定性も目視により観察した。

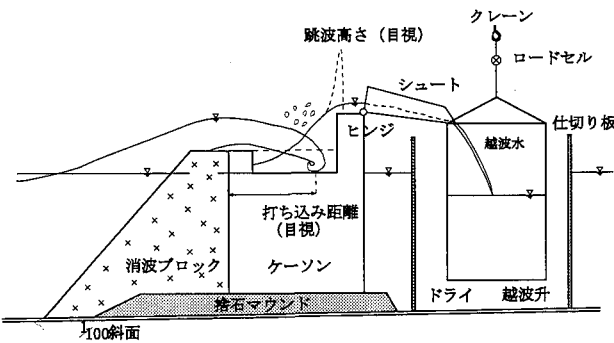


図-4 越波流量の測定方法

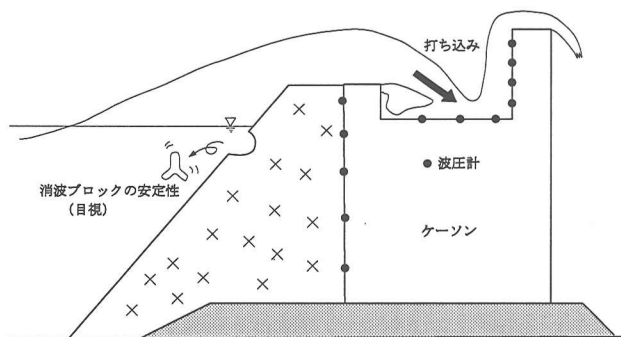


図-5 波圧の測定方法

5. 水理実験結果および考察

ここでは、4つのタイプの護岸に関して、実験で得られた越波と波圧の水理特性および消波ブロック量とケーソン体積の経済性について述べる。

(1) 基本型

基本型の越波状況を写真-1に示す。基本型は、越波する時に大きな跳波は起こらず、消波ブロックで波浪エネルギーが良く減衰されている状況が観察された。



写真-1 基本型の越波状況

基本型の天端高さと越波流量の関係を図-6に示す。天端高さが大きくなると越波流量は指数関数的に減少する。また、合田の越波流量の推定法³⁾で海底勾配1/30の場合の推定値と良く一致しており、今回の実験の精度が検証された。

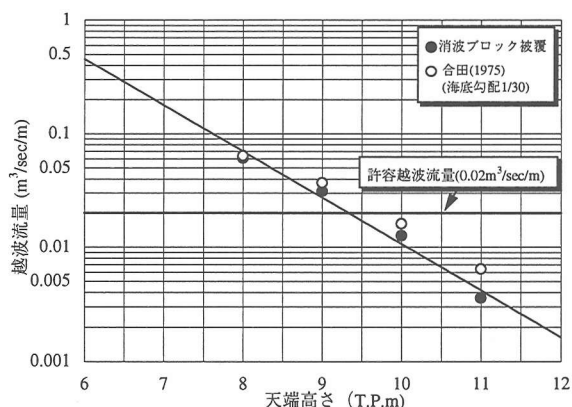


図-6 基本型の天端高さと越波流量の関係

(2) 拡幅ブロック型

拡幅ブロック型の越波状況を写真-2に示す。この護岸では、ブロック量が増大したため、基本型に比べて波浪エネルギーがさらに減衰されて安定した越波現象となった。

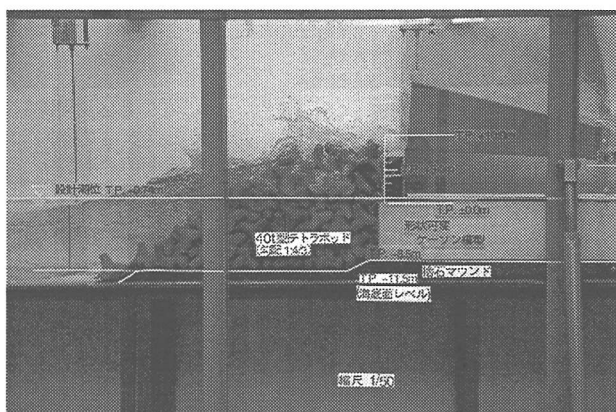


写真-2 拡幅ブロック型の越波状況

拡幅ブロック型の天端高さと越波流量の関係を図-7に示す。越波流量は基本型に比べて大きく低減されているが、近似直線の勾配はほぼ同じである。

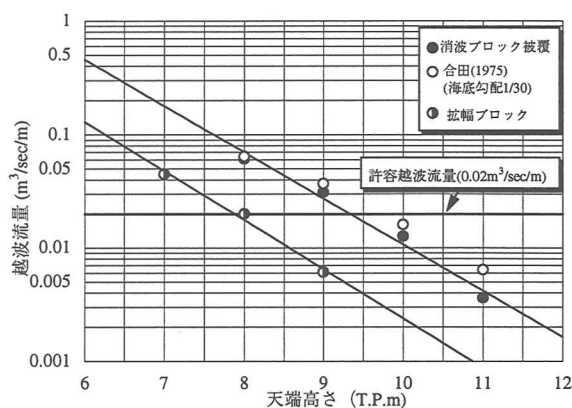


図-7 拡幅ブロック型の天端高さと越波流量の関係

(3) 天端被覆ブロック型

天端被覆ブロック型の越波状況を写真-3に示す。波浪のエネルギーの集中するケーソン上で消波ブロックが有効に働くため、安定した越波となっている。天端の2層積みのブロックにより後退パラペットに衝突して跳波が起こることが抑制されていた。

天端被覆型の天端高さと越波流量の関係を図-8に示す。基本型に比べると天端高さの変化に対する越波流量の増減の割合が大きい。これは天端を少し高くするだけで越波を大きく抑止できる機能があることを示している。当初はブロックの天端幅をケーソン一般部幅+ブロック2個(9m+5.9m=14.9m, ケーソン全幅12m)としていたが、その後、ブロック量を減らすための実験的検討の結果、ブロック天端幅は消波ブロック4個分(12.9m)が必要十分であることが明らかとなり、さらに数量の低減が可能となった。

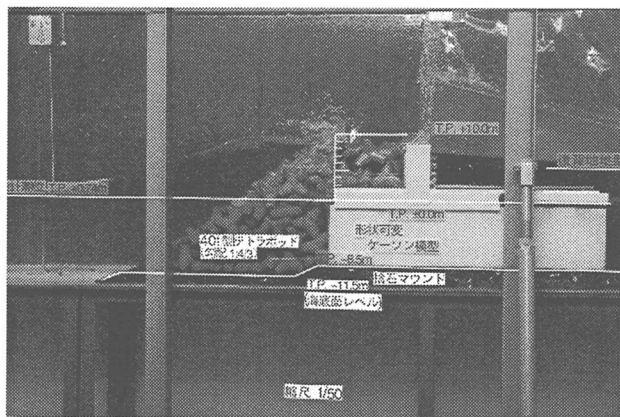


写真-3 天端被覆ブロック型の越波状況

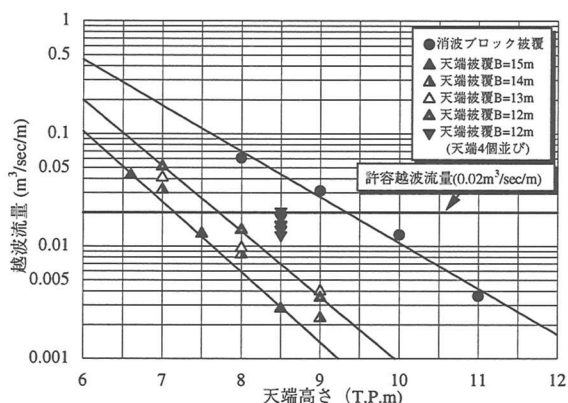


図-8 天端被覆ブロック型の天端高さと越波流量の関係

次に、天端上のブロック厚みの検討を行った。パラペット天端をTP.8.5mとし、ケーソン一般部のレベルを変化させた場合の越波流量の変動を調べた。天端レベルと越波流量の関係を図-9に示す。これより、天端レベルがTP.2.5m~TP.3.0m付近で越波流量が最少となった。この場合の消波ブロックの2層積みの高さが5.1mであることから、天端に載せるブロックは2層積みが最適であることが明らかとなった。

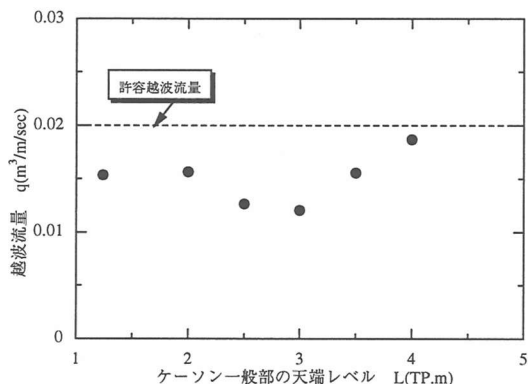


図-9 ケーソン天端レベルと越波流量の関係

これまでにブロックで消波する3タイプの護岸の越波特性を論じてきたが、ここでブロックを用いたエネルギー減衰による越波抑止機能を定量的に評価する。ブロック断面積と越波流量の関係を図-10に示す。基本型と天端被覆ブロック型(ブロック天端幅14.9m)は、ほぼ同等の越波抑止性能を有することが明らかになった。また、拡幅ブロック型は、ブロックが有効に消波に結び付いておらず、ブロックに無駄があることも判明した。3つの護岸の中では天端をブロック4個並び(12.9m)とした天端被覆ブロック型がコストパフォーマンスに最も優れていることが明らかとなった。

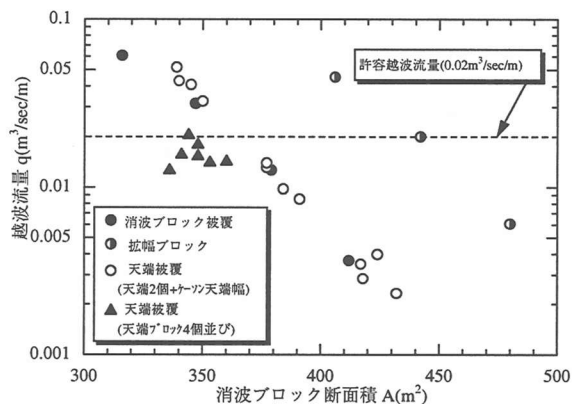


図-10 ブロック断面積と越波流量の関係

さらに、天端にブロックが有る状況で波圧実験を行い、主に後退パラペットに作用する波圧強度を評価した。図-11に最高波が作用した時の最大波圧の鉛直分布を示す。これより、パラペットへの波圧強度は $1.5 \omega H_{max}$ (ここで、 ω :海水の単位体積重量、 H_{max} :最高波高)と考えれば良いことが分かる。また、ケーソン前面部は $1.0 \omega H_{max}$ と見なされ、ほぼ合式式による波圧強度と同等である。

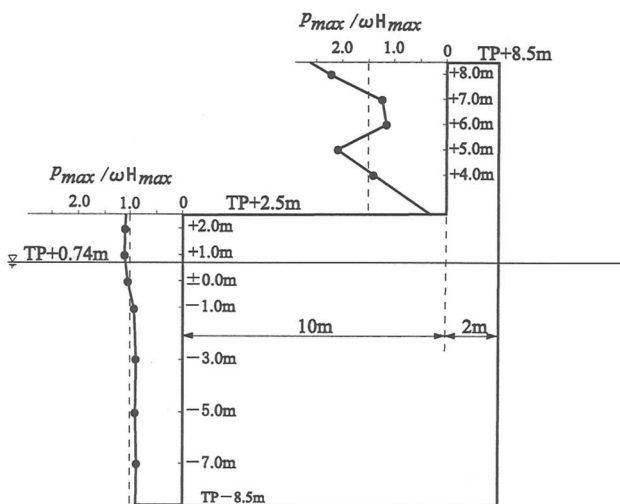


図-11 天端被覆ブロック型護岸の波圧分布

(4) 上部遊水池型

波高の大きな波が来襲した場合の上部遊水池護岸の越波状況を写真-4に示す。前面パラペットを乗り越えた水塊が上部遊水池で十分減勢されず、後退パラペットに衝突して、激しい跳波が生じることが観察された。跳波の高さは、静水面から30m~40mにまで達した。



写真-4 上部遊水池型の越波状況

遊水池は、水が無いと後退パラペットに強力な衝撃波圧が作用し、いつも湛水している状況では越波が大きくなる。そこで遊水池に適度な水深の水が存在するように、前面パラペットはスリット型とした。図-12に上部遊水池護岸を正面から見た形状を示す。

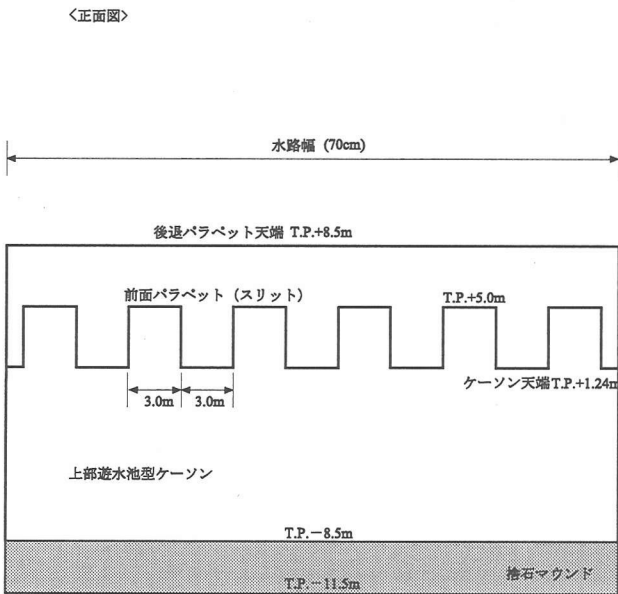


図-12 上部遊水池の正面形状

上部遊水池型の天端高さと越波流量の関係を図-13に示す。越波流量の勾配は基本型とほぼ同じである。今回の実験では風の影響は考慮しなかったが、実際には海からの強風により越波は実験値より大きくなると考えられる。

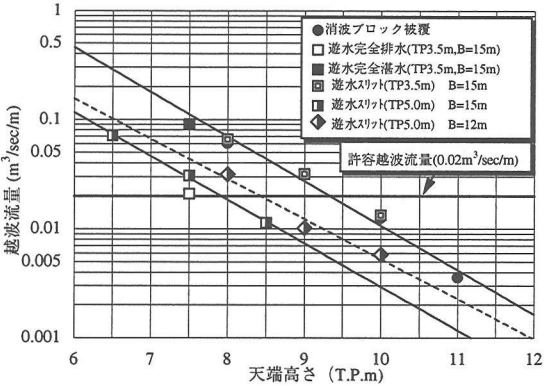


図-13 上部遊水池型の天端高さと越波流量の関係

上部遊水池の後退パラペットに作用する最大波圧分布を図-14に示す。これより、遊水池で期待したほど波浪エネルギーが減勢されず、後退パラペットに作用し、最大で $4.0 \omega H_{max}$ にまで達することが明らかになった。これは遊水池を持たない通常の後退パラペット護岸とほぼ同程度の波圧強度である。

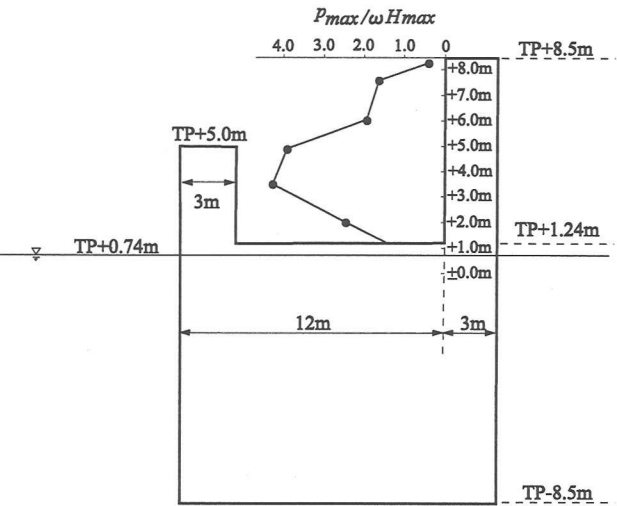


図-14 上部遊水池型の最大波圧分布

6. 護岸の水力機能と経済性の評価

これまでの検討により、低天端を指向したケーソン式護岸の水力特性が明らかになった。ここでは、4つの護岸の水力機能を比較するとともに、試設計された護岸の経済性を評価し、実用性のある護岸形式を選定する。

まず、4つの護岸の天端高さと越波流量の関係を図-15に示す。これより、天端被覆ブロック護岸は、許容越波流量を満足する天端高さが最も小さいことが分かる。また、天端高さの変化に対する越波流量の増減も大きく、若干天端を高くするだけで越波流量を抑止することができる。

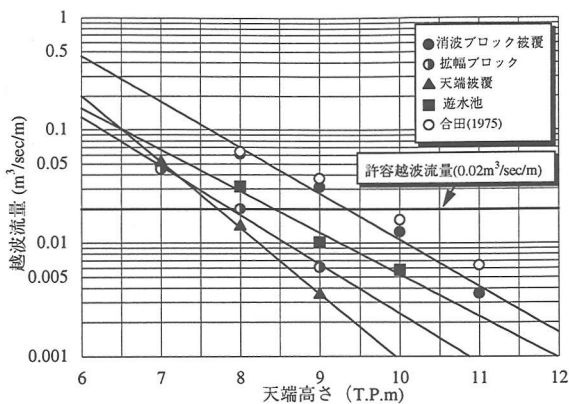


図-15 天端高さと越波流量

次に、今回の検討結果に基づいて設計された4つの護岸の断面形状を図-16に示す。

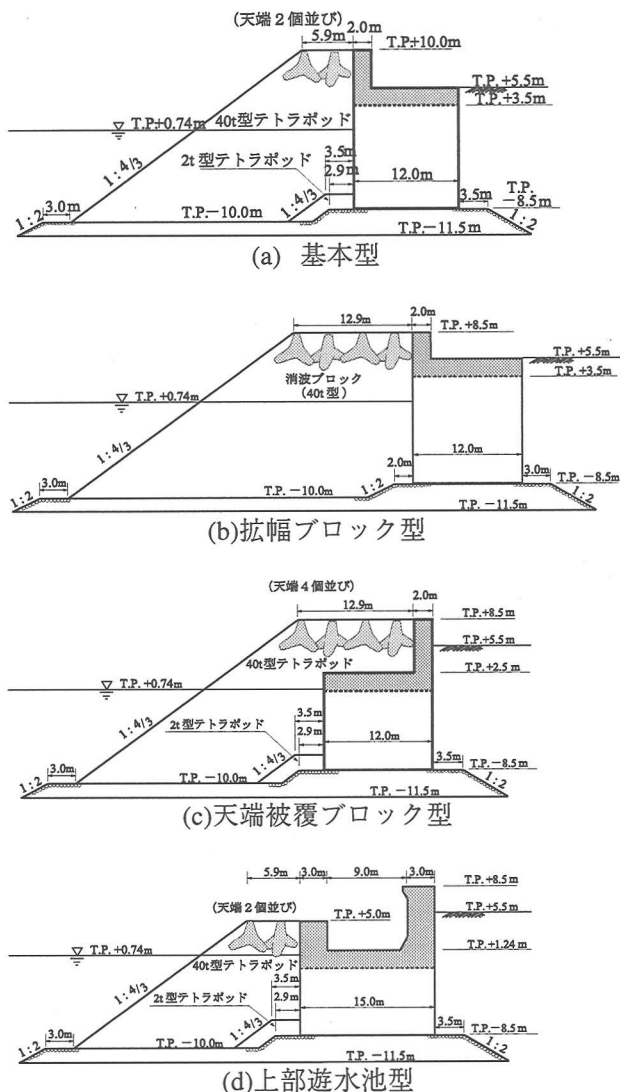


図-16 4つの護岸の設計断面

最後に、4つの護岸の水理機能とブロック量とケーソン体積及び捨石マウンド体積の経済性を総合評価する。表-2に総合評価を示す。これより、天端被覆ブロック型が4つの護岸の中で最も優れた護岸形式であることが明らかとなった。

表-2 4種類の護岸の総合評価

諸元	基本型	拡幅型	天端型	遊水型
越波	○	○	◎	○
跳波	○	○	○	△
波圧	○	○	○	△
ブロック	1.0	1.22	0.89	0.61
ケーソン	1.0	0.98	0.81	0.98
捨石	1.0	1.06	0.93	0.99
総合	基準	△	◎	○

7. 結論

今回、ケーソン式消波護岸を対象として、コストダウンを主眼とする実験的検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ① 拡幅ブロック護岸は、越波抑止機能の面では効果が有るが、消波ブロック量が増大するためコストダウンにはつながらない。
- ② 上部遊水池護岸は、遊水池で水塊のエネルギーが十分減勢されないため、跳波が卓越し、パラペットに衝撃的な波圧が発生する。
- ③ 天端被覆ブロック護岸は、越波抑止特性に優れており、パラペットに衝撃的な波圧が発生することも避けられる。また、基本型に比べて消波ブロック量を約10%、ケーソン体積を20%低減することが可能であり、大幅なコストダウンが図れる可能性がある。

参考文献

- 1)例えば、高橋ら:低天端型防波護岸の越波に関する一実験,海洋開発論文集,Vol.11,pp.193-198,1995
- 2)日本港湾協会ほか:海岸保全施設築造基準解説,269p.,1987
- 3)合田良実:不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究,港湾技術研究所報告,第14巻,第4号,1975

(1999.4.19受付)