

ウォーターフロントにおける越波対策について

The Countermeasure on Wave Overtopping in Water front

山 本 吉 道* ・ 竹 田 良 邦**

Yoshimichi.Yamamoto, Yoshikuni.Takeda

Recently, waterfront developments have been noticed, and it has become important to develop a countermeasure on wave overtopping.

In this paper, next two points are investigated.

- ① Applicable methods to estimate the wave run-up height and the rate of wave overtopping.
- ② Appropriate methods to evaluate the effect of wave dissipation by typical structures.

And the following conclusions are obtained.

- ① It is possible to apply the equation proposed by Yamamoto¹⁾ to the calculation of the wave run-up height.
- ② The method by Yamamoto and Horikawa²⁾ can be applied to the calculation of the rate of wave overtopping.
- ③ The experiments indicate that the vertical revetment of energy dissipating blocks has a considerable effect on reducing the rate of wave overtopping.

Keywords ; wave run-up, wave overtopping, vertical revetment of energy dissipating blocks

1. は じ め に

近年、各省庁の海洋開発構想等に見られるように、ウォーターフロントの開発が注目されているが、海岸保全への配慮は最低限必要である。これに対して一般の技術者が対処出来るように、公的技術機関等により、海岸保全に関する技術が整備されてきている。本研究では、それらの補完を目的に、波の打ち上げ高及び越波量の算定法と越波対策工及びこれらの越波低減効果の評価法の調査が行われた。

2. 波の打ち上げ高及び越波量の算定法について

2.1 堤防前面に消波構造物が無い場合

海底勾配が一樣と見なせる海岸での打ち上げ高については、信頼性が高いと認められている複数の算定法が「改訂海岸保全施設築造基準解説」等で紹介されているが、堤脚付近の断面形状が複雑な海岸や養浜工の設計の場合等に対して多少なりと信頼性のある算定法としては、中村等の改良仮想勾配法しか知られていない。

本方法は打ち上げ高を仮定し、算定値と一致するまで繰り返し計算する必要があるので、著者の一人が中村等の算定図から次に示す実験式を作り、パーソナルコンピュータで計算する方法を提案している。

$$R/H_o' = 0.125(\cos \alpha)^2 (\tan \alpha)^{0.6} (H_o'/L_o)^{-1/4} \quad (1)$$

ここに、Rは打ち上げ高、 H_o' は換算沖波波高、 α は中村等の改良仮想勾配角、 L_o は沖波波長である。

この算定法の現地海岸への適用性を知るために、観測データと比較した結果を図-1に示す。この図より現地海岸への適用度は高いと判断される。ただし、碎波の計算時には、越波による碎波波高の低下を無視する。

なお、図中の●印は兵庫県淡路島で観測されたデータ³⁾であり、○印は和歌山県古座町で著者達が観測したデータである。また、△印は高知県南国市で著者達が収集したデータである。

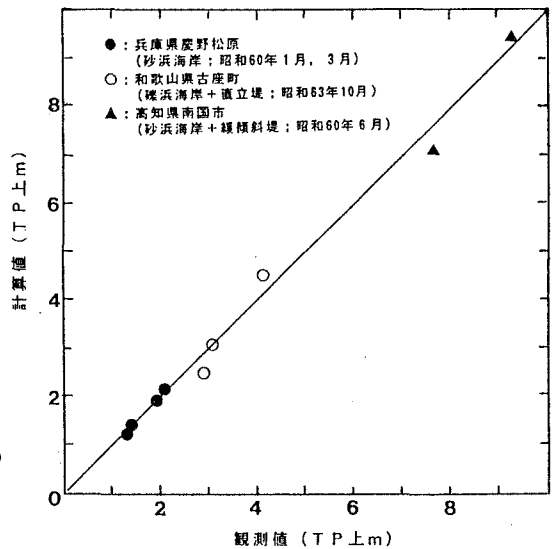


図-1 打ち上げ高の観測値と算定値の比較

* 正会員 (株)アイ. エヌ. エー新土木研究所 (162 東京都新宿区水道町)

** 建設省近畿地方建設局

越波量についても同様な傾向にあり、海底勾配が一様と見なせる海岸に対して信頼性が高いと認められている算定法が「改訂海岸保全施設築造基準解説」等で紹介されているが、堤脚付近の断面形状が複雑な海岸や養浜工の設計の場合等に適用可能と一般的に認められた算定法は知らされていない。それゆえ、この様な条件に対処するために、山本・堀川²⁾が提案している算定法の実用性について検討する。この方法は前出の式(1)を用いることにより複断面形状に対処出来ることを期待したものであり、また、パーソナルコンピュータで簡便に扱えるように以下の式から構成されている。

$$Q = \int_0^T \int_0^{\infty} q \cdot p \, dH \, dT \quad (2)$$

ここに、 Q は不規則波の越波量、 H は波高、 T は周期、 p は渡辺等⁴⁾による波高周期結合分布式、 q は成分波の越波量であり、碎波時の q は、

$$\left. \begin{aligned} q &= a \{ (X_0/R) - \cot \alpha \} (R - H_c)^2 / 2 \\ a &= 0.1 (L_0/H_b)^{1/3} (\cos \theta + \cos \alpha) / 2, \quad X_0/R = \cot \{ \alpha - \tan^{-1} (hm/R/\sin \alpha) \} \\ hm &= 0.7 \{ 0.1589 (\tan \alpha)^{0.5} / (0.8 H_b/L_0)^{1/4} + 0.8 (\tan \alpha)^{0.6} \} H_b \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

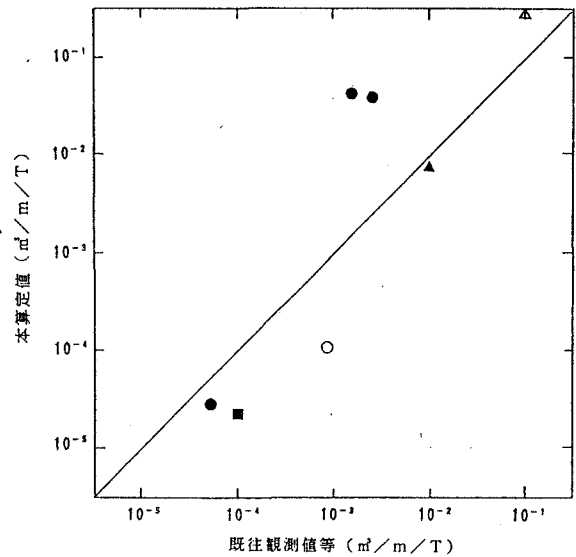
α は改良仮想勾配角⁵⁾、 R は式(1)で求められる打ち上げ高、 H_c は堤防天端高、 H_b は碎波波高、 θ は堤防の表のり勾配角である。そして、 H_b には非越波時の経験式 $H_b = (\tan \alpha)^{0.2} (H_o'/L_0)^{-1/4} H_o'$ (4) を用いるものとし、越波による波高低下を考慮した値を用いてはならない。

また、非越波の場合は海底勾配の影響は弱いと考えて、 $q = 0.65 (R - H_c)^2$ (5)

$$R = \{ 1.0 + \pi (H/L) \coth(2\pi h/L) \} H_o \quad (6)$$

を用いる。式(5)は高田⁶⁾が提案した実験式であり、式(6)は微小振幅波理論による式である。

また、現地観測データとの比較を図-2に示す。他に算定法が見当たらない現時点では、実用性の高いものと判断される。なお、図中の●印は新潟県新潟市で観測されたデータ⁷⁾であり、○印は三重県鶴殿村で著者等が観測したデータである。この二地点には異形ブロックによる消波工が有るので、打ち上げ高の算定値を三割低減した値を用いて計算した。また、それ以外のデータは著者達が高知県で収集したデータである。



●：新潟県新潟市（砂浜海岸+直立堤：昭和47年2月）
○：三重県鶴殿村（砂浜海岸+直立堤：昭和63年10月）
▲：高知県南国市（砂浜海岸+傾斜堤：昭和60年6月）
△：高知県高知市（砂浜海岸+堤断面堤：昭和54年9月）
■：高知県安芸市（砂浜海岸+傾斜堤：昭和54年10月）

図-2 越波量の観測値と算定値の比較

2.2 堤防前面に消波構造物が有る場合

消波構造物による平均水位の上昇が、打ち上げ高及び越波量の低減効果を低下させる場合が考えられるので注意を要する。例えば、岸近くに離岸堤群を設置した場合¹⁾や小規模な人工リーフを設置した場合⁸⁾である。

著者の一人¹⁾は、碎波位置より沖側に構造物がある場合は次式で打ち上げ高を算定して良いことを確認した。

$$R_t = K_t \cdot R \quad (7)$$

ここに、 R_t は消波構造物有りの場合の打ち上げ高、 K_t は回折効果も考慮した波高伝達係数、 R は構造物無しの場合の打ち上げ高で式(1)から求められる。

また、消波構造物が岸近くに有る場合は平均水位への影響が重要になり、人工リーフの場合の算定式として次式を提案している。

$$R_t = (1.16 K_t^{2/4}) R \quad (8)$$

式(8)から、 K_t が0.82以上の場合は悪化することになる。

今、高山等⁹⁾、大塚等¹⁰⁾の実験データと式(7)、式(8)を用いて式(2)から求めた算定値を比較した結果を図-3に示す。高山等のデータには碎波水深の7割程度の水深までのものも含まれており、この程度までは式(7)を用い

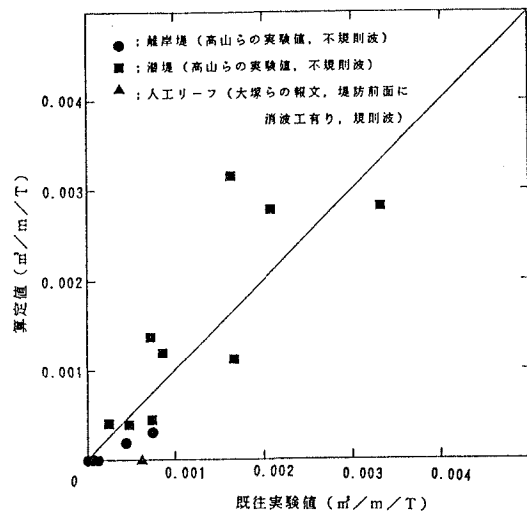


図-3 堤防前面に消波構造物が有る場合の比較

て良いと判断される。

なお、 K_t は天端幅と天端水深によって変わるだけでなく、のり勾配や材料の寸法が大幅に異なる場合も変わってくるので注意を要する。例えば、沼田の4/3割勾配の離岸堤の実験¹¹⁾と田中の2割勾配の離岸堤の実験¹²⁾とを比較すれば、 K_t は後者の方が小さい。

3. 対策工の評価方法について

打ち上げ高及び越波量の低減に効果の有る対策工についてまとめると次表のようになる。

表-1 消波用対策工の特徴

種 類	越波の防止効果	侵食の防止効果	景観・利用効果	選定に際しての注意事項
護岸の 嵩上げ	高く嵩上げすれば効果は高い	効果無し	陸域と海域を完全に遮断するようになるので悪化させる	越波低減効果高く工費も安い が景観・利用上非常に好ましくない
通常型 消波工	異形ブロックにより高い効果を期待出来る	洗掘防止効果が多少ある	外見が悪く障害物となるので好ましくない	越波低減効果高く工費も比較的 安い が景観・利用上好ましくない
直立型 消波工	直立消波ブロックにより効果を期待出来る	ほとんど効果無し	通常型の異形ブロックより景観上良好である	工費は通常型消波工と同程度であるが基礎工を要する
緩傾斜 型消波 工	表面粗度が大きい場合は効果を期待できる	波の反射率が低く洗掘防止効果は比較的 ある	材料の工夫次第で期待出来る	法先水深が深くなる場合は大断面となり不利である
消波堤 又は 離岸堤	遮蔽領域に対しては効果がある ただし天端高が低い場合は効果無し	侵食防止効果があり土砂供給のある海岸に設置した場合は堆砂効果も期待出来る	外見悪く障害物にもなり易いが人工漁礁としての効果を期待出来る場合がある	越波・侵食防止の両効果を期待出来るが工費が高くなり易い また景観・利用上も好ましくない場合が多い
人 工 リーフ	効果を期待できる ただし天端水深が深い場合の効果は低い	高い効果を期待出来る場合もある	景観上の問題は生じにくい が漁業上の問題が生じ易い	越波・侵食防止及び景観保持の効果を期待出来るが工費が高くなり易い
養浜工	充分な幅があれば高い効果を期待出来る	養浜砂の流失防止工を併用すれば高い効果を期待出来る	最も自然的で景観・利用上問題点が少ない	最も自然的な工法であるが養浜砂の確保が問題となり易い

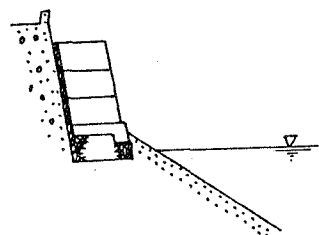


図-4 直立型消波工断面図

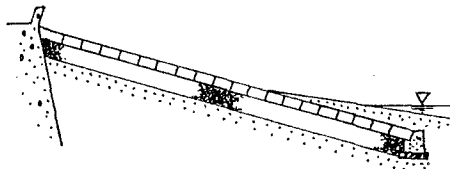


図-5 緩傾斜型消波工断面図

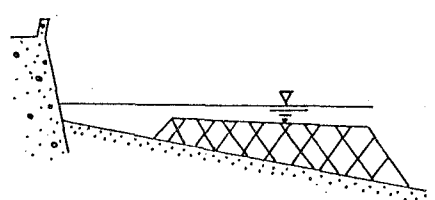


図-6 人工リーフ断面図

これらの消波用対策工について文献調査を行った結果、護岸の嵩上げ、偏平状の緩傾斜型消波工及び養浜工に対しては式(1)又は式(2)の算定法を用いて良く、通常型消波工は「改訂海岸保全施設築造基準解説」にほぼ十分な評価資料が有ると判断される。階段状の緩傾斜型消波工や特異な消波工については、表面粗度や透水性の効果の普遍的な評価が困難なために、「改訂海岸保全施設築造基準解説」や参考文献(13)～(17)等の既往資料によるか、構造のかなり異なるものについては水理模型実験を行うのが良いと判断される。消波堤(離岸堤)や人工リーフについても式(7)または式(8)、さらには(18)～(20)等から求められるが、構造及び配置により相当変化するもので水理模型実験により確認するのが良いと判断される。

今、外洋に面し前面地盤高が低く、漁業権及び景観に配慮しなければならない海岸護岸に対して適当と判断される越波対策工として直立型消波工があるが、波長の長い波(周期10秒を越えるうねり性の波)に対しても十分な軽減効果の有ることが公に確認されていないので、この水理模型実験を行った。

① 実験方法

二次元水路(長さ50m、高さ1m、幅50cm)に図-7に示す模型を置き、規則波を発生させて、護岸模型の背後に設置した水槽に越波水を溜め、これを測定することにより越波量を求める。実験条件は次の通りである。

- ・実験スケール；本実験装置の寸法制約内で、スケール効果の影響が可能な限り小さくなるように、1/17.5とした。
- ・ブロック模型；原寸大で8t型のモルタル製。ブロック形状の違いによる影響については、消波工前面の凸凹で波を砕き、中を通過させて波力を削ぐメカニズムが一般的に用いられていることと、直立に積み上げることから、かなり制限されるので、典型例として図-8に示すものを採用した。
- ・実験ケース；越波量を決定する主な指標には、外力条件として波高、周期及び波向、地形条件として海底勾配、構造物条件として天端高と堤脚水深が有る。

波高は、現地寸法で2m～5m間(越波量が小さくない範囲)で複数個を設定した。
 周期は、大きくなるほど越波量が増えるので、典型的なうねりの周期として15秒を設定した。
 波向は、最大越波量となるように海岸線に対して直角とした。
 海底勾配は、急なほど越波量が増えるので、急勾配海岸の上限値として1/6.67とした。
 護岸天端高は、現実海岸の典型的な値として、堤脚上各々7.00m、5.25m、3.50mを設定した。
 堤脚水深は、現実海岸の典型的な値として、堤脚上2.0m、0.0m、-2.0mを設定した。

② 実験結果

消波工未設置時と設置時の実験データを用いて、本消波工による護岸天端高軽減効果を調べた結果、図-9に示すように所要天端高を三割減できることが示された。図中の白丸は既往の周期10秒以下の波に対するものであり、黒丸(一つが7～10波の平均値)が今回の周期15秒の波に対するものである。

通常型消波工の場合も、「改訂海岸保全施設築造基準解説」によると所要天端高を3割程度低減出来ることから、この直立型消波工に対しては、8t型ブロック

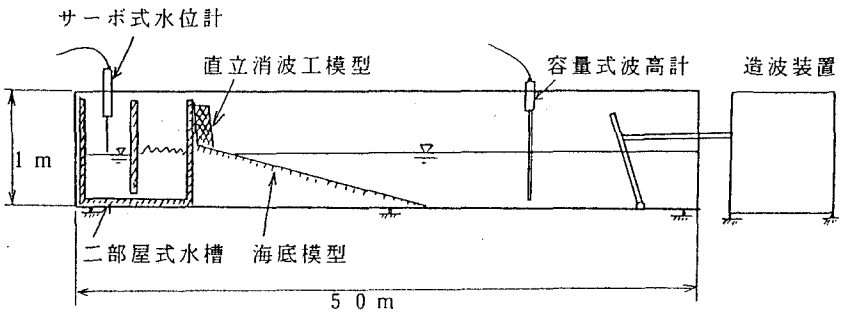


図-7 実験装置と模型

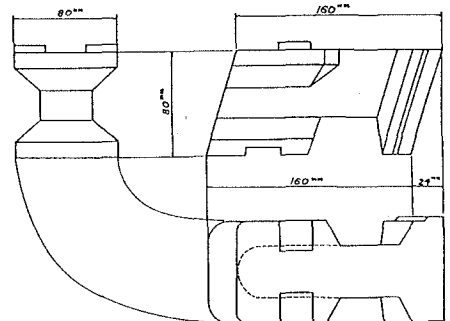


図-8 直立消波ブロックの模型

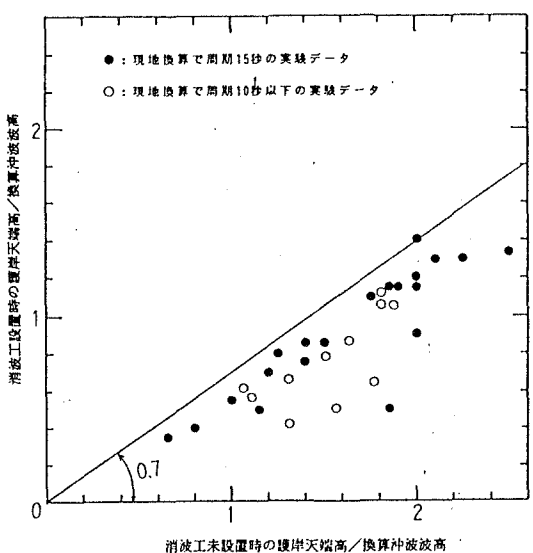


図-9 直立型消波工による越波量低減効果

を一行で、護岸天端高を越えない範囲で出来るだけ高く積み上げた場合、通常型消波工と同程度の効果を期待できる。

以上の研究成果から対策工の低減効果について整理すると次表の様になる。

表-2 対策工の越波防止効果の評価方法

種 類	適 用 方 針	打ち上げ高の評価法	越 波 量 の 評 価 法
通常型消波工	景観・利用に配慮しなくて良い海岸に用いる	改訂海岸保全施設築造基準解説の消波工の項に従えば良い	改訂海岸保全施設築造基準解説の越波量の項に従う または式(2)を適用する
直立型消波工	景観・漁業利用に配慮すべき海岸に用いる	水理実験の結果から消波工無しの場合の護岸天端高を3割減する ただし現地海岸での追跡調査が望まれる	
緩傾斜型消波工	景観・海浜利用に配慮すべき海岸で浜規模が大きな場合に用いる	参考文献 13)～17) 等を用いる また偏平状の場合は式(1)の適用も可能である	改訂海岸保全施設築造基準解説の越波量の項または水理実験による偏平状の場合は式(2)の適用も可能
消波堤及び離岸堤	特に侵食に配慮すべき海岸で用いる	水理実験による 沖合に設置する場合は式(7)を適用出来る	参考文献18)か水理実験による 沖合に設置する場合は式(7)と式(2)を適用出来る
人 工 リーフ	景観・海浜利用及び侵食に配慮すべき海岸で用いる	式(8)を用いて良いが水理実験で確認する	式(8)と式(2)か参考文献19), 20)を用いて良いが水理実験で確認する
養浜工	深刻な侵食海岸か養浜砂の確保が容易な場合に用いる	改訂海岸保全施設築造基準解説の打ち上げ高の項に従う または式(1)の適用も可能である	式(2)を適用する
堤防の嵩上げ	上記対策工だけでは越波を防止出来ない場合に用いる	改訂海岸保全施設築造基準解説の打ち上げ高の項に従う または式(1)の適用も可能である	式(2)を適用する

4. 結 論

以下に本研究で得られたことをまとめる。

- (1) 波の打ち上げ高の算定式(1)の現実海岸への適用性の高いことが、観測データとの比較から明らかになった。
- (2) より実用的な算定法が見当たらない現時点では、式(2)～(5)による越波量の算定法の断面形状が複雑な海岸への適用性も高いと判断された。
- (3) 消波構造物による越波低減効果を評価する場合、波高伝達係数だけでなく、平均水位上昇量も重要な要因となるが、実験データとの比較から、消波構造物が碎波水深の7割程度の水深より沖合に有る場合は、波高伝達係数だけでほぼ評価出来ることが明らかとなった。
- (4) 直立型消波工に十分な越波量低減効果のあることを水理実験によって確認した。そして、越波対策工の評価法を整理した結果、表-2の様になった。

最後に、本研究を遂行するにあたり御助力を賜った関係各位に深く感謝する次第である。

5. 参 考 文 献

- 1) 山本吉道：複雑な海浜断面に対する碎波後の波の打ち上げ高について，海洋開発論文集，第4巻，pp295～

299, 1988.

- 2) 山本吉道：堀川清司：新しい越波量算定式の提案，海洋開発論文集，第7巻，1991.
- 3) 梅田千秋等：慶野松原海岸人工リーフに関する調査，海岸，No.26，pp105～120，1986.
- 4) 渡辺 晃等：不規則波のスペクトルと波高周期分布の関係，第31回海岸工学講演会，pp153～157，1984.
- 5) 中村 充等：複合断面における波の打上げに関する研究，第19回海岸工学講演会，pp309～312，1972.
- 6) 高田 彰：うち上げおよび越波，第13回水工学に関する夏期研修会講義集，B-2，1977.
- 7) 福田伸男等：防波護岸の越波に関する観測値，第20回海岸工学講演会，pp113～118，1973.
- 8) 宇多高明等：人工リーフによる波浪と漂砂の制御，第31回海岸工学講演会，pp340～344，1984.
- 9) 高山知司等：各種消波工による越波流量の減少効果，運輸省港湾技術研究所報告，第21巻，第2号，PP151～205，1982.
- 10) 大塚正恒等：糸魚川海岸の侵食対策と災害復旧助成事業について，海岸，No.28，pp149～162，1988.
- 11) 沼田 淳：ブロック堤の消波効果に関する実験的研究，第22回海岸工学講演会，pp501～505，1975.
- 12) 田中則男：天端幅の広い潜堤の波浪減殺および砂浜安定効果について，第23回海岸工学講演会，pp152～157，1976.
- 13) 全国海岸協会：緩傾斜堤の設計の手引き，1989.
- 14) 橋本 宏：緩斜面上の波のうちあげ，海岸，No.22，pp165～172，1982.
- 15) 宇多高明：緩傾斜堤の新しい法面形状に関する検討，第44回年次講演会，II-292，1989.
- 16) U. S. Army Coastal Engineering Research Center：SHORE PROTECTION MANUAL，1984.
- 17) 合田 良実等：不規則波による低天端型護岸の越波特性実験，港湾技研資料，No.242，1976.
- 18) 榎木 亨等：堤防越波量に及ぼす離岸堤背後地形の効果に関する実験的研究，第18回海岸工学講演会，pp269～273，1971.
- 19) 宇多高明：人工リーフの機能と設計法，土木研究所資料第2696号，1988.
- 20) 高山知司：広天端幅潜堤の越波低減効果に関する不規則波実験，第35回海岸工学講演会，pp587～591，1988.