

直積消波ブロック護岸の越波および越波水塊の打上げ特性

Characteristics of Wave Overtopping on Vertical Type Seawall Covered with Wave-dissipating Blocks

島田広昭¹・石垣泰輔²・大島 巧³・叶内美和⁴・米森秀明⁵

Hiroaki SHIMADA, Taisuke ISHIGAKI, Takumi OHSHIMA, Miwa KANOUCHI
and Hideaki YONEMORI

In recent years, seawalls coated with wave-dissipating blocks have been set in front of upright seawalls. However, wave overtopping on this type of seawall is not fully investigated. Therefore, in this paper, characteristics of wave overtopping on upright seawall covered with wave-dissipating blocks was examined experimentally. From the results, it is found that this type of seawall is effective to reduce the wave overtopping rate. The crest height of the seawall is less than the height in upright seawall case to get the same wave overtopping rate. In addition, an easy method to estimate the runoff height on the seawall has been suggested.

1. はじめに

近年, 台風の大型化に伴う異常海象の常態化によって, 港内など比較的穏やかな海域においても越波災害のリスクが高まっている。本研究は, そのような海域に最近設置されるようになった直積消波ブロック護岸 (以下, 直消ブロック護岸) を対象とし, その越波特性を明らかにしようとするものである。こうした直消ブロック護岸は, 港内の静穏性を確保するため用いられてきたため, その消波特性については検討されているが, 設置場所が比較的穏やかな海域であることもあり越波特性についてはこれまでほとんど検討されていない。そこで本研究では, 直消ブロック護岸の越波特性を直立護岸のものと比較することによって検討した。さらに, 越波水塊の打上げ高に関しても検討を行い, 打上げ高を簡単な計算によって求める方法を提案しようとした。

2. 実験方法

実験は, 二次元不規則波造波水槽内に 1/10 勾配の模型海浜を設け, その上に図-1 に示すような直消ブロック護岸およびそれと同様ののり面勾配 0.3 割を有する直立護岸を設置して行った。実験波は, Bretschneider・光易型スペクトルの不規則波で, 実験では周期を 1.0 s, 1.2 s および 1.4 s の 3 種類に変化させた。越波量の測定は, 模型護岸を越える越波水を越波升で直接採取し測

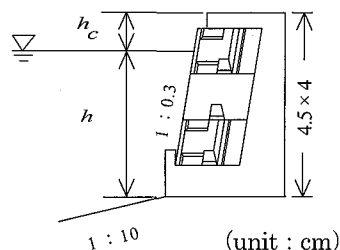


図-1 直消ブロック護岸 (縮尺 1/20)

定した。その結果から, 平均越波量に及ぼすのり先水深 h および護岸天端高 h_c の影響を検討した。なお, のり先水深波高比 h/H_0 および相対護岸天端高 h_c/H_0 は, それぞれ 0.5, 0.8, 1.0, 1.3 および 1.5 の 5 ケース変化させた。また, 越波水塊の打上げ高は, 周期が 1.4 s の場合について, 護岸に入射した不規則波群 (約 150 波) 1 波ごとの打上げ高を, 護岸の横に設置したビデオカメラによって計測し, 代表波法の定義に従って 2% 超過値, 1/10 および 1/3 最大打上げ高などの有義値を求めた。本実験で用いた直消ブロック模型 (縮尺 1/20) の諸元は, 堤体幅が 7.5 cm, 高さが 4.5 cm であり, 内部の空隙率は 35% である。

3. 直消ブロック護岸の越波特性

ここでは, 直消ブロック護岸の越波特性について, それと同様ののり面勾配 0.3 割を有する直立護岸のものと比較検討する。

(1) 直消ブロック護岸の越波量

図-2 には, 越波流量とのり先水深波高比との関係を示した。なお, 縦軸は無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$, 横軸はのり先水深波高比 h/H_0 である。また, パラメータは

1 正 会 員 博(工) 関西大学環境都市工学部都市システム工学
科

2 正 会 員 博(工) 関西大学環境都市工学部都市システム工学
科

3 三基ブロック(機技術部)

4 三基ブロック(機技術部)

5 正 会 員 修(工) ㈱竹中工務店

護岸天端高であり、上から相対護岸天端高 $h_c/H_0=0.5, 0.8, 1.0, 1.3$ および 1.5 のものである。これによると、いずれの護岸天端高でものり先水深が大きくなると徐々に越波流量は増大し、 h_c/H_0 が $1.0 \sim 1.3$ で極大値を示し、その後漸減する。

図-3 には、越波流量と相対護岸天端高との関係を示した。なお、縦軸は無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ 、横軸は相対護岸天端高 h_c/H_0 であり、パラメータはのり先水深である。これによると、いずれののり先水深でも相対護岸天端高が大きくなるほど越波流量は減少する。

(2) 直消ブロック護岸による越波低減効果

図-4 には、直消ブロック護岸による越波流量の低減効果を示した。なお、縦軸は直消ブロック護岸の無次元越波流量 $q_A/\sqrt{2gH_0^3}$ 、横軸は直立護岸の無次元越波流量 $q_V/\sqrt{2gH_0^3}$ である。これによると、全実験ケースで直消ブロック護岸の越波流量は直立護岸のものより少なくなっており、入射波の周期に関わらず、直消ブロック護岸の越波低減効果がみられる。

図-5 には、のり先水深波高比 $h/H_0=1.0$ の場合の各護岸における越波流量と相対護岸天端高との関係を示した。また、図中には $q/\sqrt{2gH_0^3}$ と h_c/H_0 との関係を最小2乗法によって求めた回帰式と相関係数 R を示した。これによると、護岸天端高が高くなるほど両護岸の越波流量差は大きくなる。また、いずれの護岸も R は 0.9 以上であり、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ と h_c/H_0 の間には非常に強い相関がみられる。なお、図示はしていないが、このことはいずれののり先水深波高比においても同様である。

つぎに、前述の回帰式を用いて求めた $h_c/H_0=0.5, 0.8, 1.0, 1.3$ および 1.5 における無次元越波流量の計算値 q_{cal} とそのときの実験値 q_{exp} との関係を示したものが図-6 である。なお、縦軸は実験値の無次元越波流量 q_{exp} 、横軸は回帰式による無次元越波流量 q_{cal} である。これによると、護岸形状に関わらず、計算値の越波流量 q_{cal} と実験値 q_{exp} とは良く一致している。

(3) 天端高低減効果

図-7 には、直消ブロック護岸の天端高低減効果を示した。なお、縦軸は直消ブロック護岸の実験で得られた無次元越波流量 $q_A/\sqrt{2gH_0^3}$ から図-5 の回帰式を用いて得られた所要天端高 h_{CA} 、横軸は同様に求めた直立護岸の所要天端高 h_{CV} である。また、図中には h_{CV}/H_0 と h_{CA}/H_0 との関係を、原点を通るように最小2乗法によって求めた回帰式を示した。これによると、その傾き (h_{CA}/h_{CV}) は 0.53 であった。したがって、単純に考えると直消ブロック護岸の所要天端高は、直立護岸のものの 5 割程度に低減することができることになる。しかし、実際には顕著ではないが越波流量の大小による影響を受ける。そこで、同一越波流量を与える時の直消ブロック

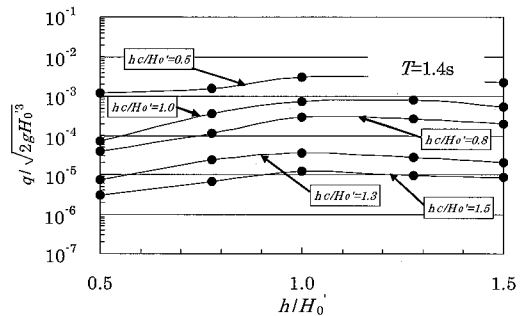


図-2 のり先水深波高比による影響

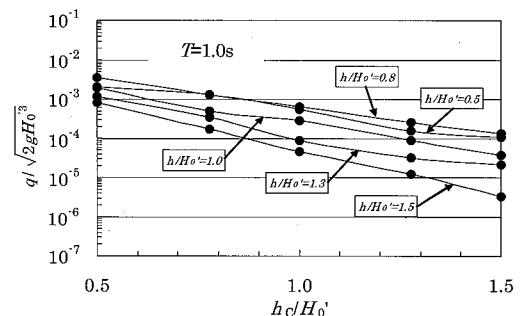


図-3 相対護岸天端高による影響

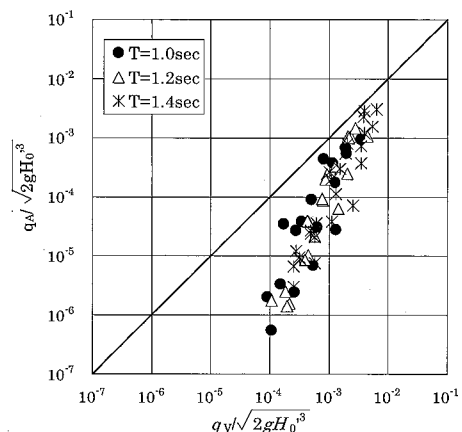


図-4 越波流量の低減効果

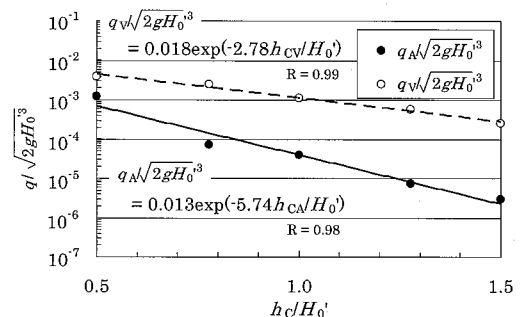


図-5 越波流量と相対護岸天端高との相関

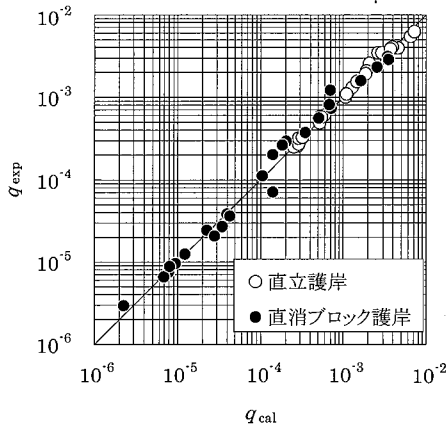


図-6 回帰式による計算結果

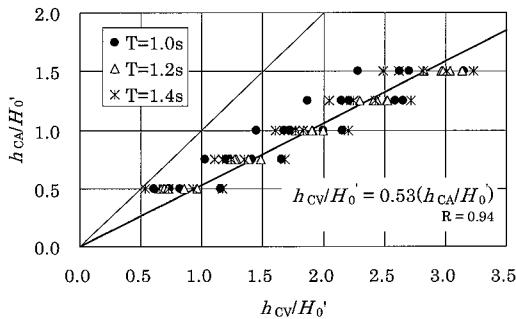


図-7 相対護岸天端高と越波流量との関係

護岸と直立護岸の所要天端高の比を換算天端高係数 β_A と定義し、換算天端高係数と越波流量との関係を示したものが図-8である。なお、縦軸は換算天端高係数 β_A 、横軸は越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ であり、この β_A が小さいほど直消ブロック護岸による天端高低減効果が大きいことを意味している。これによると、越波流量が多くなると β_A は若干大きくなるようであるが、ほとんどが $\beta_A = 0.4 \sim 0.8$ の範囲で分布している。また、 β_A の平均値は0.57であり、ばらつきの標準偏差 σ も0.095と比較的小さいため、直消ブロック護岸の所要天端高は直立護岸のものの約6割に低減できるが、防災上からは約8割程度が妥当であろう。

図-9には、換算天端高係数とりのり先水深波高比との関係を示した。これによると、全般的に周期の影響は小さいようであり、いずれものり先水深波高が大きくなると β_A は増大する。すなわち、のり先水深が深くなると、直消ブロック護岸による低天端効果が小さくなるようである。また、全データから β_A と h/H_0' の関係を求めると次のようになる。

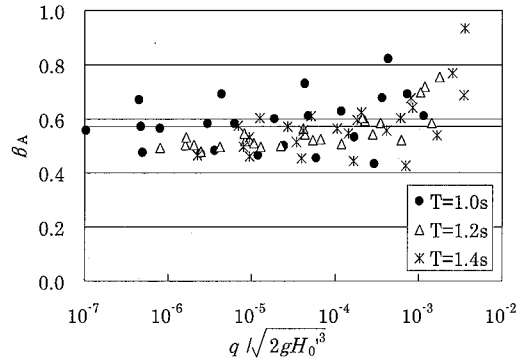


図-8 換算天端高係数と越波流量との関係

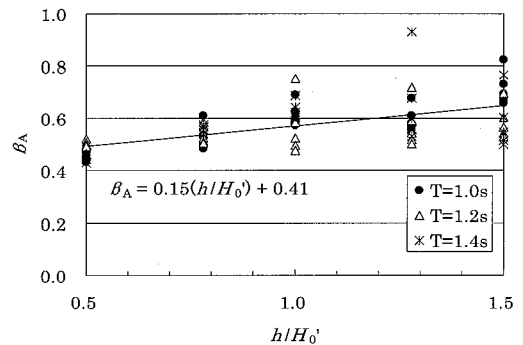


図-9 換算天端高係数とりのり先水深波高比との関係

$$\beta_A = 0.15(h/H_0') + 0.41 \quad (0.5 \leq h/H_0' \leq 1.5)$$

.....(1)

4. 直消ブロック護岸の越波水塊打上げ高

(1) 直消ブロック護岸による打上げ高の減少

図-10には、直消ブロック護岸による打上げ高の低減効果を示した。なお、縦軸は直消ブロック護岸の無次元打上げ高 R_A/H_0' 、横軸は直立護岸の無次元打上げ高 R_V/H_0' である。これによると、越波量と同様に、打上げ高に関しても全般的に $R_A/H_0' < R_V/H_0'$ である。しかし、条件によっては $R_A/H_0' > R_V/H_0'$ であることから、打上げ高に関しては、一概に直消ブロック護岸による低減効果を期待することはできない。

(2) 直消ブロック護岸における打上げ特性

図-11には、相対護岸天端高 $h_C/H_0' = 0.8$ の場合の各打上げ高とりのり先水深波高比との関係を示した。なお、縦軸は無次元打上げ高 R/H_0' 、横軸はのり先水深波高比 h/H_0' である。これによると、いずれの打上げ高も $h/H_0' = 1.0$ のときに極大値を示している。すなわち、 $h/H_0' < 1.0$ ではのり先水深の増大とともに各打上げ高も大きくなるのに対し、 $h/H_0' > 1.0$ ではのり先水深が

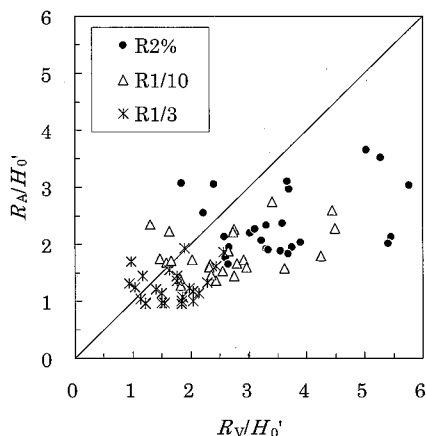


図-10 打上高の低減効果

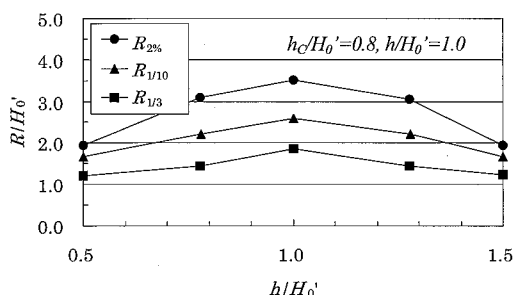


図-11 打上高とのり先水深波高比との関係

増大すると各打上げ高は減少する。なお、他の相対護岸天端高の場合についても同様の傾向がみられた。

図-12 には、のり先水深波高比 $h/H_0' = 1.0$ の場合における各打上げ高と相対護岸天端高との関係を示した。なお、縦軸は無次元打上げ高 R/H_0' 、横軸は相対護岸天端高 h_c/H_0' である。これによると、いずれの打上げ高においても h_c/H_0' が増大すると R/H_0' は徐々に減少する。また、他ののり先水深波高比の場合についてもほぼ同様の傾向がみられた。しかし、のり先水深波高比 h/H_0' が 0.5 および 1.5 の場合は、 h_c/H_0' に関わらずほぼ一定値を示す結果が得られた。すなわち、 h/H_0' が 0.8 ~ 1.3 の場合には護岸の嵩上げによる効果が得られ、このことは特に $R_{2\%}$ において顕著である。

図-13 には、 $R_{2\%}$ および $R_{1/10}$ と有義値 $R_{1/3}$ との関係を示した。なお、縦軸は $R_{2\%}/H_0'$ および $R_{1/10}/H_0'$ 、横軸は $R_{1/3}/H_0'$ であり、図中には原点を通るように求めた回帰式の傾きを換算係数 k と定義し示した。これによると、 $R_{2\%}/H_0'$ は $R_{1/3}/H_0'$ の約 1.9 倍、 $R_{1/10}/H_0'$ は $R_{1/3}/H_0'$ の約 1.4 倍となる。また、直立護岸に関しても同様の検討を行った結果、それぞれ約 2.1 倍、約 1.6 倍であり、直消ブロック護岸のものより若干大きい値であ

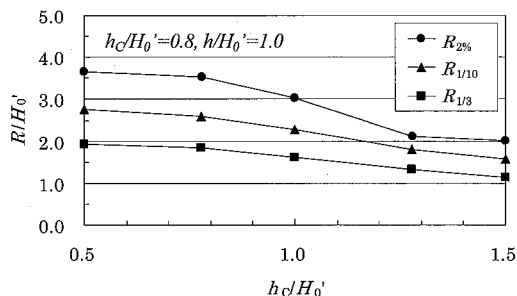


図-12 相対護岸天端高と無次元打上げ高との関係

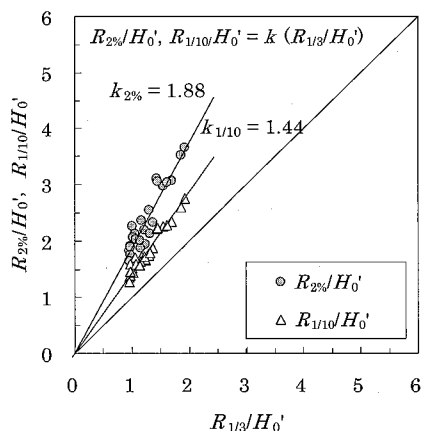


図-13 有義値との関係

った。すなわち、直消ブロック護岸の方が、2%超過値や 1/10 最大打上げ高の低減効果は若干大きいようである。

図-14 には、直消ブロック護岸による打上げ高の低減効果に及ぼす相対護岸天端高の影響を示した。なお、縦軸は直消ブロック護岸の無次元打上げ高 $R_{A1/3}/H_0'$ を直立護岸の無次元打上げ高 $R_{V1/3}/H_0'$ で除した R_A/R_V 、横軸は相対護岸天端高 h_c/H_0' である。これによると、 h_c/H_0' が大きくなるにつれて、 R_A/R_V の値は徐々に小さくなり、直消ブロック護岸による打上げ高の低減効果が高くなることがわかる。また、図中の曲線はのり先水深波高比 h/H_0' が 1.0 より小さい場合と大きい場合についてそれぞれ最小 2 乗法によって求めた回帰式であり、次の式である。

$$\frac{R_A}{H_0'} = \frac{R_V}{H_0'} \left\{ a \ln \left(\frac{h_c}{H_0'} \right) + b \right\} \dots \dots \dots (2)$$

$$a = -0.35, \quad b = 0.66 \quad (h/H_0' \leq 1.0) \dots \dots \dots (3)$$

$$a = -0.83, \quad b = 0.97 \quad (1.0 < h/H_0' \leq 1.5) \quad (4)$$

図-15 には、直消ブロック護岸における打上げ高の計

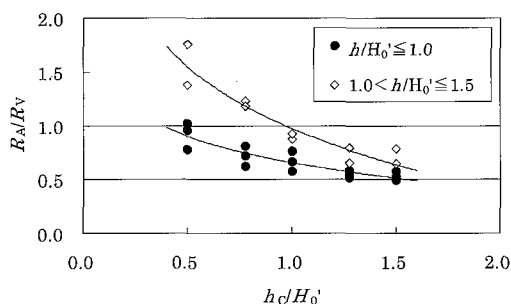


図-14 減少効果に及ぼす相対護岸天端高の影響

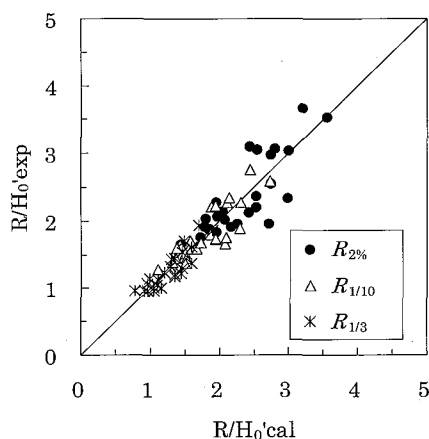


図-15 打上げ高の計算結果と実験結果の比較

算値と実験値との関係を示した。なお、各有義値の計算値は式(2)～(4)から求めたものであり、 $R_{2\%}$ および $R_{1/10}$ はその計算値に図-13の換算係数 k を乗じて求めた。これによると、両者は概ね一致しており、算定式の妥当性が示された。

5. 結 論

以上、本研究では最近施工例が増えてきた直積ブロック護岸について、越波特性と越波水塊の打上げ高を検討

してきた。その結果を要約すると、以下のようである。

- (1) 直積ブロック護岸の越波流量は、のり先水深が深くなるほど越波流量は増大し、護岸天端高が高くなるほど越波流量は減少する。また、直立護岸と比較すると、いずれの周期、のり先水深および護岸天端高においても直積ブロック護岸による越波量の低減効果がみられた。
- (2) 直積ブロック護岸の換算天端高係数 β_A は、全般的に直立護岸に比べて約6割程度であるが、のり先水深波高比が増大すると、 β_A 値は大きくなる。すなわち、のり先水深が深くなると越波流量の低減効果はあまり期待できなくなる。
- (3) 直積ブロック護岸への越波水塊の打上げ高は、のり先水深波高比が1.0のときに2%超過値、1/10および1/3最大打上げ高のいずれも極大値を示す。また、護岸天端高が高くなるほど、打上げ高の各有義値とも徐々に減少する。
- (4) 直積ブロック護岸への越波水塊の打上げ高における各有義値の関係は、2%超過値は1/3最大打上げ高の約1.9倍、1/10最大打上げ高は1/3最大打上げ高の約1.4倍である。
- (5) 直積ブロック護岸への越波水塊の打上げ高減少効果は、相対護岸天端高が1.0以下であれば護岸天端高が高くなるほど減少効果は大きくなる。しかし、相対護岸天端高が1.0以上になると減少効果はほぼ一定値となる。また、直積ブロック護岸への越波水塊の打上げ高と相対護岸天端高との関係から提案した越波水塊の打上げ高算定式は、ほぼ実験値と一致しており、その妥当性が示された。

参 考 文 献

- 井上雅夫・島田広昭・殿最浩司(1989): 不規則波における越波量の出現分布特性, 海岸工学論文集, 第36巻, 1989, pp. 618-622.