

大水深非越波型護岸の越波に対する 風の影響と飛沫対策

EFFECT OF WIND TO WAVE-OVERTOPPING AND WATER SPRAY ON
NON WAVE-OVERTOPPING TYPE SEAWALL IN DEEPWATER

山城 賢¹・吉田明德²・吉岡孝通³・橋本裕樹⁴・森屋陽一⁵
Masaru YAMASHIRO, Akinori YOSHIDA, Takamichi YOSHIOKA, Hiroki HASHIMOTO
and Yoichi MORIYA

¹正会員 博(工) 九州大学助手 大学院工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²正会員 工博 九州大学助教授 大学院工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³大分県 別府土木事務所 河港砂防課 (〒874-0034 別府市上人仲町13-47-207)

⁴学生会員 九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁵正会員 工博 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野四区町1534-1)

The effect of wind to wave-overtopping and water spray transportation behind the seawall was investigated with the Non Wave-Overtopping Type Seawall. It is confirmed that even for the strong wind, the seawall is effective for preventing wave-overtopping compared to the conventional upright seawall. But, as the wind velocity increases, the wave-overtopping rate increases and water spray was transported far and widely. In addition, a parapet was installed on the tip of the seawall as one of countermeasures of water spray, and its effect was investigated. It is found that the parapet is not so effective for reducing water spray, but it can prevent overflowing of water mass into just behind the seawall. It is also found that the parapet of about 1m in height reduces the wave-overtopping rate from 30 percent to 40 percent even under strong wind.

Key Words : non wave-overtopping type seawall, wave-overtopping, water spray, parapet, wave-tank with wind tunnel

1. はじめに

沿岸部では、風浪による越波や飛沫により、護岸背後の施設に多大な被害を生じることがある。著者らは、沖合の人工島護岸のような大水深域護岸を対象に、図-1に示すような形状により、波を沖方向に返し越波を防ぐ非越波型護岸の開発を行っている¹⁾。この護岸は従来の直立護岸より低天端を実現することができる反面、波を沖向き上方に膜状で返すため、打ち上がった水塊が風を受け飛沫となって護岸背後に輸送される。従来の直立及び消波護岸の設計においては、越波に対する風の影響は考慮されていないが、非越波型護岸を現地に適用することを考えた場合、越波防止効果に対する風の影響を把握することは重要である。本研究では、非越波型護岸に対し風と波を同時に作用させることで越波および飛沫輸送に対する風の影響を調べるとともに、天端高が等しい直立護岸に対しても同様の実験を行い、越波流量

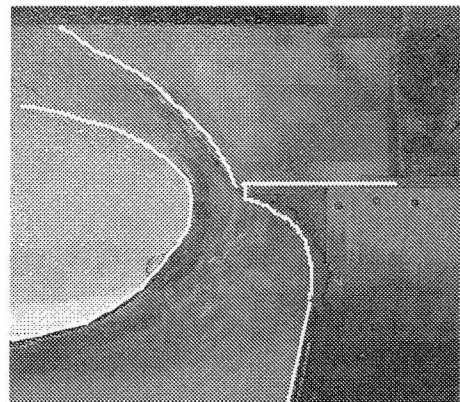


図-1 非越波型護岸

の空間分布について比較を行った。また、飛沫対策として、上久保ら²⁾による浅海域を対象とした非越波型護岸(フレア型護岸)の飛沫対策を参考に、著

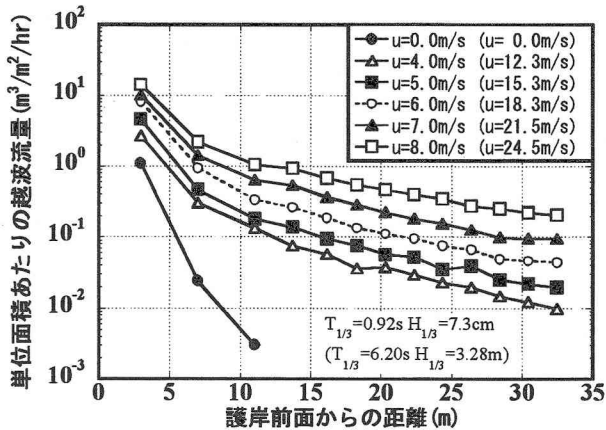


図-4 越波流量の水平分布
(非越波型護岸における風の影響)

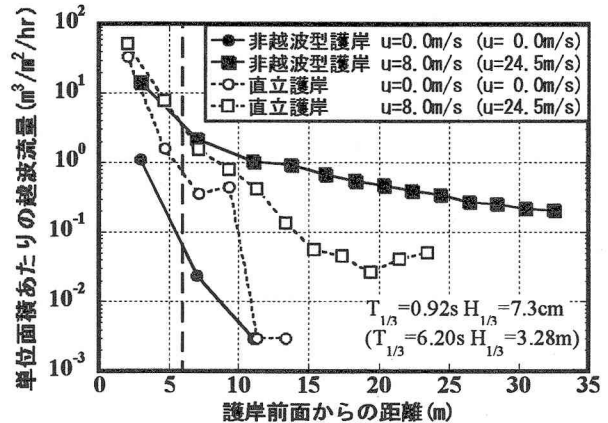


図-5 越波流量の水平分布
(非越波型護岸と直立護岸の比較)

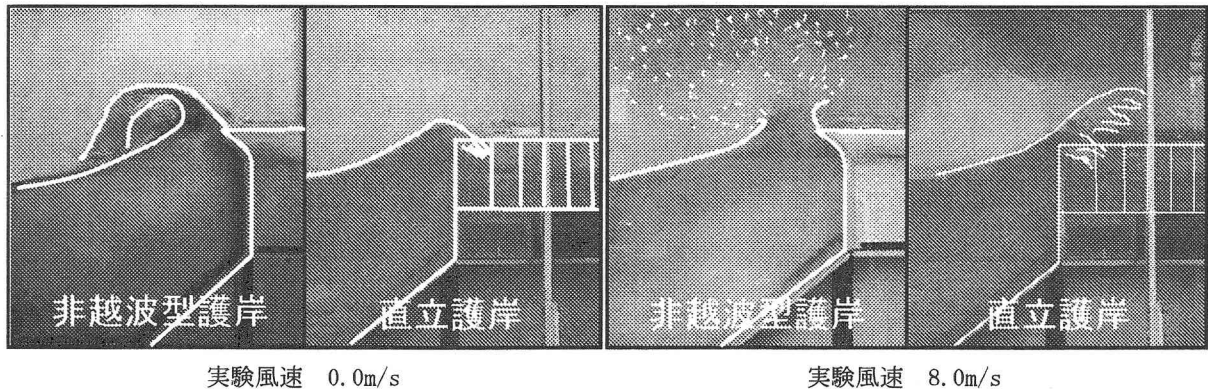


図-6 打ち上げが生じた瞬間の様子

(2) 風による越波流量の増加

図-4に非越波型護岸における越波流量の分布を示す。横軸は護岸前面からの距離、縦軸は単位面積あたりの越波流量を対数表示しており、ともに現地換算している。また、凡例には実験風速に対応した現地風速を括弧内に示している。越波流量は風速によらず護岸の直背後で最も多く、護岸から離れるに従い減少している。無風時では、越波流量は最も少なく、また護岸背後へ運ばれる越波水はほとんどない。しかし、風速が大きくなるにつれて、越波流量は大きくなり、風により護岸背後の広い範囲に越波水が輸送されるようになる。このことは実験時の観察においても確認しており、非越波型護岸は風速が小さい場合は大部分の水塊を沖側に返すことができるが、風速が大きくなると護岸背後へ輸送される飛沫量が急激に増加する。図-5は無風時および実験風速8m/sの場合について越波流量の分布を非越波型護岸と直立護岸とで比較したものである。無風時では護岸の直背後で直立護岸の越波流量が非越波型護岸に比べ格段に多い。非越波型護岸と直立護岸との越波流量の差について図-6に示す実験時の様子から考察すると、無風時においては図-6左図にみられるように、

非越波型護岸の場合は天端高以上の大きな波が作用しても、護岸の曲面で波をほぼ完全に冲向きに返しているため越波はほとんど生じない。これに対し、直立護岸では波により水位が護岸の天端高を越えると水塊が越流して護岸直背後の柵に流れ込むため護岸直背後の越波流量に大きな差が生じる。一方、暴風時を想定した実験風速8.0m/s(現地風速で24.5m/sを想定)の場合は、護岸前面から6m(現地換算)までの範囲では直立護岸の越波流量が多いのに対し、それ以降では非越波型護岸の越波流量が多い。これは図-6右図にみられるように、直立護岸では水塊が越流するために風の影響が小さく、護岸から離れた位置へ越波水は運ばれない。しかし、非越波型護岸では波を冲向き上方に、また護岸に沿って膜状で返すために風の影響を強く受け、多量の飛沫が生じ護岸から離れた位置まで飛沫が運ばれるためである。

図-7は図-4および図-5の越波流量水平分布を積分した単位幅あたりの越波流量と風速の関係を示している。非越波型護岸では、越波流量に対する風の影響は風速の増大につれ徐々に大きくなり、越波流量が大幅に増加している。直立護岸でも、越波流量は増加しているものの、非越波型護岸ほどの大幅な増

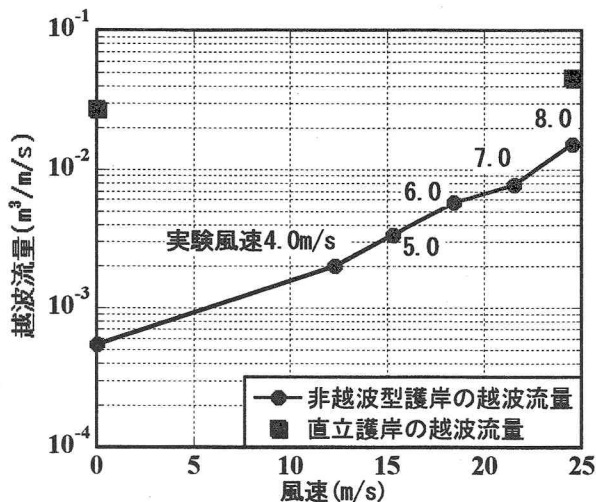


図-7 風速と越波流量の関係

加はみられない。この違いは、先に述べたように護岸の形状の違いにより越波の形態が異なり、それにより越波量分布に対する風の影響に差が生じたためである。ただし、無風時では非越波型護岸の越波流量が格段に少なく、暴風時においても非越波型護岸の越波流量は直立護岸の1/3程度となっていることから風の影響を考慮した場合においても、非越波型護岸は直立護岸に比べて格段に越波防止効果が高いといえる。

3. 飛沫対策の検討

(1) 非越波型護岸における飛沫対策

強風時においても非越波型護岸は直立護岸に比べ越波流量そのものは相当に低減できるものの、風速の増加に伴い飛沫の発生量も著しく増加することを確認した。上久保ら²⁾によれば浅海域を対象とした非越波型護岸（フレア型護岸）が砕波帯内に設置された場合は、上部直立壁（パラペット）を設置することで飛沫量を大幅に低減でき、沖浜帯に設置された場合には直立護岸と同程度の飛沫量に抑えることができるとしている。そこで著者らが対象とする大水深域非越波型護岸の先端にパラペットを設置した場合について同様の実験を行い、パラペットによる飛沫低減効果を調べた。入射波や護岸模型等の実験条件は先の実験と同じとし、風速を無風、4.0m/sおよび8.0m/sの3通り、パラペットの高さについては現実的な高さを考慮し、 $hw = 1\text{cm}$, 2cm , 3cm （現地換算45, 90, 135cm）と変化させて実験を行った。

(2) パラペットによる飛沫の低減効果

図-8にパラペットを設置した場合の越波流量の水平分布を示す。図より風速によらずパラペットを設置することにより、護岸直背後の越波流量が減少していることがわかる。図-9は実験風速8.0m/sにおいてパラペットがない場合と高さ3cmのパラペットを

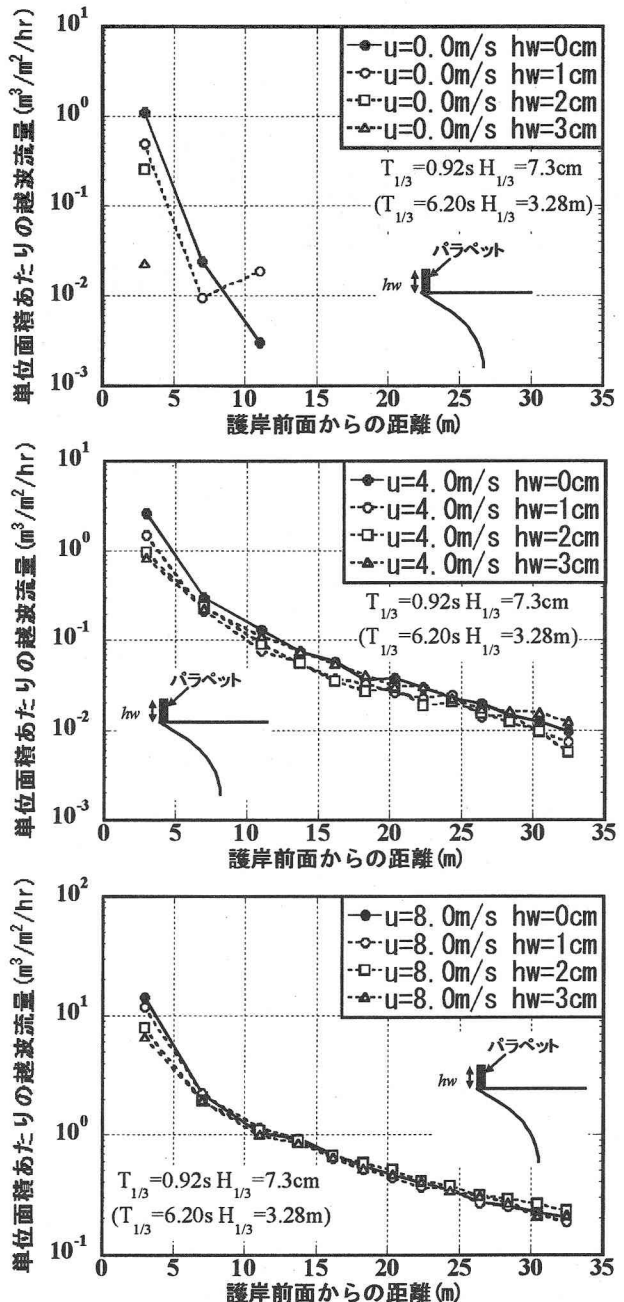


図-8 パラペットによる越波流量水平分布の変化

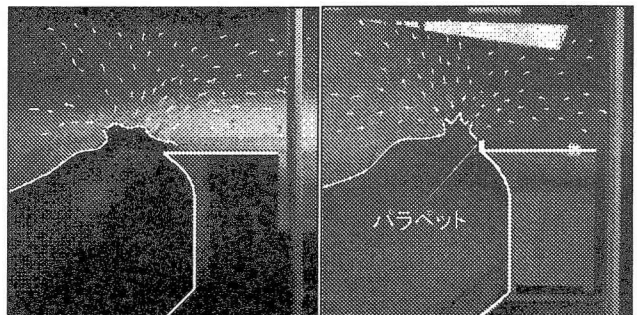


図-9 パラペットによる飛沫低減効果の確認実験の様子

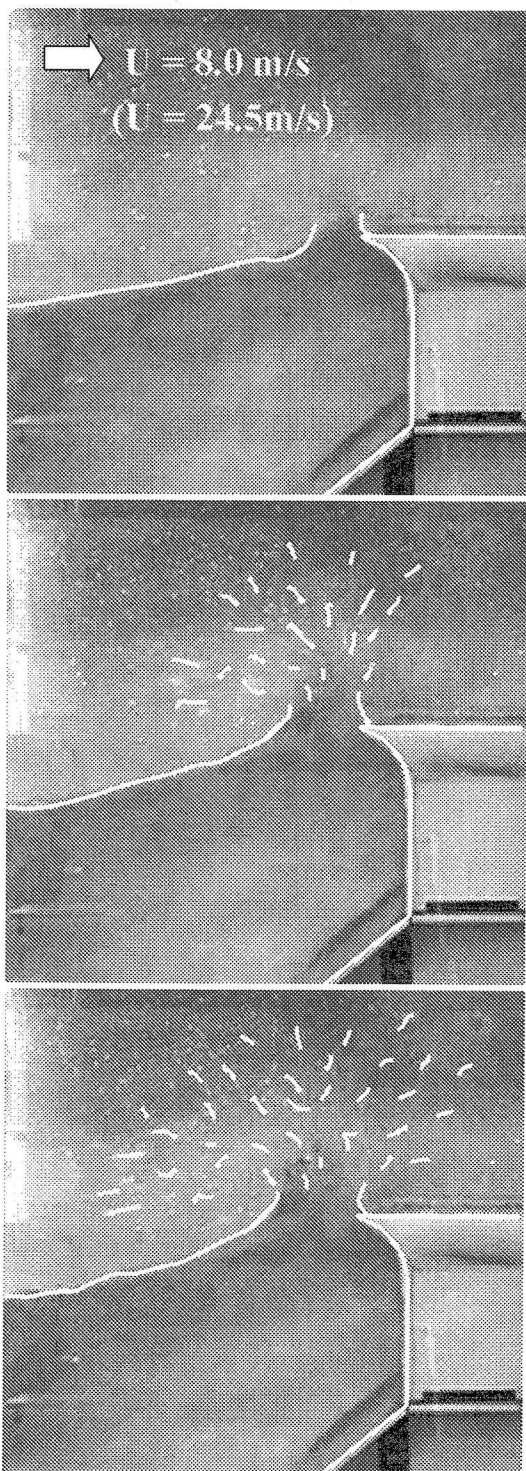


図-10 非越波型護岸における飛沫発生の様子

設置した場合の打ち上げが生じたときの様子である。この図からわかるように、非越波型護岸といえども、曲線部で沖に返しきれないほどの大きな波が作用した際には護岸上を水塊が越流するため、パラペットがない場合は越流した水塊が護岸直背後の柵に流れ込む。しかし、パラペットを設置した場合は、パラペットが水塊の流入を防ぐために護岸直背後の越波流量が減少する。一方、越波流量の水平分布を全体的に比較すると、無風時では越波流量が護岸背後に

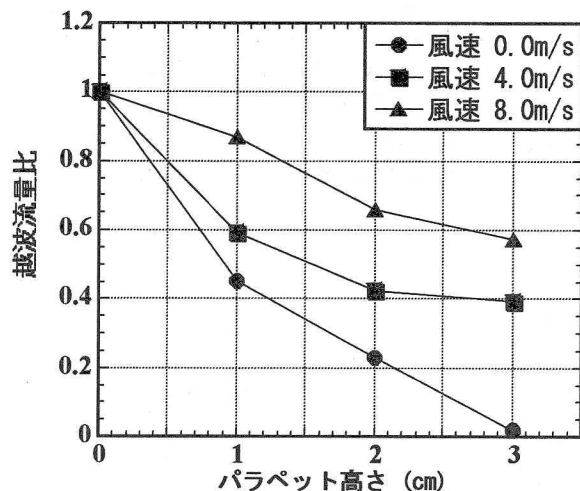


図-11 パラペットによる越波流量の低減

広く分布しておらず、パラペットにより越波流量の総量が顕著に減少しているが、実験風速4.0 m/sおよび8.0 m/sの場合については、パラペットにより護岸直背後の越波流量は減少しているものの、護岸背後の広い範囲については、パラペットの高さによらず同じように越波流量が分布している。これは図-9にみられるように、パラペットの有無に関わらず、護岸上部で多量の飛沫が発生し風により護岸背後に運ばれているためである。つまり、パラペットを設置することで護岸直背後への水塊の越流を低減し越波流量そのものは減少するものの、パラペットにより飛沫の発生および輸送を防ぐことは難しく、パラペットの飛沫の低減効果は低いと思われる。浅海域を対象としたフレア型護岸では、特にフレア型護岸が砕波帯内に設置された場合についてはパラペットを設置することで飛沫量を大幅に低減できることが確認されているが、これはフレア型護岸では砕波後の段波状に（水平に）来襲する波を曲面で冲向きに返すために水塊がそれほど高く打ち上がらないことによる。これに対し、図-10に示すように、本研究における大水深域非越波型護岸では波が砕波せずに直接作用し、護岸前面の流体は護岸に沿って鉛直上向きに勢いよく飛び出し、飛沫を生じながら高く打ち上がるため、パラペットは飛沫対策として有効に機能しない。したがって、大水深域非越波型護岸において風による護岸背後への飛沫輸送を軽減するためには、護岸先端の射出角を小さくし、波をできるだけ低く、しかも大きな射出速度で冲向きに返すことができる断面形状の工夫や護岸に沿う膜状の打上げを分断して波を返す工夫など、飛沫発生メカニズムを考慮した効果的な飛沫対策の開発が今後の課題といえる。

図-11はパラペットがない場合の越波流量を1として、護岸の先端にパラペットを設置した場合の越波流量（図-8の水平分布の積分量に相当）の比を示したもので、横軸は設置したパラペットの高さである。

パラペットは無風時に最も効果的であり、パラペットの高さが3cmの場合にはほぼ非越波を達成している。しかし、実験風速が大きくなるにつれパラペットによる越波流量の低減効果は小さくなっていることがわかる。ただし、暴風時を想定した風速8.0m/sの場合においても、高さ3cm（現地換算135cm）のパラペットで4割程度の越波流量の低減効果が認められる。

4. おわりに

強風時においても非越波型護岸は直立護岸に比べて越波防止効果が高いものの、非越波型護岸では風速が大きくなるにつれ、風の影響により越波流量が増加し飛沫が広範囲に分布する。この護岸背後への飛沫輸送を低減するため、浅海域における非越波型護岸であるフレア型護岸の開発段階で検討された上部直立壁（パラペット）による飛沫対策を参考に、大水深域非越波型護岸におけるパラペットによる飛沫の低減効果について実験的に検討した。その結果、パラペットは護岸直背後への水塊の越流を防ぐため、パラペットが高いほど越波流量を低減でき、強風時においても1m程度のパラペットで3割から4割程度の越波流量の低減効果があることがわかった。しかし、飛沫の低減に対しては、大水深域非越波型護岸では、波が砕波せずに直接作用し、非越波型護岸により波が薄い膜状になって沖側上方に高く返され、その水の膜に風を受けることによって飛沫が発生す

るため、パラペットは飛沫対策として機能せず、砕波帯内に設置されるフレア型護岸の場合ほどの効果は期待できないことがわかった。したがって、大水深域非越波型護岸における飛沫対策としては、飛沫発生メカニズムを考慮し、護岸の断面形状の改良も含めて新たな対策を検討する必要がある。

謝辞：本研究における風洞実験を行うにあたり、八代工業高等専門学校の上久保助手には多くのご指導とご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山城 賢，吉田明徳，久留島暢之，井ノ口洋平，入江 功：大水深域における非越波型護岸の開発，海岸工学論文集，第50巻，pp. 641-645，2003.
- 2) 上久保祐志，村上啓介，入江 功，吉田明徳，山城 賢，竹鼻直人：非越波型護岸の飛沫輸送特性とその制御方法の開発，海岸工学論文集，第50巻，pp. 646-650，2003.
- 3) 上久保祐志，入江 功，村上啓介，神田一紀：護岸上の完全開放を目的としたフレア型護岸の特性について，テクノオーシャン98論文集，pp. 129-132，1998.
- 4) 合田良実，鈴木康正，岸良安治，菊地治(1976)：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，No. 248
- 5) 山城 賢，吉田明徳，橋本裕樹，久留島暢之，入江 功：越波実験における風洞水槽内風速の現地風速への換算，海洋開発論文集，第20巻，pp. 653-658，2004.