

規則波作用下における直立護岸周辺の越波流量に及ぼす風の影響に関する一考察

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○ 岩川 恭志朗
岐阜工業高等専門学校 正 会 員 菊 雅美

1. 研究の背景および目的

我が国における沿岸災害の 1 つとして越波が挙げられる。越波は人的・物的被害だけでなく、交通遮断を招き、日本経済に多大な影響を与える。今後は海水面の上昇や異常気象が懸念されており、人命や財産を守るためにも、越波対策を講じることは急務である。海岸工学において越波に対する関心は高く、これまでに多くの研究が行われてきた。合田ら¹⁾は、直立護岸およびその前面に消波ブロックを有する護岸に対して数多くの不規則波による水理模型実験を行い、海底勾配および波形勾配ごとの越波流量算定図を作成した。この算定図は現在もなお、実務における護岸天端高の設計に広く用いられている。しかし、越波流量算定図には風の影響が考慮されておらず、護岸周辺に強大な風が吹き寄せる際の越波流量を求めることはできない。これは、水理模型実験にて風を作用させた場合に、実験スケールの結果を現地スケールに換算する方法が確立されていないためである。この問題に対し、Hieu et al.²⁾は、風速と波浪条件を様々に変化させた数値計算により、越波流量に及ぼす風の影響について検討を行った。そして、有風時の越波流量は無風時の越波流量の 2.5 倍になると提案した。しかし、数値計算のみの検討にとどまっており、実現象との整合性は検証されていない。また、奥村³⁾は、風外力が導入された断面 2 次元数値波動水路 CADMAS-SURF (以下、CS) を用いて、規則波および不規則波動場における直立護岸周辺の越波計算を行った。その結果、越波流量は風速によって変化するものの、その変化は一定ではないこと、無風時の無次元越波流量が小さいほど、風の影響を大きく受けることを指摘した。ただし、風の影響を受ける無次元越波流量の定量的な評価には至っていない。

上述の背景から、本研究では、水理模型実験と数値計算の両面から、風の影響を受ける無次元越波流量を明らかにするとともに、越波流量に及ぼす風の影響を評価することを目的とする。

2. 風外力を導入した 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D による越波計算

海岸施設の設計に適用することを目的として開

発された CS は、これまでに多くの現象に対する妥当性が検証されている。しかし、CS は単相流モデルであるため、風を考慮した越波計算は行えない。そこで、川崎・菊⁴⁾は、風が波動場に及ぼす影響を外力として CS に導入した。一方、近年では、CS を 3 次元に拡張した CADMAS-SURF/3D (以下、CS/3D) が実務で適用されつつある。そこで、服部⁵⁾は、川崎・菊⁴⁾の風外力を CS/3D へ導入した。本研究では、風外力が導入された CS/3D を用いて、越波計算を行うこととした。

計算領域および波浪条件を図-1 と表-1 にそれぞれ示す。直立護岸を造波板から 17.6m 離れた地点に設定し、護岸前面には 1:10 の一様勾配地形を設けた。本研究では、相対天端高 h_c/H の違いに着目し、異なる h_c/H を 4 ケース設定した。波形勾配は $H/L = 0.036$ の 1 種類とし、規則波を $x = 0\text{m}$ の造波境界から入射させた。無次元風速 $U/\sqrt{gH}$ は、0.0 ~ 2.4 の範囲で変化させ、 $x = 17.4\text{m}$ から護岸までの範囲に作用させた。そして、護岸から計算領域末端までを越波領域とし、VOF 関数 F 値の面積積分により越波流量を算定した。

3. 越波流量に及ぼす風の影響

図-2 に、護岸周辺の空間分布を例示する。ここで、水中は x 方向流速のコンター図である。各図から、 $U/\sqrt{gH}$ の作用によって、護岸前面の波浪状況が異なっている様子が確認できる。同図(a)から、 $U/\sqrt{gH} = 0.0$ のとき、護岸に到達した波は、護岸に沿っ

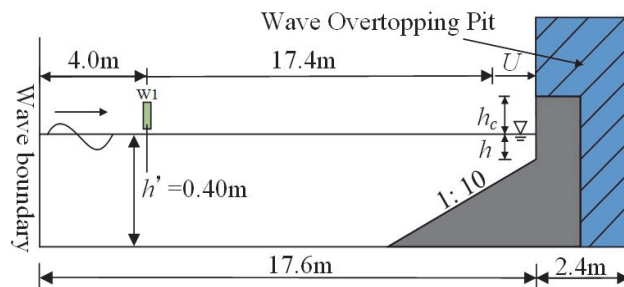


図-1 計算領域

表-1 波浪条件

波形勾配 H/L	0.036
相対天端高 h_c/H	1.00 ~ 1.75
水深波高比 h/H	1.00
無次元風速 $U/\sqrt{gH}$	0.0 ~ 2.4

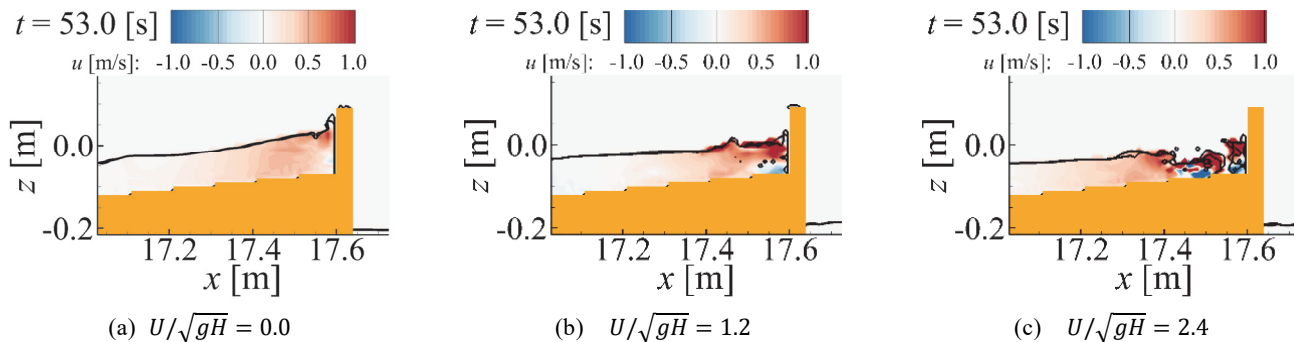
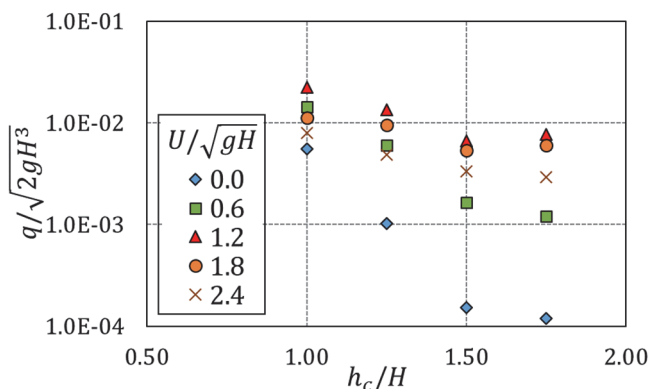
図-2 $h_c/H = 1.25$ における護岸周辺の空間分布

図-3 相対天端高と無次元越波流量の関係

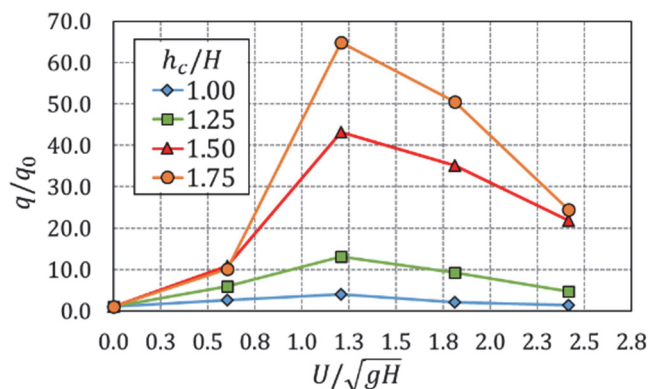


図-4 無次元風速と越波流量比の関係

て打ち上がっている。 $U/\sqrt{gH} = 1.2$ では、同図(b)に示すように、護岸前面において自由表面付近での x 方向流速の卓越がみられる。さらに、 $U/\sqrt{gH} = 2.4$ では、自由表面に作用させた強い水平方向流速による砕波の発生が同図(c)よりわかる。

図-3 に、相対天端高 h_c/H と無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ の関係を無次元風速 $U/\sqrt{gH}$ ごとに示す。無風時である $U/\sqrt{gH} = 0.0$ の結果に着目すると、 h_c/H が大きくなるにつれて、 $q/\sqrt{2gH^3}$ は小さくなることが確認できる。本計算では、波高 H および周期 T を一定としているため、 h_c/H の増加は護岸天端高 h_c の増大を意味しており、護岸が高くなったことによる $q/\sqrt{2gH^3}$ の減少が確認できる。また、各 h_c/H に着目すると、 $U/\sqrt{gH} = 1.2$ までは $q/\sqrt{2gH^3}$ は増加するものの、それ以上になると $q/\sqrt{2gH^3}$ は減少していることがわかる。これは、前述のような護岸前面における波浪状況の違いによりもたらされていると考えられる。

無次元風速 $U/\sqrt{gH}$ と越波流量比 q/q_0 の関係を図-4 に示す。ここで、 q/q_0 とは、無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ を無風時の無次元越波流量 $q_0/\sqrt{2gH^3}$ で割ったものである。同図から、相対天端高 h_c/H によらず、有風時は $q/q_0 = 1.0$ を上回っており、風外力による $q/\sqrt{2gH^3}$ の増加が認められる。また、 h_c/H が

大きいほど、 q/q_0 も大きいことが図-4 よりわかる。

図-3 から、 h_c/H が大きいほど、 $U/\sqrt{gH} = 0.0$ のときの $q/\sqrt{2gH^3}$ は小さい。したがって、無風時の無次元越波流量 $q_0/\sqrt{2gH^3}$ が小さいほど、風の影響を大きく受けるといえ、 $q_0/\sqrt{2gH^3}$ が 10^{-3} 以下のときにその影響が特に大きくなるものと考えられる。

4. 今後の予定

今後は、数値計算と同じ条件で水理模型実験を行う。そして、数値計算結果の妥当性を検証するとともに、越波流量に及ぼす風の影響を明らかにする。謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究(A)(研究代表者：岐阜工業高等専門学校・菊 雅美、課題番号：26709035)の助成を受けたことをここに付記し、感謝の意を表す。

参考文献：1) 合田ら：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4巻，14，pp.3-44，1975。
2) P. D. Hieua, et al.: Study of wave-wind interaction at a seawall using a numerical wave channel, Applied Mathematical Modelling, Vol. 38, Issues 21-22, pp. 5149-5159, 2014. 3) 奥村：越波量に及ぼす風の影響評価に関する研究，平成27年度卒業論文，2016. 4) 川崎・菊：風外力を考慮した護岸越波解析のための数値波動水路の提案，海洋開発論文集，Vol.67，No.2，pp.1_58-1_63，2011. 5) 服部：3次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D の高性能化に関する研究，平成27年度卒業論文，2016。