

直立護岸の無次元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 ○ 奥村 晃至
岐阜工業高等専門学校 正 会 員 菊 雅美
ハイドロソフト技術研究所 正 会 員 川崎 浩司

1. はじめに：台風や低気圧の接近時に、護岸周辺において発生する越波は、人的・物的被害をもたらすだけでなく、交通遮断を生じさせ、物流や人々の生活に大きな支障をきたす。そのため、越波に関する研究は、これまでに数多く行われてきた。日本の越波研究の中で特に著名なものとして、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に 12 枚の越波流量算定図を作成した。この算定図から求められる無次元越波流量は水理模型実験値とよく一致しており、信頼度が高い。そのため、現在もなお、実務において越波流量算定図を用いた護岸天端高の設計が広く行われている。しかしながら、越波流量算定図には風の影響が考慮されていない。越波を誘発させる低気圧の接近・通過時には、護岸周辺に強大な風が吹き寄せるため、越波に及ぼす風の影響を評価することは重要である。風速と越波の関係については数多くの検討が行われているものの、護岸設計に適用できるものは少なく、合田²⁾は、越波量が少ないときには風の影響が大きくなるものの、定量的な評価方法は確立されていないと指摘している。本研究では、風外力が導入された数値計算モデルを用いて、直立護岸の無次元越波流量に及ぼす風の影響について検討することを目的とする。

2. 数値モデルによる越波計算：本研究では、風外力が導入された断面 2 次元数値波動水路 CADMAS-SURF³⁾を用いて越波計算を行った。本モデルでは、風外力として自由表面に風応力が導入されるとともに、風的作用を受けた水滴の加速度運動が計算できるよう既存の TimerDoor 法が改良されている。図-1 および表-1 に、計算領域の概要と波浪条件をそれぞれ示す。本検討では、合田の越波流量算定図を参考に、護岸形状として直立護岸を取り上げて $x=20.0\text{m}$ の地点に設置するとともに、前面に 1:10 の一様勾配地形を設けた。越波量算定図では、波形勾配 H/L 、水深波高比 h/H 、相対天端高 h_c/H をパラメータとして無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ が算定されることから、これらのパラメータに着目して波浪条件を決定した。入射波は規則波とし、造波境界 ($x=0.0\text{m}$) から入射させた。風速 U は、 $0.0\sim 3.0\text{m/s}$ の 4 種類に変化させ、 $x=19.0\text{m}$ から護岸までの範囲に作用させた。また、上部から背後にかけて越波桁領域を設け、VOF 関数の F 値の面積積分から越波量 Q の時系列変化を求めるとともに、総越波量を越波開始時刻から計算終了までの時間で除して、越波流量 q を算出した。

3. 規則波作用下における風の影響：図-2 に、波形勾配 H/L を 0.036、相対天端高 h_c/H を 1.0 とし、水深波高比 h/H を変化させた場合の風速 U と越波流量比 $q/q_{U=0}$ の関係を示す。ここで、越波流量比とは、風外力が作用したときの越波流量 q を無風時の越波流量 $q_{U=0}$ で除したものであり、1.0 より大きければ風外力によって越波流量が増加したことを意味する。同図から、 $U=3.0\text{m/s}$ のときは、 h/H が大きいほど $q/q_{U=0}$ も大きいことがわかる。しかしながら、風速の増加に伴う越波流量比の変化に一定の傾向は認められない。さらに、 h/H が 0.415

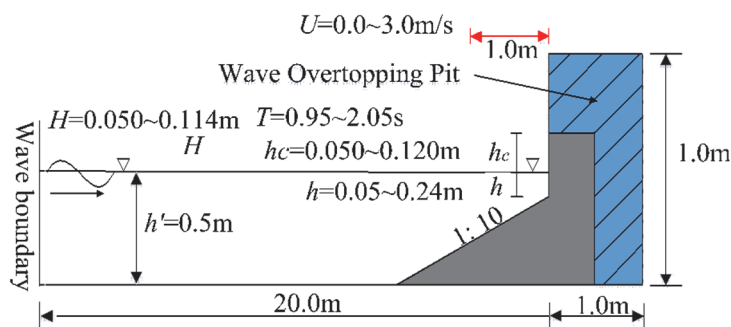


図-1 計算領域

表-1 波浪条件

波高 H	0.050 ~ 0.120 m
周期 T	0.95 ~ 2.05 s
波形勾配 H/L	0.012, 0.017, 0.036
相対天端高 h_c/H	1.00 ~ 1.75
水深波高比 h/H	0.415 ~ 3.00
風速 U	0.0 ~ 3.0 m/s

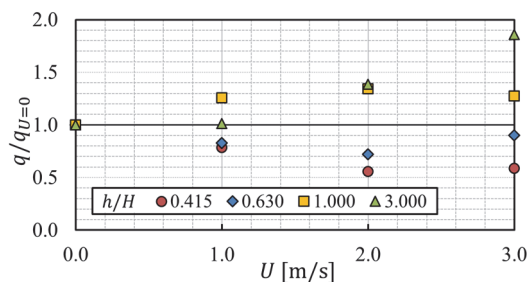


図-2 風速と越波流量比の関係

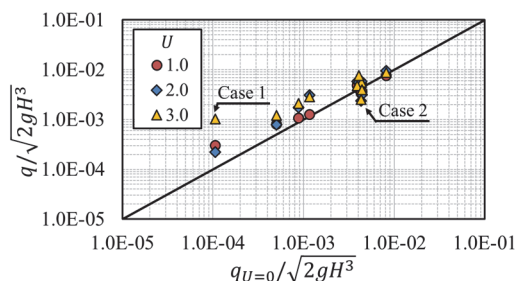
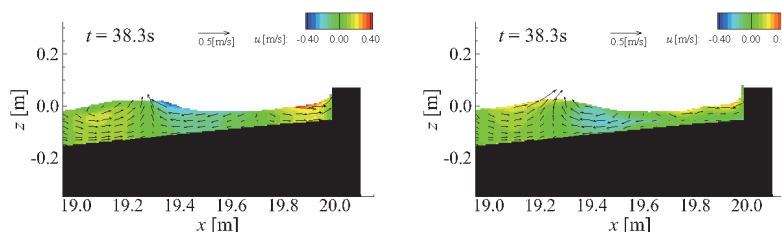


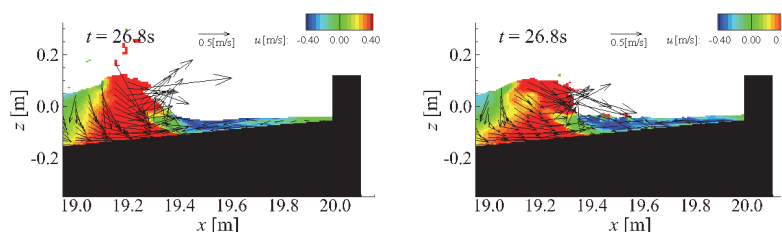
図-3 $q_{U=0}/\sqrt{2gH^3}$ と $q/\sqrt{2gH^3}$ の関係



(a) $U=0.0\text{m/s}$

(b) $U=3.0\text{m/s}$

図-4 Case 1 における護岸周辺の水平流速の空間分布



(a) $U=0.0\text{m/s}$

(b) $U=3.0\text{m/s}$

図-5 Case 2 における護岸周辺の水平流速の空間分布

および 0.630 のときは越波流量比が 1.0 を下回っており、風外力の作用によって越波流量が減少していることがわかる。したがって、風速の増加に伴って無次元越波流量も増加するとはいえず、越波流量比が 1.0 を超えるような波浪条件を把握することの必要性が明らかになった。

図-3 に、無風時の無次元越波流量 $q_{U=0}/\sqrt{2gH^3}$ に対する有風時の無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ を風速ごとに示す。同図中に Case 1 と示した $q_{U=0}/\sqrt{2gH^3}$ が最も少ない条件においては、風外力の作用による無次元越波流量の増大が確認できる。Case 1 における護岸周辺の水平流速の空間分布を図-4 に示す。無風時の空間分布を示した同図(a)では、護岸に到達した波が打ち上がることなく沖へ反射している様子がみられる。一方、同図(b)から、風速 $U=3.0\text{m/s}$ の作用下では、波が護岸前面で打ちあがっている様子が認められる。これは、自由表面に風外力を与えたことで自由表面の流速が大きくなり、波浪の発達に寄与したものと考えられる。このような風外力の効果によって、無風時に比べて有風時は無次元越波流量が増大したと考えられる。しかし、 $q_{U=0}/\sqrt{2gH^3}$ が大きくなるにつれ、風外力による大きな $q/\sqrt{2gH^3}$ の増加はみられなくなる。さらに、図-3 中に Case 2 として示した条件では、有風時に $q/\sqrt{2gH^3}$ の減少が認められる。図-5 に、Case 2 における護岸周辺の水平流速の空間分布を示す。同図(a)より、無風時は大きな砕波を伴いながら護岸へ来襲の様子がみられる。同図(b)から、 $U=3.0\text{m/s}$ でも護岸前面において無風時と同じような砕波が生じているものの、無風時に比べて波高は低くなっている。これは、自由表面に風の効果として与えた外力によって砕波が促進され、無風時に比べて砕波点が沖へ移動したと考えられる。そのため、護岸前面での波高が無風時に比べて小さくなり、無次元越波流量が減少したと推察される。以上から、無次元越波流量に及ぼす風の影響は、無風時の無次元越波流量に大きく依存するといえる。

4. おわりに：本研究では、風外力が導入された数値波動水路 CADMAS-SURF を用いて直立護岸を対象とした越波計算を行い、無次元越波流量に及ぼす風の影響について考察した。その結果、合田が指摘するように、無風時の無次元越波流量が少ない条件において風の影響が大きくなることを示した。今後は不規則波を対象に検討を行うとともに、風洞装置を用いた水理模型実験によってより詳細な検討を行う予定である。

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) 合田良実・岸良安治・神山 豊：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) 合田良実：耐波工学－港湾・海洋構造物の耐波設計，鹿島出版会，430p.，2008。3) 川崎浩司・菊 雅美：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。