

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速の影響に関する一考察

岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○ 東 陽平  
 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

低気圧の接近・通過時に発生する高波による背後地への浸水は、日本が抱える沿岸災害の一つである。台風 1721 号によって関東沿岸部が高波被害を受けたことは記憶に新しい。越波は人的・物的被害だけでなく、交通遮断を生じさせ、日本経済に大きな影響を与えている。

越波に関する研究はこれまでに数多く行われている。特に著名なものとして、合田ら<sup>1)</sup>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不規則波による水理模型実験を数多く行い、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。この算定図から求められる無次元越波流量は水理模型実験結果を良好に表現することから、信頼度が高い。そのため、今もなお、実務における護岸天端高の算定に越波流量算定図が広く用いられている。

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。この理由として、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ことが挙げられる。一方、越波が発生するような状況では、護岸周辺に強大な風が吹いており、越波量に大きな影響を与えていると考えられる。そのため、護岸に吹き寄せる風の影響まで考慮した護岸設計が求められている。越波量に及ぼす風の影響についても多くの検討が行われてきたが、定量的な評価方法は確率されていない。そこで、岩川<sup>2)</sup>は、送風装置付き断面 2 次元造波水路を用いた水理模型実験を行うとともに、その再現計算を風外力が導入された 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D により行い、計算結果の有用性について検討した。そして、水理模型実験・数値計算ともに無風時の無次元越波流量  $q/\sqrt{2gh^3}$  が小さいほど、風の影響を大きく受けることを示した。ただし、再現計算と実験結果には差異が生じ、数値計算の再現性に課題が残された。この要因として、水理模型実験の条件設定に問題があったといえる。

上述の背景から、本研究では、より多くの波浪条件を対象に水理模型実験を行い、水位変化や越波量

の時系列変化などの様々な視点から風が越波量に及ぼす影響について検討することを目的とする。

2. 風洞装置付き 2 次元造波水路を用いた水理模型実験

2.1 実験方法および実験条件

本実験は、岐阜工業高等専門学校の送風装置付き断面 2 次元造波水路(長さ 25 m, 幅 0.7 m, 高さ 1 m)を用いて行った。図-1 に、実験装置の概略図を示す。造波板の中立位置を  $x = 0$  m とし  $x = 17.75$  m の位置に高さ 0.493 m の直立護岸を設置した。また、合田の越波流量算定図に基づいて実験を行うため、護岸前面に 1/10 勾配(長さ 3.3m, 高さ 0.33m)の斜面を設置した。護岸背後には遮水升を設け、その内部に越波水塊を集水するための越波升を設置した。そして、護岸上部に設けたアクリル製の導水板(幅 0.23 m)により、越波した水塊を越波升に導水した。

表-1 に実験条件を示す。本実験では、水深を  $h = 0.4$  m の一定とし、波形勾配  $H/L$  が 0.036 となるように、波高  $H$  および周期  $T$  を変化させた 7 ケースを設定した。また、相対天端高  $h_c/H$  が 3 パターン(1.0, 1.2, 1.5) となるように護岸天端高  $h_c$  も変化

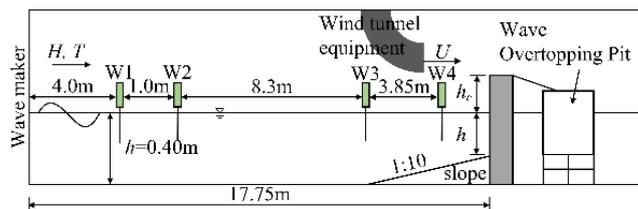


図-1 水理模型実験装置の概略図

表-1 実験条件

Case	$H$ [cm]	$T$ [s]	$h_c$ [cm]	$h_c/H$	$h/H$
1	6.2	1.11	9.3	1.5	0.76
2	7.5	1.26	9.3	1.2	0.63
3	9.3	1.49	9.3	1.0	0.51
4	10.3	1.61	10.3	1.0	0.46
5	8.3	1.36	10.3	1.2	0.57
6	7.5	1.26	11.3	1.5	0.63
7	12.3	1.87	12.3	1.0	0.38

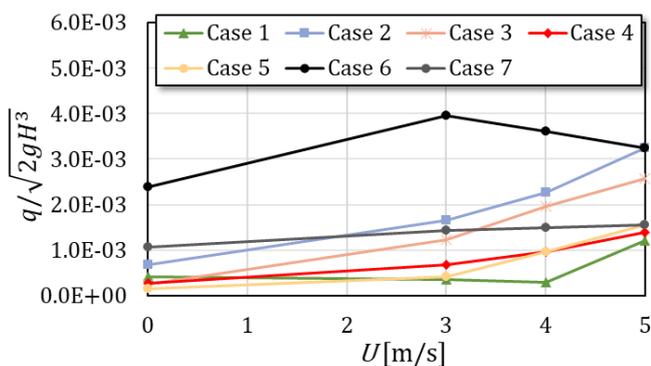


図-2 風速と無次元越波流量の関係

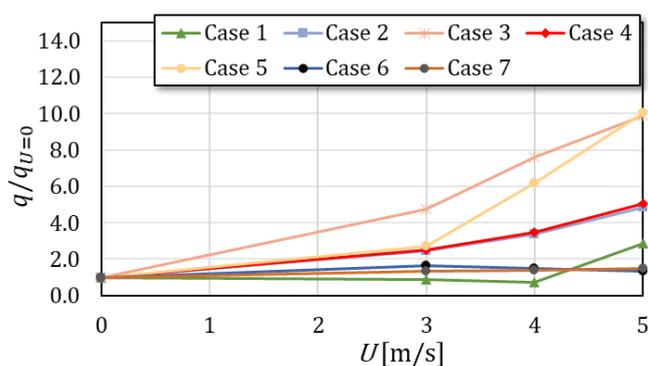


図-3 風速と越波流量比の関係

させた。風速 $U$ は、4パターン(0, 3, 4, 5 m/s)を設定した。

実験では、水位の時間的変化を把握するため、図-1に示す4箇所に容量式波高計を設置した。また、越波升内の水塊の最終重量 $V$ を計測し、水の密度( $=1000$  [kg/m<sup>3</sup>])で除することで、越波量の体積 $Q$ を算定した。さらに、越波量の体積 $Q$ を導水板の幅および計測時間で除することで越波流量 $q$ を求めた。

## 2.2 容量式波高計の較正

容量式波高計は、水位の変化に伴うワイヤセンサの電気容量の変化を利用し、水面の変化を測定するものである。容量式波高計の出力値は電圧値であることから、出力電圧値を水位に変換するための較正係数を求める必要がある。そこで、水路内に設置した容量式波高計を2.0cmずつ上げた際の電圧値を記録した。そして、横軸に出力電圧値、縦軸に水位を取り、出力電圧値を水面変動量に変換するための較正係数を求めた。

## 2.3 通過波検定

造波板を作動させる際のPCへの入力値は目標値であり、実際に造波される波高と必ずしも一致しない。そこで、目標とする波を発生させるための入力値を求める通過波検定を行った。通過波検定は護岸のない状態で行い、検定地点を $x = 4.0$  mとして一定水深・一定周期の下、入力波高を様々に変化させた。検定地点に設置した容量式波高計にて出力電圧値の時系列変化を記録し、前節で求めた較正係数をかけることで水位に変換した。そして、入力値と出力値の関係から、目標波高を造波するための入力値を求めた。

## 3. 規則波作用下における越波特性

風速 $U$ と無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ の関係を図-2に示す。同図から、Case 1~5については、無風時に比べて、風速が大きくなるほど越波量は増加して

いることがわかる。しかし、Case 6では、 $U = 3$  m/sのとき、無風時に比べて $q/\sqrt{2gH^3}$ は増加するものの、 $U = 4$  m/s以上になると $q/\sqrt{2gH^3}$ は減少している。また、Case 7においても、有風時の $q/\sqrt{2gH^3}$ は無風時に比べて大きな増加はみられず、風の影響は非常に小さいといえる。Case 6およびCase 7について、無風時の $q/\sqrt{2gH^3}$ に着目すると $10^{-3}$ を超えている。このことから、無風時の無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH^3}$ が $0.6 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ の間に境界があり、境界値以上になると風による無次元越波流量への影響は小さくなると考えられる。

図-3に、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 $q/q_{U=0}$ とは、越波流量 $q$ を無風時の越波流量 $q_{U=0}$ で除したものである。同図から、Case 3およびCase 5は、有風時の越波流量が無風時の10倍に達していることがわかる。水深波高比 $h/H$ に着目すると、Case 3は $h/H = 0.51$ 、Case 5は $h/H = 0.57$ である。このことから、平均して水深波高比 $h/H = 0.54$ 付近では風による越波量の影響が大きくなると考えられる。

今後は、不規則波実験の結果も含めて、さらなる検討を進める。また、風外力が導入された数値波動水槽を用いた数値計算を行い、水理模型実験結果との比較から計算の妥当性について検討するとともに、実験と計算の両面から越波量に及ぼす風の影響について検討を行っていく。

**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) 岩川: 越波量に及ぼす風の影響評価に関する研究, 平成28年度卒業論文, 2017.