

強風が不規則波の打ち上げ高に及ぼす影響

宮崎大学 学生会員 ○ 関谷海里
 宮崎大学 正会員 村上啓介

1. はじめに

IPCC 第 5 次評価報告書によると、日本に來襲する台風など熱帯低気圧の強さが増加する可能性があるとして指摘している¹⁾。また、気象庁によれば、日本沿岸の平均海面は 2006 年から 2015 年の間に 1 年あたり 4.1mm の割合で上昇している²⁾。台風の強大化、平均海面の上昇は高潮や高波による被害を大きくする要因である。それらによる被害を防止、軽減するために傾斜堤や護岸等が設計されている。現在、実務設計において海岸施設の天端高を設定する際に用いられる波の打ち上げ高には風速の影響が考慮されていない。そこで、強風下で発生する高潮、高波災害を防ぐために風速と波の打ち上げ高の関係を明らかにして実務設計に反映する必要があると考えた。著者らは規則波による波の打ち上げ高と風速の関係に着目して実験を行ってきた³⁾。本研究では水理模型実験により不規則波による波の打ち上げ高と風速の関係について検討を行った。

2. 水理模型実験

2-1. 実験装置及び実験方法

水理模型実験は、図-1 に示す長さ 18m、高さ 1m、幅 0.6m、の風洞付き二次元造波水路を用いて行った。山城ら⁴⁾は実験風速を現地風速の 1/3 程度に設定すると、実験で計測した越波量が現地観測結果と概ね一致することを示している。越波量と波の打ち上げ高は別現象ではあるが、この知見を踏まえて、風洞内の風速として $U=0, 2.8, 5.6, 8.6\text{m/s}$ の 4 ケースを設定した。水路内には勾配が 1/10 の海底勾配を設け、その岸側に単断面の護岸模型を設置した。護岸模型の法面勾配は $\theta=20, 30, 40$ 度の 3 種類とした。風洞沖側端から護岸模型の法先までの吹送距離は 7.5m である。計測には ch1~ch6 の容量式波高計を用いた。ch1 は入射波高、ch2 は護岸の近傍(護岸法尻から 0.3m 沖側)、ch3 は護岸法尻の水面変動を計測している。また、ch4~ch6 は法面に沿って 15cm 間隔で設置して、打ち上げ変動を計測した。護岸法先水深は、 $h_d=0.05, 0.15, 0.20, 0.25\text{m}$ の 4 種類とした。不規則波は、Bretschneider・光易型スペクトルとし、有義波波高 $H_{1/3}=0.02\text{m}(0.05, 0.07\text{m})$ 、有義波周期 $T_{1/3}=1.0, 1.5, 2.0\text{s}(1.5, 2.0\text{s})$ 、初期位相のための乱数初期値 1,50,99 として、サンプリング間隔 0.02s で約 2 分 50 秒間の水位変動データを取得した。表-1 に実験条件を示す。

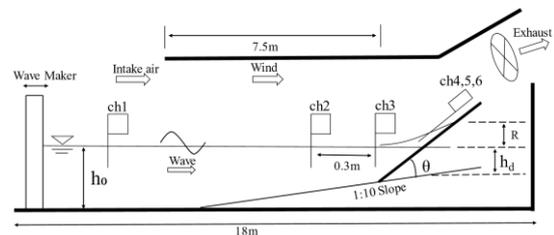


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

| 法面勾配 θ (度) | 護岸法先水深 h_d (m) | 有義波波高 $H_{1/3}$ (m) | 有義波周期 $T_{1/3}$ (s) | 初期位相のための乱数初期値 | 風速 U (m/s) |
|-------------------|------------------|---------------------|-------------------------|---------------|--------------------|
| 20 | 0.05 | 0.02(0.07) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |
| 20 | 0.15 | 0.02(0.07) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |
| 30 | 0.20 | 0.02(0.05) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |
| 30 | 0.25 | 0.02(0.05) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |
| 40 | 0.15 | 0.02(0.07) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |
| 40 | 0.20 | 0.02(0.05, 0.07) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |
| 40 | 0.25 | 0.02(0.05, 0.07) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) | 1,50,99 | 0.2, 2.8, 5.6, 8.6 |

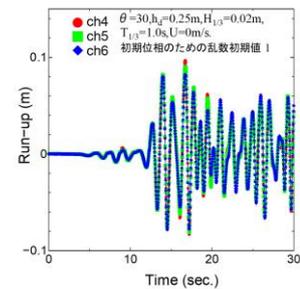


図-2 遡上波形の一例

表-2 砕波の有無と実験条件

| 砕波の有無 | CASE | 実験条件 | | | |
|-------|-------|---------------|------------------|---------------------|-------------------------|
| | | 法面勾配 θ | 護岸法先水深 h_d (m) | 有義波波高 $H_{1/3}$ (m) | 有義波周期 $T_{1/3}$ (s) |
| 非砕波条件 | / | 30,40 | 0.20, 0.25 | 0.02(0.05) | 1.0, 1.5, 2.0(1.5, 2.0) |
| | | 40 | 0.20 | 0.07 | 1.5 |
| | | 40 | 0.25 | 0.07 | 1.5, 2.0 |
| 砕波条件 | CASE1 | 20 | 0.05 | 0.02 | 1.0, 1.5, 2.0 |
| | CASE2 | 20 | 0.05 | 0.07 | 1.5, 2.0 |
| | CASE3 | 20 | 0.15 | 0.07 | 1.5, 2.0 |
| 遷移条件 | CASE4 | 20 | 0.15 | 0.02 | 1.0, 1.5, 2.0 |
| | CASE5 | 40 | 0.15 | 0.02 | 1.0, 1.5, 2.0 |
| | CASE6 | 40 | 0.15 | 0.07 | 1.5, 2.0 |
| | | 40 | 0.20 | 0.07 | 1.5 |

2-2. 解析方法

図-2 に波高計 ch4~ch6 で計測した遡上波形の一例を示す。各波高計で計測した水面変動について、波形が概ね定常状態になった以降のデータを用いて解析を行った。打ち上げ高は法面に沿って設置した波高計 ch4~ch6 で計測した遡上波形のピーク値を求め、その値を元に遡上高を算出して、波高計 ch4~ch6 のそのキーワード: 波の打ち上げ高, 不規則波, 砕波

それぞれの遡上高の平均値を打ち上げ高とした。また、波高計 ch1~ch3 で計測した波は全てゼロアップクロス法により定義し個々波解析を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1. 目視観察による砕波の有無とパラメータの変化

表-2 に実験時の波の様子と実験条件を示す。実験条件を目視観察による結果から非砕波条件、砕波条件、遷移条件に分類した。また、法面勾配 θ 、護岸法先水深 h_d 、不規則波の条件は同じであるが風速 U の違いにより砕波の有無が変化する場合風速 $U=5.6, 8.6\text{m/s}$ の条件における波の様子をもとに分類をした。ここで、非砕波条件とは護岸の法先前方や法面上で砕波が生じない場合である。砕波条件は明確な巻き波砕波が生じた場合であり、砕波地点の違いにより 3 つに分類した。CASE1 は法先前方で砕波が生じる場合、CASE2 は砕波後に護岸に到達する場合、CASE3 は法面上で砕波する場合である。遷移条件は法面周辺で部分的に砕波が生じた場合であり 3 つに分類した。CASE4 は巻き波砕波が 1~3 回生じた場合、CASE5 は砕け寄せ砕波が混ざる場合、CASE6 は戻り流れにより、法面上で巻波砕波が混ざる場合である。図-3,4 は表-2 の砕波の有無による分類結果ごとに波高計 ch1 で計測した上位 2% 平均波高に対する波高計 ch3 で計測した護岸法先での上位 2% 平均波高の比を風速 $U=0\text{m/s}$ の場合を基準に整理したものである。

図-3,4 より非砕波条件では水路内を進行する波は風の影響を受けて増幅していることがわかる。一方、砕波条件の場合は非砕波条件に比べ風速の増加による波高の増幅が小さい、もしくは波高の増幅が見られないことから砕波の影響を受けていることが明らかである。

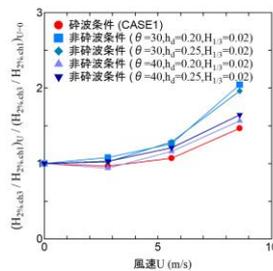


図-3 水路内を進行する波の増加特性($H_{1/3}=0.02$)

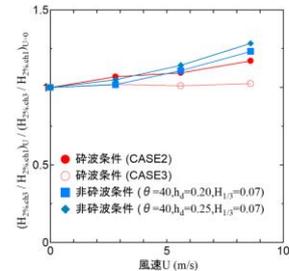


図-4 水路内を進行する波の増加特性($H_{1/3}=0.07$)

3-2. 相対打ち上げ高と風速の関係

波高計 ch1 で計測した有義波高を H_0 とし、図-5 に風速 U と相対打ち上げ高 R/H_0 の関係を示す。図-5 より、非砕波条件では風速の増加に伴い相対打ち上げ高が明らかに増加していることがわかり、風速 $U=8.6\text{m/s}$ の場合は風速 $U=0\text{m/s}$ の場合に比べて相対打ち上げ高が 2 倍以上増加している。一方、砕波条件(CASE1)では非砕波条件と比較して風速と相対打ち上げ高の関係が異なり、風速が増加すると相対打ち上げ高が減少する傾向がわかる。砕波条件(CASE1)は護岸の法先前方で砕波する条件であることから風速の増加に伴い砕波点が沖側に移動したことが原因として考えられる。

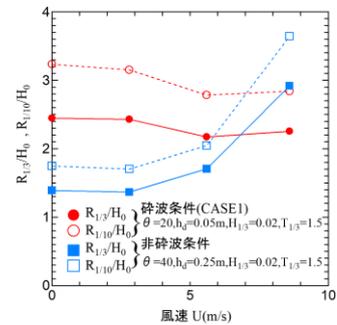


図-5 相対打ち上げ高と風速の関係

4. あとがき

不規則波の波の打ち上げ高と風速の関係に着目して水理模型実験を行った。両者の関係は砕波の有無により違いがあり、非砕波条件では風速とともに打ち上げ高が明らかに増加する。一方、砕波条件では風速の影響による打ち上げ高の増加特性は見られなかった。

参考文献

- 1) 気象庁. 台風の将来予測. [気象庁 Japan Meteorological Agency \(jma.go.jp\)](http://jma.go.jp), (参照 2021-11-12)
- 2) 気象庁. 日本沿岸の海面水位の長期変化傾向. [気象庁 | 海洋の健康診断表日本沿岸の海面水位の長期変化傾向 \(jma.go.jp\)](http://jma.go.jp), (参照 2021-11-13)
- 3) 村上啓介・木村篤志・真木大介:風速が波の打ち上げ高におよぼす影響の水理模型実験による評価,土木学会論文集 B3(海洋開発),Vol.77,No.2,I_67-I_72,2021.
- 4) 山城賢・吉田明德・橋本祐樹・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.