

1. 研究背景および目的

汀線付近の地形変化を議論する上で、遡上域の範囲(最大打ち上げ高 maximum run-up(以下 $R_{u,max}$)と最大打ち下げ高 maximum run-down(以下 $R_{d,max}$))を知ることは不可欠である。尚、最大打ち下げ高($R_{d,max}$)は今まで工学的に注目される事の無かった量であるがここでは底面が露出する最沖地点と定義している。

重山ら(2012, 海講)は現地観測において①高波浪時における遡上域の範囲の予測には、汀線付近の長周期波成分の考慮が重要である②最大打ち下げ高は重複波となる長周期波成分の水位変動量のみからほぼ決まる③最大打ち上げ高はそれに加えて碎波する短周期波が寄与するという結論に至った。

本研究では、長・短周期合成波を用いることにより周期の異なる波が共存している波浪の長周期波及び短周期波が与える打ち上げ高及び打ち下げ高への役割を実験的に検討するとともに、沖波情報から打ち上げ高及び打ち下げ高の推定式をたてることを目的とする。

2. 実験概要

実験は緩勾配 ($\tan \beta = 1/20$) と急勾配 ($\tan \beta = 1/7.8$) の斜面を各々設置した吸収制御機能付き造波板を有する断面水槽を用いて行った。実験条件は両斜面とも水深 25.0cm, 長周期波($T=3.5s$)と短周期波($T=0.7s$)の波高を各々0.0cm から 2.5cm まで 0.5cm 刻みで変化させ重ね合わせることで合成した計 35 ケースずつ行った。尚、各ケース緩起動は長周期波が 5 波, 短周期波が 35 波とし, 175 秒間造波した。図-1 に実験概要図, 表-1 に水位計設置位置, 表-2 に実験ケースを示す。尚、実験ケースの波浪条件は(長周期の波高 H_L , 短周期波の波高 H_S)として表記した。計測には分圧式波高計(正豊工学製)と遡上計(正豊工学製)を用いて、水面変動及び遡上波形をサンプリング周波数 100Hz で収録した。波高計は一様水深部($x=9.70m$ 前後)に 5 本(ch.2~6)の波高計群, 緩勾配斜面における単一周周期波の実験では各 case の碎波地点に 1 本(ch.1)設置した。遡上計は容量線を斜面に沿うように設置したが、その際表面張力

の影響を除くため、底面に幅 1.0cm, 深さ 0.5cm の溝を切り、容量線が底面と同じ高さになるように設置した。尚、目視との計測誤差は平均で 0.2cm 程度であった。

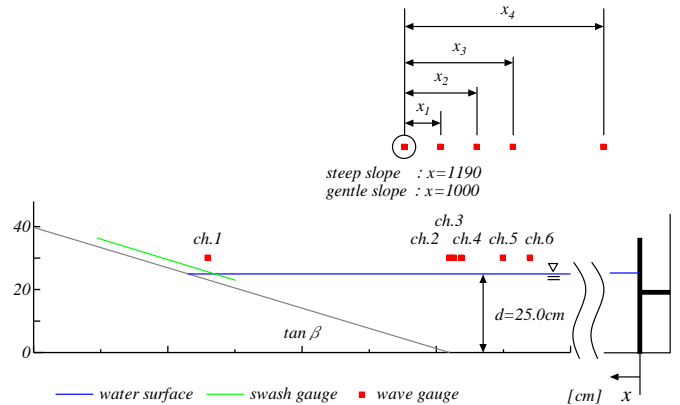


図-1 実験概要図

表-1 水位計設置間隔

水位計設置間隔 [cm]	
x1	3.0
x2	9.0
x3	40.0
x4	60.0

表-2 実験ケース

(a) 単一周周期波

case	波浪条件	case	波浪条件
I	(0.0,0.5)	VI	(0.5,0.0)
II	(0.0,1.0)	VII	(1.0,0.0)
III	(0.0,1.5)	VIII	(1.5,0.0)
IV	(0.0,2.0)	IX	(2.0,0.0)
V	(0.0,2.5)	X	(2.5,0.0)

(b) 合成波

case	波浪条件	case	波浪条件	case	波浪条件	case	波浪条件	case	波浪条件
1	(0.5,0.5)	6	(0.5,1.0)	11	(0.5,1.5)	16	(0.5,2.0)	21	(0.5,2.5)
2	(1.0,0.5)	7	(1.0,1.0)	12	(1.0,1.5)	17	(1.0,2.0)	22	(1.0,2.5)
3	(1.5,0.5)	8	(1.5,1.0)	13	(1.5,1.5)	18	(1.5,2.0)	23	(1.5,2.5)
4	(2.0,0.5)	9	(2.0,1.0)	14	(2.0,1.5)	19	(2.0,2.0)	24	(2.0,2.5)
5	(2.5,0.5)	10	(2.5,1.0)	15	(2.5,1.5)	20	(2.5,2.0)	25	(2.5,2.5)

※表中の表記は(長周期の波高 H_L , 短周期波の波高 H_S)とした。

3. 遡上波形とその特徴

図-2 に遡上波形の例として長周期波のみ(case VI), 短周期波のみ(case V), 長・短周期合成波(case 21)における典型的な遡上波形を示す。図-2(a)から、長周期波のみの遡上波形は静水時の水深を境に上下の振幅がほぼ対照となっていることがわかる。そのため、長周期波は反射率が高く重複波となっていることが考えられる。次に図-2(b)から、短周期波のみの遡上波形では R_d が静水時の水深より上にきていることがわかる。これは、短周期波が遡上の過程で碎波することにより波高が減衰し、またそれに伴って汀線付近で平均水位の上昇

(seup)が生じることが原因だと考えられます. 次に図-2(c)から, 合成波の遡上波形は長周期波の波形に短周期波の波形が乗っているように見える. さらにその振幅は短周期波のみの setup と同程度上昇して振動しているに見える. このことから, 長・短周期合成波の R_u 及び R_d はそれに対応する単一周期波の足し合わせで推定できるのではないかと考えた.

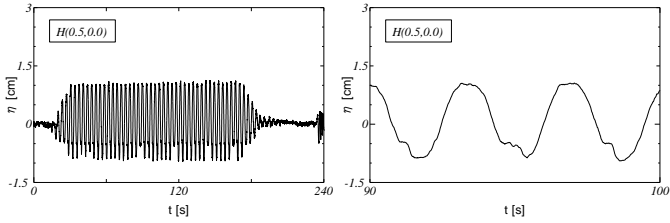


図-2(a) 長周期波のみ (case VI) の遡上計データ

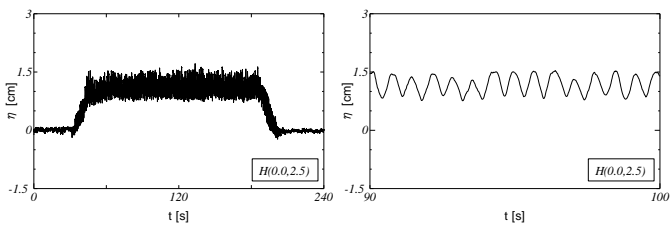


図-2(b) 短周期波のみ (case V) の遡上計データ

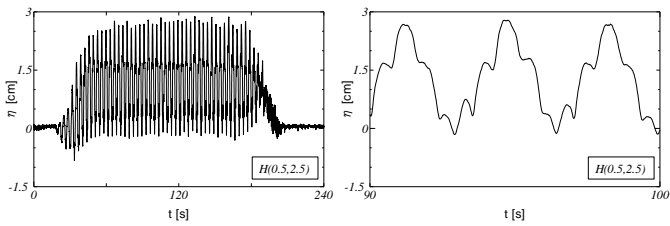


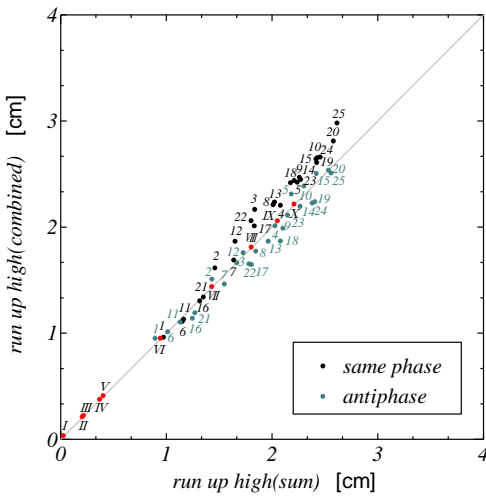
図-2(c) 合成波 (case 21) の遡上計データ

4. R_u 及び R_d の単一周期波の足し合わせと合成波

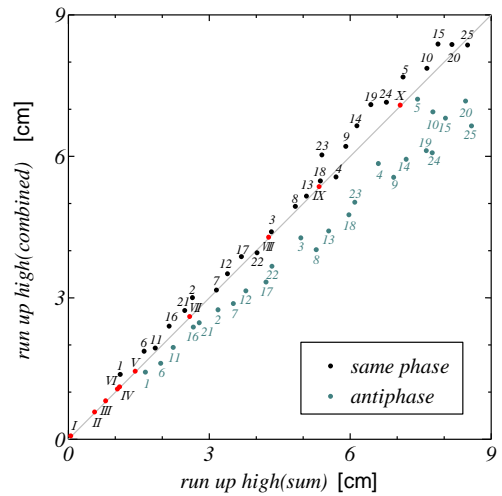
合成波における R_u 及び R_d と単一周期波の R_u 及び R_d

を足し合わせたものとの比較を行った. また, 合成波の位相をずらしても同様の結果となるのかを調べるため, 長周期波と短周期波が逆位相となる様に短周期波の位相を 180 度ずらして (0.35s 早く) 造波し, 同じく比較を行った. 図-6 に R_u , 図-7 に R_d の比較した図を示す.

これらの図から, 同位相では合成波諸量と対応する単一周期波のケースにおける諸量の足し合わせが成立していることがわかる. このことから, 同位相で造波した時, 合成波における R_u 及び R_d は単一周期波の足し合わせでほぼ説明ができると考えた. また, 逆位相波の急勾配斜面における合成波は単一周期波の足し合わせの R_u より小さいことがわかる. しかし, R_d は足し合わせがほぼ成立している. 詳しく調べるため, 両位相の急勾配斜面における遡上計データの例を図-8 に示す. 図-8 から急勾配斜面では造波した合成波はほぼ同じ位相となって汀線に届いていることがわかる. 逆位相波も同様に逆位相で届いていた. このことから足し合わせの不成立は短周期波の振幅成分が原因だと考えられる. 緩勾配斜面についても同様に検討した (図-9). この図から, 緩勾配斜面においては短周期波の振幅成分が小さく同棲には与える影響が無視できるほどであったことが足し合わせ成立の原因だと考えられる. このことから最大打ち上げ高 $R_{u,max}$ 及び最大打ち下げ $R_{d,max}$ は単一周期波の足し合わせにより推定できると考えた. そして, その誤差は位相の重なり次第で短周期波の振幅成分だけ生じる可能性があると考えられる.

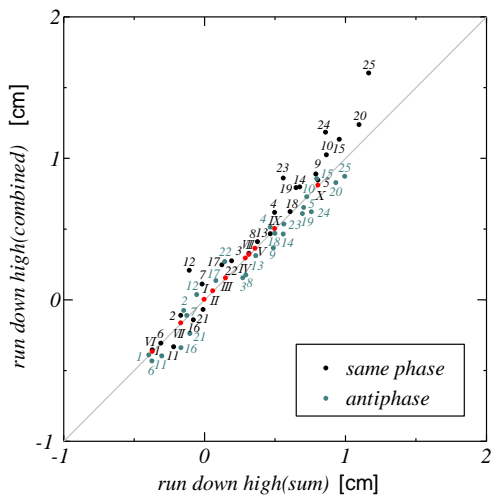


(a) 緩勾配斜面

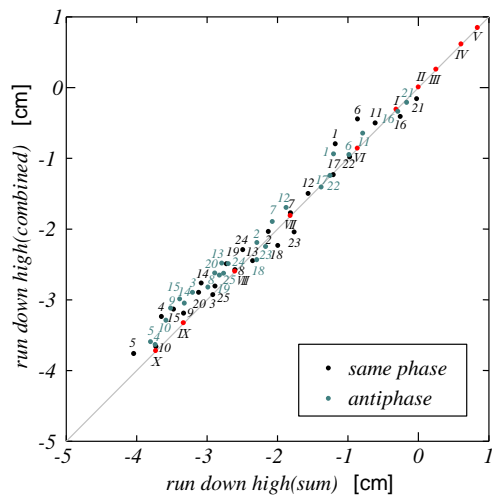


(b) 急勾配斜面

図-6 打ち上げ高 R_u の比較

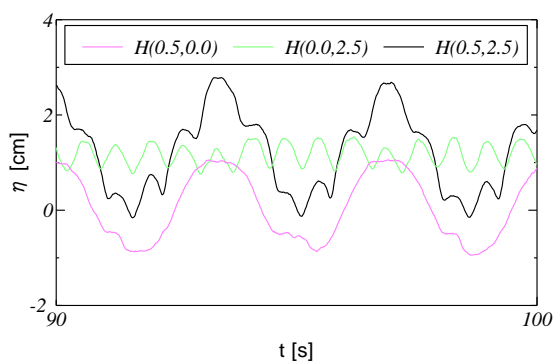


(a) 緩勾配斜面

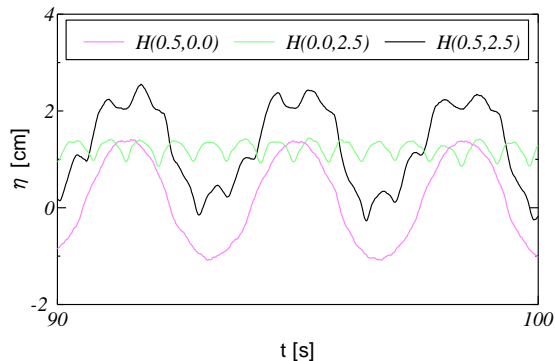


(b) 急勾配斜面

図-7 打ち下げ高 R_d の比較

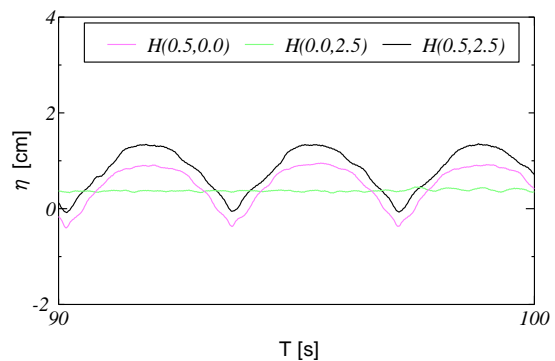


(a) 同位相

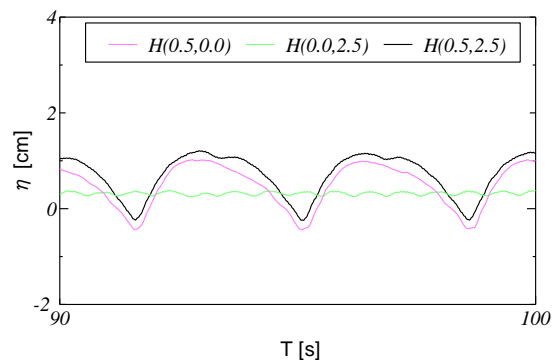


(b) 逆位相

図-8 両位相の急勾配斜面における遡上計データの例



(a) 同位相



(b) 逆位相

図-9 両位相の急勾配斜面における遡上計データの例

5. 単一周期波の R_u 及び R_d の推定

5.1 set-up 成分

set-up 成分は反射率が非常に小さいと仮定し、式(1)を用いて平均汀線 $\bar{\eta}$ を求めた。

$$\bar{\eta} = K(h_b - h) + \bar{\eta}_b \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{1 + 8/(3\gamma^2)} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{H_b}{h_b} \quad (3)$$

$$\bar{\eta}_b = -\frac{1}{16}\gamma^2 h_b \quad (4)$$

尚、 h_b : 碎波水深、 H_b : 碎波波高はそれぞれ実験による実測値を用いた。遡上波形の平均値を平均汀線 $\bar{\eta}_{exp}$ と仮定し、式(1)との相対誤差を求め、碎波指標である surf similarity parameter (式(5))と比較した。図-10に緩勾配斜面での結果を示す。

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{2\pi H_0 / g T^2}} \quad (5)$$

尚, H_0 : 沖波換算波高, T : 周期は遡上波と同様に 10 波平均して求めた. 図-10 から ξ が小さいと相対誤差は大きくなり, ξ が大きいと相対誤差が小さくなるという傾向がみられた.

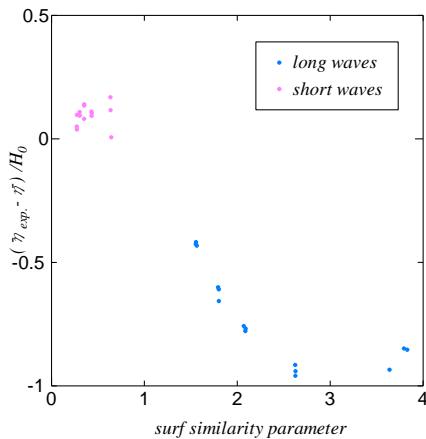


図-10 相対誤差 (set-up) と surf similarity parameter の比較

5.2 遡上波の振幅成分

遡上波の振幅成分は反射率が非常に高いと仮定し, 斜面上の重複波解と沖波との接続式 (式 (6); Mei, 1983) を用いて求めた.

$$a_s = \frac{H_o}{2} \sqrt{\frac{2\pi}{\tan \beta}} \quad (6)$$

a_s : 静水面からの変動量, H_o : 沖波換算波高とした. また, 単一周周期波における R_u 及び R_d と比較するため式 (7), (8) を用いて R_u^* 及び R_d^* を求めた.

$$R_u^* = a_s + \bar{\eta}_{exp.} \quad (7)$$

$$R_d^* = -(a_s + \bar{\eta}_{exp.}) \quad (8)$$

図-11 から打ち上げ高, 打ち下げ高は ξ 大きくなると横ばいになっており, 式(6)が適用できる. ξ が小さくても近似線を引くことにより補正関数を求め, より精度の高い推定が行えると考えている.

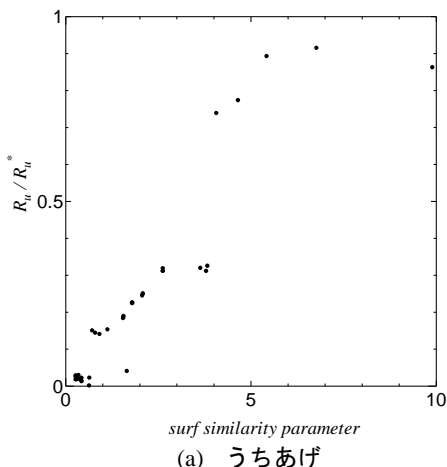


図-11 実験値と推定値の比と surf similarity parameter の比較

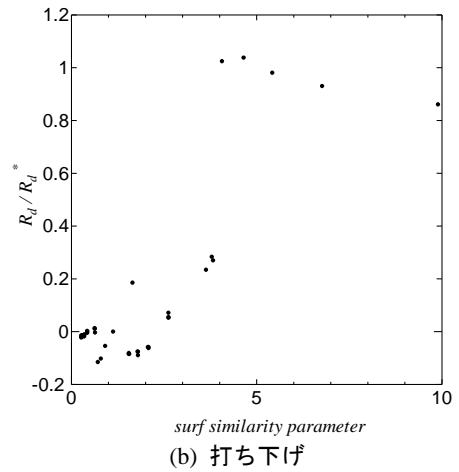


図-11 実験値と推定値の比と surf similarity parameter の比較

6. 結論

本研究では長・短周期合成波の遡上域の幅 (打ち上げ高 R_u と打ち下げ高 R_d) を調べることで実験の範囲内において以下に示すことがわかった.

- ① 振幅成分においては非砕波となる長周期波が支配的であり, 平均水位の上昇には砕波する短周期波が支配的になる.
- ② 長・短周期合成波の最大打ち上げ高 $R_{u,max}$ 及び最大打ち下げ $R_{d,max}$ は対応する単一周周期波の諸量の足し合わせにより推定できる.
- ③ 単一周周期波の汀線付近での平均水位の上昇量については砕波による水位上昇の経験式を, 遡上波の振幅成分は斜面上の重複波解との接続式に surf similarity parameter を補正関数として用いることにより推定ができる.

今後の課題としては, 以下のことが挙げられる.

- ① 単一周周期波の set-up を画像解析などで測定し, より精度の高い推定式をたてること. また, 合成波での set-up の検討.
- ② 振幅成分の推定式の補正関数を決定すること. そのために, 今回行った実験で取得できなかった surf similarity parameter を補う斜面勾配で実験を行う.

参考文献

重山智成・島田奈緒・茗荷孝仁・高橋香澄・水口 優(2012): 現地自然海浜における高波浪時の遡上域の範囲について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第 58 巻, pp.81-85.
 服部昌太郎(1987): 海岸工学, コロナ社, pp.153-155.
 CHIANG C. MEI(1983): THE APPLIED DYNAMICS OF OCEAN SURFACE WAVES, World Scientific, pp.521-530.