

包絡波による砕波時間間隔制御

Control of breaking wave interval by wave packet

北海道大学大学院工学院 ○学生員 津田洋輔

北海道大学大学院工学研究院准教授 正会員 渡部靖憲

1. はじめに

沖合でしばしば観測される巨大波は多方向波浪の重合及び非線形相互作用によって説明されつつある．このような巨大波の発生機構とは別に，Longuet-Higgins(1974)¹⁾が提案する深水包絡波集中理論は，各時刻で造波した波のエネルギーフラックスを所定の時刻，位置で集中させ砕波を引き起こすものであり，海洋物理学における砕波研究に広く用いられてきた．Watanabe et al.(Coastal Eng J. 2018)²⁾はその集中理論を浅水域へ拡張し，任意水深，任意地形における浅水包絡波集中理論を導出した．

本研究は，浅水包絡波集中理論により作成した造波シグナル同士を合成することで，任意地点においてある所定の時間間隔をもって砕波を再現する手法を提案するものである．この手法は，沿岸域において構造物の固有周期で砕波が生じ，構造物が大きく被災する条件を模擬するものであり，海岸構造物の設計に大きく貢献するものと考えている．

2. 浅水包絡波集中理論

任意地形において，ある時刻 t に造波された波のエネルギーフラックスが時刻 t_b において位置 x_b に到達する条件を考えると，式(1)が得られる．ここで，水深が変化すると群速度は変化することから条件式は位置に関する積分で与えられる．

$$t_b - t = \int_0^{x_b} \frac{1}{c_g(x)} dx \quad (1)$$

$$= \int_0^{x_b} \frac{2\sigma \coth kh \sinh 2kh}{g \sinh 2kh + 2kh} dx$$

式(1)を σ について解くことで，任意地形における包絡波集中条件(2)を導出する事ができる．式(2)で与えられる角周波数に従い造波することで造波した波のエネルギーフラックスが同時刻に同地点に到達することになる．

$$\sigma = \frac{g}{2} (t_f - t) \left\{ \int_0^{x_f} \frac{\coth kh \sinh 2kh}{\sinh 2kh + 2kh} dx \right\}^{-1} \quad (2)$$

海岸工学における波動論において，位相は角周波数と時間の席によって与えられる．しかし式(2)のように角周波数が時間変化する条件では位相は式(3)のように角周波数を時間に関して積分することで計算する．

$$\theta = \int_0^t \sigma dt \quad (3)$$

その θ を $\sin$ 関数に代入することで造波板変位を与える．(4) S はストロークである．

$$x = \frac{S}{2} \sin \theta \quad (4)$$

3. 実験条件

時間差 Δt_b だけずれた同一のシグナルを合成することで同一地点において設定した時間差で砕波を引き起こすことを目的としたシグナルを作成する．(図 1)

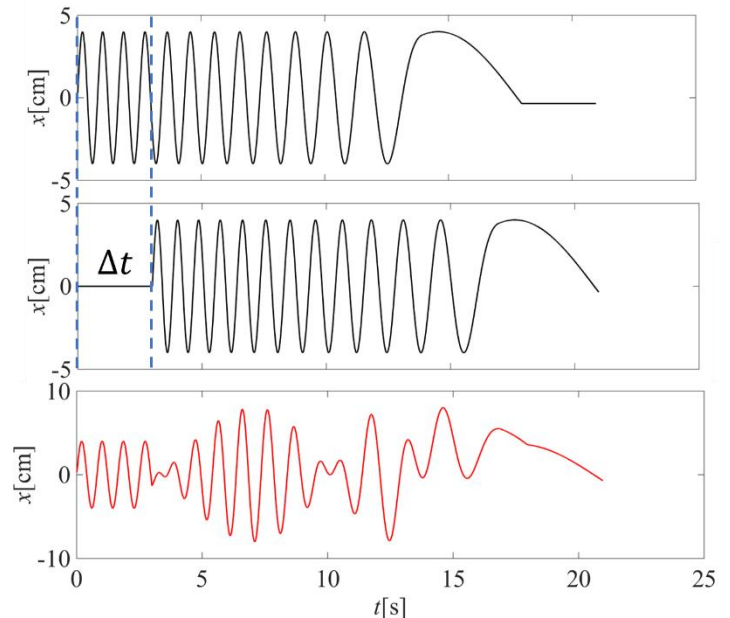


図 1. 上, 中: 同一な合成元シグナル 下: 合成シグナル

実証実験は図 2 のような実験造波水槽で行う．実験ケースは表 1 のような水深，初期周期を変えた 4 ケースについて行い，それぞれのケースについて時間差 Δt_b を 1, 2, 3 秒と変化させていく．

表 1. 実験ケース

case	水深[m]	初期周期[s]	focus位置[m]	focus時刻[s]
1	40	0.8	14	21.2
2	40	0.7	14	25.1
3	30	0.8	14	20.0
4	30	0.7	14	24.0

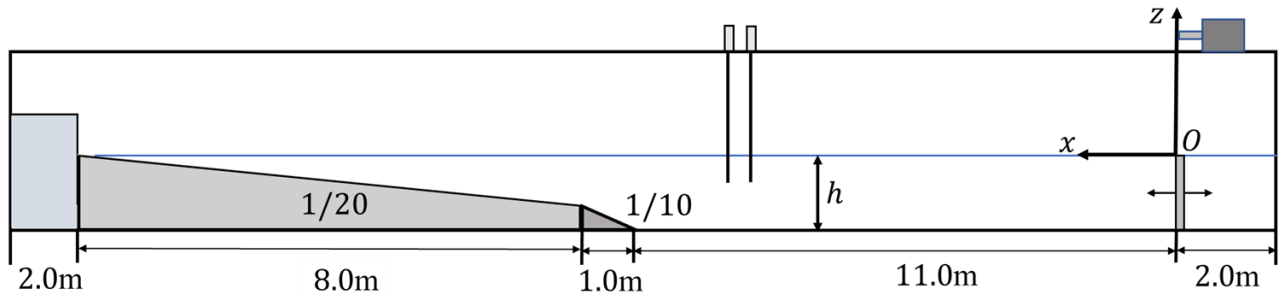


図.2 実験造波水槽

4.実験結果

図.3は case1 の $\Delta t_b=3s$ の条件において、各地点で計測した水位を、その測定した地点ごとに描いた特性曲線である。砕波点である 15.1m の 2つのピークにおいてそれぞれ砕波が生じた。この図から $x=4m$ 地点でははっきりと包絡波は確認できないが、波が進行するにつれて包絡波の波長が減少していき波高が増大する二つの包絡波が確認できる。この砕波の時間間隔は 2.86s であり、あらかじめ設定した時間間隔で生じている。

4 ケースそれぞれについて、設定した時間間隔と実際に砕波した時間間隔をまとめたものが図 4 である。横軸は設定時間間隔 Δt_b 、縦軸は実際に砕波が生じた時間間隔 Δt_r を設定時間間隔 Δt_b で無次元化したものであり、グラフの値が 1 であれば、精度良く砕波が生じていることになる。case2 は Δt_b が 1~3 秒では砕波が生じなかったためグラフが欠損している。すべてのケースにおいて Δt_b がある一定以上の値でないと設定値通りに砕波が生じないことが分かる。

砕波時間間隔にずれが生じるのは、送り出す異なる二つの包絡波が互いに干渉し、砕波時刻にずれが生じるためである。

図 5 は初めに送り出す包絡波が砕波した時刻をケースごとにまとめたものである。横軸は設定した時間間隔、縦軸は最初の包絡波が砕波した時刻である。設定した時間間隔が小さいほど、すなわち二つの包絡波が近いほど、一波目の砕波時刻が短くなる傾向が読み取れる。このように一波目の砕波時刻が短くなる二つの包絡波の砕波間隔に影響していると考えられる。

5.結論

同一のシグナルについて時間差を設けて足し合わせることで、同地点で設定した時間差で生じるシグナルを作成した。そして、同地点において設定した時間間隔で砕波を起こすことに成功した。しかしその時間間隔が短い場合ずれが生じるが、包絡波同士の非線形相互作用によるものと考えられる。

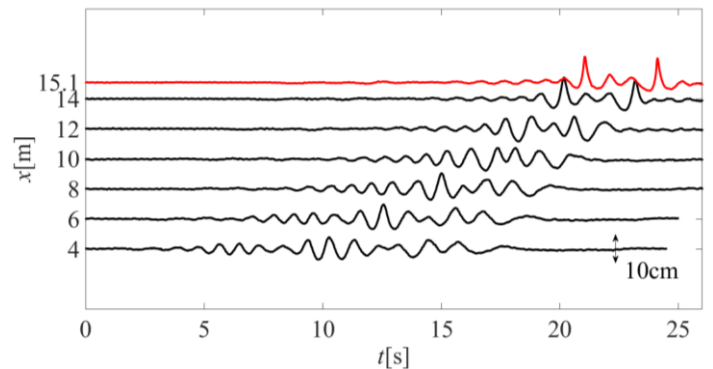
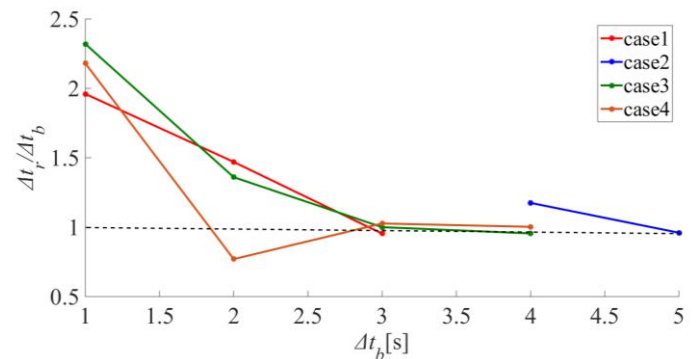
図.3 case1, $\Delta t=3s$ の特性曲線

図.4.設定砕波時間間隔と砕波の生じた時間間隔

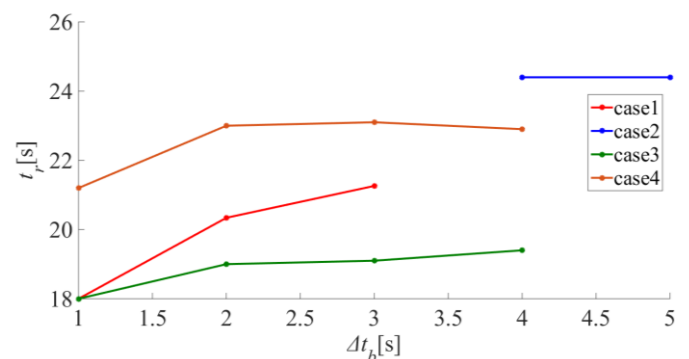


図.5.はじめの包絡波が砕波した時刻

6.参考文献

1).M.S.Longuet-Higgins,Breaking waves-in deep or shallow water,*Tenth Symposium on Naval Hydrodynamics* ACR-204 (1974) 597-605.