

汀線付近における岸向き長周期波と沖合の波の関係

Relationship between Incident Long Waves near the Shoreline and Offshore Waves

都市環境学専攻 内山孝平

Kohei UCHIYAMA

1. はじめに

海岸侵食や港湾内副振動などの海岸災害の要因の一つとして、汀線付近における周期数十秒から数分のオーダの長周期波が挙げられる。その長周期波は波形勾配が非常に小さく岸沖方向に重複波を形成するため、高波浪時の汀線付近においては、碎波してエネルギーをほとんど失う短周期波に代わって主要な成分となっていると考えられる。従って、長周期波の特性を把握し、沖合の波からの予測を可能にすることは重要である。これまでにも、浅海域での長周期波に関する研究を多く行われているものの、長周期波を岸向き・沖向きに分離した後、沖合の波との関係に着目した研究は未だ内山ら¹⁾のみである。

本研究では、現地観測及び物理実験データをもとに、汀線付近における岸向き長周期波の波高と沖合の波の諸量の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 現地観測データの解析

(a) 現地観測概要

現地観測は茨城県波崎海岸に位置する(独法)港湾空港技術研究所の波崎海洋研究施設において行った。観測栈橋に空中発射型超音波式水位計を設置し、サンプリング周波数 5Hz で連続収録したデータを使用する。なお、2時間のデータを1つのセットとし、汀線付近の波として栈橋基部から約 61m 地点における水位変動データを使用する。また、汀線付近ということで、直角入射の一方向波として扱う。

沖合の波には鹿島沖 NOWPHAS(沖合約 2.8km, 水深約 24m)の生データを使用する。毎偶数正時の前後

10分、計 20分において、水中発射型超音波式水位計及び流速計によりサンプリング周波数 2Hz で取得したものである。

解析に使用するデータは、2003年及び2004年において高波浪が襲来したうちの4ケースである。表-1に各ケースの沖合の波の最大有義波高、気象状況を示す。ケース F1 は期間中最大、ケース F2 はきれいな山型の波高の増減が見られる台風が襲来した期間であり、ケース F3 及び F4 は冬季の低気圧の通過による高波浪期間である。

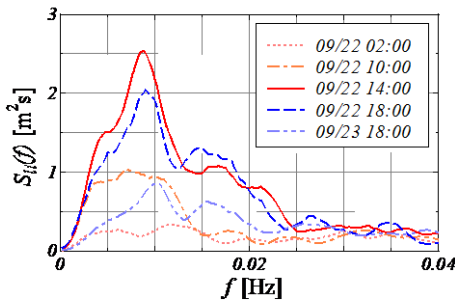
(b) 汀線付近の岸向き長周期波と沖合の波の特徴

汀線付近の岸向き長周期波及び沖合の波それぞれの特徴について、スペクトル解析的視点から述べる。汀線付近における長周期波(周期 25 秒以上)の岸向き・沖向きの分離には、斜面上での水位計群による分離手法である SLSS を用いた。この手法に関して詳しくは内山ら¹⁾を参照されたい。

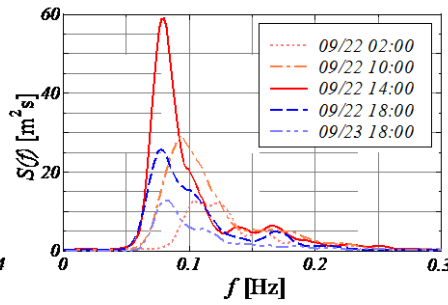
図-1(a)は汀線付近における岸向き長周期波、図-1(b)は沖合の波のスペクトルの時間変化をケース F1 を例として示したものである。まず汀線付近の岸向き長周期波に関して、図-1(a)より、ピークのはっきりしないスペクトル形から、波浪の増大に伴い 0.01Hz 付近にピークを持ち、かつ広い周波数帯(0.005~0.02Hz)で卓越したパワーを有するスペクトルに変移していることがわかる。他の3ケースともに波浪最大時のピーク周波数付近のスペクトルの幅に違いはあるものの、概ね似た傾向が見られた。次いで沖合の波に関して、4 ケースに共通して図-1(b)に示すように、ピークがはっきりしなく幅の広いスペクトル形から、波浪の増大に伴い低周波数側(0.08Hz)にピークを持つ尖ったスペクトルに変移し、その後ピーク周波数は一定のまま減衰している。また、沖合の波には長周期波成分($f \leq 0.040\text{Hz}$)は存在しない。

表-1 解析ケース

case	date/time	$H_{1/3,max}$ [m]	Meteorological condition
F1	2003/09/19 22:00-09/26 22:00	6.42	Typhoon 0315
F2	2004/10/19 08:00-10/26 00:00	4.07	Typhoon 0423
F3	2004/01/06 16:00-01/14 08:00	4.30	Low Pressure
F4	2003/02/18 14:00-02/25 16:00	4.80	Low Pressure



(a) 汀線付近の岸向き長周期波



(b) 沖合の波

図-1 スペクトルの経時変化(ケース F1)

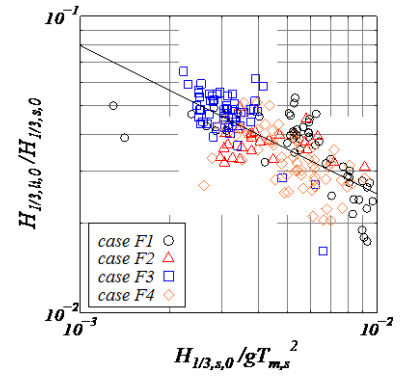


図-3 波高比と疑似沖波波形勾配の関係

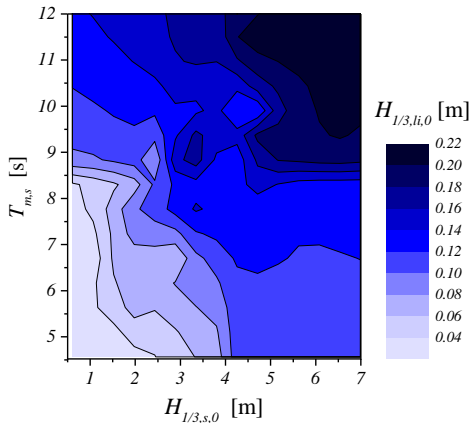


図-2 汀線付近の岸向き長周期波波高と沖合の波の関係

(c) 汀線付近の岸向き長周期波と沖合の波の関係

ここでは、汀線付近における岸向き長周期波の波高と沖合の波の諸量の関係を検討する。前節で示したように沖合の波には長周期波成分は存在しないため、短周期波成分のみとすることができる。図-2は岸向き長周期波の有義波高 $H_{1/3,li,0}$ と沖合の短周期波の有義波高 $H_{1/3,s,0}$ 及び平均周期 $T_{m,s}$ の関係を等値線で示したものである。なお、有義波高及び平均周期は各地点の波に対し、スペクトルのモーメントから求めた。有義波高は浅水変形のみ考慮した沖波換算(周期は各地点における平均周期を使用)を行っている。また、解析にあたって、沖合の波の平均波向が汀線に対し直角である 59 度から ± 20 度に収まる場合のみ使用した。図-2 から、汀線付近における岸向き長周期波の波高には、沖合の短周期波の波高だけでなく周期も関与していることがわかる。そこで、次元解析的に汀線付近の岸向き長周期波と沖合の短周期波の波高比 $H_{1/3,li,0}/H_{1/3,s,0}$ は、疑似沖波波形勾配 $H_{1/3,s,0}/gT_{m,s}^2$ と関係すると考えて、両者の関係を

対数プロットしたものが図-3である。図中の曲線は全データに対して最小二乗法により求めたものであり、それを次式の様に書き直した。

$$H_{1/3,li,0} = 2.52 \times 10^{-3} \sqrt{gH_{1/3,s,0} T_{m,s}} \quad (1)$$

式(1)の関係は誤差 30% の範囲には概ね収まるものであった。従って、ばらつきはあるものの、汀線付近における岸向き長周期波の波高は沖合の短周期波の波高及び周期でほぼ算定できると言えよう。さらに精度の良い関係を得るためには、沖合の波のスペクトル形状(特に幅)、方向分散性、地形などの考慮が必要であると考える。

3. 物理実験データとの比較

前章で示したように、現地解析結果からは、汀線付近の岸向き長周期波の波高には、沖合の短周期波の波高よりも周期が影響するという結果となった。その理由を検討するとともに、沖合の短周期波のスペクトルの幅の違いによる影響を見るために、物理実験を行った。

(a) 物理実験概要

実験は片側にピストン型造波板を有する断面水槽において実施した。海底地形は図-4に示すように、2つの一様水深部を勾配 $1/20$ の一様勾配斜面で接続している。岸側一様水深部には短周期波の反射を防ぐために、消波マットを設置している。造波にあたって、吸収制御機能を使用しているが、長周期オーダの波の反射を防げるものではない。

造波信号は JONSWAP 型スペクトルを用いて、表-2 及び図-5 に示す造波信号のパワースペクトルの

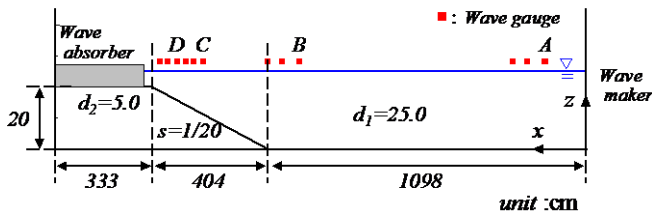


図-4 実験概要

表-2 実験ケース

case	$H_{1/3}$ [cm]	$T_{1/3}$ [s]	γ
L1-1	3.0	0.8	1
L1-2		1.0	
L1-3		1.2	
L2	1.0	1.0	3
L3			7

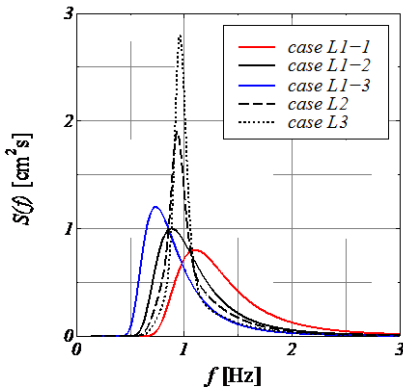


図-5 造波信号のスペクトル

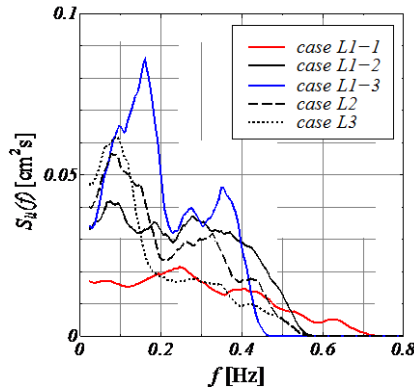


図-6 岸向き長周期波のスペクトル(砕波帯直前)

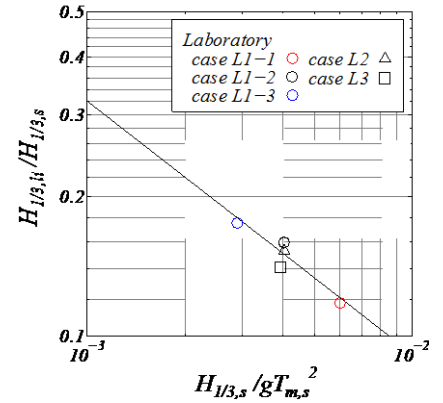


図-7 岸向き長周期波の波高(砕波帯直前)

ように、有義波高は一定にして有義波周期又はスペクトル尖鋭度パラメータ γ を変えたものである。造波時間は長周期波の統計処理をすることを考えて 1200s とした。

実験データは分圧式水位計(正豊工学製)で水位変動を計測し、AD 変換ボードを実装したパソコンによりサンプリング周波数 100Hz で収録した。

(b) 実験結果

取得した水位変動データに対して、現地観測データの解析と同様に、岸向き長周期波を算定する。ただし、造波信号の周期の違いにより短周期波と長周期波の境界周波数は異なるため、ケースごとにその値をスペクトルの形から判断した。また、これ以降は議論を簡単にするために、汀線付近の波として砕波帯直前の波を代表させる。

図-6 は砕波帯直前における岸向き長周期波のスペクトルを、図-7 はその波高のケースごとの違いを示したものである。図-6, 7 からわかるように、沖合の短周期波のスペクトルの尖鋭度(幅)は、砕波帯直前における岸向き長周期波の波高にはほとんど影響しないが、スペクトル形及び周期には影響する。また、短周期波の周期が長くなるにつれて、岸向き長周期波の波高が大きくなる。これは、現地解析結

果と同様の傾向である。では、何故周期が影響するかを次節で検討する。

(c) 岸向長周期波に対する短周期波の周期の影響

砕波帯直前の岸向き長周期波に対する沖合の短周期波の周期の影響について、少し理論的に検討する。長周期波には、基本波の波群に拘束され群速度で伝播する拘束長周期波と、自身の分散関係から求まる波速で伝播する自由長周期波がある。拘束長周期波は Longuet-Higgins・Stewart²⁾による理論解(以下 LHS 解)があり、微小振幅波理論の範囲内では式(2)で表される。

$$\eta_{LHS} = -\left(n - \frac{1}{4}\right) \frac{g}{gd - C_g^2} A^2 \quad (2)$$

ここで、 η_{LHS} : LHS 解, n : 基本波の波速と群速度 C_g の比, d : 水深, A : 包絡波の時系列である。

図-8 は砕波帯直前の長周期波各成分の水位変動を、ケース L1-2 を例として示したものである。なお、包絡波は短周期波の時系列データから List³⁾の方法で算出する。自由長周期波 η_f は岸向き長周期波 η_{ii} と拘束長周期波 η_{LHS} の差としている。図-8 から、岸向き長周期波と拘束長周期波の波形は似ているが、それらと自由長周期波の波形は逆位相であることがわかる。また、図-9 に示すそれらのスペクトルで

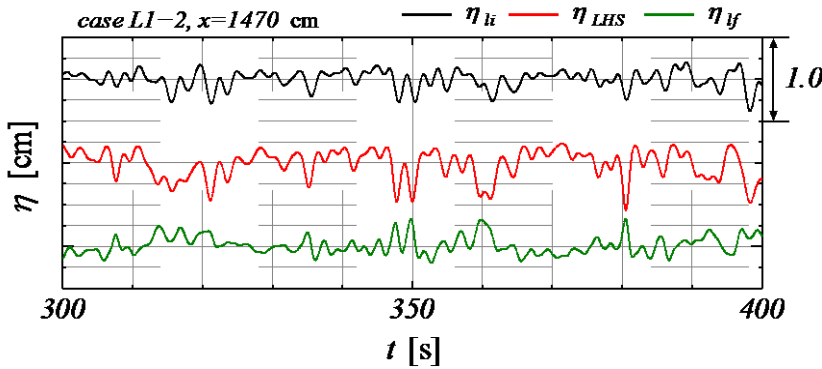


図-8 砕波帯直前における各長周期成分の水位変動時系列

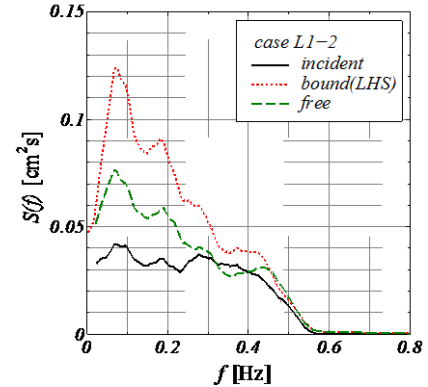


図-9 各長周期波成分のスペクトル(砕波帯直前)

見ると、拘束長周期波と自由長周期波の形状はよく似ている。よって、今回の実験条件での砕波帯直前における岸向き長周期波は、それよりも大きな振幅の拘束長周期波と自由長周期波が打ち消しあった結果である。ただし、例えば Horie et al.⁴⁾の考え方のように、これらの波が長距離伝播するならば、両者の伝播速度の違いにより位相差が広がるために、和の岸向き長周期波の振幅は見かけ上大きくなるであろう。

次に、式(2)に対して長波近似を仮定し変形すると、

$$\eta_{LHS} \approx -\frac{3}{4} \frac{1}{d(kd)^2} A^2 \approx -\frac{3}{16\pi} \frac{gT^2}{d^2} A^2 \quad (3)$$

となる。さらに、時系列データを波高として扱い、包絡波の波高は短周期波の半分として、微小振幅波理論における浅水変形を考慮すると、

$$H_{LHS} \approx \frac{3}{256(\pi)^2} \frac{g^{\frac{3}{2}} T_s^3}{d^{\frac{5}{2}}} H_{s,0}^2 \quad (4)$$

となる。式(4)の形からわかるように、拘束長周期波の波高には、沖合の短周期波の波高よりも周期が影響している。現象としては、浅水変形のみ考えれば、短周期波の周期が長い(相対水深が小さい)ほど、浅水変形がより沖側で始まり、その結果同一地点で見るとその波高(包絡波)は大きくなる。それに伴って拘束長周期波の波高も大きくなるということである。現地で観測される岸向きの長周期波は、この拘束長周期波に加えて主要なものでは、沖(実験室で言う造波板で発生)から入射する自由長周期波、砕波点の変動により発生する自由長周期波が存在

する。この成分の振幅及び位相を考慮することによって、より現地の現象に近い議論ができるであろう。

4. おわりに

現地観測及び物理実験データを解析することにより、汀線付近の岸向き長周期波と沖合の波(短周期波)の関係について検討し、以下の結論を得た。

- ① 現地海浜の汀線付近における岸向き長周期波の波高は、沖合の短周期波の波高及び周期を用いて、式(1)により誤差 30% の範囲で算定可能であった。
- ② 汀線付近(砕波帯直前及び砕波後)における岸向き長周期波の波高に対して、沖合の短周期波の波高よりも周期の方が影響する。
- ③ 沖合の短周期波のスペクトル幅(尖鋭度)は、砕波帯直前の岸向き長周期波の波高にはほとんど影響しない。ただし、その周期及びスペクトル幅には関係する。

今後の課題として、自由長周期波を含めた議論を行う事を挙げる。その際、短周期波のスペクトル幅の違いが、自由長周期波と拘束長周期波の分離に与える影響を検討することも必要である。

参考文献

- 1) 内山孝平・水口 優：汀線付近における入射長周期波と沖合の波の関係，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.70，No.2，pp.126-130，2014。
- 2) Longuet-Higgins, M.S. and R.W.Stewart : Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to 'surf beats', JFM, Vol.13, pp.481-504, 1962.
- 3) List, J. H. : Wave groupness variations in the nearshore, Coastal Eng., Vol.15, pp.475-496, 1991.
- 4) Horie, T., Seki, K. and Mizuguchi, M. : Long period waves and wave envelope in shallow water during a storm, Proc. 29th. Int. Conf. Coastal Eng., pp.1299-1307, 2004.