

高波浪時における波群・長周期波の伝播変形

名古屋工業大学 武藤 一平
 名古屋工業大学 ○林 直正
 名古屋工業大学 宮嶋 裕史
 名古屋工業大学 正会員 喜岡 渉

1 はじめに 不規則波の波群特性については、これまでの統計的な観点からの検討に加えて非線形 Schrödinger (NSL) 方程式, Zakharov 方程式, Boussinesq 方程式および KdV 方程式による非線形は動理論に基づいた考察が行われるようになってきた。特に深海および一定水深領域を伝播する単一波群については、うねりの波群構造や伝播に伴う不規則波の波群特性の変化を検討するための基礎として, Shemer et al. (1998) 等により調べられており, NSL 方程式中の非線形係数と分散係数が同符号となる相対水深 $kh > 1.36$ (k : 搬送波の波数, h : 水深) ではエネルギーの集中により波群中の最大波高の増加が起こり, 逆に $kh < 1.36$ では分散により波群の偏平化が起こることが明らかにされている。また, 浅海域では伝播に伴う波群の偏平化とともに搬送波の波群構造に拘束されている拘束長波も偏平化し, こうした波群の伝播変形は波群長以上の距離を伝播するときに有意となることが報告されている。通常の沿岸域 (陸棚のスケール 10km 以下) における波群の伝播距離は波群長の数波長以内であり, かつ伝播過程において相対水深 kh の値は減少し 1.36 を通過する変形形態をとる。本研究では, 傾斜海浜上を伝播する種々のスペクトル形状を持つ波群の変形を, 1/30 勾配斜面を用いた系統的な水理実験により調べて, 特に個々波の波形勾配が大きく非線形性の強い波群の相対水深 $kh > 1.36$ から $kh < 1.36$ の浅海領域に至る伝播変形特性について明らかにしようとするものである。

2 実験条件 実験に用いた 2 次元造波水路は図 1 にあるように, 長さ 28.0m, 幅 0.6m, 高さ 1.2m の両面で, 一端に無反射式造波装置が設置してある。また, 床底の材質はステンレス製で造波板から 7.5m のところから勾配 1/30 の斜面を設け, 水平部は 7.5m, 勾配部は 20m である。実験は表 1 の初期条件で, 以下の 5 パターンの入射信号を用いた。計測地点は一定水深上で 4 点, 斜面上では 1.5m 間隔でサンプリングを行った。

表 1 実験条件

入射信号	周期 T (s)	波形勾配 ka	水深 h (m)	Ω
(1),(5)	0.7	0.154, 0.208	0.5	1/10, 1/20
(1),(2),(3),(4)	0.8	0.136, 0.315	0.45	1/10, 1/20
(1),(2),(3),(4)	1.1	0.1009, 0.279	0.45	1/10, 1/20

- (1) $\zeta(t) = a_0 \cos(\Omega t) \cos(\omega t)$
- (2) $\zeta(t) = a_0 |\cos(\Omega t)| \cos(\omega t)$
- (3)
$$\begin{cases} \zeta(t) = a_0 |\cos(\Omega t)| \cos(\omega t) & (0 < t < 5/2n\pi, 11/2n\pi < t < 17/2n\pi) \\ \zeta(t) = -a_0 |\cos(\Omega t)| \cos(\omega t) & (5/2n\pi < t < 11/2n\pi) \end{cases} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$
- (4) $\zeta(t) = a_0 \left\{ \exp[-(t/5T)^2] \right\} \sin(\omega t) \quad (-16T < t < 16T)$
- (5) スペクトル形状 三角形

図 2 は, 造波板からの距離 $x=0.5\text{m}$ における各初期波形とそのスペクトルである。(1), (2), (3) による波群は一見同じであるが, 包絡波線のとり方の違っておりスペクトル形は全く異なる。(1) による波群はピーク値が二つ, (2) による波群は一つのピーク値とその側帯に小さい二つのピーク値をもつ。(3) による波群は二つのピークの側帯にいくつかの小さなピーク値をもち(1)と(2)を合成した様なスペクトルである。(4) による波群はガウス分布のスペクトルを持ち各波群は独立性が強い。また, (5) は三角形形状のスペクトルから位相をランダムに変化させた不規則波形を持つ。

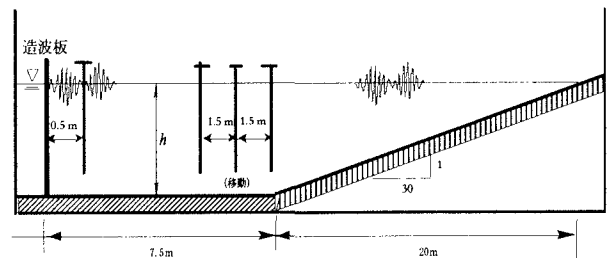


図 1 実験装置の概要図

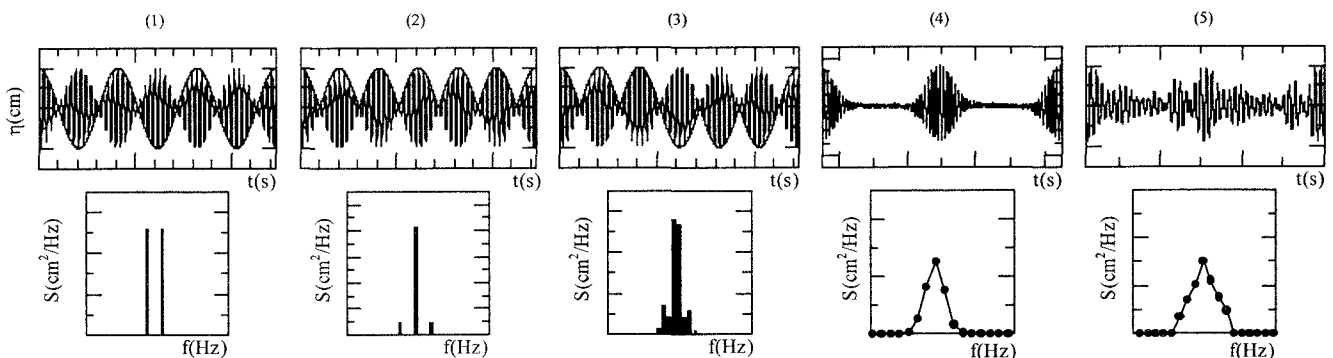


図 2 各初期波形と初期スペクトル

3 実験結果

最も基本的な(1)の波群について、図3の(a)及び(c)は、造波板からの距離 $x=0.5\text{m}$ で計測した時間波形のエネルギースペクトルの総和と、計測点 x におけるエネルギースペクトルの総和の比、(b)及び(c)は $x=0.5\text{m}$ 地点の初期波勾配と、距離 x での波形勾配との比とし距離 x との関係をプロットしている。(b)の初期波形勾配 $ka=0.109$ の波群は、深海領域において波形勾配を減少させる。浅海領域に入り、水深 30cm 過ぎから波形勾配を増加させ、それとともに(a)の総エネルギーも増加していく。(b)の $ka=0.136$ の波群は深海領域において、波形勾配はほぼ一定に保たれる。浅海領域で波形勾配とともに(a)の総エネルギーを増加させる。(b)の $ka=0.154$ の波群では波形勾配は深海、浅海領域ともに波形勾配は一定で、(a)の総エネルギーは減少している。(d)の $ka=0.208$ の波群は、深海領域では波形勾配を増加させるが、浅海領域では逆に減少させている。(d)の $ka=0.266$ の波群は浅海領域の $h=25\text{cm}$ まで波形勾配は一定でさらに浅くなると波形勾配は減少する。(c)の総エネルギーは深海領域では一定で浅海領域で減少傾向にある。(d)の $ka=0.315$ の波群は波形勾配を深海領域では増加させ、浅海領域になると急激に減少させる。(c)の総エネルギーは深海領域で急激に減少させているが斜面に入り一度増加傾向を示したあと減衰していく。

図4は三角スペクトルからえられた不規則波波群の各計測点における時系列の波形と、そのスペクトル形を表している。波形をみると、 $x=0.5\text{m}$ における最大振幅をもつ搬送波は $h=45\text{cm}$ で振幅を増加させ切り立っている。対して他の搬送波はいずれも振幅を減少させ、ランダム化が進んでいる。水深がさらに浅くなると、逆に、はっきりとした3つの波群が確認できる。さらに浅くなると浅水変形による搬送波の切り立ちが確認できる。スペクトル形は $h=45\text{cm}$ では分裂して、初期のピーク値と異なる2つのピーク値をもつ。さらに伝播するとより広い帯域に分散し、また倍周期にもはっきりとしたピーク値を持つようになる。

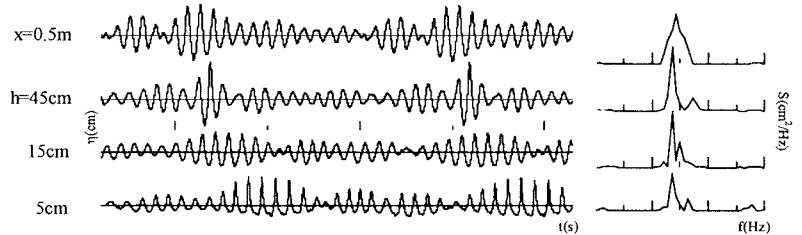
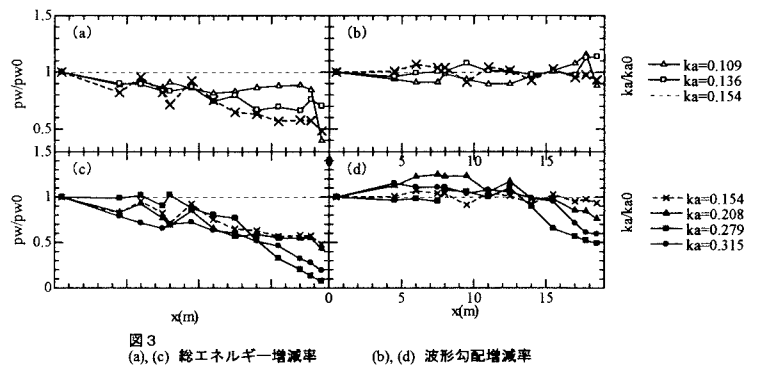


図4 三角スペクトルによる不規則波波群波形とスペクトル

4 考察

$ka=0.154$ の波群の波高は深海領域、浅海領域ともに安定した波高で伝播している。総エネルギーは減少しているため波の非線形性と散逸効果では、散逸効果の方が強いと考えられる。 $ka=0.201$, 0.315 の波群は水深が十分深い深海領域で波形勾配は増加を示す。総エネルギーは急激に減少しているので碎波が生じてエネルギーが消散していると考えられる。さらに $kh=1.36$ より水深が十分浅くなると波高は初期波高より小さくなり減衰していく。 $ka=0.266$ の波群は十分深いとはいえない一定深海領域で波形勾配は一定であるが、浅海領域にはいった直後から波形勾配を増加させ総エネルギーは急激に減少している。強非線形性の波群は深海領域で非線形性の方が強いと碎波を伴う波高の増加が生じるが浅海領域では波高を減少させて伝播していく。 $ka=0.109$, 0.136 の弱非線形性波群は深海領域では波高一定で伝播するが、総エネルギーは減少傾向にあるので散逸効果の方が強いことを示す。浅海領域において波群は総エネルギーの増加を伴いながら伝播する。これは搬送波の浅水変形の影響で波高が大きくなっていることを示している。

5 結論

$ka=0.154$ はストークス波の振幅変調を示す B-F 不安定の限界波形勾配値 $ka=0.15$ に極めて近い値である。この波群は深海領域、浅海領域に係わらず波高を安定させ斜面上を伝播していく。よって一定水深における波形勾配 $ka > 0.15$ の波群を強非線形波群、 $ka < 0.15$ を弱非線形波群といえる。波群が斜面上を伝播するとき、強非線形波群は、深海領域で波高を増加させ不安定になり、浅海領域では波高を減衰させる。一方、弱非線形波群は、深海領域で波高を安定させながら伝播し、浅海領域では搬送波の浅水変形による波高の増加をみせる。

参考文献 Shemer, T., Kit, E., Jiao, H., and Eitan, O. (1998). "Experiment on Nonlinear Wave Groups in Intermediate Water Depth." *JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL, AND OCEAN ENGINEERING*, NOVEMBER/DECEMBER 1998, 320-327