

台形潜堤上での波浪変形に関する実験的研究

Experimental Study on the Deformation of Waves Passing over a Trapezoidal Submerged Dike

多田 彰秀*
Akihide Tada

福本 正**
Tadashi Fukumoto

西田 秀紀***
Hidenori Nishida

要 約

近年、海岸の景観や環境問題なども十分考慮に入れた沿岸域の有効利用が重要視される中、自然環境に調和した波浪制御構造物が数多く提案され、それらを面的に配置することによって静穏海域や人工海浜の創出を積極的に推進していこうとする動きがある。

本報では、面的に配置される海岸構造物の中から不透過型の台形潜堤を取り上げ、波の非線形性に起因した波峰分裂現象を水理実験より検証するとともに、台形潜堤上での波浪変形に関する基本特性を明らかにする。さらに、潜堤近傍で測定された水面変動および流速の時間変化について、Navier-Stoke's方程式をMAC法で解くモデル、強非線形モデル、弱非線形モデル並びに長波近似モデルを用いた数値解析の結果と比較し、台形潜堤上での波浪変形予測に対する各数値シミュレーション法の有効性についても考察を加える。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 水理実験の概要
- § 3. 実験結果および考察
- § 4. 数値シミュレーションの適用性
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

近年、わが国では経済社会の発展に伴い、豊かさを実感できる社会を目指した様々な施策が展開されている。「みなと」、「すなはま」という言葉に代表される沿岸域においても、津波(地震)や高潮(台風)などの自然災害から

国民の人命並びに資産を守るとは言うまでもなく、水際線(ウォーターフロント)利用の高まりに応じて、快適で利用しやすい沿岸域空間の創出が要請されている。このような中で、背の高い堤防や波返し、消波ブロックが積み上げられたような施設などを改良し、従来よりも安全で、利用しやすい海岸、美しい海岸を創造するため、『面的な海岸防護方式』¹⁾が導入されようとしている。なお、『面的な海岸防護方式』とは潜堤や護岸・堤防など複数の施設を面的に配置し、全体として高潮や高波、海岸侵食などの脅威に対抗していく海岸整備方式である。

本研究では、それらの中から景観を損なわず、周辺海域に与える影響も小さく、背後の海域の静穏化および海浜の安定化を図る上で優れた特性を有する潜堤構造物に注目する。特に、不透過型の台形潜堤を取り上げ、波の非線形性に起因した波峰分裂現象発生の有無を水理実験より検証するとともに、台形潜堤上での波浪変形に関する基本特性を明らかにする。さらに、台形潜堤近傍で測

* 技術研究所海洋技術課副課長

** 技術研究所海洋技術課

*** 技術研究所水理研究課

定された水面変動および流速の時間変化について、強非線形モデル、弱非線形モデル、Navier-Stoke's方程式をMAC法で解くモデル（以後、NS方程式モデルと呼ぶ）並びに長波近似モデル等を用いて数値シミュレーションし、水理実験結果との比較を通して波峰分裂現象に対する各モデルの有効性・妥当性について考察を加える。

§ 2. 水理実験の概要

2-1 実験方法

水理実験は、西松建設株式会社技術研究所の長さ65m、幅1.0m、高さ1.6mの2次元造波水槽（片面ガラス張り）にアクリル製の台形潜堤を設置し、規則波を入射させて実施した。実験縮尺は、台形潜堤の寸法および実験施設の規模などを考慮して1/20とした。なお、相似則は歪なしのフルード則を適用した。表一 1に台形潜堤の諸元を示す。

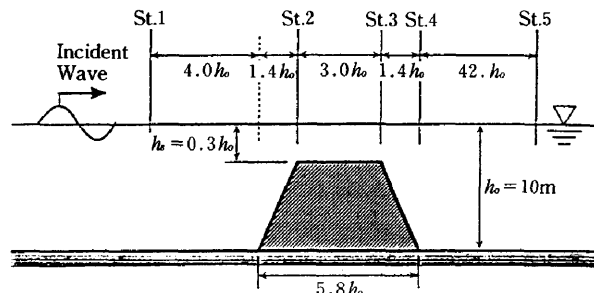
潜堤近傍での水面変動については、図一 1に示す5地点で容量式波高計を用いて測定した。さらに、図中のSt.3およびSt.5において、静水面下0.1mに2成分電磁流速計を設置し、波進行方向の平流速(u) および鉛直方向の流速(w) を同時測定した。なお、水面変動および流速のデータは、それぞれサンプリング周波数 100Hzおよび50 Hzで30秒間計測され、デジタルレーコダに収録された。

2-2 実験条件

潜堤上の波峰分裂現象が波の非線形性と分散性によって支配されることは、既に大山・灘岡²⁾によって明らかにされている。本研究では、堤体上での波高水深比および入射波の周期を変化させることによって、波峰の分裂現象に対する波の非線形性および分散性の影響度について検討を加える。すなわち、水深 h_0 および潜堤形状を一定として、表一 2に示すような入射波の周期 T_0 および波高 H_0 を変化させた6ケースを入射波条件として設定した。なお、表中には水深の深い領域(h_0)および浅い領域($h=0.3h_0$)におけるアーセル数($U_r=gH^2T_0^2/h^2$)も表示されている。さらに、非線形性および分散性の目安となる波高水深比および無次元波数も示している。ただし、 H

表一 1 台形潜堤の諸元

	現地 (m)	模型 (cm)
水 深 (h_0)	10.0	50.0
潜堤天端水深 (h_s)	3.0	15.0
潜堤高さ (h_b)	7.0	35.0
潜堤天端長 ($B_t=3.0h_0$)	30.0	150.0
潜堤底部長 ($B_b=5.8h_0$)	58.0	290.0



図一 1 水位変動および流速の計測位置

は線形理論から得られる浅水係数を考慮したときの堤体上の波高、 k_0 、 k_s は線形理論の分散関係式から算出される各領域での波数である。

§ 3. 実験結果および考察

3-1 潜堤近傍の水面変動

図一 2から図一 7は、全ケースについて水面変動の実験結果を示したものである。各図において、上段からSt.1およびSt.2が潜堤より沖側の計測点、中段のSt.3、St.4およびSt.5が潜堤より岸側の計測点である。図中の○は計測された水面変動の値を、実線は後述するNS方程式モデルによって計算された結果³⁾を示している。天端上水深でのアーセル数 U_r が最も小さいCASE-1（図一 2参照）においてさえも、堤体を通過後2倍周波数成分波出現の兆候が認められる。

図一 8は、CASE-1、CASE-2およびCASE-4を対象にして、堤体上のSt.3における水位の時間変化を比較したものである。堤体上での波高水深比(H_s/h_s)が大きくなるに従って、主波峰の先鋭化が顕著になっていく傾向が読み取れる。また、2次的な波については、3ケースの中で

表一 2 入射波条件

実験ケース	無次元周期 $T_0\sqrt{g/h_0}$	波 高 水 深 比		無 次 元 波 数		アーセル数	
		H_0/h_0	H_s/h_s	ka/h_0	ks/h_s	U_{r0}	U_{rs}
CASE-1	5.94	0.05	0.184	1.299	0.614	1.8	19.6
CASE-2		0.10	0.369			3.5	39.1
CASE-3	8.91	0.05	0.206	0.769	0.396	4.0	44.0
CASE-4		0.10	0.412			7.9	88.0
CASE-5	11.88	0.05	0.214	0.555	0.294	7.0	78.2
CASE-6		0.10	0.429			14.1	156.4

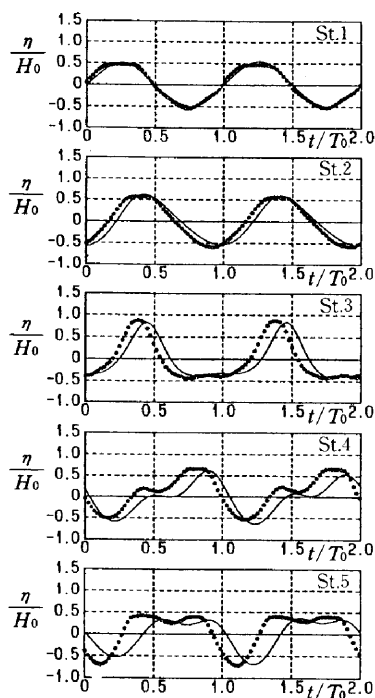


図-2 水面変動波形 (CASE-1)

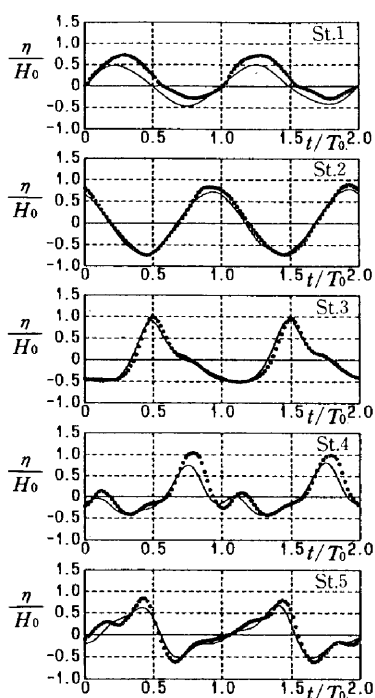


図-3 水面変動波形 (CASE-2)

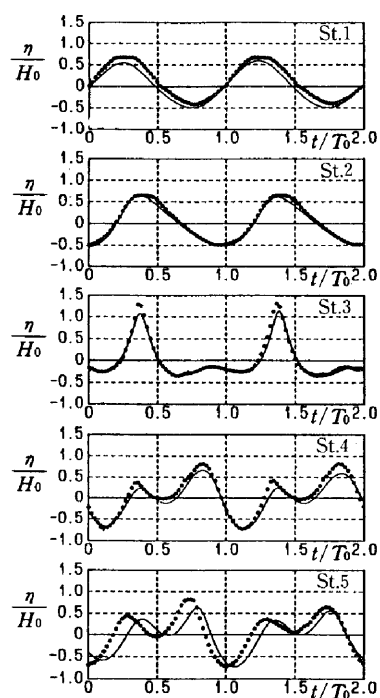


図-4 水面変動波形 (CASE-3)

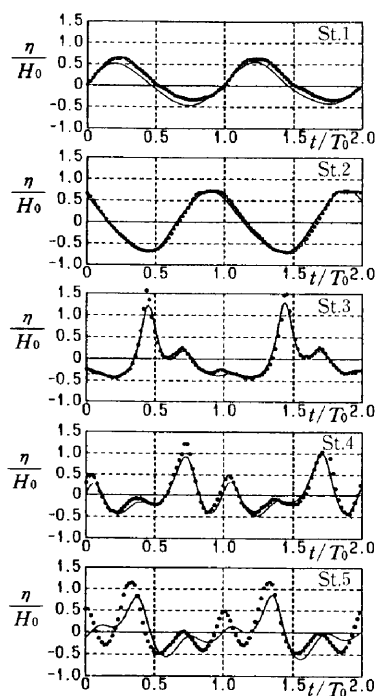


図-5 水面変動波形 (CASE-4)

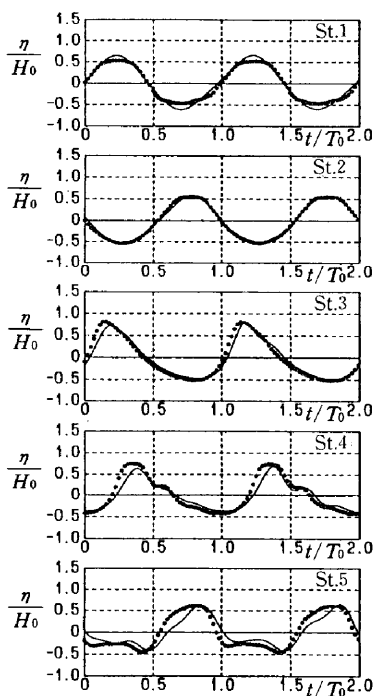


図-6 水面変動波形 (CASE-5)

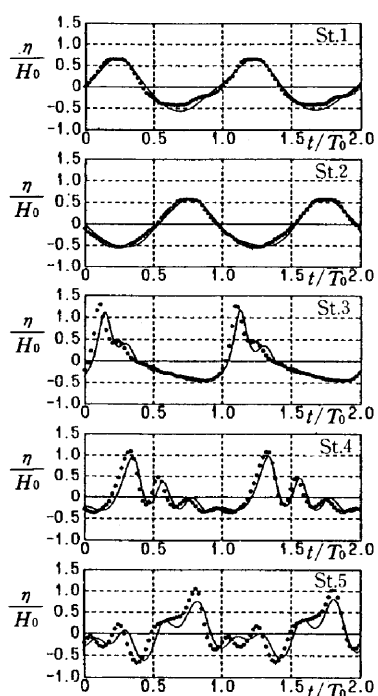


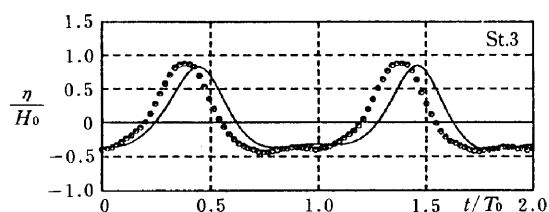
図-7 水面変動波形 (CASE-6)

最も H_i/h_s の大きなCASE-4で明確に現れている。これらのことより、 H_i/h_s は対象とする波の非線形性を表す重要なパラメータであることがわかる。

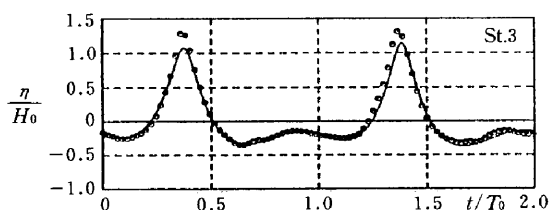
さらに、図-9ではCASE-2、CASE-4およびCASE-6に関する堤体背後のSt.5における水面変動の波形を比較

している。3ケースともに高周波成分を伴う波の分裂現象が生じている。特に、CASE-4の波形では入射波1周期間に3個の波峰が含まれている。なお、両図中の○が水理実験より得られた水位波形である。

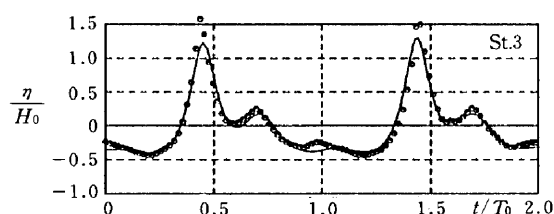
以上より、本研究で対象とした台形潜堤においても、



(a) CASE-1 ($H_s/h_s=0.184$)

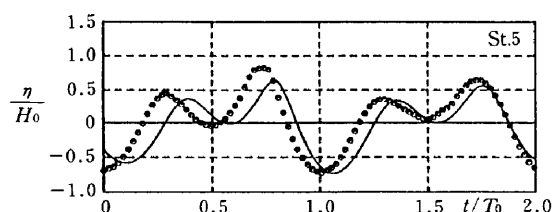


(b) CASE-2 ($H_s/h_s=0.369$)

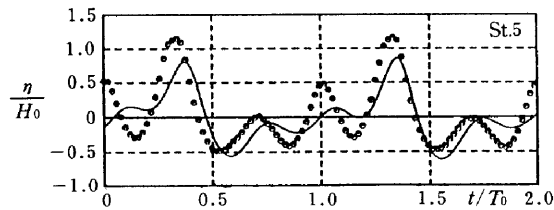


(c) CASE-4 ($H_s/h_s=0.412$)

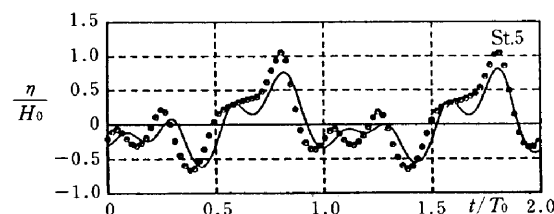
図一8 St.3における水位変動波形



(a) CASE-2 ($H_s/h_s=0.369$)



(b) CASE-4 ($H_s/h_s=0.412$)



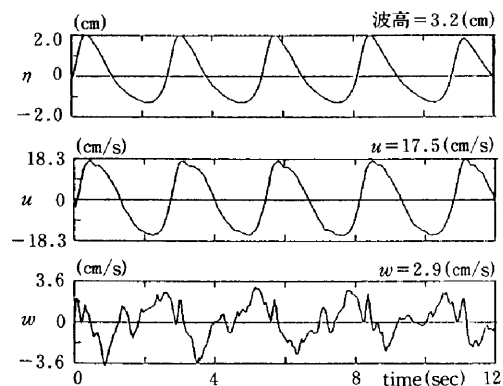
(c) CASE-6 ($H_s/h_s=0.429$)

図一9 St.5における水位変動波形

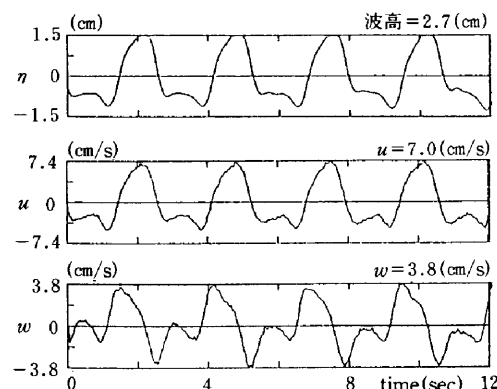
波が潜堤上を通過する際に波の非線形性に起因して高周波成分が発生するとともに、それを構成する波速の異なる自由波および拘束波の位相干渉効果によって空間的にビート現象が起こり、その結果として波峰の分裂現象が生じることが検証された。

3-2 潜堤上および潜堤背後の流速変化

CASE-5の実験ケースを一例として、静水面下0.10mで計測された潜堤上のSt.3および潜堤背後のSt.5における波進行方向流速(u)および鉛直方向流速(w)の時間的変化を図一10および図一11に示す。図中には、両地点で計測された水面変動の実験波形も併記されている。図一10より、堤体上のSt.3では波進行方向の流速が鉛直方向の流速よりも卓越していることがわかる。一方、堤体背後のSt.5においては両方向の流速成分ともにほぼ同じオーダーで変動している(図一11参照)。さらに、波進行方向の流速 u については、両地点ともに水面変動の影響を著しく受けていることが確認される。



図一10 堤体上のSt.3における流速波形 (CASE-5)



図一11 堤体上のSt.5における流速波形 (CASE-5)

§ 4. 数値シミュレーションの適用性

4-1 数値モデルの分類

本研究で比較検討に用いた数値モデルについて、以下に説明を加える。

(1) Navier - Stoke's 方程式モデル

波動運動を取り扱う場合、一般には流体の圧縮性を考慮する必要がない。したがって、非圧縮性流体を対象とするナビエ・ストークスの運動方程式を用いることができる。この運動方程式に何も仮定を導入しないで計算対象領域内の全ての流速 u , w , 圧力 p を変数として直接解く方法のことを、NS方程式モデル（ナビエ・ストークス方程式モデル）と呼んでいる⁴⁾。

このモデルの基礎方程式は、式(1)の連続方程式および式(2)、式(3)の運動量方程式から構成されている。

連続方程式；

$$\frac{\partial(\gamma_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

運動量方程式；

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \lambda_x u \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda_z w \frac{\partial u}{\partial z} = -\gamma_v \frac{\partial \phi}{\partial x} - R_x + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial(\gamma_x \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z \tau_{xz})}{\partial z} \right\} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \lambda_x u \frac{\partial w}{\partial x} + \lambda_z w \frac{\partial w}{\partial z} = -\gamma_v \frac{\partial \phi}{\partial z} - \gamma_v g - R_z + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial(\gamma_x \tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z \tau_{zz})}{\partial z} \right\} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここに、 x , z はそれぞれ水平および鉛直座標であり、 t は時間、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 τ はせん断応力、 $\phi = p / \rho$ である。さらに、

$$\left. \begin{aligned} \lambda_v &= \gamma_v + (1 - \gamma_v) C_M \\ \lambda_x &= \gamma_x + (1 - \gamma_v) C_M \\ \lambda_z &= \gamma_z + (1 - \gamma_v) C_M \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (4)$$

である。上式右辺の γ_v は空隙率を、 γ_x および γ_z はsurface permeabilityである。これらによって透過性構造物の存在の幾何学的効果を取り込まれている。

これらの基礎方程式を適切な境界条件および初期条件のもとで解き、2次元の流体運動をシミュレートしている。なお、自由表面の流速および圧力等の計算に際しては、Maker Cell Methodと同様な格子配置を持つ差分法が用いられている⁵⁾。

(2) 強非線形モデル

ポテンシャル流れの仮定を適用すれば、流体運動は速度ポテンシャル $\Phi(x, z, t)$ を用いて表すことができる。こ

の場合、式(5)および式(6)に示す自由表面の運動学的・力学的境界条件を直接考慮することによって、強非線形・強分散波動場を取り扱うことが可能となる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (z = \eta) \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\Delta \Phi)^2 + g \eta = 0 \quad (z = \eta) \quad \cdots \cdots (6)$$

ただし、 $\eta(x, t)$: 静水面からの水面変動量（鉛直上向きを正としている）である。数値計算では、一般に境界要素法または有限要素法が用いられている。本研究では、無反射造波を含めた開境界処理法の組み込まれた大山・灘岡の数値波動水槽モデルを用いた⁶⁾。

(3) 弱非線形モデル

Φ および η が式(7)に示すようにせつ動パラメータ ε ($=H/L$, H :波高, L :波長)を用いて展開できるものとする。

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \varepsilon \Phi_1 + \varepsilon^2 \Phi_2 + O(\varepsilon^3) \\ \eta &= \varepsilon \eta_1 + \varepsilon^2 \eta_2 + O(\varepsilon^3) \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (7)$$

弱非線形モデルにおいては、 ε^2 までのオーダーを考慮し、各オーダーごとに境界値問題を解くことになる。式(7)を自由表面の境界条件である式(5)および式(6)に代入し、さらに $z=0$ の回りでテイラー展開すると次式に示すような2次のオーダーの自由表面の条件式を得る。

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial z} - \frac{\partial \eta_2}{\partial t} - \frac{\partial \eta_1}{\partial x} \frac{\partial \Phi_1}{\partial x} + \eta_1 \frac{\partial^2 \Phi_1}{\partial z^2} = 0 \quad (z = 0) \quad \cdots \cdots (8)$$

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial t} + g \eta_2 + \frac{1}{2} (\Delta \Phi_1)^2 + \eta_1 \frac{\partial^2 \Phi_1}{\partial z \partial t} = 0 \quad (z = 0) \quad \cdots \cdots (9)$$

ここでは、周波数領域での解析法のひとつであるグリーン関数法⁷⁾を用いて計算を行った。

(4) 長波近似モデル

長波領域の波動場を対象とする場合には、波の非線形性と分散性に対応したパラメータ、すなわち波高水深比 H/h と無次元波数 kh の自乗のオーダーが等しいと仮定し、最低次数までを考慮して連続式と運動量方程式を展開することによって、弱非線形・弱分散波動場に対する以下の波動方程式（Boussinesq方程式）が誘導される⁸⁾。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial[(h + \eta) \bar{u}]}{\partial x} \quad \cdots \cdots (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} &= \frac{h}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(h \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right) \\ &\quad - \frac{h^2}{6} \frac{\partial^3 \bar{u}}{\partial x^3 \partial t} \quad \cdots \cdots (11) \end{aligned}$$

ただし、 $\bar{u}$:鉛直方向に平均された波進行方向の流速である。計算に際しては、喜岡・水谷が提案している周波数領域で解くスペクトル法を採用している⁹⁾。

4-2 数値シミュレーションとの比較

大山・灘岡²⁾が既に報告しているように、強非線形モデルによる数値シミュレーション結果が実験結果と良く一致することは、本研究においても明らかとなった。したがって、ここでは弱非線形モデルと長波近似モデルの特徴的な結果を中心に、波の非線形効果並びに分散効果の予測精度について考察を加える。また、NS方程式モデルによる堤体上および堤体背後における流速の再現性についても述べる。

(1) 非線形効果の再現性¹⁰⁾

① 弱非線形モデル

図-12は、CASE-1、CASE-2、CASE-4並びにCASE-6の堤体上St.3における弱非線形モデルの計算結果(実線)を強非線形モデルの計算結果(破線)および実験結果(○)と比較したものである。St.1の波形においてゼロアップクロスの瞬間を $t=0$ と設定することによって、実験波形と計算波形との位相を整合させている。

CASE-1では、堤体上の波高水深比 H_0/h_0 が 0.2 程度であり、弱非線形モデルは十分の精度で実験波形を再現している。一方、CASE-1と比較すれば相対的に非線形性が強いCASE-2においては、2次波峰付近の再現性が悪化している。さらに、CASE-4およびCASE-6では、堤体上でのアーセル数 ($U_a = gH_0 T_0^2 / h_0^2$) がそれぞれ109, 247となっており、明らかにストークス波の適用限界を超えている。したがって、これらの計算結果には解を2倍周波数成分まで打ち切っている影響が明確に現れている。すなわち、波峰の先鋭化および波形の左右非対称性を高精度で予測できないことが確認される。

② 長波近似モデル

図-13の実線は、CASE-4およびCASE-6の堤体上St.3における長波近似モデルの計算波形を表している。両ケースの実験波形における波高水深比(H_0/h_0)はそれぞれ0.61, 0.58であり、波の非線形性の強さはほぼ同程度とみなすことができる。しかしながら、計算の再現精度には大差が認められる。一方、表-2に示されているように、CASE-4の無次元波数(kh)はCASE-6に比べて大きい。すなわち、このことは自由波と拘束波の波数との差が大きくなることを物理的に意味し、そのために弱分散性を仮定した長波近似モデルでは波形の一致が悪くなるものと解釈される。なお、CASE-6については非線形性がかなり強いにもかかわらず、実験波形との一致は極めて良好である。このように、長波近似モデルでは分散性の強

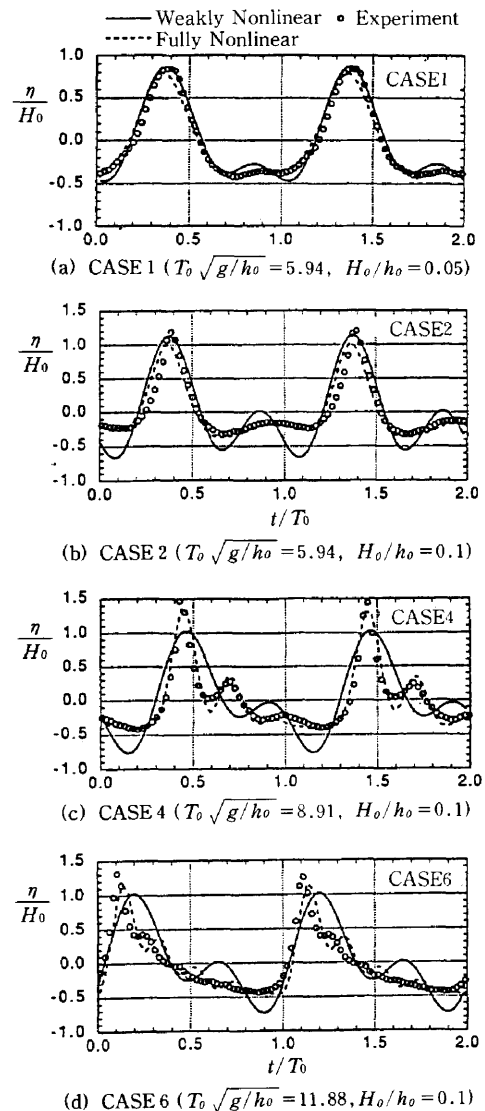


図-12 St.3における弱非線形モデルの計算波形

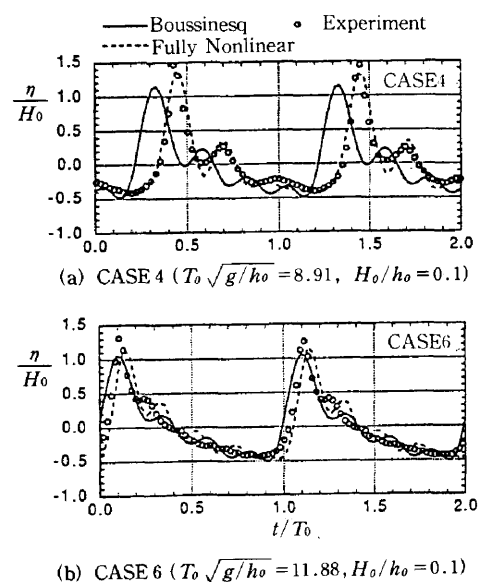


図-13 St.3における長波近似モデルの計算波形

さにより再現可能な非線形性の強さが変化するといえる。

また、CASE-4における波形の再現性は、弱非線形モデル、長波近似モデルともに非常に悪いことが図-12(c)および図-13(a)から理解される。このように、波高と周期の組み合わせによっては、弱非線形性および弱分散性の仮定が計算波形の予測精度を低下させる場合もあることが確認された。

(2) 分裂波形の再現性¹⁰⁾

① 弱非線形モデル

CASE-1、CASE-2およびCASE-4の堤体背後St.5における実験波形（図中の○）を対象にして、弱非線形モデルによる計算結果（図中の実線）を図-14に示す。CASE-1の場合には、実験波形、強非線形モデルから得られた計算波形に良く一致している。それに反して、入射波高の大きいCASE-2では振幅を過大評価していることが読み取れる。これは、弱非線形モデルが2次成分へのエネルギー移行に伴う1次成分のエネルギーの減少を十分に表現できないために生じているものと解釈される¹⁰⁾。さらに、CASE-4の実験結果には1周期間に3個の波峰が含まれているが、弱非線形モデルでは2倍周波数成分までしか考慮できないため、上述のような波形の再現はできない。

② 長波近似モデル

図-15は、CASE-4およびCASE-6を対象にして、堤体背後St.5の実験結果に対する長波近似モデルの計算波形を示している。図中には、弱分散性の仮定に伴う各周波数成分波の位相速度の誤差の影響が顕著に現れている。特に、無次元波数($k_0 h_0$)の大きいCASE-4では、振幅および位相ともに実験波形との一致が悪い。このようなことから、Boussinesq方程式における分散性の改良も試みられている。

(3) 流速波形の再現性³⁾

図-16および図-17は、それぞれ波進行方向および鉛直方向の流速についてNS方程式モデルによる計算結果と実験結果との比較を示している。図-16に示されている波進行方向の流速 u は、水面波形と同程度に実験値をよく再現している。一方、図-17の鉛直方向流速 w については、St.3の流速（実験値）がSt.5よりも小さいため、再現性が劣っている。なお、St.5においてはSt.3よりも良好に一致している。このように、NS方程式モデルでは水面変動の波形ばかりでなく流速変化の波形についても十分の精度で予測可能である（図-2～図-7参照）。しかし、他のモデルと比べて計算機容量や計算時間が著しく大きくなり、経済性に劣る面も有している。

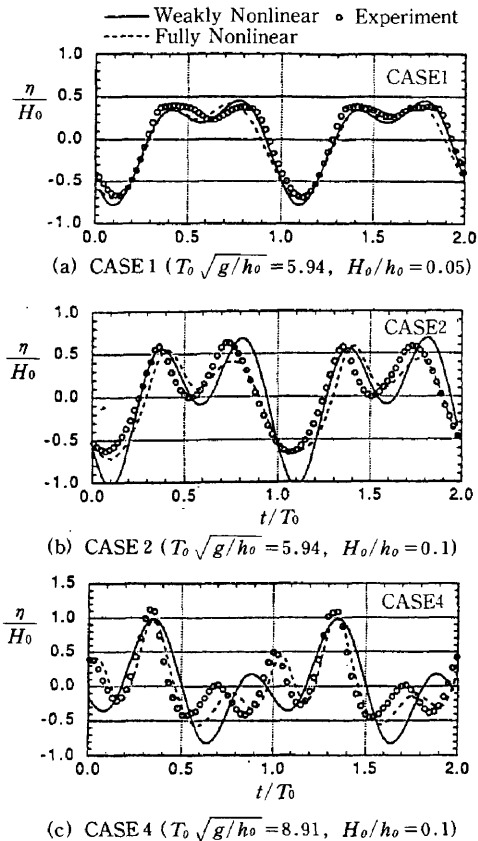


図-14 St.5における弱非線形モデルの計算波形

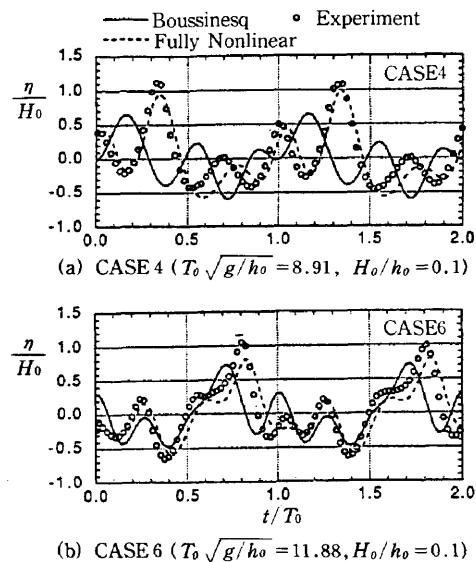
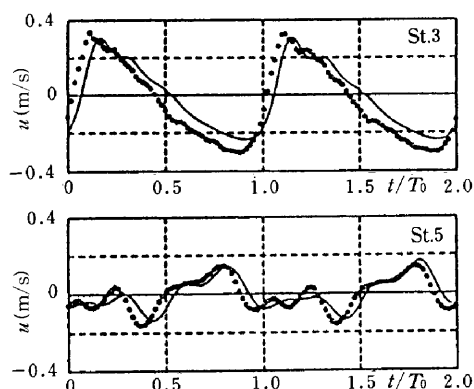
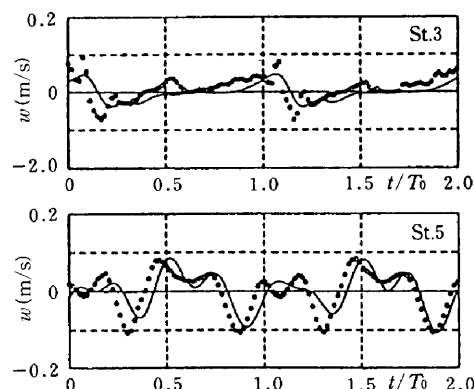


図-15 St.5における長波近似モデルの計算波形



図一16 波進行方向流速の比較 (CASE-6)



図一17 鉛直方向流速の比較 (CASE-6)

§ 5. おわりに

本研究では、不透過型の台形潜堤を取り上げ、波の非線形性に起因した波峰分裂現象を水理実験より検証するとともに、台形潜堤上での波浪変形に関する基本特性を明らかにした。さらに、台形潜堤上での波浪変形予測に対する数値シミュレーション法の有効性についても考察した。得られた結果を要約すれば以下のとおりである。

- (1) 波が台形潜堤上を通過する際には、波の非線形性に起因して高周波成分が発生する。さらに、自由波および拘束波の位相干渉効果によって波峰の分裂現象が生じることが検証された。
- (2) 堤体上では波進行方向の流速が鉛直方向の流速よりも卓越していることがわかった。一方、堤体背後においては両方向の流速成分ともにはほぼ同じオーダーであった。
- (3) 弱非線形モデルでは、堤体上での波高水深比が 0.2 程度であれば、堤体背後の領域も含めて高精度に実験波形の再現計算が可能である。さらに、波動場の非線形性が強くなると波形の再現性は悪化した。
- (4) 長波近似モデルでは、波動場の分散性の強さ(kh)によって再現できる非線形性の強さ(H/h) がかなり変化することが確認された。
- (5) 強非線形モデルは、堤体上および堤体背後の全領域で実験結果を良く再現できた。
- (6) NS 方程式モデルでは水面変動の波形ばかりでなく流速変化の波形についても十分の精度で予測可能であった。

なお、本研究は、土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会 WG2 の活動の一環としてなされたものである。特に、数値シミュレーションの結果を提供して頂いた喜岡 渉教授 (名古屋工業大学)、大山 巧氏 (清水建設(株)) および榊山 勉氏 (電力中央研究所) には

ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社) 日本港湾協会：面的な海岸防護方式の計画・設計マニュアル, pp.1~10, 1991.
- 2) 大山 巧・灘岡和夫：数値波動水槽を用いた潜堤による波の分裂現象の解析, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.16~20, 1991.
- 3) 榊山 勉・多田彰秀：不透過潜堤による波の分裂の数値シミュレーション, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, 第2部, pp.788~789, 1993.
- 4) (社) 土木学会海岸工学委員会：波・構造物・地盤の調査・設計手法 調査・研究報告書, 第Ⅱ編 断面2次元波浪変形の計算法, pp.151~155, 1993.
- 5) 榊山 勉・阿部宣行・鹿島遼一：ポラスモデルによる透過性周辺の非線形波動解析, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.554~558, 1990.
- 6) 大山 巧・灘岡和夫：非線形不規則波動場を対象とした数値波動水槽の開発, 土木学会論文集, 第429号, pp.77~86, 1991.
- 7) 喜岡 渉・石田 啓：グリーン関数法による断面2次元構造物と波の弱非線形干渉問題の解析, 土木学会論文集, 第461号, pp.59~65, 1993.
- 8) Peregrine, D.H.: Long waves on a beach, J. Fluid Mech., Vol.27, pp.815~827, 1967.
- 9) 喜岡 渉・水谷幸平：傾斜海浜に設置した二列潜堤による波浪制御, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.556~570, 1991.
- 10) 大山 巧・喜岡 渉・多田彰秀：非線形分散波動場に対する数値モデルの適用性について, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.11~15, 1993.