

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3120号

土木研究所資料

浅水方程式によるうちあげ高算定手法

平成4年6月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

「Copyright © (1992) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

浅水方程式によるうちあげ高算定手法

海岸研究室 室 長 宇 多 高 明
研 究 員 伊 藤 弘 之
部外研究員
(株)フジタ 永 瀬 恭 一

要 旨

浅水方程式を基礎に、砕波帯内の波浪変形と波のうちあげ高を計算するモデルを開発した。本方式では、反射波の透過可能な沖側境界を設定することにより、設計波高と周期のみが与えられる条件でモデル化した時間波形を入力することにより、うちあげ高の計算が可能である。モデルによる計算値は実験値と比較され、波浪変形と波のうちあげ高の計算がかなり高い精度で可能なことを示す。

キーワード：浅水方程式，うちあげ高，砕波変形，特性曲線，数値計算，計算プログラム

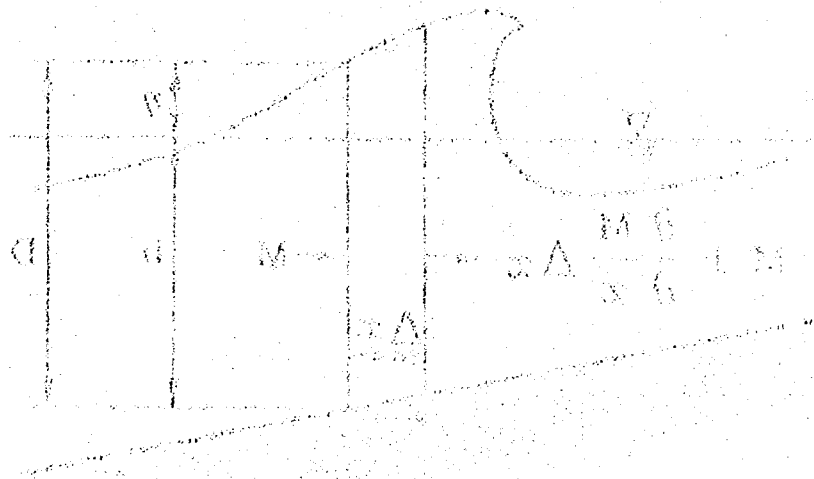
目 次

第1章 まえがき	1
第2章 うちあげ高の数値計算方法	2
2.1 基礎方程式	2
2.2 透過性消波構造物の取扱い	3
2.3 境界条件	4
(1) 岸側境界	4
(2) 沖側境界	4
第3章 検証実験	7
第4章 波浪変形およびうちあげ高の再現性の検討	13
4.1 計算条件と計算手順	13
4.2 検証実験との比較	13
(1) 直立壁	13
(2) 1/1勾配傾斜護岸	18
(3) 1/3勾配傾斜護岸	21
(4) 一様勾配斜面	23
(5) 離岸堤	25
(6) 人工リーフ	27
4.3 各パラメータの感度分析	29
(1) 波形勾配	29
(2) 堤脚水深	33
(3) 護岸ののり面勾配	34
(4) 海底勾配	36
第5章 結論	37
参考文献	38
付録Ⅰ 時間波形（海底勾配1/20）	39
付録Ⅱ 数値計算プログラム	63

第1章 ま え が き

海岸堤防や護岸の設計では、設計対象海岸の海底地形特性や消波構造物の効果を適切に評価して波のうちあげ計算を行う必要がある。従来、護岸形状や海底地形条件を考慮した波のうちあげ高の算定法としては、Saville (1958) の仮想勾配法や、中村ら (1972) の修正仮想勾配法が用いられてきた。しかし、これらの方法では消波構造物による波のうちあげ高の低減効果を評価できないため、種々の施設が設置された条件でのうちあげ高を求める場合、実験に頼らざるを得ないのが現状であった。

ところで、津波の変形計算では浅水方程式がしばしば使われており、15%以内の誤差で津波の遡上高の計算が可能と言われている（例えば、今村・後藤，1986）。そこで、宇多・伊藤（1991）は、同様な浅水方程式系を応用して、沖側境界に実験波形を与えることによって、砕波帯内と消波工内の波浪場を再現可能なモデルの作成を進め、消波工や護岸がある場合のうちあげ高を数値計算により算定できることを示した。しかし、一般に計算モデルを現地海岸へ適用しようとする場合、沖波条件としては波高と周期が与えられるのであって、波形自体は与えられないから、入力波形の設定や反射波の処理が必然的に問題となる。そこで、本研究では反射波が透過可能な沖側境界条件を設定し、モデル化した時間波形を入力することにより、砕波帯内の波の変形や波のうちあげ高が算定可能な手法を開発した。そして、海底勾配1/10、1/20、1/30の条件で模型実験を行い、計算値と実験値を比較してモデルの妥当性を検証した。



第2章 うちあげ高の数値計算方法

2.1 基礎方程式

砕波帯内の波は、波の分類によると水深と波長の比（相対水深）が小さい長波に属する。この場合、水粒子の鉛直方向の流速は無視され、水平方向の流速分布は鉛直断面内で一様と近似できる。このことより、砕波帯内の流体運動は、図-1に示す2次元座標系を用いると、近似的に式(1)、(2)により表すことができる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{M^2}{D} + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} = -F_R \quad (2)$$

ここに、 η ：初期水面からの水位、 M ：単位幅流量、 h ：静水深、 D ：全水深（ $h + \eta$ ）、 F_R ：摩擦損失項であって、砕波によるエネルギー損失は摩擦損失に含めている。摩擦項はManningの粗度係数 n を用いた時、式(3)または式(4)で与えられる。

$$F_R = g n^2 \frac{|M|M}{D^{10/3}} \quad D > 0.5 \text{ cm} \quad (3)$$

$$F_R = 12.4 \nu \frac{M}{D^2} \quad D \leq 0.5 \text{ cm} \quad (4)$$

ここに、式(4)は波が遡上状態にある場合に適用される、真野・加藤（1987）の方式である。また、遡上状態にない時には式(3)を用いる。そして実験の観察結果より、全水深が0.5cm以下となる場合遡上状態にあるとして式(3)、(4)の使用基準を定めている。

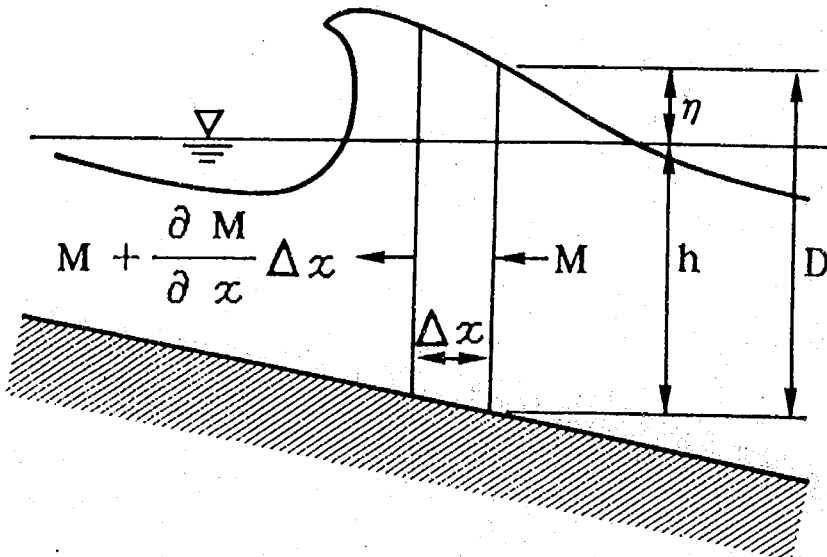


図-1 浅水方程式のパラメータの定義

2.2 透過性消波構造物の取扱い

本研究では、消波構造物内においても長波近似が成立すると仮定し、消波構造物の効果を浅水方程式に導入する。消波構造物を均一な透水層とし、透水層内で慣性力と抗力が働くとする、消波工内における流体の連続式および浅水方程式は式(5)、(6)により表わせる(近藤・武田, 1983)。ここに、 λ : 消波工の空隙率、 F_D 、 F_I : 消波工より受ける抗力および慣性力を表す項である。

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{M^2}{D} + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} = -F_D - F_I - F_R \quad (6)$$

抗力項は、Dupuit-Forchheimer則を導入すれば、式(7)となる。

$$F_D = \left(\alpha + \beta \frac{|M|}{D} \right) M \quad (7)$$

また、 α および β は

$$\alpha = \alpha_0 \frac{(1-\lambda)^3}{\lambda^2} \frac{\nu}{d^2} \quad (8)$$

$$\beta = \beta_0 \frac{(1-\lambda)}{\lambda^3} \frac{1}{d} \quad (9)$$

で与えられる。ここに、 d : 消波ブロックの代表径、 ν : 水の動粘性係数、 α_0 、 β_0 : 消波ブロックの形状で決まる特性値である。代表径とは一つの消波ブロック個体の体積の3乗根で、 α_0 、 β_0 については富永・坂本(1968)が水理模型実験により求めている。

慣性項は、付加質量係数(5)を用いれば、式(10)となる。

$$F_I = -(1+\kappa)(1-\lambda) \left(\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{M^2}{D} \right) \quad (10)$$

以上を式(4)の浅水方程式に代入し、整理すると式(11)が得られる。ここで、 $\tau = 1 + (1+\kappa)(1-\lambda)$ である。

$$\begin{aligned} & \frac{\tau}{\lambda} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\tau}{\lambda} \frac{\partial}{\partial x} \frac{M^2}{D} + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} + \alpha M + \beta \frac{|M|}{D} M \\ & + \begin{cases} \frac{g n^2}{\lambda} \frac{|M| M}{D^{10/3}} & D > 0.5 \text{ cm} \\ 12.4 \nu \frac{M}{D^2} & D \leq 0.5 \text{ cm} \end{cases} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

本研究では、以上の基礎方程式をLeap-frog法を用いて差分化する。式(5)および式(11)をLeap-frog法により差分化すると、式(12)、(13)となる(後藤・小川, 1982)。

$$\eta_{i+1}^k = \eta_i^k - \frac{\Delta t}{\lambda \Delta x} (M_{i+1/2}^{k+1/2} - M_{i-1/2}^{k+1/2}) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} M_{i+1/2}^{k+1/2} = & \frac{1}{(1 + \mu_{i+1/2}^{k+1/2})} \left\{ (1 - \mu_{i+1/2}^{k+1/2}) M_{i+1/2}^{k-1/2} \right. \\ & \left. - g D_{i+1/2}^{k+1/2} \frac{\Delta t}{\Delta x} \frac{\lambda}{\tau} (\eta_{i+1}^k - \eta_i^k) \right\} \end{aligned}$$

$$+ \left\{ \gamma_1 \frac{(M_{i+1/2}^{k-1/2})^2}{D_{i+1/2}^{k-1/2}} + \gamma_2 \frac{(M_{i+1/2}^{k-1/2})^2}{D_{i+1/2}^{k-1/2}} + \gamma_3 \frac{(M_{i+1/2}^{k-1/2})^2}{D_{i+1/2}^{k-1/2}} \right\} \quad (13)$$

ここで、 Δt : 時間間隔、 Δx : x 軸方向の格子間隔、 k : 時間方向節点、 i : x 軸方向節点である。ただし、計算の安定化のため式(11)の第2項(移流項)については風上差分を、また慣性項、抗力項、摩擦項については陰形式差分を用いる。

γ_1 , γ_2 , γ_3 は以下の通り与えられる。

$$\begin{aligned} \gamma_1 = 0 \quad \gamma_2 = 1 \quad \gamma_3 = -1 & : M_{i+1/2}^{k-1/2} \geq 0 \\ \gamma_1 = 1 \quad \gamma_2 = -1 \quad \gamma_3 = 0 & : M_{i+1/2}^{k-1/2} < 0 \end{aligned}$$

さらに、 $\mu_{i+1/2}^{k-1/2}$ は以下のようである。

$$\mu_{i+1/2}^{k-1/2} = \frac{\lambda \Delta t}{2\tau} \left[\alpha + \left\{ \frac{\beta}{D_{i+1/2}^{k-1/2}} + \frac{g n^2}{2 \lambda (D_{i+1/2}^{k-1/2})^{10/3}} \right\} |M_{i+1/2}^{k-1/2}| \right]$$

$$D_{i+1/2}^{k-1/2} > 0.5 \text{cm}$$

$$\mu_{i+1/2}^{k-1/2} = \frac{\lambda \Delta t}{2\tau} \left[\left\{ \alpha + \frac{12.4 \nu}{(D_{i+1/2}^{k-1/2})^2} \right\} + \frac{\beta}{D_{i+1/2}^{k-1/2}} |M_{i+1/2}^{k-1/2}| \right]$$

$$D_{i+1/2}^{k-1/2} \leq 0.5 \text{cm}$$

2.3 境界条件

(1) 岸側境界

① 斜面上を遡上する波の先端条件としては、岩崎・真野(1979)が津波の遡上計算に用いた方法を利用する。この方法は、 $D = h + \eta = 0$ を水中と陸上との判別基準とし、 $D \leq 0$ の場合にはdry bedと判定して $\eta = -h$ とする。ただし、斜面上の遡上波の計算では、誤差として非常に薄い水の層が波の先端付近で計算されることがある。そのため、 $D = h + \eta = 0$ を水中と陸上との判別基準とするとうちあげ高が過大となる。宇多ほか(1989)は、計算誤差と遡上波の実質的な先端とを区別する水深という意味で判別水深を定義した。そして判別水深の値を種々変えたときのうちあげ高の変化を調べ、判別水深の値によらずほぼ一定のうちあげ高が得られる判別水深を0.1mmとした。このことにより、本研究でもこの方法を準用することとする。

直立壁の岸側境界条件は、直立壁による完全反射の条件であり、境界において流量を0とすれば満足される。これには境界上の接点をGとして、それより岸側に仮想接点G-1/2を設け、 $M_{G-1/2} = -M_{G+1/2}$ とすればよい。

(2) 沖側境界

一般に、現地海岸では時間波形は設計条件として与えられないから、本計算モデルを現地海岸に適用する場合には、何らかの方法により時間波形を与える必要がある。本研究では入射波を正弦波形で与える。理論波形としてはこのほかにも孤立波・クノイド波・ストークス波などがあるが、それぞれ一長一短がある。孤立波は、理論波形のうち砕波波形を最も良く表現でき

るが、非周期関数であるから、連続的な波形変化は表現できない。クノイド波は、砕波帯付近の理論波形として用いられるが、楕円関数を含むため取扱いが複雑である。3次近似のストークス波理論は、砕波帯のような浅海域では高次項が卓越して波形を正確に与えることができない。以上の点より、本研究では最も単純な正弦波を用いることとする。

一方、入射波を沖側境界から強制入力すると、護岸や消波構造物より生じた反射波が沖合へ透過せず、このため入力波形とは別のモードの水面振動が発生する。この問題に関して、後藤・小川(1982)は、特性曲線法により線形長波について反射波を沖合に透過させる境界条件を設定し、計算の安定化を図った。本研究ではこの方法を応用し、非線形長波について反射波を透過する沖側境界条件について検討する。

一般に、沖側境界には消波構造物はなく、水深も比較的大きいため摩擦損失は無視できる。そこで、式(1)、(2)はそれぞれ式(14)、(15)と等価になる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} + (\eta + h) \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (15)$$

$c = \sqrt{g(\eta + h)}$ 、海底勾配 $(\partial h / \partial x)$ を s とすると式(14)、(15)は次のように書き直される。

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} + (u + c) \frac{\partial}{\partial x} \right\} (u + 2c - g s t) = 0 \quad (16)$$

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} + (u - c) \frac{\partial}{\partial x} \right\} (u - 2c - g s t) = 0 \quad (17)$$

これらの式は次の意味を有している。すなわち、式(16)によれば反射波成分の特性曲線 $\frac{dx}{dt} = u + c$ に沿って式(18)が成り立ち、

$$u + 2c - g s t = \text{const.} \quad (18)$$

また、式(17)によれば入射波成分の特性曲線 $\frac{dx}{dt} = u - c$ に沿って

$$u - 2c - g s t = \text{const.} \quad (19)$$

が成立する。いま、図-2を参照して沖側境界にあたる節点をQb、節点Qbを通る反射波および入射波成分の特性曲線上の点をそれぞれQ1、Q2とすると、これらの特性曲線に沿い、入射波成分においては沖側境界より外側の海底勾配を0とすると、それぞれ式(20)、(21)が成立する。

$$u_b + 2c_b = u_1 + 2c_1 + g s \Delta t \quad (20)$$

$$u_b - 2c_b = u_2 - 2c_2 \quad (21)$$

ここに、 c 、 u の添字 b 、 1 、 2 は、それぞれ点Qb、Q1、Q2における諸量を示す。また、点Q2を十分沖合($x \rightarrow \infty$)に設定すれば、そこでは入射波成分のみが存在するから、 c_1 、 u_1

を入射波の波速および流速とすると、次式が成立する。

$$u_2 - 2c_2 = u_1 - 2c_1 \quad (22)$$

式(20), (21), (22)より u_b , c_2 , u_2 を消去すると、沖側境界における波速 c_b は式(23)で与えられる。

$$c_b = \frac{1}{4}(u_1 - u_i) + \frac{1}{2}(c_1 + c_i) + \frac{1}{4}gs\Delta t \quad (23)$$

式(20)で、 c_1 , u_1 は1ステップ前の計算値から内挿して求めることができる(図-2参照)。また、 u_i に関しては、久保田ほか(1989)が提案した式(24)を用いる。この式は式(14), (15)の関係を2次のオーダーまで満たす。

$$u_i = \sqrt{\frac{g}{h_b}} \eta_i \left(1 - \frac{\eta_i}{h_b}\right) \quad (24)$$

式(22), (24)を式(23)に代入することにより、反射波の透過を考慮した沖側境界上の波形 η_b は $c_b = \sqrt{g(\eta_b + h)}$ から

$$\eta_b = \frac{c_b^2}{g} - h_b \quad (25)$$

で与えられる。

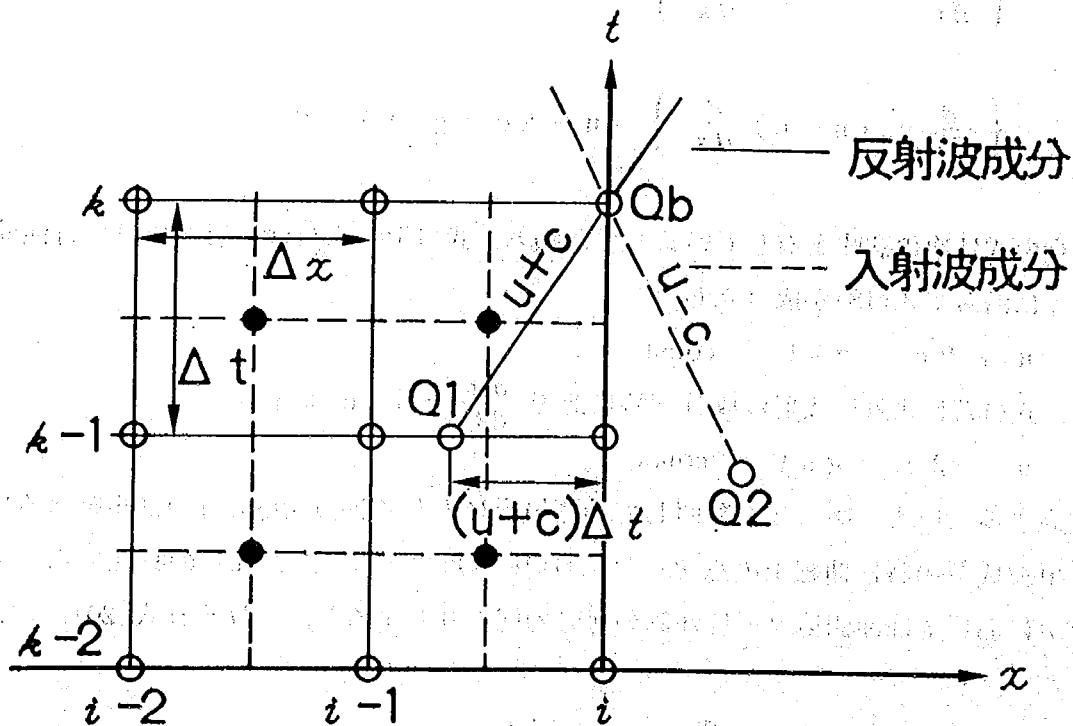


図-2 特性曲線法による計算の説明図

第3章 検証実験

実験には長さ50m、高さ1.2m、幅0.6mの2次元波浪実験水路を用い、水路の一端に3種類の勾配(1/10, 1/20, 1/30)の一樣斜面を設置した(図-3)。そして、護岸ののり面勾配が波のうちあげ高に及ぼす影響について検討するため、初期汀線位置に直立壁、1/1および1/3勾配斜面を設置した。また、考察の便宜上、初期汀線位置を原点として沖向きにx軸、鉛直上向きにz軸を定めた。

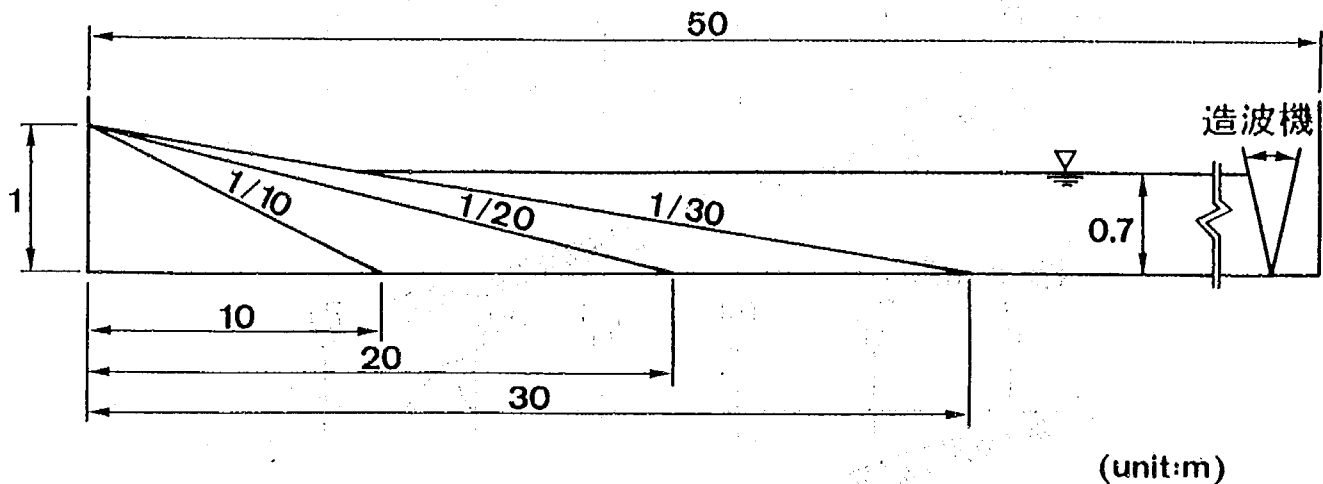


図-3 実験模型

また、水位を68, 70, 72cmと3種類設定することにより、護岸の堤脚水深を $h_c = -2, 0, 2$ cmと変化させた。消波構造物としては、人工リーフと離岸堤の2種類を考えた(図-4参照)。離岸堤の天端幅は0.2mであり、金網の中にテトラポットを乱積した構造を有する。そして越波が生じないように、離岸堤の天端高は十分高くした。人工リーフ模型の天端幅は2m、沖側のり面勾配は1/3である。入射波条件としては $H_o' = 0.2$ mとし、護岸を設置しない場合には周期を $T = 1.6 \sim 2.0$ sの間で5種類、その他の場合には $T = 1.6, 1.8, 2.0$ sと3種類設定した。

測定項目としては、水深60cmのP1地点で波高を、砕波帯内のP2~P6で波高と流速を測定した(図-4)。消波構造物を設置しない場合はP2を砕波点、P6を初期水深1cmの位置に定め、その間に等間隔で3測点P3, P4, P5を配置した。また、離岸堤を設置した場合には離岸堤の沖側、岸側側面にP3, P4を配置し、P5はP4とP6の中間点とした。人工リーフを設置した場合にはP2をリーフ天端の沖端として、P3~P5を等間隔に配置した。波のうちあげ高と空間波形はビデオカメラで撮影して求めた。

実験条件を表-1~4にまとめて示す。表中、 $\cot \alpha$ は護岸ののり面勾配の逆数、 h_c は堤脚水深、 $\cot \epsilon$ は海底勾配の逆数である。

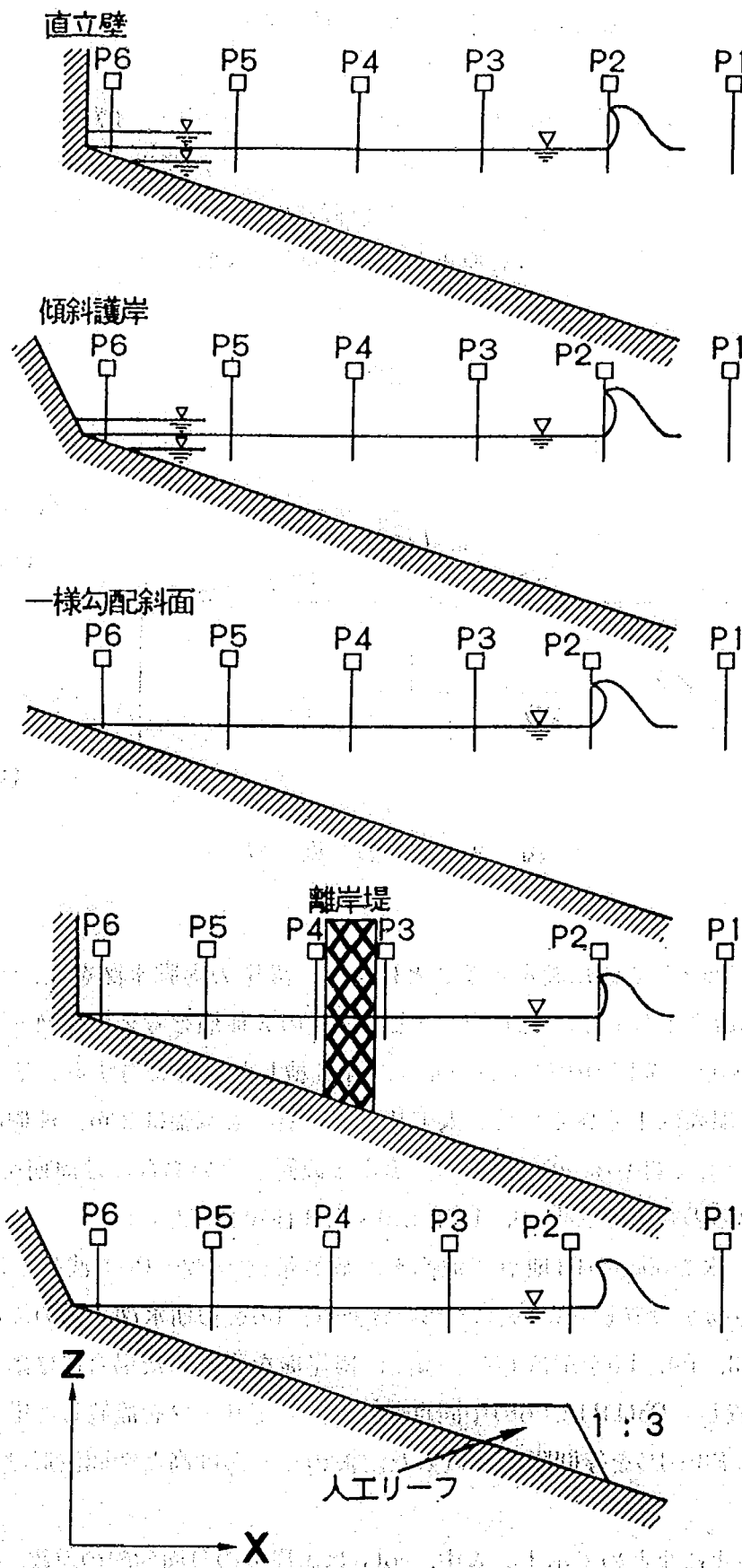


図-4 海浜断面形状と波高測定位置

表-1 実験条件と計算結果 (海底勾配1/10)

No	$\cot \alpha$	h_c (m)	T (s)	H_i (m)	H_r (m)	K_r	h_b (m)	R_{exp} (m)	R_{cal} (m)	$\frac{R_{cal}}{R_{exp}}$
1	0	0.00	2.0	0.30	0.076	0.25	0.28	0.150	0.240	1.60
2	0	0.00	1.8	0.26	0.062	0.24	0.27	0.142	0.180	1.37
3	0	0.00	1.6	0.24	0.043	0.18	0.27	0.140	0.143	1.02
4	0	0.02	2.0	0.29	0.050	0.19	0.28	0.167	0.210	1.26
5	0	0.02	1.8	0.26	0.039	0.16	0.28	0.146	0.160	1.10
6	0	0.02	1.6	0.25	0.053	0.21	0.25	0.118	0.152	1.29
7	0	-0.02	2.0	0.26	0.072	0.23	0.27	0.163	0.258	1.58
8	0	-0.02	1.8	0.31	0.066	0.29	0.26	0.149	0.287	1.93
9	0	-0.02	1.6	0.23	0.057	0.22	0.27	0.142	0.160	1.13
10	1	0.00	2.0	0.25	0.061	0.25	0.28	0.232	0.147	0.63
11	1	0.00	1.8	0.24	0.072	0.30	0.25	0.210	0.194	0.92
12	1	0.00	1.6	0.24	0.060	0.21	0.26	0.170	0.175	1.03
13	1	0.02	2.0	0.29	0.037	0.15	0.26	0.205	0.325	1.59
14	1	0.02	1.8	0.25	0.054	0.22	0.26	0.172	0.200	1.16
15	1	0.02	1.6	0.24	0.084	0.29	0.24	0.133	0.192	1.44
16	1	-0.02	2.0	0.29	0.079	0.27	0.26	0.263	0.323	1.23
17	1	-0.02	1.8	—	—	—	—	—	—	—
18	1	-0.02	1.6	0.22	0.054	0.24	0.26	0.213	0.176	0.83
19	3	0.00	2.0	0.26	0.070	0.26	0.29	0.198	0.223	1.13
20	3	0.00	1.8	0.26	0.053	0.20	0.28	0.174	0.208	1.20
21	3	0.00	1.6	0.28	0.067	0.24	0.26	0.137	0.216	1.58
22	3	0.02	2.0	0.27	0.059	0.21	0.29	0.167	0.242	1.45
23	3	0.02	1.8	0.26	0.054	0.20	0.28	0.152	0.216	1.42
24	3	0.02	1.6	0.23	0.049	0.21	0.25	0.132	0.170	1.29
25	3	-0.02	2.0	0.28	0.120	0.42	0.25	0.212	0.306	1.44
26	3	-0.02	1.8	0.24	0.058	0.23	0.28	0.214	0.161	0.75
27	3	-0.02	1.6	0.25	0.061	0.24	0.26	0.189	0.152	0.80
28	10	0.00	2.0	0.24	0.047	0.19	0.27	0.107	0.127	1.19
29	10	0.00	1.8	0.23	0.047	0.20	0.27	0.099	0.087	0.88
30	10	0.00	1.6	0.20	0.043	0.21	0.27	0.083	0.076	0.92
31	10	0.00	1.7	0.22	0.047	0.21	0.27	0.093	0.083	0.89
32	10	0.00	1.9	0.24	0.048	0.20	0.27	0.103	0.112	1.09

表-2 実験条件と計算結果 (海底勾配1/20)

No	$\cot \alpha$	h_c (m)	T (s)	H_i (m)	H_r (m)	K_r	h_b (m)	R_{exp} (m)	R_{cal} (m)	$\frac{R_{cal}}{R_{exp}}$
33	0	0.00	2.0	0.26	0.034	0.13	0.31	0.093	0.092	0.98
34	0	0.00	1.8	0.24	0.036	0.15	0.29	0.077	0.085	1.10
35	0	0.00	1.6	0.21	0.028	0.13	0.30	0.072	0.060	0.83
36	0	0.02	2.0	0.28	0.050	0.18	0.30	0.075	0.095	1.26
37	0	0.02	1.8	0.23	0.033	0.14	0.28	0.061	0.067	1.09
38	0	0.02	1.6	0.20	0.030	0.15	0.28	0.051	0.045	0.88
39	0	-0.02	2.0	0.25	0.036	0.14	0.30	0.125	0.111	0.88
40	0	-0.02	1.8	0.25	0.031	0.13	0.31	0.111	0.101	0.91
41	0	-0.02	1.6	0.21	0.030	0.14	0.29	0.092	0.072	0.78
42	1	0.00	2.0	0.26	0.036	0.14	0.30	0.093	0.121	1.30
43	1	0.00	1.8	0.23	0.029	0.13	0.29	0.079	0.095	1.20
44	1	0.00	1.6	0.20	0.037	0.18	0.29	0.063	0.069	1.09
45	1	0.02	2.0	0.28	0.057	0.20	0.29	0.066	0.143	2.16
46	1	0.02	1.8	0.23	0.036	0.15	0.28	0.062	0.103	1.66
47	1	0.02	1.6	0.20	0.035	0.18	0.27	0.054	0.071	1.31
48	1	-0.02	2.0	0.25	0.035	0.14	0.29	0.112	0.153	1.36
49	1	-0.02	1.8	0.23	0.028	0.12	0.29	0.119	0.103	0.86
50	1	-0.02	1.6	0.20	0.039	0.20	0.28	0.121	0.078	0.64
51	3	0.00	2.0	0.28	0.058	0.21	0.29	0.077	0.148	1.92
52	3	0.00	1.8	0.25	0.035	0.14	0.29	0.069	0.102	1.47
53	3	0.00	1.6	0.22	0.028	0.13	0.30	0.056	0.072	1.28
54	3	0.02	2.0	0.29	0.047	0.16	0.30	0.066	0.143	2.16
55	3	0.02	1.8	0.26	0.049	0.19	0.28	0.055	0.118	2.14
56	3	0.02	1.6	0.22	0.038	0.17	0.28	0.047	0.082	1.74
57	3	-0.02	2.0	0.27	0.048	0.18	0.29	0.109	0.138	1.26
58	3	-0.02	1.8	0.25	0.038	0.15	0.30	0.089	0.108	1.21
59	3	-0.02	1.6	0.20	0.051	0.26	0.31	0.074	0.058	0.78
60	20	0.00	2.0	0.26	0.036	0.14	0.30	0.106	0.056	0.52
61	20	0.00	1.8	0.23	0.026	0.12	0.29	0.090	0.044	0.48
62	20	0.00	1.6	0.20	0.030	0.15	0.29	0.083	0.032	0.38
63	20	0.00	1.7	0.21	0.025	0.12	0.29	0.087	0.028	0.32
64	20	0.00	1.9	0.24	0.030	0.13	0.29	0.100	0.032	0.32

表-3 実験条件と計算結果 (海底勾配1/30)

	$\cot \alpha$	h_c (m)	T (s)	H_i (m)	H_r (m)	K_r	h_b (m)	R_{exp} (m)	R_{cal} (m)	$\frac{R_{cal}}{R_{exp}}$
65	0	0.00	2.0	0.24	0.045	0.22	0.33	0.070	0.051	0.73
66	0	0.00	1.8	0.22	0.044	0.22	0.33	0.051	0.039	0.76
67	0	0.00	1.6	0.22	0.052	0.20	0.28	0.060	0.038	0.63
68	0	0.02	2.0	0.24	0.032	0.14	0.32	0.039	0.041	1.05
69	0	0.02	1.8	0.21	0.059	0.25	0.32	0.030	0.032	1.07
70	0	0.02	1.6	0.20	0.045	0.18	0.33	0.031	0.030	0.97
71	0	-0.02	2.0	0.26	0.043	0.17	0.31	0.065	0.080	1.23
72	0	-0.02	1.8	0.23	0.038	0.16	0.36	0.054	0.045	0.83
73	0	-0.02	1.6	0.24	0.049	0.20	0.30	0.076	0.060	0.79
74	1	0.00	2.0	0.25	0.043	0.17	0.33	0.063	0.080	1.27
75	1	0.00	1.8	0.24	0.047	0.19	0.33	0.052	0.070	1.35
76	1	0.00	1.6	0.23	0.026	0.12	0.31	0.056	0.062	1.11
77	1	0.02	2.0	0.29	0.063	0.22	0.32	0.049	0.105	2.14
78	1	0.02	1.8	0.24	0.045	0.19	0.32	0.037	0.049	1.32
79	1	0.02	1.6	0.22	0.039	0.17	0.31	0.031	0.060	1.94
80	1	-0.02	2.0	0.27	0.052	0.19	0.35	0.089	0.088	0.99
81	1	-0.02	1.8	0.24	0.043	0.18	0.35	0.093	0.069	0.74
82	1	-0.02	1.6	0.23	0.038	0.17	0.31	0.091	0.069	0.76
83	3	0.00	2.0	0.18	0.075	0.41	0.15	0.052	0.038	0.73
84	3	0.00	1.8	0.17	0.073	0.42	0.15	0.041	0.032	0.78
85	3	0.00	1.6	0.15	0.069	0.46	0.15	0.039	0.028	0.72
86	3	0.02	2.0	0.20	0.068	0.34	0.13	0.040	0.053	1.33
87	3	0.02	1.8	0.18	0.070	0.40	0.13	0.031	0.036	1.16
88	3	0.02	1.6	0.16	0.067	0.42	0.13	0.031	0.027	0.87
89	3	-0.02	2.0	0.26	0.043	0.17	0.31	0.070	0.090	1.29
90	3	-0.02	1.8	0.22	0.040	0.18	0.35	0.070	0.052	0.74
91	3	-0.02	1.6	0.22	0.035	0.16	0.31	0.075	0.060	0.80
92	30	0.00	2.0	0.23	0.033	0.15	0.35	0.035	0.026	0.74
93	30	0.00	1.8	0.21	0.045	0.22	0.35	0.033	0.028	0.85
94	30	0.00	1.6	0.21	0.038	0.18	0.31	0.031	0.022	0.71
95	30	0.00	1.7	0.21	0.038	0.18	0.34	0.030	0.018	0.60
96	30	0.00	1.9	0.22	0.051	0.23	0.34	0.031	0.023	0.74

表-4 実験条件と計算結果 (消波構造物)

No	$\cot \alpha$	$\cot \beta$	構造物	T (s)	H_1 (m)	H_r (m)	K_r	R_{exp} (m)	R_{cal} (m)	$\frac{R_{cal}}{R_{exp}}$
1	0	10	人 工 リ ー フ	2.0	0.21	0.14	0.68	0.118	0.136	1.15
2	0	10		1.8	0.17	0.11	0.63	0.087	0.092	1.06
3	0	10		1.6	0.17	0.12	0.73	0.078	0.077	0.99
4	0	10		2.0	0.18	0.12	0.70	0.140	0.108	0.77
5	0	10		1.8	0.19	0.11	0.61	0.115	0.111	0.97
6	0	10		1.6	0.16	0.099	0.63	0.095	0.072	0.76
7	3	10	離 岸 堤	2.0	0.24	0.082	0.34	0.071	0.218	3.07
8	3	10		1.8	0.20	0.081	0.41	0.079	0.165	2.09
9	3	10		1.6	0.18	0.062	0.34	0.078	0.140	1.80
10	3	10		2.0	0.23	0.077	0.34	0.160	0.175	1.09
11	3	10		1.8	0.19	0.077	0.40	0.109	0.144	1.32
12	3	10		1.6	0.19	0.061	0.33	0.098	0.129	1.32
13	0	20	人 工 リ ー フ	2.0	—	—	—	—	—	—
14	0	20		1.8	0.28	0.11	0.41	0.069	0.147	2.13
15	0	20		1.6	0.21	0.074	0.35	0.057	0.082	1.44
16	0	20		2.0	0.24	0.16	0.67	0.083	0.137	1.65
17	0	20		1.8	0.26	0.095	0.37	0.070	0.148	2.11
18	0	20		1.6	0.21	0.074	0.35	0.056	0.094	1.68
19	3	20	離 岸 堤	2.0	0.22	0.075	0.35	0.092	0.070	0.76
20	3	20		1.8	0.17	0.064	0.39	0.090	0.065	0.72
21	3	20		1.6	—	—	—	—	—	—
22	3	20		2.0	0.16	0.082	0.53	0.085	0.046	0.54
23	3	20		1.8	0.17	0.072	0.42	0.074	0.050	0.68
24	3	20		1.6	0.15	0.092	0.62	0.064	0.038	0.59
25	0	30	人 工 リ ー フ	2.0	—	—	—	—	—	—
26	0	30		1.8	0.14	0.087	0.64	0.061	0.030	0.49
27	0	30		1.6	0.17	0.081	0.47	0.055	0.038	0.69
28	0	30		2.0	—	—	—	—	—	—
29	0	30		1.8	0.16	0.085	0.55	0.052	0.045	0.87
30	0	30		1.6	0.16	0.087	0.56	0.052	0.042	0.81
31	3	30	離 岸 堤	2.0	0.18	0.094	0.53	0.061	0.030	0.49
32	3	30		1.8	0.17	0.081	0.49	0.048	0.024	0.50
33	3	30		1.6	0.17	0.090	0.52	0.029	0.021	0.72
34	3	30		2.0	0.17	0.10	0.61	0.044	0.031	0.71
35	3	30		1.8	0.17	0.16	0.98	0.039	0.026	0.67
36	3	30		1.6	0.16	0.092	0.57	0.043	0.023	0.54

第4章 波浪変形および波のうちあげ高の再現性の検討

4.1 計算条件と計算手順

宇多ほか(1989)は、この種の数値計算において安定した結果を得るための計算条件として、 $K = c \cdot \Delta t / \Delta x$ が0.95より小さくすべきことを示した。ここに、 c ：波速、 Δx ：水路方向の格子間隔、 Δt ：時間間隔である。また、判別水深の場合と同様、誤差を極小にするには、 Δx についても $\Delta x / L_0 \approx 0.01$ 程度と細かく取るべきことを示している。そこで、本研究では計算条件を宇多ほか(1989)などを参考として、全ケースで $\Delta x = 0.03\text{m}$ 、 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-4}\text{s}$ とした。また、直立壁前面や傾斜護岸ののり面部分では、計算の安定とうちあげ高の計算精度の維持のため、 Δx をその他の部分の格子間隔の1/10と細かくした。マンニングの粗度係数としては、滑面の値0.01を用い、ブロックの特性値 α_0 、 β_0 については、富永・坂本(1968)より乱積テトラポッドの場合の $\alpha_0 = 2100$ 、 $\beta_0 = 2.2$ を用いた。また、慣性力を決定する付加質量係数 κ は消波ブロックごとには決定されていないが、目安として1.0を用いた。

計算の手順は以下のようなものである。

- ① 実験で得られた砕波点(P2)の時間波形と流速から、久保田ほか(1989)が示した疑似非線形長波理論によって入射波と反射波を分離し、破碎点における入射波成分の波高を求める。
- ② 入射波として、入射波高と同じ周期・振幅を持つ正弦波を与える。
- ③ 計算を入射波の8周期間行い、P2～P6の時間波形と波のうちあげ高を求めるとともに、 $t/T = 7 \sim 8$ に関しては1/4周期ごとに空間波形も出力する。

以下、護岸形状および消波構造物ごとに、時間波形や波のうちあげ高の計算結果を実験結果と比較し、その精度について論じる。

4.2 検証実験との比較

(1) 直立壁

まず、反射波透過境界の妥当性を検証する。海底勾配1/10の海浜の初期汀線位置に直立壁を設置した条件で、入射波を強制入力した場合と、式(23)、(25)を用いて反射波を透過させた場合の計算結果を、実験結果とともに図-5に示す。図中の実線は反射波を透過させた場合を、一点鎖線は入射波を強制入力した場合を示す。入射波を強制入力させた場合、P4の第3波目で多重反射により乱れが生じている。また、P6では長周期の水位変動が生じ、それに伴い個々の波の波高が極端に変化することが分かる。これに対し、反射波透過境界の場合は、反射波が $t/T \approx 2.0$ でP2に達すると、平均水面が上昇し実験波形とよい対応を示す。P4、P6でも波形、位相とも実験値と良く対応している。以上より、反射波透過境界を設定することにより、長周期の水面振動が除去され、計算精度が向上すると言える。

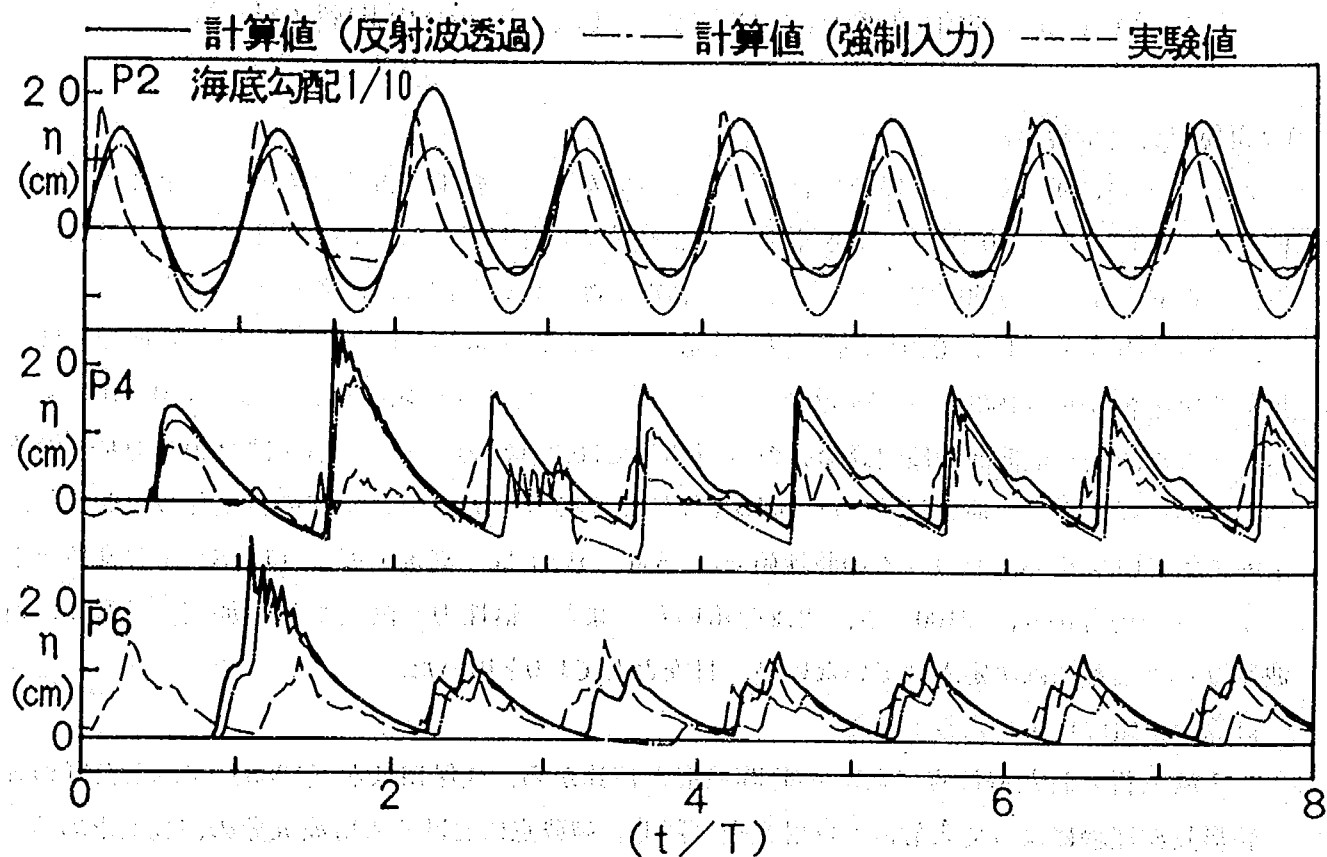


図-5 反射波透過条件と入射波を強制入力した場合の波形比較

同様にして海底勾配1/20, 1/30の場合の時間波形を図-6に示す。海底勾配1/20の場合, P4では第2, 3波目の波形は実験値とよく合っており, その後第4, 5波目で一旦波高が大きくなるものの, 再び実験値と良く対応している。P6では第1波目で過大な波高となり波峰に高周波振動を含んでいるが, その後波形は安定し, 波形, 水位上昇量とも良く再現されている。海底勾配1/30の場合は, P4において第2, 3, 4波目が実験値とよく対応している。第5波目以降波高が高くなるが, 位相の遅れはほとんど見られない。P6では, 第4波目以降, 実験波形と計算波形がよく一致している。以上のように, 海底勾配1/20, 1/30の海岸に直立壁が設置された場合にも, 各地点の波形の再現性はかなり良好である。図-7に直立壁の場合の空間波形を示す。波峰の背面が実験値では凹んでいるのに対し, 計算値ではなだらかな凸型となるが, 波高や全体的な波形は実験値とよく対応している。

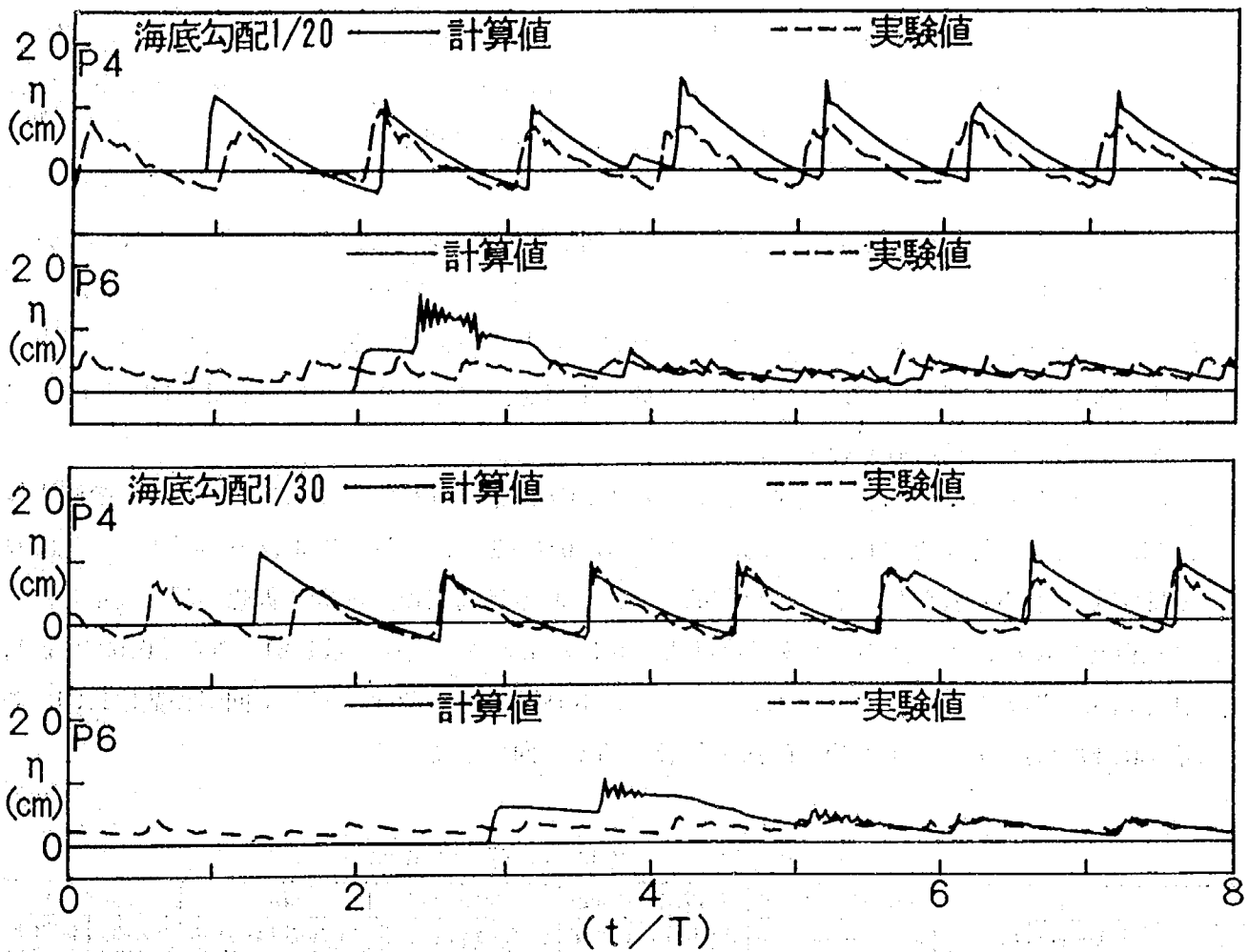


圖-6 時間波形 (直立壁, 海底勾配1/20, 1/30)

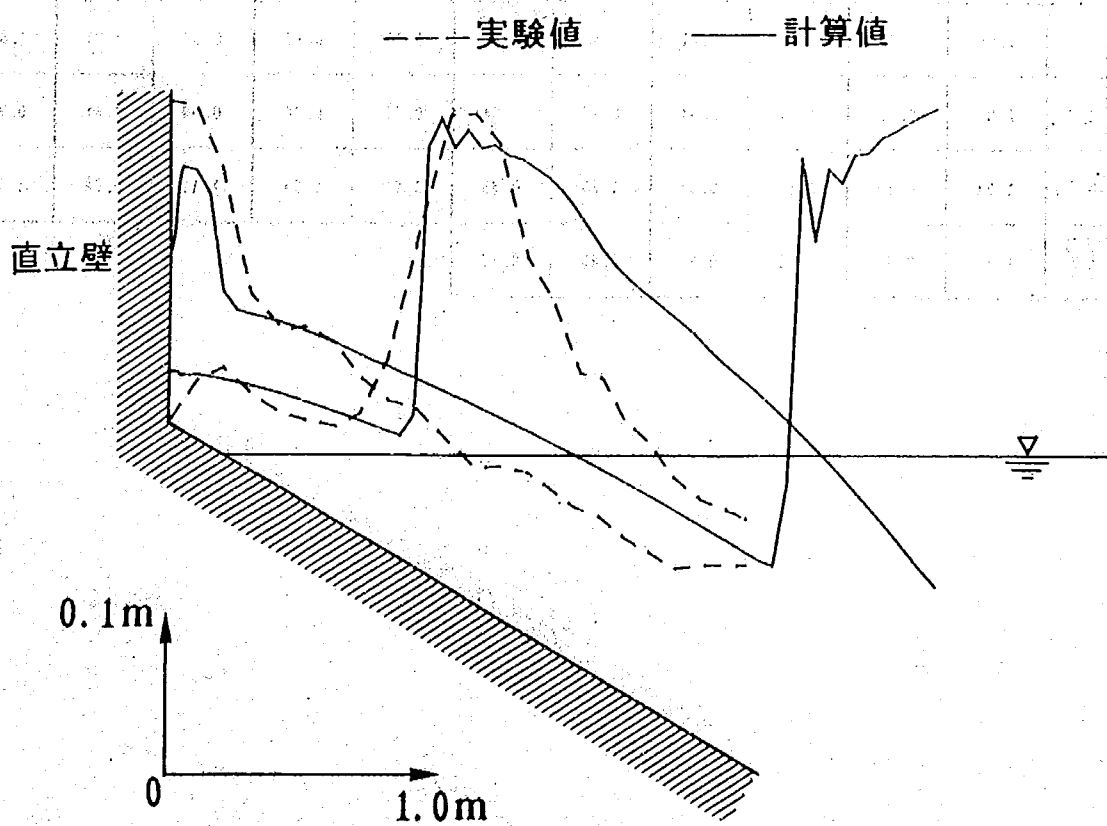


圖-7 空間波形 (直立壁, 海底勾配1/20)

波のうちあげ高の計算値 (R_{cal}) と実験値 (R_{exp}) の関係を図-8 a)に示す。ここに、データは海底勾配ごとに区別するとともに、計算精度の検定のために、誤差率と回帰係数を求めた (表-5 参照)。回帰係数に関しては、回帰直線が原点を通るよう $\sqrt{R_{exp}^{-1}}$ を重みとして与えた。誤差率は $\sqrt{\sum (R_{exp} - R_{cal})^2 / (R_{exp}^2 N)}$ として求めた。ここに、Nは対象とするケース数である。海底勾配1/10の場合、回帰係数は1.38と実験値よりも過大傾向であり、誤差率も0.44とばらつきが大きい。海底勾配が急な場合にはPlunging型砕波が生ずるが、このような波の変形は浅水方程式で表現できないため上述の結果になったと考えられる。一方、海底勾配1/20、1/30の場合には、緩やかな砕波変形が生ずるので、回帰係数は1.08、1.09、誤差率は0.20、0.21と、計算精度は高い。

次に、うちあげ高に関する従来の算定手法との比較を行うため、中村ほか (1972) の修正仮想勾配法と本計算法との比較を試みた (図-8 b)参照)。なお、修正仮想勾配法による計算では実験で求められた砕波点と、仮想的に定めた波の最高到達点の間で仮想勾配を仮定した。修正仮想勾配法による波のうちあげ高は表-5に示すように回帰係数1.84、誤差率0.99となり、計算結果は過大となる。一方、本計算法では、3種類の海底勾配に対して回帰係数は1.24、誤差率0.30であって、修正仮想勾配法より計算精度が向上している。

表-5 各ケースの回帰係数と誤差率

護岸形状			直 立 壁		傾斜護岸(1/1勾配)		傾斜護岸(1/3勾配)		一様勾配斜面		離岸堤		人工リーフ	
			回帰係数	誤 差 率	回帰係数	誤 差 率	回帰係数	誤 差 率	回帰係数	誤 差 率	回帰係数	誤 差 率	回帰係数	誤 差 率
数 値 計 算	海 底 勾 配	1/10	1.38	0.44	1.08	0.31	1.19	0.36	1.00	0.12	1.60	1.03	1.94	0.15
		1/20	1.08	0.20	1.20	0.51	1.50	0.71	0.82	0.25	0.67	0.35	1.82	0.85
		1/30	1.09	0.21	1.14	0.54	0.93	0.24	0.73	0.28	0.59	0.41	0.70	0.32
	全 平 均		1.24	0.30	1.12	0.47	1.23	0.48	0.91	0.23	1.11	0.68	1.14	0.53
修正仮想勾配法によるうちあげ高			1.84	0.99	1.35	0.78	1.40	0.87						

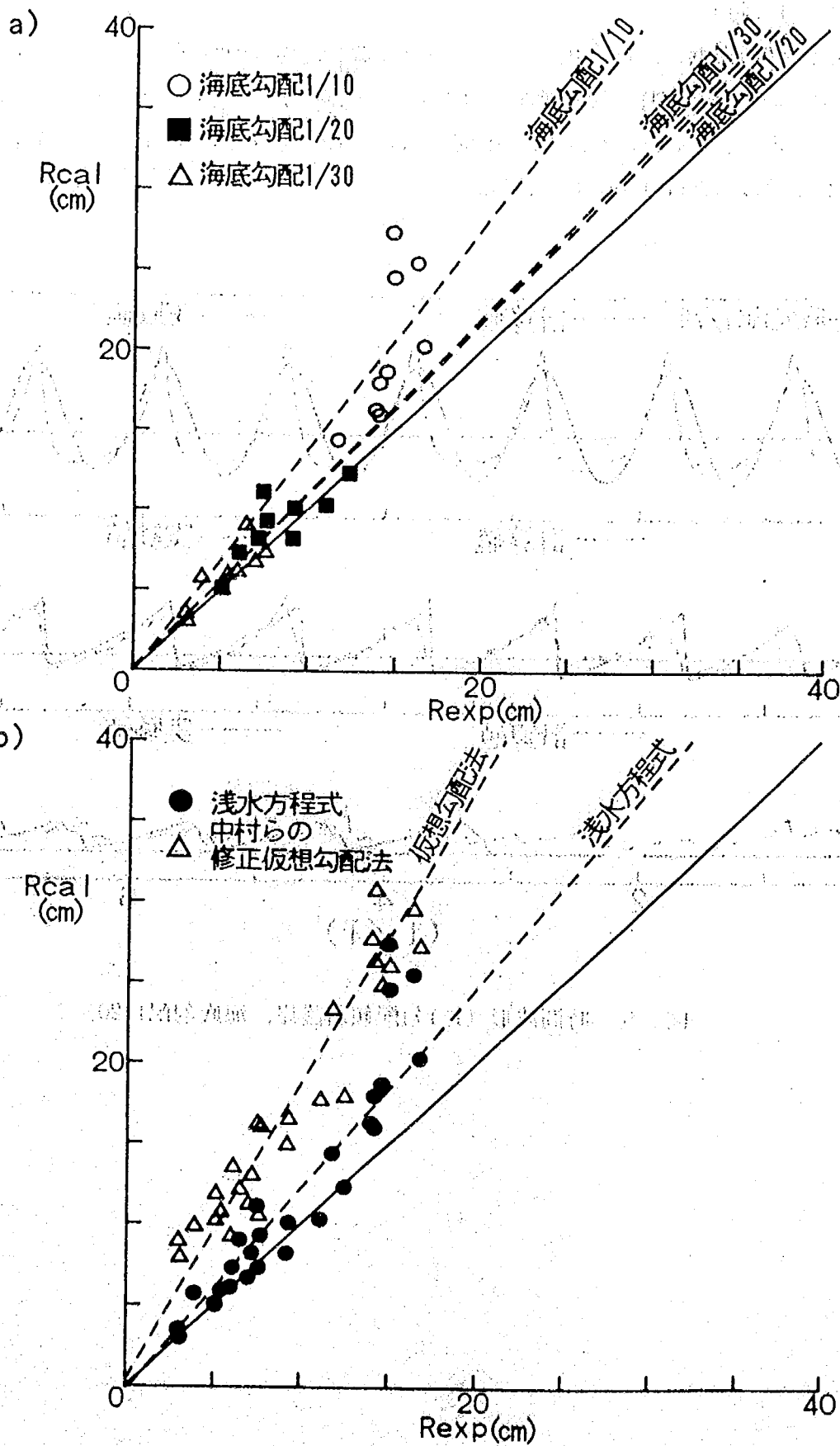


図-8 波のうちあげ高の比較 (直立壁)

(2) 傾斜護岸 (1/1勾配)

海底勾配1/20の海浜に、1/1勾配の傾斜護岸を設置した場合の時間変形を図-9に示す。P2では、直立壁の場合と同様、実験波形と計算波形が比較的よく一致しており、また、P4、P6でも波形・位相ともよく合っている。空間波形は図-10のようなのである。波のごく先端部を除き、計算波形は実験波形とほぼ一致している。

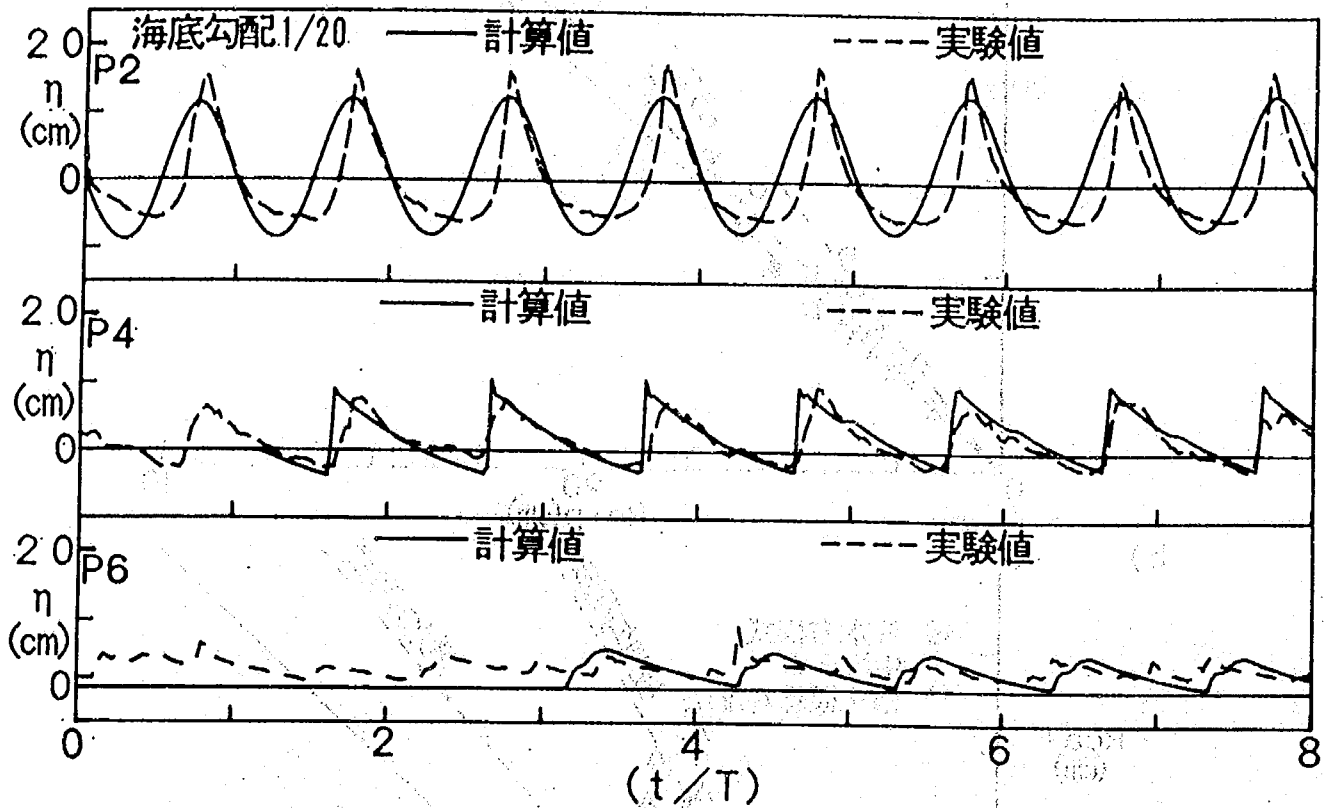


図-9 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, 海底勾配1/20)

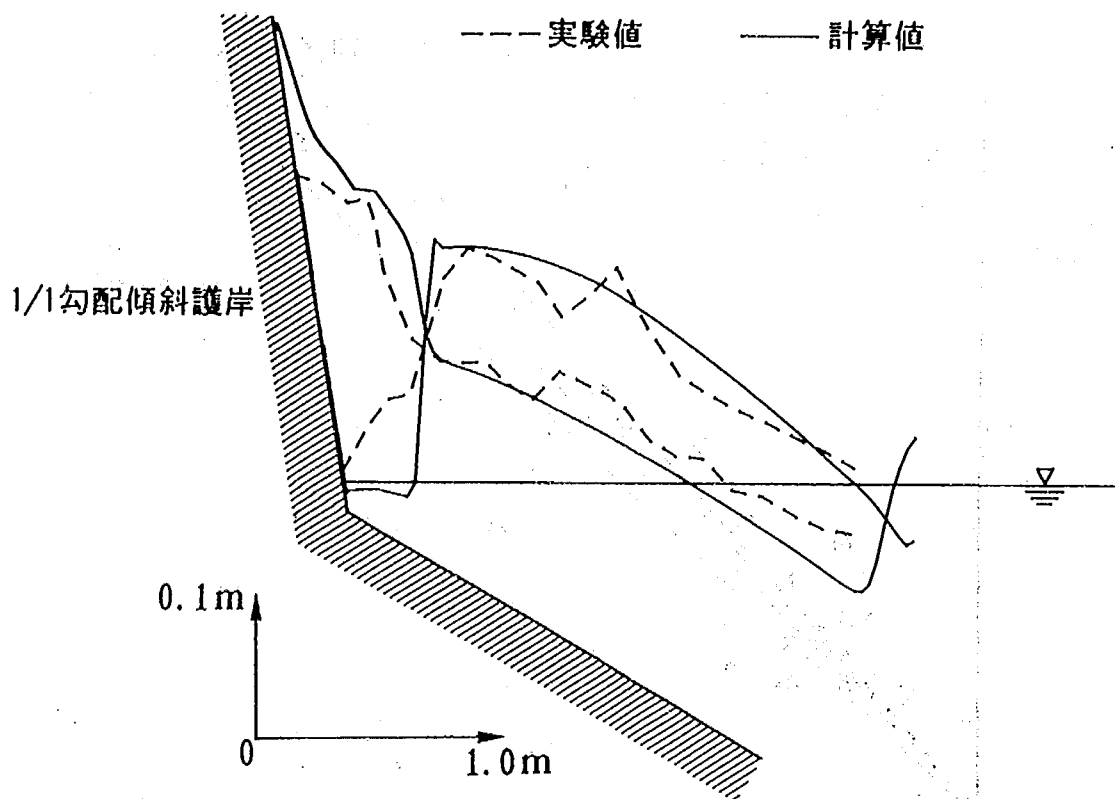


図-10 空間波形 (1/1勾配傾斜護岸, 海底勾配1/10)

波のうちあげ高の比較結果を図-11 a)に示す。いずれも回帰直線は, $R_{cal} = R_{exp}$ 近くに位置するが, 3種類の海底勾配を合わせて求めた誤差率は, 表-5に示すように0.47と直立壁の場合 (0.30) と比べてばらつきが大きい。しかし, 中村らの修正仮想勾配法と本算定モデルによる波のうちあげ高を比較すると (図-11 b)), 回帰係数は前者で1.35, 後者で1.12となり, 計算精度はかなり向上している。

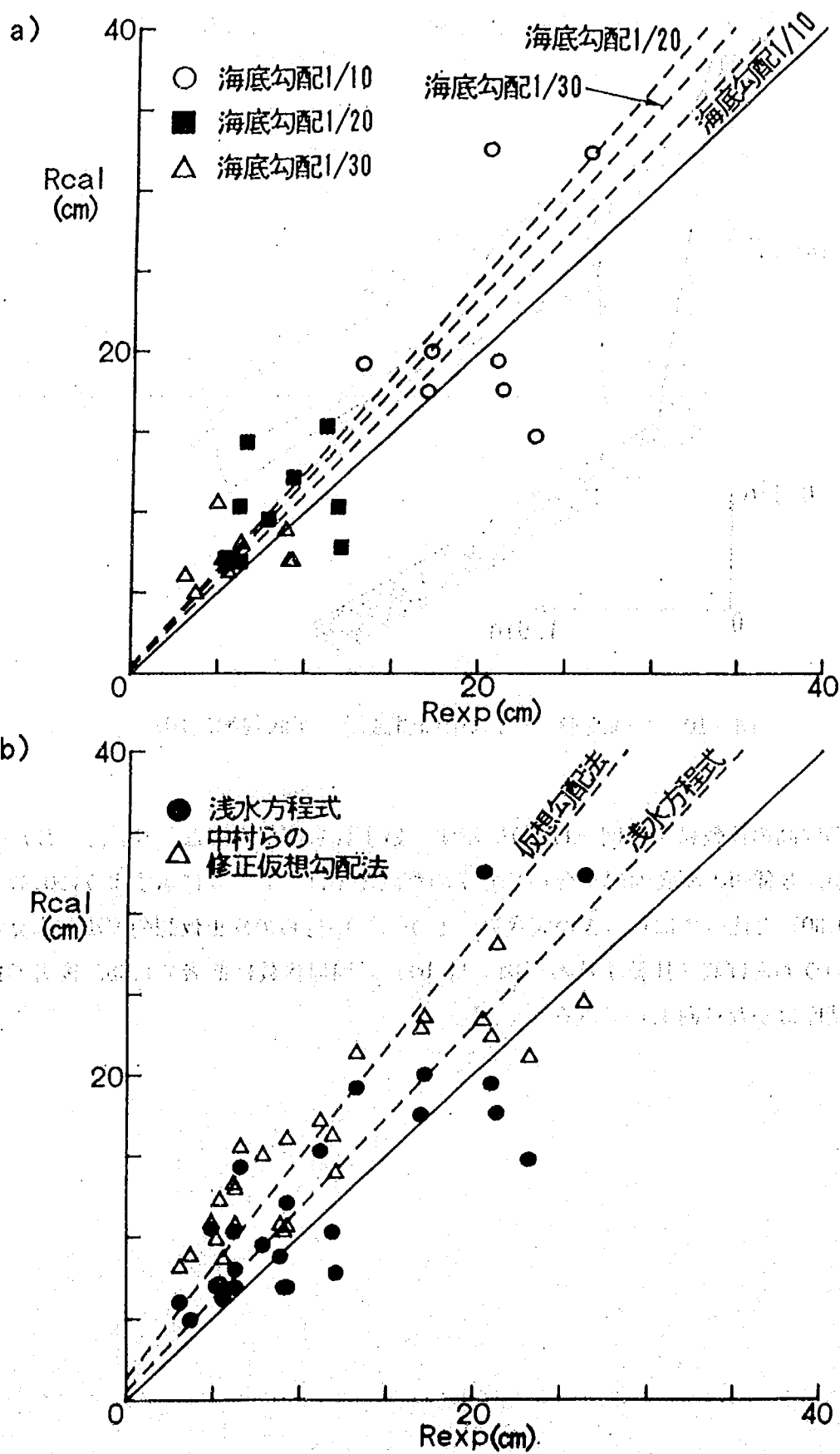


図-11 波のうちあげ高の比較 (1/1勾配傾斜護岸)

(3) 傾斜護岸 (1/3勾配)

海底勾配1/30の海岸に1/3勾配の傾斜護岸を設置した場合の時間波形が図-12である。P2, P4では、計算値の位相、波形は実験値とよく対応している。P6では、実験波形がかなり分散しているが、波高に関しては計算値と実験値がかなり近い値を示す。

波のうちあげ高の比較では(図-13 a)), 海底勾配1/20の場合、回帰係数が1.50と計算値が過大となるが、1/10, 1/30勾配では1.19および0.93と1.0に近い。3種類の海底勾配を合わせた場合の回帰係数は1.23, 誤差率0.48であって、1/1勾配傾斜護岸の場合(1.12, 0.47)と比べてほとんど変わらない。また、修正仮想勾配法と比較しても(図-13 b)参照), 1/1勾配の傾斜護岸の場合と同様、計算精度がかなり向上している。このように傾斜護岸を設置した場合でも、浅水方程式によって波のうちあげ高は高い精度で計算できることが分かる。

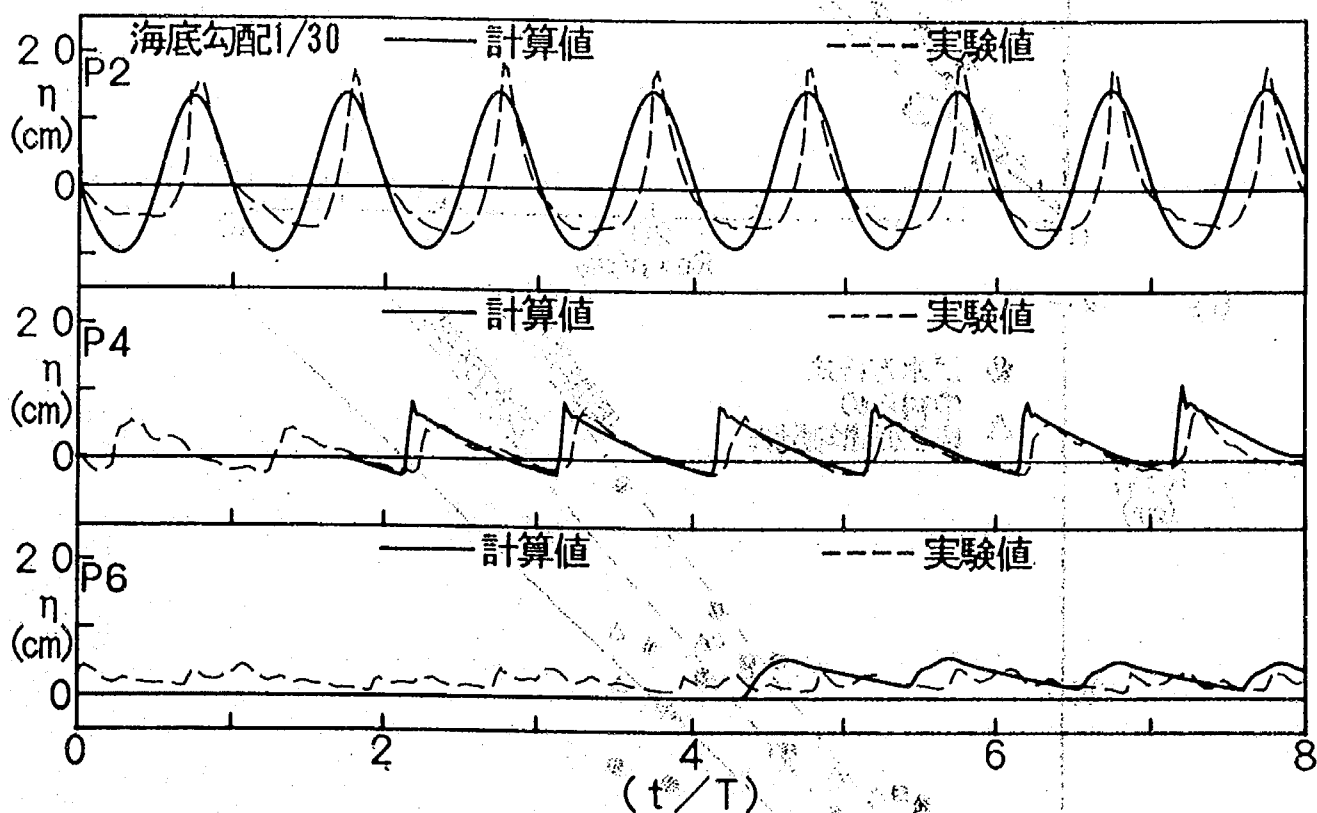


図-12 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, 海底勾配1/30)

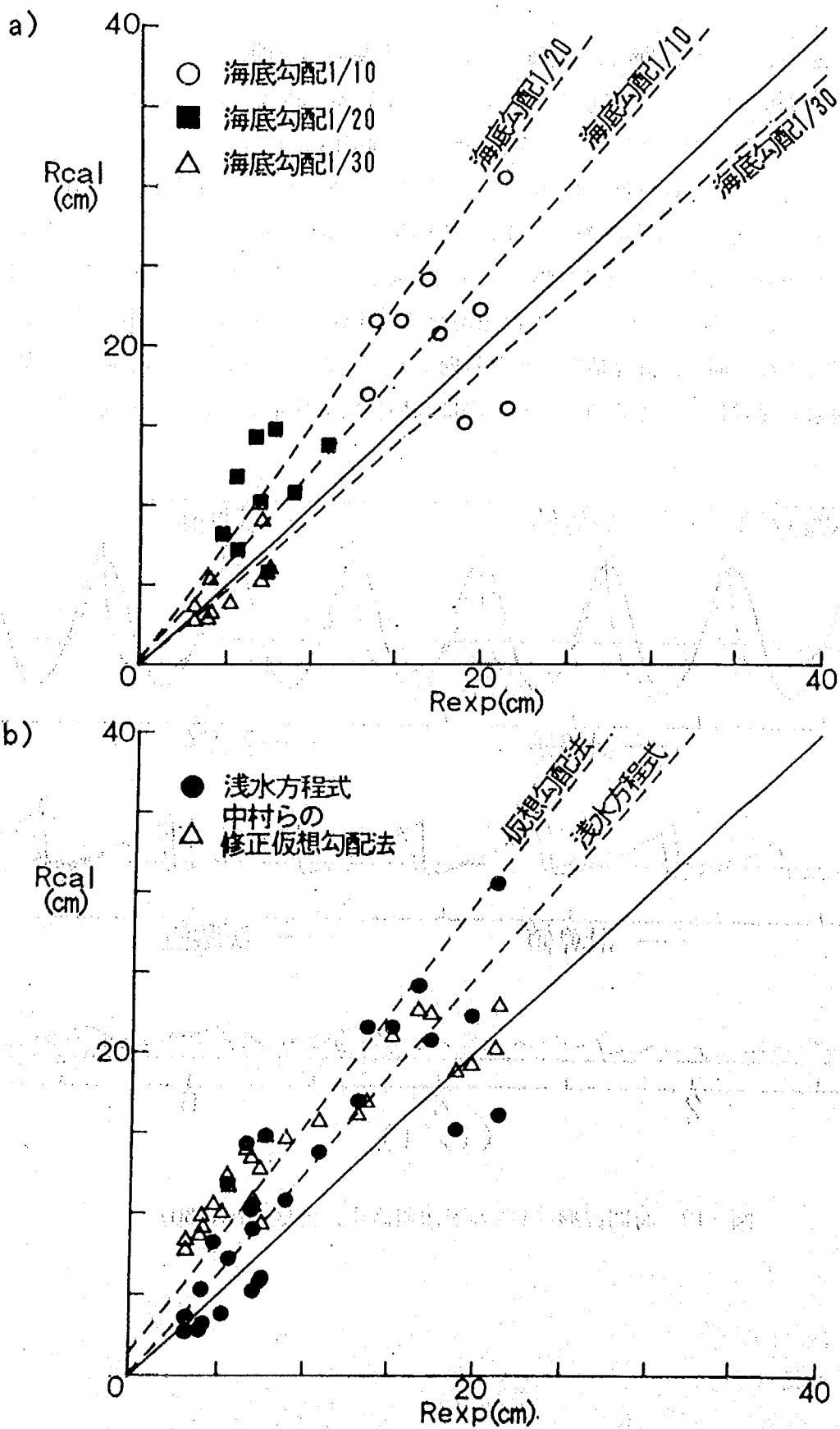


図-13 波のうちあげ高の比較 (1/3勾配傾斜護岸)

(4) 一様勾配斜面

1/20勾配斜面での波の時間波形を図-14に示す。これまでの海浜形状と同様に、波の変形がよく再現されている。P2では、平均水位が上昇したことによって実験波形とよく対応している。また、P4、P6とも、実験値と計算値は良く一致している。空間波形の一例として図-15には海底勾配1/10の一様勾配斜面の場合を示す。波のうちあげ高に関しては実験値とよく対応している。しかし、遡上波の先端部分では両者でかなりの違いが見られる。実験では、先端部は引き波の時にdry、寄せ波時にwetとなるのに対し、計算では波の先端位置が非常に拘束されており、dry、wetのくり返しはない。このように、一様勾配斜面の場合にはごく薄い波が実際よりも高い部分まで遡上してしまうが、これは底面摩擦が全水深に反比例して与えられているため、ごく浅い部分での摩擦が過大に評価されるためである。

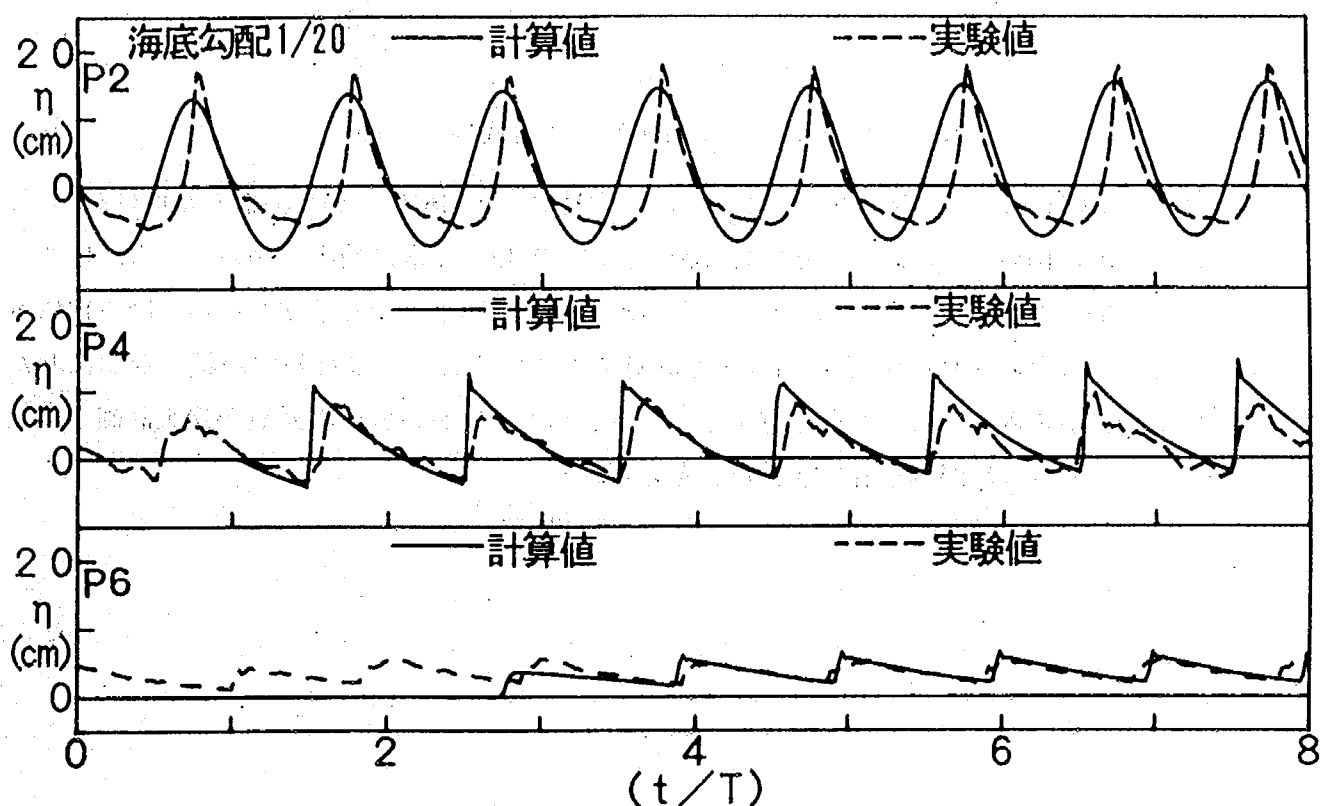


図-14 時間波形（一様勾配斜面，海底勾配1/20）

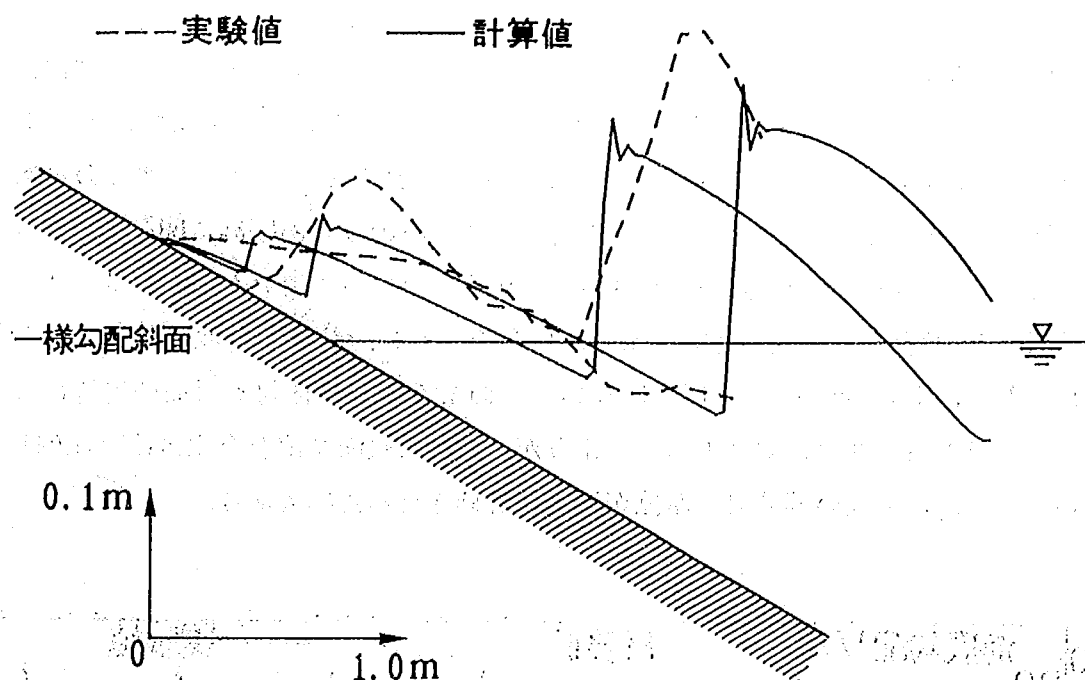


図-15 空間波形（一様勾配斜面，海底勾配1/10）

波のうちあげ高の計算結果を図-16に示す。いずれの海底勾配についても計算精度は高いが，特に海底勾配1/10の場合には，回帰係数1.00，誤差率0.12と非常に精度が高い。一方，1/20，1/30勾配の場合には回帰係数0.82，0.73と実験値よりやや過小となる傾向がある。図-14に示したように汀線付近はP6の波形が精度よく計算できていること，また勾配が緩くなるにしたがい計算結果が小さくなることを考慮すると，波の遡上域において波浪減衰が過大評価されたため，波のうちあげ高が過小評価されたと考えられる。

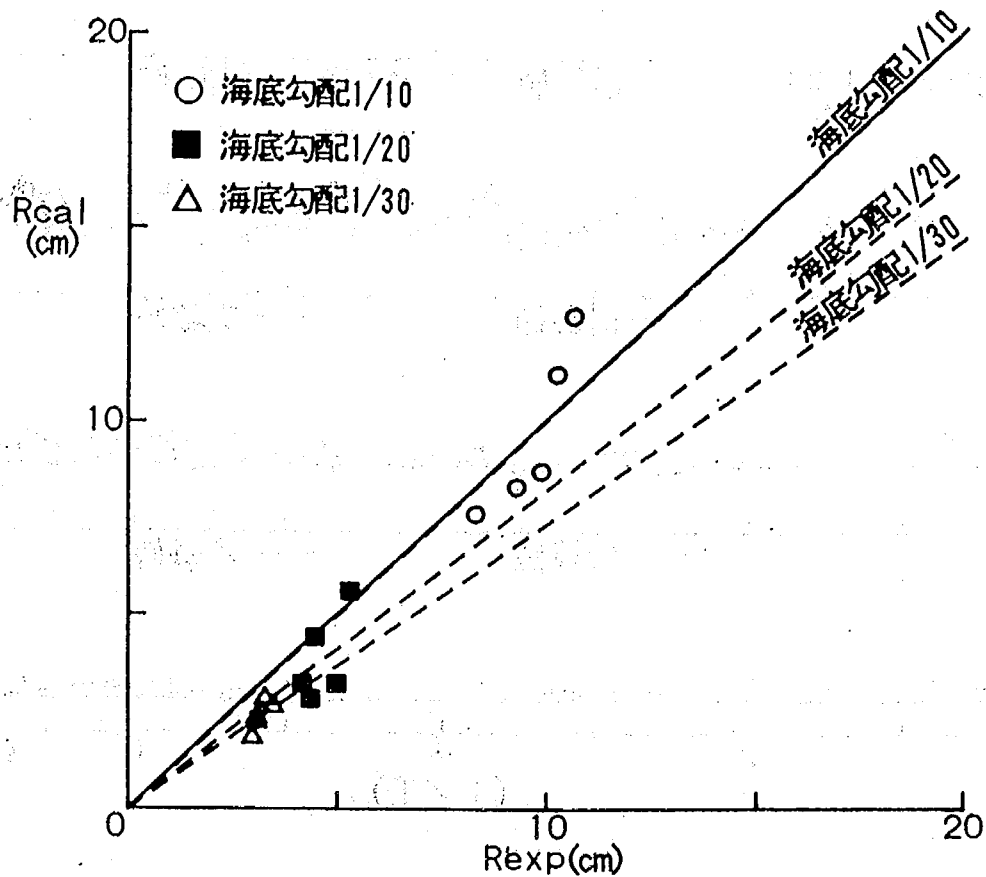


図-16 波のうちあげ高の比較（一様勾配斜面）

(5) 離岸堤

海底勾配1/30で1/3傾斜護岸を有する海浜に、離岸堤を設置した場合の時間波形を図-17に示す。離岸堤の沖側（P3）、岸側（P4）とも、計算値の位相は若干遅れているものの、波形は実験値とよく対応している。P4、P6では $t/T \leq 5.0$ 以降、平均水位が約2 cm上昇しているが、計算値ではそれよりかなり小さい。ただし、P4、P6において波頂高はよく一致している。図-18には空間波形を示す。離岸堤内部で波が減衰する状況をうまく表現できているが、波高の減衰は実験値に比べ小さい。

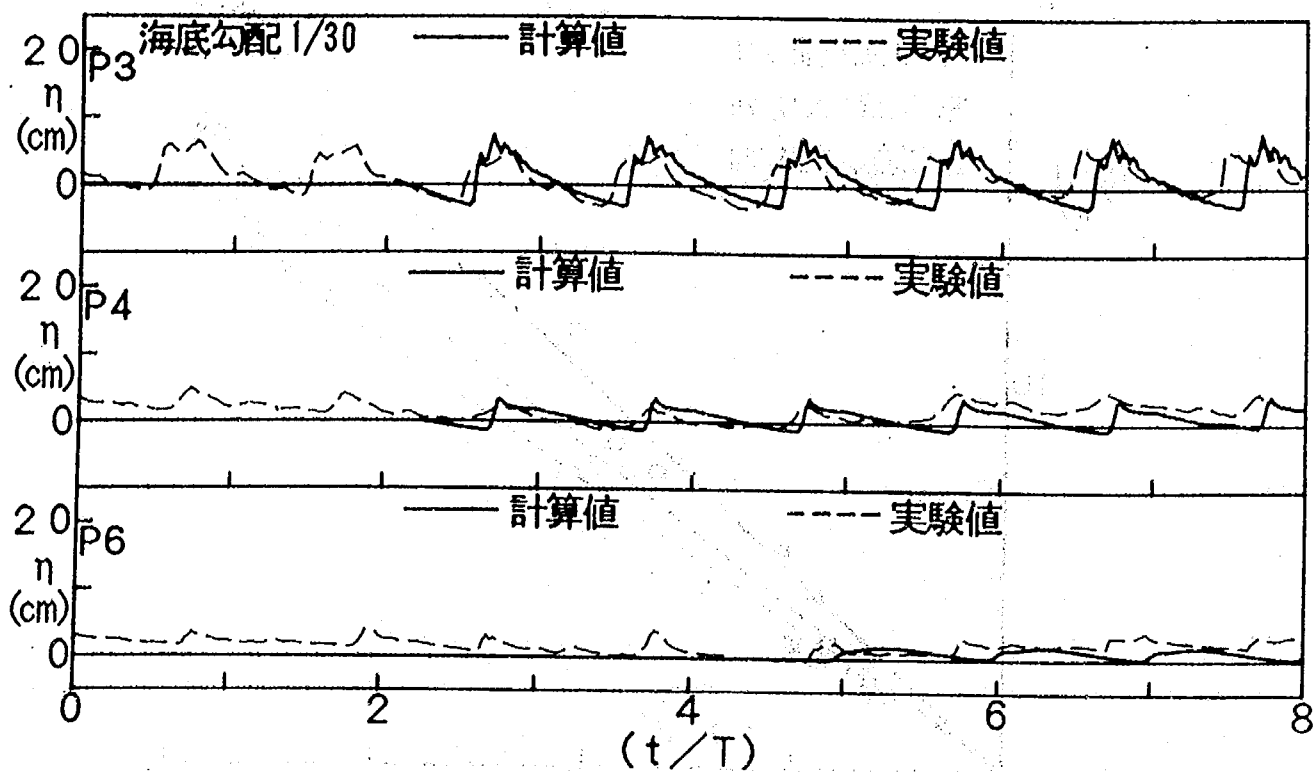


圖-17 時間波形 (離岸堤, 海底勾配1/30)

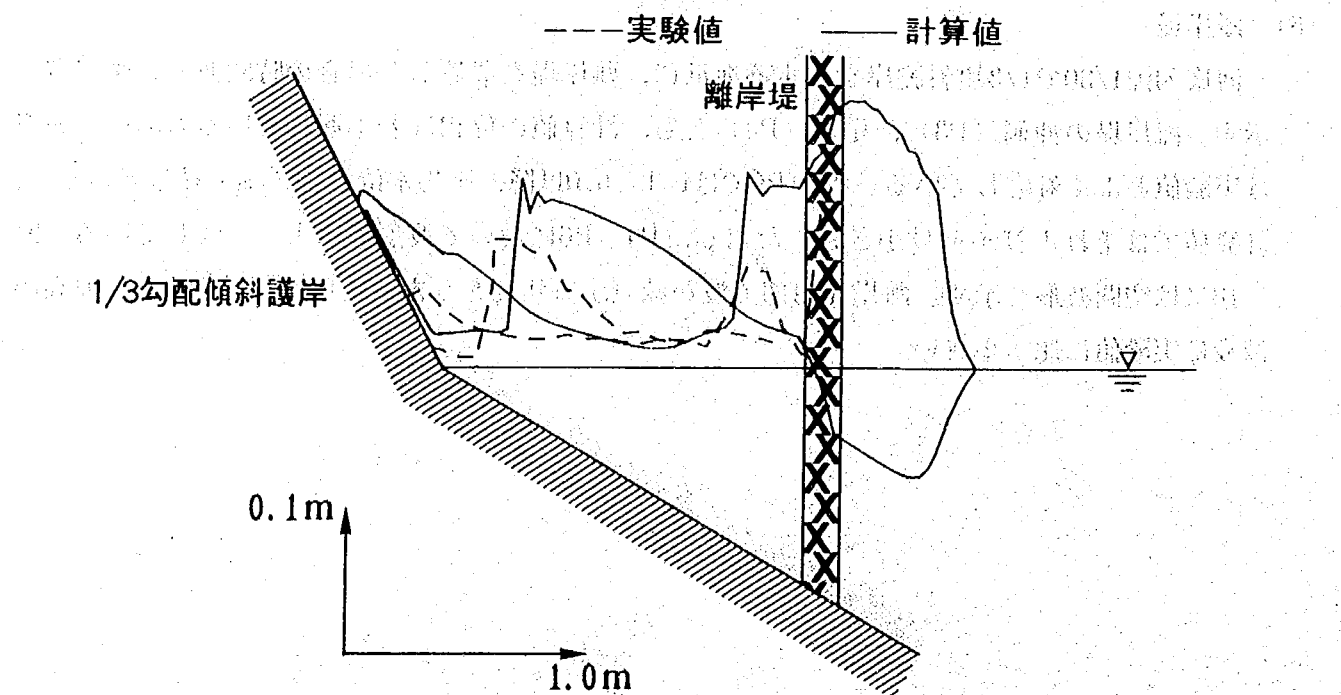


圖-18 空間波形 (離岸堤, 海底勾配1/10)

波のうちあげ高については、海底勾配1/10の場合の回帰係数は1.60と計算値が大きくなり、データのばらつきも大きい（図-19）。海底勾配が1/20、1/30の場合には回帰係数が0.67、0.59と波のうちあげ高が過小な結果となった。海底勾配1/10の場合には、砕波点から離岸堤までの距離が65cmと短く、Plunging型砕波が生じてそのまま波峰が離岸堤に突っ込む状況が見られた。このため離岸堤前面では激しい乱れが生じ、エネルギー損失が大きいと、波高減衰が著しく大きかったと考えられる。これに対し、本計算ではこのような乱れにともなう抗力や透過率の変化が考慮されていないため、透過波高が過大評価されたと考えられる。

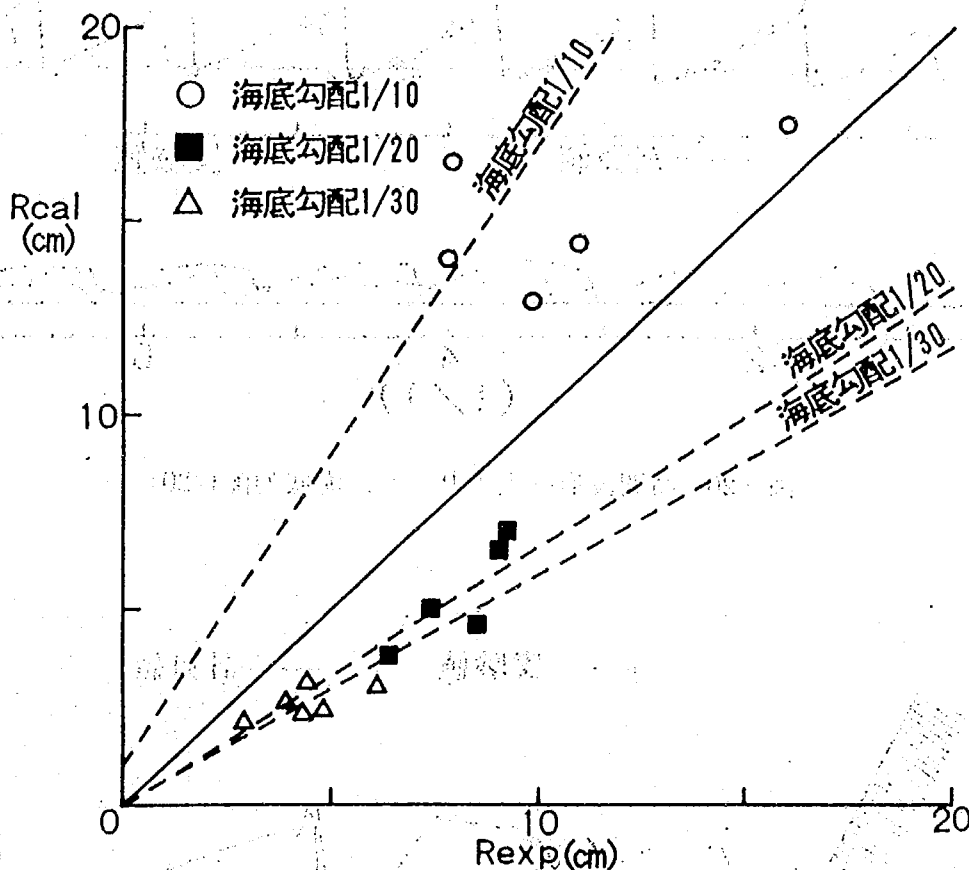


図-19 波のうちあげ高の比較（離岸堤）

(6) 人工リーフ

人工リーフは海底に浅海平坦面を形成し、波浪を強制的に砕波減衰させる消波構造物である。ここではリーフの天端の沖側を沖側境界として計算を行った。海底勾配が1/20の海浜に人工リーフを設置して、岸側には1/30勾配の傾斜護岸を設置した場合の時間波形を図-20に示す。P6では、位相は良くあっているが、水位上昇量が過大となった。P4からP6へ進行する間には位相の遅れは拡大しないが、海底地形がP2からP4の間がほぼ平坦で、P4からP6が斜面であることを考えると、平坦面上を波が進行する場合、位相遅れが大きくなるのが分かる。図-21にこの場合の空間波形を示す。波高と波峰の水位が実験値に比較して小さいが、波の遡上部の形がうまく表現できている。

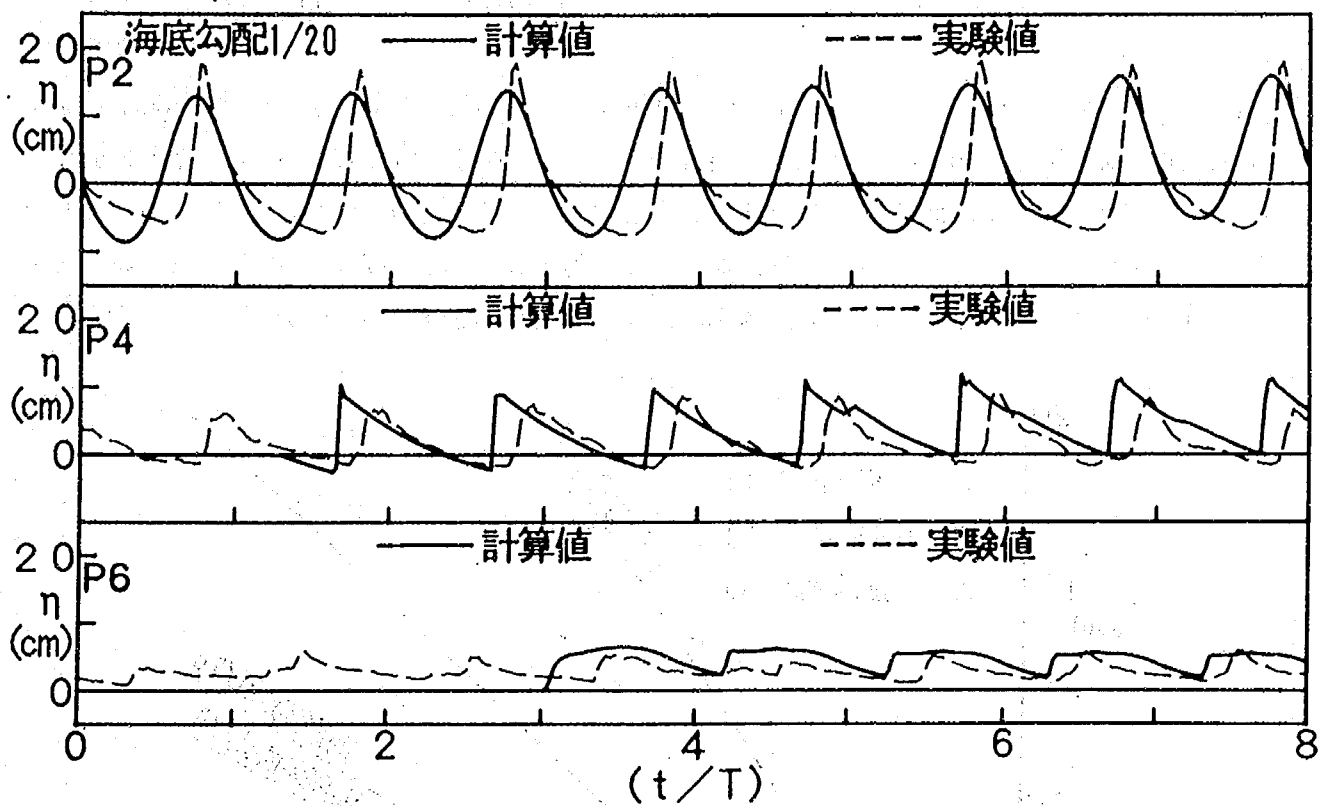


図-20 時間波形 (人工リーフ, 海底勾配1/20)

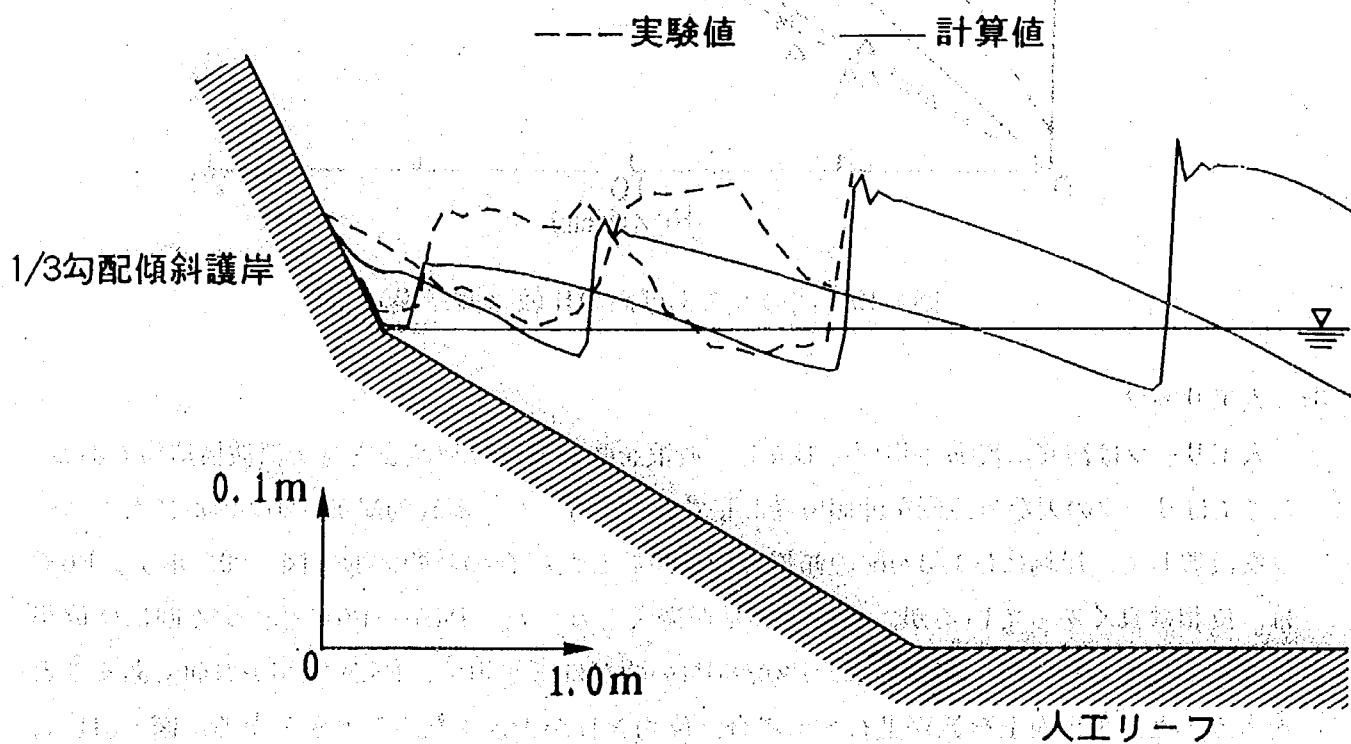


図-21 空間波形 (人工リーフ, 海底勾配1/10)

波のうちあげ高の計算結果を図-22に示す。海底勾配1/10, 1/30の場合には回帰係数0.94, 0.70と $R_{cal} = R_{exp}$ 付近に分布しているが、海底勾配1/20の場合には回帰係数は1.82となる。1/30勾配の傾斜護岸を設置した場合については、1/20海底勾配において計算値が過大になることが分かっており、この影響が現われたと考えられる。

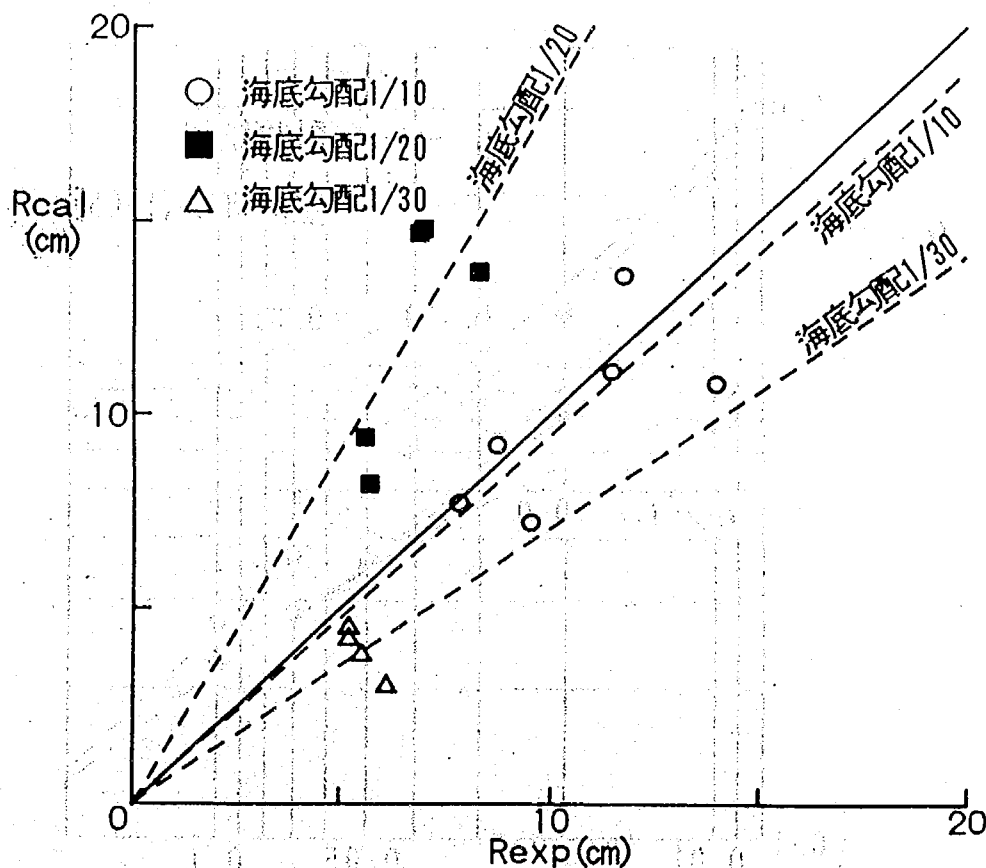


図-22 波のうちあげ高の比較（人工リーフ）

4.3 各パラメータの感度分析

種々の海岸形状、波浪条件、護岸形状に関する計算値と実験値との比較によれば、浅水方程式により波浪の伝播や波のうちあげ高を計算できることが分かった。しかし、以上では限られた条件のもとでの計算結果を示したに過ぎず、モデルによるうちあげ現象の再現性を一般的意味より確認するには、海底地形・波浪条件などのパラメータを広い範囲で変化させた感度分析を行い、実験結果と比較する必要がある。そこで、波形勾配・堤脚水深・沖波波長・護岸ののり面勾配・海底勾配を変化させて感度分析を行った。ただし、碎波波高・碎波水深を求める際には、消波構造物等の影響は無視し、合田（1970）の碎波指標を用いた。

(1) 波形勾配

一般に、護岸の堤脚水深が碎波水深よりも十分小さい場合、相対うちあげ高（ R/H_0 ）は波形勾配が大きいほど小さくなることが知られている（豊島, 1965）。ここでは、まずこの条件

においてうちあげ高の計算結果と、実験値の比較を試みる。

海底勾配1/20の海浜に直立壁を設置した場合の波のうちあげ高と波形勾配の関係を図-23に示す。計算条件や計算結果は表-6, 7に示す通りである。図中の○印は堤脚水深と波長の比が $h_c/L_0=0$ の場合, ■印は $h_c/L_0=0.01$ の場合であって, 破線は計算値より求めた回帰直線である。また, 計算値の妥当性を検証するため, 豊島ほか(1965)の実験結果を実線で示している。

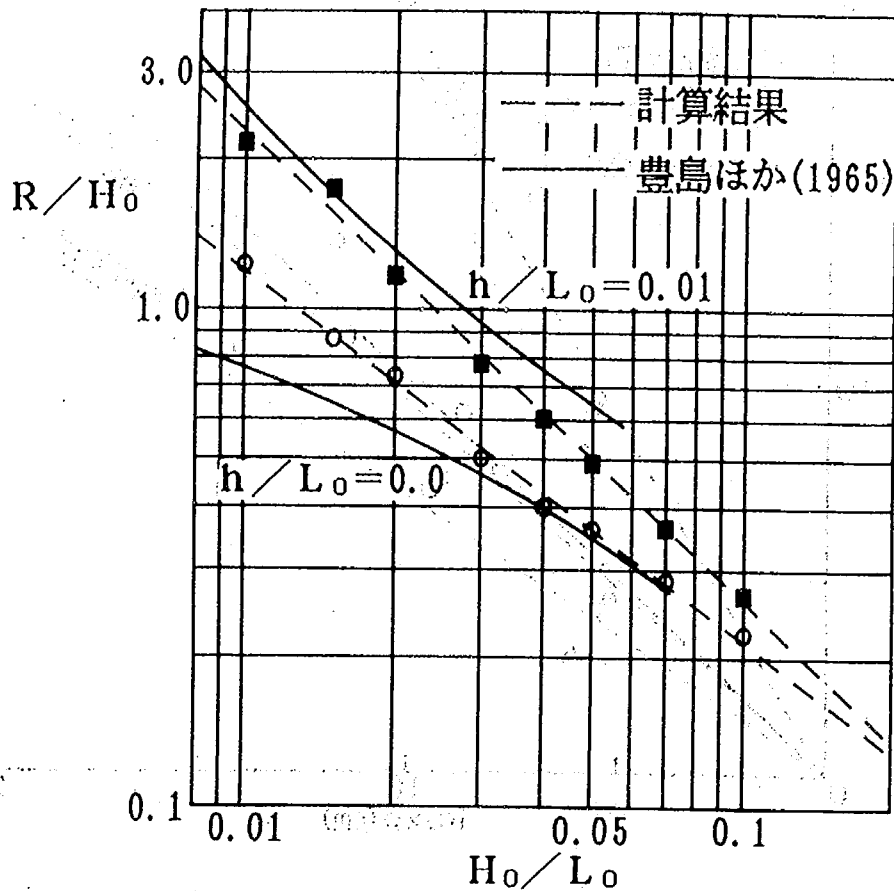


図-23 R/H_0 と H_0/L_0 の関係 (直立壁・海底勾配1/20)

表-6 計算条件および結果 (海底勾配1/20, $h_c/L_0=0.0$)

海底勾配：1／20 堤脚水深(m)：0.0								R／H ₀				
No	H ₀ /L ₀	T(sec)	L ₀ (m)	H ₀ (m)	H _b (m)	h _b (m)	h ₀ (m)	直立壁	傾斜護岸			
									1/0.5	1/1	1/2	1/3
1	0.10	1.2	2.25	0.23	0.23	0.34	0.00	0.22	0.21	0.21	0.20	0.21
2	0.070	1.4	3.06	0.21	0.23	0.30	0.00	0.29	0.28	0.25	0.27	0.24
3	0.050	1.6	3.99	0.20	0.22	0.28	0.00	0.36	0.36	0.29	0.34	0.31
4	0.040	1.8	5.05	0.20	0.24	0.29	0.00	0.40	0.43	0.31	0.41	0.37
5	0.030	1.8	5.05	0.19	0.24	0.28	0.00	0.50	0.43	0.35	0.41	0.31
6	0.020	1.8	5.05	0.13	0.17	0.19	0.00	0.73	0.59	0.42	0.55	0.39
7	0.015	1.8	5.05	0.10	0.15	0.17	0.00	0.87	0.70	0.48	0.62	0.44
8	0.010	1.8	5.05	0.076	0.12	0.13	0.00	1.20	0.81	0.58	0.76	0.53

表-7 計算条件および結果 (海底勾配1/20, $h_c/L_o=0.01$)

海底勾配: 1/20 堤脚水深: $0.01 \times L_o$								R/H_o				
No	H_o/L_o	T(sec)	$L_o(m)$	$H_o(m)$	$H_b(m)$	$h_b(m)$	$h_o(m)$	直立壁	傾斜護岸			
									1/0.5	1/1	1/2	1/3
1	0.10	1.2	2.25	0.23	0.23	0.34	0.022	0.27	0.27	0.27	0.24	0.22
2	0.070	1.4	3.06	0.21	0.23	0.30	0.031	0.36	0.39	0.39	0.36	0.30
3	0.050	1.6	3.99	0.20	0.22	0.28	0.040	0.49	0.55	0.55	0.50	0.41
4	0.040	1.8	5.05	0.20	0.24	0.29	0.051	0.60	0.70	0.67	0.55	0.48
5	0.030	1.8	5.05	0.15	0.19	0.22	0.051	0.78	0.90	0.86	0.71	0.65
6	0.020	1.8	5.05	0.10	0.14	0.16	0.051	1.2	1.3	1.3	1.1	1.0
7	0.015	1.8	5.05	0.076	0.11	0.12	0.051	1.7	2.0	1.8	1.6	1.3
8	0.010	1.8	5.05	0.051	0.082	0.086	0.051	2.20	2.3	2.4	2.4	2.1

$h_c/L_o=0$ の場合, $H_o/L_o \leq 0.03$ において豊島ほか (1965) の実験結果より過大となり, また, $h_c/L_o=0.01$ の場合, 全体に計算値は小さめの値を与えるが, 両者とも波形勾配の変化に伴う波のうちあげ高の変化傾向は実験値とよい対応を示す。

同様に, 1/0.5, 1/1, 1/2, 1/3勾配の傾斜護岸の場合のうちあげ高と波形勾配の関係を図-24~27に示す。 $h_c/L_o=0$ の場合には1/2勾配の傾斜護岸で誤差がやや大きくなるのを除いて, 全ての勾配の護岸で計算結果と豊島ほか (1965) の実験結果との対応はよい。

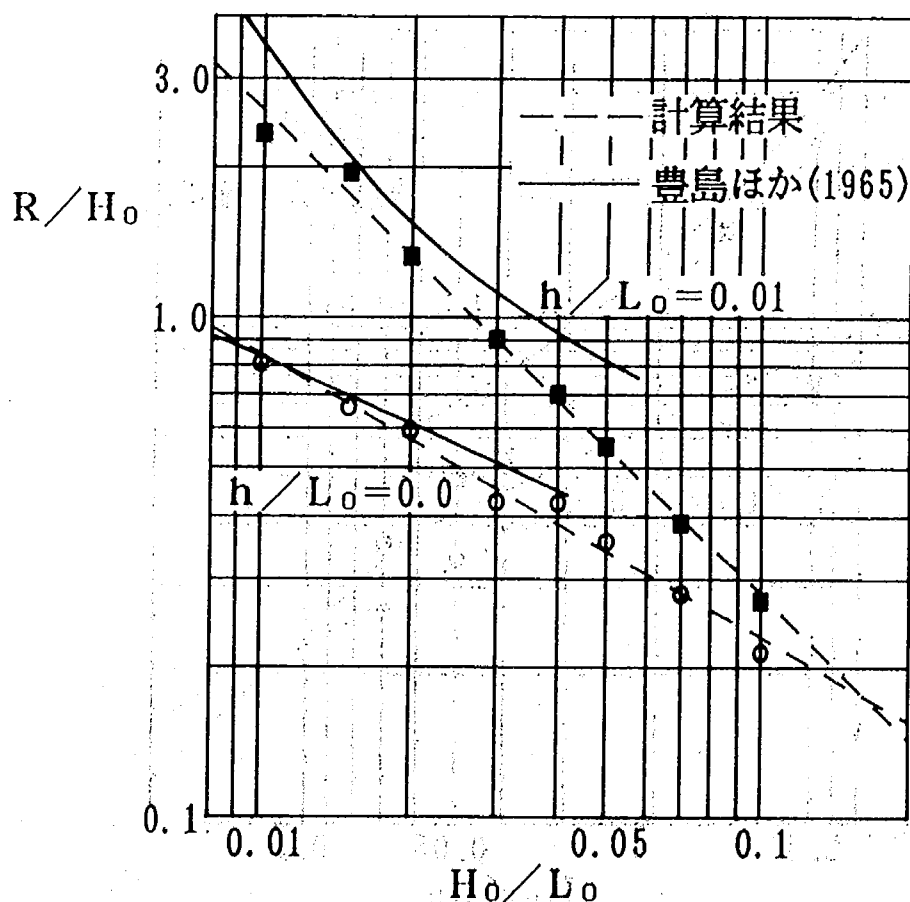


図-24 R/H_o と H_o/L_o の関係 (1/0.5勾配・海底勾配1/20)

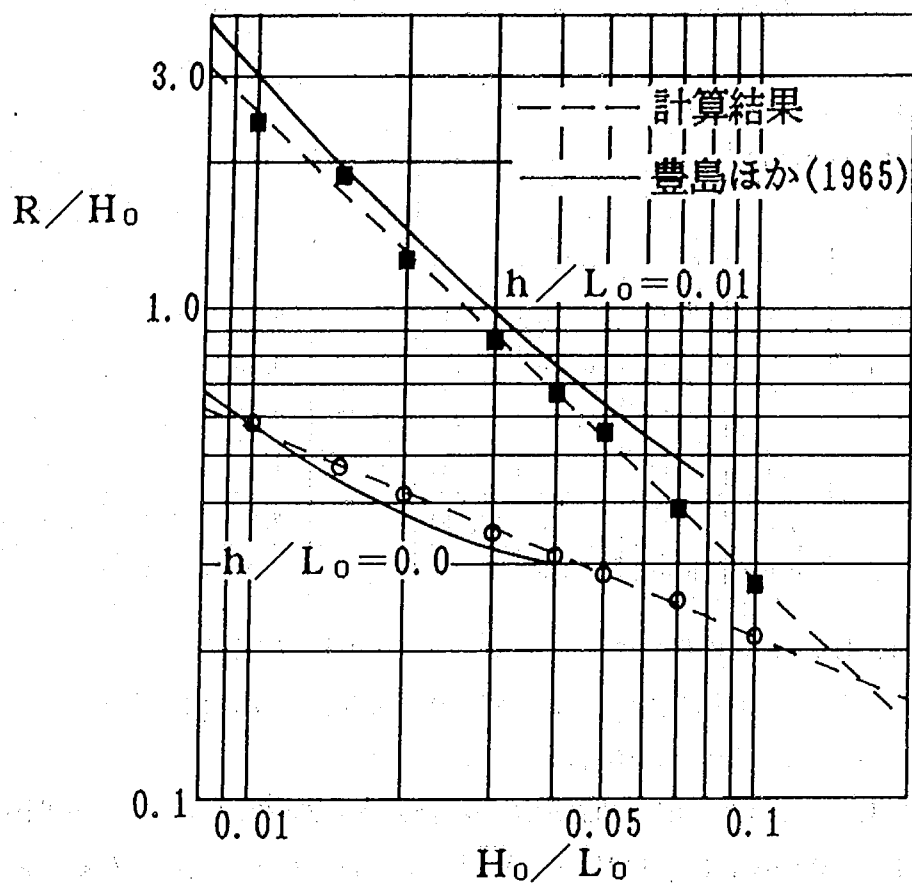


図-25 R/H_0 と H_0/L_0 の関係 (1/1勾配・海底勾配1/20)

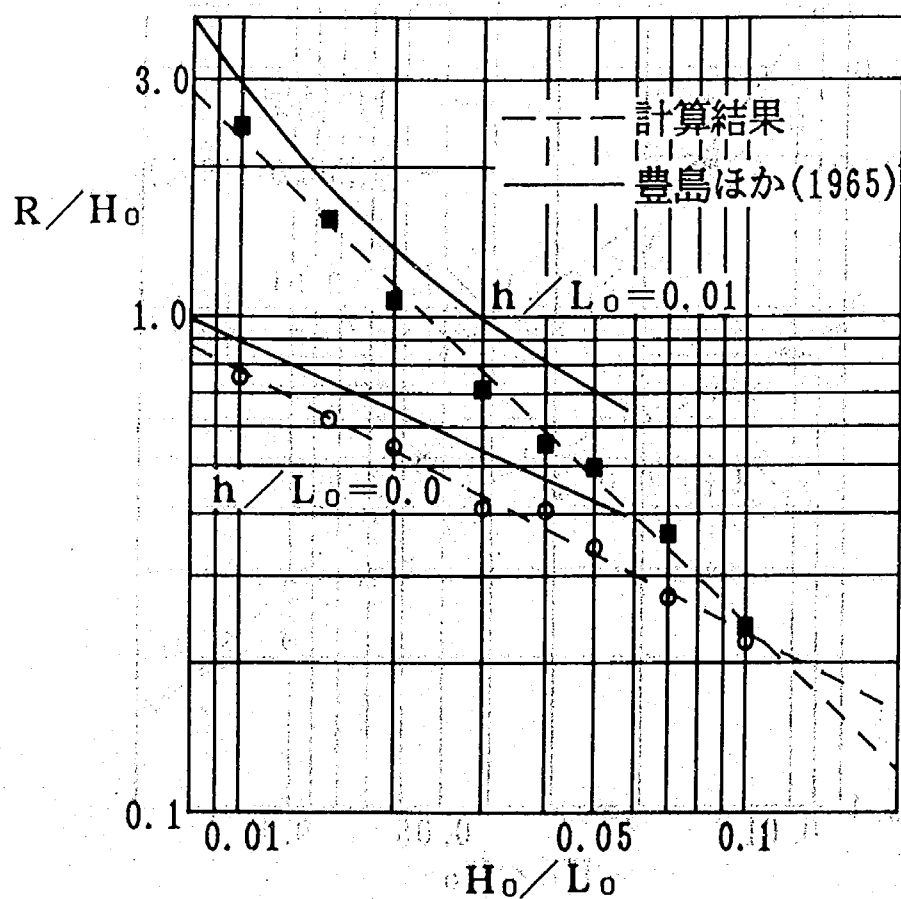


図-26 R/H_0 と H_0/L_0 の関係 (1/2勾配・海底勾配1/20)

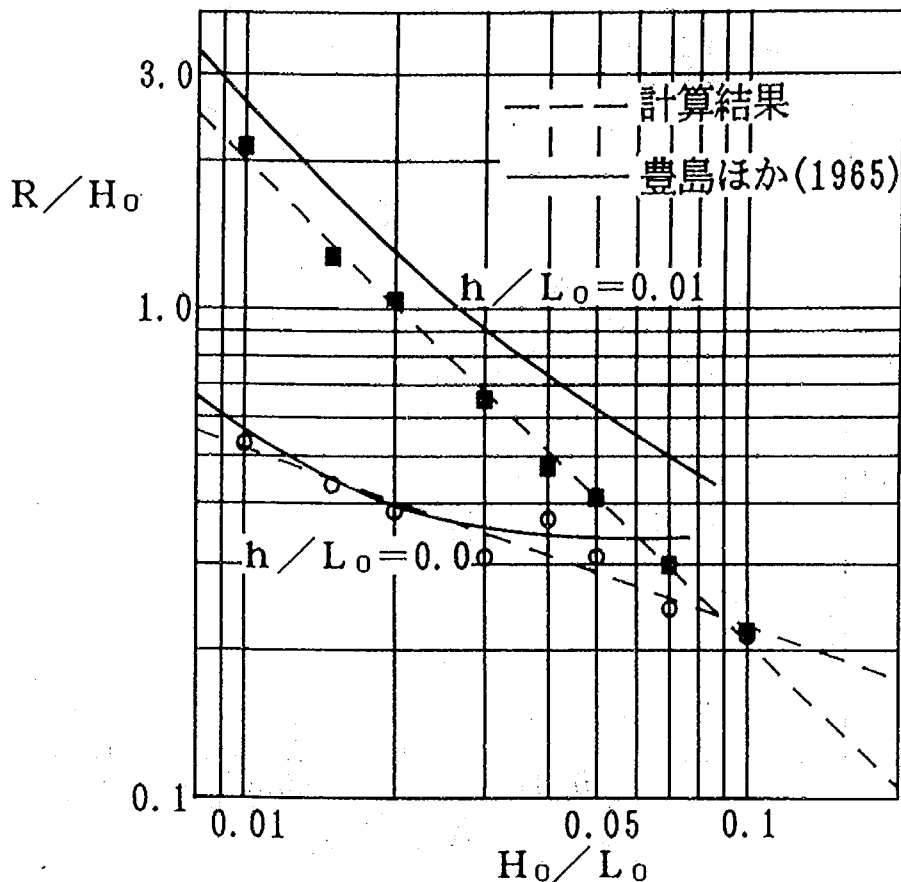


図-27 R/H_0 と H_0/L_0 の関係 (1/3勾配・海底勾配1/20)

一方、 $h_c/L_0=0.01$ のうちあげ高は、いずれの護岸ののり面勾配においても実験値よりも小さめの値を示し、特に、 $H_0/L_0>0.03$ の場合には計算値と実験値との差が拡大する傾向がある。そして、実験値との差は護岸ののり面勾配が1/2より急な時はそれほど大きくないが、1/2より緩やかになると差違が拡大する。このことは、相対堤脚水深 h_c/L_0 が0.01の場合、護岸ののり面勾配が1/2より急な場合には本モデルでうちあげ高をかなりよい精度で予測できることを示す。

(2) 堤脚水深

堤脚水深と波のうちあげ高の関係については、高田 (1975) が詳しい整理を行っており、堤脚水深と碎波波高が等しい場合にうちあげ高が最大になることを示した。

海底勾配1/10の海岸に直立壁が設立された条件で、相対堤脚水深 h_c/L_0 を0～0.025の間で変化させて、波のうちあげ高を計算した。計算結果を高田 (1975) の実験結果とともに図-28に示す。高田 (1975) によると $h_c/L_0=0\sim0.025$ の範囲では、 R/H_0 は直線的に増加する。それに対し、本研究による計算値は $h_c/L_0<0.02$ の範囲で高田 (1975) の結果と非常によく合うことが分かる。

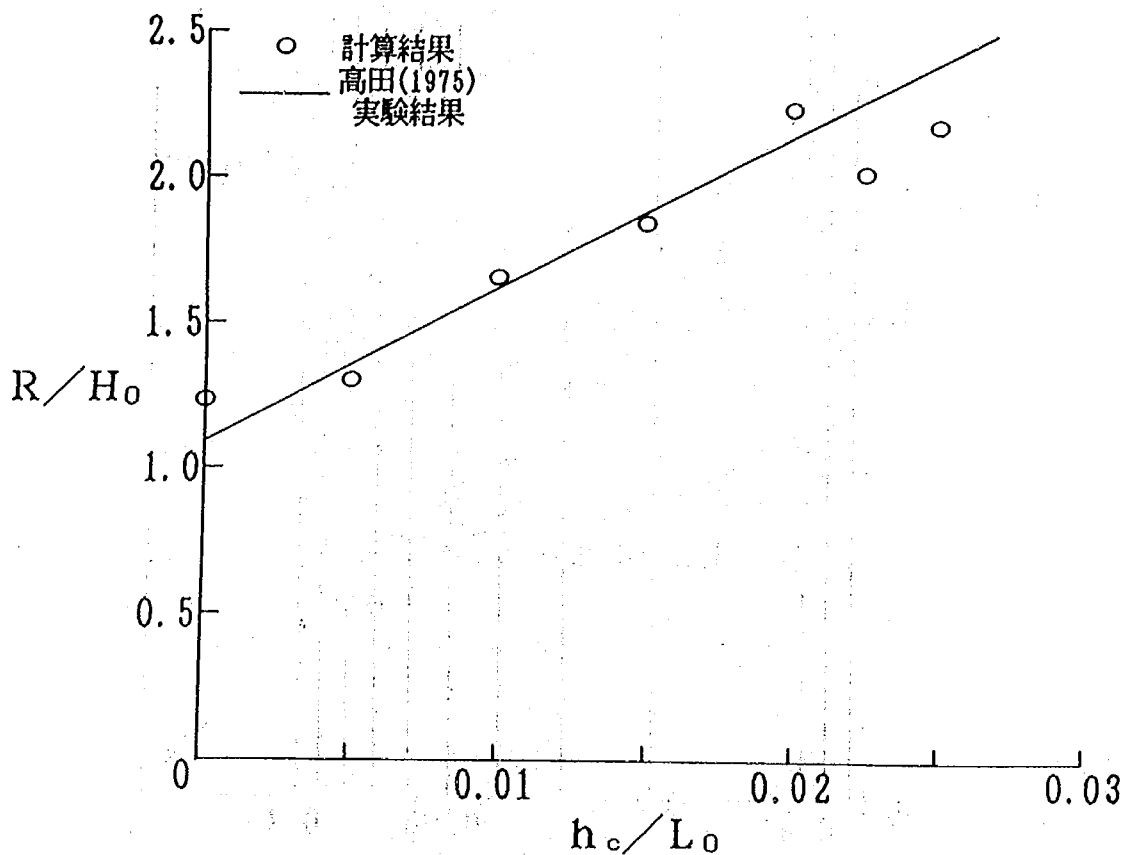


図-28 R/H_0 と堤脚水深の関係（直立壁・海底勾配1/10）

(3) 護岸ののり面勾配

波のうちあげ高は、のり面勾配の変化に対し極大値を持つことが分かっている（高田，1975）。ここでは、のり面勾配の逆数 $\cot \alpha$ が0, 0.5, 1, 2, 3の場合について本モデルの計算結果と豊島ほか（1965）の実験結果を比較し、のり面勾配に対する感度分析を行った。本モデルについてはのり面勾配が急になると、波のうちあげ高の計算精度が悪化する。このためのり面勾配が急な場合には Δx を小さくする必要がある。そこで、 $\cot \alpha$ が0.5, 1, 2, 3の場合には斜面部分を、 $\cot \alpha$ が0（直立壁）の場合には直立壁前面で格子間隔を他の場所の1/10として計算を行った。

$h_c/L_0 = 0$ の場合の波のうちあげ高と護岸勾配の関係を図-29に示す。豊島ほか（1965）の実験値は $\cot \alpha = 0.5$ と2.0で2つのピークを示しているが、本計算結果も同様な傾向を示す。 $\cot \alpha = 0.5$ の場合、 $H_0/L_0 = 0.02$ 以外非常に良く合っており、 $\cot \alpha > 0.5$ ののり面勾配について計算が適用できることが分かる。図-30に示す $h_c/L_0 = 0.01$ の場合には波形勾配の小さい $H_0/L_0 = 0.01$ の条件で計算結果が過小となるものの、そのほかの波形勾配では実験値と計算値の傾向が似ており、また、傾斜護岸の勾配の変化に対し、 R/H_0 の感度はそれほど高くないことがわかる。

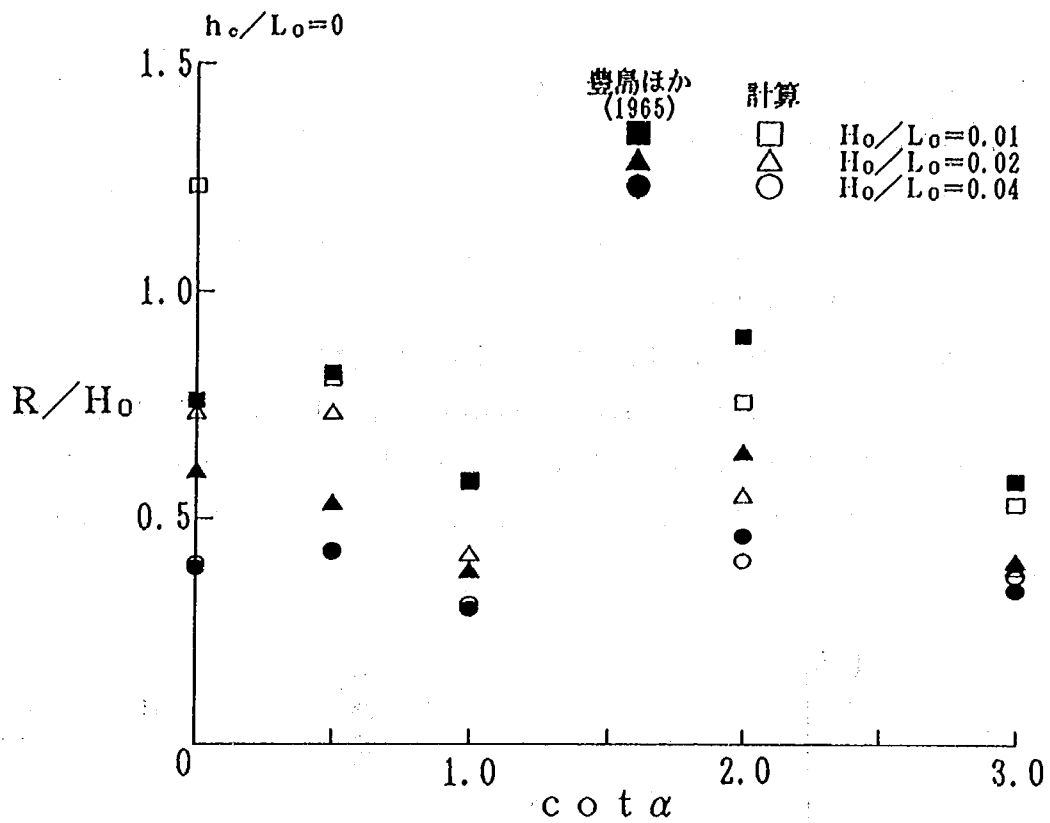


図-29 R/H_o と護岸ののり面勾配の逆数 ($\cot \alpha$) の関係
(海底勾配 $1/10 \cdot h_c/L_o=0$)

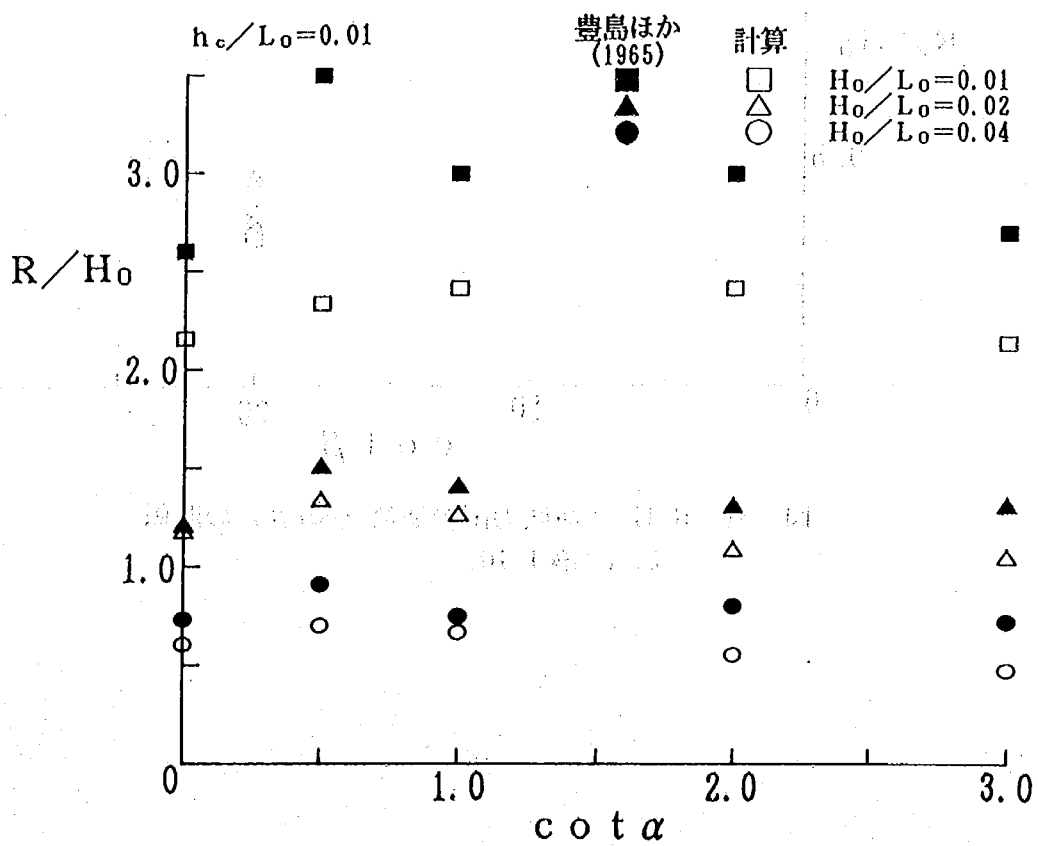


図-30 R/H_o と護岸ののり面勾配の逆数 ($\cot \alpha$) の関係
(海底勾配 $1/10 \cdot h_c/L_o=0.01$)

(4) 海底勾配

一般に海底勾配が急になると、砕波点からうちあげ点までの距離が短くなる。したがって砕波後の減衰が弱くなり、波のうちあげ高は大きくなる。また、波形勾配が変化しなければ、海底勾配が急になるにしたがい、砕波の形態はSpilling型砕波からPlunging型砕波へと変化して、波浪エネルギーの減衰機構にも変化が表われる。ここではこのような海底勾配の違いによる波のうちあげ高の変化を検証する。

護岸ののり面が1/1勾配、 $h_c/L_0 = 0$ の条件で海底勾配1/10, 1/20, 1/30の場合について本モデルの算定結果と豊島ほか(1965)の実験結果を図-31に示す。ただし、海底勾配1/10の場合には既往の研究結果がないので、本研究の実験結果を与えた。実験値との間にはわずかな差違は見られるものの、海底勾配が緩くなるにしたがい波のうちあげ高が減少する傾向は良く再現されている。

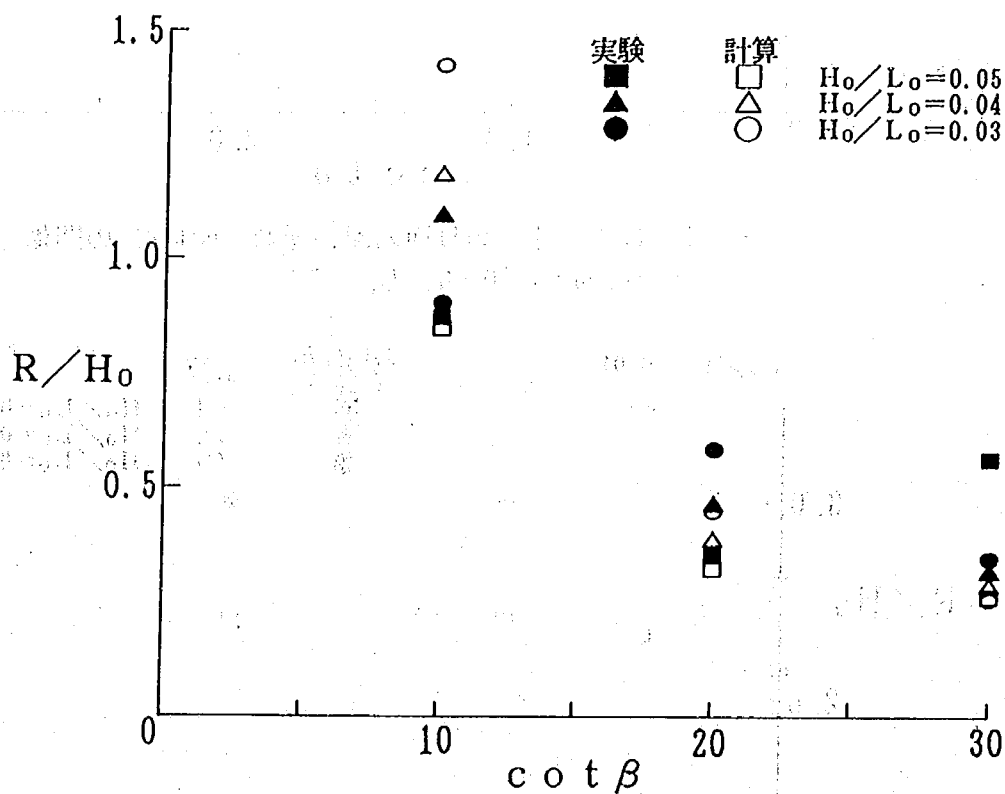


図-31 R/H_0 と海底勾配の逆数 ($\cot \beta$) の関係
(海底勾配1/10)

第5章 結 論

本研究の主要な成果を以下に示す。

- ① 砕波帯内に透過性構造物が設置された場合の波浪変形は浅水方程式により再現できる。
- ② 非線形長波に対する反射波透過境界を考案し、正弦波形を入力して計算を行ったところ、入射波を強制入力する場合と比べて長周期の水面変動が除去されるとともに計算が安定し、計算精度が向上することが分かった。
- ③ 本計算手法を水理模型実験の結果と比較したところ、1/10, 1/20, 1/30勾配の海浜および離岸堤や人工リーフが設置された場合についても、波浪変形および波のうちあげ高がかなり高い精度で計算できることが分かった。
- ④ 海底勾配1/20の海岸に相対堤脚水深 (h_c/L_0) が0と0.01の護岸を設置した場合の相対うちあげ高と波形勾配の関係を豊島らの実験値との比較において調べた。これによると $h_c/L_0 = 0$ の場合には、条件として与えた5種類の勾配（直立, 1/0.5, 1/1, 1/2, 1/3）についてモデルの再現性は良好であった。また、 $h_c/L_0 = 0.01$ の場合には全体に計算値はやや過小となるものの、護岸勾配が1/2より急な場合、かなりよい精度で計算ができることがわかった。
- ⑤ 堤脚水深が相対うちあげ高に及ぼす影響を、海底勾配1/10の海岸に直立壁が設置された条件で調べ、計算結果を高田（1975）と比較した。これによると、 h_c/L_0 が0.02以下の場合、計算の再現性は非常に良好であった。

参 考 文 献

- 今村文彦・後藤智明 (1986) : 差分法による津波数値計算の打ち切り誤差, 土木学会論文集, 第375号/II-6, pp.241-250.
- 岩崎敏男・真野 明 (1979) : オイラー座標による2次元津波遡上の数値計算, 第26回海岸工学講演会論文集, pp.70-74.
- 宇多高明・伊藤弘之 (1991) : 浅水方程式を用いた波の打ち上げ計算, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.36-40.
- 宇多高明・小俣 篤・羽成英臣 (1989) : 砕波帯および波打ち帯における波浪変形の数値計算, 土木技術資料, Vol.31, No.10, pp.56-61.
- 久保田 進・水口 優・堀田新太郎・竹澤三雄 (1989) : 現地遡上域における反射波の特性, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.119-123.
- 近藤徹郎・武田英章 (1983) : 消波構造物, 森北出版, 275p.
- 合田良実 (1970) : 砕波指標の整理について, 土木学会論文報告集, No.180, pp.39-49.
- 後藤智明・小川由信 (1982) : Leap-frog法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科, p.52.
- 高田 彰 (1975) : 規則波の打上げ高および越波量の定式化について, 第22回海岸工学講演会論文集, pp.378-386.
- 富永正照・坂本忠彦 (1968) : 異形ブロックの抵抗係数について, 第25回年講講演概要集, pp.69-70.
- 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏 (1965) : 海岸堤防への波の打ち上げ高-海底勾配1/20-, 第12回海岸工学講演会講演集, pp.180-185.
- 中村 充・佐々木泰雄・山田譲二 (1972) : 複合断面における波の打ち上げに関する研究, 第19回海岸工学講演会論文集, pp.309-312.
- 真野 明・加藤聡也 (1987) : 段波の陸上遡上時の摩擦特性, 第34回海岸工学講演会論文集, pp.16-20.
- Saville, T., Jr. (1958) : Wave run-up on composite slopes Proc. 6th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.691-699

付 録 一 I

時 間 波 形 (海 底 勾 配 1/20)

- (1) 直立壁 (図-1～9)
- (2) 1/1勾配傾斜護岸 (図-10～18)
- (3) 1/3勾配傾斜護岸 (図-19～27)
- (4) 一様勾配斜面 (図-28～32)
- (5) 人工リーフ+直立壁 (図-33, 34)
- (6) 人工リーフ+1/3勾配傾斜護岸 (図-35～37)
- (7) 離岸堤+直立壁 (図-38, 39)
- (8) 離岸堤+1/3勾配傾斜護岸 (図-40～42)

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

CHICAGO, ILLINOIS 60637

OFFICE OF THE DEAN OF STUDENTS

540 UNIVERSITY DRIVE

CHICAGO, ILLINOIS 60637

TEL: 773-936-5000

FAX: 773-936-5001

WWW.CHICAGOEDU.EDU

CHICAGO, ILLINOIS 60637

CHICAGO, ILLINOIS 60637

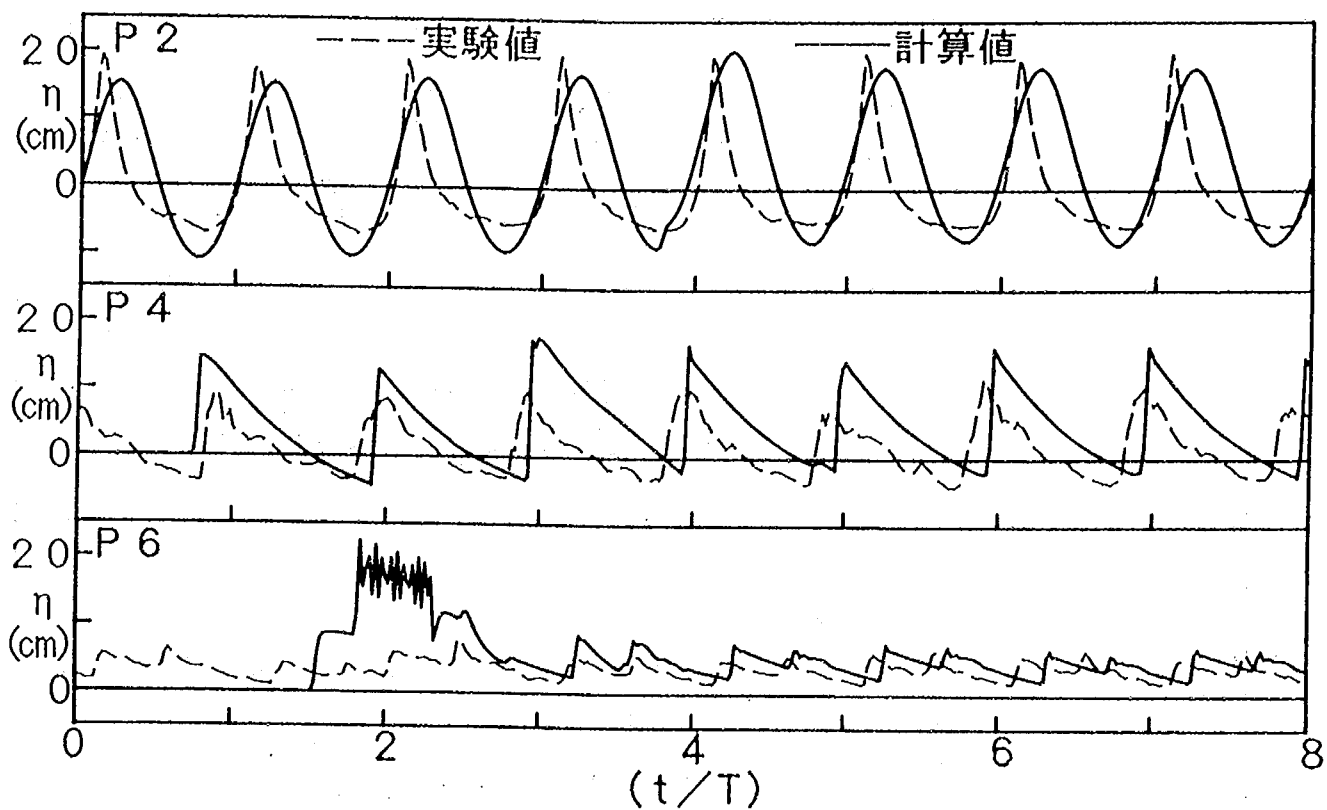


図-1 時間波形 (直立壁, $h_c = 0$ cm, $T = 2.0$ sec)

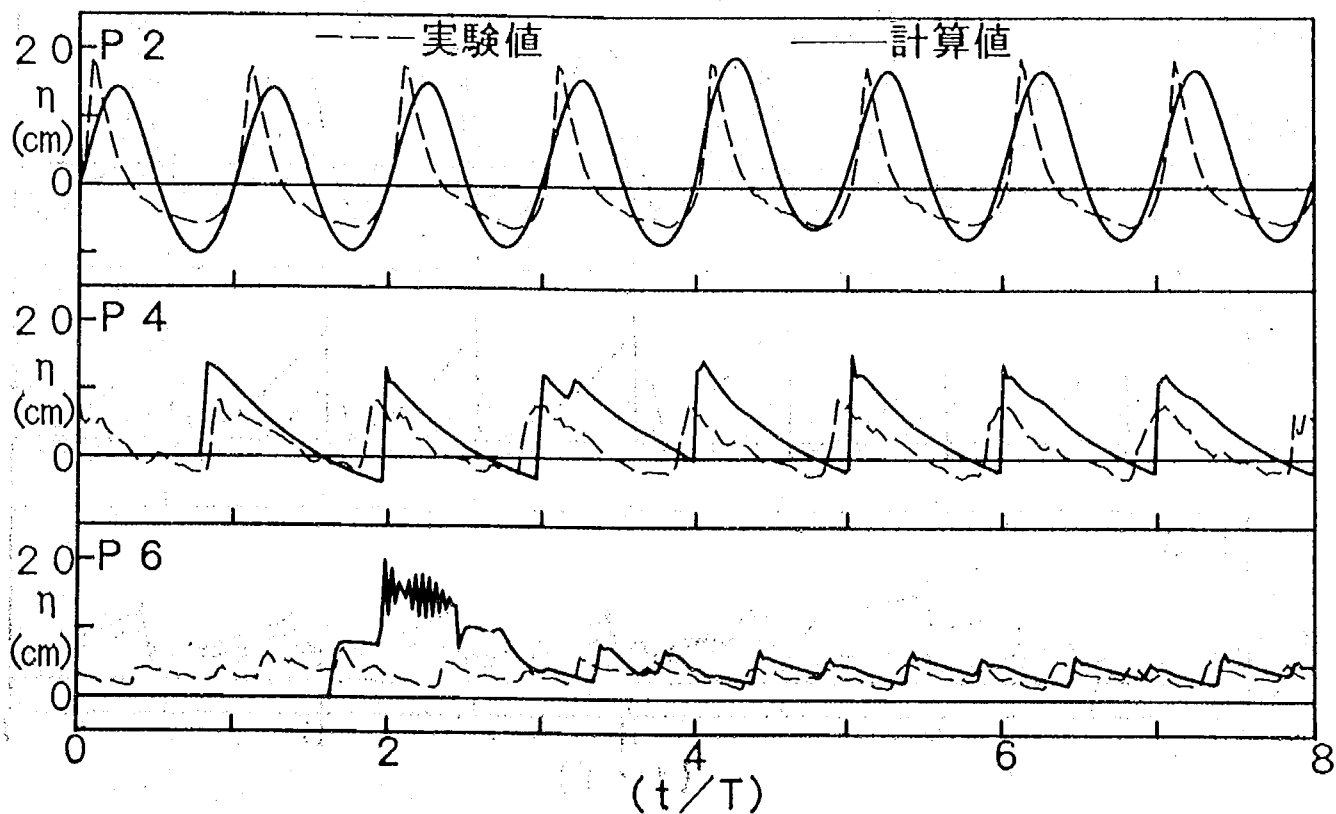


図-2 時間波形 (直立壁, $h_c = 0$ cm, $T = 1.8$ sec)

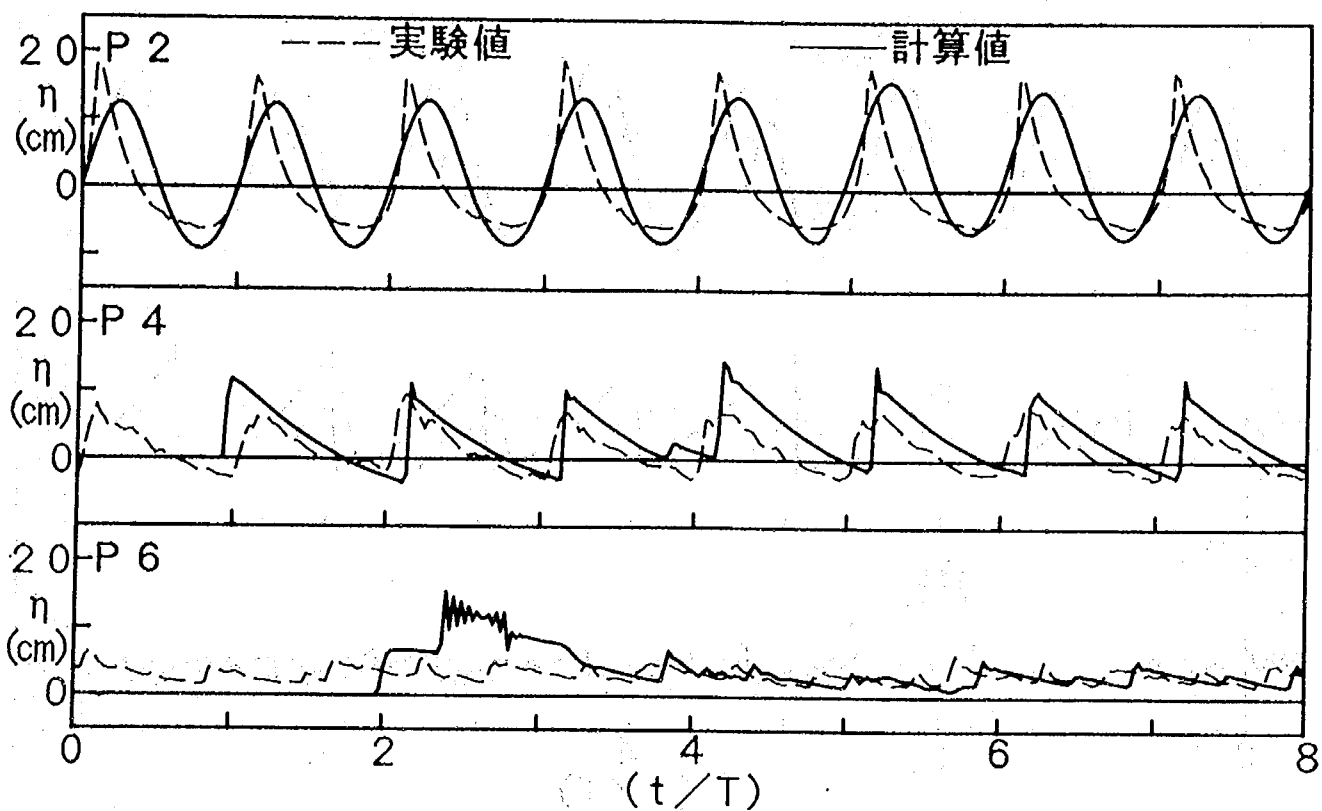


図-3 時間波形 (直立壁, $h_c = 0$ cm, $T = 1.6$ sec)

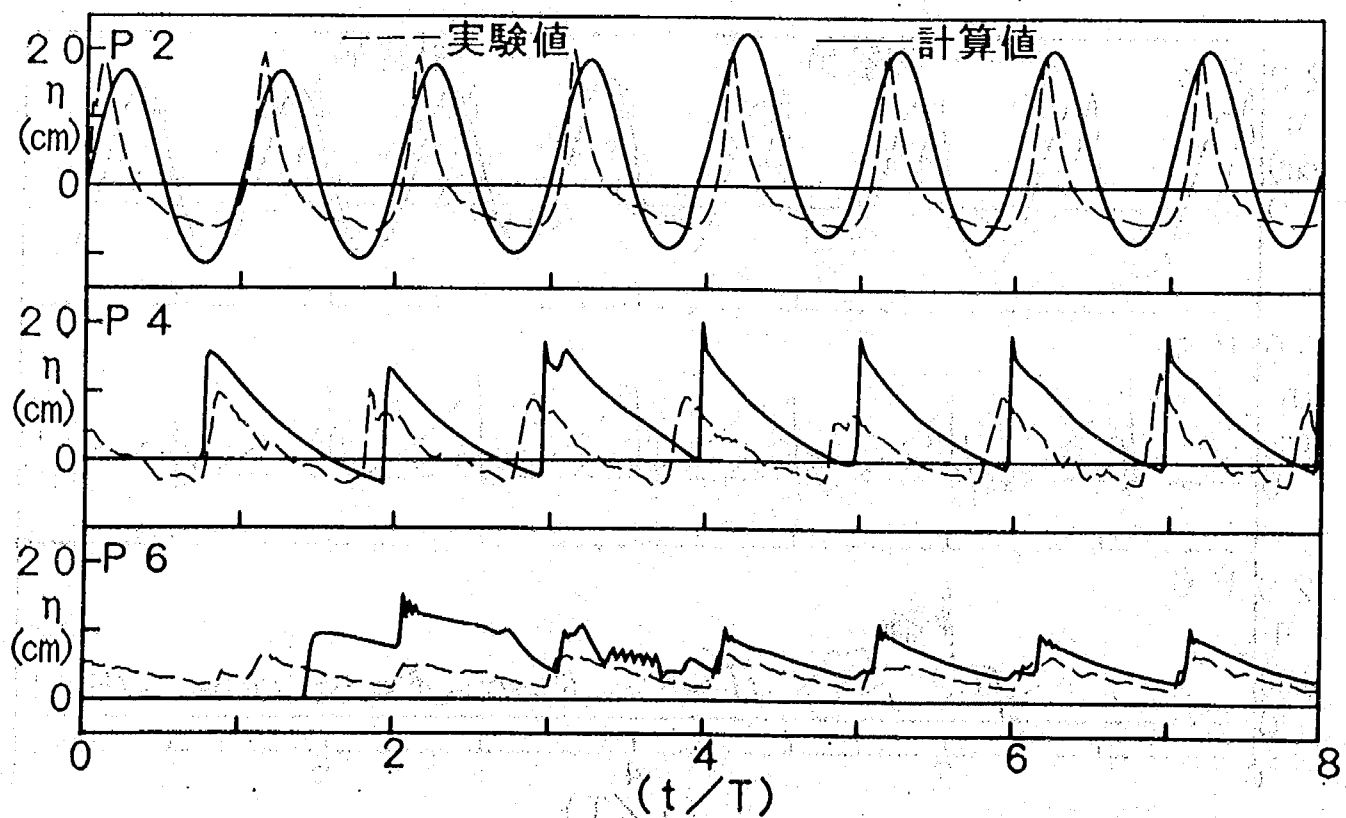


図-4 時間波形 (直立壁, $h_c = 2$ cm, $T = 2.0$ sec)

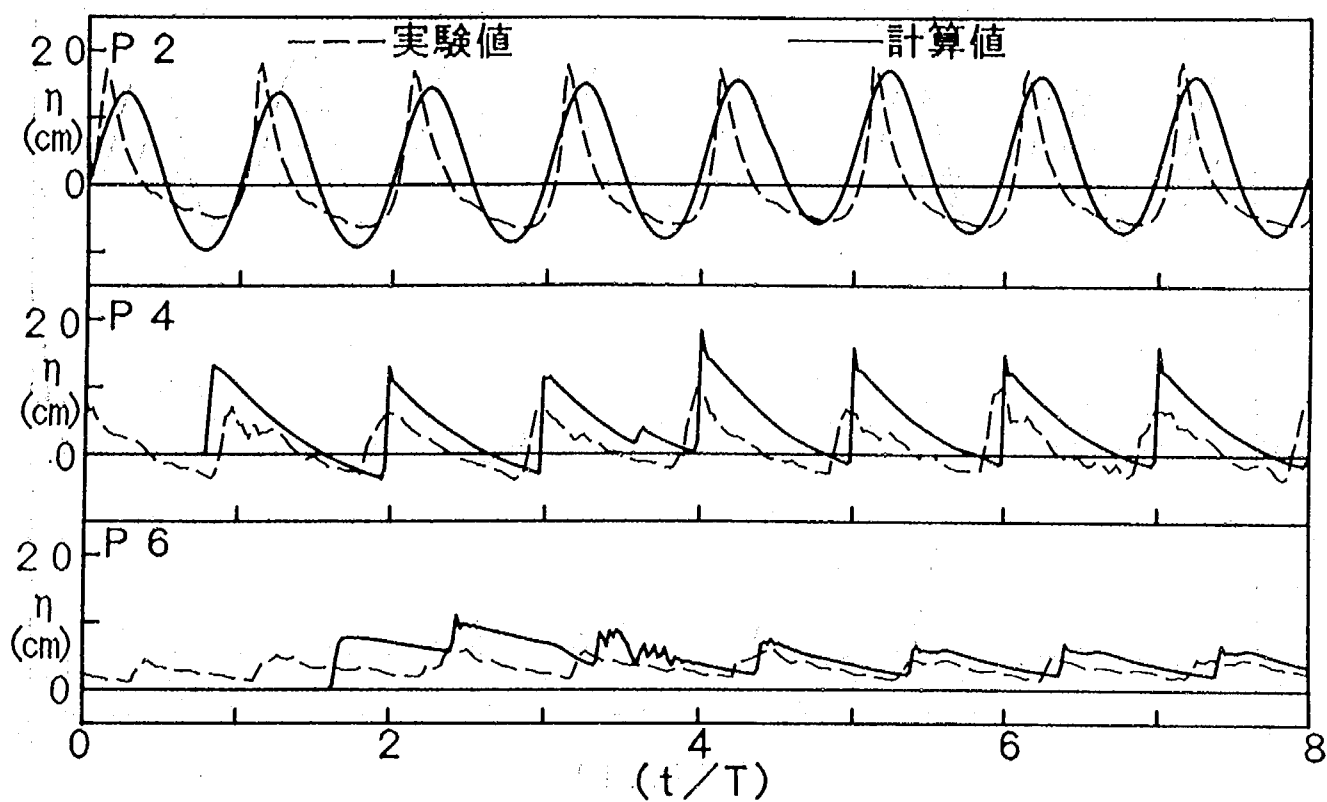


図-5 時間波形 (直立壁, $h_c = 2$ cm, $T = 1.8$ sec)

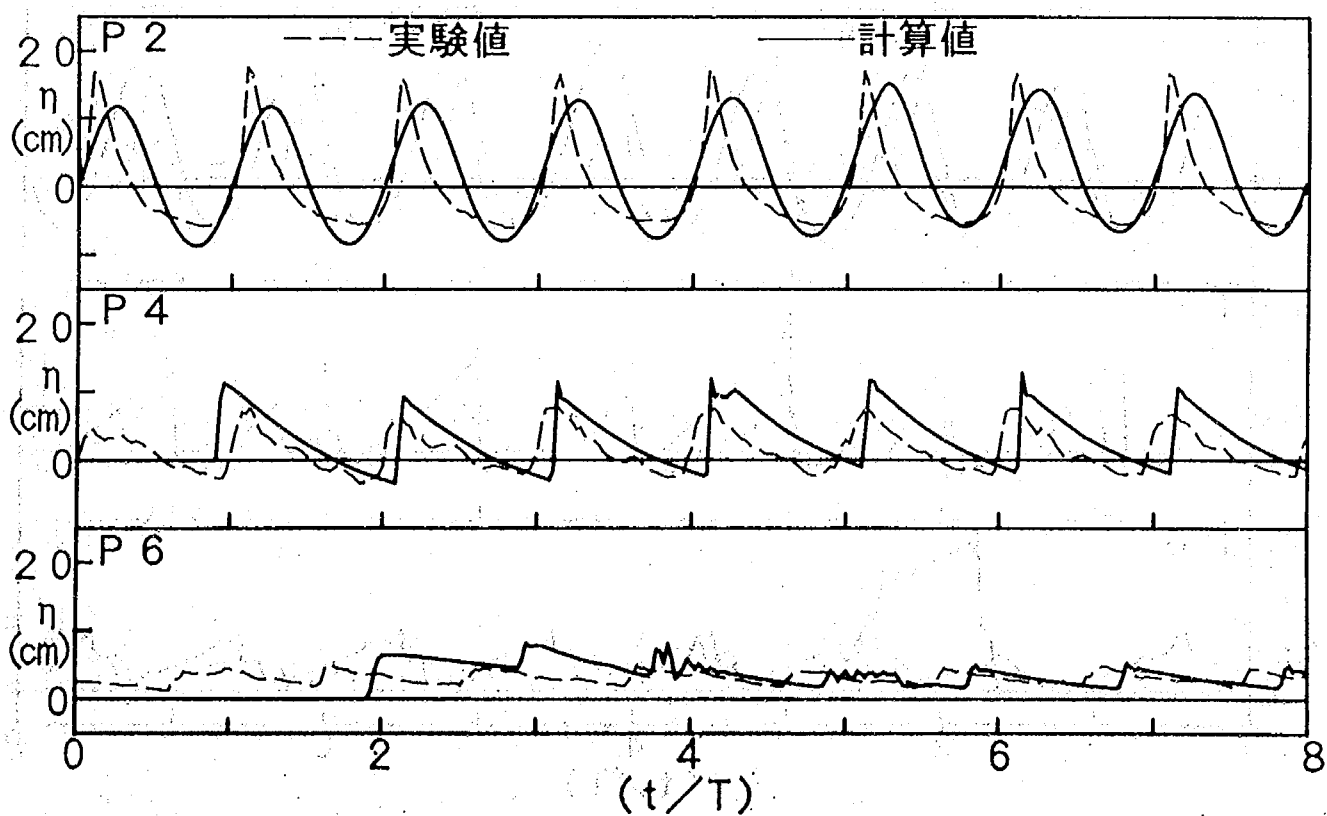


図-6 時間波形 (直立壁, $h_c = 2$ cm, $T = 1.6$ sec)

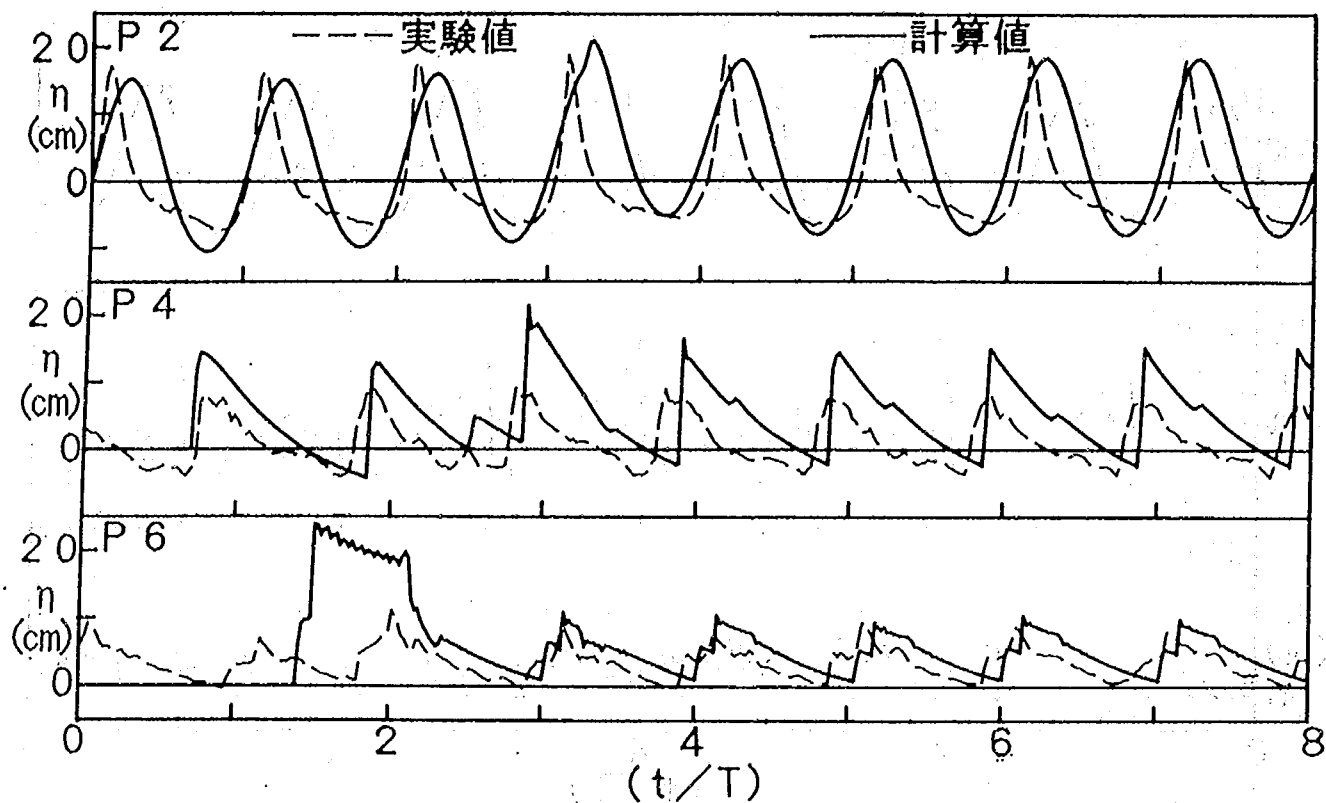


図-7 時間波形 (直立壁, $h_c = -2$ cm, $T = 2.0$ sec)

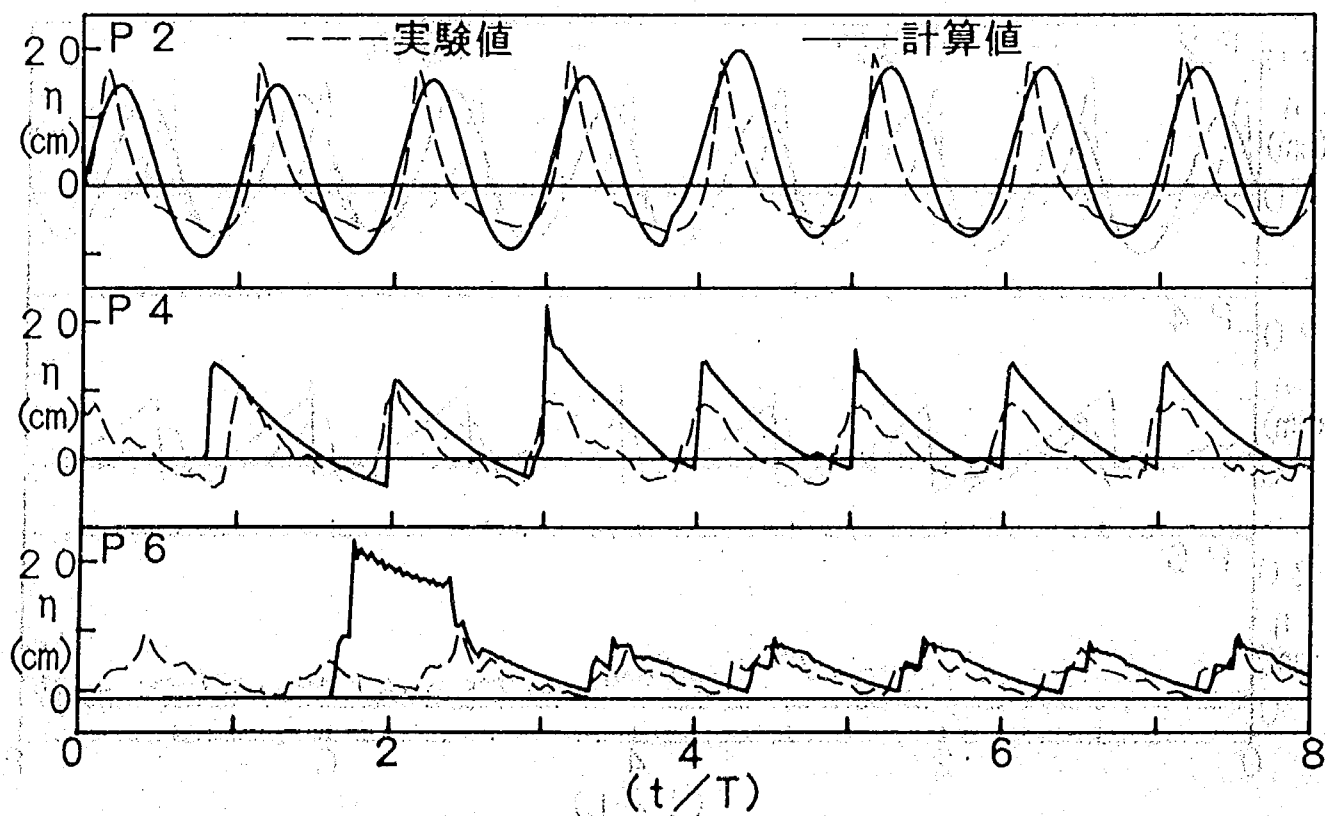


図-8 時間波形 (直立壁, $h_c = -2$ cm, $T = 1.8$ sec)

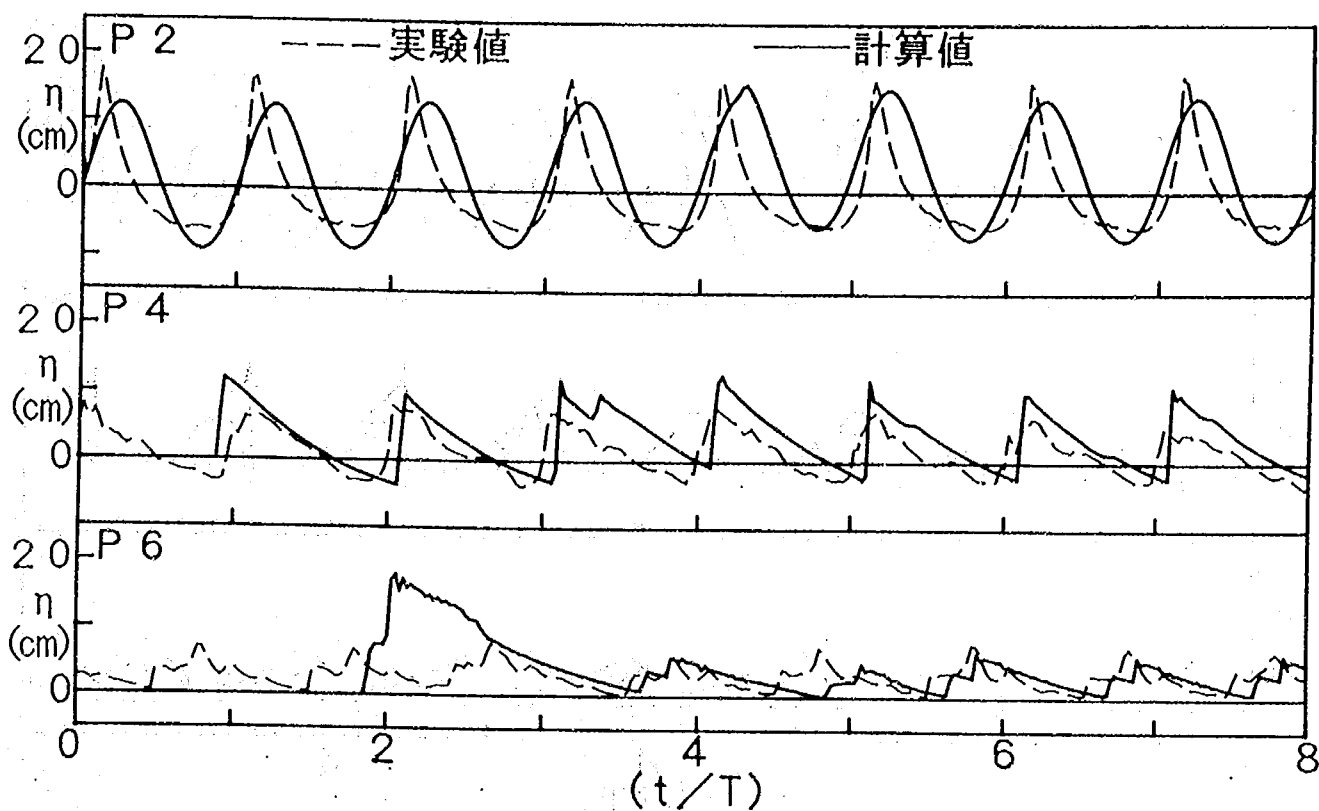


図-9 時間波形 (直立壁, $h_c = -2$ cm, $T = 1.6$ sec)

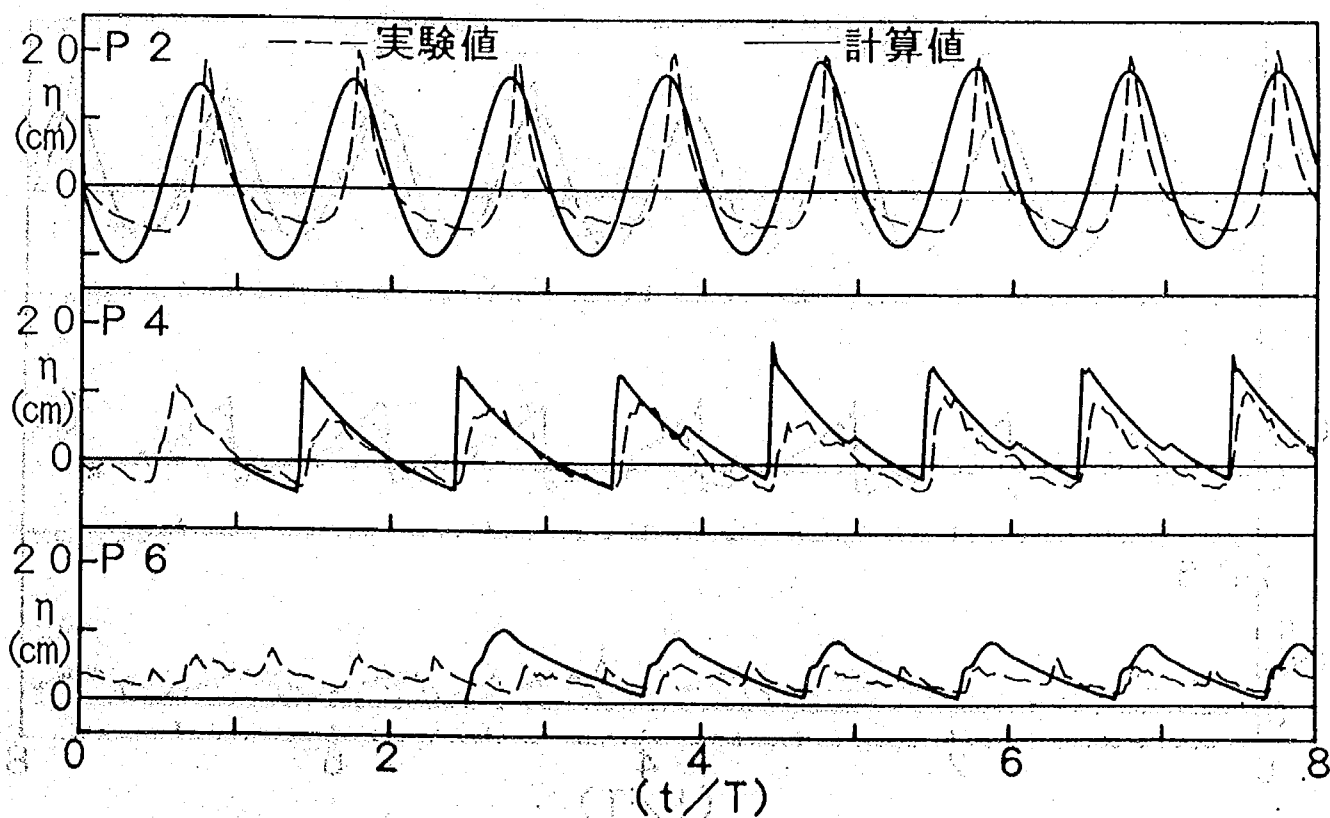


図-10 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 0$ cm, $T = 2.0$ sec)

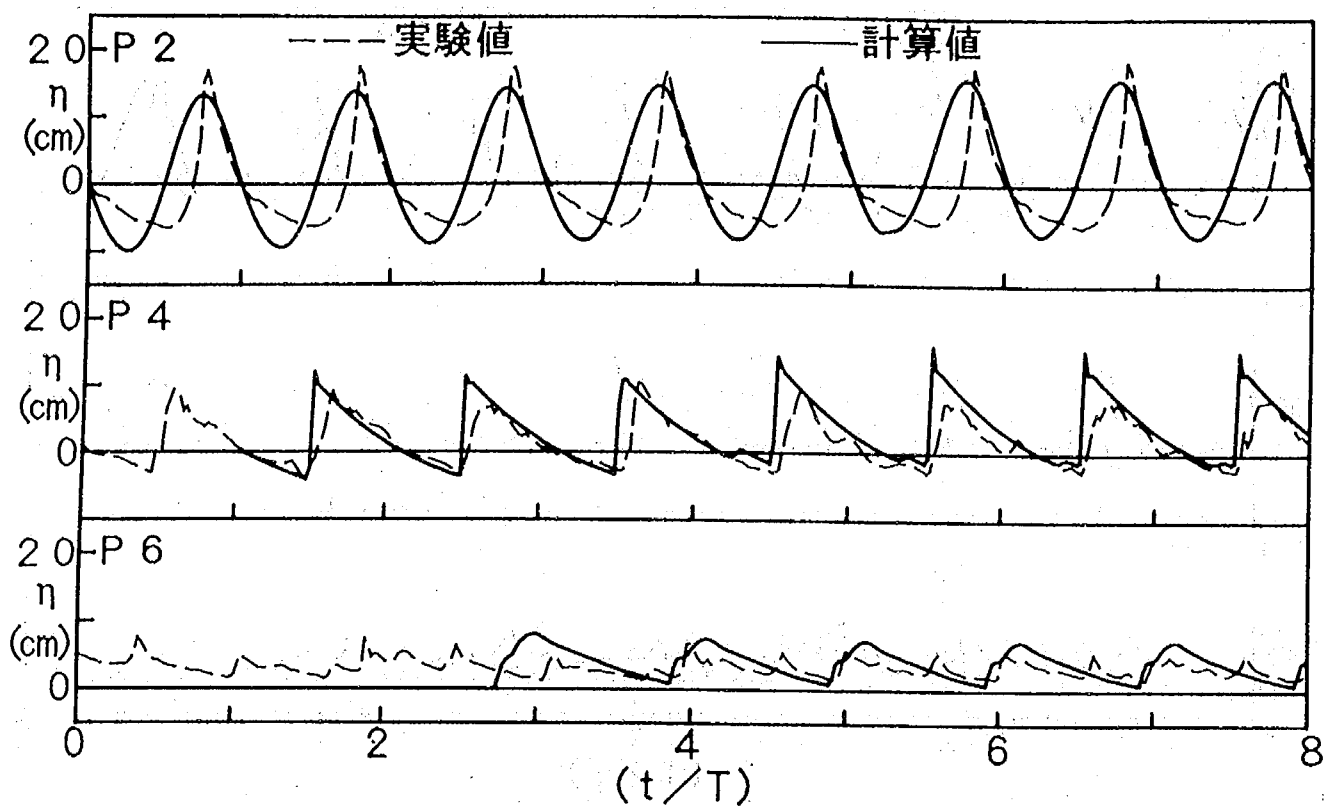


図-11 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 0$ cm, $T = 1.8$ sec)

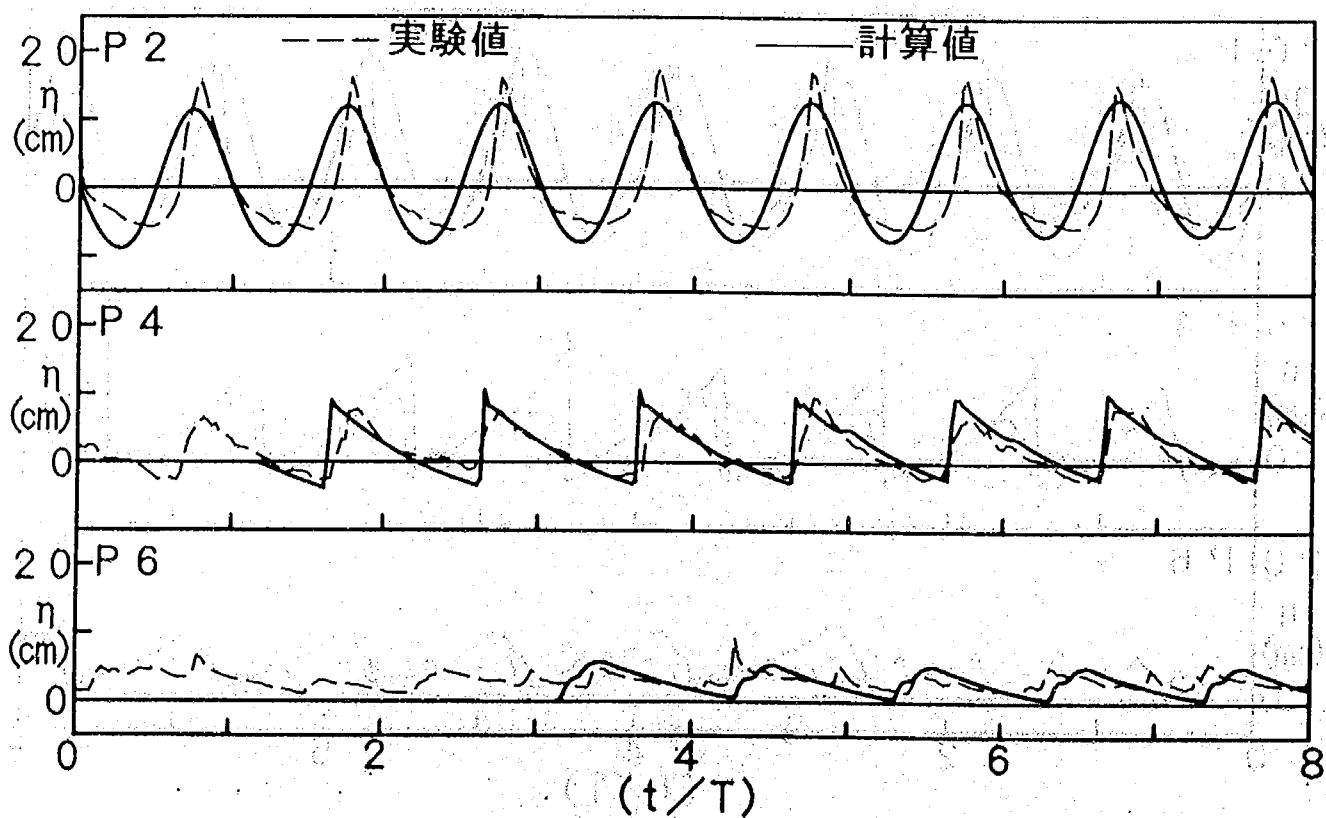


図-12 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 0$ cm, $T = 1.6$ sec)

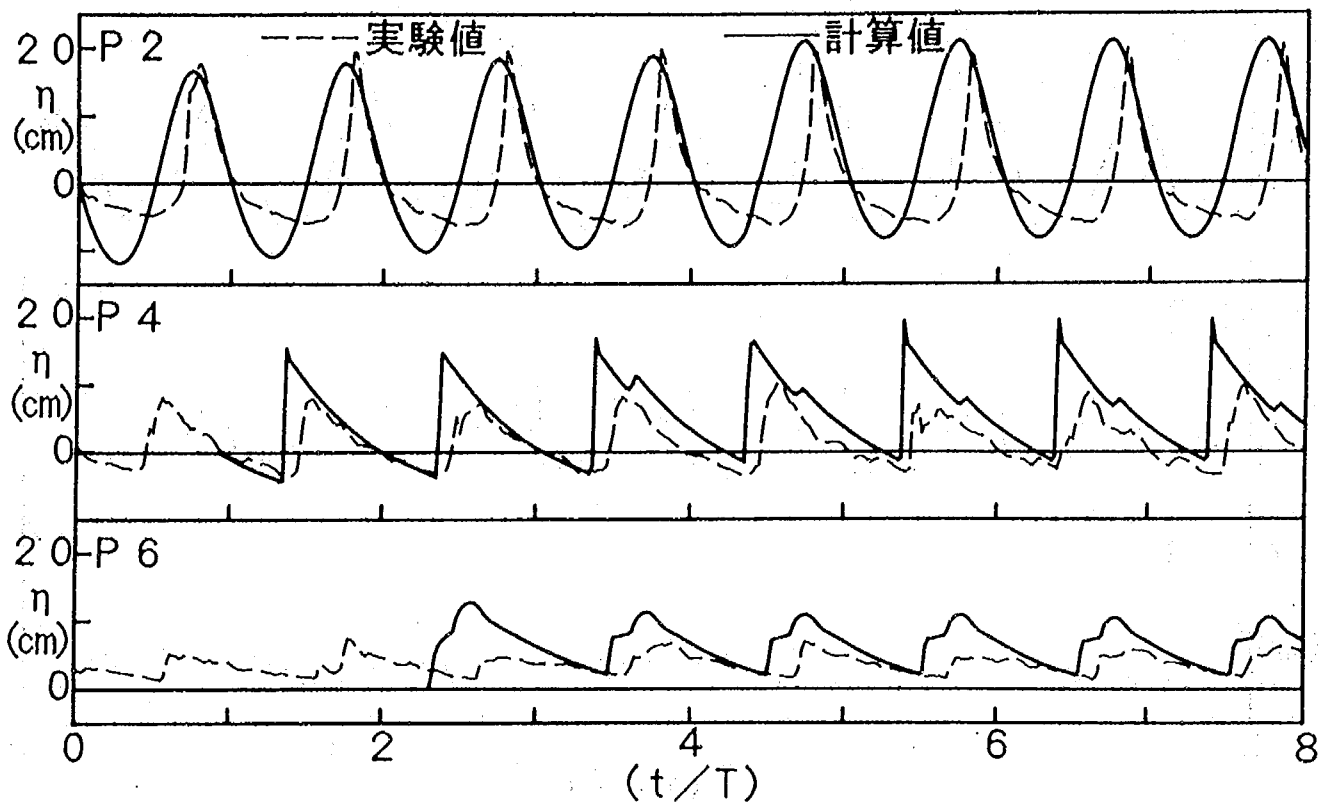


図-13 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 2$ cm, $T = 2.0$ sec)

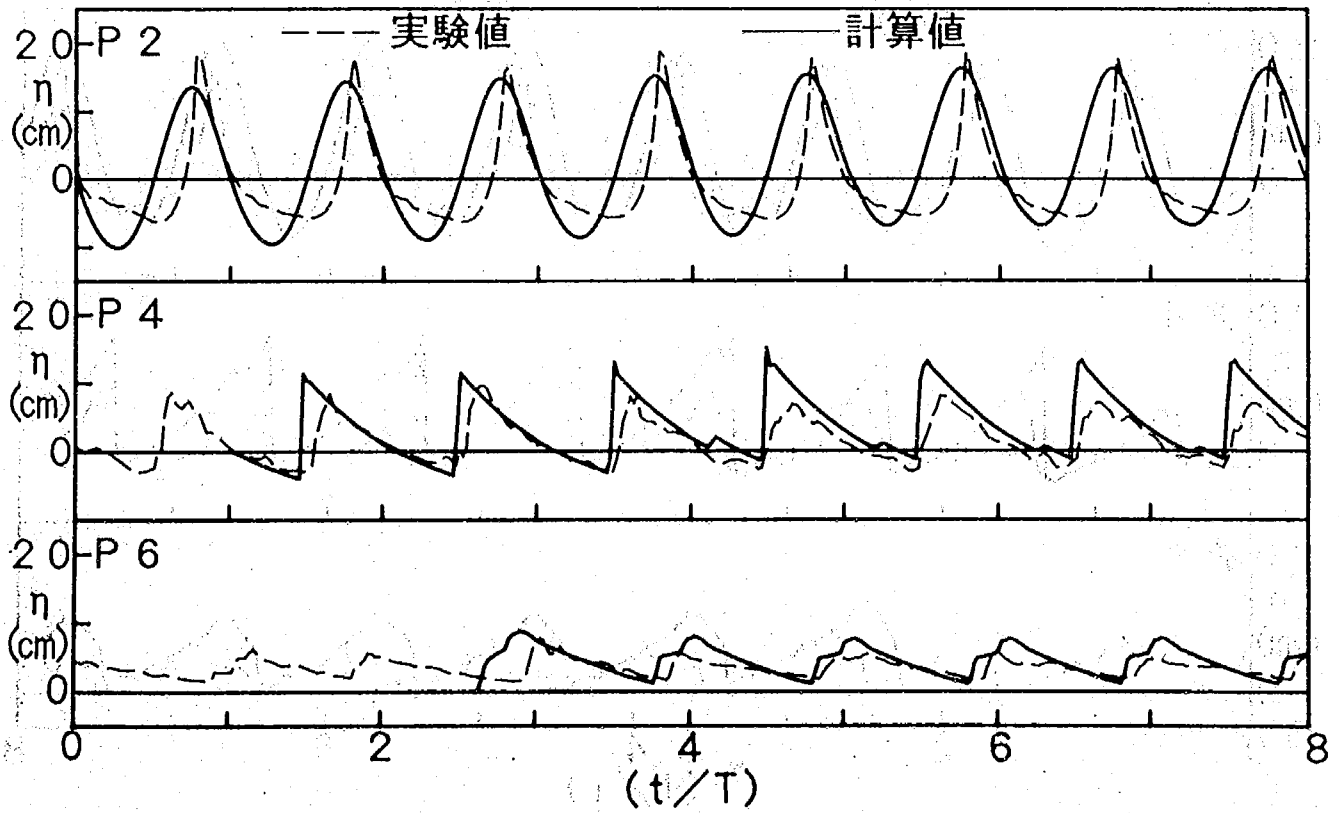


図-14 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 2$ cm, $T = 1.8$ sec)

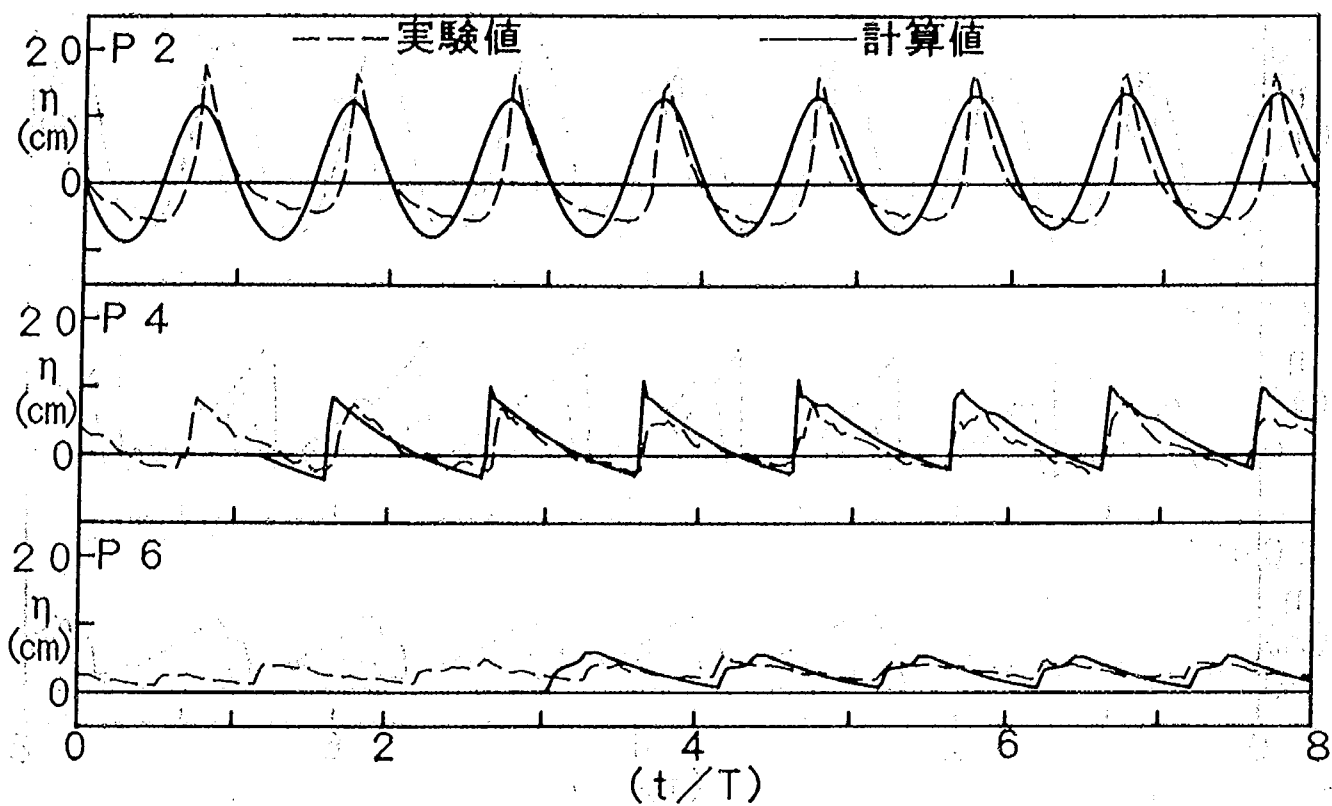


図-15 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 2 \text{ cm}$, $T = 1.6 \text{ sec}$)

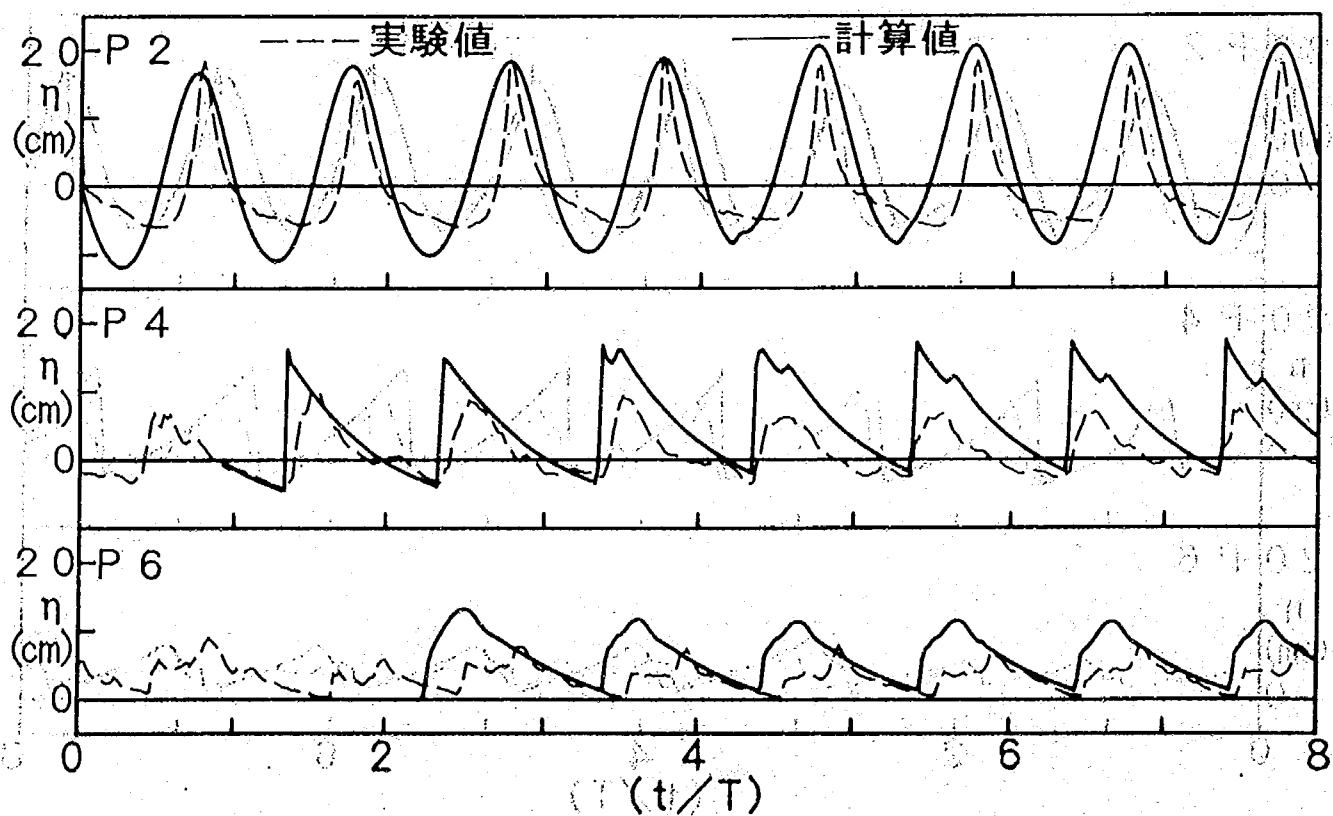


図-16 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = 2 \text{ cm}$, $T = 2.0 \text{ sec}$)

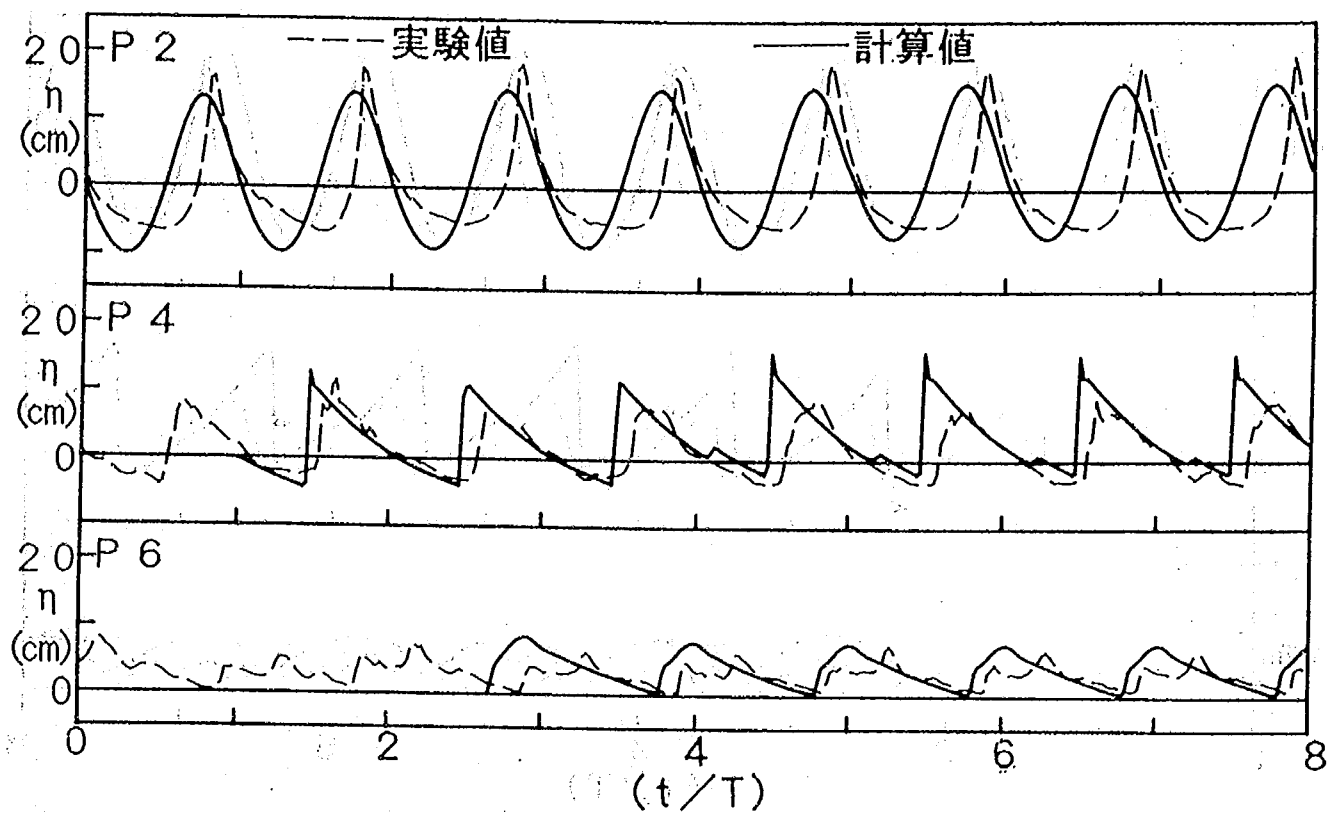


図-17 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = -2$ cm, $T = 1.8$ sec)

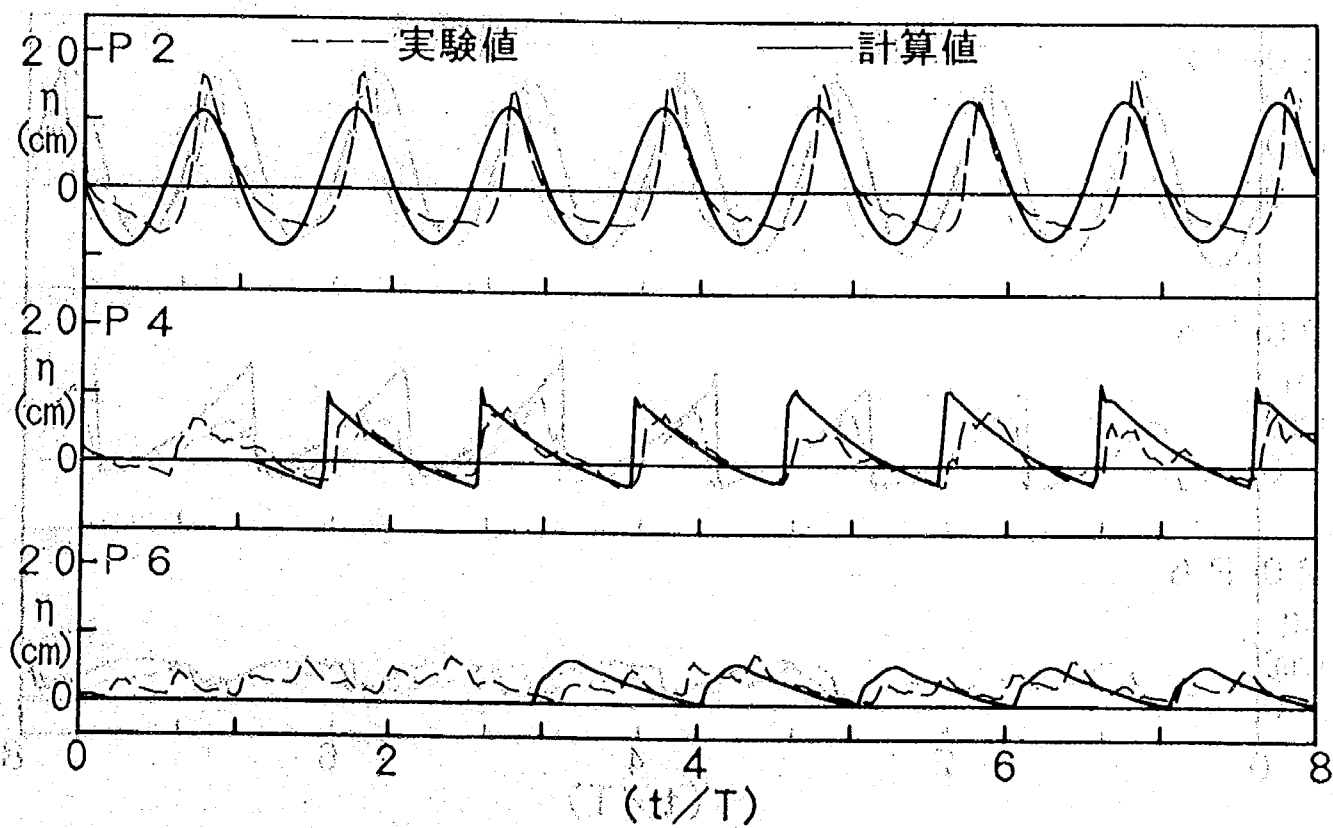


図-18 時間波形 (1/1勾配傾斜護岸, $h_c = -2$ cm, $T = 1.6$ sec)

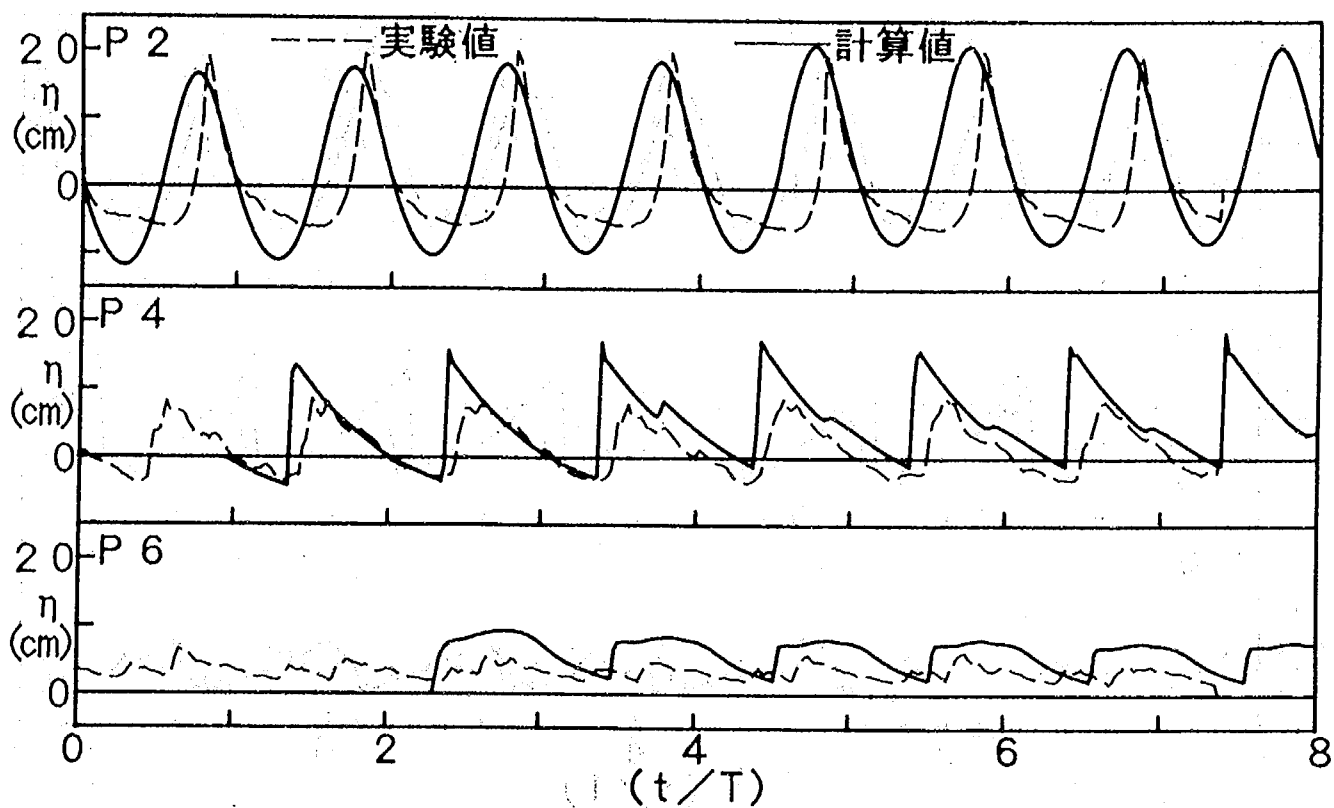


図-19 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = 0$ cm, $T = 2.0$ sec)

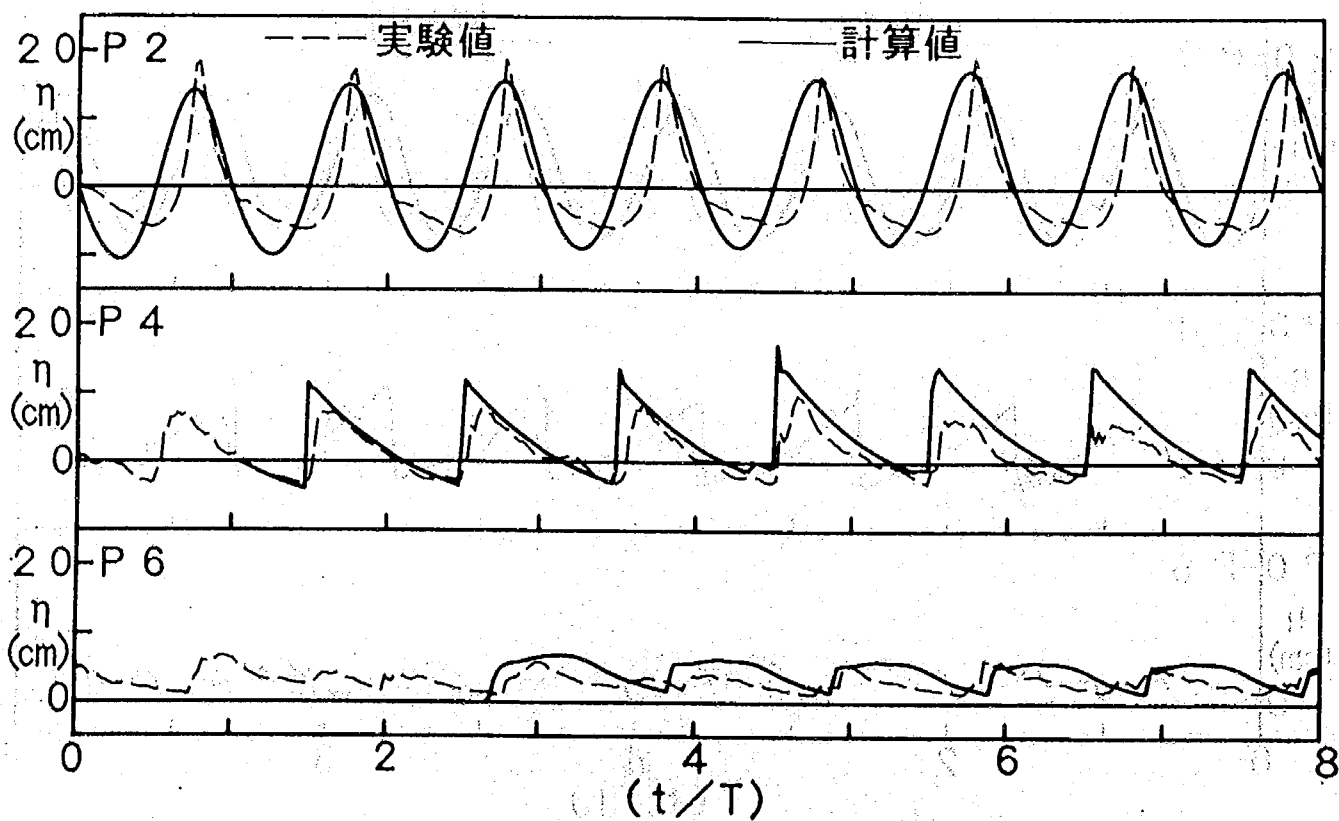


図-20 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = 0$ cm, $T = 1.8$ sec)

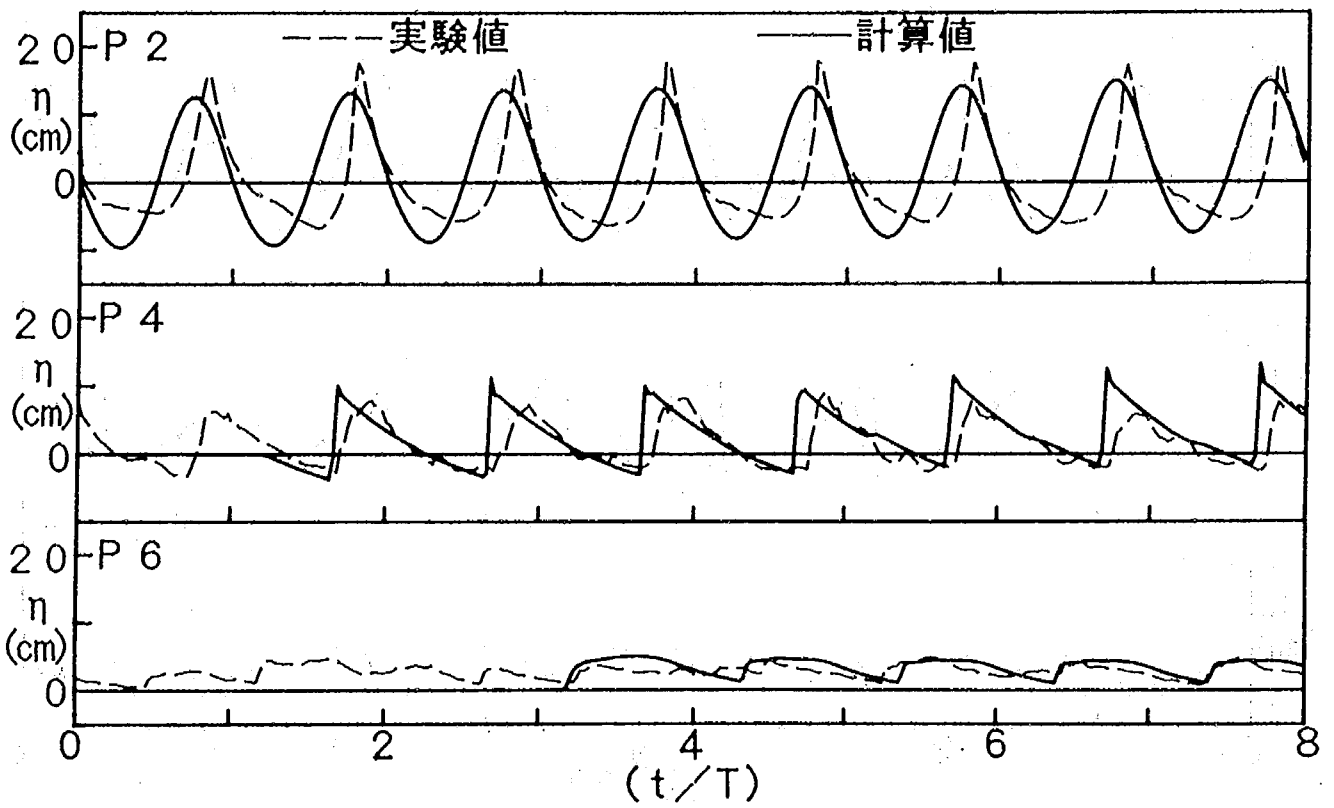


図-21 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = 0$ cm, $T = 1.6$ sec)

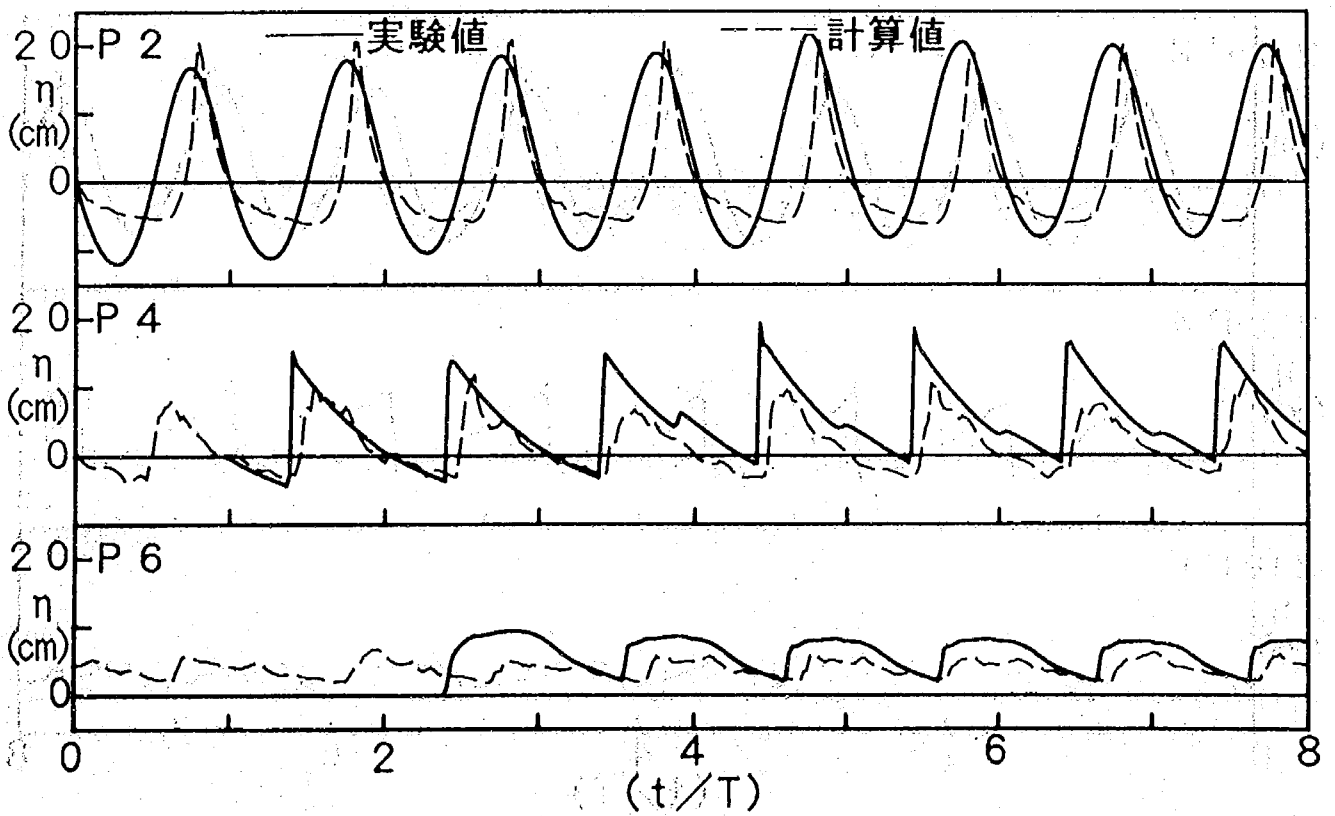


図-22 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = 2$ cm, $T = 2.0$ sec)

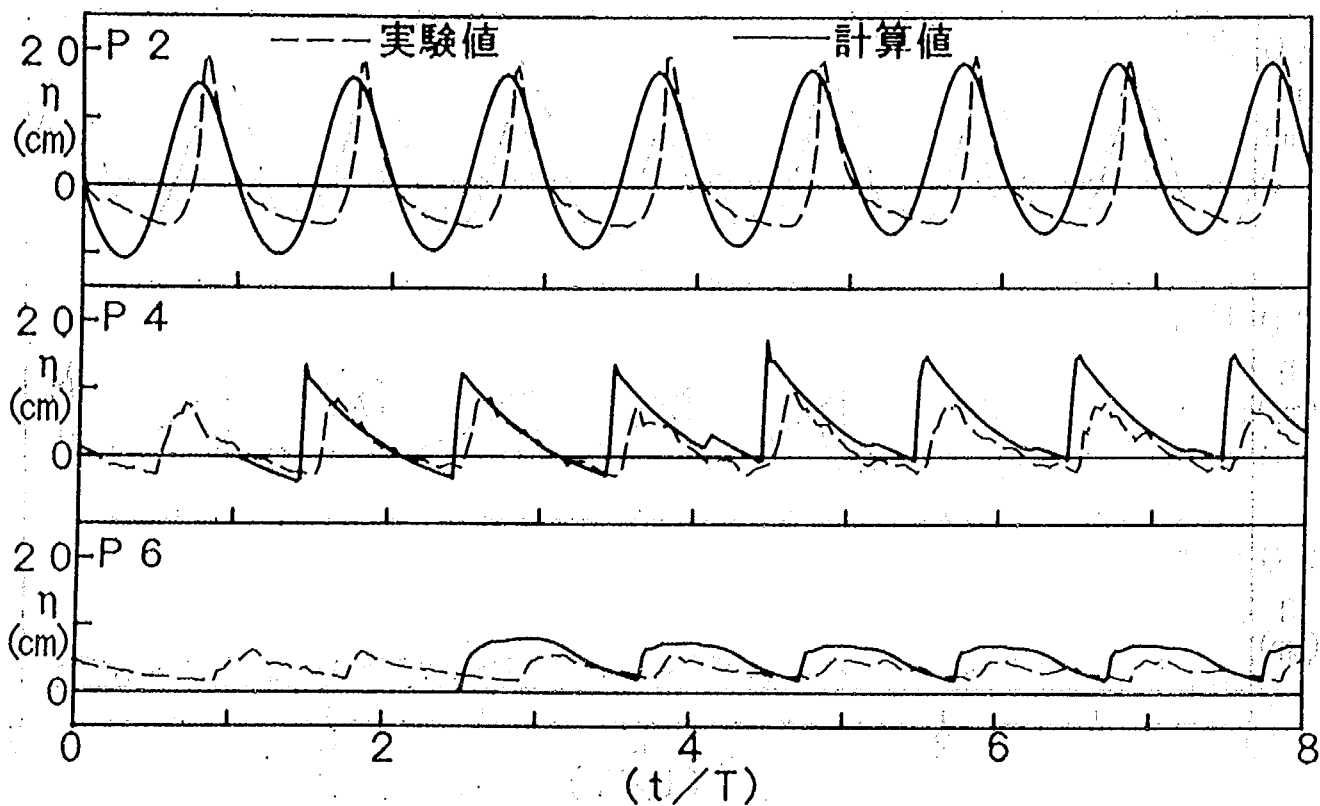


図-23 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = 2 \text{ cm}$, $T = 1.8 \text{ sec}$)

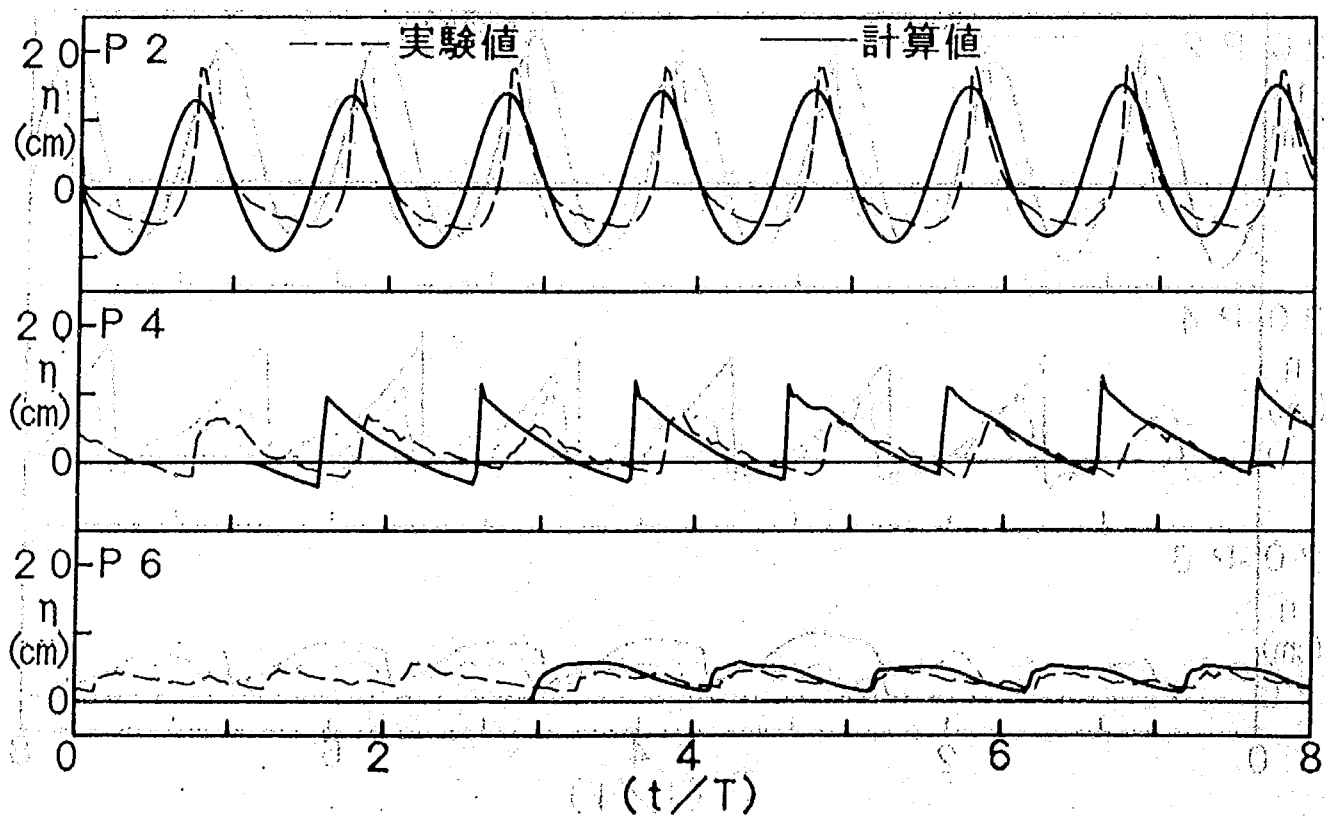


図-24 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = 2 \text{ cm}$, $T = 1.6 \text{ sec}$)

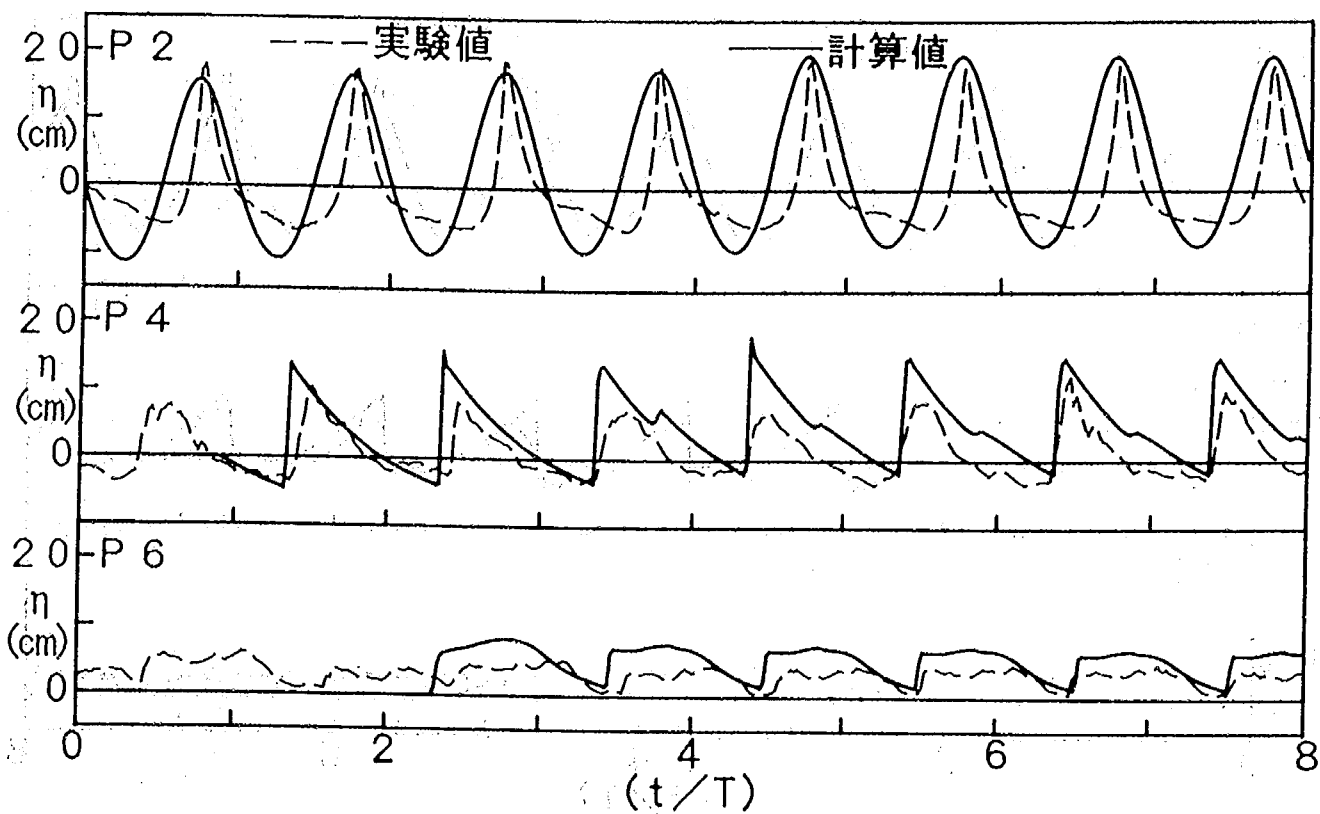


図-25 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = -2$ cm, $T = 2.0$ sec)

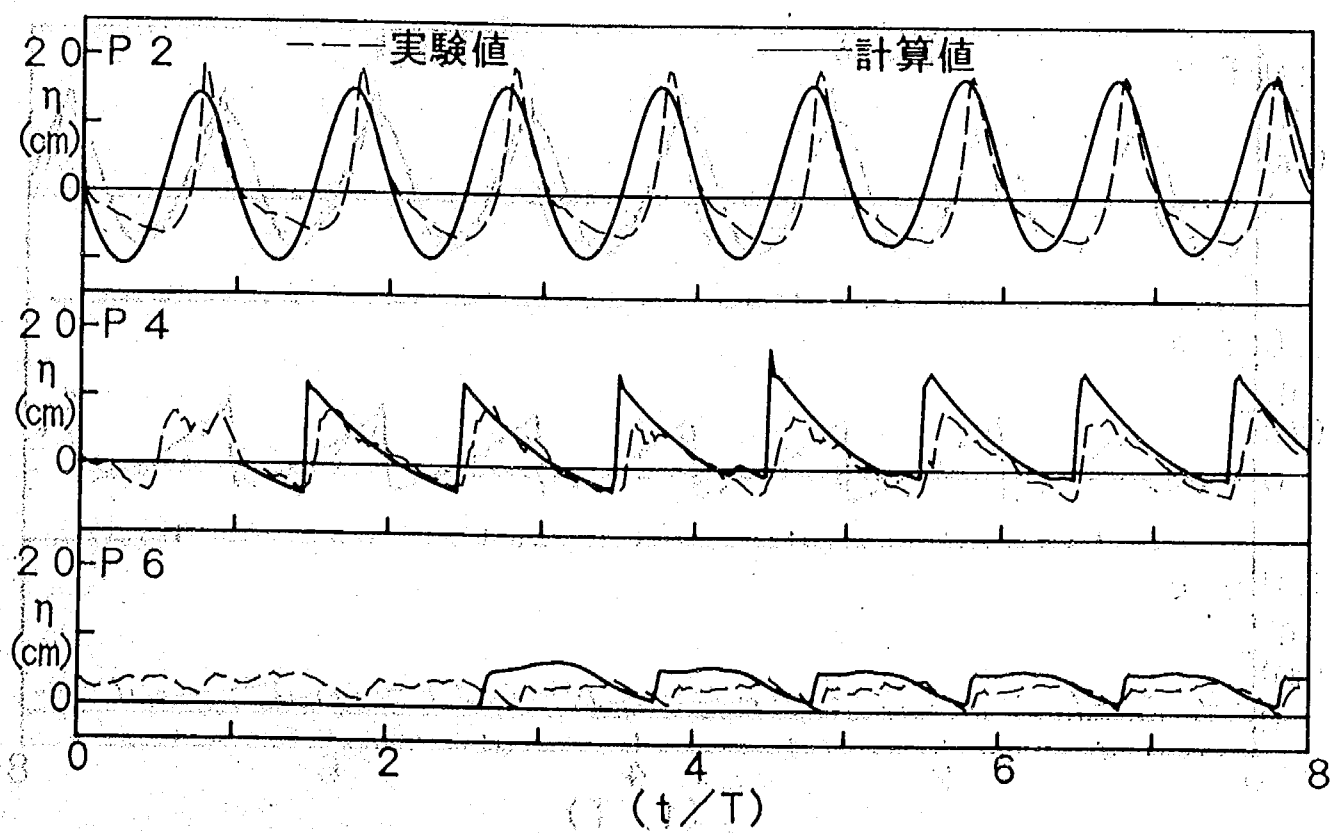


図-26 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = -2$ cm, $T = 1.8$ sec)

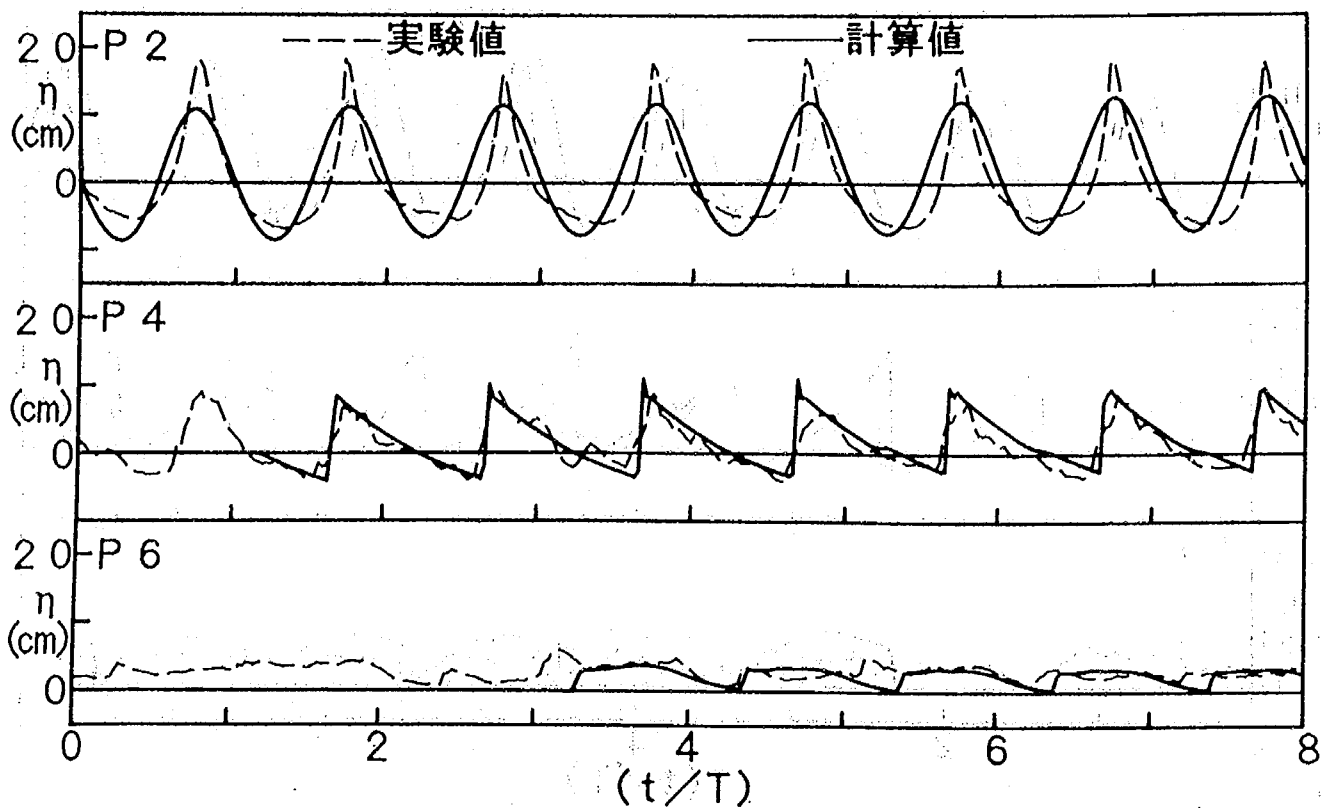


図-27 時間波形 (1/3勾配傾斜護岸, $h_c = -2$ cm, $T = 1.6$ sec)

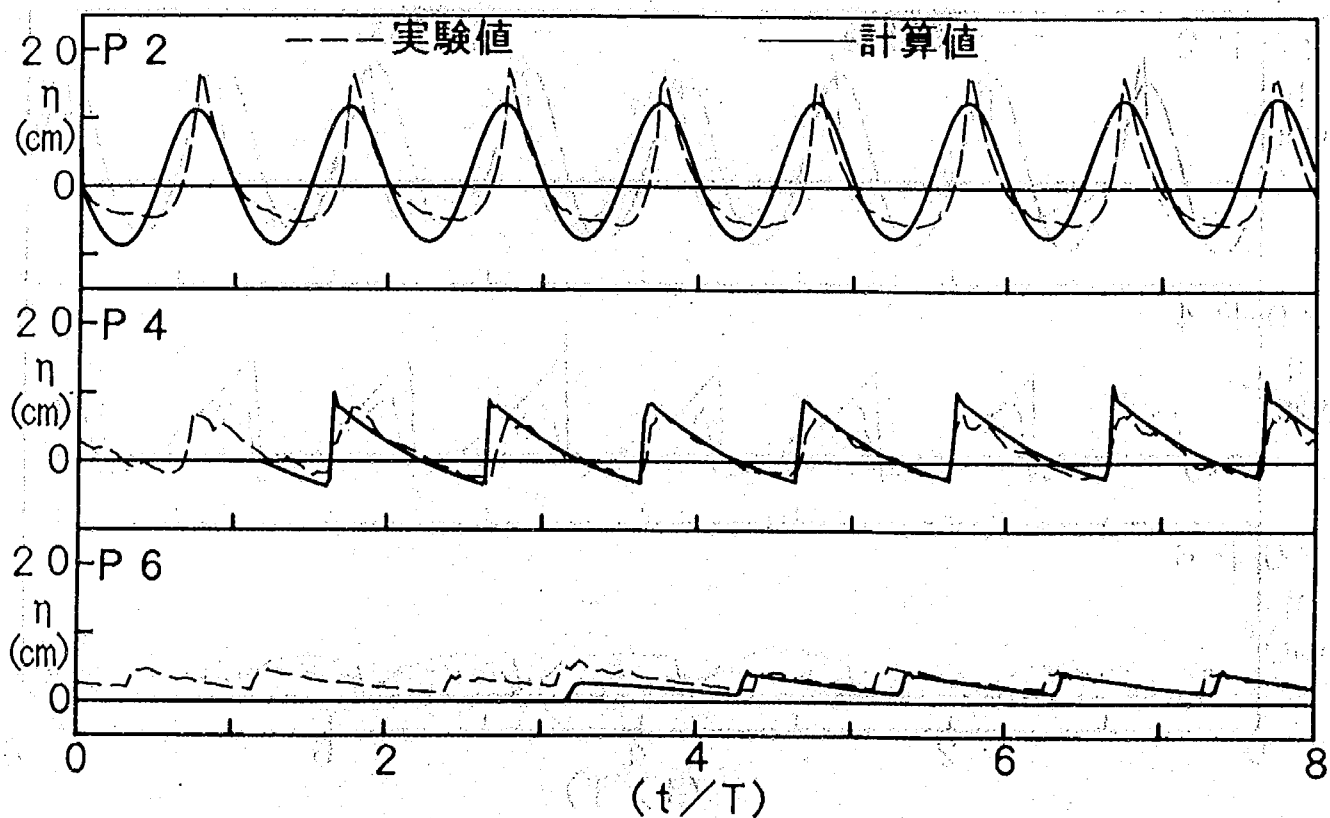


図-28 時間波形 (一樣勾配斜面, $T = 2.0$ sec)

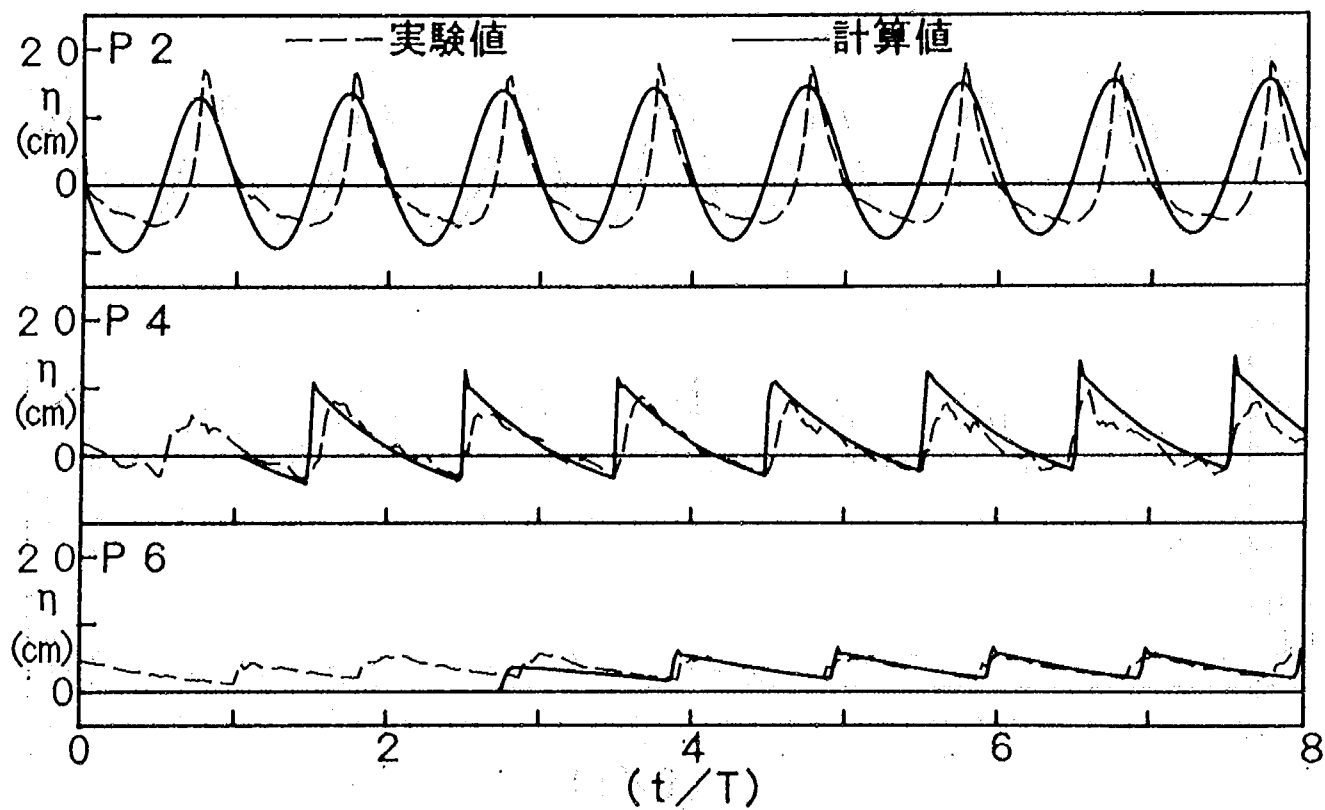


図-29 時間波形 (一樣勾配斜面, $T = 1.8 \text{ sec}$)

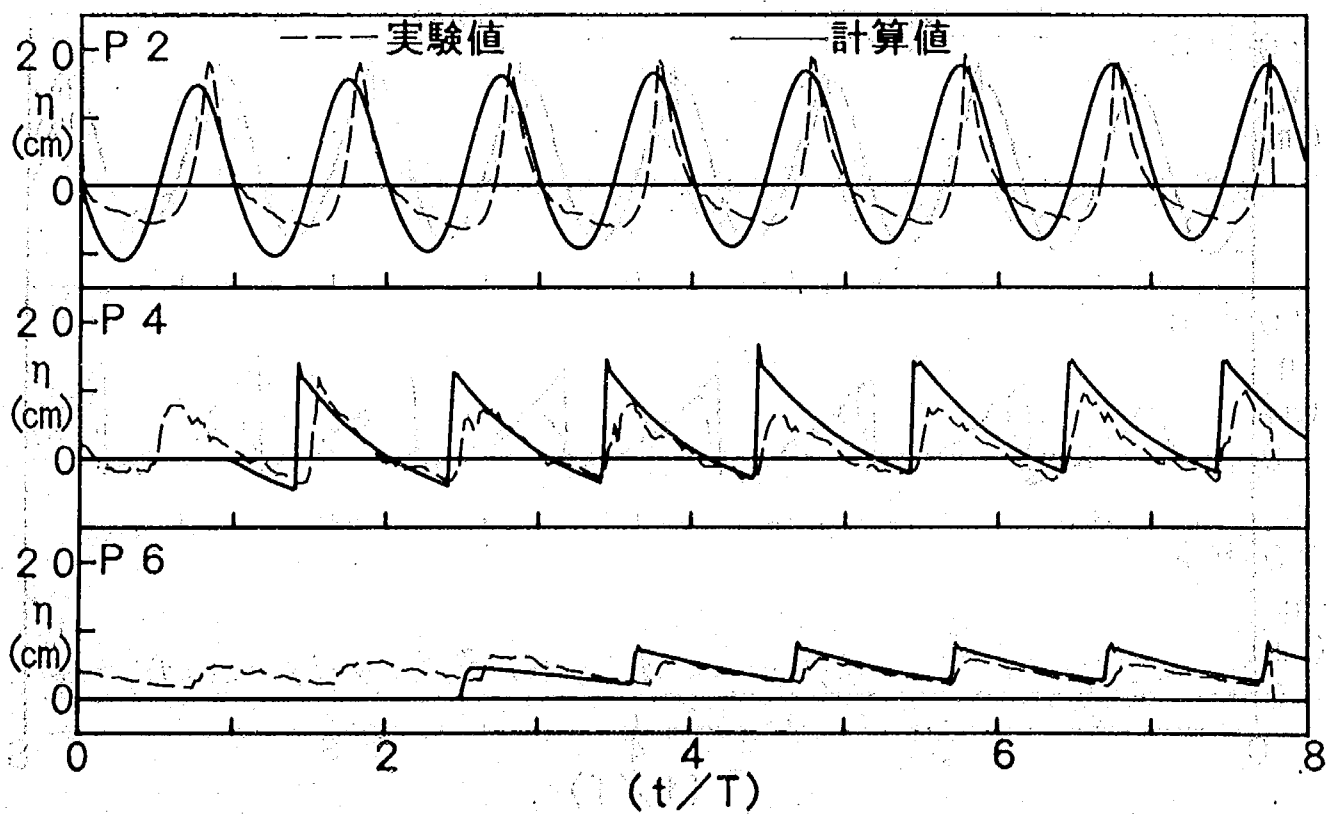


図-30 時間波形 (一樣勾配斜面, $T = 1.6 \text{ sec}$)

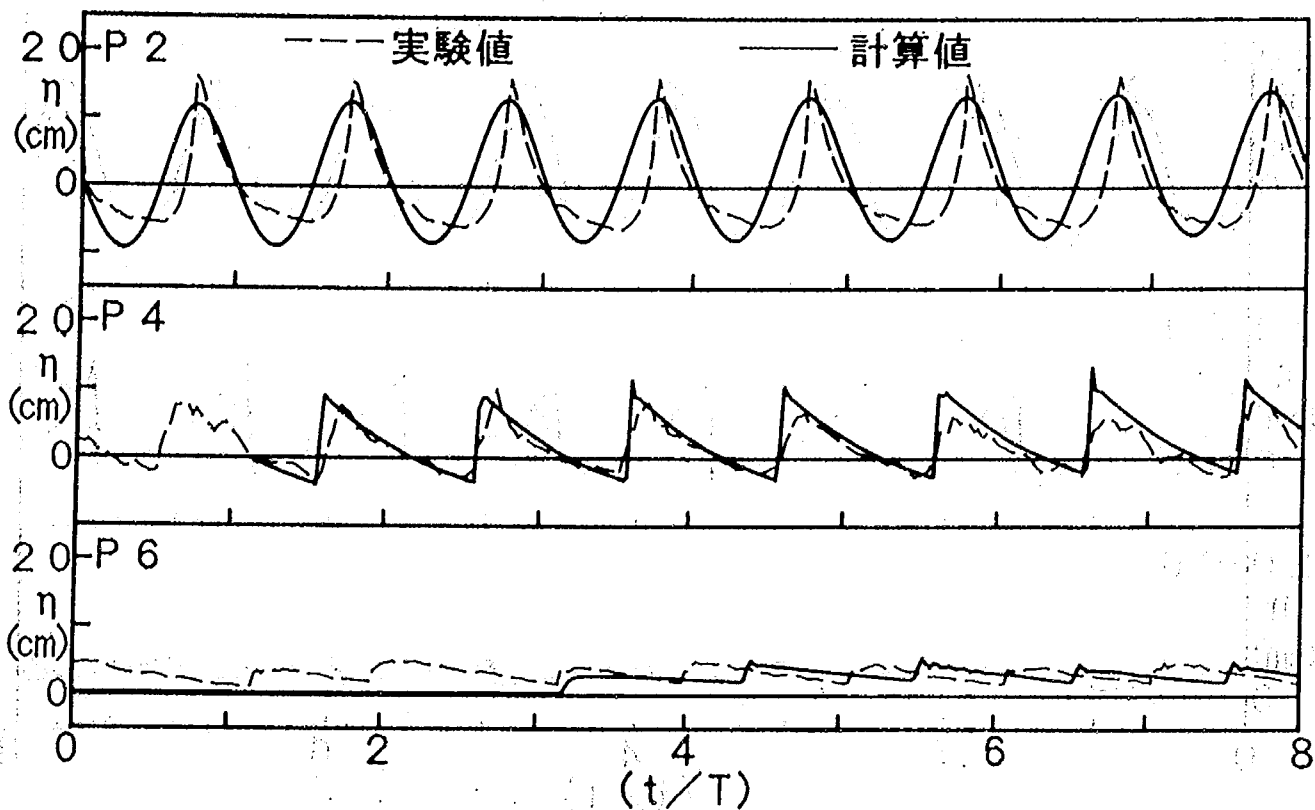


図-31 時間波形 (一樣勾配斜面, $T = 1.7 \text{ sec}$)

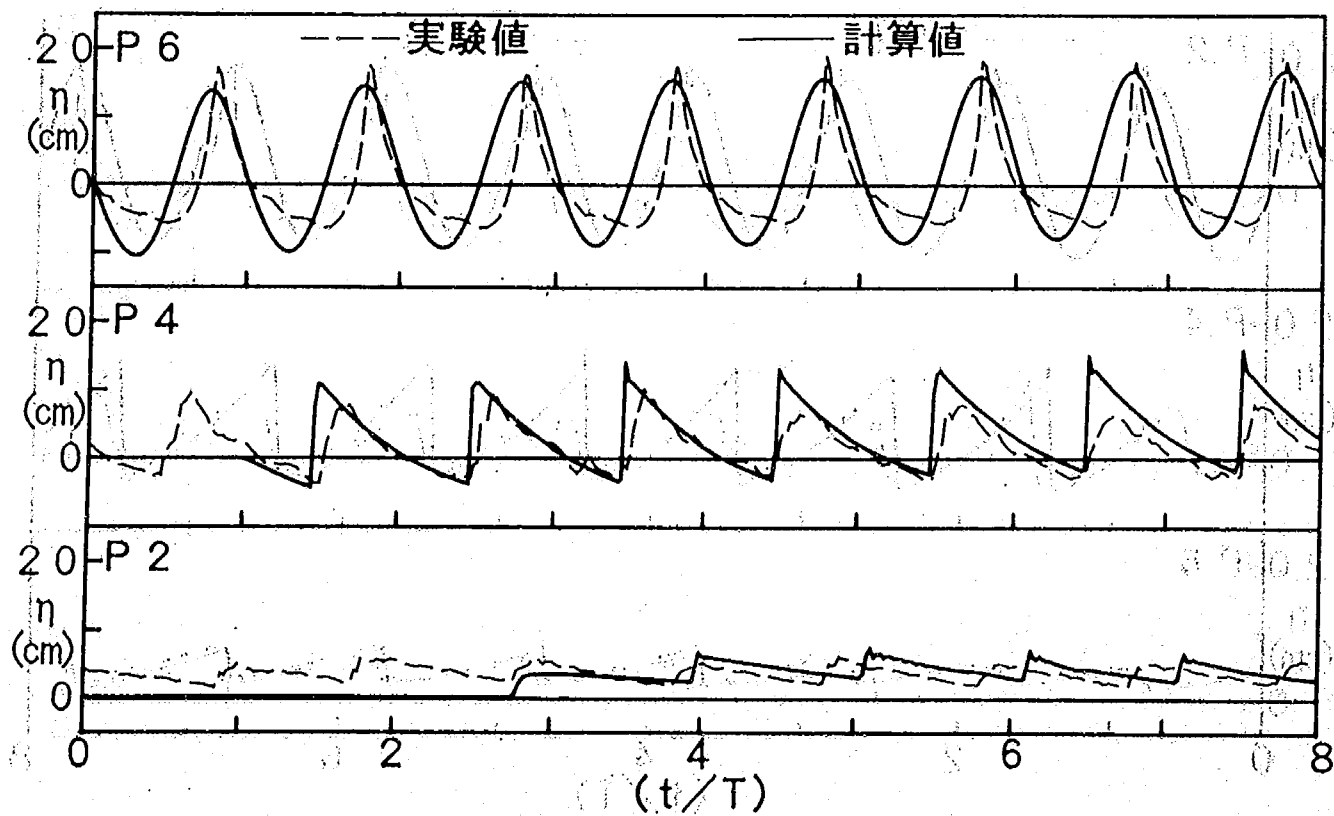


図-32 時間波形 (一樣勾配斜面, $T = 1.9 \text{ sec}$)

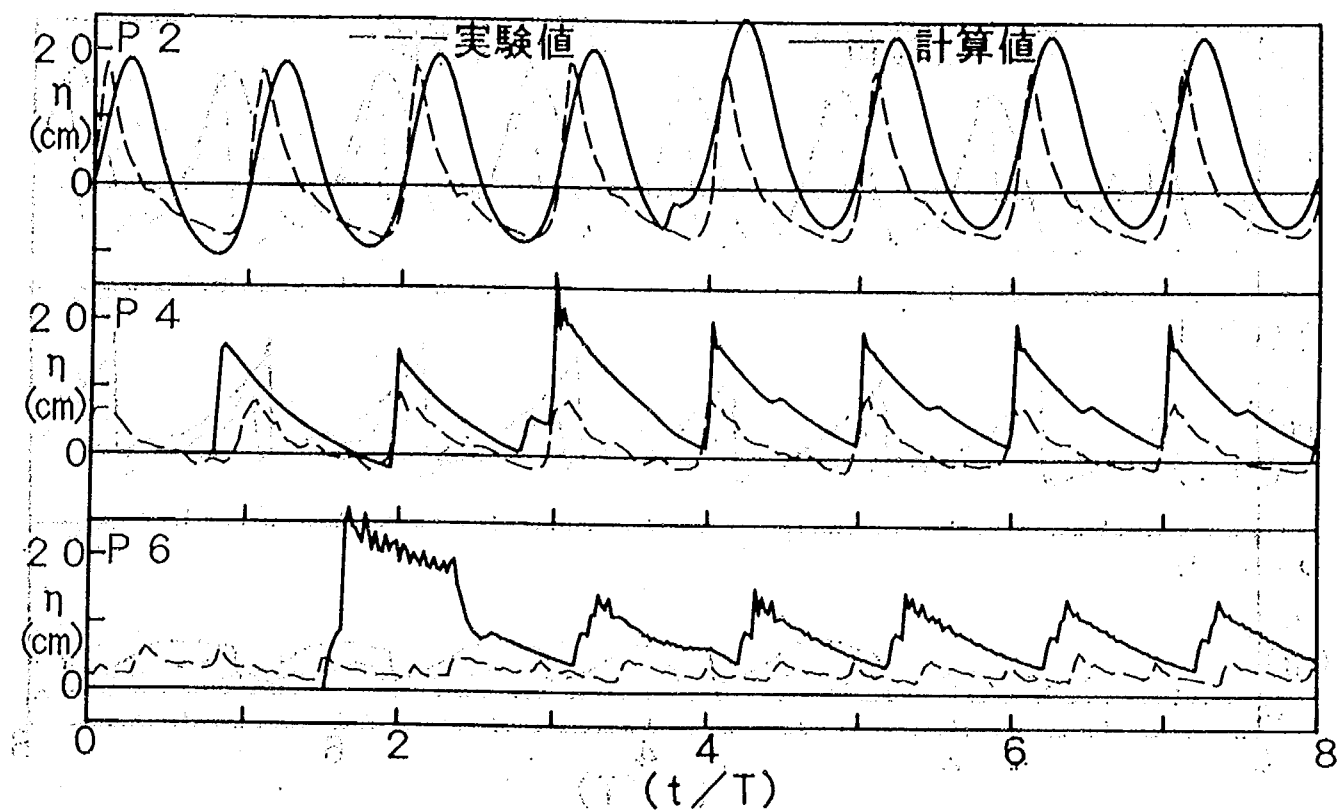


図-33 時間波形 (人工リーフ+直立壁, $T=1.8$ sec)

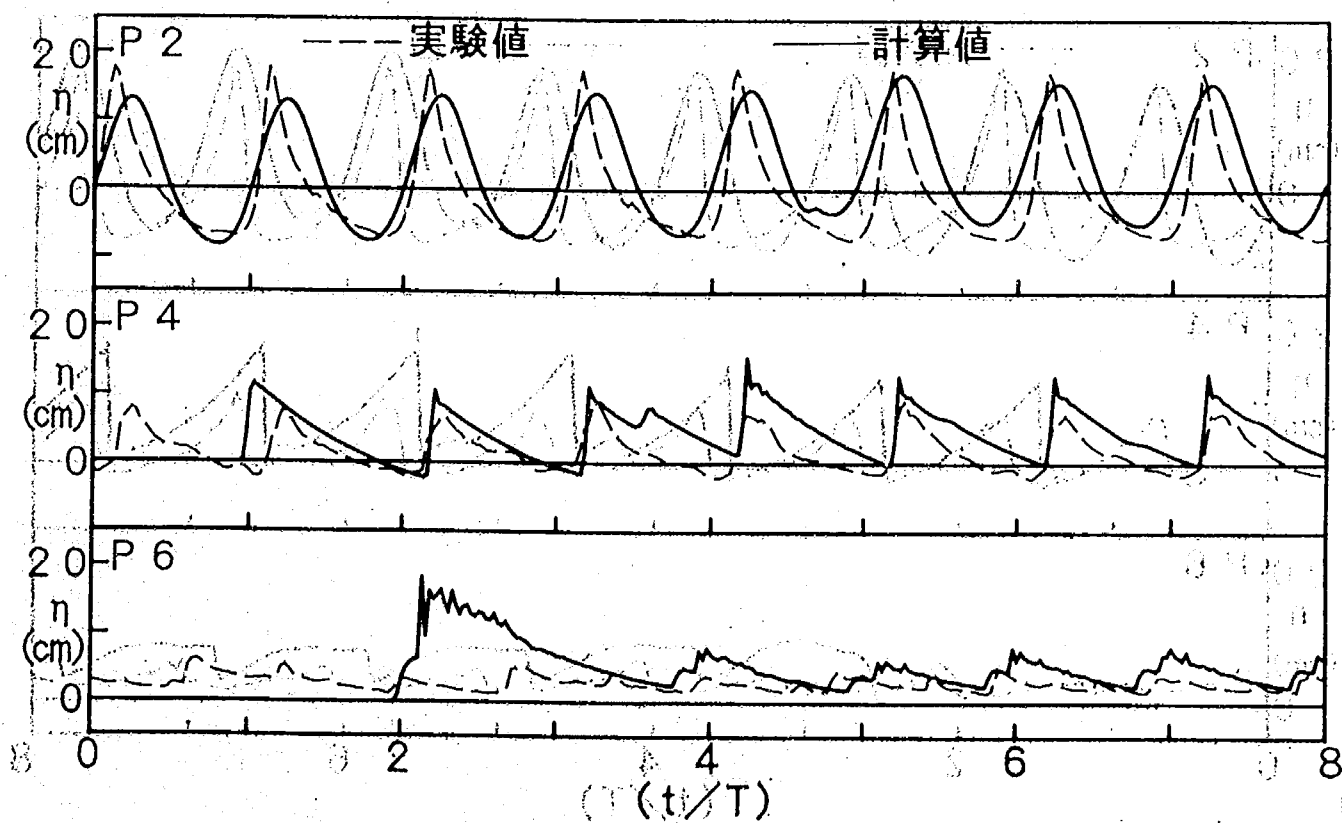


図-34 時間波形 (人工リーフ+直立壁, $T=1.6$ sec)

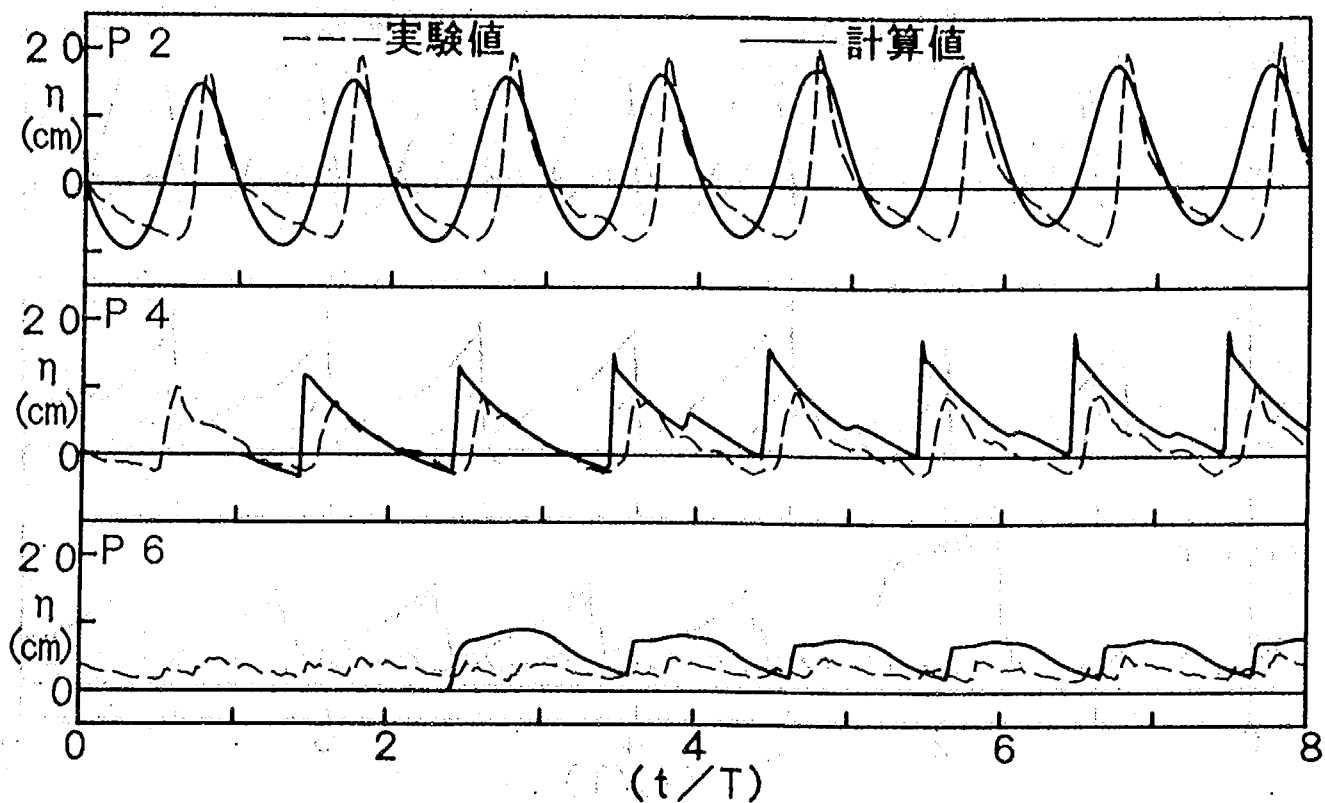


図-35 時間波形 (人工リーフ+1/3勾配傾斜護岸, $T = 2.0$ sec)

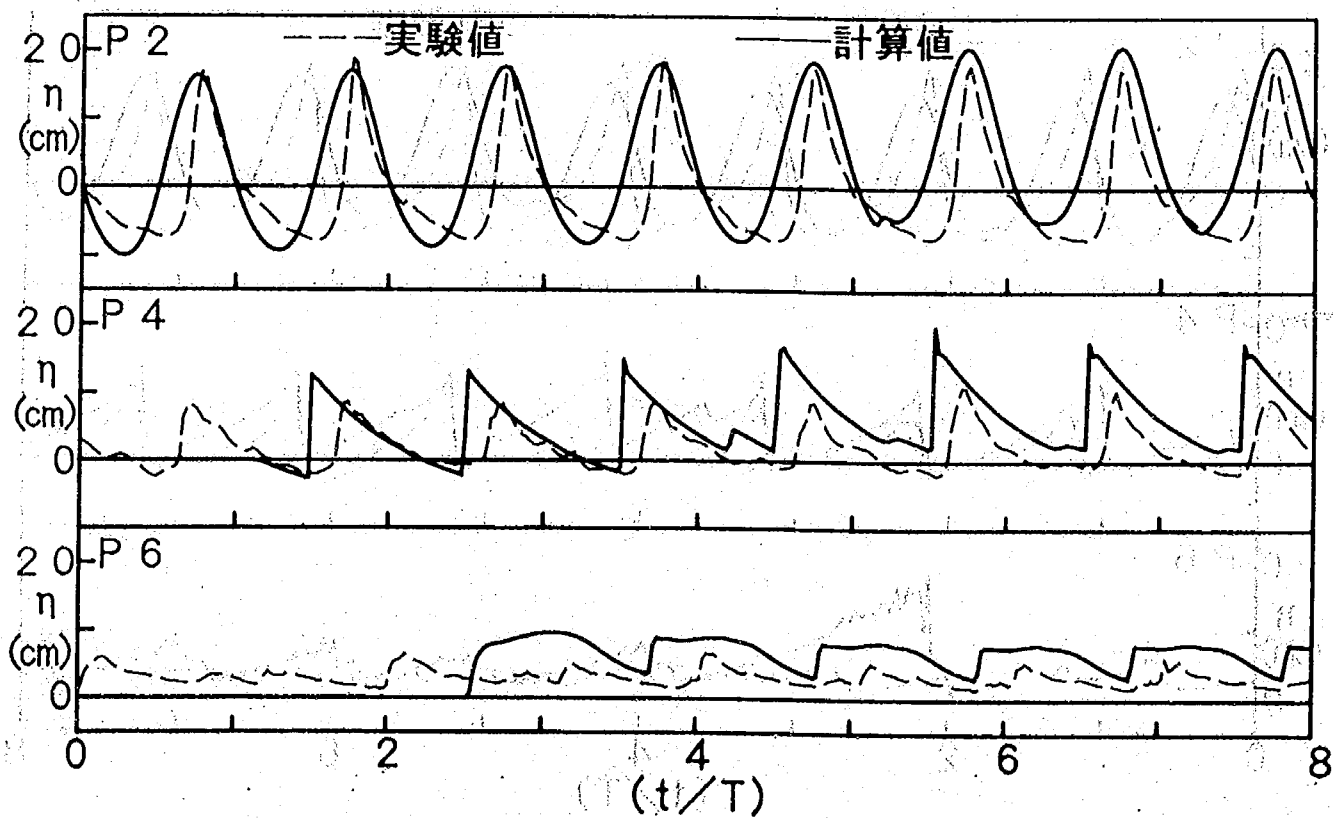


図-36 時間波形 (人工リーフ+1/3勾配傾斜護岸, $T = 1.8$ sec)

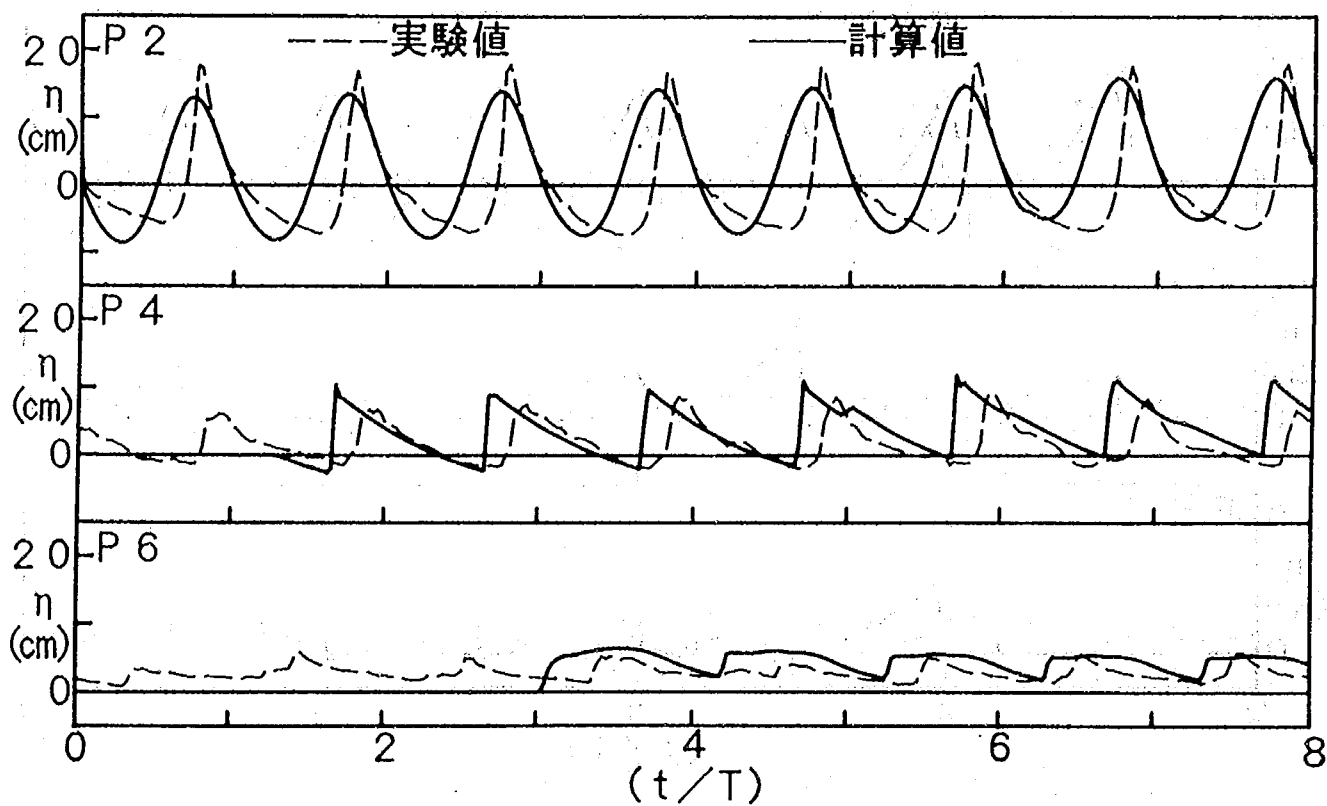


図-37 時間波形 (人工リーフ+1/3勾配傾斜護岸, $T=1.6$ sec)

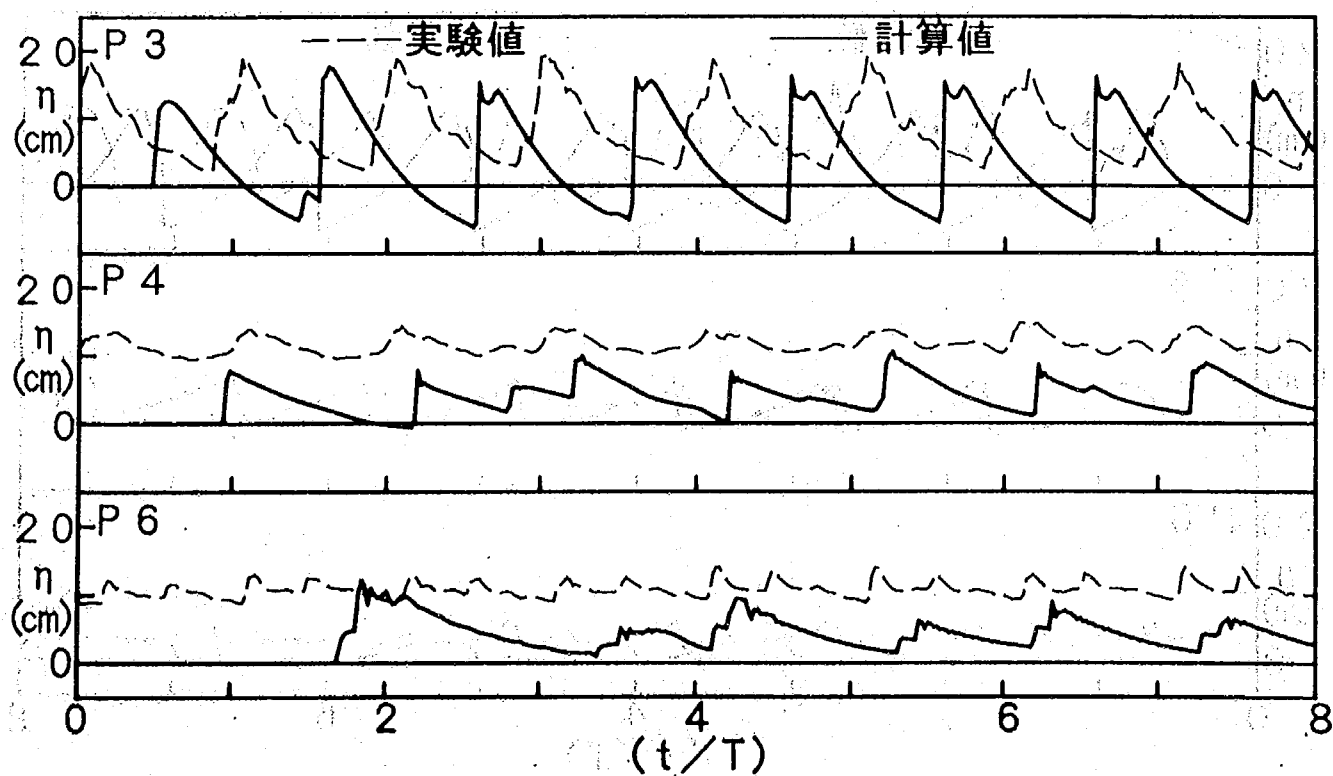


図-38 時間波形 (離岸堤+直立壁, $T=2.0$ sec)

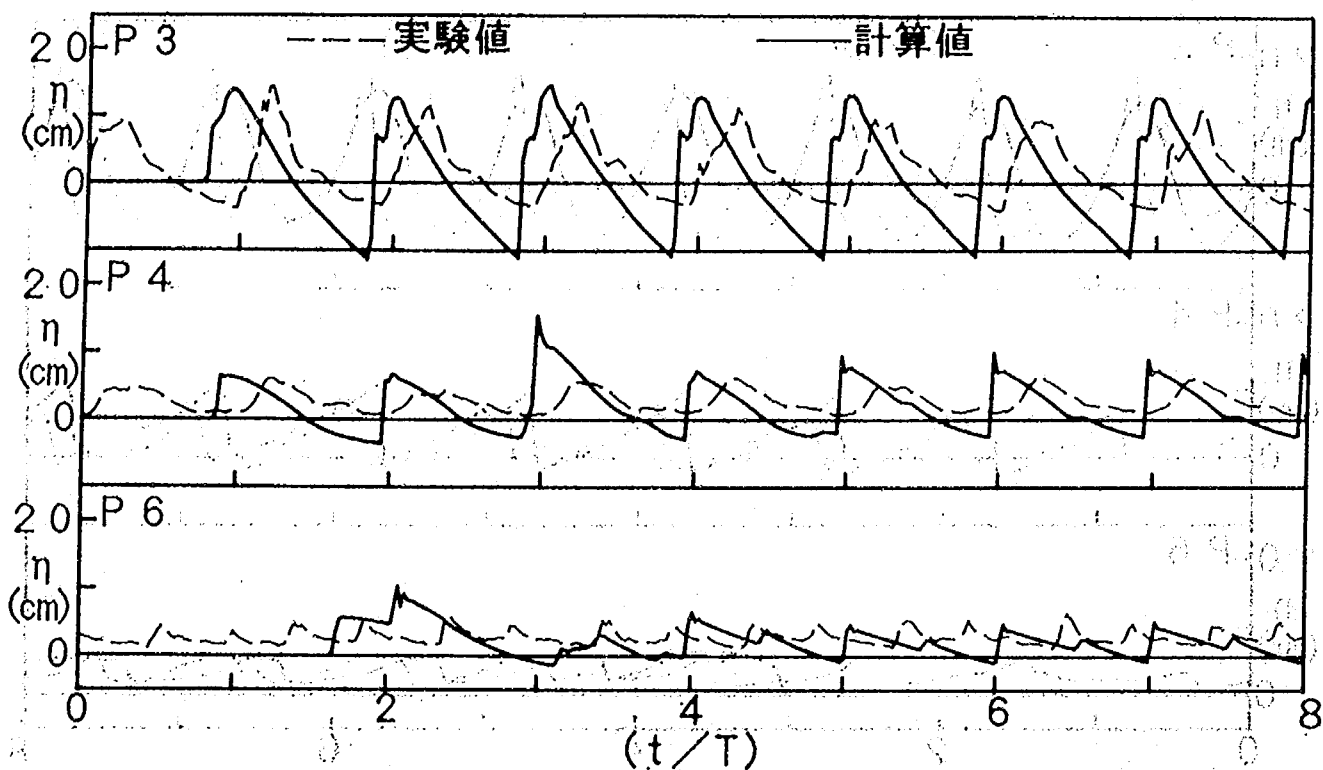


図-39 時間波形 (離岸堤+直立壁, $T=1.8$ sec)

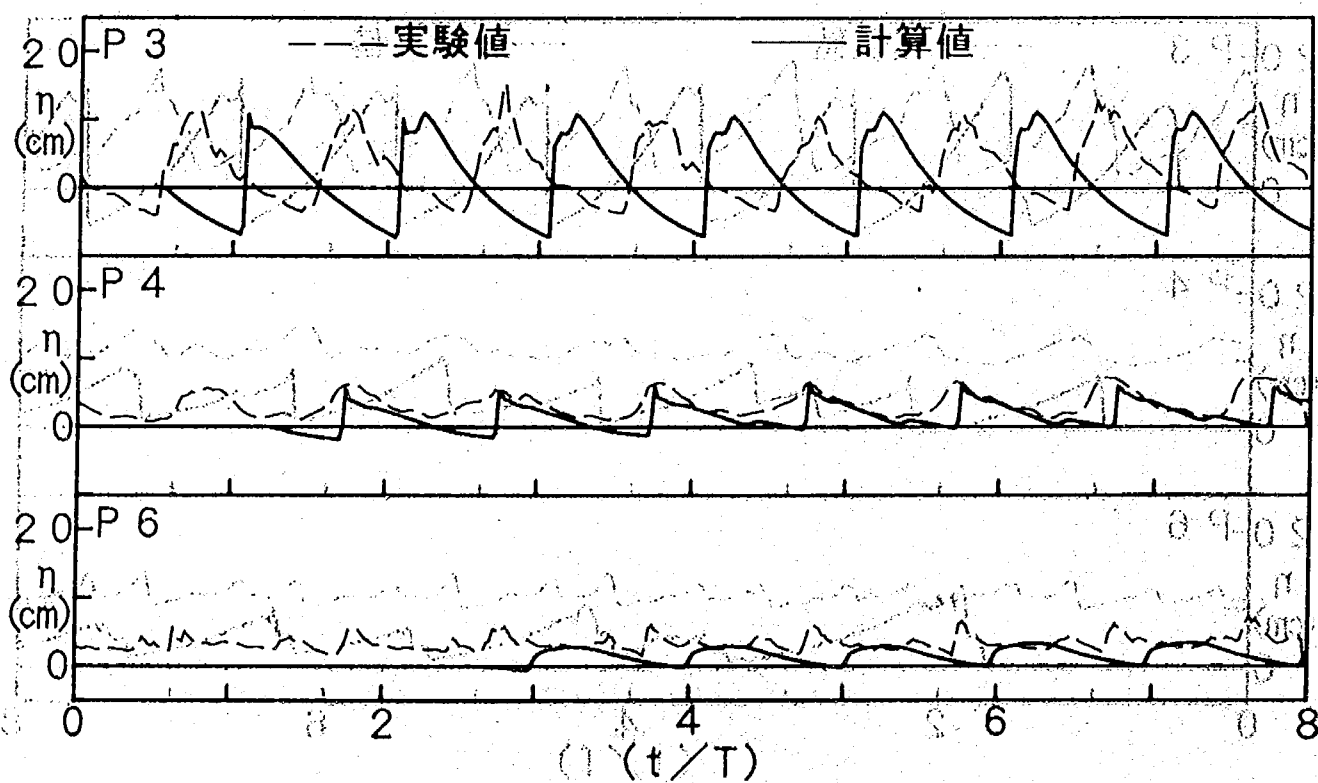


図-40 時間波形 (離岸堤+1/3勾配傾斜護岸, $T=2.0$ sec)

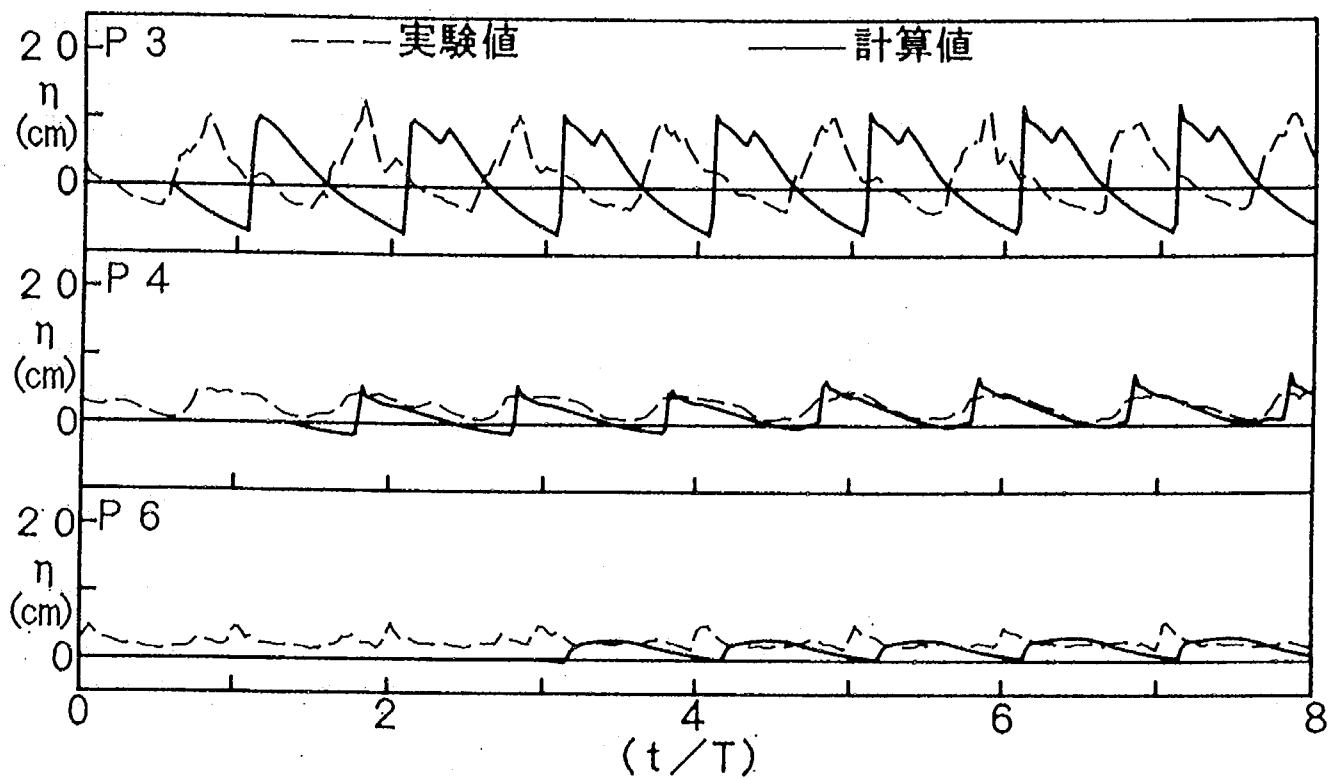


図-41 時間波形 (離岸堤+1/3勾配傾斜護岸, $T=1.8$ sec)

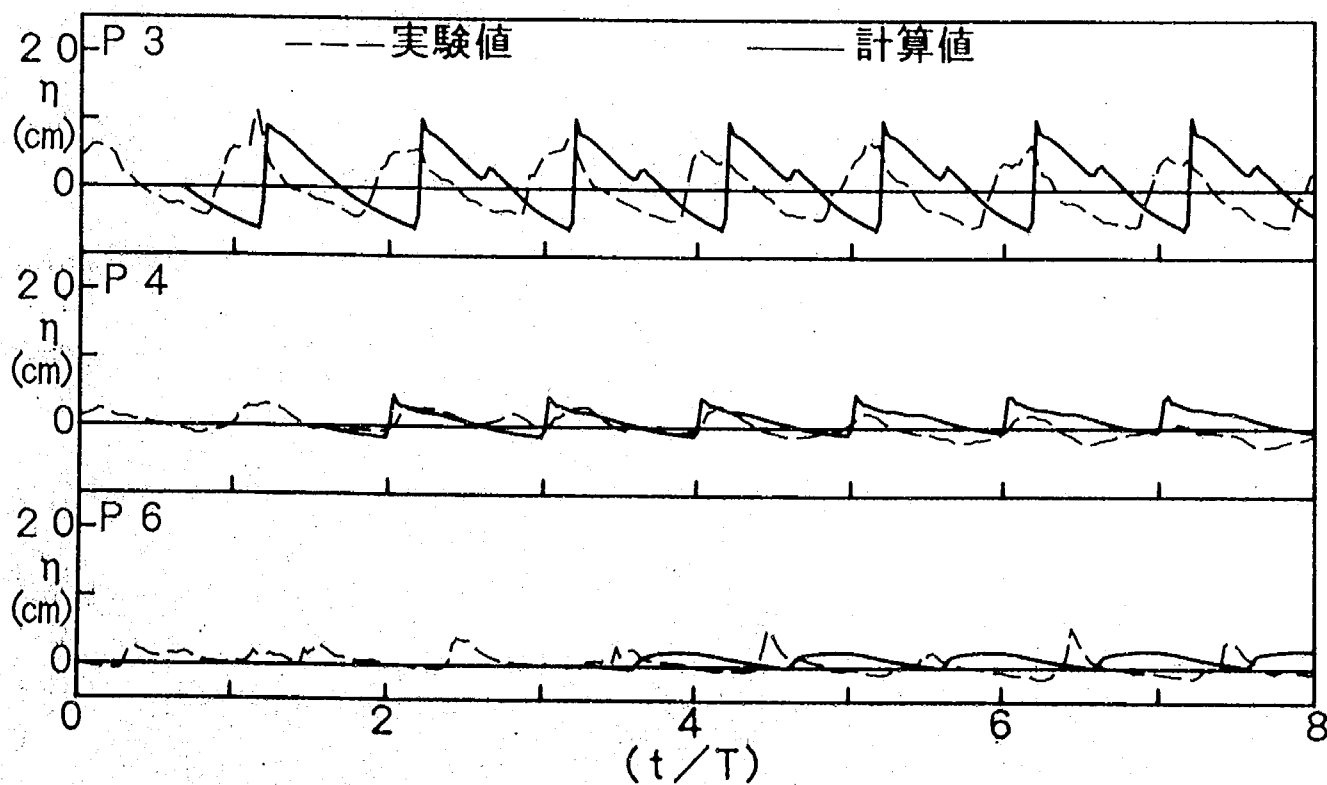


図-42 時間波形 (離岸堤+1/3勾配傾斜護岸, $T=1.6$ sec)

付 録 ー II

数 値 計 算 プ ロ グ ラ ム

ここでは、代表例として、岸側境界が傾斜護岸で与えられる場合のプログラムを示すこととし、メイン・プログラムと主なサブ・ルーチンについて説明する。計算に必要とされる時間は、海岸研究室に設置されているワークステーションHP360CH（横河・ヒューレット・パカード製、CPU: MC68030+MC68882 (25MHz)）を用いて、時間ステップ160000回、岸沖方向の格子点数約300程度で、約2時間である。

(1) メイン・プログラム

フロー・チャートを付図-1に示す。ほとんどをサブ・ルーチン化したので計算の流れは比較的容易に理解できよう。

(2) NLMOTI

運動方程式の計算を行い、線流量を計算する。プログラム中で最も重要な部分である。フロー・チャートを付図-2に示す。消波構造物の有無、遡上状態の確認を行い、 μ の値を使い分けて計算している。また、護岸付近でのメッシュ間隔も変化させている。

(3) NLCONT

連続式の計算を行う。判別水深を用いて、dryかwetを判断して計算を打ち切る。また、護岸上でメッシュ間隔も変化させている。

(4) MUHANSHY

沖側境界で反射波透過を行う。本文の図-2に示す Q_1 と沖側境界の距離 Δx は次のように決定する。

① Δx を仮定して u_1 , c_1 を求める。

② $(u_1 + c_1) \Delta t = \Delta x_1$ とする。

③ $|(\Delta x_1 - \Delta x)| / \Delta x_1$ がある条件を満たせば Δx_1 を決定して次のステップに進み、条件を満たさない場合には $\Delta x_1 = \Delta x$ として②に戻り計算を繰り返す。

本プログラムでは1ステップ目の初期値として Δx を与え、2ステップ目以降は前のステップの値をそのまま用いた。その結果、1ステップ目で数回、2ステップ目以降は1, 2回の計算で Δx_1 を決定できる。

(5) SLOPE

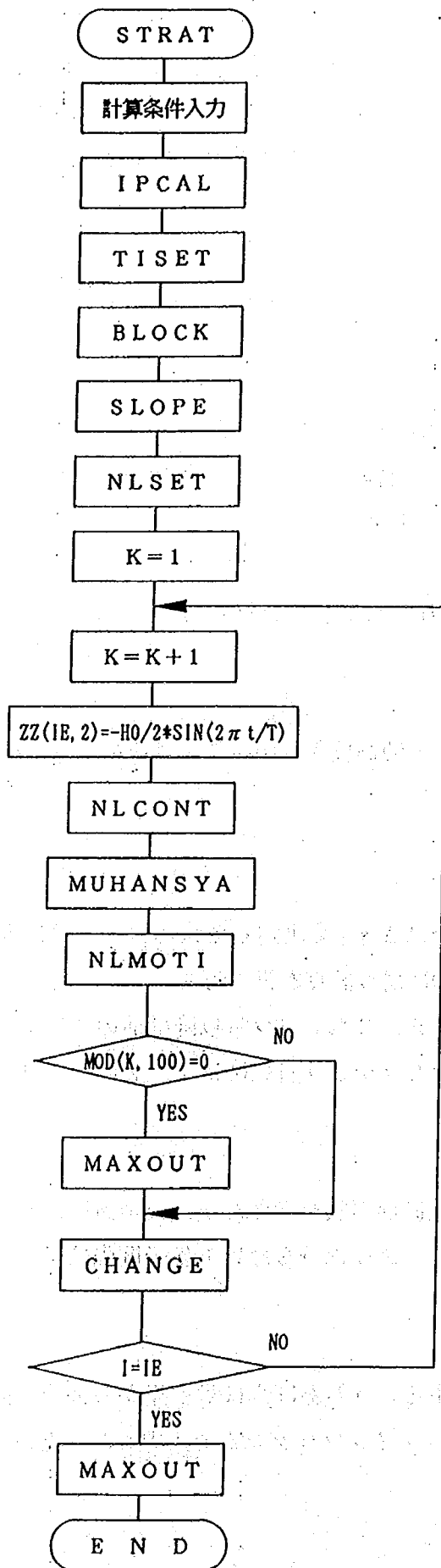
地形データを設定する。ここでは実験水槽のような海浜断面形状を考えたが、現地海岸に適用させるのはプログラムを書き換える必要がある。この場合、護岸部分を除いて格子間隔は岸沖方向に一様でなければならない。

(6) MAXOUT

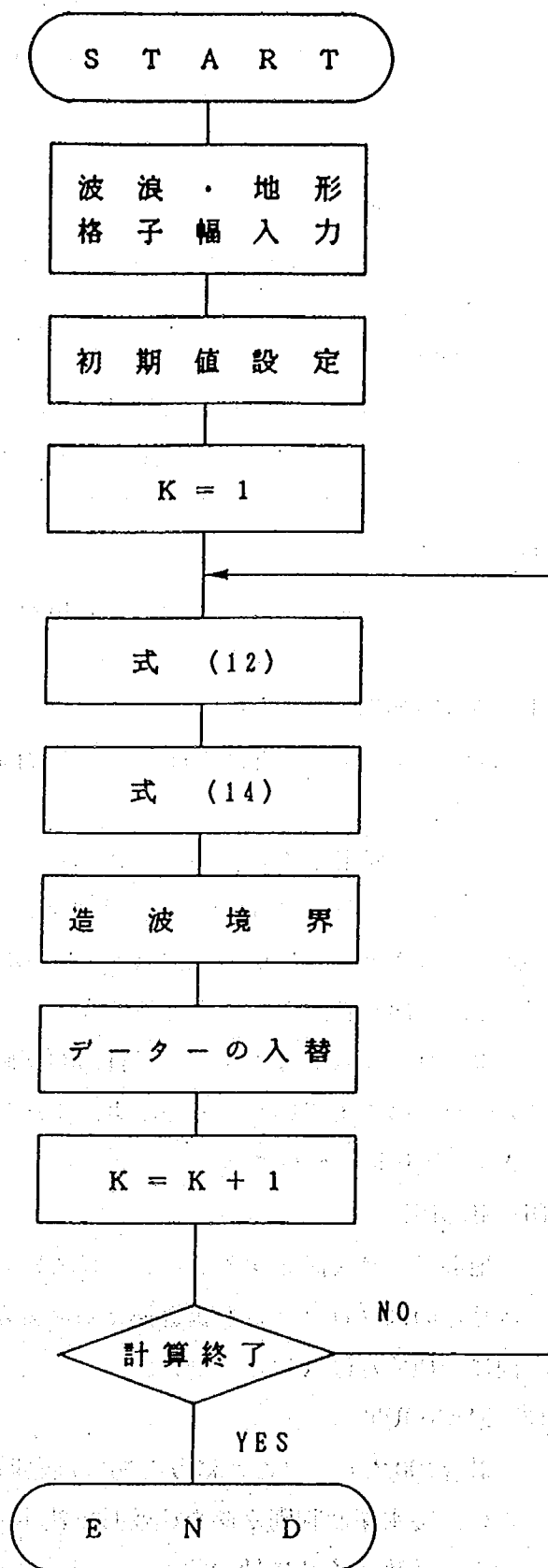
計算100ステップごとにうちあげ高と時間波形を出力する。うちあげ高は最も岸から沖合に向かい、実水深と判別水深を比較して決定する。時間波形はメインプログラムで入力した5点のものを、変数名Z-Sに抽出する。

(7) PROOUT

計算の最後の1周期の空間波形を1/4周期ごとに変数名Zに抽出する。



付図-1



付図-2

(8) OUTDAT

計算結果をファイルに出力する。本プログラムでは、MAXOUTで抽出したうちあげ高および時間波形と、PROOUTで抽出した空間波形を出力するようになっている。

```

C  浅水方程式による砕波帯内の波浪伝達の計算
C  岸側境界条件 == > 傾斜護岸
C  PROGRAM OF CALCULATE WAVE RUNUP BY SALLOW WATER EQUATION
C *****
C  <<<<CALCULATE CONDITION>>>>
C  DXA  : LENGTH OF MESH 岸沖方向格子間隔
C  DTA  : PERIOD OF MESH 時間格子間隔
C  RMESH : LENGTH OF MESH ON STEEP SLOPE RMESH*DXA 斜面上格子間隔
C  WAVE  : TIMES OF CALCILATE 計算波数
C  HO    : WAVE HEIGHT AT BREAKING POINT 砕波波高
C  T     : WAVE PERIOD (SEC) 周期
C  DSO   : SLOPE OF OFFSHORE 1/DSO 海底勾配
C  DS1   : SLOPE OF REVETMENT 1/DS1 斜面の勾配
C  SL    : SLOPE AT OFFSHORE BOUNDARY 砕波点の勾配
C  HZO   : DEPTH AT THE TOE OF SLOPE 堤脚水深
C  ZI    : DEPTH AT THE TOP OF SLOPE 堤防天端高
C  XX    : POSITION OF OFF SHORE BOUNDARY 沖側境界の位置
C  IE    : NO. OF OFFSORE BOUNDARY 沖側境界の格子番号
C  X1,X2 : POSITION OF WAVE BREAKING WORKS 消波構造物の位置
C  I1,I2 : NO. OF WAVE BREAKING WORKS 消波構造物の格子番号
C  XP(?) : POSITION OF DATA OUTPUT データ出力の位置
C  IP(?) : NO. OF DATA OUTPUT データ出力の格子番号
C  PF    : MANNING ROUGHNESS COEFFICIENT マニングの粗度係数
C  ALFA,BETA,GUMMA,TAU: ブロックの特性値
C *****
C  傾斜護岸  XPO  XPI  XP2  XP3  XX (沖側境界)
C  *         ↓   ↓   ↓   ↓   ↓
C  ↑         *         *         *         *
C  1 |         *         *         *         *
C  →-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
C  DSO         *         *         *         *         *         *         *         *
C  | |         *         *         *         *         *         *         *         *
C  *←堤脚水深 HZO         *         *         *         *         *         *         *         *
C  → | |         *         *         *         *         *         *         *         *
C  RMESH         *         *         *         *         *         *         *         *
C  *DXA         *         *         *         *         *         *         *         *
C  1 |         *         *         *         *         *         *         *         *
C  -----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
C  DSI (海底勾配)         *         *         *         *         *         *         *         *
C ***** DIMENSION DATA *****
C  (I:ON-OFF SHORE POSITION,J:=2 NOW,=1 BEFORE STEP DATA)
C  ZZ(I,J): WATER PROFILE 水面形
C  QX(I,J): FLOW VOLUME 線流量
C  DZ(I,J): ACTUAL DEPTH 実水深
C  UX(I,J): VELOCITY ( UX(I,J)=QX(I,J)/DZ(I,J) ) 流速
C  HZ(I,J): STATIC DEPTH 静水深
C  ZS(IT,IP(?)): OUTPUT WATER PROFILE DATA AT TIME STEP=>IT
C  R(IT) : RUNUP HEIGHT うちあげ高
C *****
C  DIMENSION ZZ(700,2),QX(700,2),UX(700),DZ(700),HZ(700)
C  DIMENSION HX(700),ZMAX(700),UMAX(700),IP(5),XP(5)
C  DIMENSION R(2000),TI(2000),H(700)
C  DIMENSION Z(700,6),ZMX(700),ZMIN(700)
C  DIMENSION ZS(2000,5),ZM(700),XY(700),QO(2000,5)
C  DATA PI/3.1415926/,PF/0.01/
C  DTA=0.0001
C  DXA=0.003
C  DTS=DTA/DXA
C  RMESH=0.1

```

```

C   BEACH SLOPE 海底勾配 護岸勾配 堤脚水深 法肩の高さ>最大うちあげ高
      DS0=20.0
      DS1=1.0
      HZ0=0.0
      Z1=0.2
      WAVE=8.0
C   WAVE CONDITION 碎波波高 周期
      H0=0.214
      T=1.4
C   沖側境界の座標
      XX=0.304*ds0
C   消波構造物の座標
      X1=15.0
      X2=15.0
C   時間波形を出力する座標
      XP(0)=0.0
      XP(1)=xx/4
      XP(2)=2*xx/4
      XP(3)=3*xx/4
      XP(4)=xx
C   座標値から格子番号を計算
      CALL IPCAL(Z1, DS1, DXA, RMESH, XX, X1, X2, XP, I1, I2, IP, IG, IE, IS, DX1)
C   時間に関するデータの初期設定
      CALL TISSET(T, WAVE, DTA, IWP, IST, IPP, NTI, KE)
C   ブロック・データの入力
      CALL BLOCK(ALFA, BETA, GUMMA, TAU)
C   海底地形の決定
      CALL SLOPE(IG, DXA, HZ, XY, RMESH, DS0, DS1, HZ0, IQ, Z1, SL)
C   初期値の決定
      CALL NLSET(IG, ZZ, QX, UX, DZ, HZ, HX, ZMAX, UMAX, ZM, ZMX, ZMIN)
C   <<<<<MAIN ROUTINE>>>>> メイン・プログラム
      DO 300 K=2, KE
C   連続式の計算
      CALL NLCONT(IS, IE, ZZ, QX, DZ, HZ, DTS, IQ, I1, I2, GUMMA, RMESH, ZMX, ZMIN)
      ZZ(IE, 2)=-H0/2*SIN(2*PI*K/IWP)
C   反射波透過の計算
      CALL MUHANSYA(QX, ZZ, HZ, IE, DZ, DX1, DXA, DTA, SL, QX11, QX01)
C   運動方程式の計算
      CALL NLMOTE(IG, IS, IE, ZZ, QX, UX, DZ, HZ, HX, DTS, FF, DTA
      +, I1, I2, ALFA, BETA, GUMMA, TAU, XX, ZM, IQ, RMESH)
      IF(K.LT. IFIX(WAVE-1.0)*T/DTA) GOTO 260
      IF(K.GT. IFIX(WAVE)*T/DTA) GOTO 260
      J=MOD(K, IFIX(T/DTA/4))
      IF(J.NE.1) GOTO 260
C   空間波形の出力
      CALL PROOUT(Z, ZZ, IPP, IE, IP)
C   データの交換
260  CALL CHANGE(IG, IE, ZZ, QX, UX, ZMAX, UMAX, QX11, QX01)
      IF(MOD(K, 100).NE.0.0) GOTO 300
C   うちあげ高と水面形の抽出
      CALL MAXOUT(IG, ZZ, HZ, R, K, ZS, TI, I, R, NTI, UX, Q0)
      WRITE(*, 400) K*DTA, R(n(1)), (ZS(NTI, I), I=1, 35)
400  FORMAT(7F7.4)
300  CONTINUE
      DO 1100 I=1, IG
1100  H(I)=ZMX(I)-ZMIN(I)
      CALL OUTDAT(IG, H, TI, DTA, R, ZS, IPP, NTI, XX, X1, X2, XY, HZ, Z)
      STOP
      END

```


[illegible]

浅水方程式によるうちあげ高算定手法 土木研究所資料第3120号
平成4年6月(1992)
河川部海岸研究室

要 旨

浅水方程式を基礎に、砕波帯内の波浪変形と波のうちあげ高を計算するモデルを開発した。本方式では、反射波の透過可能な沖側境界を設定することにより、設計波高と周期のみが与えられる条件でモデル化した時間波形を入力することにより、うちあげ高の計算が可能である。モデルによる計算値は実験値と比較され、波浪変形と波のうちあげ高の計算がかなり高い精度で可能なことを示す。

キーワード：浅水方程式、うちあげ高、砕波変形、特性曲線、数値計算、計算プログラム



郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部海岸研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第3120号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

土木研究所資料第3120号



浅水方程式によるうちあげ高算定手法