

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

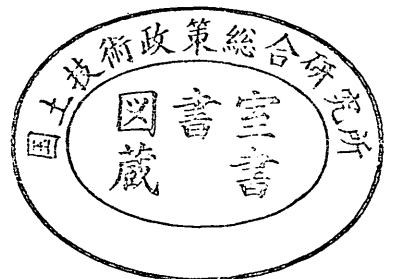
資料係
文献複写
禁持出

VOL. 7

NO. 4

DEC. 1968

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。ただし第1巻から第6巻および欧文編第1号から第15号までは下記のとおり不定期に刊行された。

報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

和文篇 (Japanese Edition)

Vol. 1. No. 1 (1963)

Vol. 2. Nos. 1~3 (1963~1964)

Vol. 3. Nos. 1~7 (1964)

Vol. 4. Nos. 1~11 (1965)

Vol. 5. Nos. 1~15 (1966)

Vol. 6. Nos. 1~8 (1967)

欧文篇 (English Edition)

Report Nos. 1~15 (1963~1967)

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The report prior to the seventh volume were published in two series in Japanese and English as listed above.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第7巻 第4号 (Vol. 7, No.4) 1968年12月 (DEC. 1968)

目 次 (CONTENTS)

1. 水波上の性質について……………浜田 徳 …… 3
(On some properties of wind over water waves Tokuichi HAMADA)
2. 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)
——模型実験との比較——
……………伊藤喜行・木原 力……………23
(Digital Computation on the Effect of Breakwaters against Long-period Waves
(3rd Report)…)…
——Comparison with experiments——
Yoshiyuki ITO and Tsutomu KIHARA,)
3. 長周期波に対する防決堤の効果に関する計算 (第4報)
——1968十勝沖地震津波に対する大船渡防波堤の効果——
……………伊藤喜行・谷本勝利・木原 力……………55
(Digitel Computation on the Fffect of Breakwaters against Long-period Waves
(4th Report)
——On the Effect of Ofuuato Tsunami Breakwater against the Tsunami caused
by the Earthauake on May 16 1968——
…………… Yoshiyuki ITO Katsutoshi TANIMOTO and Tsutomu KIHARA
4. 生石灰による沖積粘土の安定処理について (第1報)
……………柳瀬重靖……………85
(Stabil zation of Alluvical Clays with Quicklime…… Shigeyasu YANESE)
5. 幹面安定解析におけるビンヨップ法とチェボタリオフ法の比較
……………野村健司・早藤能伸・長友文昭…………… 133
(Comparison betemeen Bishop's method and Tschebotarioff's method in slope
stafiliy analysis
……………Keuji NOMURA・Yoshinobu HAYAFUJI and Fumiaki NAGATOMO

2. 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)

—模型実験との比較—

伊藤喜行*・木原力**

要 旨

津波などの長周期波に対する防波堤の効果について、われわれはこれまで専ら数値計算によって検討を重ねてきた。すなわち簡単な流入方式の計算から始まって、電子計算機による波動方式計算法およびその近似としての一次元計算法を確立し、大船渡津波防波堤その他へ具体的に應用してきた。こうした計算法が実際の現象とどの程度符号するかを検討するため、今回比較的単純なL字形湾の模型を製作して実験を行ない、計算結果との比較を試みた。結果は次の通りである。

1. 波動方式による計算値は実験値と非常によく符合する。
2. 一次元計算法は防波堤が無い場合には良い結果を与えるが、防波堤がある場合には必ずしもよい近似は得られない。

* 水工部 防波堤研究室長

** 水工部 防波堤研究室

2. Digital Computation on the Effect of Breakwaters against Long-period Waves (3rd Report)

—Comparison with experiments—

Yoshiyuki ITO*

Tsutomu KIHARA**

Synopsis

In the preceding reports, the calculating way called wave motion method and approximate one-dimensional method were established and they were applied to Ofunato-bay. Since then, the effect of breakwaters against long-period waves has been investigated, by numerical computation with a digital computer, for Niigata Port, Matsushima-bay and Nagoya port.

In this report, the results of the computations are compared with those of experiments made in a simple L-shaped model basin in order to investigate how these theories agree well with a real phenomenon. The results are as follows.

1. Results obtained by wave motion method show a good agreement with those of experiments.
2. Approximate one-dimensional method gives a good result only in case of without breakwaters.

* Chief of Breakwater Laboratory, Hydraulics Division

** Member of Breakwater Laboratory

目 次

要 旨	23
1. ま え が き	27
2. 実験法および実験結果	27
3. 計算結果と実験結果の比較——防波堤がある場合	29
4. 計算結果と実験結果の比較——防波堤がない場合	33
5. あとがき	38
参 考 文 献	38
附 録	39
1. 波動方式による計算法	39
1.1 格子分割	39
1.2 差分方程式	39
1.3 接合部の計算	40
1.4 港口における計算	40
1.5 初期条件および境界条件	40
1.6 時間間隔	41
1.7 計 算	41
2. 一次元近似計算法	41
2.1 防波堤がある場合の計算法	41
2.2 防波堤がない場合の計算法	43
3. 補 足	43
3.1 一次元計算結果と実験結果の比較——防波堤がある場合	43
3.2 造波板下部の隙間の影響	43
3.3 波動方式による計算結果の図説明	43

1. ま え が き

われわれは、すでに“長周期波に対する防波堤の効果に関する計算”の第1報¹⁾、第2報²⁾において波動方式と称する計算法を確立し、大船渡湾に対する具体的な数値計算結果を示した。その後、この計算方式は新潟港³⁾、松島湾⁴⁾、名古屋港⁵⁾にも適用してきた。

この計算方式は、流体の運動方程式と連続方程式とを適当な初期条件および境界条件のもとに解いたものであるが、これが実際の現象とどの程度符号するかを検討するため、今回比較的単純なL字形湾の模型を製作して実験を行ない、計算結果との比較を試みた。ただし、模型実験では水槽の側壁や造波板からの再反射波の影響があり、特に長周期波を対象とするとき、その処理が極めて困難となる。そこで計算にはこれらをも境界条件の中に取り入れ、従来の計算方法をその場合に適用して結果を求めた。

実験と計算との比較は、湾形に関する若干のケースについて、各周期毎の定常状態における湾奥の水位を求めて行なったのであるが、その結果は極めて良好な一致を示した。

第4報においては、1968 十勝沖地震津波に対する大船渡津波防波堤の効果論を論ずる予定であるが、そこでも計算結果は実測記録とよく一致しており、われわれの計

算方式の妥当性は十分実証されたものと思う。

なお、第1報、第2報では一次元近似計算法なるものを提示した。これは比較的横方向の変化の少ない場合、波動方式による計算の近似解の役割を果し、また現象を把握する上で極めて有効な方法である。しかし防波堤の無い場合には、本報告で述べるように定量的にも良好な結果が得られるが、防波堤のある時には、格子間隔の取り方によって数値が大幅に異なること、港口損失の取り入れ方に難点があることのため、必ずしもよい近似は得られない。したがって、電子計算機による波動方式計算を多数のケースについて実施できる現在、あまりこれに拘泥する必要はないので、本報告では簡単に触れる程度にとどめる。

2. 実験法および実験結果

(1) 実験装置および測定

実験水槽は図2.1に示すごとく、矩形部にL字形部が接続された形状をなす。造波装置はピストン型、3馬力で造波板と側壁および底面との間隙はできるだけ小さくせしめてある。今後は便宜的に矩形部を湾外、L字形部を湾内、かつ防波堤奥部を港内と称することにする。

実験は常に静止状態から始め、測定は湾奥又は湾奥から5cm手前の水路の中央の点で、水位を抵抗線式波高計によりペン書きオシログラフに記録せしめた。

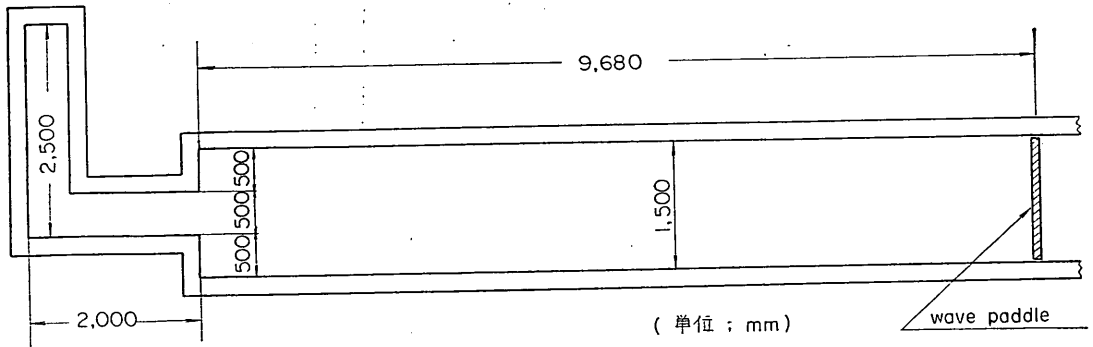


図-2.1 実験水槽

(2) 実験ケース

実験は防波堤の有無ないしはその位置により、図2.2に示す7ケースについて行なった。表2.1に各ケース別の実験諸元を示す。周期は各ケースを通じて、原則とし

て4~12秒の0.5秒間隔である。

なお、ケース1、ケース2において湾幅に対する港口幅の比は $1/3$ とした。

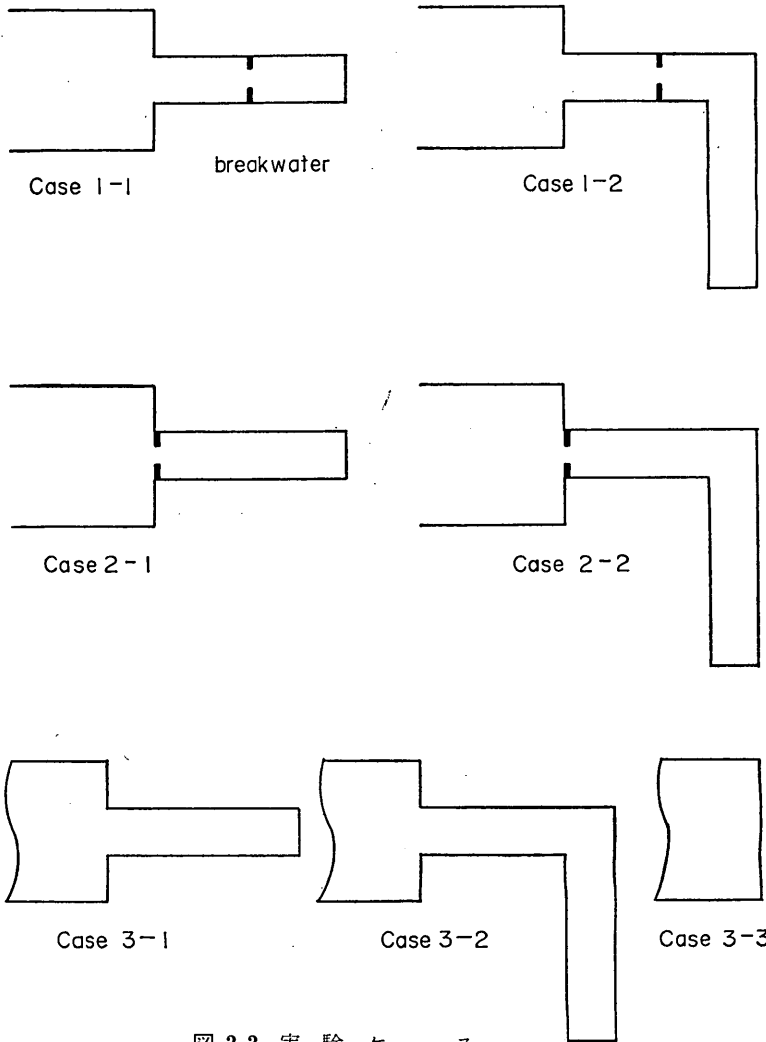


図-2-2 実験 ケー ス

表2.1 実 験 諸 元

(単位 : cm)

Case	水 深	造 波 板 偏 心	湾 長	港 長
1-1	30	5, 7.5	100	100
1-2	"	5	"	300
2-1	"	"	0	200
2-2	"	"	"	400
3-1	30, 25	"	200	0
3-2	25	"	400	"
3-3	"	"	0	"

長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)

(3) 実験結果

実験結果は計算結果との比較上、 ζ/e なる無次元表示

表2.2 実験結果 (Case 1)

T	1 - 1		1 - 2
	$e=5$	$e=7.5$	
4.0	0.61	0.67	0.82
4.5	0.59	0.49	0.25
5.0	0.63	0.60	0.25
5.5	0.64	0.56	0.99
6.0	0.75	0.68	0.35
(6.2)	—	0.76	—
6.5	0.81	0.72	0.29
7.0	0.46	0.47	0.24
7.5	0.36	0.33	0.25
8.0	0.25	0.24	0.29
8.5	0.29	0.24	0.29
9.0	0.25	0.23	0.33
9.5	0.23	0.23	0.31
10.0	0.21	0.23	0.30
10.5	0.32	0.36	0.26
11.0	0.44	0.39	0.27
11.5	0.59	0.80	0.29
12.0	0.83	0.85	0.32

表2.3 実験結果 (Case 2)

T	2 - 1	2 - 2
4.0	0.45	0.89
4.5	0.39	0.29
5.0	0.40	0.28
5.5	0.60	1.20
6.0	0.49	0.34
6.5	0.41	0.27
7.0	0.40	0.25
7.5	0.28	0.22
8.0	0.21	0.28
8.5	0.24	0.29
9.0	0.20	0.31
9.5	0.20	0.29
10.0	0.19	0.25
10.5	0.21	0.24
11.0	0.32	0.24
11.5	0.39	0.26
12.0	0.39	0.25

した。ここに ζ は定常状態後の半波高、 e は造波板偏心を表わす。実験結果を各ケース別に表2.2~2.4に示す。

表2.4 実験結果 (Case 3)

T	3 - 1		3 - 2	3 - 3
	$h=25$	$h=30$		
4.0	1.42	0.68	1.59	1.14
(4.4)	—	0.84	—	—
4.5	0.46	1.39	0.77	0.42
(4.65)	—	1.75	—	—
(4.75)	—	1.52	—	—
5.0	1.23	0.95	0.26	0.24
(5.05)	—	0.80	—	—
5.5	0.59	0.68	0.30	0.23
6.0	0.44	0.87	1.30	1.04
(6.1)	—	1.17	—	—
(6.4)	—	1.75	—	—
6.5	0.64	1.37	0.32	0.70
(6.6)	—	1.20	—	—
7.0	1.01	0.49	0.35	0.14
7.5	0.58	0.39	0.21	0.15
8.0	0.29	0.25	0.28	0.14
8.5	—	0.28	0.38	0.13
(8.7)	—	—	0.44	—
9.0	0.31	0.26	0.59	0.12
(9.25)	—	—	0.60	—
9.5	0.23	0.21	0.58	0.11
10.0	0.17	0.21	0.48	0.12
10.5	0.17	0.27	0.30	0.13
11.0	0.22	0.38	0.27	0.24
11.5	0.28	0.63	0.26	0.80
12.0	0.27	1.10	0.25	0.75

3. 計算結果と実験結果の比較——防波堤がある場合

計算は既刊の第1報、第2報に基づいて、波動方式による計算と、一次元近似計算とについて行なった。その計算方法は附録で述べる。

計算結果を ζ/e なる無次元値で各ケース別に表3.1~3.4に示す。ここで波動方式による計算結果としては造波板偏心 e を5cmとして、附録1に示す計算法により港奥水位の時間的変化を求め、始めの数波を取り除いた後の平均半波高 ζ を e で除した値を表示した。また一次元計算結果は格子間隔 Δx をパラメータとして表示

表3.1 計算結果 (Case1-1)

T	波動方式 による計 算値	1次元計算値					
		0	10	20	30	40	50
4.0	0.76	0.67	0.63	0.59	0.57	0.55	0.53
4.5	0.72	3.71	1.43	0.90	0.66	0.53	0.44
5.0	0.81	0.72	1.00	1.59	3.76	10.97	2.27
5.5	0.80	0.56	0.61	0.67	0.75	0.84	0.96
6.0	0.95	1.10	1.01	0.93	0.87	0.82	0.77
6.5	0.93	1.50	2.41	5.89	14.11	3.25	1.85
7.0	0.74	0.43	0.50	0.60	0.74	0.97	1.42
7.5	0.37	0.26	0.29	0.33	0.37	0.43	0.50
8.0	0.30	0.21	0.23	0.24	0.27	0.29	0.33
8.5	0.28	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26
9.0	0.28	0.19	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24
9.5	0.25	0.20	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24
10.0	0.29	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25	0.26
10.5	0.49	0.27	0.28	0.28	0.30	0.30	0.31
11.0	0.68	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.41
11.5	0.82	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.65
12.0	0.92	2.56	2.39	2.25	2.12	2.00	1.90

表3.3 計算結果 (Case2-1)

T	波動方式 による計 算値	1次元計算値					
		0	10	20	30	40	50
4.0	0.57	0.67	0.53	0.44	0.37	0.32	0.28
4.5	0.44	3.63	0.94	0.54	0.38	0.29	0.24
5.0	0.54	0.72	1.22	4.02	3.10	1.11	0.68
5.5	0.56	0.56	0.60	0.65	0.71	0.78	0.87
6.0	0.56	1.09	0.85	0.69	0.58	0.50	0.44
6.5	0.55	1.52	7.30	2.60	1.10	0.70	0.51
7.0	0.46	0.43	0.58	0.93	2.30	4.85	1.18
7.5	0.35	0.26	0.32	0.40	0.55	0.85	1.92
8.0	0.26	0.21	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56
8.5	0.22	0.19	0.21	0.23	0.26	0.31	0.36
9.0	0.21	0.19	0.20	0.22	0.24	0.27	0.30
9.5	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.28
10.0	0.24	0.22	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29
10.5	0.43	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32
11.0	0.59	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40
11.5	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
12.0	0.67	2.50	2.07	1.77	1.54	1.37	1.23

表3.2 計算結果 (Case1-2)

T	波動方式 による計 算値	1次元計算値					
		0	10	20	30	40	50
4.0	0.80	0.86	0.87	0.88	0.89	0.91	0.95
4.5	0.32	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19
5.0	0.46	0.33	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21
5.5	0.63	32.70	5.63	2.61	1.70	1.27	1.01
6.0	0.49	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
6.5	0.24	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.18
7.0	0.25	0.28	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16
7.5	0.29	0.39	0.31	0.25	0.22	0.19	0.17
8.0	0.37	0.87	0.54	0.40	0.31	0.26	0.22
8.5	0.41	3.33	2.98	1.04	0.63	0.45	0.35
9.0	0.42	0.64	0.98	2.10	16.32	1.68	0.89
9.5	—	0.40	0.48	0.61	0.82	1.27	2.77
1.00	0.36	0.32	0.35	0.40	0.46	0.54	0.65
10.5	—	0.29	0.31	0.33	0.36	0.39	0.42
11.0	0.34	0.29	0.30	0.31	0.32	0.34	0.35
11.5	—	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33
12.0	0.41	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34

表3.4 計算結果 (Case2-2)

T	波動方式 による計 算値	1次元計算値					
		0	10	20	30	40	50
4.0	1.27	0.87	1.06	1.36	1.91	3.22	10.67
4.5	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28
5.0	0.51	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
5.5	1.10	52.67	24.63	9.97	6.24	4.53	3.55
6.0	0.59	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28
6.5	0.27	0.26	0.24	0.21	0.20	0.18	0.17
7.0	0.26	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16	0.15
7.5	0.29	0.39	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16
8.0	0.37	0.86	0.53	0.38	0.30	0.25	0.21
8.5	0.38	3.42	2.70	0.97	0.59	0.42	0.33
9.0	0.39	0.64	1.00	2.28	8.15	1.46	0.80
9.5	—	0.40	0.48	0.61	0.82	1.29	2.99
10.0	0.30	0.32	0.35	0.40	0.45	0.52	0.62
10.5	—	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.40
11.0	0.31	0.29	0.30	0.30	0.31	0.32	0.32
11.5	—	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
1.20	0.39	0.37	0.37	0.34	0.33	0.31	0.30

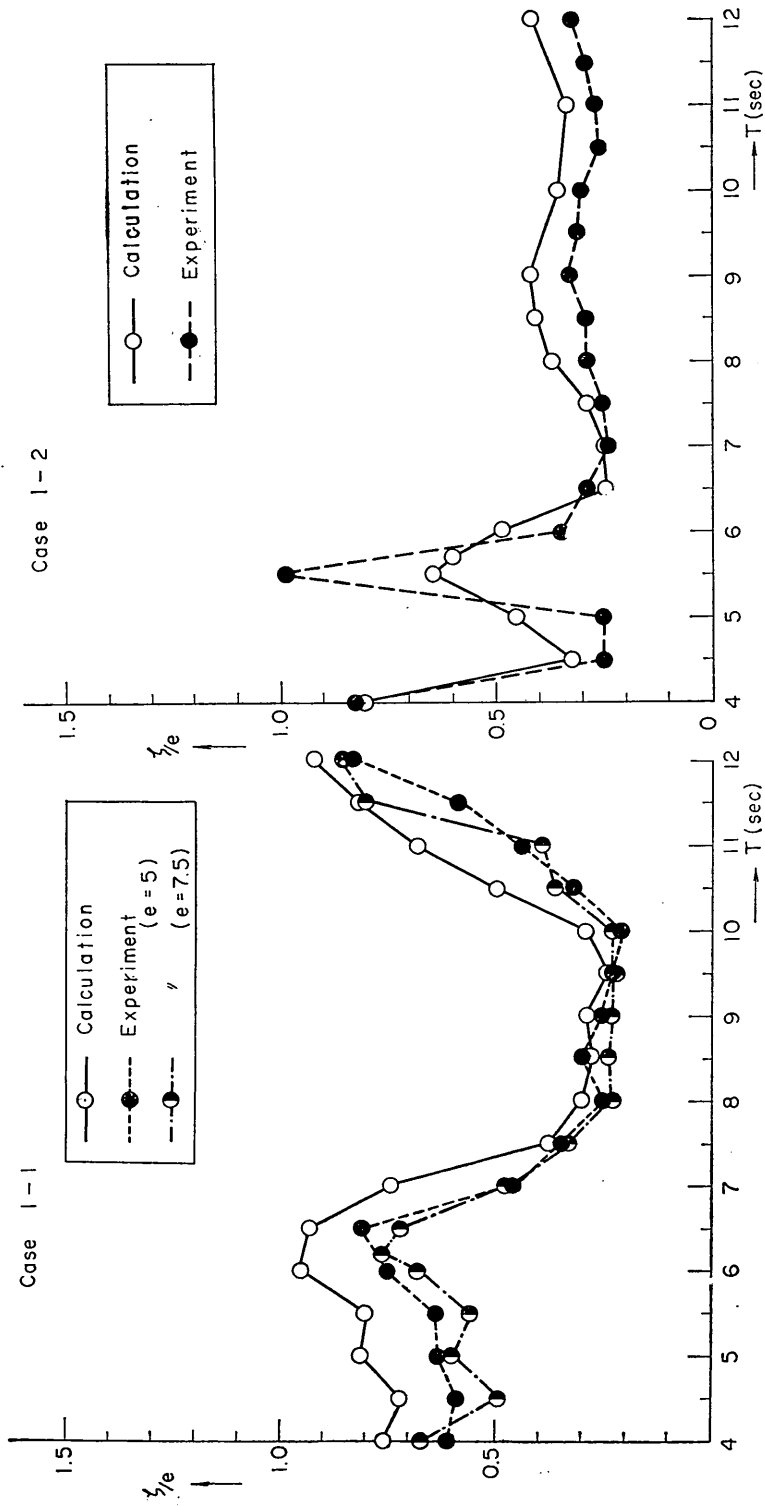


図-3.1 計算値と実験値の比較

図-3.2 計算値と実験値の比較

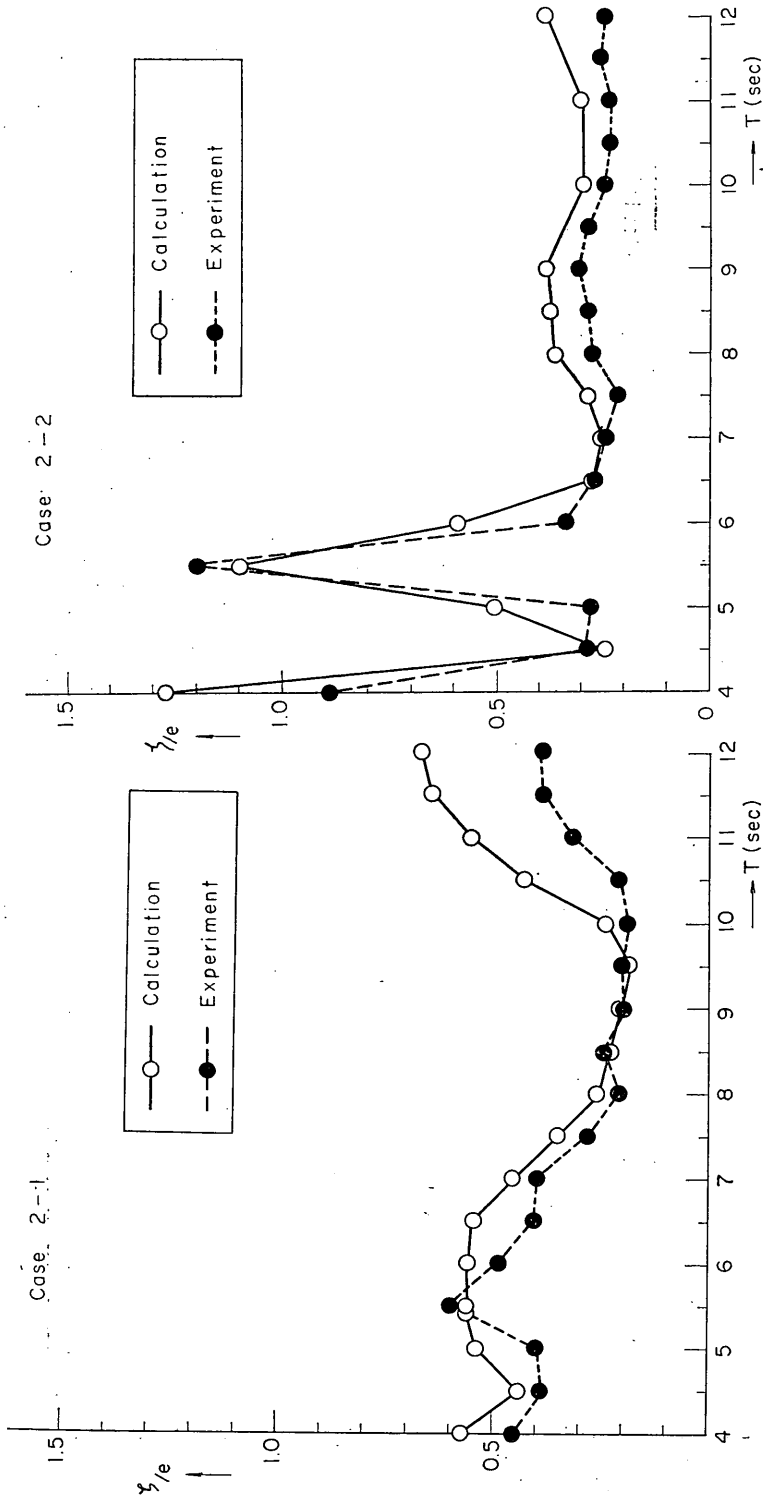


図-3.3 計算値と実験値の比較

図-3.4 計算値と実験値の比較

長周期波に対する防波堤の効果に関する計算（第3報）

した。

1.にも述べたように、防波堤がある場合の一次元計算値は格子間隔 Δx の値の取り方により、 ζ/e の値は勿論その共振周期も異なって一義的に定め難い。そこで一次元計算値と実験値の比較は附録3で検討することとし、ここでは実験値と波動方式による計算値との比較を図3.1~3.4に示す。

4. 計算結果と実験結果の比較——防波堤がない場合

防波堤がない場合は、今回のような単純な形の模型湾では横方向の変化が少なく、一次元近似計算で良好な近似が得られることが予想される。

ケース3に対する一次元計算結果を、前ケースと同様 Δx をパラメーターとして表4.1(a)~4.3に示す。[計算法は附録を参照] また Δx を 0, 30, 50cm とした場合の計算値をケース3-1, 3-2について図4.1(a)~4.2に示す。これらの図からもわかるとおり、防波堤がない場合においては格子間隔 Δx が波長 L に比し小さければ、値 ζ/e はさ程変化を受けない。そこで Δx を 0 とした値をこのケースの一次元計算結果とし、実験結果との比較を図4.3(a)~4.5に示す。

このケースについては一次元近似計算で良好なる近似が得られたので、波動方式による計算は省略した。

表4.1(a) 一次元計算結果(Case3-1) $h=25\text{cm}$

T	一次元計算値					
	0	10	20	30	40	50
4.0	1.49	1.57	1.66	1.76	1.88	2.01
4.5	0.59	0.56	0.53	0.51	0.48	0.46
5.0	27.54	5.91	3.31	2.30	1.75	1.41
5.5	0.58	0.62	0.65	0.70	0.75	0.80
6.0	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49
6.5	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
7.0	2.93	3.84	5.59	10.28	65.73	14.84
7.5	0.45	0.48	0.50	0.53	0.56	0.59
8.0	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
8.5	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21
9.0	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18
9.5	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
10.0	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
10.5	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
11.0	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
11.5	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
12.0	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

表4.1(b) 一次元計算結果(Case 3-1) $h=30\text{cm}$

T	一次元計算値					
	0	10	20	30	40	50
4.0	0.67	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56
4.5	3.63	2.59	2.01	1.64	1.38	1.19
5.0	0.72	0.77	0.82	0.88	0.94	1.02
5.5	0.56	0.56	0.57	0.58	0.58	0.59
6.0	1.09	1.05	1.01	0.97	0.94	0.90
6.5	1.52	1.71	1.96	2.30	2.77	3.49
7.0	0.43	0.44	0.46	0.48	0.50	0.53
7.5	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.30
8.0	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23
8.5	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20
9.0	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20
9.5	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
10.0	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23
10.5	0.27	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28
11.0	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
11.5	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62
12.0	2.50	2.43	2.36	2.30	2.24	2.18

表4.2 一次元計算結果(Case 3-2)

T	一次元計算値					
	0	10	20	30	40	50
4.0	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64
4.5	0.41	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44
5.0	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
5.5	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28
6.0	6.80	6.31	5.89	5.51	5.18	4.88
6.5	0.36	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34
7.0	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21
7.5	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20
8.0	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23
8.5	0.45	0.42	0.40	0.38	0.36	0.35
9.0	1.59	1.34	1.15	1.01	0.90	0.81
9.5	1.01	1.25	1.44	1.71	2.10	2.70
10.0	0.45	0.47	0.49	0.52	0.54	0.57
10.5	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.35
11.0	0.26	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28
11.5	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25
12.0	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25

Case 3-1 (h = 25)

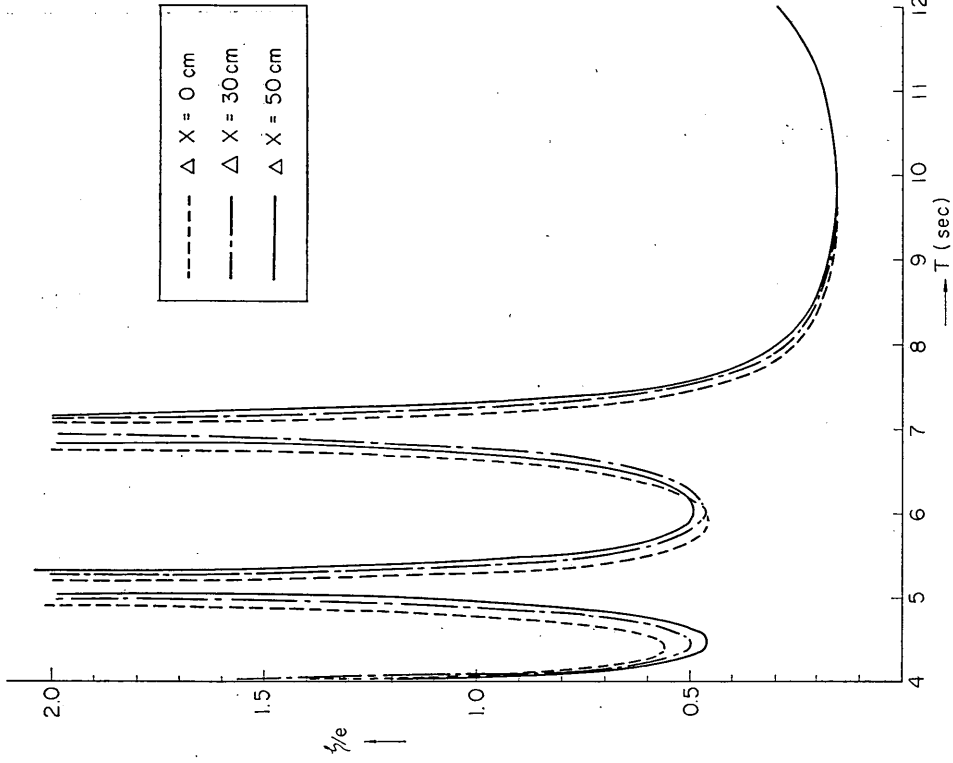


表4.3 一次元計算結果
(Case 3-3)

T	ζ/e
4.0	0.88
4.5	0.31
5.0	0.20
5.5	0.26
6.0	0.87
6.5	0.51
7.0	0.21
7.5	0.15
8.0	0.13
8.5	0.12
9.0	0.12
9.5	0.13
10.0	0.15
10.5	0.18
11.0	0.24
11.5	0.37
12.0	0.87

図4-1(a) 一次元計算結果

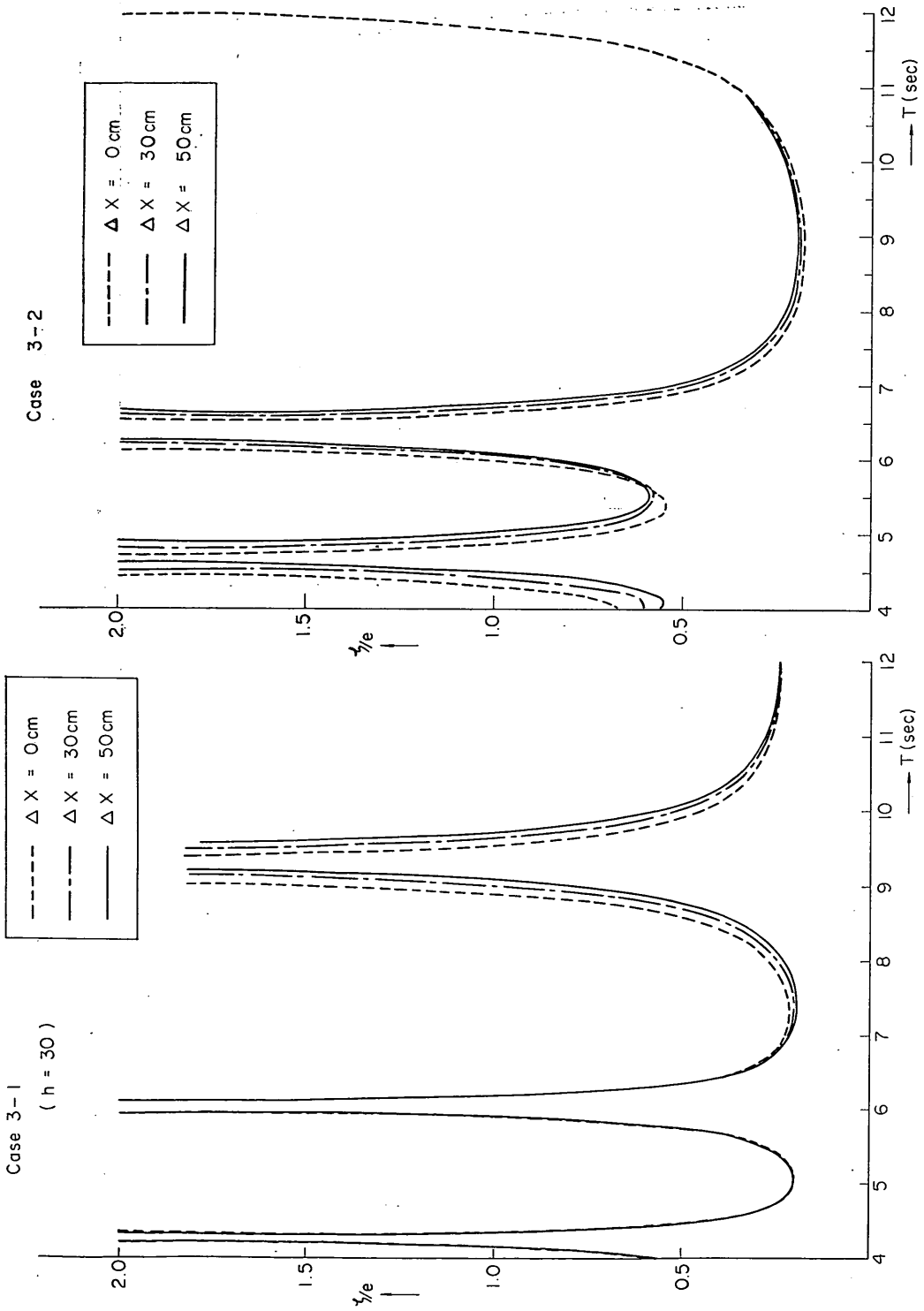


図-4-2 一次元計算結果

図-4-1(b) 一次元計算結果

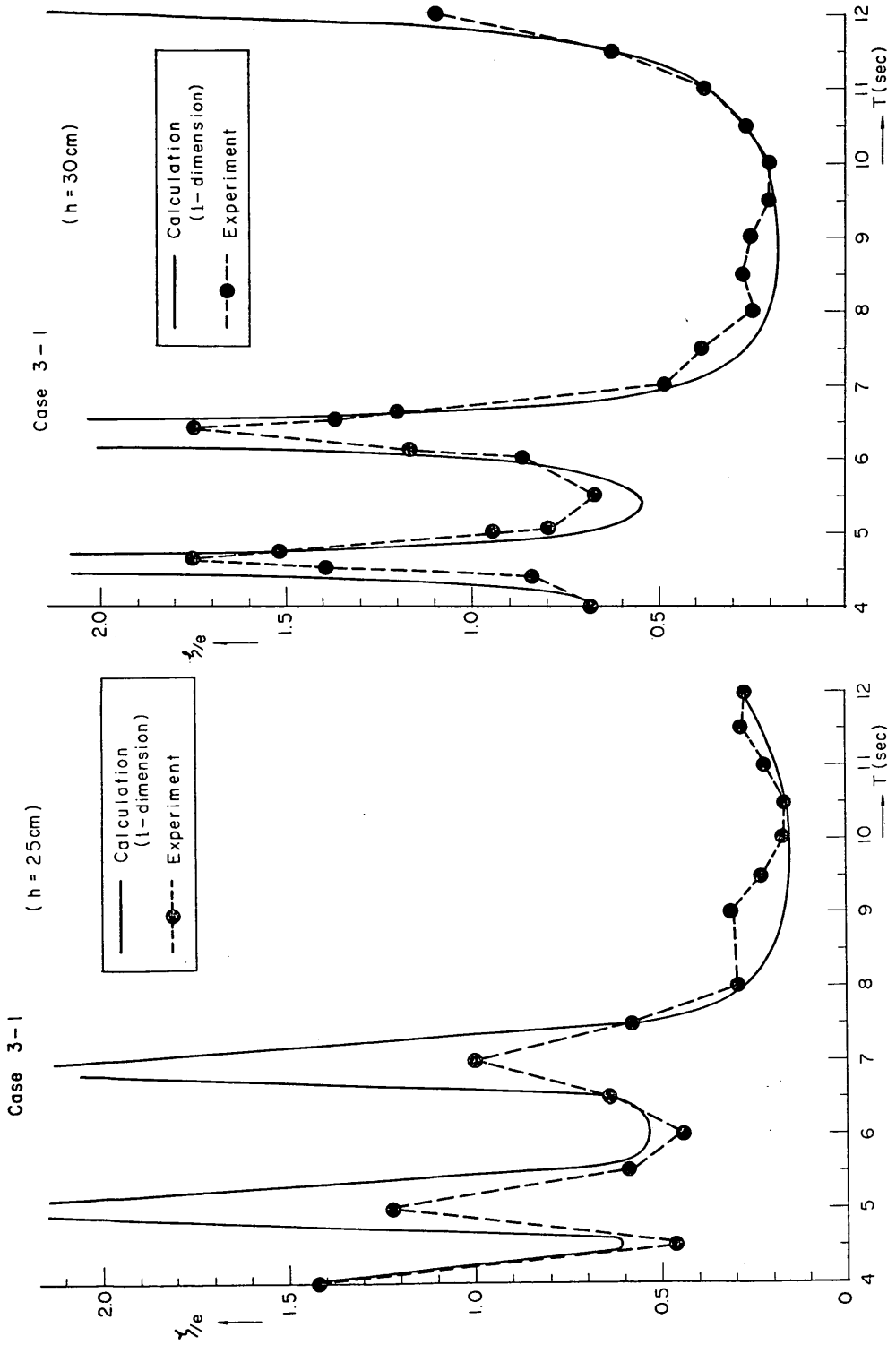


図-4-3(b) 計算値と実験値の比較

図-4-3(a) 計算値と実験値の比較

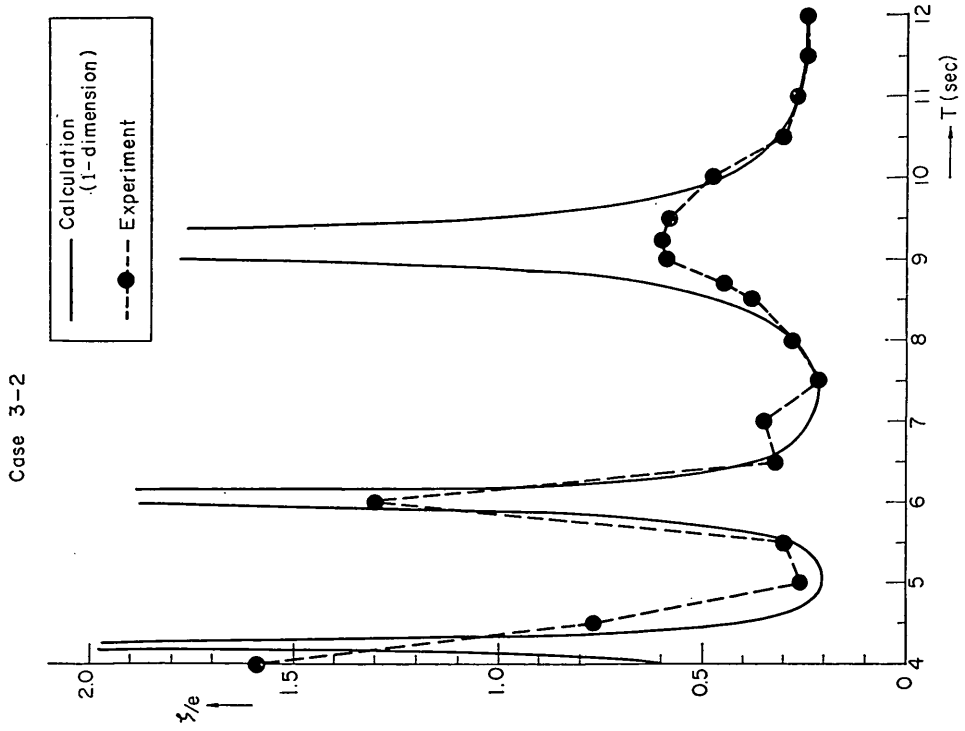
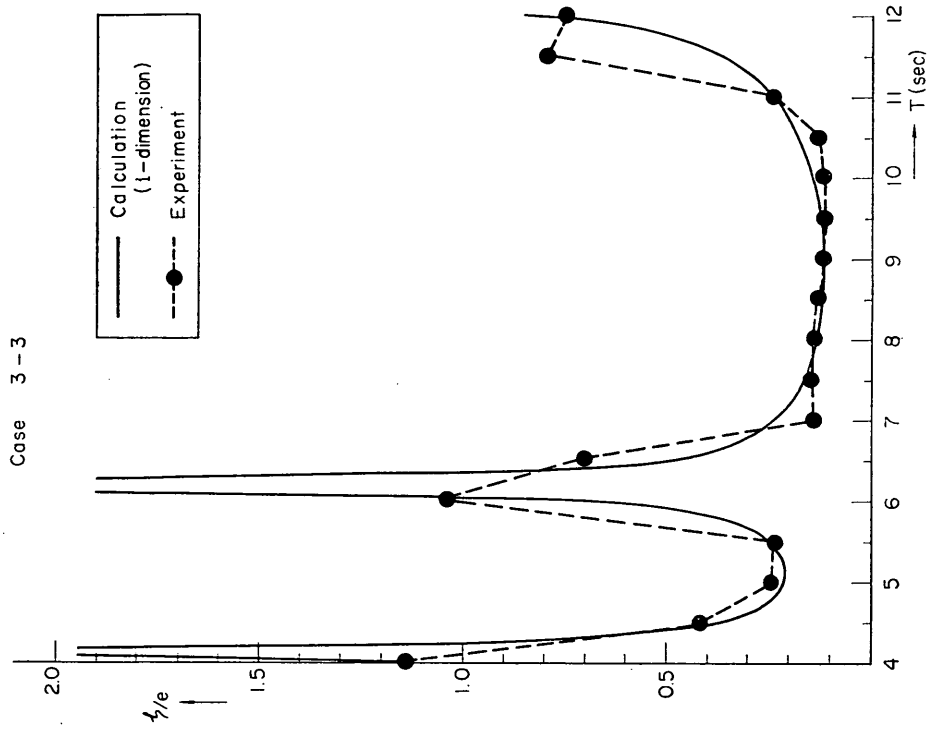


図4-5 計算値と実験値の比較

図4-4 計算値と実験値の比較

5. あとがき

以上の比較により、われわれの波動方式計算法が実験値とよく符号することが証明された。したがって、従来行ってきた具体的な計算結果に十分な信頼度が認められることになる。

今回の検討は単純な形状の湾について、しかも港奥水位の比較のみで行なったのであるが、より複雑な湾形の場合にも、今回と同様な比較を行なって計算方式の信頼度を求めれば、計算結果を評価する上で適切な指針が得られるであろう。

もちろん計算法の細部については、改良の望ましい点もいくつか残されており、われわれは今後とも実験、実測との照合を繰返して信頼性の向上に努める 予定である。

なお、本実験には元防波堤研究室員五十嵐忠成、昭和40年度および42年度夏季実習生、浜本、高橋、可児君が参加した。

参 考 文 献

- 1) 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算
運輸省港湾局調査設計室 昭和37年3月
- 2) 伊藤喜行, 土岐祥介, 森平倫生: 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算(第2報) 港研報告3巻7号 1965年12月
- 3) 新潟地震津波調査報告: 運輸省港湾局, 港研, 第一港湾建設局 昭和39年8月
- 4) 松島湾の津波計算 防波堤研究室資料
- 5) 名古屋港津波計算 受託試験報告
(1968. 9. 30受付)

附 録

附表1.1 格子間隔

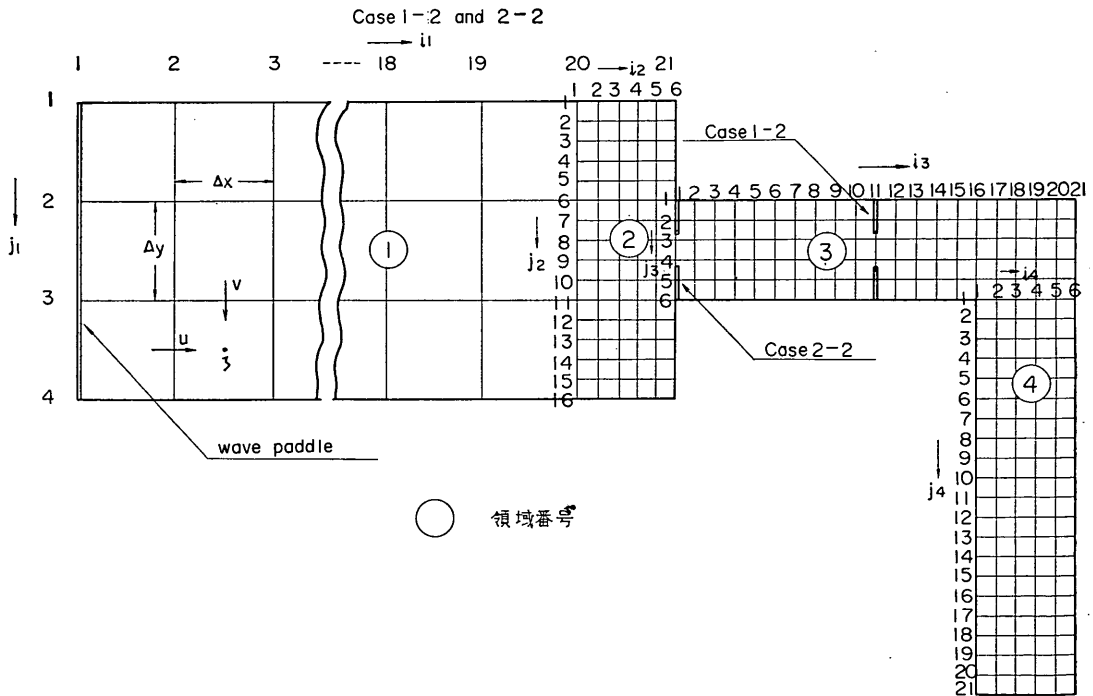
領 域	Δx	Δy
1	48.4	50
2	9.68	10
3	10	10
4	10	10

[単位; cm]

1. 波動方式による計算法

1.1 格子分割

格子分割に際しては、計算量を節約するため湾外の格子間隔を粗くとり湾口の1格子手前で小格子に接合した。なおケース 1-1 および 2-1 では水路中心に關し対称形に着目し、計算は片側半分についてのみ行なった。ケース 1-2 [および2-2] の格子分割図を附図1.1に示す。ただし図中の数字は領域を表すものとする。各領域の格子間隔は附表1.1に示すとおりである。



附図1-1 格子分割図

1.2 差分方程式

長波に対する運動方程式および連続の方程式は、高次の項および損失の項を省略すると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= -h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} (1.1)$$

ここに u, v は流速, ζ は水位, g は重力加速度, h は水深を表わす。

これを教値積分するため差分方程式に変換すると, 附図1-1の領域に対して結局次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} u(i, j)^{t+\Delta t} &= u(i, j)^t - g \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ \zeta(i, j)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta(i-1, j)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \\ v(i, j)^{t+\Delta t} &= v(i, j)^t - g \frac{\Delta t}{\Delta y} \left\{ \zeta(i, j)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta(i, j-1)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \\ \zeta(i, j)^{t+\frac{\Delta t}{2}} &= \zeta(i, j)^{t-\frac{\Delta t}{2}} - h \Delta t \times \\ &\left\{ \frac{u(i+1, j)^t - u(i, j)^t}{\Delta x} + \frac{v(i, j+1)^t - v(i, j)^t}{\Delta y} \right\} \end{aligned} \right\} (1.2)$$

上式において $\Delta t/2$ 毎に各領域の ζ と u, v とを交互に計算していけばよい。

1.3 接合部の計算

各領域間の接続計算は以下のように取り扱う。ただし今後は便宜上サフィックスで領域を表わすものとする。

(i) 領域①と②の接合

まず接合部の流速を次式で求める。

$$\begin{aligned} u_2(1, j_2)^{t+\Delta t} &= u_2(1, j_2)^t - g \frac{2\Delta t}{\Delta x_1 + \Delta x_2} \left\{ \zeta_2(1, j_2)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_1(19, j_1)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \end{aligned} \quad (1.3)$$

次に連続性を満たすため, $u_1(20, j_1)^{t+\Delta t}$ に対して,

$$u_1(20, j_1)^{t+\Delta t} = \frac{1}{5} \sum_{j_2=n}^{n+4} [u_2(1, j_2)^{t+\Delta t}] \dots \dots \dots (1.4)$$

上の両式において, $j_1=1$ に対し $j_2=1\sim 5, j_1=2; j_2=6\sim 10, j_1=3; j_2=11\sim 15$ をそれぞれ用いる。

(ii) 領域②と③の接合

ケース1-2では

$$\begin{aligned} u_3(1, j_3)^{t+\Delta t} &= u_3(1, j_3)^t - g \frac{2\Delta t}{\Delta x_2 + \Delta x_3} \left\{ \zeta_3(1, j_3)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_2(5, j_3+5)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$u_2(6, j_3+5)^{t+\Delta t} = u_3(1, j_3)^{t+\Delta t} \dots \dots \dots (1.6)$$

ケース2-2では $u_3(1, j_3)$ に後述の港口流速の計算式を適用する。

(iii) 領域③と④の接合

$$\begin{aligned} v_4(i_4, 1)^{t+\Delta t} &= v_4(i_4, 1)^t - g \frac{2\Delta t}{\Delta y_3 + \Delta y_4} \left\{ \zeta_4(i_4, 1)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_3(i_4+15, 5)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$v_3(i_4+15, 6)^{t+\Delta t} = v_4(i_4, 1)^{t+\Delta t} \dots \dots \dots (1.8)$$

となる。

1.4 港口における計算

防波堤開口部の流速は, 港口損失を考慮して次式のように取り扱う。

$$\begin{aligned} u_3(i_3, 3)^{t+\Delta t} &= \frac{1 - \sqrt{1 + 2KR}}{K} ; R \geq 0 \\ \text{or} \\ &= \frac{-1 + \sqrt{1 - 2KR}}{K} ; R < 0 \end{aligned} \quad (1.9)$$

ここで K および R については

(i) ケース1-2 [$i_3=11$]

$$\begin{aligned} R &= E \left\{ \zeta_3(11, 3)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_3(10, 3)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \\ &+ \frac{K}{2} U |U| - U \dots \dots \dots (1.10) \end{aligned}$$

$$\text{ただし} \begin{cases} K = \frac{f \Delta t}{2 \Delta x_3} & f \dots \text{損失係数} \\ E = \frac{g \Delta t}{\Delta x_3} \\ U = u_3(11, 3)^t \end{cases}$$

(ii) ケース2-2では [$i_3=1$]

$$\begin{aligned} R &= E' \left\{ \zeta_3(1, 3)^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_2(5, 8)^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right\} \\ &+ \frac{K}{2} U' |U'| - U' \end{aligned}$$

$$\text{ただし} \begin{cases} K = \frac{f \Delta t}{\Delta x_2 + \Delta x_3} \\ E' = \frac{2g \Delta t}{\Delta x_2 + \Delta x_3} \\ U' = U_3(1, 3)^t \end{cases}$$

なお, 連続の条件を満たすように $U_3(i_3, 2)$ と $U_3(i_3, 4)$ を零とおき, かつ港口部の水深を 50cm [$30 \times \frac{16.67}{10}$] とした。また, 港口損失係数は従来と同じく $f=1.5$ を採用した。

1.5 初期条件および境界条件

初期条件は $t=0$ において全領域の u, v, ζ を零とおいた。

長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)

境界条件は水路の側壁または防波堤において、それと直角方向の流速 u または v を零とした。さらに造波部 u の時間的变化を次のように与えた。

$$u_1(1, j_1) = \sigma e \cos \sigma t \quad (1.12)$$

$$\sigma = 2\pi/T, \quad e = \text{造波板偏心}$$

また、ケース 1-1 および 2-1 では水路中心に関し対称の条件

$$\left. \begin{aligned} v_1(i_1, 3) &= -v_1(i_1, 2) \\ v_2(i_2, 9) &= -v_2(i_2, 8) \\ v_3(i_3, 4) &= -v_3(i_3, 3) \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

を用いた。

1.6 時間間隔

時間間隔 Δt は計算安定の条件から次式を満足する範囲内でなければならない。

$$\frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} + \frac{\Delta t^2}{\Delta y^2} \leq \frac{1}{c^2} \quad c = \sqrt{gh}$$

附表 1-1 から $\Delta x, \Delta y$ の最小値を代入して計算すると、 $\Delta t \leq 0.0414$ (sec)

よって time step Δt として、ケース 1-1 および 2-1 では 0.02 秒、ケース 1-2 および 2-2 では 0.25 秒とした。また計算時間範囲はその周期の 6~10 倍とした。

1.7 計算

計算は造波板偏心を一律に 5cm とし、原則として実験を行なった各周期に対し実施した。また、いくつかの周期に対しては、港口損失の影響を調べるため、損失を考慮しない計算も併せて行なった。損失を考慮しない場合は (1.9) 式の代りに単に (1.2) 式を使用すればよい。計算結果は 0.1 秒毎に港奥の水位を output した。使用した計算機は当所々有 TOSBAC-3,400 である。結果の一部は一括して巻末に掲げる。

2. 一次元近似計算法

2.1 防波堤がある場合の計算法

湾内外の定常波の水位および流速は次のように表わされる。[第1報 (6.14) ~ (6.17) 式]ただし無次元表示を有次表示に改め、符号等は全て第1報に順ずる。

$$\left. \begin{aligned} &\text{水 位} \\ &[\text{湾内}] \quad \zeta = \zeta_1 \cos kx \sin \sigma t \\ &[\text{湾外}] \quad \zeta = \zeta_2 \cos k(x-x_1) \sin \sigma(t-t_1) \\ &\text{流 速} \\ &[\text{湾内}] \quad u = -\sqrt{\frac{g}{h}} \zeta_1 \sin kx \cos \sigma t \\ &[\text{湾外}] \quad u = -\sqrt{\frac{g}{h}} \zeta_2 \sin k(x-x_1) \cos \sigma(t-t_1) \\ &\quad \quad \quad (k=2\pi/L, \sigma=2\pi/T) \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

ここで位相の遅れ t_1 に対して、前報と同様 $t_1 = T/2$ とおくと、湾外定常波の流速は

$$u = \sqrt{\frac{g}{h}} \zeta_2 \sin k(x-x_1) \cos \sigma t \quad (2.2)$$

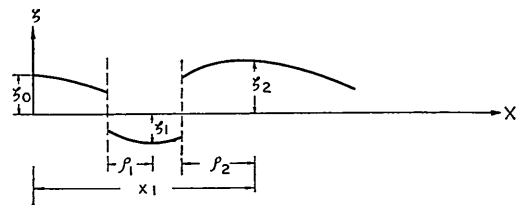
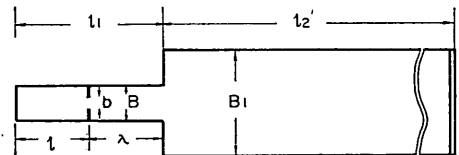
一方、造波板の運動は偏心を e とすると

$$u = \sigma e \cos \sigma t \quad (2.3)$$

で表わされる。

一次元計算式は、 ζ_1 および ζ_2 の関係式を使って (2.2) 式中の ζ_2 を ζ_1 で置き換え、造波部の流速 u を求めて (2.3) 式と連立させることによって得られる。以下各ケース別に計算式を誘導しよう。

(1) ケース 1 に対する計算法



附図2-1 座 標 系

附図 2-1 の座標系に対し、第 1 報 (6.13) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{\zeta_1}{\zeta_0} \cos k\rho_1 &= 2\left(\frac{B}{b}-1\right) \sin kl \tan \frac{k}{2} \Delta x \\ &\quad - \cos kl \\ \frac{\zeta_1}{\zeta_0} \sin k\rho_1 &= \sin kl \end{aligned} \right\} (2.4)$$

よって

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \frac{1}{k} \times \\ &\quad \tan^{-1} \frac{\sin kl}{2\left(\frac{B}{b}-1\right) \sin kl \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl} \\ \frac{\zeta_1}{\zeta_0} &= \\ &\quad \sqrt{\left\{ 2\left(\frac{B}{b}-1\right) \sin kl \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl \right\}^2 + \sin^2 kl} \end{aligned} \right\} (2.5)$$

これは ρ_1 の大きさにより、次の2つの場合に分けて取り扱う。

(i) $\rho_1 < \lambda - \Delta x$ のとき

ζ_1, ζ_2 の関係は第1報 (6.26) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \cos k\rho_2 &= \\ &\quad \left(1 - \frac{B}{B_1}\right) \sin k(\lambda - \rho_1) \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos k(\lambda - \rho_1) \\ \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \sin k\rho_2 &= \frac{B}{B_1} \sin k(\lambda - \rho_1) \end{aligned} \right\} (2.6)$$

造波部 ($l_1 + l_2$) の流速は (2.2) および (2.6) 式から

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{\frac{g}{h}} \zeta_2 \sin k(l_1 + l_2 - l_1 - \rho_2) \cos \sigma t \\ &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_2 (\sin kl_2 \cos k\rho_2 - \cos kl_2 \sin k\rho_2) \cos \sigma t \\ &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_1 \left[\sin kl_2 \left\{ \left(1 - \frac{B}{B_1}\right) \sin k(\lambda - \rho_1) \times \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos k(\lambda - \rho_1) \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \times \right. \\ &\quad \left. \left. \sin k(\lambda - \rho_1) \right\} \right] \cos \sigma t \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

で表わされる。

(2.5) 式において $\zeta_1/\zeta_0 = A$ とおくと、(2.3) および (2.7) 式から両辺を $\cos \sigma t$ で割って

$$\sigma e = \sqrt{g/h} \cdot A \zeta_0 \left[\sin kl_2 \left\{ \left(1 - \frac{B}{B_1}\right) \sin k(\lambda - \rho_1) \times \right. \right. \\ \left. \left. \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos k(\lambda - \rho_1) \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin k(\lambda - \rho_1) \right]$$

$\sigma = 2\pi/T, L = \sqrt{gh} \cdot T$ を考慮して整理すると所要の式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\zeta_0}{e} = \frac{k \cdot h}{A} / \sin kl_2 \left\{ \left(1 - \frac{B}{B_1}\right) \sin k(\lambda - \rho_1) \tan \frac{k}{2} \Delta x \right. \\ \left. - \cos k(\lambda - \rho_1) \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin k(\lambda - \rho_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.8)$$

(ii) $\rho_1 > \lambda - \Delta x$ のとき

第1報 (6.27) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \cos k\rho_2 &= \left(1 - \frac{B}{B_1}\right) \sin k(\rho_1 - \lambda) \\ &\quad \tan \frac{k}{2} \Delta x + \cos k(\rho_1 - \lambda) \times \\ \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \sin k\rho_2 &= \frac{B}{B_1} \sin k(\rho_1 - \lambda) \end{aligned} \right\} (2.9)$$

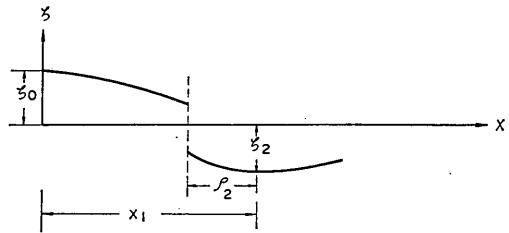
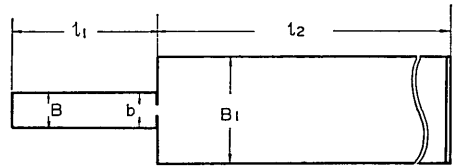
(i) と全く同様にすれば次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\zeta_0}{e} = \frac{kh}{A} / \sin kl_2 \left\{ \left(1 - \frac{B}{B_1}\right) \sin k(\rho_1 - \lambda) \tan \frac{k}{2} \Delta x \right. \\ \left. + \cos k(\rho_1 - \lambda) \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin k(\rho_1 - \lambda) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.10)$$

ただし、(2.8), (2.10)式において定数 A は次式で示される。

$$A = \sqrt{\left\{ 2\left(\frac{B}{b}-1\right) \sin kl \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl \right\}^2 + \sin^2 kl}$$

(2) ケース 2 に対する計算法



附図2-2 座 標 系

附図2-2 のような座標系において 第1報 (6.38) 式から

$$\left. \begin{aligned} \frac{\zeta_2}{\zeta_0} \cos k\rho_2 &= \left(2 \frac{B}{b} - \frac{B}{B_1} - 2\right) \sin kl \times \\ &\quad \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl \\ \frac{\zeta_2}{\zeta_0} \sin k\rho_2 &= \frac{B}{B_1} \sin kl \end{aligned} \right\} (2.11)$$

(2.2) および (2.11) 式から、造波部の流速は次のように表わされる。

$$\begin{aligned}
 u &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_2 \sin k(l_1 + l_2 - l_1 - \rho_2) \cos \omega t \\
 &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_0 \left[\sin kl_2 \left\{ \left(2\frac{B}{b} - \frac{B}{B_1} - 1 \right) \sin kl \times \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin kl \right] \cos \omega t \dots\dots\dots (2.12)
 \end{aligned}$$

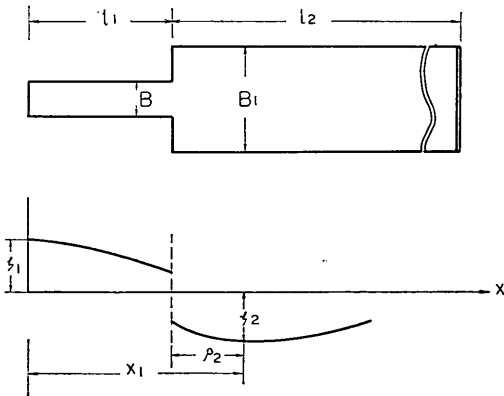
(2.3) および (2.12) 式から、ケース2に対する次の計算式を得る。

$$\begin{aligned}
 \frac{\zeta_0}{e} &= kh / \sin kl_2 \left\{ \left(2\frac{B}{b} - \frac{B}{B_1} - 1 \right) \sin kl \tan \frac{k}{2} \Delta x \right. \\
 &\quad \left. - \cos kl \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin kl \dots\dots\dots (2.13)
 \end{aligned}$$

2.2 防波堤がない場合の計算

(1) ケース3に対する計算法

附図 2.3 に示す座標系において、第1報 (6.25) 式より



附図2-3 座 標 系

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \cos k\rho_2 &= \left(1 - \frac{B}{B_1} \right) \sin kl_1 \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl_1 \\
 \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \sin k\rho_2 &= \frac{B}{B_1} \sin kl_1
 \end{aligned} \right\} (2.14)$$

造波部の流速は (2.2) および (2.14) 式から

$$\begin{aligned}
 u &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_2 \sin k(l_1 + l_2 - l_1 - \rho_2) \cos \omega t \\
 &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_2 (\sin kl_2 \cos k\rho_2 - \cos kl_2 \sin k\rho_2) \cos \omega t \\
 &= \sqrt{g/h} \cdot \zeta_1 \left[\sin kl_2 \left\{ \left(1 - \frac{B}{B_1} \right) \sin kl_1 \times \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl_1 \right\} - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin kl_1 \right] \cos \omega t \dots\dots\dots (2.15)
 \end{aligned}$$

(2.3) および (2.15) 式からケース3に対する一次元計算式を得る。

$$\begin{aligned}
 \frac{\zeta}{e} &= kh / \sin kl_2 \left\{ \left(1 - \frac{B}{B_1} \right) \sin kl_1 \tan \frac{k}{2} \Delta x - \cos kl_1 \right\} \\
 &\quad - \frac{B}{B_1} \cos kl_2 \sin kl_1 \dots\dots\dots (2.16)
 \end{aligned}$$

以上ケース 1~3 の一次元計算値は、実験値との比較上全て絶対値をとって表示した。また演算は電子計算機を用いて周期 4~12 秒の 0.1 秒間隔について、 Δx を種々に変化させて行なった。

3. 補 足

3.1 一次元計算結果と実験結果の比較——防波堤がある場合

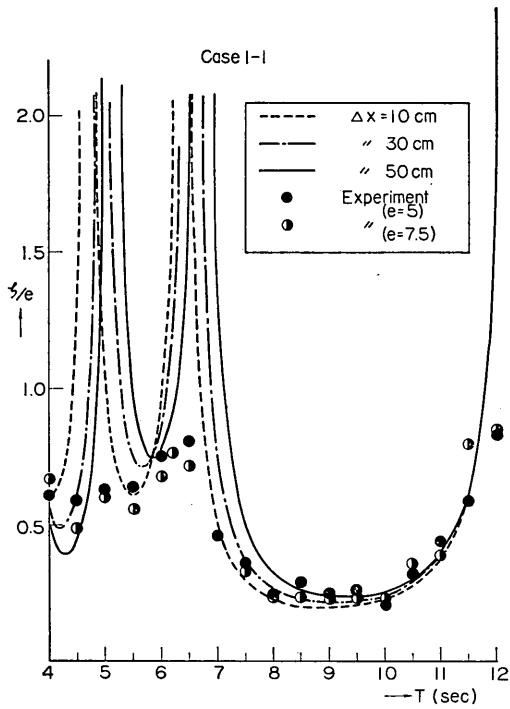
既述のとおり、防波堤がある場合の一次元計算値は格子間隔 Δx の値のとり方により、計算結果も大きく異なる。そこでケース1および2について Δx を 10, 30, 50cm とした場合の一次元計算結果と実験結果の比較を附図 3.1~3.4 に示す。

3.2 造波板下部の隙間の影響

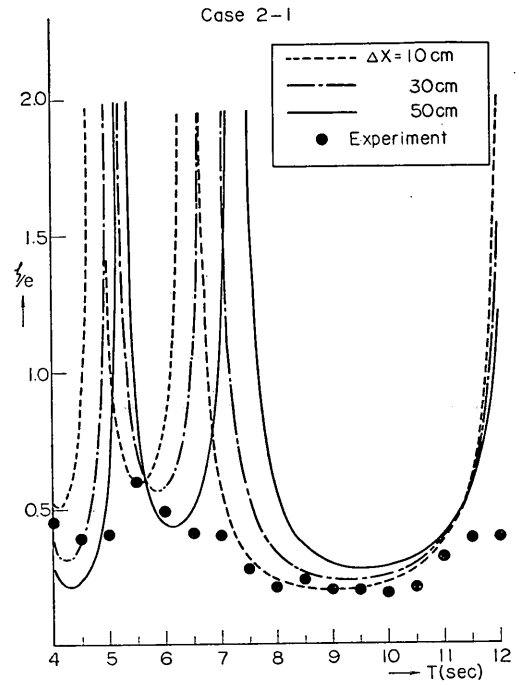
長周期波の実験において造波板と底面との隙間の影響はかなり大きいと思われる。本実験では、できるだけこの空隙を小さくせしめたがそれでも下部に最大 5mm 程度の空隙があった。そこで造波板下部の隙間の影響を検討するため、ケース3において 4cm 程度の隙間をあけた場合の実験を行ない比較した。これを 附図3.5~3.7 に示す。

3.3 波動方式による計算結果の図説明

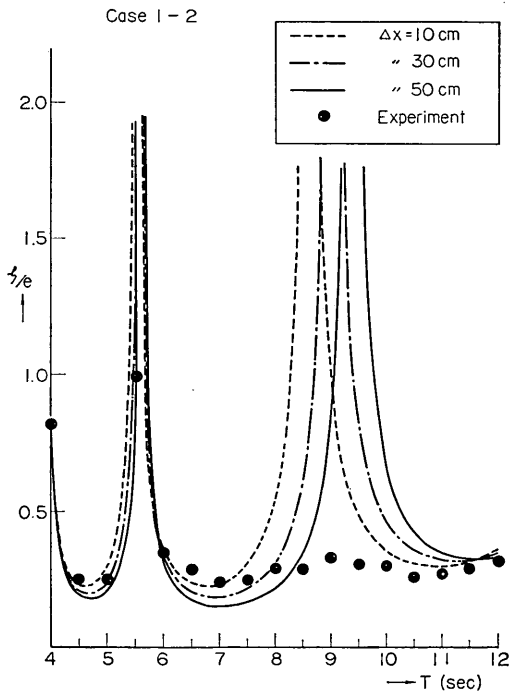
波動方式による計算結果を各ケースから代表的な周期を pick up し 附図 3-8~3-21 に掲げた。なお、図において破線で示したのは港口損失を考慮しない場合の計算結果である。



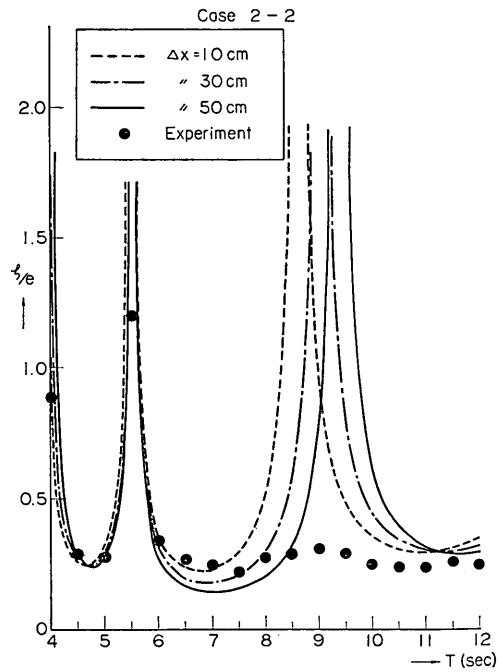
附図-3-1 一次元計算値と実験値の比較



附図-3-3 一次元計算値と実験値の比較

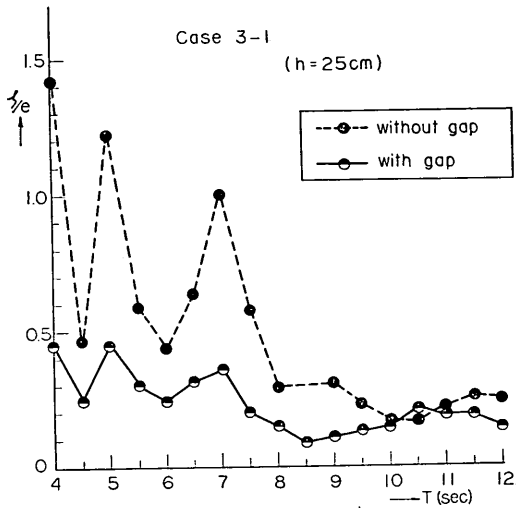


附図-3-2 一次元計算値と実験値の比較

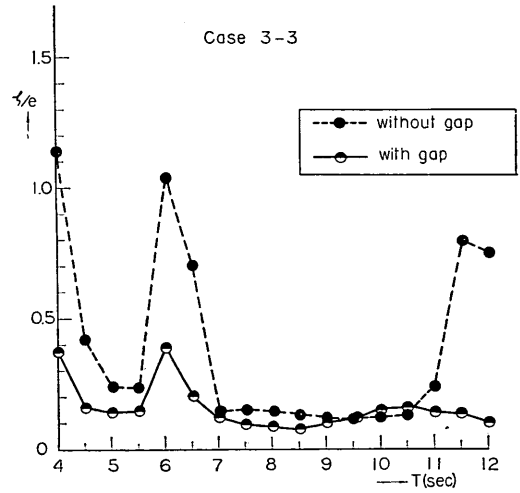


附図-3-4 一次元計算値と実験値の比較

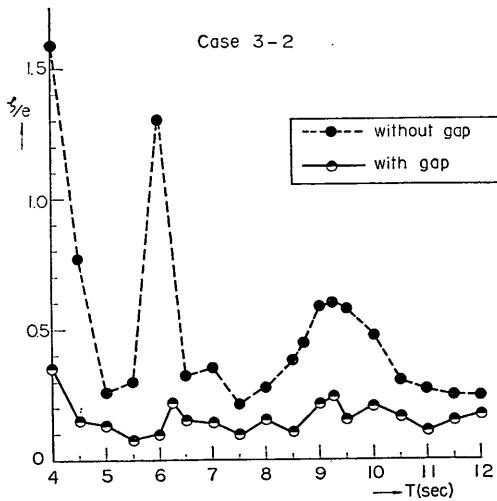
長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)



附図-3-5 造波板下部の隙間の影響

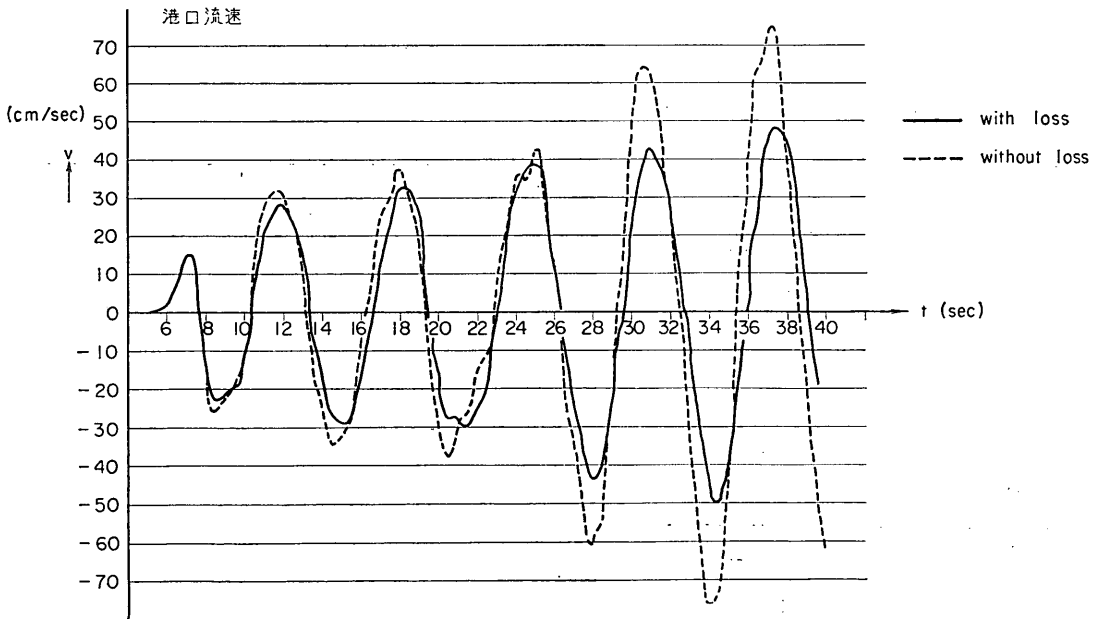
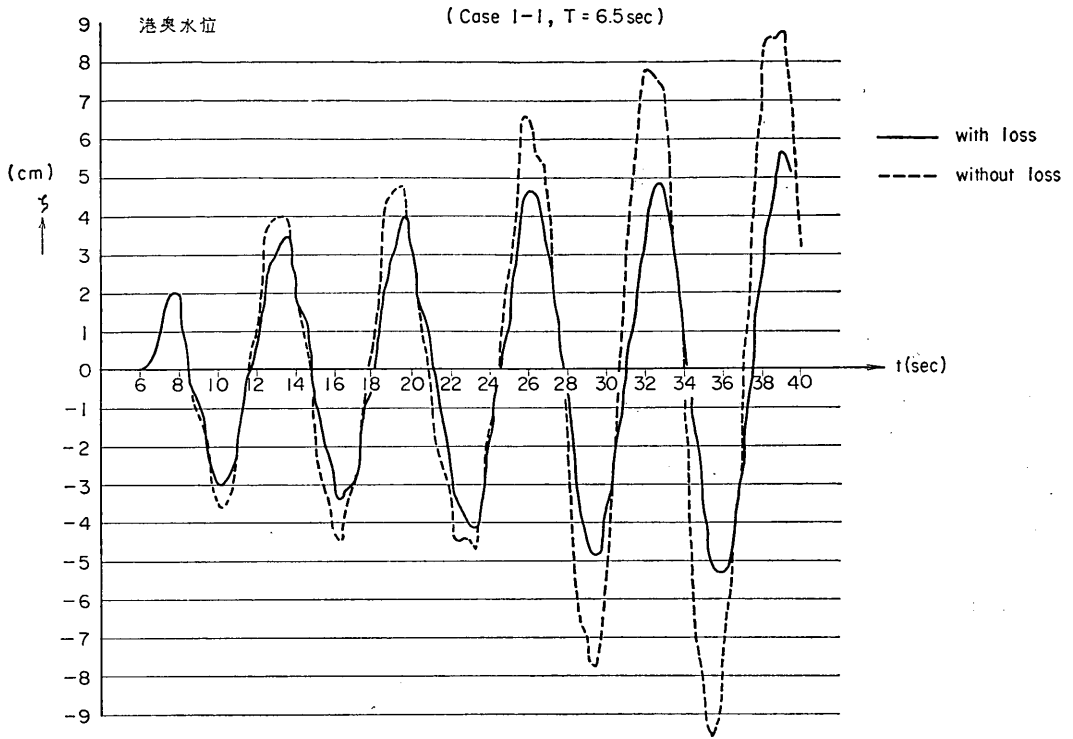


附図-3-7 造波板下部の隙間の影響



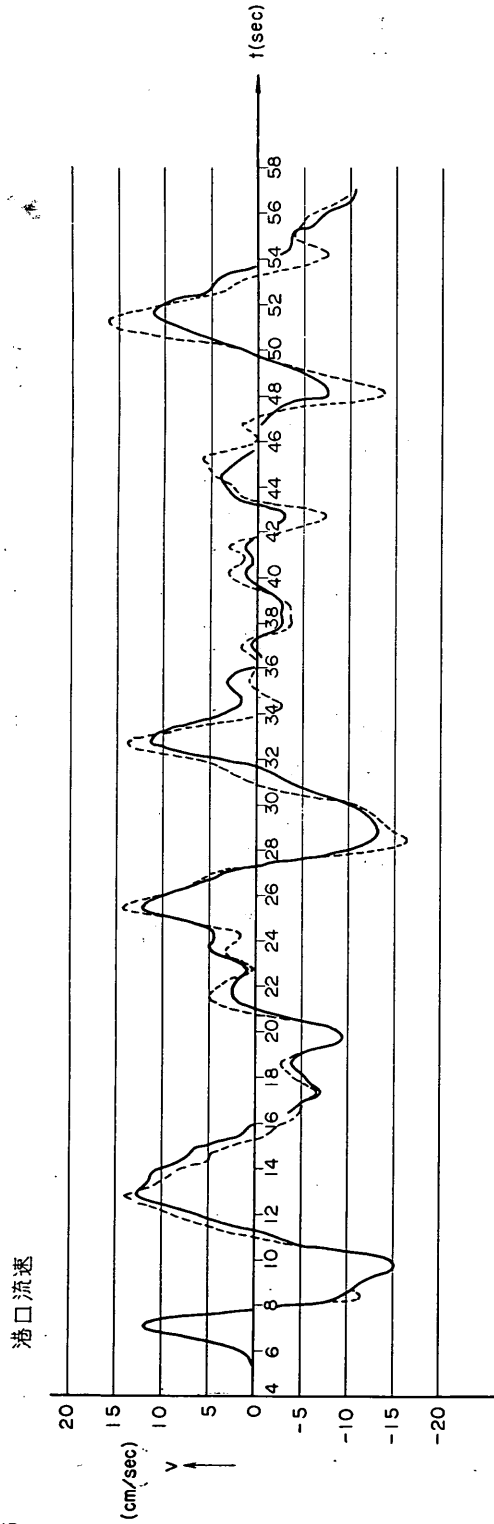
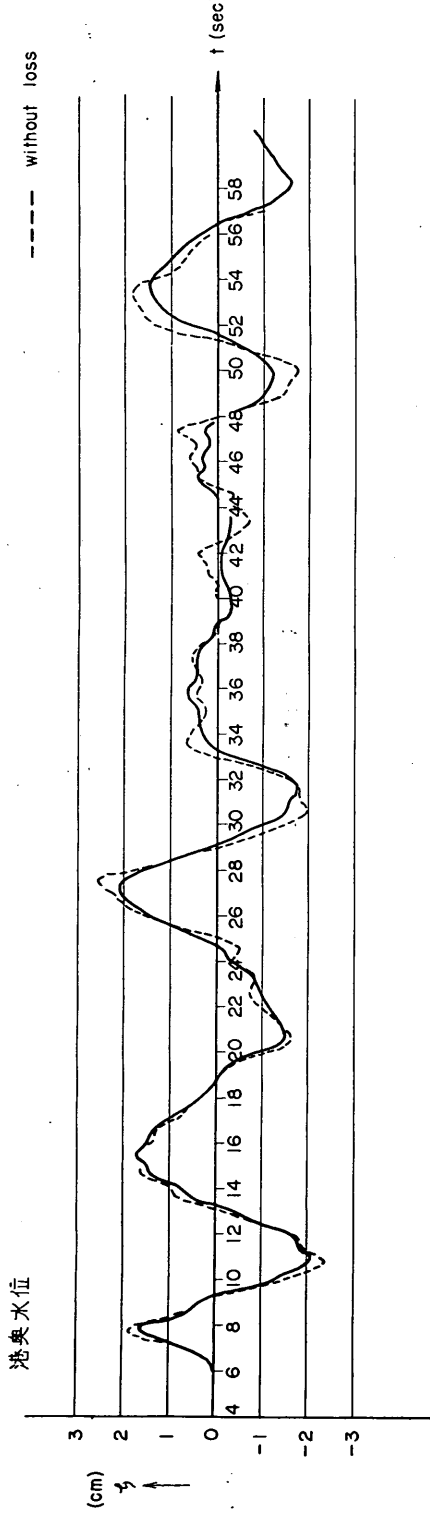
附図-3-6 造波板下部の隙間の影響

付 録

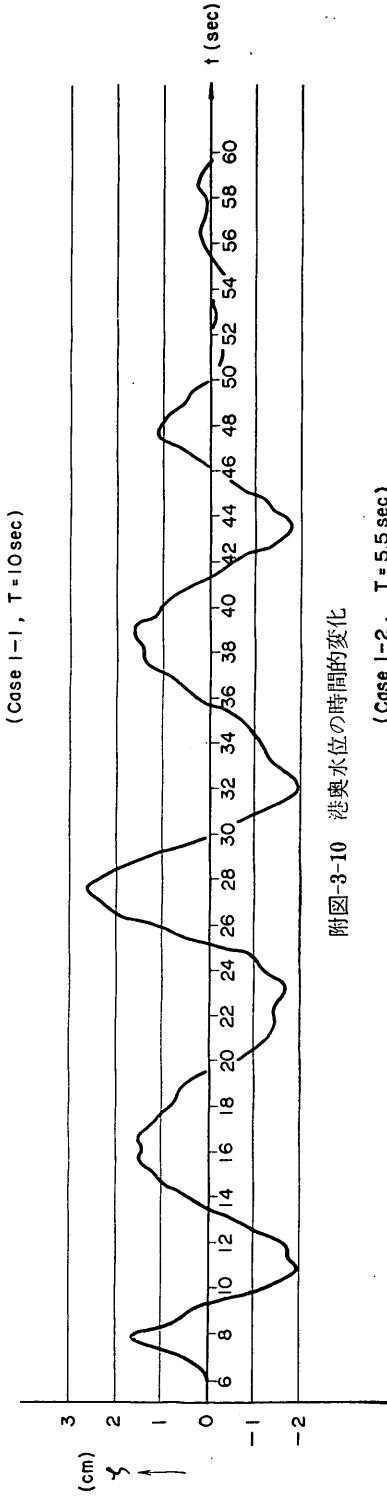


附図-3-8 港奥水位および港口流速の時間的变化

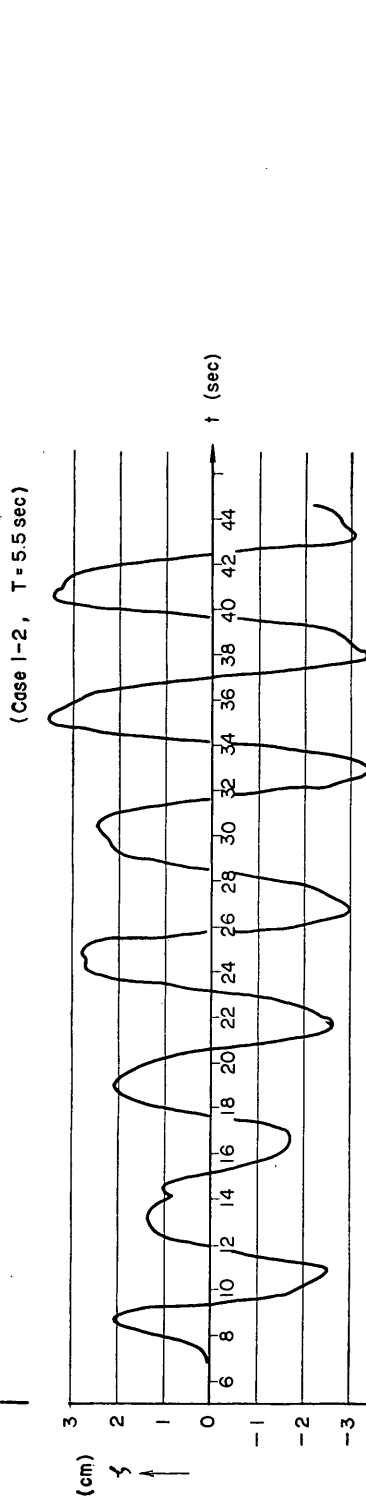
(Case 1-1, $T=9.5\text{sec}$)



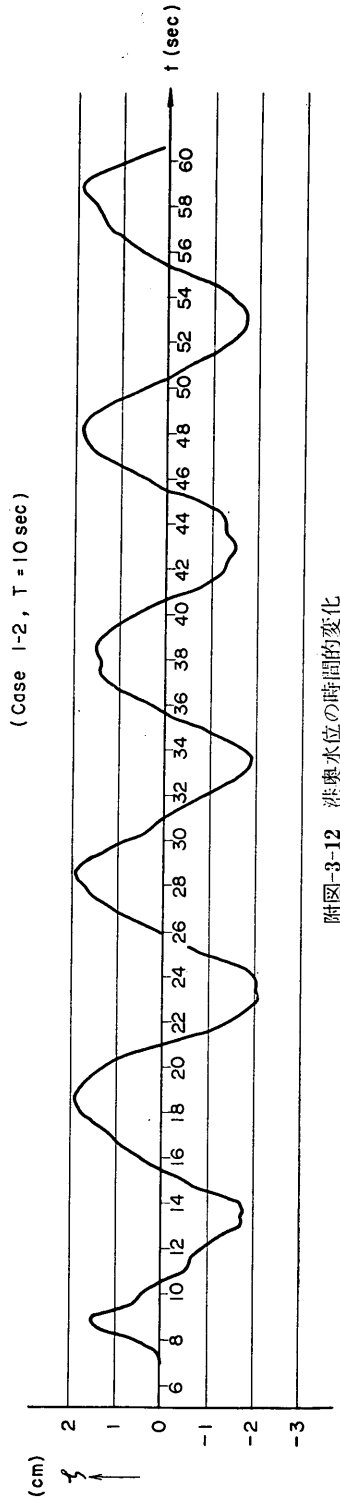
附図-3-9 港奥水位および港口流速の時間的变化



附圖-3-10 港奥水位の時間的変化



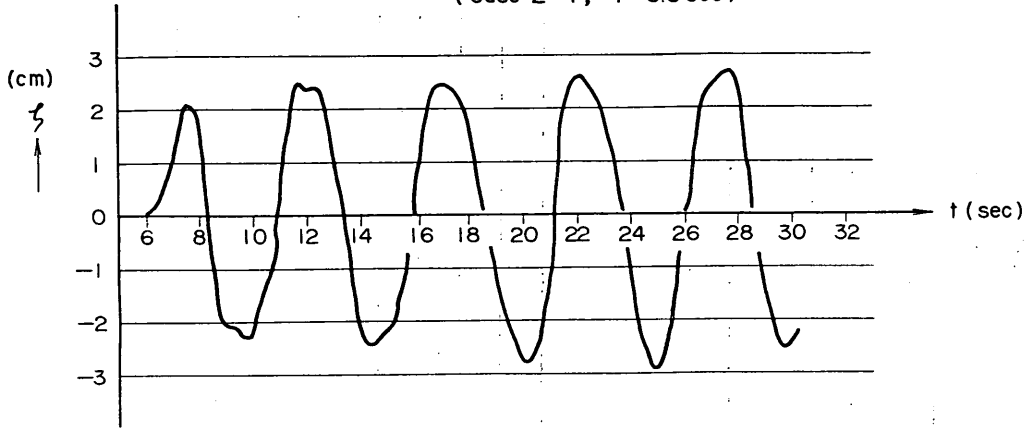
附圖-3-11 港奥水位の時間的変化



附圖-3-12 港奥水位の時間的変化

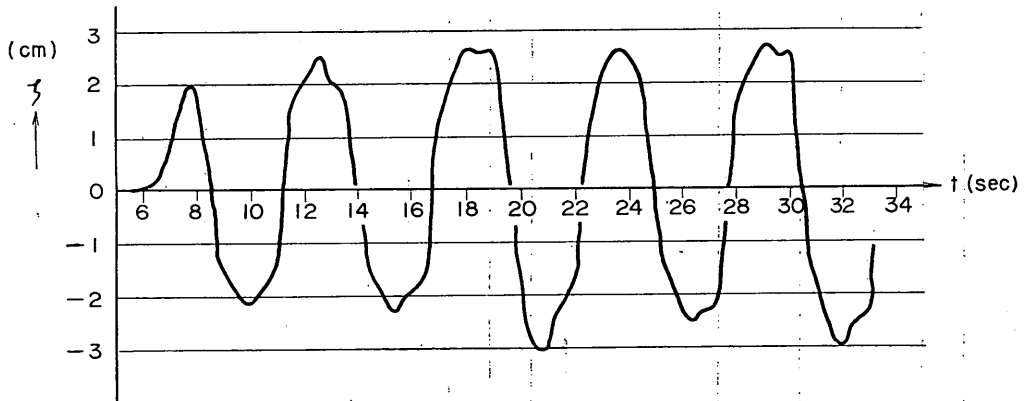
長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)

(Case 2-1, $T = 5.0 \text{ sec}$)



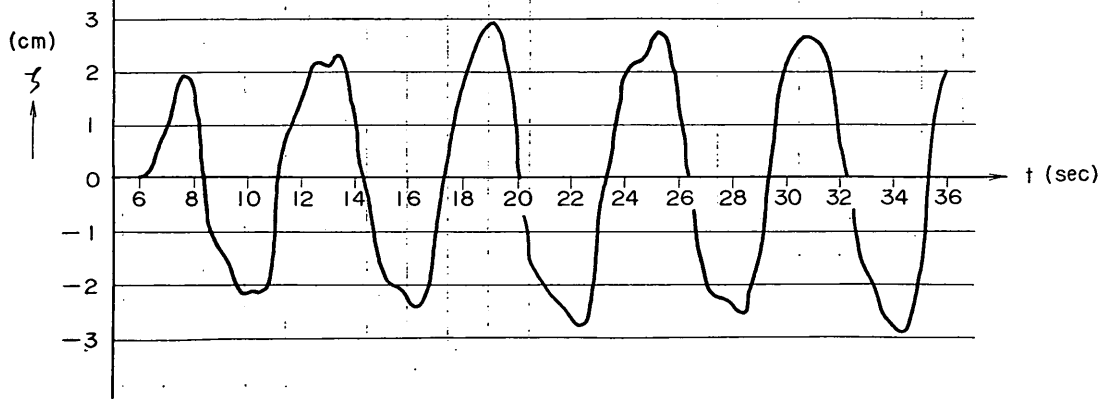
附図-3-13 港奥水位の時間的变化

(Case 2-1, $T = 5.5 \text{ sec}$)

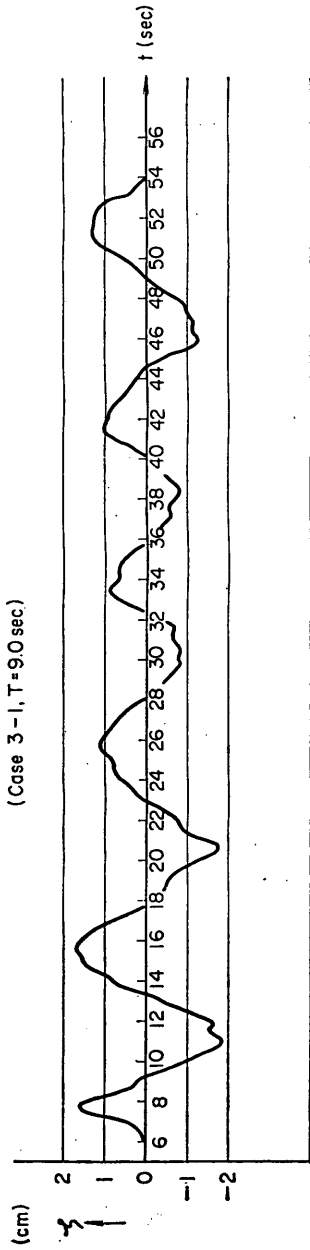


附図-3-14 港奥水位の時間的变化

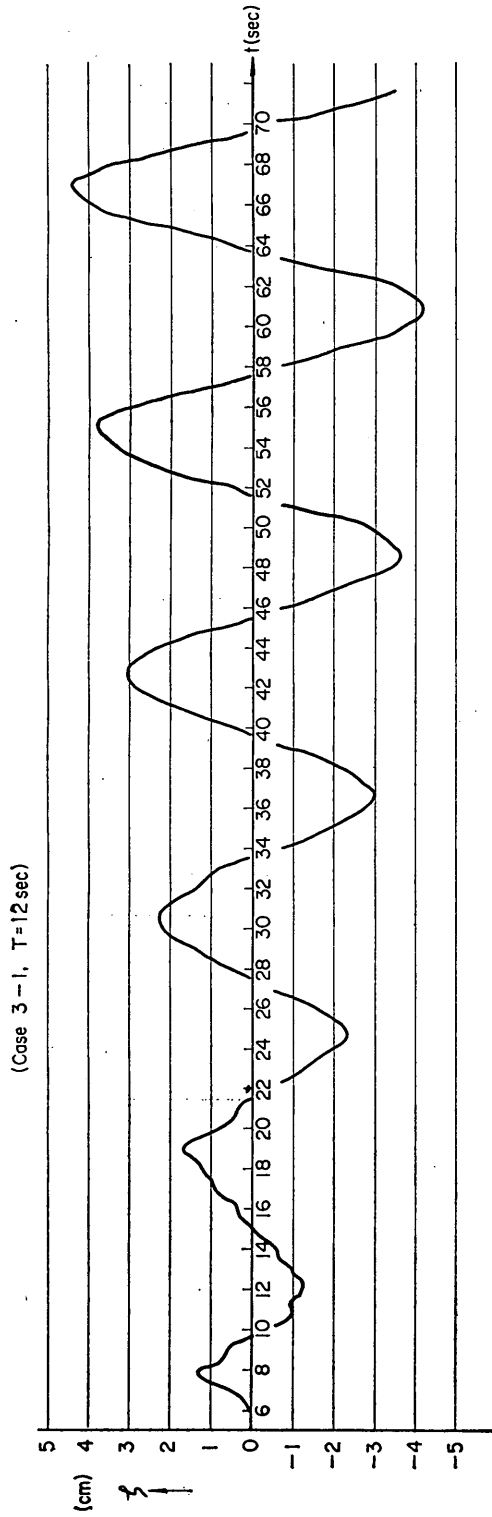
(Case 2-1, $T = 6.0 \text{ sec}$)



附図-3-15 港奥水位の時間的变化

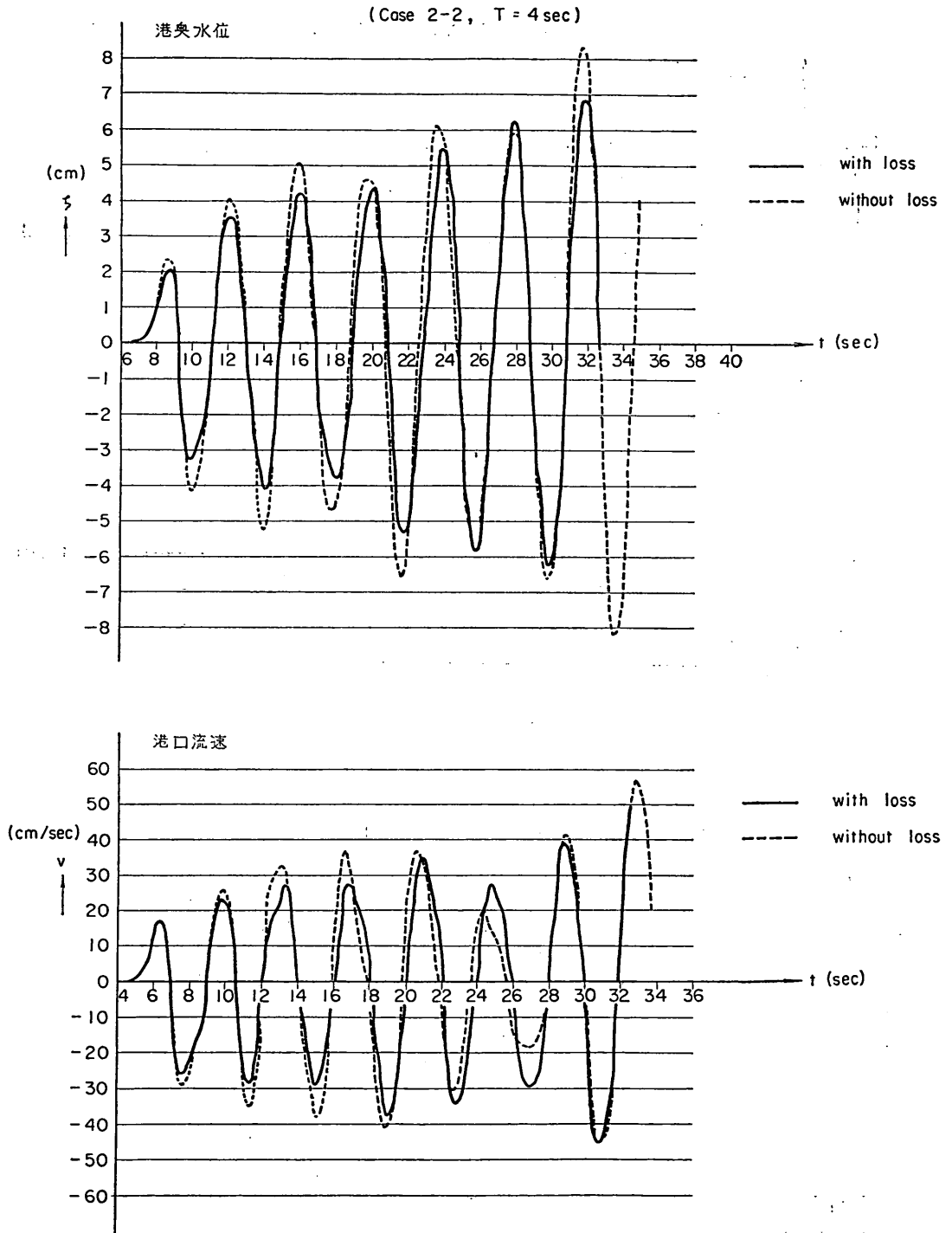


附圖-3-16 港奥水位の時間的变化



附圖-3-17 港奥水位の時間的变化

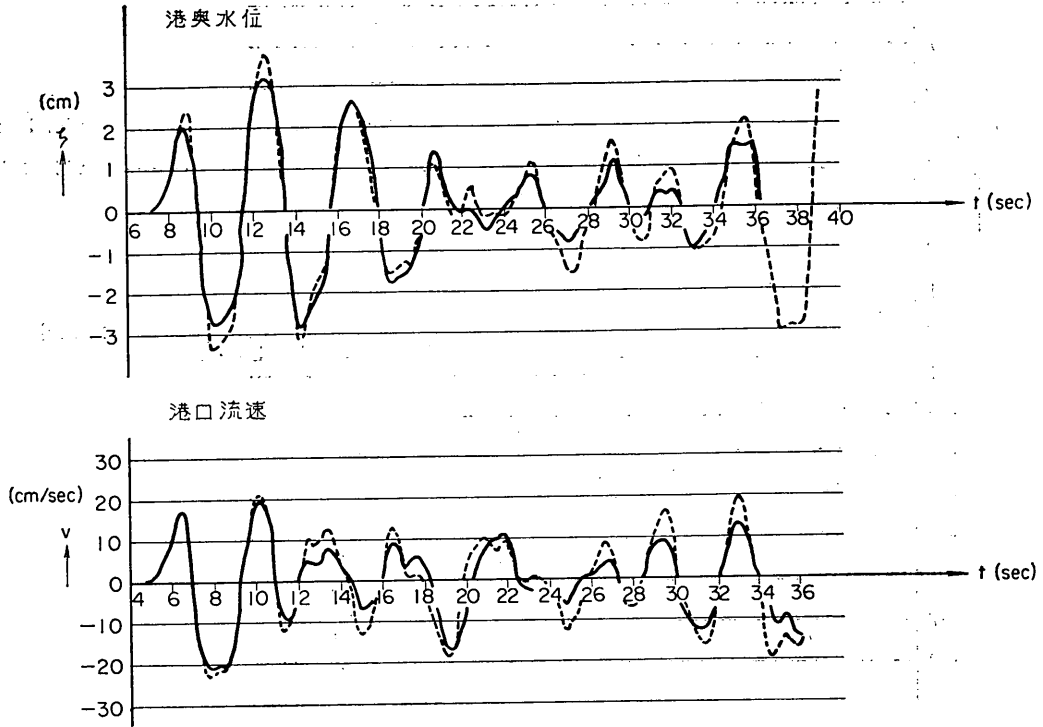
長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)



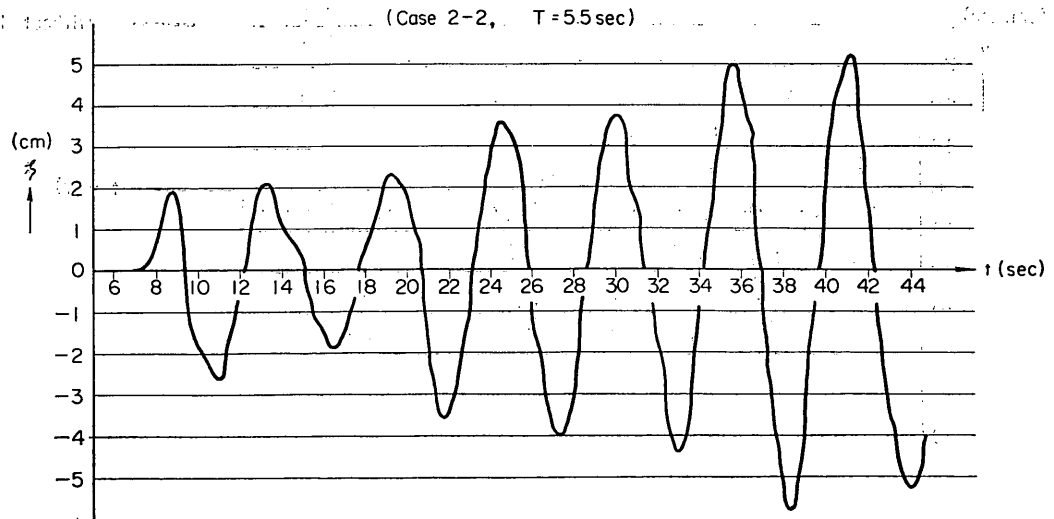
附図-3-18 港奥水位および港口流速の時間的变化

付 録

(Case 2-2, $T = 4.5 \text{ sec}$)

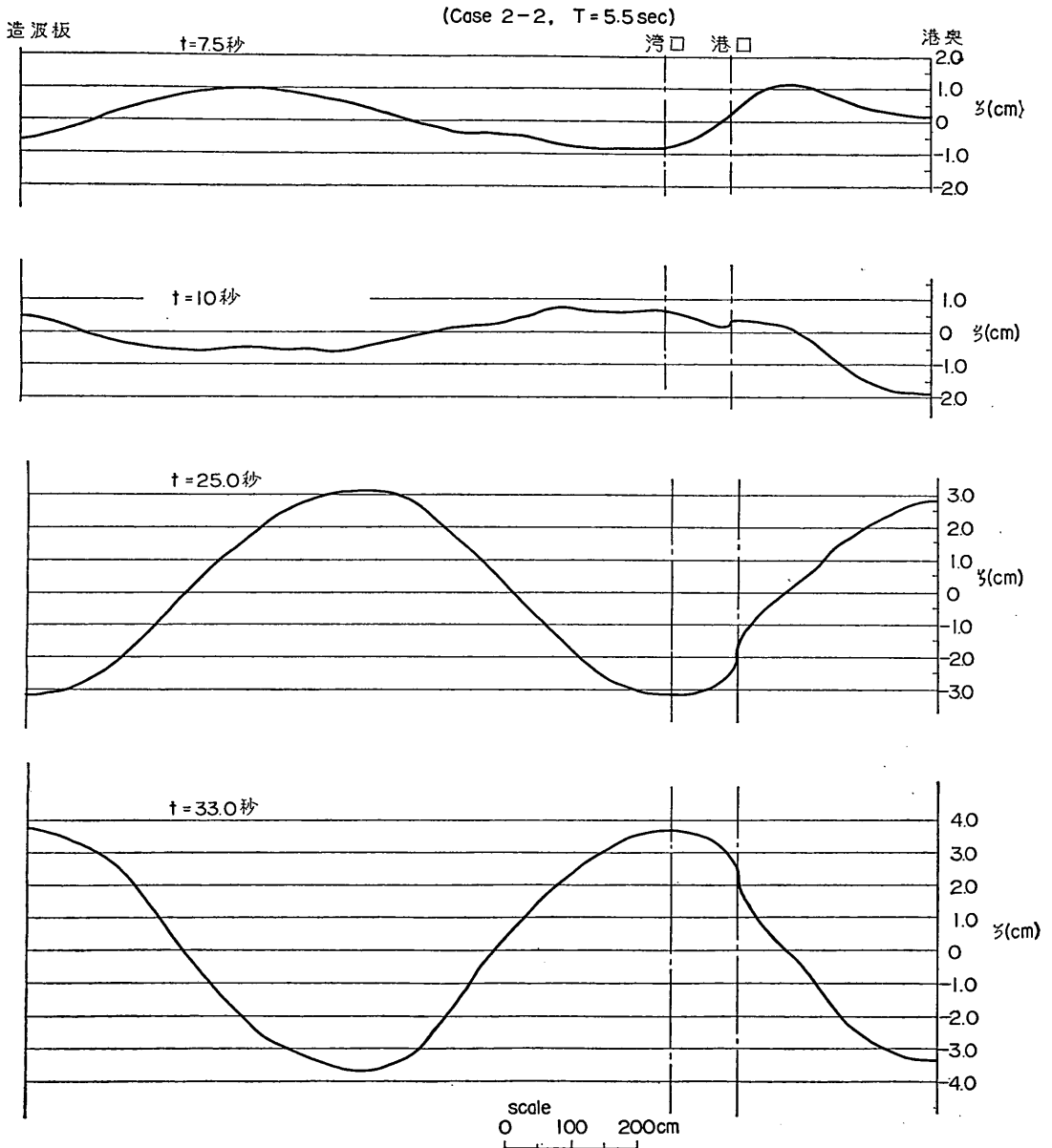


附図-3-19 港奥水位および港口流速の時間的变化



附図-3-20 港奥水位の時間的变化

長周期波に対する防波堤の効果に関する計算 (第3報)



附図3-21 水面曲線