

土木研究所資料

太田川高潮堤防模型実験報告書

昭和56年3月

建設省土木研究所

河川部海岸研究室

Copyright © 55年度 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

まえがき

広島市は太田川によって形成された河口デルタに発達した都市であり、市街地は江戸時代から埋立てられてきた地域に位置している。このために満潮位よりも地盤高の低い地域が存在している。一方、瀬戸内海は高潮による災害を過去に受けてきており、広島湾においても昭和29年9月の洞爺丸台風および昭和30年9月のルイズ台風によって高潮による浸水被害を受けてきた。

高潮災害を防止するための高潮対策事業は、港湾区域および河川河口部において実施されてきてはいるが、まだ完成には至っていない。広島市内には太田川の派川である天満川、旧太田川、元安川などが流れており、河口部の計画堤防高や堤防構造は一応決定はしているものの、都市河川としての環境整備についても配慮する必要性が生じ、これらについても現在見直しが行なわれている。

土木研究所海岸研究室においては、中国地方建設局太田川工事々務所の依頼によって、昭和53年度から太田川市内派川の高潮計画検討のための資料とするために模型実験による検討を行ってきた。昭和53年度には河道内に侵入する高潮時の波浪の変形状況を調べるために天満川河口部の模型を製作し、昭和54年度には規則波による波浪の侵入実験を行なった。昭和55年度においては不規則波による波浪の侵入実験を行なうとともに、堤防の消波効果についての実験を行なった。

本報告は天満川河口部における波浪の侵入状況について報告するものであり、堤防の消波効果および他の派川への適用等については別途報告したい。

昭和56年3月

海岸研究室長	橋	本	宏
研究員	山	口	修
	弘	田	英 人

目 次

ま え が き

1. 自然条件	1
1.1 地形・地質	1
1.2 気象・海象	1
2. 計画諸元	6
2.1 潮 位	6
2.2 波 浪	6
2.3 堤 防 高	6
3. 実験目的	9
4. 河道内への規則波の侵入実験	11
4.1 目 的	11
4.2 相似率および縮尺	11
4.3 実験方法	12
4.4 実験条件	15
4.5 実験結果	20
4.6 考 察	33
4.7 ま と め	35
5. 河道内への不規則波の侵入実験	37
5.1 目 的	37
5.2 実験方法	37
5.3 実験条件	41
5.4 実験結果	42
5.5 考 察	56
5.6 ま と め	57
6. 結 論	59
参考文献	60
付 録	61

1. 自然条件¹⁾

1.1 地形・地質

太田川は広島湾の北部に、図-1に示すように太田川放水路、天満川、旧太田川、元安川、京橋川等に分派して流入し、広島市はこれらの派川によって形成された河口デルタに発達した。

図-2に示すように江戸時代から干拓が行なわれ徐々に市域を広げてきた。干拓地であるために地盤高が低く、特に江戸中期末(1800年)から明治末期までに埋立られた土地の地盤高はT.P.0~1mときわめて低く、大正以後に埋立られた地域はT.P.2~3mとなっている。

広島湾は広島、岩国などの本土と大島、倉橋島によって囲まれた東西25Km、南北50Kmの海域を指すが、図-3に示すようにこの中に宮島、西能美島、東能美島、江田島、似島等が存在している。湾内の水深は深い地点で50m、平均としては約25mになっている。広島湾で発生する高潮は全域の地形が関係しているが、波浪については宮島や江田島等ではしゃへいされているために、その発達域としては東西10Km、南北10Kmの海域である。天満川河口を中心とした各方向に対する吹送距離は図-4に示すようになる。計画波浪の決定には吹送距離11.5Kmが用いられている。

地質に関しては、図-5に太田川三角州の地盤模式図を示すが基盤は白亜紀末期に形成された風化花崗岩からなり、その上に第四紀洪積世のれき層が存在している。その上に沖積世の浅海堆積層である上部粘土層および河成・沿海堆積層である上部砂れき層が存在し、最上部は有機質シルト層および埋立による最上部層となっている。海底の底質は太田川河口部では砂、沖ではシルトとなっている。太田川放水路および河口部の底質調査結果を図-6に示すが河口では平均粒径が0.1mm程度であり、上流では荒く、湾内では細かくなっている。

1.2 気象・海象

広島市においては冬期季節風によって生じる北または西北西の風の頻度が多いが、高潮災害をもたらすのは台風である。広島湾に高潮をもたらした台風のコースを図-7に、また主要な高潮の潮位を表-1に示す。潮位としては昭和17年8月の周防灘台風による最高潮位T.P.3.3mが最も高く、偏差としては昭和26年10月のルース台風による1.9mが大きい。

表-1 高潮と潮位

台風年月日	呼称	最高潮位	偏差	備考
T 15. 8. 6		T.P. 2.31 m	m	
S 8. 11. 20		" 2.58		宇品
S 17. 8. 27	周防灘	" 3.30	1.00 (計算)	痕跡
S 18. 9. 20		" 2.30		痕跡
S 25. 9. 13	キジヤ	" 2.33		宇品
S 26. 10. 15	ルース	" 1.78	1.90	宇品
S 29. 9. 27	洞爺丸	" 2.70	1.30	江波
S 30. 9. 29	ルイズ	" 2.69	1.10	江波

広島における既往の最低気圧を1935年から1965年の30年間にわたって調べた結果に

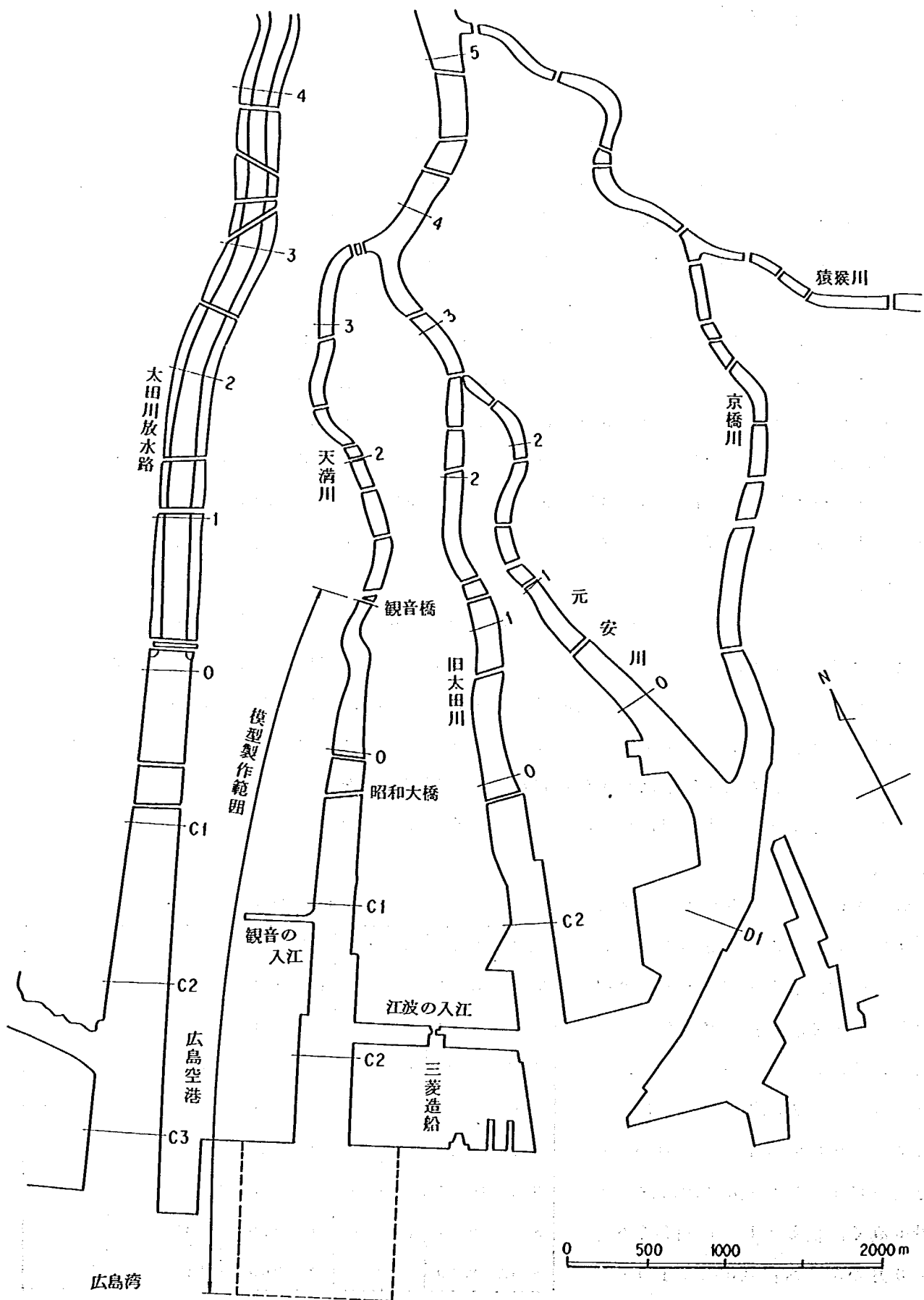


図-1 太田川河口部平面図

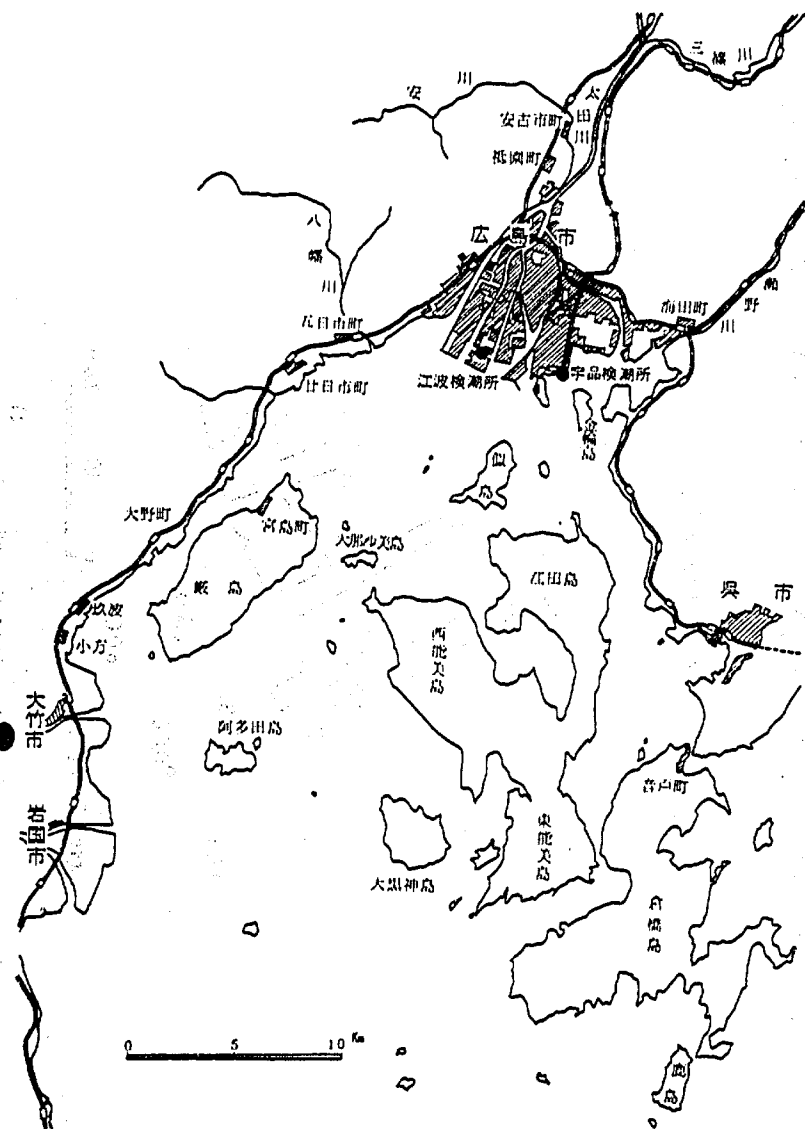


図-3 太田川位置図

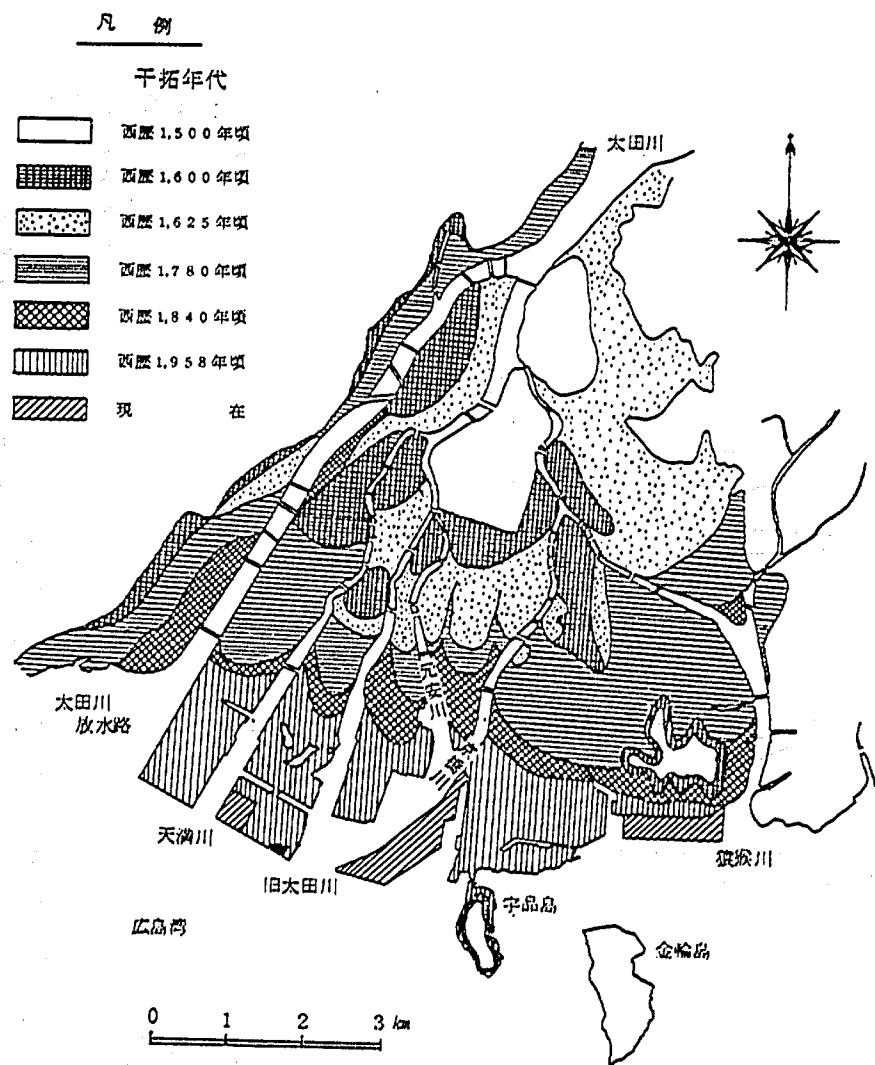


図-2 干拓経年変化図

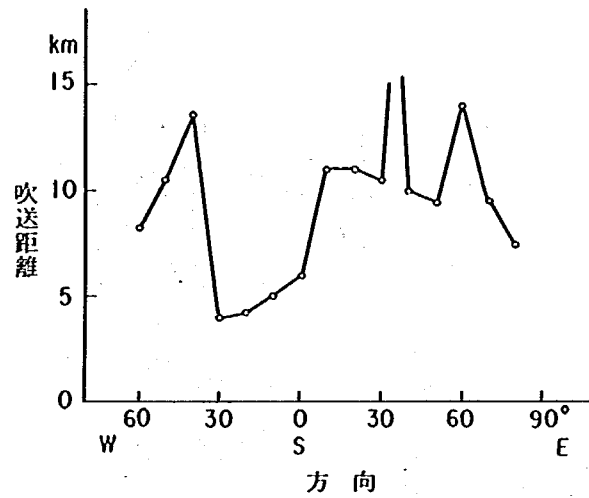


図-4 天満川河口における吹送距離

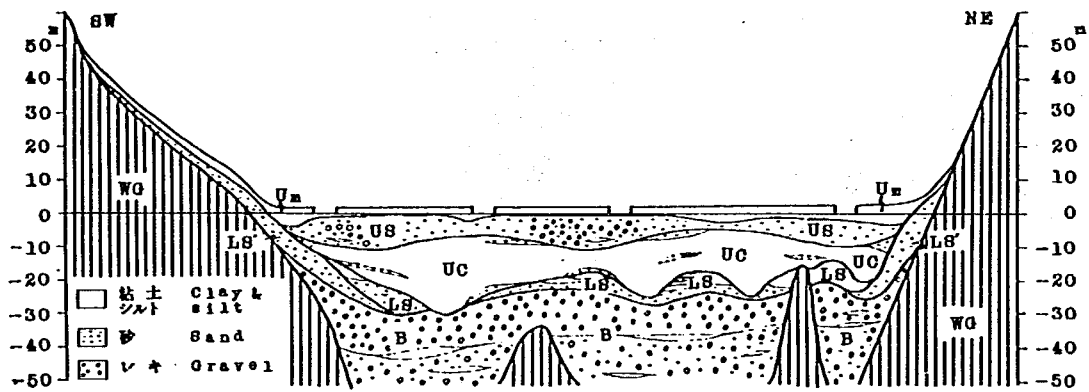


図-5 三角州地盤模式図 2)

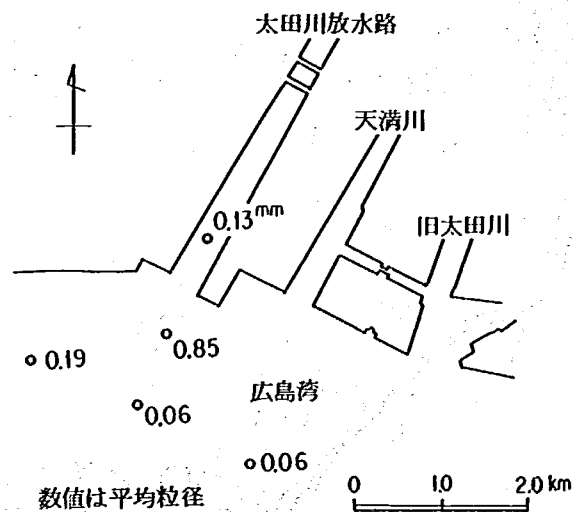


図-6 河口部底質分布図 4)

よれば昭和20年9月17日
(1945年)の962mb
である。また30年間の観測
値より最低気圧の期待値を求
めると100年では946mb
50年で957mb, 20年
で965mb, 10年で971
mb となっている。

台風による潮位の最大偏差,
最低気圧, 最大風速を調べた
結果によれば表-2に示すよ
うになる。この値はさきに示
したものと違いはあるが, 周
防灘台風, 洞爺丸台風, ルイ
ズ台風によって大きな偏差が
生じている。

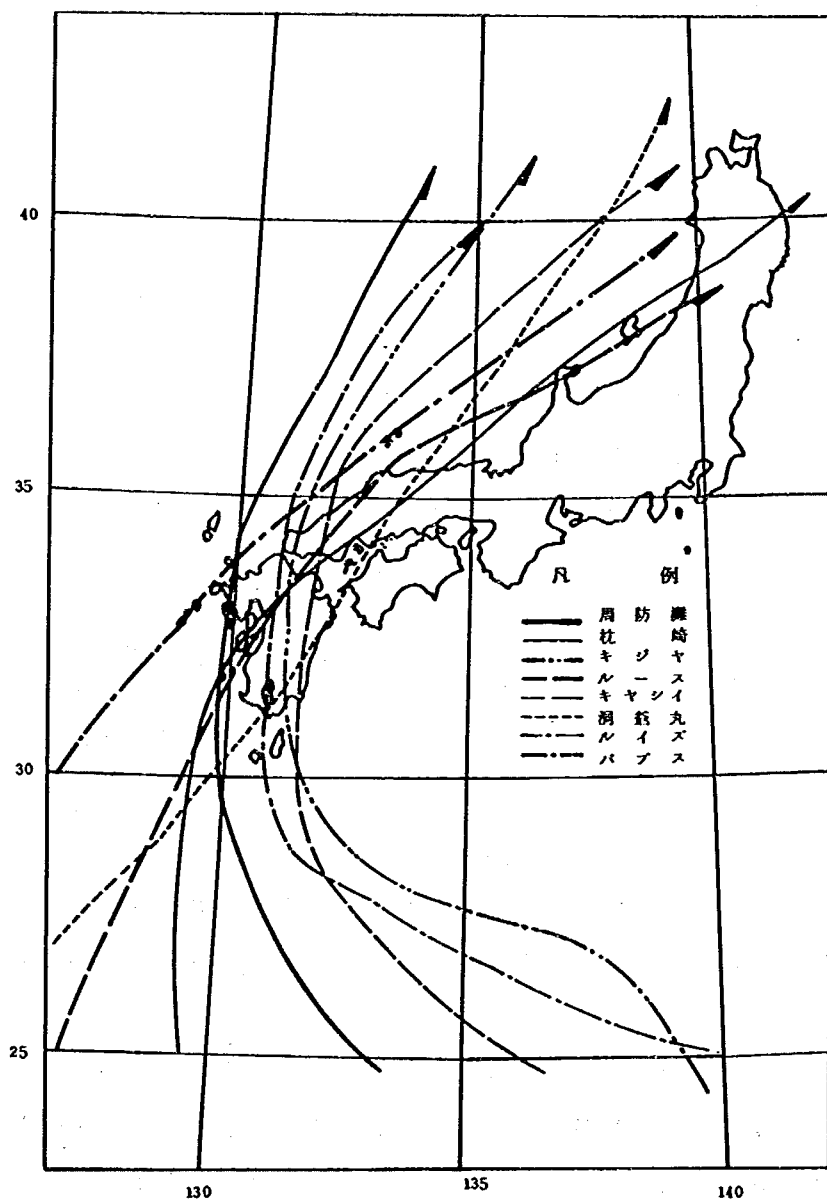


図-7 最近高潮をもたらした台風のコース

表-2 最大偏差, 最低気圧, 最大風速 (広島)³⁾

年 月	台風名	最大偏差	最低気圧	最大風速
		日 時 分 cm	日 時 分 mb	日 時 分 向 m・sec ⁻¹
1955 IX	5522	30 9 00 135	30 7 41 985.7	30 11 20 S 29.2
1954 IX	洞爺丸	26 8 05 133	26 6 15 970.3	26 7 10 NNW 15.5
1942 VII	周防灘	27 23 00 124	27 22 00 987.6	27 (22 10 / 23 10) SSE 28.2
1965 VII	6515	6 12 00 110		
1954 IX	5412	14 2 15 90	14 0 00 970.8	14 4 20 SSW 26.2

2. 計 画 諸 元⁵⁾

2.1 潮 位

天体潮については江波検潮所（太田川工事々務所所属）と宇品検潮所（広島港事務所）において観測された記録をもとに決定された。潮位実況は表-3に示す通りであり、これにもとづいて計画の天体潮位としては台風期の朔望平均満潮位を採りT.P. + 2.00 mとした。

台風による潮位偏差は、過去に広島湾に来襲した台風による最高潮位はさきに示した表-1の通りであり、昭和26年10月に来襲したルース台風による偏差1.9 mが既往最大偏差である。また伊勢湾台風と同じ規模の台風が、周防灘台風、ルース台風、洞爺丸台風のコースを進む場合の潮位偏差を数値計算によって解析

表-3 潮位実況

	江 波	宇 品
平均潮位	T.P. 0.21 m	T.P. 0.18 m
平均満潮位	1.34	1.35
台風期平均満潮位	1.47	1.47
朔望平均満潮位	1.89	1.89
台風期朔望平均満潮位	2.04	2.00

観測期間 江波：昭和29.1～40.12 宇品：昭和31.1～40.12

注：台風期とは7月～10月を指す。

した結果によれば周防灘台風のコースでは偏差は1.29 m、ルース台風のコースでは2.31 mおよび2.43 m、洞爺丸台風のコースで1.45 mとなった。これにもとづいて計画潮位偏差として2.40 mを採用した。したがって計画潮位は天体潮位に潮位偏差を加えてT.P.+ 4.40 mとなる。

2.2 波 浪

太田川河口に來襲する波浪については、波の発達域が限定されているために一定風速のもとに発達する波をS.M.B法によって推算した。吹送距離としては11.5 Kmを採り、風速については高潮計算に使用した広島での最大風速29.0 m/secを用いて計算が行なわれた。その結果、有義波高 $H_{1/3} = 2.5$ m、周期 $T = 5.5$ sec となり、これを河口部の計画波として採用した。浅海域が続けば海底摩擦による減衰があるが湾内の水深が15～20 mであり、摩擦による波高減衰は小さいので考慮していない。

河道内に侵入する波浪については屈折、反射、破波等によるエネルギーの変化を、過去に行なった模型実験の結果によって図-8に示すように推定し、これらの値が用いられた。また河口部には湾岸道路が計画されており、各派川には橋梁が架けられる計画になっているためにこれによって波浪の減衰をはかることとした。橋梁による波高の減衰については模型実験による検討を行ない、その効果としては入射波を1/2に減衰するものとしている。したがって河道内の波高は図に示した値の1/2の減衰率を有するものとして設定された。

2.3 堤 防 高

河道内の波浪の侵入および高潮に異常潮位を考慮した計画堤防高としては、計画潮位に波のうちあげ高を加えた高さとして決定される。潮位については河道内で上昇する傾向を有するが、そ

の量は小さいためにここでは無視し、河道内も河口部と同じ潮位が採用された。堤防への波のうちあげ高については各地点における波浪に対応したうちあげ高を求めることになるが入射波高とうちあげ高の比は1.0になるものとして計算された。

計画潮位および波浪によって河道内各地点におけるうちあげ高を計算し、これにもとづいて計画堤防高が図-9に示すように決定された。入射波が直接入射する地点ではT.P. 6.9 m (4.4 m + 2.5 m) であり、湾岸道路の橋梁(第1橋梁)より上流側ではT.P. 5.7 m (4.4 m + 1.3 m) となり、さらに上流では減衰が考慮されている。

堤防の法線については現在の河道に沿う形とし、堤防断面については下流部ではのり勾配の緩い型を、上流部ではのり勾配のきつい型を採用した。

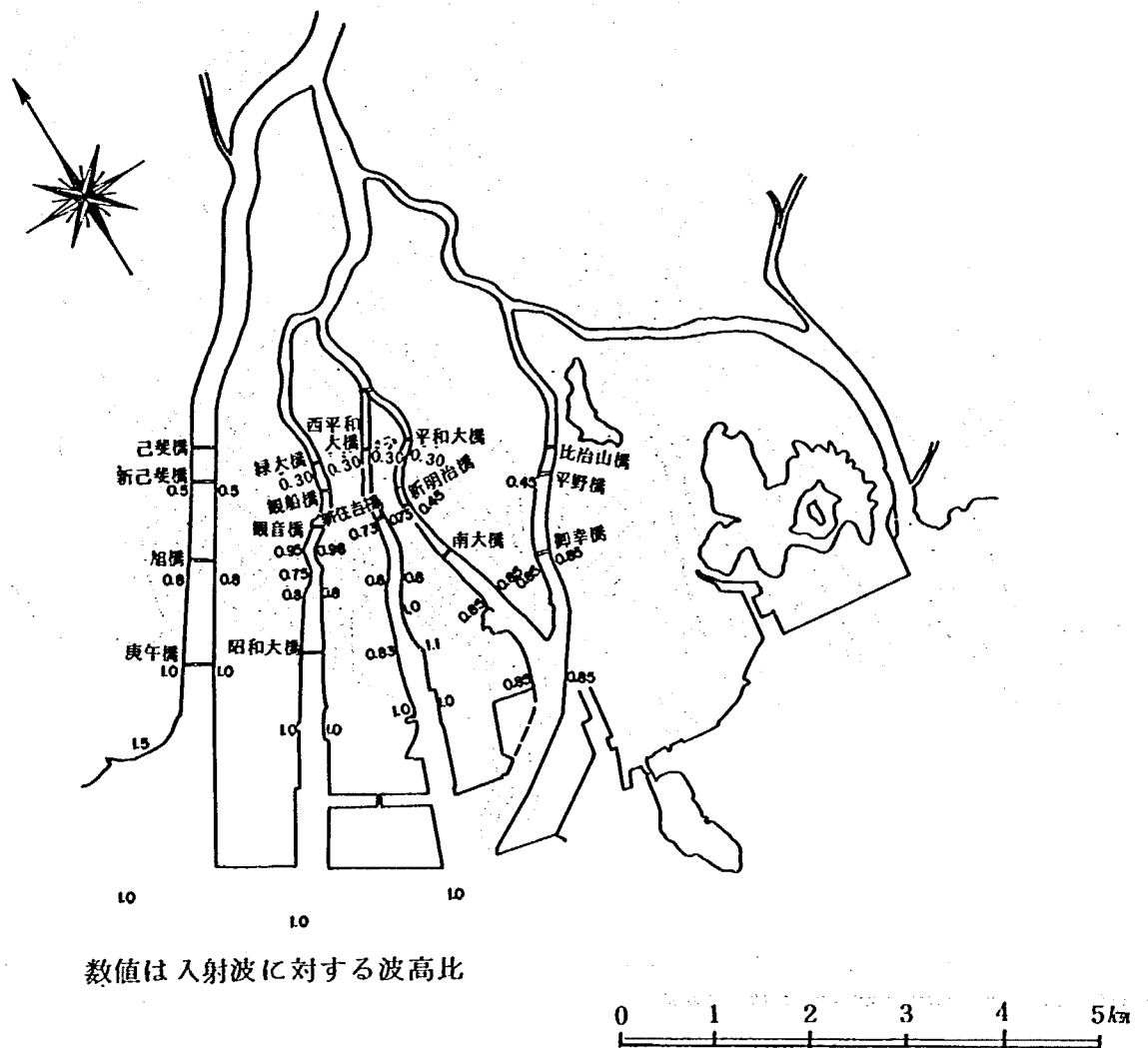


図-8 波高減衰率

凡 例

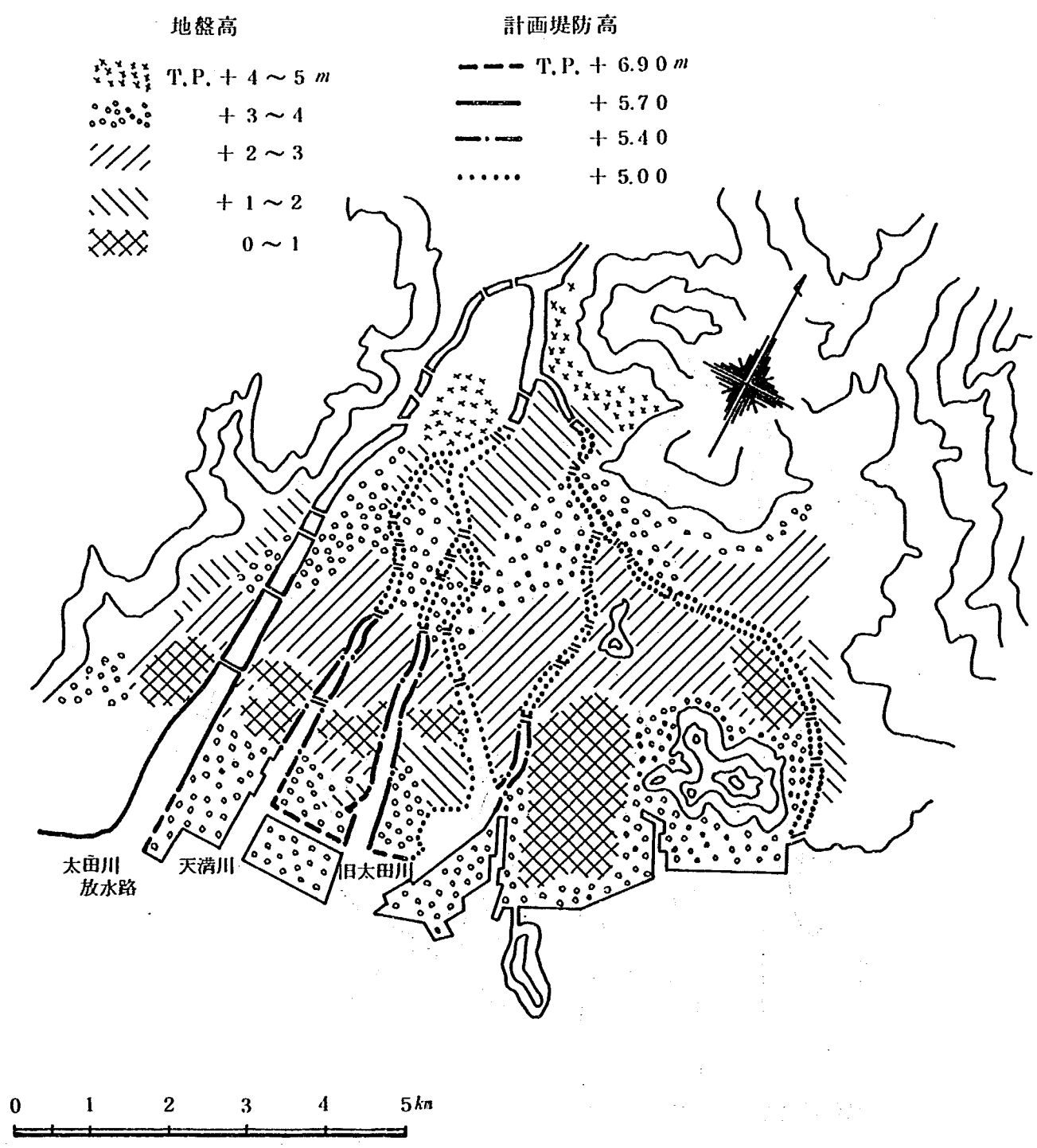


図 - 9 計画堤防高及地盤高

3. 実 験 目 的

太田川河口部における高潮計画は昭和44年に立てられたがその後の状況変化によって計画自体の見直しを必要としている。特に大きな問題としては沿岸道路の第1橋梁による河道内侵入波の減衰を考慮していたが、現在では高架にする計画であるために減衰を期待できないことである。また都市域に高い堤防を造ることも都市景観のうえから問題を提起している。このような背景のもとで次のような項目に関する検討を模型実験を中心として行なうこととした。

第1に現在の計画で第1橋梁がない場合の越波やうちあげ高がどの程度になるかを明らかにし、現在の安全度についてまず評価することとした。次に河道内に侵入する波浪の低減方法およびその効果について明らかにすることがあげられた。第3に景観上の問題を検討するためにコンクリートの直立堤以外の形式の堤防について、入射波とうちあげ高の関係および構造上の安全性について検討する必要性が考えられた。

河口部の高潮対策を検討するに際しては種々の制約条件がある。まず河口部は港湾区域であり、上流側が河川区域のために、港湾区域に構造物を造ることは望ましくないという制約がある。また計画潮位や波浪については特に変更すべき状況にないために、基本的にはこれに従って河道内の計画を検討することとした。河道内への侵入波を減らすためには種々の構造物を設ける案が考えられるが、これらの構造物が洪水の疎通を阻害するようでは問題を生じる。このような制約条件を考慮に入れて対策案について検討を行なった。

河道内への侵入波を防ぎ、堤防を越波する量を減らすために考えられる案としては種々のものがある。まず侵入波を減らす方法としては河口部に消波構造物を設ける案、これまで考えていた橋梁によって消波する案などがあり、越波を防ぐための方法としては堤防高を高くする案、堤防の前面に消波工を設ける案、ある程度の越波は許容し排水施設や堤防構造を強固にして対処する案などがある。これらの項目については模型実験や数値計算によって検討することが可能であり、下記のように分けて検討することとした。

- (1) 河道内への規則波の侵入実験
- (2) 河道内への不規則波の侵入実験
- (3) 屈折に関する数値計算
- (4) 堤防の消波効果と安定性に関する実験
- (5) 実験結果の現地への適用

河口から侵入した波は河道内で屈折、反射等を行ない、堤防にうちあげる。この状況を調べるには模型実験が現在では最も信頼できる方法であるために、河口部の模型を製作し実験を行なうこととした。河口部に侵入する波は実際には波高、周期ともに不規則に変動するものであるが、実験をすべて不規則波で行なうことはデータ処理に非常に手間がかかるためにまず規則波による実験を行なうこととした。この中で重要なものについて、その後不規則波によって検討を行なった。したが

って河道内に侵入する波の変形とうちあげに関する実験は規則波によるものと不規則波によるものに分けられる。

太田川は河口部で太田川放水路、天満川、旧太田川、京橋川、元安川に分派しており、それぞれについて実験を行なうことは実験場の広さおよび費用の点から問題があるために、波浪の侵入実験は最も条件が悪いと考えられる天満川について行なった。他の派川における波浪の変形状況については、天満川の実験結果にもとづいた屈折計算によって推定することとした。河道内の波の変形を数値計算により解析することは一般には困難であるが、実験の結果にもとづいて計算手法の検討を行なうこととした。

河口部の河川堤防は波浪による越波があるために、コンクリート等で表のり、天端、裏のりを被覆しなければならないが、太田川河口部では河岸が公園になっている場所もあり、強固な構造物は望ましくない場合もあるために、張石等の被覆の越波に対する安全性について検討する必要がある。また、河道内の侵入波やうちあげを減らすために消波工等も考えられるのでこれらの項目についての検討を水路を使用した実験によって行なうこととした。

これまでに述べた実験や解析の結果は総合的にまとめられなければならない。また実験の結果は直接現地に適用するに際しては修正等も必要であるために、まとめとして、実験結果の現地への適用について検討した。

4. 河道内への規則波の侵入実験

4.1 目 的

河道内における波の変形や堤防への波のうちあげ高について検討を行なうために天満川について模型実験を行なった。河道内に侵入した波は反射、屈折、砕波等によって波高が変化する。天満川におけるこれらの状況を明らかにするとともに、これらの結果は他の派川における波浪の変形を計算するための検証資料として用いる予定である。河道内に侵入した波は堤防にうちあがるが、うちあげ高は堤防高や越波量決定のための資料となる。したがって現在の計画条件でのうちあげ高がどのようになるか、また消波工や橋梁等の波の侵入を防ぐための構造物の効果がどのようなものであるかを検討した。また高潮時に洪水が重なった場合の洪水が波浪の変形に与える影響についても合せて調べた。

模型実験においては実物と比較して海底摩擦による波高の減衰が大きくなる可能性もあるために、実験の結果を直接実物に換算することはできないが、補正を加えて実際の状況を推定することとした。したがってこの実験においては実際の堤防へのうちあげ高や越波量を推定するための基礎資料を得ることを目的としている。

4.2 相似率および縮尺

模型実験においては、実物と模型が相似でなければならず、実物と模型の相似率が確定している必要がある。波浪に関する模型実験においては、一般に重力と慣性力が支配的であるために、これらの量の比が実物と模型で一致する必要がある。この条件を表わしたものがフルードの相似則であり、代表長さを L 、時間を T 、流速または波速を U 、重力の加速度を g とし、添字 p と m でそれぞれ実物と模型を表わすと次のようになる。

$$\frac{U_m / \sqrt{g L_m}}{U_p / \sqrt{g L_p}} = 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

模型および実物で重力の加速度は同じとすると、長さの縮尺 $L_m / L_p = 1 / S$ の場合には時間および速度の縮尺は次のようになる。

$$T_m / T_p = U_m / U_p = 1 / \sqrt{S} \quad \dots\dots\dots (2)$$

現象を支配している力としては模型では表面張力や粘性力などが考えられる。表面張力については、実験を行なう波の周期が模型で1.0秒以下になると影響を受け始めるといわれている。特に小さい波では砕波条件が相似ではなくなる。粘性については河道内の波浪の減衰に関係し、模型では海底または河床付近の流れは層流であり、一方実物では乱流になっていると考えられる。したがって海底摩擦によるエネルギー損失を相似にすることは一般に困難であるが、波高変化に対する海底摩擦の影響はあまり大きくないために計算によって補正することとした。

海底面に働く剪断力は実物では次のように表わされる。

$$\tau_b = \frac{1}{2} C_f \rho U_b |U_b| \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで τ_b : 底面での剪断力, C_f : 摩擦係数, ρ : 流体の密度, U_b : 底面の水平流速である。
流体としては実物も模型も水であるので 摩擦係数については実物と模型で次の関係が成立しなければならぬ。

$$C_{fm} / C_{fp} = 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

実物においては C_f は0.02～0.2の範囲にばらついており, 海底の粗度や波浪条件によって異なる。一方模型における摩擦係数については C_f で表わすと $C_f = 0.1$ 程度である。したがって実物の係数がこの程度であれば補正は少なくてすむ。

模型の縮尺は相似率, 検討すべき模型の範囲, 実験に使用する施設の規模や能力によって決定される。相似率についてはさきに述べたように表面張力等の影響がないようにできるだけ大縮尺にするのがよいということになる。この模型実験において検討すべき範囲としては海域については海底地形が波浪の変形に影響を与えない水深まで模型を造る必要がある。この水深 h_c としては $h_c/L_0 > 0.2$ または $h_c/H_0 > 4$ 程度であり, 周期5.5 sec とすると $L_0 = 50m$ であり, $h_c > 10m$ となる。また造波板と河口までは3波長程度の間隔をあける必要がある。上流部については天満川0.8 Km付近に屈曲部があり, これより上流へは波浪の侵入が少ないと考えられるために1.2 Kmまで模型範囲とすることにした。

実験の施設としては土木研究所海洋沿岸実験棟内の平面実験場(幅43m, 長さ90m)を使用することとした。

これらの各種条件を考慮して長さの模型縮尺として1/50を採用した。したがって各物理量の縮尺は表-4のようになる。

表-4 模型縮尺

項目	物 理 量	縮 尺	
長さ	水深, 波高, 長さ	1/S	1/50
速度	流速, 波速	1/√S	1/7.07
時間	時間, 周期	1/√S	1/7.07
流量	流量	1/S ^{5/2}	1/176.77
重量	ブロック重量	1/S ³	1/125,000

4.3. 実験方法

4.3.1 実験装置

模型実験は天満川河口部を縮尺1/50で製作し, 河口から波を造波機によって与え, 河道内の波高およびうちあげ高の分布を測定した。

河口部模型の範囲は図-10に示すように河口から沖へは1.0 Km, 上流には河口から約3.5 Kmとした。模型は深浅測量および横断測量のデータを用いて海域部では100m間隔で, 河道内でも100m間隔で高さの基準点を設けてモルタルで製作した。各断面の横断図を付録に示す。

河口部は現況(昭和50年1月測量)の地形とし, 0.1 Kmより上流部については計画河床(T.P.-2.0m)とした。河口付近は埋立のために掘削を行なったのか河床高は低くT.P.-1.0

图-10 太田川(天満川)模型概要图

mであった。

河道の横断形状は単純な形をしているが最深部は河口部C 2.5 ~ C 1.9 Kmの間では右岸に寄っており、その深さはT.P. - 1.0 m程度である。またC 1.6 ~ C 1.3 Kmの間では逆に最深部は左岸に寄り、T.P. - 8 m程度と浅くなり、C 1.0 Kmより上

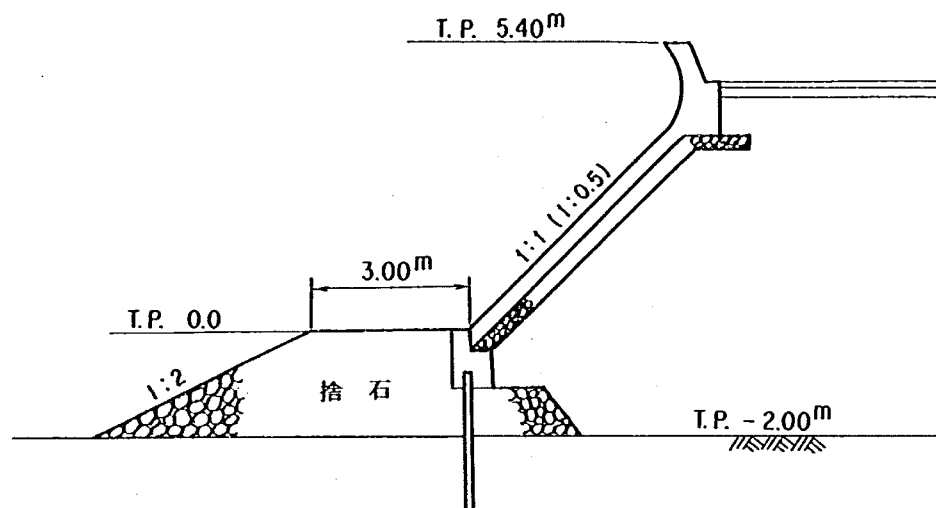


図-1-1 堤防断面図

流では計画断面より浅くなるために模型はT.P. - 2.0 mの計画断面で造られている。したがって一部深い部分もあるがC 1.0 Kmより上流ではほぼ平坦な河床となっている。堤防の断面形状としては図-1-1に示す計画断面を使用した。ただ堤防天端高としてはうちあげ高を測定するためにT.P. + 8.0 mとしている。

模型には河川の洪水の影響を調べるために、上流部に整流装置および量水ぜきを設けた。また下流部には巻上げ型ゲートを設けて水位を制御した。河口部は各方向から波が入射する場合の実験を行なうために実物で1 Km平方、模型で20 m平方の範囲を製作した。

実験に使用した造波機は油圧サーボ駆動方式による造波機で、規則波および不規則波を発生することができる。造波板幅8 m、高さ0.85 m、最大波高40 cm、周期0.1 ~ 8.0 sec、油圧ポンプ能力30 kW、流量100 l/min、最大圧力140 ㍻である。造波板から河口までは導波板によって波を導き、また河口兩岸および造波板の背後には反射波を消すために消波装置を入れた。

4.3.2 測定方法

造波機によって波を発生した後、河道内の波高分布、堤防へのうちあげ高、流況、波向等の測定を行なった。測定は同一条件で3回行なった。測定点については図-1-0に示す。

入射波高、河道内の波高、うちあげ高については計測技研製容量式波高計およびペン書きオシログラフを使用した。入射波高については造波板の前面7.0 mの位置で横断方向に等間隔に3台の波高計を並べて測定した。これは造波機運転中は常時記録を採った。

河道内の波高については現河口であるC 2.5 Kmから0.5 Km間隔でC 2.0 Km、C 1.5 Km、C 1.0 Km、C 0.5 Km、0 Km、0.5 Km、1.0 Kmの8断面において左岸側、中央部、右岸側の3点で測定した。測定は造波後150波について記録を採り、波が到達してから21波目から30波目の10波について整理している。

うちあげ高は波高計を堤防に沿わせて測定した。測定は、C 2.5 Km、C 2.0 Km、C 1.7 Km、C

1.5 Km, C 1.3 Km, C 1.0 Km, C 0.8 Km, C 0.5 Km, 0 Km, 0.5 Km, 1.0 Kmの11地点については左右岸で、またC 1.75 Km, C 1.32 Kmについては左岸側で、C 1.72 Km, C 1.02 Kmについては右岸側で測定した。したがって測定点は26点となる。またうちあげ高は静水面を記録し、それからの高さとして表示してある。

実験は高潮時の計画潮位に海面を保って行なったためにその確認と河川流量を与えた場合の水位を知るためにピトー管の静圧部を利用して水位を測定した。測定点は海域部C 2.5 Km, C 2.0 Km, C 1.0 Km, 0 Km, 1.0 Kmの6地点である。

河道内に侵入する波の方向および洪水の流況を測定するために水面に赤, 青, 黄の直径約2 cmのフロートを投入しその移動状況を, 水面上から7 mに設置したモータードライブカメラ(20 mm広角レンズ)によって撮影した。位置はC 2.5 Km, C 2.0 Km, C 1.0 Km, 0 Km, 0.5 Kmの5ヶ所であり, 撮影間隔は5波毎とし10回撮影した。波向についても同様である。

洪水時に上流から流出する流量の測定は量水槽に設けた四角ぜきによって行なった。流量は次に示す板谷, 千島公式⁶⁾によって計算した。

$$Q = C_b H^{3/2} \dots\dots\dots(5)$$

ここでQ:流量, b:四角ぜきの幅, H:越流水深であり, Cは越流係数で次式のように表わされる。

$$C = 1.785 + \frac{0.00295}{H} + 0.237 \frac{H}{D} - 0.428 \sqrt{\frac{(B-b)H}{B \cdot D}} + 0.034 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

ここでBは量水槽の幅, Dはせき下端から量水槽底面までの高さである。この実験ではB=0.79 m, b=0.30 m, D=0.295 mであり越流水深は $Q=500 \text{ m}^3/\text{sec}$ (模型で28.3 l/s)の場合, 模型で14.3 cmであった。

4.4 実験条件

本実験の目的が, 現況の河道内での波高変化と堤防への波のうちあげ高を明らかにし, 各種対策工の効果を検討するものであるために, 前者については6ケース, 後者についても6ケースの実験を行なった。潮位および河口から入射する波の波高, 周期についてはいずれのケースについても同一条件とし計画値を使用した。

すなわち, 波高 $H_0 = 2.5 \text{ m}$ (模型: 5.0 cm),

周期 $T = 5.5 \text{ sec}$ (模型: 0.78 sec),

潮位 T.P. 4.4 m (模型: 8.8 cm) である。

模型実験においては一応上記の値を目標に波を発生させたが常に同一の波高とはならずある程度のばらつきがある。造波板から7.0 m岸側の3点で入射波高の測定を行なったが, 発生波の頻度分布は図-12に示すようになった。これは各ケース30~40回の実験を行なった際の波高の測定値の分布を示したもので平均値としては $H_0 = 2.52 \text{ m}$, また標準偏差は0.16 mであった。

波向については、現況における各方向からの入射波の影響を明らかにするために、3方向から波を入射させた。構造物の消波効果等の検討に際しては河道に最も波の入りやすい方向でのみ実験を行なった。

河川の流れについては、洪水時には、 $1000\text{ m}^3/\text{sec}$ 程度の流量となる計画であるが、洪水と高潮が重なる確率は小さいと考えて、 $500\text{ m}^3/\text{sec}$ （模型 $=28.3\text{ l}/\text{sec}$ ）の流量について実験した。

河道内に侵入する波を減衰させる対策としては、河口部付近の地形を変化させる方法、消波工によって対処する方法、水中に入った橋梁等による方

法などが考えられる。河口部の河道横断形状を、中心部は深く兩岸を浅くなるように変化させると波は兩岸に向って屈折するために、河口部ではうちあげ高は増大するが、波は上流部には侵入しない。しかし太田川の各派川の河口部はすでに埋立によってかなり深くしゅんせつされているために、兩岸を埋立て屈折の効果を発揮させるには埋立が大規模となるのでこの方法についてはここでは検討を行なわなかった。

消波工による対策としては通常用いられているテトラポッド等の異形コンクリートブロックによる方法と直立消波護岸を用いる方法が考えられる。水深の浅い場所では異形ブロックによる方法が、深い場所では直立消波護岸による方法がよいと考えられるので、この兩者について検討を行なった。すなわち河口部の港湾区域については直立堤を設置しその効果を検討した。また上流の建設省の直轄区間については異形ブロックを使用した傾斜型および直立型の消波工についてその効果を調べた。

橋梁についても水面以下となっている場合には波浪の上流への侵入を防止する効果があるので、現在存在する昭和大橋および湾岸道路として計画されている第1橋梁についてその効果と影響について検討を行なった。これらの構造物はそれぞれを組合せて検討を行なった。構造物の設置状況は図-13に、また実験条件は表-5に示す。

昭和大橋の構造については図-14に示すように5スパンに分かれ、両側径間は 38 m 、中央3径間は 44 m であり、全径間 208 m となっている。幅員約 14 m のものが2橋並んでいる。波浪の減衰に係るのは桁下高であるが、両側ではT.P. + 4.5 m 、中央部でT.P. + 5.2 m となっている。また桁高は 2.0 m である。模型には橋脚も実物と相似なものを設置した。（図-15参照）

第1橋梁については 0.10 km の地点に左岸側 38 m 、1径間、それより右岸に向って 44 m の6径間を観音の入江に向って設置した。その状況を図-16に示す。構造としては橋梁、橋脚と

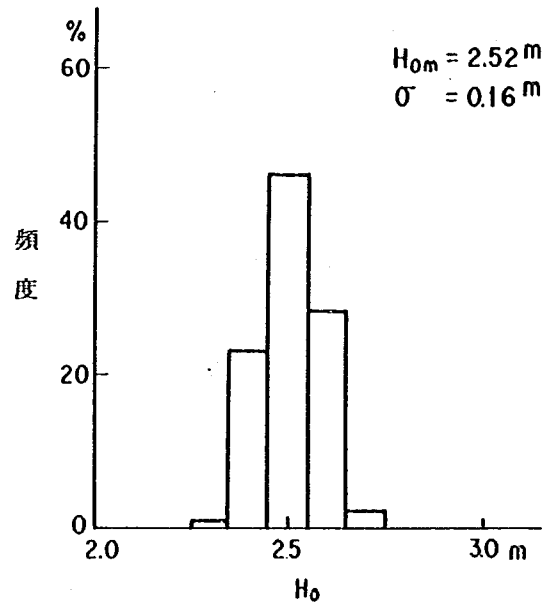


図-12 入射波のばらつき

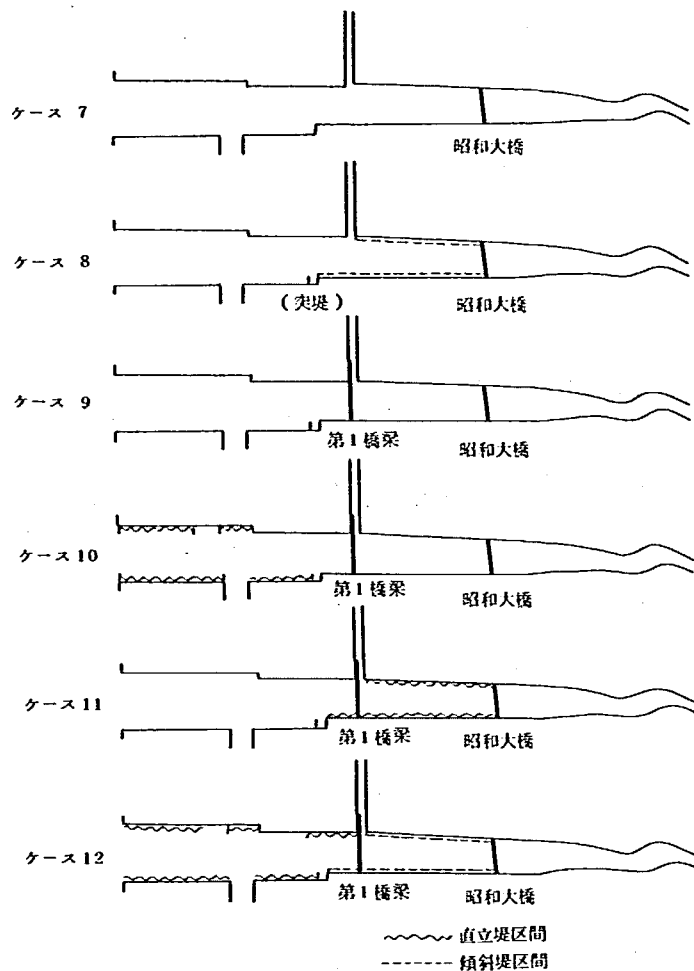


図-13 構造物の設置状況

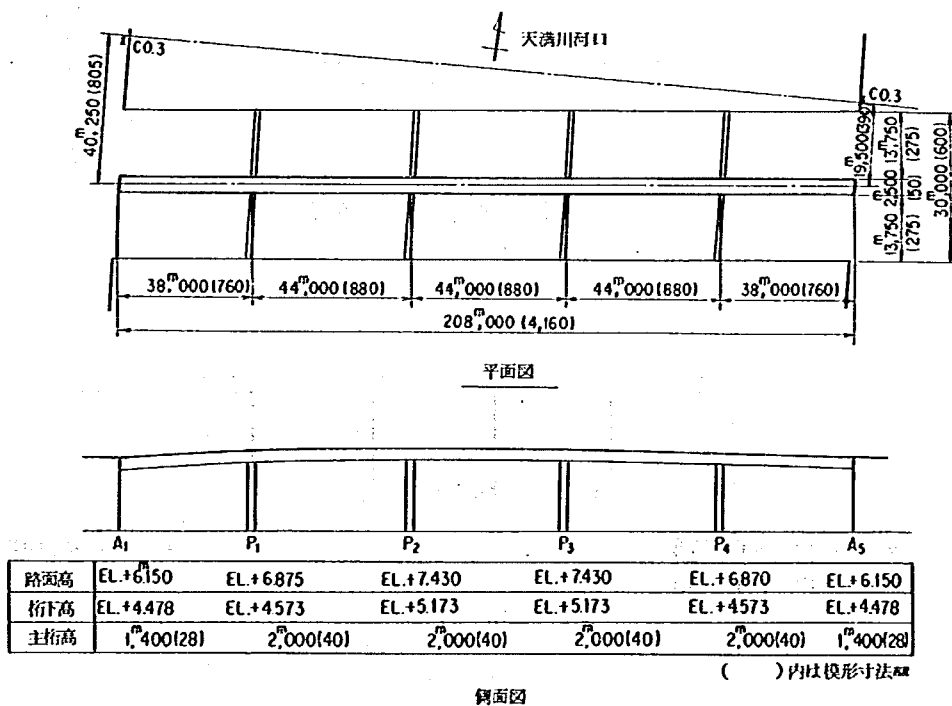


図-14 昭和大橋概要図

表 - 5 実験条件 (規則波)

実験ケース	波 向	河川流量	橋 梁	消 波 工	その他の構造物
1	S 30°W	0	な し	な し	
2	S 20°W	0	"	"	
3	S 40°W	0	"	"	
4	S 30°W	500 m ³ /sec	"	"	
5	S 20°W	500	"	"	
6	S 40°W	500	"	"	
7	S 30°W	0	昭和大橋	"	
8	"	"	"	傾斜型 (直轄区域)	C 1.7 5 Km 左岸突堤
9	"	"	昭和大橋, 第 1 橋梁	な し	"
10	"	"	"	直立型 (港湾区域)	"
11	"	"	"	直立型 (直轄区域)	"
12	"	"	"	傾斜型 + 直立型	"

も昭和大橋と同じ構造としている。ただ桁下高としては T.P + 4.4 m としており、昭和大橋と異なり水面に接している。

消波構造については、傾斜堤として模型では 3 ~ 4 cm, 重量は 28 g, 実物で 3.5 ton の砕石を使用した。実際には異形消波ブロック

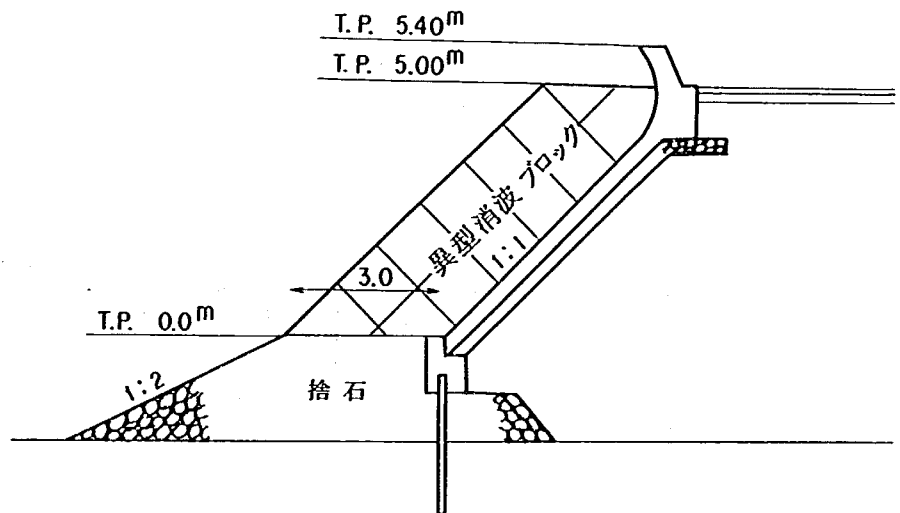


図 - 17 傾斜型消波工断面図

を想定しているが縮小するのが困難であったので砕石で代用した。直立消波護岸については現在種々の形式が考案されているが、模型が得られやすいという観点からクロスホローブロックを使用した。この形式がよいということになればブロックの種類についてはさらに詳細な検討が必要である。なおブロック重量としては約 40 ton のものを使用した。これらの構造図を図 - 17, 18 に示す。また河口部の直立消波工は図 - 19 に示すように岸壁等としての利用に支障のない範囲に設置した。

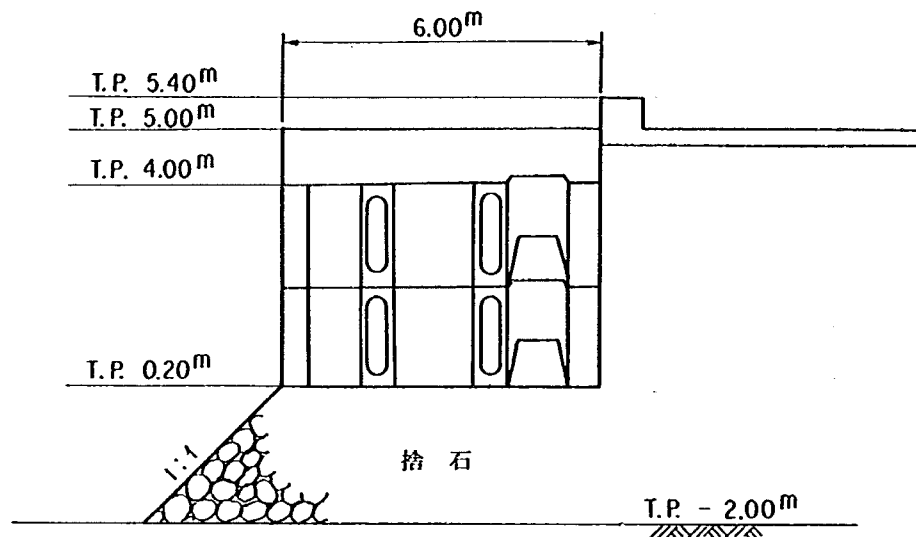


図-18 直立型消波工断面図

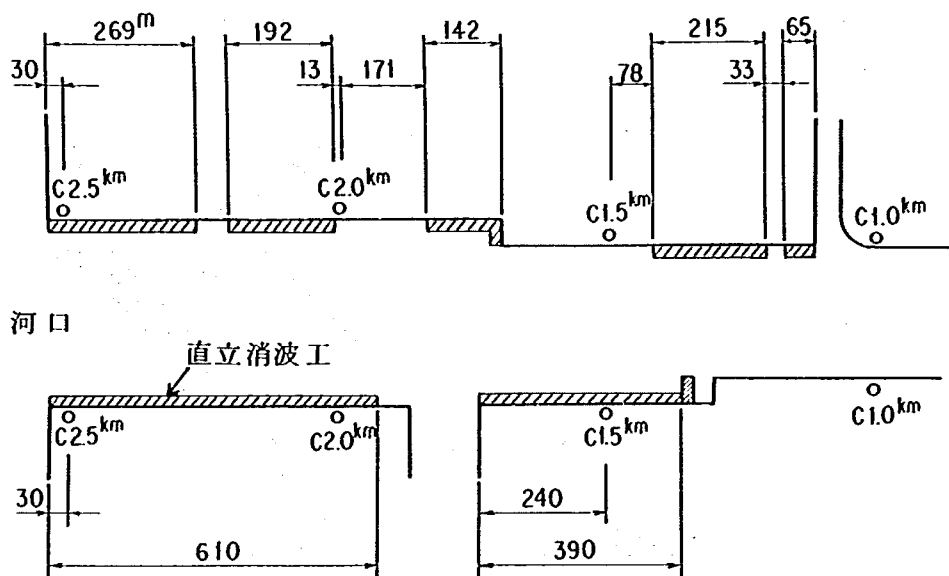


図-19 直立消波工設置区間

4.5 実験結果

4.5.1 現況における波浪変形とうちあげ高

河口部の橋梁による波高の減衰を考慮しない場合の現在の計画堤防高がどの程度の安全度を持っているかについてまず調べた。河道内の波高および計画潮位上のうちあげ高の各断面ごとの分布を図-20から図-22に示す。この数値は実物に換算した値を示すが、底面摩擦についての

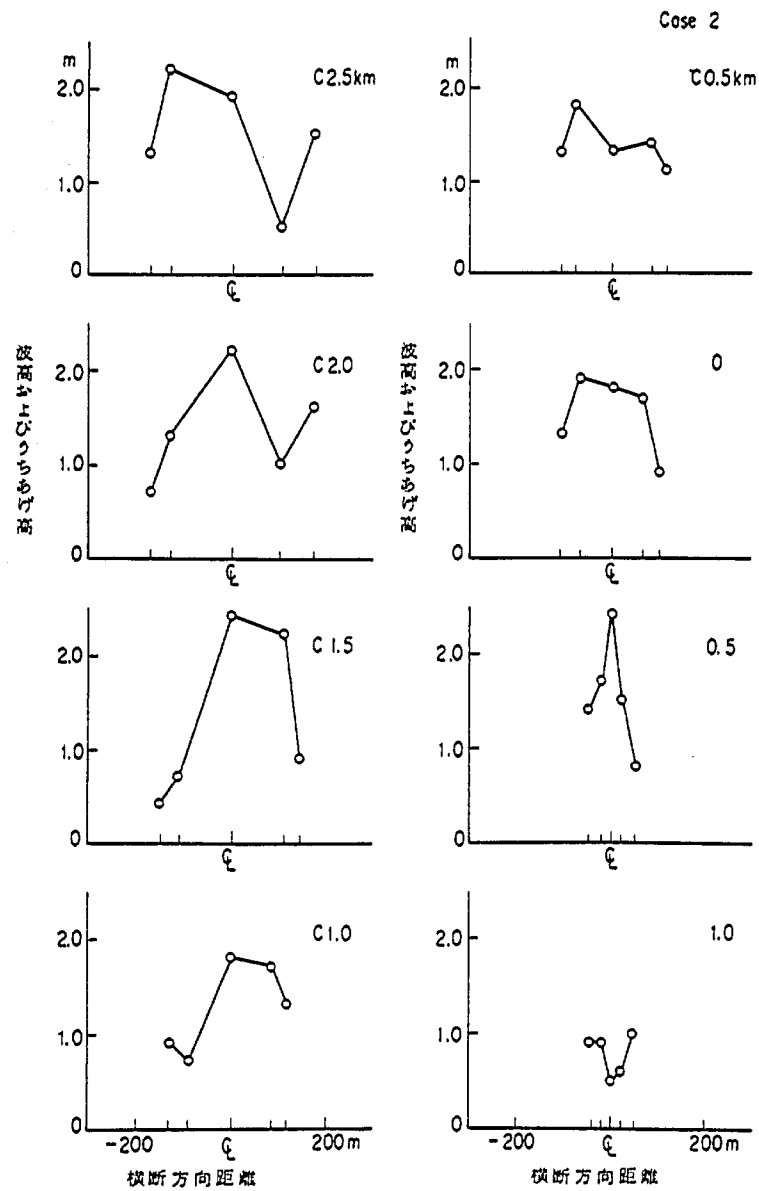


図-21 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース2)

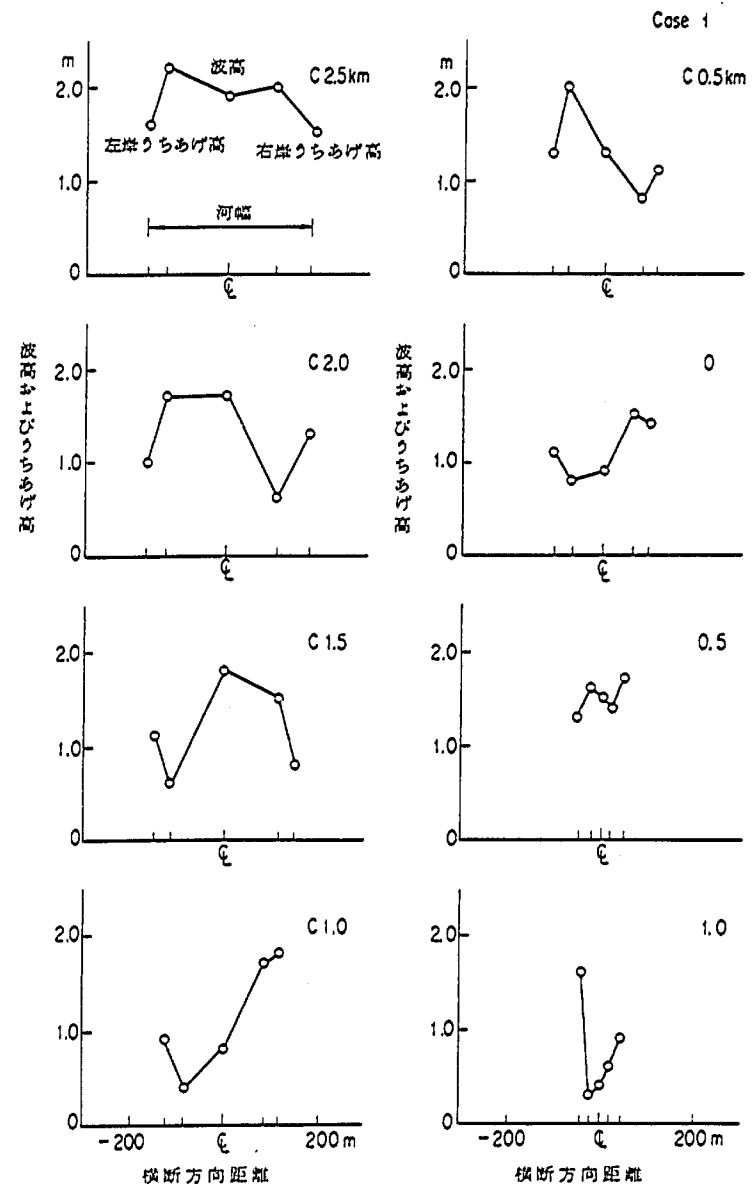


図-20 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース1)

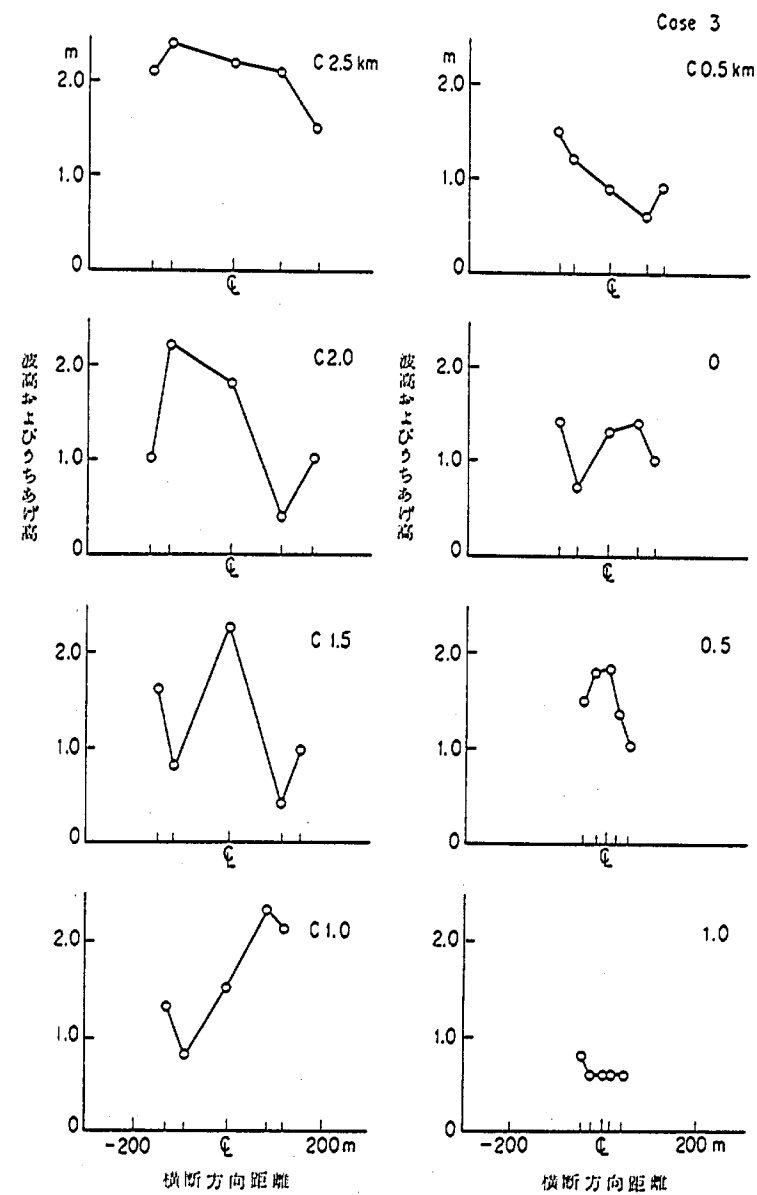


図-22 河道内の波高およびうちあげ分布図 (ケース3)

補正を行っていないために、補正した場合には上流で波高およびうちあげ高はここに示した値より大きくなる可能性がある。

波が河道に平行に侵入する場合はケース1であり、 10° 東側から入射する場合はケース2、 10° 西側から入射する場合はケース3である。この結果によれば横断方向に波高の変化があり、また上流でもあまり減衰していない。ケース1では河口部C 2.5 Kmではほぼ一様な波高分布になっているがC 2.0 Kmでは左岸側が高く、右岸側が低くなっている。C 1.5 Kmではほぼ中央で波高が高くC 1.0 Kmになると左岸側に波高の高い場所が移動している。さらに上流のC 0.5 Kmおよび0 Kmではそれぞれ左岸と右岸の波高が高くなっている。

波のうちあげ高についても波高と同様に変動し、上流での減衰も大きくない。計画堤防高はC 1.0 Kmより下流ではT.P. 5.7 m、上流ではT.P. 5.4 mであり、うちあげ高としてはそれぞれ1.3 mと1.0 mになる。ケース1ではC 1.0 Kmの右岸およびC 0.5 Kmより上流で計画堤防高よりうちあげ高が高くなっており、河口部よりもむしろ上流側でうちあげ高が問題となる。

東側から入射するケースについては、河口部C 2.5 Kmでは右岸側が波高が高く、C 2.0 Km、C 1.5 Km、C 1.0 Kmと上流になるほど波高が高くなる位置が右岸側に移動している。C 0.5 Kmでは左岸側が高く、0 Km、0.5 Kmと上流になるほど右岸側に移動している。うちあげ高についても波高と同じ変化特性を示している。またケース1と同様にC 0.5 Kmより上流でうちあげ高は計画堤防高より高くなっている。上流1.0 Kmではうちあげ高、波高ともに小さく1 m以下になっている。

西側から 10° の角度をもって入射するケース3の場合には、全体的変化はケース1とほぼ同様の変化を示している。ただ波高の大きくなる位置が少しづれている。またうちあげ高についてはケース1、ケース2と同様にC 0.5 Kmより上流で計画堤防高より高くなり、1.0 Kmでは、1.0 m以下になっている。

河道内に侵入した波は屈折、反射、回折、砕波などの機構によって波高および波向が変化する。河道の横断方向に波高分布が変化する現象は屈折と反射によっている。河口付近の横断形状を調べるとC 2.5 ~ C 2.0 Kmの間ではみお筋が右岸側に寄っており左岸側は浅くなっている。一方、C 1.6 Km ~ C 1.2 Kmの間では左岸にみお筋が寄り、右岸が浅くなっている。またC 1.0 Kmより上流では河床が計画断面のためにほぼ水平になっている。波速は水深が浅くなると遅くなるために浅い場所に向って屈折する。したがって河口から侵入した波はまず左岸に向って屈折し、堤防で反射するとともに右岸側に屈折する。これがさらにC 1.0 付近で反射し、それより上流は河幅がせまくなっており反射を繰返すために左岸、右岸と交互に波高が増大する。したがって実験結果は一見したところ、ばらついているように見えるが入射波高、河床形状、堤防の法線方向に対応した変形をしているために横断方向の波高分布に違いが生じている。

波高の減衰に関しては砕波、海底摩擦、沖への反射等によって生じる。波が堤防にうちあげると砕波が生じたり、また波長の短い波が発生してエネルギーが減衰する。砕波や海底摩擦によるエネルギーの減衰がなければ、河口から侵入した波のエネルギーはそのまま上流まで伝播する。

河口の河幅に比較して0～0.5 Kmで河幅がせまくなっているために単位幅当りのエネルギーは増加し、したがって波高も増加する。上流側で波高が小さくならないのはこのような理由によると考えられる。また1.0 Kmで波高が小さいのは河道が屈曲しているために下流に向かって反射し、上流へ波が侵入しないためであろう。

4.5.2 河川流がある場合の影響

上流から500m³/secの流れる場合のうちあげ高および波高の分布状況を図-23から図-25に示す。ここには流れのない場合の結果についても比較のために示してある。図-23は波が平行に入射するケース4の場合である。河口のC2.5kmおよびC2.0 Kmでは流れのない場合に比較して中央部の波高が高く、またC0.5 Kmでは波高分布が逆になっている。河道全体をみると右岸側の波高が高く、左岸側が低くなっている。波のうちあげ高については流れがあると低くなる傾向を示している。

東側から入射するケース5の場合には河口では流れのない場合に比較してその変化はあまりないがC0.5 Kmより上流では横断方向の波高分布が変化しておらず、波高としては流れのない場合に比較して小さくなっている。

西側から入射する場合については河口C2.5 KmおよびC2.0 Kmでは流れのない場合に比較して変化はないが上流では波高が高くなる位置が流れのない場合に比較して逆になっている場合がある。またケース4と同様に左岸側の波高は全体的に低くなっている。

流れの波に与える影響としては屈折の状況を変えることと、流れによる乱れによって波のエネルギーの損失が生じることが考えられる。屈折については波の進行方向と流れの方向が逆であるために、流れが速いほど波速は遅くなる。河道内の流れの分布を調べてみると図-26から図-29に示すように表わされる。C2.5～C1.5 Kmの間ではフロートで測定した流れは上流に向うものもあり、波による影響も含まれていると考えられるので、流速の速いC1.0 Km, 0 Km, 0.5 Kmの結果を示す。入射波の波向によって流況がそれぞれ異なっているが両側では遅く、中央では速くなっている。したがって流れがあれば河道中央の波速は遅くなる傾向を示す。一般に流れは水深の深い場所で速く、浅い場所で遅くなるために、水深の変化による屈折の効果を小さくする働きをする。したがって河道中央で波高が高くなり、また屈折がおさえられるために上流まで波が侵入しやすくなる。一方波のうちあげ高に関しては堤防に波が平行に進むほど低くなるために流れのない場合に比較してうちあげ高が低くなったものと考えられる。

波高変化に関してはエネルギーの減衰があると考えられ、ケース5では流速の速くなるC1.0 Kmより上流で波高は減衰しているが入射波も低いためにさらに詳細な解析を必要とする。

4.5.3 昭和大橋による波浪の変形

高潮対策区間の橋梁については橋面が計画堤防高より低いものについてかさ上げを行なうこととし、その場合の桁下高としては計画潮位T.P.+4.4 mとした。したがって波浪は一部橋梁にうちあたり、反射することになる。天満川では昭和大橋がかさ上げの対象となり、さきに示したよ

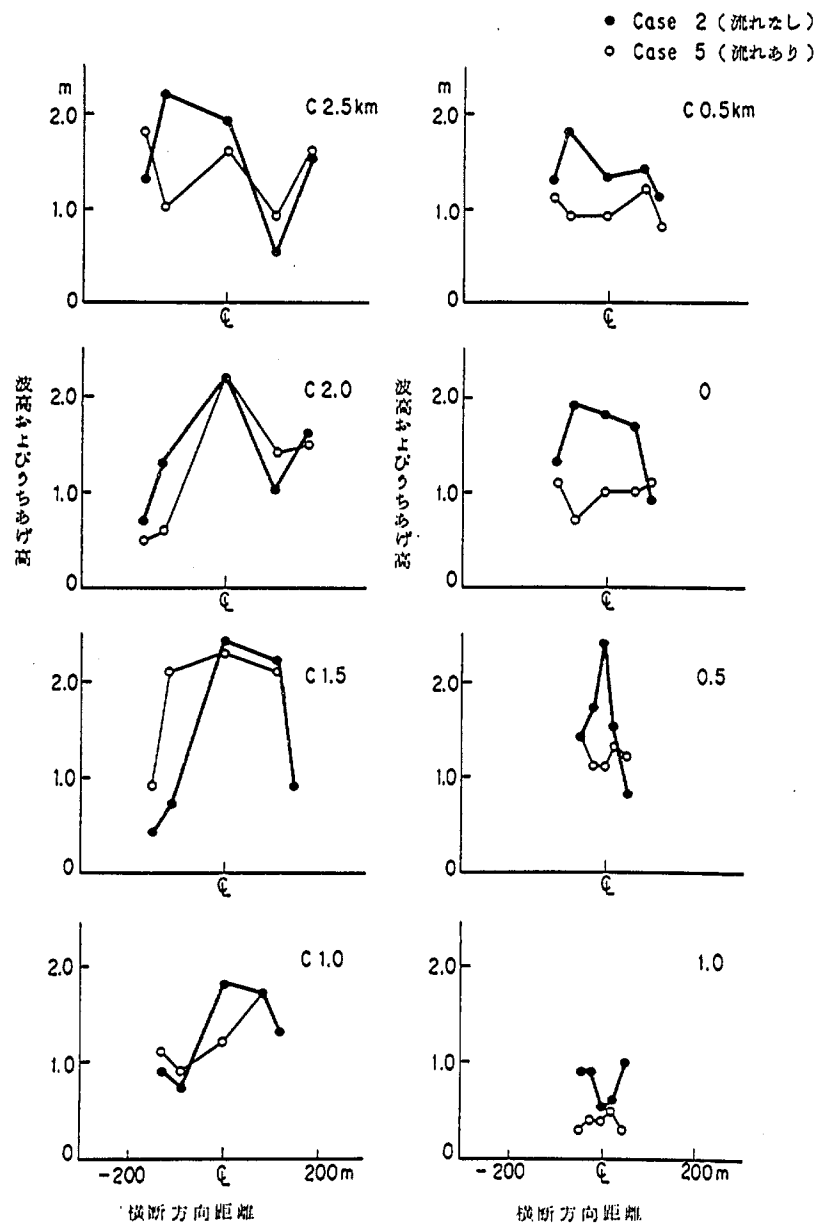


図-24 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース5)

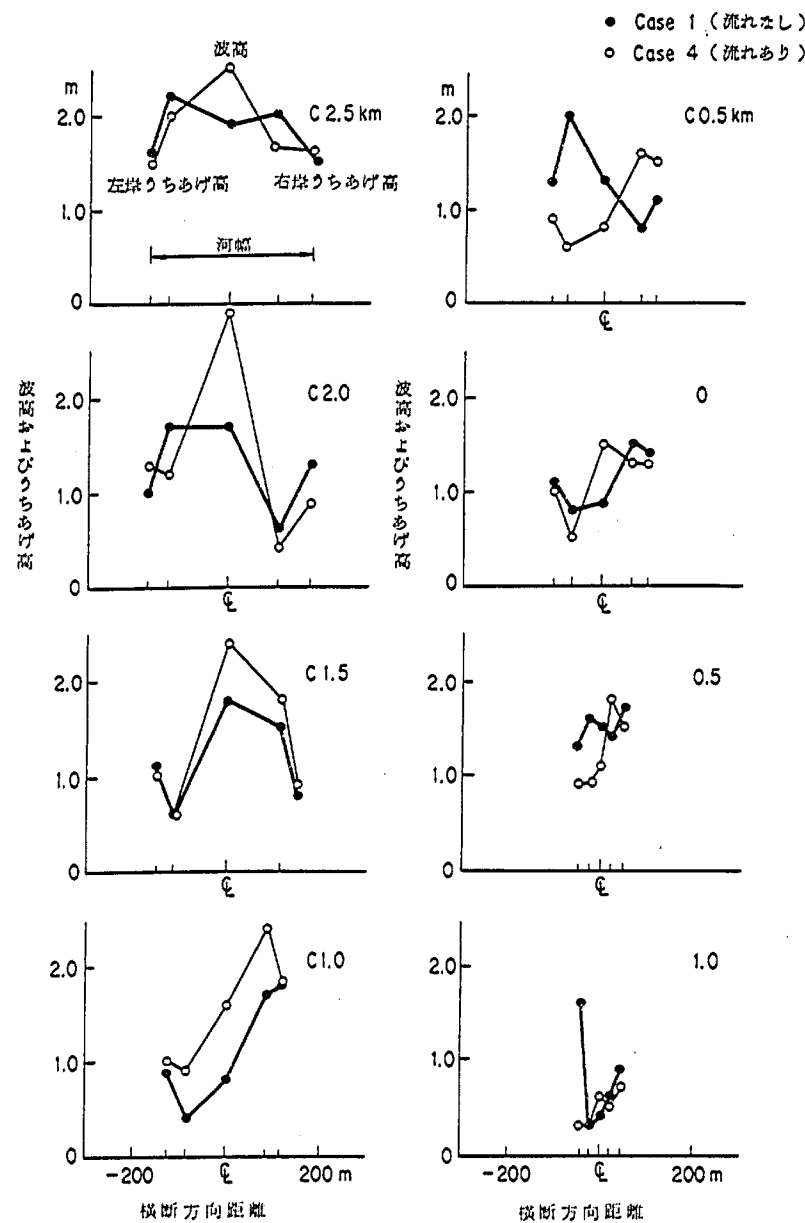


図-23 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース4)

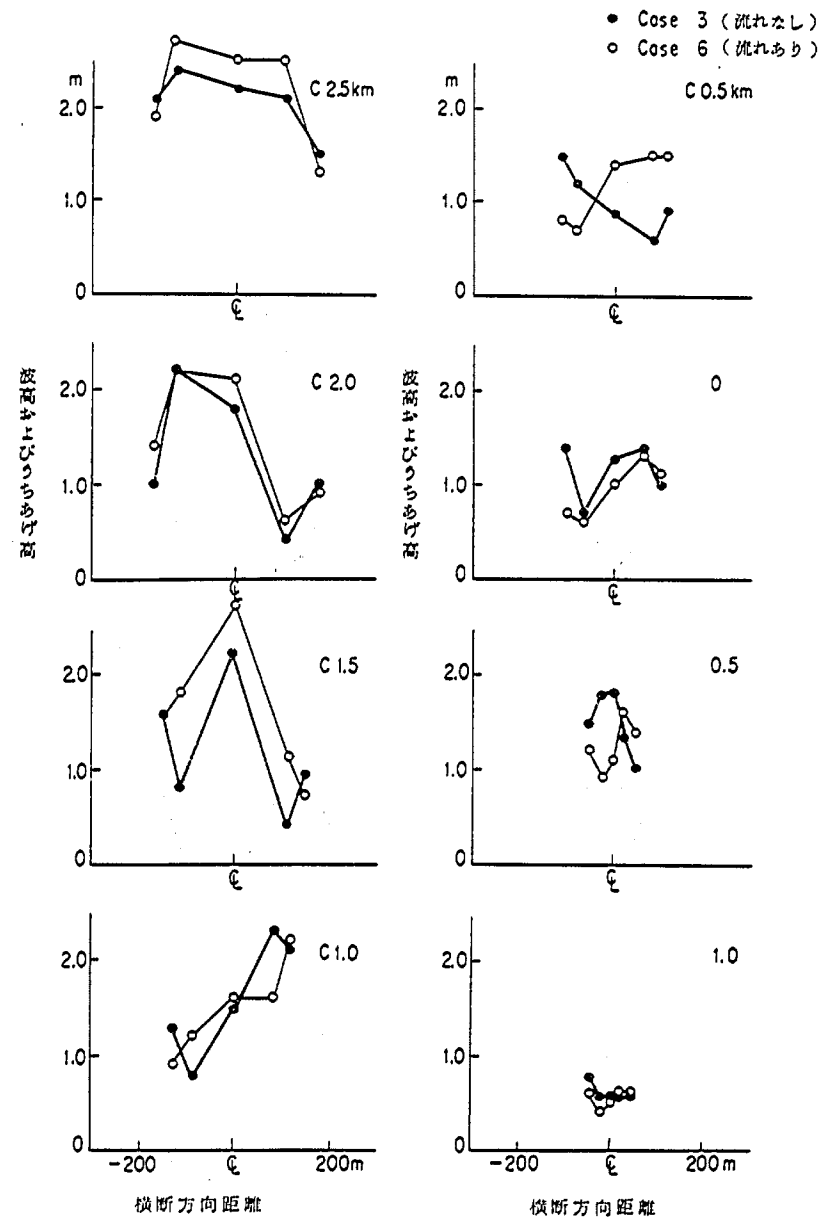


図-25 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース6)

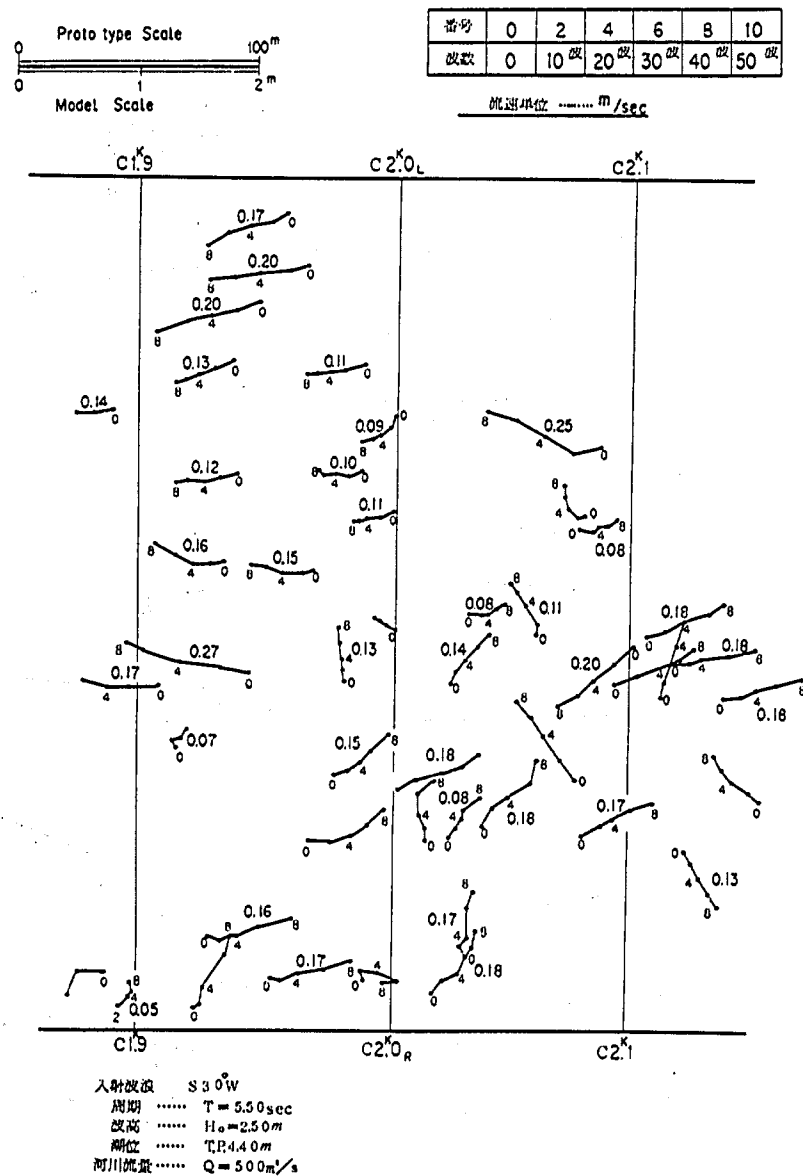


図-27 河道内の流況

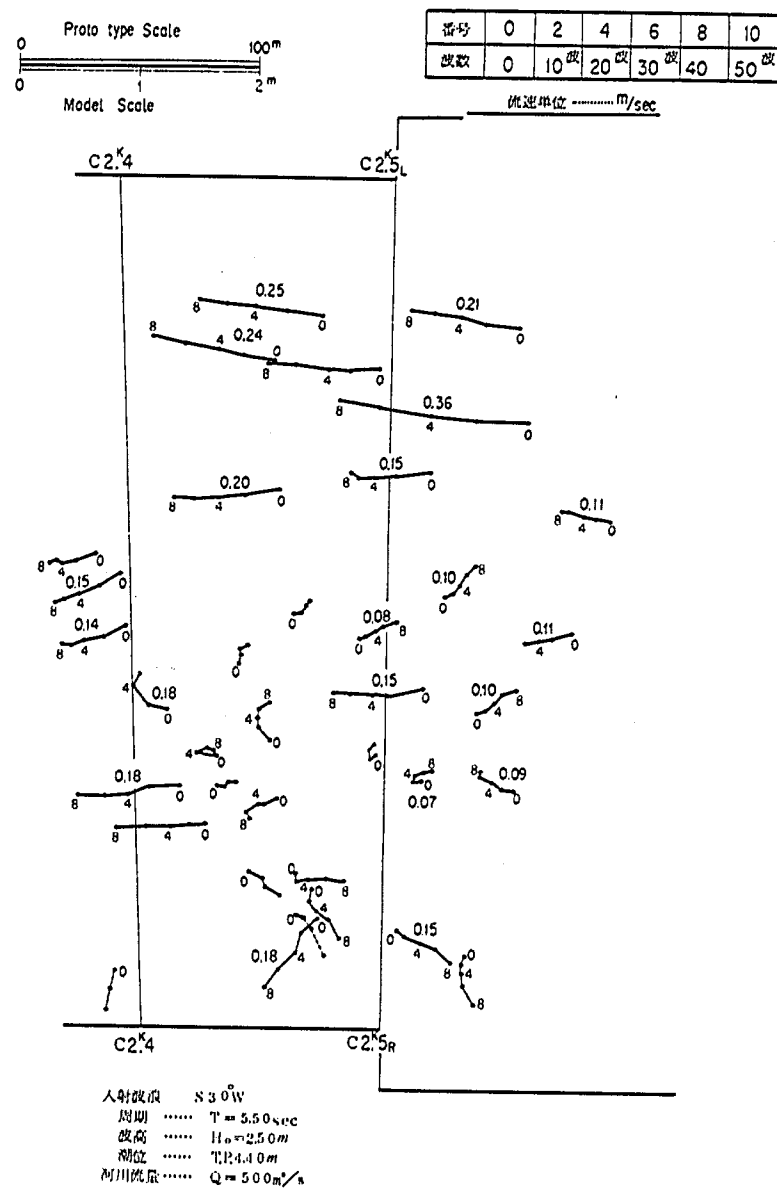


図-26 河道内の流況

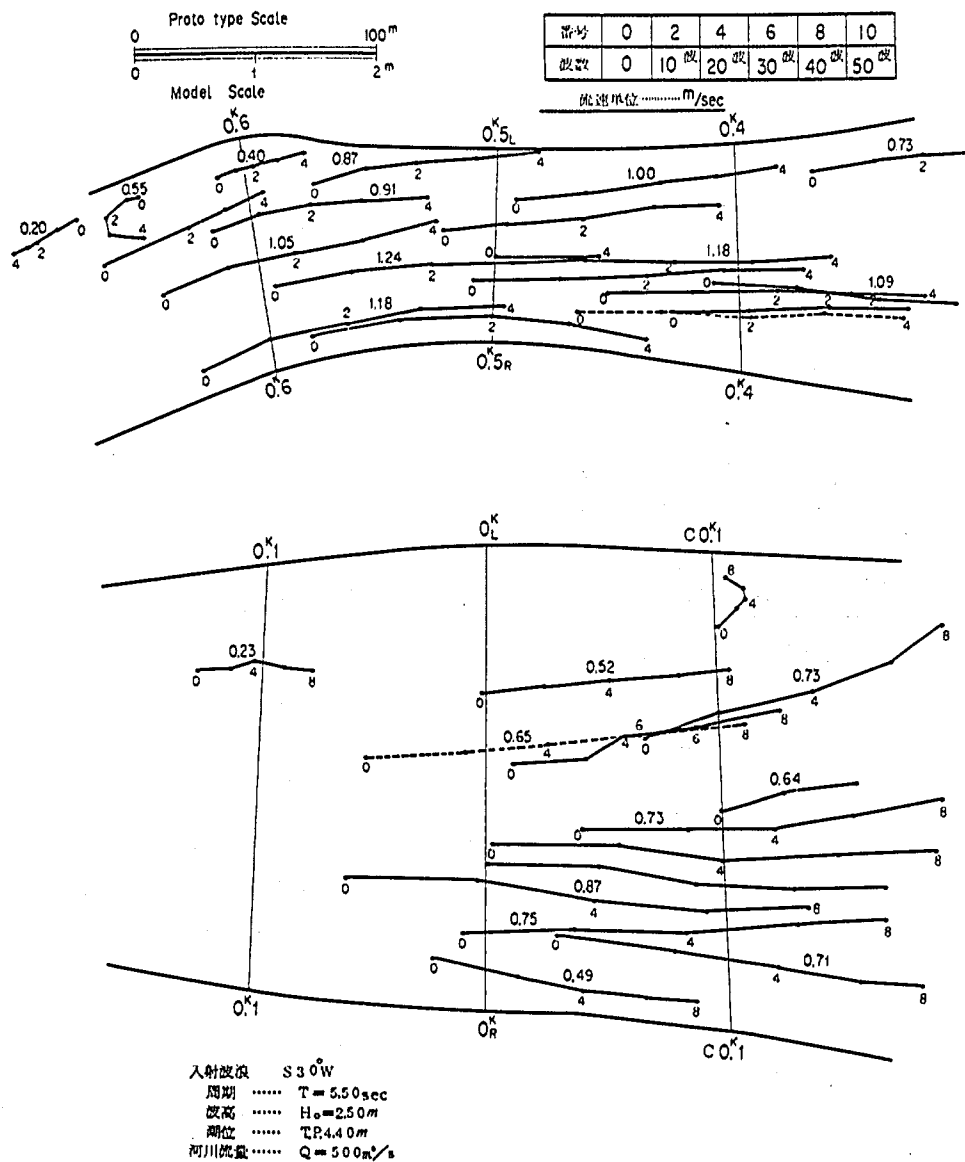


図-29 河道内の流況

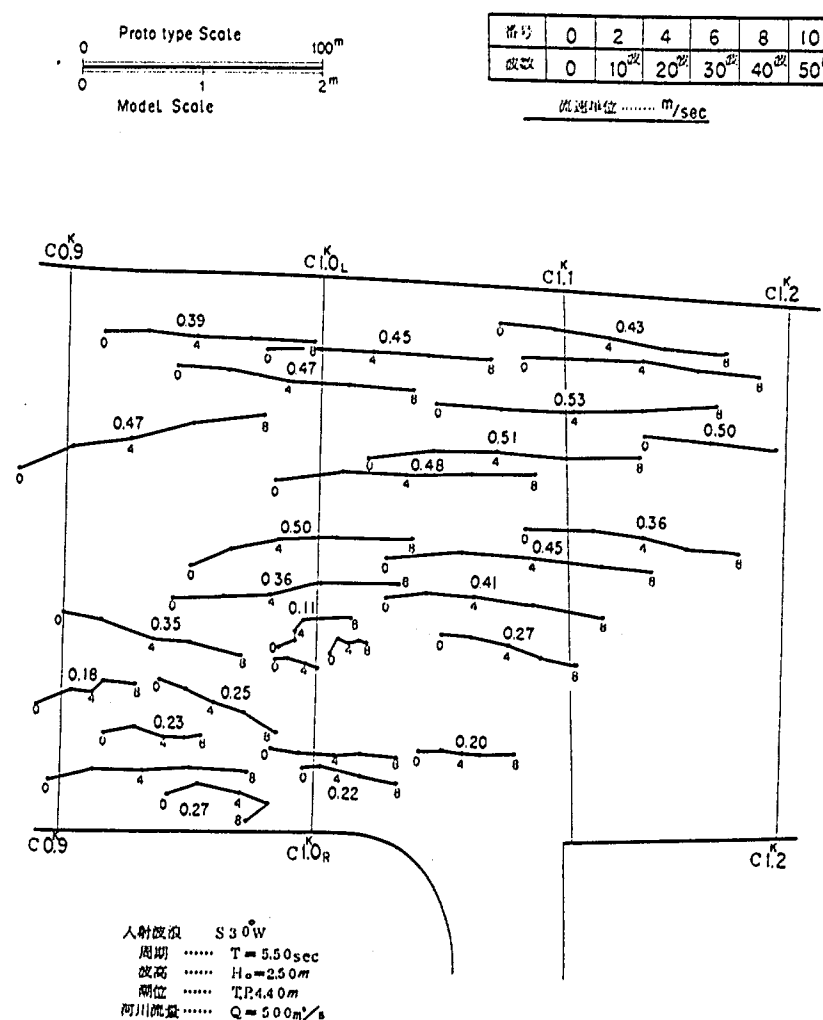


図-28 河道内の流況

りに現在では兩岸で桁下高T.P. + 4.4 mとなっている。ここでは昭和大橋による波浪の変形について検討を行なった。

河道内の波高およびうちあげ高の分布を示したのが図-30であり、比較のために橋梁のない場合の結果も合せて示してある。昭和大橋はC 0.3 Kmに位置しており、河口部のC 2.5 KmおよびC 2.0 Kmにおいては橋梁がある場合もない場合と同じ波高分布となっている。しかし橋梁より下流のC 1.5 KmからC 0.5 Kmの間では分布形状が異なっている。また0 Kmより上流では橋梁のない場合に比較して波高が大きくなっている。

波浪に与える橋梁の影響としては反射とエネルギー損失が考えられ、橋梁の上流では波高が減衰し、下流では反射波の影響が考えられる。実験の結果によればC 1.5 KmからC 0.5 Kmの間で橋梁のある場合とない場合の波高分布が異なっている。状況を見るとC 2.0 KmとC 1.5 Kmの間での屈折状況が異なり、橋梁のない場合には下流側で右岸側に屈折していると推定される。橋梁の反射波のみによってこのような変化が生じたとは考えられない。左岸C 1.8 Kmに位置する江波の入江をケース1では100 m、ケース7では約50 mの位置において消波装置で仕切って実験を行なったために、波の変形が少し異なったのではないかと考えられる。

昭和大橋より上流で波高が増加している原因についてはあまり明確ではないが0.8 Kmに位置する屈曲部によって波が下流に向かって反射していると考えられるために、橋梁と屈曲部の間にエネルギーが蓄積したためとも考えられる。ただ0 Kmおよび0.5 Kmの波高分布をみると0 Kmにおいては両側で波高が高く、0.5 Kmでは中央で高くなっているために河道の横断方向の振動が生じている可能性もある。昭和大橋は両側で桁下高はT.P. + 4.4 m、中央ではT.P. + 5.2 mであり中央部は波が通過しやすくなっている。したがって中央部を進行した波が両側に向かって屈折しさらにそれが反射して中央付近で波高が高くなったとも考えられる。昭和大橋については桁下高が低くないために明確に波浪の変形に与える影響をとらえることはできなかった。

4.5.4. 第1橋梁による波浪の変形

当初計画されていた第1橋梁による波浪の減衰効果についても検討を行なった。橋梁による消波効果についてはすでに実験的な検討⁷⁾が行なわれており、潮位と桁下高の関係によって効果が異なる。この実験では桁下高を計画潮位と同じT.P. + 4.4 mとして検討した。

第1橋梁および昭和大橋がある場合の実験結果を図-31に示す。これには橋梁のないケース1の結果も比較のために示してある。第1橋梁はC 1.0 Kmのすぐ下流に位置しており、また昭和大橋はC 0.3 Kmにある。C 2.5 KmからC 1.0 Kmの間では橋梁のある場合とない場合を比較すると、波高分布の違いはあまりない。また橋梁より上流に位置するC 0.5 Kmから0 Kmの間では明らかに橋梁のために波高が減衰している。第1橋梁のすぐ上流のC 1.0 では減衰していないが、これはケース1の波高分布がさきに述べた左岸C 1.3 Kmの入江の条件が少し異なるためとも考えられる。昭和大橋の存在するケース7の結果と比較することによって第1橋梁のみの効果を取り出すことができる。その結果によると図-32に示すようにC 1.0 Kmでも波高が減衰している。ただ入射

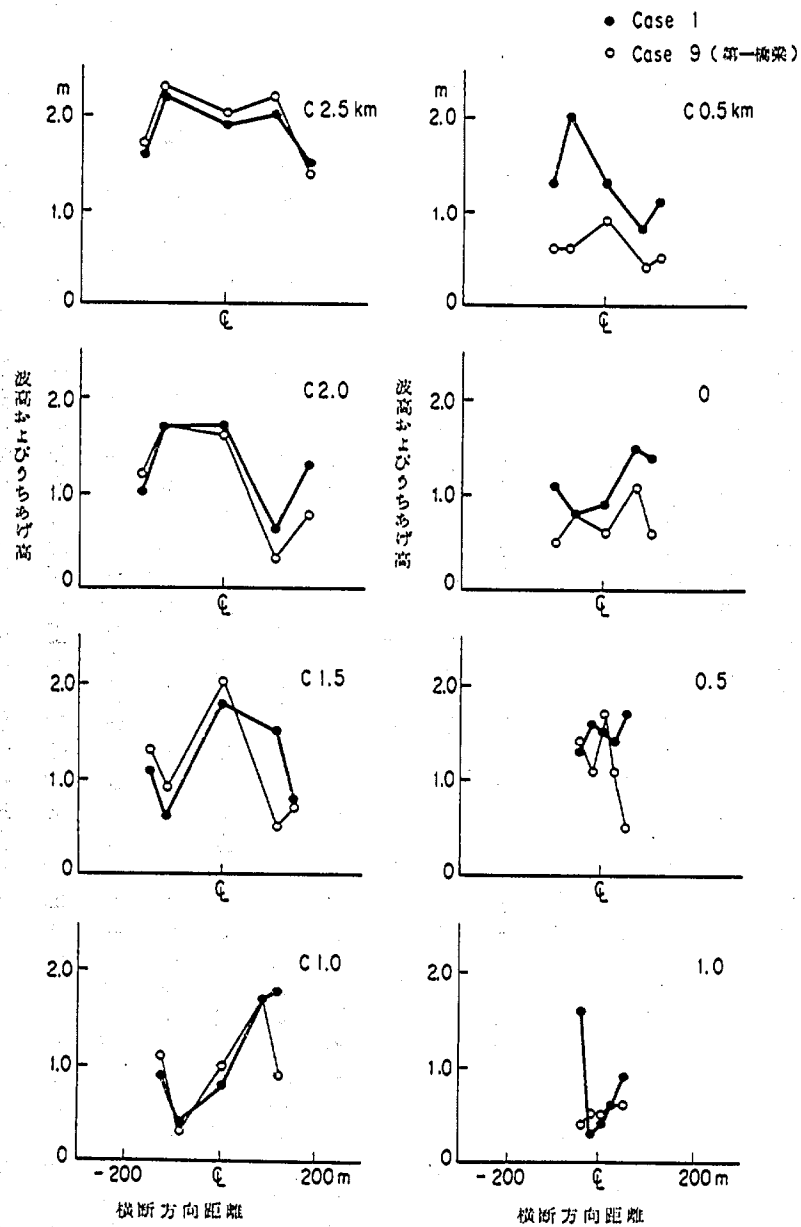


図-31 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース9)

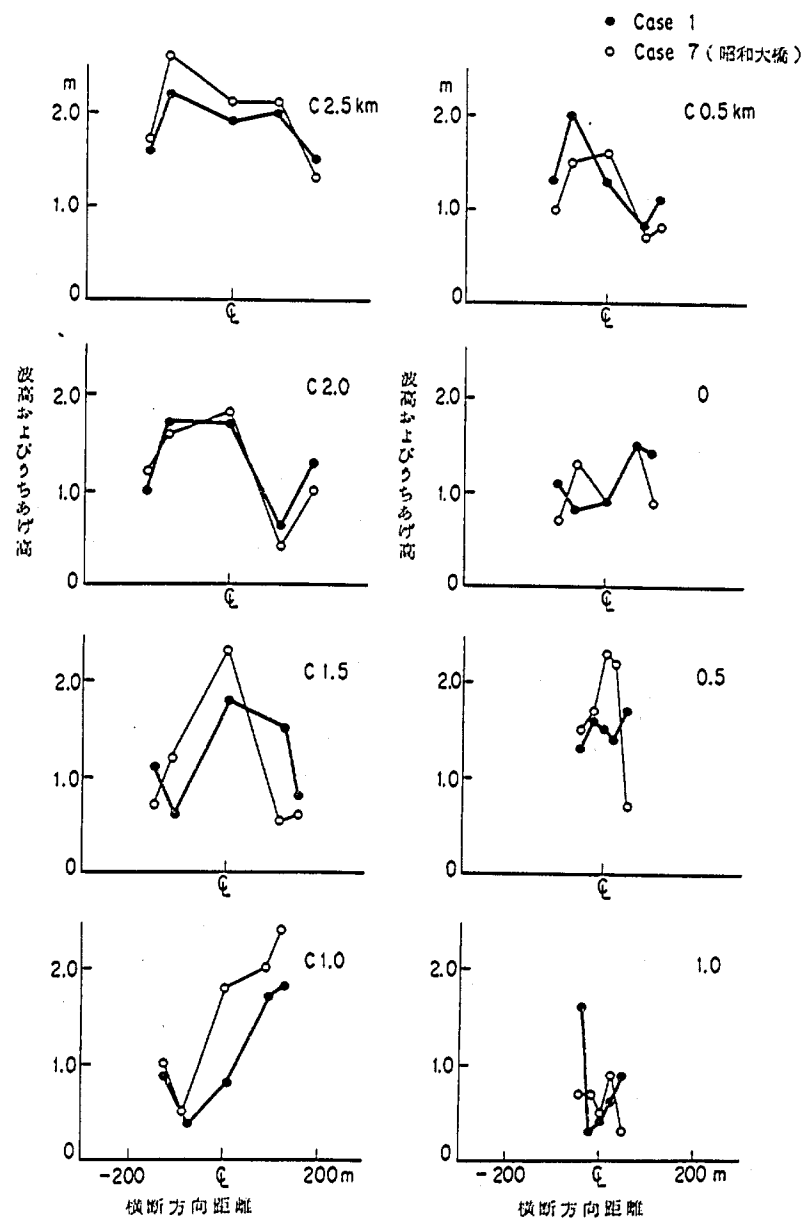


図-30 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース7)

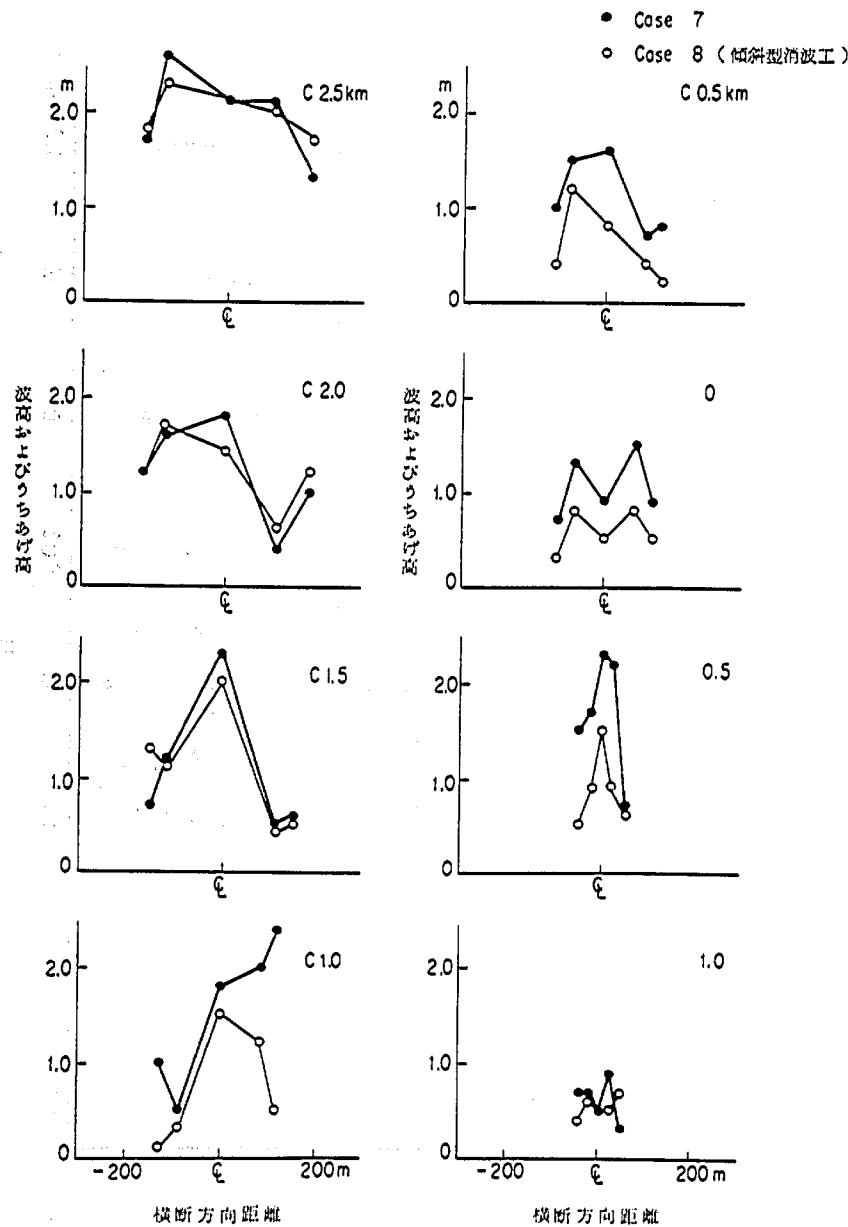


図-3.3 河道内の波高およびうちあげ分布図 (ケース8)

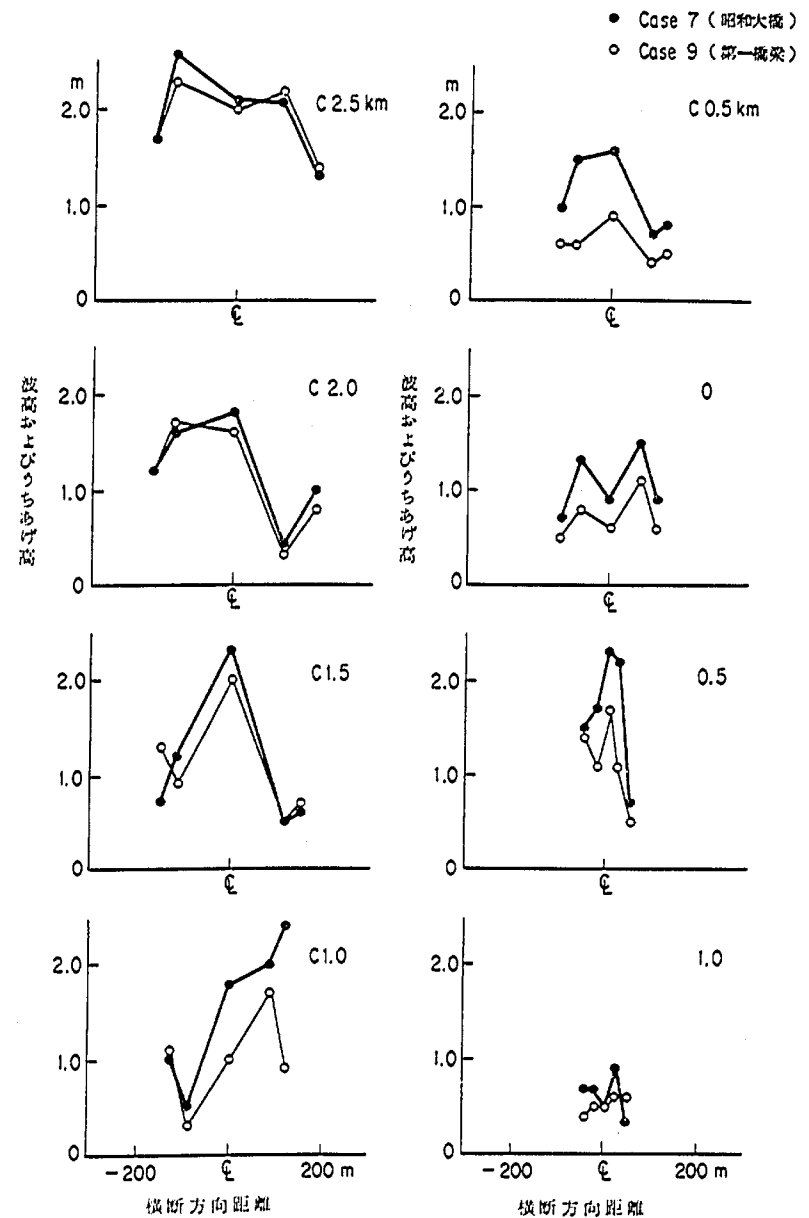


図-3.2 河道内の波高およびうちあげ分布図 (ケース7とケース9の比較)

波高が少し小さい傾向もうかがわれるのでより詳細な検討が必要であろう。またC 0.5 Kmより上流では明らかに第一橋梁の効果があり、減衰率は50～70%になっている。これらの結果によればC 1.0 Kmから0 Kmの間では、現在計画している堤防高T.P. 5.4 mよりもうちあげ高は低くなっている。ただ0.5 Km付近では河幅がせまくなっているために波高の増大があり、うちあげ高は計画堤防より高くなっている。したがって当初計画通り第一橋梁が造られても部分的には何らかの対策が必要であった。

4.5.5 傾斜型消波工の効果

建設省直轄施工区間のC1.0kmより昭和大橋の間にテトラポッド等による傾斜型の消波工を設置した場合の実験結果を図-33に示す。またこの図には比較のためにケース7の昭和大橋のみが存在する場合の結果も示してある。消波工のないC 2.5 KmからC 1.5 Kmの間では変化はないが消波工の設置されているC 1.0 km～C 0.5 Kmおよびそれより上流の区間においてはうちあげ高、波高とも低下している。消波工は左岸側はC 1.3 Kmより、また右岸側はC 1.1 Kmより上流に設置されているが、C 1.0 Kmにおいては兩岸のうちあげ高が低下するとともに右岸側の波高も減衰している。これは左岸からの反射波が小さくなっていることを意味している。C 0.5 Kmより上流では全体としてエネルギーが減衰している。

兩岸のうちあげ高は図-34の縦断分布から明らかなようにC 1.0 Kmより上流の区間で計画堤防高以下となっており、摩擦等の補正を行なっても必要とする堤防高としてはほぼ計画堤防高程度となる。

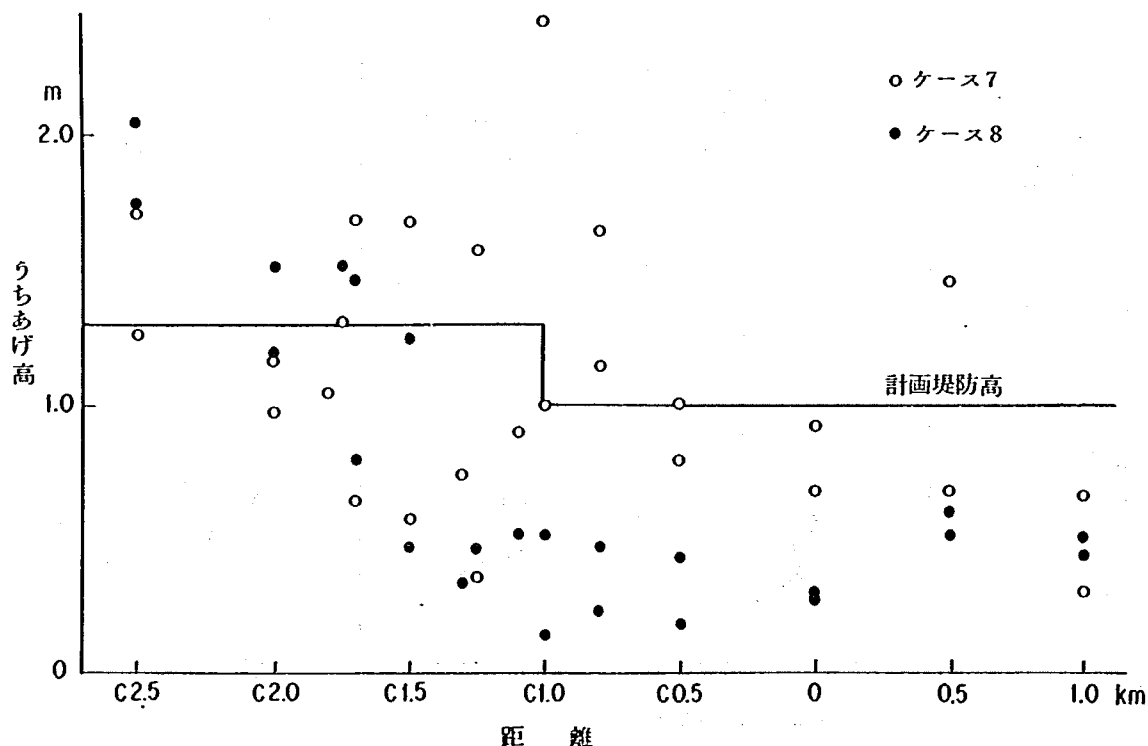


図-34 うちあげ高の縦断分布

傾斜型消波工がこのような効果を発揮したのは、消波工によるエネルギー損失によって反射波が小さくなり、またうちあげ高も小さくなったためと考えられる。設置区間が河口部ではなく、河口から2 Kmほど上流であるために河道内の波はすでに屈折、反射によって斜めに堤防に入射するようになっており、このためにも効果があった。波の入射方向が堤防に沿うような場合にはエネルギー損失は小さく、直角に入射するようになるほど大きくなる。したがって上流側で左右岸の反射を繰返している地点に設置するのが消波工の効果を発揮するにはよい。またエネルギーの減衰を生じるために、消波工の設置されていない上流側でも波高およびうちあげ高が減少している。

消波工設置区間の消波工によるうちあげ高減衰の効果については下流部を除くと消波工によって入射波高が減衰するとともにうちあげる高さを低下させるという効果があり、波高に比較してうちあげ高の減衰がいちじるしい。

4.5.6 直立型消波工の効果

水深が深い場合には傾斜型の消波工よりも直立型の消波工が効果のある場合があり、天満川においても河口部の水深が深くなっているために、直立型消波工の効果についても検討を行なった。

河口部のC 2.5 KmからC 1.5 Kmの区間に直立型消波工を設置した場合の河道内の波高分布とうちあげ高を図-35に示す。またこの図には比較のために直立型消波工のない場合の結果も合せて示している。これらの実験では第1橋梁と昭和大橋は設置した状態で行なっている。河口部兩岸に直立型消波工を設置した場合には、河道中央部の波高が高く、兩岸の波高およびうちあげ高は低くなる傾向を示す。しかし消波工のないC 0.5 Kmより上流においてはケース9の結果と比較すると大きな違いはなく、入射波のエネルギーを減衰させる効果はあまりない。これは河口部に設置したために、波がほぼ消波工に平行に進み、ここで使用した直立型消波工はこのような状況では消波効果があまりないためと考えられる。

建設省の直轄施工区間に直立型消波工を設置した場合の実験結果を図-36に示す。この場合には第1橋梁および昭和大橋も設置してある。直立消波護岸の設置してあるC 1.0 Kmから0 Kmの間では波高、うちあげ高ともに低い。消波工のないケース9に比較してみると波高も少し低下しているが、兩岸のうちあげ高は大きく低下している。また消波工の設けていない0~0.5 kmにおいても波高とうちあげ高が低くなっており、うちあげ高は計画堤防高より低くなっている。

直立型消波工の効果については、ここで行なった実験の結果によれば波のうちあげ高の低下については効果があるが、エネルギーの減衰についてはあまり効果を発揮していない。特に河口部に設置した場合には、波が消波工に沿って進行するためにエネルギー損失が生じにくくなっている。

4.6 考 察

規則波を使用した模型実験によって、太田川の一派川である天満川について河道内に侵入する波の変形と堤防への波のうちあげ高について調べ、またうちあげ高を低くするための対策工の効

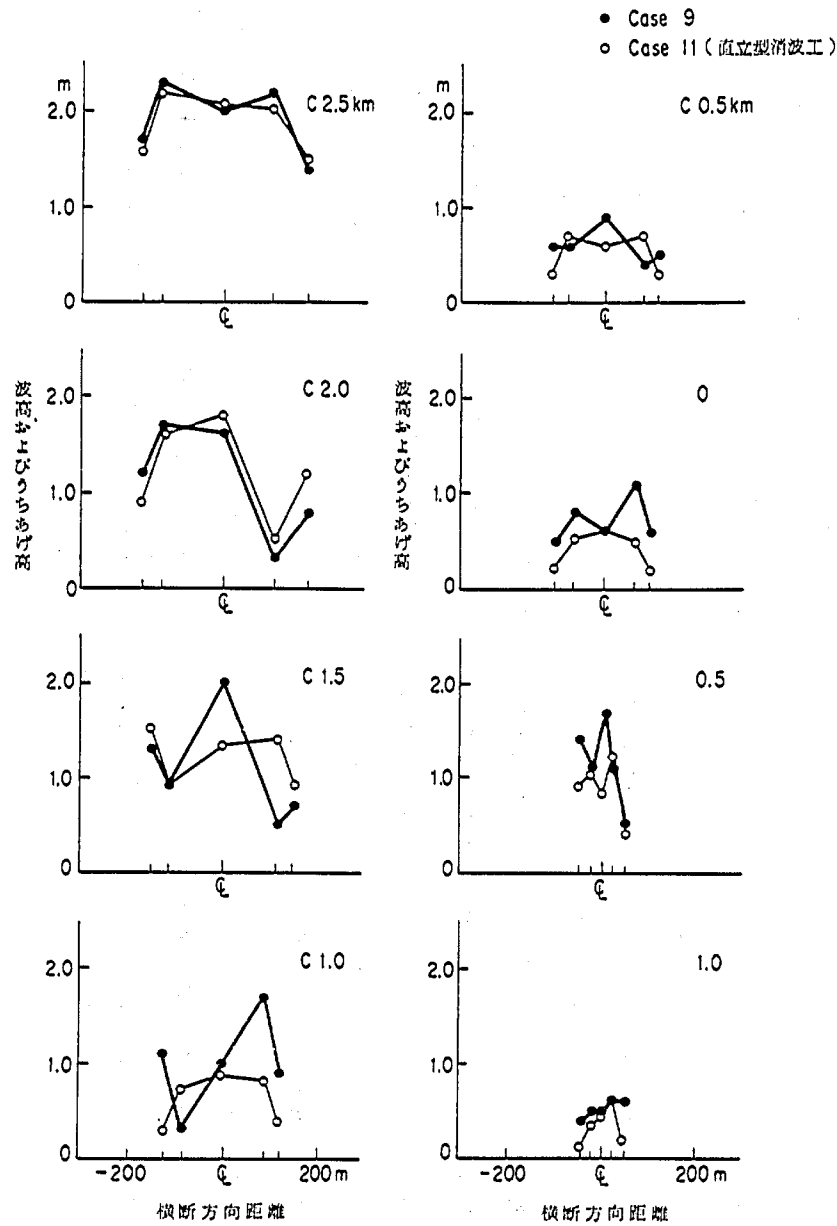


図-3 6 河道内の波高およびうちあげ分布図 (ケース 11)

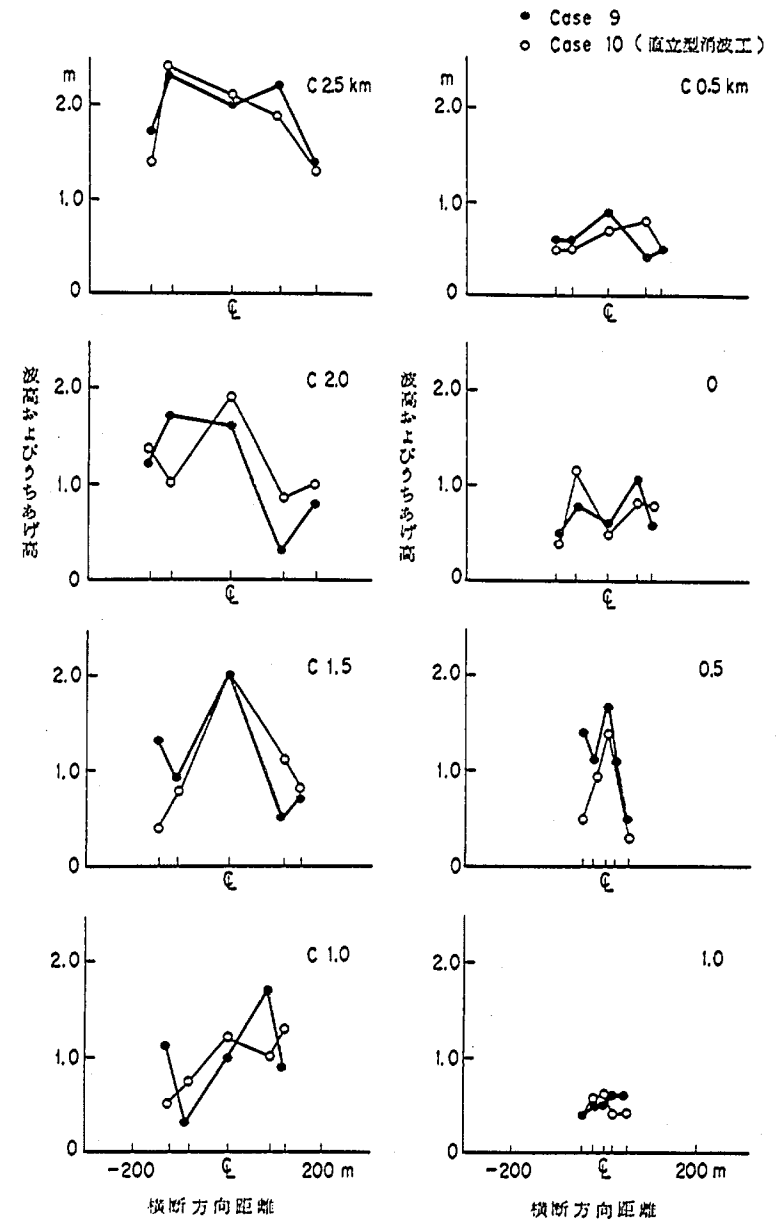


図-3 5 河道内の波高およびうちあげ分布図 (ケース 10)

果について検討した。

河道内の波の変形については回折、屈折、反射、砕波等が考えられるが、主要な現象は屈折と反射である。河道内では横断方向に波高分布は大きく変化しているがこれは入射波の方向、水深の変化、河道内の流速分布等によって定性的に説明できる現象である。ここで得られた結果を他の派川に適用する際には屈折計算等を行なう必要があるが、複雑な形状をしている場合の具体的な計算法は一般化したものとしてはない。しかしここで得られた結果をもとにその手法について検討を行なえば、他の派川における波の変形についても予測可能と考えられる。

河道内の波エネルギーの損失については、底面の摩擦、砕波、他の波へのエネルギーの移行などが考えられる。このうち消波工等によるエネルギー損失が河道内の波高分布に大きな影響を与えている。この現象については理論的取扱いが困難で一般には実験によって調べられている。しかし実験結果があるのは、構造物に対して直角に波が入射する場合がほとんどであり、斜め、特に構造物に沿って波が進行する場合については十分な資料がない。直立型の消波工のエネルギー減衰については、この形式の構造物は最近になって提案され始めたものであるために、まだ十分な検討が行なわれていない。構造物の形状によっては斜めに入射する波に対しても効果のあるものが考えられよう。

模型実験においては、堤防のり面から波長が非常に短い波が発生していた。のり面上で砕波はしないまでも波形勾配がきつくなり、波長の短い波にエネルギーが移行していると考えられる。このような形式のエネルギー損失は単位長さ当たりの損失は少なくとも河道延長が長いために上流部では波浪の減衰に影響を与え、また堤防の反射率にも関係してくる。

構造物による消波効果については、個々の構造物についての消波特性はこれまでに得られているものと変わりはないが、堤防および河床形状の与えられた条件のもとでは有効な場合と有効でない場合のあることが明らかになった。河道を横断して波を消すには橋梁や浮消波堤など洪水の流出に支障を与えない構造物である必要があるがその効果は大きい。一方、堤防に沿って設けられた消波工は斜め入射に対しては入射方向が堤防に沿うようになるほどその効果は低減するために、なるべく直角に入射するような状況で用いるのがよい。したがって河床横断形状を両側で浅く、中央部で深くすることによって波を両岸に向って屈折させるなどの手法と合せて用いると効果的である。

4.7 ま と め

太田川の一派川である天満川について、縮尺1/50の模型によって規則波による河道内の侵入波の状況と堤防へのうちあげ高について検討を行なった。

河道内に侵入する波は河床高の変化に伴う屈折によって変形し、それが堤防で反射するために、このような変形に対応して河道内の波高分布およびうちあげ高が変化していることが明らかになった。また上流部で河幅が狭くなっている場所では波高が増加している。上流から洪水が流出する場合においても流速分布によって波速が変化し、波浪の屈折状況に変化を与えることが明

らかになった。一般に流水は水深の深い場所で速くなるために、水深変化に伴う屈折をおさえる働きをし、波は上流まで侵入しやすくなる。うちあげ高については流れにより大きな変化は生じていない。

現在計画されている堤防高は、第1橋梁による波浪の減殺効果も考慮されているために、橋梁のない状況では当然波のうちあげ高は計画堤防高より高くなった。橋梁のある場合においてはほぼうちあげ高は計画堤防高程度となったが、上流部で河道がせまくなっている場所で一部高くなる場合があった。

波のうちあげ高を低くするための対策工法として直立型および傾斜型の消波工、橋梁等についてその効果を検討した。傾斜型消波工は反射波を消すとともにうちあげ高を低くするために効果的であり、消波工の上流で消波工の設けられていない場所の波高およびうちあげ高の低下にも効果がある。直立型消波工については、波が消波工に沿って入射する場合にはうちあげ高は低くするが消波効果はあまりなく有効な方法といえなかった。ただブロックの型式によっては効果のある場合も考えられる。

5. 河道内への不規則波の侵入実験

5.1 目 的

一般に風によって発達する海面の波は、波高、周期、波向ともに不規則に変動している。したがって模型実験もこのような状況のもとで実験を行なう必要があるが、すべての場合について実験を行なうのはデータ処理等に手間がかかるために代表的な場合についてのみ波の不規則性について実験を行なうこととした。

規則波による実験は波の屈折による変形特性や消波工の効果を調べるにはよいが、さきに述べた規則波による実験結果でも明らかなように波高分布が大きく変動している。この現象は波高やうちあげ高の測定位置が少し異なるだけでも反射波の存在する場合には位相が異なるために生じる場合がある。一方、不規則な波になると波向、周期ともにある範囲の波が存在しているために平均化されて変動が小さくなる。したがってこの実験では波の不規則性が波高やうちあげ高の平面分布にどのような影響を与えるかについて主として検討した。ただ波向の不規則性について、方向も不規則な波を発生する装置がないために、ここでは波高と周期の不規則性についてのみ調べた。

5.2 実験方法

模型実験はさきに述べた規則波による波浪の侵入実験と同じ模型および装置によって行なった。したがって模型縮尺は $1/50$ であり、また相似率は 4.2 で述べたと同じ関係が成立する。

5.3.1 不規則波の発生方法⁸⁾

不規則波の発生方法としては、白色雑音にインパルス応答を作用させて造波機の入力波形を電子計算機によって発生し、それをDA変換して造波機の入力として不規則波を発生した。造波機に与えるべき入力信号は必要とする発生波のスペクトル形状または不規則波形と造波機の入力に対する発生波の応答を考慮して決定される。

発生する不規則な波のスペクトル形状としてはノイマンスペクトル、ピアソン・モスコビッチスペクトル、光易スペクトルなどがあるがここでは次式で表わされる光易型スペクトル⁹⁾を用いた。これは博多湾など吹送距離が限定されている海域において観測されたデータにもとづいて決定されており、この場合に最も適したものと考えられる。

$$S(f) = 0.258 \left(\frac{H_{1/3}}{g T_{1/3}} \right)^2 g^2 f^{-5} \exp \{ -1.03 (T_{1/3} \cdot f)^{-4} \} \dots\dots\dots (5)$$

ここで $S(f)$ はスペクトル、 f ：周波数、 $H_{1/3}$ ：有義波高、 $T_{1/3}$ ：有義波周期である。

造波機は与えられた入力信号に従って造波板を油圧により制御する方式である。造波機の入力信号と造波板変位の関係は図-37、38に示すような応答曲線を有しており、周波数が 1.0Hz までの入力波形に対しては追従する。造波板の変位に対する発生波の波形応答はフラップ式やピストン式の造波機についてはビーゼンによる理論解があるが、ここで用いた造波機はベンデュラム

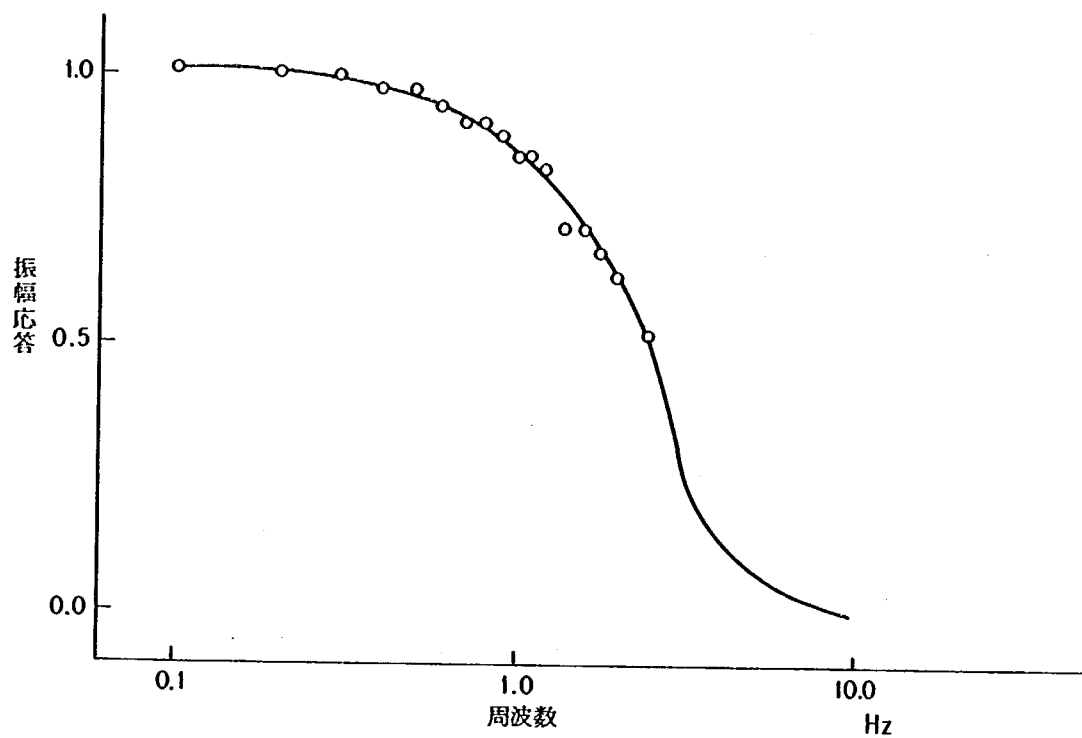


図-37 造波機の応答（振幅）

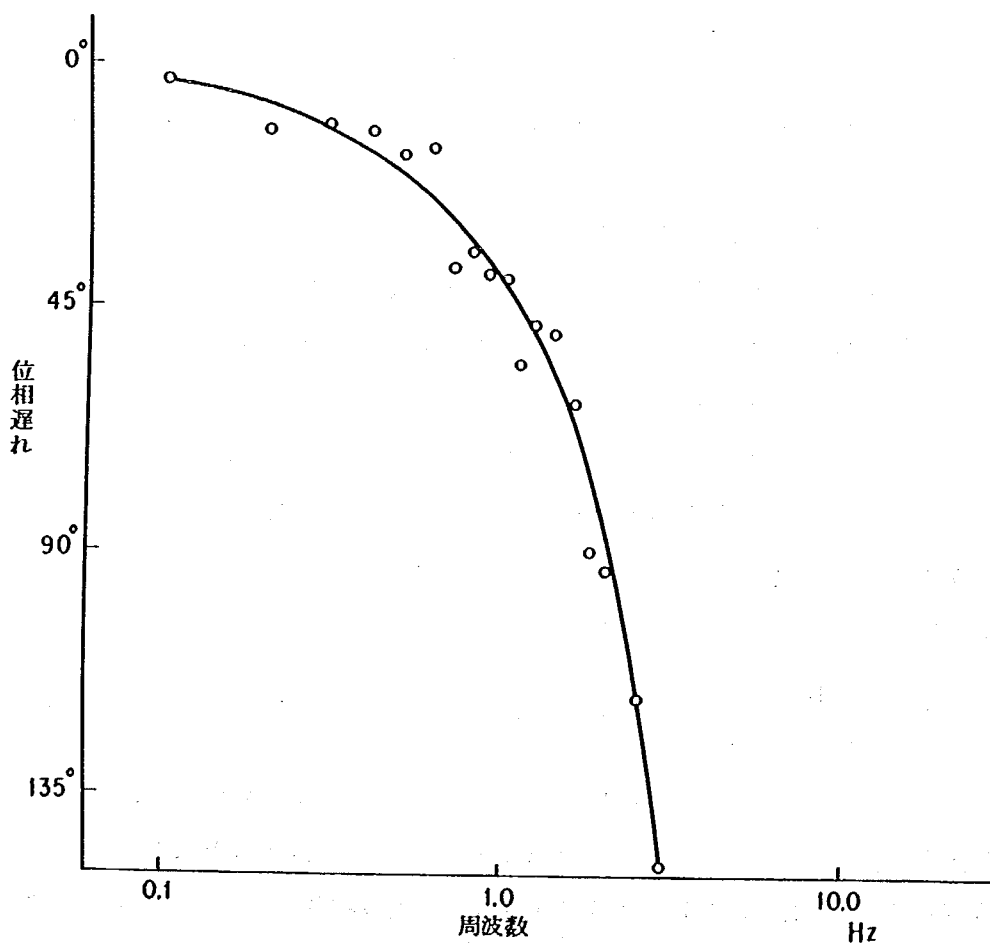


図-38 造波機の応答（位相）

式で造波板の下部にすき間があるために理論的な取扱いが困難である。したがってここでは実験的に特性を調べ、その結果を利用した。造波機の正弦波入力信号に対する発生波の波高の関係を測定して、振幅についての応答を求めると図-39に示すようになる。この実験ではある特定の地点における不規則波の波形を

発生するのではなく、与えられた波高と周期によって(5)式により決まるスペクトル形状を持つ波を発生するために、位相関係は無視して取扱うことができる。

スペクトル形状 $S(f)$ および造波機の入力信号に対する波形の応答 $A(f)$ が明らかになれば次のような手順で造波機に対する入力信号を計算することができる。

まず不規則な波形のもととなる変動波形を発生する。これは混合型合同法によって一様な乱数を発生した。電子計算機が2

進16 bit で数値を表現しているので、初期値をこれより小さい値に設定し、それにもとずいて次式によってつぎつぎに計算を行なう。

$$x_{n+1} = \lambda x_n + \mu \pmod{M} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで λ 及び μ は適当な整数でここでは $\lambda = 899$, $\mu = 1$ とした。また $A \equiv B \pmod{M}$ は $A - B$ が M の整数倍であることを示す。ここで $M = 2^{15} = 32768$ を用いており、0 から 2^{15} 間の整数の乱数が作られるが、それを0と1の間で正規化して用いた。

乱数によって発生した波形を $x(t)$ 、そのスペクトルを $S_x(f)$ 、造波機に与えるべき信号を $y(t)$ とするとこれは次のようになる。

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} k(\tau) x(t - \tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで $k(\tau)$ はインパルス応答である。またこのフーリエ変換は周波数応答関数とよばれ次のようになる。

$$K(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i 2\pi f \tau) k(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (8)$$

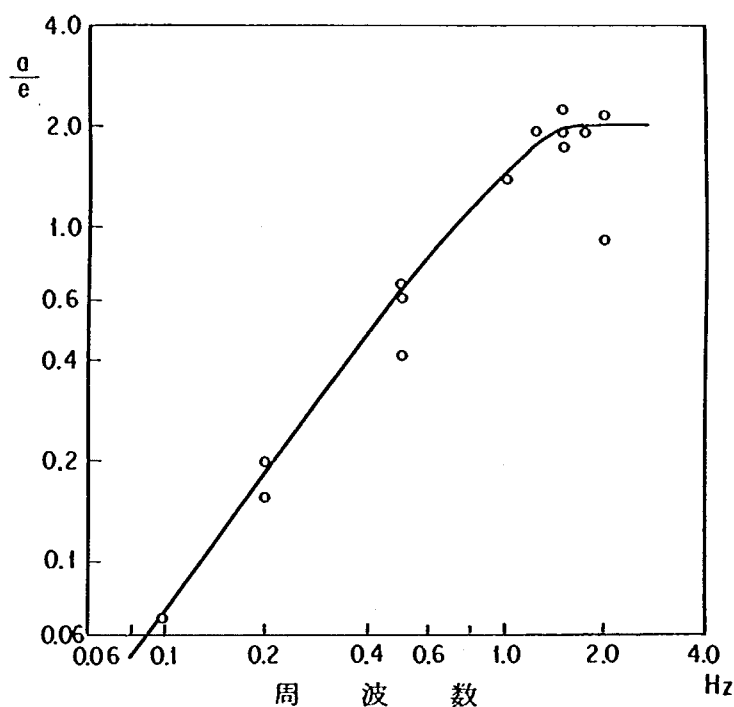


図-39 造波特性 (a : 波の振幅, e 造波板振幅)

周波数応答 $K(f)$ は造波機の応答 $A(f)$, 発生すべき波のスペクトル $S(f)$, 乱数のスペクトル $S_*(f)$ から次式で決定される。

$$K(f) = \left(\frac{S(f)}{S_*(f)} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{A(f)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

具体的な数値計算では $d t$ 間隔で発生した乱数 $x(t)$ をもとに次式を用いて入力信号を計算する。

$$y(t) = \sum_{n=-N}^N a_n \cdot x(t - n d t) \quad \dots\dots\dots (10)$$

これは $x(t)$ に移動平均を行なうことに相当し, 係数 a_n が $k(\tau)$ に相当する。また N はインパルスを用作用させる範囲である。これはデルタ関数 $\delta(t)$ を使用すると次のようになる。

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{n=-N}^N A_n \delta(\tau - n d t) \right] x(t - \tau) d\tau$$

$$t = 0, d t, 2 d t \quad \dots\dots\dots (11)$$

またデルタ関数は $t = 0$ で $\delta(t) = 1$, $t \neq 0$ で $\delta(t) = 0$ である。すなわち大括弧の中が $k(\tau)$ を表わし, これを $\hat{k}(\tau)$ で表わすと次のようになる。

$$\hat{k}(\tau) = \sum_{n=-N}^N a_n \delta(\tau - n d t) \quad \dots\dots\dots (12)$$

これに対応する周波数応答関数を $\hat{K}(f)$ で表わすと次のようになる。

$$\hat{K}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i 2 \pi f \tau) \hat{k}(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$= A_0 + 2 \sum_{n=1}^N A_n \cos\left(n \pi \frac{f}{F}\right) + i 2 \sum_{n=1}^N B_n \sin\left(n \pi \frac{f}{F}\right) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{ここで } A_n = \frac{1}{2} (a_n + a_{-n}), B_n = \frac{1}{2} (a_n - a_{-n}) \quad F = \frac{1}{2 d t} \quad \dots\dots\dots (15)$$

である。したがって $K(f)$ の実部を $R_e[K(f)]$, 虚部を $I_m[K(f)]$ で表わすと次のようになる。

$$R_e[K(f)] \doteq A_0 + 2 \sum_{n=1}^N A_n \cos\left(n \pi \frac{f}{F}\right) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$I_m[K(f)] \doteq 2 \sum_{n=1}^N B_n \sin\left(n \pi \frac{f}{F}\right) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{これより } A_n = \frac{1}{F} \int_0^F R_e[K(f)] \cos\left(n \pi \frac{f}{F}\right) d f \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$B_n = \frac{1}{F} \int_0^F I_m[K(f)] \sin\left(n \pi \frac{f}{F}\right) d f \quad \dots\dots\dots (19)$$

となり係数 a_n を求めることができる。

以上の結果をまとめると(9)式にもとづき $K(f)$ を求め, それを(18)式に代入すると A_n が求まる。位

相を考えなくてもよいために $K(f)$ は実数として取扱うことができ $B_0 = 0$ となり $a_0 = a_{-0}$ であるために係数 a_0 が計算できる。この値と乱数にもとづいて式(10)によって $y(t)$ を計算すると造波機の入力信号が得られる。この値はディジタル値で Δt 間隔で与えられているためにアナログ量に変換して入力とする。

数値計算はT O S B A C 7/40を用いて行ない、D-A変換されたデータはアナログデータレコーダーに記録され、その記録を再生して造波機入力とした。

5.3.2 測定方法

造波機によって不規則な波を発生し、河道内の波高分布、堤防への波のうちあげ高、流況、波向等の測定を行なった。測定方法は規則波の場合とほぼ同様である。

波高およびうちあげ高の測定は容量式波高計を使用し、データレコーダーに記録した。使用したデータレコーダーはSONY D F M - 45, TEAC R - 255S, AR265, R-511である。

入射波高は造波板前面7.0 mの位置で横断方向に3点において測定した。

河道内の波高については規則波の場合と同様にC 2.5 Km, C 2.0 Km, C 1.5 Km, C 1.0 Km, C 0.5 Km, 0 Km, 0.5 Km, 1.0 Kmの8断面で左岸, 中央, 右岸の3点で測定した。

波のうちあげ高についてはC 2.5 Km, C 2.0 Km, C 1.7 Km, C 1.5 Km, C 1.3 Km, C 1.0 Km, C 0.8 Km, C 0.5 Km, C 0.2 Km, 0 Km, 0.5 Km, 1.0 Kmの左右岸と, C 1.75 Km, C 1.32 Kmの左岸, C 1.72 Km, C 1.02 Kmの右岸において測定した。

波高およびうちあげの記録は造波開始後7分間とした。なお造波機は約5分間動かした。

測定したデータはA/D変換を行なって計算をした。波浪については波高, 周期の頻度分布および波のスペクトルを求めた。波高分布は0.1秒(模型値)間隔でサンプリングされディジタル量に変換された2048個のデータを用いてゼロアップクロス法によって1波を定義し, 波高と周期の頻度分布を計算した。また平均波, 有義波, 1/10最大波, 最高波のそれぞれ波高と周期も求めた。

スペクトル解析についてはFFTによって計算し, 平均値のためのフィルターとしては三角フィルターを用い平均化の範囲としては32個を使用した。

5.3 実験条件

不規則波による実験は波の不規則性を明らかにするためのものであり, 3ケースについて実験を行なった。すなわち現況において計画波が侵入する場合, 昭和大橋のある場合, 建設省の直轄施工区間に傾斜型消波工の設けられた場合の3ケースであり, それぞれの条件を表-6に示す。

海象条件としては潮位は計画潮位T.P.+4.4 mとし, 波浪については光易II型のスペクトル形状をもつ有義波高2.5 m, 周期5.5 secの波を与えた。また波向としては条件の最も悪い河道に沿って波が侵入する場合を採用した。

表-6 実験条件(不規則波)

実験ケース	橋 梁	消 波 工
13	昭和大橋	な し
14	昭和大橋	傾斜型消波工(直轄区域)
15	な し	な し

有義波高が 2.5 m となる光易Ⅱ型のスペクトル形状を図-40に示すが、スペクトルのピークより高周波側では f^{-5} でエネルギーが減衰している。実際に実験において発生したのは図-40に示すものであり、ピークの高周波側では実験値が低く、低周波側では実験値が高くなっている。これは光易Ⅱ型スペクトルが、風からエネルギーを受けて発達している状態にあるが、模型実験ではこのような状態に保つことは困難なこと、また高周波側では模型では粘性によるエネルギー損失が大きいことなどの理由で高周波側のエネルギーを高くすることは不可能であった。一方ピーク付近および低周波側では一致させることができるが、その場合には全体としてエネルギーが低くなり、有義波高が小さくなるために、波高を一致させるには低周波側で光易Ⅱ型の計算値よりも実験値を大きくさせる必要が生じた。スペクトル形状は設定したものと少し異なるが、実際には低周波側にエネルギーの大きい場合が問題となり、またこのような状況の波も発生する可能性があるために、ここで設定した条件で実験を行なうこととした。なおこの場合の波高分布は図-41に示すようにレーレー分布をしている。

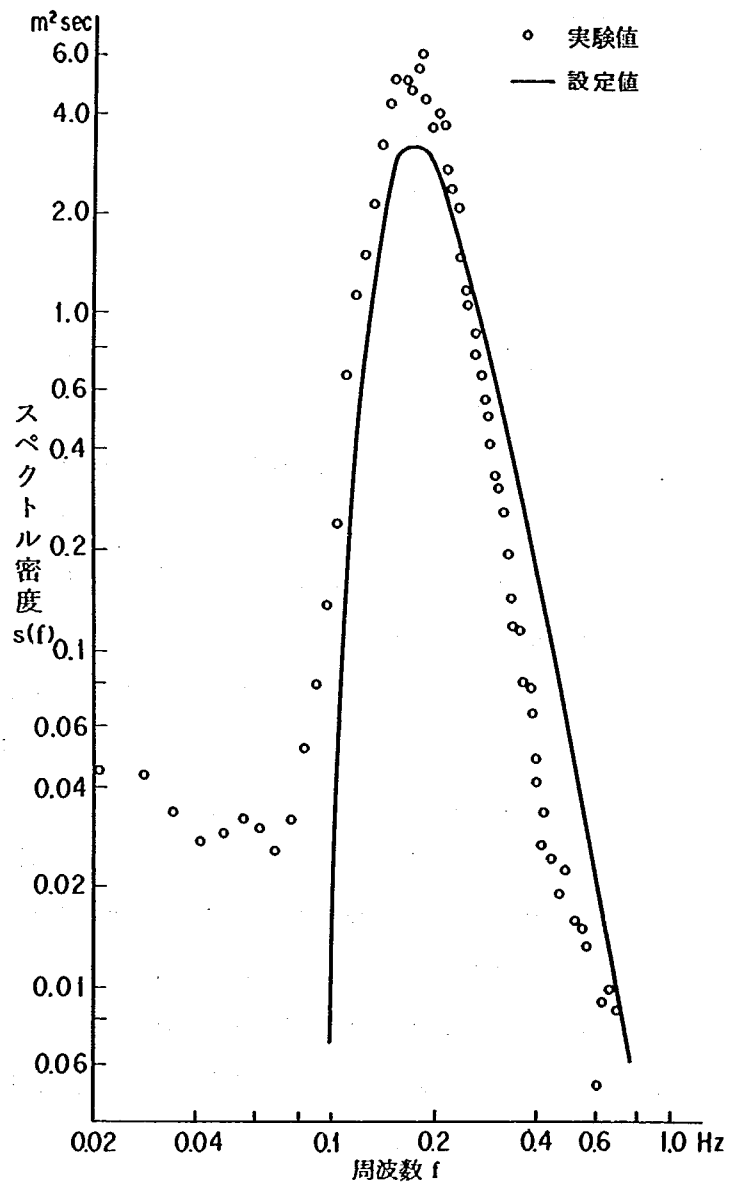


図-40 入射波スペクトル

5.4 実験結果

5.4.1 不規則波の特性

海の波は波高、周期ともに不規則な変動をしているがスペクトルのバンド幅が狭いために波高分布はレーレー分布をすることが明らかになっている。浅海における波のように波形が非線形な場合にはレーレー分布の適用は問題であるが、ここで取扱うような比較的水深が深い場合には適応性は良いと考えられる。

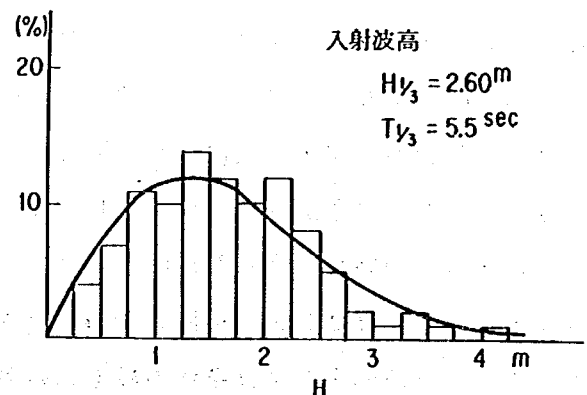


図-41 入射波高分布

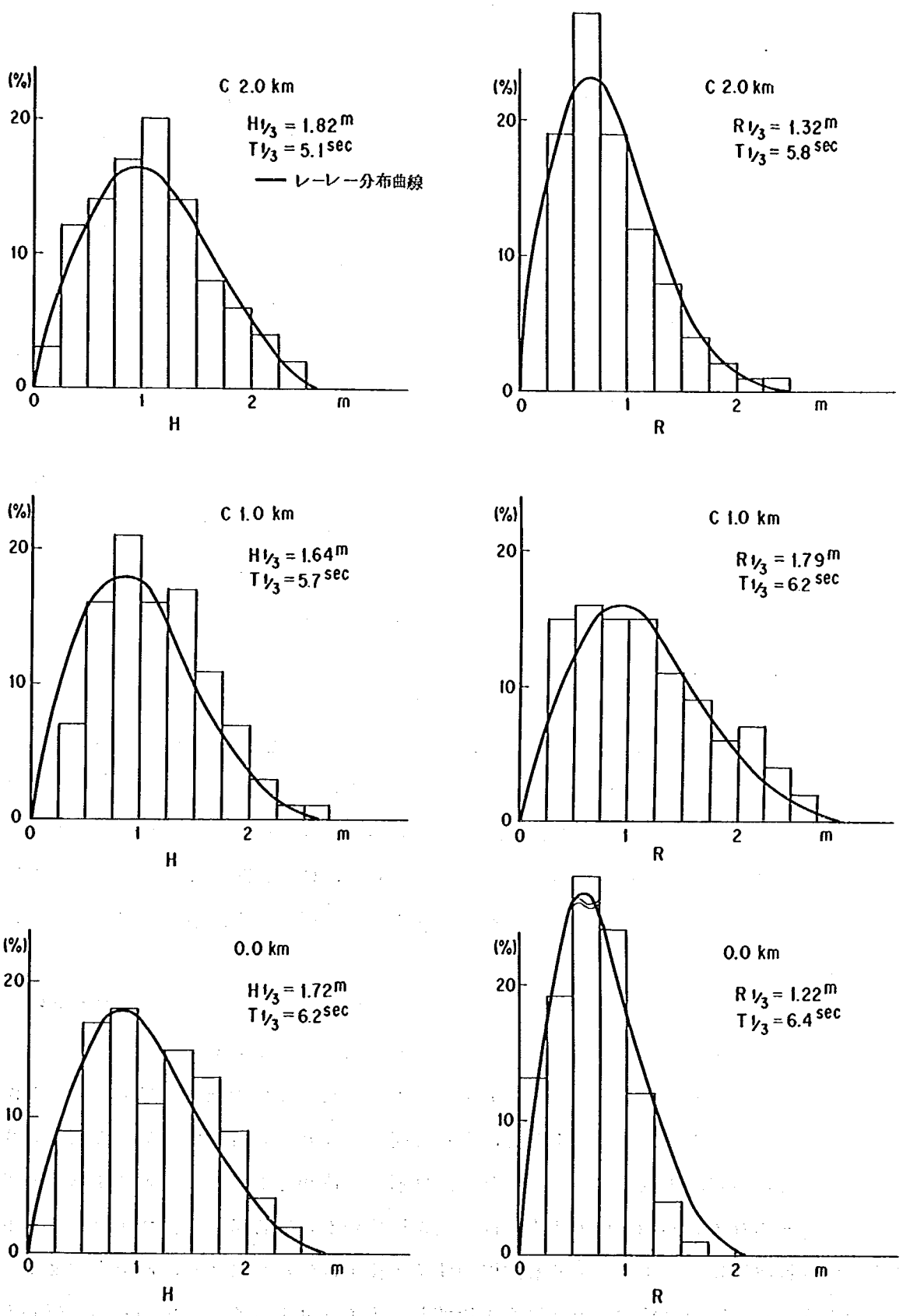


図-42 波高およびうちあげ高の頻度分布(ケース14)

図-42はケース14について波高およびうちあげ高の頻度分布を代表的な地点の測定値を用いて示したものである。この結果によれば波高、うちあげ高ともにレーレー分布にほぼ一致している。波高分布については反射波もあるが、ほぼ入射波がレーレー分布をしていれば河道内においてもレーレー分布をすると考えられる。一方うちあげ高については、堤防のり面上で波形が変形するとレーレー分布とはならないがこの結果によれば波高を同様にレーレー分布に従っている。したがって非線形性の影響はあまりないと考えられる。

不規則波の特性は波高がばらついていることであり、平均波高 H_m 、有義波高 $H_{1/3}$ 、最高波高 H_{max} の比はかなり大きくなる。レーレー分布に従う場合にはそれぞれ次のような関係になる。

$$H_{max} = 1.64 H_{1/3} \text{ (波数 } 200 \text{ 波の場合)} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$H_{1/3} = 1.60 H_m \quad \dots\dots\dots (21)$$

実験を行なったケース13からケース15について、これらの間の関係を波高およびうちあげ高に分けて示したのが図-43～45である。波高については、波高が2m程度の場合はほぼ理論値と一致しているが、波高が1m以下になるとそれぞれの比が小さくなり、波高の分布幅が狭くなることを示している。うちあげ高についてはほぼ理論値と一致しており、さきに示した分布形状が一致していることと対応している。また最高波または最大うちあげ高については平均値としてはさきに示した式(20)の関係が保たれているが、そのばらつきはかなりある。

5.4.2 不規則波の変形とうちあげ

河道内に侵入した不規則波の有義波高および有義うちあげ高の分布を図-46～48に示す。まず橋梁等の構造物のない場合のケース15についてはC 2.5 KmおよびC 2.0 Kmでは左岸側で波高が高く、C 1.5 Kmでは河道中央で高くなっている。さらに上流のC 1.0 Kmでは逆に右岸側で高くなり、これより上流ではあまり河道横断方向に波高分布は変化しないが左岸から右岸へと波高が高くなる位置が変化している。波のエネルギーとしてはC 0.5 Kmでは波高が下流側に比較して低くなっており、減衰していると考えられるが0.5 Kmでは再び波高が増加している。これは河道幅が狭くなっているためである。

波高分布が河道の横断方向に変化するのは規則波の場合と同様にC 2.5 Km～C 2.0 Kmの間で左岸側に屈折しそれが反射および屈折によって右岸側に向うためである。

昭和大橋の存在する場合がケース13であり、その位置はC 0.3 Km付近である。したがって河口からC 0.5 Kmまでの間はケース15とほとんど同じ波高分布を有している。ただC 2.0 Kmで差異が少しでているが、上流では一致しており、反射波の位相等が異なることによる変動がでているものと考えられる。昭和大橋の上流では波高が橋梁のない場合に比較して減衰している。ただ減衰の程度は場所によって異なり昭和大橋のすぐ上流では減衰が大きく、河道幅がせまくなり波高の増大する0.5 Kmでは橋梁のない場合と比較してもあまり小さくなっていない。昭和大橋より上流では波高およびうちあげ高の分布形状は橋梁のある場合とない場合を比較するとあまり変化していない。これは昭和大橋は全体として波を通過しにくくしていると考えられる。波のうちあ

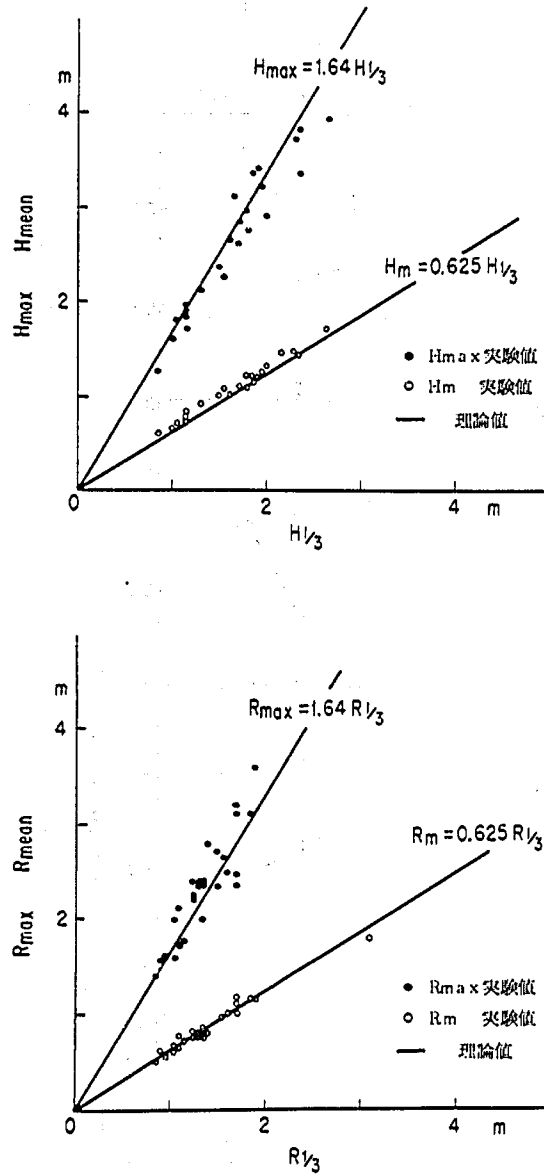


図-45 波高およびうちあげ高の比(ケース15)

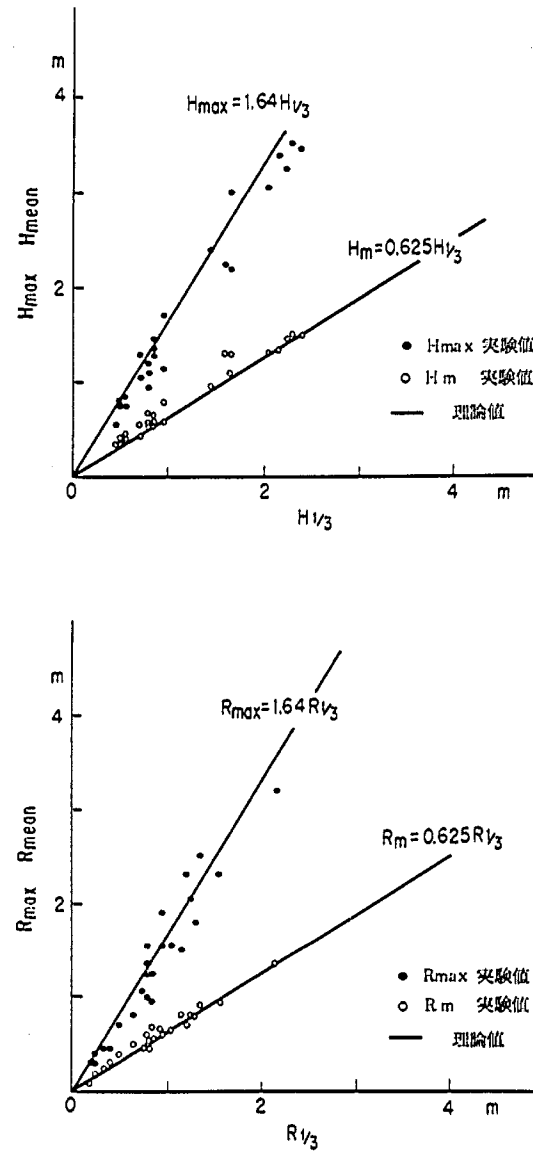


図-44 波高およびうちあげ高の比(ケース14)

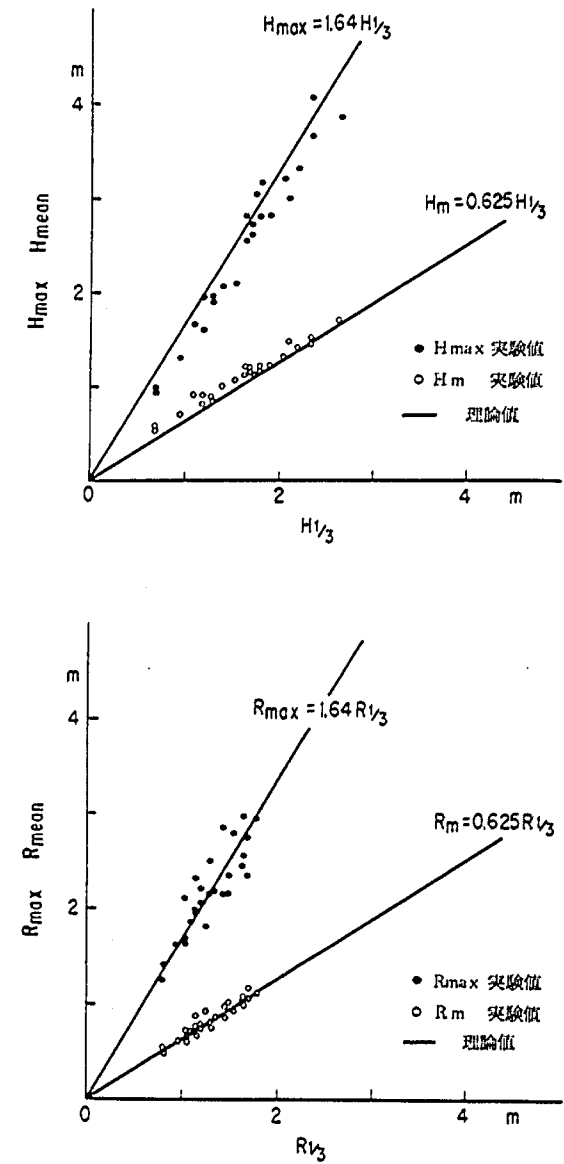


図-43 波高およびうちあげ高の比(ケース13)

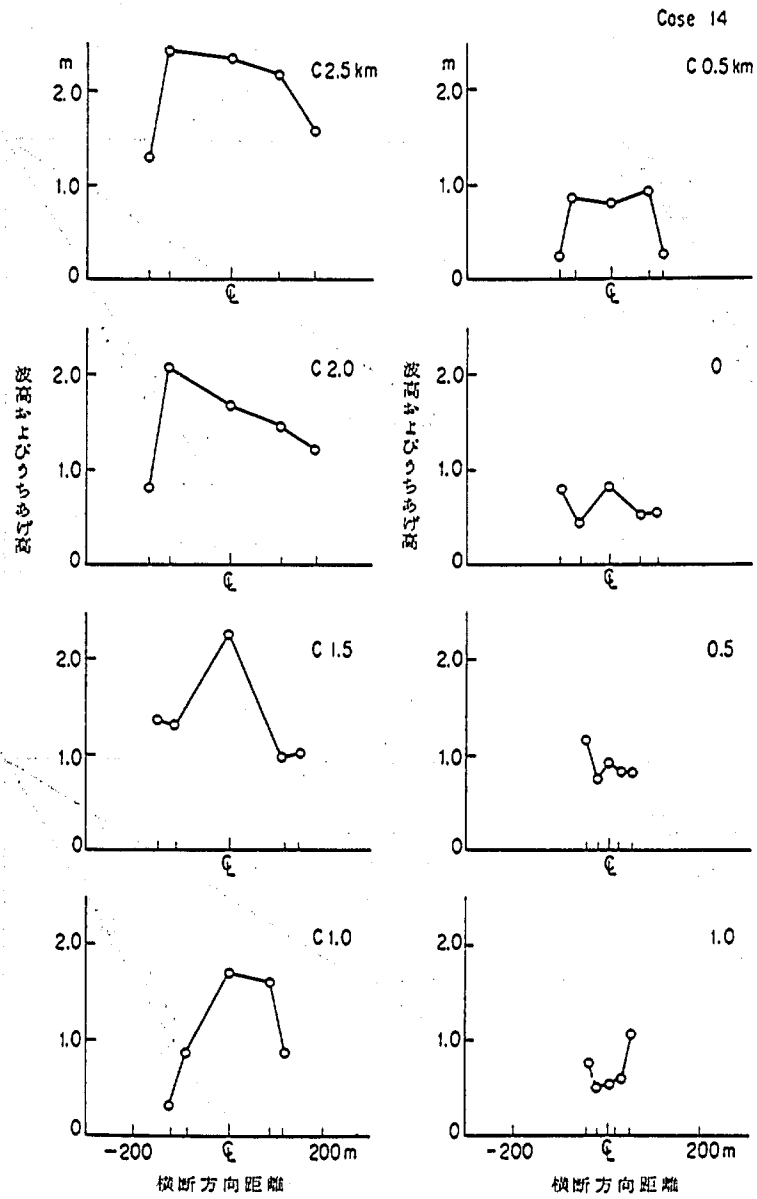


図-47 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース14)

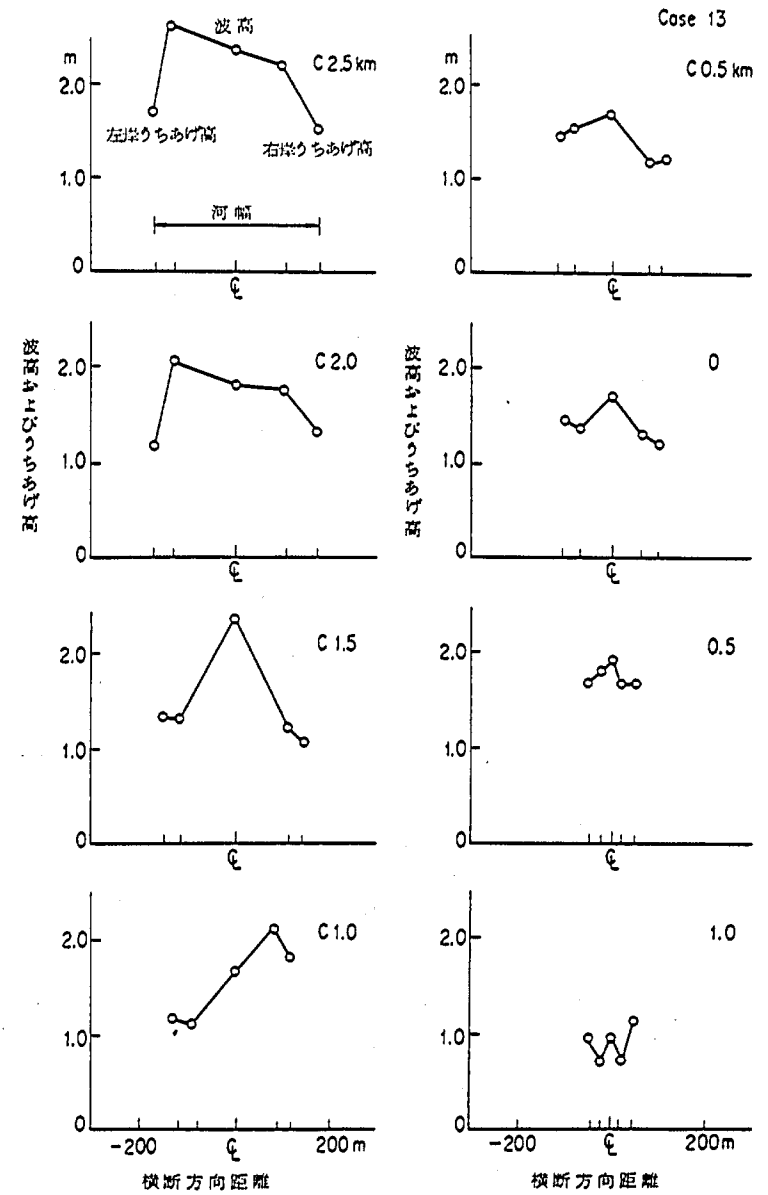


図-46 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース13)

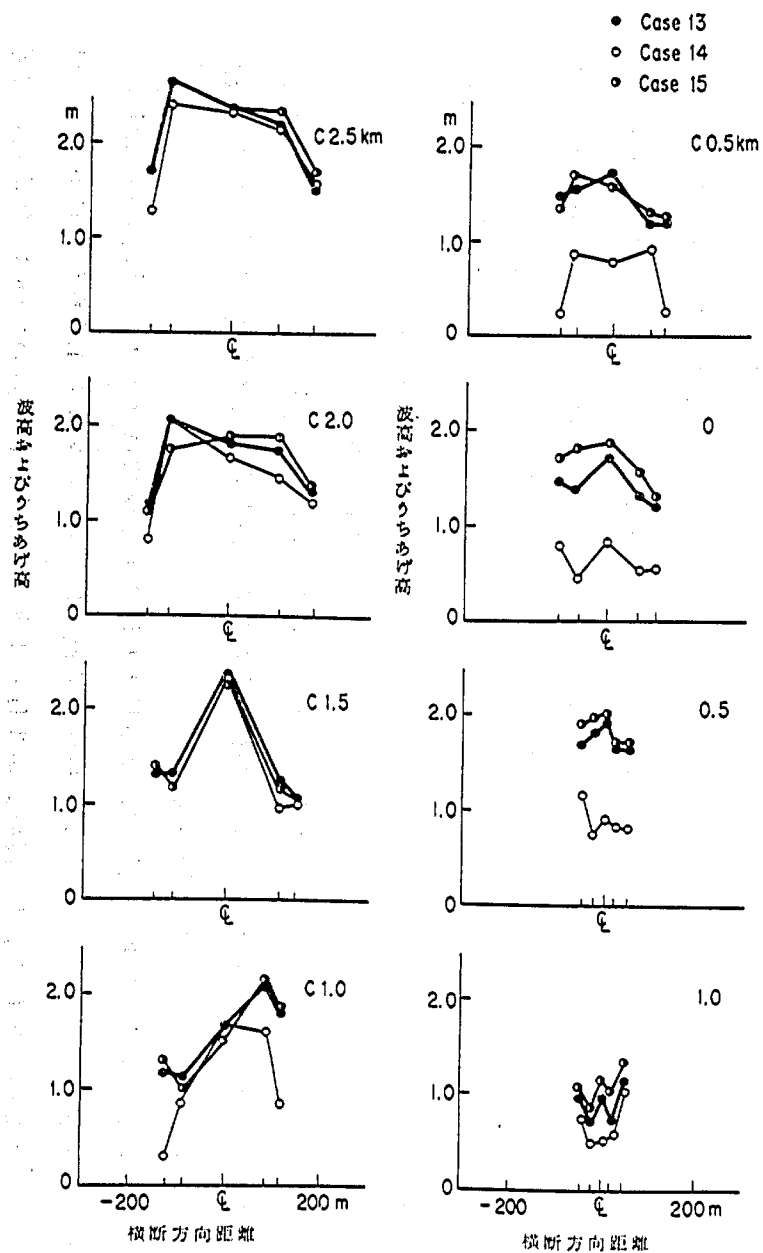


図-4.9 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース13,14,15の比較)

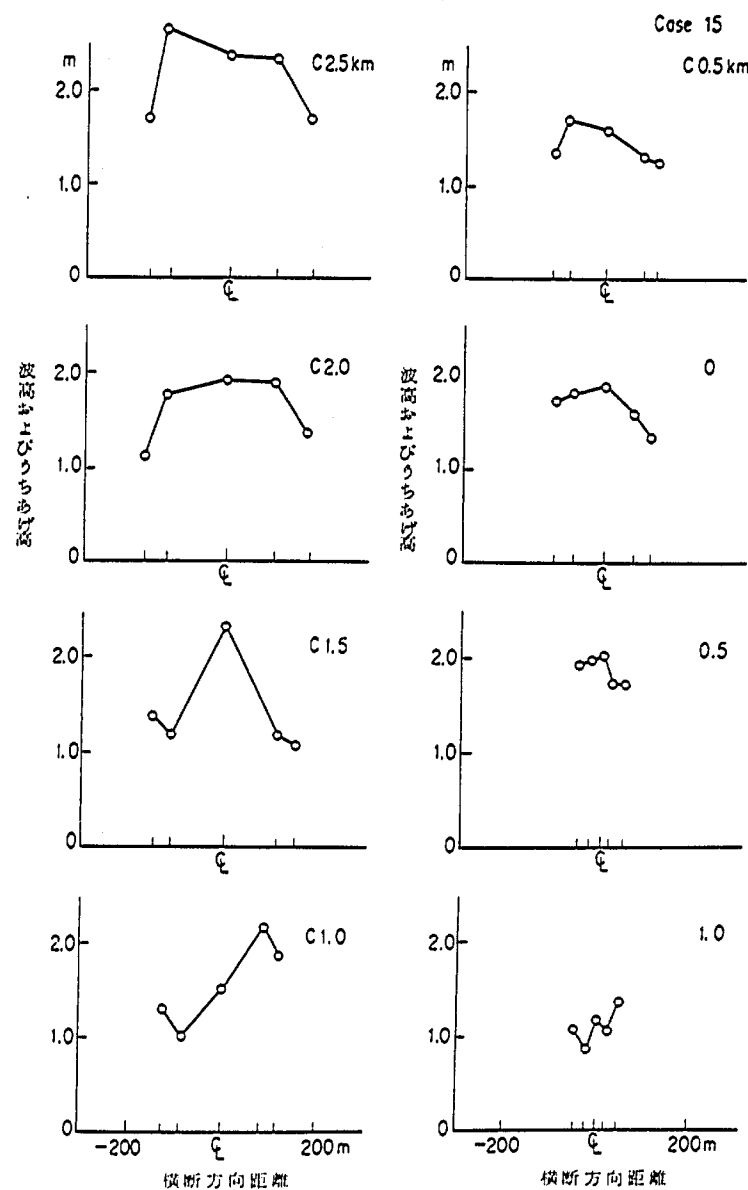


図-4.8 河道内の波高およびうちあげ分布図(ケース15)

げ高についても波高と同様の变化特性を示している。

建設省の直轄施工区間のC 1.0 Kmから0 Kmの間に傾斜型消波工を設けた場合の波高とうちあげ高の分布をケース14として図-47に示す。またケース13, 14, 15の結果を比較したのが図-49である。河口C 2.5 KmからC 1.5 Kmまでの間は他のケースと同じ波高およびうちあげ高の分布を示しており、これは当然のことである。C 1.0 Kmにおいては右岸側の波高と兩岸のうちあげ高が低下している。C 0.5 Kmにおいては河道内の波高分布はほぼ一様で消波工のない場合に比較して波高は約 $1/2$ になっており、またうちあげ高は大きく減少している。0 Kmより上流では消波工は設けられてはいないがそれより下流の消波工によって波高, うちあげ高ともに、約 $1/2$ に減衰している。これより上流側でも同様の特性を示す。ただ消波工の設けられている区間では波高の減衰よりもうちあげ高の低下が大きい、消波工のない区間では波高, うちあげ高ともに構造物のないケース15に比較して同じ程度の低下となっている。

うちあげ高はC 1.0 Kmより上流では消波工のある場合には計画堤防高以下となっており、摩擦の補正を行なっても堤防高としては現在の計画値でほぼよいと考えられるが、詳細については今後の解析が必要である。

河道内の不規則な波のエネルギー変化については有義波高の変化を調べることによって把握することができるが、それがどのような機構によって生じているかを知るためにはさらに波のスペクトル等についての解析が必要である。河道内における波の変形については、屈折、反射、砕波等があるが、これらは波の周期によって変化特性が異なる。例えば屈折にしても周期の長い波ほど屈折しやすく、短くなるとほとんど屈折しなくなる。不規則な波は各種の周期またはその逆数である周波数ごとの成分波の重ね合わせで表現することができるために、周波数ごとに変化特性が異なれば、その変化を重ね合せたものが全体のエネルギー変化に関係してくる。また砕波に関しては、全体の波高が大きくなければ生じないために、いわゆる非線形現象であって成分波の重ね合わせでは解析することはできない。また相対的に波高が大きくなると高周波成分へのエネルギーの移行も生じる。したがってここでは波のスペクトル形状の変化を調べることによって河道内での波の変形ではどのような現象が支配的であるかについて検討を行なった。

河口に入射した波のスペクトル形状を調べてみると、まず河口付近では波スペクトルのエネルギーが最大となる周波数の低周波側ではあまり変化はないが、高周波側ではエネルギー密度が上流で低下している。これは周期の短い波が粘性のために減衰したと考えられる。この現象は河口付近で見られ、上流では明確ではない。

河道内での屈折および反射が支配的になるC 1.0 Kmより上流ではスペクトル形状が変化する。河道中央で有義波高が高く、西岸に近い場所で波高が低くなっているC 1.5 Kmにおけるケース14のスペクトルを図-50に示す。周波数が3 Hzより高い場合には各点のエネルギー密度はほぼ同じ値をとっているが、これより低周波側ではエネルギー密度に大きな違いがある。河道中央では入射波と同じスペクトル形状を有しているが、左右岸での波は全体としてエネルギーが低下して

いる。これは周期の長い波が屈折し、波高の測定地点が影となって波が侵入しないためであろう。また中央および右岸側である周波数のエネルギーが特に大きくなっており、またその近くの変動が大きく、周波数によって波の屈折等が異なるために生じたものと考えられる。

上流側C 0.5 Kmにおける波のスペクトルを図-5 1~5 3に示す。これには傾斜型消波工のあるケース1 4と構造物のないケース1 5の結果を示してある。構造物のないケース1 5では、3地点のエネルギー密度が最大となる周波数の値が異なっている。中央では0.1 4 Hzで最大となり、左岸側では0.1 7 Hz、右岸側では0.1 8 Hzでそれぞれ最大となっている。また変動もかなりある。一方構造物のあるケース1 4でも違いは大きく中央では0.1 5 Hzでエネルギー密度が最大となり、左岸側では0.2 Hzで、また右岸側では0.1 5 Hzと0.2 1 Hzにおいてそれぞれ極大値をとっている。

スペクトル密度が周波数によって変動したり、密度が最大となる周波数が場所によって異なるのは反射と屈折によっている。反射波の存在する場合には入射波と反射波が重なり合い、位相が一致すればエネルギー密度は大きく、逆位相すなわち波の山と谷が重なればエネルギー密度は小さくなるために変動を生じる。しかもこの変化は周波数が変化することにしがって位相も連続的に変化するためにエネルギー密度が周波数によって変動を生じる。このような現象を利用した反射率の測定も試みられたことがある。位相関係が明確に生じるのは兩岸に近い場合であり、ケース1 5の右岸側波スペクトルの変動はこのような機構で生じていると考えられる。

一方、ケース1 4ではスペクトル密度の変動はケース1 5に比較して小さいが、密度が最大となる周波数が場所によって異なっている。これは反射波については傾斜型消波工によって反射率が小さくなるためにその影響が表れずに、屈折による変化が支配的となったものと考えられる。波の屈折状況は周期によって変化するために、各場所によってそこに入射する最適な周波数が異なり、波の選択が生じたのであろう。

波のうちあげのスペクトルを図-5 4, 5 5に示すが、ここでも同様の特性が表われている。その他にケース1 5と1 4を比較すると高周波側ではケース1 4はケース1 5に比較してエネルギー密度が大きく低下しているが、低周波側での低下は小さい。これは消波工によってエネルギーが減衰する場合に周期の短い波ほど減衰しやすいために生じた現象であろう。

さらに上流の0.5 Kmにおける河道中央の波スペクトルを図-5 6に、また兩岸のうちあげのスペクトルを図-5 7, 5 8に示す。ケース1 4, 1 5ともにスペクトルの変動が生じている。河幅がせまくなっており、またケース1 4においてもこの位置には消波工が設置されていないために反射波が生じていると考えられる。ケース1 5の周波数が0.3 Hzより大きい場合のエネルギー密度は河口での値に比較しても大きく変化していない。この値を光易Ⅱ型の値と比較するとほぼ同じであり、限界値に達していると考えられる。実験で水面を見ると堤防に沿って波が進行することにしがって波長の短い波が発生しており、低周波成分から高周波成分へのエネルギーの移行が生じ、これが砕波や粘性によるエネルギー損失と釣合ってほぼ一定のスペクトル密度になって

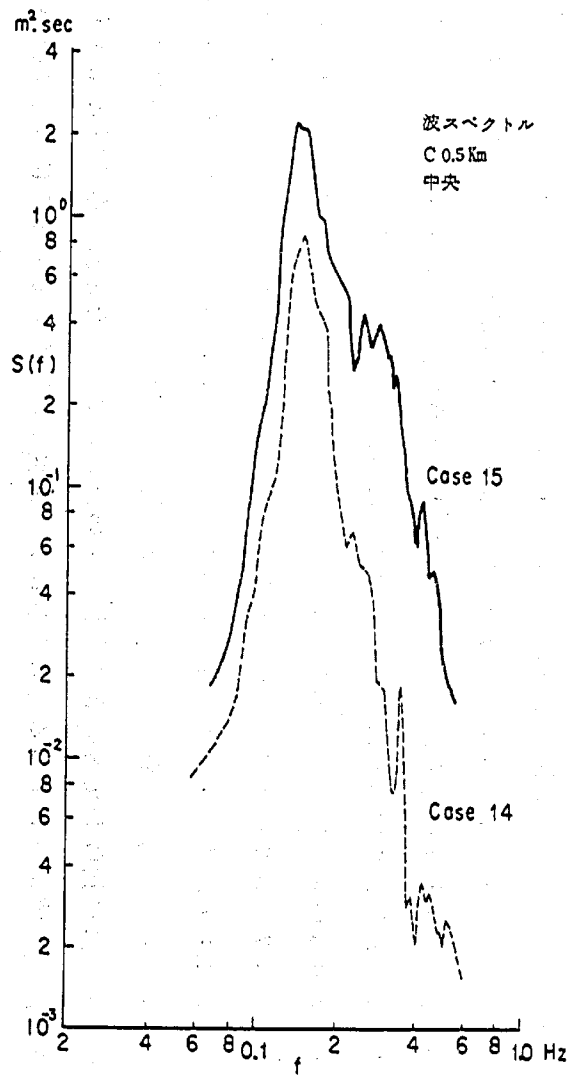


図-5 2 波スペクトル (C 0.5 Km 中央)

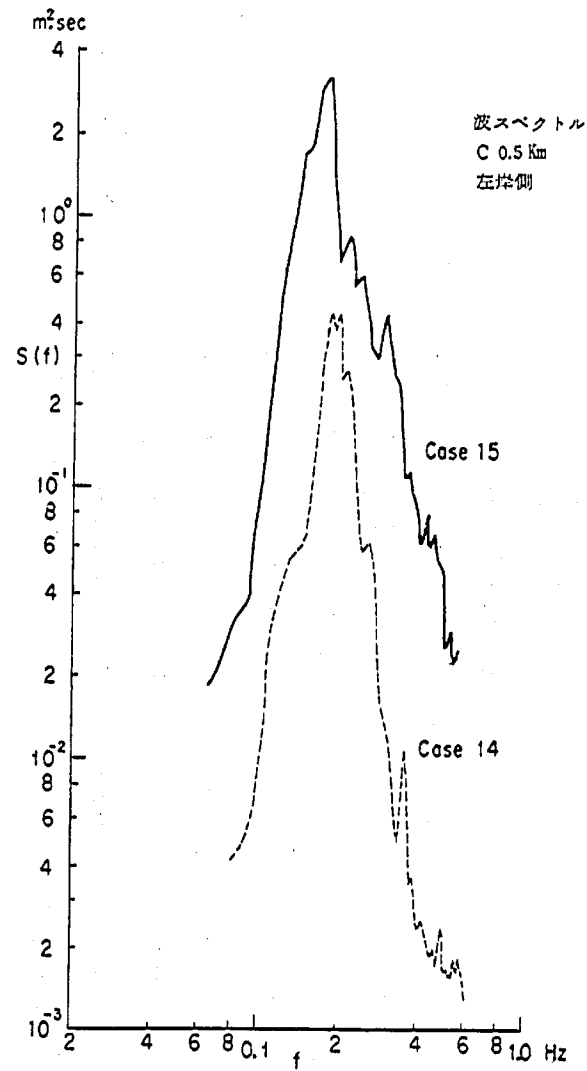


図-5 1 波スペクトル (C 0.5 Km 左岸)

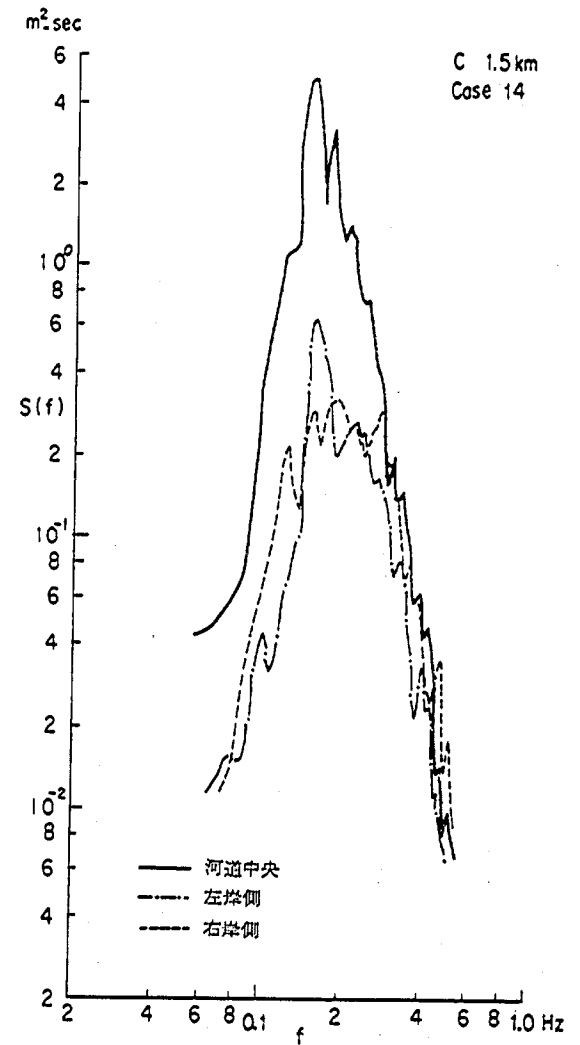


図-5 0 波スペクトル (ケース 14, C 1.5 Km)

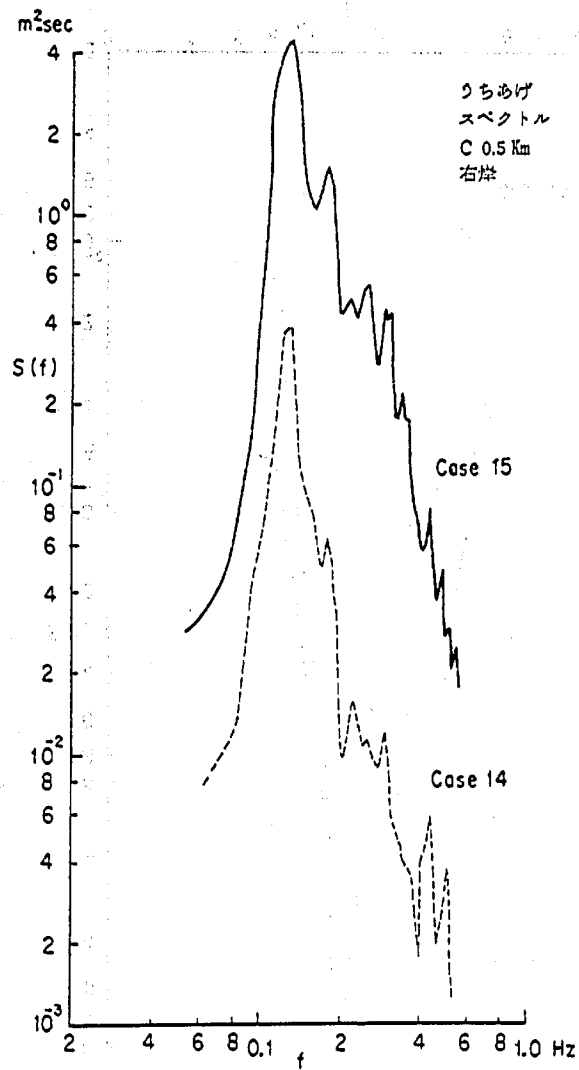


図-5.5 うちあげスペクトル (C 0.5 Km 右岸)

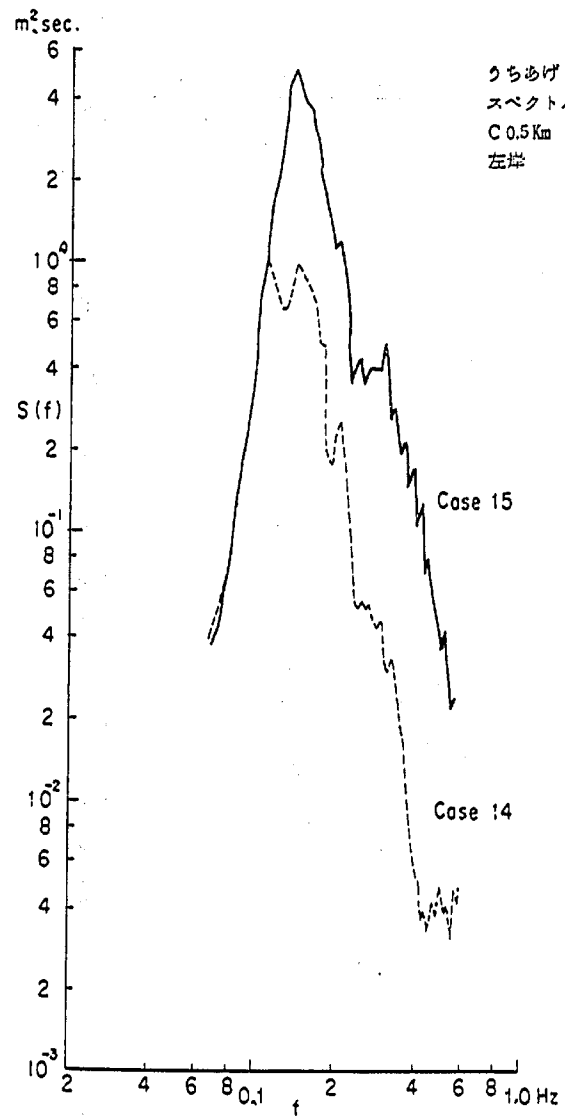


図-5.4 うちあげスペクトル (C 0.5 Km 左岸)

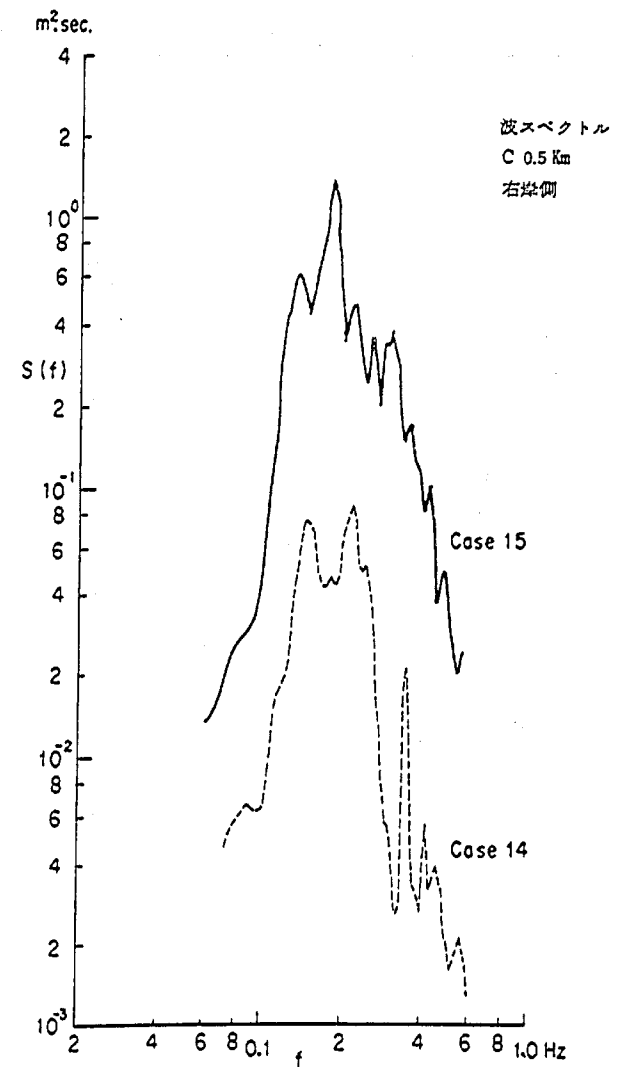


図-5.3 波スペクトル (C 0.5 Km 右岸)

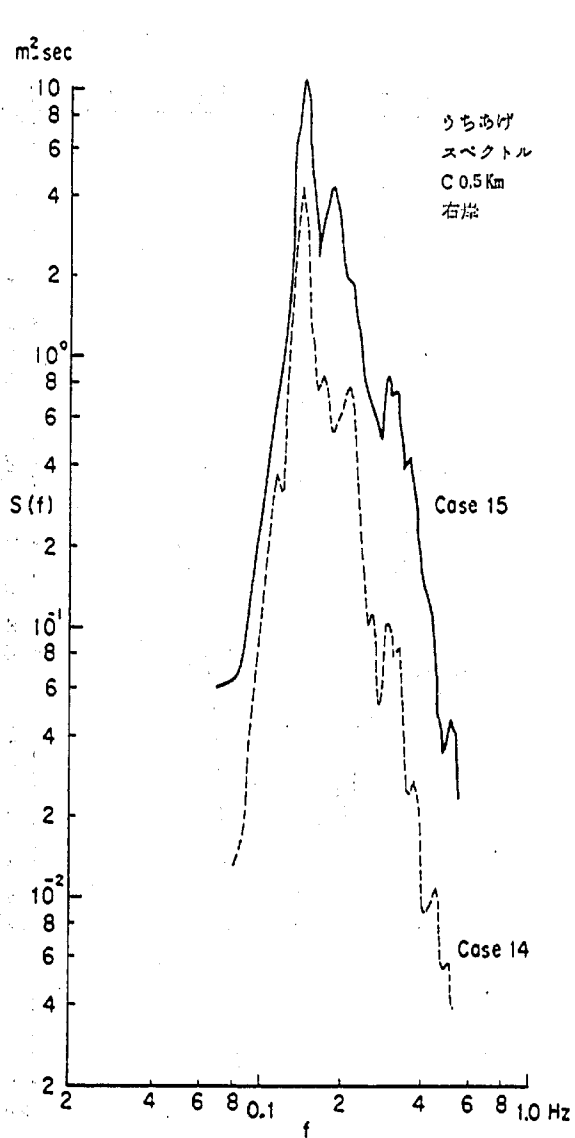


図-58 うちあげスペクトル (0.5 Km 右岸)

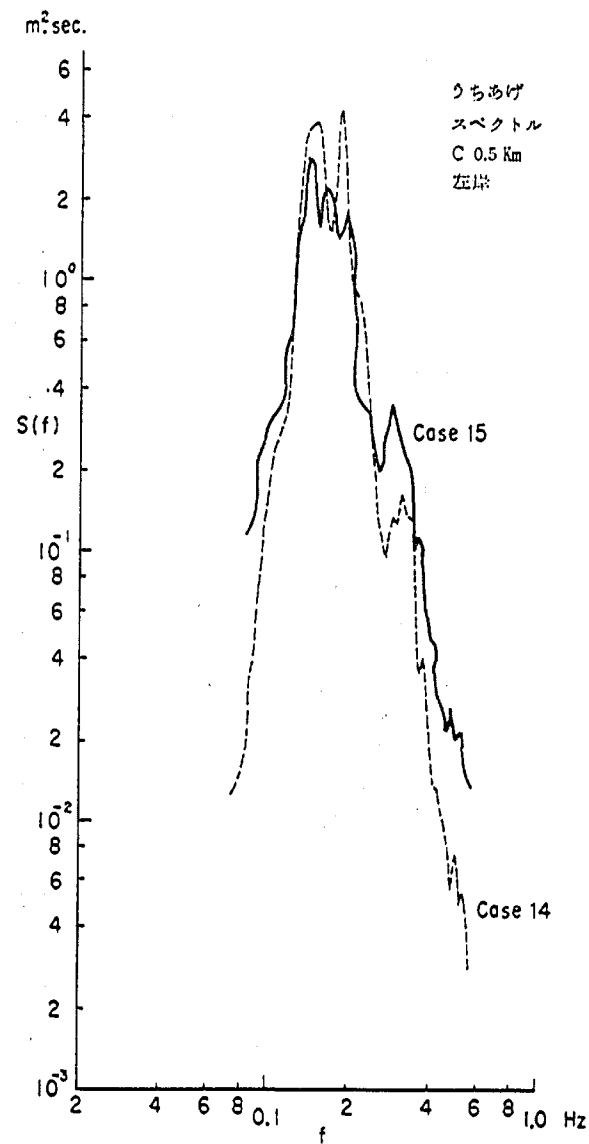


図-57 うちあげスペクトル (0.5 Km 左岸)

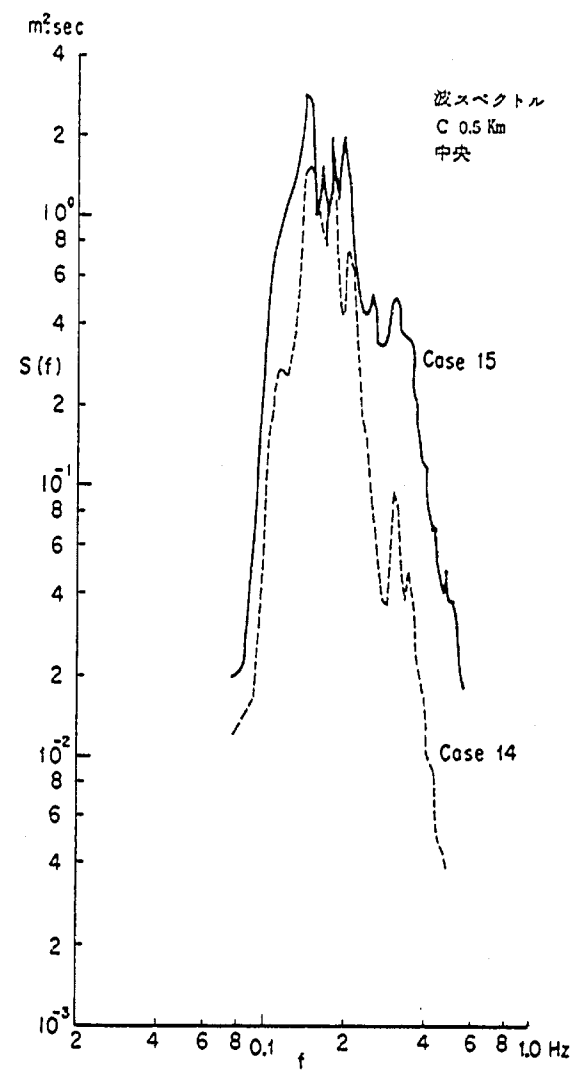


図-56 波スペクトル (C 0.5 Km 中央)

いると考えられる。

一方消波工によってエネルギーが減衰したケース14についてはエネルギー密度は河幅がせまくなっているために下流側に比較して増加している。

波のうちあげのスペクトルを調べると変動があるが、この中には高周波へのエネルギー移行によって生じた現象も含まれると考えられる。左岸側のうちあげ高は、ケース14、15ともにエネルギー密度は0.15 Hz 付近で最大となっているがこの周波数の2倍である0.3 Hz で密度は極値をとっている。またあまり明確ではないがケース15では3倍周波数の0.6 Hz 付近でも極値となっている。右岸側でも同様で0.15 Hz, 0.3 Hz, 0.6 Hz で極大となっている。このように中心となる周波数の2倍、3倍の成分波のエネルギーが極値を持つ現象は波の非線形干渉によって説明できる。河幅がせまくなっているために波高およびうちあげ高が増加し、このような現象が表われたものと考えられる。密度の最大値付近では変動もあるが、これは他の原因、すなわち反射によって生じているのではないかと考えられる。

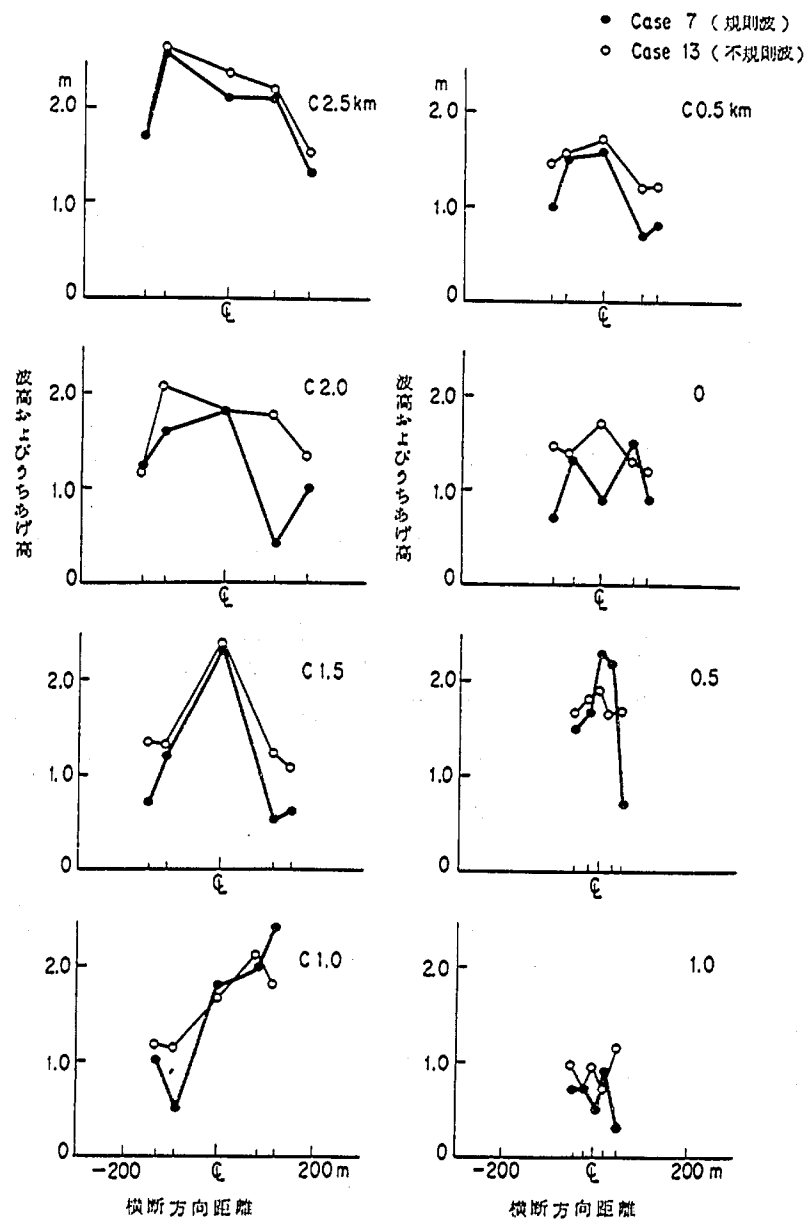
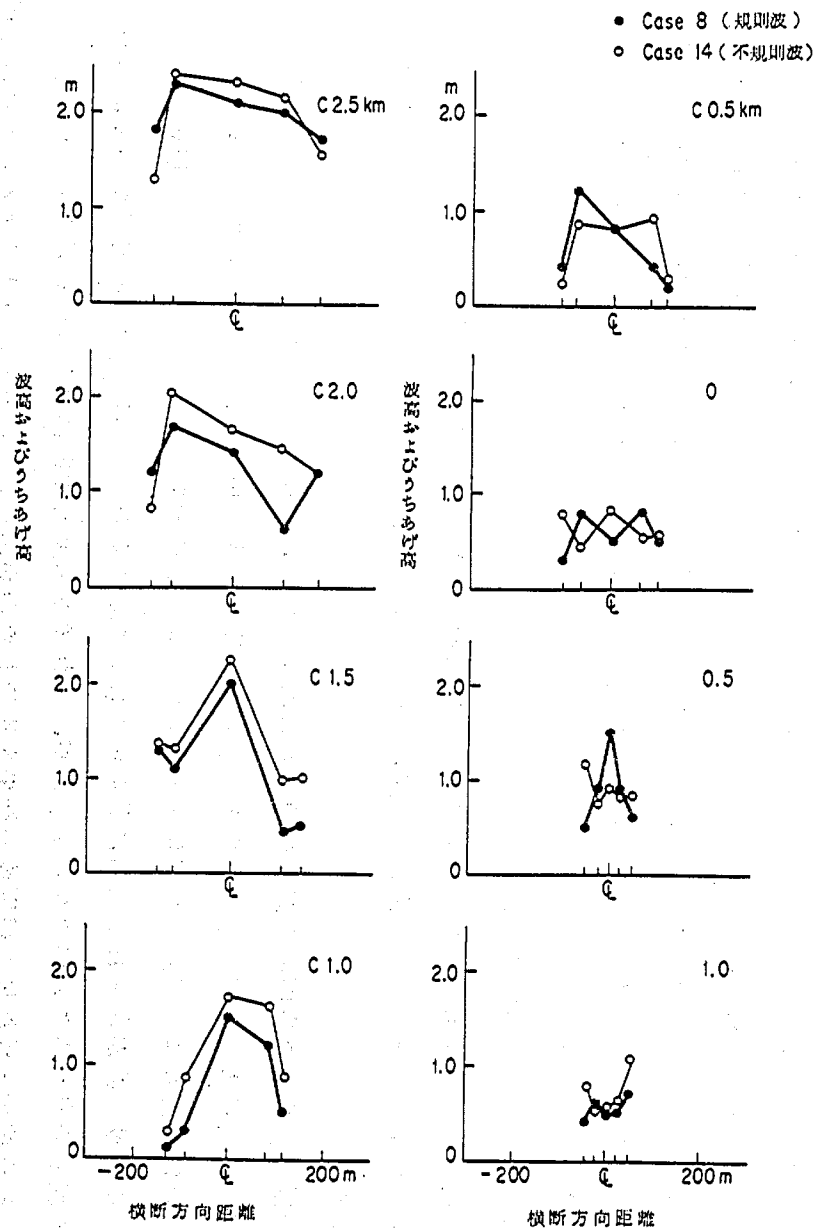
スペクトル形状の変化をもとに、河道内での不規則波の変化について調べてきたが、これらをまとめると次のようになろう。まず河口付近では屈折等の影響がなく、高周波成分が粘性によって減衰するが、上流に進むほど屈折によって選択的に各周波数のエネルギー密度が変化する。また兩岸の堤防に近い場所では反射波のために、スペクトル形状が規則的に変動する。消波工によってエネルギーは減衰し反射波が少なくなるためにこの変動はあまりなくなり屈折による変化が支配的となる。また消波工は高周波数のエネルギー成分を減衰させるために、うちあげのスペクトルは高周波側でエネルギー密度が大きく低減する。河幅がせまくなるとエネルギー密度は全体的に増加するが、構造物のない場合にはスペクトルの高周波側ではほぼ限界値に達しているためにエネルギー密度の増加はなく、ほぼ一定値を保っている。また波高の増加に伴ない、特にうちあげのスペクトルにはエネルギー密度の最大となる周波数の2倍および3倍周波数のいわゆる高次の成分波が大きくなっている。

5.4.3 不規則波と規則波の比較

河道内に侵入する不規則波の変形について代表的条件についてのみ実験を行なったが、規則波の実験結果と比較することによって規則波の結果を実際に適用する場合の妥当性と限界が明らかになろう。

周期の決まった規則的な波が河道内に入射する場合には屈折、反射ともに地形や堤防形状および波の周期によって定まった変化をし、波高は変動の大きいものになる。特に反射波が重なる場合には位相差によって波高が変化するために波高の場所的变化が大きい。一方、不規則波では、種々の周期の波が含まれるために平均化されることになる。この実験では波向については単一方向の波しか与えることができなかったが、それでも河道内の波高分布は一様になっている。

不規則波の実験結果と規則波の結果を比較したのが図-59, 60, 61である。これは不規則波については有義波高または有義うちあげ高を、規則波については平均波高と平均うちあげ高



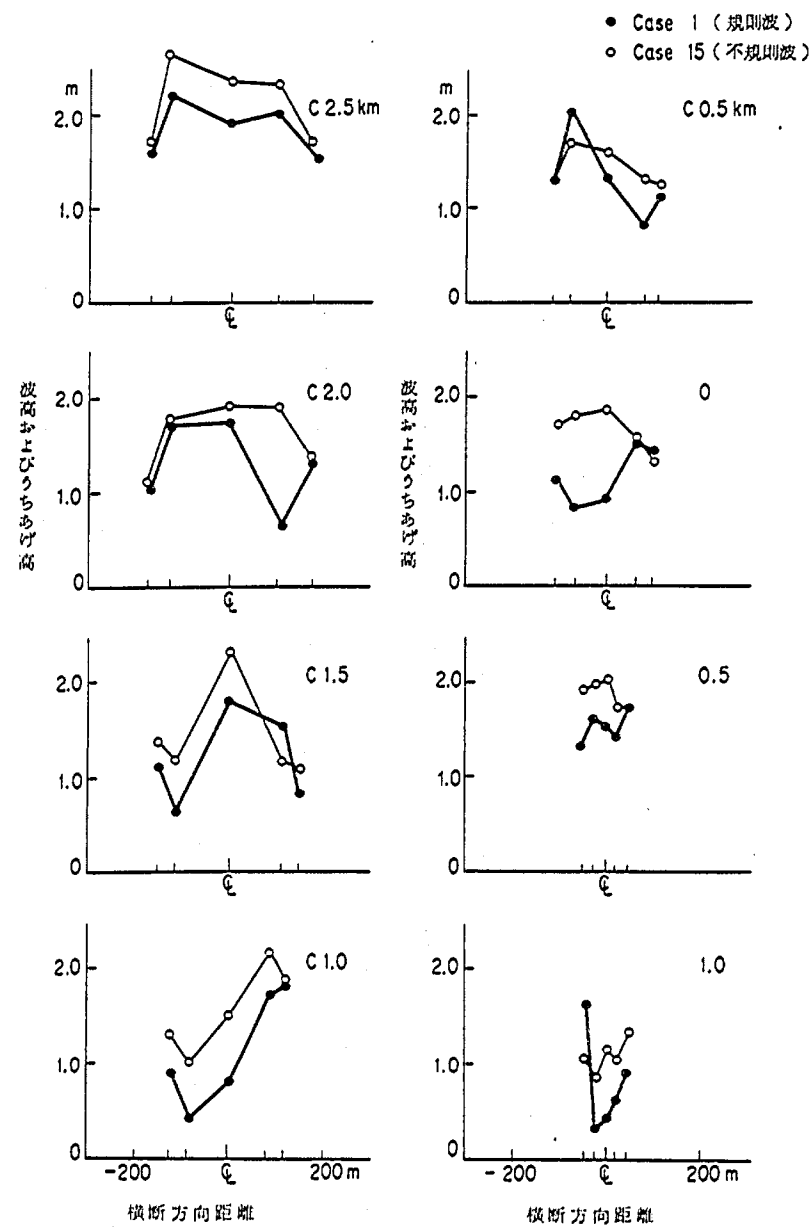


図-61 規則波と不規則波の比較 (ケース15)

を各測点ごとに示したものであり、各図の両側の2点はうちあげ高を、中の3点は波高を示す。構造物が河道内にないケース15とケース1の比較を行なうとさきに述べたように全体としては不規則波による結果はばらつきが少ない。C 2.5 KmからC 0.5 Kmの間で波高分布の変化状況を見ると、河口ではほぼ同じ分布をしていたものがまず左岸に屈折しそれが右岸に向い、さらに左岸に向うという特性は規則波、不規則波ともに同じであるが不規則波の屈折が規則波ほど大きくなく、C 1.0 Kmにおいては波高が最大となる位置が少し異なっている。これは入射波高が、不規則波が大きいために変化が強調されているかもしれないが、このような傾向がみられる。C 0.5 Kmより上流では規則波は河道内で横断方向に大きく変動しているが、不規則波の変動は大きくない。さきにC 0.5 Kmにおける波高スペクトルを図-51~53に示したが、この図で明らかなようにエネルギー密度が最大となる周波数は場所によって異なっており、各成分波ごとに調べれば規則波と同様の変動を示すものと考えられる。

昭和大橋のあるケース13とケース7の比較を行なったのが図-59であるが、ここでも同様に不規則波の結果は規則波に比較して変動が少ない。特にC 0.5 Kmより上流でこの傾向はいちじるしい。上流では下流での屈折と反射および河幅の縮小によって堤防に入射する波の入射角が大きくなるために反射波が生じやすくなり、規則波の場所には変動が大きくなるものと考えられる。不規則波の場合にも当然反射波はあるがこれはスペクトルの周波数によるエネルギー密度の変動として表われ、波高についてはそれを積分したものとなり平均化されるために波高の場所的変動は小さくなると考えられる。

昭和大橋はC 0.3 Kmに位置しており、規則波の結果によれば0 Kmでは両側が、また0.5 Kmでは中央の波高が高くなり河道に直角方向の振動も生じている傾向を示しているが、不規則波の場合に河道中央の波高が高い。これも種々の周期の波が含まれればその反射特性が異なるために明確な差異が生じないためと考えられる。

傾斜型消波工および昭和大橋のある場合の結果が図-60である。河口のC 2.5 KmからC 1.0 Kmの間では不規則波の結果と規則波の結果に大きな違いはないが変動は小さくなっている。またC 0.5 Kmより上流ではケース13および15と同様に不規則波の場合には変動が小さくなっている。

不規則波と規則波の実験結果を比較した結果をまとめると、不規則波の場合は規則波より波高の場所的変動が小さくあり、これは不規則波の屈折および反射が各周波数ごとに異なるために変動が平滑化されるためと考えられる。屈折による変化が支配的なC 2.5 KmからC 1.0 Kmの間では規則波の河道横断方向の波高分布と不規則波のそれとは大きな違いはないが、反射波の影響も含まれるC 0.5 Kmから0 Kmの間では規則波は変動しているが、不規則波の河道横断方向の波高の変動は平滑化されている。

5.5 考 察

不規則な波によって河道内の波浪の変形を調べたが、ここでは規則波による実験の結果を実際

の不規則な波の場合に適用する際の問題について考察する。

波浪の変形が周波数のみによって支配されており、波高やエネルギーとは独立な場合には線形な重ね合せによって不規則な場合の結果を推定できる。すなわち入射波を各周波数および各方向の成分波に分割し、それぞれの成分波による屈折等の変形を調べ、入射波のエネルギーに屈折係数等を作用させて各成分波の結果を重ね合わせることによって計算できる。ただこの方法は波高が関係するような碎波等が生じている場合には適用できない。

模型実験の結果にもとづいて考えてみると、まず河口C 2.5 KmからC 1.0 Kmの間では規則波と不規則波の河道内の横断方向分布はほとんど同じであり、この範囲では特に不規則性を考えなくても規則波の結果を適用できる。屈折現象は周波数によって変化し、周波数が小さければ屈折は小さく、大きければ屈折は大きいために入射波のスペクトルの幅がせまく単一の極値を持つ場合には、極値の周波数に対応する単一波の結果を適用しても不規則波の場合との違いはあまりない。すなわち高周波側と低周波側で特性が逆であるために平均化されて単一波の場合との差異が少なくなる。

一方、反射波も大きな影響をもつC 0.5 Kmより上流では、規則波の実験結果は入射波と反射波の重ね合せによって位相が少し違えば波高が大きく変化するために、不規則波の場合と異なる。堤防近くの波のスペクトルは反射波の存在する場合には周波数の変化に対応しエネルギー密度が変動する。有義波高は波スペクトルの全エネルギーと対応していると考えられるために変動を平均したものを求める必要がある。したがってこのような場合には各周波数による結果を重ね合わせることが必要である。近似的には入射波の波高の2乗と反射波の波高の2乗の相乗平均でも推定できると考えられるが、この点については実験値にもとづく解析が必要である。

波の非線形性の影響については二つの現象がある。まず河道内で反射や河幅の縮小によって波エネルギーが増加する場合には各周波数に対応した限界値があって、これよりはエネルギー密度は増加しないことである。実験ではこの値は光易Ⅱ型スペクトルの高周波側の値とほぼ一致している。したがってこれは碎波と結びついていると考えられるが各周波数ごとに検討しなければこの効果を推定することは困難である。

第二はスペクトルのエネルギー密度が最大となる周波数の波がその2倍、3倍の周波数の波と非線形な干渉を示すことである。この実験においては河道内の水深が深く波高が増加する場合が少ないために、河道内の波スペクトルの変化にはあまり表われていないが、波のうちあげスペクトルで見られた。これは堤防ののり面上で碎波するような状況になれば当然生じるものと考えられる。ただ全体のエネルギー変化についてはあまり大きな寄与をしていない。

5.6 ま と め

天満川河口部における高潮時の波浪の変形を縮尺1/50の模型によって不規則波を用いて調べた結果によると次のようなことが明らかになった。

まず不規則波の波高およびうちあげ高の頻度分布を調べた結果によると、それぞれレーレー分

布に従い、最高波高、有義波高、平均波高の比はレーレー分布から得られる理論値とほぼ一致した。ただ波高、うちあげ高が小さくなる場合には分布の幅が狭くなる傾向を有する。

河道内の不規則波の変形を調べると屈折による波浪の変形が支配的な河口C 2.5 KmからC 1.0 Kmの間では規則波の結果とほぼ同じ結果が得られた。それより上流の波高およびうちあげについては、規則波の結果と比較し変動の少ない結果となった。これは反射波の影響もあるために規則波の場合には位相の違いによって波高が大きく変化するが、不規則波の場合にはある幅の成分波からなるためにこのような現象が平滑化されることによる。また屈折についても周波数によってその状況が異なるために規則波に比較すると入射した波のエネルギーは広く拡がり波高分布はなだらかになる。

傾斜型消波工の効果としては規則波の場合と同様に波のうちあげ高を小さくするとともに波エネルギーを減衰させて上流に伝播する波を小さくする。また昭和大橋については波高を減衰させる。規則波の場合には河道に直角方向の波が形成されたが、不規則波の場合には各成分波からなるために特定の振動が卓越せず、河道中央を通過した波がそのまま上流に進むと考えられる。

波のスペクトルの高周波側では砕波による限界値があり、エネルギーが増加する場合にはそれ以上スペクトル密度は増加しない。これは光易Ⅱ型の波スペクトル形状によって規定される高周波側の値とほぼ一致している。

波の不規則性を考慮すると規則波の場合に比較して変動が小さく平滑化される傾向を示す。

6. 結 論

太田川河口部の高潮計画に関連して、天満川を選び模型実験によって河道内での波の変形とうちあげ高について検討した。特に当初計画では河口部の湾岸道路の第1橋梁によって波浪の減衰を考慮していたが、その実現性がないために再検討をする必要が生じた。したがってまず第1橋梁のない場合の状況を把握し、次に対策工について検討を行なった。実験は規則波によって河道内の波の変形および対策工の効果を調べるとともに、不規則波によって実際の現象がどうなるかを調べた。

実験の結果によれば、現在の計画堤防高は第1橋梁による波浪の減殺効果が考慮されているために、橋梁のない場合には当然波のうちあげ高は計画堤防高より高くなる。橋梁のある場合には、うちあげ高はほぼ計画堤防高程度となったが、上流部で一部河幅が狭くなっている地点ではうちあげ高が計画堤防高より高くなる場所があった。

波のうちあげ高を低くするための対策工法として直立型および傾斜型の消波工や橋梁について、その効果を検討した。傾斜型消波工は反射波を消すとともにうちあげ高を低くするために効果的であり、消波工のない上流側でも波高およびうちあげ高が低下することが明らかになった。建設省の直轄施工区間であるC 1.0 Km付近からC 0.3 Kmの昭和大橋の間に消波工を設ければ、C 1.0 Kmより上流では波のうちあげ高は計画堤防高より低くなると予想される。この点については海底摩擦の補正等を行ない今後明確にする予定である。

直立型消波工については、消波工に沿って波が進行する場合にはうちあげ高を低くするのみで波のエネルギー損失は大きくなく有効な工法とは考えられない。斜め入射に対して効果的な消波工が開発されれば用いられる可能性を有している。

不規則波による実験結果によれば、河口部のC 2.5 KmからC 1.0 Kmの間では屈折による波の変形が支配的であり、規則波による実験結果とほぼ同じ結果が得られたが、それより上流では周期の違いによる屈折状況の違いも大きくなり、また反射波も生じるために規則波に比較して不規則波の結果は平滑化される。

規則波および不規則波によって河道内の波浪の変形とうちあげについては一応把握できたと考えられるが、今後この結果を利用して他の派川での波浪の変形を推定することおよび堤防の越波量について調べ、景観と適合した構造を検討することなどの問題が残されており、これらについては今後検討を行なう予定である。

参 考 文 献

- (1) 広島湾高潮対策全体計画書，太田川工事事務所，昭和44年6月
- (2) 広島地区の地盤，都市地盤調査報告書，vol. 5 建設省計画局，広島県，広島市，昭和39年
- (3) 上野武夫：高潮，瀬戸内海の気象と海象，海の気象特集号，vol. 13, No. 1, 2, 合併，海洋気象学会，昭和42年
- (4) 広島湾海底保全調査報告書，建設省中国地方建設局昭和54年
- (5) 前出 (1)
- (6) 水理公式集，土木学会
- (7) 富永正照，九津見生哲：太田川高潮対策模型実験，土木研究所資料 第748号，建設省土木研究所，昭和47年3月
- (8) 富永正照，橋本 宏：造波機による不規則波の発生，第17回海岸工学講演会論文集，昭和45年11月
- (9) 光易 恒：風波のスペクトルの発達 (2) 有限な吹送距離における風波のスペクトル形について，第17回海岸工学講演会論文集，昭和45年11月

付 録 目 次

付表 - 1	各波高測定点一覧表	63
付表 - 2	規則波波高測定値	64
付表 - 3	規則波うちあげ高測定値	67
付表 - 4	不規則波有義波高および周期測定値	71
付表 - 5	不規則波有義うちあげ高および周期測定値	73
付図 - 1	天満川河床横断面図	75
付図 - 2	河道内の波高およびうちあげ分布図	78
写 真	実験状況写真	86

付表-1 波高測点の河床高及び水深一覧表

※水深は潮位がT.P. 4.40m(8.8cm)の場合

項 目 測 点		河 床 高		水 深	
		模型値(cm)	現地値(m)	模型値(cm)	現地値(m)
		入 射 波 高 測 点			
実験 CASE S 3 0 W	L	-19.1 cm	-9.55 m	27.9 cm	13.95 m
	O	-18.6	-9.30	27.4	13.70
	R	-18.8	-9.40	27.6	13.80
実験 CASE S 2 0 W	L	-18.0	-9.00	26.8	13.40
	O	-18.9	-9.45	27.7	13.85
	R	-19.1	-9.55	27.9	13.95
実験 CASE S 4 0 W	L	-19.3	-9.65	28.1	14.05
	O	-19.7	-9.85	28.5	14.25
	R	-18.3	-9.15	27.1	13.55
河 道 内 波 高 測 点					
C ^k _{2.5}	L	-13.8	-6.90	22.6	11.30
	O	-19.0	-9.50	27.8	13.95
	R	-19.6	-9.80	28.4	14.20
C ^k _{2.0}	L	-17.0	-8.50	25.8	12.90
	O	-11.5	-5.75	20.3	10.15
	R	-19.8	-9.90	28.6	14.30
C ^k _{1.5}	L	-15.7	-7.85	24.5	12.25
	O	-13.2	-6.60	22.0	11.00
	R	-13.8	-6.90	22.6	11.30
C ^k _{1.0}	L	-3.6	-1.80	12.4	6.20
	O	-6.1	-3.05	14.9	7.45
	R	-3.8	-1.90	12.6	6.30
C ^k _{0.5}	L	-3.7	-1.85	12.5	6.25
	O	-4.2	-2.10	13.0	6.50
	R	-3.7	-1.85	12.5	6.25
C ^k ₀	L	-3.8	-1.90	12.6	6.30
	O	-3.8	-1.90	12.6	6.30
	R	-4.3	-2.15	13.1	6.55
C ^k _{0.5}	L	-4.5	-2.25	13.3	6.65
	O	-5.4	-2.70	14.2	7.10
	R	-5.6	-2.80	14.4	7.20
C ^k _{1.0}	L	-3.9	-1.95	12.7	6.35
	O	-3.9	-1.95	12.7	6.35
	R	-4.9	-2.45	13.7	6.85

付表 - 2 (1) 規則波波高測定値 : 単位 m

CASE 1 位置 (km)		左岸側								右岸側			
		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50		2.09	2.19	2.21	2.16	1.92	1.86	1.99	1.92	2.00	2.05	1.99	2.01
C2.00		1.68	1.51	1.94	1.71	1.60	1.57	1.93	1.70	1.02	0.39	0.41	0.61
C1.50		0.49	0.68	0.58	0.58	1.80	1.81	1.85	1.82	0.57	1.06	2.74	1.46
C1.00		0.22	0.35	0.55	0.37	0.69	0.98	0.77	0.81	1.75	2.35	1.06	1.72
C0.50		1.59	2.01	2.25	1.95	0.87	1.23	1.76	1.29	0.83	0.89	0.62	0.78
0.0		0.78	0.74	0.74	0.75	0.72	1.04	0.95	0.90	1.24	1.49	1.84	1.52
0.50		1.32	1.47	2.00	1.60	0.65	2.20	1.52	1.46	1.06	2.00	1.00	1.35
1.00		0.18	0.19	0.46	0.28	0.39	0.37	0.46	0.41	0.31	0.76	0.63	0.57

CASE 2		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50		2.13	2.25	2.31	2.23	1.83	1.83	1.97	1.88	0.69	0.57	0.30	0.52
C2.00		1.35	1.22	1.30	1.29	1.86	2.11	2.52	2.16	0.85	0.94	1.10	0.96
C1.50		0.40	0.48	1.33	0.74	1.90	2.51	2.64	2.35	2.20	2.30	2.23	2.24
C1.00		0.47	0.40	1.09	0.65	1.94	1.64	1.71	1.76	0.96	1.90	2.23	1.70
C0.50		2.02	1.82	1.52	1.79	1.88	1.06	0.87	1.27	1.30	1.59	1.39	1.43
0.0		1.81	2.06	1.90	1.92	2.14	1.96	1.36	1.82	1.71	1.60	1.82	1.71
0.50		1.48	1.78	1.85	1.70	1.33	2.92	2.83	2.36	1.37	1.39	1.78	1.51
1.00		0.89	0.83	0.87	0.86	0.54	0.62	0.37	0.51	0.81	0.52	0.57	0.63

CASE 3		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50		2.34	2.49	2.47	2.43	2.24	2.15	2.13	2.17	1.95	2.15	2.18	2.09
C2.00		2.29	2.03	2.28	2.20	1.75	1.93	1.84	1.84	0.25	0.35	0.32	0.31
C1.50		1.06	0.72	0.73	0.84	1.71	2.16	2.83	2.23	0.55	0.32	0.40	0.42
C1.00		1.06	0.38	0.96	0.80	1.98	1.27	1.22	1.49	2.39	2.28	2.19	2.29
C0.50		1.41	1.10	0.98	1.16	1.26	0.96	0.46	0.89	0.64	0.50	0.50	0.55
0.0		0.74	0.75	0.59	0.69	1.49	1.16	1.18	1.28	1.26	1.38	1.60	1.41
0.50		1.91	1.70	1.78	1.80	1.90	2.19	1.46	1.85	1.29	1.40	1.33	1.34
1.00		0.73	0.61	0.43	0.59	0.70	0.81	0.41	0.64	0.55	0.66	0.61	0.61

CASE 4		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50		2.07	2.20	2.29	2.19	2.64	2.42	2.54	2.53	1.37	1.93	1.76	1.69
C2.00		0.97	1.37	1.27	1.20	1.91	3.10	3.23	2.75	0.35	0.40	0.44	0.40
C1.50		0.35	0.40	1.04	0.60	2.70	1.98	2.61	2.43	2.87	0.97	1.45	1.76
C1.00		0.74	0.84	1.06	0.88	0.96	2.23	1.69	1.63	2.42	2.47	2.23	2.37
C0.50		1.04	0.22	0.65	0.64	0.77	0.88	0.87	0.84	1.02	1.74	2.00	1.59
0.0		0.57	0.32	0.58	0.49	1.20	1.35	1.78	1.44	0.98	1.68	1.34	1.33
0.50		1.12	0.35	1.16	0.88	0.87	1.12	1.43	1.14	2.27	1.54	1.61	1.81
1.00		0.14	0.39	0.50	0.34	0.67	0.51	0.46	0.55	0.40	0.69	0.52	0.54

付表 - 2 (2) 規則波波高測定値 : 単位 m

位置 (Km)	左岸側				右岸側							
CASE 5	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	0.87	1.41	0.64	0.97	0.84	1.29	2.71	1.61	0.68	0.84	1.10	0.87
C2.00	0.84	0.43	0.48	0.58	1.95	2.07	2.44	2.15	1.74	1.03	1.54	1.44
C1.50	1.91	2.10	2.11	2.04	2.02	2.18	2.72	2.31	1.83	2.13	2.25	2.07
C1.00	0.95	0.88	0.93	0.92	0.53	1.16	1.96	1.22	1.65	2.25	1.22	1.71
C0.50	0.82	1.05	0.92	0.93	0.66	0.77	1.37	0.93	1.19	0.94	1.39	1.17
0.0	0.52	0.54	0.95	0.67	0.44	1.13	1.43	1.00	1.33	0.92	0.73	0.99
0.50	0.94	1.29	1.06	1.10	0.32	1.28	1.59	1.06	1.53	1.52	0.89	1.31
1.00	0.36	0.36	0.34	0.35	0.22	0.33	0.60	0.38	0.34	0.42	0.60	0.45
CASE 6	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	2.93	2.52	2.79	2.75	2.53	2.25	2.58	2.45	2.80	2.20	2.40	2.47
C2.00	2.33	1.91	2.20	2.15	2.01	1.96	2.27	2.08	0.96	0.50	0.46	0.64
C1.50	3.28	0.89	1.15	1.77	2.63	2.80	2.68	2.70	0.92	0.84	1.50	1.09
C1.00	1.04	1.18	1.37	1.20	1.62	0.97	2.12	1.57	2.76	0.97	1.05	1.59
C0.50	0.62	0.83	0.55	0.67	1.95	0.96	1.18	1.36	2.62	0.90	1.02	1.51
0.0	0.65	0.52	0.62	0.60	0.85	0.78	1.37	1.00	0.75	1.40	1.60	1.25
0.50	0.69	1.11	1.00	0.93	0.96	1.00	1.29	1.08	1.49	1.93	1.35	1.59
1.00	0.58	0.28	0.35	0.40	0.61	0.48	0.45	0.51	0.56	0.58	0.75	0.63
CASE 7	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	3.25	2.20	2.30	2.58	2.20	2.10	2.10	2.13	2.10	2.30	1.90	2.10
C2.00	1.55	1.86	1.51	1.64	1.60	1.77	1.89	1.75	0.55	0.38	0.30	0.41
C1.50	0.77	1.78	1.03	1.19	2.20	2.44	2.37	2.34	0.66	0.35	0.45	0.49
C1.00	0.40	0.64	0.40	0.48	1.59	1.80	1.92	1.77	2.08	2.15	1.63	1.95
C0.50	1.25	2.01	1.31	1.52	1.74	1.44	1.53	1.57	0.56	0.76	0.88	0.73
0.0	1.05	1.32	1.62	1.33	1.03	0.63	1.10	0.92	1.40	1.59	1.53	1.51
0.50	1.77	2.24	1.18	1.73	2.14	2.17	2.55	2.29	2.00	1.90	2.58	2.16
1.00	0.68	0.39	1.07	0.71	0.22	0.54	0.76	0.51	0.40	1.01	1.20	0.87
CASE 8	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	2.28	2.29	2.39	2.32	1.81	2.14	2.38	2.11	1.92	1.80	2.40	2.04
C2.00	1.76	1.68	1.52	1.65	1.25	1.46	1.34	1.35	0.78	0.57	0.39	0.58
C1.50	1.69	1.02	0.51	1.07	1.70	1.98	2.17	1.95	0.48	0.27	0.35	0.37
C1.00	0.22	0.29	0.50	0.34	1.39	1.42	1.53	1.45	1.64	0.78	1.10	1.17
C0.50	1.02	1.31	1.21	1.18	0.67	0.82	0.93	0.81	0.61	0.44	0.28	0.44
0.0	0.82	0.70	0.76	0.76	0.36	0.53	0.69	0.53	0.80	0.75	0.72	0.76
0.50	1.21	0.52	0.87	0.87	1.31	1.35	1.77	1.48	0.85	0.85	0.90	0.87
1.00	0.60	0.70	0.58	0.63	0.36	0.25	0.29	0.30	0.49	0.50	0.51	0.50

付表 - 2 (3) 規則波波高測定値 : 単位 m

CASE 9	単位 m	左岸側								右岸側			
		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
	C2.50	2.39	2.35	2.28	2.34	2.00	1.94	2.02	1.99	2.41	2.29	1.91	2.20
	C2.00	1.93	1.63	1.63	1.73	1.61	1.38	1.74	1.58	0.45	0.31	0.27	0.34
	C1.50	0.54	1.05	1.16	0.92	2.49	1.54	2.04	2.02	0.72	0.51	0.24	0.49
	C1.00	0.36	0.26	0.41	0.34	0.67	1.64	0.81	1.04	1.97	1.61	1.63	1.74
	C0.50	0.58	0.66	0.59	0.61	1.16	0.23	1.17	0.85	0.39	0.52	0.33	0.41
	0.0	0.58	0.82	1.03	0.81	0.62	0.85	0.21	0.56	1.27	1.17	0.99	1.14
	0.50	1.37	1.12	0.89	1.13	1.59	1.78	1.67	1.68	1.20	1.06	0.90	1.05
	1.00	0.39	0.57	0.62	0.53	0.40	0.31	0.70	0.47	0.60	0.59	0.48	0.56

CASE10		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
	C2.50	2.04	2.45	2.74	2.41	1.99	2.08	2.07	2.05	1.86	1.81	1.87	1.85
	C2.00	1.06	1.00	0.89	0.98	1.84	1.91	1.99	1.91	0.70	0.75	0.88	0.78
	C1.50	0.87	0.77	0.73	0.79	1.83	2.12	2.10	2.02	1.23	1.17	0.88	1.09
	C1.00	0.65	0.86	0.66	0.72	1.12	1.60	0.97	1.23	0.76	1.00	1.18	0.98
	C0.50	0.49	0.43	0.51	0.48	0.29	0.76	0.93	0.66	0.78	0.84	0.78	0.80
	0.0	1.18	1.44	0.86	1.16	0.30	0.39	0.68	0.46	0.73	0.79	0.88	0.80
	0.50	0.73	0.74	1.34	0.94	1.23	0.96	1.85	1.35	1.21	1.09	0.88	1.06
	1.00	0.58	0.57	0.51	0.55	0.42	0.71	0.73	0.62	0.39	0.49	0.33	0.40

CASE11		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
	C2.50	2.12	2.25	2.26	2.21	2.10	2.03	2.03	2.05	1.97	2.15	1.90	2.01
	C2.00	1.51	1.59	1.72	1.61	2.04	1.41	1.80	1.75	0.63	0.43	0.35	0.47
	C1.50	0.90	1.10	0.64	0.88	1.92	0.72	1.24	1.29	1.02	1.47	1.62	1.37
	C1.00	0.63	0.66	0.82	0.70	0.95	0.71	0.71	0.79	0.88	1.00	0.49	0.79
	C0.50	0.72	0.52	0.73	0.66	0.50	0.74	0.62	0.62	0.60	0.67	0.88	0.72
	0.0	0.49	0.34	0.69	0.51	0.69	0.59	0.57	0.62	0.23	0.33	0.71	0.42
	0.50	1.14	0.51	1.44	1.03	0.56	0.69	0.81	0.69	1.14	1.21	1.28	1.21
	1.00	0.28	0.19	0.55	0.34	0.44	0.42	0.37	0.41	0.52	0.69	0.65	0.62

CASE12		1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
	C2.50	2.46	2.83	2.73	2.67	2.38	1.97	1.90	2.08	1.66	1.51	1.68	1.62
	C2.00	1.02	0.92	0.90	0.95	1.84	2.07	2.07	1.99	0.65	0.56	0.60	0.60
	C1.50	0.83	0.67	0.72	0.74	3.29	2.97	2.87	3.04	1.11	1.27	0.86	1.08
	C1.00	0.56	0.93	0.36	0.62	0.93	1.09	0.94	0.99	1.06	0.77	0.68	0.84
	C0.50	0.65	0.63	0.53	0.60	0.43	0.44	0.41	0.43	0.34	0.13	0.25	0.24
	0.0	0.24	0.49	0.28	0.34	0.33	0.50	0.34	0.39	0.35	0.48	0.48	0.44
	0.50	0.27	0.44	0.59	0.43	1.04	1.13	1.11	1.09	0.39	1.00	0.49	0.63
	1.00	0.25	0.36	0.30	0.30	0.36	0.25	0.30	0.30	0.18	0.54	0.39	0.37

付表-3(1) 規則波うちあげ高測定値

単位 m

CASE 1

位置 (km)	左岸側				右岸側			
	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.65	1.52	1.67	1.61	1.45	1.49	1.53	1.49
C2.00	1.13	1.06	0.86	1.02	1.35	1.37	1.24	1.32
C1.75	1.44	0.93	1.30	1.22				
C1.72					2.17	2.17	2.03	2.12
C1.70	1.82	1.34	1.66	1.61	0.81	0.64	0.86	0.77
C1.50	1.09	1.13	1.09	1.10	0.43	0.91	1.11	0.82
C1.32	0.59	2.06	1.11	1.25				
C1.30	1.16	1.12	1.04	1.11	1.03	0.66	0.53	0.74
C1.02					0.54	1.00	1.06	0.87
C1.00	0.95	0.98	0.82	0.92	1.92	1.83	1.53	1.76
C0.80	1.29	1.10	1.01	1.13	1.93	1.66	1.75	1.78
C0.50	1.16	1.77	0.82	1.25	1.23	1.19	0.87	1.10
0.0	0.67	1.10	1.45	1.07	1.37	1.31	1.56	1.41
0.50	1.33	0.94	1.56	1.28	1.78	1.66	1.68	1.71
1.00	1.52	1.44	1.70	1.55	1.22	0.49	0.86	0.86

CASE 2

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.34	1.32	1.28	1.31	1.47	1.47	1.51	1.48
C2.00	0.78	0.70	0.55	0.68	1.37	1.56	1.97	1.63
C1.75	0.56	0.64	0.50	0.57				
C1.72					4.14	3.74	3.81	3.90
C1.70	1.95	1.40	1.00	1.45	0.60	0.80	0.80	0.73
C1.50	0.38	0.48	0.41	0.42	0.84	0.60	1.19	0.88
C1.32	0.96	1.98	1.01	1.32				
C1.30	1.58	0.95	1.20	1.24	0.63	0.47	0.63	0.58
C1.02					0.49	0.68	0.53	0.57
C1.00	0.50	0.93	1.17	0.87	1.07	1.38	1.58	1.34
C0.80	1.38	0.84	1.34	1.19	1.30	1.74	1.73	1.59
C0.50	1.30	1.15	1.50	1.32	1.23	1.09	1.08	1.13
0.0	1.77	1.07	1.06	1.30	0.90	0.58	1.18	0.89
0.50	1.18	1.53	1.60	1.44	0.89	1.07	0.57	0.84
1.00	0.92	0.66	1.12	0.90	0.80	0.98	1.11	0.96

CASE 3

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	2.34	1.89	1.91	2.05	1.54	1.46	1.46	1.49
C2.00	0.96	1.09	1.07	1.04	1.07	0.94	1.05	1.02
C1.75	1.56	1.34	1.14	1.35				
C1.72					1.46	1.24	1.05	1.25
C1.70	2.32	1.86	1.74	1.97	1.06	0.91	0.91	0.96
C1.50	1.31	1.68	1.88	1.62	0.95	1.04	0.37	0.79
C1.32	1.35	2.07	1.06	1.49				
C1.30	1.13	1.26	1.47	1.29	0.57	0.45	0.47	0.50
C1.02					0.87	0.73	1.10	0.90
C1.00	1.09	0.91	1.90	1.30	2.15	1.92	2.32	2.13
C0.80	2.06	1.15	1.10	1.44	1.73	0.76	1.68	1.39
C0.50	1.68	1.15	1.72	1.52	0.99	0.80	0.96	0.92
0.0	1.78	1.08	1.30	1.39	1.07	1.01	0.90	0.99
0.50	2.05	1.34	1.10	1.50	1.01	0.83	1.02	0.95
1.00	0.94	0.66	0.82	0.81	0.66	0.66	0.44	0.59

付表-3(2) 規則波うちあげ高測定値

単位 m

CASE 4

位置 (Km)	左岸側				右岸側			
	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.37	1.74	1.46	1.52	1.56	1.61	1.61	1.59
C2.00	1.16	1.87	0.93	1.32	0.77	0.97	0.86	0.87
C1.75	1.20	0.72	0.46	0.79				
C1.72					1.52	2.32	1.92	1.92
C1.70	1.07	1.12	1.10	1.10	0.64	0.37	0.73	0.58
C1.50	1.03	0.97	0.93	0.98	0.93	0.99	0.69	0.87
C1.32	0.77	0.80	0.61	0.73				
C1.30	1.25	0.92	1.10	1.09	0.47	1.26	0.38	0.70
C1.02					1.72	1.31	1.29	1.44
C1.00	0.67	1.22	1.18	1.02	1.77	1.75	1.72	1.75
C0.80	0.86	1.65	0.82	1.11	1.31	1.30	1.27	1.29
C0.50	0.76	0.78	1.20	0.91	1.59	1.23	1.57	1.46
0.0	0.86	1.01	1.03	0.97	1.27	0.98	1.71	1.32
0.50	0.80	0.93	0.84	0.86	1.94	1.51	1.15	1.53
1.00	0.36	0.24	0.41	0.34	0.84	0.63	0.60	0.69

CASE 5

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	2.05	1.47	1.93	1.82	1.76	1.61	1.47	1.61
C2.00	0.37	0.42	0.59	0.46	1.17	1.70	1.56	1.48
C1.75	0.57	0.44	0.36	0.46				
C1.72					3.53	3.51	4.35	3.80
C1.70	1.14	0.35	0.36	0.62	1.13	2.21	0.88	1.41
C1.50	0.98	0.49	1.15	0.87	1.46	0.52	0.71	0.90
C1.32	1.06	1.56	1.42	1.35				
C1.30	0.81	1.32	1.15	1.09	1.34	1.51	0.61	1.15
C1.02					0.40	0.64	0.53	0.52
C1.00	0.97	1.24	1.13	1.11	0.86	1.47	1.57	1.30
C0.80	1.38	1.58	1.18	1.38	0.71	1.29	1.03	1.01
C0.50	0.81	1.10	1.23	1.05	0.69	0.78	0.92	0.80
0.0	0.85	1.14	1.37	1.12	1.54	0.79	0.93	1.09
0.50	1.00	1.16	1.90	1.35	1.19	1.28	1.20	1.22
1.00	0.18	0.38	0.26	0.27	0.34	0.24	0.16	0.25

CASE 6

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.82	1.97	1.80	1.86	1.25	1.27	1.30	1.27
C2.00	1.27	1.37	1.41	1.35	0.83	1.13	0.81	0.92
C1.75	1.10	1.30	0.95	1.12				
C1.72					1.25	1.23	1.58	1.35
C1.70	1.39	1.63	1.54	1.52	0.60	0.61	1.07	0.76
C1.50	1.34	1.35	1.66	1.45	0.72	0.66	0.72	0.70
C1.32	0.80	0.81	1.18	0.93				
C1.30	0.92	1.78	1.29	1.33	1.03	0.76	0.53	0.77
C1.02					2.13	1.19	1.03	1.45
C1.00	0.72	1.24	0.85	0.94	2.29	2.27	2.07	2.21
C0.80	0.93	1.86	1.07	1.29	1.42	1.46	1.76	1.55
C0.50	0.38	1.16	0.80	0.78	1.43	2.04	1.12	1.53
0.0	0.70	0.91	0.43	0.68	0.77	1.18	1.19	1.05
0.50	0.83	1.87	1.00	1.23	0.78	1.78	1.67	1.41
1.00	0.84	0.62	0.29	0.58	0.22	0.65	0.80	0.56

付表-3(3) 規則波うちあげ高測定値

単位 m

CASE 7

位置 (Km)	左岸側				右岸側			
	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.78	1.74	1.61	1.71	1.35	1.15	1.25	1.25
C2.00	1.25	1.11	1.11	1.16	0.92	0.94	1.06	0.97
C1.75	1.28	1.07	0.77	1.04				
C1.72					1.51	1.12	1.26	1.30
C1.70	1.57	1.78	1.70	1.68	0.54	0.61	0.76	0.64
C1.50	0.67	0.84	0.51	0.67	0.59	0.58	0.51	0.56
C1.32	0.50	0.73	1.00	0.74				
C1.30	1.03	1.81	1.86	1.57	0.39	0.42	0.24	0.35
C1.02					0.78	1.13	0.78	0.90
C1.00	1.25	0.99	0.80	1.01	2.11	2.76	2.42	2.43
C0.80	0.52	1.15	1.78	1.15	1.88	1.42	1.64	1.65
C0.50	1.20	1.03	0.82	1.02	0.77	1.07	0.57	0.80
0.0	0.60	0.48	0.95	0.68	1.13	0.95	0.67	0.92
0.50	1.34	1.66	1.38	1.46	0.82	0.54	0.68	0.68
1.00	1.05	0.34	0.63	0.67	0.29	0.39	0.26	0.31

CASE 8

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.78	1.63	1.80	1.74	1.71	1.59	1.66	1.65
C2.00	1.28	1.16	1.12	1.19	1.72	1.02	0.79	1.18
C1.75	1.15	0.94	1.01	1.03				
C1.72					1.67	1.34	1.52	1.51
C1.70	1.85	1.46	1.06	1.46	0.68	0.63	1.06	0.79
C1.50	1.33	1.00	1.42	1.25	0.64	0.47	0.31	0.47
C1.32	0.30	0.24	0.48	0.34				
C1.30	0.60	0.32	0.50	0.47	0.49	0.44	0.47	0.47
C1.02					0.55	0.49	0.53	0.52
C1.00	0.18	0.14	0.11	0.14	0.48	0.56	0.51	0.52
C0.80	0.19	0.24	0.26	0.23	0.58	0.40	0.43	0.47
C0.50	0.43	0.48	0.37	0.43	0.22	0.22	0.11	0.18
0.0	0.13	0.37	0.36	0.29	0.42	0.22	0.24	0.29
0.50	0.50	0.57	0.47	0.51	0.43	0.81	0.55	0.60
1.00	0.41	0.53	0.38	0.44	0.68	0.71	0.60	0.66

CASE 9

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.61	1.82	1.71	1.71	1.40	1.47	1.45	1.44
C2.00	1.41	1.07	1.11	1.20	1.20	0.76	0.98	0.98
C1.75	1.13	0.70	0.70	0.84				
C1.72					1.45	1.36	1.23	1.35
C1.70	2.20	1.28	1.01	1.50	0.62	0.94	0.66	0.74
C1.50	1.54	1.37	0.87	1.26	0.42	0.86	0.69	0.66
C1.32	1.08	0.95	0.90	0.98				
C1.30	0.89	1.64	1.35	1.29	0.67	0.54	0.51	0.57
C1.02					0.64	0.56	0.35	0.52
C1.00	0.78	1.13	1.35	1.09	0.38	1.10	1.28	0.92
C0.80	0.32	0.21	0.23	0.25	1.45	1.36	1.53	1.45
C0.50	0.56	0.35	0.96	0.62	0.40	0.26	0.68	0.45
0.0	0.49	0.61	0.33	0.48	0.60	0.59	0.59	0.59
0.50	1.29	1.53	1.27	1.36	0.37	0.43	0.66	0.49
1.00	0.37	0.58	0.24	0.40	0.69	0.75	0.48	0.64

付表-3(4) 規則波うちあげ高測定値

CASE10

単位 m

位置 (km)	左岸側				右岸側			
	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.32	1.51	1.40	1.41	1.24	1.24	1.29	1.26
C2.00	1.19	1.33	1.34	1.29	1.03	0.97	0.99	1.00
C1.75	0.21	0.22	0.21	0.21				
C1.72					1.39	1.48	1.40	1.42
C1.70	0.91	0.96	1.04	0.97	0.73	0.69	0.72	0.71
C1.50	0.46	0.41	0.44	0.44	0.78	0.77	0.90	0.82
C1.32	0.50	0.44	0.63	0.52				
C1.30	2.13	1.66	0.97	1.59	0.43	0.48	0.52	0.48
C1.02					0.46	0.40	0.36	0.41
C1.00	0.39	0.46	0.51	0.45	1.43	1.49	0.97	1.30
C0.80	0.46	0.37	0.29	0.37	0.66	0.52	0.25	0.48
C0.50	0.62	0.41	0.45	0.49	0.54	0.58	0.28	0.47
0.0	0.46	0.41	0.23	0.37	0.71	0.76	0.94	0.80
0.50	0.35	0.41	0.75	0.50	0.31	0.40	0.32	0.34
1.00	0.30	0.40	0.62	0.44	0.30	0.42	0.50	0.41

CASE11

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.63	1.60	1.61	1.61	1.40	1.45	1.51	1.45
C2.00	0.71	1.16	0.77	0.88	1.09	1.21	1.27	1.19
C1.75	1.15	1.21	0.74	1.03				
C1.72					1.96	1.82	1.68	1.82
C1.70	2.00	1.66	1.72	1.79	0.74	1.03	0.83	0.87
C1.50	1.66	1.25	1.55	1.49	0.91	0.97	0.90	0.93
C1.32	0.53	0.43	0.61	0.52				
C1.30	0.98	0.56	0.57	0.70	0.78	0.73	0.43	0.65
C1.02					0.53	0.47	0.38	0.46
C1.00	0.20	0.18	0.50	0.29	0.38	0.36	0.59	0.44
C0.80	0.33	0.15	0.20	0.23	0.74	0.91	1.09	0.91
C0.50	0.38	0.18	0.35	0.30	0.42	0.20	0.35	0.32
0.0	0.17	0.27	0.20	0.21	0.12	0.18	0.28	0.19
0.50	1.25	0.56	0.95	0.92	0.43	0.54	0.33	0.43
1.00	0.12	0.18	0.10	0.13	0.24	0.14	0.16	0.18

CASE12

	1	2	3	MEAN	1	2	3	MEAN
C2.50	1.29	1.33	1.35	1.32	1.38	1.35	1.40	1.38
C2.00	1.18	1.23	1.26	1.22	0.97	0.89	0.80	0.89
C1.75	0.15	0.24	0.30	0.23				
C1.72					0.86	1.17	1.21	1.08
C1.70	1.13	1.29	1.05	1.16	0.58	0.64	0.75	0.66
C1.50	0.42	0.32	0.34	0.36	0.72	0.81	0.78	0.77
C1.32	0.68	0.68	0.70	0.69				
C1.30	0.55	0.54	0.57	0.55	0.70	0.66	0.83	0.73
C1.02					0.30	0.18	0.27	0.25
C1.00	0.14	0.17	0.10	0.14	0.34	0.24	0.31	0.30
C0.80	0.14	0.09	0.10	0.11	0.18	0.19	0.20	0.19
C0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.13	0.10	0.11
0.0	0.10	0.14	0.12	0.12	0.29	0.20	0.16	0.22
0.50	0.17	0.23	0.22	0.21	0.24	0.20	0.09	0.18
1.00	0.17	0.18	0.25	0.20	0.55	0.53	0.37	0.48

付表-4 不規則波有義波高および周期測定値

有義波高 (単位: m)

位 置	左 岸 側				中 央				右 岸 側			
Case 13												
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5 km	2.7 1	2.6 0	2.5 9	2.6 3	2.3 7	2.3 6	2.3 5	2.3 6	2.2 5	2.1 9	2.1 4	2.1 9
C 2.0	2.1 2	2.0 8	1.9 8	2.0 6	1.6 9	1.8 6	1.8 9	1.8 2	1.8 3	1.7 6	1.7 4	1.7 8
C 1.5	1.1 3	1.2 5	1.4 5	1.2 8	2.3 7	2.3 2	2.3 2	2.3 4	1.3 7	1.1 6	1.0 9	1.2 1
C 1.0	1.1 4	1.1 3	1.1 0	1.1 3	1.7 0	1.5 7	1.6 3	1.6 4	2.0 2	2.1 9	2.0 5	2.0 9
C 0.5	1.4 3	1.5 9	1.6 2	1.5 5	1.7 2	1.8 2	1.5 7	1.7 0	1.2 3	1.1 2	1.2 1	1.1 9
0	1.4 4	1.2 5	1.4 4	1.3 8	1.7 6	1.6 3	1.7 8	1.7 2	1.3 2	1.2 3	1.3 2	1.2 9
0.5	1.6 1	1.8 6	1.9 9	1.8 2	1.8 2	1.6 4	2.2 3	1.9 0	1.6 4	1.5 7	1.7 2	1.6 4
1.0	0.6 5	0.6 7	0.7 3	0.6 8	1.0 0	0.9 7	0.9 3	0.9 6	0.7 7	0.6 1	0.7 7	0.7 2

Case 14

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5	2.50	2.34	2.35	2.40	2.30	2.34	2.33	2.32	2.20	2.06	2.13	2.13
C 2.0	2.02	2.10	2.00	2.04	1.51	1.61	1.83	1.65	1.48	1.39	1.53	1.47
C 1.5	0.88	0.87	2.21	1.32	1.88	2.38	2.52	2.26	0.94	0.99		0.97
C 1.0	0.83	0.78	0.93	0.84	1.70	1.67	1.66	1.67	1.59	1.66	1.53	1.59
C 0.5	0.77	0.87	0.98	0.87	0.79	0.76	0.81	0.79	0.63	0.71	0.64	0.66
0	0.51	0.63	0.19	0.45	0.68	0.89	0.89	0.82	0.51	0.43	0.18	0.37
0.5	0.91	0.81	0.43	0.72	0.87	0.68	1.13	0.73	0.48	0.40	0.69	0.52
1.0	0.31	0.15	0.26	0.19	0.21	0.13	0.40	0.25	0.31	0.24	0.39	0.31

Case 15

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5 km	2.75	2.67	2.56	2.66	2.30	2.28	2.33	2.35	2.46	2.33	2.21	2.33
C 2.0	1.63	1.84	1.87	1.78	1.72	2.00	1.94	1.89	2.12	1.79	1.72	1.17
C 1.5	1.08	1.18	1.24	1.17	2.32	2.32	2.29	2.31	1.31	1.10	1.06	1.16
C 1.0	0.99	0.99	1.02	1.00	1.58	1.43	1.49	1.50	2.12	2.19	2.08	2.17
C 0.5	1.72	1.70	1.74	1.72	1.56	1.63	1.61	1.60	1.28	1.37	1.26	1.30
0	1.70	1.88	1.84	1.81	1.82	1.87	1.88	1.86	1.54	1.56	1.60	1.57
0.5	2.04	1.99	1.89	1.97	1.94	1.92	2.13	2.01	1.62	1.74	1.77	1.71
1.0	0.88	2.32	0.91	0.87	1.13	1.16	1.17	1.15	1.05	1.02	1.06	1.04

有義波周期 (单位: sec)

位 置	左 岸 側				中 央				右 岸 側			
-----	-------	--	--	--	-----	--	--	--	-------	--	--	--

Case 13

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5 km	6.1 0	6.1 4	6.1 4	6.1 2	5.6 6	5.5 9	5.6 6	5.6 3	5.4 9	5.5 4	5.5 3	5.5 2
C 2.0	5.9 5	6.2 4	6.2 2	6.1 4	5.2 5	5.1 0	4.9 6	5.1 0	5.6 5	5.6 8	5.6 1	5.6 5
C 1.5	5.1 3	5.3 6	5.2 0	5.2 2	5.9 7	5.8 2	5.8 0	5.8 6	4.8 7	5.1 7	4.8 6	4.9 6
C 1.0	5.5 4	5.2 4	5.2 1	5.3 3	5.6 7	5.6 2	5.6 1	5.6 3	5.6 3	5.7 8	5.9 0	5.7 7
C 0.5	5.5 4	5.6 3	5.7 1	5.6 3	6.0 7	6.1 7	6.0 6	6.1 0	5.3 3	5.2 6	5.3 4	5.3 1
0	6.0 4	6.0 0	6.1 3	6.0 6	6.0 2	6.0 7	6.3 0	6.1 3	5.6 4	5.6 6	5.5 5	5.6 2
0.5	5.6 6	5.8 2	5.5 7	5.6 8	5.8 8	5.7 9	5.7 7	5.8 1	5.7 7	5.8 6	5.6 1	5.7 5
1.0	5.6 2	5.9 5	5.5 7	5.7 1	6.2 1	6.3 3	6.1 8	6.2 4	5.4 7	5.8 3	5.5 4	5.3 7

Case 14

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5	6.0 9	6.0 5	6.0 7	6.0 7	5.6 8	5.6 0	5.6 1	5.6 3	5.6 3	5.6 1	5.6 6	5.6 3
C 2.0	6.0 8	6.1 9	6.2 4	6.1 7	5.1 9	5.3 2	5.1 5	5.2 2	5.4 4	5.2 8	5.4 1	5.3 8
C 1.5	5.2 5	5.1 3	5.8 5	5.4 1	5.8 3	5.8 5	5.9 4	5.8 8	4.5 7	4.6 2		4.6 0
C 1.0	5.2 4	5.4 7	5.3 1	5.3 4	5.4 6	5.4 3	5.5 8	5.4 9	5.6 8	5.7 7	5.6 9	5.7 1
C 0.5	5.0 1	5.2 1	5.2 9	5.1 7	6.2 3	6.0 5	6.1 4	6.1 4	4.6 9	5.1 3	4.7 9	4.8 7
0	6.3 1	6.5 0	5.4 2	6.0 8	5.9 3	6.0 2	6.3 0	6.0 8	5.8 1	5.4 0	3.7 8	5.0 0
0.5	5.3 9	5.8 1	6.4 4	5.8 8	5.7 1	6.5 0	5.6 6	5.9 6	3.4 8	3.4 4	5.3 0	4.0 7
1.0	4.5 2	4.4 1	5.4 3	4.7 9	5.1 5	5.6 0	6.1 4	5.6 3	4.1 4	4.2 3	5.7 9	4.7 2

Case 15

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5	6.1 6	6.0 7	5.9 6	6.0 6	5.6 0	5.6 2	5.6 6	5.6 3	5.5 8	5.5 2	5.5 9	5.5 6
C 2.0	5.8 8	6.0 9	6.0 9	6.0 2	5.6 8	5.2 5	5.1 1	5.3 4	5.5 3	5.9 2	5.7 1	5.7 2
C 1.5	5.2 5	5.3 2	5.1 5	5.2 4	5.9 2	5.8 0	5.8 5	5.8 5	4.6 4	5.0 4	4.7 9	4.8 3
C 1.0	5.2 5	5.1 1	5.1 9	5.1 8	5.6 8	5.4 8	5.5 9	5.5 9	5.9 7	5.7 4	5.9 8	5.9 0
C 0.5	5.5 5	5.6 1	5.6 1	5.5 9	5.8 9	6.1 1	5.6 0	5.8 7	5.1 0	5.0 0	4.7 9	4.9 6
0	5.7 6	6.1 5	6.0 4	5.9 8	5.8 1	6.0 7	6.0 2	5.9 7	5.1 8	5.2 7	5.1 1	5.1 8
0.5	5.7 5	5.3 4	5.2 5	5.4 4	5.6 5	5.6 4	5.5 8	5.6 2	5.1 8	5.3 1	5.3 4	5.2 7
1.0	4.8 0	4.7 9	4.6 7	4.7 6	5.4 0	5.5 7	5.1 8	5.3 9	5.3 4	4.9 7	5.0 8	5.1 3

付表-5(1) 不規則波有義うちあげ高および周期測定値

うちあげ高(単位:m)

位 置	左 岸 側				右 岸 側			
Case 13								
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5	1.7 6	1.6 5	1.6 9	1.7 0	1.5 5	1.4 8	1.5 1	1.5 1
C 2.0	1.1 8	1.1 2	1.1 3	1.1 4	1.3 4	1.3 6	1.2 6	1.3 2
C 1.7 5	1.0 5	1.0 4	1.1 1	1.0 7				
C 1.7 2					3.0 2	3.0 9	2.9 3	3.0 1
C 1.7	1.5 9	1.5 5	1.4 6	1.5 3	1.2 7	1.3 3	1.3 9	1.3 3
C 1.5	1.3 4	1.3 3	1.2 6	1.3 1	1.1 3	1.1 0	0.9 2	1.0 5
C 1.3 2	1.0 3	1.0 7	1.0 0	1.0 4				
C 1.3	2.8 6	2.5 7	2.5 3	2.6 5		1.1 0	1.2 0	1.1 5
C 1.0 2					0.8 2	0.7 9	0.8 0	0.8 1
C 1.0	1.2 8	1.0 1	1.2 4	1.1 7	1.8 7	1.7 6	1.7 4	1.7 9
C 0.8	1.6 4	1.5 5	1.8 0	1.6 6	1.6 9	1.7 5	1.6 2	1.6 9
C 0.5	1.4 2	1.4 6	1.4 8	1.4 5	1.2 7	1.1 7	1.1 8	1.2 0
0	1.4 5	1.3 1	1.5 3	1.4 3	1.0 7	1.4 0	1.1 9	1.2 2
0.5	1.1 6	1.0 0		1.0 8	1.7 0	1.6 3	1.6 5	1.6 6
1.0	1.4 9	0.9 1	0.9 2	1.1 1	1.2 5	1.0 1	1.1 1	1.1 2
C 0.2	0.7 2	0.8 0	0.8 6	0.7 9	1.2 6	1.2 1	1.2 6	1.2 4

Case 14

	1	2	3	平均値	1	2	3	平均値
C 2.5	1.34	1.29	1.21	1.28	1.67	1.52	1.49	1.56
C 2.0	0.87	0.81	0.74	0.81	1.32	1.23	1.24	1.21
C 1.75	1.02	1.02	0.88	0.97				
C 1.72					2.47	1.81	2.33	2.17
C 1.7	1.31	1.20	1.10	1.20	1.71	1.17	1.61	1.50
C 1.5	1.15	1.42	1.19	1.25	0.99	0.97	1.13	1.03
C 1.32	0.72	0.74	0.78	0.75				
C 1.3	0.87	0.86	0.90	0.87	0.96	0.85	0.77	0.86
C 1.02					0.45	0.45	0.46	0.45
C 1.0	0.22	0.34	0.26	0.27	0.87	0.85	0.77	0.83
C 0.8	0.35	0.40	0.36	0.37	0.67	0.68	0.65	0.67
C 0.5	0.31	0.26	0.20	0.26	0.27	0.22	0.24	0.24
0	0.69	0.86	0.83	0.79	0.57	0.46	0.53	0.52
0.5	1.11	1.21	1.17	1.16	0.78	0.85	0.77	0.80
1.0	0.66	0.79	0.73	0.73	0.93	1.14	1.06	1.04
C 0.2	0.31	0.29	0.21	0.27	0.43	0.45	0.44	0.44

Case 15

	1	2	3	平均値	1	2	3	平均値
C 2.5	1.72	1.62	1.75	1.70	1.73	1.65	1.71	1.70
C 2.0	1.17	1.07	1.06	1.10	1.40	1.35	1.40	1.38
C 1.75	0.98	0.95	0.93	0.95				
C 1.72					3.14	2.96	3.15	3.08
C 1.7	1.63	1.43	1.13	1.40	1.24	1.25	1.22	1.24
C 1.5	1.47	1.35	1.17	1.33	1.04	1.01	1.05	1.03
C 1.32	1.11	1.12	1.12	1.12				
C 1.3	2.18	2.13	2.08	2.13	0.86	0.88	0.84	0.86
C 1.02					0.89	0.94	0.94	0.92
C 1.0	1.27	1.24	1.39	1.30	1.81	1.95	1.82	1.86
C 0.8	1.48	1.42	1.59	1.49	1.61	1.65	1.61	1.63
C 0.5	1.32	1.29	1.39	1.33	1.23	1.37	1.20	1.27
0	1.81	1.57	1.70	1.69	1.24	1.34	1.27	1.28
0.5	1.87	1.86	1.94	1.89	1.73	1.70	1.72	1.72
1.0	1.19	1.28	1.19	1.22	1.48	1.31	1.28	1.36
C 0.2	1.25	1.22	1.22	1.23	1.18	1.20	1.14	1.17

付表-5(2) 不規則波有義うちあげ高および周期測定値

周 期(単位: sec)

位 置	左 岸 側				右 岸 側			
Case 13								
	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5 Km	6.0 4	6.0 6	6.0 6	6.0 5	5.9 1	5.9 5	5.9 4	5.9 3
C 2.0	6.0 4	6.2 2	6.3 3	6.2 0	5.8 5	5.8 4	5.7 5	5.8 1
C 1.7 5	5.8 9	5.8 5	5.7 8	5.8 4				
C 1.7 2					6.3 3	6.1 4	6.2 4	6.2 4
C 1.7	5.8 0	5.8 5	5.8 9	5.8 5	6.0 6	5.9 7	5.9 7	6.0 0
C 1.5	6.1 3	6.1 6	6.1 4	6.1 4	6.6 9	6.6 2	6.4 4	6.5 8
C 1.3 2	6.3 2	5.7 8	6.4 4	6.1 8				
C 1.3	2 9.6 2	8.7 5	1 3.8 9	1 7.4 1		6.6 4	6.2 0	6.4 2
C 1.0 2					6.0 2	5.8 5	6.0 0	5.9 5
C 1.0	6.2 4	6.3 3	6.2 5	6.2 7	6.1 7	5.9 2	6.3 1	6.1 4
C 0.8	7.1 1	7.0 8	7.0 7	7.0 8	6.5 7	6.6 5	6.5 3	6.5 8
C 0.5	6.3 4	6.0 6	5.8 2	6.0 7	6.4 1	6.0 7	6.7 4	6.4 1
0	6.5 4	6.6 1	6.5 9	6.5 8	6.4 7	6.5 5	6.2 3	6.4 2
0.5	4.2 3	5.6 8		4.9 6	5.9 0	6.0 3	5.9 7	5.9 7
1.0	6.5 1	5.8 3	6.0 3	6.1 2	6.2 0	6.1 9	6.5 0	6.3 0
C 0.2	6.7 7	6.7 3	6.3 6	6.6 2	6.1 8	6.3 1	6.2 1	6.2 4

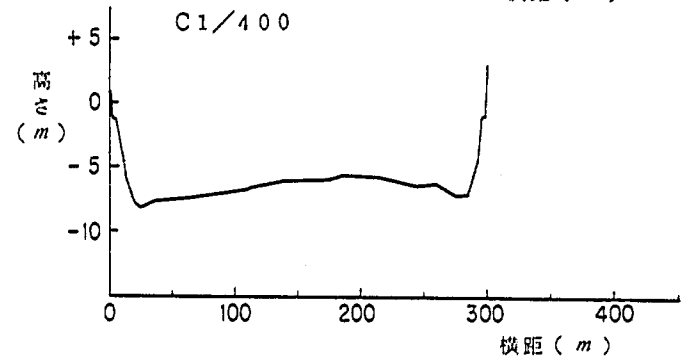
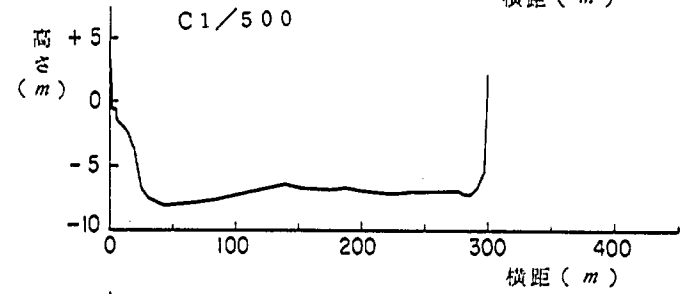
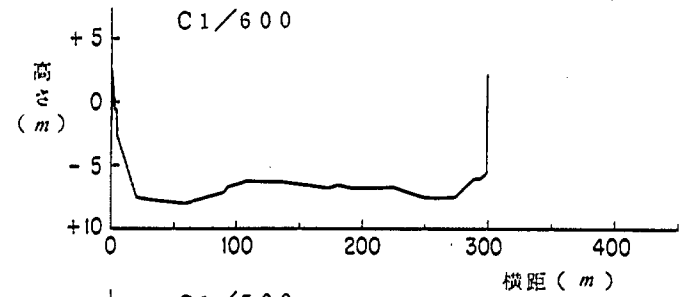
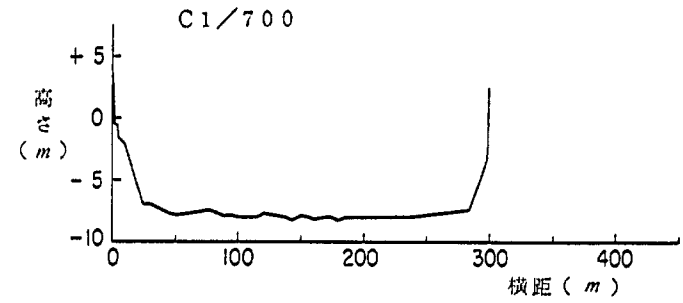
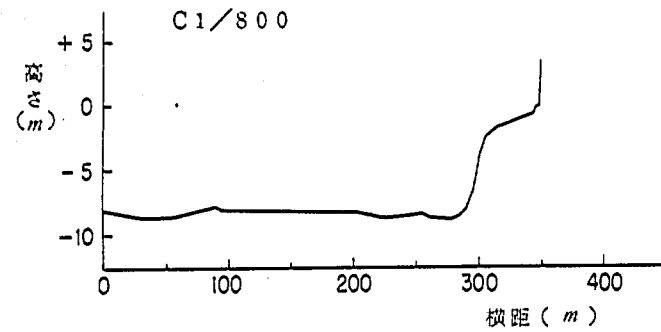
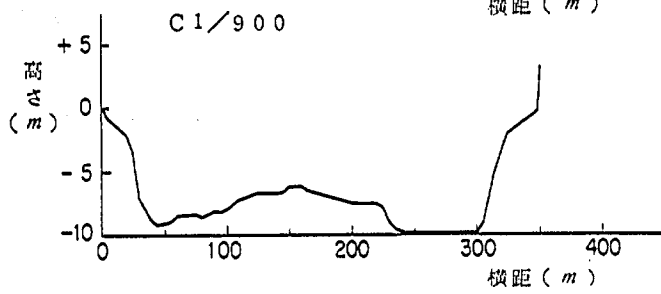
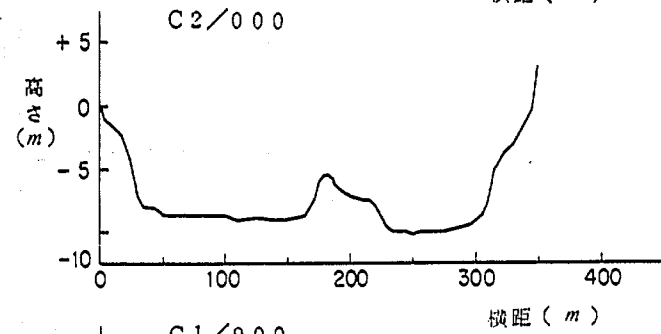
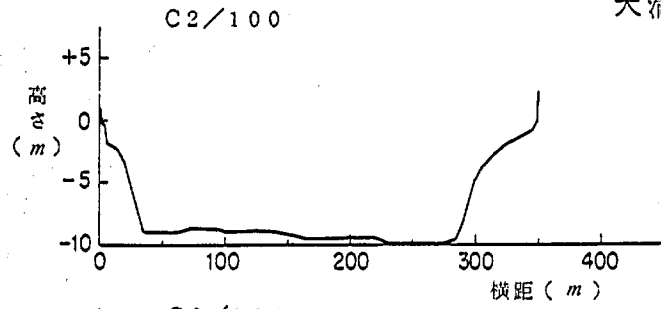
Case 14

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5 Km	6.1 2	6.2 3	6.2 1	6.2 1	5.8 5	6.1 2	6.1 2	6.0 3
C 2.0	6.0 5	6.2 0	6.1 2	6.1 2	6.1 5	5.9 4	5.8 9	6.0 0
C 1.7 5	5.8 0	5.8 1	5.9 7	5.8 6				
C 1.7 2					6.6 0	6.4 2	6.4 1	6.4 8
C 1.7	5.6 9	5.8 5	5.7 4	5.7 6	1 2.9 1	9.0 3	7.5 4	9.8 3
C 1.5	6.3 3	6.5 1	6.4 0	6.4 1	6.8 0	7.0 4	6.6 5	6.8 3
C 1.3 2	6.4 2	5.7 7	5.9 7	6.0 5				
C 1.3	6.3 1	6.0 9	6.1 1	6.1 7	1 4.3 7	9.4 3	1 1.0 9	1 1.6 3
C 1.0 2					7.8 1	6.7 7	6.4 8	7.0 2
C 1.0	7.0 0	6.8 3	6.6 4	6.8 2	6.7 2	6.5 5	6.5 4	6.6 0
C 0.8	8.3 1	6.8 9	6.7 9	7.3 3	6.5 0	6.4 2	6.3 3	6.4 2
C 0.5	7.0 8	7.1 4	6.9 4	7.0 5	9.0 7	6.9 6	7.4 6	7.6 1
0	6.6 2	6.4 7	6.3 5	6.4 8	6.4 8	6.7 7	6.6 0	6.6 1
0.5	5.6 7	5.8 2	5.7 5	5.7 5	6.0 8	5.9 6	5.9 4	6.0 0
1.0	1 1.0 9	7.1 7	6.7 9	8.3 5	6.4 4	6.1 0	6.0 3	6.1 9
C 0.2	6.1 2	6.1 6	6.2 1	6.1 7	6.9 6	6.6 9	6.7 8	6.8 1

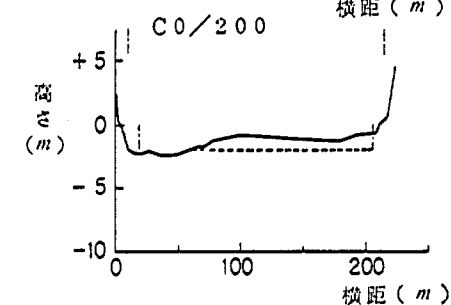
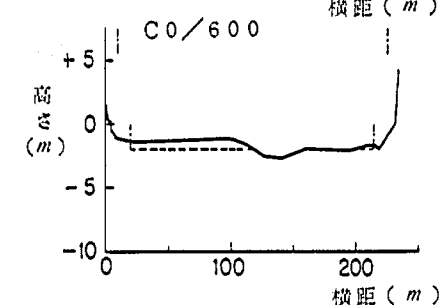
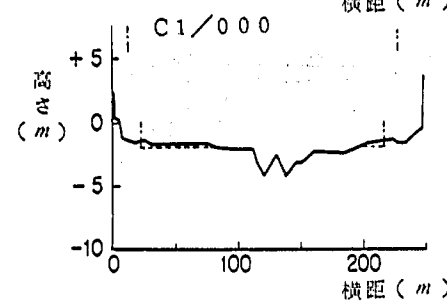
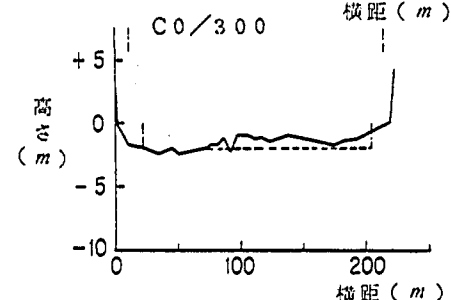
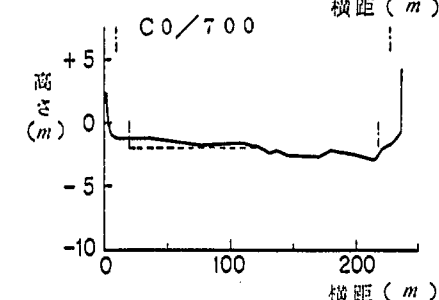
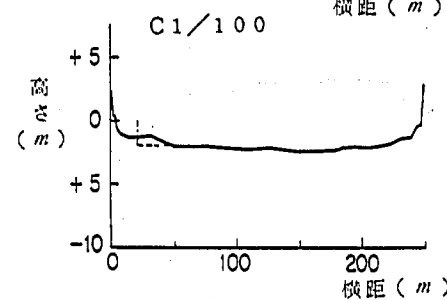
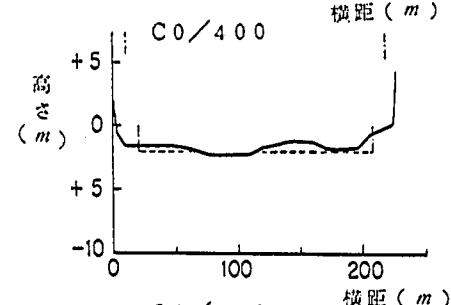
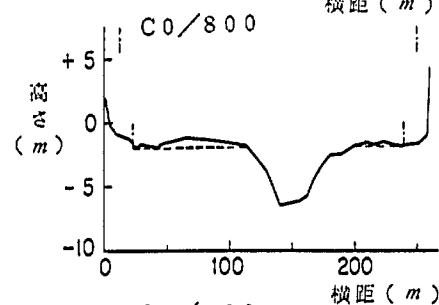
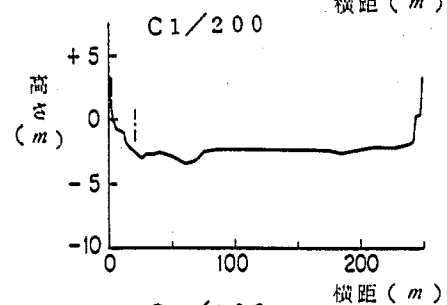
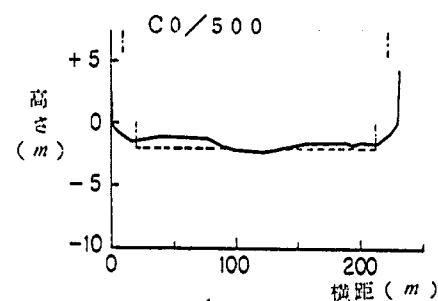
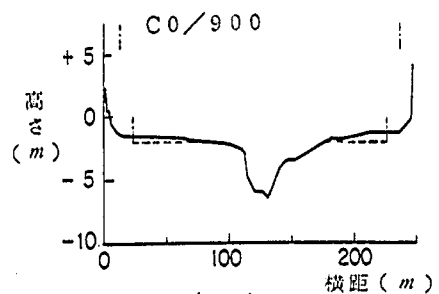
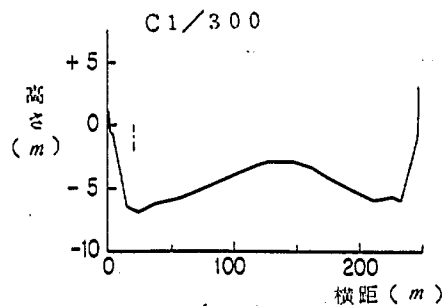
Case 15

	1	2	3	平均值	1	2	3	平均值
C 2.5 Km	6.2 3	6.1 8	6.2 4	6.2 1	5.8 3	5.8 6	5.9 3	5.8 8
C 2.0	6.2 2	6.3 1	6.1 8	6.2 4	5.6 6	5.7 4	5.7 3	5.7 1
C 1.7 5	5.8 6	5.9 2	5.8 3	5.8 8				
C 1.7 2					6.2 9	6.3 5	6.2 0	6.2 4
C 1.7	5.7 5	5.8 5	6.1 7	5.9 2	5.6 0	5.6 6	5.7 1	5.6 6
C 1.5	6.4 1	6.1 8	6.3 6	6.3 1	6.1 2	6.2 2	6.3 0	6.2 1
C 1.3 2	6.6 2	6.6 2	6.5 7	6.6 0				
C 1.3	8.5 8	7.2 2	6.0 9	7.3 0	6.0 0	5.9 2	6.0 3	5.9 8
C 1.0 2					5.8 3	5.7 9	6.2 1	5.9 5
C 1.0	6.0 4	6.0 4	6.1 3	6.0 7	6.0 4	6.0 9	6.1 3	6.0 9
C 0.8	6.8 5	6.8 9	6.8 9	6.8 8	6.4 3	6.2 8	6.4 0	6.3 7
C 0.5	6.1 8	6.1 9	5.9 7	6.1 1	6.3 8	5.9 7	5.9 7	6.1 1
0	6.0 0	6.0 3	6.0 7	6.0 3	5.7 0	5.5 9	5.7 3	5.6 8
0.5	5.8 0	5.6 8	5.6 2	5.7 0	5.5 8	5.6 1	5.5 2	5.5 7
1.0	7.3 0	7.6 6	7.2 0	7.3 9	6.4 2	6.2 8	6.3 3	6.3 4
C 0.2	5.6 6	5.6 8	5.8 5	5.7 3	5.7 6	5.9 3	5.9 0	5.8 7

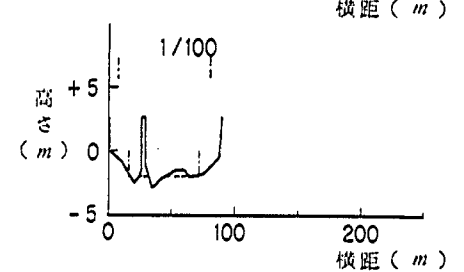
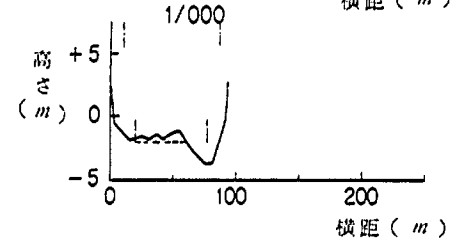
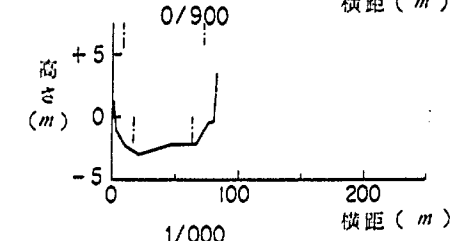
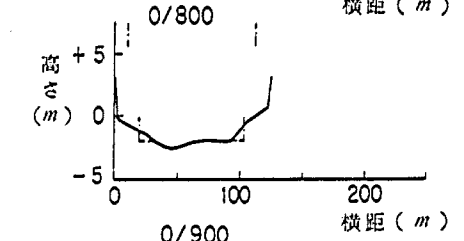
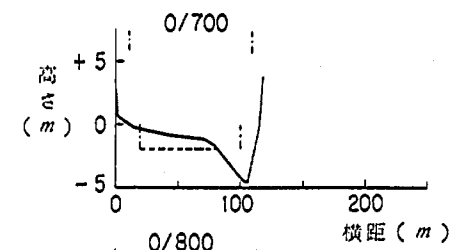
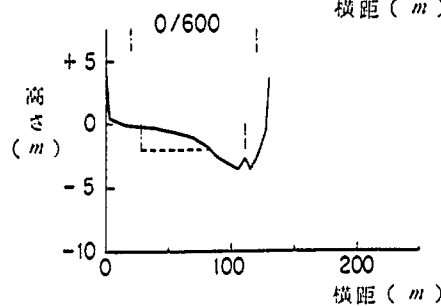
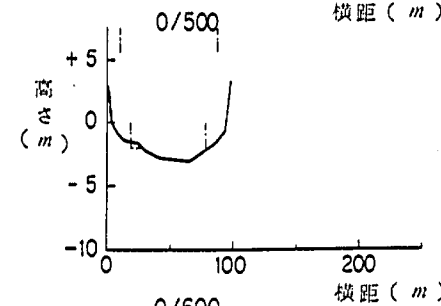
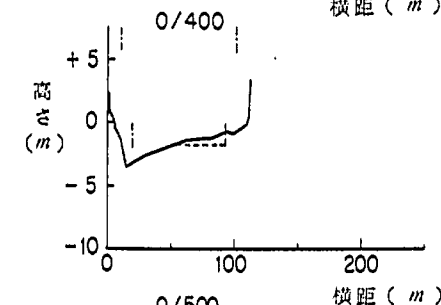
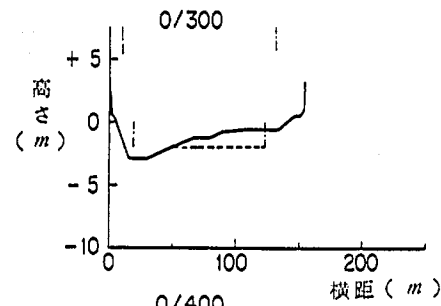
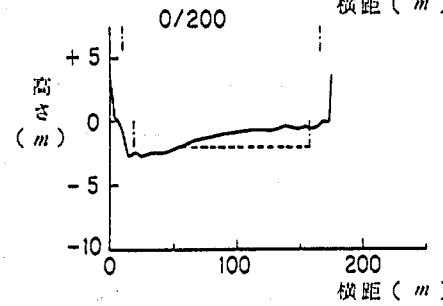
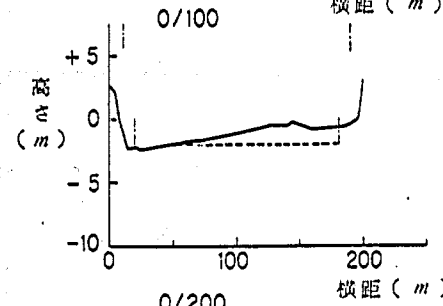
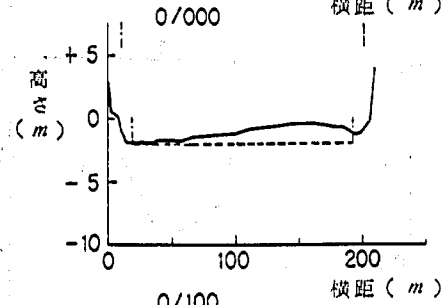
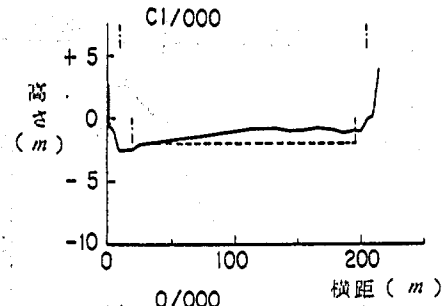
天満川模型横断面図

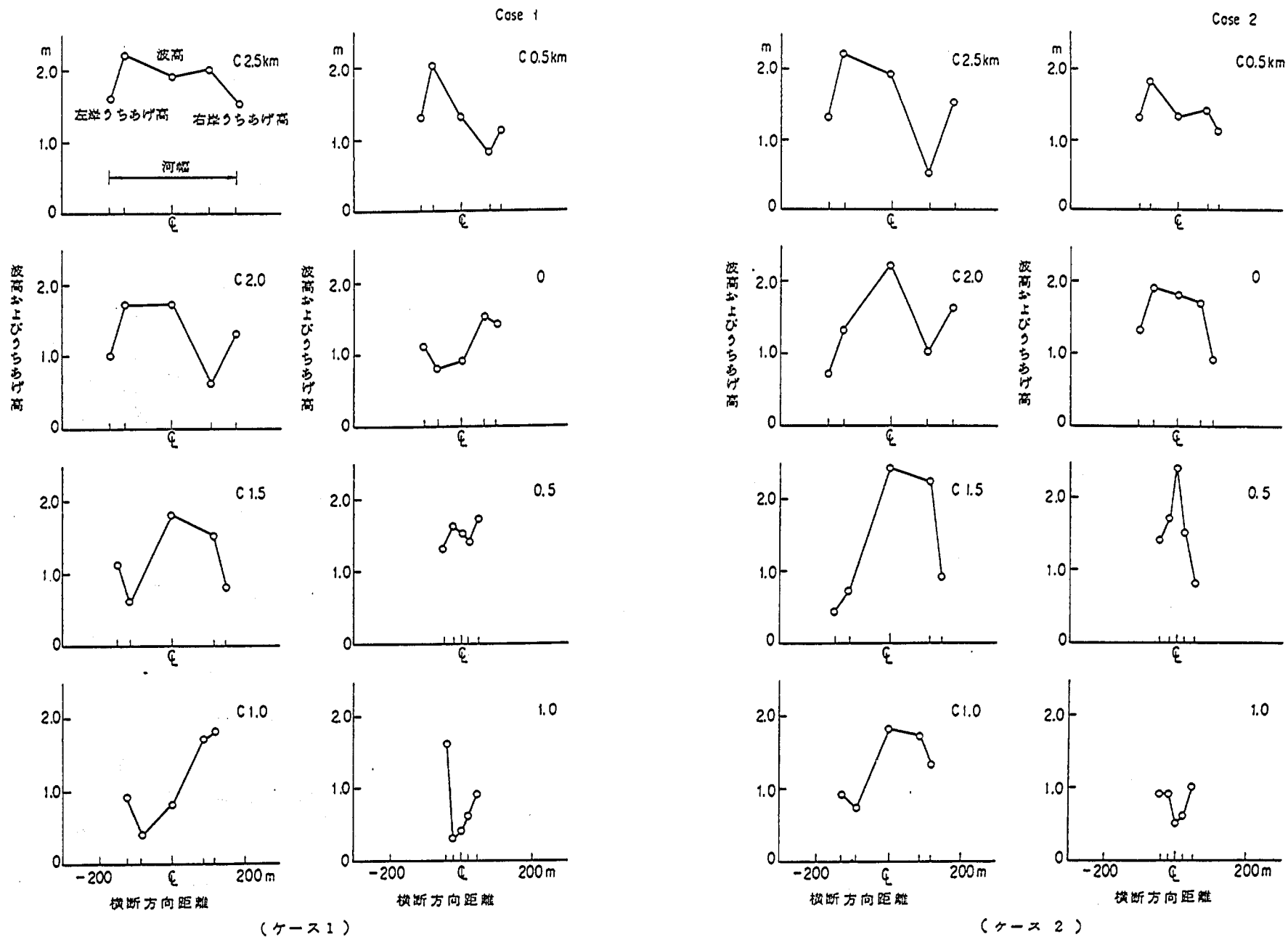


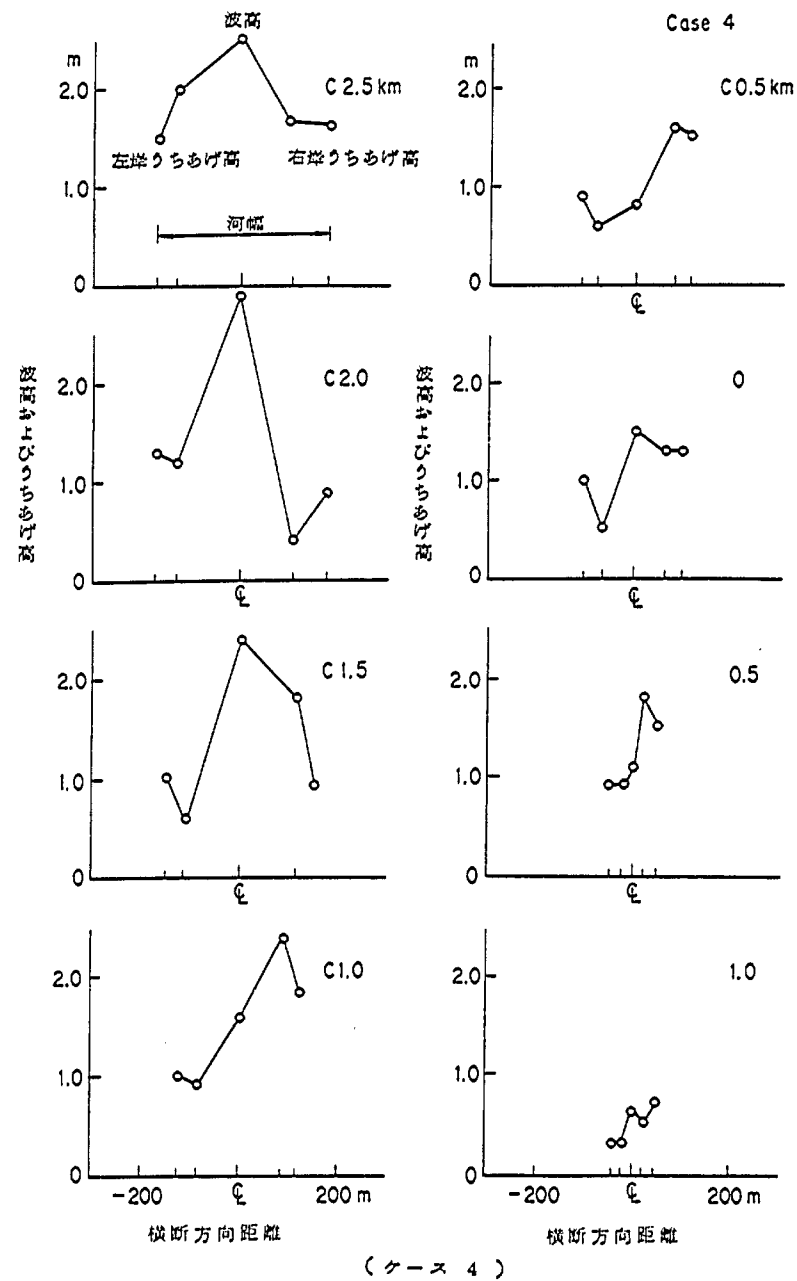
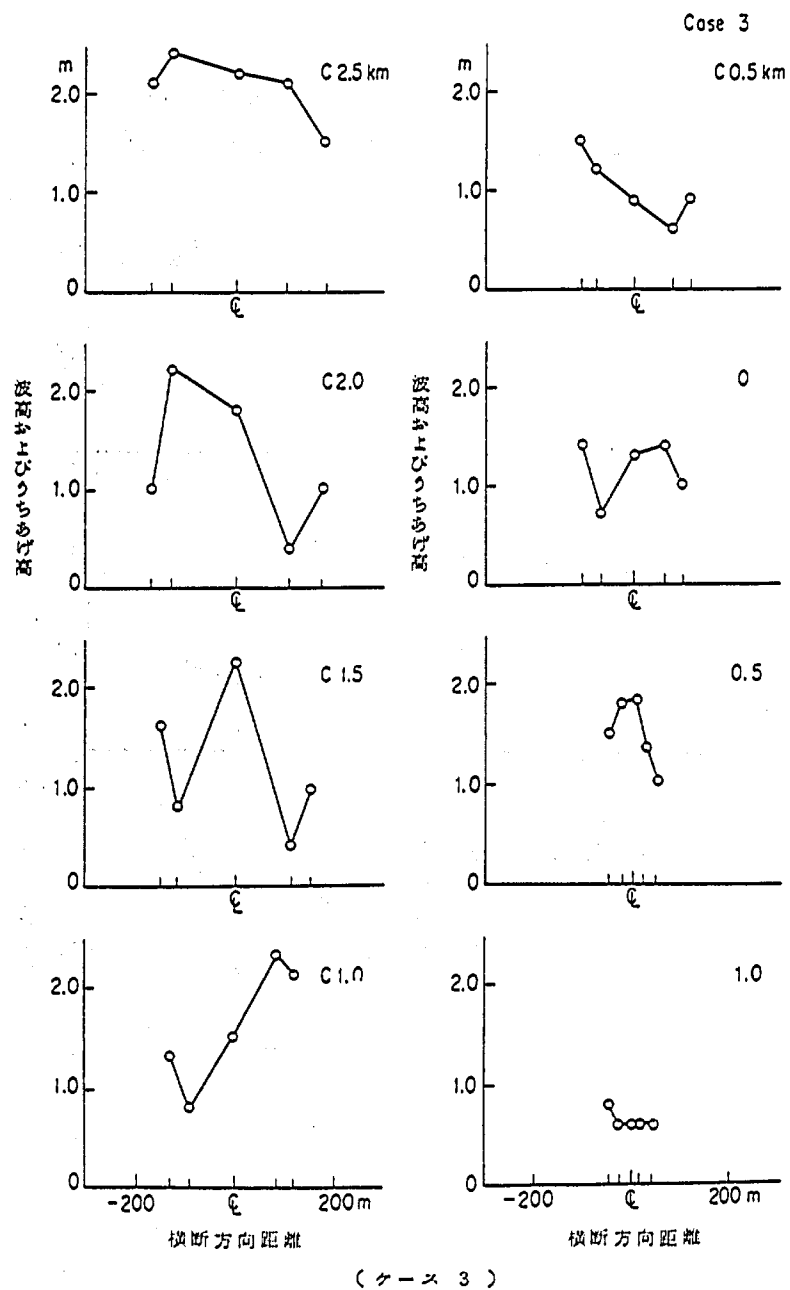
天満川模型横断面図



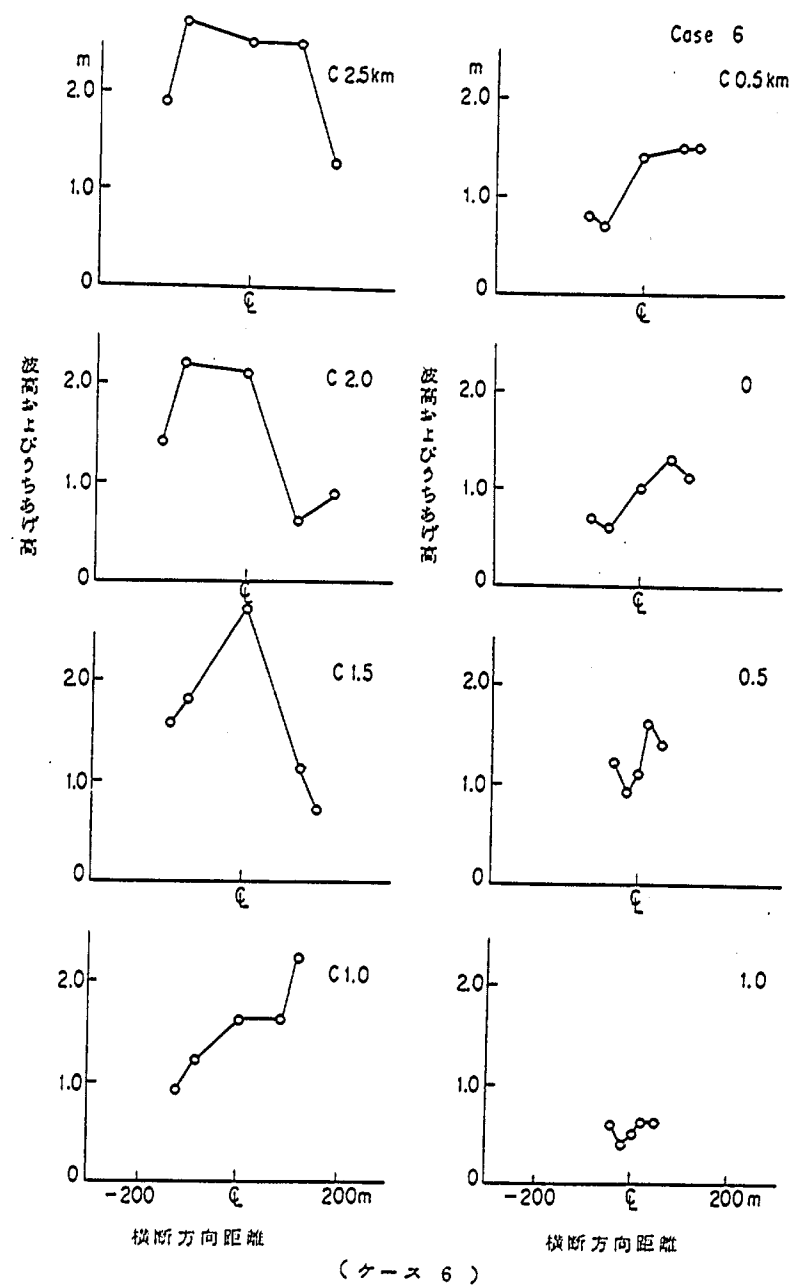
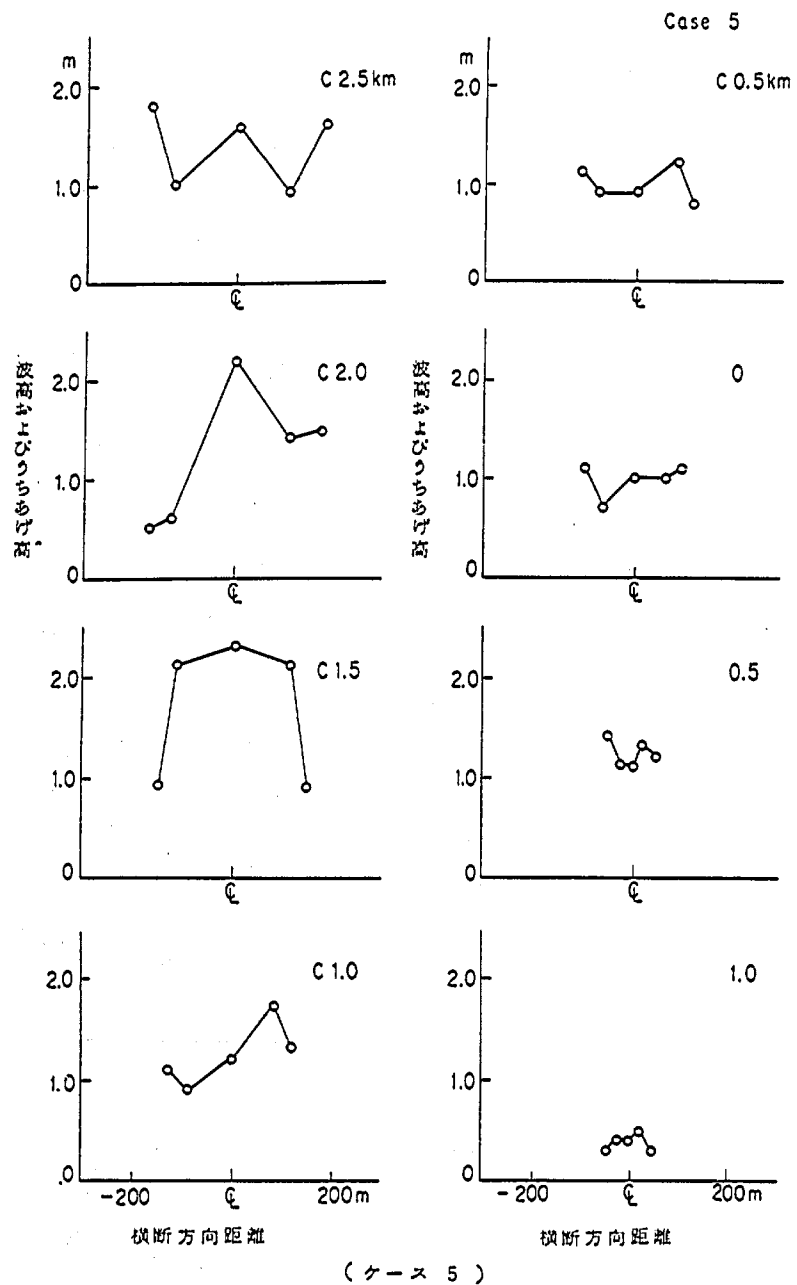
天満川模型横断面図



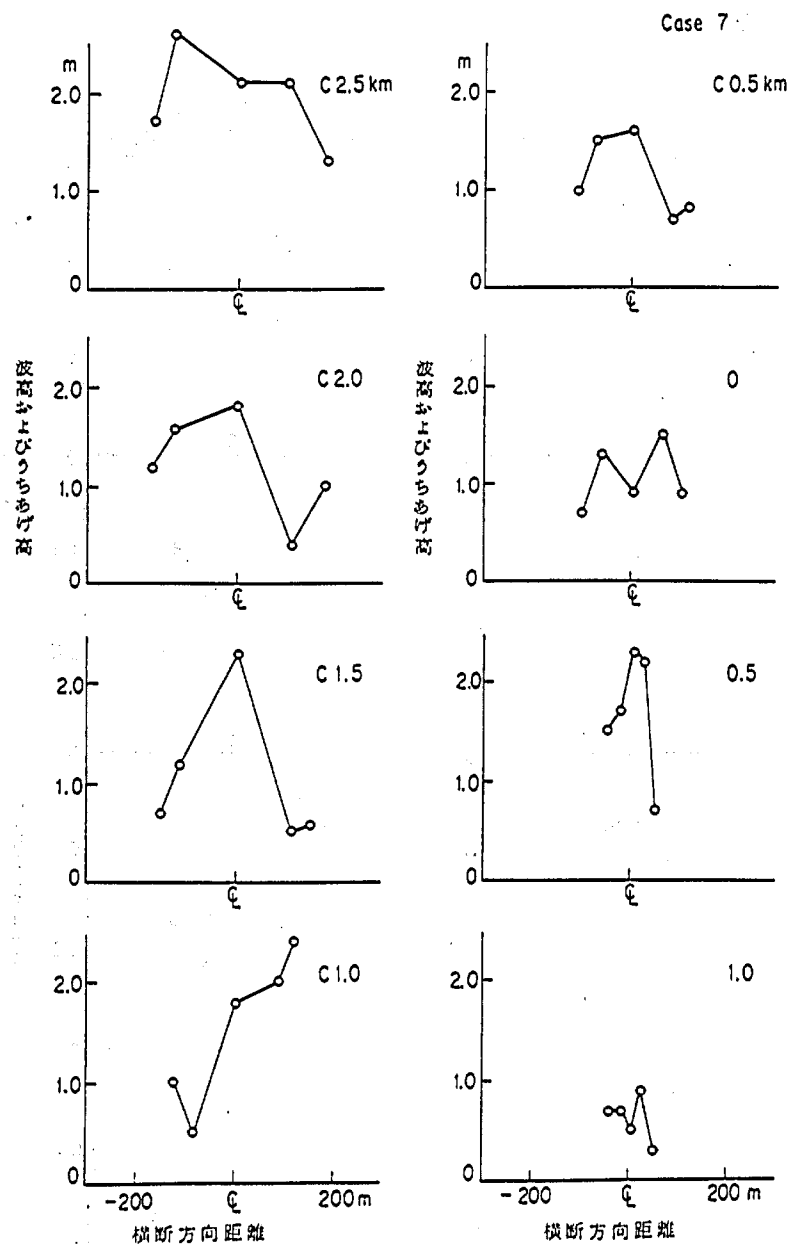




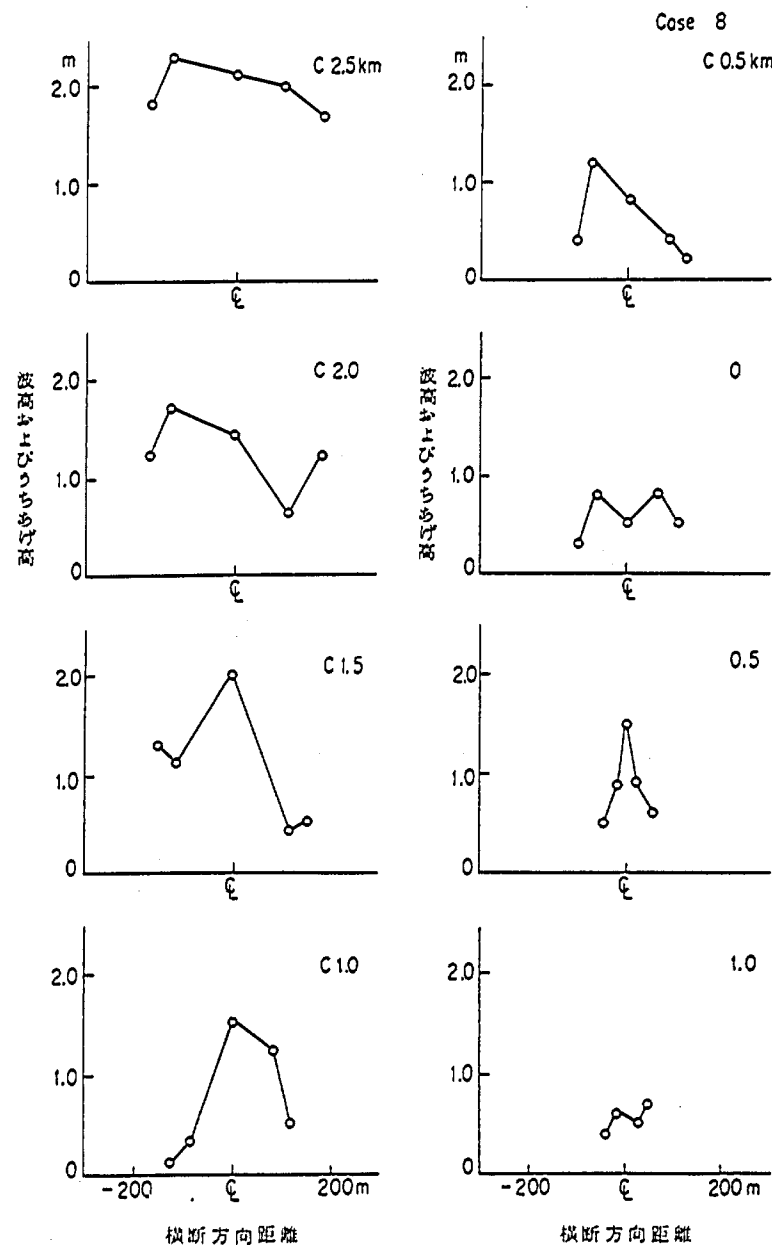
付図 - 2 (2) 河道内の波高およびうちあげ分布図



付図 - 2 (3) 河道内の波高およびうちあげ分布図

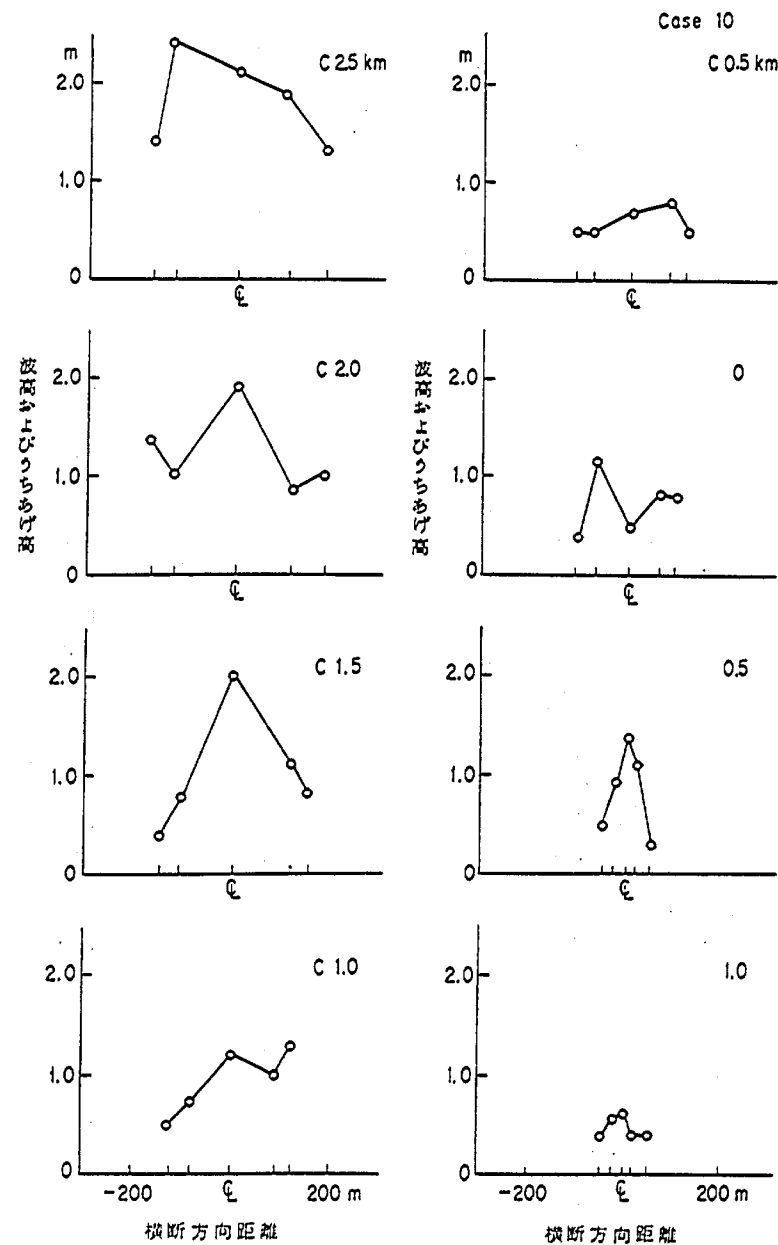
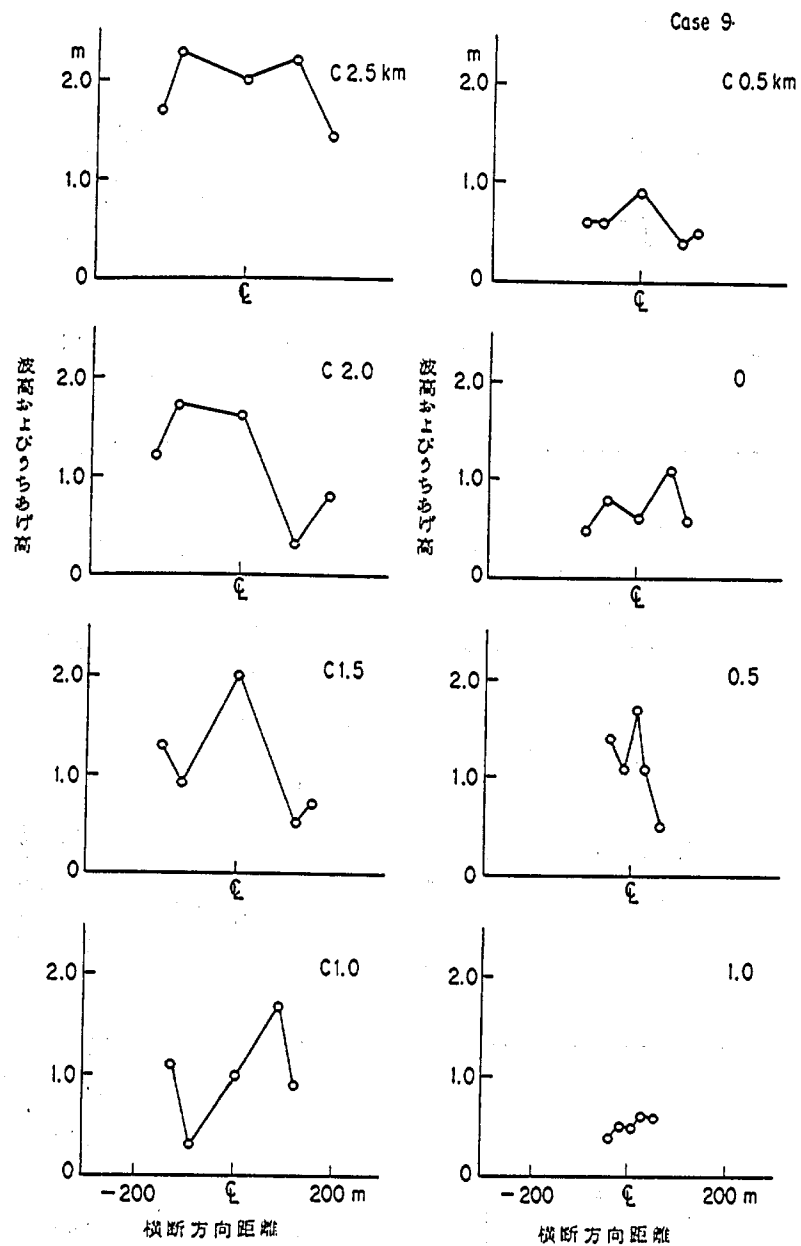


(ケース 7)

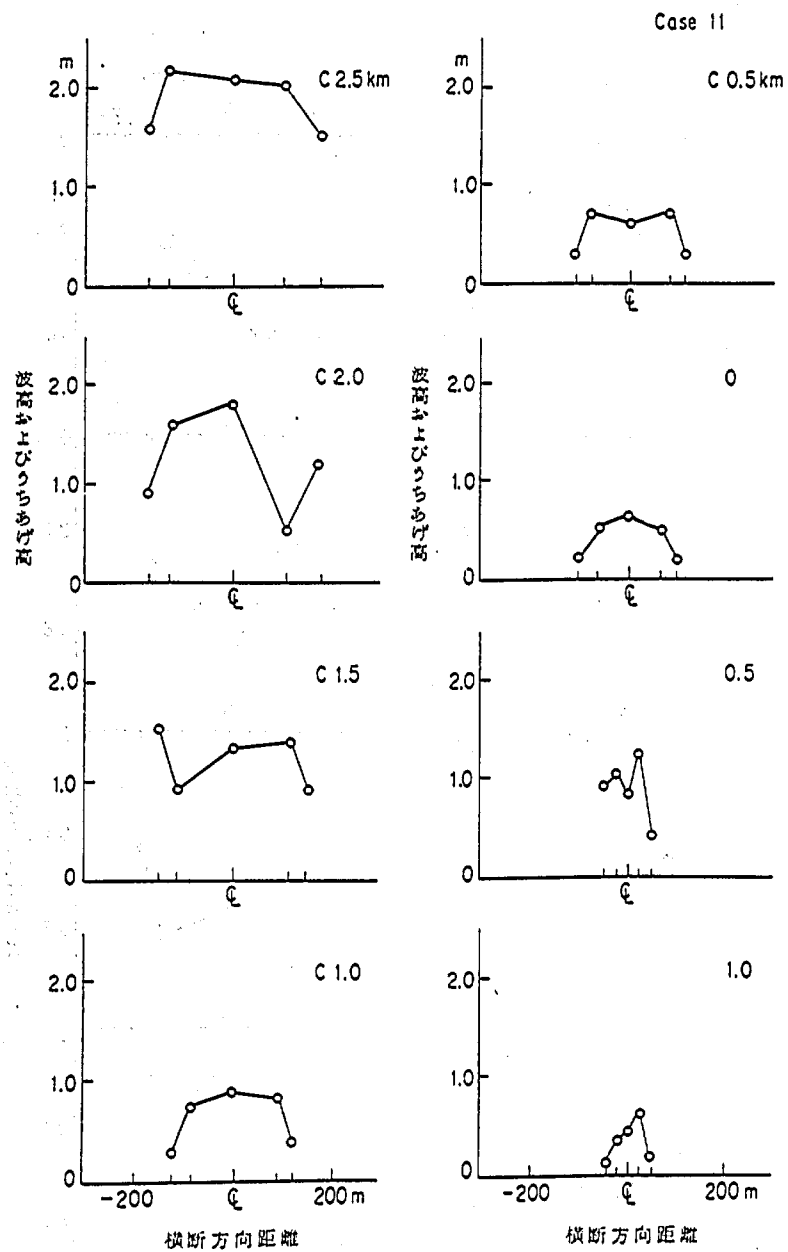


(ケース 8)

付図 - 2 (4) 河道内の波高およびうちあげ分布図

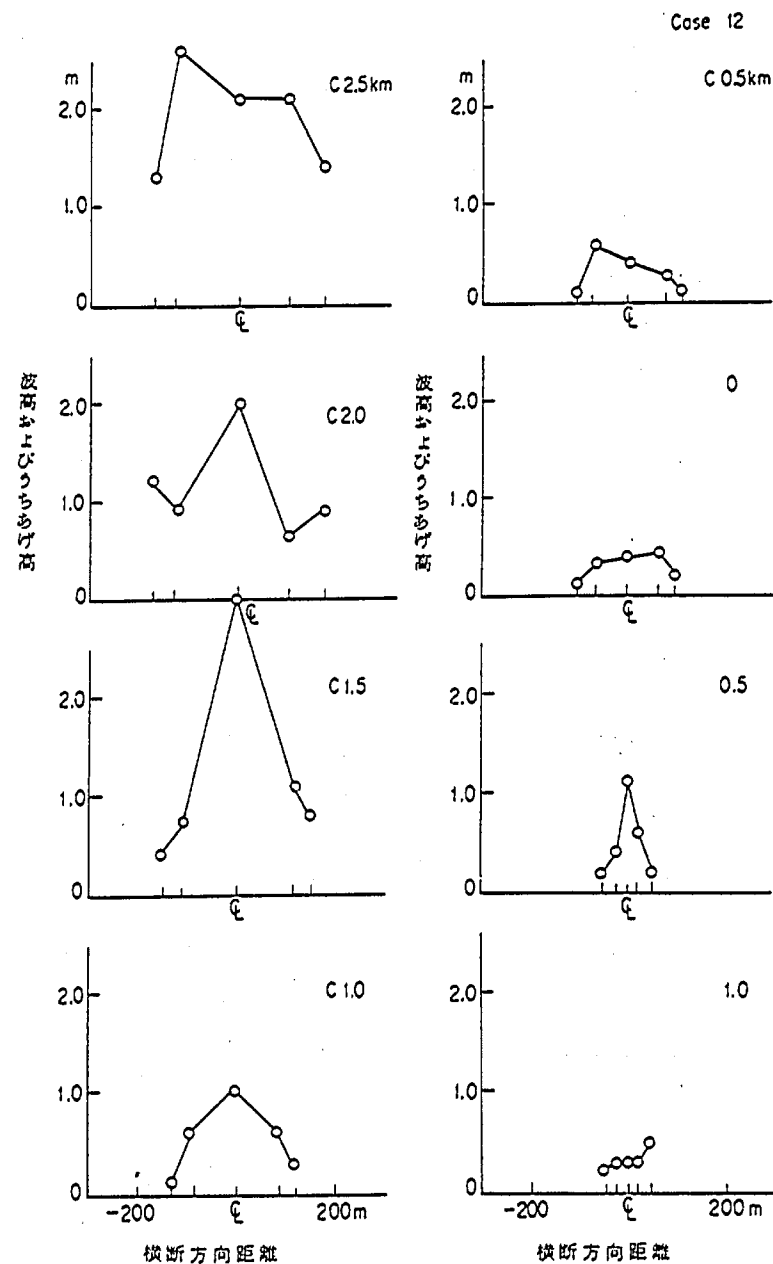


付図 - 2 (5) 河道内の波高およびうちあげ分布図

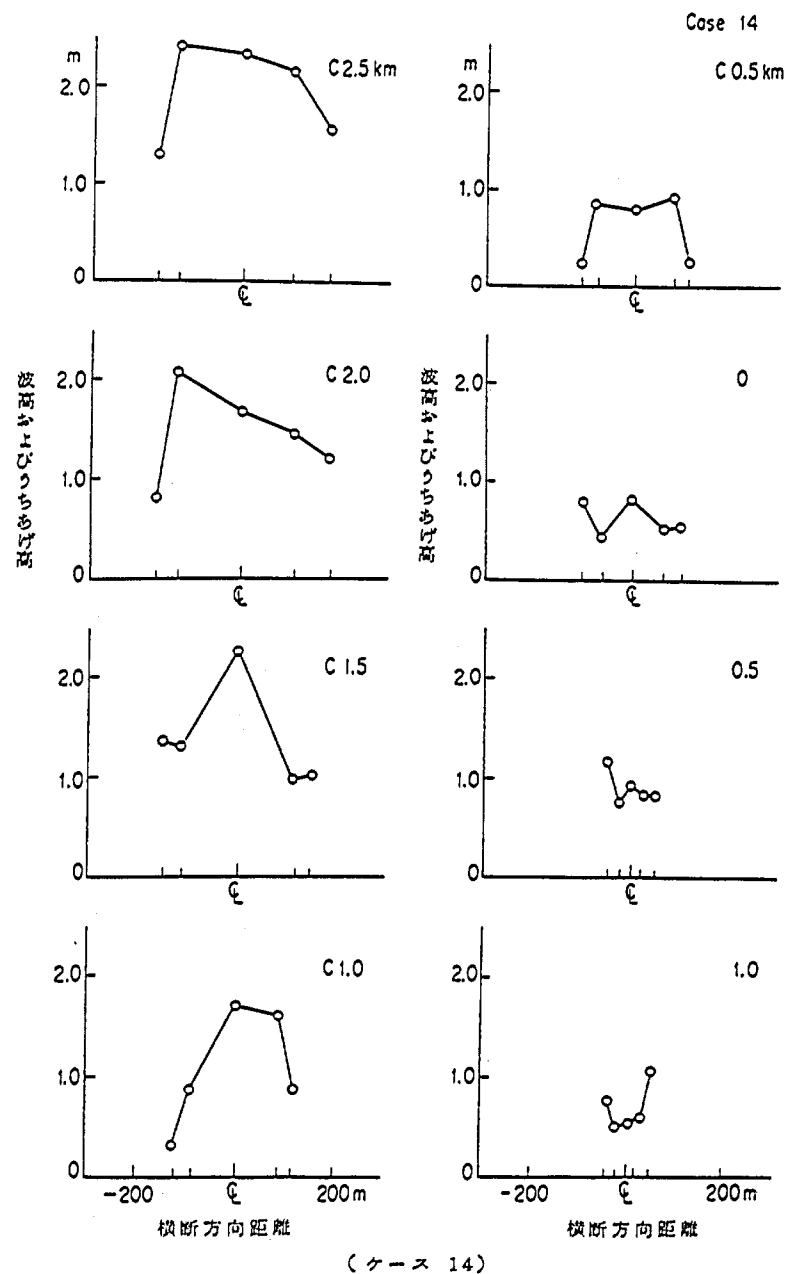
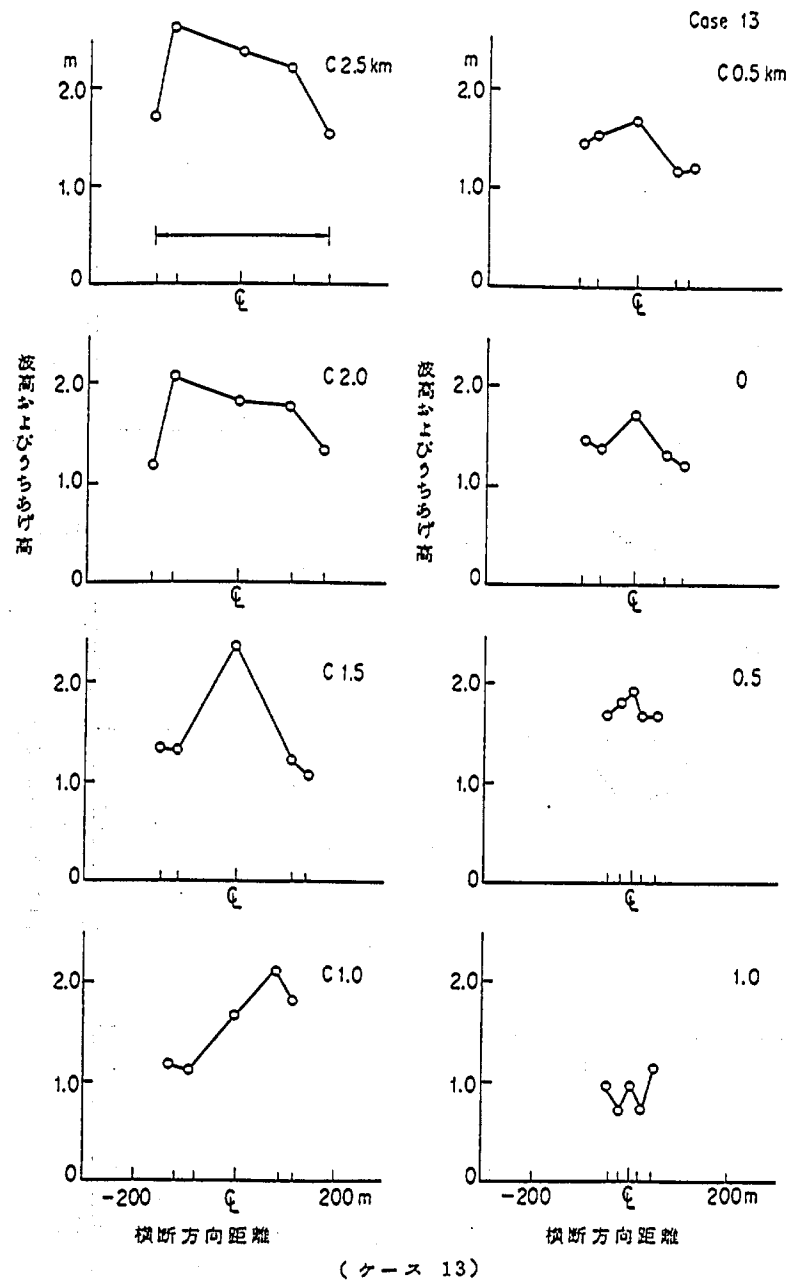


(ケース 11)

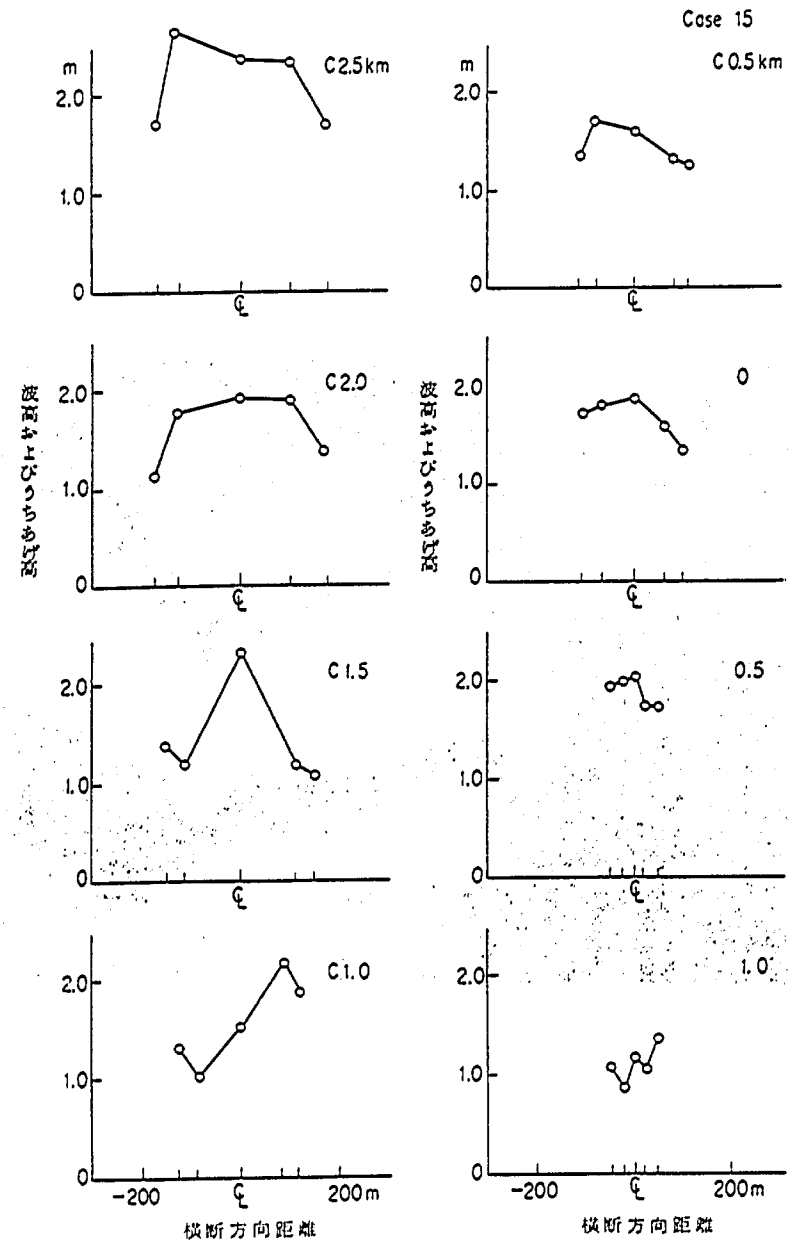
付図 - 2 (6) 河道内の波高およびうちあげ分布図



(ケース 12)



付図 - 2 (7) 河道内の波高およびうちあげ分布図



(ケース 15)

付図 - 2 (8) 河道内の波高およびうちあげ分布図



写真-1 天満川模型（上流から下流を見る）

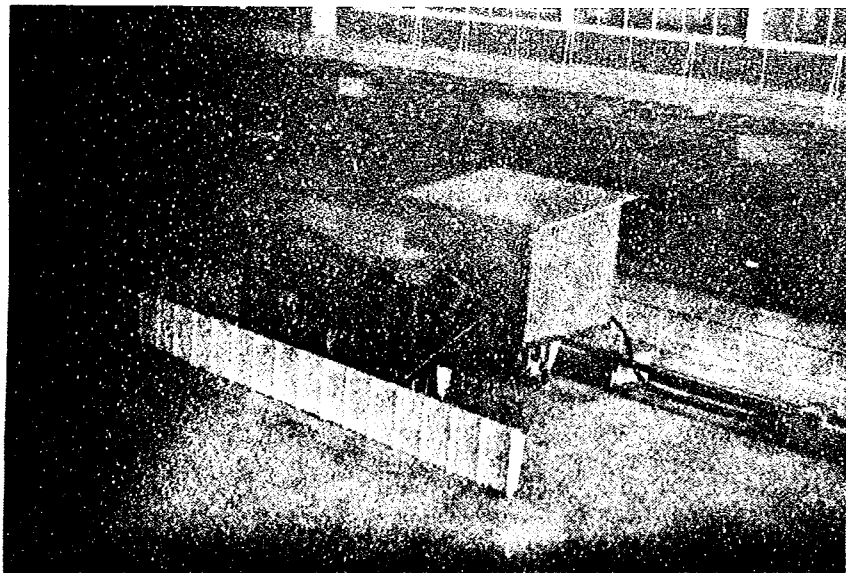
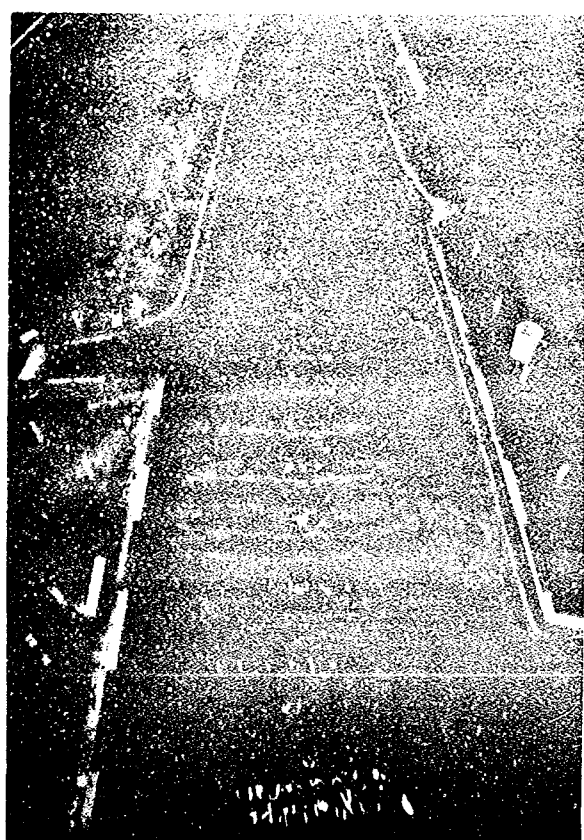


写真-2 造波装置



写真－3 河口部の波浪侵入状況



写真－4 C 1.0 km 付近の波浪侵入状況



写真－5 0 km 付近の波浪侵入状況

太田川高潮堤防
模型実験報告書

ISSN 0386-5878
土研資料 第1671号
昭和56年3月(1981)

橋本 宏, 山口 修, 弘田英人

キーワード: 消波工, 高潮堤防, 水理横型実験, うちあげ高, 不規則波

要 旨 太田川河口部の高潮対策を検討するために, 水理模型実験によ
って河道内に侵入する波浪の状況と防止法について検討した。
波浪は屈折と反射を行なうが, 河口から約2Km上流に消波工を設けると
うちあげ高を減少するとともに上流に伝達する波エネルギーを減衰させ効果
的であることが明らかになった。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

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1671号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

