

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8

土木研究所資料 第2519号

土 木 研 究 所 資 料

霞ヶ浦湖岸堤越波模型実験報告書

昭和62年 9 月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright©(1987) by P.W.R.I.

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

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

霞ヶ浦湖岸堤越波模型実験報告書

海岸研究室 室 長 宇 多 高 明
研究員 小 俣 篤

要 旨

霞ヶ浦において、風浪に伴い発生する湖岸堤からの越波に関し、その流量の算定法を求めるために模型実験を行った。その結果より、霞ヶ浦の各地区ごとに湖岸堤の越波流量を算定する方法を示した。更に、越波対策工に関する模型実験結果より、対策工の越波防止効果を求めた。

キーワード：霞ヶ浦，湖岸堤，模型実験，越波流量算定法，対策工

ま え が き

本報告書は、建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所から依頼された、霞ヶ浦湖岸堤の越波に関する模型実験結果をまとめたものである。模型実験は、越波流量の算定法を求め、対策工の効果を明らかにするために昭和59年より3ケ年で行った。

目 次

1. はじめに	1
2. 実験の目的	2
3. 実験条件の設定	3
3.1 霞ヶ浦の自然条件	3
3.1.1 霞ヶ浦に生起する波浪の特性	3
3.1.2 地 形	8
3.2 実験条件の設定	13
3.2.1 模型縮尺	13
3.2.2 実験波浪条件の設定	15
4. 実験方法	18
5. 越波流量算定法	20
5.1 基 本 図	20
5.2 地形の影響	24
5.3 風の影響	25
5.4 周期の影響	35
5.5 波の不規則性の影響	39
5.6 ま と め	44
6. 対策工の効果	46
6.1 対策工の選定	46
6.2 各工法の効果	50
7. 飛沫対策	58
8. 結 論	64
あとがき	65
参考文献	66
付録 越波流量測定結果数値表	67

1. はじめに

霞ヶ浦は我が国第二の大きさを有する湖であり、 168km^2 と広大な水面積を有する(図-1.1)。そのため、強風が長時間継続すると、波高 2m 以上の高波浪が発生することもある。霞ヶ浦では湖岸全周にわたってY.P.* $+3.5\text{m}$ の計画天端高を有する湖岸堤の整備が進められている。この天端高は計画高水位Y.P. $+2.85\text{m}$ に対し決定されたものであり、波浪については特に考慮されていない。また、堤体は一面張りの土堤であり、越波に対する強度を有するとはいえない。これらのことから、高水位と高波浪が重なった時には、多量の越波を生じ、破堤へ至る可能性も考えられる。霞ヶ浦工事事務所では湖岸堤が暫定断面(天端高Y.P. $+3.0\text{m}$)でほぼ完成したことを契機に、霞ヶ浦における越波対策を策定するための検討を開始した。この検討で重要な点は次の2点である。第1点は、霞ヶ浦各地点の湖岸堤からの越波量の算定法を検討することである。第2点は、予測越波量に対する対策工を検討することである。本報告は霞ヶ浦工事事務所の依頼により、越波に関する水理模型実験を行うことにより、越波量算定法を作成し、対策工の効果を検討した結果について述べたものである。

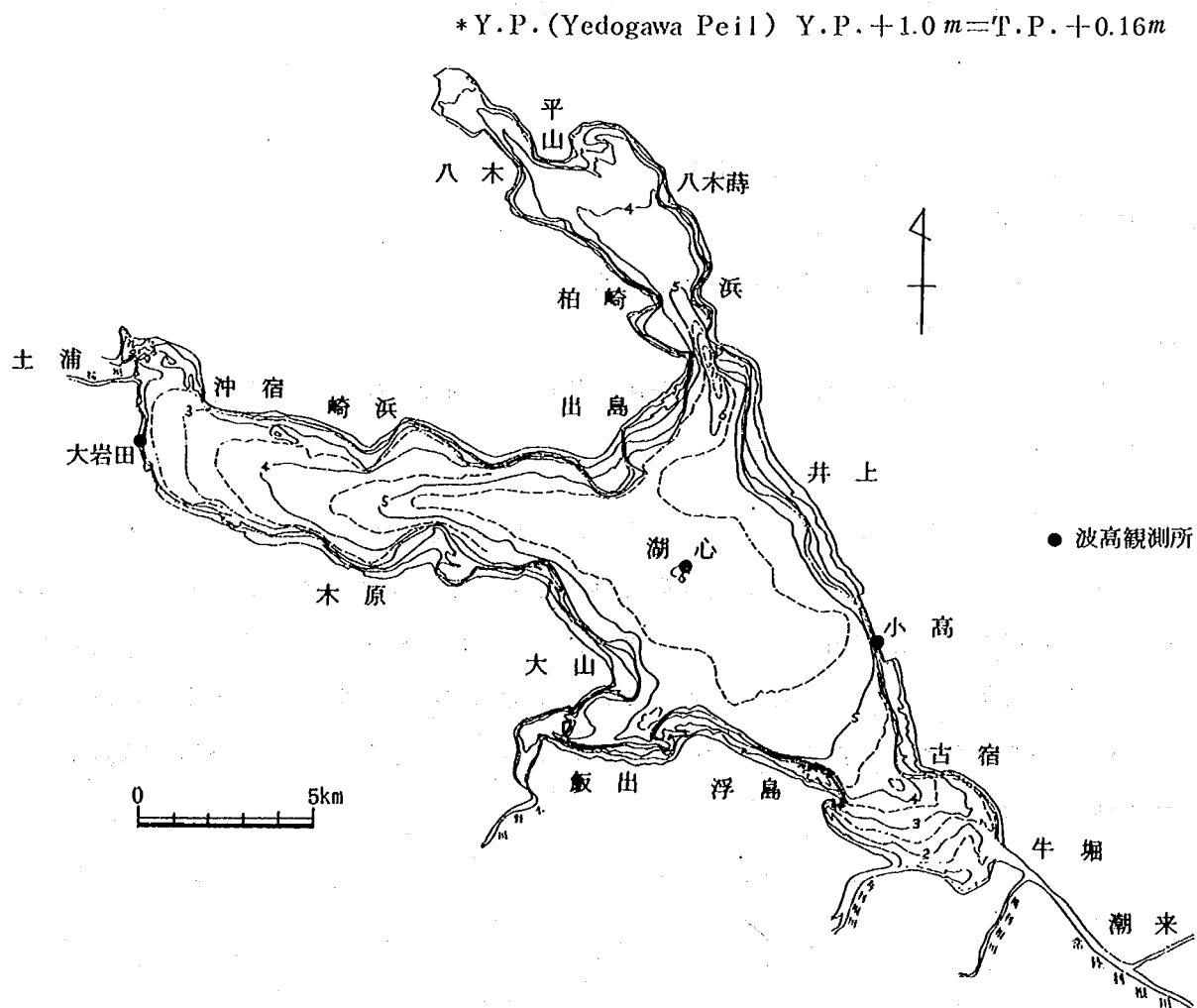


図-1.1 霞ヶ浦の地形図

2. 実験の目的

実験は、越波量算定法を作成し、対策工の効果を明らかにすることを目的とする。霞ヶ浦に生起する波浪は風波であり、風速、風向、フェッチにより湖岸各地に来襲する波浪の波高、周期は異なる。風速、水位等の設計条件を単一に定めたとき、湖岸各地点でのフェッチの違いにより、来襲波の波高・周期は単一ではなくなる。また、高水位の出現と強風の発生という2つの事象の同時生起を取り扱うため、設計条件の設定も難しい。そこで、越波量の算定は任意の湖岸地点を対象とし、広範な波高、周期、水位、風速条件の組み合わせのもとで行えるようにした。霞ヶ浦においては代表フェッチグラフが求められており、風速、フェッチを与えれば波高、周期が求められる。その関係をもとに越波量算定方法は任意の波高、周期、風速に対し越波量が求められるように、次の項目について実験を行って作成した。

①基本図の作成

波高、周期の結合関係を固定した条件下で、越波量を算定するための基本図を作成する。

②地形の影響

湖岸各地の地形の違いによる越波量の相違を補正するために、地形の影響を明らかにする。

③風の影響

風速の違いによる越波量の変化を求める。

④周期の影響

周期の違いによる越波量の変化を求める。

⑤波の不規則性の影響

以上の実験は規則波によって行うため、波の不規則性の影響を不規則波実験により明らかにする。

また、対策工の効果については、海岸保全工法として一般に用いられている消波工、離岸堤、パラペットについて検討した。霞ヶ浦は観光地でもあり居住地に隣接することから、湖岸は景勝地、憩いの場としても利用されている。そこで、景観にも配慮した工法として、養浜工、人工リーフ等の対策工についても検討した。また、平常水位時、強風により発生する飛沫が周辺住民の間で問題となることがある。そこで、対策工の検討にあたっては、飛沫の低減効果もあわせて検討した。

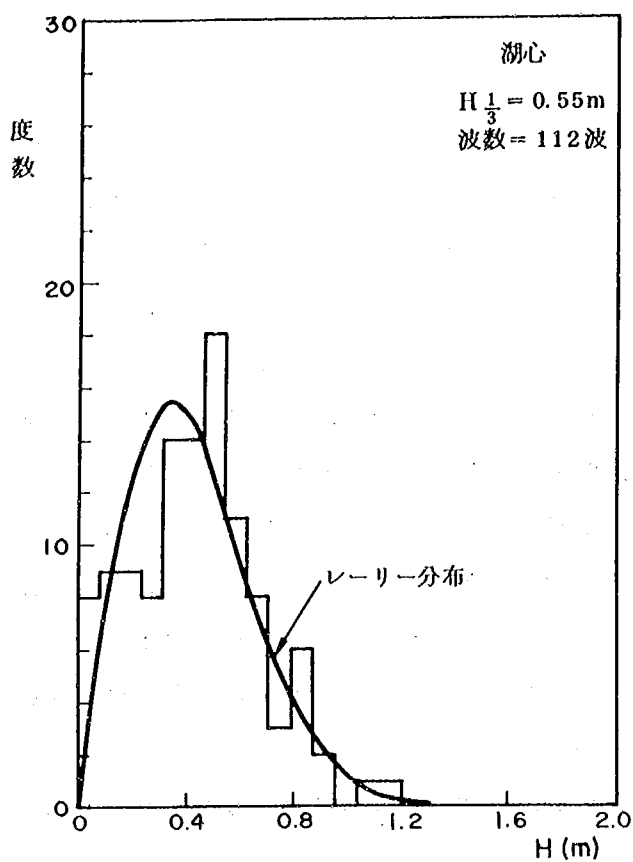
3. 実験条件の設定

3.1 波浪条件の設定

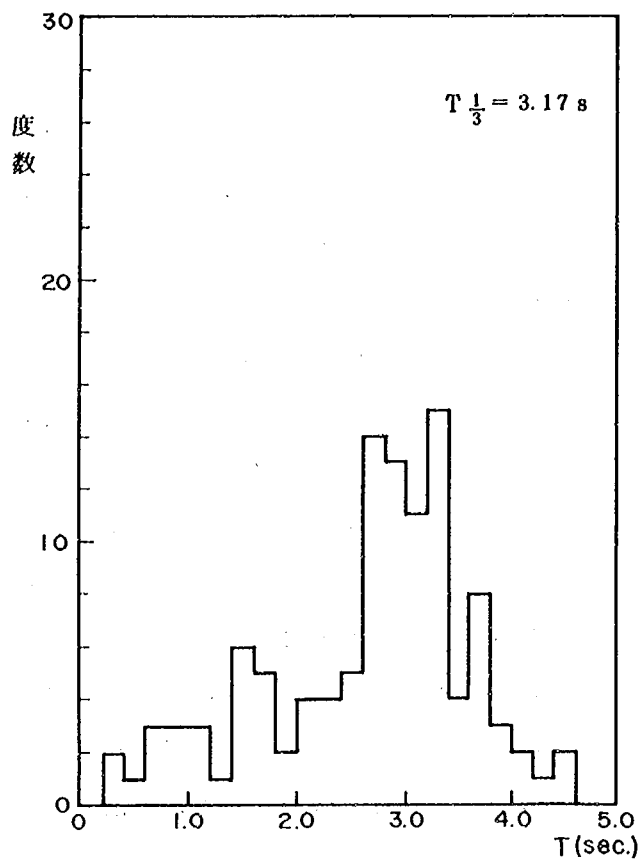
3.1.1 霞ヶ浦に生起する波浪の特性

霞ヶ浦は閉水域であるため、湖内の波浪は風にのみ規定される。フェッチが限られた風波のため外洋の波とは波浪特性が異なる。霞ヶ浦には湖心、土浦（大岩田）、小高の3地点に波高観測所があり（図—1.1参照）、波浪解析が行われている。ここでは湖心での1986年の観測例より、霞ヶ浦に生起する波浪の特性を示す。図—3.1～3.3に有義波高 $H_{1/3} = 0.55\text{ m}$, 0.71 m , 0.90 m を有する波浪の観測例を示す。これらは毎時10分間の観測データの一例である。各々、a)は波高の頻度分布、b)は周期の頻度分布、c)は波高・周期の結合分布、d)はパワースペクトルである。波高の頻度分布は外洋波で成立すると言われているレーリー分布とは異なっており、有義波高近辺で頻度が高くなっている。周期も同様の傾向を示し、外洋の不規則波に比べ規則波に近い特性をもつことがわかる。波高と周期の結合分布によると、波形勾配 ($H_{1/3}/L_0 : L_0 = 1.56 T_{1/3}^2$) が0.03を中心としたデータがほとんどである。また、スペクトルは鋭いピークをもつ一山型の形状を示し、有義波周期近傍の狭い周波数帯に波のエネルギーが集中していることがわかる。以上のことから、霞ヶ浦に生起する波浪は有義波に代表される規則波におきかえても、越波の特性等は余り変わらないと考えられる。

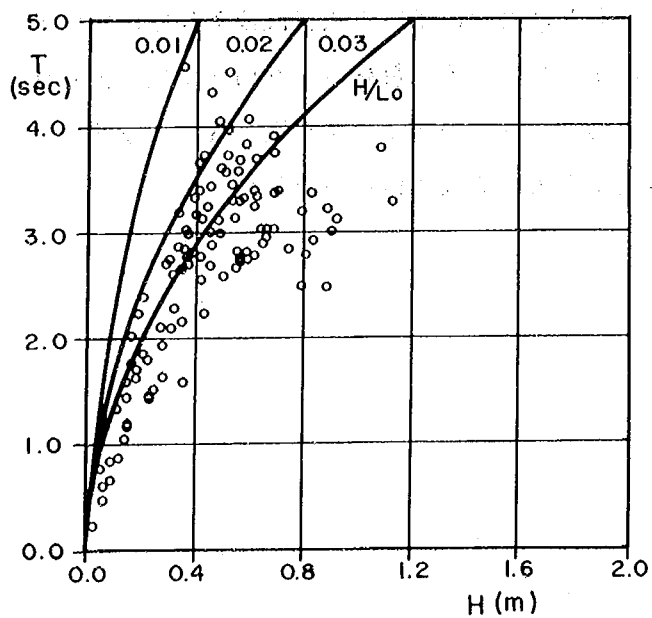
霞ヶ浦においては、波浪解析¹⁾により、有義波に対する代表的なフェッチグラフが作成されている（図—3.4）。このフェッチグラフをもとに実験に用いる代表波浪条件を決定する。霞ヶ浦での有効フェッチの分布を図—3.5に示す。フェッチは数km～10kmまで広く分布する。この図に示した地点をサンプルとして、有効フェッチの頻度分布を図—3.6に示す。フェッチは8～9kmに特に多い。以上の波浪特性をもとに実験条件を設定した。



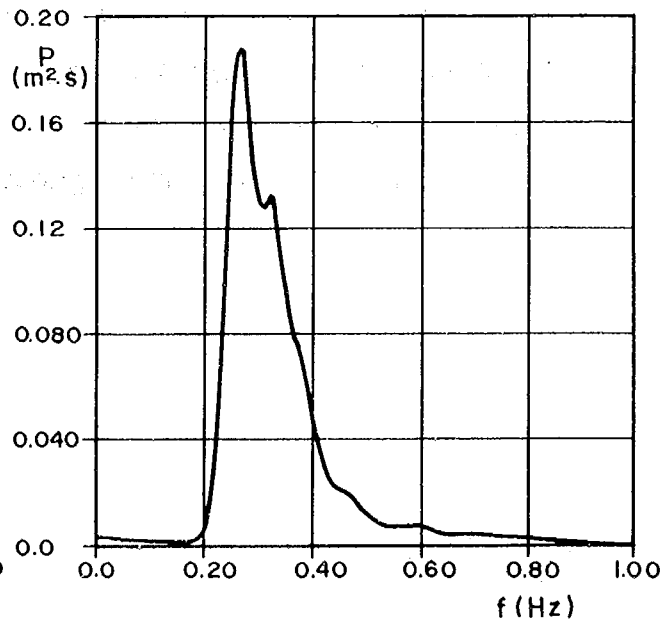
a) 波高の頻度分布



b) 周期の頻度分布

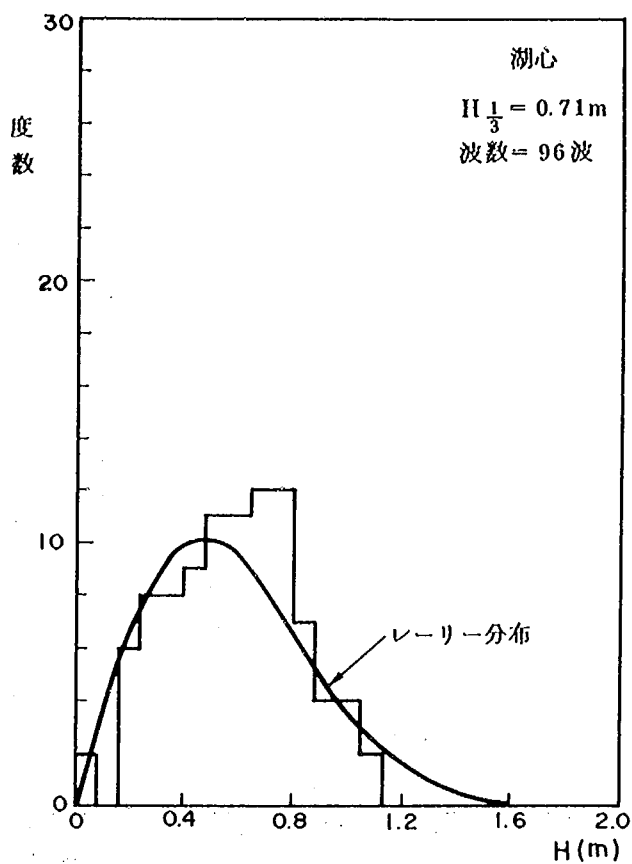


c) 波高・周期の結合分布

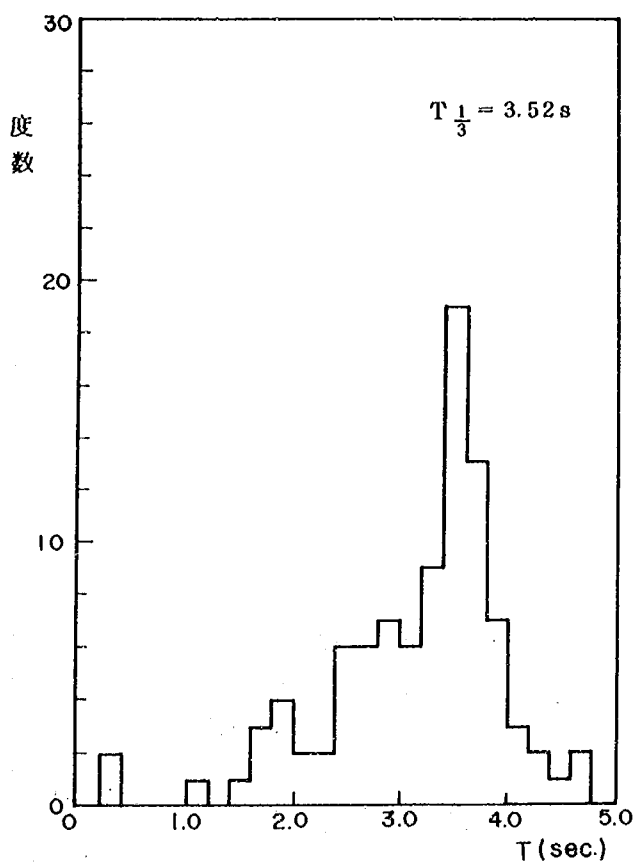


d) パワースペクトル

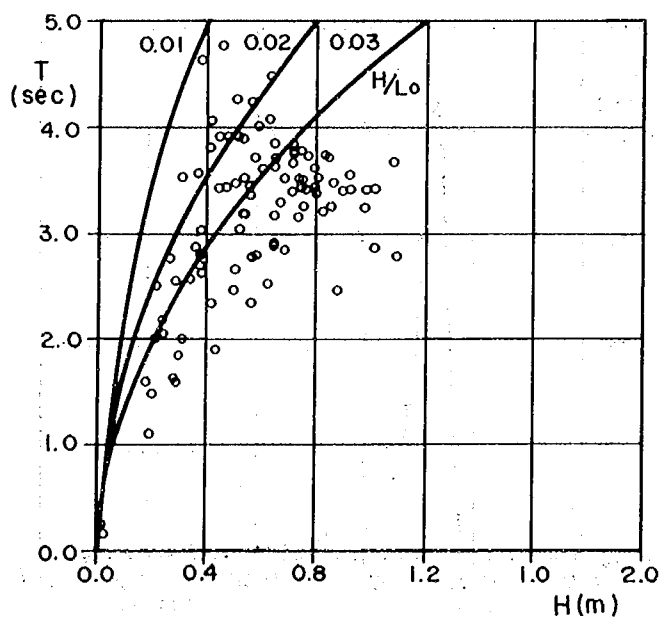
図-3.1 波の観測例(1986年3月17日16時)



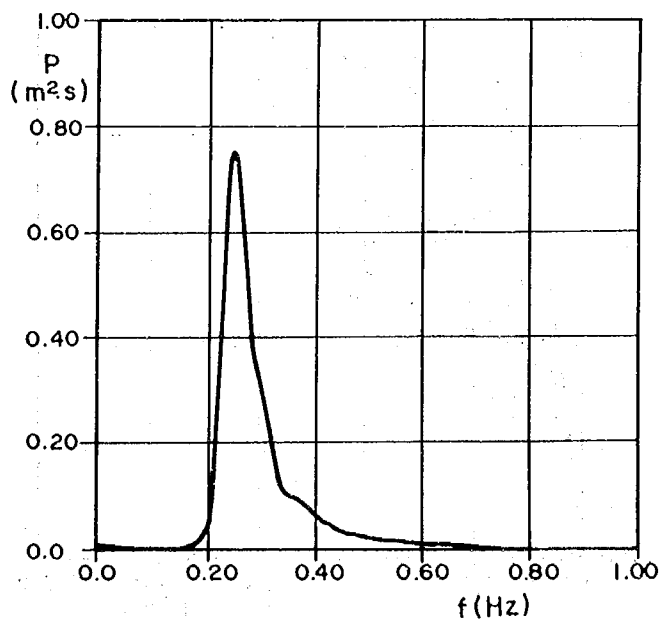
a) 波高の頻度分布



b) 周期の頻度分布

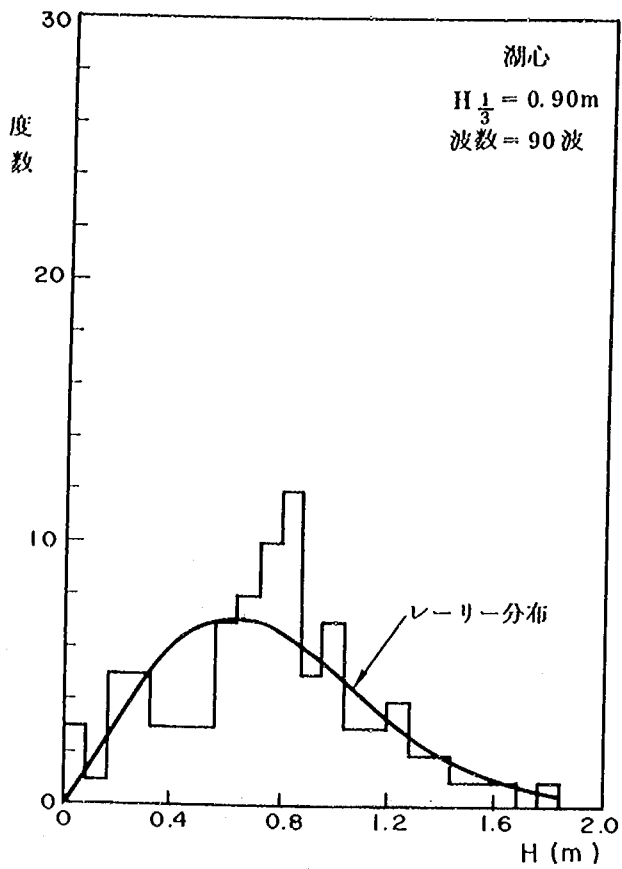


c) 波高・周期の結合分布

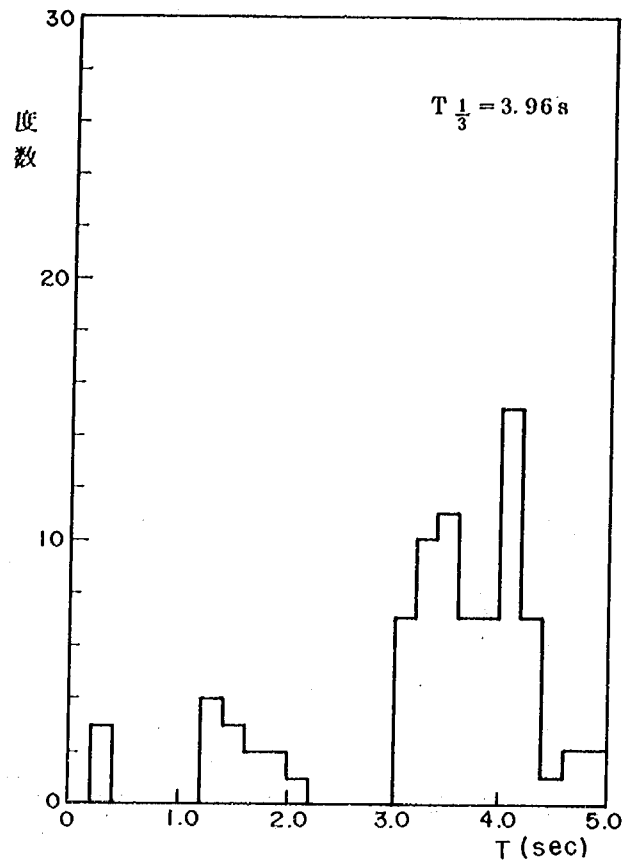


d) パワースペクトル

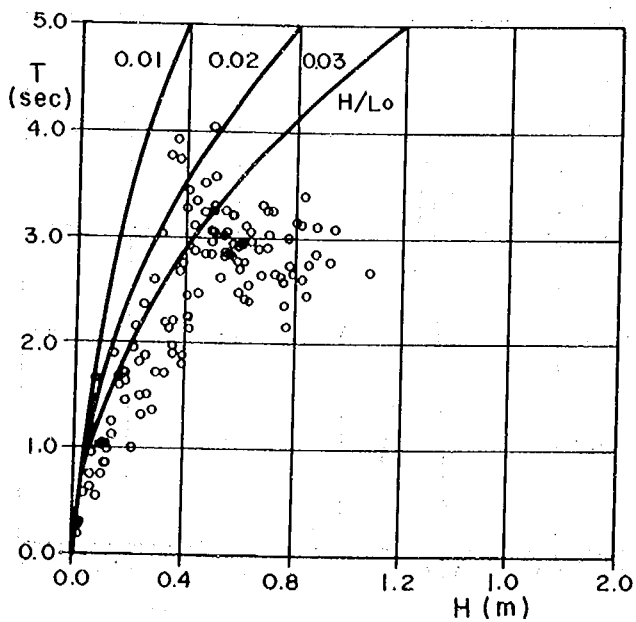
図一.3.2 波の観測例 (1986年3月20日15時)



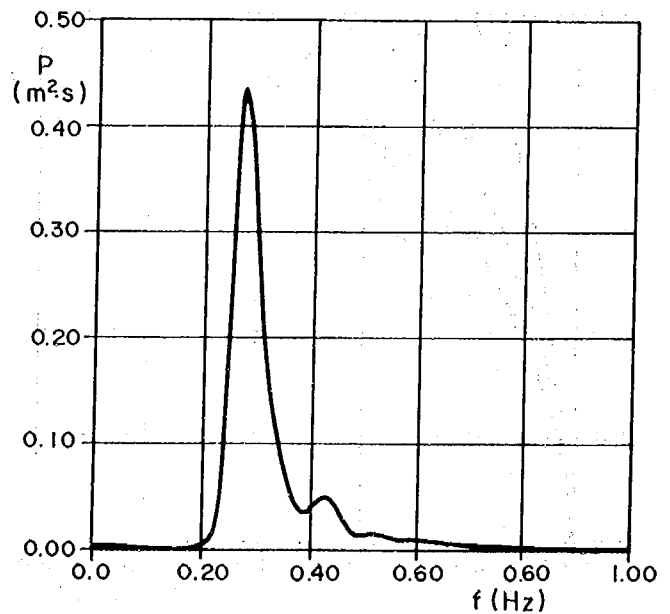
a) 波高の頻度分布



b) 周期の頻度分布

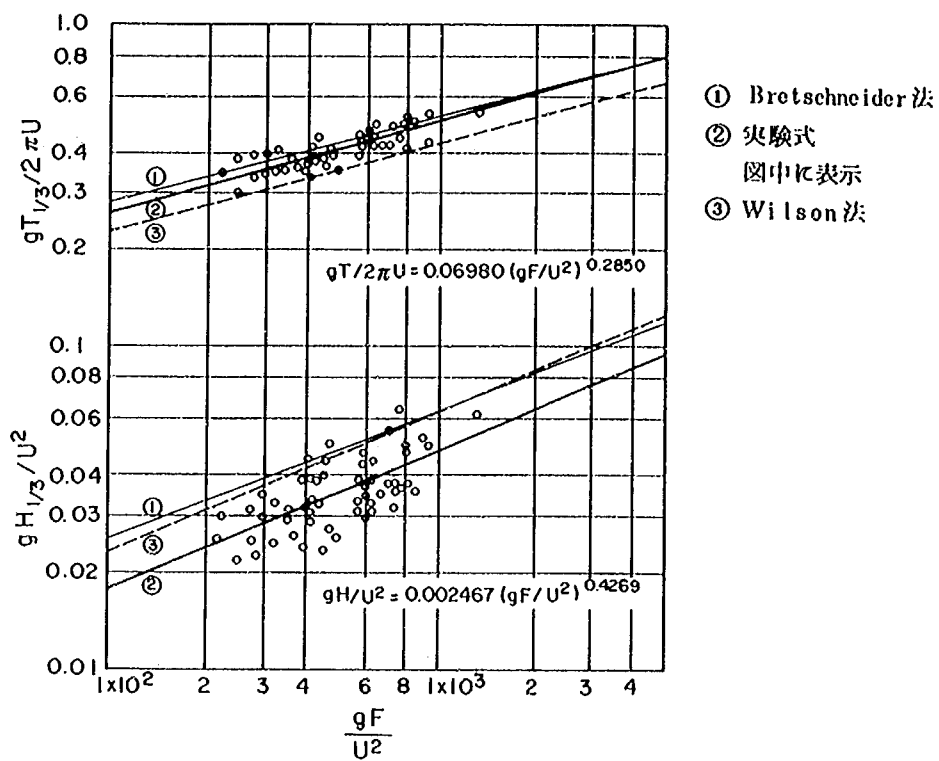


c) 波高・周期の結合分布

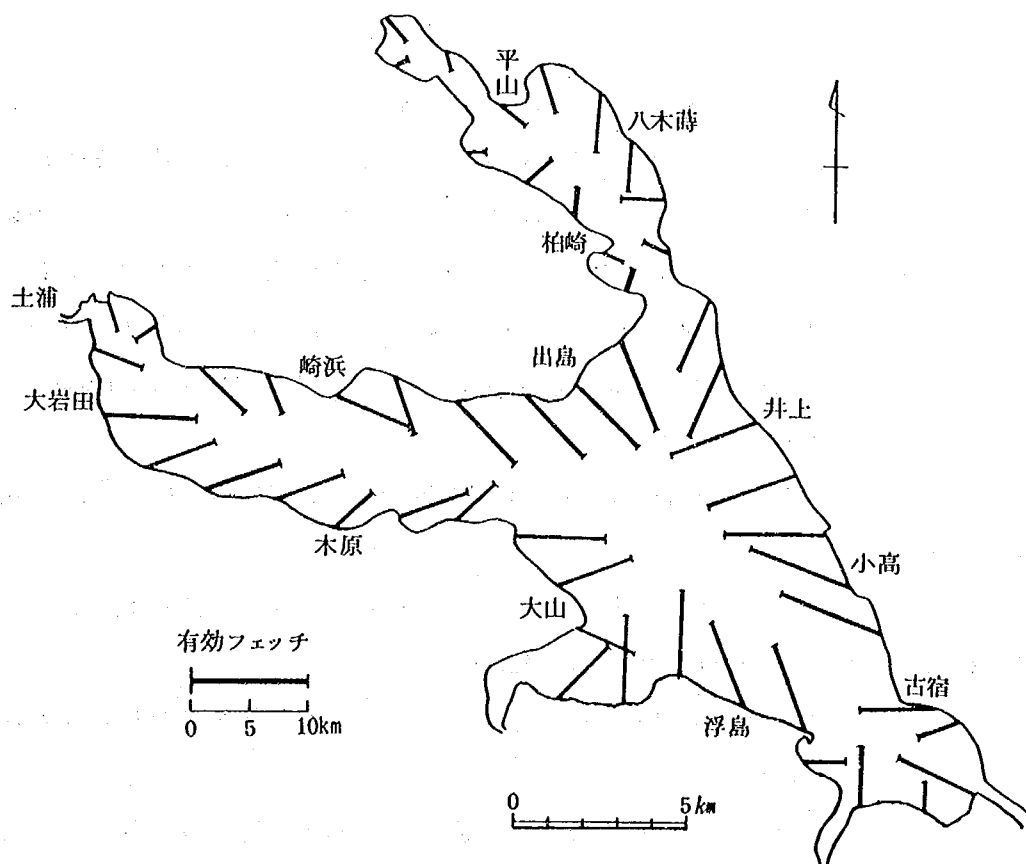


d) パワースペクトル

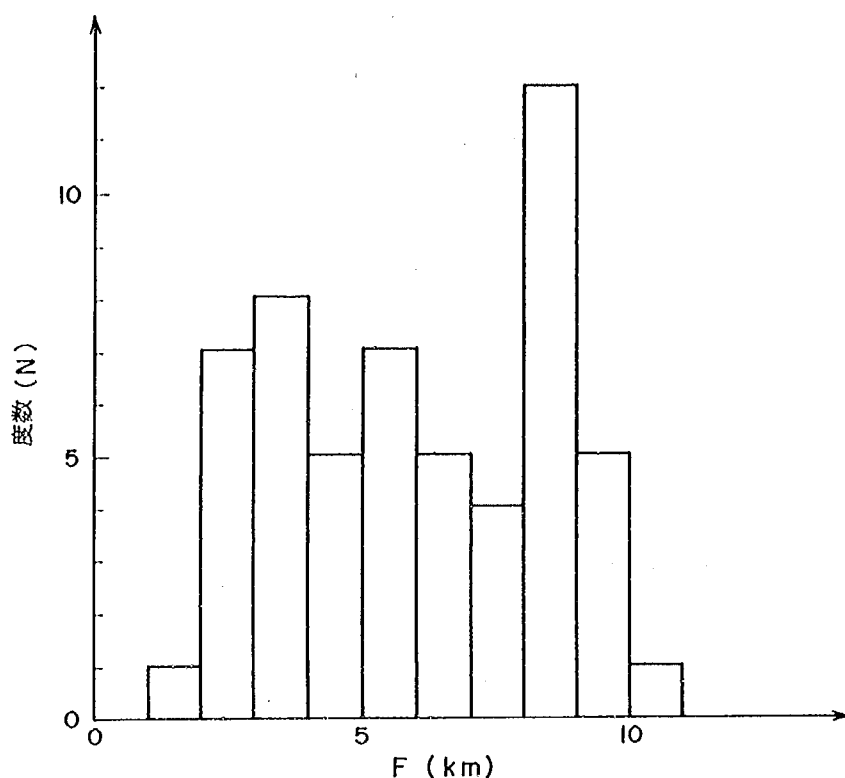
図一 3.3 波の観測例 (1986年3月20日17時)



図ー 3.4 代表フェッチグラフ



図ー 3.5 有効フェッチの分布



図－3.6 霞ヶ浦の有効フェッチの頻度分布

3.1.2 地 形

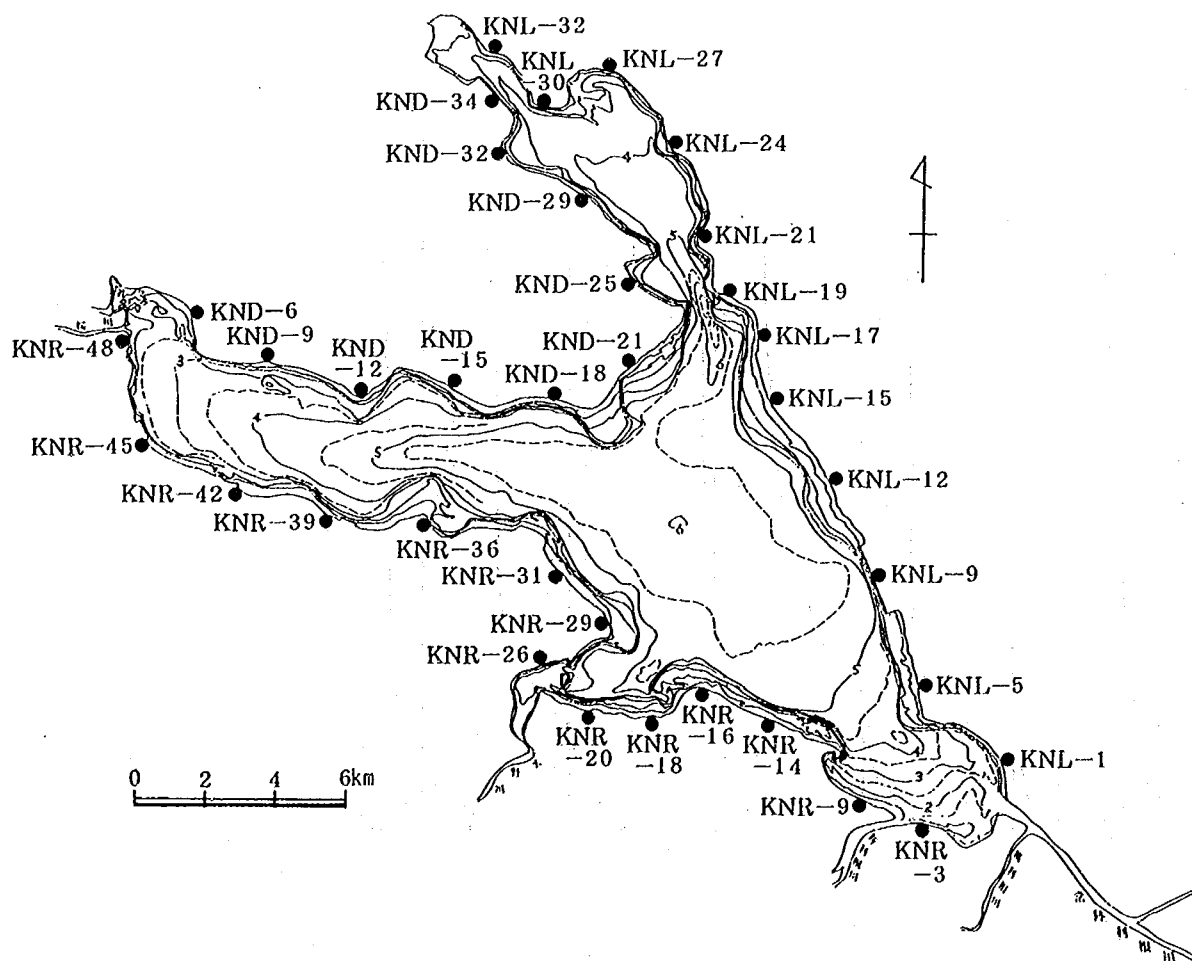
霞ヶ浦は、中央部の水深が5～7 mであって、湖底はほとんど平坦である。そのため湖心部分を進行する波は、ほぼ水平な湖底上を伝播し、湖岸のごく近傍で浅水変形が生じた後湖岸堤に達する。図－3.7に示す湖岸各地点における断面図を図－3.8に示す。測線番号のKNは霞ヶ浦西浦を表わしRが右岸、Lが左岸、Dが北側の中央岸を表わす。これらの断面図は1979年に湖岸線の法線方向の測線に沿って行われた深浅測量の結果より作成した。図には比較のために1/20 勾配を示してある。なお、湖の現況平水位はY.P. 1.0 mである。図より次の3つの特徴的な断面があることがわかる。

- ① Y.P. 0 m 付近に広い平坦面を有する断面 (KNR-31, KNR-36, KND-9, KND-15, KNL-12)。
- ② Y.P. 約-1 m まで1/20 勾配程度で深くなり、それ以深では非常に緩勾配となる断面 (KNR-9, KNR-48, KND-15, KND-21)。
- ③ Y.P. -3～-4 m まで1/20 勾配程度で深くなり、それ以深ではほぼ平坦な断面 (KNR-14, KNL-24)。

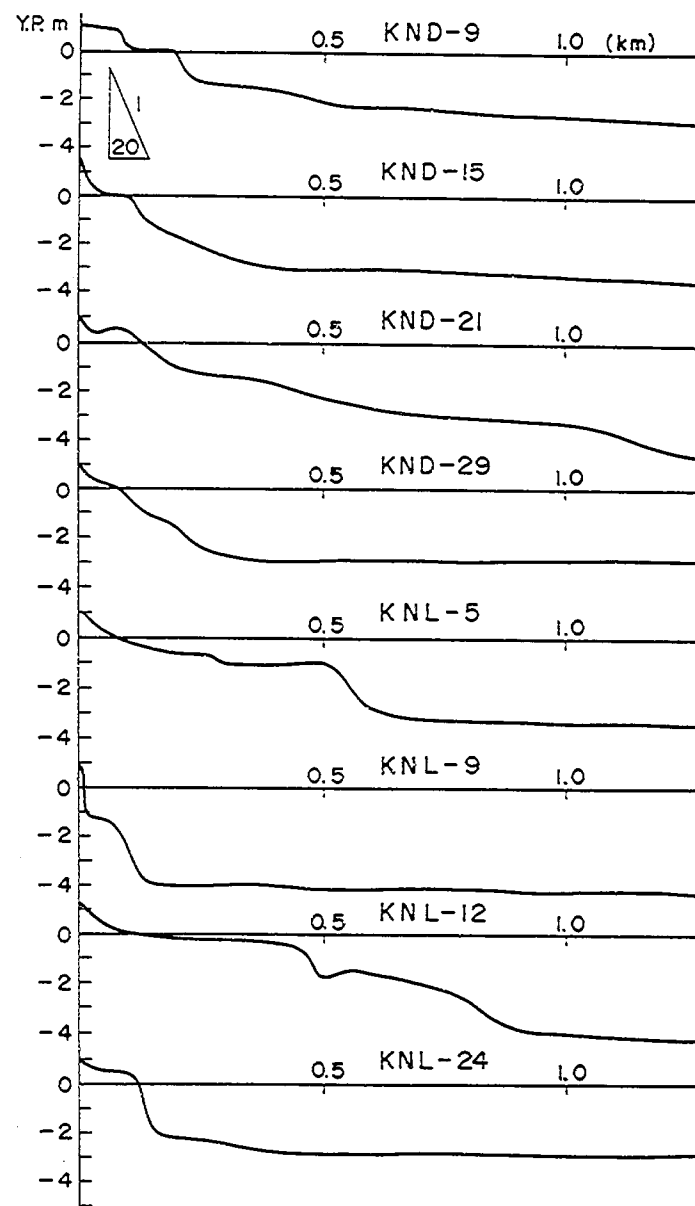
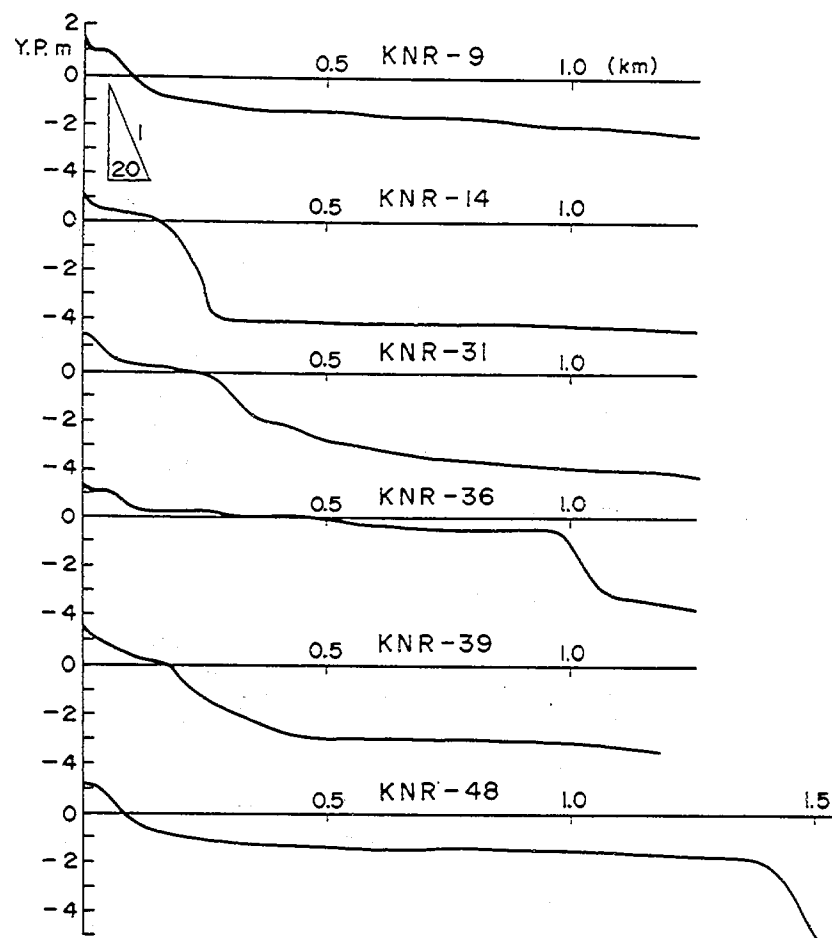
深浅図を調べると、Y.P. 0 m 付近での平坦面はほぼ湖岸全周にみられ、多くは幅が数m～数10 mである。実験に用いる代表断面では平坦面の幅を5 mとした。この平坦面は一種の礁の働きをし、それが広い地域では波浪が減衰し、越波量は小さくなると考えられ

る。そこで、平坦面幅の効果についても別途検討した。②、③の特徴は水位があまり高くなく高波浪が沖合で砕波する場合の砕波条件や砕波変形に影響する。そのため、越波を考える際には無視できない。②、③の特徴をもつ断面としては大岩田と柏崎（図－1.1 参照）を選び、代表断面とした。大岩田の断面図（1979年測量）を図－3.9に、柏崎の断面図を図－3.10に示す。大岩田ではY.P.－1 m、柏崎ではY.P.－2.5 mまで約1/20勾配で深くなり、それ以深では緩勾配になっている。霞ヶ浦において越波を検討するときの水位はY.P. 1～3 mであり、波高は2 m程度である。よって、Y.P. 0 m以深の地形は来襲波の砕波変形に影響する。そこで、実験には大岩田と柏崎の2断面をモデル化して越波量を比較した。モデル化した断面を図－3.9と図－3.10に破線で示す。両断面共に緩勾配部分の斜面はほぼ水平に近い。しかし、実験水路の制約よりあまり緩勾配にはできないため、砕波変形に影響が小さいよう1/50勾配とした。

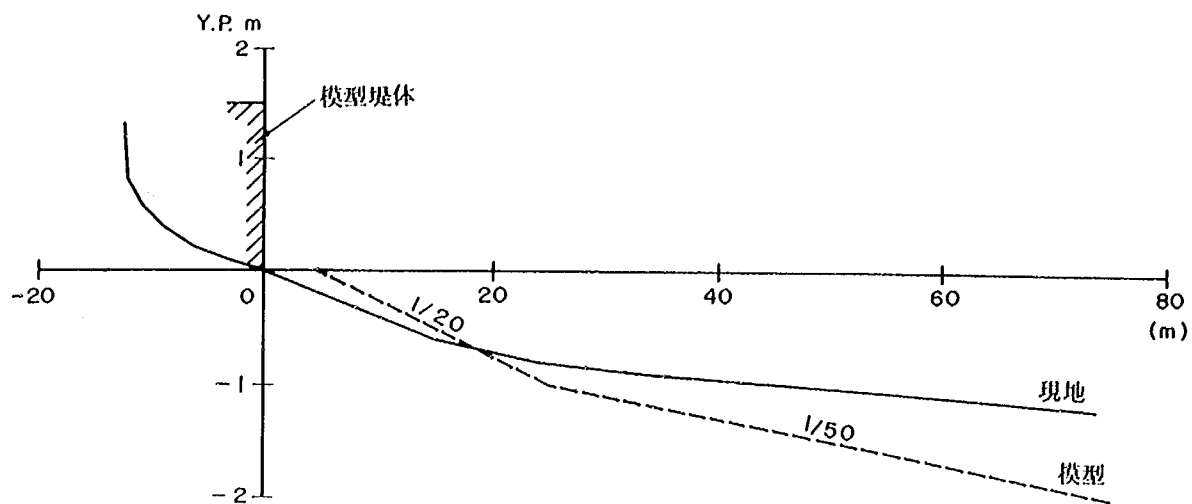
次に、湖岸堤の標準断面を図－3.11に示す。実験ではこの断面の縮尺模型を用いた。但し、裏法は越波量測定を行い易いように直立とした。以上をとりまとめ、実験に用いた模型断面を現地スケールで図－3.12に示す。1/20勾配と1/50勾配の変化点の高さは大岩田断面でY.P.－1.0 m、柏崎断面でY.P.－3.0 mである。



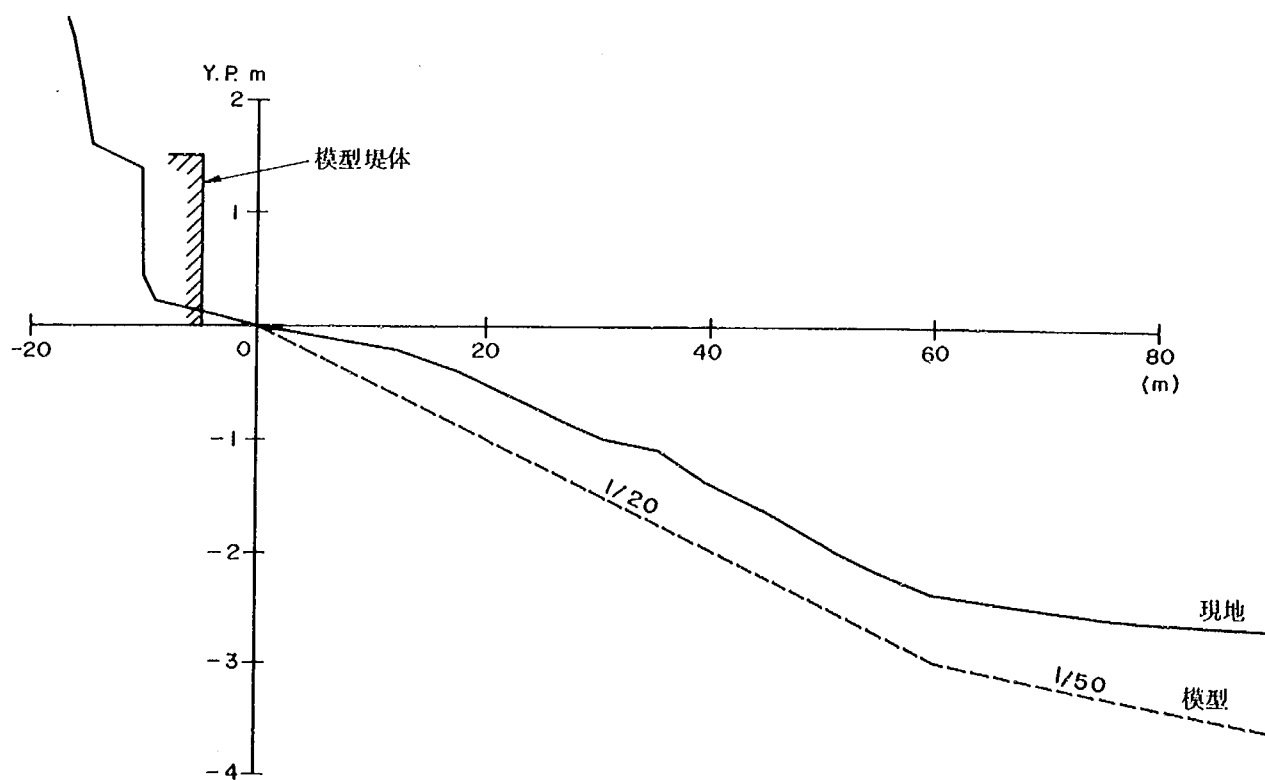
図－3.7 湖岸断面測点



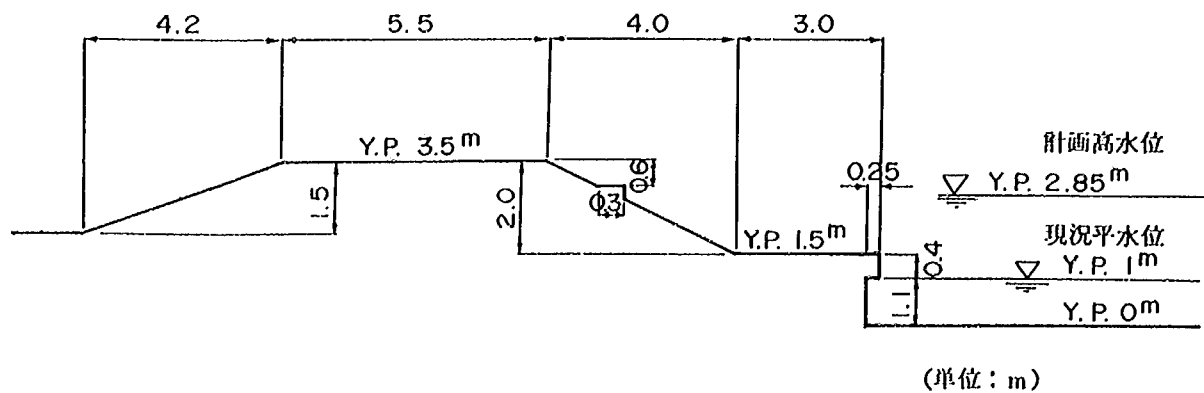
图—3.8 湖岸断面图



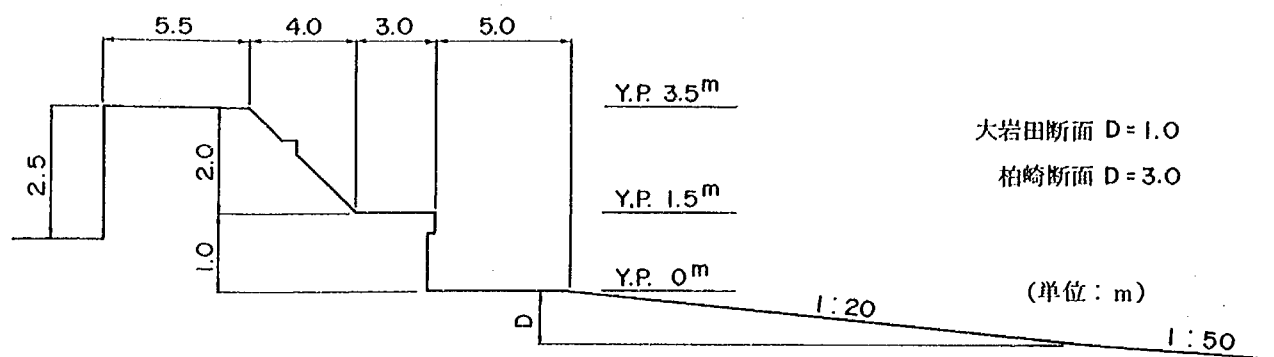
図一 3.9 大岩田断面図 (1979年測量)



図一 3.10 柏崎断面図 (1980年測量)



図一 3.11 湖岸堤標準断面図



図一 3.12 模型断面（現地スケール）

3.2 実験条件の設定

3.2.1 模型縮尺

越波実験においては、表面張力の影響などによる縮尺効果が生じないように、できるだけ高い波高を用いて実験を行う必要がある。特に越波量が少ない場合には表面張力の影響が大きくなる。笹ヶ浦で越波が問題となるのは波高 $0.5\text{ m} \sim 2\text{ m}$ 程度の波浪条件の場合である。波の条件については次節で述べるが、実験では縮尺効果をできるだけ小さくするよう、実験水路の大きさも考慮して、波高 10 cm 程度の沖波を用いるようにした。そのため、模型縮尺には波の条件にあわせて、 $1/6$, $1/10$, $1/16$ 縮尺を用いた。各縮尺の実験模型を図— 3.13 に示す。模型は木製である。

実験に用いた水路は、風の影響を調べることができる風洞付造波水路である。この水路には造波機と送風機が設置されており、波と風を同時に発生させることができる。この水路の諸元は図— 3.14 に示すように長さ 5.2 m 、幅 0.6 m 、深さ 1.2 m であり、風洞部には高さ 0.6 m の矩形ダクトを取り付けることができる。実験では水路の横断方向に一様に縮尺模型を設置した。風を発生させる場合には、造波した波が風の影響を受けないように水路とダクトの境界に仕切板を設けた。仕切板は堤防前面の越波にのみ風を作用させるように、水路の途中から堤防部までを約 $4:70$ の勾配とした（図— 3.14 参照）。ダクトの取り付けは堤防の沖側までとし、堤防上での測定作業が行い易いようにした。

実験にあたっては、縮尺効果を検討するために大型造波水路に $1/2$ 模型を設置して数ケースの越波量測定を行った。縮尺効果の検討は柏崎断面で行った。大型造波水路及び $1/2$ 模型を図— 3.15 に示す。この場合の堤体はコンクリートで製作した。

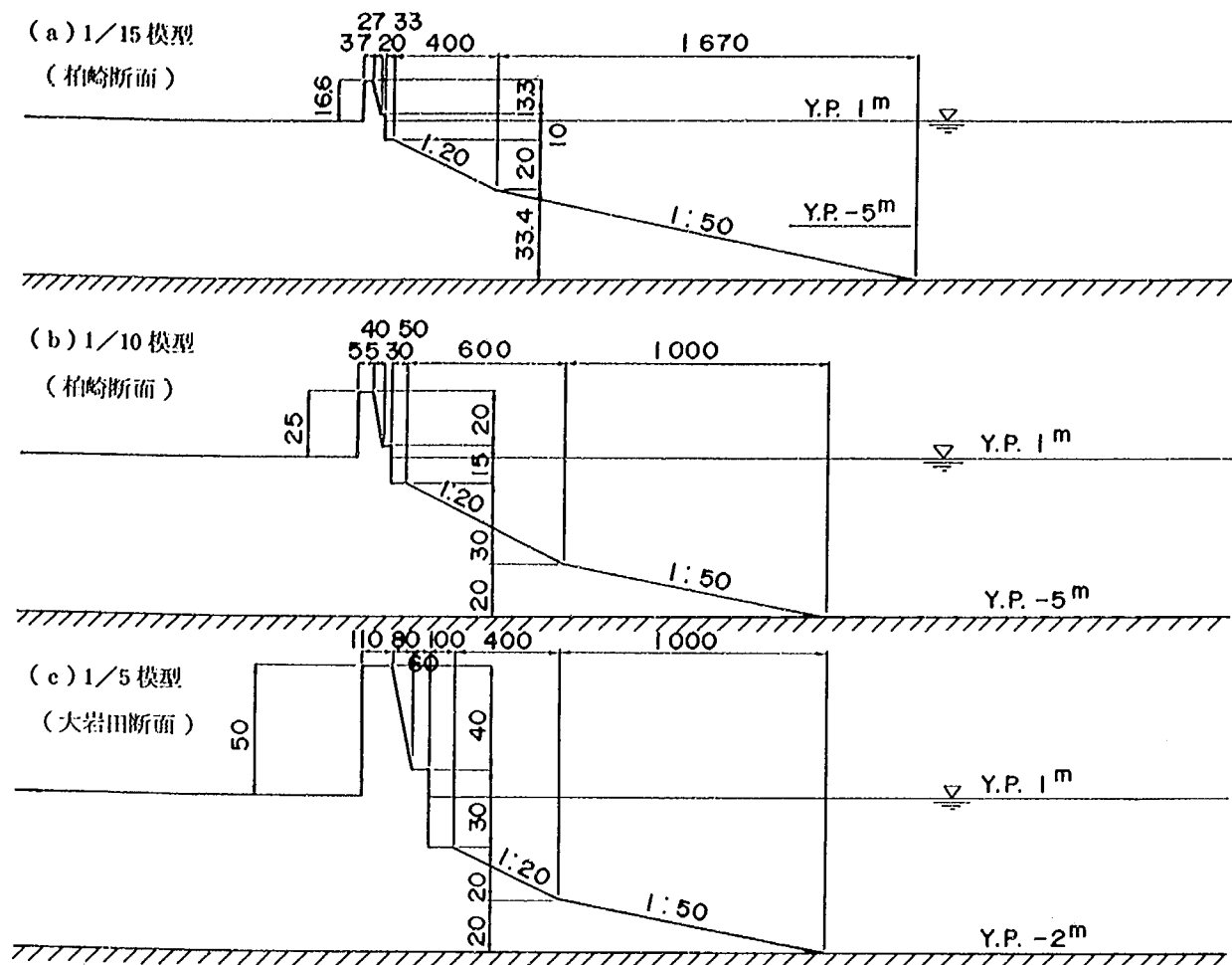


図-3.13 実験模型 (単位: cm)

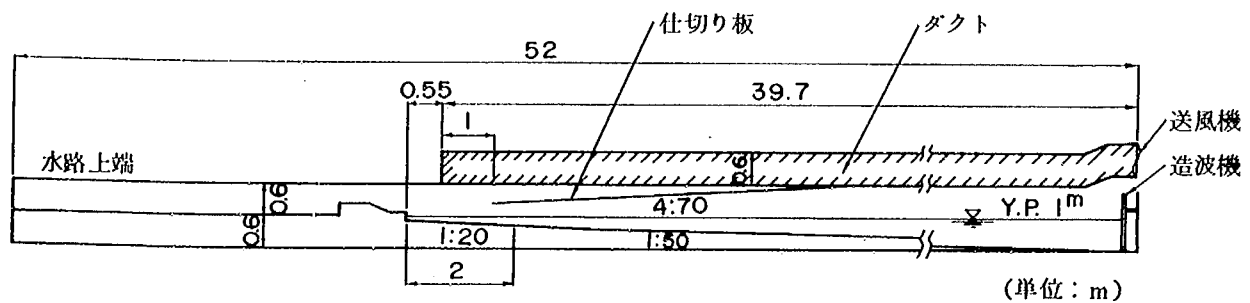


図-3.14 実験水路 (1/10 模型設置状況)

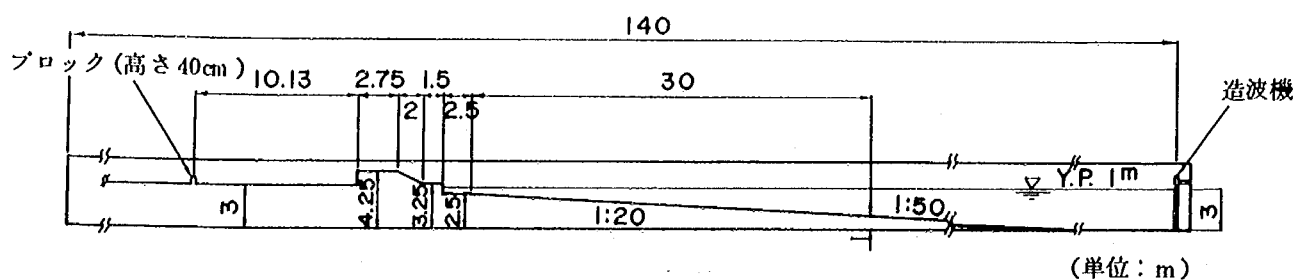


図-3.15 大型造波水路模型設置状況 (1/2 模型)

3.2.2 実験波浪条件の設定

霞ヶ浦における波浪は風波であり、湖に生起する波のエネルギーはごく狭い周波数帯に集中している。また、越波量の算定法を霞ヶ浦全域に適用できるようにするためには、水位、波高、周期、風速を変え広範な条件で実験を行う必要があるが、不規則波で実験を行うには多大な時間を要する。そこで、実験は規則波を用いて行うこととし、波の不規則性の影響については別途検討を行った。

霞ヶ浦における代表フェッチグラフは図-3.4に示すよう既に得られている。越波対策の観点からはフェッチが長い方が重要となるため、図-3.6より判断して代表フェッチを $F=8\text{ km}$ に固定し、実験における波高と周期の関係を定めた。代表フェッチグラフより $H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ の関係は次のように表わされる。

$$T_{1/3} = 4.09 H_{1/3}^{0.375} \quad ; F = 8\text{ km} \quad (3.1)$$

ここに、 $T_{1/3}$ と $H_{1/3}$ の単位はsecと m である。式(3.1)の関係より越波量算定の基本図を求めるための周期の条件を定める。以後 $H_{1/3}$ は湖心周辺(Y.P.-5 m とする)での沖波波高 H とし、 $T_{1/3}$ を基準周期として T_0 とおく。今後のデータの整理にあたっては換算沖波は用いず、入射波として全て湖心波を用いた。

フェッチが変われば波高と周期の関係が変わる。そこで基本図を求めた場合と周期が相違する点は周期の影響として別途算定法にとり入れる。また、基本図は無風状態で作成するために、風による越波量の変化は風の影響として算定法にとり入れる。

次に、水位及び波高条件の設定範囲について述べる。霞ヶ浦における平水位はY.P.1.0 m 、計画高水位はY.P.2.85 m である。また、低水位時においても飛沫が問題となるため、その検討も含め水位の下限はY.P.0.6 m とした。設定の容易さを考慮して、水位 h の設定範囲は $Y.P.0.6\text{ m} \leq h \leq Y.P.2.9\text{ m}$ とした。波高については、0.5 m 程度の波による飛沫が問題となること、高水位時には波高の低い波でも越波量が多いと考えられることから、波高の下限は0.4 m (湖心波高 H)とした。波浪解析²⁾によると、波高は100年確率にして最大2 m 程度である。代表フェッチグラフに $H=2\text{ m}$ 、 $F=10\text{ km}$ を代入すると風速は35 m/s になる。一方、風の解析³⁾では再現期間100年の湖心風速は約30 m/s である。これらのことから、波高の上限はやや高めの2.2 m とした。よって、波高 H の条件の設定範囲は $0.6\text{ m} \leq H \leq 2.2\text{ m}$ である。

越波実験は大岩田断面を中心にして行った。柏崎断面では実験範囲を縮小した。表-3.1、3.2に各々の実験条件を示す。表中には風の影響、飛沫を調べたケースも示した。風の影響と記したケースでは風速を変え5ケースの有風実験を行った。但し、大岩田断面については全ケースについて、基準フェッチ($F=8\text{ km}$)とそのケースの波高より代表フェッチグラフで定まる風速(基準風速 U_0)を用いた有風実験を行った。実験においては、湖岸堤天端上3

m の位置で風速を設定した。また、表一 3.3 に周期の影響を調べた実験ケースを示す。周期は長周期側で越波量が大きくなることから、式 (3.1) で定まる T_0 より長い側に 3 ケース、短い側に 1 ケースの条件を設定した。

$\frac{1}{2}$ 模型を用いた縮尺効果を調べる実験は、水位を Y.P. 2.0 m とし、波高 H を 0.8, 1.2, 1.6 m と変えて 3 ケース行った。

表一 3.1 越波実験ケース (大岩田断面)

○越波量 □風の影響 △飛沫

模型縮尺	水位 Y.P.(m) 波高 H(m)	0.6	1.0	1.3	1.45	1.6	1.7	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9
$\frac{1}{6}$	0.4		△○	○		○		○	○	○	○	○
	0.6	○	○	○		○		○	○	○	○	○
$\frac{1}{10}$	0.8	△○	△○□	△○		△○	○	□○	○	○	□○	○
	1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	1.2	△○	△○□	△○	○	△○	○	□○	○	○	□○	○
	1.4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
$\frac{1}{15}$	1.6	△○	△○□	△○	○	△○	○	□○	○	○	□○	○
	1.8	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
	2.0	△○	△○	○		○		○	○	○	○	○
	2.2							○	○	○	○	○

表一 3.2 越波実験ケース(柏崎断面)

○越波量 □風の影響 △飛沫

模型縮尺	水位 Y.P. (m)						
	波高 H(m)	1.3	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6
$\frac{1}{10}$	0.8	○△	○	○	○△	○	○
	1.2	○△	○□	○	○△□	○	○□
$\frac{1}{15}$	1.6	○△	○	○	○△	○	○
	2.0	○	○□	○	○□	○	○□

表一 3.3 周期の影響実験ケース

○…無風
□…有風

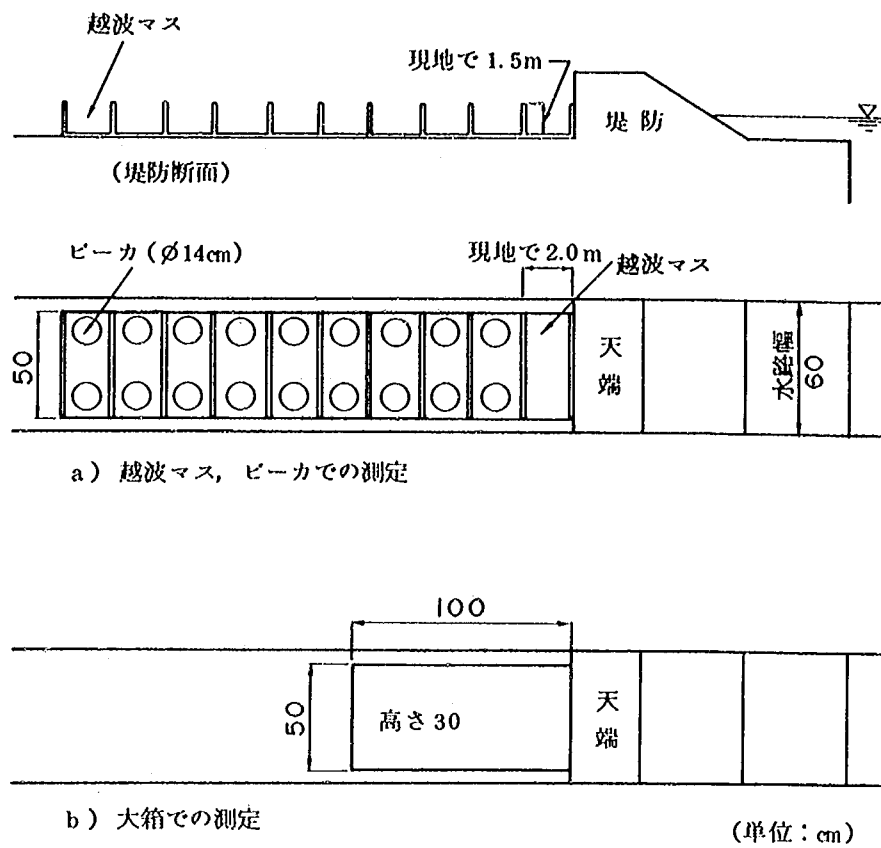
模型縮尺	水位 Y.P. (m)		1.3	1.6	2.0	2.6
	波高 H(m)					
$\frac{1}{10}$	0.8	T (sec) 7.16	○	○	○	○
		5.06	○	○		○
		4.13	○	○	○	○
		3.26	○	○	○	○
	1.2	8.77	○	○□	○	○□
		6.20	○	○□	○	○□
		5.06	○	○□	○	○□
		3.92	○	○□	○	○□
$\frac{1}{15}$	1.6	10.13	○	○	○	○
		7.16	○	○	○	○
		5.85	○	○	○	○
		4.53	○	○	○	○
	2.0	11.32	○	○□	○	○□
		8.01	○	○□	○	○□
		6.54	○	○□	○	○□
		5.06	○	○□	○	○□

4. 実験方法

一般に、越波実験では多重反射の影響を除くために、造波板からの反射波が堤体に達する以前に測定を終了する方法がとられる。この方法での測定時間(= $2 \times \text{水路長} / \text{波速}$)は十分に長くないと越波する水量が少なく、精度の良い越波量の測定を行うことができない。そのため、越波量が少ない場合には長時間測定することによって越波する水量を確保し、多重反射の影響を平均化した。越波量の測定方法は以下の通りである。越波量は合田⁴⁾にならって越波流量として取り扱う。その単位は $m^3/m \cdot \text{sec}$ である。

- ① 堤防に打ち上がる波が天端を越えることなく、飛沫だけが天端を越える場合には図— 4.1 a) に示すピーカを用いて越波水量を測定した。越波流量はピーカ内に付着した飛沫量を電子天秤で 0.005 g 単位で読みとり水量を求め、さらにピーカの占める面積と測定時間により単位幅流量に換算し求めた。この場合の測定波数は約 100 波である。飛沫が遠くへ飛散する場合は、ピーカを移動させ数回に分けて測定を行った。
- ② 波が堤防を乗り越え越波する場合には図— 4.1 a) に示す越波マスを用い、越波した水量を測定した。越波マスの幅は 50 cm であり、長さとは高さはそれぞれ現地量で 2 m と 1.5 m として模型縮尺にあわせたものを用いた。水量はメスシリンダにより 1 cc 単位で読み取った。越波マスの設置範囲より陸側に飛散する飛沫量はピーカを用いて測定した。この場合の測定波数は 10 ~ 50 波である。
- ③ 越波量が多い場合には 2 回の測定を行った。1 回目は、図— 4.1 b) に示す大箱(幅: 50 cm, 長さ 100 cm, 高さ 30 cm, 容量 150 l)を用いて越波水量を測定した。水量はメスシリンダにより 10 cc 単位で読みとった。この場合の測定波数は 5 ~ 20 波である。2 回目は大箱の背後へ越波する水量を②と同じ方法で求め、1 回目の水量に加算した。1/4 模型の場合は、図— 3. 15 に示したように堤背後 10.13 m の地点にブロックを積み、越波した水をためる水槽を製作した。そこに薄く水を張り、水位変化量を測定して越波水量を求めた。

波高の測定には容量式波高計を用いた。入射波高の測定は全て Y.P.—5 m 位置で行った。但し、1/4 模型では水路床が Y.P.—2 m になるため、ここでの値を Y.P.—5 m に換算した。風速は白金線を用いた熱式風速計(プローブ受感部の直径 5 mm)により測定した。なお、飛沫の測定方法は 5.3 で述べる。



図－4.1 越波量測定容器

5. 越波流量算定法

5.1 基本図

大岩田断面での越波流量の算定結果を、横軸に H 、縦軸に越波流量 q をとって図-5.1に示す。図は、水位 h をパラメータとした結果を表わす。以後の図において、特に断わりのない限り単位は現地量とする。越波流量 q が $10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ 程度より大きい場合には、波は堤防を乗り越える。よって、 $q = 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ を越波発生の目安とすることができる。 $h < \text{Y.P. } 1.3 \text{ m}$ 以下ではほとんど越波が生じないことがわかる。 q が小さ過ぎるため、 $h < \text{Y.P. } 1.3 \text{ m}$ ではデータがかなりばらついている。しかし、これらのデータの q は防災上あまり問題のない値であるため、ばらつきの修正は行わなかった。一方、 h が $\text{Y.P. } 1.45 \text{ m}$ になると $H = 1.2 \sim 1.4 \text{ m}$ で $q \geq 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ になる。このように水位のわずかな差で越波流量に差が生じたのは、高さ $\text{Y.P. } 1.5 \text{ m}$ の前小段の存在によると考えられる。水位が上がり、前小段を波が容易に乗り越えられるようになったために q が増加したと考えられる。 $h = \text{Y.P. } 1.6 \text{ m} \sim 1.8 \text{ m}$ では $H \leq 1.2 \text{ m}$ で q の値がほぼ等しく、一部水位の低い方が q の大きなデータもある。これは、合田らが越波流量を求める際の誤差範囲について述べているように⁵⁾、 $q = 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ 程度では越波流量の測定に $0.4 \sim 2$ 倍のばらつきが想定されること、 $q = 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ 程度は波が堤防天端を乗り越える限界であるため、わずかな波の設定条件の差で q が異なってくることによると考えられる。 $h = \text{Y.P. } 1.8 \sim 2.0 \text{ m}$ では $H = 1.6 \sim 1.8 \text{ m}$ で q が最大となり、その値は $q = 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ に近い。さらに水位が高くなり、 $h \geq \text{Y.P. } 2.3 \text{ m}$ では $H \geq 1.4 \text{ m}$ で $q \geq 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ となる。 $10^{-1} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ という値は、幅 10 m にわたって1時間越波が生じると仮定すれば、実に3万6千トンの水が堤内に入り込むというものであり、合田による一面張り堤防の被災目安⁴⁾ $q = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ をはるかに越えた値である。

次に、柏崎断面での越波流量の測定結果を白ぬきのマークで図-5.2に示す。また、同じ波高、水位条件での大岩田断面での結果を黒ぬきのマークで示した。両者は H の変化による q の変化などの基本的な傾向はほぼ等しいが、全体的に大岩田断面の方が q は大きい。特に $h = \text{Y.P. } 1.6 \text{ m}$ と 1.8 m での差が大きく、柏崎断面では $\text{Y.P. } 1.3 \sim 1.6 \text{ m}$ の範囲において q の変化が大岩田断面ほど急激ではない。一方、 $h \geq \text{Y.P. } 2 \text{ m}$ での差はあまり大きなものではない。この差が生じた原因としては、測定の誤差に加えて次のことが考えられる。水位がある程度低い場合には、湖岸堤沖で砕波が生じるため、地形の違いが入射波の砕波変形に影響し、湖岸堤に来襲する波の特性が変わる。 $q = 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ 程度は天端を波が乗り越える限界にあり、このようなわずかな来襲波の違いによって q が大きく変わったと考えられる。

以上のように、大岩田断面と柏崎断面とで越波流量に差が生じたため、越波流量の基本図をどちらのデータを用いて作成するかが問題となる。ここでは、以下の2つの理由より柏崎断面での結果を基本図を作成するためのデータとした。

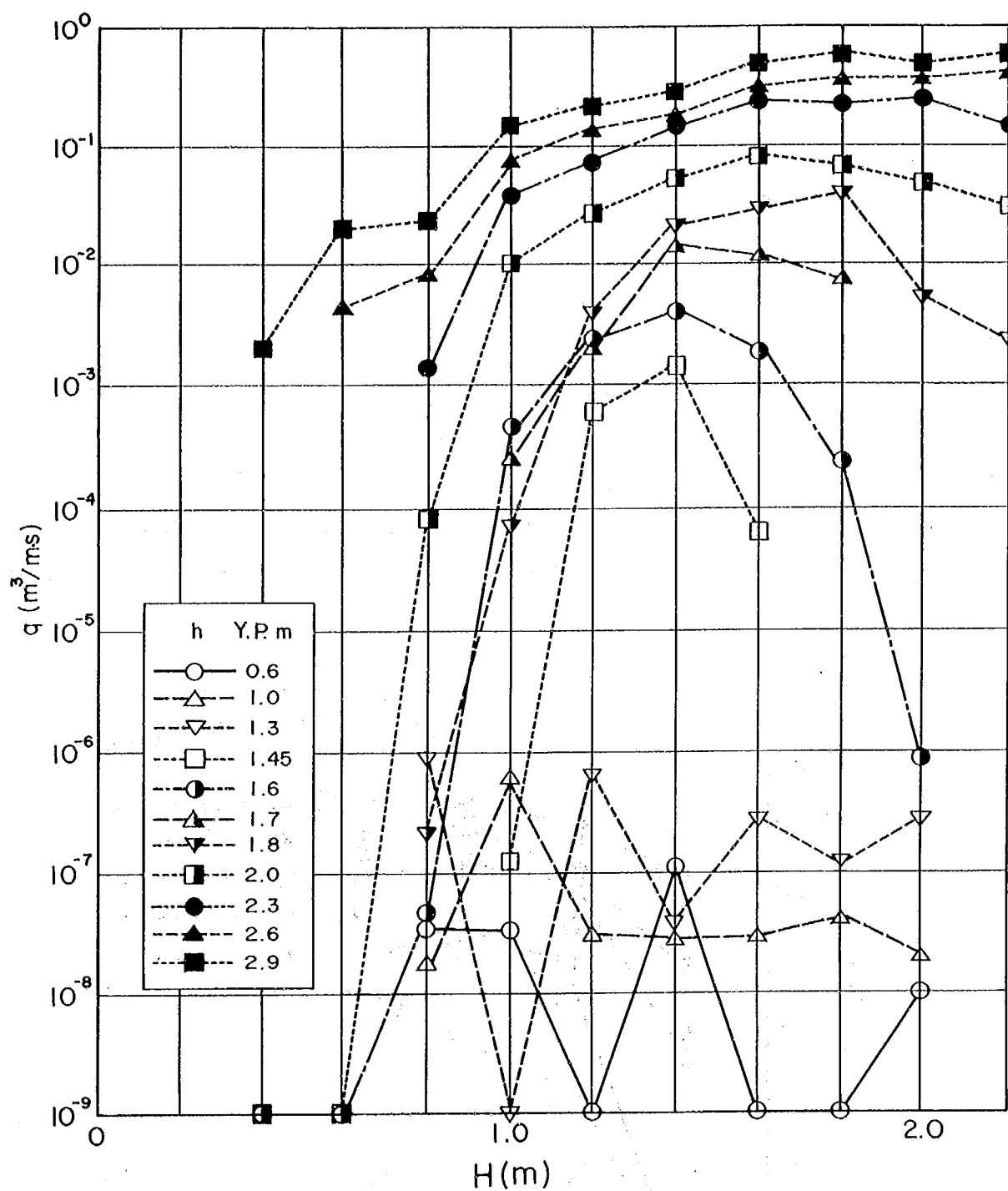


図-5.1 大岩田断面での越波流量図

- ① 霞ヶ浦の深浅図によると、大岩田型の断面でフェッチが長く越波が問題となる地点は土浦周辺にのみ限られる。
- ② 高水位 ($h \geq Y.P. 2.0 m$) 時の越波流量の差は小さい。また、実用性を考えた場合、 $h \leq Y.P. 1.8 m$ はあまり重要ではない。大岩田型断面の地域で設計条件が $h = Y.P. 1.6 \sim 1.8 m$ になった場合には別途に検討すればよい。

柏崎断面のデータをもとに、高水位および $h = Y.P. 1.0 m$ については大岩田断面のデータを参考にして作成した越波流量算定基本図を図-5.3に示す。この図より求められる越波流量を基準越波流量 q_0 とする。

ここで縮尺効果について述べる。 $1/2$ 模型実験の結果を $1/6$ 模型での実験結果とあわせて図-5.4に示す。実験は柏崎断面で行った。 $H = 0.8 m$ と $1.6 m$ で $1/2$ 模型の方が q は大きい、 $H = 1.2 m$ ではほぼ等しく、縮尺効果が表われているとは判断できない。 $H = 0.8 m$ では1オーダーの違いがみられる。 q が小さいと表面張力の影響が大きいことから、 q が $10^{-4} m^3/m \cdot s$ 程度の場合には縮尺効果による違いが生じると考えられる。 $1/2$ 模型では越波した水をため、その水位変化量から越波水量と求めているので、 $H \geq 1.2 m$ では水量測定上の誤差が大きいと考えられる。この点を考慮すると、越波が防災上問題となるような場合には q の測定における縮尺効果は小さいと判断できる。

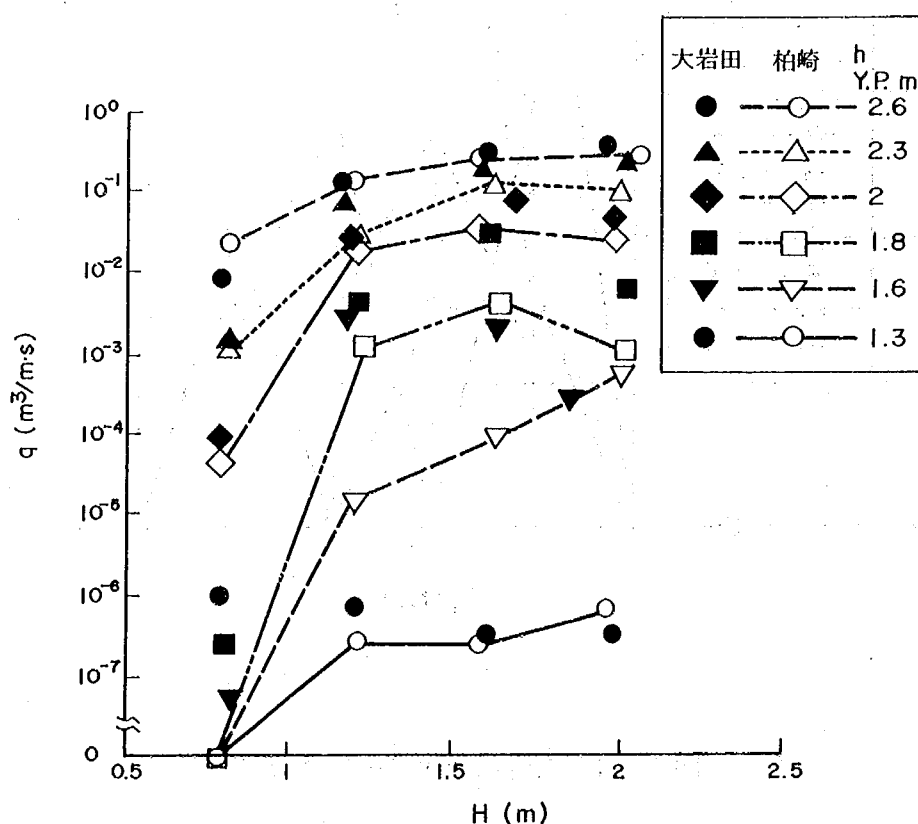
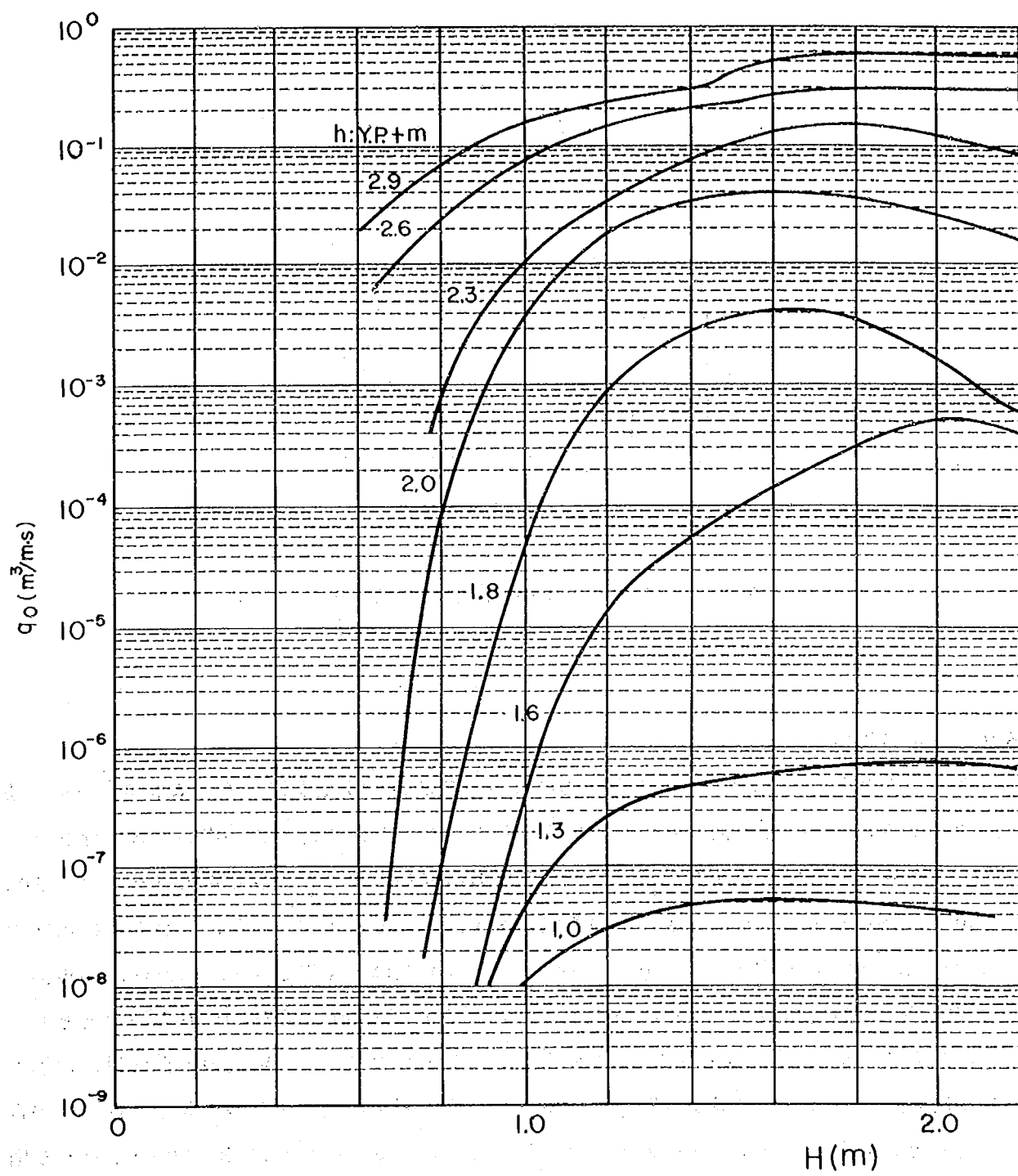
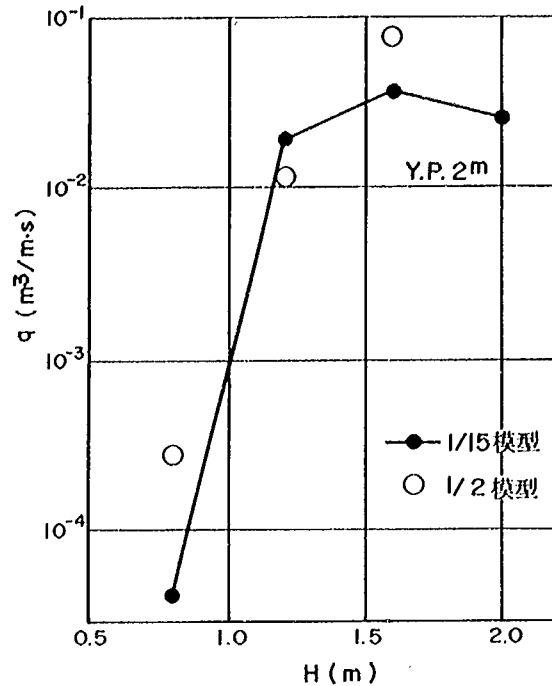


図-5.2 柏崎と大岩田断面での越波流量の比較



图一 5.3 越波流量算定基本图



図—5.4 1/2 模型と 1/15 模型での越波流量の比較

5.2 地形の影響

地形の影響として Y.P. 0 m の平坦面幅による越波流量の変化を述べる。基本図を求める実験では Y.P. 0 m の平坦面幅 B は 5 m に固定した。しかし、平坦面幅が広い場合には $B = 1000$ m 近くまで及ぶ断面もある。ここでは B の違いによる q の変化を調べる。 $B = 50, 100, 150$ m と変化させたときの q の測定結果を図—5.5 に示す。水位、波高の条件は図中に示した。 $h = \text{Y.P. } 1.6$ m では $B = 50$ m になると越波は全く生じない。これは、平坦面上で波浪が効果的に減衰しているためである。 $h = \text{Y.P. } 2.0$ m では全体的に B の増加とともに q は減少するが、 $B = 50$ m より 100 m の方がやや q が大きい。水路内の多重反射に起因する長周期波の周期が、平坦面の幅によって定まる平坦面上の固有振動の周期と一致する場合に共振現象を生じ、越波量を増大させたことも考えられる。このように $B = 100$ m での q の増加は実験固有の現象とも考えられるが、主たる原因は明らかではない。波高、水位ともに大きくなるほど B の影響は小さくなる。 $h = \text{Y.P. } 2.6$ m では B の増加による q の減少量は小さい。これは平坦面沖で砕波が生じず、 B の変化が波の変化に関係しないためである。しかし $h \leq \text{Y.P. } 2.0$ m では B は q にかなり影響するため、 B が 20 ~ 30 m より大きい地点ではこの図を参考にして q を補正する必要がある。

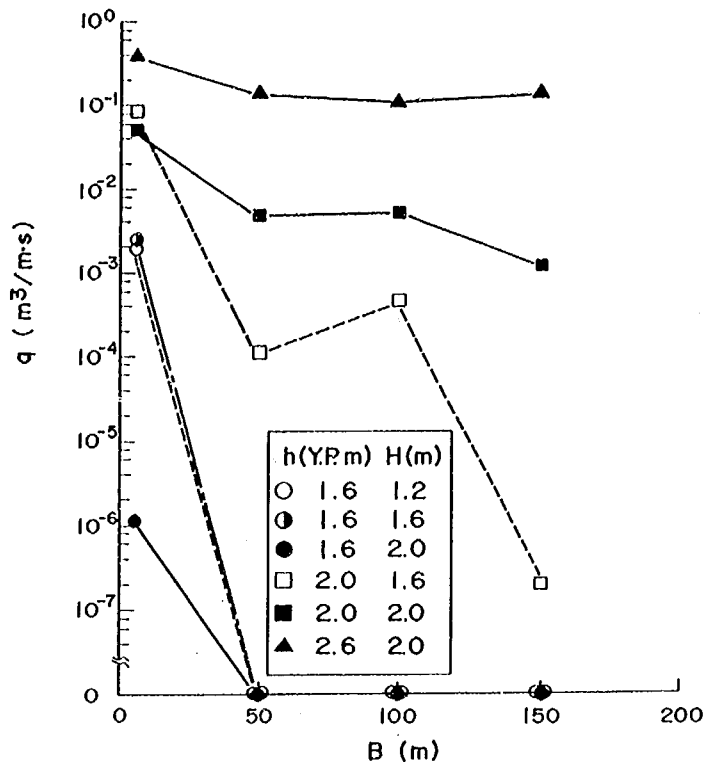


図-5.5 Y.P. 0 m の平坦面幅の影響

5.3 風の影響

風による越波量の変化を調べる前に、まずダクト内での風速分布を調べた。測定は図-5.6 a)に示すように仕切り板の斜面部の末端近く (A-A'断面)、および水平部 (B-B'断面)で行った。測点配置をb), c)に示す。測定結果によると、水平部 (B-B'断面)ではやや下部の方が風速は大きい、ほぼ上下対称の分布形になっている (図-5.7)。また、沖へ向かって左右の測線の値を比較すると、5%程度左側の方が風速は大きい、これもほぼ左右対称と判断できる。斜面部の末端 (A-A'断面)では、ほぼ上下左右対称の風速分布をしていることがわかる。特に斜面が漸拡することの影響は生じていない。ただし、左右の壁面付近では中央測線に比べ35%程度風速が小さくなっている。このようにダクトから堤防上に吹く風は側壁の影響をかなり受けている。そこで模型上でも風速分布を測定した。図-5.8に $1/60$ 模型の場合の模型上風速分布を示す。X=-9 m, -4.5 m共にやや左右の壁面近くで風速が小さくなっているもののその差はあまり大きくない。また、鉛直方向にもほぼ一様な分布であり、堤内側への距離による風速の減少もあまり大きくない。よって、この状態で越波に対する風の影響を調べることに問題はないと判断した。

大岩田断面における風の影響を調べる実験の結果を波高ごとに図-5.9 a)~l)に示す。図は風速を横軸とし、hをパラメータにしてプロットしてある。各図よりhは風速の増加と

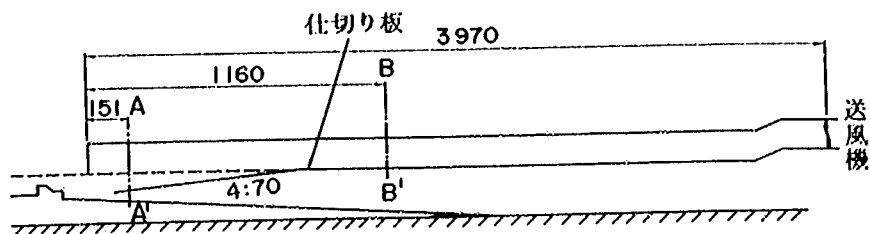
ともに指数関数的に増加することがわかる。増加の割合は g が小さいほど、すなわち h および H が小さいほど大きい。風速の影響を越波流量の算定に取り込むためには、風速と越波流量の関係を数式化しておくことが便利である。そこで、 h と H をパラメータに U の関数として g を数式化し、基準越波流量 g_0 の補正式を作成した。図より g と U は片対数グラフ上で直線関係を示し指数関数関係($g = e^{bu}$)になることがわかる。指数関数の係数 b は h と H をパラメータとして表わすことができる。作成にあたっては $g > 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ の高水位、高波浪時に適合性が良くなるように注意した。その結果、次の式が求まった。

$$g = Ku g_0 = e^{bu} g_0 \quad (5.1)$$

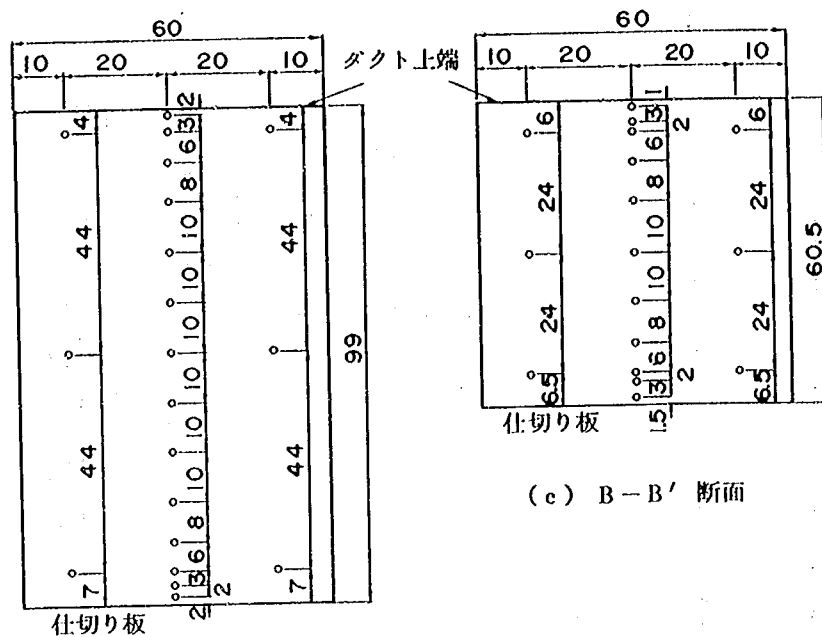
$$b = \begin{cases} 1.31 e^{-2.41h + (2.23 - 0.278h)H^{-3}} & g_0 \geq 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} \\ 10^{0.698H - 1.47} & \text{かつ } b < 10^{0.698H - 1.47} \\ 0.17 & g_0 \geq 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} \\ & \text{かつ } b \geq 10^{0.698H - 1.47} \\ & g_0 < 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s} \end{cases}$$

ここに Ku : 風の補正係数。

補正式によって求まる g を図-5.9 a) ~ j) に種々の直線で示した。 $g_0 < 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ の一部を除いては式の適合性は良く、実用上十分な精度をもつことがわかる。基準越波流量は柏崎断面を基本としているため、柏崎断面において風の影響を調べ、この補正式の適合性を確認した。その結果を図-5.10 a), b) に示す。この場合でも、補正式は十分な適合性をもつことがわかる。



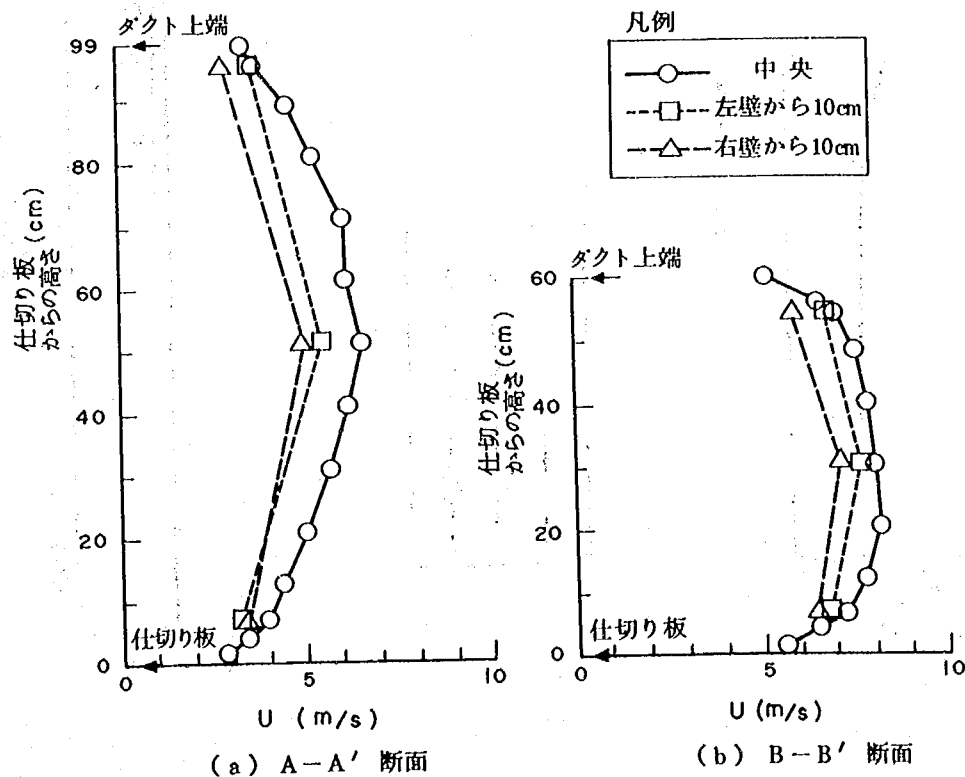
(a) 風速測定断面



(b) A-A' 断面

(c) B-B' 断面

図-5.6 ダクト部風速分布測定点 (単位: 模型cm)



(a) A-A' 断面

(b) B-B' 断面

図-5.7 ダクト部風速測定結果

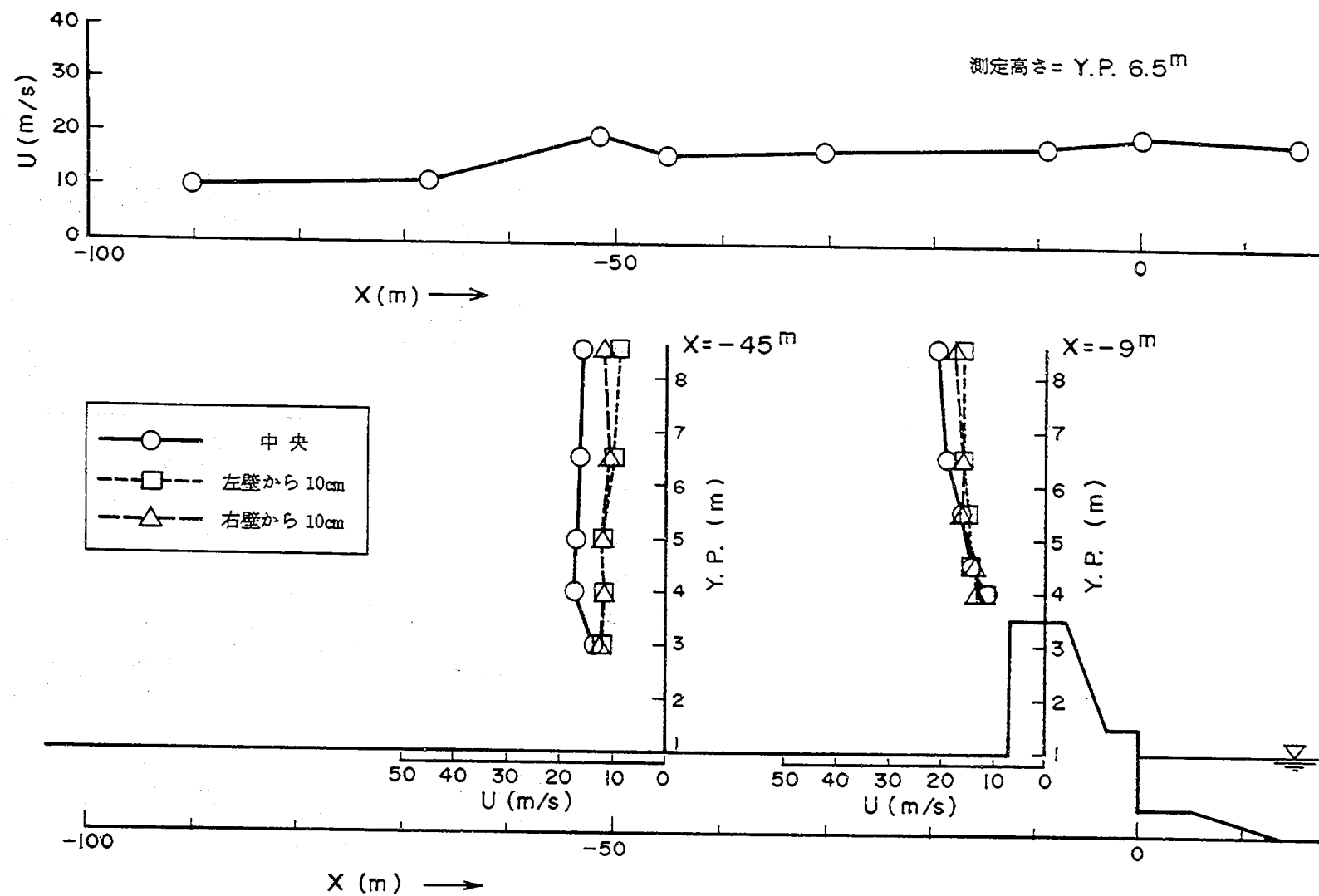
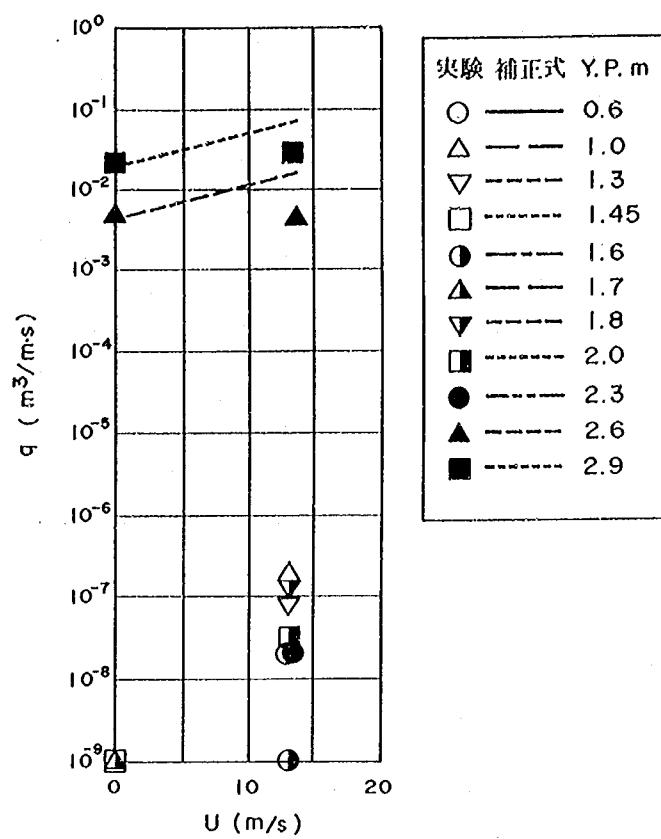
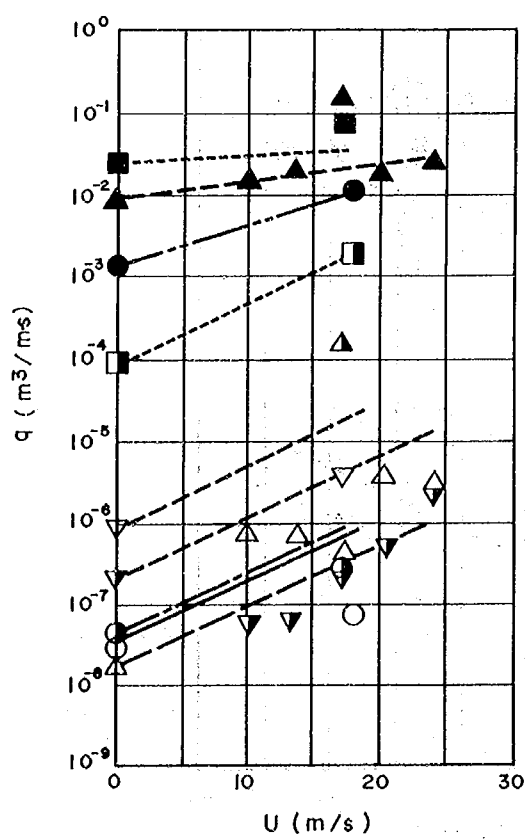


図-5.8 模型上での風速分布 (1/10 模型)

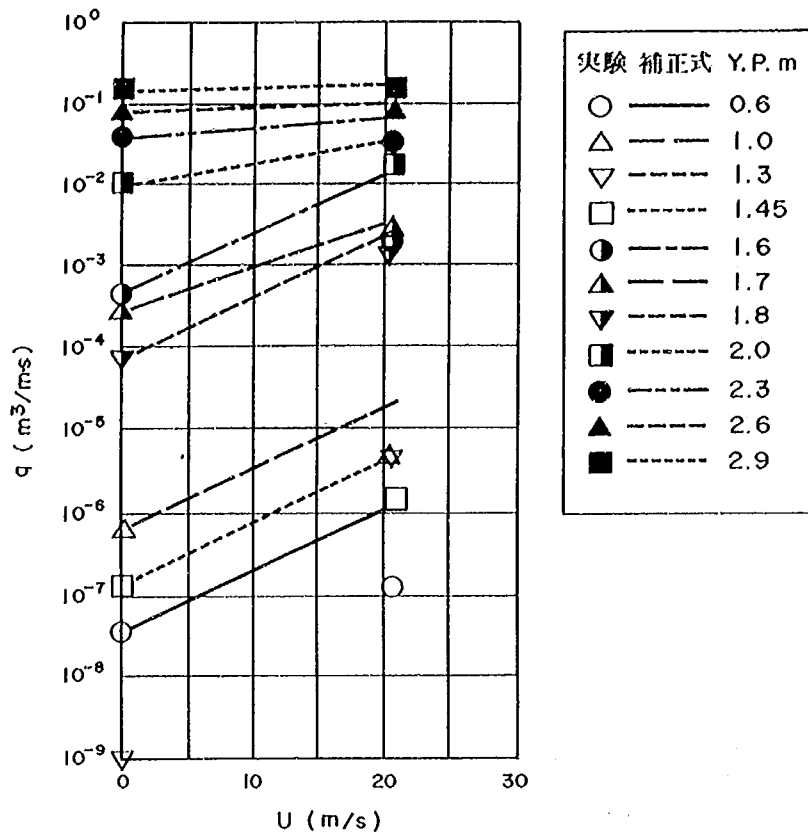


a) $H = 0.6 \text{ m}$

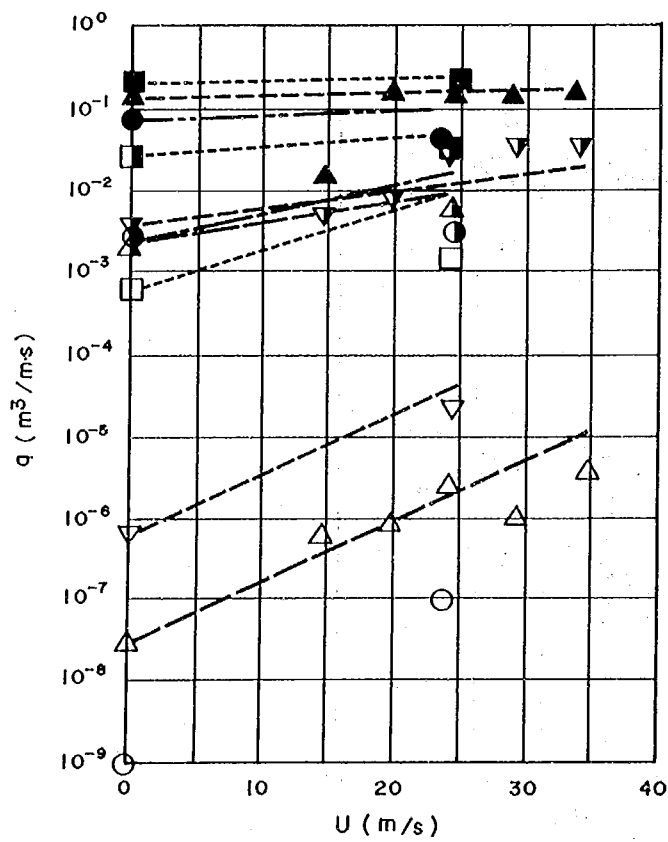


b) $H = 0.8 \text{ m}$

図-5.9 風の影響(大岩田)



c) $H = 1.0 \text{ m}$



d) $H = 1.2 \text{ m}$

図-5.9 風の影響(大岩田)

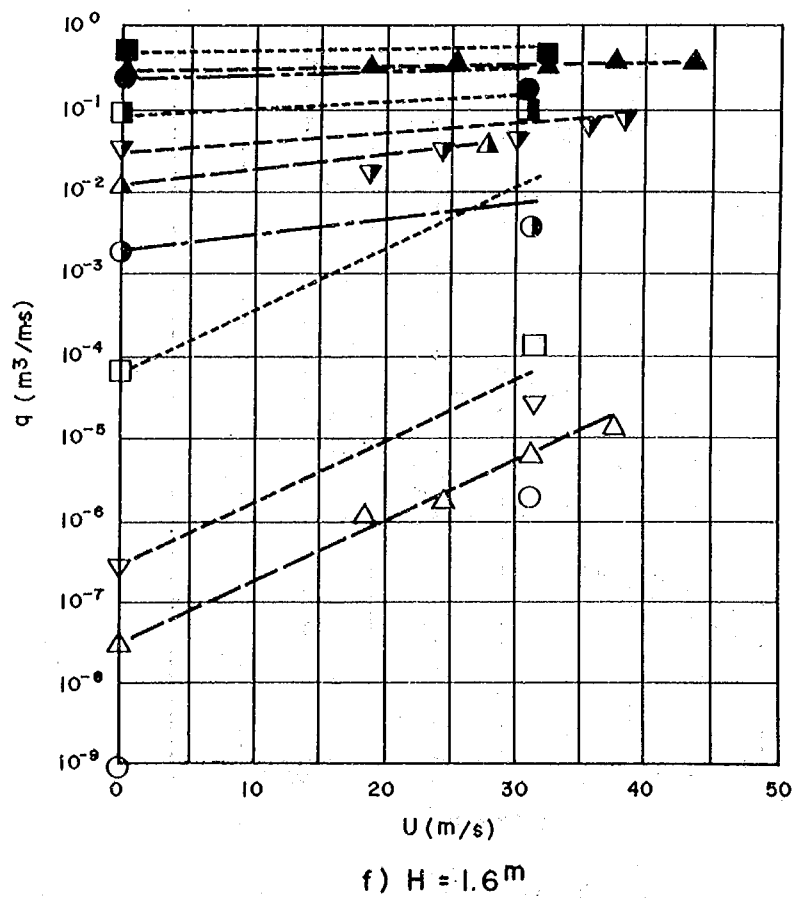
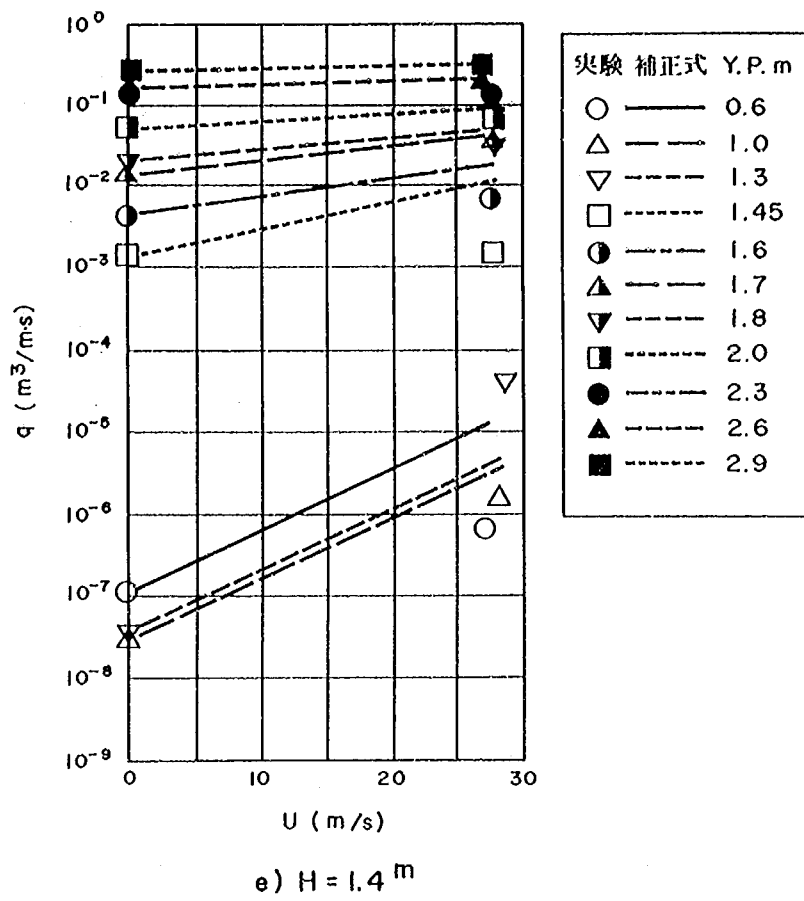


図-5.9 風の影響(大岩田)

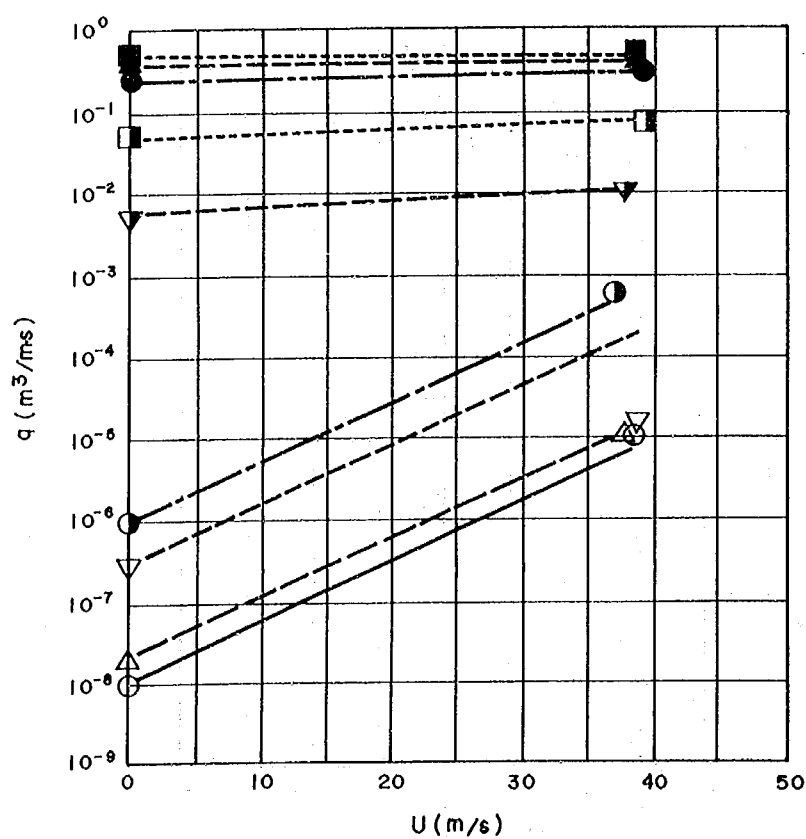
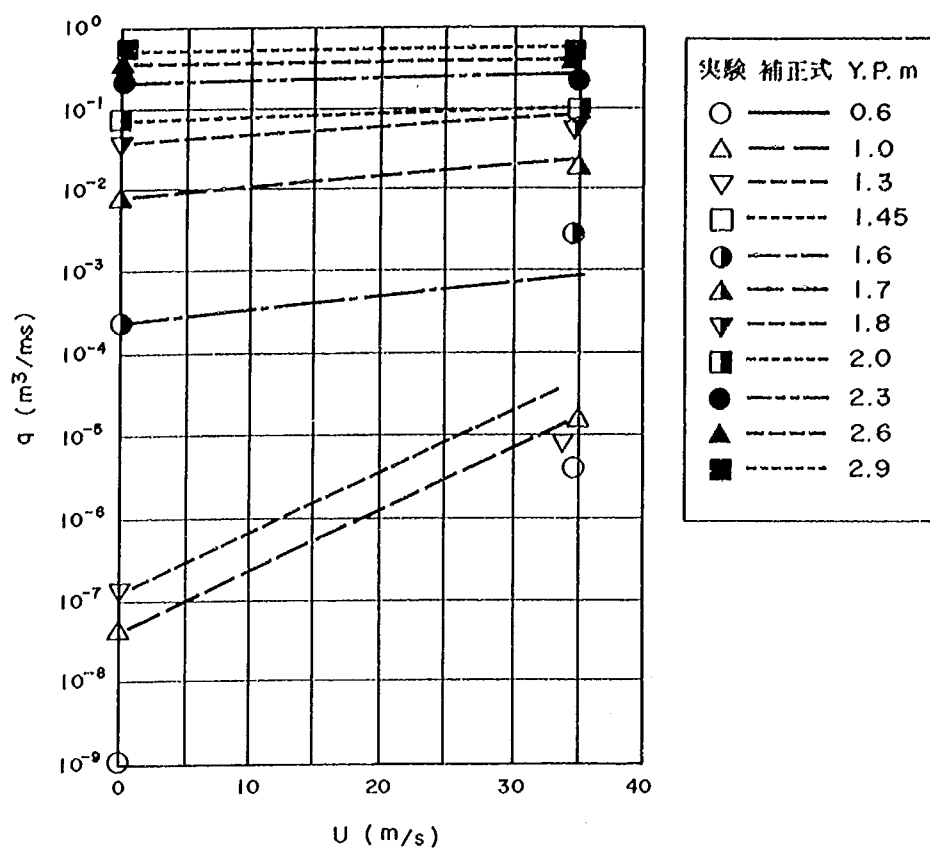
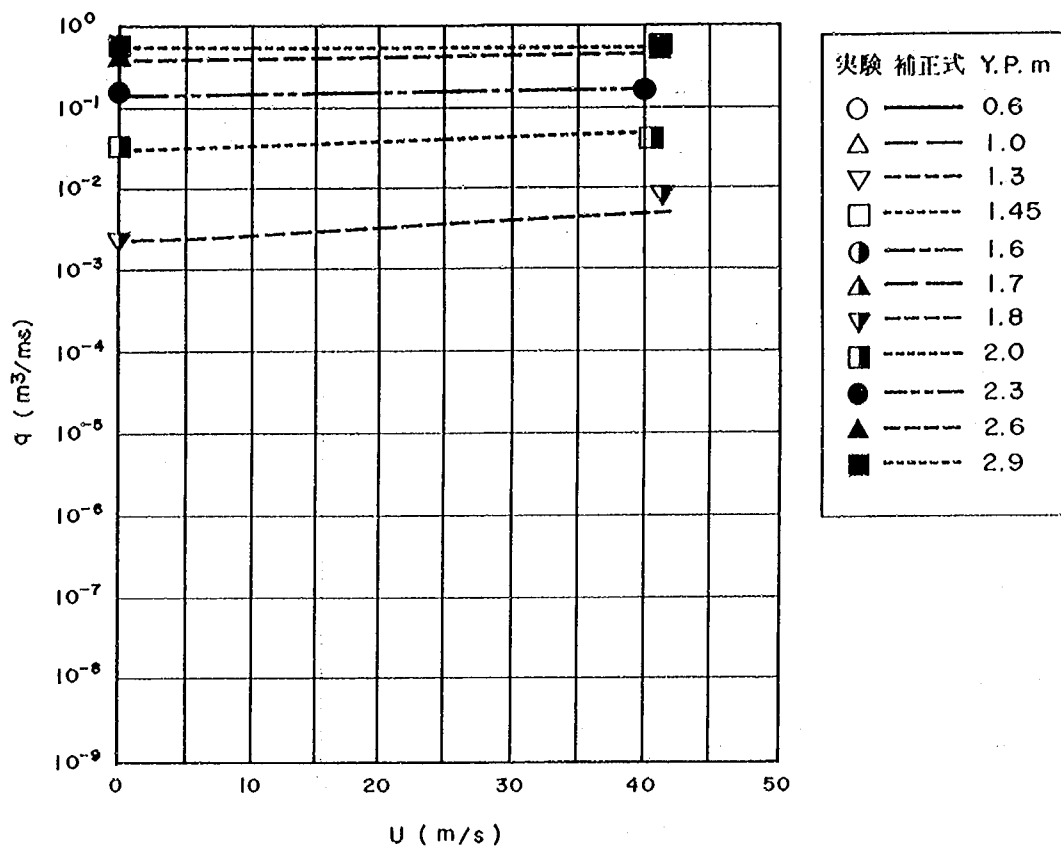
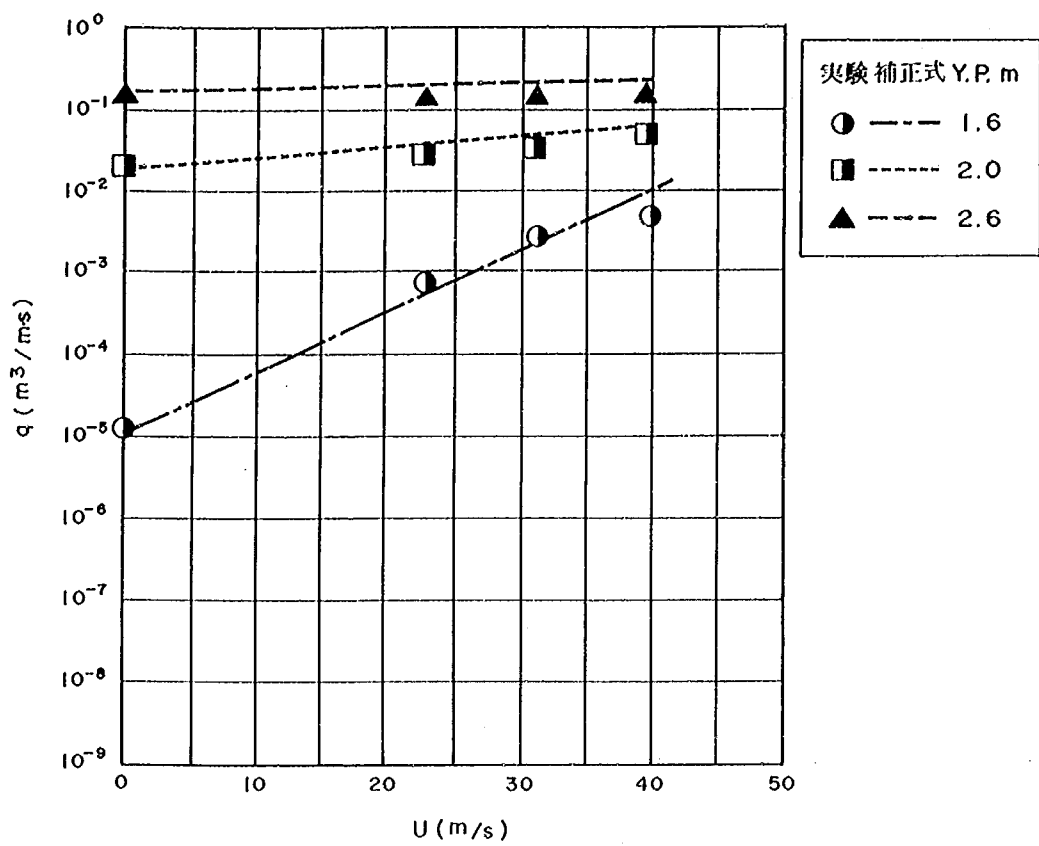


図-5.9 風の影響(大岩田)

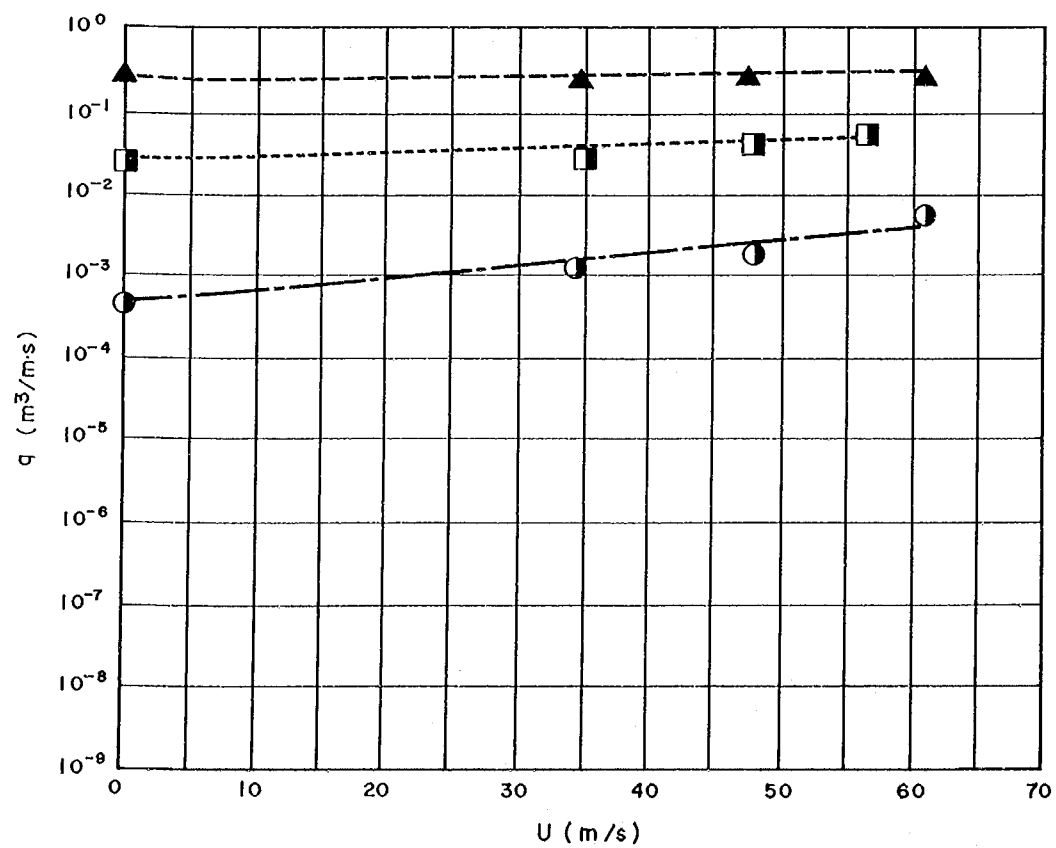


i) $H = 2.2 \text{ m}$

図-5.9 風の影響(大岩田)



a) $H = 1.2 \text{ m}$



b) $H = 2.0 \text{ m}$

図-5.10 風の影響(柏崎断面)

5.4 周期の影響

周期の影響を調べるためのパラメータとして、ここでは湖心波高 H を沖波波長 L_0 で無次元化した波形勾配 H/L_0 を用いる。本来は波長も湖心値に換算すべきであるが、このパラメータは求め易く、湖心での波高は水深の影響をあまり受けていないので波形勾配としても有効なものと考えられる。表一 3.3 に示した実験ケースの結果を、水位ごとに H/L_0 を横軸にして図 5.11 a) ~ d) に示す。各図は波高をパラメータとしてプロットしてある。データは各波高ごとに 5 点あるが、このうち基準周期に対応したデータを黒ぬりで示した。 H/L_0 が小さいほど φ は大きくなり、変化の割合は水位、波高が小さいほど大きい。特に $h \leq Y.P.$ 1.6 m では周期の影響を無視することはできない。そこで、風の影響と同様に補正式を求めることにした。基準周期よりも短い周期で φ はやや減少する。しかし、その変化は大きなものでなく、大きい変化を示す場合は φ の絶対値そのものが小さい。そこで、基準周期より短い周期に対する補正は考えないことにした。また、周期が長くなっても $\varphi < 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ のケースについては補正を考慮しない。その領域を示すと図一 5.12 の通りである。この領域のケースを除いて、基準周期 T_0 での波形勾配と各ケースの波形勾配の比 r_{H/L_0} を横軸に、 φ_0 と各ケースの φ との比 K_T を縦軸にして図一 5.11 を描き直すと、図一 5.13 a) ~ d) となる。これらのデータに全体的に適合する補正式を求め、図中に実線で示した。図より K_T は r_{H/L_0} の指数関数形になると考えられるが h および H によって係数が異なるため、 h と H をパラメータとして補正式を求めた。図より補正式は全体的にデータを良く再現していることがわかる。補正式を以下に示す。

$$\varphi = K_T \varphi_0 \quad (5.2)$$

$$K_T = 10^{b_1 + b_2}$$

$$b_1 = 12.2(1 - r_{H/L_0})^{0.68} (1/h^3 - 0.04)$$

$$b_2 = 108(1 - r_{H/L_0})/h^7 |2 - H|^{(h^2 - 0.8)}$$

$$r_{H/L_0} = (H/L_0)_e / (H/L_0)_f$$

ここに K_T : 周期の補正係数
 $(H/L_0)_e$: 各ケースの波形勾配
 $(H/L_0)_f$: 基準周期での波形勾配

式(5.1)は周期一定の条件で風速のみを変えて求めた関係であり、式(5.2)は無風の条件のもとで周期を変化させて求めた関係である。実際には、周期が変化すると越波状況自体が変化し、それにともない越波に対する風の影響も変わる。したがって、各々を独立に変えた実験のみにより、周期と風速の効果を評価することは困難である。そこで、周期と風速をともに変えた実験を行った。その結果より求めた φ と、式(5.1)、(5.2)を用いて φ_0 。

を補正した値 $\mathcal{P}_p (=K_U K_T \mathcal{P}_0)$ とを比較する。 $\mathcal{P}/\mathcal{P}_p$ を縦軸，風速を横軸にして波高と水位の条件ごとにプロットしたのが図-5.14 a)～d)である。図は波形勾配をパラメータとしているが，波形勾配が小さいほど，水位，波高が低いほど $\mathcal{P}/\mathcal{P}_p$ は1から離れ， $\mathcal{P}_p$ が過大になることがわかる。そのため風の影響を波形勾配により補正する式を求めた。

$$\mathcal{P} = K_{CU} \mathcal{P}_p = K_{CU} K_U K_T \mathcal{P}_0 \quad (5.3)$$

$$K_{CU} = \text{EXP}(-60 U \cdot e^{-3h} (1 - r_{H/L_0}) / H^3)$$

ここに K_{CU} : K_U を周期により補正する係数

補正式による計算結果を図-5.14に種々の線で示し実験結果と比較すると，全体的に適合性が良いことがわかる。

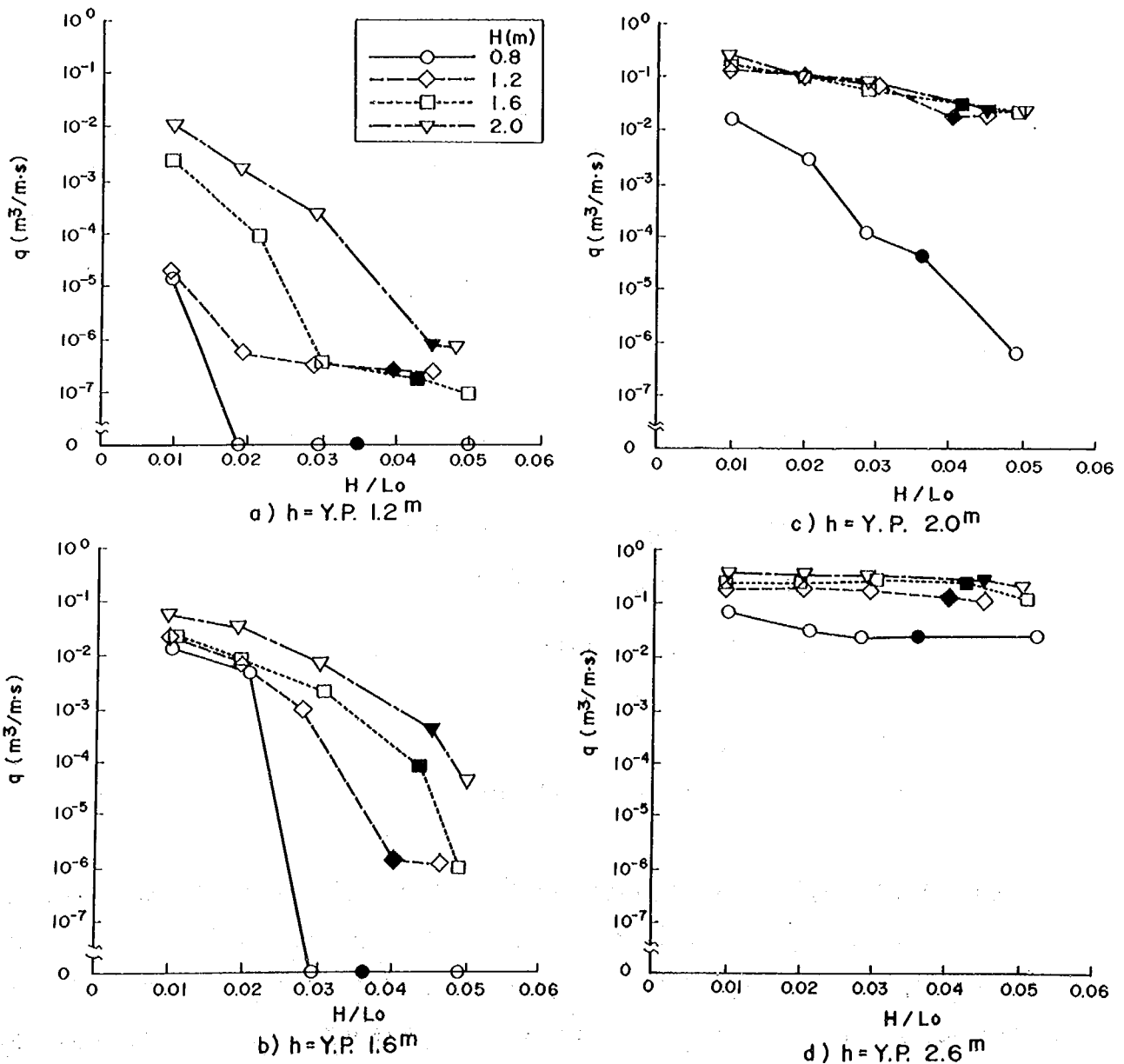


図-5.11 周期の影響

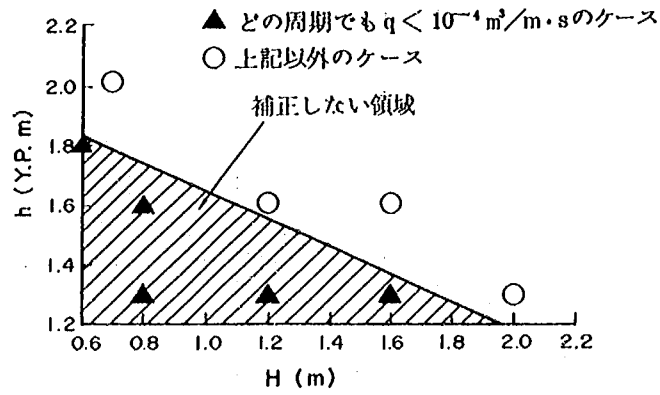


図-5.12 周期の効果を補正しない領域

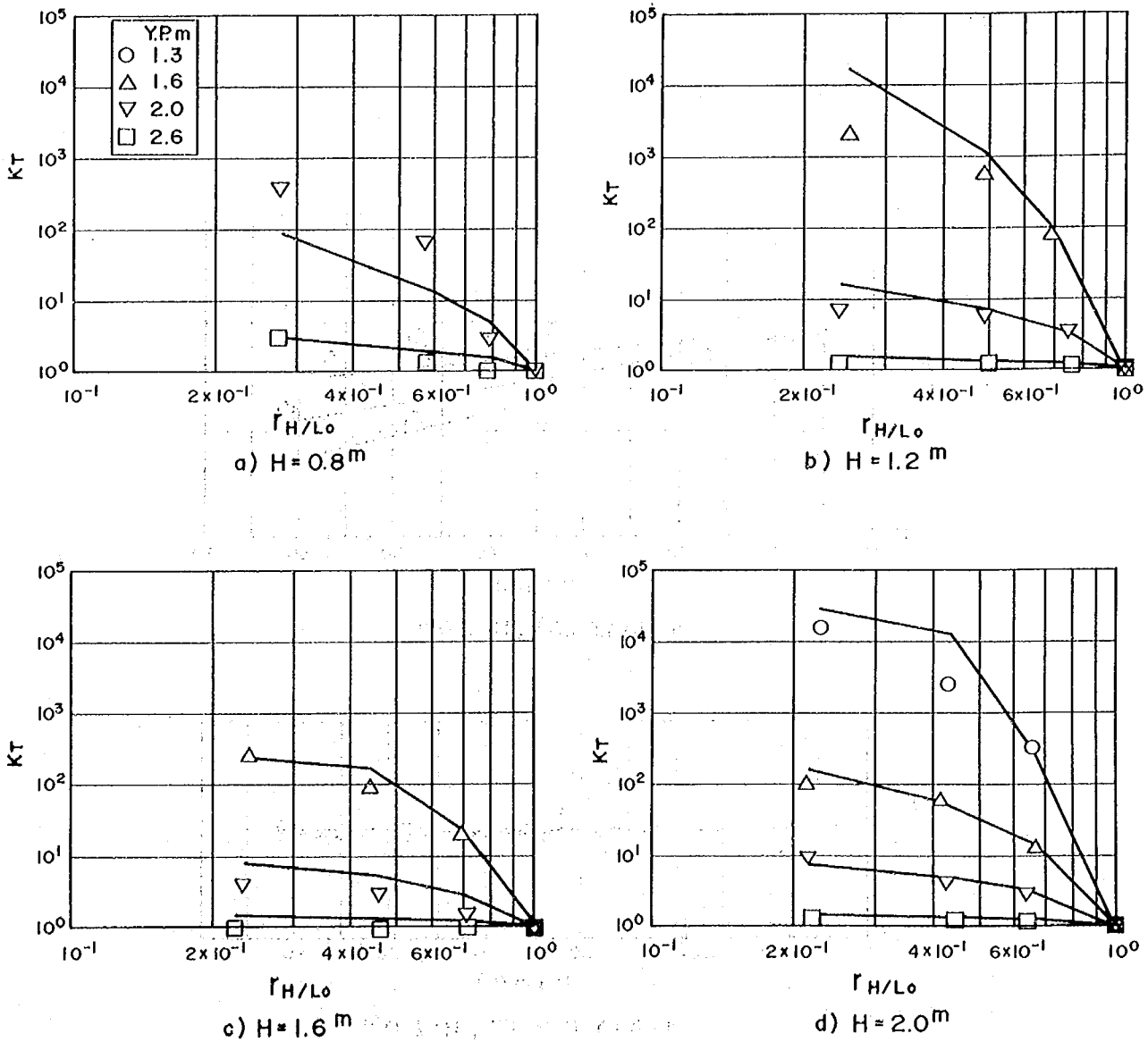
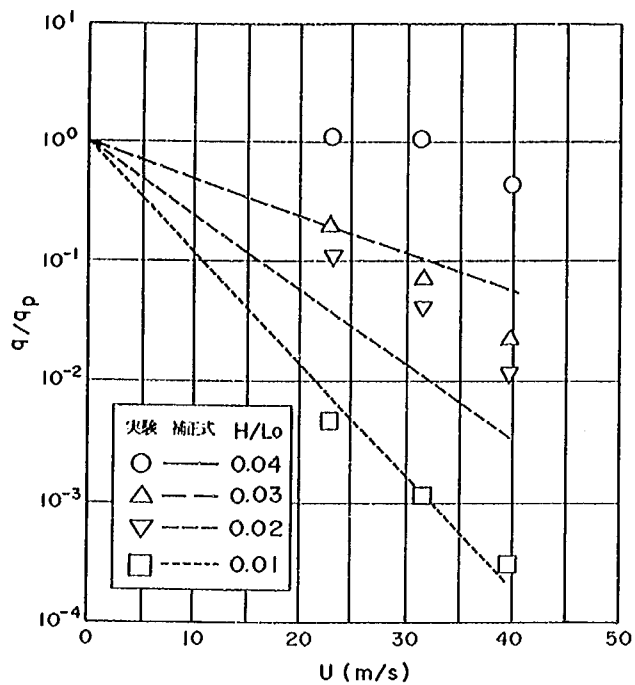
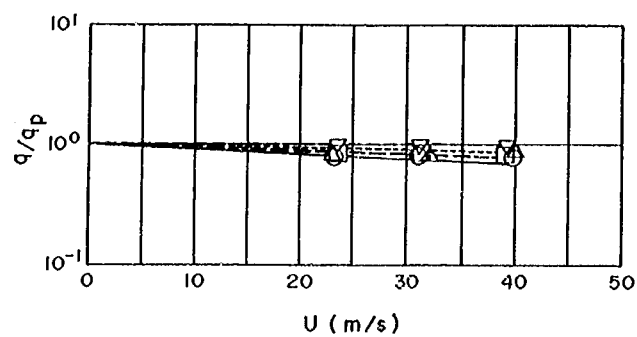


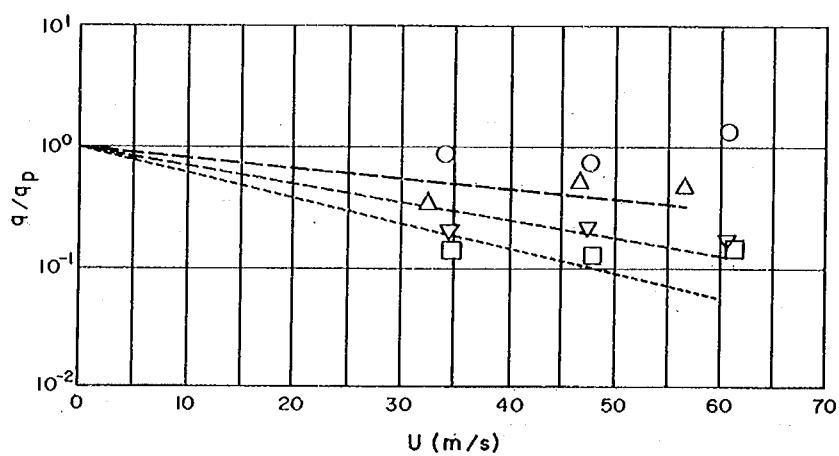
図-5.13 波形勾配と越波流量の相対値で示した周期の効果



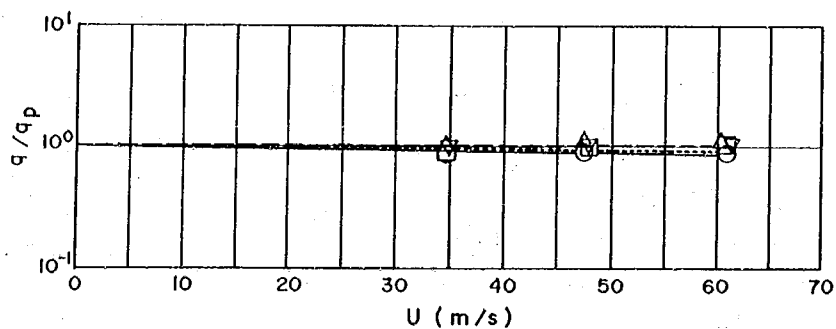
a) $h = Y.P. 1.6m$, $H = 1.2m$



c) $h = Y.P. 2.6m$, $H = 1.2m$



b) $h = Y.P. 1.6m$, $H = 2.0m$



d) $h = Y.P. 2.6m$, $H = 2.0m$

図一 5.14 周期による風の影響の変化

5.5 波の不規則性の影響

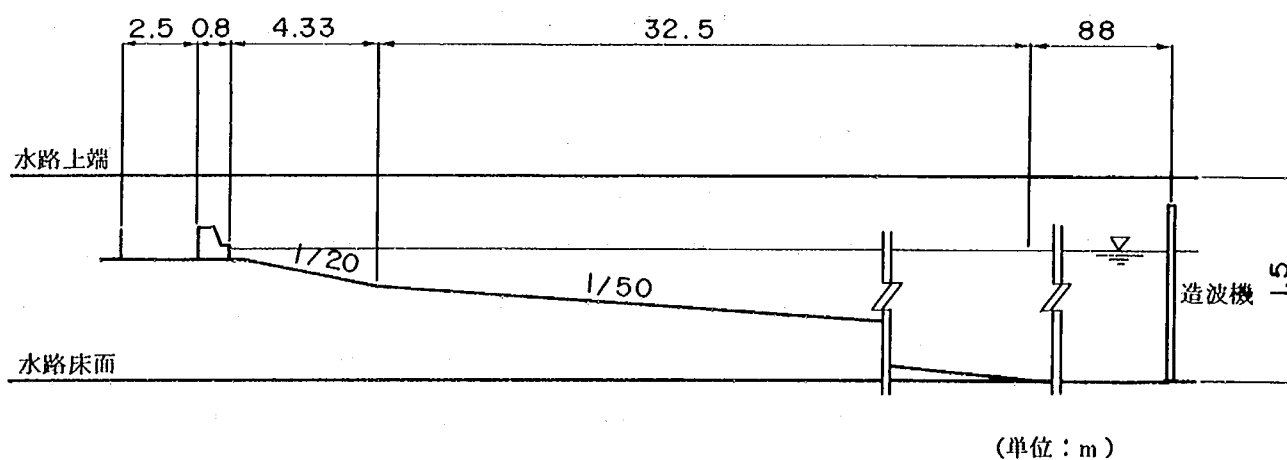
前節までの実験は全て規則波で行われた。霞ヶ浦に生起する波浪の不規則性は弱い、ここでは現地データをもとに不規則波実験を行い、波の不規則性の影響を調べた。実験は表-5.1に示す水位、波高の条件で行った。Hは2.0 mに固定し、水位を変化させた。また、この表のうち3ケースでは水路が変わることによる違いを確認するため、規則波実験も行った。実験水路および模型の概要を図-5.15に示す。実験水路は長さ150 m、幅0.6 m、深さ1.5 mであり、造波機は油圧制御の不規則波造波機である。模型は木製である。不規則波信号の作成は、与えたパワースペクトル形状からインパルス応答関数を求め、白色雑音とその応答関数から計算することにより行った。与えたスペクトル形状は、底辺を狭い周波数帯にとった三角形である。この三角形の形状を変え図-3.1～3.3のd)に示した狭い周波数帯に集中したスペクトル形状を持つ不規則波を発生させる信号を作成した。作成した入力信号を図-5.16a)に示す。この図の縦軸は造波機に入力したアナログ信号の単位を持つため、電圧単位と考えてよい。この信号を用いてストローク設定により有義波高を2 mに合わせた。例として、 $h = Y.P. 2.3 m$ と1.6 mでの入射波スペクトルを図-5.16 b)とc)に示す。両者ともに狭い周波数帯にエネルギーが集中し、実測に近いスペクトル形状になっている。

越波流量の測定結果を図-5.17に示す。図には風洞付造波水路で行った規則波実験の結果も示した。2つの規則波実験の結果は良く一致し、水路の違いは現われなかった。不規則波と規則波の q は $h \geq Y.P. 2.0 m$ で良く一致している。しかし、 $h < Y.P. 2.0 m$ では不規則波による q の方が大きく、 $h = Y.P. 1.3 m$ では 10^4 オーダーで異なる。不規則波実験における各水位の q は、図-5.3をみてわかるように、規則波実験における同じ水位で波高を変えたときに求まる q の最大値よりも大きい。よって、期待越波流量⁴⁾の考え方ではこの差を説明できない。最も差の大きな $h = Y.P. 1.3 m$ での堤防前面の水位時間波形を図-5.18に示す。ほとんどの波は碎波して堤体に達する。この図より水位がビートを打っている様子がうかがえる。そこで、このデータのスペクトルを求めた。図-5.19に沖波のスペクトルとあわせてその結果を示す。沖波のスペクトルを示すb)では有義周期付近(0.68 Hz)にはっきりとしたピークが存在する。一方、堤前面波のスペクトルを示すa)では長周期側にエネルギーが移行し、周期10 sec程度の長周期波が卓越していることがわかる。図-5.19にみられるビートも約10秒程度の周期を持っているようであり、実験の観察でも10秒に1回程度天端を乗り越える越波が生じていた。この長周期波によって、越波流量が増大したのは明らかである。この長周期波がサーフビートによるものか、多重反射によるものかは明らかではない。前者が卓越するのであれば現地においても重要な問題である。しかし、水位が低い場合にのみサーフビートによる越波量の増大の可能性があり、多くの波浪条件について不規則波の影響を調べるのは合理的ではないことから、設計条件によって水位が低い場合の越波流量が必要となった場合、波の不規則性の影響を個別に検討することにした。

表一 5.1 不規則波実験の水位・波浪条件

水位 Y.P. (m)	波高 H (m)	周期 T (s)	不規則波	規則波
1.3	2.0	5.3 1	○	○
1.6	2.0	5.3 1	○	
1.8	2.0	5.3 1	○	
2.0	2.0	5.3 1	○	○
2.3	2.0	5.3 1	○	
2.6	2.0	5.3 1	○	○

* 不規則波の場合，波高，周期は有義波高，有義周期を示す。



圖一 5.15 不規則波造波水路模型

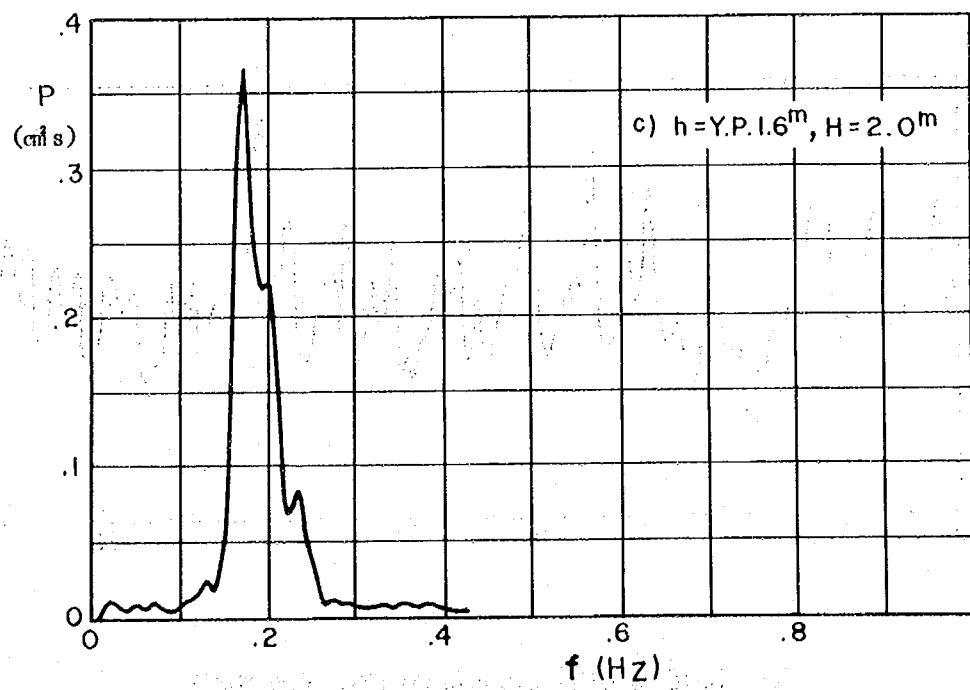
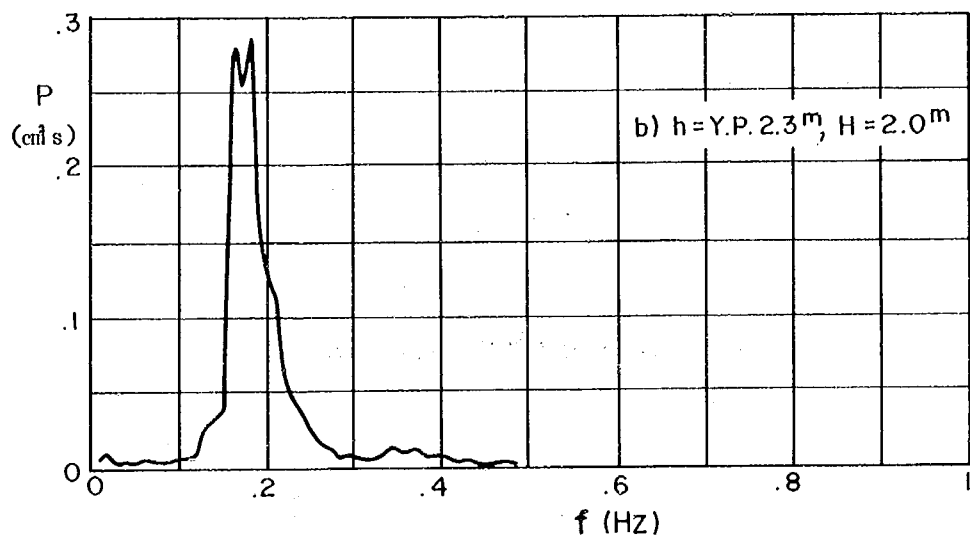
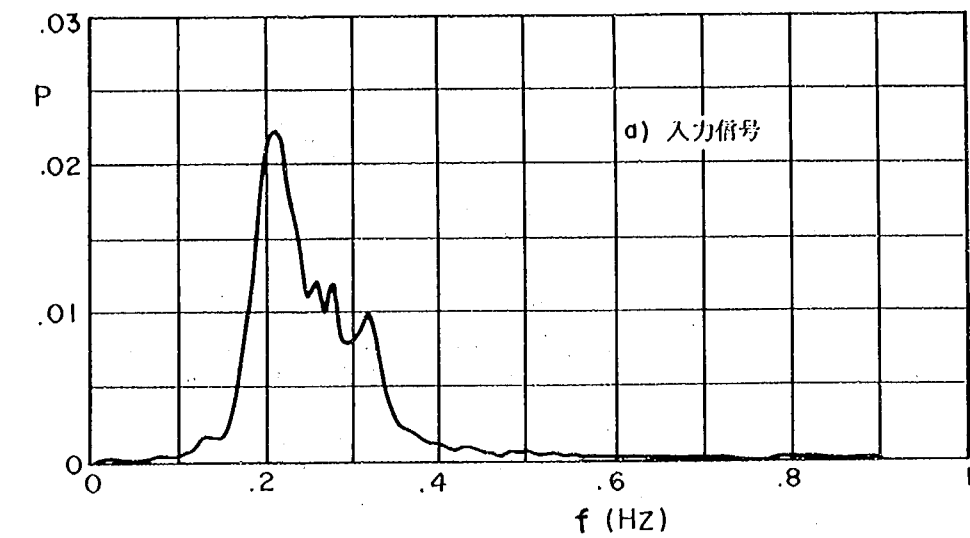


図-5.16 実験波のパワースペクトル(模型値)

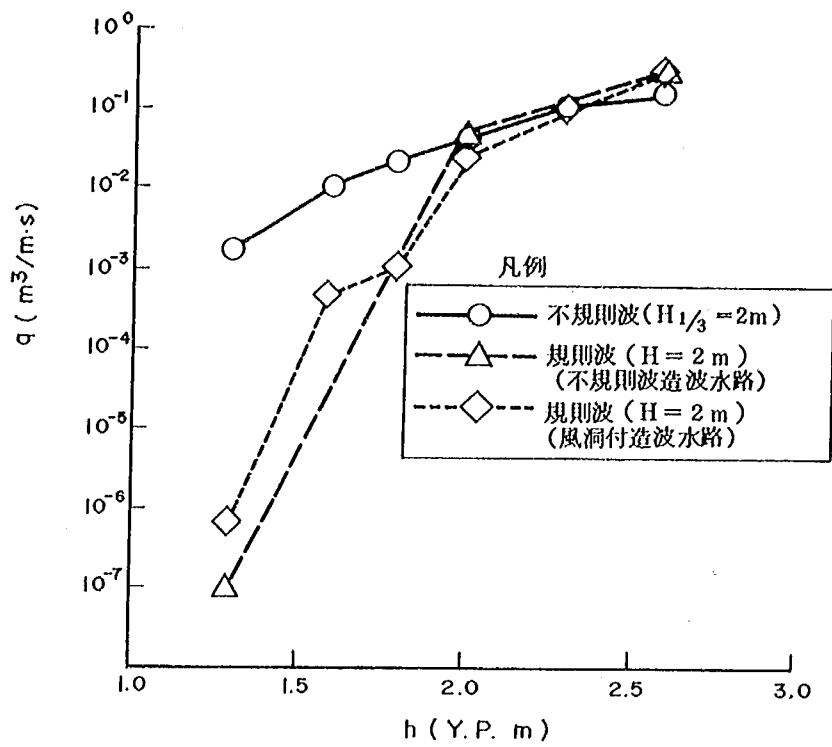


図-5.17 不規則波による越波流量

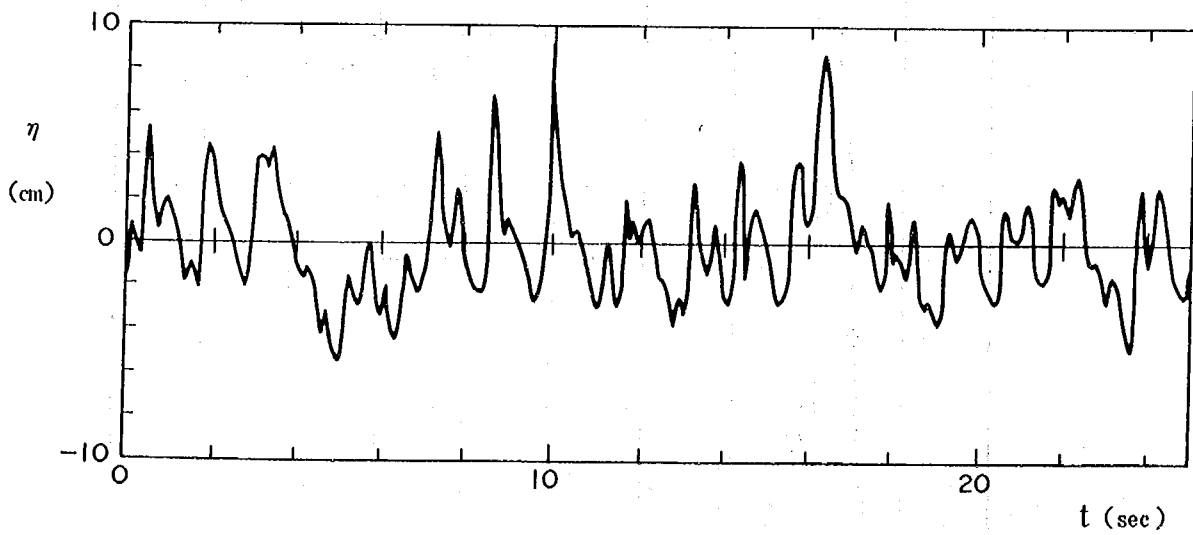
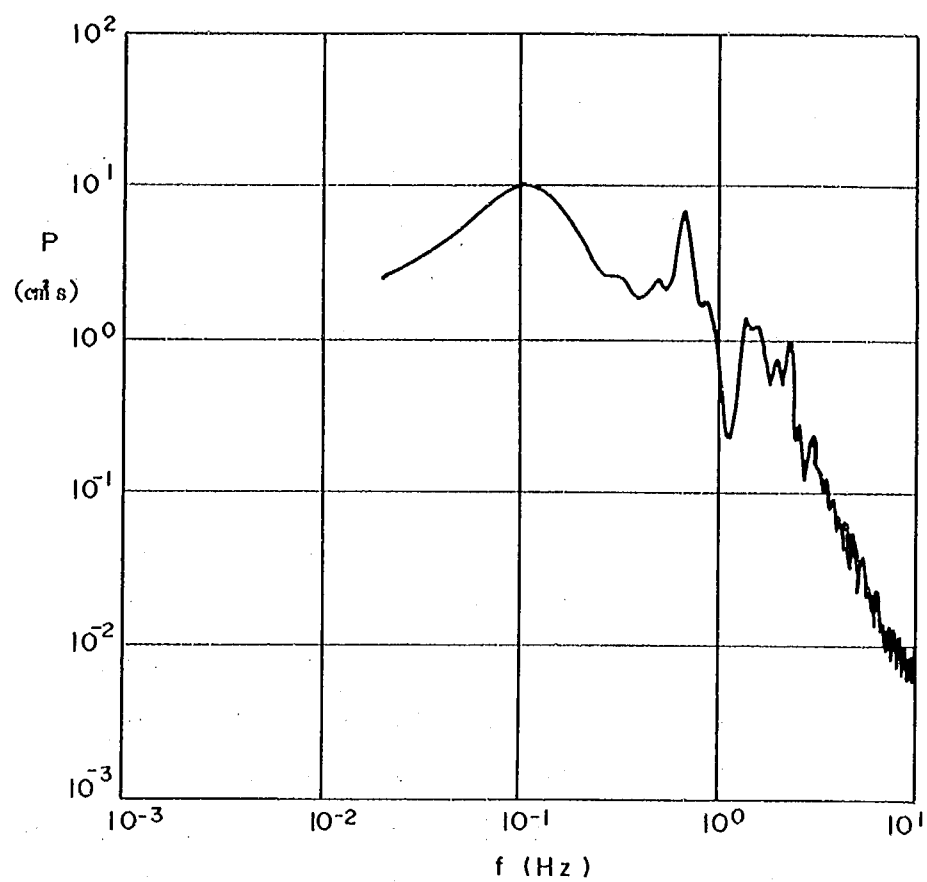
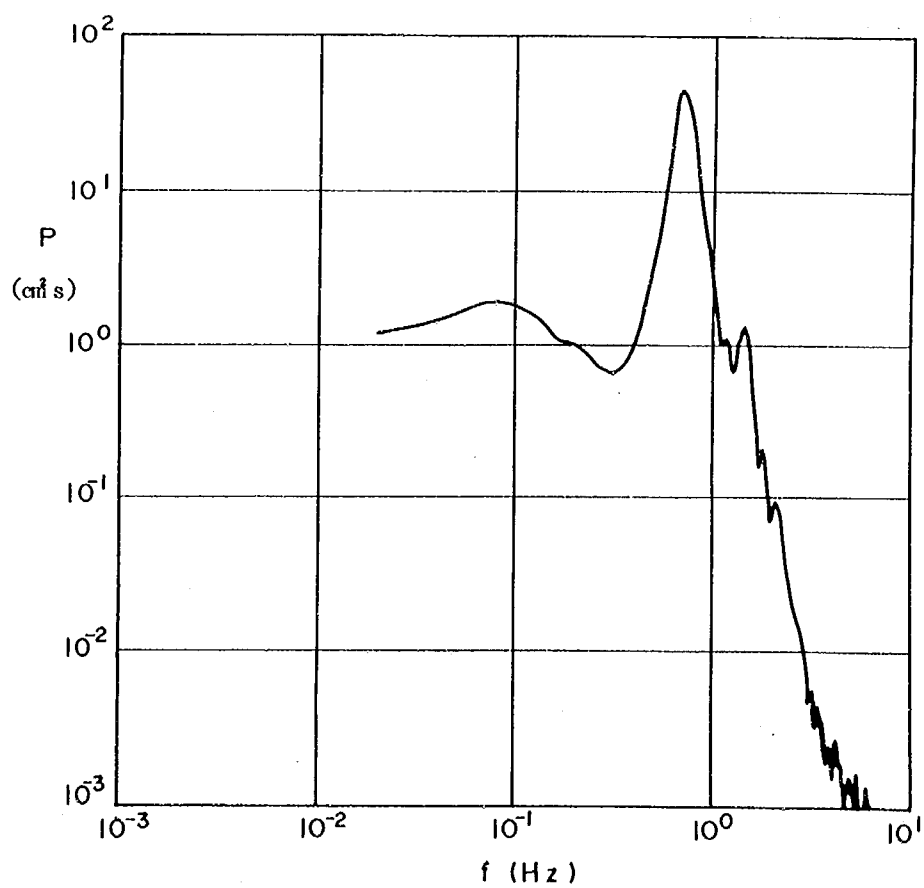


図-5.18 堤防前面の水位時間波形(模型値)



a) 堤前面



b) 沖波

図-5.19 実験波のスペクトル(模型値)

5.6 まとめ

最後に越波流量算定法をフローとしてまとめて記す(図-5.20)。このフローに従えば、任意の湖岸地点で風速とフェッチの設計条件を与えることにより越波流量を求めることができる。計算は次の点について留意して行うべきである。

- ① 大岩田型断面の湖岸においては、Y.P. 1.4 m ~ 1.8 m の水位で求める越波流量は過小評価になる。この場合には図-5.1を用いて θ_0 を求め、風の効果のみ検討するのが良いと考えられる。
- ② 設計水位がY.P. 1.8 m 以浅になった場合には、最終的な越波流量の決定に当たって不規則波実験を行うことが望ましい。

なお、湖岸位置によっては斜め入射の方がフェッチが長い場所が多くある。高山らは斜め入射による越波量の現象について調べ、直立護岸および直立消波護岸における斜め入射による天端高の補正法を示した⁶⁾。しかし、実験条件が限られており、霞ヶ浦にそのまま用いることはできない。斜め入射の補正としては、Y.P. -5 m から Y.P. 0 m にかけての波の屈折のみを補正するのみにとどめるのがよいと考えられる。具体的には、フェッチの方向より沖波の入射角を求め、波の条件とあわせて屈折係数を求める。このときの湖心波高に屈折係数をかけた値を越波流量を求める波高とする。すなわち、屈折による波高低下をあらかじめ見込み越波流量を算定する。

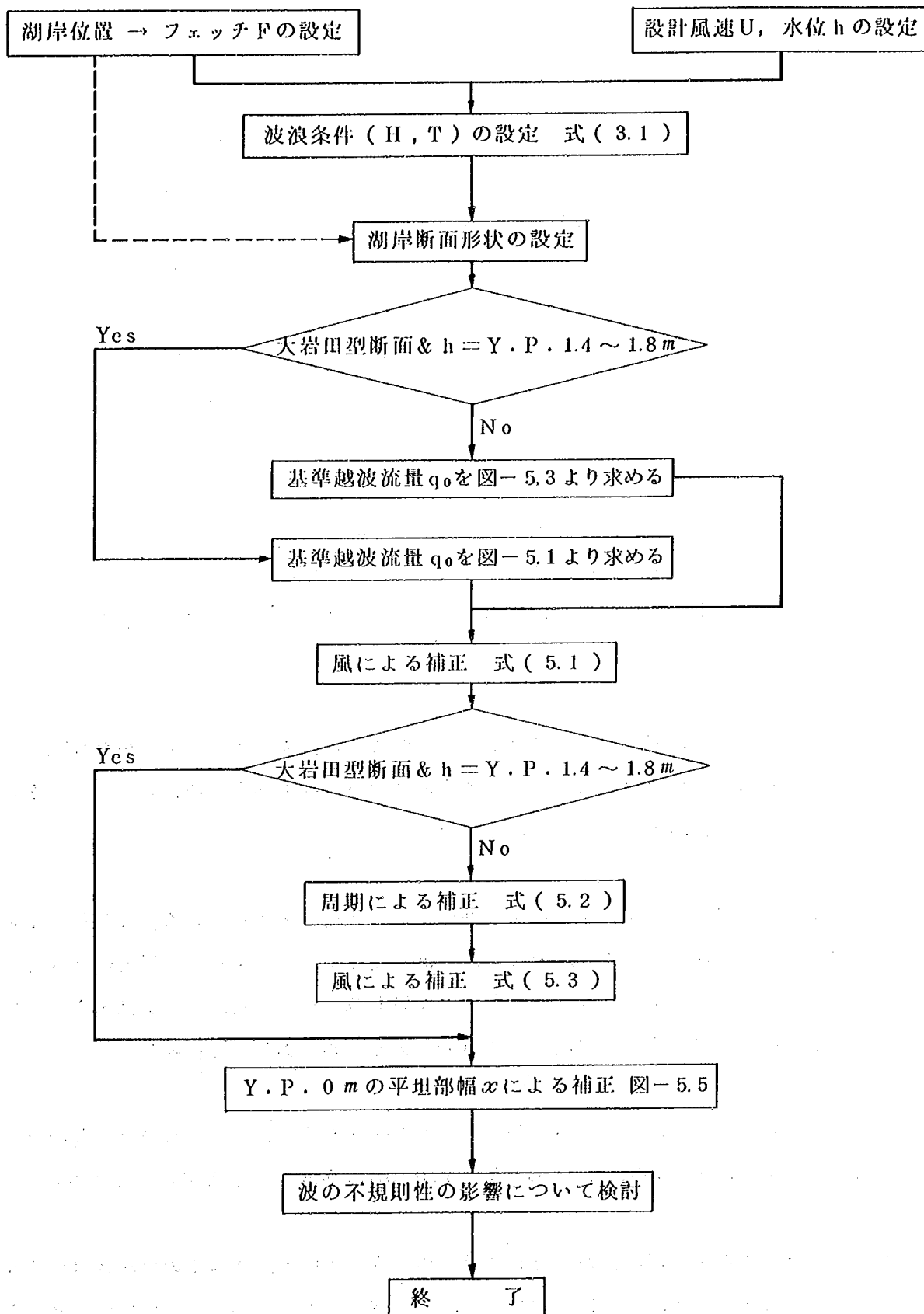


図-5.20 越波流量算定フロー

6. 対策工の効果

6.1 対策工の選定

2章で述べたように、対策工には越波対策として通常海岸で用いられている消波工、離岸堤、パラベットと、景観に配慮した工法を選んだ。これは湖に画一的な工法で対策を施すのではなく、越波の程度、背後地の状況、湖岸の利用等の条件から対策工を選定できるようにするためである。選定した対策工法をまとめて表-6.1に示す。実験では表に示す20工法について越波量および飛沫量を測定した。実験条件を表-6.2に示す。ただし、飛沫を測定するときの実験条件は別であり、この点については後述する。また、各対策工の断面図を図-6.1に示す。ただし、組み合わせによる工法はこの図から除外した。実験は全て $1/60$ 模型を用いて行った。以下、各工法の諸元について述べる。

① 消波工

消波工には現地で2 ton (模型で約600 g)を想定した異形ブロックを用い、底面でブロック2個並びとした。消波工の天端高は湖岸堤の天端高に近づけY.P. 3.4mとした。これがケース1の消波工Aである。消波工Bは底面でのブロック個数を増し、その分天端高を下げた構造にした。

② 離岸堤

離岸堤を高水位時に対応させ設計すると、平水位時には天端が水面上からかなり高くなるため不経済であり、景観も悪くなる。そこで、離岸堤については天端高に注目し、天端高を変え2種類(T.P. 1.7mと2.7m)の諸元を設定した。

③ パラベット

パラベットの高さは、海岸保全施設築造基準では1 m程度とされている。しかし、1 mの壁は堤内と堤外を遮断してしまう。そこで、子供が湖を眼下に見下ろせる程度の高さとして、パラベットの高さは0.6 m, 0.8 mとし各々の効果を調べた。また、天端が舗装されている場合、後退型のパラベット⁷⁾が越波防止上有効であるため、あわせて検討した。

④ 養 浜

養浜工は湖浜の利用上、および越波防止上にも有効な対策である。実験では $1/60$ 勾配と $1/40$ 勾配の断面を有する養浜工を用いた。このとき、Y.P. 0mの平坦部幅Bは50mとしてある。

⑤ 人工リーフ

人工リーフは水面下の消波構造物として最近施工されている。天端上の水深は浅い方が消波効果を高くできるため、天端は平水位のY.P. 1.0mにした。天端幅については、水位Y.P. 2.0m程度のときの波高伝達率を離岸堤と同程度にするため、15mと20mにした。

⑥ 礫斜面

前小段部より5 mにわたって礫(模型で10~20 mmの碎石)の斜面を設置した。

⑦ 前小段延長

前小段による越波量の減少については高田らが報告している⁸⁾。実験では高田らの結果を参考に、前小段が越波の増加につながらないように、2 m と 4 m 延長した堤体を設定した。また、前小段の延長上に消波工を用いて小段型消波工を設置した実験も行った。

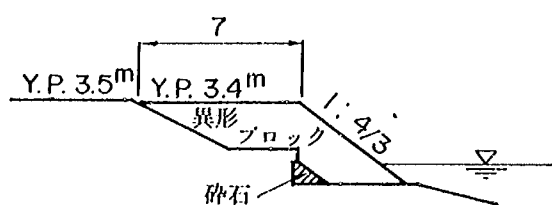
表一 6.1 対策工実験ケース

ケ ー ス	対 策 工
ケ ー ス 1	消 波 工 A
ケ ー ス 2	消 波 工 B
ケ ー ス 3	離 岸 堤 A
ケ ー ス 4	離 岸 堤 B
ケ ー ス 5	パラペット (高さ 0.6 m)
ケ ー ス 6	パラペット (高さ 0.8 m)
ケ ー ス 7	後退パラペット (高さ 0.6 m)
ケ ー ス 8	消波工 A + パラペット (高さ 0.6 m)
ケ ー ス 9	消波工 A + 後退パラペット (高さ 0.6 m)
ケ ー ス 10	養浜 (1/50 勾配)
ケ ー ス 11	養浜 (1/50 勾配)
ケ ー ス 12	養浜 (1/50 勾配) + パラペット (高さ 0.4 m)
ケ ー ス 13	人工リーフ (天端幅 15 m)
ケ ー ス 14	人工リーフ (天端幅 20 m)
ケ ー ス 15	人工リーフ (天端幅 15 m) + パラペット (高さ 0.4 m)
ケ ー ス 16	礫 斜 面
ケ ー ス 17	前小段延長 2 m
ケ ー ス 18	前小段延長 4 m
ケ ー ス 19	前小段延長 2 m + パラペット (高さ 0.4 m)
ケ ー ス 20	小段型消波工

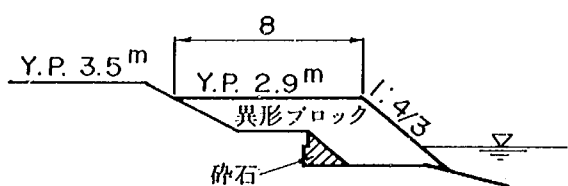
表一 6.2 実 験 条 件

波 浪		水 位 Y. P. (m)		
波 高 H (m)	周 期 T (s)	1.6	2.0	2.6
1.2	4.38	◎	○	○
1.6	4.88	◎	◎	○
2.0	5.31	◎	◎	◎

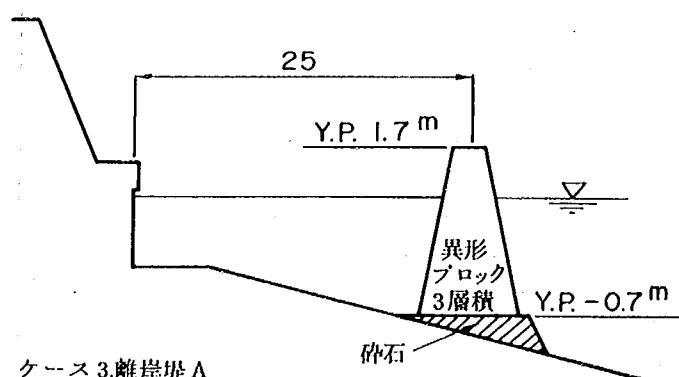
＊ケース 1 ～ 5 では◎印のみ



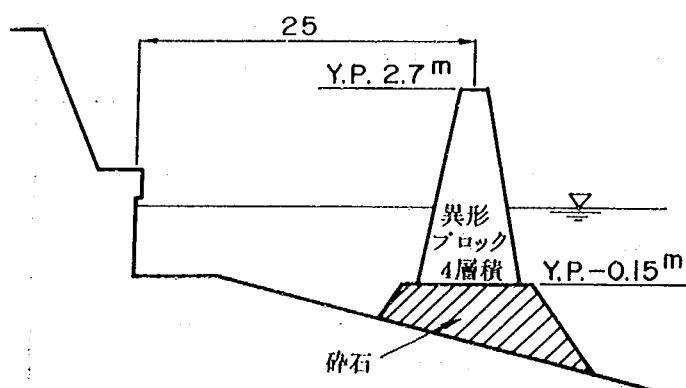
ケース 1.消波工 A



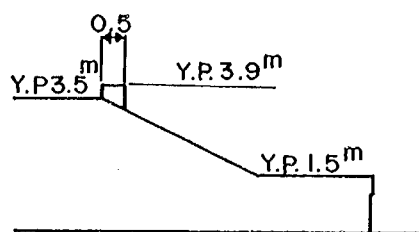
ケース 2.消波工 B



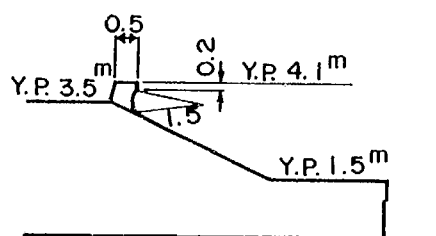
ケース 3.離岸堤 A



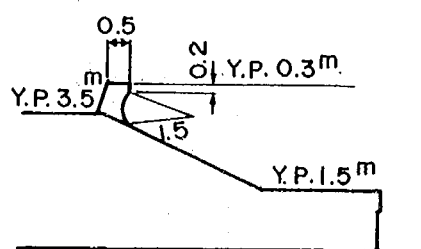
ケース 4.離岸堤 B



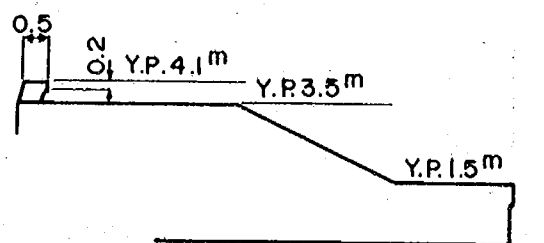
ケース 5.パラベット高さ 0.4m



ケース 6.パラベット高さ 0.6m

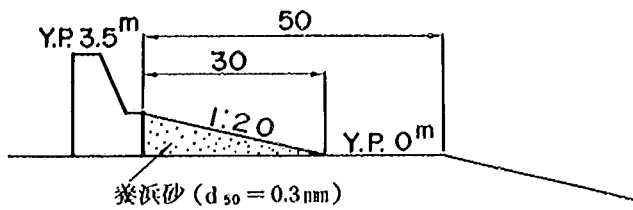


ケース 7.パラベット高さ 0.8m

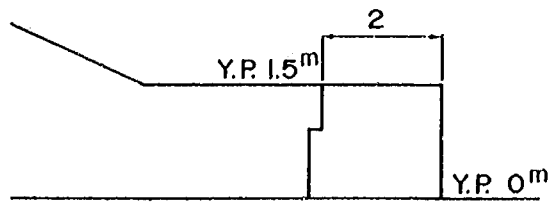


ケース 8.後退パラベット高さ 0.6m

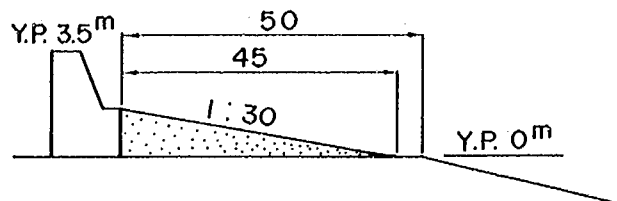
図一 6.1 対策工断面図 (単位: 現地m)



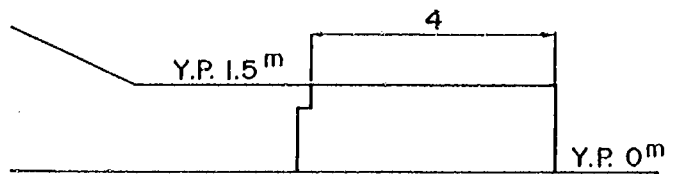
ケース 11.養浜 1 / 20 勾配



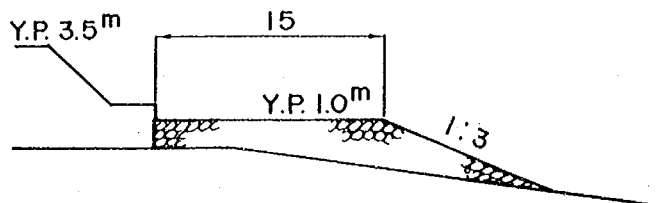
ケース 18.前小段延長 2m



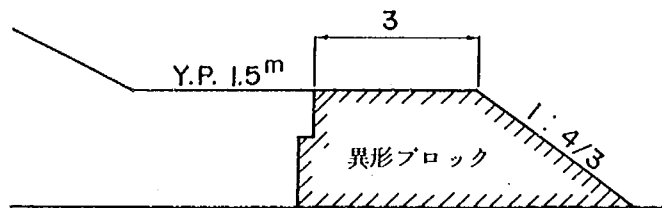
ケース 12.養浜 1 / 30 勾配



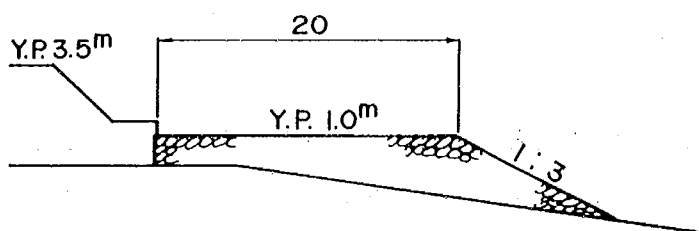
ケース 19.前小段延長 4m



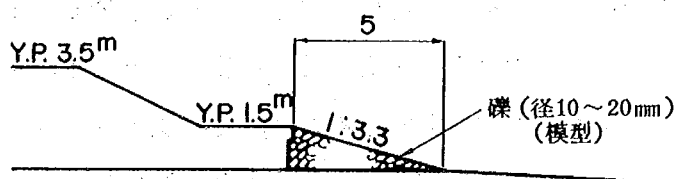
ケース 14.人工リーフ天端幅 15m



ケース 21.小段型消波工



ケース 15.人工リーフ天端幅 20m



ケース 17.礫斜面

図-6.1 対策工断面図 (単位: 現地m)

6.2 各工法の効果

各工法の実験結果を越波流量図の形で水位ごとに分けて図一 6.2 ～ 6.7 に示す。図には対策工無の基準越波量も示した。

(1) 消波工，離岸堤

消波工 A，B，離岸堤 A，B の結果を図一 6.2 に示す。消波工は A，B ともに $h = Y.P. 2.0 m$ 以下ではほとんど越波を生じさせない。 $h = Y.P. 2.6 m$ では越波量低減効果は小さくなる。今回用いた離岸堤の越波量低減効果は波高が小さいとき以外ほとんどみられない。一部のデータは対策工無より q が大きくなっている。離岸堤の場合，来襲波が高いと堤背後の水位上昇も大きくなり，かえって越波量が増加する場合がある。霞ヶ浦における越波対策には，機能，環境面から判断して離岸堤は適さないと考えられる。

(2) パラペット

高さ $0.6 m$ ， $0.8 m$ のパラペット，および高さ $0.6 m$ の後退パラペットの実験結果を図一 6.3 に示す。高さ $0.6 m$ と $0.8 m$ のパラペットでは効果の差は大きくなく， $h = Y.P. 2.0 m$ では高さ $0.8 m$ の方が q が大きい。これは実験誤差によるところが大きいと考えられる。越波量低減効果は水位が上昇するにつれ順次低下する。高さ $0.6 m$ および $0.8 m$ のパラペットでは， $Y.P. 2.0 m$ までの水位なら $q < 5 \times 10^{-3} m^3/m \cdot s$ 程度の効果を期待できそうである。一方，後退パラペットの場合は $h = Y.P. 2.0 m$ でもほとんど越波が生じず， $h = Y.P. 2.6 m$ においても 1 オーダ q を減少させる。後退パラペットの場合，堤体の安定性に問題がなければ天端の舗装などをあわせて施工することで，対策工としての効果が期待できる。また，天端上と湖面とを遮断する構造物がないので景観上有利であり，一部の地域では有効な対策になると考えられる。

(3) 消波工＋パラペット

高水位時の越波量低減効果を高めるため，消波工とパラペットを併設したケースの実験を行った。その結果を図一 6.4 に示す。実験は消波工 A と高さ $0.6 m$ のパラペット，および消波工 A と後退パラペットの組み合わせで行った。 $h = Y.P. 2.0 m$ までは両者ともほとんど越波は生じない。 $h = Y.P. 2.6 m$ においても， $H < 1.6 m$ ではほとんど越波は生じない。 $h = Y.P. 2.6 m$ の高水位時に $H = 2.0 m$ の波により生じる越波は，水位が高いため波がそのまま堤体を乗り越える形態をとる。そのため消波工を少々拡幅しても越波抑制効果は向上しないと考えられる。この場合には，沖に大型の離岸堤や潜堤を施工する対策が考えられるが，平水位時の景観や経済性を考慮すると非現実的と考えられる。現実的にはパラペットなどの高さによって対応するのが有効な方法と考えられる。また，図では後退パラペットとの組み合わせのとき $H = 1.8 m$ で $q < 10^{-3} m^3/m \cdot s$ であり，後退パラペットの高さの増加および天端幅の拡幅も，実現可能な地域においては有効な方法と考えられる。

(4) 養浜工

1/50および1/100勾配の養浜の越波量低減効果を図一 6.5 に示す。実験ではさらに1/50勾配の養浜+パラペット（高さ 0.4 m）のケースも行った。養浜工の場合、 $h=Y.P.2.0\text{ m}$ までは全く越波を生じさせず、 $h=Y.P.2.6\text{ m}$ においても1/50勾配で1オーダー、1/100勾配で2オーダー q が減少する。パラペット併設では $q<10^{-3}\text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ になる。このように砂浜は非常に高い越波量低減効果を有する。ただし、実験においては $Y.P.0\text{ m}$ の平坦部幅 $B=50\text{ m}$ として養浜しているが、 $Y.P.0\text{ m}$ の平坦部が狭い地域ではかなり深い位置まで砂を投入しないと緩勾配の養浜は行えない。よって、湖岸の多くの地域ではこの工法を簡単に採用することはできない。採用にあたっては、養浜砂の維持について十分に検討し、砂の流失を防ぐ補助施設を考える必要がある。現状においても1/50～1/100程度の勾配で湖浜が存在する地域があり¹⁰⁾、この地域においては湖浜の維持が有効な越波対策につながる。

(5) 人工リーフ、礫斜面

幅 15 m と 20 m の人工リーフおよび礫斜面での実験結果を図一 6.6 に示す。幅 15 m の人工リーフでは高さ 0.4 m のパラペットを併設した実験も行った。人工リーフは沖で波を強制砕波させ、天端上で減衰させることにより堤防に来襲する波を小さくする。実験に用いたリーフの天端高は $Y.P.1.0\text{ m}$ であり、 $h=Y.P.2.6\text{ m}$ の場合でも $H=1.2\text{ m}$ 程度より大きな波はほとんど砕波する。一方、強制砕波にともなって天端上の水位は上昇する。この水位上昇は、大きな場合には波高の2割程度になる。そのため波高が小さくなっても、越波量低減効果を相殺してしまう。 $h=Y.P.2.0\text{ m}$ 、 $H=2.0\text{ m}$ で効果が小さくなっているのはそのためと考えられる。 $h=Y.P.2.6\text{ m}$ ではあまり効果的ではない。実験で用いた礫斜面は規模が小さく越波対策としての効果はない。

(6) 前小段延長、小段型消波工

この工法を検討する目的の一つは、現在の前小段の幅が適切かどうかを確認することにある。高田ら⁸⁾によれば前小段の幅によっては越波を助長する場合がある。実験結果を図一 6.7 に示す。実験は2 mの前小段延長に高さ40 cmのパラペットを併設したケース、小段を消波工で延長したケース（小段型消波工）についても調べた。図より $h=Y.P.1.6\text{ m}$ 以外ではこれらの工法は効果的でないことがわかる。但し、 $h=Y.P.2.0\text{ m}$ 、 $H=1.2\text{ m}$ の場合では、どのケースも前小段延長によってほとんど越波を抑えている。すなわち、現在の堤防前小段は、 $h=Y.P.2.0\text{ m}$ 、 $H=1.2\text{ m}$ の条件では越波量がかなり大きくなる状態にあると考えられる。よって、この水位、波高が設計条件に該当する地域では、本格的な対策以前に暫定的に前小段部を広くする対策を行う段階施工も考えられる。

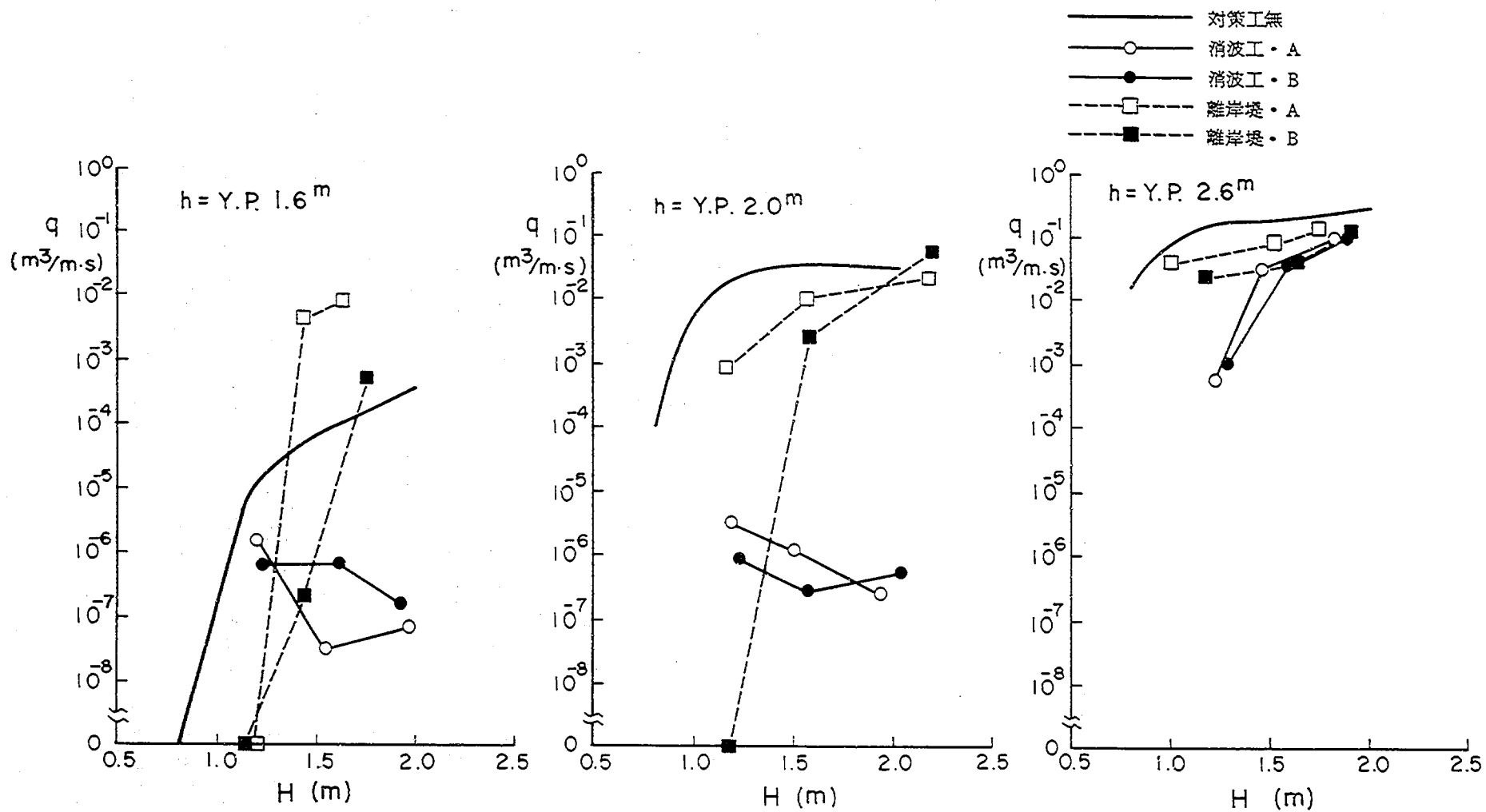
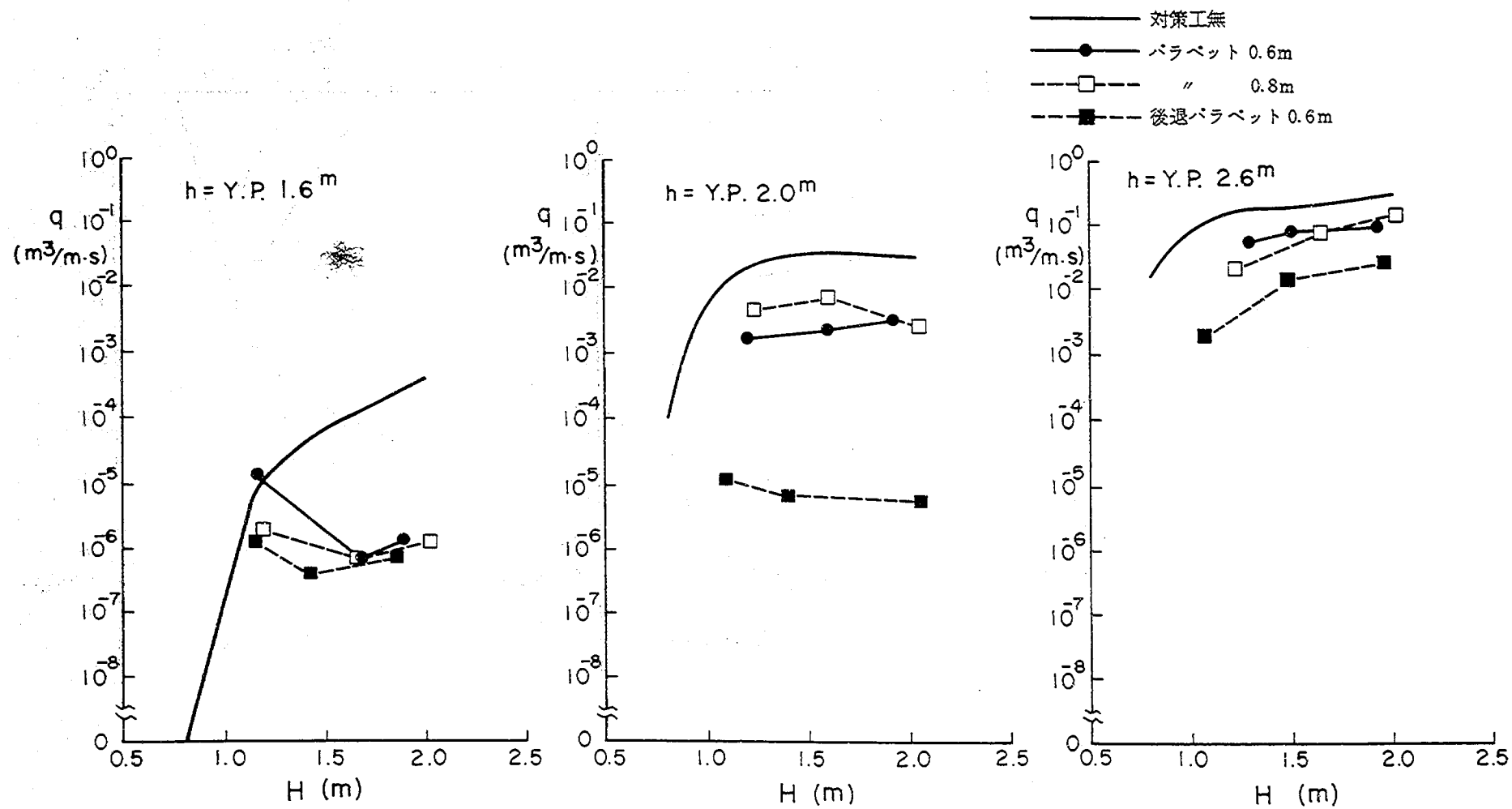


図-6.2 対策工の効果(消波工・離岸堤)



図—6.3 対策工の効果(バラベット)

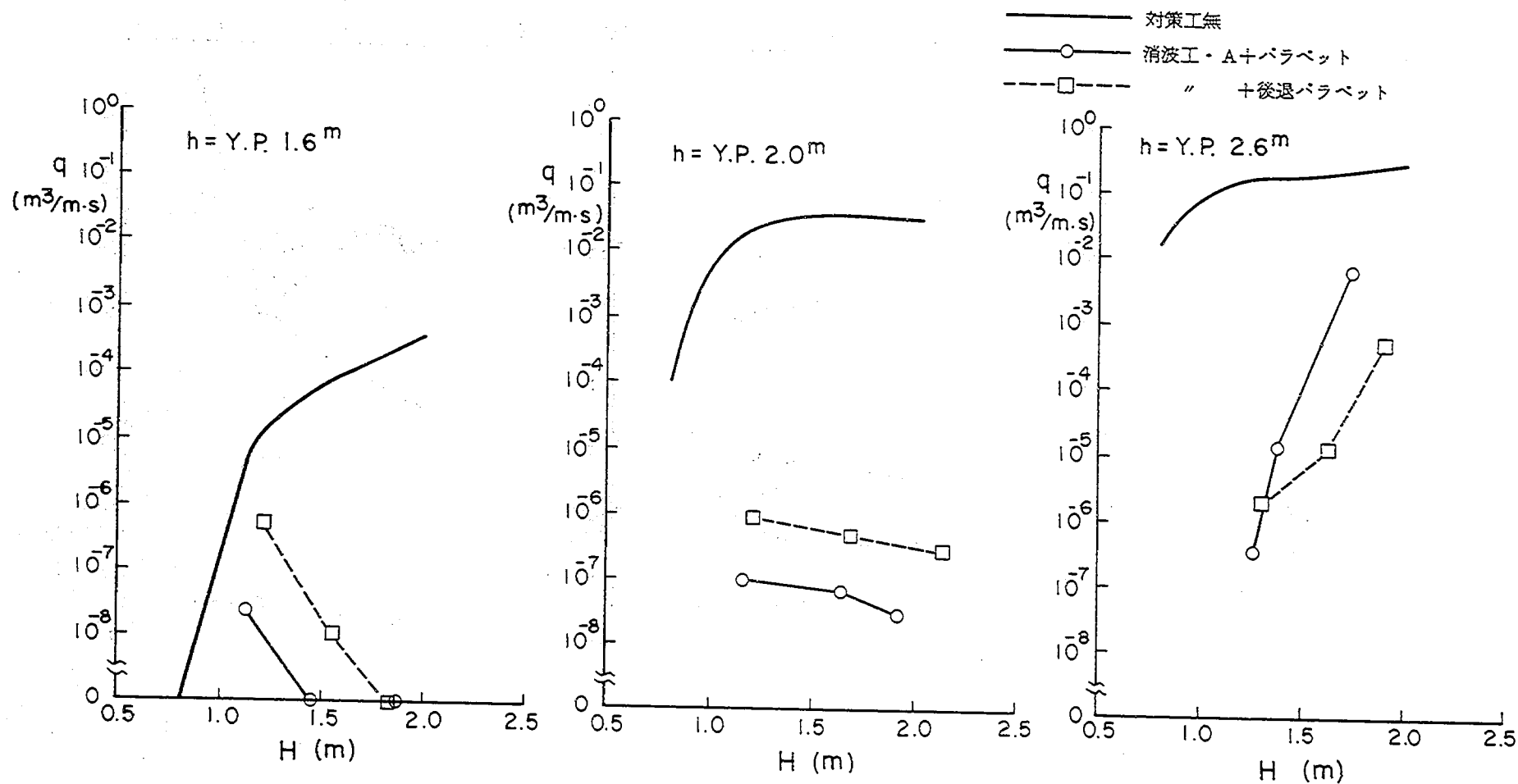


図-6.4 対策工の効果(消波工+パラベット)

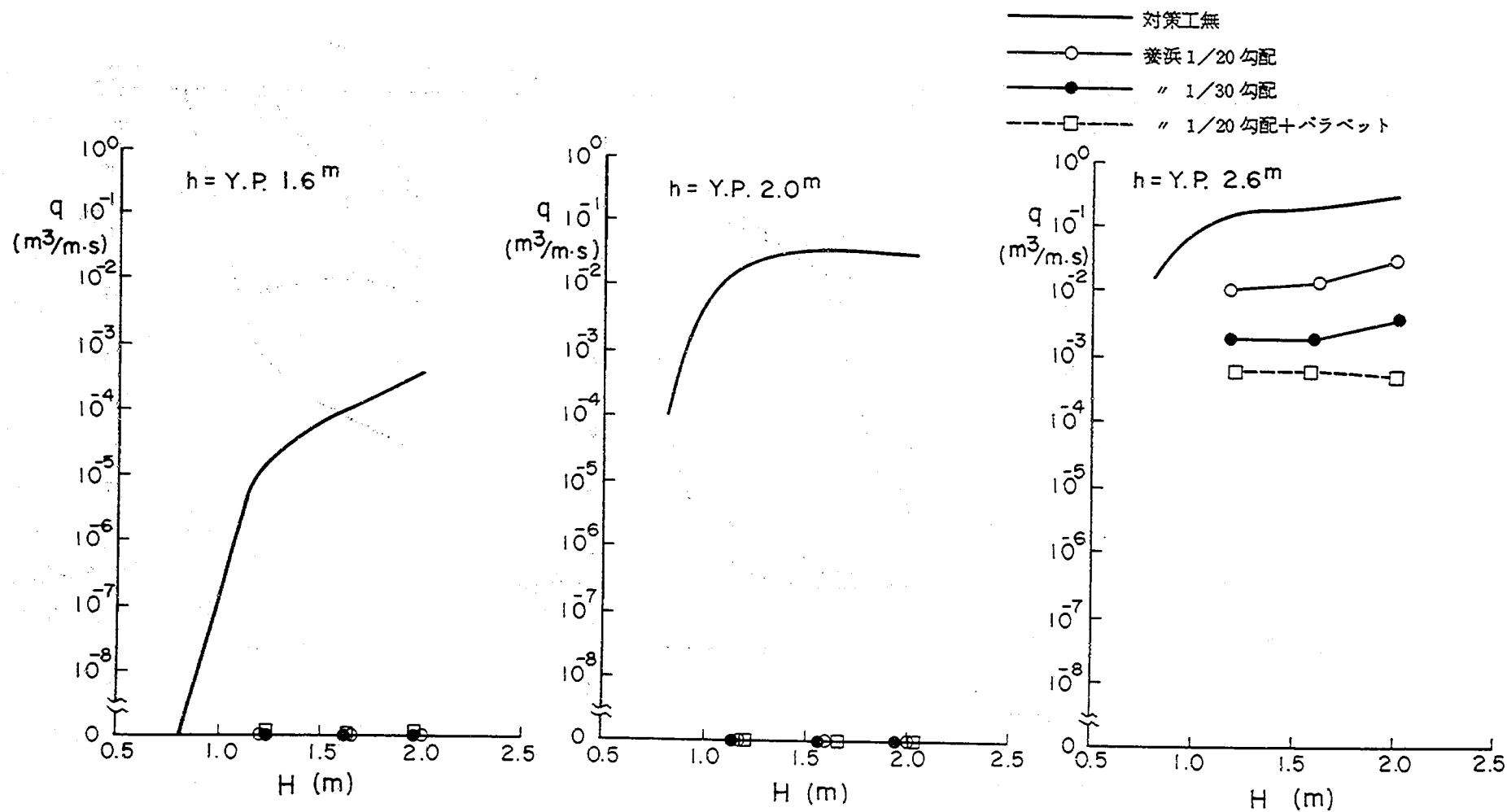


図-6.5 対策工の効果(養浜)

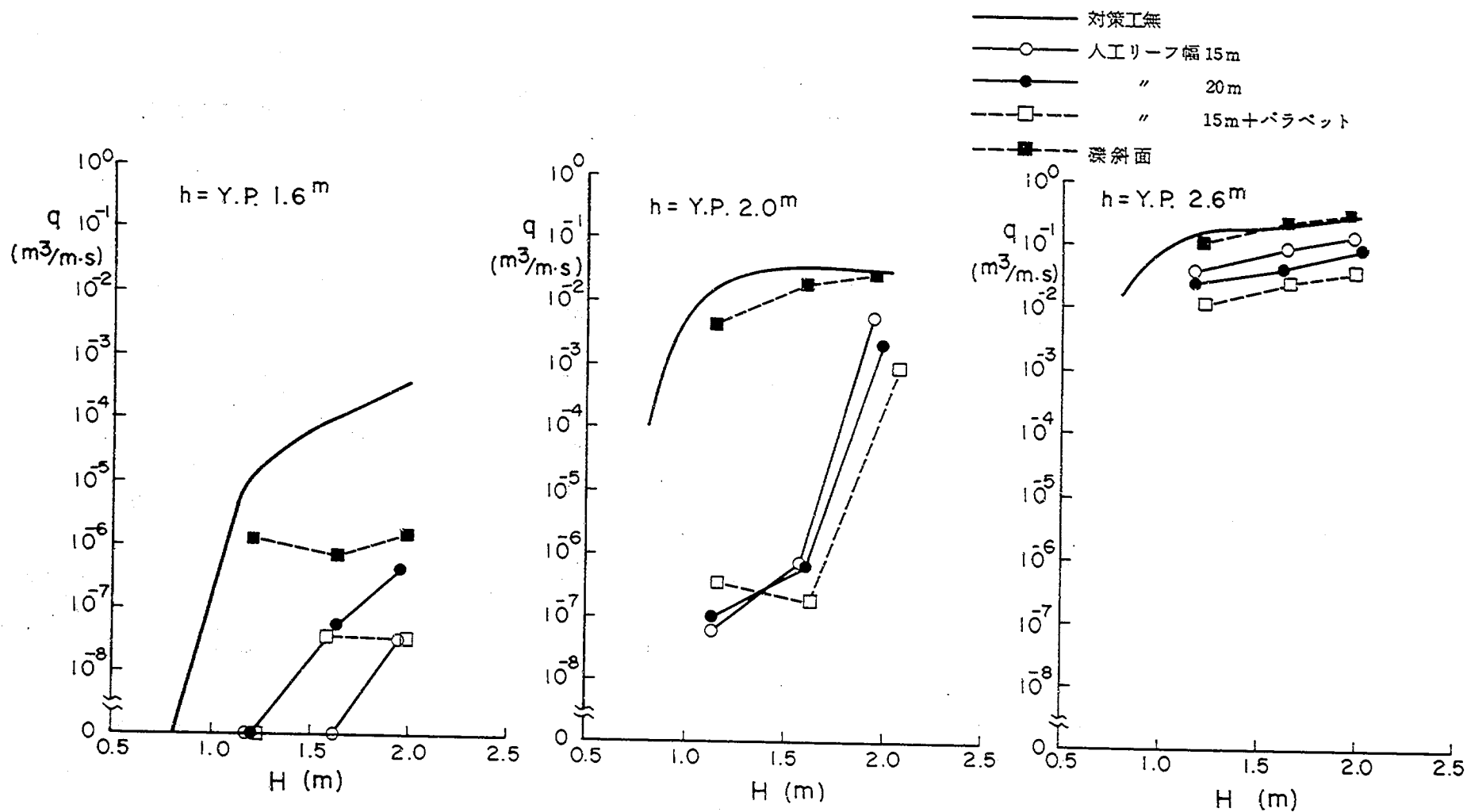


図-6.6 対策工の効果(人工リーフ・礫斜面)

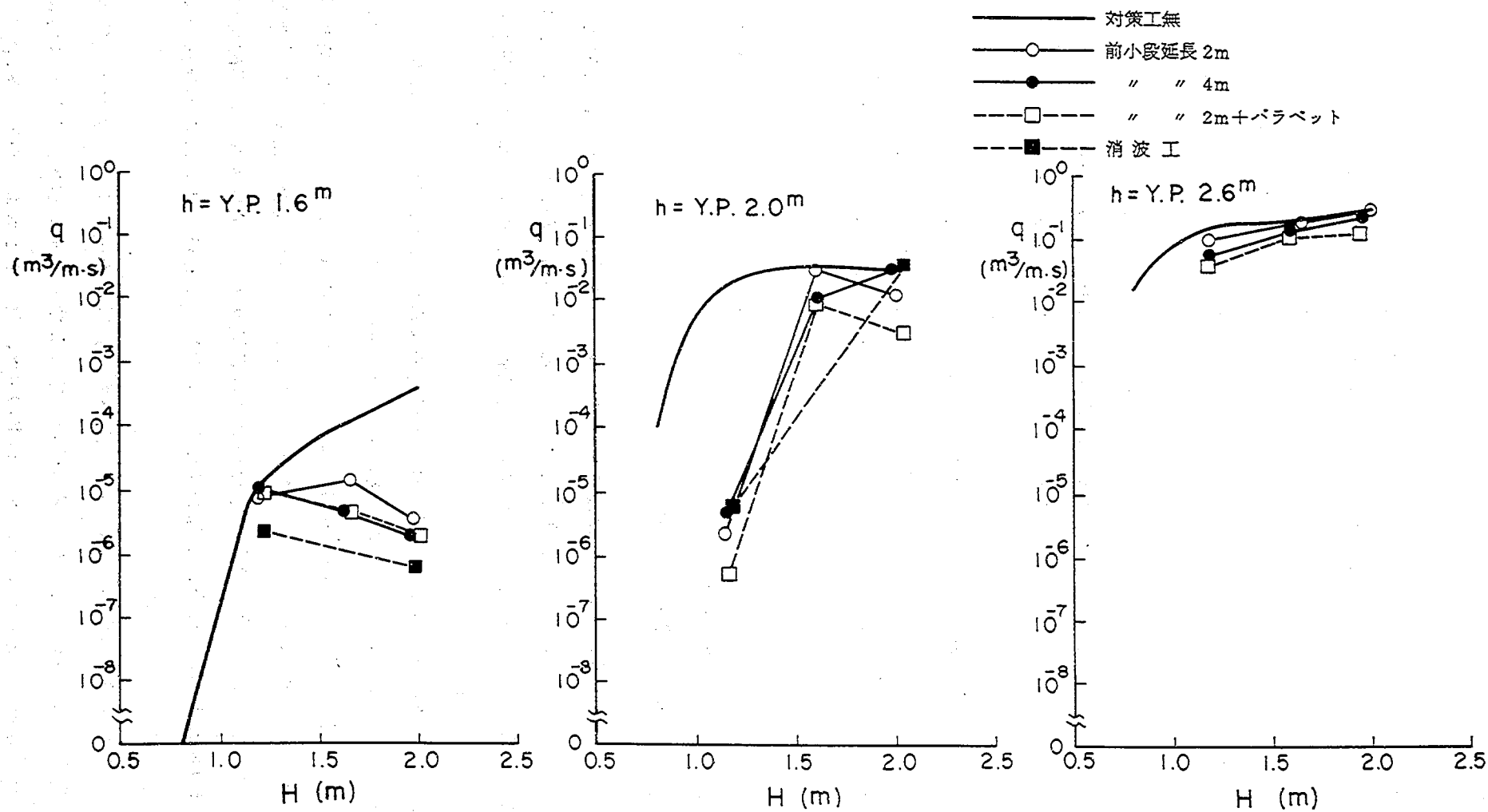


図-6.7 対策工の効果(前小段延長)

7. 飛沫対策

霞ヶ浦では平水時においても強風により発生した波が堤体に衝突し、しぶきが発生する。さらにこのしぶきが風によって堤内に運ばれることがある。このような飛沫は好天時にも発生し、居住地にまで運ばれ住民の苦情をもたらすことがある。そこで、表-3.1に示した実験ケースで飛沫の実態について検討した。このときの風速は代表フェッチグラフに $F=8\text{ km}$ を代入して求められる風速と波高の関係より決定した。また、飛沫の縮尺効果について、 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{16}$ 模型で飛沫の大きさを比較検討した。飛沫量の測定点を図-7.1に示す。飛沫量は各点に設置した $3 \times 2\text{ cm}$ のろ紙に付着した水量を測定し、単位面積当りの流量に換算した。

飛沫の大きさに関して石田らは実験の結果、飛沫の発生機構は表面張力に支配されウェーバー則に従うとしている⁹⁾。そこで、実験での飛沫の大きさを求めるために、水滴が付着するとその部分が青く変色する水分試験紙を堤防上の定点に設置して測定を行った。測定例を図-7.2に示す。図中 X が陸側の距離、その横の $Y.P.$ が測定点の高さを示す。これらは20～25波の波を作用させたときの結果である。いずれを見ても、 $\frac{1}{10}$ と $\frac{1}{2}$ 模型、 $\frac{1}{16}$ と $\frac{1}{2}$ 模型の飛沫の大きさは小さい模型がやや小さいもののほぼ等しいことがわかる。フルード則のもとでウェーバー則が成立すると、

$$\lambda_a = \lambda_L^{-1} \quad (5.4)$$

λ_a : 飛沫の粒径の縮率

λ_L : 代表長さの縮率=模型縮尺

が成り立つ。よって、飛沫の大きさは模型が小さいほど大きくなる。しかし、実験では $\lambda_a=1$ であり、ウェーバー則に従うほど表面張力の影響は強くないことがわかる。いずれにしても $\frac{1}{10}$ ～ $\frac{1}{16}$ 模型で飛沫現象に対する相似を確保することは難しいが、定性的、相対的な比較の議論に問題はないと考えられる。

図-7.1に示したNo.1～No.5の各測線における通過飛沫流量 q_s （各測点の鉛直方向積分値）を求めた。No.2～No.5での測定結果を横軸 H 、縦軸 q_s, h をパラメータとして図-7.3 a)～d)に示す。平水位の $Y.P. 1.0\text{ m}$ の時には天端上のNo.2において $H \geq 0.8\text{ m}$ で飛沫が発生していることから、現地においてはもう少し小さな波が飛沫の発生限界になるものと考えられる。a)～d)の図より波高が大きいほど、水位が高いほど飛沫の発生量は大きい。実験ではNo.5で $h=Y.P. 1.0\text{ m}$ と 1.3 m の場合に飛沫が発生していない。これは、現地に比べ飛沫が大きく、遠くまで運搬されないことによる。

次に対策工による飛沫の低減効果について調べた。実験は表-7.1に示す実験条件で、表-6.1に示した対策工について行った。飛沫量の測定点を図-7.4に示す。ここでは代表としてNo.1における通過飛沫流量について、 $h=Y.P. 1.0\text{ m}$ 、 $H=1.2\text{ m}$ および $h=Y.P. 1.3\text{ m}$ 、 H

＝1.2 m の条件の結果を用いて検討する。各対策工ごとの通過飛沫流量を q_s を棒グラフにして示す(図-7.5)。Y.P.0 m の平坦面幅 B が 50 m 以上の場合、養浜工の場合には飛沫が発生しないことがわかる。。一方、パラベットや前小段の延長は、飛沫の発生部分の堤体形状を変えないことがないため、対策工なしと同程度の q_s となる。消波工 A は越波対策としては効果的であるが、低水位時の飛沫抑制にはほとんど効果がないことがわかる。養浜工以外の対策工としては礫斜面、人工リーフの飛沫抑制効果が高い。この2つの工法のように、前小段部分の形状を変えるか、来襲波を小さくする工法でないと飛沫量は低減できないことがわかる。

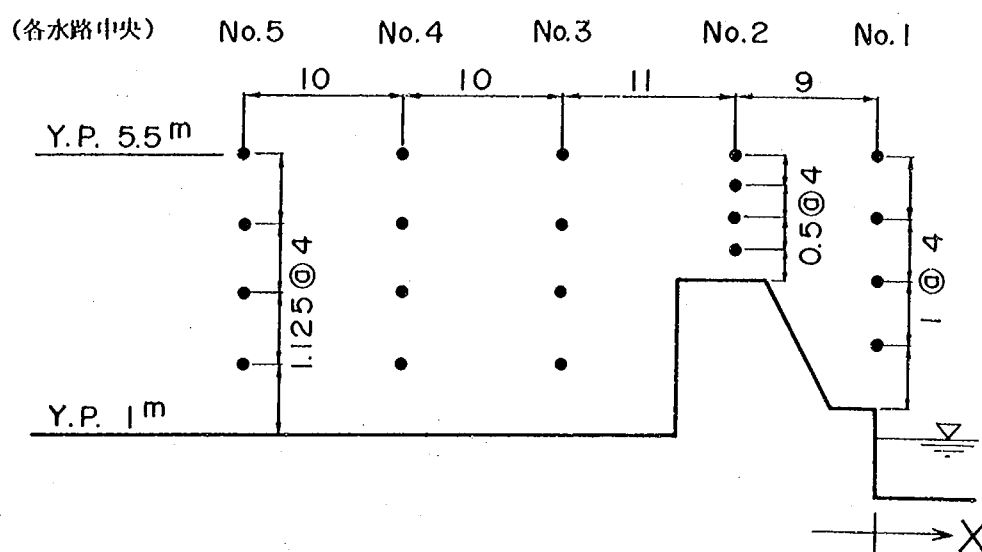


図-7.1 飛沫量の測定点 (単位：現地m)

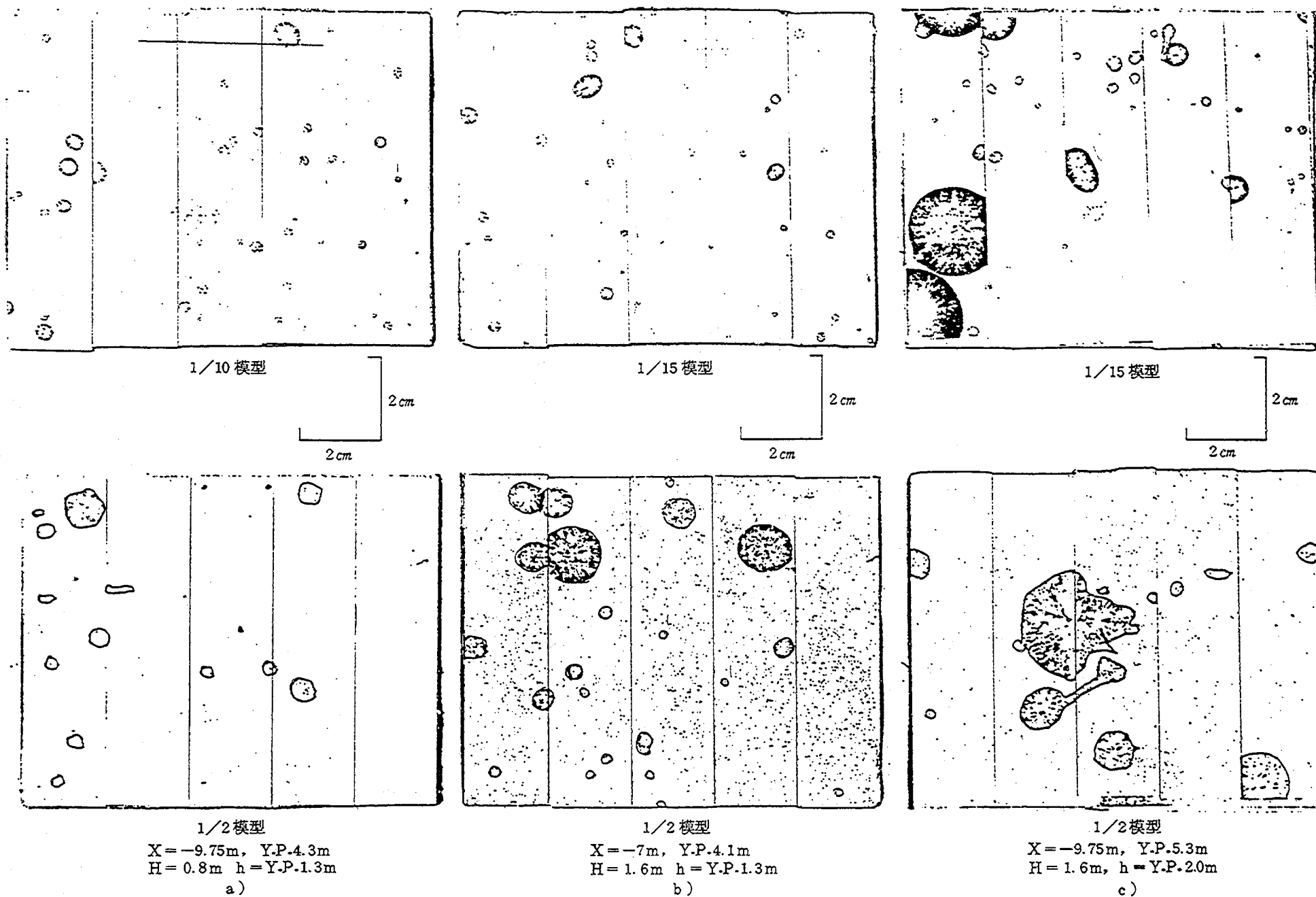
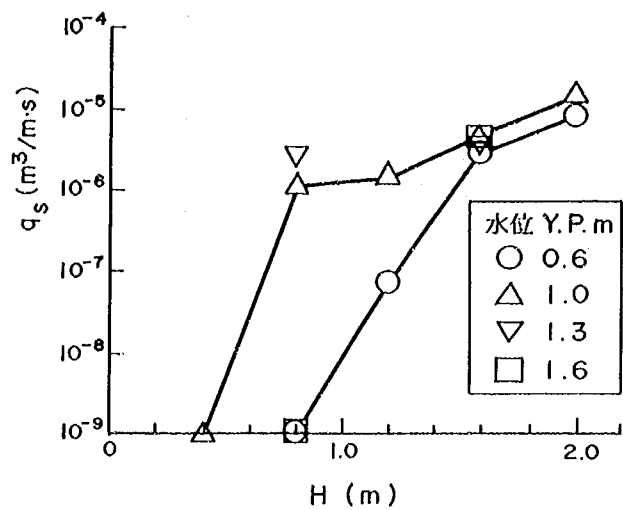
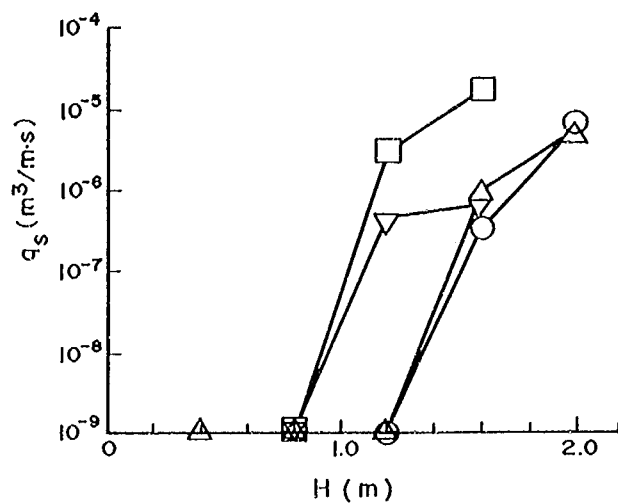


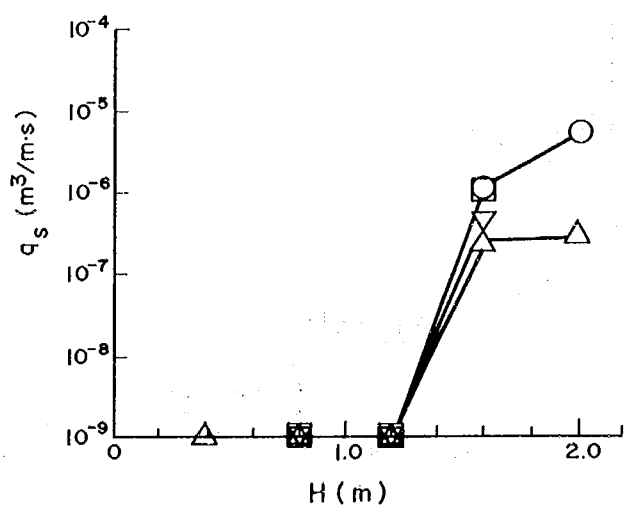
図-7.2 飛沫の大きさ



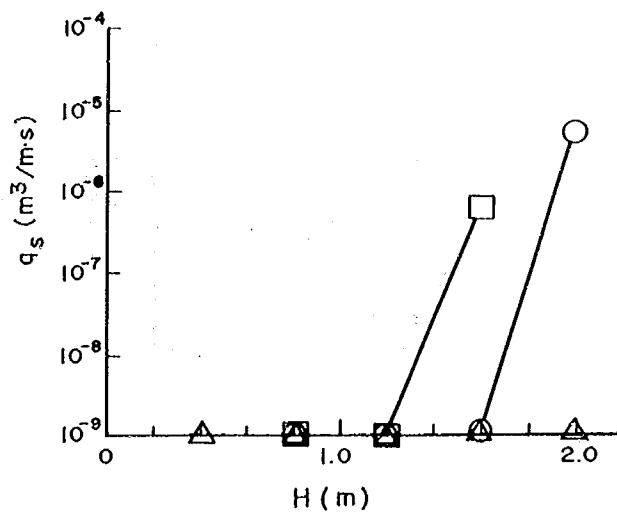
a) No. 2



b) No. 3



c) No. 4

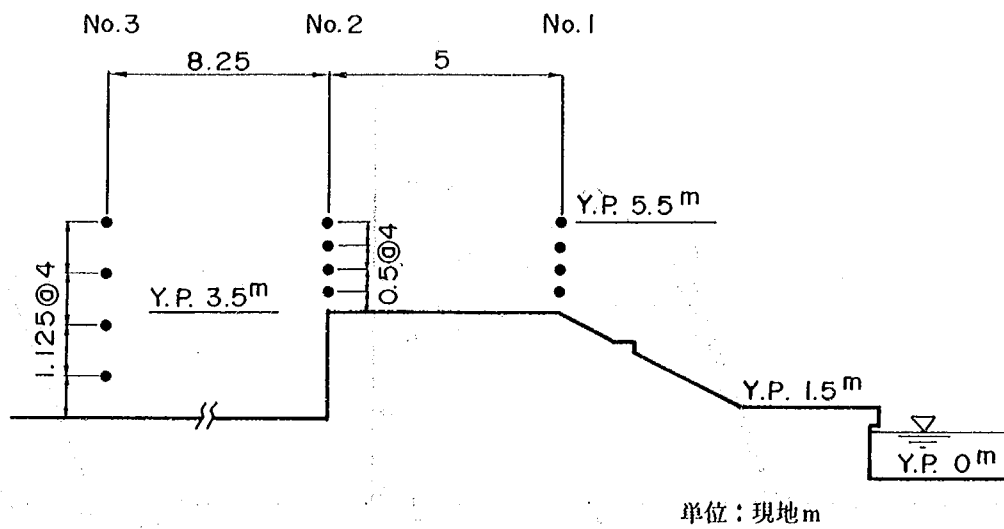


d) No. 5

図一7.3 通過飛沫流量

表一 7. 1 実験条件（対策工）

波 浪		水 位 Y. P. (m)	
波 高 H (m)	周 期 T (s)	1.0	1.3
0.8	3.7 6	○	○
1.2	4.3 8	○	○



図一 7. 4 飛沫量の測定点（対策工）

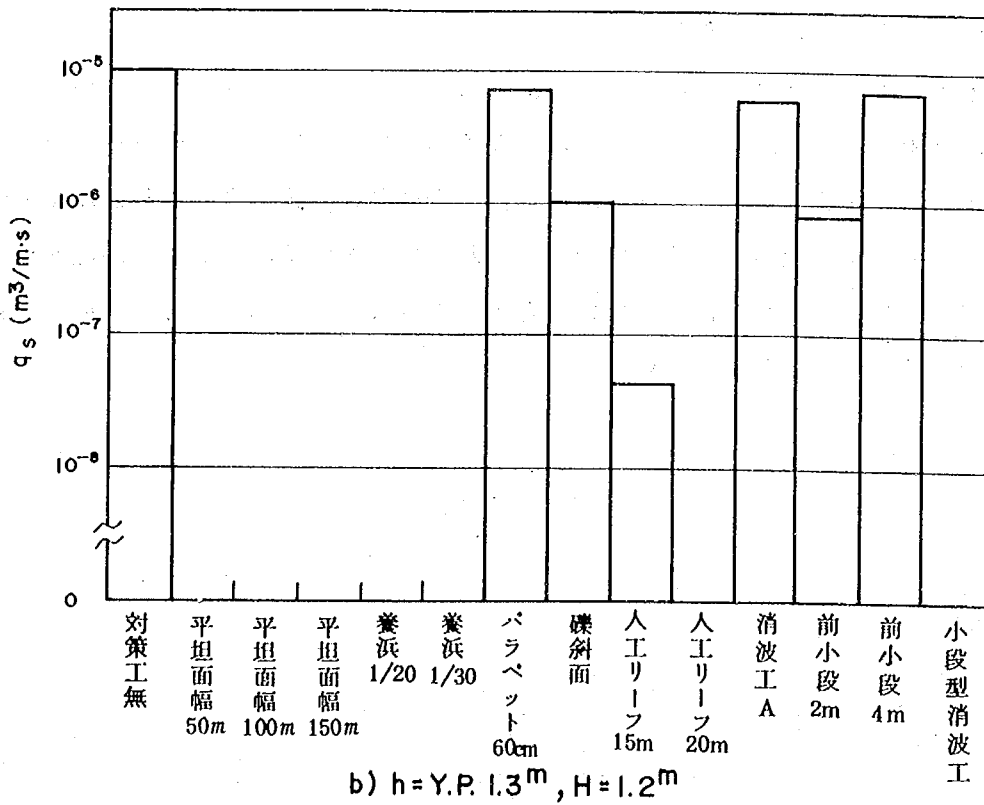
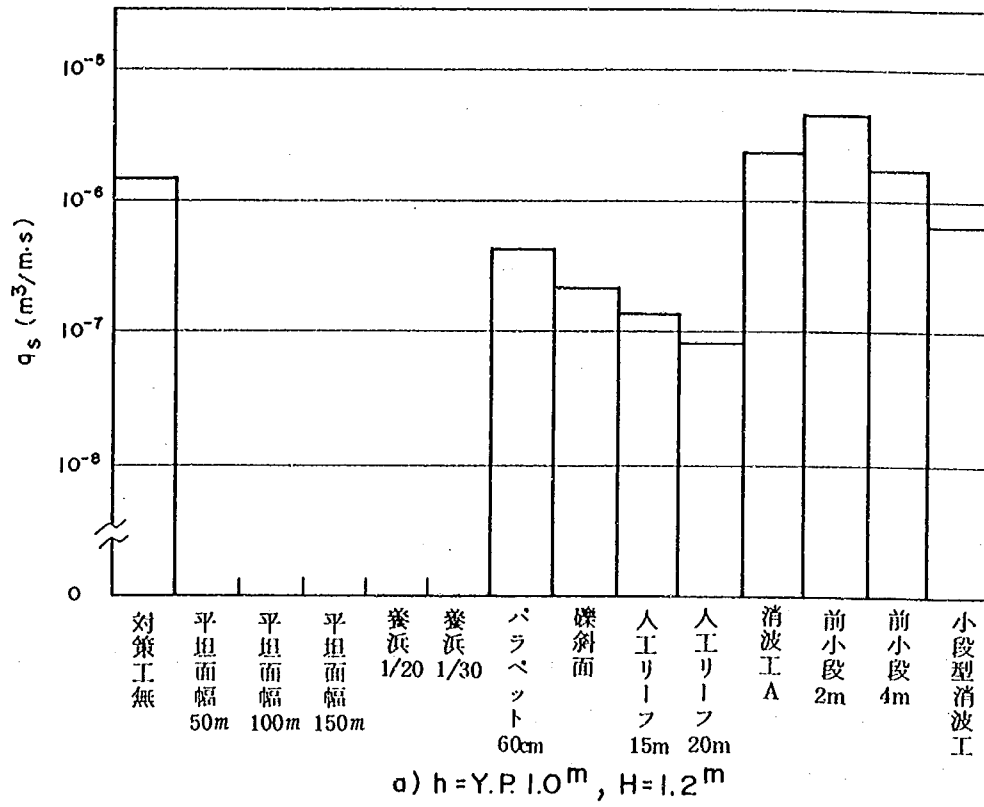


図-7.5 各対策工の通過飛沫流量

8. 結 論

越波流量の算定法に関して、図一 5.20 に示したフローによって湖岸全体に適用できる方法が作成された。これによって各地域の越波危険度を把握し、対策工を検討していく必要がある。

対策工については、どの水位までを対象とするかでその評価が異なってくる。ここでは $h = Y.P. 2.0 m$ と $2.6 m$ に分けて対策工を評価する。

① $h = Y.P. 2.0 m$ の場合

消波工、後退パラペット、養浜は有効な対策である。このうち後者2つは施工上の制約条件があるため、地域性を考慮して検討する必要がある。いずれも、越波をほとんど生じさせない程度の効果をもつ。しかし、背後地の状況等によっては許容越波流量に比べかなり過大設計になる場合もあり、対策工の諸元を縮小するなどの検討が必要である。人工リーフは、 $H < 2.0 m$ であれば越波をほとんど生じさせない程度の効果をもつ。天端を少し高くするか、天端幅を少し広げることによって対策工として十分用いることができる。前小段の延長は暫定的な対策として用いることが望ましい。

② $h = Y.P. 2.6 m$ の場合

この条件に対応できるのは、消波工と十分な高さ ($0.6 m$ 以上) のパラペットの併設及び養浜工である。景観や経済性を無視すれば大型の離岸堤や人工リーフでも対応は可能であるが、湖には適さないと考えられる。

越波対策工の検討にあたっては、越波制御効果、工法の制約条件、湖岸利用や景観、経済性を総合的に評価する必要がある。ここでは越波抑制効果の一般的な評価を行った。しかし、実際に対策工として評価する場合には、水位・波の設計条件、許容される越波流量（背後地の状況）によって評価が異なってくる。今後は、これらの点を明確にすることが課題である。また、最終的に工法が絞られた時点においては、各湖岸を対象として不規則波を用いた実験により、その効果を確認することが望ましい。

あ と が き

霞ヶ浦湖岸堤越波模型実験は霞ヶ浦工事事務所の依頼により昭和59年度から3カ年で行った。実験にあたっては現地データの解析，現地資料の提供など多くの点で霞ヶ浦工事事務所調査課の担当者に御協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦波浪解析報告書，昭和53年11月。
- 2) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦波浪解析報告書，昭和59年3月。
- 3) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦波浪検討報告書，昭和62年3月。
- 4) 合田良実：防波護岸の越波流量に関する研究，港湾技術研究所報告，第9巻，第4号，pp.3～41, 1970。
- 5) 合田良実・岸良安治・神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第14巻，第4号，pp.3～44, 1975。
- 6) 高山知司・永井紀彦・西田一彦・関口忠志：斜め入射不規則波を用いた護岸の越波特性実験，第31回海岸工学講演会論文集，pp.542～546, 1984。
- 7) 高田彰・藤川浩生：パラベット後退型護岸のうちあげ、越波および波圧の特性，第25回海岸工学講演会論文集，pp.283～287, 1978。
- 8) 高田彰・吉田吉治・藤川浩生：海岸堤防・護岸の断面形状と越波量との関係，第26回海岸工学講演会論文集，pp.285～289, 1979。
- 9) 石田昭・花田昌彦・細井正延：飛沫の発生に関する実験的研究，第29回海岸工学講演会論文集，pp.385～388, 1982。
- 10) 建設省霞ヶ浦工事事務所：霞ヶ浦漂砂調査報告書，昭和62年3月。

付 録

越波流量測定結果数值表

記号一覧	h : 水 位 (Y.P.m)
	H : 湖心波波高 (m)
	T : 湖心波周期 (sec)
	U : 風 速 (m/sec)
	Q : 越波流量 ($m^3/m \cdot s$)

(1) 基本図 (大岩田)

h (V.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	φ (m ³ /m.s)
0.60	0.60	3.38	0.00	2.218E-8
0.60	0.80	3.76	0.00	7.230E-8
0.60	1.00	4.11	0.00	1.160E-7
0.60	1.20	4.40	0.00	9.227E-8
0.60	1.40	4.68	0.00	6.039E-7
0.60	1.60	4.84	0.00	1.888E-6
0.60	1.80	5.15	0.00	3.625E-6
0.60	2.00	5.31	0.00	1.042E-5
1.00	0.40	2.93	0.00	0.000E-0
1.00	0.60	3.40	0.00	1.691E-7
1.00	0.80	3.79	0.00	4.082E-7
1.00	1.00	4.08	0.00	4.328E-6
1.00	1.20	4.40	0.00	2.520E-6
1.00	1.40	4.68	0.00	1.473E-6
1.00	1.60	4.92	0.00	5.916E-6
1.00	1.80	5.15	0.00	1.334E-5
1.00	2.00	5.38	0.00	1.078E-5
1.30	0.40	2.91	0.00	0.000E-0
1.30	0.60	3.40	0.00	7.963E-8
1.30	0.80	3.76	0.00	3.549E-6
1.30	1.00	4.11	0.00	4.482E-6
1.30	1.20	4.43	0.00	2.157E-5
1.30	1.40	4.68	0.00	3.821E-5
1.30	1.60	4.92	0.00	2.470E-5
1.30	1.80	5.11	0.00	7.385E-6
1.30	2.00	5.31	0.00	1.503E-5
1.45	1.00	4.08	0.00	1.286E-6
1.45	1.20	4.40	0.00	1.471E-3
1.45	1.40	4.68	0.00	1.458E-3
1.45	1.60	4.88	0.00	1.301E-4
1.60	0.40	2.95	0.00	0.000E-0
1.60	0.60	3.38	0.00	0.000E-0
1.60	0.80	3.79	0.00	2.437E-7
1.60	1.00	4.11	0.00	1.824E-3
1.60	1.20	4.43	0.00	2.825E-3
1.60	1.40	4.65	0.00	7.189E-3
1.60	1.60	4.96	0.00	3.788E-3
1.60	1.80	5.15	0.00	2.509E-3
1.60	2.00	5.31	0.00	6.256E-4
1.70	0.80	3.79	0.00	1.500E-4
1.70	1.00	4.11	0.00	2.690E-3
1.70	1.20	4.40	0.00	6.100E-3
1.70	1.40	4.68	0.00	3.639E-2
1.70	1.60	4.88	0.00	2.525E-2
1.70	1.80	5.11	0.00	1.817E-2
1.80	0.40	2.93	0.00	0.000E-0
1.80	0.60	3.59	0.00	1.310E-7
1.80	0.80	3.79	0.00	2.110E-7
1.80	1.00	4.11	0.00	1.295E-3
1.80	1.20	4.43	0.00	2.452E-2
1.80	1.40	4.68	0.00	3.130E-2
1.80	1.60	4.92	0.00	3.893E-2
1.80	1.80	5.15	0.00	5.138E-2
1.80	2.00	5.34	0.00	1.135E-2
1.80	2.20	5.54	0.00	8.592E-3

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	φ (m ³ /m.s)
2.00	0.40	2.91	0.00	0.0000E-0
2.00	0.60	3.38	0.00	3.245E-8
2.00	0.80	3.76	0.00	1.973E-3
2.00	1.00	4.11	0.00	1.719E-2
2.00	1.20	4.43	0.00	3.147E-2
2.00	1.40	4.68	0.00	6.660E-2
2.00	1.60	4.96	0.00	9.196E-2
2.00	1.80	5.11	0.00	9.301E-2
2.00	2.00	5.34	0.00	6.848E-2
2.00	2.20	5.46	0.00	4.040E-2
2.30	0.40	2.95	0.00	0.0000E-0
2.30	0.60	3.40	0.00	2.214E-8
2.30	0.80	3.76	0.00	1.039E-2
2.30	1.00	4.11	0.00	3.275E-2
2.30	1.20	4.43	0.00	3.736E-2
2.30	1.40	4.68	0.00	1.466E-1
2.30	1.60	4.96	0.00	1.696E-1
2.30	1.80	5.19	0.00	2.268E-1
2.30	2.00	5.23	0.00	2.845E-1
2.30	2.20	5.54	0.00	1.522E-1
2.60	0.40	2.95	0.00	8.762E-9
2.60	0.60	3.42	0.00	4.638E-3
2.60	0.80	3.79	0.00	2.170E-2
2.60	1.00	4.11	0.00	7.403E-2
2.60	1.20	4.43	0.00	1.492E-1
2.60	1.40	4.68	0.00	1.946E-1
2.60	1.60	4.92	0.00	3.546E-1
2.60	1.80	5.15	0.00	3.586E-1
2.60	2.00	5.34	0.00	4.040E-1
2.60	2.20	5.54	0.00	4.650E-1
2.90	0.40	2.95	0.00	2.636E-3
2.90	0.60	3.40	0.00	2.836E-2
2.90	0.80	3.79	0.00	7.510E-2
2.90	1.00	4.11	0.00	1.533E-1
2.90	1.20	4.40	0.00	2.251E-1
2.90	1.40	4.64	0.00	3.123E-1
2.90	1.60	5.00	0.00	4.420E-1
2.90	1.80	5.19	0.00	4.965E-1
2.90	2.00	5.42	0.00	5.461E-1
2.90	2.20	5.54	0.00	5.528E-1

(2) 基本図 (柏崎)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	φ (m ³ /m.s)
1.30	0.77	3.73	0.00	0.0000E-0
1.30	1.21	4.46	0.00	2.830E-7
1.30	1.58	4.92	0.00	2.364E-7
1.30	1.95	5.31	0.00	6.578E-7
1.60	0.80	3.79	0.00	0.0000E-0
1.60	1.21	4.40	0.00	1.351E-6
1.60	1.63	4.88	0.00	8.218E-6
1.60	2.00	5.34	0.00	4.956E-4
1.80	0.80	3.79	0.00	0.0000E-0
1.80	1.24	4.40	0.00	1.204E-3

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.80	1.64	5.00	0.00	3.857E-3
1.80	2.02	5.31	0.00	1.015E-3
2.00	0.79	3.76	0.00	4.266E-5
2.00	1.21	4.40	0.00	1.897E-2
2.00	1.57	4.92	0.00	3.665E-2
2.00	1.98	5.34	0.00	2.510E-2
2.30	0.82	3.79	0.00	1.110E-3
2.30	1.21	4.43	0.00	3.194E-2
2.30	1.62	4.92	0.00	1.285E-1
2.30	2.00	5.34	0.00	1.070E-1
2.60	0.81	3.79	0.00	2.438E-2
2.60	1.19	4.40	0.00	1.470E-1
2.60	1.57	4.88	0.00	2.552E-1
2.60	2.05	5.42	0.00	2.743E-1

(3) 地形の影響

① B = 50 m

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.19	4.42	0.00	0.000E-0
1.60	1.62	4.92	0.00	0.000E-0
1.60	1.95	5.27	0.00	0.000E-0
2.00	1.63	4.96	0.00	1.149E-4
2.00	1.96	5.34	0.00	4.793E-3
2.60	2.03	5.27	0.00	1.357E-1

② B = 100 m

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.23	4.38	0.00	0.000E-0
1.60	1.63	4.92	0.00	0.000E-0
1.60	1.97	5.34	0.00	0.000E-0
2.00	1.62	4.92	0.00	4.652E-4
2.00	1.95	5.38	0.00	5.278E-3
2.60	2.00	5.38	0.00	1.081E-1

③ B = 150 m

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.42	0.00	0.000E-0
1.60	1.57	4.96	0.00	0.000E-0
1.60	1.89	5.34	0.00	0.000E-0
2.00	1.57	4.92	0.00	2.010E-7
2.00	1.94	5.38	0.00	1.127E-3
2.60	1.98	5.34	0.00	1.318E-1

(4) 風の影響 (大岩田)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ² /m.s)
0.60	0.60	3.38	13.06	2.218E-8
0.60	0.80	3.76	18.21	7.230E-8
0.60	1.00	4.11	20.74	1.160E-7
0.60	1.20	4.40	23.84	9.227E-8
0.60	1.40	4.68	27.38	6.039E-7
0.60	1.60	4.84	31.37	1.888E-6
0.60	1.80	5.15	34.86	3.625E-6
0.60	2.00	5.31	38.34	1.042E-5
1.00	0.40	2.93	9.17	0.000E-0
1.00	0.60	3.40	13.06	1.691E-7
1.00	0.80	3.40	9.99	7.508E-7
1.00	0.80	3.40	13.66	6.967E-7
1.00	0.80	3.79	17.20	4.082E-7
1.00	0.80	3.79	20.30	3.360E-6
1.00	0.80	3.79	23.84	2.732E-6
1.00	1.00	4.08	20.55	4.328E-6
1.00	1.20	4.08	14.42	5.887E-7
1.00	1.20	4.08	19.79	8.237E-7
1.00	1.20	4.40	23.84	2.520E-6
1.00	1.20	4.40	29.15	9.881E-7
1.00	1.20	4.40	34.47	3.519E-6
1.00	1.40	4.68	28.02	1.473E-6
1.00	1.60	4.68	18.51	1.064E-6
1.00	1.60	4.68	24.47	1.691E-6
1.00	1.60	4.92	31.29	5.916E-6
1.00	1.60	4.92	37.65	1.309E-5
1.00	1.60	4.92	44.23	5.160E-5
1.00	1.80	5.15	34.86	1.334E-5
1.00	2.00	5.38	37.72	1.078E-5
1.30	0.40	2.91	9.17	0.000E-0
1.30	0.60	3.40	13.33	7.963E-8
1.30	0.80	3.76	17.07	3.549E-6
1.30	1.00	4.11	20.62	4.482E-6
1.30	1.20	4.43	24.41	2.157E-5
1.30	1.40	4.68	28.46	3.821E-5
1.30	1.60	4.92	31.37	2.470E-5
1.30	1.80	5.11	34.00	7.385E-6
1.30	2.00	5.31	38.65	1.503E-5
1.45	1.00	4.08	21.00	1.286E-6
1.45	1.20	4.40	24.22	1.471E-3
1.45	1.40	4.68	27.57	1.458E-3
1.45	1.60	4.88	31.45	1.301E-4
1.60	0.40	2.95	9.08	0.000E-0
1.60	0.60	3.38	13.24	0.000E-0
1.60	0.80	3.79	17.07	2.437E-7
1.60	1.00	4.11	20.74	1.824E-3
1.60	1.20	4.43	24.41	2.825E-3
1.60	1.40	4.65	27.76	7.189E-3
1.60	1.60	4.96	31.29	3.788E-3
1.60	1.80	5.15	34.55	2.509E-3
1.60	2.00	5.31	37.10	6.256E-4
1.70	0.80	3.79	17.01	1.500E-4
1.70	1.00	4.11	20.74	2.690E-3
1.70	1.20	4.40	24.16	6.100E-3
1.70	1.40	4.68	27.83	3.639E-2

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.70	1.60	4.88	31.40	2.525E-2
1.70	1.80	5.11	35.09	1.817E-2
1.80	0.40	2.93	9.53	0.000E-0
1.80	0.60	3.59	13.19	1.310E-7
1.80	0.80	3.59	10.06	5.447E-8
1.80	0.80	3.59	13.53	6.308E-8
1.80	0.80	3.79	16.95	2.110E-7
1.80	0.80	3.79	20.48	5.076E-7
1.80	0.80	3.79	24.09	1.933E-6
1.80	1.00	4.11	20.36	1.295E-3
1.80	1.20	4.11	14.67	5.089E-3
1.80	1.20	4.11	19.73	7.070E-3
1.80	1.20	4.43	23.97	2.452E-2
1.80	1.20	4.43	29.23	3.100E-2
1.80	1.20	4.43	34.15	3.226E-2
1.80	1.40	4.68	27.83	3.130E-2
1.80	1.60	4.68	18.82	1.579E-2
1.80	1.60	4.68	24.40	3.004E-2
1.80	1.60	4.92	30.36	3.893E-2
1.80	1.60	4.92	38.42	7.106E-2
1.80	1.60	4.92	35.73	5.999E-2
1.80	1.80	5.15	34.80	5.138E-2
1.80	2.00	5.34	37.65	1.135E-2
1.80	2.20	5.54	41.26	8.592E-3
2.00	0.40	2.91	9.21	0.000E-0
2.00	0.60	3.38	13.37	3.245E-8
2.00	0.80	3.76	18.02	1.973E-3
2.00	1.00	4.11	20.62	1.719E-2
2.00	1.20	4.43	24.16	3.147E-2
2.00	1.40	4.68	27.89	6.660E-2
2.00	1.60	4.96	31.06	9.196E-2
2.00	1.80	5.11	35.17	9.301E-2
2.00	2.00	5.34	39.19	6.848E-2
2.00	2.20	5.46	40.51	4.040E-2
2.30	0.40	2.95	9.26	0.000E-0
2.30	0.60	3.40	13.51	2.214E-8
2.30	0.80	3.76	18.02	1.039E-2
2.30	1.00	4.11	20.49	3.275E-2
2.30	1.20	4.43	23.65	3.736E-2
2.30	1.40	4.68	27.70	1.466E-1
2.30	1.60	4.96	30.91	1.696E-1
2.30	1.80	5.19	35.09	2.268E-1
2.30	2.00	5.23	39.12	2.845E-1
2.30	2.20	5.54	39.97	1.522E-1
2.60	0.40	2.95	9.53	8.762E-9
2.60	0.60	3.42	13.68	4.638E-3
2.60	0.80	3.42	10.12	1.351E-2
2.60	0.80	3.42	13.66	1.960E-2
2.60	0.80	3.79	17.14	1.492E-1
2.60	0.80	3.79	20.05	1.748E-2
2.60	0.80	3.79	23.97	2.441E-2
2.60	1.00	4.11	20.87	7.403E-2
2.60	1.20	4.11	14.73	1.478E-2
2.60	1.20	4.11	19.79	1.557E-1
2.60	1.20	4.43	24.66	1.492E-1
2.60	1.20	4.43	28.96	1.448E-1

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	φ (m ³ /m.s)
2.60	1.20	4.43	33.83	1.626E-1
2.60	1.40	4.68	26.94	1.946E-1
2.60	1.60	4.68	18.67	3.180E-1
2.60	1.60	4.68	25.41	3.559E-1
2.60	1.60	4.92	32.30	3.546E-1
2.60	1.60	4.92	37.72	3.854E-1
2.60	1.60	4.92	43.69	3.881E-1
2.60	1.80	5.15	34.62	3.586E-1
2.60	2.00	5.34	38.50	4.040E-1
2.60	2.20	5.54	41.21	4.650E-1
2.90	0.40	2.95	9.53	2.636E-3
2.90	0.60	3.40	13.68	2.836E-2
2.90	0.80	3.79	17.14	7.510E-2
2.90	1.00	4.11	20.87	1.533E-1
2.90	1.20	4.40	24.66	2.251E-1
2.90	1.40	4.64	26.94	3.123E-1
2.90	1.60	5.00	32.30	4.420E-1
2.90	1.80	5.19	34.62	4.965E-1
2.90	2.00	5.42	38.50	5.461E-1
2.90	2.20	5.54	41.21	5.528E-1

(5) 風の影響 (柏崎)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	φ (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.39	22.91	6.961E-4
1.60	1.20	4.39	31.22	2.640E-3
1.60	1.20	4.39	39.75	4.629E-3
1.60	2.00	5.31	34.52	1.373E-3
1.60	2.00	5.31	47.90	1.828E-3
1.60	2.00	5.31	60.82	5.389E-2
2.00	1.20	4.39	22.84	2.455E-2
2.00	1.20	4.39	31.30	3.175E-2
2.00	1.20	4.39	39.39	4.509E-2
2.00	2.00	5.31	35.10	2.849E-2
2.00	2.00	5.31	47.76	4.177E-2
2.00	2.00	5.31	56.39	5.327E-2
2.60	1.20	4.39	23.20	1.305E-1
2.60	1.20	4.39	31.37	1.417E-1
2.60	1.20	4.39	39.75	1.455E-1
2.60	2.00	5.31	34.79	2.608E-1
2.60	2.00	5.31	47.54	2.808E-1
2.60	2.00	5.31	60.91	2.870E-1

(6) 周期の影響

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	φ (m ³ /m.s)
1.30	0.79	7.15	0.00	1.383E-5
1.30	0.76	5.09	0.00	0.000E-0
1.30	0.79	4.14	0.00	0.000E-0
1.30	0.77	3.73	0.00	0.000E-0
1.30	0.81	3.23	0.00	0.000E-0
1.60	0.82	7.21	0.00	1.265E-2

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m³/m.s)
1.60	0.84	5.09	0.00	4.423E-3
1.60	0.80	4.17	0.00	0.000E-0
1.60	0.80	3.79	0.00	0.000E-0
1.60	0.79	3.22	0.00	0.000E-0
2.00	0.79	7.15	0.00	1.619E-2
2.00	0.82	5.06	0.00	2.733E-3
2.00	0.79	4.21	0.00	1.163E-4
2.00	0.79	3.76	0.00	4.266E-5
2.00	0.80	3.23	0.00	2.149E-7
2.60	0.79	7.12	0.00	7.321E-2
2.60	0.82	5.00	0.00	3.210E-2
2.60	0.77	4.17	0.00	2.337E-2
2.60	0.81	3.81	0.00	2.438E-2
2.60	0.83	3.19	0.00	2.647E-2
1.30	1.14	8.70	0.00	1.749E-5
1.30	1.18	6.23	0.00	5.373E-7
1.30	1.17	5.09	0.00	3.019E-7
1.30	1.21	4.46	0.00	2.830E-7
1.30	1.19	4.11	0.00	2.162E-7
1.60	1.17	8.63	0.00	2.105E-2
1.60	1.17	6.20	0.00	6.188E-3
1.60	1.16	5.19	0.00	8.991E-4
1.60	1.21	4.40	0.00	1.100E-5
1.60	1.22	4.11	0.00	1.065E-6
2.00	1.18	8.85	0.00	1.348E-1
2.00	1.20	6.23	0.00	1.104E-1
2.00	1.22	5.09	0.00	6.633E-2
2.00	1.21	4.40	0.00	1.897E-2
2.00	1.21	4.14	0.00	2.008E-2
2.60	1.19	8.92	0.00	1.835E-1
2.60	1.21	6.23	0.00	1.803E-1
2.60	1.20	5.04	0.00	1.687E-1
2.60	1.19	4.40	0.00	1.470E-1
2.60	1.21	4.14	0.00	1.030E-1
1.60	1.59	10.19	0.00	2.339E-3
1.30	1.75	7.20	0.00	8.299E-5
1.30	1.63	5.89	0.00	3.401E-7
1.30	1.58	4.92	0.00	2.364E-7
1.30	1.63	4.57	0.00	8.336E-8
1.60	1.74	10.26	0.00	2.127E-2
1.60	1.56	7.17	0.00	7.395E-3
1.60	1.60	5.81	0.00	1.737E-3
1.60	1.63	4.88	0.00	8.218E-5
1.60	1.60	4.57	0.00	8.212E-7
2.00	1.57	10.15	0.00	1.543E-1
2.00	1.55	7.17	0.00	1.072E-1
2.00	1.58	5.83	0.00	5.489E-2
2.00	1.57	4.92	0.00	3.665E-2
2.00	1.62	4.57	0.00	2.149E-2
2.60	1.56	10.22	0.00	2.561E-1
2.60	1.60	7.20	0.00	2.415E-1
2.60	1.60	5.81	0.00	2.744E-1
2.60	1.57	4.88	0.00	2.552E-1
2.60	1.58	4.53	0.00	1.539E-1
1.30	2.01	11.35	0.00	1.028E-2
1.30	1.95	8.09	0.00	1.650E-3

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.30	2.00	6.62	0.00	2.236E-4
1.30	1.95	5.31	0.00	6.578E-7
1.30	1.99	5.15	0.00	6.003E-7
1.60	1.91	11.27	0.00	5.131E-2
1.60	1.95	8.13	0.00	3.043E-2
1.60	2.01	6.55	0.00	6.502E-3
1.80	2.00	5.34	0.00	4.956E-4
1.60	2.04	5.11	0.00	4.064E-5
2.00	1.97	11.46	0.00	2.449E-1
2.00	1.96	8.06	0.00	1.036E-1
2.00	1.97	6.62	0.00	7.526E-2
2.00	1.98	5.34	0.00	2.510E-2
2.00	2.05	5.11	0.00	2.214E-2
2.60	2.07	11.58	0.00	3.661E-1
2.60	2.01	7.98	0.00	3.382E-1
2.60	2.04	6.70	0.00	3.267E-1
2.60	2.05	5.42	0.00	2.743E-1
2.60	2.02	5.07	0.00	2.000E-1

(7) 風と周期の影響

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.20	8.77	22.99	3.091E-2
1.60	1.20	8.77	31.66	3.247E-2
1.60	1.20	8.77	39.68	3.469E-2
1.60	1.20	6.20	23.20	1.227E-2
1.60	1.20	6.20	31.51	1.653E-2
1.60	1.20	6.20	39.90	1.876E-2
1.60	1.20	5.06	22.91	5.010E-3
1.60	1.20	5.06	31.66	7.650E-3
1.60	1.20	5.06	39.75	9.363E-3
1.60	1.20	3.92	23.35	1.294E-5
1.60	1.20	3.92	31.51	4.423E-4
1.60	1.20	3.92	39.68	6.239E-3
1.60	2.00	11.32	34.88	2.880E-2
1.60	2.00	11.32	47.98	4.197E-2
1.60	2.00	11.32	61.22	7.856E-2
1.60	2.00	11.32	34.79	1.534E-2
1.60	2.00	8.01	47.58	2.577E-2
1.60	2.00	8.01	60.77	3.170E-2
1.60	2.00	6.54	32.92	8.270E-3
1.60	2.00	6.54	47.02	2.033E-2
1.60	2.00	6.54	56.70	2.537E-2
1.60	2.00	5.06	34.88	5.243E-4
1.60	2.00	5.06	47.80	1.318E-3
1.60	2.00	5.06	60.77	5.979E-3
2.60	1.20	8.77	23.71	2.251E-1
2.60	1.20	8.77	31.73	2.353E-1
2.60	1.20	8.77	39.75	2.400E-1
2.60	1.20	6.20	23.64	2.260E-1
2.60	1.20	6.20	31.59	2.362E-1
2.60	1.20	6.20	39.25	2.431E-1
2.60	1.20	5.06	23.06	1.691E-1
2.60	1.20	5.06	32.16	1.852E-1

h (V.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
2.60	1.20	5.06	40.26	2.052E-1
2.60	1.20	3.92	23.27	1.048E-1
2.60	1.20	3.92	31.80	1.030E-1
2.60	1.20	3.92	39.90	1.224E-1
2.60	2.00	11.32	34.66	4.181E-1
2.60	2.00	11.32	47.80	4.512E-1
2.60	2.00	11.32	60.82	4.942E-1
2.60	2.00	8.01	34.88	4.153E-1
2.60	2.00	8.01	47.89	4.510E-1
2.60	2.00	8.01	61.35	4.788E-1
2.60	2.00	6.54	34.88	3.807E-1
2.60	2.00	6.54	47.76	4.293E-1
2.60	2.00	6.54	60.69	4.378E-1
2.60	2.00	5.06	34.57	2.774E-1
2.60	2.00	5.06	47.89	3.535E-1
2.60	2.00	5.06	60.66	4.755E-1

(8) 対策工の効果

①消波工A

h (V.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.42	0.00	1.522E-6
1.60	1.55	4.92	0.00	3.264E-8
1.60	1.97	5.34	0.00	7.168E-8
2.00	1.19	4.38	0.00	3.184E-6
2.00	1.50	4.92	0.00	1.156E-6
2.00	1.94	5.31	0.00	2.377E-7
2.60	1.23	4.45	0.00	6.180E-4
2.60	1.46	4.96	0.00	3.217E-2
2.60	1.83	5.34	0.00	1.055E-1

②消波工B

h (V.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.23	4.45	0.00	6.377E-7
1.60	1.62	4.92	0.00	6.706E-7
1.60	1.93	5.42	0.00	1.674E-7
2.00	1.23	4.42	0.00	8.098E-7
2.00	1.57	4.92	0.00	2.686E-7
2.00	2.04	5.42	0.00	5.117E-7
2.60	1.29	4.42	0.00	1.159E-3
2.60	1.59	4.92	0.00	3.864E-2
2.60	1.89	5.34	0.00	1.089E-1

③離岸堤A

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.18	4.38	0.00	0.0000E-0
1.60	1.45	4.92	0.00	5.295E-3
1.60	1.65	5.34	0.00	8.323E-3
2.00	1.17	4.38	0.00	8.330E-4
2.00	1.57	4.92	0.00	9.609E-3
2.00	2.19	5.34	0.00	2.212E-2
2.60	1.00	4.42	0.00	4.169E-2
2.60	1.53	4.88	0.00	9.005E-2
2.60	1.74	5.34	0.00	1.573E-1

④離岸堤B

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.14	4.42	0.00	0.0000E-0
1.60	1.44	4.92	0.00	2.123E-7
1.60	1.77	5.42	0.00	5.573E-4
2.00	1.17	4.42	0.00	0.0000E-0
2.00	1.58	4.92	0.00	2.767E-3
2.00	2.21	5.34	0.00	5.906E-2
2.60	1.18	4.45	0.00	2.569E-2
2.60	1.63	4.88	0.00	4.977E-2
2.60	1.92	5.31	0.00	1.418E-1

⑤バラベツト (0.6m)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.17	4.45	0.00	1.424E-5
1.60	1.68	4.88	0.00	6.825E-7
1.60	1.90	5.31	0.00	1.322E-6
2.00	1.20	4.45	0.00	1.721E-2
2.00	1.59	4.92	0.00	2.478E-3
2.00	1.92	5.38	0.00	3.551E-3
2.60	1.29	4.49	0.00	5.714E-2
2.60	1.50	4.92	0.00	7.829E-2
2.60	1.94	5.38	0.00	9.672E-2

⑥バラベツト (0.8m)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.38	0.00	1.923E-6
1.60	1.67	4.88	0.00	6.805E-7
1.60	2.03	5.31	0.00	1.270E-6
2.00	1.23	4.42	0.00	5.059E-3
2.00	1.60	4.92	0.00	7.595E-3
2.00	2.05	5.31	0.00	2.925E-3
2.60	1.22	4.42	0.00	2.130E-2
2.60	1.65	4.92	0.00	8.069E-2
2.60	2.03	5.34	0.00	1.430E-1

㊦後退バラベツト

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.16	4.45	0.00	1.201E-6
1.60	1.43	4.92	0.00	3.820E-7
1.60	1.86	5.38	0.00	6.972E-7
2.00	1.08	4.53	0.00	1.181E-5
2.00	1.39	4.92	0.00	6.760E-6
2.00	2.06	5.34	0.00	5.585E-6
2.60	1.06	4.42	0.00	1.815E-3
2.60	1.48	4.96	0.00	1.474E-2
2.60	1.98	5.34	0.00	2.734E-2

㊧消波工A+バラベツト

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.12	4.42	0.00	2.504E-6
1.60	1.44	4.84	0.00	0.000E-0
1.60	1.86	5.34	0.00	0.000E-0
2.00	1.16	4.42	0.00	1.009E-7
2.00	1.64	4.96	0.00	6.761E-8
2.00	1.92	5.34	0.00	3.066E-8
2.60	1.26	4.42	0.00	3.659E-7
2.60	1.38	4.92	0.00	1.346E-5
2.60	1.76	5.31	0.00	7.025E-3

㊨消波工A+後退バラベツト

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.21	4.42	0.00	5.452E-7
1.60	1.55	4.96	0.00	1.142E-8
1.60	1.84	4.92	0.00	0.000E-0
2.00	1.22	4.42	0.00	8.920E-7
2.00	1.69	4.92	0.00	5.150E-7
2.00	2.15	5.31	0.00	2.779E-7
2.60	1.30	4.38	0.00	1.983E-6
2.60	1.64	4.84	0.00	1.374E-5
2.60	1.92	5.42	0.00	5.210E-4

㊩養浜 (1/20勾配)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.38	0.00	0.000E-0
1.60	1.64	4.92	0.00	0.000E-0
1.60	2.00	5.31	0.00	0.000E-0
2.00	1.16	4.42	0.00	0.000E-0
2.00	1.59	4.92	0.00	0.000E-0
2.00	2.00	5.31	0.00	0.000E-0
2.60	1.16	4.42	0.00	1.065E-2
2.60	1.61	4.92	0.00	1.426E-2
2.60	1.99	5.34	0.00	3.317E-2

⑪養浜 (1/30勾配)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.22	4.38	0.00	0.0000E-0
1.60	1.61	4.92	0.00	0.0000E-0
1.60	1.97	5.34	0.00	0.0000E-0
2.00	1.14	4.38	0.00	0.0000E-0
2.00	1.56	4.92	0.00	0.0000E-0
2.00	1.94	5.34	0.00	0.0000E-0
2.60	1.17	4.42	0.00	1.912E-3
2.60	1.59	4.92	0.00	1.940E-3
2.60	2.01	5.34	0.00	2.999E-3

⑫養浜 (1/20勾配) + バラベツト (0.4m)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.22	4.38	0.00	0.0000E-0
1.60	1.63	4.88	0.00	0.0000E-0
1.60	2.03	5.34	0.00	0.0000E-0
2.00	1.20	4.38	0.00	0.0000E-0
2.00	1.66	4.92	0.00	0.0000E-0
2.00	2.03	5.34	0.00	0.0000E-0
2.60	1.20	4.38	0.00	6.334E-4
2.60	1.57	5.34	0.00	6.422E-3
2.60	2.00	5.34	0.00	5.623E-3

⑬人工リーフ (幅15m)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.18	4.42	0.00	0.0000E-0
1.60	1.63	4.88	0.00	0.0000E-0
1.60	1.96	5.34	0.00	3.501E-8
2.00	1.14	4.42	0.00	5.601E-8
2.00	1.58	4.92	0.00	6.831E-7
2.00	1.95	5.34	0.00	6.456E-3
2.60	1.17	4.38	0.00	4.550E-2
2.60	1.65	4.88	0.00	1.048E-1
2.60	1.99	5.27	0.00	1.655E-1

⑭人工リーフ (幅20m)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.38	0.00	0.0000E-0
1.60	1.64	4.92	0.00	5.803E-8
1.60	1.97	5.34	0.00	4.387E-7
2.00	1.14	4.42	0.00	9.739E-8
2.00	1.61	4.88	0.00	6.202E-7
2.00	2.00	5.31	0.00	2.274E-3
2.60	1.18	4.42	0.00	2.841E-2
2.60	1.63	4.92	0.00	5.161E-2
2.60	2.03	5.34	0.00	1.047E-1

㊤人エリーフ（幅15m）+パラベット（0.4m）

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.38	0.00	0.0000E-0
1.60	1.59	4.88	0.00	3.704E-8
1.60	2.00	5.31	0.00	3.422E-8
2.00	1.17	4.42	0.00	3.242E-7
2.00	1.64	4.88	0.00	1.682E-7
2.00	2.08	5.34	0.00	1.003E-3
2.60	1.23	4.42	0.00	1.357E-2
2.60	1.66	4.92	0.00	3.053E-2
2.60	2.00	5.34	0.00	4.463E-2

㊤隙斜面

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.21	4.38	0.00	1.359E-6
1.60	1.64	4.92	0.00	7.483E-7
1.60	2.00	5.38	0.00	1.652E-6
2.00	1.16	4.42	0.00	4.971E-3
2.00	1.62	4.96	0.00	2.209E-2
2.00	1.96	5.34	0.00	3.567E-2
2.60	1.21	4.42	0.00	1.301E-1
2.60	1.65	4.88	0.00	2.660E-1
2.60	1.97	5.34	0.00	3.777E-1

㊤前小段延長（2m）

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.42	0.00	7.363E-6
1.60	1.66	4.88	0.00	1.382E-5
1.60	1.98	5.34	0.00	3.424E-6
2.00	1.14	4.42	0.00	2.031E-6
2.00	1.60	4.88	0.00	3.576E-2
2.00	2.01	5.31	0.00	1.387E-2
2.60	1.20	4.42	0.00	1.134E-1
2.60	1.67	4.88	0.00	2.646E-1
2.60	2.02	5.34	0.00	3.692E-1

㊤前小段延長（4m）

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	ϕ (m ³ /m.s)
1.60	1.20	4.38	0.00	1.050E-5
1.60	1.63	4.88	0.00	4.423E-6
1.60	1.97	5.34	0.00	1.902E-6
2.00	1.15	4.38	0.00	4.373E-6
2.00	1.61	5.34	0.00	1.141E-2
2.00	1.99	5.34	0.00	3.518E-2
2.60	1.21	4.42	0.00	6.833E-2
2.60	1.62	4.92	0.00	1.608E-1
2.60	1.99	5.34	0.00	2.771E-1

㊤前小段延長 (2 m) + バラベツト (0.4 m)

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ² /m.s)
1.60	1.23	4.38	0.00	9.791E-6
1.60	1.68	4.80	0.00	4.370E-6
1.60	2.03	5.34	0.00	1.922E-6
2.00	1.16	4.42	0.00	4.768E-7
2.00	1.60	4.92	0.00	9.435E-3
2.00	2.05	5.34	0.00	3.374E-2
2.60	1.19	4.42	0.00	4.436E-2
2.60	1.61	4.88	0.00	1.318E-1
2.60	1.98	5.31	0.00	1.501E-1

㊤小段型消波工

h (Y.P.m)	H (m)	T (sec)	U (m/sec)	g (m ² /m.s)
1.60	1.23	4.38	0.00	2.064E-6
1.60	2.00	5.34	0.00	6.105E-7
2.00	1.18	5.34	0.00	5.792E-6
2.00	2.04	5.31	0.00	3.912E-2

霞ヶ浦湖岸堤
越波模型実験報告書

ISSN 0386-5878
土 研 資 料 第 2519 号
昭和 62 年 9 月 (1987 年)
海岸研究室 宇 多 高 明
小 俣 篤

要旨

霞ヶ浦において、風浪に伴い発生する湖岸堤からの越波に関し、その流量の算定法を求めるために模型実験を行った。その結果より、霞ヶ浦の各地区ごとに湖岸堤の越波流量を算定する方法を求めた。更に、越波対策工に関する模型実験結果より、対策工の越波防止効果を求めた。

キーワード：霞ヶ浦，湖岸堤，模型実験，越波流量算定法，対策工

○

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
海岸研究室
御中

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

○

○

土木研究所資料第 2519 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○