

I S S N 0386—5878

土 研 資 料 第1825号

土 木 研 究 所 資 料

有明海岸堤防水理模型実験報告書

昭和57年 3 月

建設省土木研究所
河 川 部 海岸研究室

Copyright © 56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ってはならない。

まえがき

有明海岸は有明海の湾奥部に位置し、その背後に佐賀平野および白石平野の穀倉地帯をひかえている。これらの平野は筑後川、六角川等によって運ばれた土粒子によって形成された干潟を干拓することによって造られたものである。一方有明海は台風の常襲コースに位置しており、遠浅の海岸が続いていることもあって高潮が発生しやすく、潮位偏差も2mを越える場合がある。

過去においても昭和31年8月の台風9号によって海岸堤防が破堤し死者、行方不明者2人、家屋の全壊、流出111戸、浸水1592戸、耕地の流出埋没7ha、冠水2544ha、船舶の沈没流出107隻の被災を受けた。これら台風による災害を防止するために昭和35年4月より延長25.1kmの海岸が直轄海岸事業区域に指定されて、海岸堤防のかさ上げ、補強、防潮水門の建設等の事業が行われてきた。

計画堤防高はT.P.+7.5mであるが有明粘土と呼ばれる軟弱地盤上に堤防が造られるためにそのかさ上げは容易ではなく、現在暫定施工高T.P.+6.1mを目標に工事が行われている。しかし完成までに長期間を要することなどから、現況の堤防の有する機能の評価、捨石等による越波防止工法の効果の検討、計画堤防高の見直し、施工法の検討などを行う必要が生じた。本報告はこれらの検討のための資料とするために、縮尺1/15および1/20の水理模型実験によって海岸堤防への波のうちあげ高や越波量について検討を行なった結果を報告するものである。

水理模型実験においては造波水路を使用し、種々の波浪条件のもとでのうちあげ高と越波量を測定した。堤防の形状としては現況断面、計画断面、捨石によるマウンドや離岸堤を設けた場合、堤防表のり勾配を緩傾斜にした場合等について検討を行った。

海岸研究室長	橋 本	宏
前研究員	山 口	修
	弘 田	英 人

目 次

まえがき	
1. 有明海岸の概要	1
1.1 自然条件	1
1.2 高潮対策計画	3
1.3 問題点	5
2. 実験目的および相似則	6
2.1 実験目的	6
2.2 相似則	6
3. 規則波実験	8
3.1 目 的	8
3.2 実験方法	8
3.3 実験条件	13
3.4 実験結果	25
4. 不規則波実験	41
4.1 目 的	41
4.2 実験方法	41
4.3 実験条件	45
4.4 実験結果	48
5. 現地への適用	59
5.1 波浪の変形	59
5.2 越波量	60
6. 結 語	63
参考文献	64
付 表	65

1. 有明海岸の概要

1. 1 自然条件¹⁾

有明海は九州西部に位置し、長崎、佐賀、福岡、熊本、の4県に囲まれた面積1,700Km²、海岸線延長540Km、最大水深約60mの内海である。有明海岸は有明海周囲の海岸のうちで湾奥部に位置する大詫間海岸、川副海岸、東与賀海岸、嘉瀬海岸、芦刈海岸、福富海岸、有明海岸、鹿島海岸を総称したものである。

有明海には筑後川をはじめとし直轄の9河川が流入しているが、これらの河川は粘土粒子を有明海に運び込み、沿岸部に「有明粘土」と呼ばれる軟弱な地盤を形成している。その厚さは15~20mで場合によって27mに達する場所もある。海岸近くの海底は土粒子の堆積によって徐々に堆積している場所もあり、また流れの集中する場合には洗掘が生じる。

九州は台風の常襲地帯に位置しており、平均して年間約5個の台風が上陸または接近している。有明海に高潮をもたらした台風のコースとその諸元を図-1と表-1に示すが、有明海は南に湾口を開いており、また湾内が浅いために大きな高潮が発生しやすい。

海象および気象の観測は海中にタワーを設けて観測が行われており、風については北東から北西の風が多く、年間の約53%はこの範囲に入っている。風速8m/sec以上の強風についても同様の傾向を示す。

波浪についてはタワーにおける観測によると1年間を通じて波高25cm以下が90%程度となっており、秋および冬は北からの風が卓越し、吹送距離も観測所までは約10Kmと短いために大きな波は発生していない。一方春と夏は南からの風によって大きな波が発生しやすい。

潮汐に関しては有明海の規模が大きく天体潮が湾奥では増幅され潮位振幅は大きく、朔望平均満潮位はT.P.+2.66m、干潮位はT.P.-1.89mに達している。

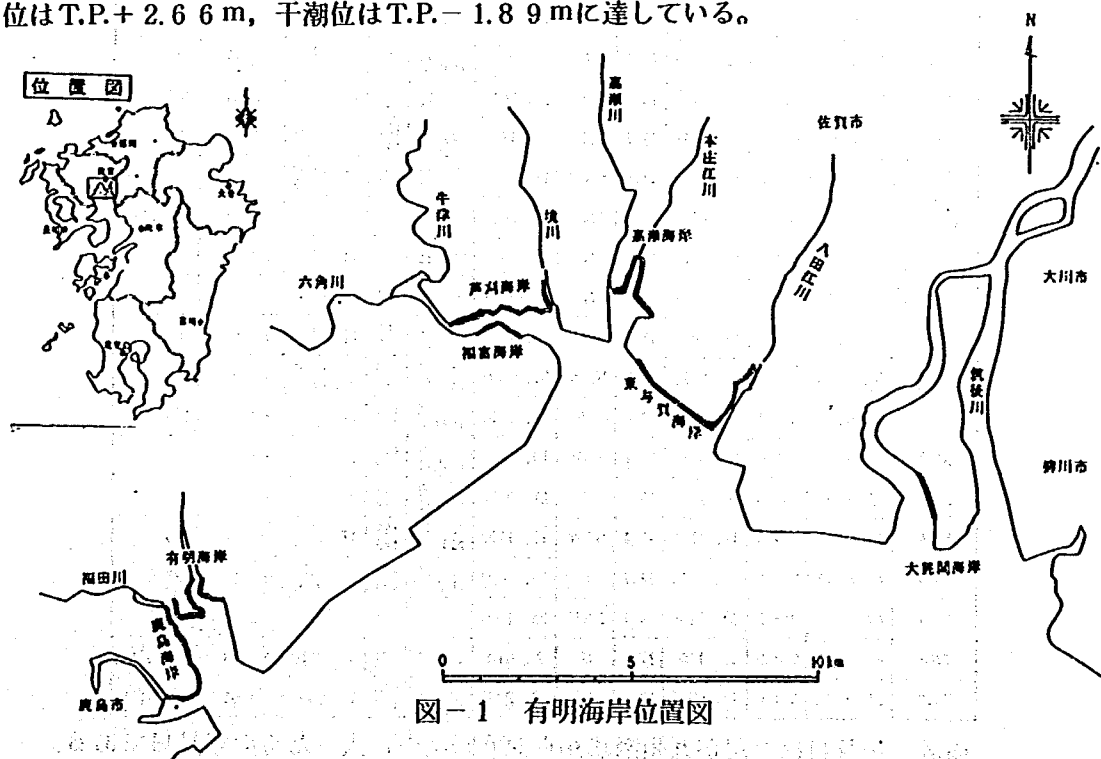


図-1 有明海岸位置図

1.2 高潮対策計画²⁾

有明海岸の高潮対策については昭和35年12月に高潮の検討を行い、昭和37年3月に高潮および波浪についての検討を行い、その結果にもとづいて計画の諸元が決められた。基本的な考え方としては台風の規模として昭和34年9月の14号台風を採用し、これが各海岸において最大の潮位偏差および波高を与えるようにその経路を設定する。潮位偏差については気圧の低下による海面上昇と風による吹き寄せを考慮し、波浪についてはSMB法によって推算した。これらの数値にもとづいて計画堤防高を決定している。

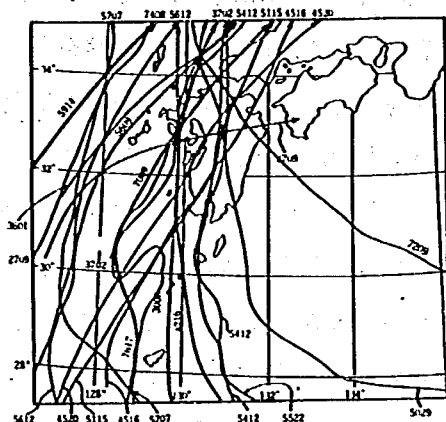


図-2 有明海に高潮をもたらした台風のコース

表-1 有明海に高潮をもたらした台風

台風番号 (呼び名)	年月日 (昭和)	最低気圧		最大風速		最大潮位偏差		最高潮位	総降雨量
		mb	日、時分	m/s	風向、日、時分	地名	cm、日、時分		
2709	2.9.13	998.1	13. 1000	11.3	N 13. 1100	三池	61 13. 10-	+3.54(m)	152 (mm)
-	4.7.2	991.4	2. 0200	17.0	S 2. 0820	三池	101 2. 02-	+2.30	3.8(日)
3008	5.7.18	972.8	18. 0900	32.7	S 18. 1100	三池 紅粉屋	96 246 18. 11-	+3.78	82
-	5.8.12	975.1	12. 1520	21.4	S 12. 1720	三池 紅粉屋	82 143 12. 19-	+2.67	83.6(日)
3601	11.7.23	988.6	23. 0440	27.7	S 23. 0540	三池 紅粉屋	88 175 23. 04-	+2.96	76
3702	12.7.25	981.5	25. 1800 1900 1920	16.6	NE 25. 1640	三池 池角	59 45 25. 1-	+3.55	268
4216	17.8.26	959.1	27. 1753	27.7	SE 27. 1800	三池 紅粉屋	120 140 27. 2000	+3.95	106
4516 (枕崎)	20.9.17	968.2	17. 1817	18.8	NNW 17. 2100	三池 池角	37 78 17. 2100	—	84.1(日)
4520 (阿久根)	20.10.10	983.4	10. 1603	15.3	N 10. 2030	-	-	—	59.1(日)
5029 (キジア)	25.9.12	982.4	13. 2016	16.1	N 13. 1927	住之江	40 14. 0100	+3.25	122
5115 (ルース)	26.10.14	963.3	14. 2109	18.0	N 14. 2257	三池	44 15. 0100	—	82 (日)
5412 (ジェーン)	29.9.12	965.0	13. 2042	13.5	NE 13. 1700	住之江 池角	66 60 14. 0700 13. 2300	+3.55	50
5522 (ルイス)	30.9.28	972.8	30. 0418	15.8	NNE 30. 0300	三池 池角	50 41 30. 0700 29. 0800	+3.59	40
5609	31.8.16	968.4	17. 0451	27.0	SE 17. 0410	三池 紅粉屋	150 236 17. 05- 0520	+4.01	100
5612	31.9.9	981.0	10. 0240	24.1	SSW 10. 0400	三池 住之江	122 208 10. 06- 04-	+3.65	52
5707	32.8.19	989.0	20. 1343	15.0	S 21. 0831	三池 住之江	97 79 20. 1-	+2.00	24
5914	34.9.16	990.6	17. 1004	19.3	SSW 17. 1100	三池 紅粉屋	107 163 17. 1100 1200	+3.67	30
7009	45.8.13	965.3	15. 0056	18.7	E 15. 0020	三池 住之江	209 293 15. 0055 0050	+2.43	123.5
7209	47.7.23	988.5	23. 2305	8.7	ENE 23. 1020	-	-	+2.08	20.5
7408	49.7.6	992.9	6. 1700	17.0	S 7. 0120	大浦	64 6. 2110	+3.78	10.0(日)
7617	51.9.10	971.6	13. 0336	19.6	S 13. 0356	三池 大浦	150 142 13. 0513	+3.61	40.0(日)

備考 年月日は台風が九州南端から500km圏内に入った時の年月日である。
(日)は、日降雨量

昭和34年9月の14号台風の規模は表-2に示すように最低気圧935mb, 台風中心から50Kmの地点で最大風速40m/sec, 台風の進行速度40km/hrである。台風のコースとしては筑後川河口および六角川河口を推算地点とし, これら検討地点に対して最も

表-2 計画台風の規模

想定台風	昭和34年9月台風14号
最大風速	40m/sec (半径50Km)
最低気圧	935mb
進行速度	40Km/hr

も長い吹送距離を考え, それに平行に約50Km離れて台風が進行するものとした。

潮位偏差は気圧低下による海面上昇と風の吹き寄せによる海面上昇の和とし, それらは次式で計算されるとした。

$$\zeta_1 = \rho (P_0 - P) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで ζ_1 : 気圧低下による海面上昇, ρ : 海水の密度, P_0 : 対象地点のその月の平均気圧 (mb) P : 気圧である。また風の吹き寄せによる海面上昇 ζ_2 はコールディングの式を用い次のように表わされる。

$$\frac{\partial \zeta_2}{\partial x} = \frac{3}{2} \frac{\tau_s}{\rho g h} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで x : 距離, $\tau_s = \rho' V^2$: 海面での風によるせん断力, ρ' : 空気の密度, ν^2 : 摩擦係数 (0.0025~0.0026), V : 風速, g : 重力の加速度, h : 水深である。具体的計算では平均風速を用いて上式を積分した次式を使用した。

$$\zeta_2 = \frac{3}{2} \frac{\rho'}{\rho} \nu^2 \frac{V^2}{g} \int \frac{dx}{h} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで V : 平均風速である。

波浪推算は対象地点から最も長い吹送距離を設定し, その吹送距離上の波の発達をSMB法によって計算した。計算は区間を分割し風速の時間的变化を考慮する方法を用いた浅海域ではブレットシュナイダーによる海底摩擦

表-3 潮位及波浪の推算結果

による波高の減衰を考慮している。

潮位偏差および波高についての計算結果は表-3に示すようになる。入射波高 H_0 と堤防への波のうちあげ高の比を $R/H_0 = 1.0$ として堤防高を設定すると, 計画堤防高はT.P. + 7.5mとなる。波が直接堤防に作用する場所は前面堤と称し計画堤防高をT.P. + 7.5mとした。また波が斜めに入射したり, 影となる

対象地点	筑後川河口	六角川河口
朔望平均満潮位	T.P. + 2.66m	+ 2.71m
気圧低下による潮位上昇	0.48m	0.48m
吹き寄せによる潮位上昇	1.88m	1.88m
計画潮位	5.02m	5.07m
吹送距離	58Km	60.9Km
浅海域での波高	2.56m	3.05m
浅海域での周期	6.58m	7.24m
計画堤防高	7.50m	

場所では側面堤と称し、計画堤防高をT. P. + 6.1 mとした。各海岸の堤防高を示したのが図-3であり標準断面を図-4に示す。

昭和35年に直轄海岸として施工が開始された頃は、堤防天端高としてはT. P. + 4.5 m程度であったが堤体の補強や樋管の新設を行い、昭和45年度から始まった第1次海岸事業5箇年計画では堤防天端高をT. P. + 6.1 mまで完成することを目標とした。基礎地盤が軟弱なために堤防のかさ上げは容易ではなく、緩速施工と押え盛土による工法を組合せて施工が行われてきた。これは既設の堤防上に年間50～60cmの盛土を行い2～3年放置することによって盛土および地盤の圧密沈下を促進し、その支持力を増加させる工法で、安定した後にさらに盛土を行うということを繰返す。また堤内側および堤外側のすべりに対しては、捨石による根固め工および土砂を置くことによって防止している。

現在までの工事の進捗状況は図-3に示すように沈下が大きいために堤防高T. P. + 6.1 mの暫定堤防高を確保していない場所もある。

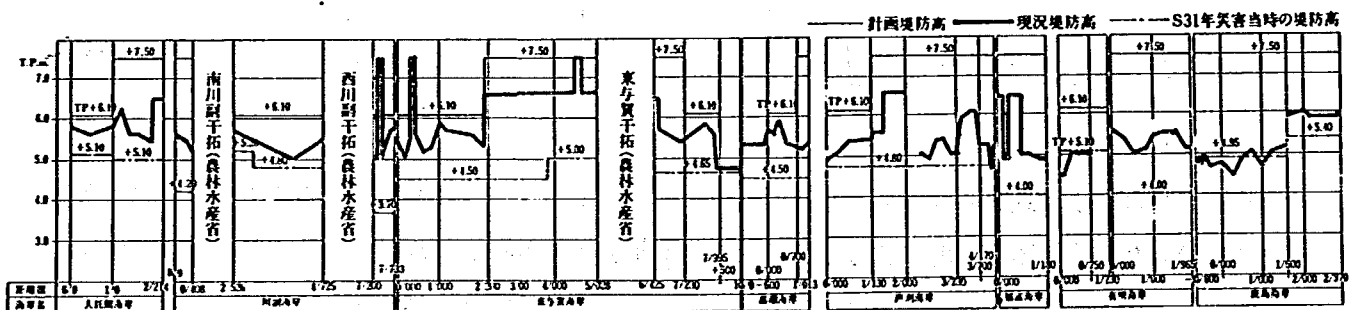


図-3 有明海岸の堤防高

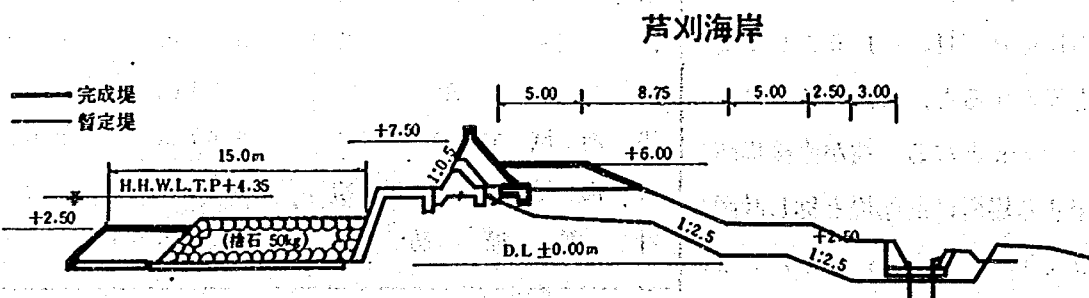


図-4 有明海岸の標準堤防断面

1. 3 問 題 点

堤防が軟弱地盤上に造られているために、計画堤防高まで早急に堤防をかさ上げすることができないという問題があるために、暫定堤防高 T. P. + 6.1 m および現況の堤防高でどの程度の越波防止機能を有しているか、計画堤防高は妥当なものであるか、越波を防止するための対策工はないか、施工法に改良の余地はないかなどの項目について検討を行う必要があると考えられた。

計画堤防高を有する堤防の建設およびその維持がかなり困難であり、完成するにしても長期間を有するために現在暫定堤防として施工されている堤防がどの程度の防御効果を有しているかを明らかにしておく必要があると考えられた。

計画堤防高については潮位偏差および波浪条件ともにモデル台風をもとに設定されており、計算手法は新しいものではないものの得られた結果はほぼ妥当なものと考えられる。しかし堤防へ入射する波に対する堤防へのうちあげ高の比として $R/H_0 = 1.0$ を採用しており、計画とする堤防断面ではこの値は大きくなる可能性を有している。一方最近では計画堤防高を許容越波量によって決める考え方もあり、波の不規則性を考慮すれば堤防高は高くない可能性を有している。特に有明海岸では堤防前面の海底勾配が非常に緩く且つ徐々に浅くなっていることもあり、堤防前面に到達する波高が砕波等による減衰で小さくなる可能性もある。したがってこれらの項目について詳細な検討を行い、計画堤防高の妥当性を検証しておく必要があると考えられる。

堤防は前面堤と側面堤に分けられ、前面堤は波が直接入射する個所とし、側面堤は河口部等波の入射方向が限定される個所として一応分けられているが、これについても浅海での波の屈折、反射等を調べて具体的に越波量や波のうちあげ高を算定してその妥当性を明確にしておく必要があると考えられた。堤防をかさ上げするにしてもその重要度は場所によって異なっており、重要な個所から施工していく必要があろう。

現在の計画堤防の標準断面はさきに示した図-4のような形状を有しているが、越波等を小さくするために捨石によるマウンド、離岸堤、緩傾斜堤などの対策案が考えられる。これらの案に関してもその越波防止効果や安定性を明らかにしておく必要があろう。

以上述べた種々の問題点を検討するために水理模型実験を行うことにした。現況堤防の防御効果、計画堤防の防御効果とその妥当性、マウンド等の越波防止効果については造波水路を使用した実験によって検討することとした。また、浅海での波の屈折、反射、うちあげについては平面実験によって検討することとした。本報告はこのうち水路実験による結果を述べるものであり、平面実験の結果は別途報告する予定である。

軟弱地盤における施工法については武雄工事事務所および筑後川工事事務所で試験施工等を行いながら検討を行っており、水理模型実験の結果とも合せることによって有明海岸の施工計画がまとめられるものと考えられる。

2. 実験目的および相似則

2.1 実験目的

造波水路を使用した実験においては現況堤防の防御効果，計画堤防の防御効果，離岸堤，緩傾斜堤，捨石マウンドの越波防止効果，波の不規則性の影響について検討を行った。

海岸堤防にうちあげる波の高さは来襲波の波高，周期，堤防前面の水深，海底勾配，捨石マウンドの有無等によって変化する。また越波量についてはこの他に堤防高が関係する。標準的な堤防断面および海浜形状については入射波とうちあげ高や越波量の関係が実験的に得られているが，複雑な形状の場合には水理実験で検討を行わなければならない。

波のうちあげ高に大きく影響するのは堤防前面の水深であって，特に浅い場合には砕波が生じるために堤防に到達する波が小さくなりうちあげ高も低くなる。したがって現況および計画堤防の防御効果を検討する際には堤防形状のみならず，その前面水深についても実態に合ったもので検討する必要がある。

堤防への波のうちあげ高を低くする方法としては堤防前面に離岸堤を設けて，堤防への入射波を小さくする方法が考えられる。離岸堤の消波効果はその天端高，天端幅によって変化し，幅を広くするよりも高さを高くするのが効果的である。

堤防ののり勾配を緩くしても波のうちあげ高は低くなる。通常の波浪条件であれば直立堤からのり勾配が緩くなるにしたがって，同じ入射波であってもうちあげ高は高くなり，のり勾配が3割程度で最大値をとり，それよりもさらに緩くなるとうちあげ高は低下する。したがって堤防を緩傾斜にするには3割より緩くしなければ効果がない。

一般に海の波は波高，周期ともに不規則に変動しており，堤防高の決定に際しては波の不規則性を考慮する必要がある。特に海底勾配が緩く前面水深が浅い場合には一群の波のうちで波高の大きな波が砕波しエネルギーを失なうために，全体として波高も低くなるとともに波高の大きい波の頻度が小さくなる。したがって規則波によって構造物の特性を調べるとともに，不規則波による実験を行って波の不規則性について検討する必要がある。

2.2 相似則

模型実験によって検討を行う場合には，実物と模型の相似性が保たれていなければならない。

実物と模型の幾何学的な相似が保たれてい

表-4 相似則

るとともに力学的にも相似性が成立している必要がある。水理現象で支配的な力は重力と慣性力であり，この両者の比を実物と模型で同じにするとフルードの相似則が導びかれる。これは長さをL，速度をV，重力の加速度を g とし，添字のpで実物をm

物 理 量	記 号	縮 尺
長さ，波高，波長	L	$1/S$
時間，周期	T	$1/\sqrt{S}$
速度	V	$1/\sqrt{S}$
越波量（単位幅，単位時間当り）	Q	$1/S^{3/2}$

で模型での値を示すと次のように表わされる。

$$\frac{V_p}{\sqrt{g L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g L_m}} \dots\dots\dots(4)$$

したがって長さの縮尺を $1/S$ とすると速度、時間等の縮尺は表-4に示すようになる。

模型実験では重力と慣性力の他に表面張力や粘性力が働く可能性がある。これらの影響をさけるためにはできるだけ縮尺を大きくして実験を行う必要がある。

3. 規則波実験

3.1 目的

規則波による水路実験によって入射波高と波のうちあげ高および越波量が、堤防の構造、前面地盤高、堤防高、離岸堤の有無などによってどのように変化するかを調べた。特に検討を行った項目としては堤防の前面地盤高の違いによるうちあげ高の変化、堤防前面ののり勾配が5分の場合と3割の場合の効果の違い、離岸堤を設置した場合の高さおよび幅の変化に対する波浪減衰効果、捨石マウンドの波浪減殺効果等である。

3.2 実験方法

模型実験は造波水路の一端に海岸堤防の模型を設置して、それに波を作用させて入射波高、反射率、堤防前面の平均水位、波のうちあげ高、越波量の測定を行った。実験に使用した水路は2種類あり、ほとんどのケースについては土木研究所水理共同実験棟内の風洞付造波水路を使用し、ケースA-2、A-3、A-13については海洋水理実験棟内の不規則波水路を使用した。これらの水路の諸元および性能は表-5の通りである。

図-5および図-6に示す水路内にラワン材で海底を造り、一端には海岸堤防の模型を設置した。捨石や離岸堤については4号碎石を用いて所定の形状とした。

模型実験の縮尺は波浪や潮位条件、使用可能な水路の諸元および性能、縮尺効果等を考慮して規

表-5 造波水路諸元

1. 風洞付造波水路

諸元	長さ5.2m, 幅0.6m, 高さ1.2m 常用水深1.0m 片面強化ガラス(延長3.4m)
造波装置	フラップ式 交流可変速モートル5.5kw 周期0.6~3.0sec 最大波高30cm(周期1.5sec)
風洞	圧送型長さ5.6m, ダクト長4.2m 幅0.6m, 高さ0.6m 送風機:プロペラファン1000mmφ 最大風量700m ³ /min 風圧100mmHg 最大風速20m/sec 交流可変速モートル30kw

2. 不規則波水路

諸元	長さ15.1m, 幅0.6m, 高さ1.5m 常用水深1.0m 観測部両面ガラス(延長28.5m)
造波装置	フラップ式 サーボ制御による油圧駆動方式 油圧ポンプ5.5kw 最大波高30cm(周期1.5sec)

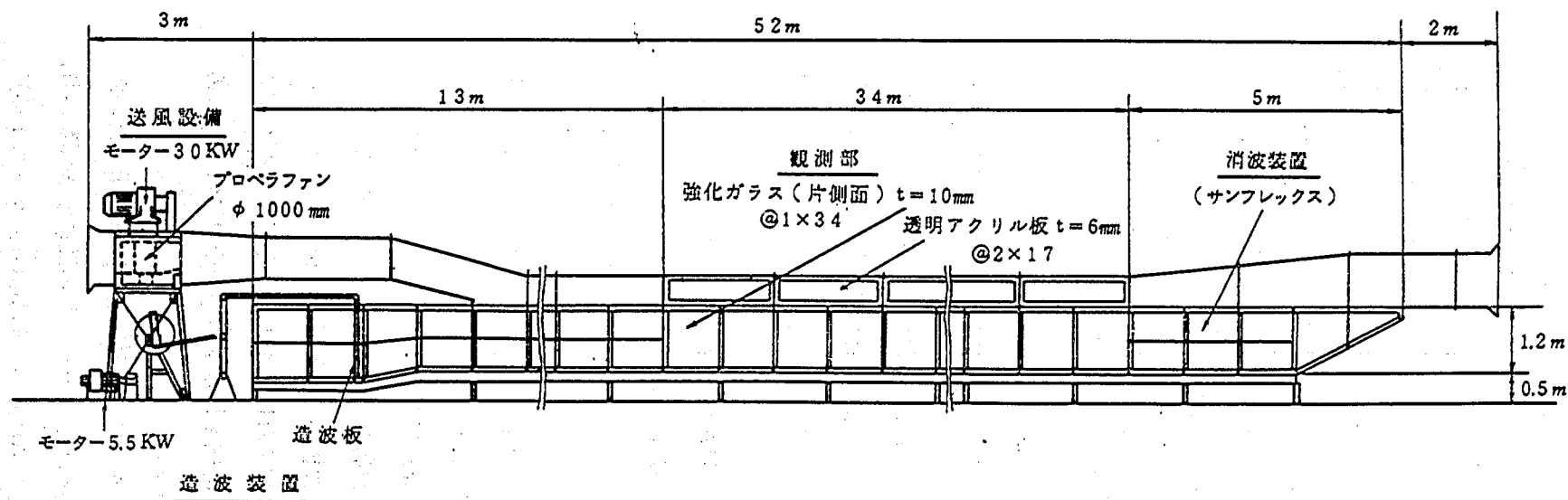


図-5 風洞付造波水路

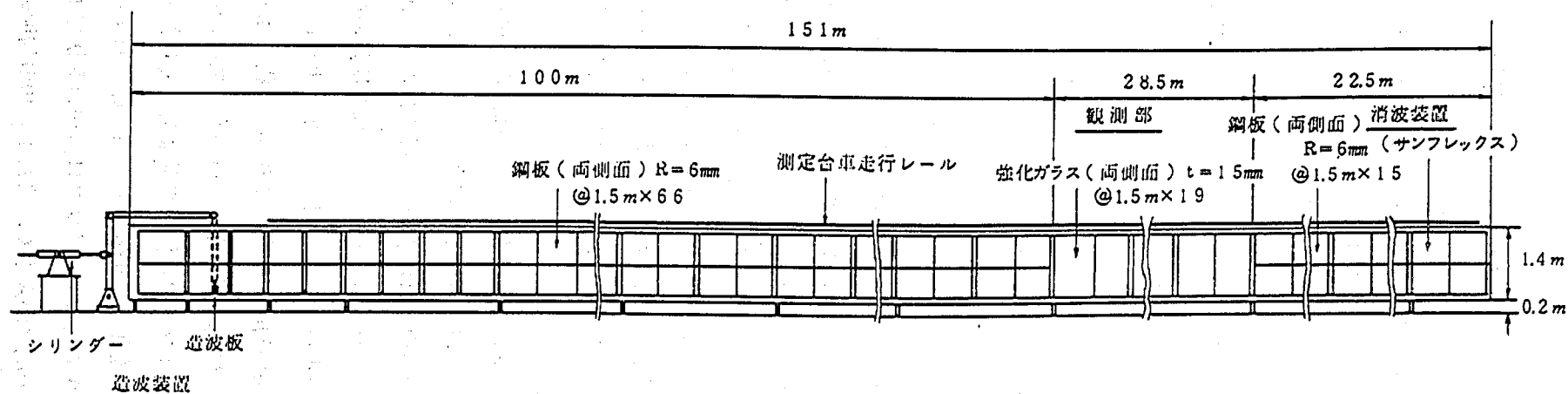


図-6 不規則波水路

則波に関する実験においては1/15とした。周期や越波量に関する縮尺は表-6に示すようになる。

表-6 模型縮尺
(規則波実験)

物 理 量	縮 尺
長 さ	1/15
断 面 積	1/225
体 積	1/3375
速 度	1/3.873
時 間	1/3.873
越 波 量	1/58.1

測定項目は入射波高, 反射率, 堤防前面の平均水位, 堤防への波のうちあげ高, 越波量である。波高の測定は造波板から15m離れた位置でまず入射波を測定し, また堤防前面で反射率とともに2個所で波高の測定を行った。波高計は容量式波高計を使用し, ペンオツシロに波形を記録した。波高は初めの5波を除き, 以後の10波について平均値を計算した。反射率は水路上を移動する台車に波高計を取付けて, 堤防前面から沖方向に移動し堤防前面に形成される重複波の腹と節での波高を記録し, ヒーリーの方法で求めた。これは重複波の腹における波高を H_1 , 節における波高を H_2 とすると反射率 K_r は次のように求められる。

$$K_r = \frac{H_1 - H_2}{H_1 + H_2} \dots\dots\dots (5)$$

堤防への波のうちあげ高については堤防を波が越波しないように十分な高さまで堤防をかさ上げて測定を行った。測定は堤体の表のり面に沿って模型で1cm間隔に目盛を取付け, 第1波から第15波までのうちあげ高を目視によって読み取り, 第6波から15波までの10波について平均値を求め, それを鉛直距離に換算してうちあげ高とした。

平均水位については離岸堤を設けた場合に堤防前面で水位上昇が生じ越波量やうちあげ高が増大する可能性があるために堤防前面の5点において測定した。測定は水路内に内径約6mmのビニールチューブを設置し, サイフオンの原理を利用して水路外のマノメーターで水位を読み取ることによって行った。

越波量の測定は堤防の岸側に測定用の箱を設け, そこに入った水量をメスシリンダーによって計測した。越波量の多い場合は3~5波, 少ない場合は10波による量を測定した。

有明海岸では海底勾配が緩くほとんど水平に近いため限界波高に近い波を発生することが困難である。したがってこの実験では3種類の海底形状について造波特性と波高の変化についてあらかじめ検討を行った。図-7に示すようにタイプ1としては造波板から水平部を9mとり, そこから1/30の勾配で模型で30cm 実物で4.5mまで海底を揚げてそれ以後水平としたものである。タイプ2は造波板から12mの水平部をとり, 1/10の勾配で海底を揚げて水平部を設けたものである。タイプ3は造波板の前面ですぐに海底を揚げたものである。

周期を $T=6.6$ secとして各水深に対する造波板のストロークと各点の波高との関係を示したのが図-8である。タイプ2は当初の形状であるが水路側壁と海底としたラワン材の間にすき間があり, 波高の減衰が大きく, また1/10の勾配の斜面を設けているために波の変形があり, ケース1の形状で実験を行うこととした。

堤防への入射波高としては水平部での波高の減衰も考えられるために, 堤防を設置しない場合の

堤防の位置における波高をあらかじめ測定しておき、同じ水深、周期、造波板ストロークの条件で波を発生させて実験を行い、さきに測定しておいた波高を入射波とした。またチェックのために造波板前面での波高も測定した。

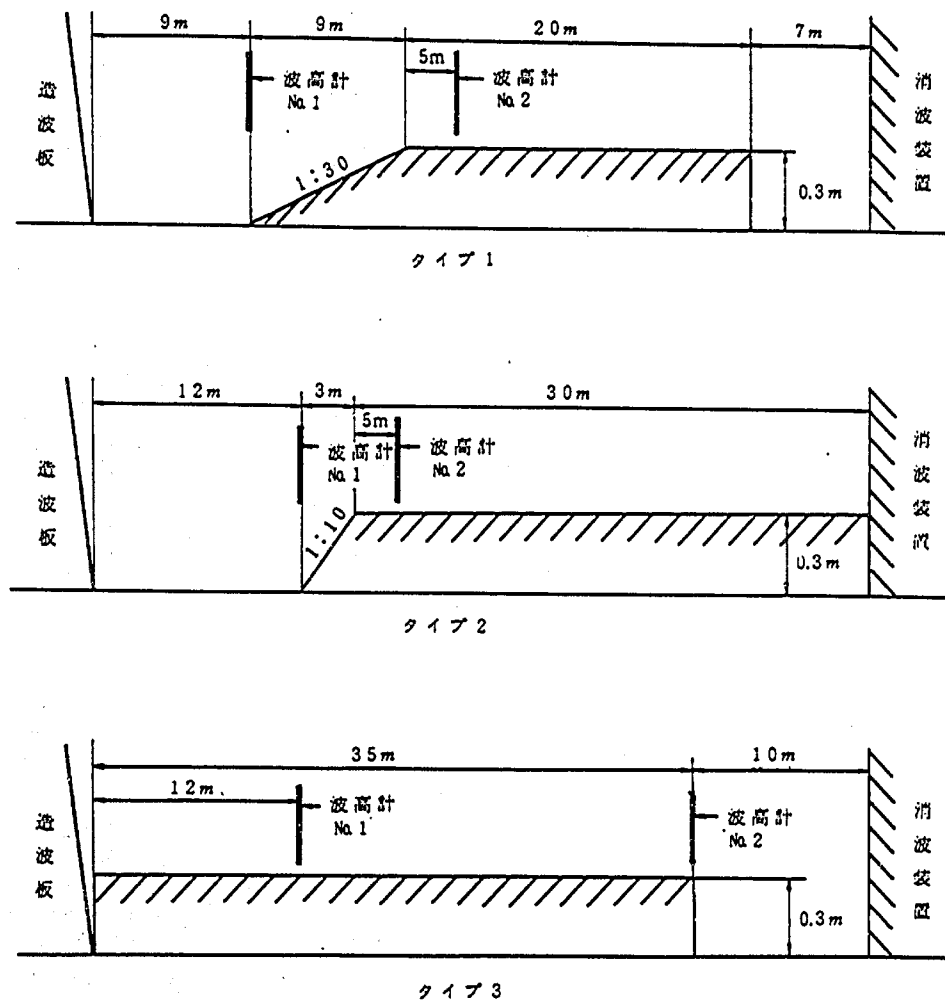


図-7 模型海底形状

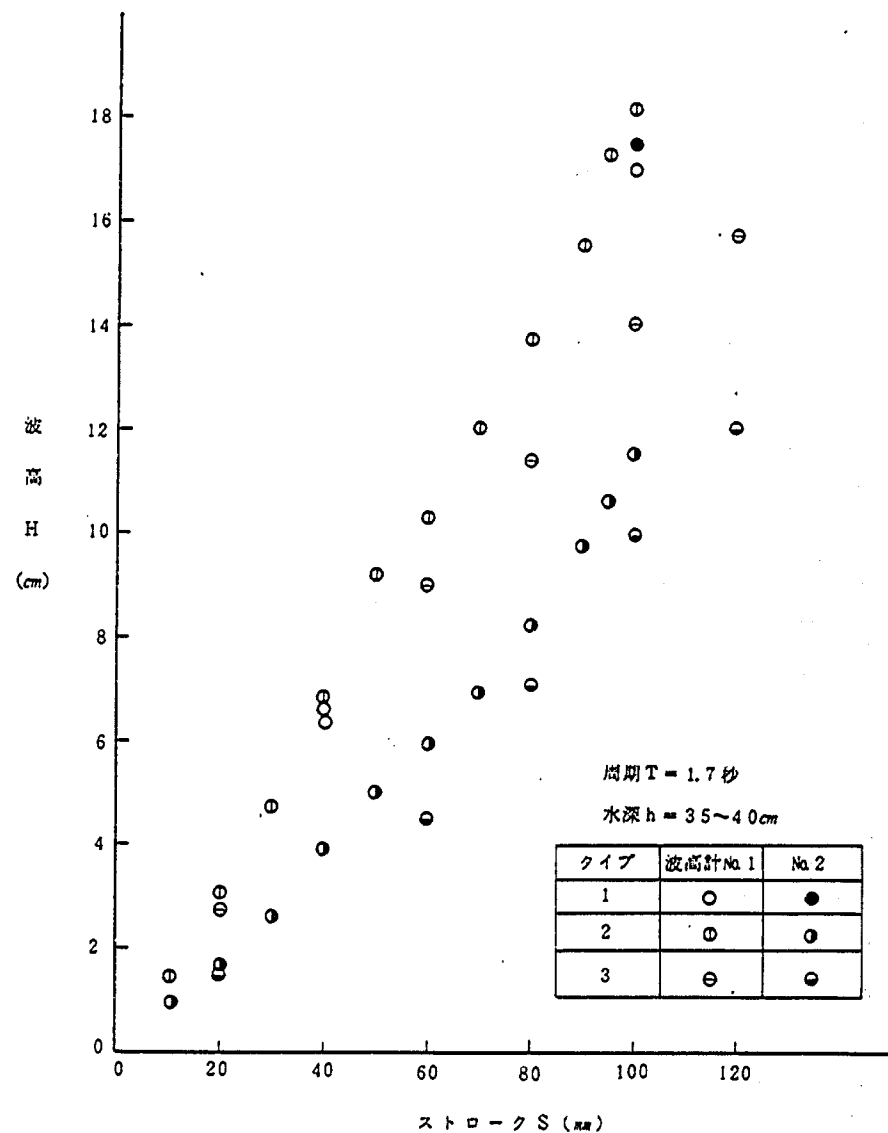


図-8 造波板ストロークと波高の関係

3.3 実験条件

潮位および波浪条件は計画値を中心に考えた。潮位については計画潮位である T.P.+ 5.0 2 m とした。潮位は前面水深と相対的な堤防高に関係するが前面水深がある程度深い場合には潮位の影響が少なく、相対的な堤防高については堤防高を変えて実験を行う予定であり、潮位の変化に伴ううちあげ高や越波量の変化はある程度予測可能であると考えられたために一定値で実験を行った。波浪条件に関しては波高変化に伴いうちあげ高等が変化するために 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m の 5 種類について検討することとしたが大きな波が堤防前面で発生しない場合もあり、その場合は 5 種類以下の波浪条件で検討することとした。周期については計画周期の $T=6.6$ sec とした。

表-7 実験条件

構造物の種類等については表-7 および図-9, 10 に示すものについて検討を行った。構造物の種類を大別すると堤防前面ののり勾配が 3 分や 5 分の直立堤型式のものと 3 割ののり勾配をもつ緩傾斜堤型式のものに分けられ、これらをそれぞれケース A およびケース B と呼ぶ。直立

潮	位	T.P.+ 5.0 2 m (計画潮位)				
波	高	0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m				
周	期	6.6 sec				
堤	防	高	T.P.+ 6.1 m, T.P.+ 7.5 m			
堤	防	の	種	類	現況堤防, 計画堤防, 緩傾斜堤防	
構	造	物	の	種	類	マウンド, 離岸堤

堤型式のケース A は現況の堤防断面および計画の堤防断面を有するものである。一方、緩傾斜堤型式のケース B はのり勾配を緩くすることによってうちあげ高や越波を低減できるのではないかと考えて考えられたものである。

ケース A については現況を主体とした形状と計画断面を主体とした形状にさらに分けられ、前者は現況堤防の越波防止効果を検討したもので、後者は計画堤防の効果を明らかにするものである。これらの堤防形状に対して海底の地盤高が変化した場合、捨石マウンドのある場合、離岸堤を設けた場合等にさらに分けられる。

ケース B については緩勾配の堤防の前面に捨石マウンドを設けた場合と離岸堤を設けた場合に分けられ、且つ前面の海底地盤高についても何種類かの条件で実験を行った。

堤防高については現況, T.P.+ 6.1 m, T.P.+ 7.5 m の 3 種類に分けられるが、うちあげ高の測定に際して堤防は越波しないように十分高くして実験を行っているために堤防高の違いは問題とならない。越波量の測定に際しては堤防高が関係するために現況と計画堤防ではその形状の違いが問題となろう。以下に個々の構造について説明する。

ケース A-1 から A-8 は現況の堤防を主体にしたものである。ケース A-1 は鹿島海岸の現況堤防をもとにしたもので、堤防前面地盤高は T.P.+ 2.6 2 m と高く、堤防前面には捨石等がなく 3 分の一様勾配を有する堤防からなる。堤防高は T.P.+ 5.77 m である。ケース A-2 およびケース A-3 は A-1 に比較して堤防前面の地盤高を T.P.+ 0 m としたもので、A-2 は堤防高 T.P.+ 6.1 m A-3 は堤防高 T.P.+ 7.5 m としたものである。A-2 と A-3 は波の不規則性を検討する際の比

名称	地盤高	堤防天端高	対策工	天端高	天端幅	記号	備考
	T.P. + 2.62m	T.P. + 5.77m	なし	_____	_____	A-1	鹿島
	T.P. ± 0.00m	T.P. + 6.10m	なし	_____	_____	A-2	
		T.P. + 7.50m	なし	_____	_____	A-3	
現況	T.P. + 0.40m	T.P. + 5.55m	マウンド	T.P. + 2.80m	_____	A-4	大蛇間
表法勾配 1:0.5 ~0.3	T.P. + 1.80m - T.P. + 5.60m	マウンド 離岸堤 "	マウンド	T.P. + 3.00m	_____	A-5	東与賀
			離岸堤	T.P. + 5.02m	5.0m	A-6	
			"	T.P. + 6.00m	5.0m	A-7	
	T.P. + 0.80m	T.P. + 5.77m	マウンド	T.P. + 3.00m	19.5m	A-8	

名称	地盤高	対策工	天端高	天端幅	記号
	T.P. - 2.03m	マウンド	T.P. + 3.00m	10.0m	A-9
現計画	T.P. - 0.80m	"	"	10.0m	A-10
表法勾配 1:0.5		"	"	20.0m	A-11
堤防天端 T.P. + 7.50m		"	T.P. + 4.50m	10.4m	A-12
		"	T.P. + 3.00m	10.0m	A-13
	T.P. - 0.50m	"	T.P. + 3.00m	10.0m	A-14

名称	地盤高	対策工	天端高	天端幅	記号
側面堤	T.P. - 2.00m	マウンド	T.P. + 3.50m	5.0m	B-1
	T.P. - 1.00m	"	T.P. + 5.02m	5.0m	B-2
		"	_____	_____	B-3
緩傾斜堤 表法勾配 1:3 堤防天端高 T.P. + 6.10m	前面堤 (暫定)	"	離岸堤	T.P. + 3.50m	5.0m B-4
		"	"	5.0m	B-5
	T.P. + 1.00m	"	T.P. + 5.02m	5.0m	B-6
	T.P. + 2.50m	"	T.P. + 3.50m	5.0m	B-7
	前面堤	T.P. - 1.00m	"	"	B-8
		T.P. + 1.00m	"	"	B-9
		T.P. + 2.50m	"	"	B-10

図-9 実験条件分類図（規則波）

較の対象とした形状である。

ケースA-4およびA-5はそれぞれ大詔間および東与賀の現況堤防断面である。堤防前面水深が深いために捨石が設けられている。東与賀のA-5については離岸堤を設置した場合の効果についてA-6、A-7で検討を行った。A-6では離岸距離15.0m天端高T.P.+5.02m天端幅5.0m、のり勾配3割の離岸堤を設けており、A-7では離岸距離15.1m、天端高T.P.+6.0m、天端幅5.0m、のり勾配3割の離岸堤を設けている。離岸堤の消波効果は天端高がかなり高くないと効果がないために高い場合について検討した。

ケースA-8は堤防前面に捨石のマウンドを設けたもので、マウンドは天端高T.P.+3.0m、天端幅約20mの規模となっている。

ケースA-9からA-14は現在の計画堤防の効果を検討するためのもので堤防前面の地盤高をT.P.-2.03m、T.P.-0.8m、T.P.+0.5mの3種類としたものである。ケースA-9は堤防前面に天端高T.P.+3.0m、幅10mの捨石マウンドがある場合で、堤防前面の地盤高はT.P.-2.03mである。ケースA-10からA-13は堤防前面地盤高をT.P.-0.8mとしA-10は捨石マウンドの高さをT.P.+3.0m、天端幅10m、A-11は天端高T.P.+3.0m、天端幅20m、A-12は天端高T.P.+4.5m、天端幅10mとしたものである。またA-13は捨石マウンドの形状はA-10と同じ天端高T.P.+3.0m、天端幅10mであるが、堤防に小段が2段設けられている。A-14は前面の地盤高をT.P.+0.5mと浅く、捨石マウンドの形状はA-9やA-10と同じ天端高T.P.+3.0m、天端幅10mとしたものである。

緩傾斜堤についてのケースBについては堤防のり勾配は3割であり、堤防天端高はT.P.+6.1mとしている。ケースB-1とB-2は堤防前面に捨石マウンドを設けた場合で、B-1は天端高T.P.+3.5m、天端幅5m、のり勾配1:3のマウンドを、B-2は天端高T.P.+5.02mと高く、天端幅5m、のり勾配1:3のマウンドを設けた場合である。ケースB-3については捨石マウンドだけでは効果があまりないために海底勾配1/18の捨石をT.P.+5.02mからT.P.+2.60mまでの間に設けたものであり、この構成材料としては捨石の他に有明粘土の堆積によっても同様の形状となる可能性を有している。

ケースB-4からB-7は緩傾斜堤の前面に離岸堤を設けた場合の効果について検討を行ったものである。B-4は前面の地盤高がT.P.-1.0mと深い場合に、離岸距離を堤防天端から35.5m、天端高T.P.+3.5m、天端幅5.0mとしたものである。B-5は前面地盤高がT.P.+1.0m、離岸距離35.5m、天端高T.P.+3.5m、天端幅5.0mとしたもので、B-6は天端高を高くし天端高T.P.+5.02mとしたものである。B-7は前面地盤高が浅くT.P.+2.50mであり、離岸堤についてはB-4やB-5と同じく離岸距離35.5m、天端高T.P.+3.50m、天端幅5.0mとしたものである。

ケースB-8からB-10は緩傾斜堤の前面海底が勾配1/20で浅くなっており、その前面に高さの低い離岸堤が設けられている。捨石および海底の形状はB-8からB-10まで同じであるが堤防

前面の地盤高が異なり、B-8では地盤高がT.P.-1.0 m、B-9ではT.P.+1.0 m、B-10ではT.P.+2.5 mとなっている。

離岸堤の効果についてはその波浪減殺効果について別途検討を行った。実験の条件としては海底地盤高をT.P.+1.0 mとし、表-8および図-11に示すようにし、天端幅を5.0 mとし、天端高をT.P.+6.0 m、5.0 m、3.5 mの3種類、天端幅を10.0 mとした場合には天端高T.P.+5.0 m、3.5 mの2種類、天端幅を15.0 mとした場合には天端高をT.P.+3.5 mとして検討を行った。

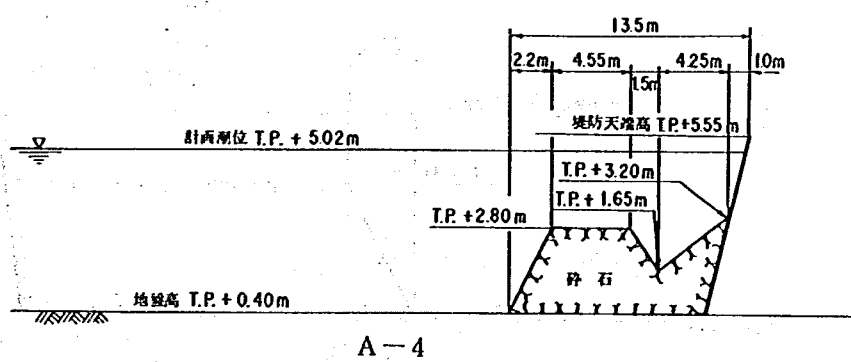
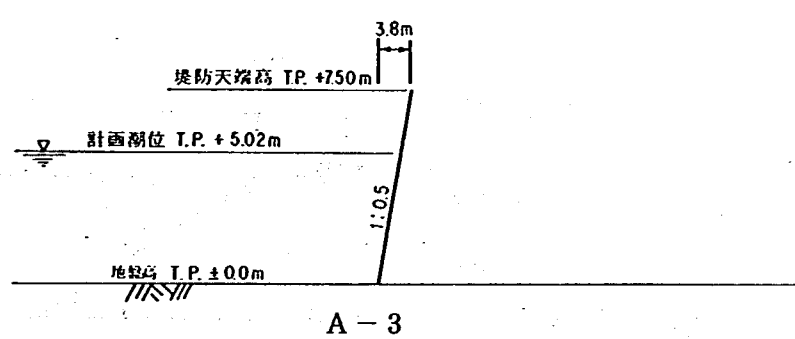
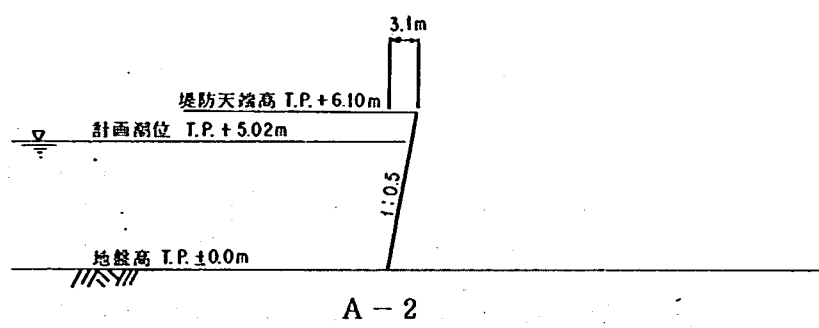
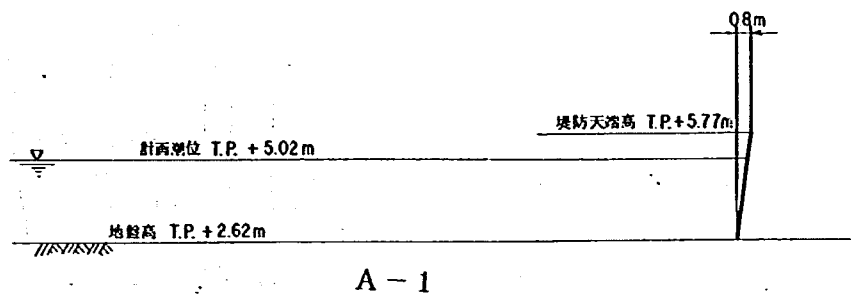
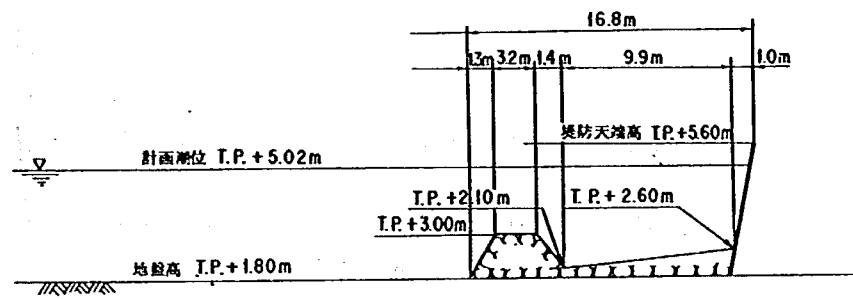
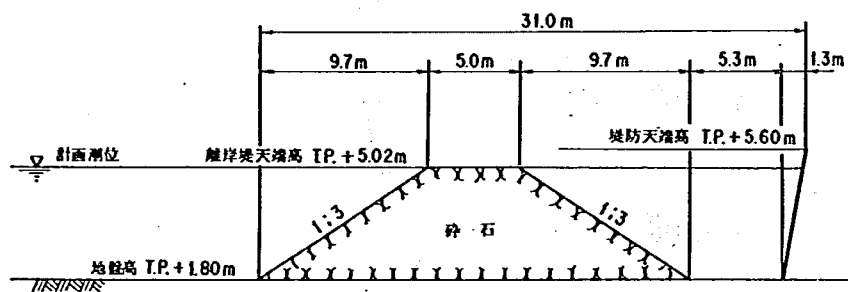


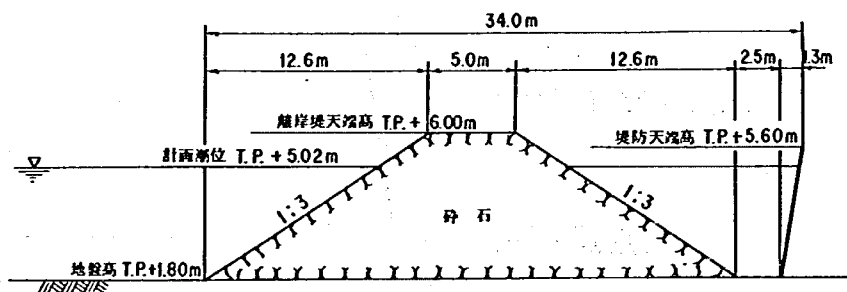
図-10 構造物等の形状(規則波) (1)



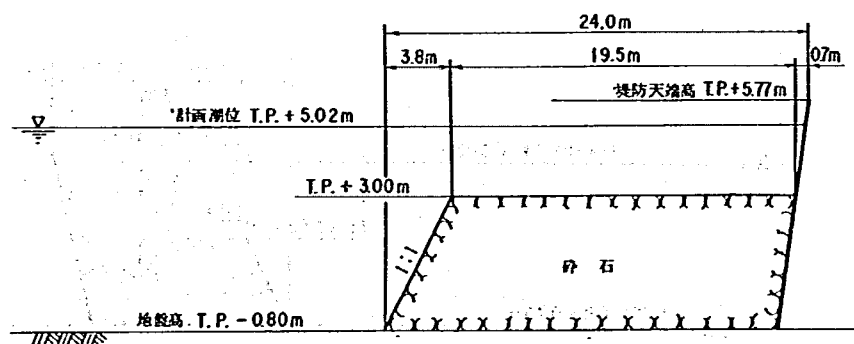
A-5



A-6



A-7



A-8

図-10 構造物等の形状(規則波) (2)

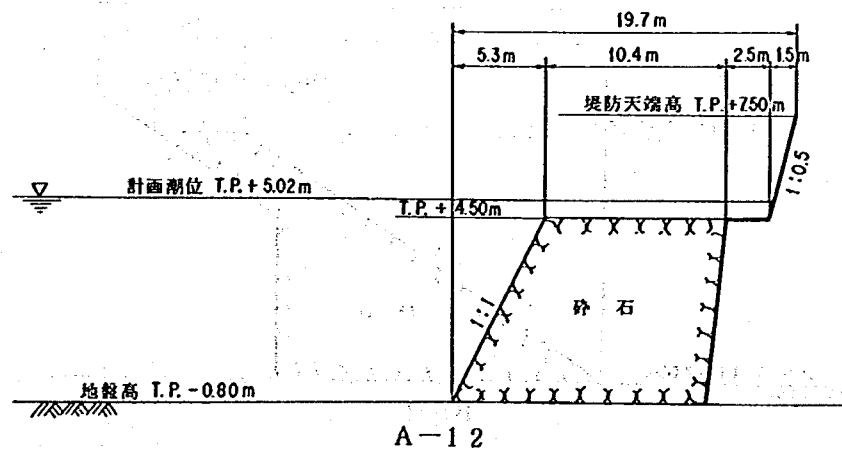
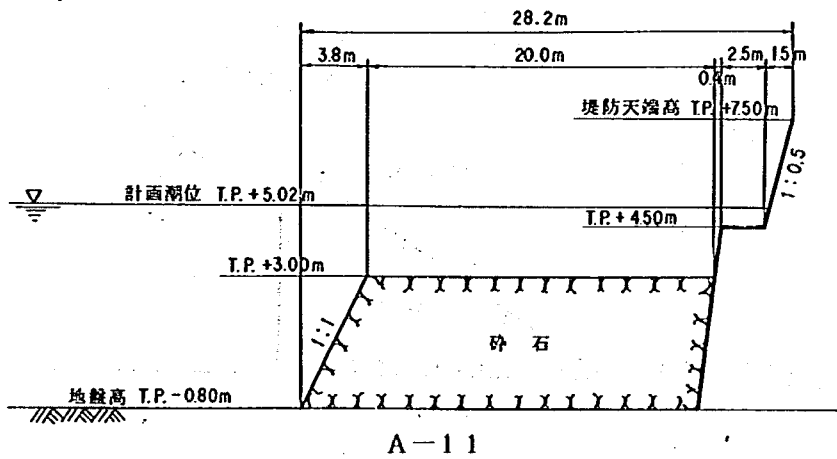
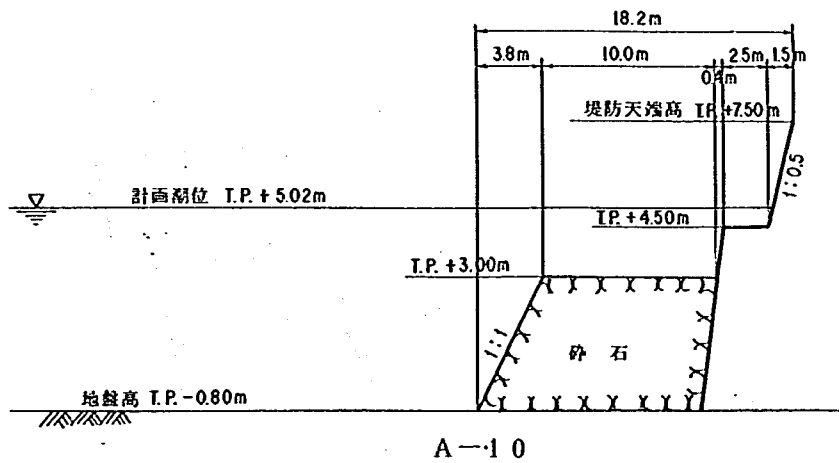
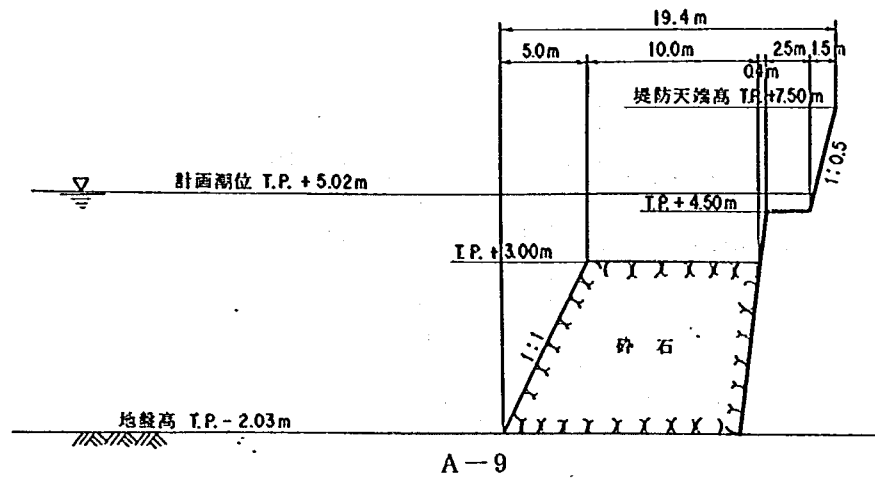
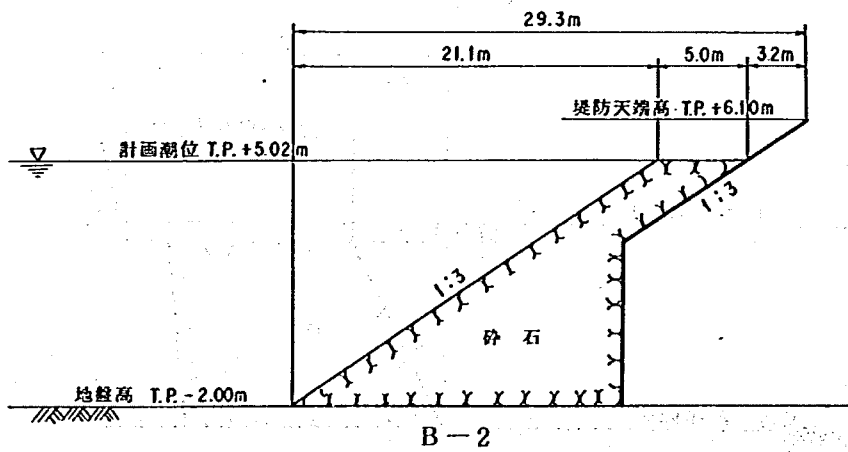
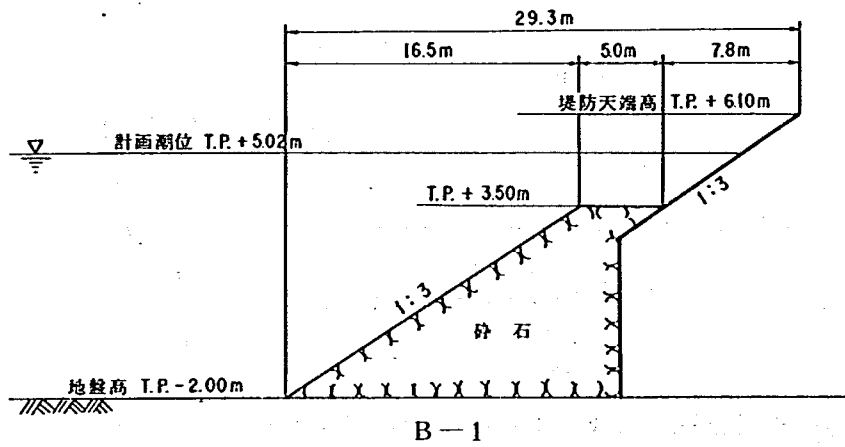
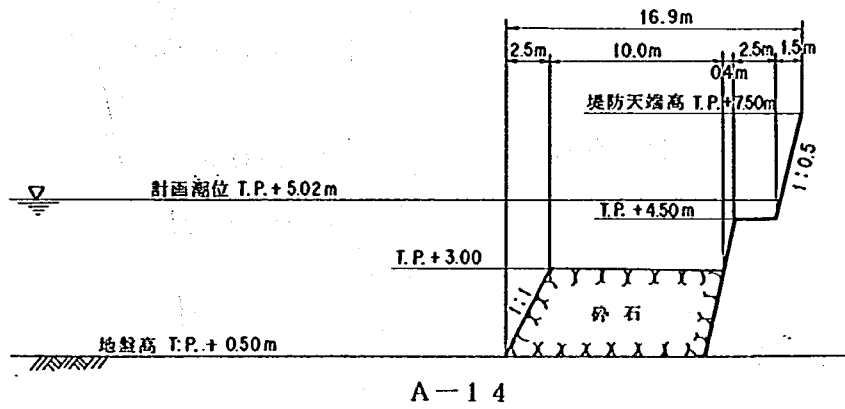
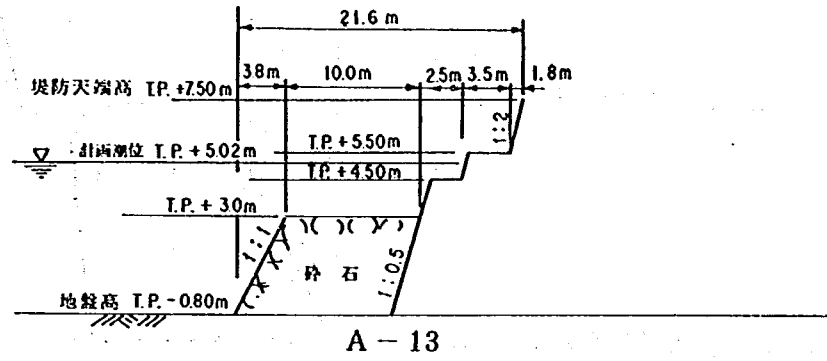
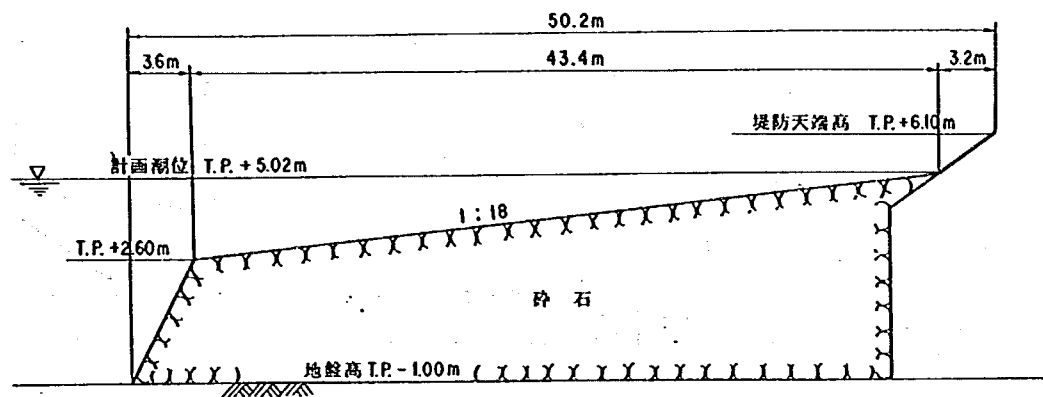


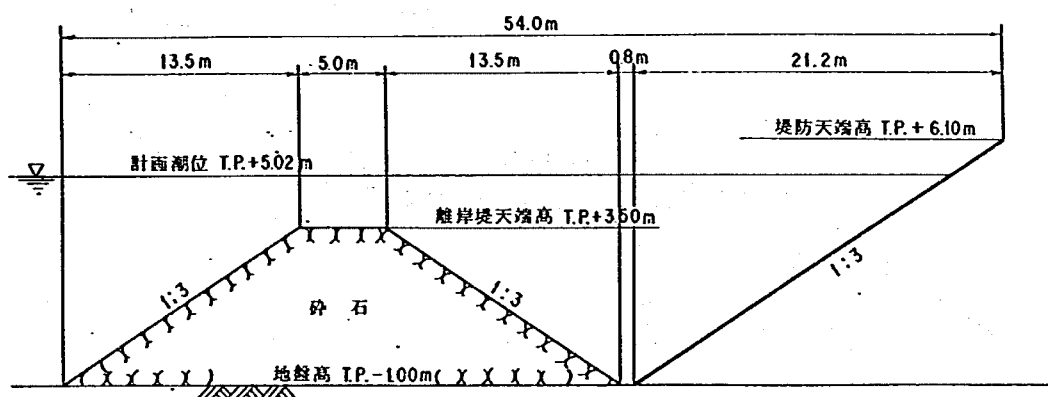
図-10 構造物等の形状 (規則波) (3)



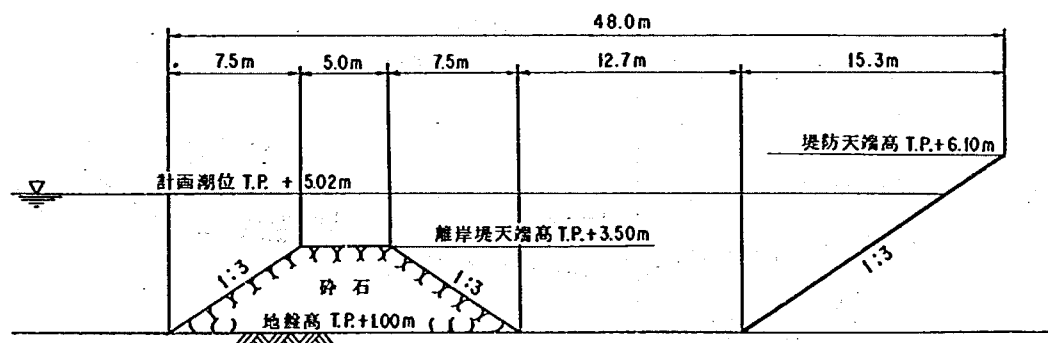
図一10 構造物等の形状（規則波） (4)



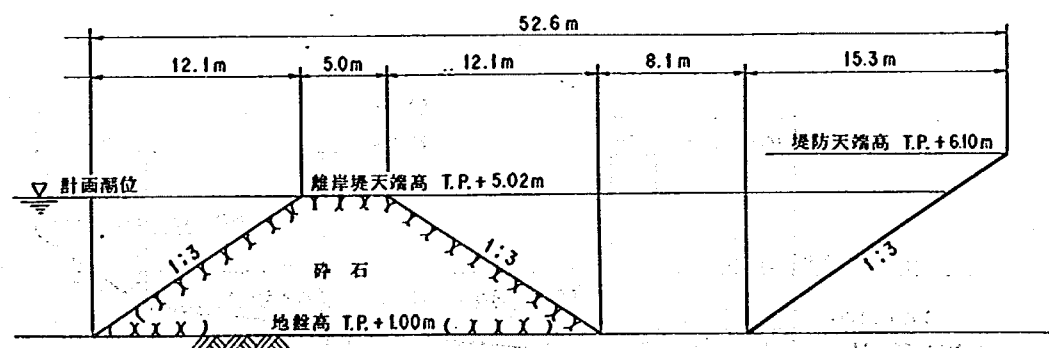
B-3



B-4

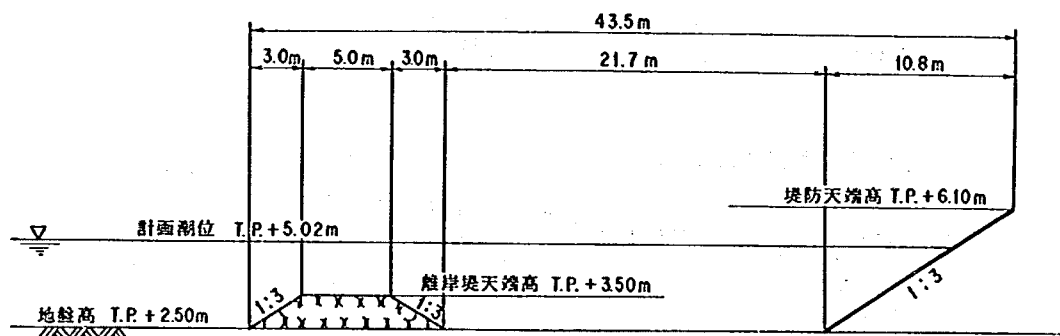


B-5

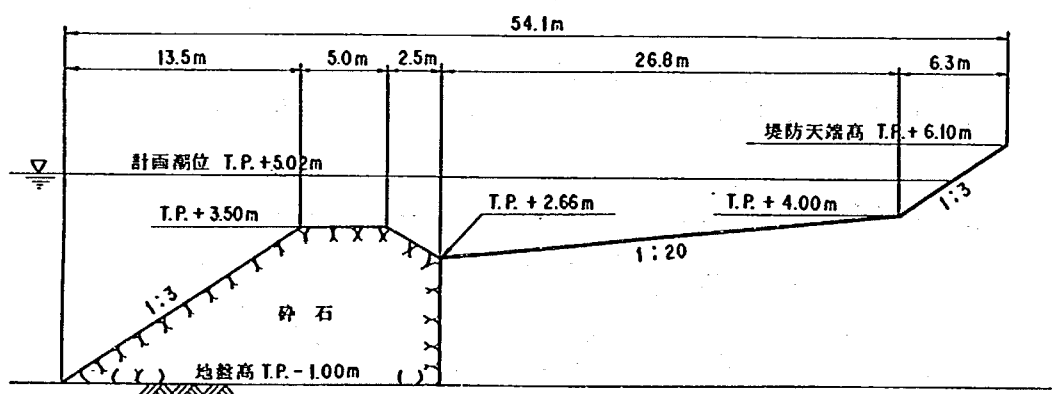


B-6

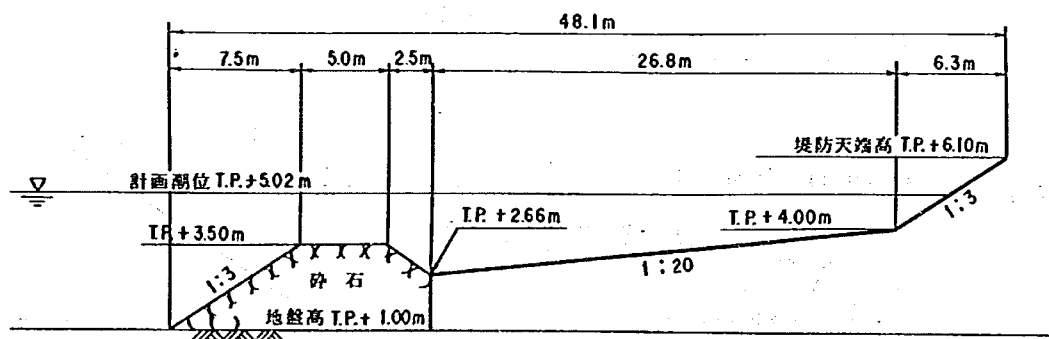
図-10 構造物等の形状(規則波) (5)



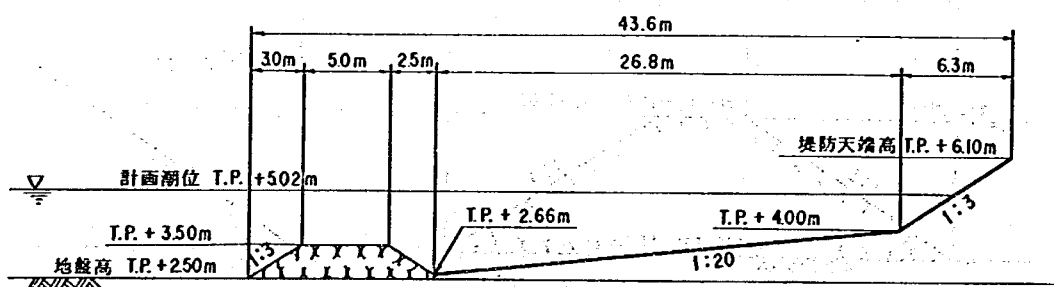
B-7



B-8



B-9



B-10

図-10 構造物等の形状(規則波) (6)

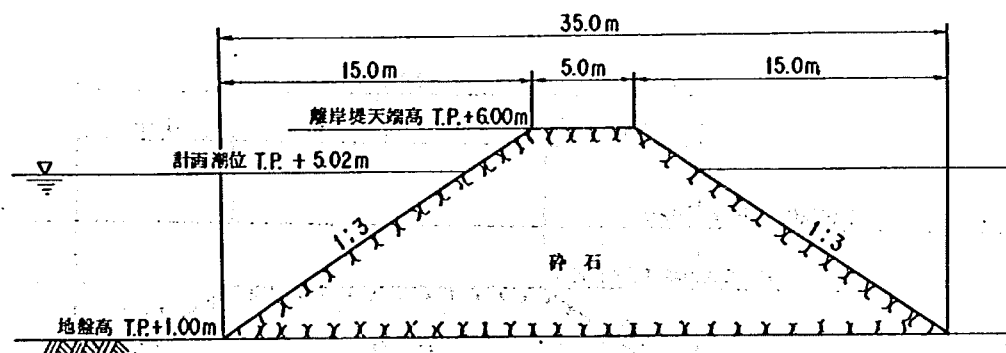
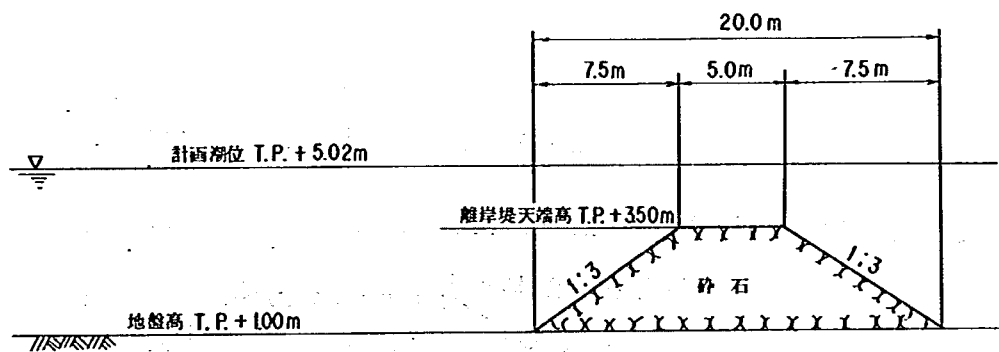
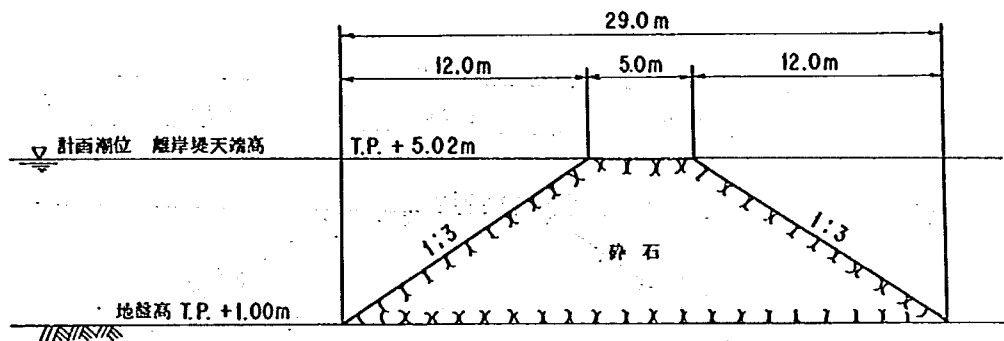
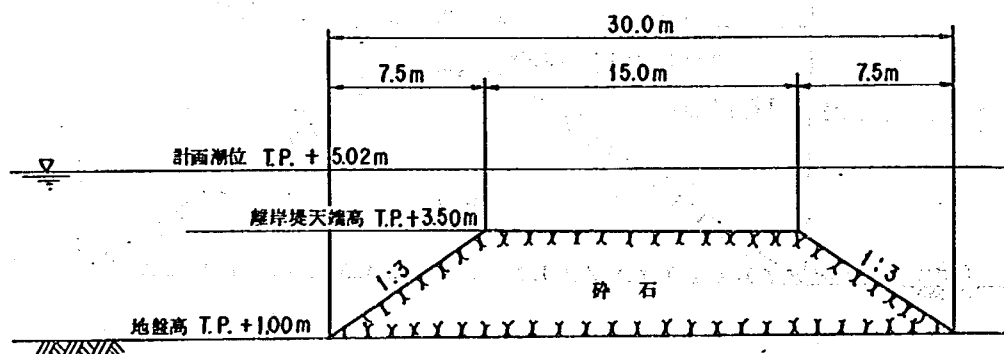
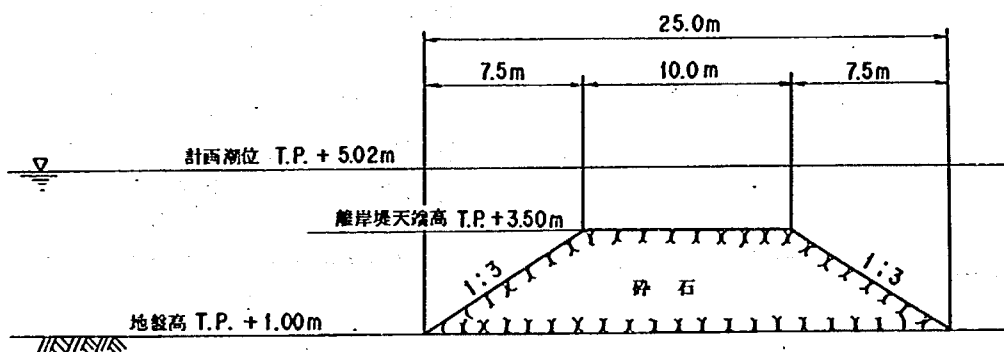
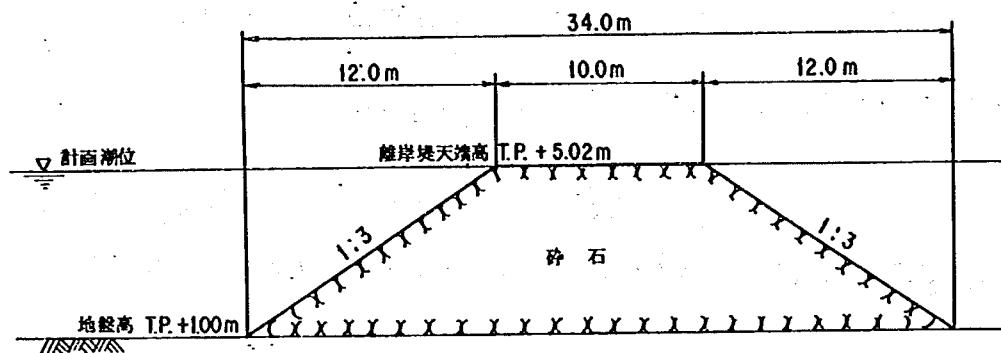


図-11 離岸堤の形状(規則波) (1)



図一11 離岸堤の形状（規則波） (2)

表-8 離岸堤の効果に関する実験条件及結果

水平部水深 = 4.02 m

周期 $T = 6.6 \text{ sec}$

$L_o = 6.8 \text{ m}$

$h/L_o = 0.0589$

$K_s = 0.996 \div 1$

$B/L_o = 0.0735, 0.147, 0.221$

No	R	B	H_o	R/H_o	K_t	K_r	H_o/L_o
1	0 m	5m	0.51	0	0.294	0.063	0.0075
2	0	5	1.02	0	0.333	0.065	0.0147
3	0	5	1.50	0	0.347	0.043	0.022
4	0	5	2.00	0	0.345	0.125	0.0294
5	1.52	5	0.51	2.98	0.726	0.333	0.0075
6	1.52	5	1.02	1.49	0.794	0.294	0.0147
7	1.52	5	1.50	1.01	0.687	0.316	0.022
8	1.52	5	2.00	0.76	0.655	0.272	0.0294
9	-0.98	5	0.51	-1.92	0.118	0.046	0.0075
10	-0.98	5	1.02	-1.096	0.039	0.153	0.0147
11	-0.98	5	1.50	-0.65	0.047	0.205	0.022
12	-0.98	5	2.00	-0.49	0.040	0.221	0.0294
13	0	10	0.51	0	0.137	0.116	0.0075
14	0	10	1.02	0	0.206	0.062	0.0147
15	0	10	1.50	0	0.207	0.103	0.022
16	0	10	2.00	0	0.270	0.144	0.0294
17	1.52	10	0.51	2.98	0.725	0.091	0.0075
18	1.52	10	1.02	1.49	0.843	0.135	0.0147
19	1.52	10	1.50	1.01	0.693	0.270	0.022
20	1.52	10	2.00	0.76	0.590	0.306	0.0294
21	1.52	15	0.51	2.98	0.706	0.318	0.0075
22	1.52	15	1.02	1.49	0.833	0.227	0.0147
23	1.52	15	1.50	1.01	0.627	0.217	0.022
24	1.52	15	2.00	0.76	0.520	0.151	0.0294

3.4 実験結果

3.4.1 ケース A (現況断面)

測定値はまとめて付表としてあるが、ここでは波のうちあげ高、越波量、反射率について結果を述べ、必要があれば平均水位の上昇や捨石マウンドの安定性等についてもふれることにする。

ケース A-1 から A-3 は一定水深の海底にのり勾配 3 割の一定勾配を持つ堤防が置かれた場合である。堤防設置位置での波高を深海波高に微小振幅波理論によって換算し、入射波高 H_0 と波のうちあげ高 R の関係を示したのが図-12 である。ケース A-2 については A-3 と同じとなるためにうちあげ高の測定は行っていない。A-1 では入射波の増大に伴ってうちあげ高も増加し、 R/H_0 は 1.4 から 1.9 となっている。前面水深 h が 2.4 m と浅いために入射波高が限定され、造波機で起こすことのできるのは 1.2 m までの波高の波であり、 $h/H=2.0$ となっている。水平部が長いために碎波等による波高の減衰があり、入射波高がこれよりも大きくなってもうちあげ高としては 2 m 程度にとどまれていると考えられ、また堤防面では重複波が形成された。したがって堤防高としては T. P. + 7.0 m 程度あれば十分と考えられる。

ケース A-3 は A-1 と比較すると堤防前面水深が異なるのみであり、水深の深い場合には入射波とうちあげ高の比は $R/H_0=1.1$ 程度となり、浅い場合に比較してうちあげ高は低くなっている。これは堤防前面に形成される重複波の波形が水深の浅い場合に峰が高く、谷が浅くなるためにうちあげ高は浅いほど高くなったためであろう。

入射波高 H_0 に対する越波量 q の関係を A-2 と A-3 について示したのが図-13 である。A-2 では堤防高が T. P. + 6.1 m、A-3 では T. P. + 7.5 m となっている。入射波高の増加とともに越波量は増加しており、また堤防高が 0.6 m 高くなると越波量は約 $1/3$ に減少している。

ケース A-4 は大詫間海岸の現況堤防断面としたもので堤防前面に捨石マウンドがあり、計画断面とはほぼ類似の形状を有している。波のうちあげ高と入射波高の関係は図-12 に示すが、 R/H_0 は 1.1 ~ 2.3 になっている。また捨石マウンドは模型で 20 g、実物で 70 kg の石を使用した前面で波のために 30~50 cm の変形を生じた。

ケース A-5 は東与賀海岸の堤防断面とした場合であり、入射波高とうちあげ高の関係を図-12 に示すが R/H_0 は 1.0 ~ 1.8 の範囲であり、さきの A-4 に比較するとうちあげ高は低くなっている。また前面水深が 3.2 m と浅いために入射波高が 1.5 m よりも大きくなってもうちあげ高は増加しないと考えられる。

ケース A-6 と A-7 は離岸堤の効果について検討したもので、A-6 では天端高を T. P. + 5.02 m と計画潮位と同じとし、A-7 はさらに T. P. + 6.0 m まで上げたものである。現況の堤防断面でうちあげ高を減らすための断面を検討したために離岸堤の規模はかなり大きなものになった。入射波高とうちあげ高の関係は図-12 に示すが、うちあげ高はかなり低くなっている。また入射波に対するうさあげ高の比は $R/H_0=1.0$ 程度で、波高が増加してもうちあげ高の増加は少ない。特にケース A-7 では離岸堤によってほとんど波が消されるためにうちあげ高は非常に低い。離岸堤による波高の減衰に伴って、その岸側の水位が上昇する。A-6 および A-7 の水位上昇量を図-14 に示すが波高

2.0 mで0.3 mの上昇となっている。離岸堤の安定性については表のりの肩が約50 cmほど沈下し、それが表のり尻に堆積した。

3.4.2 ケース A (計画断面)

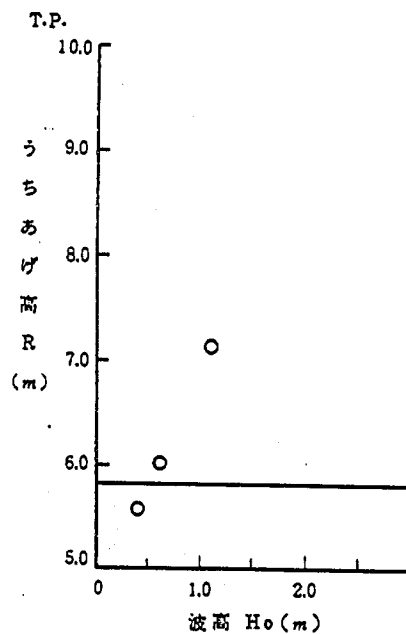
計画断面に波が入射した場合の入射波高と波のうちあげ高の関係を図-15に示す。いずれの場合においても波高の増加に伴ってうちあげ高も増加するがある程度波高が大きくなるとうちあげ高の増加率は小さくなる傾向を示す。これは計画断面の捨石マウンドが波を砕けさせるのに効果を持っていると考えられる。

ケース A-9 は前面の地盤高が最も低い T.P. - 2.03 m の場合である。前面水深が深いために波高の増加に伴ってうちあげ高が増加している。

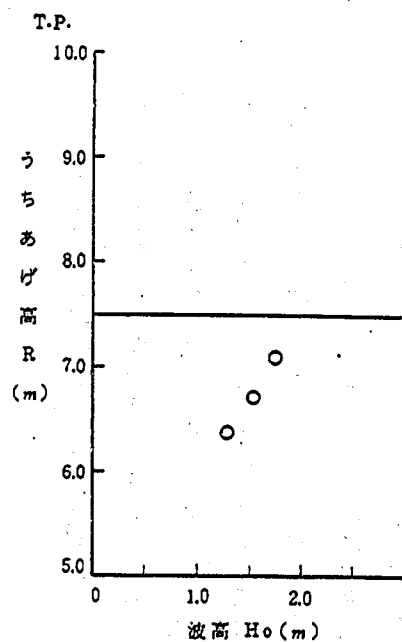
ケース A-10 から A-12 は前面地盤高を T.P. - 0.8 m とし捨石マウンドの形状を変えたものである。波高の増加にともないうちあげ高も増加しているがマウンドの規模の増加にともなううちあげ高は減少している。図-16 に各ケースの比較を示すがマウンドが長いほど、また高さが高いほどうちあげ高は低くなっている。マウンドの長さを 10 m から 20 m に延長するのと天端高を T.P. + 3.0 m から T.P. + 4.0 m にするのとはほぼ同じ効果を発揮している。これは図-17 に示す入射波高と越波量の関係でも明らかである。また波高が 2.0 m 付近で波高の増加に伴う越波量の増加が少なくなっておりマウンドの効果を示していよう。

ケース A-13 は小段を 2 段に設けたものであるが図-15 のうちあげ高と入射波高の関係および図-16 の越波量と波高の関係でも明らかなようにうちあげ高、越波量ともに低下している。

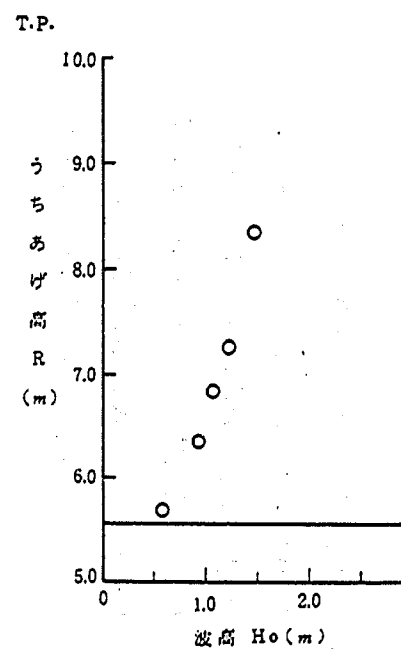
ケース A-14 は地盤高が T.P. + 0.5 m と高くなった場合であるが、うちあげ高、越波量ともに地盤が低いケース A-9 や A-10 と比較しても大きな違いはない。この 3 ケースについてうちあげ高と越波量を比較したのが図-18 と図-19 である。データにばらつきはあるもののこれら 3 者の間には系統的な違いがなく、前面地盤高がこの程度の範囲で変化してもうちあげ高、越波量ともに影響を与えないと考えられる。最も浅い場合でも水深は 4.5 m であり、入射波高のほぼ 2 倍以上の水深を有している。



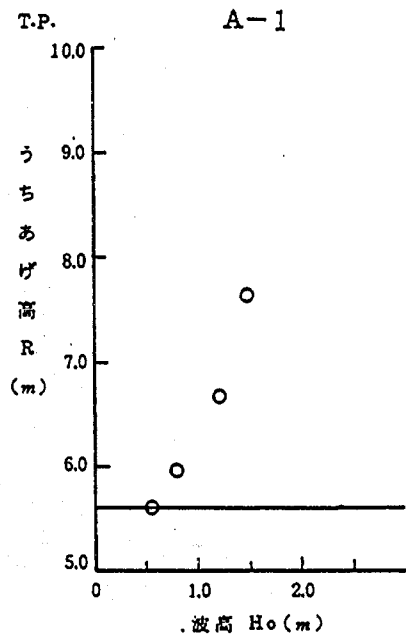
A-1



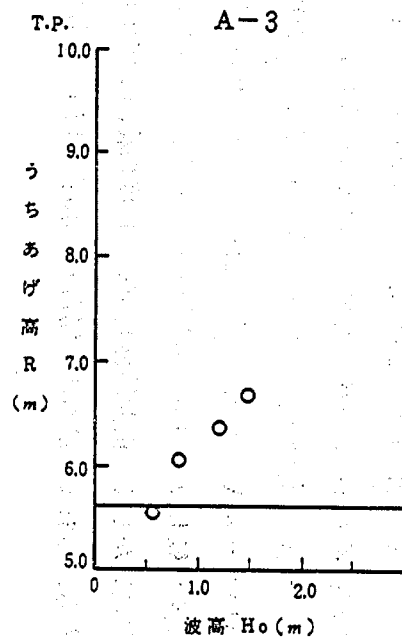
A-3



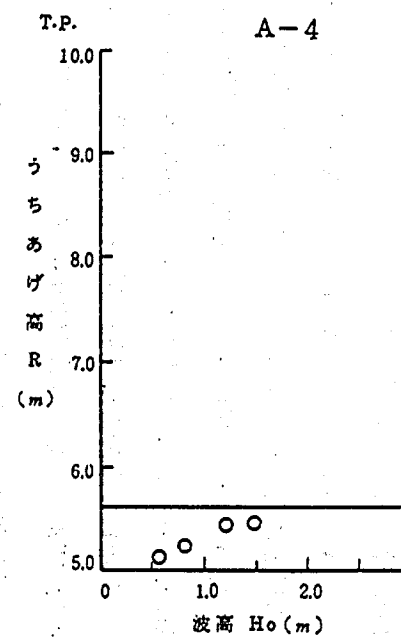
A-4



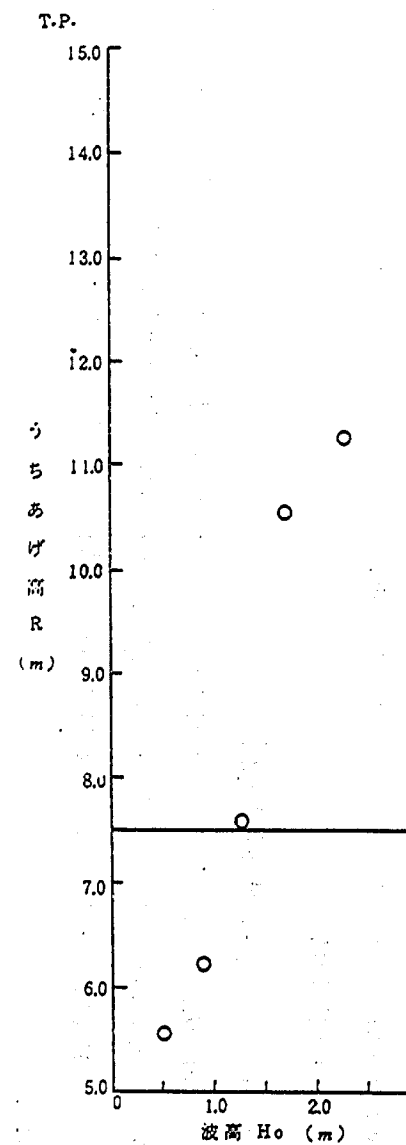
A-5



A-6



A-7



A-8

図-12 入射波高とうちあげ高の関係 (A-1~A-8)

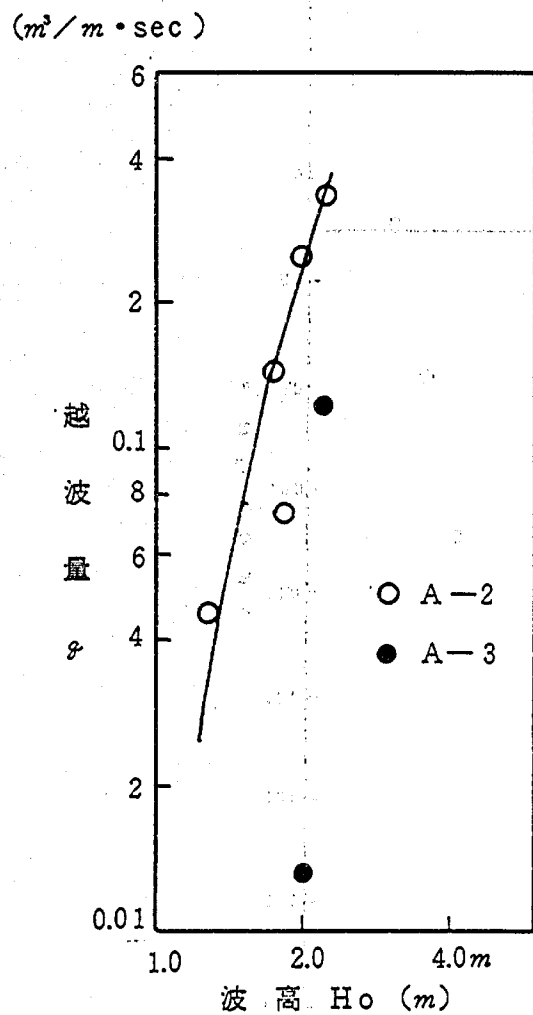


図-13 入射波高と越波量の関係 (A-2, A-3)

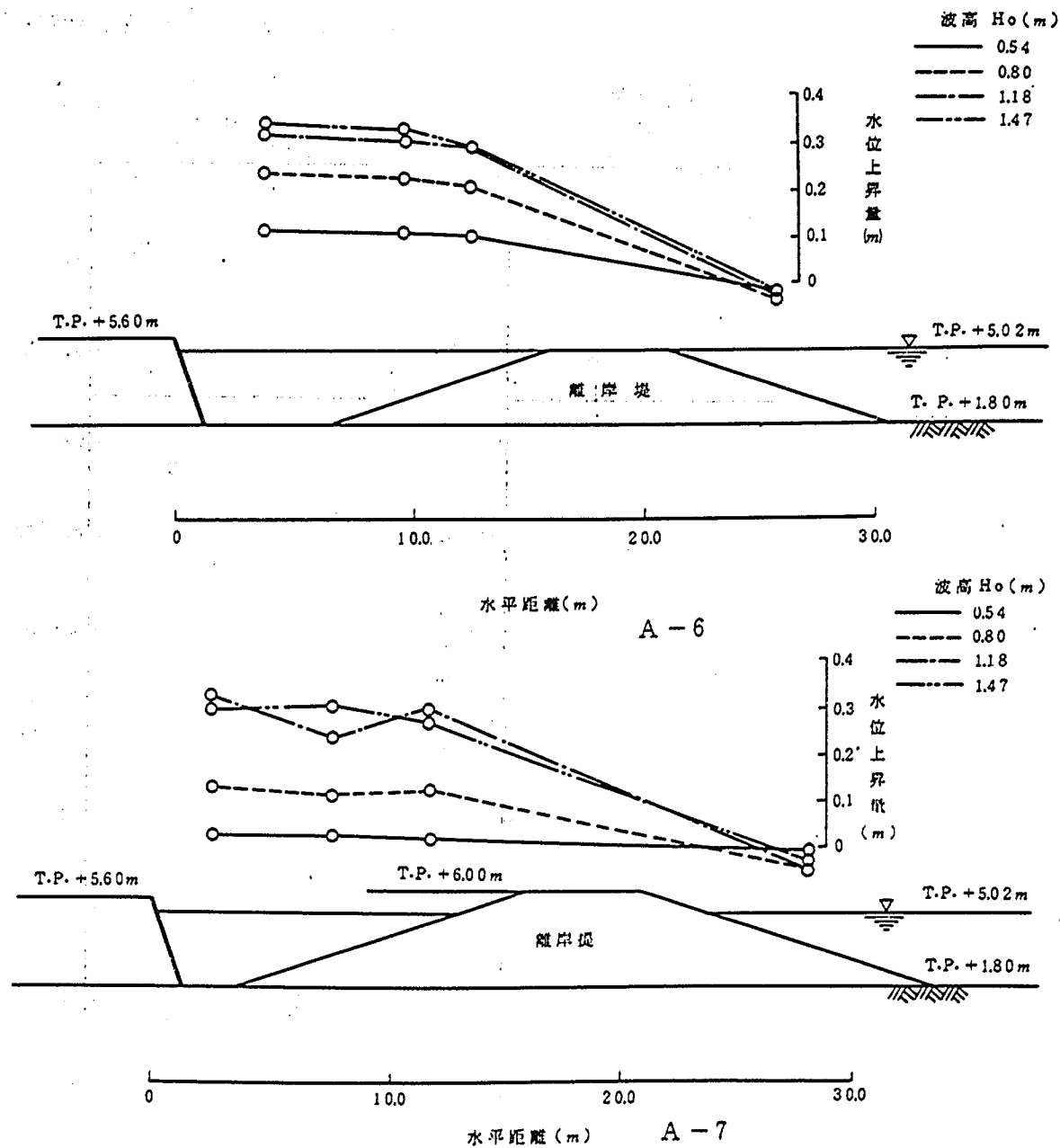


図-14 水位上昇量 (A-6, A-7)

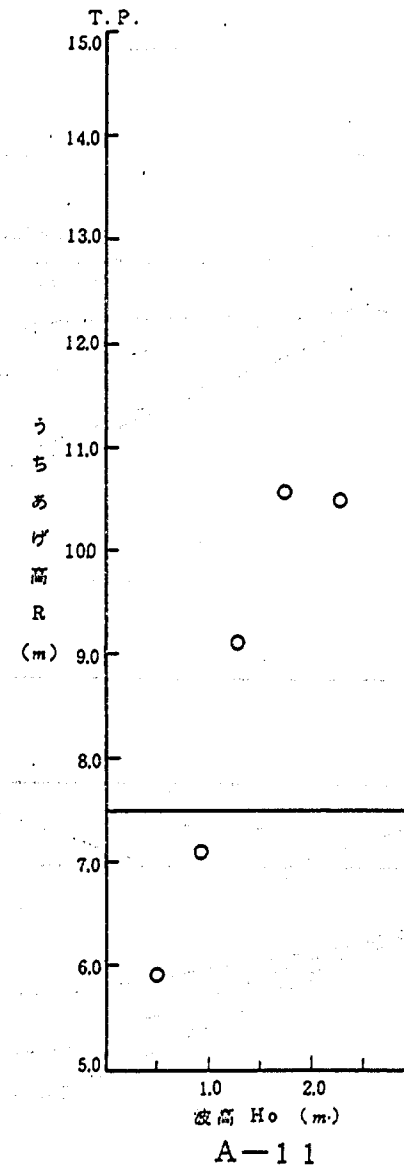
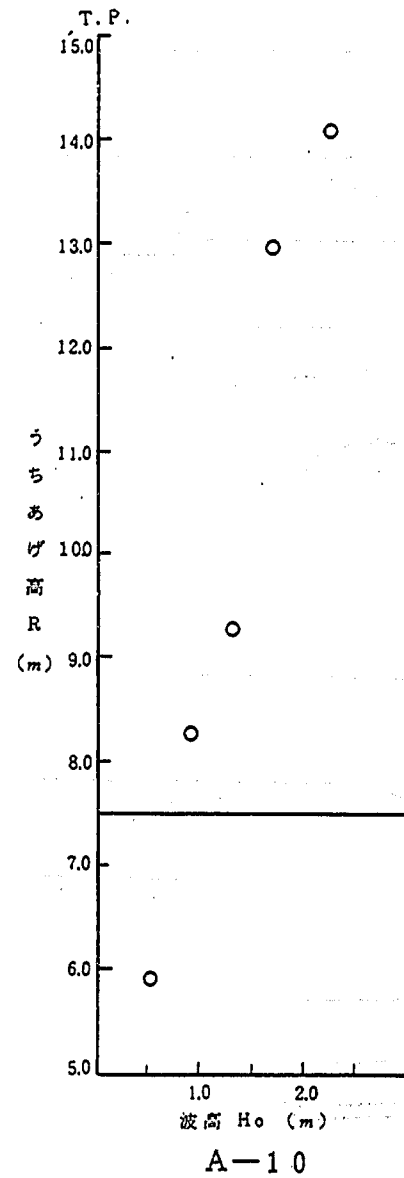
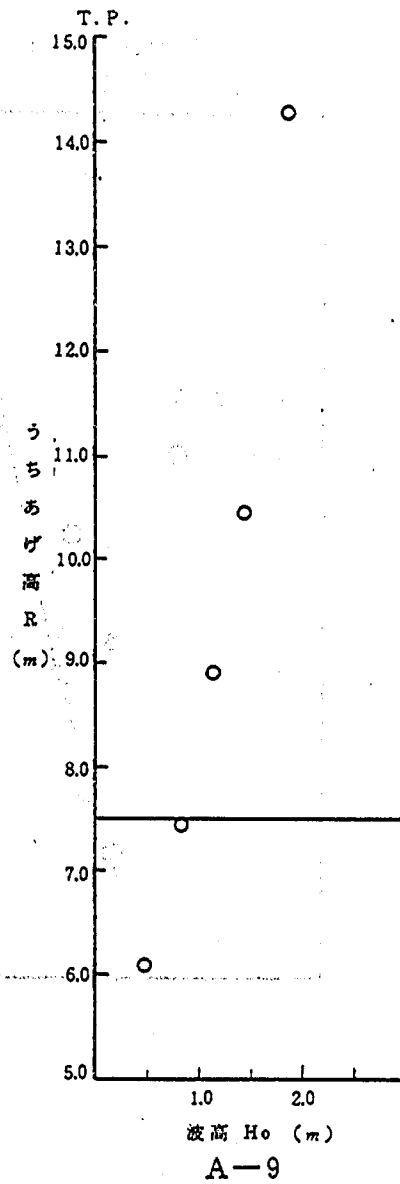


図-15 入射波高とうちあげ高の関係 (A-9~A-11) (1)

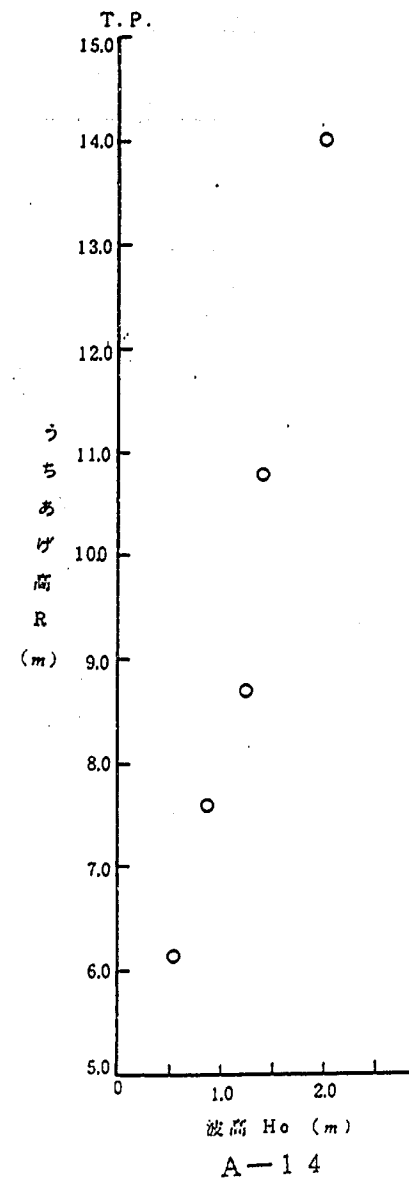
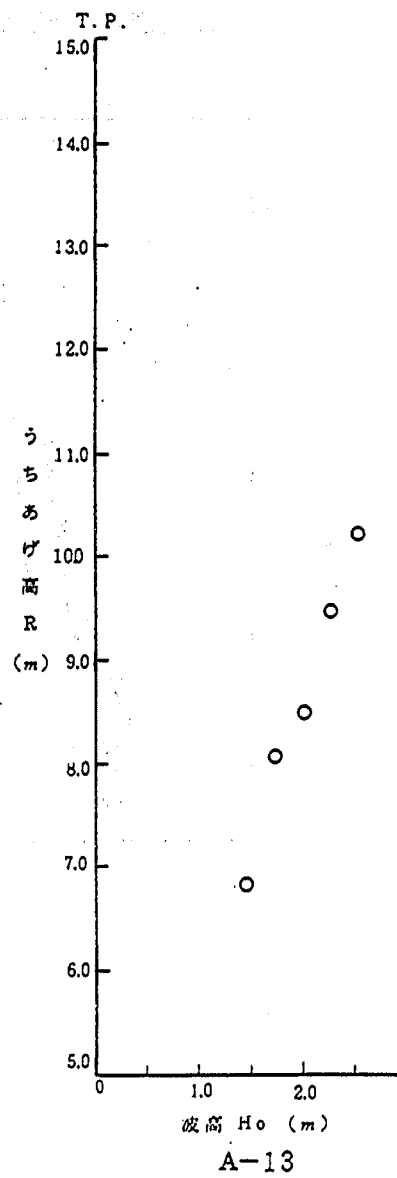
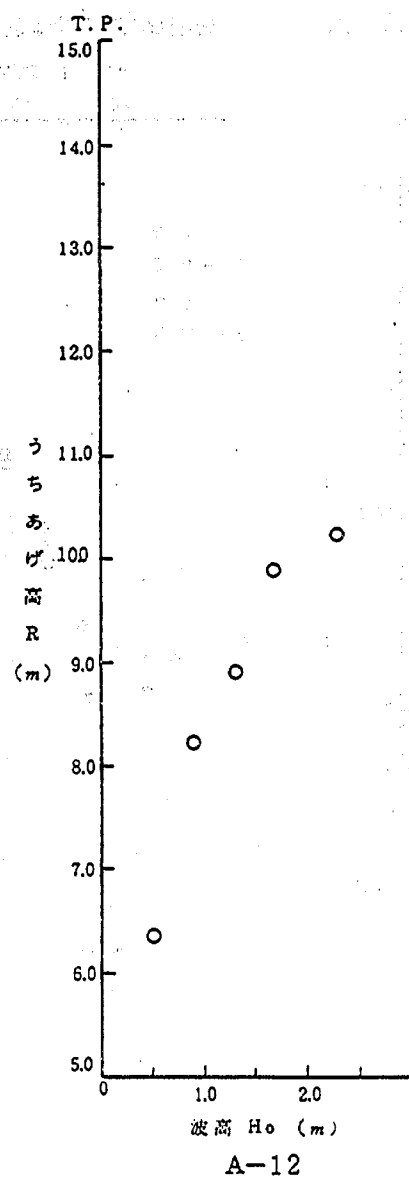


図-15 入射波高とうちあげ高の関係 (A-12~A-14) (2)

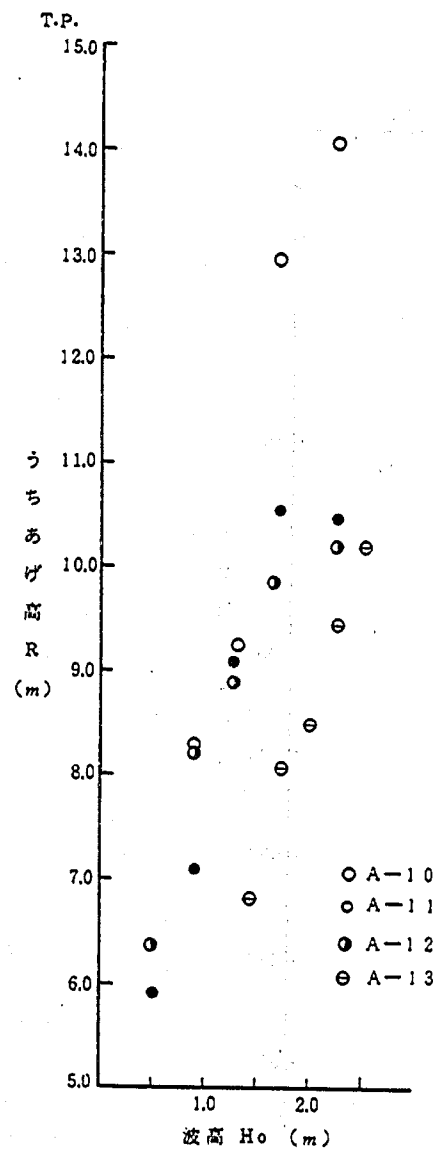


図-16 うちあげ高の比較
(A-10, A-11, A-12, A-13)

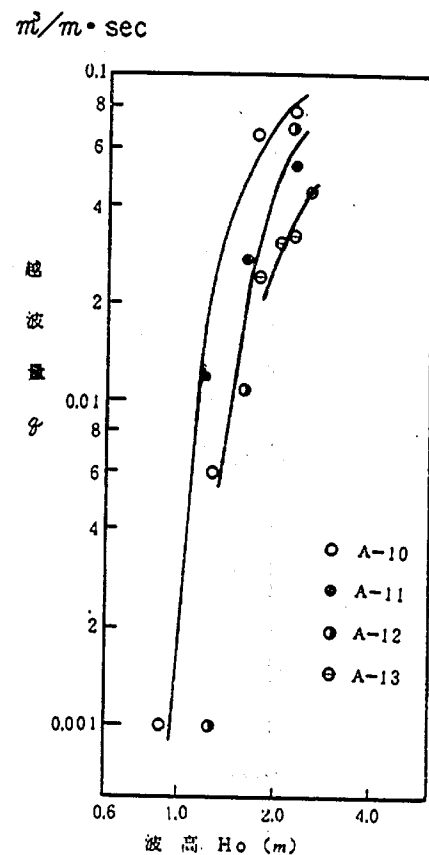


図-17 入射波高と越波量の関係
(A-10, A-11, A-12, A-13)

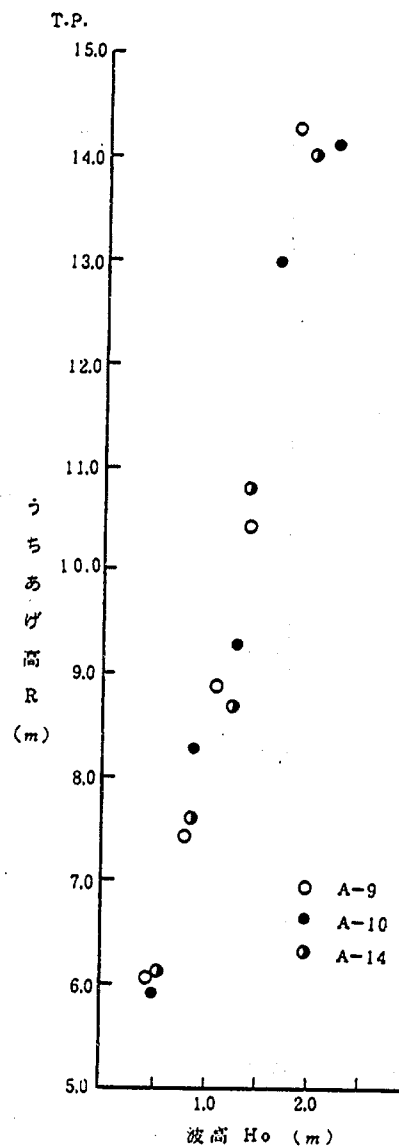


図-18 うちあげ高の比較
(A-9, A-10, A-14)

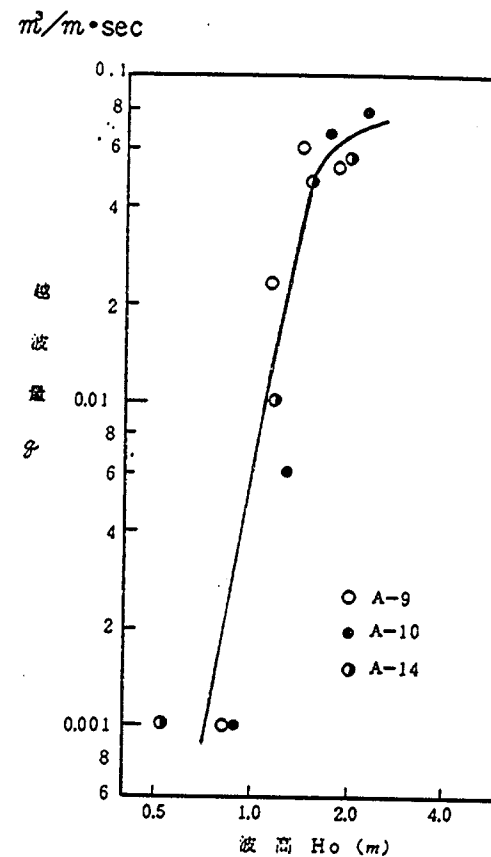


図-19 越波量の比較
(A-9, A-10, A-14)

3.4.3 ケース B (緩傾斜堤)

緩傾斜堤の前面に捨石マウンドを設けたのがケース B-1 と B-2 であり、B-1 はマウンドの天端高が T. P. +3.50m, B-2 は T. P. +5.02m としたものである。入射波高とうちあげ高の関係を図-20 に示すが、B-1 の場合には R/H_o が 1.8 ~ 3.7, B-2 の場合には 1.5 ~ 2.0 と緩傾斜にしたためにうちあげ高が低くなるということはない。これは堤防のり勾配が 3 割となっており、緩傾斜堤の有利さが発揮されていない。

ケース B-3 は堤防前面に非常に緩い勾配を持つマウンドを設けたものであり、この程度勾配が緩くなれば効果がある。波高とうちあげ高の関係を図-20 に示すが、波高が小さい場合には 3 割の斜面上をうちあげるために R/H_o は 1.0 程度であるが、波高が大きくなると緩斜面で波が碎波するようになり効果が発揮される。

ケース B-4 から B-7 は前面に離岸堤を設置した場合であり、B-4, B-5, B-7 は前面の地盤高が異なり、B-6 は離岸堤の高さが他のケースに比較して高くなっている。入射波高に対するうちあげ高の関係を図-20 に示す。波高の増加に伴ってうちあげ高は増加するがその増加率は波高が大きくなるにしたがって減少する。これは離岸堤が効果を発揮しているためと考えられる。ケース B-4 からケース B-7 についてうちあげ高と越波量の比較を行ったものが図-21 と図-22 である。ケース B-7 は前面水深が浅く 2.5 m であり、波高が約 1.2 m までしか発生できなかったが、波高と入射波の関係は波高の小さい場合には前面水深の深い場合とほぼ同じ値をとっている。したがってこの場合には限界波高までは水深の影響があまりないといえよう。越波量についてもうちあげ高と同様の傾向を示す。ケース B-6 は離岸堤の天端高が高いためにうちあげ高は低い場合に比較して約 1 m 低くなっており、越波量についても低減している。

ケース B-8 から B-10 は堤防前面の海底が勾配を持って変化している場合である。入射波高とうちあげ高の関係を図-20 に示す。前面水深の深いケース B-8 と B-9 については波高が増加してもうちあげ高はあまり増加していない。一方 B-10 については波高の増加に伴ってうちあげ高も増加している。波高が小さい場合には 3 割の堤防のり面上で碎波するが波高が大きくなるにしたがって緩勾配の海底上で碎波するようになりうちあげ高はあまり増加しないものと考えられる。B-8 から B-10 のうちあげ高と越波量の比較を行ったものが図-23 と図-24 であるが、越波量についても B-8 と B-9 では波高が変化しても越波量がほぼ一定値となる場合のあることを示している。これは斜面の存在が波のエネルギー減殺に大きな効果を有していることを示していよう。前面の離岸堤についてはその天端高が T. P. + 3.5 m であり、水深が 1.5 m もあることから波高の小さい場合には大きな効果は発揮していないと考えられる。

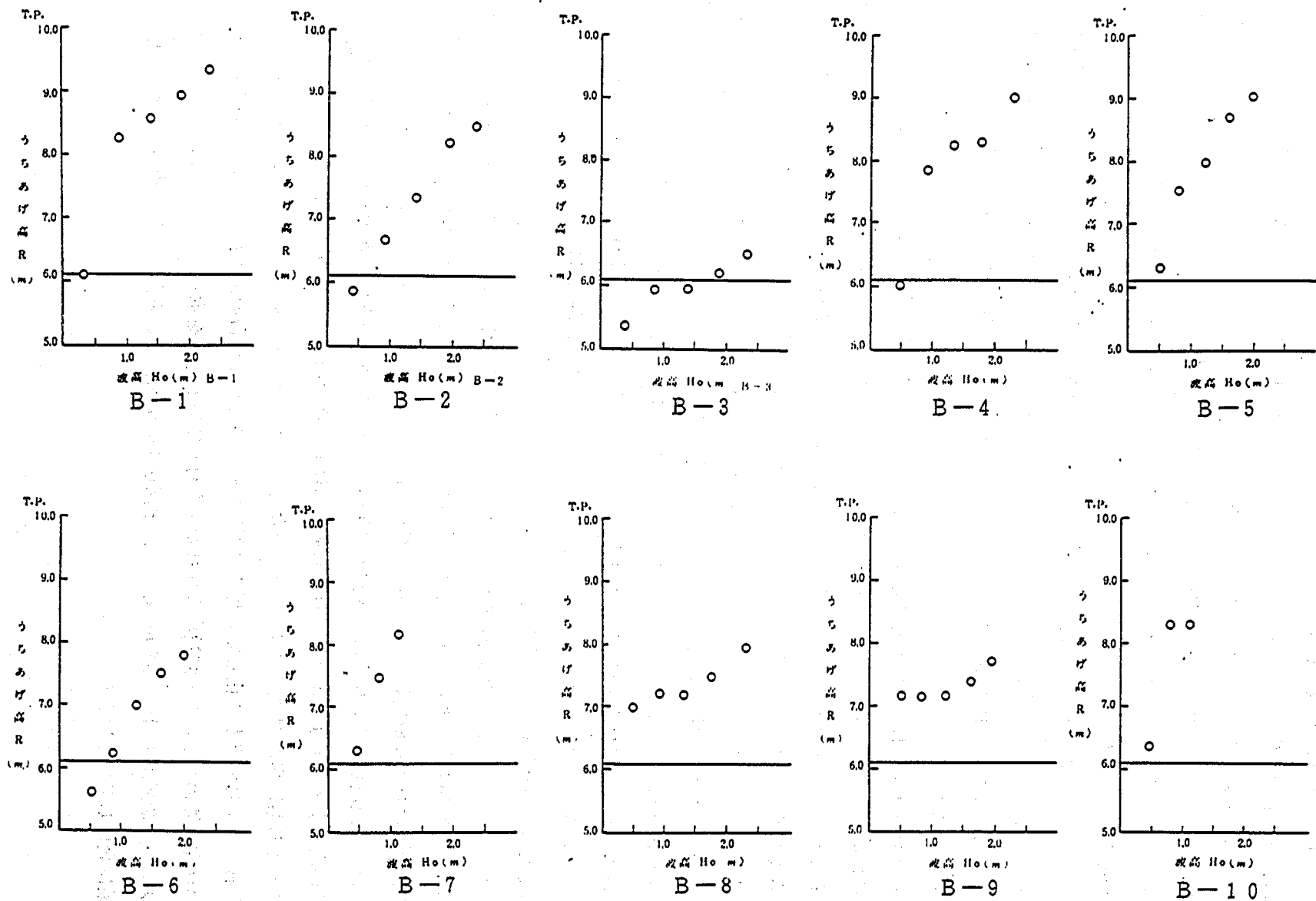


図-20 入射波高とうちあげ高の関係 (B-1 ~ B-10)

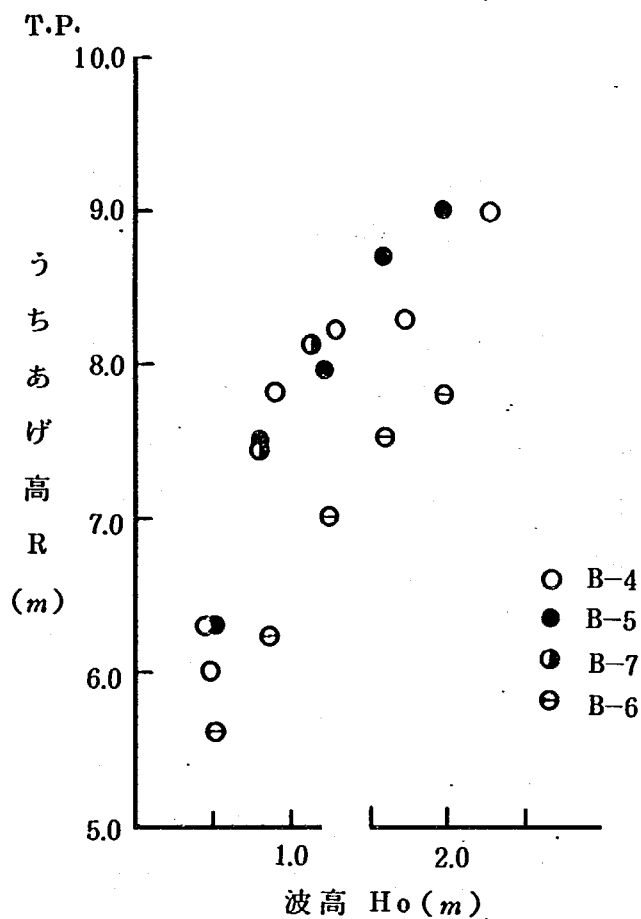


図-21 うちあげ高の比較 (B-4 ~ B-7)

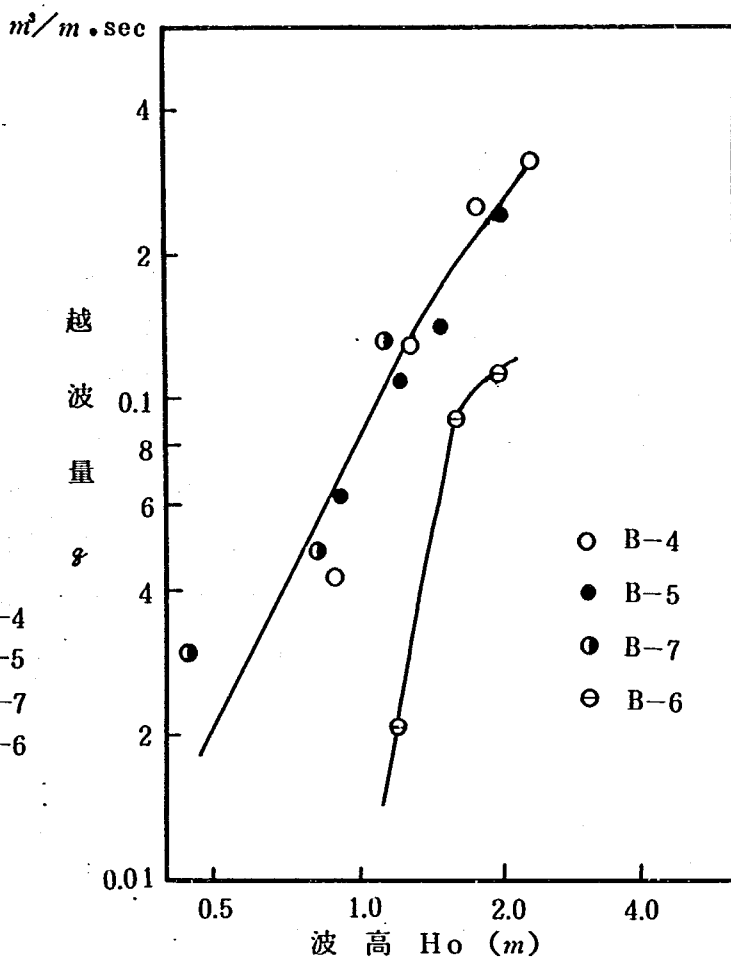


図-22 越波量の比較 (B-4 ~ B-7)

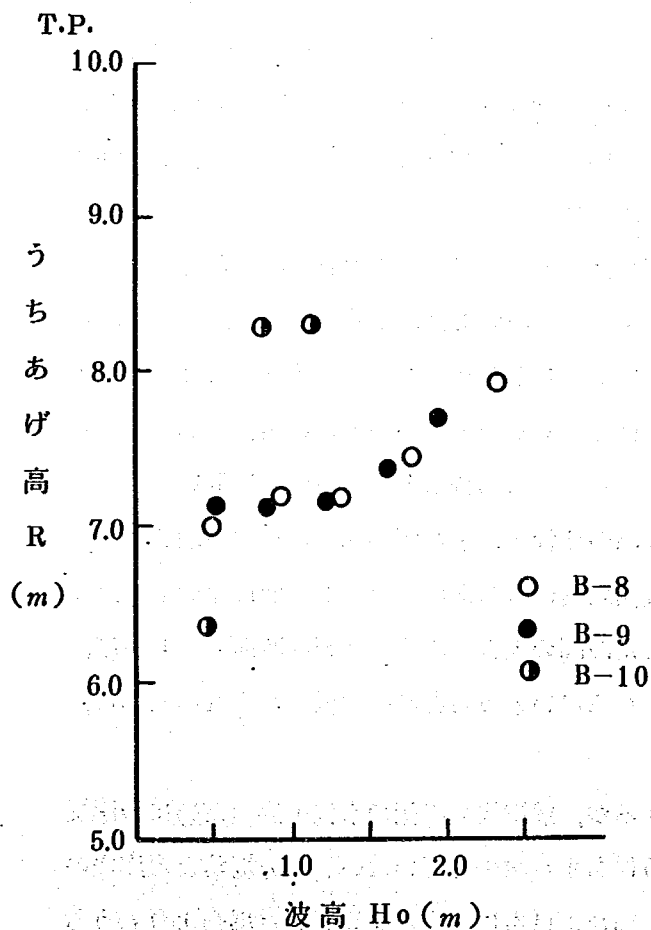


図-23 うちあげ高の比較 (B-8 ~ B-10)

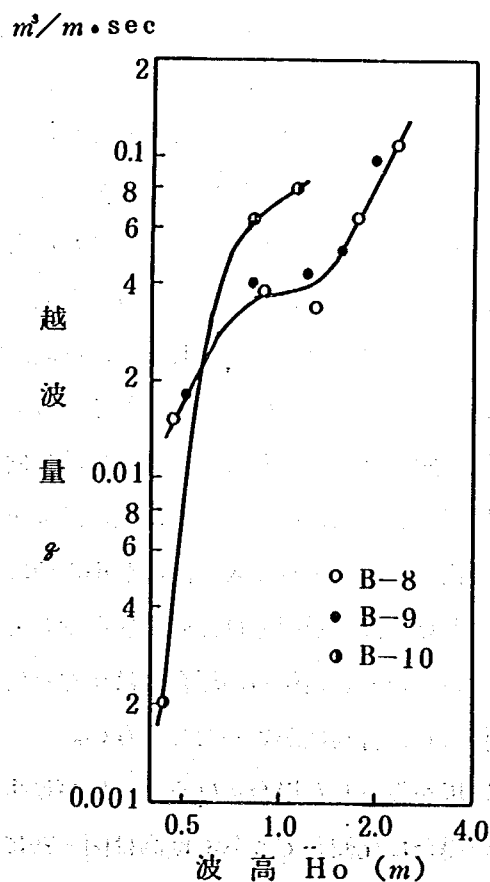


図-24 越波量の比較 (B-8 ~ B-10)

3.4.4 構造物効果の比較

検討を行った構造物の種類としては現況断面を中心としたケースA-1からA-5, 計画断面のA-9からA-14, 緩傾斜堤のB-1からB-10に大別できよう。これらの構造物の効果についてそれぞれの比較を行うことによってその特性が明らかになると考えられる。

まず一定水深の海底に勾配がほぼ直立堤に近い堤防が設けられたA-1, A-3, A-5のケースについては入射波高とうちあげ高の関係は図-25に示すようにほぼ同じであり, R/H_o は1~1.5程度の範囲に入っている。したがってこの形状の堤防では前面に重複波が形成され, うちあげ高はその重複波の波頂高程度となっている。また前面の海底が水平であるために砕波を生じるような波は存在せず, 水深のほぼ2倍より大きな波は入射しないことになる。

ケースA-4は堤防形状はA-1やA-5とほぼ同じであるが前面に捨石によるマウンドが造られている。うちあげ高をケースA-1などと比較すると同じ入射波高でも少し高くなっている傾向を示している。これは前面のマウンドが砕波を助長しうちあげ高が高くなったものと考えられる。

計画断面のケースA-9, A-10, A-14は前面の地盤高が異なるのみであるがその違いはほとんどないために, この3ケースと他のケースを比較することにする。図-26は現況断面のケースA-1, A-4, A-5とうちあげ高を比較したものであるが, 計画断面は現況断面に比較してうちあげ高はほぼ2倍になっている。これは現況断面では堤防前面には重複波が形成されるが, 計画断面ではマウンドおよび小段があるために砕波した波が堤防にうちあげて, その高さが高くなったものと考えられる。特に波高が2m近くになると R/H_o も大きくなっているが, これは前面のマウンドの先端付近で砕波するためにうちあげ高が高くなったものと考えられる。堤防ののり勾配は5分であるが, 砕波点からうちあげられる地点までの勾配はもっと緩く, R/H_o の比はかなり大きくなっている。また砕波しているためにしぶき状になってうちあげていると考えられる。

ケースA-8は長いマウンドを設けた場合であるが波高の小さい場合は現況断面の場合と同程度のうちあげ高を示している。しかし波高が大きくなるとマウンドの先端付近で砕波を生じ, このためにマウンド上の平均水位が上昇しうちあげ高が増大している。しかしケースA-9等ほどは高くない。マウンドの規模が大きくなるとうちあげ高も低くなるが特に波高の大きい場合に効果がある。また構造的には水平部がなく, 徐々に沖に向って低くなっている場合ほどうちあげ高は低い。

緩傾斜にした場合には図-27に現況断面とうちあげ高の比較を, また図-28には計画断面とうちあげ高の比較を示すように入射波高が小さい場合には緩傾斜堤のうちあげ高が現況断面に比較して高くなっており, 計画断面とほぼ同じ値を示している。また波高の大きい場合には現況断面のうちあげ高に近づいている。緩傾斜の場合にはかなり勾配が緩くならないとうちあげ高が低くならないために, 緩傾斜にした有利性が表われていない。

離岸堤を設置した場合にはうちあげ高は少し減少するが, 離岸堤の岸側の水位上昇のために離岸堤のない場合に比較してうちあげ高は図-29に示すようにあまり減少していない。一方堤防と離岸堤の間の海底が浅くなっているケースB-8からB-10の場合には単に離岸堤を設置した場合よりもうち

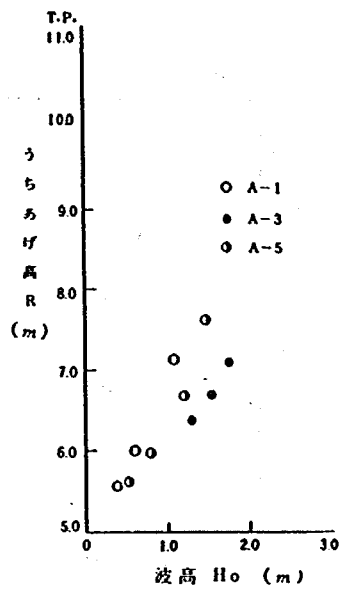


図-25 うちあげ高の比較 (A-1, A-3, A-5)

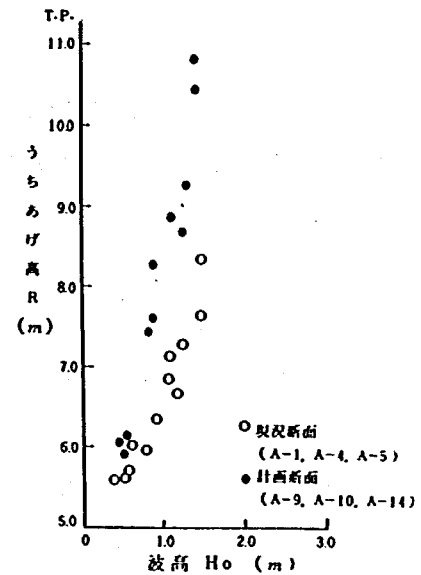


図-26 うちあげ高の比較 (現況断面と計画断面)

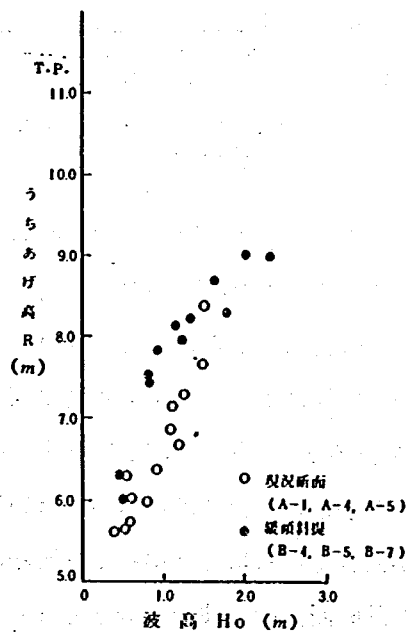


図-27 うちあげ高の比較 (現況断面と緩傾斜堤)

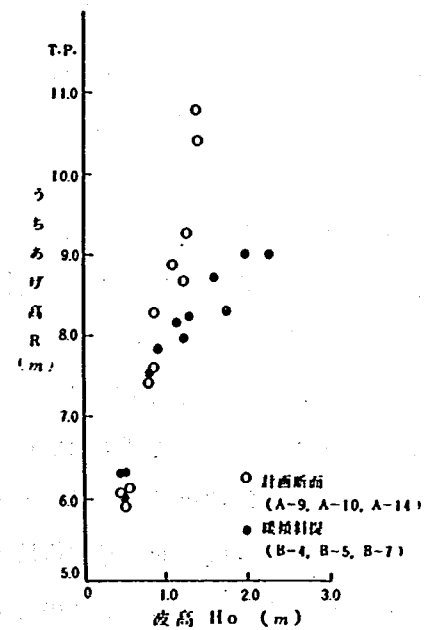


図-28 うちあげ高の比較 (計画断面と緩傾斜堤)

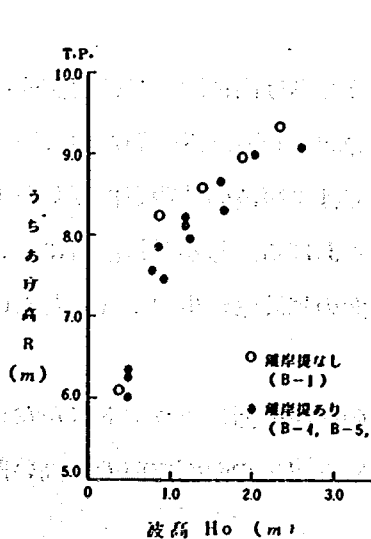


図-29 離岸堤によるうちあげ高の減少

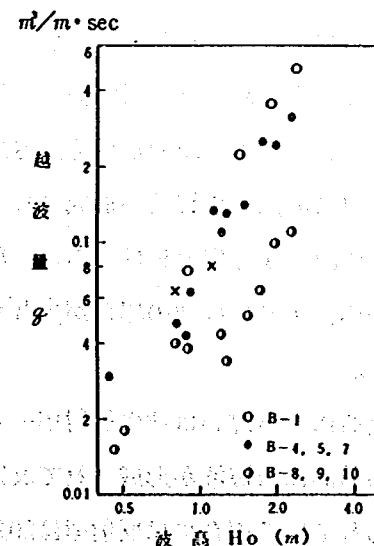


図-30 越波量の比較 (緩傾斜堤)

あげ高は低くなっている。これは緩斜面の海底で碎波してエネルギーの損失が生じるためと考えられる。したがって離岸堤と堤防の間は浅くして一定の勾配を有する海浜とするのがよいと考えられる。

越波量に関しては堤防高を同じとしていないために、すべてを同じに比較することはできないが、ケースA-1, A-2とケースBは堤防天端高をT. P. + 6.1 m としているために可能である。まず緩傾斜堤の場合のケースBについて比較したのが図-30である。入射波高が小さい場合には緩傾斜面のB-1と離岸堤等を設けたB-4, B-5, B-7およびB-8, B-9, B-10と越波量はほぼ同じであるが、波高が大きくなるにしたがって離岸堤と堤防の間が緩勾配になっているB-8からB-10の越波量が小さくなっており、これはうちあげ高変化と対応している。B-1と離岸堤を設けたB-4, B-5, B-7を比較すると越波量は少なくなっているが効果はいちじるしくない。

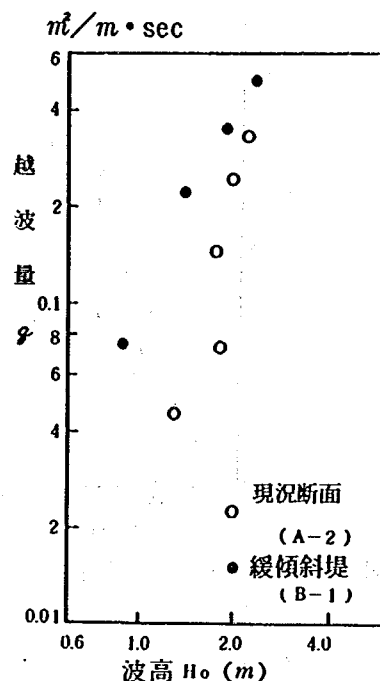


図-31 越波量の比較
(現況断面と緩傾斜堤)

現況断面と緩傾斜堤を比較したのが図-31であるが現況断面では波高が小さい場合に堤防前面に重複波が形成されるためにうちあげ高と同様に越波量も小さくなっている。また波高が大きいか場合でも緩傾斜堤とはほぼ同じ値をとっており、3割程度の勾配では緩傾斜堤の有利さが表われていない。

計画断面については堤防高がT. P. + 7.5 mであるために直接的な比較はできないが堤防高T. P. + 6.1 m のケースA-2と堤防高T. P. + 7.5 mのケースAと比較を行うと、うちあげ高は計画断面が高いにもかかわらず越波量はそれほど大きくなっていない。波高の小さい場合には堤防高の低い現況断面と堤防高の高い計画断面の越波量はほぼ同じであるが波高が大きくなるにしたがって計画断面では越波量の増加が少なく、波高が2 mを越えると現況断面よりも計画断面の越波量は少なくなっている。したがって重複波に比較して碎波の場合にはうちあげ高は高くなるものの越波量についてはそれほど多くならないことを示していよう。

以上の結果をまとめると緩傾斜堤は3割程度では有利ではなく、うちあげ高に関しては堤防前面で重複波の形成される現況断面が低く、越波量に関してはマウンドで碎波させる計画断面が少ないと考えられる。堤防前面に重複波が形成される場合にはうちあげ高としては重複波の波頂高程度しか上がらないが、碎波をする場合にはしぶきとなってかなりの高さまでうちあげる。しかし越波量については重複波の場合よりは碎波の場合が少なくなると考えられ、計画断面の越波量が少なくなったものと考えられる。

堤防の構造による違いは波の反射率にも表われている。現況断面の堤防前面にマウンド等がない場合には堤防前面に重複波が形成されて反射率も50~70%となっている。一方この断面で前面に高い離岸堤の設けられている場合には反射率は20%に低下している。

計画断面の場合には30~50%の反射率となっており現況断面より碎波のために小さくなっているが、

前面に高いマウンドのある場合には20~30%に低下し、マウンドが碎波を助長していることを示している。

緩傾斜堤の場合には波高の小さい場合に反射率が50%と大きなものもあるが、波高が大きくなると20%程度に低下している。また前面に高さT. P. + 3.5 mの離岸堤が設けられた場合については反射率として20~40%程度であり、高い離岸堤の場合には20%に低下している。

3.4.5 離岸堤の効果

離岸堤の消波効果については天端幅がせまい場合には実験的な検討が行なわれているが、ここで計画されているのは天端幅が比較的広いものもあり、その効果について検討を行なった。実験は水深 $h = 4.02 \text{ m}$, 周期 $T = 6.6 \text{ sec}$ と一定とし、入射波高 H_o と離岸堤の天端幅 B , 静水面から天端までの高さ R を変化させて透過率 K_t と反射率 K_r の測定を行った。

透過率および反射率は次のような関数形で表わされ则认为られる。

$$K_t, K_r = f_1(H_o, L_o, h, B, R) \dots\dots\dots (6)$$

無次元表示を行なうと次のような変数が選定できる。

$$K_t, K_r = f_2\left(\frac{H_o}{L_o}, \frac{h}{L_o}, \frac{B}{L_o}, \frac{R}{H_o}\right) \dots\dots\dots (7)$$

実験では $h/L_o = 0.0589$ と一定値で行っているために透過率は波形勾配 H_o/L_o , 相対幅 B/L_o , 相対高さ R/H_o の関数として表わすことができる。相対的な高さが透過率に最も影響すると考えられるので、これらの間の関係について相対幅をパラメータとして示したのが図-32である。この図には³⁾田中による天端幅の広い潜堤での実験結果も合せて示してある。

離岸堤による透過率は相対的な天端高が高くなるにしたがって減少する。図中で R/H_o が負の値をとるのは天端が静水面下にある場合である。 R/H_o が -0.1 より小さい場合、すなわち天端と水面の間が波高程度空いている場合には透過率は60~80%でほとんどの波が透過する。しかし天端と水面がほぼ一致するようになると透過率は減少し20~30%となり、水面上に天端が出ると透過率は10%以下となる。天端幅の効果については高さほどこいじりしくはなく、幅が3~4倍増加すると透過率は20%程度減少する。これらの実験結果を利用すると、離岸堤を設置した場合の波高の減衰率を推定することができる。なお波形勾配の影響については波長を変化させた実験を行っていないために明確でないが、田中の結果と比較するとあまりないと考えられる。

離岸堤を設置した場合のうちあげ高については、離岸堤のみの場合に比較して低減していない。堤防前面に離岸堤を設置したケースB-4, B-5, B-7とB-1を比較するとその効果はあまり表われていない。これは離岸堤の岸側で水位上昇が生じるためと考えられる。離岸堤が不連続堤であり、その岸側で水位上昇が生じなければ離岸堤の効果はかなりあるものと考えられる。

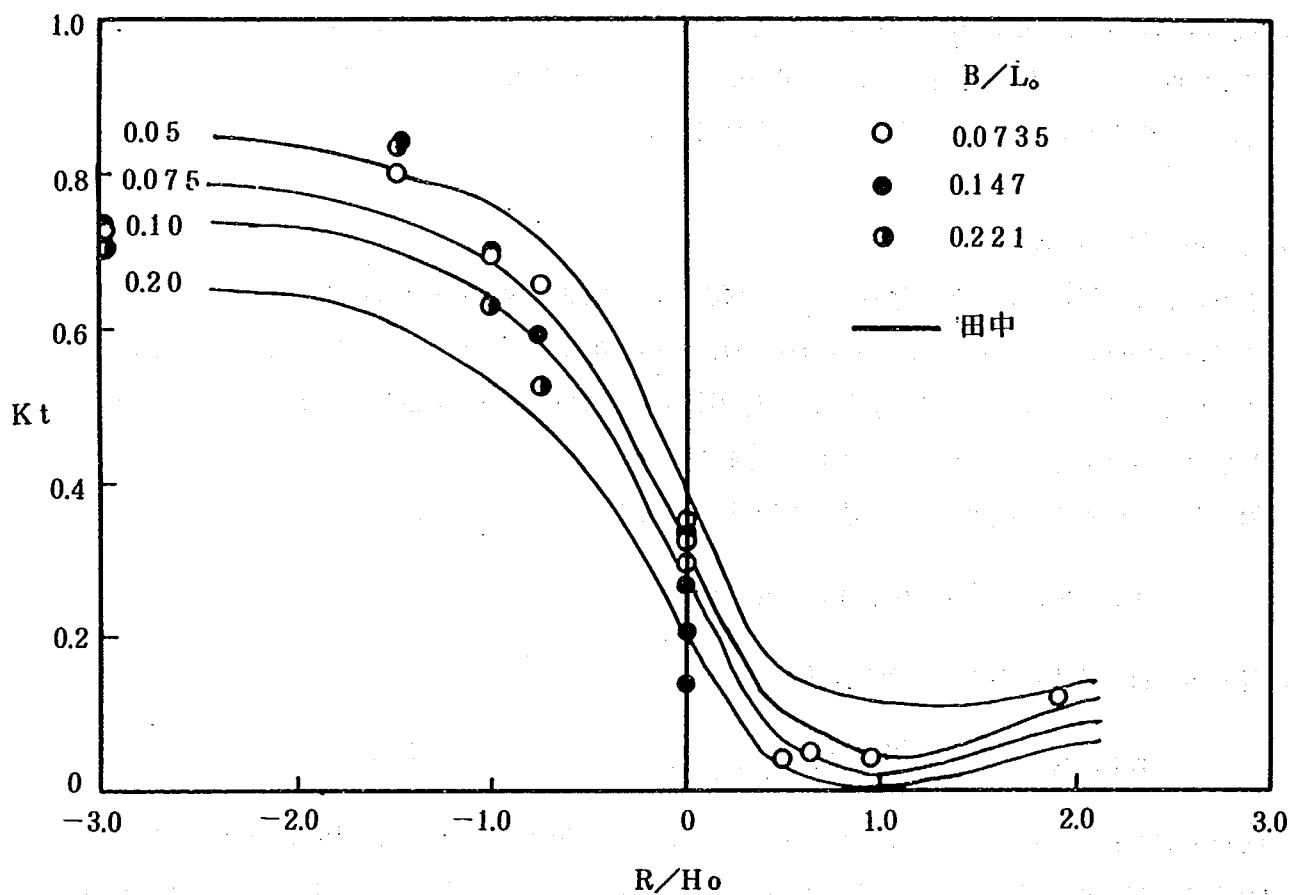


図-32 離岸堤の消波効果

4. 不規則波実験

4.1 目 的

海岸堤防の高さは波のうちあげ高以上にするか、構造的に問題がなければ許容越波量以下になるように決められる。有明海岸においては海底勾配が緩いために堤防にうちあげる波も水深によって限定され、来襲波が小さくなる可能性がある。したがって波高分布が浅海においてどのように変化するか、また不規則な波が作用した場合の越波量がどの程度になるかを明らかにしておく必要がある。したがってここでは不規則波造波水路を使用した実験によってこれらの項目について検討を行った。

4.2 実験方法

実験は規則波による実験と同様に、水路一端に海岸堤防の模型を設置し、それに不規則な波を作用させてうちあげ高、越波量等の測定を行った。実験に使用した水路は規則波実験でも使用した不規則波造波水路である。水路内には図-33に示すようにラワン材で高さ0.8 m、延長20 m（模型値）の海底を造り、その上に堤防等を設置した。

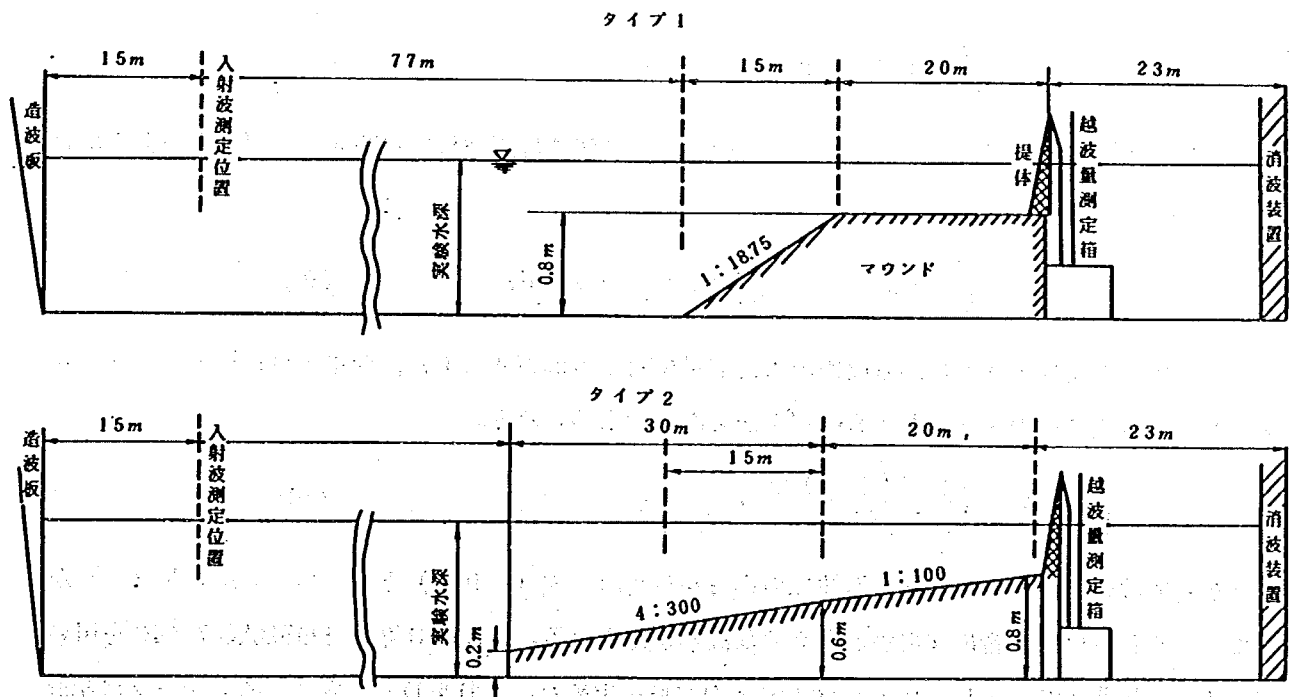


図-33 模型海底形状（不規則波）

4.2.1 不規則波の発生方法

不規則波は必要な波のスペクトル形状を発生するような入力波形を電子計算機によって発生し、それをD-A変換して造波機に入力することによって発生した。これはまず電子計算機によって白色雑音を発生し、それにインパルス応答を作用させて必要とする造波機入力をつくるものであり、インパルス応答は発生すべき波のスペクトル形状および造波板入力と発生波の応答を考慮して決められる。

不規則波の造波装置は入力信号に従って造波板を油圧によって制御する方式であり、造波機の入力信号と造波板の変位の間には図-34および図-35に示す関係にある。図-34は各周波数に対する入力振幅に対する出力の振幅の関係を示したもので周波数が0.5Hzまでは1対1の応答を示すが周波数が大きくなると少し増加し、さらに周波数が増加すると対応が悪くなる。また図-35は位相遅れを示したものであり0.5Hzで10°程度の遅れがあり、1Hzより周波数が大きくなると位相遅れは急激に大きくなる。

造波板は油圧シリンダーによって駆動されておりフラップ形であるがシリンダーの振幅と発生した波の振幅の間には図-36に示すような関係にある。線形理論による造波板振幅に発生波の振幅の関係式もあるが、ここでは実験的に求めた関係を使用することとした。

白色雑音は混合型合同法によって発生した。この波形を $x(t)$ とし、造波機に与えるべき信号を $y(t)$ とするとこれらの間には次の関係が成立しなければならない。

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} k(\tau) x(t-\tau) d\tau \quad (8)$$

ここで $k(\tau)$ はインパルス応答であり、そのフーリエ変換は周波数応答関数とよばれ次のように表わされる。

$$K(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i2\pi f\tau) k(\tau) d\tau \quad (9)$$

この周波数応答関数 $k(f)$ は造波機の入力信号に対する応答 $A(f)$ 、発生すべき波のスペクトル $s(f)$ 、白色雑音のスペクトル $S_w(f)$ から次式で求められる。

$$k(f) = \left(\frac{S(f)}{S_w(f)} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{A(f)} \quad (10)$$

したがって波のスペクトル形状と造波機の応答を与えれば式(9)と(10)から $k(\tau)$ が求まり、これを白色雑音に作用すると必要な波形が得られる。具体的計算はTOSBAC 7/40を用いて行い、時間々隔 $\Delta t = 0.1 \text{ sec}$ 毎に入力波形を求めた。これをD-A変換し磁気テープに記録して造波機の入力波形とした。

測定項目としては波高、うちあげ高、越波量、平均水位である。波高の測定は入射波高、海底上での波高、堤防前面の波高等について容量式波高計を用いて行い、磁気テープに記録した。波高等の計算は磁気テープ記録を再生し0.1sec間隔でA-D変換を行ったデータについて行った。波高分布および有義波高の計算はゼロアップクロス法によって一波を定義し、その間の最大値と最小値の

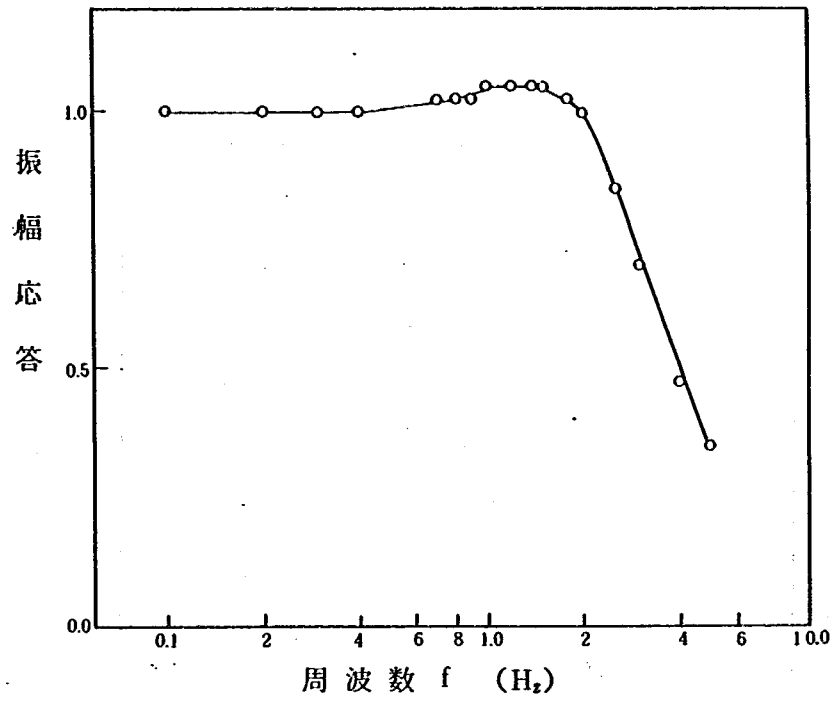


図-34 造波板の応答 (振幅)

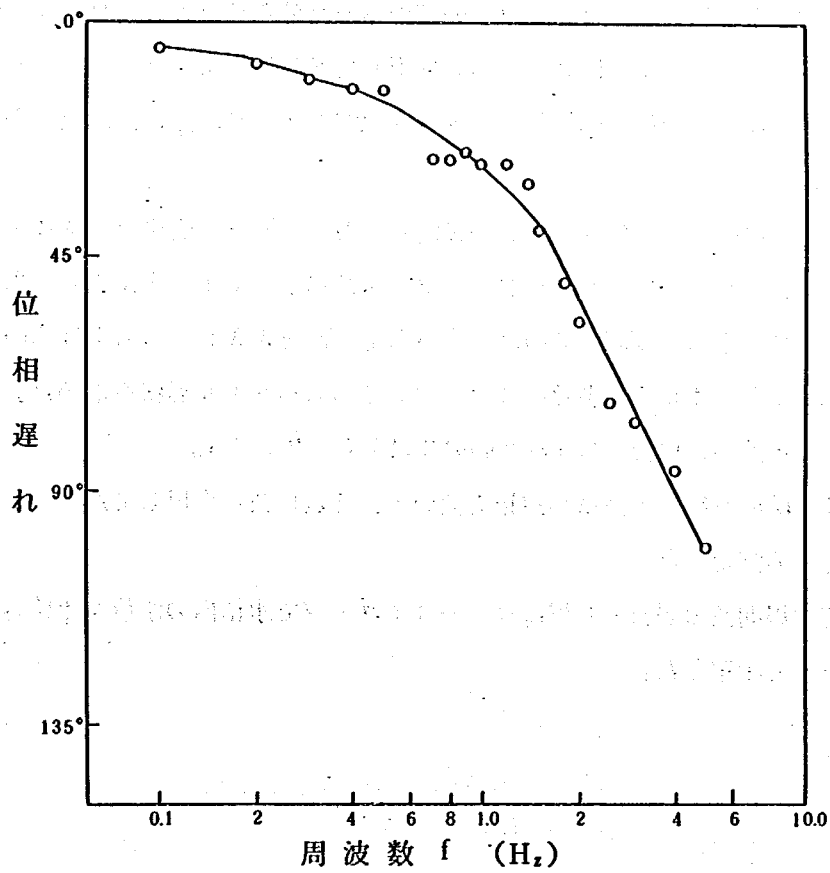


図-35 造波板の応答 (位相)

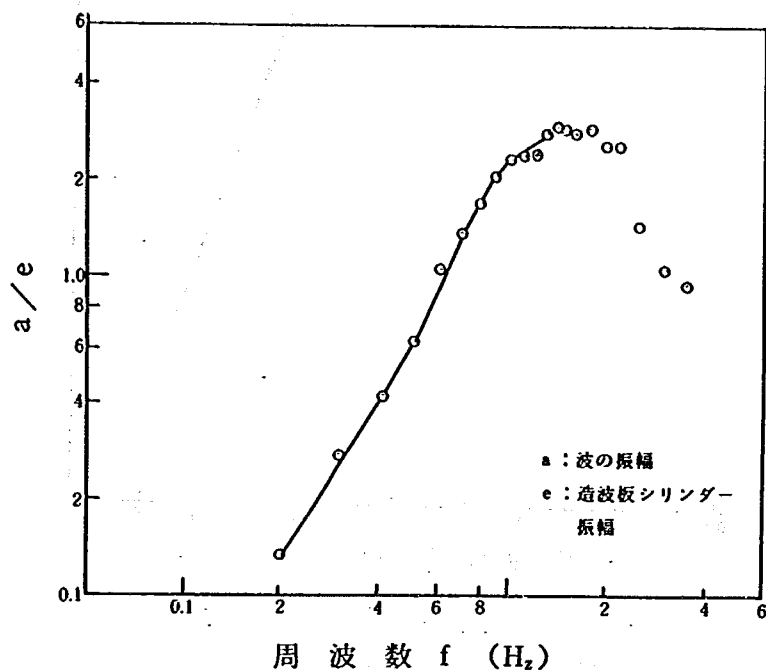


図-36 造波板シリンダー振幅と波の振幅と関係

差を波高とし、時間々隔を周期とした。これらの値から波高分布を求め、また大きい順に並べ換えて有義波高等の計算を行った。また同じデータを使用してFFTによるスペクトル計算も行った。解析に使用したデータは波の記録を開始した後80 sec間のデータは除き、以後の205 sec間の2048データである。

うちあげ高の測定は堤防上に容量式波高計を設置し、波高と同様に磁気テープに記録してA-D変換を行った。うちあげ高についてもゼロアップクロス法によって1波を定義し、あらかじめ記録しておいた静水面から最大うちあげ高までの高さをうちあげ高と定義し、うちあげ高の分布や有義うちあげ高の計算を行った。またうちあげ高についてもそのスペクトル形状を求めた。計算に使用した値は初めの80 secを除いた以後の205 sec間の2048データである。

越波量の測定は堤防の背後に越波量測定箱を置いて、それに波が作用してから80 sec後から1 min間の越波した量を集め測定した。

平均水位の測定は規則波の場合と同様にビニールチューブで水槽内の水位を水路外に導き、これにマンメータを取付けて測定した。

4.3 実験条件

潮位に関しては計画潮位であるT. P. + 5.02mとし、波浪条件としては周期6.6 sec, 波高2.3 mおよび1.8 mとした。不規則波のスペクトル形状としては吹送距離が限定されている場合の標準型として求められている光易型のスペクトルを用いた。これは次のように表わすことができる。

$$S(f) = 0.258 \left(\frac{H_{1/3}}{g T_{1/3}} \right)^2 g^2 f^{-5} \exp \left\{ -1.03 (T_{1/3} \cdot f)^{-4} \right\} \quad (11)$$

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

堤防の構造等については図-37および図-38に示すものについて検討を行った。まず大別すると堤防前面地盤高がT. P. + 0.0mの場合とT. P. + 2.0mに分けられる。堤防の構造としては規則波についての実験で用いたA-1からA-3の前面ののり勾配が3分の一様のものと、マウンド及小段を設けたものがあり、また離岸堤の効果についても合せて検討を行った。不規則波についての実験はすべてケースCと呼んでいる。

ケースC-1からC-4は堤防前面地盤高がT. P. + 0.0mのものであり、C-1は天端高T. P. + 6.1m, C-2はC-1に離岸堤を設けたものである。C-3は天端高T. P. + 7.5mでC-4はそれに離岸堤を設けたものである。ケースC-5からC-8は堤防前面地盤高がT. P. + 2.0mのものであり、C-5からC-7は堤防天端高T. P. + 6.1mでC-5は何もない場合、C-6は天端高T. P. + 3m, 延長10.0mのマウンドを設けた場合、C-7は天端高T. P. + 5.5m, 幅3.0mの小段を設けた場合である。またC-8はC-7と同じく小段を設けた場合で堤防天端高をT. P. + 7.5mとしたものである。

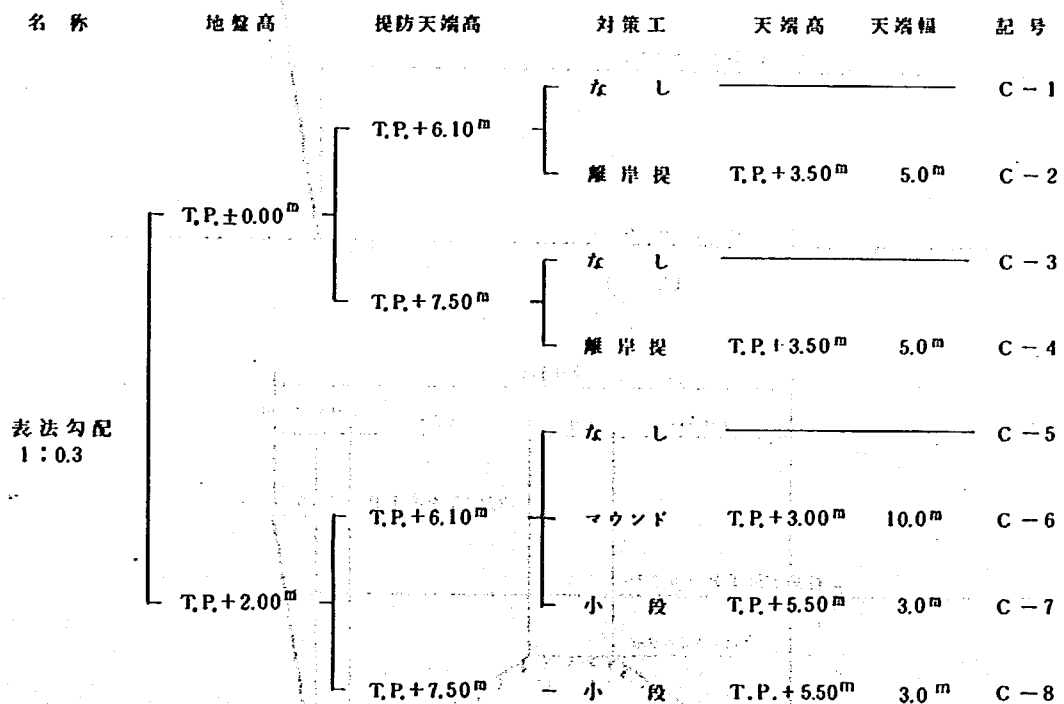
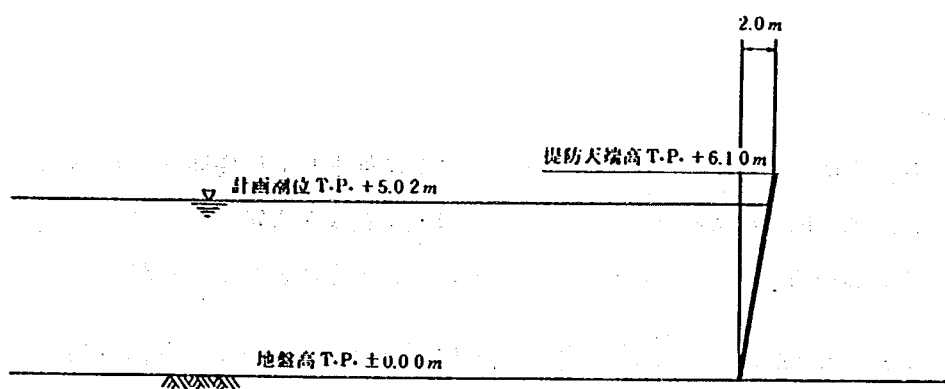
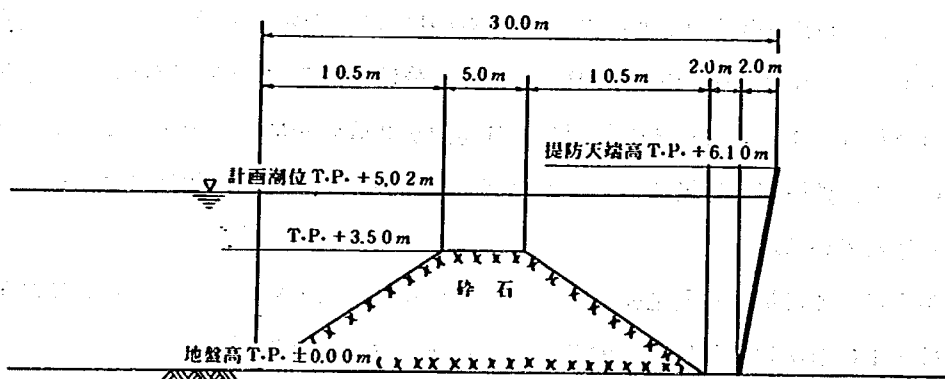


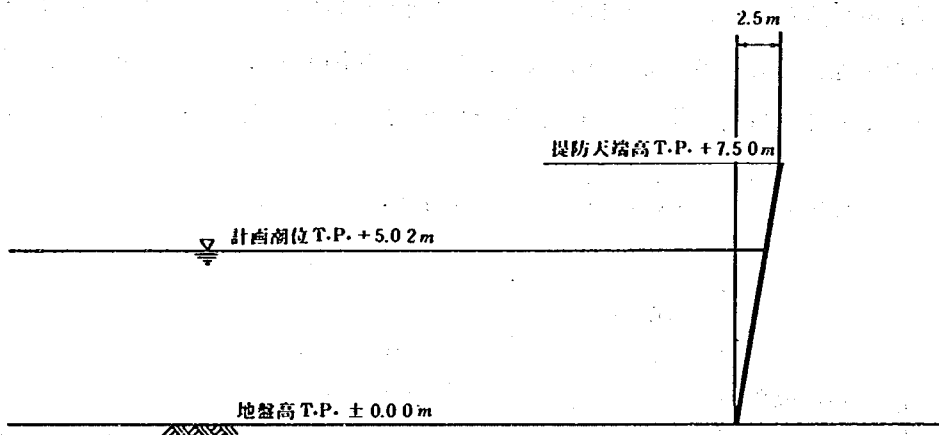
図 - 37 実験条件分類図 (不規則波)



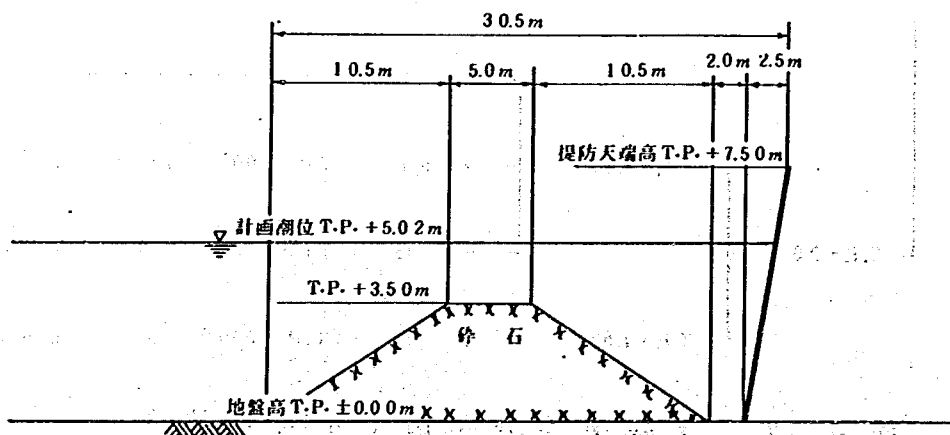
C-1



C-2

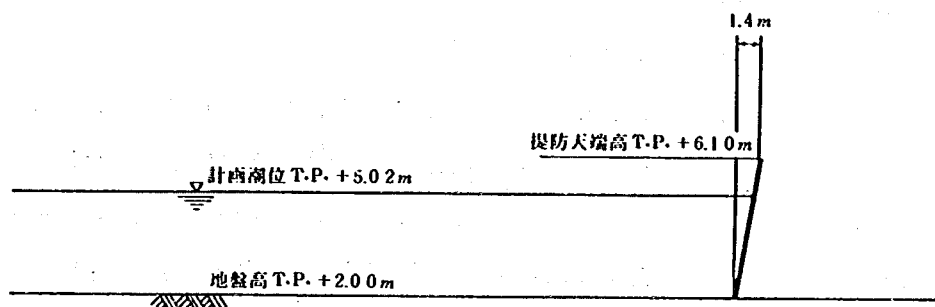


C-3

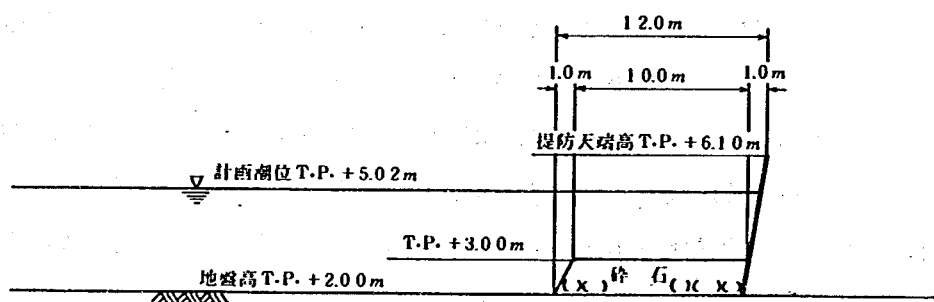


C-4

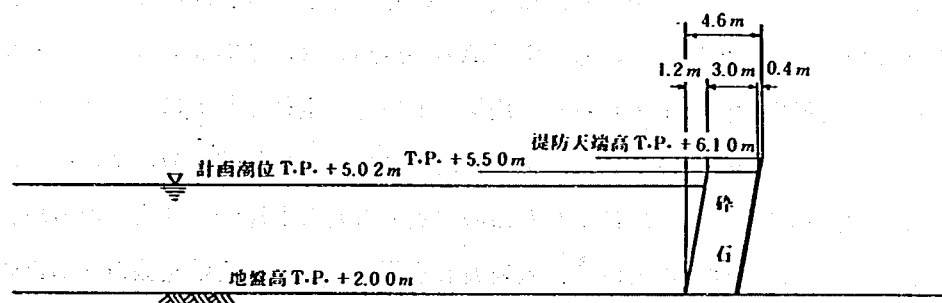
図-38 構造物等の形状 (不規則波)



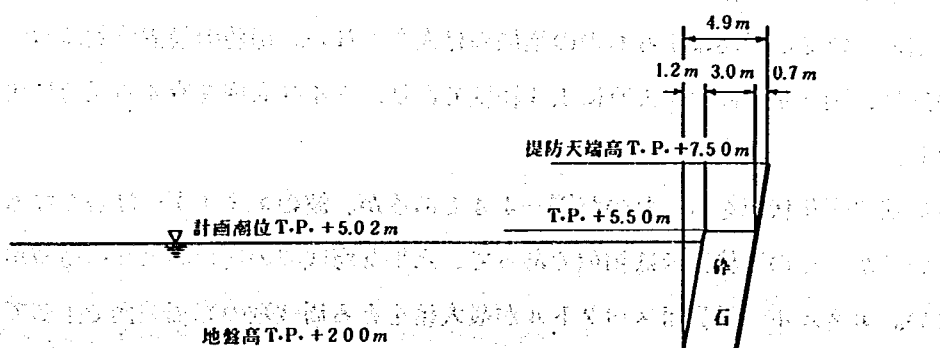
C-5



C-6



C-7



C-8

図-38 構造物等の形状 (不規則波)

4.4 実験結果

4.4.1 浅海における波の変形

不規則な波が浅海に入射すると波高が大きい波は碎波を生じ、全体として波のエネルギーが低下し、また波高分布もせまくなる可能性を有している。堤防前面の海底を水平にした場合には、計画波高である 2.5 m を発生することができなかったために、海底に緩い勾配をつけた場合についても検討した。

海底形状としては図—33に示したように水平部を設けた場合 (Type 1) と約 1/100 の勾配を有する場合 (Type 2) の2種類について検討した。まず水平部を設けた Type 1 における有義波高と周期の変化を図—39に示す。これは波高および周期が造波板から離れるにしたがって、どのように変化するかを示したものである。波高は距離とともに減衰しているが、水平部を接続している傾斜部で増加し、再び水平部では減少する。また周期については、浅くなる位置から増加し始め、周期 1.4 sec (模型値) の波が 1.7 sec に変化している。最大波高 H_{max} と有義波高 $H_{1/3}$ の比 $H_{max}/H_{1/3}$ の変化を示したのが図—40であるが、水深が $h = 105.1$ m の水平部でこの比は減少し、二つの水平部を接続している傾斜部で再び増加するが、さらに進むにしたがって減少している。深海波では、この比は波数によって異なり 1.6 ~ 1.8 程度であるが、この実験では堤防の設けられる位置では $H_{max}/H_{1/3} = 1.3$ 程度となっている。すなわち、波高分布の幅がかなりせまくなっていることを示していよう。一方、波のスペクトル形状の変化を示したのが図—41である。造波板から 15 m 離れた測点 No 1 では一つのピークを有するスペクトル形状となっており、また水平部と傾斜部の境界点の測点 No 2 では、全体としてエネルギーが減衰している。さらに水平部に移行すると測点 No 4 では、周波数の大きな成分波が少し増加している。水平部の測点 No 5 および No 6 ではスペクトルが二つの極値を持っており、また低周波側のエネルギーが増加している。全体としては、エネルギーは減衰しており、これは波高の低下と結びついている。また周期の増加は、低周波域のエネルギーの増加と対応している。これは斜面が存在するために生じた波の非線形な変形が原因と考えられるが、その詳細は明確でない。これらの実験の結果によれば、入射波高を増加させても堤防を設置する位置での波高を増加させることができないために、海底に緩い勾配をつけた場合について検討した。

海底形状を図—33に示すように約 1/100 の勾配で変化させた場合の有義波高および周期の変化を図—42に示す。波高は徐々に低下しているが、水平部がある場合に比較すると波高の低下は少ない。また周期については増加はするものの増加率は大きくない。堤防の設置位置における最大波高と有義波高の比は、図—43に示すように 1.4 程度であり、水平な海底を有する場合に比較すると大きくなっている。

スペクトル形状の変化状況を示したのが図—44であるが、波のエネルギーは浅くなるにしたがって減少はしているが、その形状はほぼ相似であって、水平な海底部の場合のように極値が二つあるということはない。エネルギー減衰はスペクトルが最大値をとる周波数の高周波側で生じており、低周波側ではエネルギーレベルはあまり変化していない。緩い勾配を持った斜面を有する場合には、堤防前面の波高をほぼ計画波高近くまですることができるとともに、水平な海底を持った場合と合せて実験

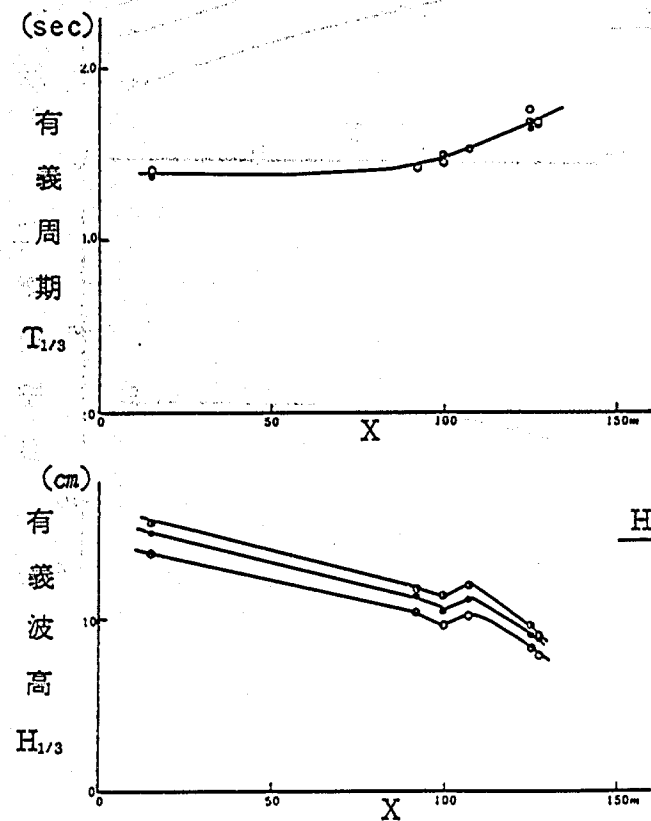


図-39 有義波高と周期の変化

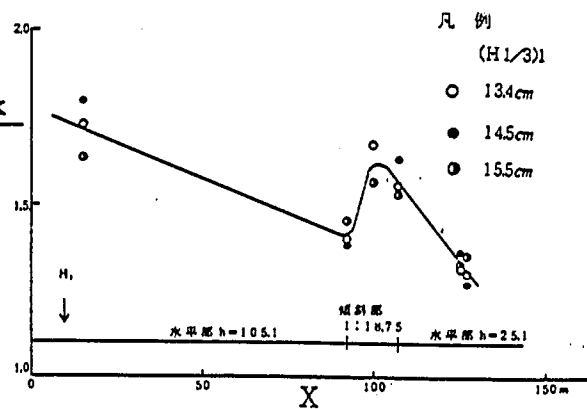


図-40 $H_{max}/H_{1/3}$ の変化

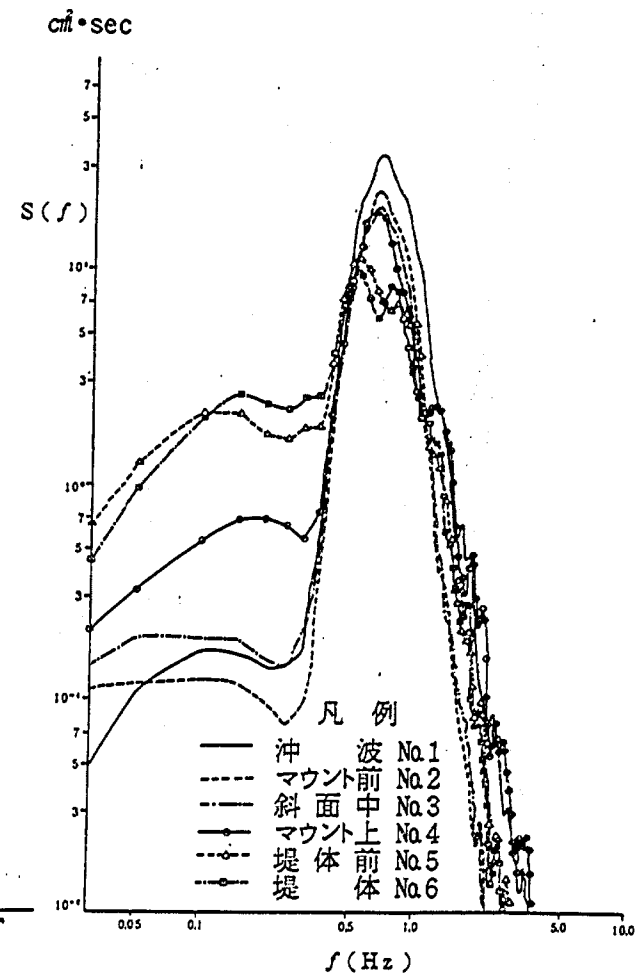


図-41 波スペクトルの変化

を行うこととした。

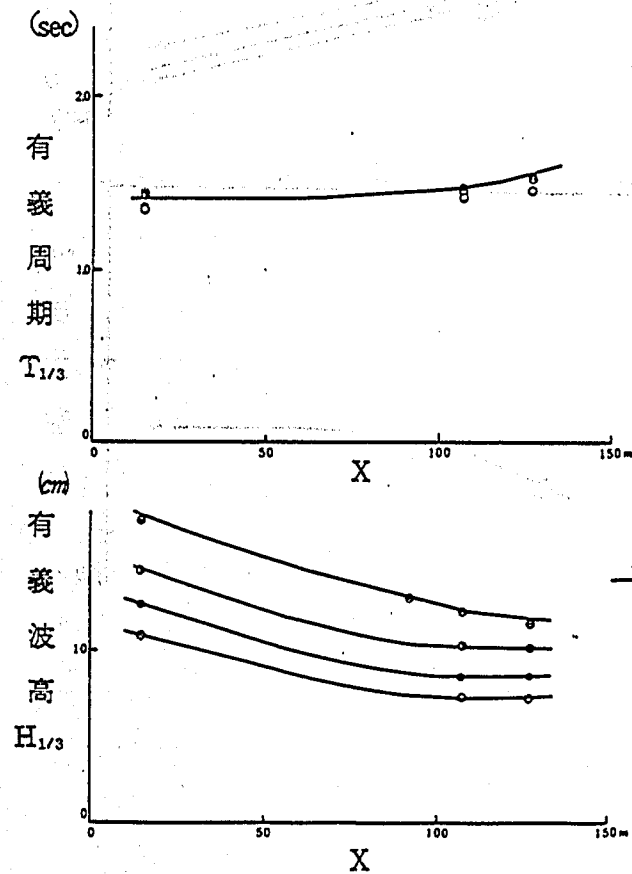


図-42 有義波高と周期の変化

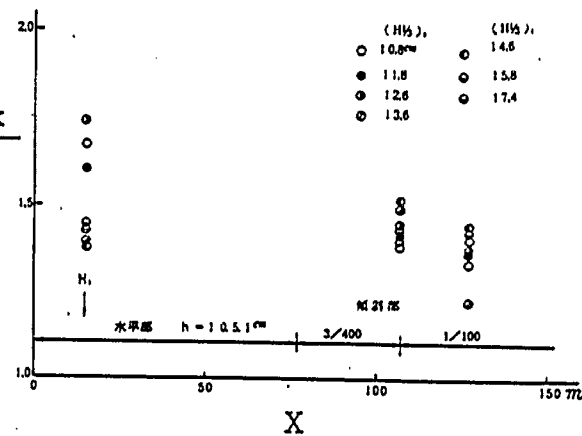


図-43 $H_{max}/H_{1/3}$ の変化

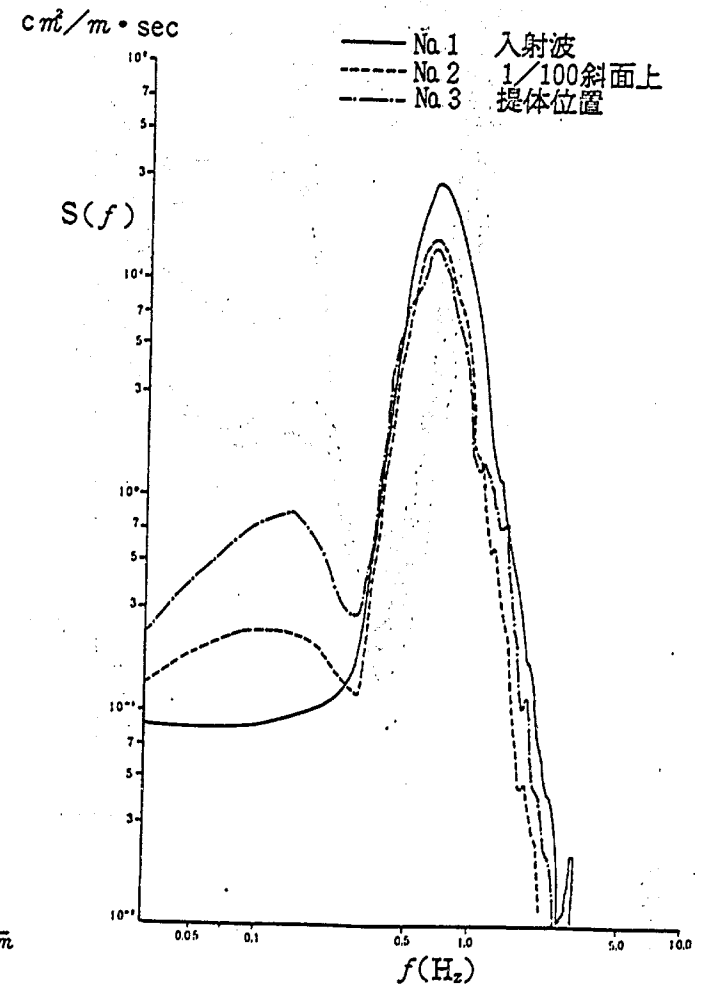


図-44 波スペクトルの変化

4.4.2 うちあげ高と越波量

不規則波についての実験の結果は付表にまとめて示してあるが、まずうちあげ高について堤防設置位置における波高との関係を示したのが図-45である。堤防設置位置における波高としては、堤防を設置しないで波高の測定を行い、それを微小振幅波理論によって深海波に換算してある。図-45で明らかなように入射波高が増加すると、うちあげ高も増加しているがその程度はケースC-3、C-4とケースC-5、C-6で異なっている。ケースC-3、C-4は堤防前面の地盤高がT. P. + 0.0 mであり、ケースC-5、C-6は地盤高がT. P. + 2.0 mとなっている。

この結果によれば堤防前面の水深が浅いほど波のうちあげ高は高くなっている。これは規則波の場合と同じであり、堤防形状の同じA-3とC-3、C-4の比較を行ったのが図-46があるが、この両者はほとんど一致している。また図-47はA-5とC-5、C-6を比較したものであるが、同様の結果が得られている。これらの結果によれば、入射波の波高とうちあげ高の関係については規則波、不規則波ともに同じ関係にあるといえよう。

越波量に関しては堤防高も変数として入ってくるために、波高と越波量との関係を一般的に求めるためにはかなり多数の実験を行わなければならない。ここでは堤防高が同じであるケースC-1、C-2、C-5、C-6について入射波高と越波量との関係を求めたのが図-48である。入射波高の増加に伴って越波量は急激に増加している。うちあげ高についてはC-1、C-2とC-5、C-6は大きく異なったが越波量についてはこの両者の差は小さい。また規則波の場合と比較すると対応するのが図-13に示したA-2の結果であるが、越波量としては約1/5になっている。またこの図では有義波高と越波量との関係を示してあるが、不規則波を代表する波高として平均波高を用いると図-49に示すようにほぼ規則波の結果と一致する。

不規則な波はある波高分布を持っており、有義波高より大きい波は約13%にすぎない。したがって、規則波について得られた入射波高と越波量との関係に関して、波高として有義波高を用いれば当然越波量としては過大なものになる。

波およびうちあげ波形のスペクトルを調べると変形特性が明らかになると考えられるので、代表的な例について検討した。図-50～図-52は前面の海底が水平な場合の波のスペクトル形状を示したもので、図-50は前面の水深の深いT. P. ± 0mのC-1およびC-3に対応し、図-51はそれに離岸堤が設けられたC-2およびC-4の場合、また図-52は前面水深が浅いT. P. + 2.0 mのC-5の結果を示す。また図-53から図-55はそれぞれに対応するうちあげのスペクトルを示したものである。なお、周波数およびエネルギー密度は模型値で示しており、実物では周波数については0.224倍、エネルギー密度については 1.79×10^3 倍しなければならない。

入射波高および水平な海底上での波のスペクトルは単一のピークを持ち、前面水深の深い図-50および図-51では相似な形状を有している。しかし、堤体前面では変形を生じケースC-1では二つの極値を有している。これは堤防が設けられていない場合と比較すると、変動が大きくなっている。堤防によって波が反射し重複波が形成される場合には重複波の節の位置では波高は小さく、腹の位置

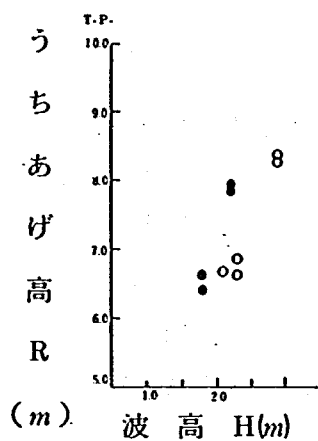


図-45 入射波高とうちあげ高の関係
(C-1, C-3 ~ C-6)

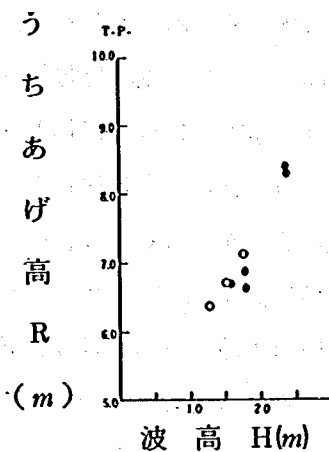


図-46 うちあげ高の規則波と不規則波の比較
(A-3, C-1, C-5, C-6)

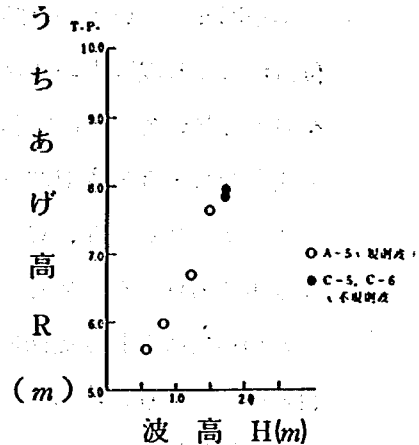


図-47 うちあげ高の規則波と不規則波の比較
(A-5, C-5, C-6)

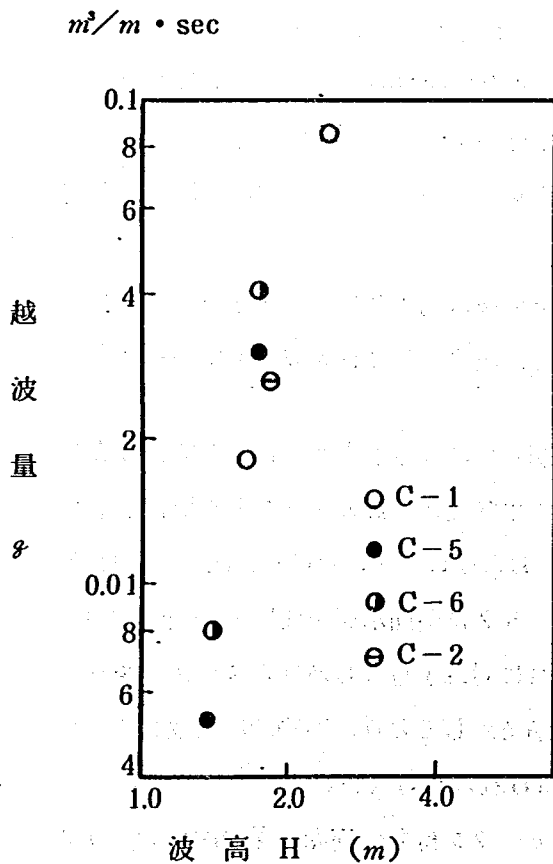


図-48 入射波高と越波量の関係
(C-1, C-2, C-5, C-6)

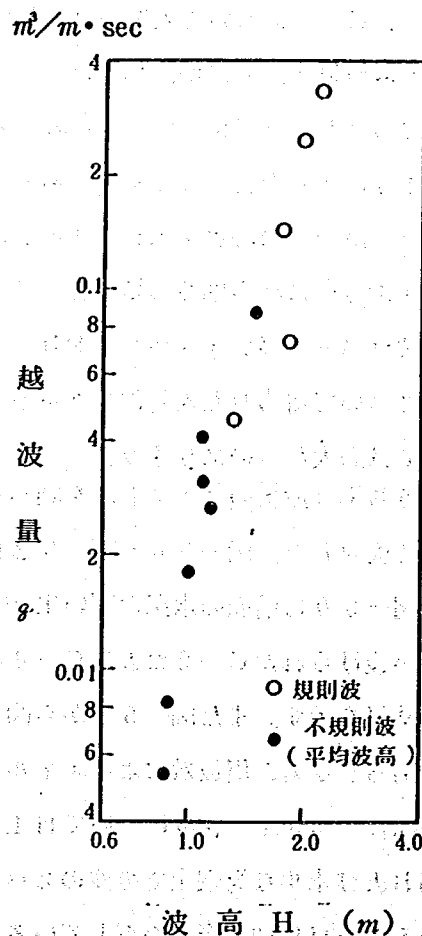


図-49 規則波と不規則波による越波量の比較

では大きくなる。不規則な波は種々の周波数、すなわち波長の波を含んでいるために、堤防前面のある位置で波形の測定を行うと周波数の変化に対応して、節になる場合と腹になる場合が交互に生じ、スペクトル形状は極値を有するものとなる。堤防前面でのスペクトルにはこのような状況が表われている。またこの他に浅くなったために変形による影響も含まれている。

離岸堤を設置した図-51のケースC-2の結果では堤防前面のスペクトルは変動を生じているが、図-50のケースC-1と比較すると高周波数側でエネルギーが小さくなっている。これは離岸堤による効果が少し表われているものと考えられる。前面水深の浅いケースC-5の場合には図-52に示すように全体としてエネルギーが減少するとともに、低周波側にエネルギーが移行している。

波のうちあげのスペクトルについては、堤防のり面上で測定を行っているために、単一のピークを有しているが波のスペクトルと比較すると低周波側のエネルギーが大きくなっている。これは周期の長い波ほど R/H が大きいことに対応している。離岸堤のある場合を前面水深が浅い場合のうちあげのスペクトルはほぼ同じ形状となっており、前面水深の深い場合に比較するとスペクトルのピークは減少している。

堤防前面の海底勾配を約 $1/100$ とした場合について波のスペクトルとうちあげのスペクトルを示したのが図-56から図-58である。図-56は堤防前面水深がT. P. +0.0mのケースC-1、C-3の結果を、図-57はそれに離岸堤が設けられたC-2、C-4の結果を、また図-58は前面水深がT. P. +2.0mと浅くなっているC-5の結果をそれぞれ示す。またうちあげのスペクトルについても図-59から図-61にそれぞれの結果を示す。なお、これらの図も模型値で示してある。

堤防前面の水深が深いケースC-1、C-3の結果は、堤防前面での結果を除いては単一のピークを持つスペクトルとなっており、堤防前面のスペクトルは反射波のために数個所で極値を生じている。離岸堤を設置した場合には変動はあまり大きくないが、これは測定が堤防からどの程度離れているかについても関係している。前面水深の浅い場合については、図-58に示すようにエネルギーが高周波側および低周波側へ移行している。この理由は明確でない。

波のうちあげスペクトルについても図-61に示すように高周波側のエネルギー密度が大きくなっており、これは堤防前面の波形スペクトルと対応している。

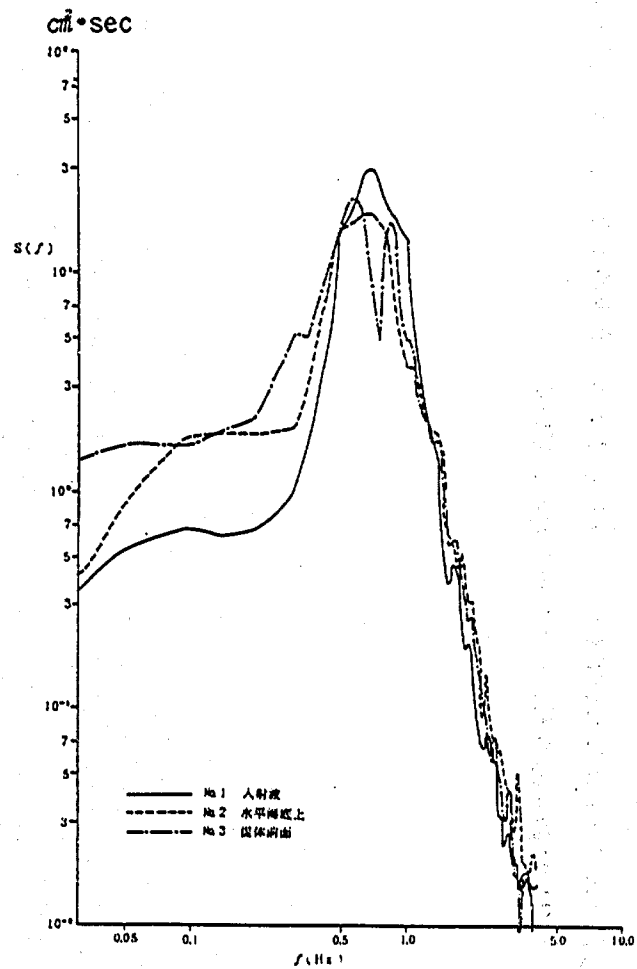


図-50 波スペクトル (C-1, C-3)

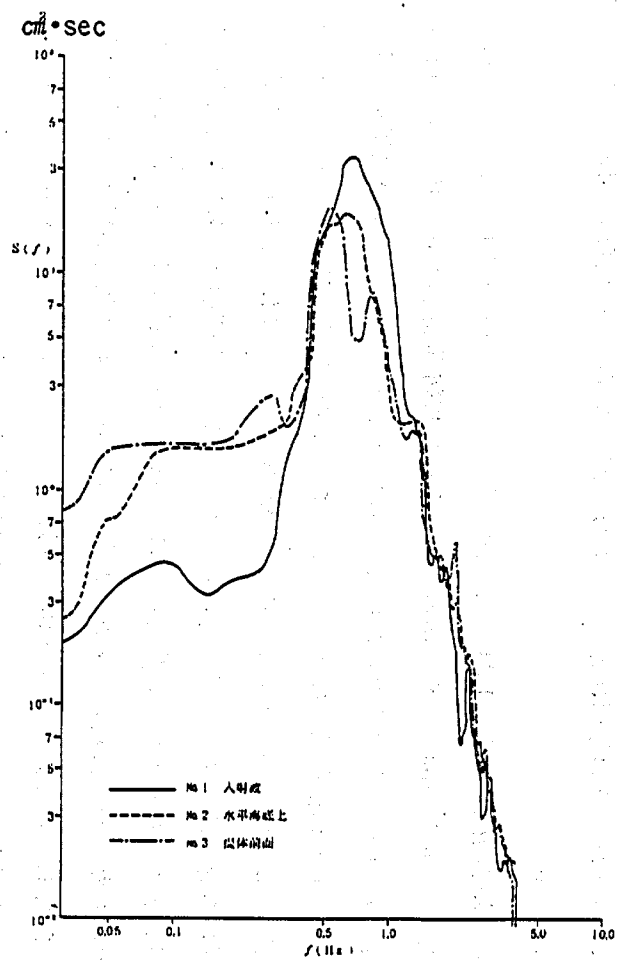


図-51 波スペクトル (C-2, C-4)

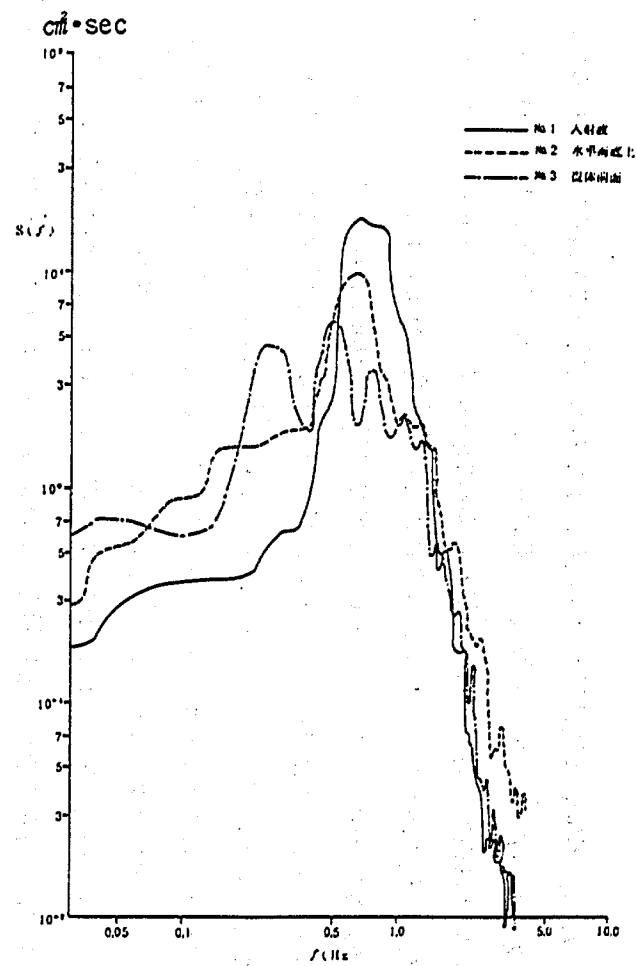


図-52 波スペクトル (C-5)

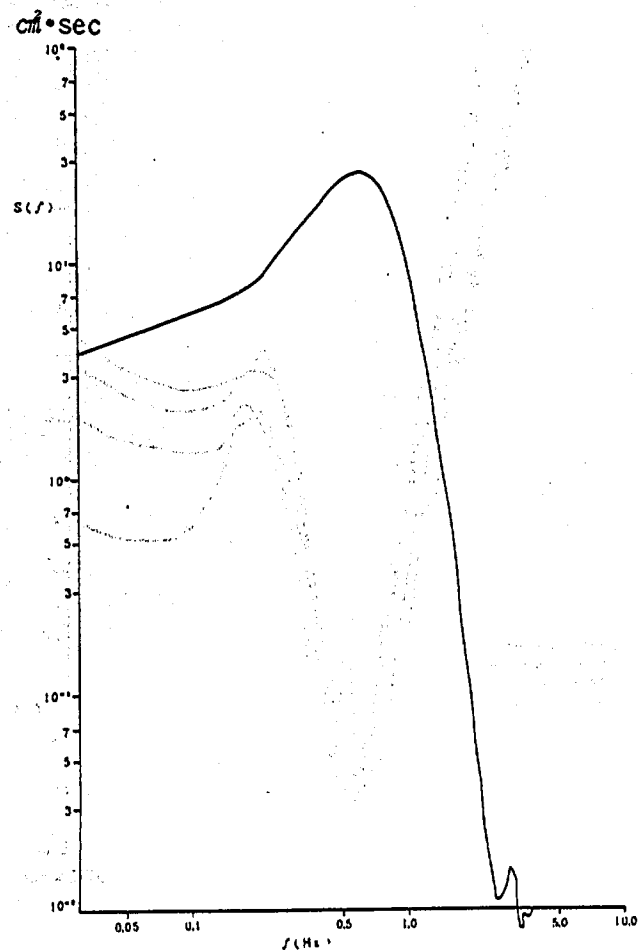


図-53 うちあげのスペクトル
(C-1, C-3)

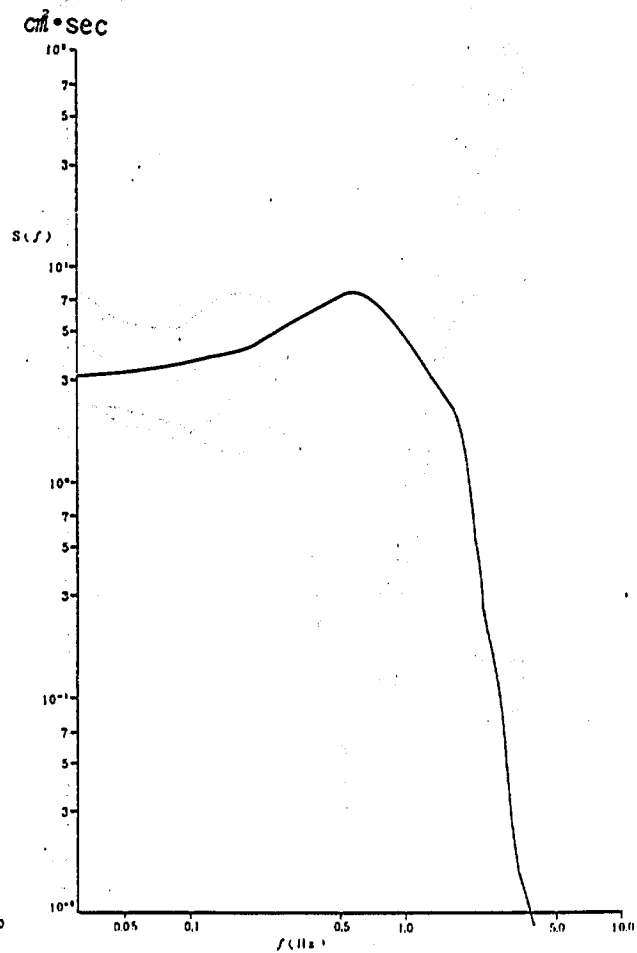


図-54 うちあげのスペクトル
(C-2, C-4)

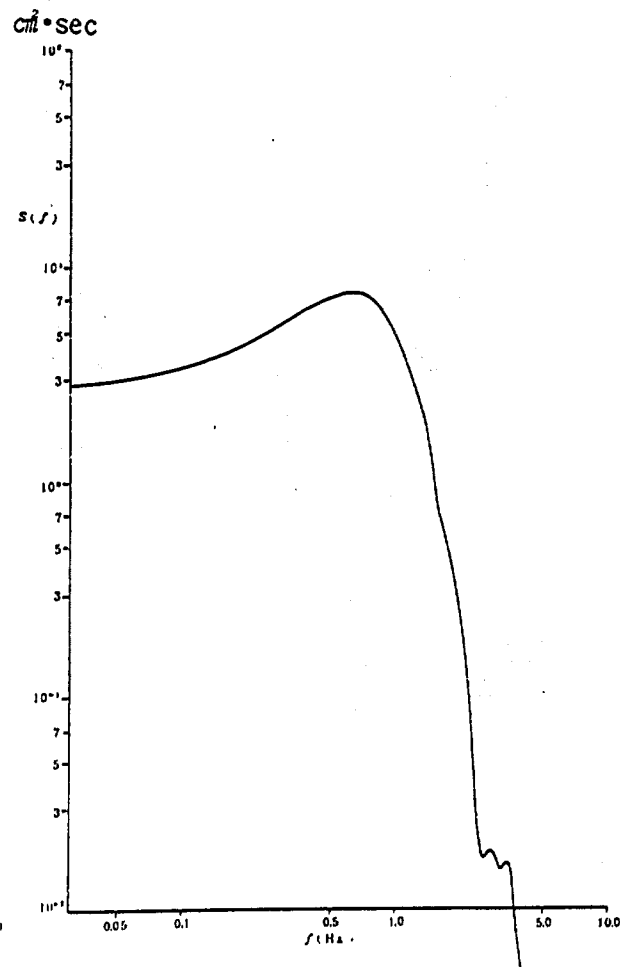


図-55 うちあげのスペクトル (C-5)

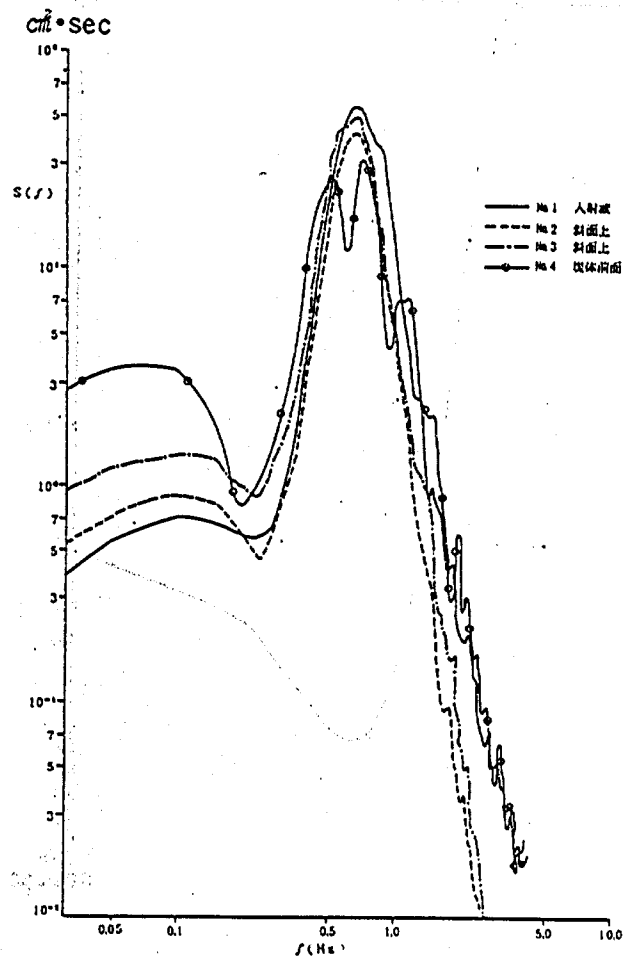


図-56 波スペクトル (C-1, C-3)

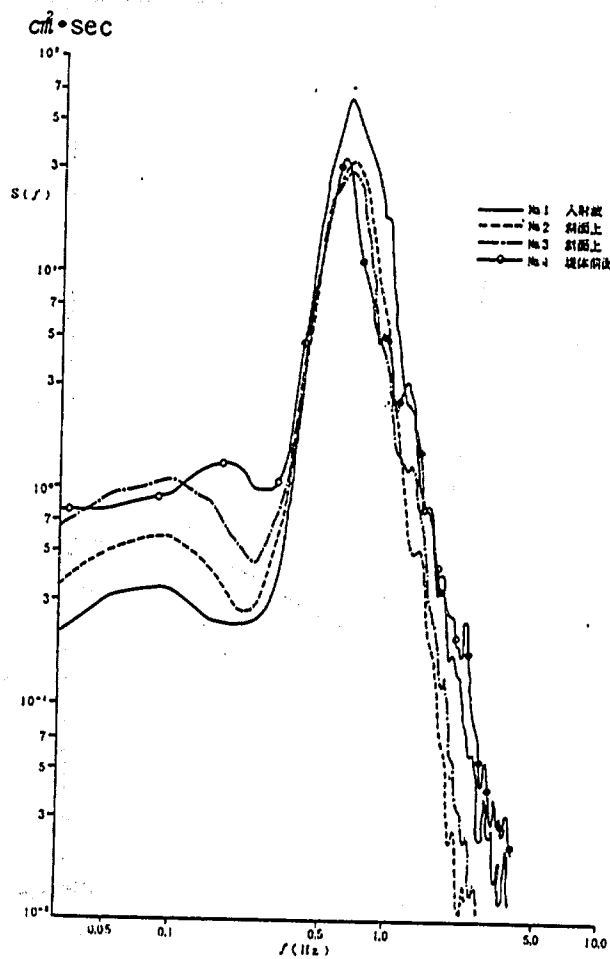


図-57 波スペクトル (C-2, C-4)

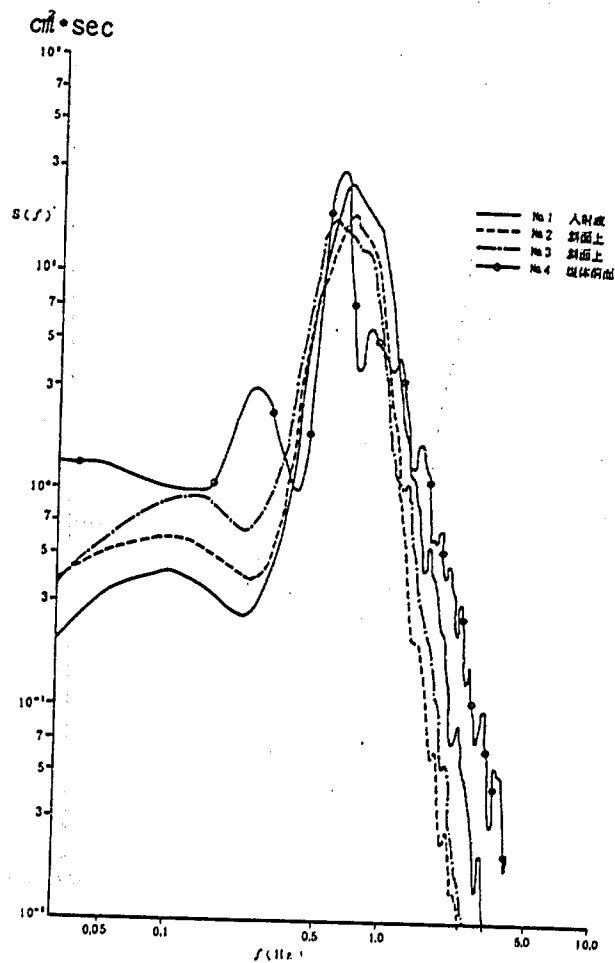


図-58 波スペクトル (C-5)

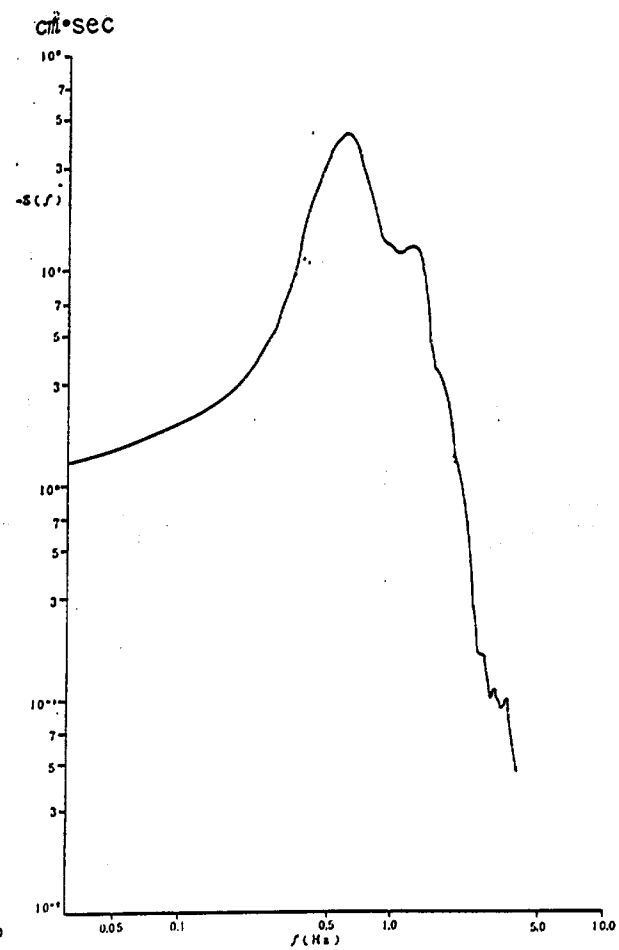
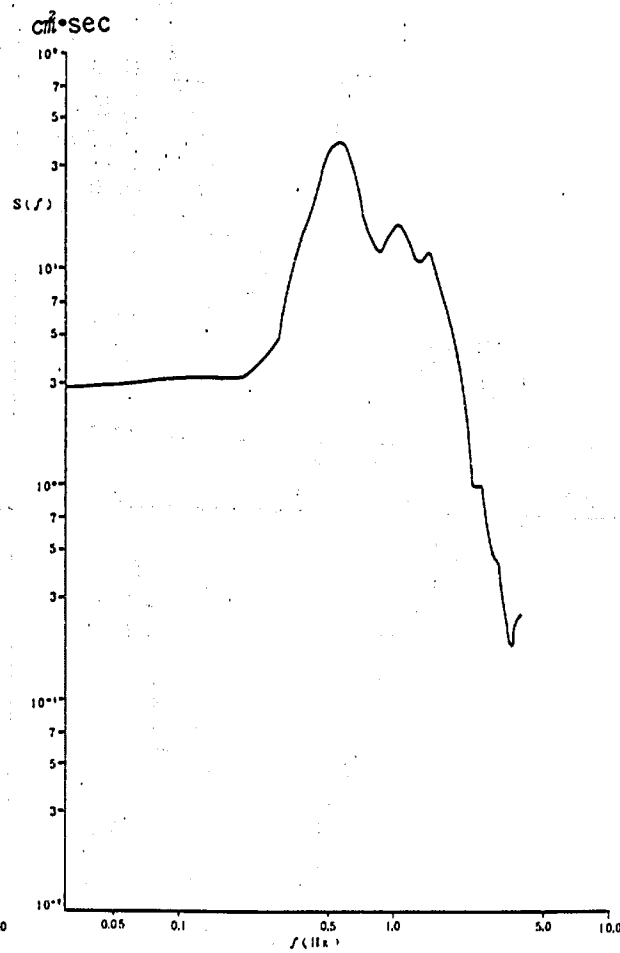
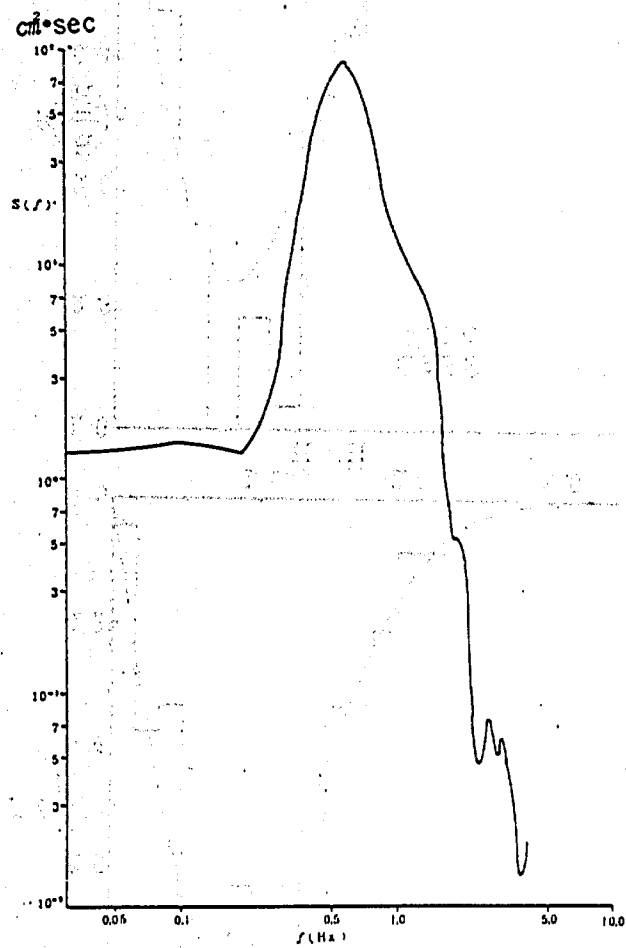


図-59 うちあげのスペクトル (C-1)

図-60 うちあげのスペクトル (C-2, C-4)

図-61 うちあげのスペクトル (C-5)

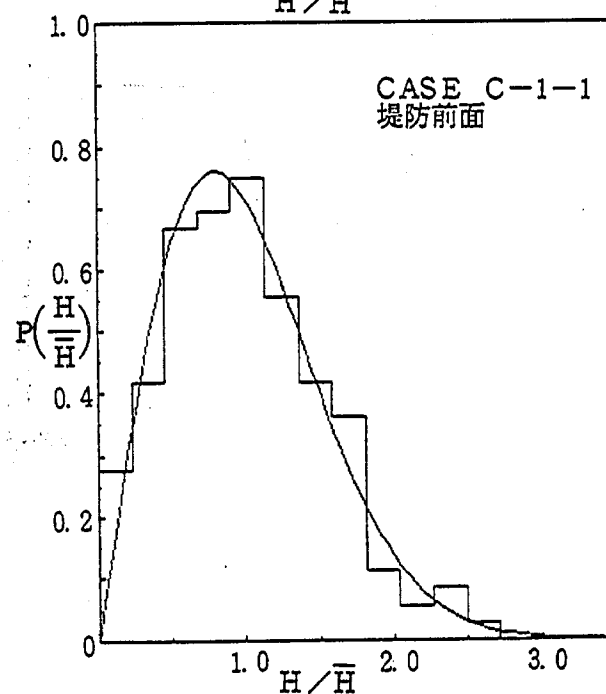
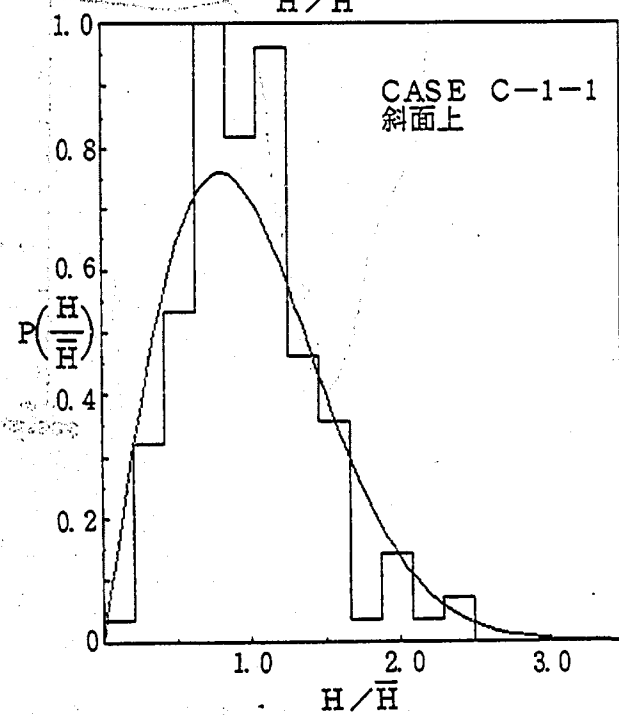
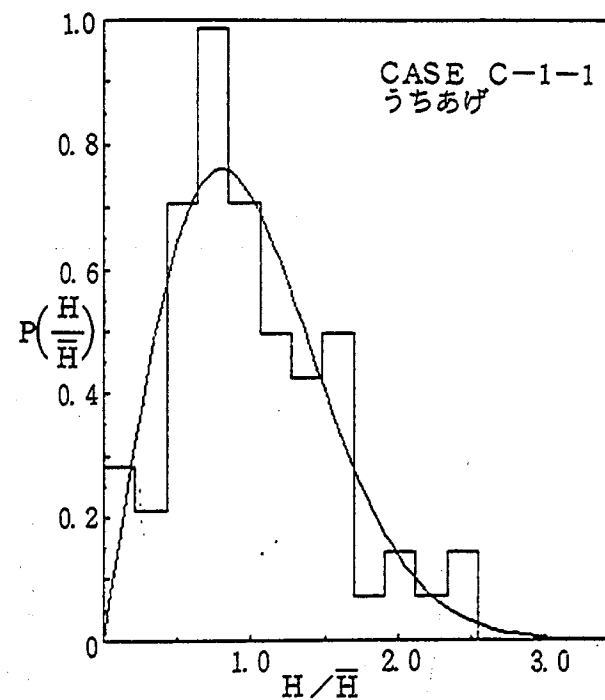
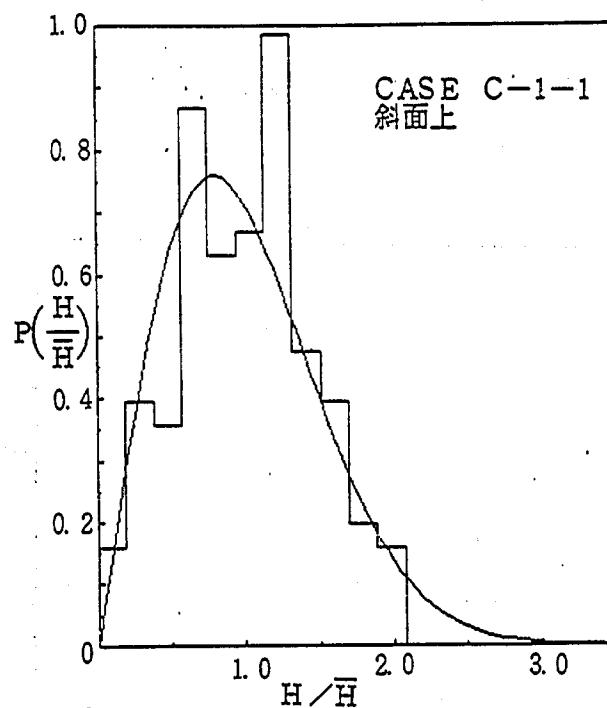
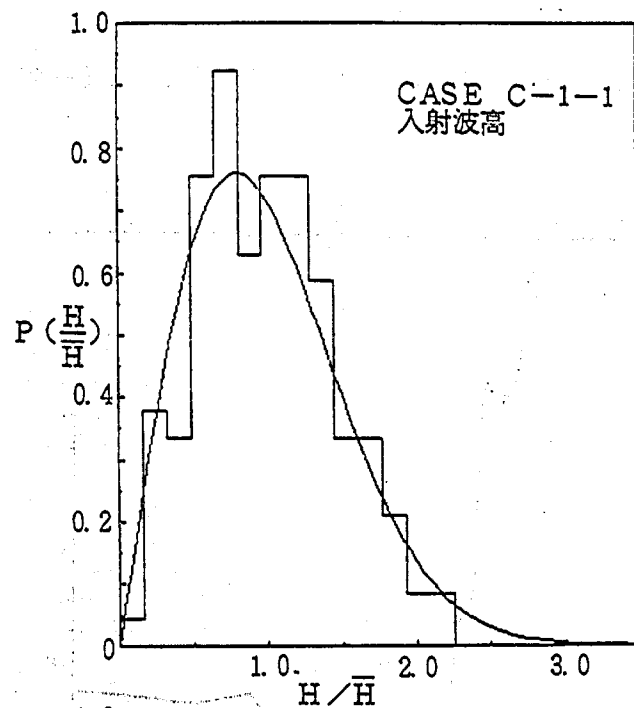


図-62 不規則波の波高分布

5. 現地への適用

5.1 波浪の変形

実験の結果を現地へ適用するに際しては実験の相似性や波の不規則性について考慮しなければならない。

まず、浅海における波の変形について海底の摩擦や碎波によるエネルギー損失とそれに伴う不規則波の波高分布の変化が問題となる。

規則波に関する実験では堤防への入射波とうちあげ高や越波量との関係を求めるに際しては、あらかじめ堤防の位置での波高を堤防のない条件で測定しており、これらの関係は一般的に適用できるものと考えられる。ただ水平な海底の場合に、発生することの可能な波高は水深の約 $\frac{1}{2}$ であり、この限界波高については検討の余地があると考えられる。すなわち模型では海底に摩擦等による波高の減衰や、水平な海底に移行する部分で $\frac{1}{30}$ の勾配の斜面としているための影響などがあると考えられるが、風による波の発達もあり、波高は必ずしも減衰しない。したがって実際に適用する際にはこれらの点を考慮する必要がある。

海底での摩擦による波高の減衰の他に不規則な波の場合には水深が浅い場合に碎波するという可能性がある。有義波高と最大波高の比は一般には1.6程度であり、有義波高で碎波しなくても最大波高では碎波する場合がある。このために波高の分布幅がせまくなる。一般には波高はレーレ分布をしていると考えられるが碎波に伴って分布幅がせまくなりこの実数では $H_{\max}/H_{1/3}$ は1.3～1.4に低下した。これに対応してうちあげ高や越波量も変化する。

不規則波の浅海における変形については有義波高の変化について、碎波のエネルギー損失を考慮したモデルと碎波の生じる確率を考慮したモデルがあり、一応の予測は可能である。波高の分布についてはモデル的に波高変化を取扱い分布形を実験や観測値と一致するようにした合田の提案がある。しかし理論的に説明できるものはなく実験的な検討にとどまっている。これらのモデルによる値も実験値とほぼ同様の傾向を示している。

海底の摩擦や碎波による波高の減衰を考えると、海底勾配が非常に緩い場合には波高分布がせまくなり、図-63に示すように水深と波高の比によっても変化するが $H_{\max}/H_{1/3} = 1.3 \sim 1.4$ 程度になろう。したがってうちあげ高や越波量を考える場合にもこれらの分布との変化を考慮する必要がある。

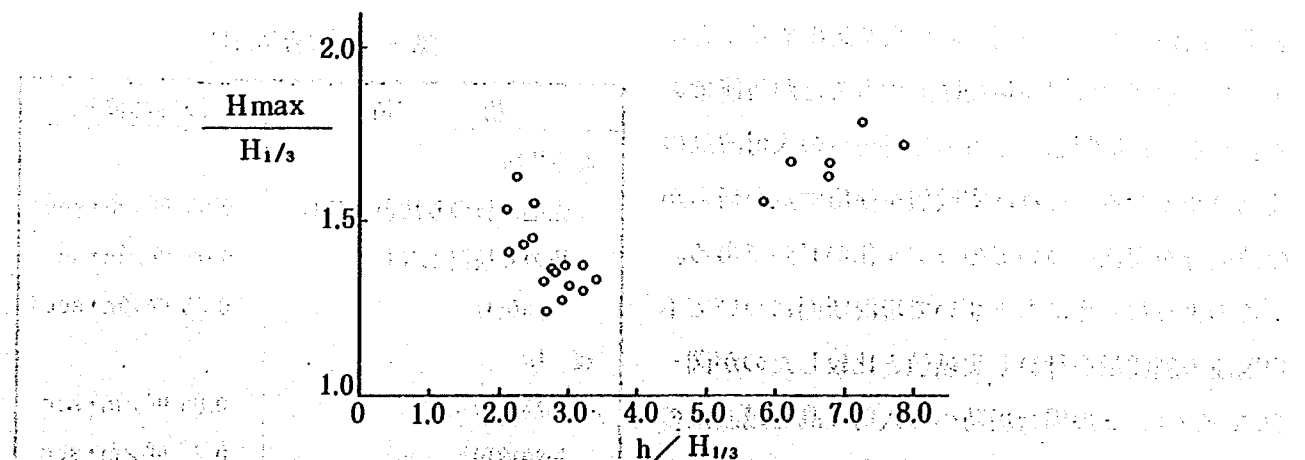


図-6-3 $H_{\max}/H_{1/3}$ と $h/H_{1/3}$ の関係

5.2 越 波 量

海岸保全施設の築造基準によれば堤防の高さは計画潮位に越波を防止するのに必要な高さとするように定められている。また越波を完全に防止することは困難であるために、ある程度の越波は許容する代りに堤防の表のり、天端、裏のりをコンクリートやアスファルトで被覆することとしている。

堤防の高さはしたがって波のうちあげ高や許容できる越波量によって決められるが最近では越波量による方式が一般的である。その際の許容越波量としては堤防の構造から決まる値と、堤防が越波を防ぐという機能上から決まる値がある。構造上から決まる値としては堤防が越波によって破壊しないための基準が考えられる。堤防がコンクリート等で完全に被覆されておれば越波が多くても問題とならないが盛土や張芝の場合には越波量を少なくしなければならない。過去の護岸や堤防の破壊事例にもとづいて構造上の許容越波量を提案した⁴⁾例を表-9に示す。ここでは堤防と護岸が区別されており、護岸の場合には背後の地盤高が高いために許容量は多くなっている。

機能上から決まる越波量としては堤防や護岸の背後を道路として利用する場合などがあげられる。越波を生じて交通が可能な場合の越波量は、堤防先端をコンクリートで被覆した場合の構造上の許容量に比較すると当然少なくなり、 $10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 程度の値となる。有明海岸の場合には堤防の背後が道路等に利用されている場所が少ないために、許容量としては構造上の安全性から決まる $q = 0.05 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ にするのがよいと考えられる。

各種計画案についての越波量は、不規則波を与えた場合の実験をすべての場合について行っていないために何らかの方法で推定する必要がある。規則波および不規則波の両者について実験を行ったのは現況の断面である。さきの図-13と図-48に示されたように規則波に比較して不規則波の越波量は約1/3になっている。規則波については同じ波高の波が連続的に来襲した場合の越波量であるが、不規則波については有義波高より大きな波高は約13%程度しかないために当然越波量は減少する。またこの結果によれば許容越波量として $q_c = 0.05 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ を採用すると堤防高としては計画波高 2.5 m に対して T. P. + 7.5 m は必要であると考えられる。

規則波の実験結果をもとに不規則波による越波量を推定する方法としては次のようなものが考えられる。

まず堤防前面での有義波高およびその波高分布を図-64に示す実験値を用い、堤防への入射波高と越波量の関係について規則波の結果を適用することによって不規則波の越波量を推定することが可能である。ここで特に問題となるのは堤防への入射波高の波高分布である。これは実験値を使用するか何らかの波高分布変化についてのモデル化が必要である。

このような考えにもとづいて現況断面について不規則波の越波量を計算し実験値と比較したのが図-65である。この場合堤防への入射波高と越波量の関係についても実験値を使用するとともに波高の大

表-9 許容越波量

構 造	許容越波量
海岸堤防	
先端、裏のり被覆工なし	$0.05 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$
裏のり被覆工なし	$0.02 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$
三面張り	$0.05 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$
護 岸	
先端被覆工なし	$0.05 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$
先端被覆	$0.2 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$

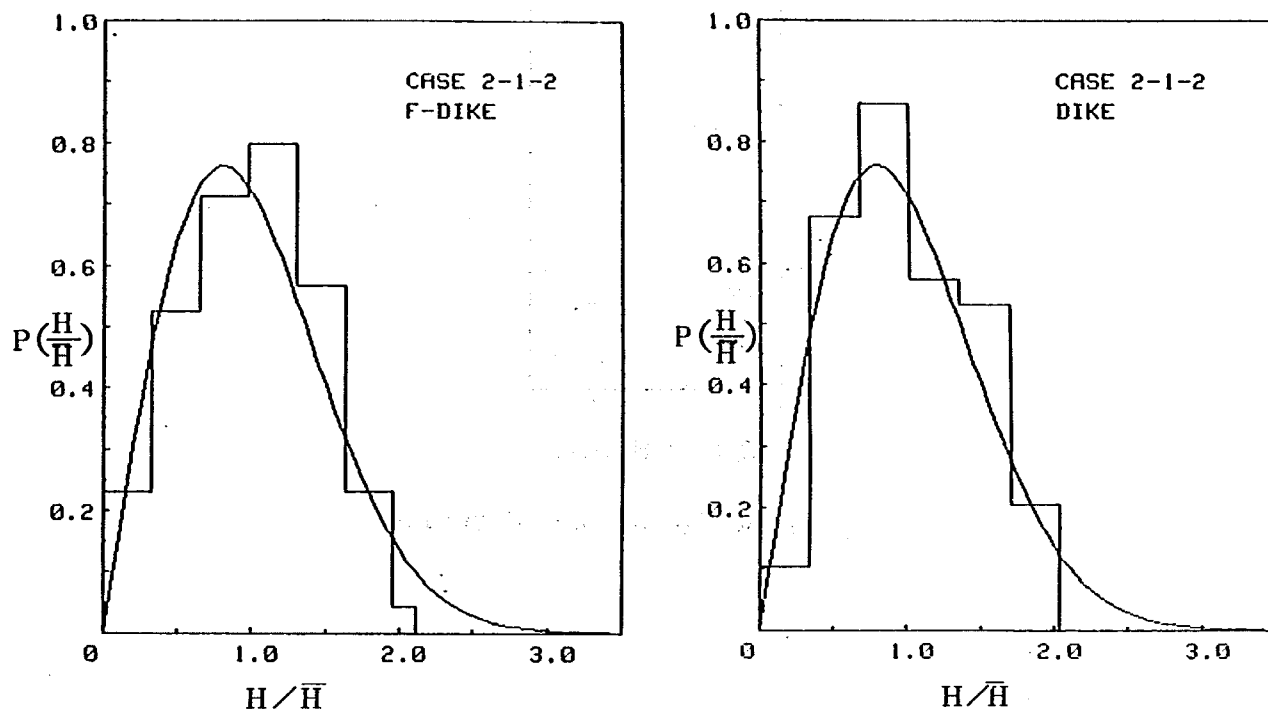


図-64 計算に用いた波高分布

きい場合には越波量の実験値が少ないが水深の2倍以上の波高については越波量に変化しないものと考えた。計算値は実験値とはほぼ一致しており、ここで述べた方法によって不規則波による越波量の推定が可能である。

現況断面、計画断面、緩傾斜堤の場合について不規則波による越波量を上記の方法によって推定してみると表-10 および図-65 のようになる。現況断面では許容越波量が $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ であるために堤防高 6.1 m では不十分であり、堤防高としては T. P. + 7.5 m 程度は必要である。

計画断面については波高の大きい場合の推定は行っていないが、計算結果を外挿すると堤防高 T. P. + 7.5 m ではほぼ許容越波量程度となる。したがって現在の計画波および潮位の条件では計画堤防高は T. P. 7.5 m とする必要がある。

緩傾斜堤の場合には越波量およびうちあげ高でも明らかであるが、他の断面に比較して有利な点はなく当然越波量も多くなる。図に示すように堤防高 T. P. + 6.1 m では許容越波量以上となっている。堤防高を T. P. + 7.5 m とした場合の実験は行っていないが他の結果と比較するとこの場合でも越波量は許容量以上となろう。

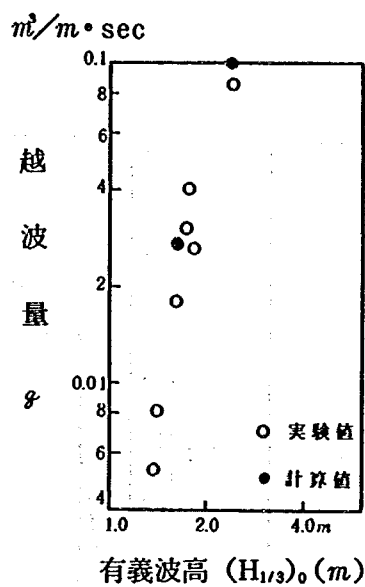


図-65 越波量の計算値と実験値の比較

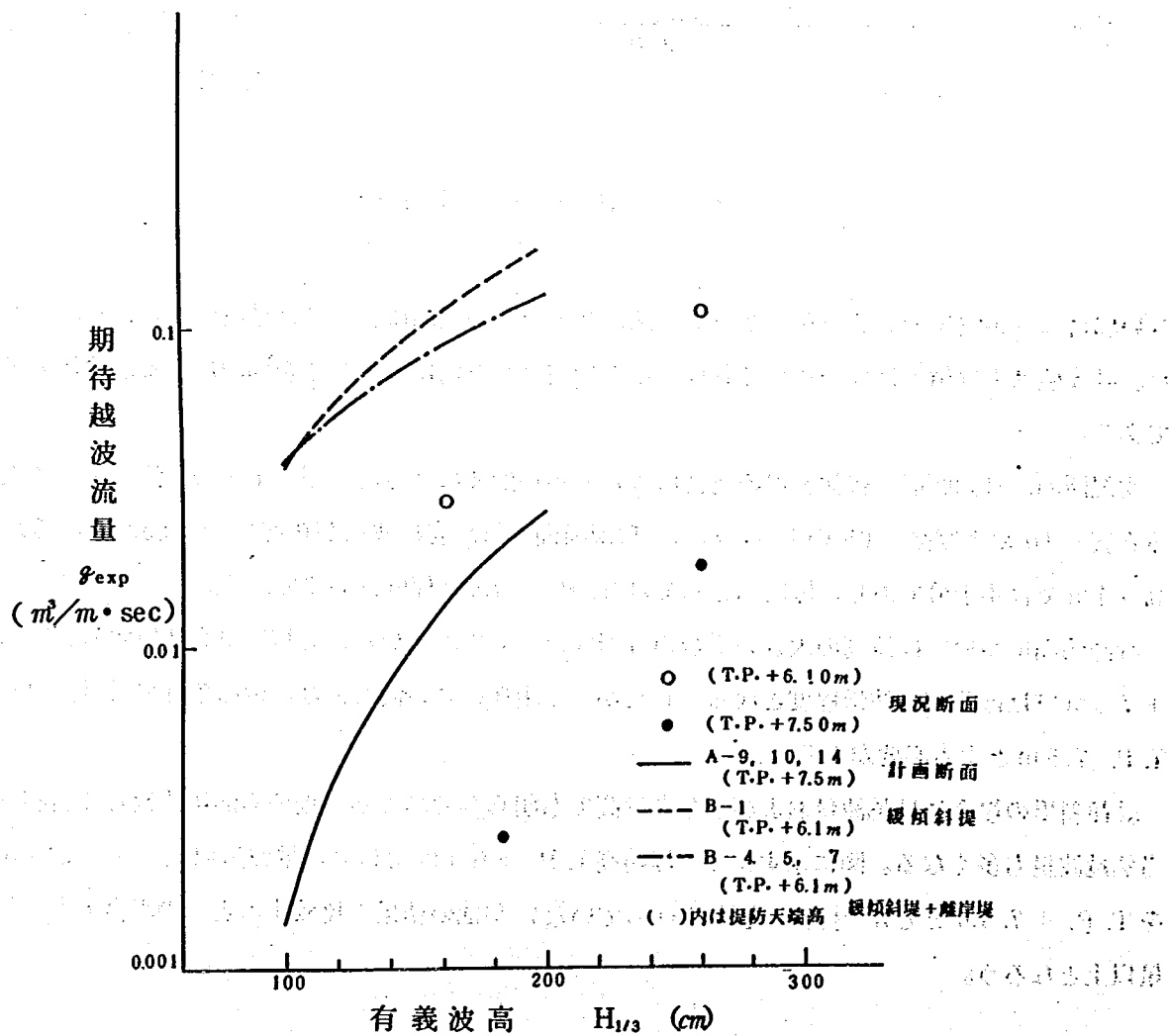


図-66 不規則波による越波量の推定値

6. 結 語

有明海岸の高潮対策の検討資料とするために縮尺 1/15 および 1/20 による造波水路を使用した水理模型実験を行い、現況堤防および計画堤防の越波防止効果、離岸堤や捨石マウンドの消波効果、緩傾斜堤の越波防止効果等を調べた。

規則波による実験で現況断面、計画断面、緩傾斜堤等の入射波に対する堤防のうちあげ高や越波量を調べた結果によると、水平な海底に3分から5分の表のり勾配をもつ現況断面の堤防が設けられている場合には堤防断面には重複波が形成され、うちあげ高 R と入射波高 H_0 の比は $R/H_0 = 1.0 \sim 1.5$ であり、また反射率は50～70%となった。越波量については波高の増加によって急激にその量が増加する。また離岸堤によるうちあげ高の低減をはかる場合にはその先端高を計画潮位程度まで高くしなければ効果のないことが明らかになった。水平な海底が長く続いている場合には入射波高に限界があり水深の1/2の波高を有する波までしか入射しない。

計画堤防の断面は堤防のり勾配が5分で小段および捨石マウンドを有するが、このマウンドによって碎波が生じ、うちあげ高は $R/H_0 = 3 \sim 4$ とかなり高く、一方反射率は30～50%と低い。越波量はうちあげ高ほど多くなり現況断面より少し多い程度であり、捨石マウンドの先端を高くしたり小段を設けるとうちあげ高、越波量ともに減少する。

緩傾斜堤は3割の表のり勾配を有しているが、波高の小さい場合のうちあげ高は高く、計画断面と同程度であるが、波高が大きくなると碎波を生じるようになりうちあげ高は低くなり、また反射率も約20%と低下する。越波量については斜面に沿って波がはい上がるために多くなる。離岸堤を設けた場合についても検討を行ったが、その天端高が T. P. + 3.5 m の場合には波高の減衰はあるものの離岸堤の岸側の水位上昇等によりあまり効果はなかった。むしろ堤防前面に緩い傾斜の海底が存在するとうちあげ高や越波量は減少する。

不規則波による実験で実際の海の波の不規則性の影響を調べた。海底が水平な場合および 1/100 の緩い勾配を持つ場合について浅海での波高やスペクトルの変化を調べた結果によると最大波高 H_{max} と有義波高 $H_{1/3}$ の比は深海での 1.6～1.8 から 1.3～1.4 に低下している。入射波高とうちあげ高の関係については規則波の場合とはほぼ同じ関係にあるが、越波量については有義波高を規則波の波高と対応させると 1/5 になっている。これは有義波高より大きい波の頻度は 10% 程度であり、むしろ平均波高が規則波の波高と対応していよう。

堤防高はうちあげ高や許容越波量によって決められるが、波の不規則性を考慮して越波量の推定を行ってみた。現況の堤防断面の場合には堤防天端高 T. P. + 6.1 m では計画波高 2.5 m、周期 6.6 m、潮位 5.02 m の条件のもとで三面張りの場合の許容越波量 $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ を越え、堤防天端高 T. P. + 7.5 m では許容量以下となる。計画堤防断面については堤防天端高 T. P. + 7.5 m で越波量はほぼ許容量程度となり、緩傾斜堤防では天端高 T. P. + 7.5 m でも許容量以上になると推定された。

終りに本模型実験を行うに際して協力いただいた九州地方建設局河川計画課、筑後川工事事務所、武雄工事事務所の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 有明海岸：建設省九州地方建設局武雄工事々務所，昭和53年8月
- 2) 有明海岸堤防計画資料：九州地方建設局河川部，昭和37年3月
- 3) 田中則男：天端幅の広い潜堤の波浪減衰および砂浜安定効果について，第23回海岸工学講演会論文集，1976, P. 152~157
- 4) 合田良実：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会

付表 実験結果一覧表

Case -	堤防高	潮位	水深	周期	波高		波形勾配	う ち あ げ 高				波高			反射率	越波量
	Hc (m)	η (m)	h (m)	T (sec)	H (m)	Ho (m)	Ho/Lo	Rm (m)	Rm+ η (m)	Rm/Ho	Rm-Hc	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	Kr	q (m ³ /m.sec)
A-1 1	5.77	5.02	2.46	6.6	0.44	0.40	0.0059	0.56	5.58	1.40	-0.19	0.30	0.45	0.52	0.48	-
2					0.69	0.63	0.0093	0.97	6.00	1.54	0.23	0.51	0.66	0.96	0.54	-
3					1.20	1.10	0.0162	2.06	7.09	1.87	1.32	0.93	1.14	1.38	0.68	-
A-2 1	6.10	5.02	5.02	6.6	1.25	1.30	0.0191	-	-	-	-	-	1.31	1.16	0.74	0.045
2					1.47	1.82	0.0268	-	-	-	-	-	1.66	1.22	0.63	0.073
3					1.70	1.76	0.0259	-	-	-	-	-	1.82	1.46	0.68	0.145
4					1.93	2.00	0.0294	-	-	-	-	-	2.14	1.70	0.72	0.248
5					2.15	2.23	0.0328	-	-	-	-	-	2.19	2.18	0.75	0.333
A-3 1	7.50	5.02	5.02	6.6	1.25	1.30	0.0191	1.36	6.38	1.03	-1.12	-	1.40	1.00	0.61	0
2					1.47	1.82	0.0268	1.67	6.69	1.04	-0.81	-	1.56	1.39	0.75	0
3					1.70	1.76	0.0259	2.10	7.12	1.12	-0.38	-	1.82	1.40	0.74	0
4					1.93	2.00	0.0294	-	-	-	-	-	1.98	1.65	0.77	0.013
5					2.15	2.23	0.0328	-	-	-	-	-	2.19	2.12	0.73	0.122
A-4 1	5.55	5.02	4.62	6.6	0.57	0.58	0.0085	0.65	5.67	1.12	0.12	0.48	0.46	0.57	0.63	-
2					0.91	0.93	0.0137	1.32	6.34	1.42	0.79	0.76	0.82	0.99	0.68	-
3					1.08	1.11	0.0163	1.82	6.85	1.64	1.30	1.01	1.44	1.39	0.49	-
4					1.22	1.25	0.0184	2.25	7.28	1.80	1.73	1.17	1.77	1.98	0.53	-
5					1.43	1.47	0.0216	3.45	8.36	2.35	2.81	1.31	1.74	2.01	0.48	-
A-5 1	5.60	5.02	3.22	6.6	0.56	0.54	0.0079	0.57	5.60	1.05	0.00	0.41	0.89	0.61	0.54	-
2					0.83	0.80	0.0118	0.91	5.94	1.14	0.34	0.66	0.84	0.98	0.60	-
3					1.22	1.18	0.0174	1.63	6.67	1.38	1.07	1.04	1.35	1.37	0.75	-
4					1.52	1.47	0.0216	2.61	7.63	1.78	2.03	1.40	1.35	1.86	0.72	-
A-6 1	5.60	5.02	3.22	6.6	0.56	0.54	0.0079	0.46	5.48	0.85	-0.12	0.38	0.51	0.48	0.19	0
2					0.83	0.80	0.0118	1.02	6.04	1.28	0.44	0.80	0.92	0.84	0.07	0.004
3					1.22	1.18	0.0174	1.34	6.36	1.14	0.76	1.26	1.53	1.20	0.21	0.089
4					1.52	1.47	0.0216	1.49	6.52	1.01	0.92	1.42	1.48	1.41	0.22	0.111

Case	堤防高	潮位	水深	周期	波高		波形勾配	うちあげ高				波高			反射率	越波量
	Hc (m)	η (m)	h (m)	T (sec)	H (m)	Ho (m)	Ho/Lo	Rm (m)	Rm+ η (m)	Rm/Ho	Rm-Hc	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	Kr	q (m ³ /msec)
A-7 1	5.60	5.02	3.22	6.6	0.56	0.54	0.0079	0.11	5.13	0.20	-0.47	0.40	0.38	0.49	0.09	0
2					0.83	0.80	0.0118	0.21	5.23	0.26	-0.37	0.79	0.80	0.88	0.15	0
3					1.22	1.18	0.0174	0.39	5.42	0.33	-0.18	1.21	1.58	1.36	0.19	0
4					1.52	1.47	0.0216	0.42	5.45	0.29	-0.15	1.40	1.43	1.50	0.19	0
A-8 1	5.77	5.02	5.82	6.6	0.47	0.50	0.0074	0.49	5.51	0.98	-0.26	0.52	0.56	0.63	0.34	—
2					0.83	0.88	0.0129	1.21	6.23	0.73	0.46	0.90	1.46	1.23	0.33	—
3					1.20	1.27	0.0187	2.57	7.59	2.02	1.82	1.24	1.20	1.65	0.16	—
4					1.59	1.68	0.0247	5.33	10.55	3.17	4.78	1.64	2.09	2.05	0.31	—
5					2.13	2.25	0.0331	6.22	11.24	2.76	5.47	2.05	2.28	2.44	0.29	—
A-9 1	7.50	5.02	7.05	6.6	0.44	0.47	0.0069	1.05	6.07	2.23	-1.43	0.42	0.48	0.49	0.25	0
2					0.77	0.83	0.0122	2.41	7.44	2.90	-0.06	0.82	0.95	0.97	0.54	0.001
3					1.05	1.13	0.0166	3.80	8.82	3.36	1.32	1.16	1.02	1.51	0.37	0.023
4					1.32	1.42	0.0209	5.42	10.44	3.82	2.94	1.40	1.66	1.63	0.50	0.061
5					1.70	1.83	0.0269	9.25	14.28	5.05	6.78	1.82	1.86	2.47	0.46	0.052
A-10 1	7.50	5.02	5.82	6.6	0.47	0.50	0.0074	0.90	5.93	1.80	-1.57	0.40	0.62	0.51	0.34	0
2					0.83	0.88	0.0129	3.24	8.27	3.68	0.77	0.77	1.06	1.08	0.30	0.001
3					1.20	1.27	0.0187	4.24	9.27	3.34	1.77	0.93	0.94	1.34	0.37	0.006
4					1.59	1.68	0.0247	7.89	12.97	4.70	5.47	1.44	1.13	1.86	0.40	0.066
5					2.13	2.25	0.0331	9.08	14.10	4.04	6.60	1.85	2.26	2.46	0.36	0.077
A-11 1	7.50	5.02	5.82	6.6	0.47	0.50	0.0074	0.90	5.93	1.80	-1.57	0.53	0.62	0.53	0.12	0
2					0.83	0.88	0.0129	2.05	7.07	2.33	-0.43	0.85	1.12	1.05	0.20	0
3					1.20	1.27	0.0187	4.09	9.11	3.22	1.61	1.23	1.17	1.35	0.24	0.012
4					1.59	1.68	0.0247	5.52	10.55	3.29	3.05	1.65	1.52	1.77	0.24	0.027
5					2.13	2.25	0.0331	5.47	10.49	2.43	2.99	2.14	2.28	2.29	0.24	0.053

Case	堤防高	潮位	水深	周期	波高			うちあげ高				波高			反射率	越波量
	Hc (m)	η (m)	h (m)	T (sec)	H (m)	Ho (m)	Ho/Lo	Rm (m)	Rm+ η (m)	Rm/Ho	Rm-Hc	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	Kr	q (m ³ /m ² sec)
A-12 1	7.50	5.02	5.82	6.6	0.47	0.50	0.0074	1.34	6.37	2.68	-1.13	0.52	0.52	0.52	0.14	0
2					0.83	0.88	0.0129	3.20	8.22	3.64	0.72	1.02	0.86	1.05	0.10	0.001
3					1.20	1.27	0.0187	3.84	8.87	3.02	1.37	1.27	1.21	1.34	0.13	0.001
4					1.59	1.68	0.0247	4.85	9.87	2.89	2.37	1.66	1.54	1.85	0.23	0.011
5					2.13	2.25	0.0331	5.20	10.22	2.31	2.72	2.11	2.19	2.35	0.08	0.070
A-13 1	7.50	5.02	5.82	6.6	1.39	1.47	0.0216	1.80	6.82	1.18	-0.68	—	1.34	1.17	0.27	0
2					1.65	1.74	0.0256	3.06	8.08	1.72	0.58	1.69	1.46	1.48	0.25	0.024
3					1.90	2.01	0.0296	3.45	8.47	1.68	0.97	1.94	1.39	1.71	0.30	0.031
4					2.15	2.27	0.0334	4.44	9.46	1.91	1.96	2.20	1.59	2.01	0.32	0.032
5					2.41	2.53	0.0372	5.18	10.20	2.00	2.70	2.45	1.87	2.24	0.30	0.044
A-14 1	7.50	5.02	4.52	6.6	0.53	0.54	0.0079	1.12	6.14	2.07	-1.36	0.45	0.65	0.58	0.29	0
2					0.86	0.87	0.0128	2.59	7.62	2.98	0.12	0.65	1.28	1.16	0.44	0.001
3					1.19	1.21	0.0178	3.69	8.72	3.05	1.22	0.85	1.46	1.44	0.41	0.010
4					1.41	1.43	0.0210	5.80	10.82	4.06	3.32	1.05	1.61	1.77	0.37	0.047
5					2.00	2.03	0.0299	9.04	14.07	4.45	6.57	1.60	2.58	2.71	0.21	0.055

Case	堤防高	潮位	水深	周期	波高			う ち あ げ 高				波高			反射率	越波量
	Hc (m)	η (m)	h (m)	T (sec)	H (m)	Ho (m)	Ho/Lo	Rm (m)	Rm+ η (m)	Rm/Ho	Rm-Hc	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	Kr	q (m ³ /msec)
B-1 1	6.10	5.02	7.02	6.6	0.38	0.41	0.0060	1.11	6.09	2.71	-0.01	0.42	0.54	0.41	0.52	0
2					0.82	0.88	0.0129	3.22	8.24	3.66	2.14	0.90	0.84	1.04	0.51	0.075
3					1.32	1.42	0.0209	3.54	8.57	2.49	2.47	1.40	1.04	1.52	0.49	0.221
4					1.76	1.89	0.0278	3.93	8.96	2.08	2.86	1.95	1.74	2.01	0.18	0.352
5					2.19	2.35	0.0346	4.31	9.34	1.83	3.24	2.34	2.00	2.43	0.18	0.487
B-2 1	6.10	5.02	7.02	6.6	0.38	0.41	0.0060	0.82	5.84	2.00	-0.26	0.47	0.42	0.47	0.28	0
2					0.82	0.88	0.0129	1.63	6.65	1.85	0.55	0.90	0.76	1.06	0.30	0.009
3					1.32	1.42	0.0209	2.34	7.36	1.65	1.26	1.36	1.16	1.56	0.19	0.074
4					1.76	1.89	0.0278	3.20	8.23	1.69	2.13	1.84	1.64	2.07	0.22	0.212
5					2.19	2.35	0.0346	3.47	8.49	1.48	2.39	2.35	2.05	2.56	0.15	0.331
B-3 1	6.10	5.02	7.02	6.6	0.38	0.41	0.0060	0.33	5.36	0.80	-0.74	0.45	0.42	0.46	0.08	0
2					0.82	0.88	0.0129	0.88	5.91	1.00	-0.19	0.91	0.84	0.99	0.10	0
3					1.32	1.42	0.0209	0.91	5.93	0.64	-0.17	1.31	1.19	1.42	0.13	0
4					1.76	1.89	0.0278	1.14	6.17	0.60	0.07	1.80	1.74	1.95	0.17	0
5					2.19	2.35	0.0346	1.49	6.51	0.63	0.41	2.29	2.38	2.41	0.09	0.003
B-4 1	6.10	5.02	6.02	6.6	0.44	0.47	0.0069	1.00	6.03	2.12	-0.07	0.43	0.55	0.38	0.30	0
2					0.84	0.89	0.0131	2.84	7.86	3.19	1.76	0.93	1.07	0.92	0.25	0.042
3					1.22	1.29	0.0190	3.20	8.23	2.48	2.13	1.45	1.28	1.44	0.22	0.130
4					1.66	1.76	0.0259	3.30	8.32	1.88	2.22	1.92	1.99	1.89	0.19	0.250
5					2.16	2.29	0.0337	4.01	9.03	1.75	2.93	2.30	2.11	2.35	0.21	0.313
B-5 1	6.10	5.02	4.02	6.6	0.51	0.51	0.0075	1.27	6.29	2.49	0.19	0.45	0.57	0.51	0.33	0
2					0.82	0.82	0.0121	2.56	7.58	3.12	1.48	0.82	0.78	0.91	0.34	0.062
3					1.23	1.23	0.0181	2.93	7.96	2.38	1.86	1.27	1.26	1.34	0.32	0.108
4					1.57	1.58	0.0232	3.65	8.68	2.31	2.58	1.68	1.59	1.88	0.17	0.139
5					1.97	1.78	0.0291	3.98	9.02	2.01	2.92	1.87	1.85	1.97	0.22	0.240

Case	堤防高	潮位	水深	周期	波高			うちあげ高				波高			反射率	越波量
	Hc (m)	η (m)	h (m)	T (sec)	H (m)	Ho (m)	Ho/Lo	Rm (m)	Rm+ η (m)	Rm/Ho	Rm-Hc	H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₃ (m)	Kr	q (m ³ /m.sec)
B-6 1	6.10	5.02	4.02	6.6	0.51	0.51	0.0075	0.58	5.61	1.14	-0.49	0.52	0.47	0.52	0.13	0
2					0.82	0.82	0.0121	1.18	6.20	1.44	0.10	0.88	0.81	0.91	0.12	0
3					1.23	1.23	0.0181	1.96	6.98	1.59	0.88	1.26	1.34	1.32	0.09	0.021
4					1.57	1.58	0.0232	2.50	7.52	1.58	1.42	1.77	1.87	1.80	0.12	0.090
5					1.97	1.98	0.0291	2.75	7.78	1.39	1.68	1.96	2.24	1.87	0.10	0.112
B-7 1	6.10	5.02	2.52	6.6	0.48	0.44	0.0065	1.29	6.32	2.93	0.22	0.41	0.73	0.67	0.27	0.029
2					0.87	0.81	0.0119	2.43	7.46	3.00	1.36	0.72	0.94	1.17	0.29	0.047
3					1.22	1.13	0.0166	3.13	8.15	2.77	2.05	1.10	1.23	1.48	0.55	0.133
B-8 1	6.10	5.02	6.02	6.6	0.44	0.47	0.0069	2.00	7.03	4.26	0.93	0.41	0.52	0.47	0.38	0.015
2					0.84	0.89	0.0131	2.18	7.21	2.45	1.11	0.84	0.74	0.93	0.33	0.038
3					1.22	1.29	0.0190	2.16	7.18	1.67	1.08	1.25	1.12	1.42	0.39	0.034
4					1.66	1.76	0.0259	2.45	7.47	1.39	1.37	1.71	1.65	1.96	0.22	0.063
5					2.16	2.29	0.0337	2.92	7.94	1.28	1.84	2.17	1.88	2.33	0.26	0.109
B-9 1	6.10	5.02	4.02	6.6	0.51	0.51	0.0075	2.12	7.14	4.16	1.04	0.44	0.62	0.46	0.35	0.018
2					0.82	0.82	0.0121	2.12	7.14	2.59	1.04	0.70	0.49	0.90	0.57	0.040
3					1.23	1.23	0.0181	2.15	7.18	1.75	1.08	1.03	1.01	1.32	0.30	0.043
4					1.57	1.58	0.0232	2.35	7.38	1.49	1.28	1.48	1.88	1.86	0.13	0.051
5					1.97	1.98	0.0291	2.65	7.68	1.34	1.58	1.76	2.10	2.27	0.32	0.097
B-10 1	6.10	5.02	2.52	6.6	0.48	0.44	0.0065	1.31	6.34	2.98	0.24	0.33	0.73	0.45	0.32	0.002
2					0.87	0.81	0.0119	3.28	8.31	4.05	2.21	0.68	0.62	0.87	0.58	0.063
3					1.22	1.13	0.0166	3.27	8.30	2.89	2.20	0.97	0.94	1.13	0.56	0.079

ケース番号	堤防高	潮位	水深	周期	波高		うちあげ高				波高1	(入射)	波高2	(マウント1)	波高3	(堤体前)	越波量
	Hc (m)	η (m)	h (m)	$T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$(H_{1/3})_0$ (m)	$R_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	$R_{1/3} + \eta$ (m)	$R_{1/3} / H_{1/3}$	$H_1 1/3$ (m)	T_1 (sec)	$H_2 1/3$ (m)	T_2 (sec)	$H_3 1/3$ (m)	T_3 (sec)	q (m ³ /m ² sec)
C-1-1	+6.10	+5.02	5.02	6.6	2.32	2.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0852
2	"	"	"	"	1.57	1.62	1.64	8.17	6.65	1.04	2.67	6.22	2.26	7.00	1.91	6.83	0.0179
C-2-1	"	"	"	"	2.32	2.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0859
2	"	"	"	"	1.76	1.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0262
C-3-1	+7.50	"	"	"	2.32	2.41	3.23	7.00	8.25	1.39	3.79	6.25	2.85	6.75	2.81	6.76	0.0108
2	"	"	"	"	1.76	1.82	1.82	8.04	6.84	1.03	2.84	6.31	2.48	6.83	2.31	6.98	0
C-4-1	"	"	"	"	2.32	2.41	3.33	4.33	8.35	1.44	3.79	6.27	2.57	6.68	2.55	7.13	0.0106
2	"	"	"	"	1.76	1.82	1.61	5.47	6.63	0.91	2.93	6.35	2.25	6.81	2.01	7.16	0
C-5-1	+6.10	"	3.02	"	1.81	1.73	2.87	6.55	7.89	1.59	2.45	6.21	1.95	6.45	2.22	6.62	0.0301
2	"	"	"	"			1.39	8.69	6.41	—	2.03	5.98	1.87	6.93	1.38	7.36	0.0052
C-6-1	"	"	"	"	1.81	1.73	2.89	6.44	7.91	1.60	2.57	6.27	1.94	6.41	1.97	6.72	0.0405
2	"	"	"	"			1.62	8.23	6.64	—	2.03	6.01	1.84	6.70	1.39	7.38	0.0081
C-7-1	"	"	"	"	1.81	1.73	—	—	—	—	2.64	5.97	1.90	6.37	2.04	6.65	0.0011
C-8-1	+7.50	"	"	"	1.81	1.73	—	—	—	—	2.59	6.03	1.94	6.43	2.06	6.77	0.0270

有明海岸堤防水理
模型実験報告書

土研資料第1825号
昭和57年3月(1982)

橋本宏 山口修 弘田英人

キーワード 高潮堤防・水理模型実験・うちあげ高・越波量・不規則波

要 旨

有明海岸の高潮対策を検討するために水理模型実験によって各種堤防の越波防止効果について検討した。越波量はその許容量を $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ (三面張り) とすると計画条件下において現況、計画堤防の場合には天端高T.P. + 7.50 mで許容量以下あるいは許容量程度となり緩傾斜堤の場合には天端高T.P. + 7.50 mでも許容量以上となると推定された。

○

郵便はがき

40円切手
をはいて
下さい

305-□□

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1776号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印