



土 木 研 究 所 資 料

第 7 4 9 号

木曾三川高潮対策模型実験報告書(I)

昭和 47 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

木曾三川高潮対策模型実験報告書 (I)

河川部海岸研究室 室長 富永正照
研究員 松村圭二
技官 九津見生哲
技官 山下 忠

目 次

I ま え が き	1
II 地形および海象	2
1. 地 形	2
2. 地 盤	5
3. 風	7
4. 波 浪	12
5. 潮 位	17
6. 許容越波量	20
7. 結 論	22
III 木曾三川河口部高潮堤の形状に関する模型実験	23
1. 実験目的	23
2. 実験方法と実験装置	23
3. 実験結果およびその検討	28
3-1 海岸高潮堤	28
1. 長島海岸堤の機能調査	28
2. 本省計画案	29
3. 土 研 案	30
3-2 河川高潮堤	31
1. 河川高潮堤の機能調査	31
2. 現状沈下堤+高水敷	38
3. 小段造成堤(事務所案)の機能調査	40
4. 最終案堤(事務所案)の機能調査	41
5. 最終案堤+高水敷	41

6. 小段形状の一般的考察	42
7. 河川堤小段造成形状についての考察	51
8. 最終案堤の形状考察（小段形状の考察）	54
9. 最終案堤の形状考察（消波工）	55
4. 結 論	57
4 - 1 海岸高潮堤	57
4 - 2 小段形状の一般的考察	57
4 - 3 河川高潮堤	58
Ⅳ 3次元歪模型に関する基礎実験	59
1. 実験目的	59
2. 歪模型における問題点の考察	59
2 - 1 波浪実験の相似率	59
2 - 2 波浪変形と歪模型	59
3. 実験方法と実験装置	61
3 - 1 実験方法	61
3 - 2 造波装置と測定装置	62
3 - 3 実験ケース	62
3 - 4 実験時の測定法	62
4. 実験結果とその検討	63
4 - 1 2波以上の合成波の理論的考察	63
4 - 2 実験結果とその検討	66
5. 結 論	101
Ⅴ む す び	101

図 目 次

図Ⅱ－ 1	伊勢湾内図	2
図Ⅱ－ 2	対岸距離（揖斐川河口より）	2
図Ⅱ－ 3	揖斐川河口より各方向の海床	3
図Ⅱ－ 4	木曾三川河口付近および堤防天端高	3
図Ⅱ－ 5(a)	揖斐川横断図（右岸）	4
図Ⅱ－ 5(b)	揖斐川横断図（左岸）	4
図Ⅱ－ 6	現堤防標準横断面図	5
図Ⅱ－ 7	長島海岸堤防の沈下量（事務所）	5
図Ⅱ－ 8	一等水準点沈下状況	6
図Ⅱ－ 9(a)	圧密沈下推定値（事務所）	6
図Ⅱ－ 9(b)	圧密沈下推定値（事務所）	7
図Ⅱ－ 10(a)	年最大風速の超過確率	9
図Ⅱ－ 10(b)	年最大風速の超過確率	9
図Ⅱ－ 10(c)	年最大風速の超過確率	9
図Ⅱ－ 10(d)	年最大風速の超過確率	9
図Ⅱ－ 11(a)	各台風の風速時間変化	10
図Ⅱ－ 11(b)	各台風の風速時間変化	11
図Ⅱ－ 11(c)	各台風の風速時間変化	11
図Ⅱ－ 12(a)	波の生起頻度分布（名古屋港）	12
図Ⅱ－ 12(b)	波の生起頻度分布（神島）	13
図Ⅱ－ 13	年最大潮位生起確率	18
図Ⅱ－ 14	年最大偏差生起確率	18
図Ⅱ－ 15	各地区面積と法線長	21
図Ⅲ－ 1	実験水路および模型配置図	24
図Ⅲ－ 2	現長島海岸堤防標準図	28
図Ⅲ－ 3	長島海岸堤越波量	29
図Ⅲ－ 4	本省海岸課案	29
図Ⅲ－ 5	本省海岸課案越波量	30
図Ⅲ－ 6	土研案 1, 2 堤防図	30
図Ⅲ－ 7(a)	海岸堤防土研案(1)越波量	31
図Ⅲ－ 7(b)	海岸堤防土研案(2)越波量	31
図Ⅲ－ 8	河川高潮堤	31

図Ⅲ - 9	現状沈下堤	31
図Ⅲ - 10 (a)	河川高潮堤のうちあげ高	32
図Ⅲ - 10 (b)	河川高潮堤のうちあげ高	32
図Ⅲ - 11 (a)	河川高潮堤防越波量	33
図Ⅲ - 11 (b)	河川高潮堤防越波量	33
図Ⅲ - 11 (c)	河川高潮堤防越波量	33
図Ⅲ - 12	河川高潮堤と現状沈下堤うちあげ高の比較	34
図Ⅲ - 13 (a)	河川高潮堤と現状沈下堤のうちあげ係数の比較	35
図Ⅲ - 13 (b)	河川高潮堤と現状沈下堤のうちあげ係数の比較	35
図Ⅲ - 13 (c)	河川高潮堤と現状沈下堤のうちあげ係数の比較	36
図Ⅲ - 14	河川高潮堤の越波量	37
図Ⅲ - 15	河川高潮堤防（波返しなし）の越波量	37
図Ⅲ - 16	現状沈下堤 + 高水敷	37
図Ⅲ - 17	河川高潮堤と現状沈下堤 + 高水敷堤防うちあげ高の比較	37
図Ⅲ - 18	現状沈下堤 + 高水敷の越波量	38
図Ⅲ - 19	小段造成堤防	38
図Ⅲ - 20 (a)	小段造成堤の機能調査（うちあげ高）	38
図Ⅲ - 20 (b)	小段造成堤の機能調査（うちあげ高）	39
図Ⅲ - 20 (c)	小段造成堤の機能調査（うちあげ高）	39
図Ⅲ - 21 (a)	小段造成堤の機能調査（越波量）	40
図Ⅲ - 21 (b)	小段造成堤の機能調査（越波量）	40
図Ⅲ - 21 (c)	小段造成堤の機能調査（越波量）	40
図Ⅲ - 22	最終案堤防	41
図Ⅲ - 23 (a)	最終案堤防の機能調査（うちあげ高）	41
図Ⅲ - 23 (b)	最終案堤防の機能調査（うちあげ高）	42
図Ⅲ - 24	最終案堤防 + 高水敷	42
図Ⅲ - 25 (a)	最終案堤防 + 高水敷のうちあげ高	43
図Ⅲ - 25 (b)	最終案堤防（別） + 高水敷のうちあげ高	43
図Ⅲ - 26 (a)	各小段幅のもとでのうちあげ高	44
図Ⅲ - 26 (b)	各小段幅のもとでのうちあげ高	44
図Ⅲ - 26 (c)	各小段幅のもとでのうちあげ高	44
図Ⅲ - 27	小段幅とうちあげ高	45
図Ⅲ - 28	小段こう配とうちあげ高	46
図Ⅲ - 29	小段高とうちあげ高	47
図Ⅲ - 30 (a)	うちあげ高におよぼす小段高と小段幅の効果	48

図Ⅲ - 30 (b)	うちあげ高におよぼす小段高と小段幅の効果	49
図Ⅲ - 30 (c)	うちあげ高におよぼす小段高と小段幅の効果	49
図Ⅲ - 31	小段上の堆水状況	50
図Ⅲ - 32	小段上の堆水状況	51
図Ⅲ - 33	小段造成堤防	52
図Ⅲ - 34	小段造成堤の形状考察 (うちあげ高)	52
図Ⅲ - 35	小段造成堤の形状考察 (越波量)	53
図Ⅲ - 36	小段高堤頂高による越波量の変化	53
図Ⅲ - 37	最終案堤防	53
図Ⅲ - 38	最終案堤防の形状考察 (うちあげ高)	54
図Ⅲ - 39	最終案堤防の形状考察 (小段形状) (越波量)	54
図Ⅲ - 40	最終案堤 (パラペットなし) の打ちあげ高と越波量の関係	55
図Ⅲ - 41	粗度および階段状堤防	55
図Ⅲ - 42 (a)	事務所案および粗度設置後のうちあげ高	56
図Ⅲ - 42 (b)	事務所案および粗度設置後のうちあげ高	56
図Ⅳ - 1	波の屈折	60
図Ⅳ - 2 (a)	模型 (水平床板) 平面図	62
図Ⅳ - 2 (b)	模型 (一様勾配床板) 平面図	62
図Ⅳ - 2 (c)	C断面平面図 (正規模型)	62
図Ⅳ - 3	波高の時間的変動	64
図Ⅳ - 4	防波堤への斜め入射	65
図Ⅳ - 5	実験波の横断分布	67
図Ⅳ-6-1-1	波高, 打ちあげの分布 (水平床板)	68
図Ⅳ-6-1-2	波高, 打ちあげの分布 (水平床板)	69
図Ⅳ-6-2-1	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	70
図Ⅳ-6-2-2	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	71
図Ⅳ-6-3-1	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	72
図Ⅳ-6-3-2	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	73
図Ⅳ-6-4-1	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	74
図Ⅳ-6-4-2	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	75
図Ⅳ-7-1-1	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	76
図Ⅳ-7-1-2	波高, 打ちあげ分布 (水平床板)	77
図Ⅳ-7-2-1	波高, 打ちあげ分布 (一様勾配)	78
図Ⅳ-7-2-2	波高, 打ちあげ分布 (一様勾配)	79

図Ⅳ-7-3-1	波高, 打ちあげ分布 (一様勾配)	80
図Ⅳ-7-3-2	波高, 打ちあげ分布 (一様勾配)	81
図Ⅳ- 8	波の入射概要図	88
図Ⅳ- 9	打ちあげのピーク位置	93
図Ⅳ-10	波の回折状況	96
図Ⅳ-11(a)	正規波と縦縮尺波 (a)	99
図Ⅳ-11(b)	正規波と縦縮尺波 (b)	100

目 次

表Ⅱ- 1	月方向別最大風速	8
表Ⅱ- 2	伊勢湾台風をいろいろなコースに乗せた場合の発生波浪	14
表Ⅱ- 3	堤防前面の波高	16
表Ⅱ- 4	平均満潮位, さく望平均満潮位位以の継続時間	18
表Ⅱ- 5	最大偏差	19
表Ⅲ- 1	浅水係数 k_s , 摩擦減衰係数 k_f の表	24~25
表Ⅲ- 2	実験項目別実験条件一覧表	25
表Ⅲ- 3	実験条件一覧表	
表Ⅲ- 4	うちあげ高の周期による相違	46
表Ⅲ- 5	小段上の Set-up の状況	50
表Ⅳ- 1	実験ケース	63
表Ⅳ-2-1-1	波高測定(1) 水平床板	83
表Ⅳ-2-1-2	波高測定(1) 水平床板	83
表Ⅳ-2-2-1	波高測定(1) 一様勾配	84
表Ⅳ-2-2-2	波高測定(1) 一様勾配	84
表Ⅳ-2-3-1	波高測定(2) 水平床板	86
表Ⅳ-2-3-2	波高測定(2) 水平床板	86
表Ⅳ-2-4-1	波高測定(2) 一様勾配	87
表Ⅳ-2-4-2	波高測定(2) 一様勾配	87
表Ⅳ-2-5-1	打ちあげ測定(1) 水平床板	89
表Ⅳ-2-5-2	打ちあげ測定(1) 水平床板	89
表Ⅳ-2-6-1	打ちあげ測定(1) 一様勾配	90
表Ⅳ-2-6-2	打ちあげ測定(1) 一様勾配	90

表Ⅳ-2- 7-1 打ちあげ測定(2) 水平床板	91
表Ⅳ-2- 7-2 打ちあげ測定(2) 水平床板	91
表Ⅳ-2- 8-1 打ちあげ測定(2) 一様勾配	92
表Ⅳ-2- 8-2 打ちあげ測定(2) 一様勾配	92
表Ⅳ-2- 9-1 打ちあげ測定(3) 水平床板	94
表Ⅳ-2- 9-2 打ちあげ測定(3) 水平床板	94
表Ⅳ-2-10-1 打ちあげ測定(3) 一様勾配	95
表Ⅳ-2-10-2 打ちあげ測定(3) 一様勾配	95
表Ⅳ- 3 - 1 正規波に対する比(水平床板)	97
表Ⅳ- 3 - 2 正規波に対する比(一様勾配)	97

木曾三川高潮対策模型実験

I ま え が き

昭和34年9月26日伊勢湾台風の来襲に伴って発生した高潮および波浪によって、木曾三川河口部の堤防は破堤し、大災害を受けた。被害直後より応急復工が始まり、ひきつづいて一定計画のもとに災害復旧工事が着手され、高潮堤は昭和37年に完成された。しかし復旧工事後現在までにこれらの高潮堤は1m近く沈下し、当初の計画に対する機能は非常に低下するに至った。このため高潮堤の補強が計画され、それに伴って計画諸元の検討が必要となった。

昭和45年中部地方建設局木曾川下流工事々務所より模型実験による揖斐川河道内への波浪侵入、堤防への打ちあげ高調査および木曾三川河口部高潮堤の形状、構造に関する調査検討が依頼された。実験は昭和45年度より開始され、揖斐川河道内の波浪侵入実験を除いた他の実験は昭和46年度に完了した。

本報告は木曾三川河口部高潮堤の形状に関する模型実験と3次元歪模型に関する基礎実験についてその結果をとりまとめたものである。なお歪模型の基礎実験は揖斐川河道内の波浪実験が歪模型を使用しているため、それに関しての検討実験である。

Ⅱ 地形および海象

1. 地形

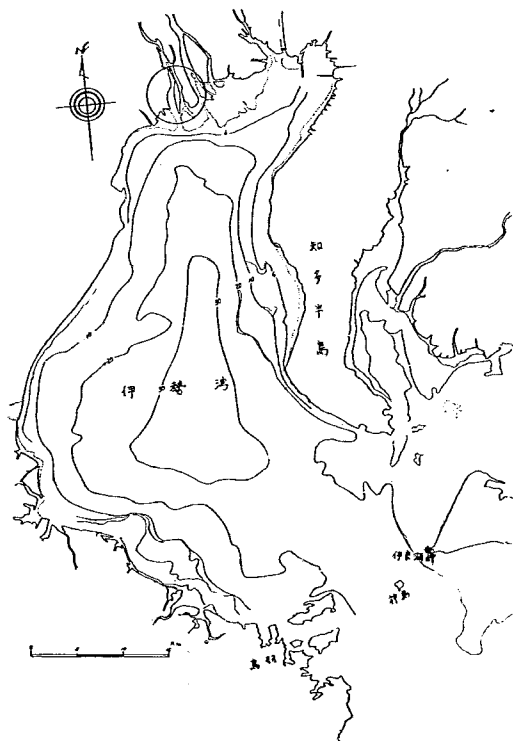
伊勢湾は、図一Ⅱ-1に示すように南北約60Km、東西30Kmの細長い湾で、水深の最も深い所はほぼ湾の中央部の34mである。湾口は南東に向って開き、平均水深50m、幅12Kmの伊良湖水道によって外海に通じている。この湾口の中央部に神島があり、神島から大王崎寄りの鳥羽沖には小さな島や水深5～6mの岩礁が2重に張り出している。

また、湾の東側は、湾口部で知多半島、渥美半島に囲まれた知多湾、渥美湾につながっている。

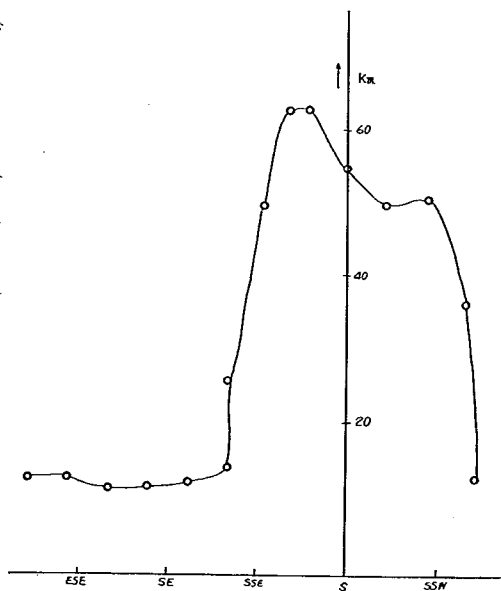
波の発生に重要な対岸距離を揖斐川河口を基準に各方向別に見ると、図一Ⅱ-2のようになる。SからSSEにかけて約60Km、SからSSWにかけて50Kmで、それより東および西に向うにしたがって逐次減少し、SE方向では約15Kmとなる。

湾奥の木曾三川河口付近の海床は、T.P-2.0～-3.0mの沖積台地が沖合3～4Kmの範囲にわたって形成され、それより沖合は水深13～15まで約1/50のこう配で深くなっている。

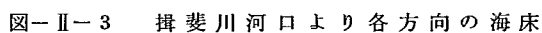
この海床の状況を揖斐川河口左岸より各方向別に



図一Ⅱ-1 伊勢湾内図



図一Ⅱ-2 対岸距離(揖斐川河口より)



図一Ⅱ-4 木曾，三川河口付近および堤防天端高

の合流点までは、全域にわたり水深1～2 mの洲が形成されており河道内のみず道はそれぞれ左右岸の堤防沿いとなっている。水深は深いところで7 mにもおよび平均水深は4.0～5.0 m前後である。揖斐川左右岸の堤防断面の河床横断を示すと図-Ⅱ-5のとおりである。これを良く見ると、左岸では河口に近づくに従って、堤防直前の水深は浅くなり、一方右岸では深くなっている。木曾川のみづ道は右岸寄りに流れ、木曾御寄りには非常に広範囲に土砂が堆積し、浅瀬が形成されている。

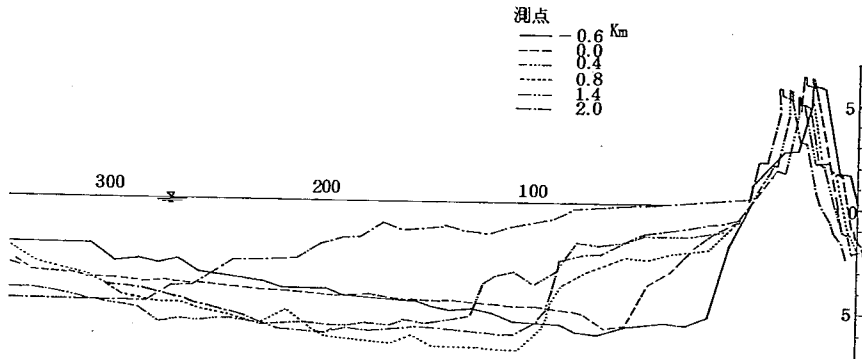


図-Ⅱ-5(a) 揖斐川横断面 (右岸)

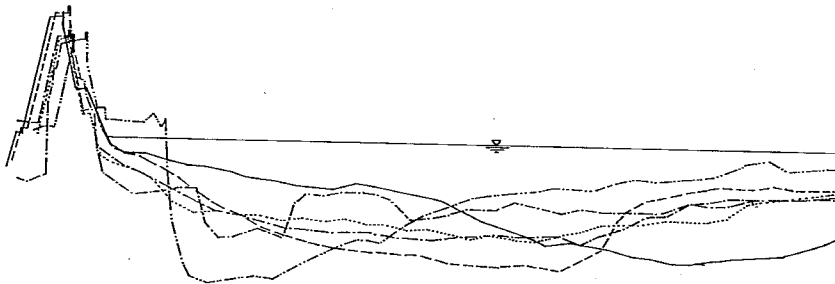
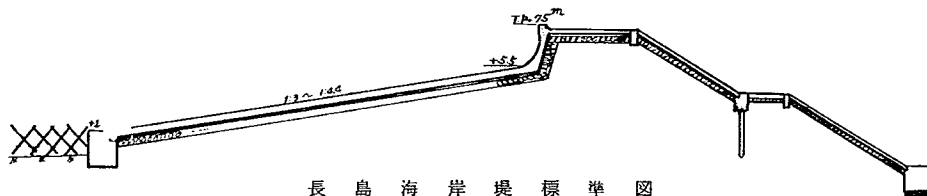


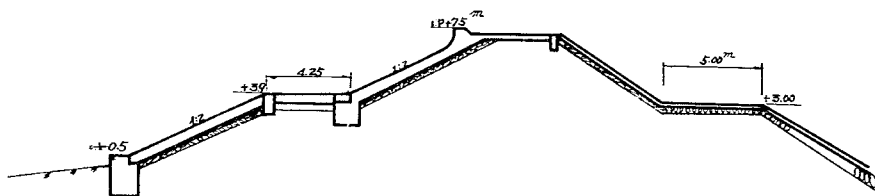
図-Ⅱ-5(b) 揖斐川横断面 (左岸)

伊勢湾台風後復旧されたこの揖斐川、木曾川河口付近の堤防は、図-Ⅱ-4に示すように海岸および河口から0.6～1.0 Km地点までは天端高T.P+7.5 mで、それより上流揖斐川、木曾川大橋まではT.P+6.5 mである。この堤防の横断面を示すと図-Ⅱ-6のように城南海岸堤防および河川高潮堤防は小段を持った複断面堤防であるが、長島海岸堤防は、3割～4割のよう配のり面の上部に半径1.3 mのパラペットを持った天端高T.P+7.5 mの単断面堤防である。

城南、長島地区の堤内地は、木曾三川の外郭に堤防が築堤され出来上ったもので、地盤高はT.P-1.0～0.5 mと平均水面とほとんど同じ高さである。この堤内地は農耕地帯で集落はこの農耕地に1～2 m前後盛土した部分に帯状に形成されている。また堤内地の内水は、堤防法面直下に設けられた“潮遊”によっ



長島海岸堤標準図



河川高潮堤および城南海岸堤標準図

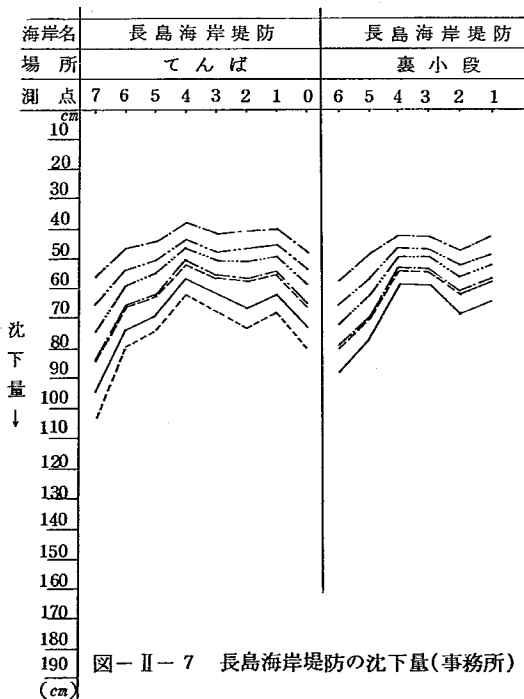
図一Ⅱ-6 現堤防標準横断面図

て集水され各所に設けられた排水ポンプによって揚水排水されている。

2. 地盤

基礎地盤の支持力は、堤防の構造を考えるうえに重要であり、沈下量は天端高の決定に欠くことの出来ない要素である。木曾三川河口付近の堤防天端高は、堤防築堤後今日までの8～9年間に総沈下量が最大1.4mにも達している。沈下の最も著しいところは木曾三川河口付近でその中でも長島地区が顕著である。長島海岸堤防の沈下状況を示すと図一Ⅱ-7のようになる。これは事務所の調査によるものであるが、ほぼ全域にわたり築堤後今日まで1.0m近く沈下している。他の地域も含めた沈下状況を平面的にみると、木曾三川付近が最も著しく、木曾岬一弥富一日光川と名古屋港寄りに向うに従って逐次減少している。日光川左岸の南陽海岸堤防では築堤後今日まで、せいぜい20cm程度の沈下である。

この地盤沈下が、堤防の築堤や揚水による圧密沈下なのか、地殻変動による地盤沈下なのか知るよしもないが、この付近の沈下量の経年変



化や今後の沈下量の推定は地建や県によってなされており、事務所の報告によると図-Ⅱ-8-9のようになる。図-Ⅱ-8は、一等水準点の測量成果により過去の経年変化を示したものであり、図-Ⅱ-9は、各土層の間隙水圧を測定し、この変化からテルツァギの圧密理論にもとずき、将来の圧密沈下量を推定したものである。

これらの図にもとずき地建では次のような結論を与えている。

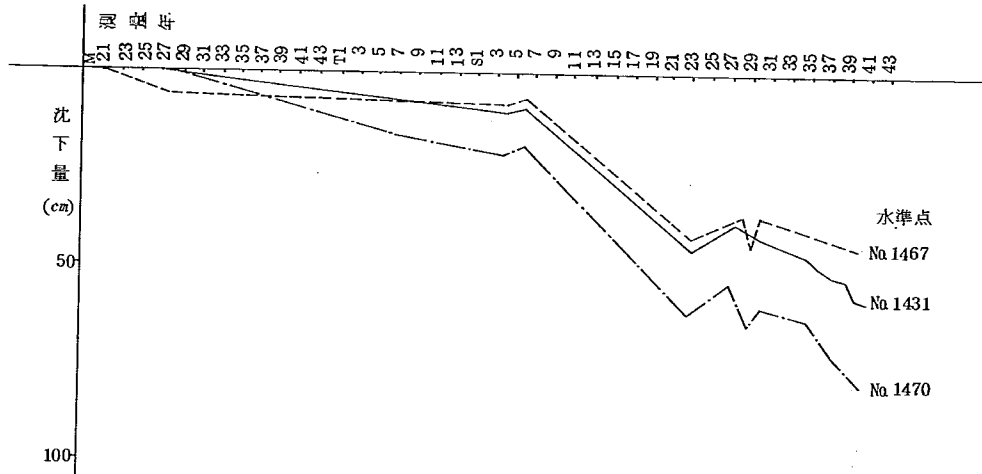


図-Ⅱ-8 一等水準点沈下状況

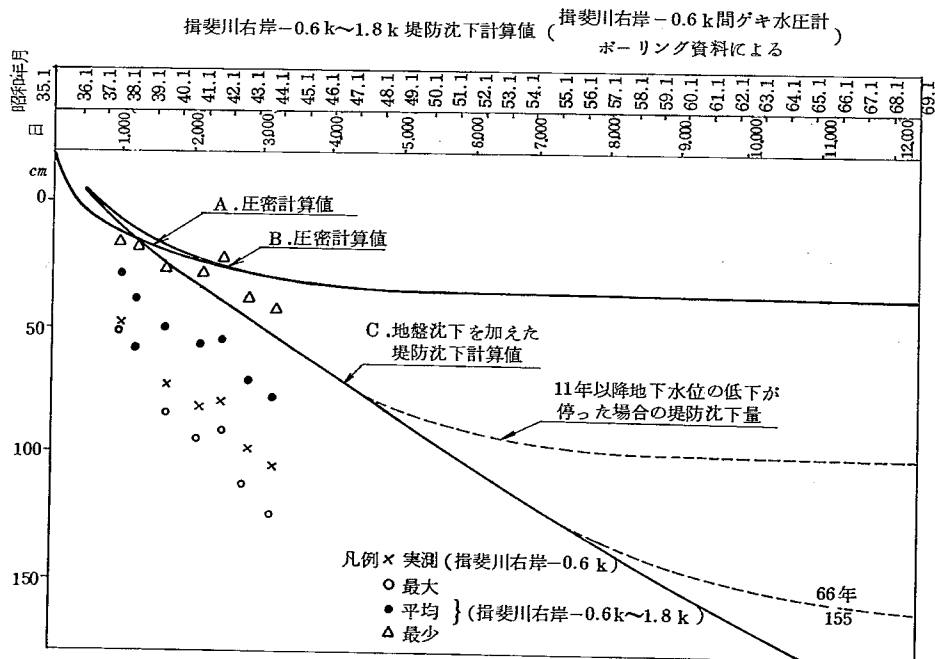


図-Ⅱ-9(a) 圧密沈下推定値(事務所)

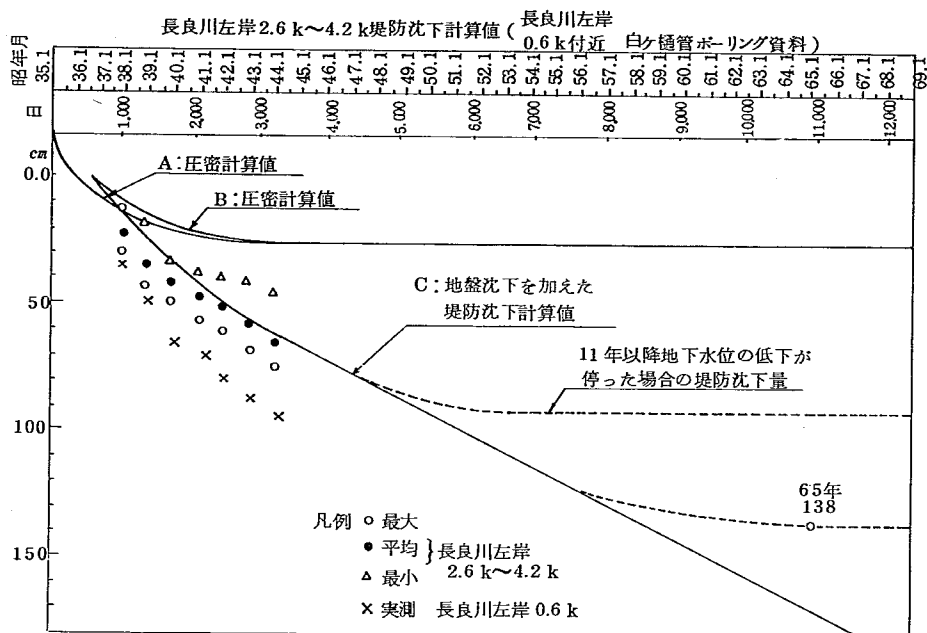


図- 11- 9 (b)

過去の経年変化の主なもの、昭和 19 年 12 月の東南海大地震、20 年 1 月三河地震、21 年 12 月の南海道地震によるもので、これらの地震による地殻変動によって 30 ~ 40 cm の沈下が生じ、その後は地下水の汲み上げと築堤による圧密沈下に移行し今日に至っている。この圧密沈下は今後も進行するもので、今後も地下水の汲み上げが続き地下水位が毎年 1.0 m づつ低下するものとする、粘土層の圧密沈下は毎年 5 ~ 6 cm あり、昭和 60 年までにはさらに 60 ~ 100 cm の沈下となり、今すぐ地下水の汲み上げを中止しても 40 ~ 50 cm の沈下となるとしている。

このことからみて、堤防の構造はこのような地盤沈下に耐えうるものでなければならないし、また天端高の決定には将来の沈下量を予測し、その対策を講じるものでなければならない。また堤体ののり面形状は将来のかさあげに対処できるような形状に保つことが必要である。伊勢湾周辺は前述のように地震の多発地帯でもある。したがって堤体構造も現在のように完全三面張りにするのが良いかどうか疑問のあるところである。

3. 風

波は風のエネルギーをうけて発達し、気象潮は風による吹きよせと気圧降下による吸い上げ効果によって生ずる。このため、対象海域の風の特徴を知ることは、波や高潮を推定するうえで必要なことである。

表- 11- 1 は木曾三川河口付近の風の特徴を見るために示したものである。資料は名古屋港大防波堤前面のロボット観測塔のもので、観測年間は 62 年 4 月から 68 年 12 月までの 4 年 8 カ月間である。表中の値は、月別、日最大風速を示したものである。これによると、冬から春にかけては W ~ NW の季節風が

強く、夏から秋にかけては E-S 方向の風が主体となっている。伊勢湾の形から見て N-W 方向の風は、いわゆる陸風で湾奥の海岸に対しては問題にならず、E-S 方向の風のみについて検討すれば良い。

表-Ⅱ-1 月-方向別最大風速 [m/sec] (統計期間 1962.4~1968.12)

月	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	月最大
1	13	9	7	9	7	6	10	6	3	9	14	19	25	28	17	10	28
2	11	6	5	5	5	10	7	3	5	7	8	13	15	18	20	19	20
3	19	5	7	12	18	18	13	15	16	11	18	15	18	20	21	14	21
4	12	13	13	9	15	16	14	11	10	10	9	10	15	20	20	17	20
5	8	8	8	8	14	15	12	12	11	10	10	9	14	19	18	16	19
6	12	10	8	11	10	18	16	12	11	9	14	10	16	17	14	13	18
7	8	7	7	7	19	24	15	12	11	12	12	13	13	14	14	13	24
8	11	16	14	11	28	29	29	19	10	10	11	20	16	16	14	8	29
9	15	7	5	14	16	24	26	27	22	15	13	10	21	19	24	12	27
10	12	7	11	7	12	9	11	9	9	7	13	14	15	17	15	12	17
11	13	7	7	7	10	10	9	4	6	9	11	12	17	17	16	13	17
12	12	13	6	6	12	12	5	5	5	10	15	12	16	18	18	13	18
年最大	19	16	14	14	28	29	29	27	22	15	18	20	25	28	24	19	29

そこで、S-E 方向の風につき年最大風速の超過確立を示したのが図-Ⅱ-10の各図である。観測年間は昭和24~44年の20年間で、伊勢湾周辺の名古屋、津、大王崎、伊良湖の4個所について示している。分布図はハーゼンの方法によっているが点にバラツキが大きく、これから超過確率を求めるのはなかなかむずかしい。また、名古屋、伊良湖における最大風速はそれぞれ37 m/s、42.7 m/sとかけはなれており、このとりあつかいによって生超過率はだいぶ違ってくる。名古屋における37 m/sと伊良湖の42.7 m/sは、昭和34年9月26日に発生したものでこれは伊勢湾台風によるものである。これから見ても伊勢湾台風がいかに規模の大きい台風であったかが知れる。

これら4個所の分布図を比較すると、伊良湖と大王崎は良く類似しており、名古屋と津を比較すると伊勢湾台風時に風速が同一の外は、名古屋における風速は津に比べ全般に5~6 m程度小さいようである。これらの図から超過確率を求めることは前にものべたように、点のばらつきが大きく困難であるが試みに図中の直線に沿って推定すると次のようになる。

	100年	20年	
名古屋	38.0	30.0	m/s
津	39.0	32.0	
伊良湖	42.0	37.0	
大王崎	40.0	36.0	(伊勢湾台風がぬけている)

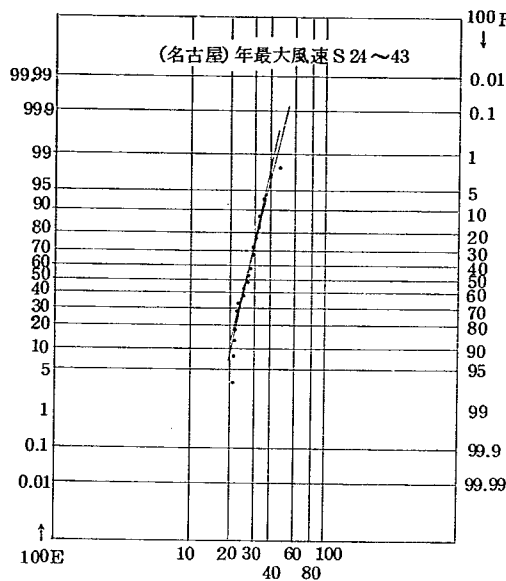


図- II - 10(a) 年最大風速の超過確率

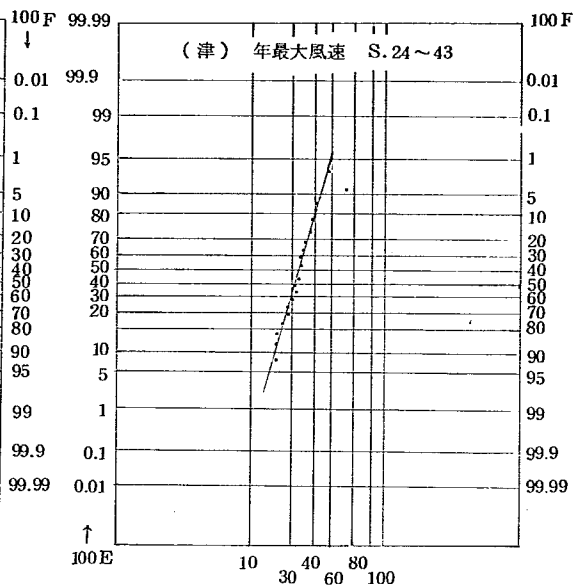


図- II - 10(b) 年最大風速の超過確率

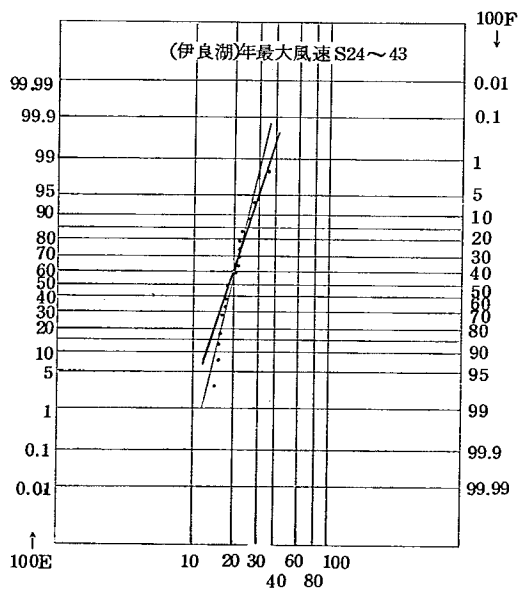


図- II - 10(c) 年最大風速の超過確率

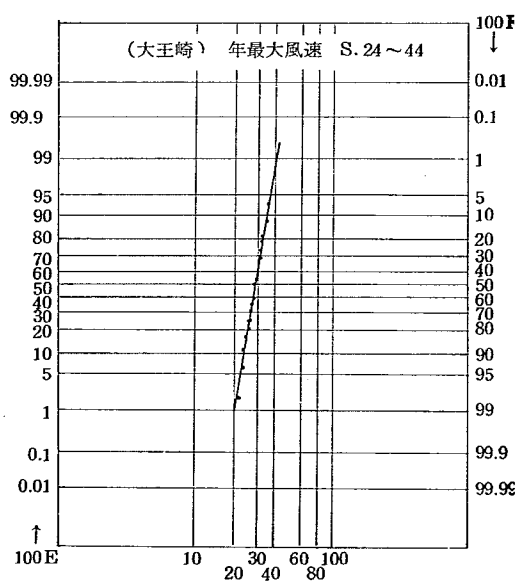


図- II - 10(d) 年最大風速の超過確率

名古屋の地方気象台の調査によると、昭和16年から45年間の資料にもとずき 38 m/s が33年に1回、 33 m/s が17年に1回の割合で起るものとしている。

波の発達は、風速とともに吹送距離あるいは吹送時間とのいずれかの組合せによって決る。吹送距離は最長約60 Kmなので、風速とともにこのような強風の吹送時間が問題になって来る。

図-Ⅱ-11の各図は過去の代表的な台風の風速変化を示したものである。図は横軸に日時を縦軸に風速をとり、名古屋、津、大王崎、伊良湖における風速の時間変化を示している。いずれの台風についてみても、風速は台風の接近とともに徐々に増大し、通過とともに急激に減少している。また各地の風の状況は台風の進路によってその状況を異にしている。例えば伊勢湾台風について見ると、風は湾口の大王崎の方から吹きはじめ、最大風速も大王崎、津、伊良湖、名古屋と湾口ないしは西よりから徐々にピークに達している。しかしながら室戸台風については、この傾向はあまり明瞭ではない。

一方、吹送時間であるが、最大風速を生ずるのは1時間以内で、最大風速が長時間吹きつづけるようなことはない。伊勢湾台風についてみても、最大風速はその瞬間のみで、 35 m/s 以上の風の吹送時間もせいぜい1.0時間以内である。しかしながら、伊勢湾台風のように湾口から湾奥に向って風速の最大値が徐々に近づいてくるような場合には、各場所の風速の継続時間を基準にして、波や潮位の発達を考えることは危険である。なぜならば、台風の進行速度とともに発達伝播する波は常時最大風速を受けることになる。このような場合には、こまかい波の追算の検討をする必要がある。伊勢湾の海域から考えて吹送時間を2時間以上にとると、波は風速と吹送距離によって決る。

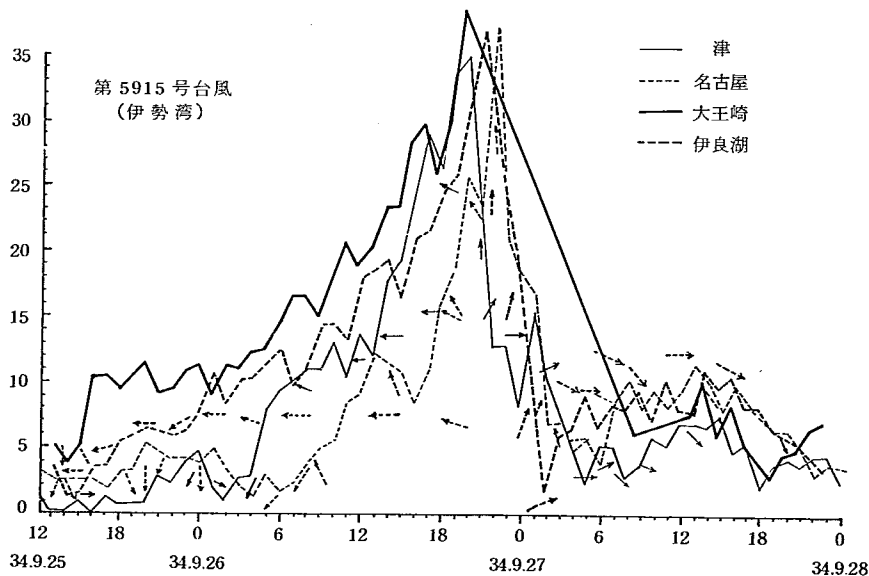


図-Ⅱ-11(a) 各台風の風速～時間変化

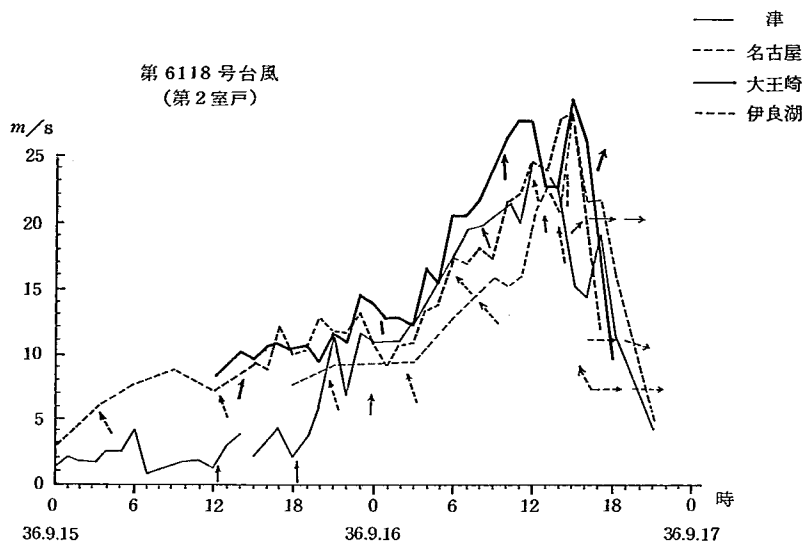


図-Ⅱ-11(b) 各台風の風速～時間変化

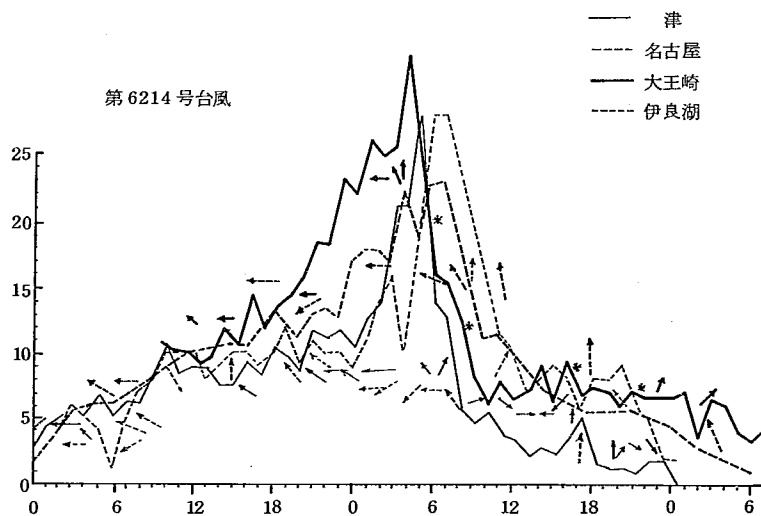


図-Ⅱ-11(c) 各台風の風速～時間変化

気象潮は風速とともに気圧によって決まるのであるが、気圧に関する資料は入手することが出来ず、気圧に関する検討を加えることは出来なかった。

4. 波 浪

伊勢湾の波浪観測は、湾口の神島で昭和41年1月から43年12月までの3年間目視観測により、また、湾奥の名古屋港で大防波堤築堤前後の昭和38、39年および43、44年の4か年間にわたり、大防波堤前面沖合400m、水深60mの地点で水圧式波高計により波浪観測が行なわれた。これら両地点の観測値の出現分布を示すと図-Ⅱ-12のようになる。神島における波高の出現頻度の最も高いものは1.0m前後の波であり、一方、名古屋港においては0.2~0.3mの波である。神島で観測された最大波高は41年8月に6.0m以上の波が5回、42年3月と10月にそれぞれ3回、2回と観測されている。名古屋港の最大波高は39年9月25日の $H\frac{1}{3} = 2.93\text{m}$ であった。この時の風は、風向SE、風速26m/sであり、周期は $T\frac{1}{3} = 13.5\text{sec}$ であった。周期については、神島は目視観測のため測定がなされていない。名古屋港の観測値をみると、3sec前後に1つのPeakがあり、10sec前後に第2のPeakがあって、最長周期は39年5月24日の22.5secであった。湾内で発生する波の周期は、吹送距離60Km、風速30m/sとしてSMB法により推定すると、完全に発達した場合でも9sec程度であり、10sec以上の波は外海から入って来たうねりと思われる。また波の資料をみても、周期の長い波の波高は0.2~0.3mが多かった。

前記の $T = 13.5\text{sec}$ はうねりに湾内で発達した風波が重なった特異的な現象と思われる。

木曾三川河口付近に来襲する波を考える場合には、この外海からの波の取り扱いをどうするかという問題が残る。

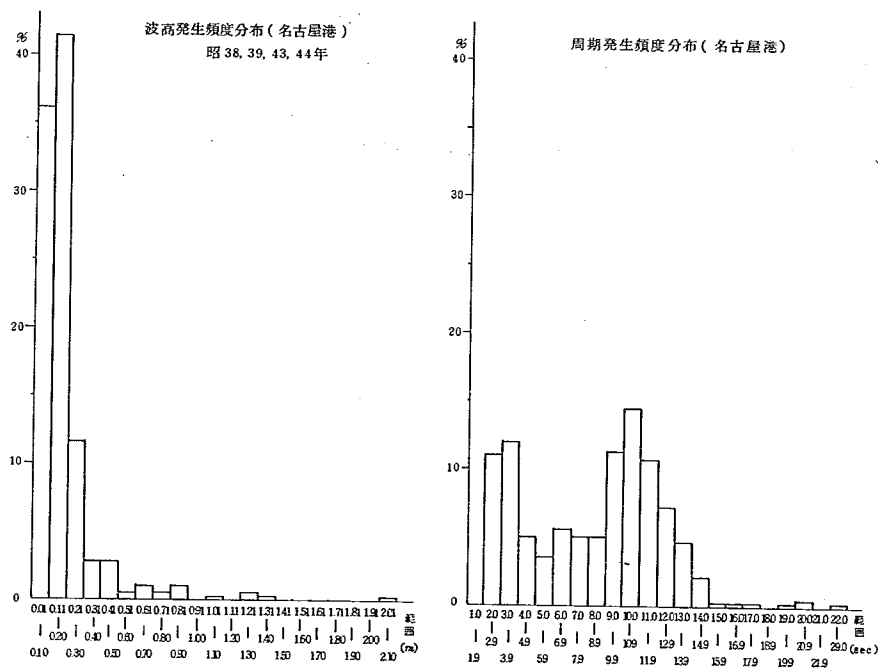


図-Ⅱ-12(a) 波の生起頻度分布 (名古屋港)

湾口は湾内の最も広い部分と比較すると約 $1/5$ で、しかも鳥羽沖の半分は、ユンサ礁、沖の瀬などの岩礁が二重に張り出しており、波の通過する部分は大崎寄りの半分で約 3~4 Km の区間である。この区間の水深は湾口が狭いために、その中央部の 2 Km の区間は 100 m にもおよぶ。しかしながら外海に出ると 20 m ぐらいになり、この湾口を通過する最大波高は限界波高をとっても 1.4~1.5 m である。湾口を通過した波は、通過とともに両側より張り出している岬による回折現象を受ける。また湾内の水深は湾の中央部の最も深い所で 35 m 前後であることから、外海からの侵入波浪の波長に比べ浅く屈折現象を受ける。さらに、波固有の速度分散と角伝播による分散を受け波高を減ずる。

速度分散というのは、風をうけて発達した波が、進行方向にいろいろな周期を持った成分波が重なり合っていることから起こるもので、周期の長い波程波速が速いために起こる分散現象である。角分散は、平面的な分散で風の主方

向から左右 90° の範囲内の各方向から風の影響を受けて発達した波が、その方向に向かって伝播して行くために生ずる分散現象である。このため、ある瞬間に通過した波は進行方向に速度分散、平面的に角分散を受け波高減衰する。この減衰の割り合いは、実測資料の欠如によって定量的に把むことはできないが、神島と名古屋港の両地点の観測値から推定して、外海波浪の影響はほとんどなく、湾内で発生した波高に 0.2~0.3 m 程度加えてやれば十分であろう。

また、来襲波が河口近くの水深の浅い海域へ進むと海底粗度の影響による摩擦減衰を受ける。この海底摩擦による波高減衰率は Bretschneider によって提案され、水理公式集 (P-466) に示されている。

以上のように、木曾三川河口に来襲する波は、まず湾内で発達する波を推定し、この波の河口デルタ上における海底摩擦による減衰と外海からの波の重ね合わせを考えれば良い。

湾内を風域として発達する波の計算は、伊勢湾台風直後に井島によって行なわれた。また、このたび、45、46 年の 2 カ年にわたり、建設技研が事務所の発注によって伊勢湾をモデル台風として広範囲な計算を行なった。

井島の計算は Wilson の図式解法によって計算されたものであり、伊勢湾台風によって各地に来襲した波を次のように推定している。

地 名	来襲方向	$H \frac{1}{3}$	$T \frac{1}{3}$	時 刻
四 日 市	S E	3.3	6.2	2 1 時 1 8 分
	S S E	4.3	7.6	2 2 時 0 9 分
	S	3.0	6.4	2 1 時 5 7 分

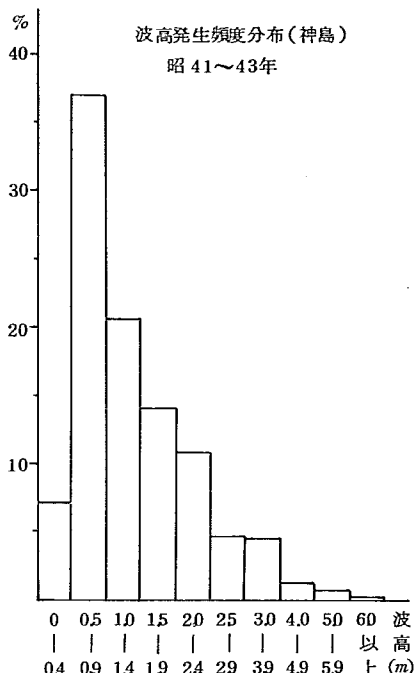


図-12(b) 波の生起頻度分布 (神島)

木曾川沖 SSE 3.5 6.7 22時03分
S 3.9 7.5 22時15分 d=8.0mにおける波高

建設技研の計算は、台風規模としては伊勢湾台風を考え、この台風を伊勢台風の実績コースや、その他モデルコースに乗せて推算したものである。計算方法はWilsonのIV式を用いている。この結果は表Ⅱ-2に示すようになっている。

表Ⅱ-2 伊勢湾台風をいろいろなコースに乗せた場合の発生波浪（技研）

台風の来襲コース 欄		A	B	C	D	E	D ₃	Ⅲ ₁	Ⅳ ₁
包絡線上の最大波 Hm(1)		5.7	5.7	3.9	4.6	3.5	4.8	4.3	5.0
Tsec(2)		7.9	7.9	6.8	7.3	6.5	7.4	7.1	7.5
平均線上の最大波 Hm(3)		5.1	6.1	3.3	4.0	2.9	4.1	3.8	4.6
Tsec(4)		7.6	7.5	6.4	6.8	6.0	6.9	6.7	7.2
気象	平均風速 U _m /s (5)	35.4	34.8	24.7	28.9	22.8	28.0	27.0	29.0
	吹送距離 XKm (6)	50	50	50	50	50	50	50	50
	平均水深 h m (7)	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
上欄条件による Hm(8)		5.4	5.3	3.6	4.3	3.3	4.2	4.0	4.3
深海波 Tsec(9)		7.7	7.6	6.5	7.0	6.3	7.0	6.8	7.0
" Hm(10)		5.1	4.9	3.5	4.0	3.2	4.1	3.8	3.9
浅海波 Tsec(11)		8.7	8.6	7.2	7.8	6.9	7.8	7.5	7.6
補正係数 (10)/(8)(2)		0.946	0.932	0.968	0.935	0.965	0.976	0.950	0.907
デルタ前面の波 Hm=(3)×(12)(3)		4.8	4.8	3.2	3.7	2.8	4.0	3.6	4.2
Tsec=(4)(14)		7.6	7.5	6.4	6.8	6.0	6.9	6.7	7.2
浅水係数 Ks (15)		1.01	1.01	0.95	0.97	0.94	0.96	0.97	0.99
摩擦係数 Kf (16)		0.52	0.52	0.63	0.56	0.68	0.57	0.59	0.54
堤防前面の波高 Hm(17)		2.6	2.5	1.9	2.0	1.8	2.2	2.1	2.2
Tsec(18)		7.6	7.5	6.4	6.8	6.0	6.9	6.7	7.2

詳しくは木曾三川高潮解析検討報告書を参照されたいが、その内容の概略を述べると次のようになる。
台風の規模として伊勢湾台風を想定しこの台風の目のコースをA・B・C…とする。台風がこのコース上を通過するときの伊勢湾内の風から、木曾川河口に来襲する波の波高を10°間隔ごとに4方向のfetch line 仮定しこの線上に沿って計算している。

包絡線上の最大波というのが、この4方向で発達した波の最大値である。

台風のコースのAB…は次のようになっている。

A: 伊勢湾台風実績コース

B: " を西へ20Km平行移動したコース

C: 伊勢湾台風をモデルかし Bコース上を走らせる。

D: " 南北に走らせる。

E: " 13号台風のコース上を走らせる。

Ⅲ: " 実績コースを西へ40Km平行移動

Ⅳ: " " 東へ20Km "

計算は fetch line 上で fetch 間隔を $\Delta X = 5.0 \text{ Km}$ に区切り, 風速変化は 30 分間ごとに求め, $\Delta X = 5.0 \text{ Km}$ で発達する波を逐次風速変化を考慮しながら加ね合わせて終端の波を計算するのである。

伊勢湾は水深が浅く波の発達に関しても, 水深の浅い $d/L_0 \leq 1/2$ の領域に入ると, 浅海領域として海底摩擦による波の減衰効果を考慮しなければならないのであるが, ここで用いる方法は fetch line 上の水深を一樣とみなし, 深海波 (Wilson) による計算値と浅海波 (Bretshneider) による計算値を比較し, これが海底摩擦による減衰分だとしている。この比を補正係数だとして表中の欄に示されている。この補正係数を計算値(3)にかけて海底摩擦の影響を考慮したデルタ前面の波として欄に示している。これによると,

湾内で発生する波は, 波高 3.0 m ~ 5.0 m, 周期 6 ~ 8.0 sec となっている。

また, 対岸距離が 50 ~ 60 Km の海域では, 便宜的な方法として, 風速および風向が一定であると仮定して, 波の推定を行なう場合もある。これは, 前にも述べたように一定期間一定風速が吹き続けたものとして計算される。

計算方法は, 水理公式集 P492, Fig 3.3, 3.4 などにより図上計算する。木曾三川の場合, 最大吹送距離は 60 Km である。風を 20 ~ 30 年確率でとると 35 m/s である。吹送時間を 2 時間として SMB 法で計算すると, 次のようになる。

風 速 (m/s)	吹送時間	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
35	2	5	8.5
30	4	4.6	8.5
25	7	3.6	7.8

以上のように木曾三川沖のデルタ前面に来襲する波の波高は, 計算方法によって多少の相違はあるが, $H_{1/3} = 3.0 \sim 5.0 \text{ m}$, $T_{1/3} = 7 \sim 9.0 \text{ sec}$ と予想される。

この波が水深の浅いデルタ域に入ると, 前にも述べたように海底摩擦の影響を受けて減衰する。この減衰率は Breischneider によって与えられている。

$$K_f = \frac{H_2}{H_1} \left[\frac{f H_1 \phi f \Delta X}{K_s T^4} + 1 \right]^{-1}$$

$$K_s = \text{浅水度係数} = \sqrt{\frac{1}{2n} \frac{C_0}{C}}$$

f = 摩擦係数

$$\phi_f = \frac{64}{3} \cdot \frac{\pi^3}{g^2} \left(\frac{Ks}{\sinh(2\pi h/L)} \right)^3$$

H_1 = 初期波高

H_2 = ΔX 伝播後の波高

こゝで、 ΔX をどのように取るか議論的になるところであるが、デルタの部分を一様地盤高とし、長さは $\Delta X = 3.0 \text{ Km}$ として波浪減殺を計算すると次のようになる。

計算条件を

水 深 $h = 6.5 \text{ m}$

距 離 $\Delta X = 3.0 \text{ Km}$

摩擦係数 $f = 0.01$

とする。

なお波高は、計算によって求められる波高が有義波であることから、 $1/10$ および最大波に対応するものまで計算した。

表-Ⅱ-3 堤防前面の波高 ($\Delta X = 3000 \text{ m}$)

潮 位	デルタ前面の波高	周期		
		T=5.0	7.0	9.0 sec
T.P+3.5 m	$H_1 = 2.5 \text{ m}$	$H = 1.95 \text{ m}$	$H = 1.83 \text{ m}$	$H = 1.78 \text{ m}$
	3.5	2.48	2.27	2.16
	4.5	2.92	2.65	2.52
	5.0	3.20	2.90	2.75
4.0	2.5	2.05		
	3.5	2.69	2.42	2.34
	4.5	2.329	2.93	2.74
	5.0	3.55	3.04	2.94
4.5	2.5	2.14	1.97	1.92
	3.5	2.80	2.56	2.45
	4.5	3.46	3.11	2.92
	5.0	3.70	3.34	3.25
5.0	2.5	2.20	2.00	1.97
	3.5	2.94	2.66	2.59
	4.5	3.60	3.24	3.10
	5.0	3.95	3.50	3.30

地盤高 T.P -2.0として計算

表一Ⅱ-3のように、デルタ前面の波はデルタを伝播することによって減衰し、堤防に達するときには波高2.5～3.5 m程度となり4.0 mを越すようなことはない。この湾内の波に前に述べた外海から湾口を通ってきた長周期波のうねりと、デルタ上3 Km区間で風の影響を受けて発達する波高分を重ね合わせるのがあるが、長周期波は海底摩擦の影響を受けやすい。また、波高が大きくなればなる程減衰率が大きくなる。3.0 Kmのデルタ区間は6.0 Kmに比べると5 %程度の長さであり、これを厳密に取り扱うことにはあまり意味はなかろう。また、上記の波浪推算法もそれ程厳密な値を与えるものでもないし、デルタ上の水みちの部分は水深が他の場所に比べ1～2 mは深くなっている。また将来計画としては、導流堤沿いにデルタを掘り下げる計画となっている。

これらのことを考え合せると現計画波高の2.5 mは小さすぎるようであり、堤防前面の波高としても3.0～3.5 m程度をとるのが適当ではなかろうか。周期はSMB法による計算値は多少長めに出るとのことであるから、8.0 sec程度が適当であろう。

5. 潮 位

海岸構造物の設計に用いる計画潮位は、従来過去の既往最高潮位か、またはさく望平均満潮位+最大偏差のいずれかをとってきたが、最近は後者によることが多くなった。

最大偏差に既往最大偏差や、モデル台風による数値計算による結果などが用いられている。木曾三川河口付近の現計画潮位は特例で台風期の平均満潮位(1.00)に+最大偏差(3.52)=4.52が用いられている。

異状高潮位は、天体潮に気象潮が重なり合って生ずるものであり、天体潮を不変の周期運動とすると、既往最高潮位やさく望平均満潮位+最大偏差をそのまま計画量として採用することにはいろいろ問題がある。既往最高潮位はある天体潮にその時偶然に発生した気象潮が重なった値であり、後者は最大偏差が常にさく望平均満潮位に重なるものとして定めた値である。さく望平均満潮位が月間4～5回程度しか生起しないことから見て、最大偏差がさく望平均満潮位に重なることは非常に稀れでこの値を他の計画量に比べると極端に過大になる。

一例として、名古屋港と城南における過去の潮位実況から、さく望満潮位、平均満潮位以上の潮位の継続時間をみると次のようになる。

表一Ⅱ-4は、昭和44年8,9,10月の実測潮位にもとずき計算したものである。3カ月間の記録ではあるが、この表よりさく望平均満潮位や平均満潮位以上の潮位の継続時間の概略は知ることができよう。

さく望平均満潮位以上の潮位の継続時間は、月平均5 %前後であり、これに最大偏差が重なるのは最大偏差の継続時間が台風の目の通過前後の数10分から長くても1時間前後であることからみて非常に稀れである。一方、平均満潮位以上の潮位の継続時間は月平均15 %前後であり、満潮位と最大偏差が重なることは稀れであっても、これを1日に換算すると3～4時間となり、台風の継続時間を4時間程度とすると、台風の継続時間内に満潮位が生ずる可能性はかなり高くなる。

木曾三川河口のように堤防前面が数Kmにわたって一様水深の場合には、この一様部分の水深によって堤

防前面に到達する波高が定まることから計画潮位をいくりにするかは、波高を推定するうえからも重要である。

表-Ⅱ-4 平均満潮位、さく望平均満潮位以上の継続時間

地 名	名 古 屋 港				城 南			
	平均満潮位 時 間	%	さく望平均満潮位 時 間	%	平均満潮位 時 間	%	さく望平均満潮位 時 間	%
8 月	104.6	14.1	35.8	4.8	65.2	8.8	26.3	3.5
9 月	109.6	15.2	51.4	7.2	90.2	12.5	29.0	4.0
10月	102.8	13.8	31.9	4.2	81.3	10.9	20.2	2.7
3カ月間	317.0	14.4	119.1	5.4	236.7	10.8	75.5	3.4

平均満潮位 T.P+0.9 m

さく望平均満潮位 T.P+1.1 m (1.19)

3カ月間のべ時間 2,208時間

また、図-Ⅱ-13、14は名古屋港における年最大潮位と年最大偏差の確率分布を示したものである。観測年間は昭和24年～44年の20年間であるが、この間の最高潮位は伊湾台風時のT.P+3.82m、最大偏差は3.55mであった。図からも明らかなように年最大潮位は正規分布に乗らない。これは年最大潮位が天体潮と気潮位の重なり合ったものであり、それぞれの生起原因が天体の運動と気象現象によるもの

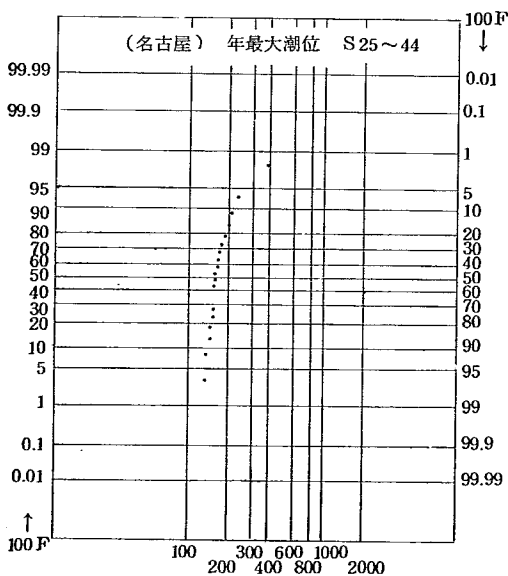


図-Ⅱ-13 年最大潮位超過確率

年最大潮位超過確率

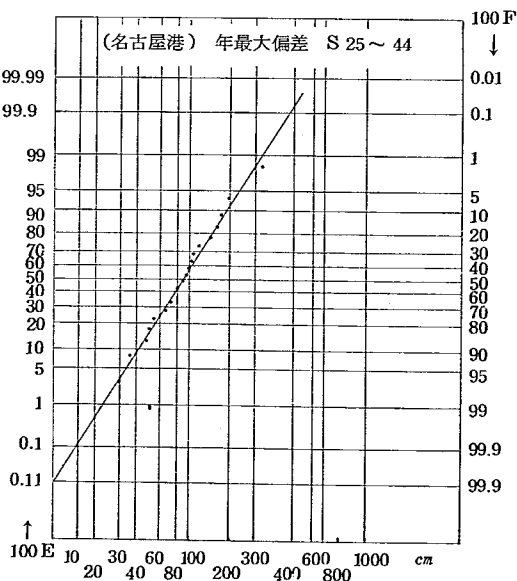


図-Ⅱ-14 年最大偏差超過確率

年最大偏差超過確率

と異なるために確率現象として示されないのである。このことからみて、既往最高潮位を生起確率的な計算量としてとることは何等意味を持たない。一方、年最大偏差はかなり良く直線に乗っており、正規確率現象としてみることができる。したがって、計画潮位としては天体潮を基本値としてこの上に偏差を重ね合せるのが望ましい方法と思われる。では基本値として取る天体潮としては、さく望平均満潮位か平均満潮位か平均潮位のいずれが良いのであろうか。伊勢湾台風の偏差3.52mは60～70年に1回の生起確率現象であり、平均潮位を基本値と考えても100年に1回の確率現象と予想される。偏差に100年確率をとり、さく望平均満潮位を重ね合せることはほぼ2000年の生起確率に等しくなり、平均満潮位をとっても500～600年に一度となり、洪水位などに比べるとかなり高い値となる。

また、ここに述べた潮位はほとんど名古屋港の記録を規準にしたものであり、木曾三川河口付近はこれに比べると若干小さくなることが予想される。この点については、建設技研が波浪の項で述べた各コースについて高潮の数値計算を行ない検討している。

計算結果は表Ⅱ-5のようになっており、名古屋港寄りの湾奥に向うにしたがって偏差は大きくなっている。名古屋港と揖斐川河口との差は0.5～0.7m程度になっている。また計算結果によると、実績台風が実績コースを通ったときに最も偏差が大きくなっている。伊勢湾台風時の実測値と等しくなっているが、これは計算上各種の条件や係数を変え合わせているからである。

表Ⅱ-5 最大偏差 (技研)

	木曾川河口	長良川河口	揖斐川河口	名古屋港
	(13.1) (13.1)	(13.1) (13.1)	(19.1) (12.1)	(00.1) (11.1)
A	(290)	(275)	(275)	(358)
B	(280)	(268)	(268)	(306)
C	(207)	(194)	(194)	()
D	(240)	(206)	(206)	(281)
E	(161)	(150)	(150)	()
I ₁	(283)	(274)	(224)	()
I ₂	273 (275)	264 (266)	360 (266)	(324)
III ₁	213 (213)	200 (204)	190 (204)	(245)
N ₁	(207)	(204)	(204)	(237)
D ₂	(211)	(198)	(198)	(259)
D ₃	238 (238)	223 (238)	223 (232)	(271)

注 上表で()内の数値は広域計算の結果を示す。

〃 ()無しは〃 狭域計算

6. 許容越波量

許容越波量は堤防背後地の人家の集落の状況、土地の経済性、地盤高や排水能力などから決められるべきものである。当実験の実験対象地区である長島・城南地区は河口デルタの周辺に堤防が築堤されたものであり、海岸や河川高潮堤に三方が囲まれた地盤高が1.0 mにも満たない農耕地帯で、人家はこの農耕地1~2.0 m盛土した部分に帯状に集落をなしている。また近年は、中京のレクリエーション地域として長島温泉周辺が観光地および別荘地としての開発が進められ、土地の経済性は急激に高まりつつある。これらのことからみて、許容許波量は堤内地の開発とともに変るものであろうが、現時点では作物に対する許容値から決められる。作物に対する許容地は、作物に対する限界推水深と排水能力、堤防の築堤費用と作物に対する被害額のかね合い等から決められるであろう。

この地域の作物の主なもののは水稻である。事務所の調査によると、水稻と越波量の関係は次のように言われている。

- ①当該地区は水稻の早期栽培地区で、8月20日~9月上旬の台風期前半で収穫が終る。
- ②収穫前に湛水した場合10~20 cm程度であれば、稲は枯れるが収穫は2割程度減る。ただし、品質は死米となり大巾に低下する。
- ③湛水が一週間にもわたれば稲は倒れ収穫は期待できない。
- ④海水が侵入した場合、冬の間に除塩作業を積極的に行なえば、翌年の稲作にはそれ程大きな影響はない。

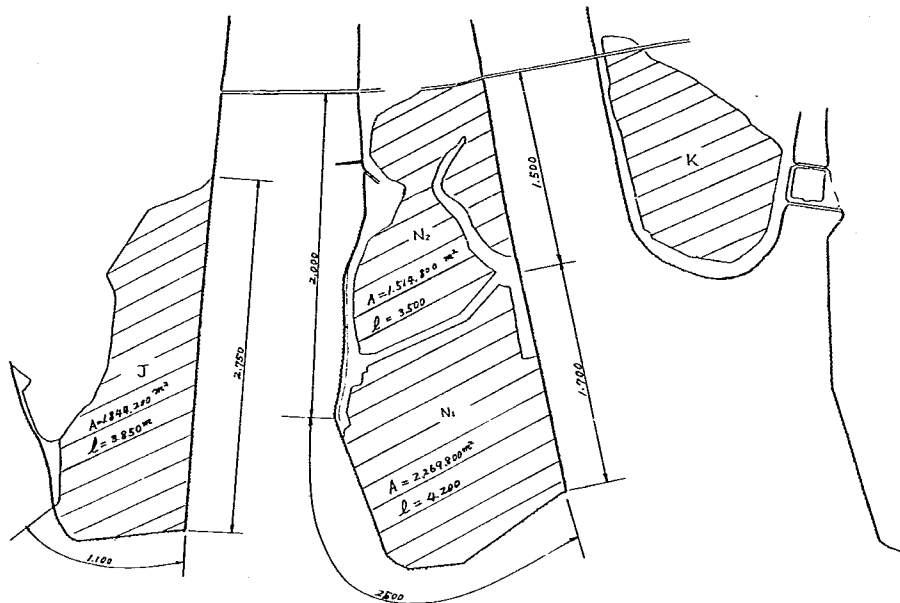
これらのことからみて、水稻に対する許容値は、湛水深20 cm以下と考えられる。許容湛水深を20 cmとして、許容越波量を計算すると $0.2 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{T}$ 前後となる。この計算根拠および考え方を示すと次のようになる。

高潮および高波の継続時間は伊勢湾台風などから推定して2時間、降雨は時間雨量20 mm (伊勢湾台風24.4 mm)と仮定し、越波量は各地域とも単位幅当り一定とする。越波した波は堤防背後の農耕地帯に一樣に堆水するものとする。各地域を図一Ⅱ-13に示すように $J \cdot N_1 \cdot N_2$ の各地区ごとに分類し、この地区内に堤防より一樣に越波し堆水するものとする。堆水面積をプランメーターにより測定し、堤防延長とを示すと次のようになる。

区分記号	堆水面積 (Km^2)	堤防延長 (Km)
城南 J	1.84	3.45
長島 N_1	2.27	4.20
N_2	1.52	3.50

越波による湛水深は降雨量を差し引いた80 mm/時間として計算すると、堤防単位長さ(1 m)当り一時間の越波量は、それぞれの地域ごとに $J = 3.83$, $N_1 = 4.33$, $N_2 = 3.46 \text{ m}^3/\text{m}$ となる。一方、越波する波の波数はどのようにとればよいであろうか。

われわれが一般に波高と呼んでいるのは、有義波高であり、実験も有義波高に対応する規則波で行なっている。



図一Ⅱ-15 各地区面積と法線長

しかしながら、実存する波は不規則波である。そこで問題になるのが、有義波高によって定まる越波量が不規則波の場合にどうなるかであるが、これは過去の研究によると、有義波高で定めた越波量は不規則波にもそのまま適用されると言われている。来襲波の周期を 8.0 sec とすると、一時間に越波する波の総数は 450 波となる。したがって一波当りの越波量は $0.08 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{T}$ となる。

なお、これだけの湛水量を排水ポンプによって完全に排水が終了するまでにどのくらいの時間が必要であるかをみると、次のようになる。各地域の排水ポンプの容量は城南 $8.230 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、長島 $2.88 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $8.517 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。後続の流出量平均を城南 $5.34 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、長島 $2.88 \text{ m}^3/\text{sec}$ として計算する。

城南地区

$$\text{湛水量 } V = 1.84 \times 10^6 \times 0.2 = 368,000 \text{ m}^3$$

$$\text{排水能 } Q_0 = 29.628 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{流出量 } Q = 19.200 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{湛水排水時間 } T = V / (Q_0 - Q) \div 35 \text{ 時間}$$

長島地区

$$\text{湛水量 } V = 3.79 \times 10^6 \times 0.2 = 758,000 \text{ m}^3$$

$$\text{排水能 } Q_0 = 44.100 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ (松陰, 大島)}$$

$$\text{流出量 } Q = 40.300 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{湛水排水時間 } T = V / (Q_0 - Q) \div 200 \text{ 時間}$$

長島地区においては 20 cm 湛水すると排水するのに 8 日間程かかり、直ちに雨が止んだとし、流出量が

半減したとしても1.5～2.0日間かゝる。

7. 結 論

①木曾三川沖に来襲する波は、ほとんど湾内で発生した波であり、デルタ前面において波高 $H=4\sim 5.0$ m, 周期 $T=7\sim 9$ sec となる。堤防前面に達する波は、このデルタ上で海底摩擦の影響をうけ減衰し $H=2.5\sim 3.2$ mになる。したがって計画波浪としては $H=3.0$ m前後が妥当な値と考えられる。

②伊勢湾台風の偏差3.55 mは60～70年に一回程度の生起確率であり、これにさく望平均満潮位を加え重せることは、かなり高い確率現象となる。

③偏差を名古屋港と木曾三川沖で比較すると、木曾三川沖の偏差は名古屋港に比べ0.5 m程低くなる。

④許容越波量は、水稻に対する許容堆水深を20 cmとして計算すると、 $0.1\text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{T}$ となる。

⑤基礎地盤の地盤沈下は今後も引き続き、昭和60年頃には0.5～1.0 mにも達すると推定されている。したがって、堤防の形状を考える場合には、将来のかさあげに対処できるような形状が望ましい。

Ⅲ 木曾三川河口部高潮堤の形状に関する模型実験

1. 実験目的

木曾三川高潮対策模型実験としては揖斐川河道内の波浪入射実験と、木曾三川河口部高潮堤の形状および構造に関する模型実験から構成されているが、本実験は木曾三川河口部高潮堤の形状に関する検討を目的とした2次元実験である。検討事項は堤防天端高および複断面形状の考察および決定である。

河口部高潮堤は大別すると海岸堤防と河川堤防に分けられ、実験もそれぞれについて行なっている。検討方法は現状堤防の機能調査と、補強計画案堤防の機能調査およびそれらの堤防形状に関する考察を行なった。

波浪、潮位等の計画諸元に対しては比較的広い範囲を考え、それらに対処できるよう実験を行なった。

2. 実験方法と実験装置

実験に用いた水路は、土木研究所赤羽支所内にある屋内造波水路で、その諸元は次の通りである。

水路：長さ約35m、幅0.6m、高さ1.5m、(水深0.5～0.7m)、一部両面ガラス張りの鋼鉄製の水路である。

造波機：造波板はユニバーサルタイプで、波高はこの造波板の振幅と振幅角度を変えることにより、周期は可変速モーターの主軸の回転数を変えることにより任意に得られる。

模型の縮率は1/25で相似則にはFroudeの相似則を適用した。Froudeの相似則は、現物と模型のFroude数を合せることによって成り立つ。長さLの縮率を1/25とすると、実験に用いる各諸元は次のようになる。

$$\text{長さ} [L] = \frac{h_m}{h_p} = \frac{H_m}{H_p} = \frac{L_m}{L_p} = \frac{R_m}{R_p} = \frac{1}{25}$$

$$h = \text{水深} \quad H = \text{波高} \quad L = \text{波長} \quad R = \text{うちあげ高}$$

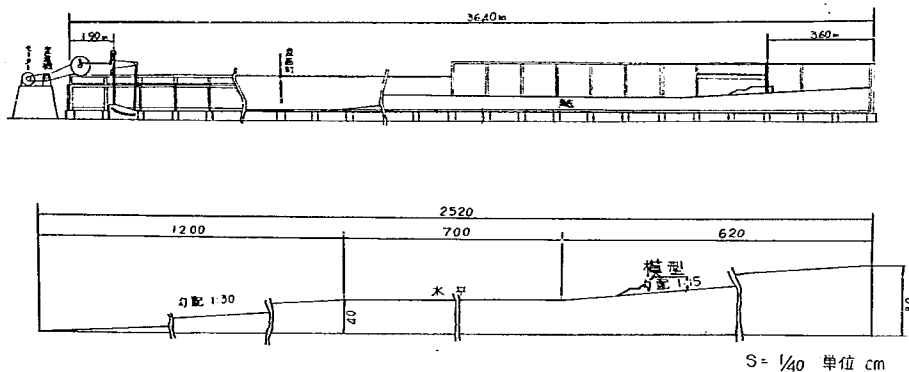
$$\text{時間} [T] = \frac{T_m}{T_p} = \frac{1}{5}$$

$$T = \text{周期}$$

$$\text{体積} [V], \text{重量} (W) = \frac{L_m^3}{L_p^3} = \frac{w}{w} \frac{L_m^3}{L_p^3} = \left(\frac{1}{25}\right)^3$$

模型はすべて木製で、海床、堤防はすべて固定床である。現地の海床は堤防前面3kmにわたってほぼ水平であるが、模型でこの3km区間をそのまま相似することはできないので、図-Ⅲ-1に示すように長さ17.5mとし、それより以深は1/30のこう配で深くなっているものとした。

この海床模型を水路の一端に据え付け、この上に河床、堤防の模型を配置し、他端の造波板で起波した波をあて、堤防上のうちあげ高や越波量を測定した。



図一Ⅲ-1 実験水路および模型配置図

波高は、抵抗線式波高計を水路の最深部の一定水深の所に据え付け、波高計からの入力を市販の歪増幅器で増幅し、直視式電磁オシログラフに記録した。うらあげ高は、堤防ののり面に付した 1.0cm 間隔の目盛を目視測定し、越浪量は、越波した量を堤防背後に導びき集水シメスシリンダーで直接計量した。

実験に用いた波は波高、周期とも一定の規則波で、波を起し始めてから波高の小さい初めの 5～10 波を除き、しかも堤防からの反射波の入らない様な部分で 5～10 波をとり、これを平均して測定値とした。この測定値を、測定したところの水深から沖波に微小振幅波理論により換算した。図一表の多くはこの沖波によって示されている。したがって実際に堤防等に入射する波は、堤防前面の 3.0 Km の水平床上で摩擦抵抗を受けるとともに水深が浅くなることによる影響を受けた波であるが、これは模型上では現われていない。水平床の影響としては 3 Km が 175 m に対応している。実験値を現地に適用するには、この減衰分を補正しなければいけない。しかしながらこれらの補正は、計画潮位、計画波浪などが明らかにされて初めて求めることができるもので現状では解決されない。ここでは、沖波々高を堤防前面の水深における波高に換算する浅水度係数 (K_s) と、3.0 Km の水平床上の摩擦減衰係数 (K_f) を示し、それぞれの条件に応じて実験結果を適用して頂くことにする。各水理条件のもとの K_s および K_f は表一Ⅲ-1 に示すとおりとなる。

表一Ⅲ-1 浅水係数 K_s 、摩擦減衰係数 K_f の表

浅水係数 K_s

潮 位	T = 5		7		9		13	
	H/H_0	L/L_0	H/H_0	L/L_0	H/H_0	L/L_0	H/H_0	L/L_0
3(5.0)	0.9175	0.7795	0.9815	0.5960	1.044	0.5061	1.123	0.421
3.5(5.5)	0.9144	0.801	0.9680	0.6210	1.026	0.526	1.096	0.444
4.0(6.0)	0.9132	0.826	0.9570	0.6445	1.011	0.547	1.081	0.462
4.5(6.5)	0.9132	0.8445	0.9481	0.6655	0.9986	0.566	1.064	0.4839
5.0(7.0)	0.9144	0.8645	0.9406	0.6855	0.9863	0.584	1.050	0.492

表Ⅲ-1 摩擦減衰係数 K_f

$$f = 0.01$$

$$\Delta X = 3,000 \text{ m}$$

潮位 TP+m	デルタ 前面の波高	周期 T = 5.0	7.0	9.0 sec
	$H_0 = 2.5 \text{ m}$	0.79	0.73	0.71
3.5	3.5	0.71	0.65	0.62
5.5	4.5	0.65	0.59	0.56
	5.0	0.64	0.58	0.55
	2.5	0.82	0.76	0.73
4.0	3.5	0.77	0.69	0.67
6.0	4.5	0.73	0.65	0.61
	5.0	0.71	0.61	0.59
	2.5	0.855	0.79	0.77
4.5	3.5	0.80	0.73	0.70
6.5	4.5	0.77	0.69	0.65
	5.0	0.74	0.67	0.65
	2.5	0.88	0.80	0.79
5.0	3.5	0.84	0.77	0.74
	4.5	0.80	0.72	0.69
7.0	5.0	0.79	0.70	0.66

実験に用いた水理条件は、第Ⅱ章で検討した値を基準にして次のようにきめた。

潮位 TP+ 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 m

波浪 波高 $H_0 = 1.5 \sim 5.0 \text{ m}$

周期 $T = 5.0 \sim 13.0 \text{ sec}$

これらの水理量は、かなり広範囲のものである。周期 10.0 sec 以上の波は伊勢湾内では発生しえない波であるが、名古屋港の実測資料にも見られるようにかなりの頻度を持っているのでこれも範囲内に入れた。しかしながら波高は 2.5 m 以下とした。

各実験項目ごとに実験に用いた水理量を取りまとめて示すと、表Ⅲ-2 のようになる。表からも明らかのように、実験は広範囲なものであり、現状堤防の機能調査、各種計画案や小段形状の検討などについて行なわれている。

表Ⅲ-2 海岸、河川高潮堤防模型実験条件

〔Ⅰ〕 海岸高潮堤防に関する実験

1-1 現海岸高潮堤防の機能調査

1-1-1	$T = 9.0 \text{ sec}$	潮位 T.P 4.0 m	$H_0 = 2.5 \sim 4.5 \text{ m}$	越波量測定〔堤頂高 T.P 7.5 m〕
	$T = 9.0 \text{ sec}$	T.P 3.5 m	$H_0 = 2.5 \sim 4.5 \text{ m}$	" ["]
1-1-2	$T = 7.0 \text{ sec}$	T.P 4.0 m	$H_0 = 2.5 \sim 4.5 \text{ m}$	越波量測定〔堤頂高 T.P 7.5 m〕

1-2 本省案の検討

1-2-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 4.0m	$H_0=2.5\text{m}\sim 4.5\text{m}$	越波量測定〔堤頂高 T.P 7.5m〕
	T=7.0 sec	T.P 4.0m	$H_0=2.5 \sim 4.5\text{m}$	" ["]

1-3 土研案の検討 - 1

1-3-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=2.5\text{m}\sim 4.5\text{m}$	うち上げ高測定 越波量測定〔堤頂高 T.P 7.5m〕
	T=9.0 "	T.P 4.5m	$H_0=2.5 \sim 4.5\text{m}$	" " ["]
	T=9.0 "	T.P 4.0m	$H_0=2.5 \sim 4.5\text{m}$	" " ["]

土研案の検討 - 2

1-3-2	T=9.0 sec	潮位 T.P 4.5m	$H_0=2.5\text{m}\sim 4.5\text{m}$	うち上げ高測定 越波量測定〔堤頂高 T.P 7.5m〕
	T=9.0 "	T.P 4.0m	$H_0=2.5 \sim 4.5\text{m}$	" " ["]

〔Ⅱ〕 河川高潮堤防に関する実験

2-1 河川高潮堤の機能調査

2-1-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 4.5m	$H_0=2.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$	うち上げ高測定	越波量測定
	T=9.0 "	T.P 4.0m	$H_0=2.5 \sim 5.0\text{m}$	"	"
	T=9.0 "	T.P 3.0m	$H_0=2.5 \sim 5.0\text{m}$	"	"
2-1-2	T=7.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=1.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$	うち上げ高測定	越波量測定
	T=7.0 "	T.P 4.0m	$H_0=1.5 \sim 5.0\text{m}$	"	"

2-2 現状沈下堤の機能調査

2-2-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 4.5m	$H_0=1.5\text{m}\sim 5.5\text{m}$	うち上げ高測定
	T=9.0 "	T.P 3.0m	$H_0=3.0 \sim 4.0\text{m}$	"
2-2-2	T=7.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=2.5\text{m}\sim 4.0\text{m}$	うち上げ高測定

2-3 現状沈下堤+高水敷

2-3-1	T=7.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=1.5\text{m}\sim 3.0\text{m}$	うち上げ高測定
2-3-2	T=5.0 sec	T.P 5.0m	$H_0=1.5 \sim 2.5\text{m}$	"

2-4 小段造成の機能調査

2-4-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=2.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$	うち上げ高測定	越波量測定
	T=9.0 "	T.P 4.0m	$H_0=2.5 \sim 5.0\text{m}$	"	"
	T=9.0 "	T.P 3.0m	$H_0=2.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$	"	"
2-4-2	T=7.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=1.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$	うち上げ高測定	越波量測定
	T=7.0 "	T.P 4.0m	$H_0=2.5 \sim 4.0\text{m}$	"	"
	T=7.0 "	T.P 3.5m	$H_0=3.0 \sim 5.0\text{m}$	"	"
2-4-3	T=5.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=1.5\text{m}\sim 3.0\text{m}$	うち上げ高測定	越波量測定
	T=5.0 "	T.P 4.0m	$H_0=1.5 \sim 3.0\text{m}$	"	"
	T=5.0 "	T.P 3.5m	$H_0=3.0 \sim 4.5\text{m}$	"	"

2-5 最終案堤の機能調査

2-5-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 5.0m	$H_0=2.5\text{m}\sim 5.0\text{m}$	うち上げ高測定
-------	-----------	-------------	-----------------------------------	---------

	T=9.0 sec	潮位 T.P 4.0m	H ₀ =2.5m~5.0m	うち上げ高測定
2-5-2	T=7.0 sec	潮位 T.P 5.0m	H ₀ =1.5m~3.5m	うち上げ高測定
	T=7.0 "	T.P 4.0m	H ₀ =1.5 ~4.0m	"

2-6 最終案堤+高水敷

2-6-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 5.0m	H ₀ =2.5m~5.0m	うち上げ高測定
	T=9.0 "	T.P 4.0m	H ₀ =2.5 ~5.0m	"
2-6-2	T=7.0 sec	T.P 4.5m	H ₀ =1.5 ~4.0m	うち上げ高測定

2-7 小段造成形状の一般的考察

2-7-1	T=7.0 sec	潮位 T.P 4.0m	H ₀ =2.5m~4.5m	うち上げ高測定	小段幅 5, 15, 30m
	T=9.0 "	T.P 4.5m			
2-7-2	T=7.0 sec	潮位 T.P 4.0m	H ₀ =4.0m	うち上げ高測定	小段こう配 1/10 , 1/30, 水平,
	T=9.0 "	T.P 4.5m	H ₀ =4.5m		
2-7-3	T=7.0 sec	潮位 T.P 4.0m	H ₀ =4.0m	うち上げ高測定	小段高 T.P 2.5m T.P 4.0m, T.P 5.5m
	T=9.0 "	T.P 4.5m	H ₀ =4.5m		

2-8 小段造成堤の形状考察

2-8-1	T=7.0 sec	潮位 TP 5.0m	小段高 TP 4.5m	小段長 現案	うち上げ高測定	越波量測定	堤頂高 5.9m6.5m
	T=7.0 "	TP 5.0m	" TP 4.5m	" 30m	"	"	[" "]
	T=7.0 "	TP 5.0m	" TP 4.5m	" 30m(さん有)"	"	"	[" "]
	T=7.0 "	TP 4.0m	" TP 4.5m	" 現案	うち上げ高測定	越波量測定	堤頂高 5.9m
	T=7.0 "	TP 4.0m	" TP 4.5m	" 30m	"	"	[" "]

2-9 最終案堤の形状考察(消波工)

2-9-1	T=9.0 sec	潮位 T.P 5.0m	事務所案
	T=9.0 "	T.P 5.0m	消波工
	T=9.0 "	T.P 5.0m	機設置
	T=9.0 "	T.P 5.0m	階段状断面
2-9-2	T=9.0 sec	潮位 T.P 4.0m	事務所案
	T=9.0 "	T.P 4.0m	消波工
	T=9.0 "	T.P 4.0m	機設置
	T=9.0 "	T.P 4.0m	階段状断面

2-10 最終案堤防の形状考察(小段形状)

2-10-1	T=7.0 sec	潮位 T.P 5.0m	小段高 T.P 4.5m	小段長 現案	勾配 1割	うち上げ高測定	越波量測定
	T=7.0 "	T.P 5.0m	" T.P 4.5m	" 30m	" 1割	"	"
	T=7.0 "	T.P 5.0m	" T.P 4.5m	" 30m	" 1割(機有)	"	"
2-10-2	T=7.0 sec	T.P 4.0m	" T.P 4.5m	" 現案	" 1割	うち上げ高測定	越波量測定
	T=7.0 "	T.P 4.0m	" T.P 4.5m	" 30m	" 1割	"	"

3. 実験結果およびその検討

3-1 海岸高潮堤

①長島海岸堤の機能調査

海岸堤防には、長島海岸堤防で代表される愛知海岸堤防と、城南海岸堤防で代表される三重海岸堤防がある。前者は表のりこう配3～4.4割の上部に曲率半径1.3～1.5mのパラペットのついた天端高T.P.+7.5m単断面堤防であり、後者は河川高潮堤と同じ形状の複断面堤防で表のりこう配は2割で長さ3.5～4.0mの表小段がT.P.+3.0～4.0mの位置に設けられている。したがって城南海岸堤の機能の検討には後述の河川高潮堤の結果を流用することにし、海岸堤防の代表としては、長島海岸堤防をとった。実験に用いた堤防は図-Ⅲ-2に示すようにのりこう配4.4割の堤防である。

この長島海岸堤防が竣工当時どの程度の機能を持っていたかを越波量によって調べてみると図-Ⅲ-3のようになる。縦軸に単位幅当り一波毎の越波量を取り、横軸に波高をとりパラメーターに周期および潮位をとっている。

図からも明らかなように、越波量は波高が大きくなるとともに増し波高3.5～4.0mで最大値をとり、これをこえると再び減少している。越波量が最大になるのは、堤防前面のT.P.-2.0mの水平床上に限界波が来たときに対応している。例えば潮位T.P.+4.0m周期9.0secのときの碎波々高は、碎波指標によれば $H_0 = 4.2 \sim 4.3$ mである。

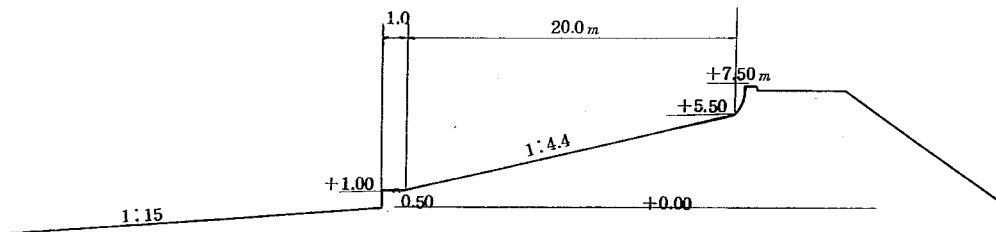


図-Ⅲ-2 現長島海岸堤防標準図

堤防前面に達する波の波高(H)=3.0mとして、図より越波量を計算すると次のようになる。

潮位 T.P.+3.5m	周期 $T=9.0$ sec	越波量 $Q=0.1 \text{ m}^3/\text{m} \cdot T$
+4.0	7.0	0
	8.0	0.02
	9.0	0.3

このように竣工当時の長島海岸堤防は、潮位T.P.+4.0m周期8.0sec程度の波に対しては十分な高さをもった堤防であったと推定される。しかしながら、長島地区は地盤沈下の最も著しい所であり、今日までにすでに1.0m以上も沈下しており、天端高は6.0～6.5mになっている。後に述べる、うちあげ高と越波量の関係からT.P.+7.5mの天端高の堤防と、+6.5mの天端高の堤防の越波量を比較すると、前者の場合に $0.02 \text{ m}^3/\text{m} \cdot T$ であったものが、いっきよに $0.5 \text{ m}^3/\text{m} \cdot T$ となり天端高が1.0m低くなったことに

より越波量は20倍になる。

実験の範囲が狭いために明確なことは言えないが、天端高 T.P.+6.0～6.5 m の堤防で越波を防ぐことのできる水量は、潮位 T.P.+4.0 m であれば、周期 7.0 sec 以下の波でしかも波高 1.5 m 程度までであろう。

②本省計画案

海岸堤防の最終計画断面として、本省海岸課より図-Ⅲ-4に示す断面形状の堤防が指示された。複断面形状の堤防で城南海岸堤にも適用されるもので、表小段の幅 5.1 m、設置高は+3.0～3.5 m でほぼ現状に近く、小段上を三連ブロックで二層に被覆している。この堤防の越波量を調べたのが図-Ⅲ-5である。図-Ⅲ-5は図-Ⅲ-3と同じ方法により示されているので、直ちに竣工当時の長島海岸堤防の越波量と比較することができる。

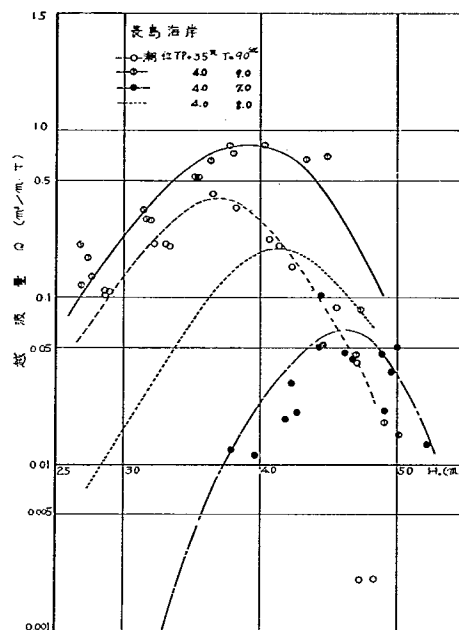


図-Ⅲ-3 長島海岸堤越波量

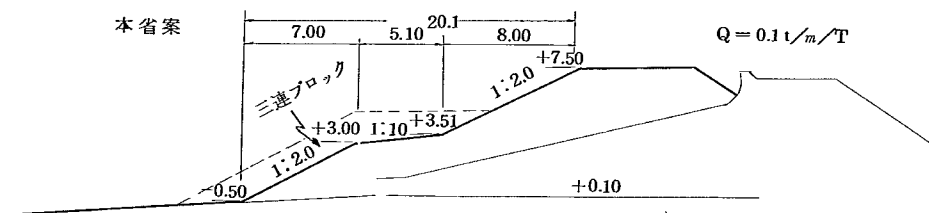


図-Ⅲ-4 本省海岸課案

全般に本省案の堤防の越波量が多く長島海岸堤防の越波量の約倍程になっている。このおもな理由としては次のようなことが考えられる。

①本省案の堤防の小段幅は 5.10 m であるが、この幅は後に述べるように周期 7～9 sec の波に対しては最も悪い影響を及ぼす幅である。

②堤防天端と堤防のり尻を直線で結ぶ一様斜面を仮定すると、現長島海岸堤防は 3.8～4.0 割、本省案 2.5 割程となり長島海岸堤防に比べ急である。堤防のり面こう配が 2 割以上になると、こう配がなだらかなる程うちあげ高や越波量は小さくなることが知られている。

③小段高が T.P.+3.0～3.5 m と潮位に比べ低く、この小段上を消波ブロックで被覆してもブロックが完全に水没するために消波効果は期待できない。

③土研案

以上のように本省案の堤防では、高潮堤防として十分その機能を全うすることはできない。そこでどの程度の断面を持つ堤防が必要であるかを示したのが図-Ⅲ-6に示す2断面の堤防である。断面の決定の基礎になった考えは、小段幅は小段幅の効果の現われる12~13m以上、小段高は小段上に消波工を設けた場合に十分に消波効果の期待できる高さを取り、小段こう配は小段上が波の谷のとき一瞬なりともDry, bedになる $1/20$ 以上とした。

土研案としてはいるが、この断面の堤防をそのまま推奨するものではない。この形状のまま施工することには種々の問題があろう。まず地盤の強度から図に示すような量の盛土が可能かどうか不明であるし、小段先端ののり面が2割のようこう配で、T.P.+4.0 5.0mで一息に立ち上がっている。当堤防に関する実験結果は、どの程度の断面形状にしたら越波量がどの程度まで減少するかを知る目安の一つと解釈していただきたい。

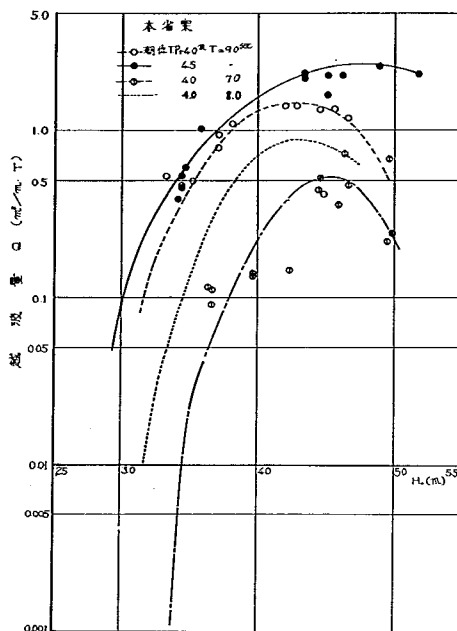


図-Ⅲ-5 本省海岸課案越波量

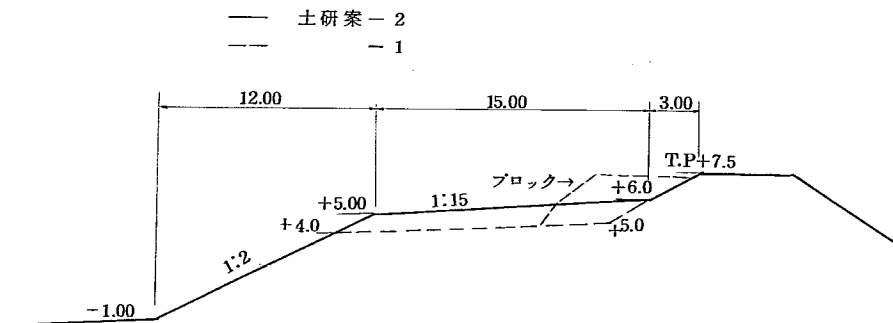
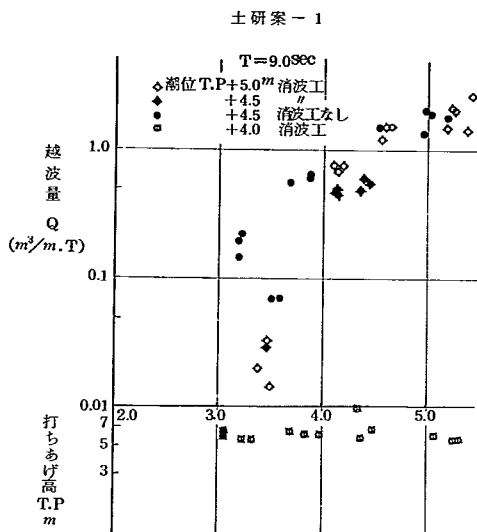
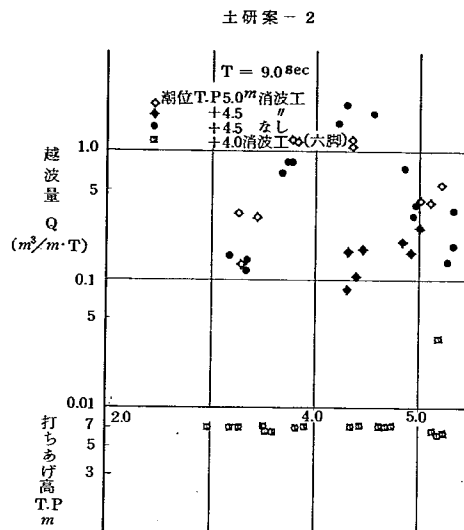


図-Ⅲ-6 土研案 1, 2 堤防図

土研案-1は図-Ⅲ-6に示すように、高さ T.P.+4.0 mの位置に長さ 15 m こう配 1/15 の表小段を設けたものであり、この小段のみの場合と、小段上の本堤のり面に 2層 3列の消波工を設けた場合とがある。この両者について越波量を測定すると、図-Ⅲ-7のようになる。小段のみの堤防で潮位 T.P.+4.0 mまでは十分であるが、潮位が +4.5 m 以上になりしかも波高が大きくなると、越波量は消波工の有無にかかわらず $0.5 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{T}$ を越す。土研案-2は小段をさらに土研案 1 より 1.0 m 高くしたものである。この堤防の越波量を図 (b) に図 (a) と同じ方法により示している。図からも明らかなように、小段高が 1.0 m 高くなっても越波量はさほど変わらない。



図一Ⅲ-7(a) 海岸堤防土研案(1)越波量



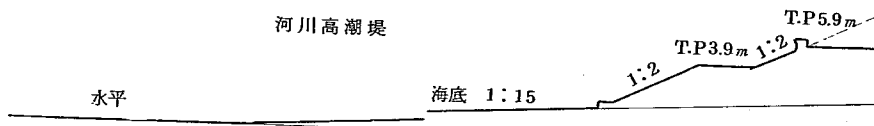
図一Ⅲ-7(b) 海岸堤防土研案(2)越波量

実験に用いた水量は、潮位 +4.0 m 以上波高 3.0 m 以上と、はるかに予想を越える値である。これは堤防の特性を調べるためにあえて採用したものであり、起りうる水量を潮位 T.P.+4.0 m 波高 3.0 m 程度とすると、小段高 T.P.+4.0 m 長さ 15 m 程度の小段を持つ複断面堤防で十分である。

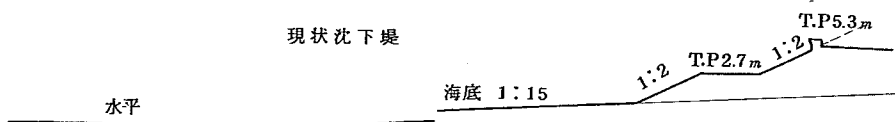
3-2 河川高潮堤

①河川高潮堤の機能調査

施工時および現状の河川高潮堤が起り得る潮位や波浪に対してどの程度の機能を持っているか知ることが重要なことである。河川高潮堤の代表的断面を図一Ⅲ-8に示す。図の断面は施工時の形状であるが、現在では高潮区域の堤防が全般的に沈下し、約 1 m 程度低くなっている。図一Ⅲ-9は施工時の河川高潮



図一Ⅲ-8 模型堤防側面図河川高潮堤



図一Ⅲ-9 模型堤防側面図現状沈下堤

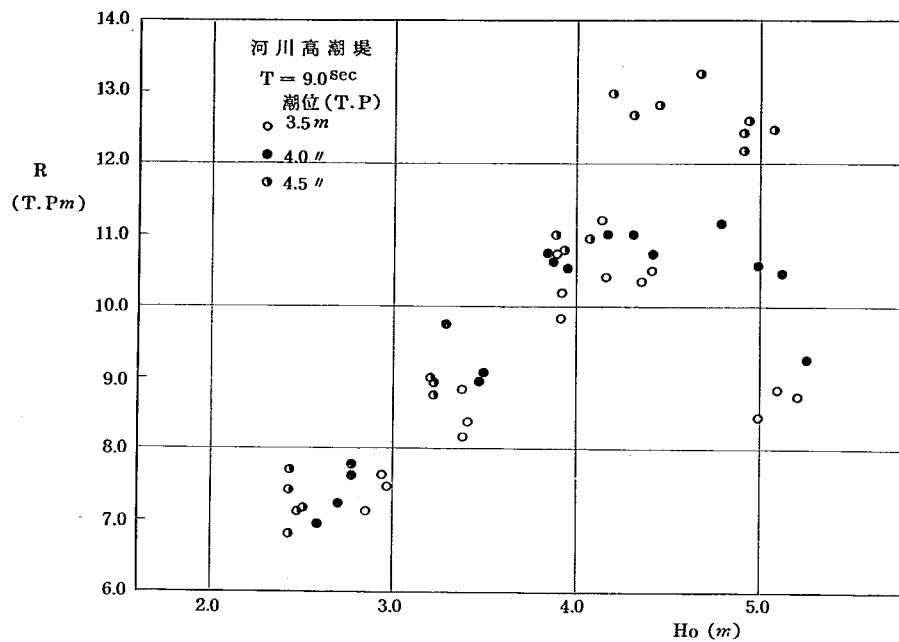


図-III-10(a) 河川高潮堤のうちあげ高

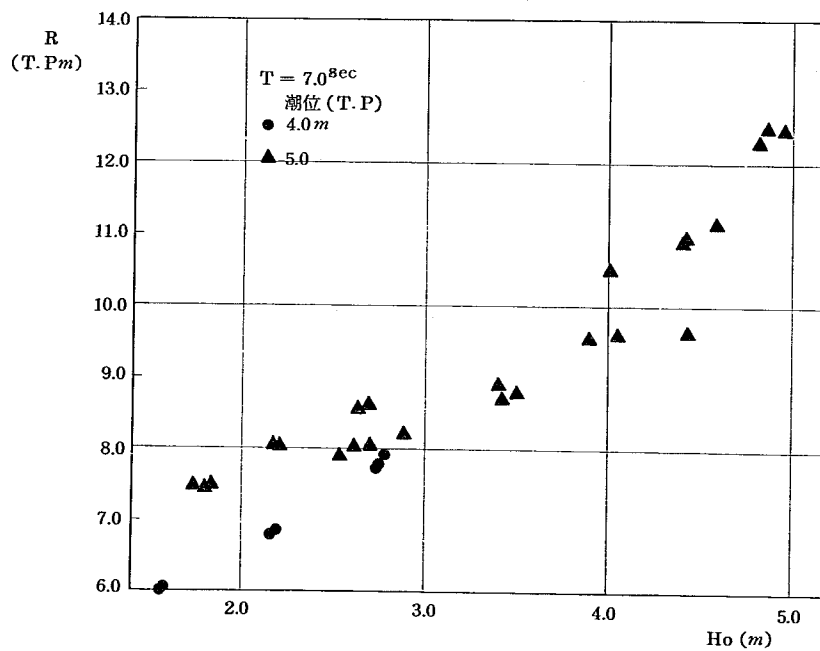


図-III-10(b) 河川高潮堤のうちあげ高

堤を約 1.2 m 程度そのままの形状で沈下させた場合の断面である。実験は施工時の河川高潮堤を主体として両者について行なった。図-Ⅲ-10,

11は施工時の河川高潮堤の打ちあげ高や越波量を示したものである。図-Ⅲ-12は沈下している現状の高潮堤の打ちあげ高を示したものである。打ちあげ高はともに2割の法面を延長して測定を行なった。越波量は堤頂高が7.5 m, 5.9 mでパラベットのがある場合と, 7.5 mでパラベットのない場合について測定してある。

図-Ⅲ-12より施工時の高潮堤と沈下している現状堤の打ちあげ高を比較すると, 潮位が T.P 5.0 m で周期が 7 sec の場合には沈下堤が相当高い。その他の場合は, 波高によってその高低が異なっている。これら傾向について考察してみよう。

$T = 9.0s$ 潮位 (T.P)

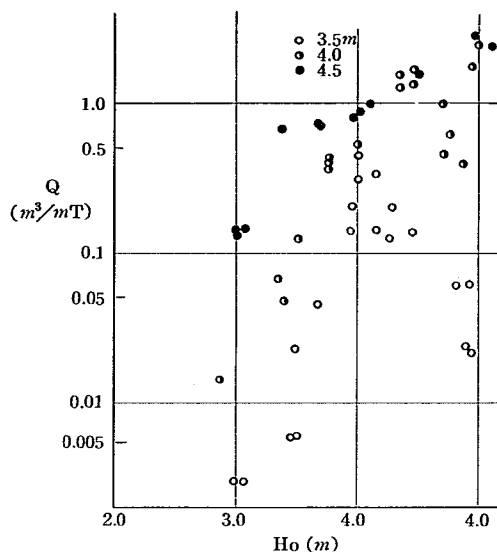


図-Ⅲ-11(a) 河川高潮堤防越波量

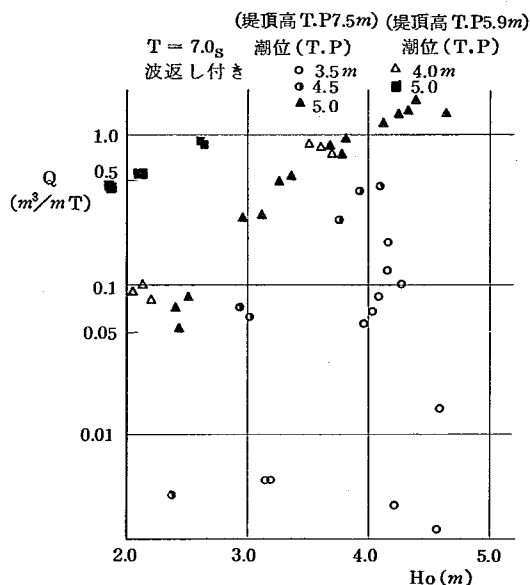


図-Ⅲ-11(b) 河川高潮堤防越波量

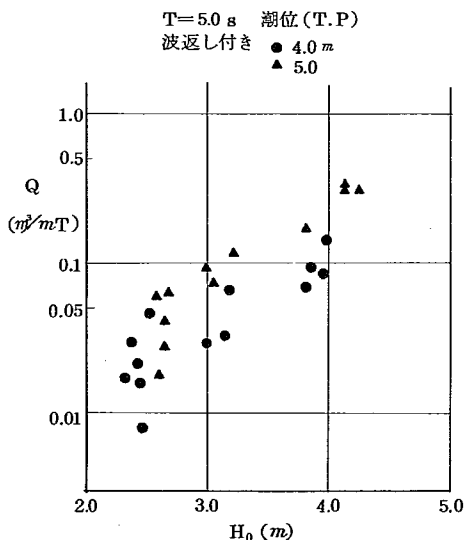
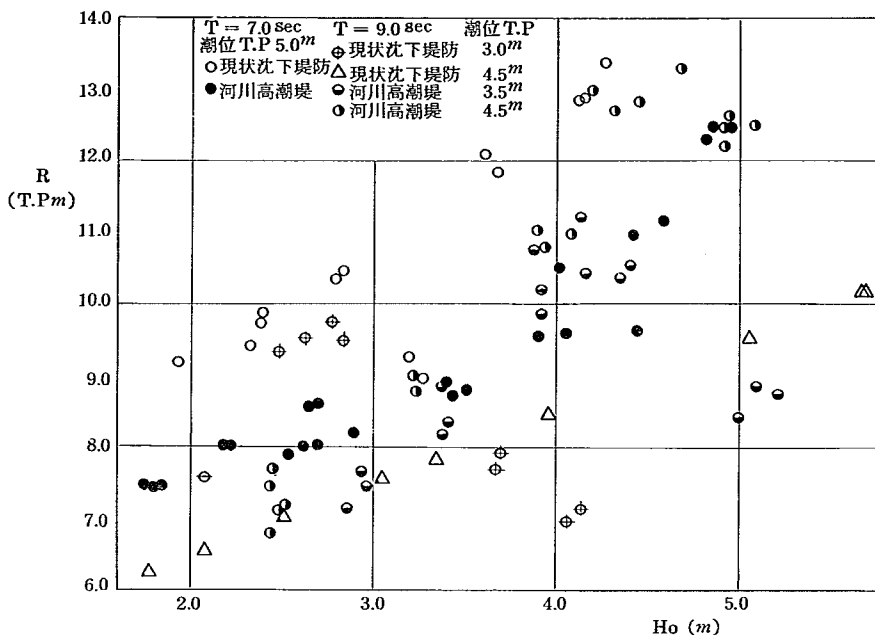


図-Ⅲ-11(c) 河川高潮堤防越波量

① 両者の堤防の2割の斜面を延長してそれぞれについて, 海浜上との交点を求め, その点の水深を堤脚水深とみると, h/L_0 の値はそれぞれ次の通りとなる。



図一Ⅲ- 1 2 河川高潮堤と現状沈下堤うちあげ高の比較

$T=7.0 \text{ sec}$	$T.P \ 5.0 \text{ m}$	河川堤	$h/L_0 = 0.061$
		沈下堤	$h/L_0 = 0.059$
$T=9.0 \text{ sec}$	$T.P \ 4.5 \text{ m}$	河川堤	$h/L_0 = 0.033$
		沈下堤	$h/L_0 = 0.032$
$T=9.0 \text{ sec}$	$T.P \ 3.5 \text{ m}$	河川堤	$h/L_0 = 0.025$
		沈下堤	$T.P \ 3.0 \text{ m}$
			$h/L_0 = 0.021$

上記の数値からみてもわかるように h/L_0 は殆ど差がない。つまり、両堤防はほぼ等しい水深におかれた 2 割勾配の堤防上に、それぞれ異なる高さの小段を取りつけたことになる。

② 2 割勾配の単断面堤防と両堤防の打ちあげ係数を比較すると図一Ⅲ- 1 3 を得る。図は横軸に H_o/L_0 をとり、 h/L_0 はほぼ同一値である。図からみると、単断面堤防に小段をつけると、その高さが増すにつれ打ちあげ係数のピーク値は小さくなり、かつ、その生ずる H_o/L_0 が大きくなる傾向のあることがわかる。また h/L_0 の小さい時はピーク値が大きく、打ちあげ係数曲線の形がとがっているため H_o/L_0 の値によって両堤防の打ちあげ係数曲線が交差し、このため、波高によって打ちあげ高の高低が逆になるところができる。 h/L_0 の大きい時は打ちあげ係数曲線の形がたいらで両堤防の曲線が交差しなため、波高による打ちあげ高の逆転がない。

以上、施工時の河川堤と沈下堤について打ちあげ係数の比較を行なった。 $T=7.0 \text{ sec} \sim 9.0 \text{ sec}$ 程度の波であれば、任意の潮位に対しても同様の方法にて両堤防の打ちあげ高の差の概略を推定することは可

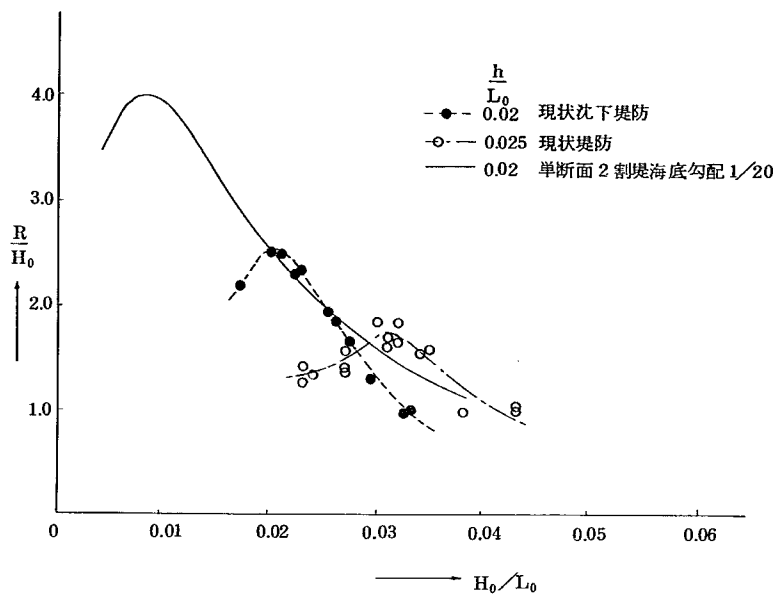


図 - III - 13(a) 河川高潮堤と現状沈下堤のうちあげ係数の比較

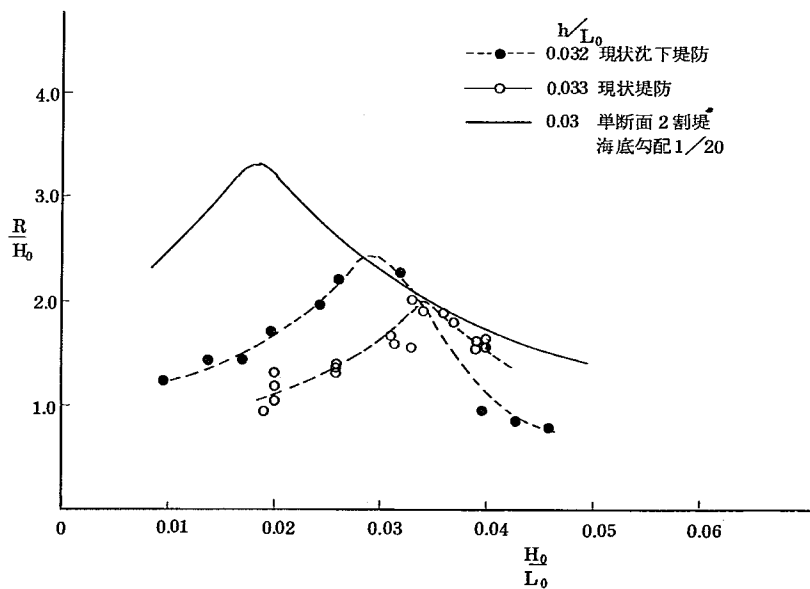
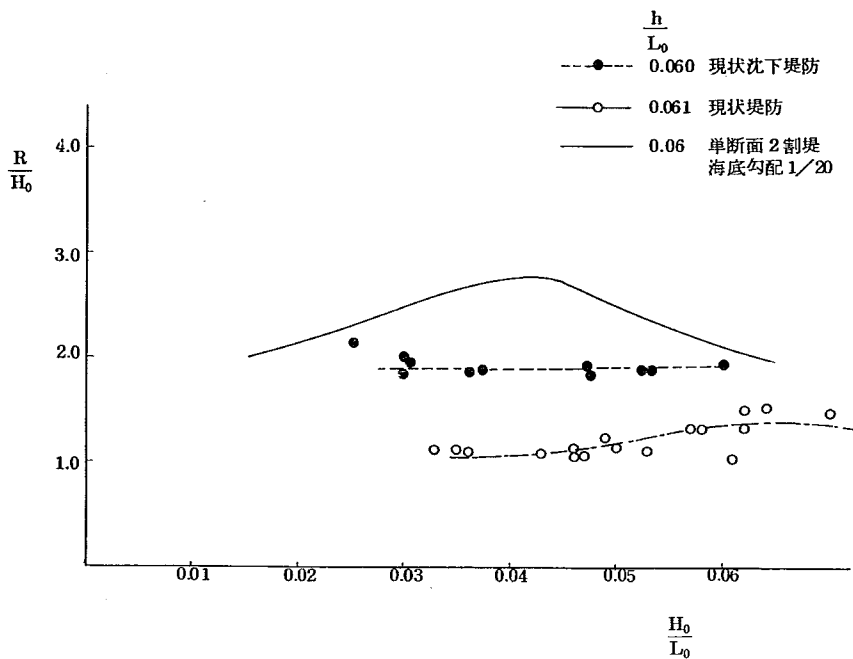


図 - III - 13(b) 河川高潮堤と現状沈下堤のうちあげ係数の比較



図一Ⅲ-13(c) 河川高潮堤と現状沈下堤のうちあげ係数の比較

能であらう。

つぎに、施工時の河川高潮堤の打ちあげ高さについてみると、全般的に波高 3 m 以上の場合には T.P 8.0 m 以上となっている。現在の堤防の沈下状態を考えると打ちあげ高さは一般に更に高まると思われ、現状堤の機能は大幅に低下していることがわかる。

つぎに、越波量について考察してみよう。パラペットのある場合、堤頂高が T.P 7.50 m で、潮位が T.P 4.5 m 以上のときは周期 5.0 sec を除いては、波高 3 m 程度で $0.1 \text{ m}^3/\text{m.T}$ 以上の越波量となっている。堤頂高が T.P 5.9 m の場合は大幅に越波量が増大している。

打ちあげ高と越波量の関係と調査するため、パラペットのある場合についても、斜面を延長して求めた打ちあげ高さと堤頂高の差を横軸にとり、越波量を縦軸にとってプロットすると図一Ⅲ-14を得る。それぞれの実験条件によってやゝ差をみせているが比較的是っきりした傾向を示しており、これらから、打ちあげ高を知っても越波量の概略値を求めることは可能であらう。

以上のべてきたのは無風時における打ちあげ高や越波量であって、台風時における越波量はこれらよりかなり大きく 3～4 倍程度となる。図一Ⅲ-15 は河川高潮堤のパラペットをとり、2 割の法面を T.P 7.50 m で切った時の越波量であって、パラペットのある場合より大きい。台風時におけるパラペット付き堤防の越波量はこれとほぼ同程度になると思われる。

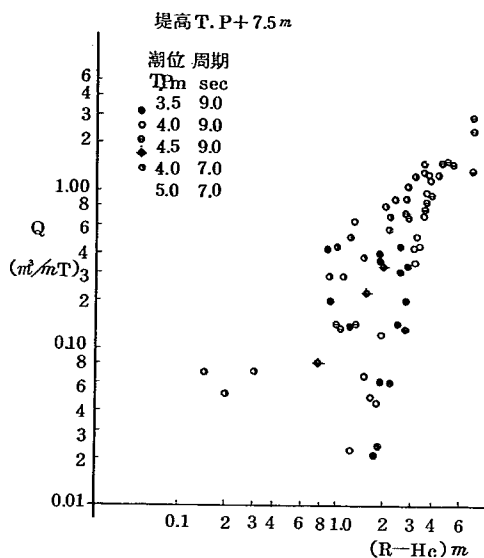


図-III-14 河川高潮堤の越波量

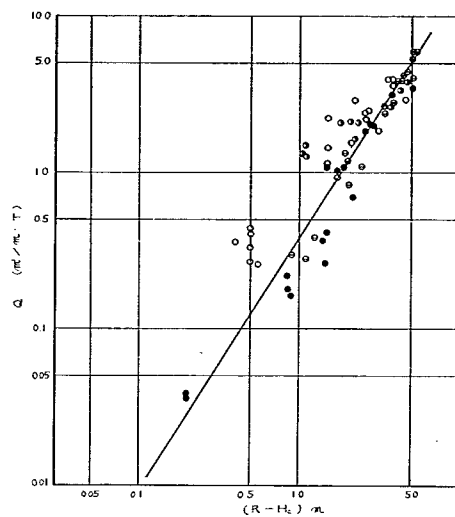


図-III-15 河川高潮堤防（波返しなし）の越波量

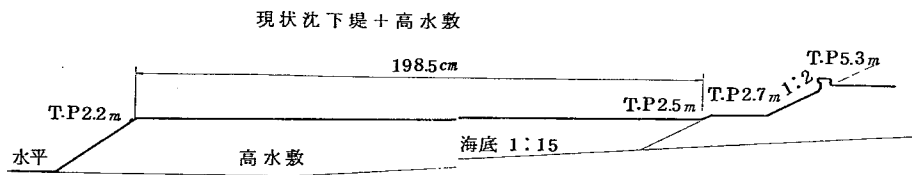


図-III-16 模型堤防側面図現状沈下堤+高水敷

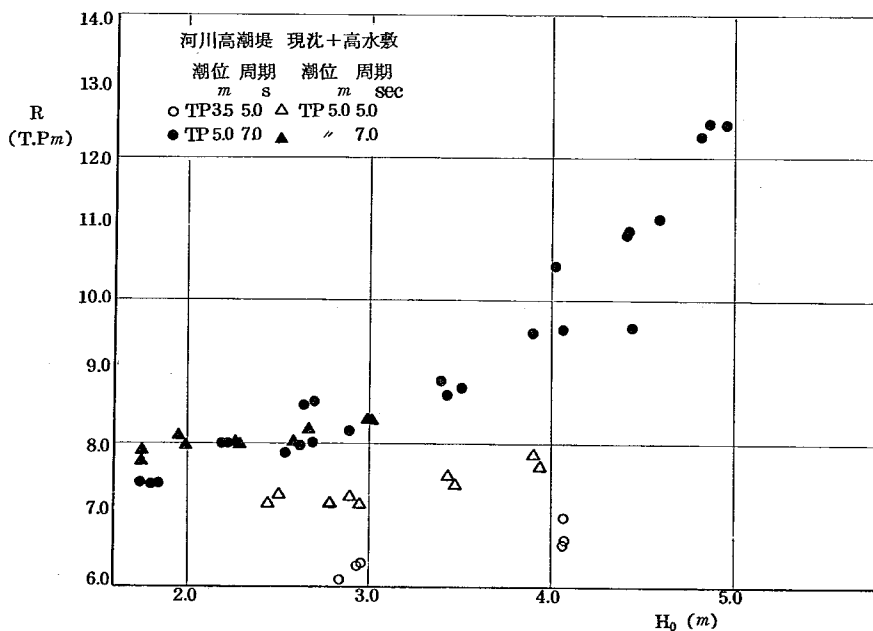


図-III-17 河川高潮堤と現状沈下堤+高水敷堤防うちあげ高の比較

② 現状沈下堤+高水敷

木曾三川高潮区域の上流部では、沈下している現状堤の前面に高水敷のみを設置するという案も考えられた。そこで、この場合の機能について調査を行なった。堤防および高水敷形状を図-Ⅲ-16に示す。実験結果を図-Ⅲ-17、18に示す。図によると、打ちあげ高さについては、潮位 T.P 5.0 m, 周期 7.0 sec の時は施工時の河川高潮堤とほぼ同一値を示しているが、堤頂が沈下して低い（堤頂高さは主として上流部を対象としているので T.P 5.3 m）越波量は相当に大きい。したがって、この場合には、堤頂部のかさあげが必要となる。

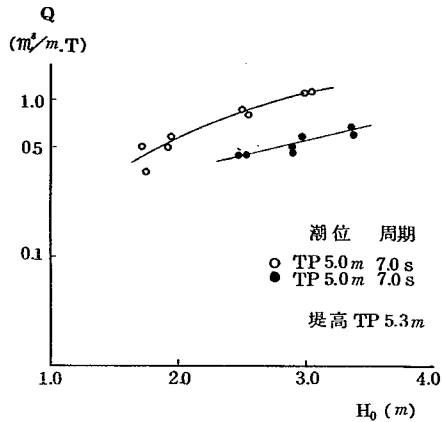


図-Ⅲ-18 現状沈下堤+高水敷の越波量

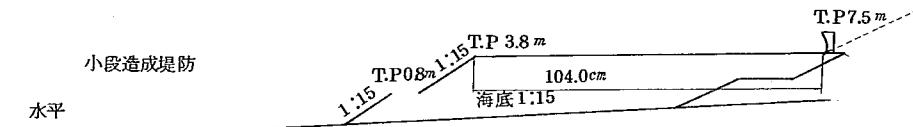


図-Ⅲ-19 模型堤防側面図小段造成堤防

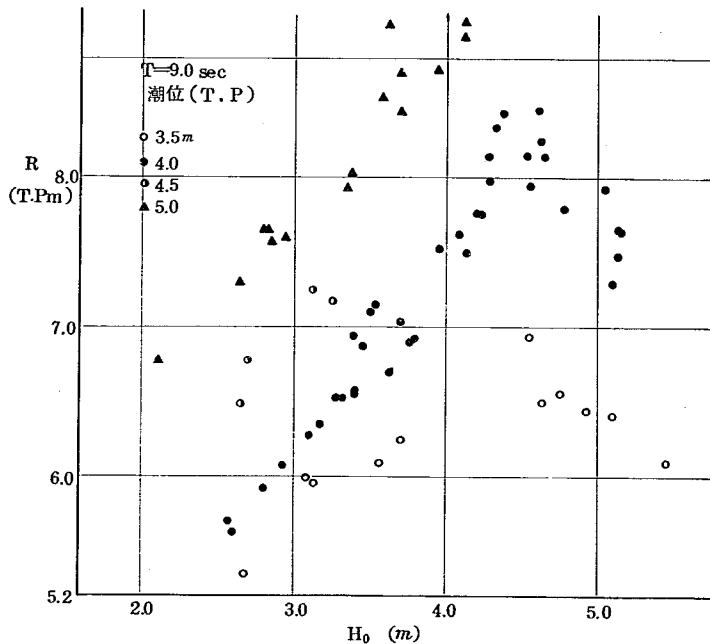


図-Ⅲ-20(a) 小段造成堤の機能調査（うちあげ高）

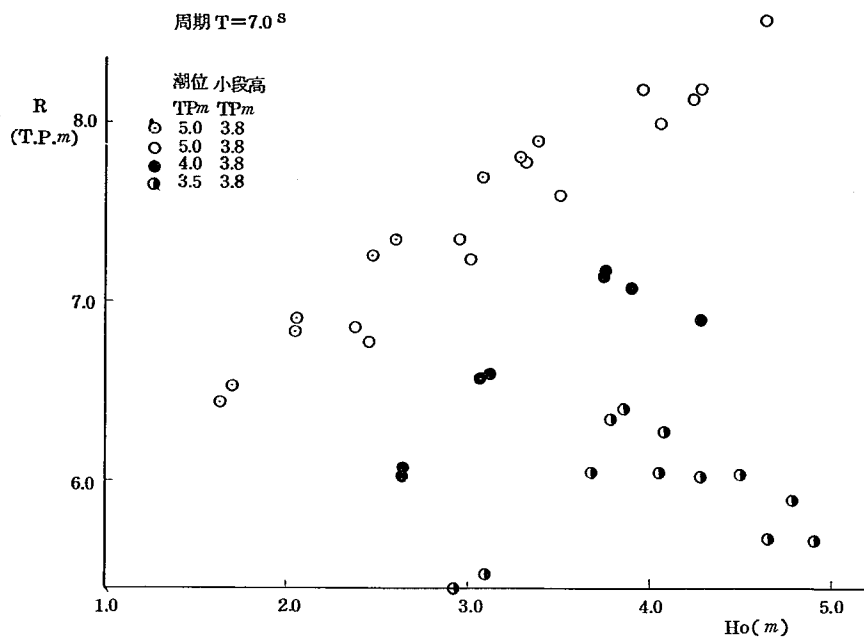


図-Ⅲ-20 (b) 小段造成堤の機能調査 (うちあげ高)

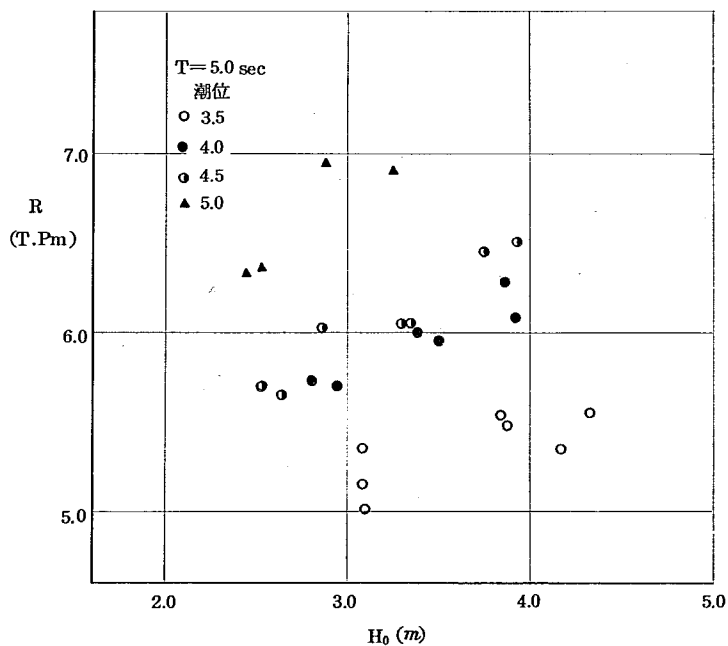


図-Ⅲ-20 (c) 小段造成堤の機能調査 (うちあげ高)

③ 小段造成堤（事務所案）の機能調査

事務所では図-Ⅲ-19に示すように河川高潮堤の前に小段を設ける案を立案し、すでに一部施工中である。そこで、この堤防についての機能調査を行なった。実験結果を図-Ⅲ-20, 21に示す。以下その結果について検討を行なった。

① 打ちあげ高さについてみると全般的に施工時の高潮堤に比較すると大幅に機能が向上している。波高

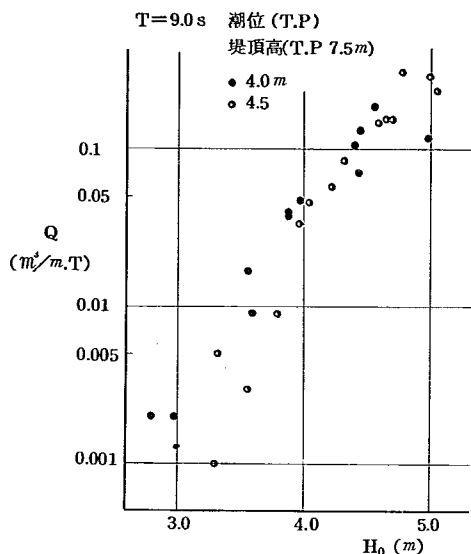


図-Ⅲ-21(a) 小段造成堤の機能調査(越波量)

3m程度、潮位がT.P 5.0m以下ならば、入射する可能性のある周期を持った波に対して打ちあげ高さはT.P 7.5m程度以下となっている。

② 越波量についてみると、堤頂高がT.P 7.5mの場合には、波高が4m以下ならば全般的に $0.1 \text{ m}^3/\text{m.T}$ 以下である。堤頂高をT.P 5.9mとした場合には、越波量はかなり増大する。潮位がT.P 5.0mの時、波高2m程度で $0.1 \text{ m}^3/\text{m.T}$ 程度の越波量である。なお、打ちあげ高と越波量の関係はさきに示してある図-Ⅲ-14とほぼ同様の関係とみて差し支えないであろう。

以下、打ちあげ高、越波量についてのべてきたが、この結果は無風時についてである。台風時の越波量は前と同様にこれらの値の3~4倍になるものと思

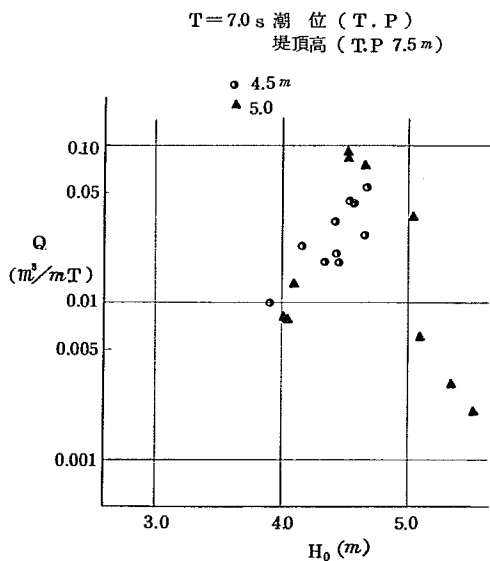


図-Ⅲ-21(b) 小段造成堤の機能調査(越波量)

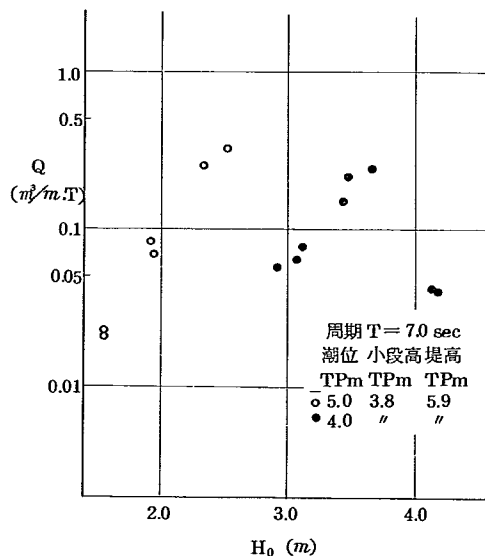


図-Ⅲ-21(c) 小段造成堤の機能調査(越波量)

われ、越波量としては、むしろ図-Ⅲ-15を適用した方が良いと思われる。

④ 最終案堤（事務所案）の機能調査

事務所では小段設置後、最終的に図-Ⅲ-22に示すようなかさあげ断面堤を計画している。そこで、この堤防についての機能調査を行なった。結果を図-Ⅲ-23に示す。図によると周期が7.0secの場合の打ちあげ高さはあまり差がなくほぼ同程度である。潮位がT.P 5.0m、波高が3m程度の場合の打ちあげ高さはT.P 8.0mをこえている。小段造成堤に比較すると小段長が短かくなっているため機能はやゝ低下していることが認められる。越波量は、パラペットがないため、図-Ⅲ-15と同程度になると思われる。また、この場合は台風時であっても越波量はさほど大きくはならない。

⑤ 最終案堤+高水敷

最終案堤の前面に高水敷が設けられた場合を想定してその機能調査を行なった。堤防と高水敷形状を図-Ⅲ-24に示す。実験結果を図-Ⅲ-25に示す。図によると、潮位の低い場合および波高の大きい効

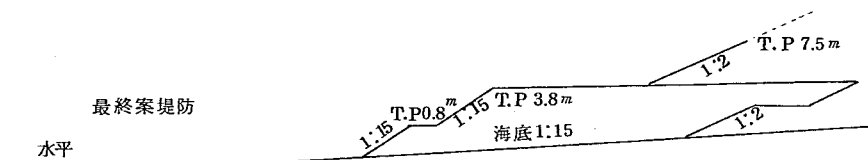


図-Ⅲ-22 模型堤防側面図最終案堤防

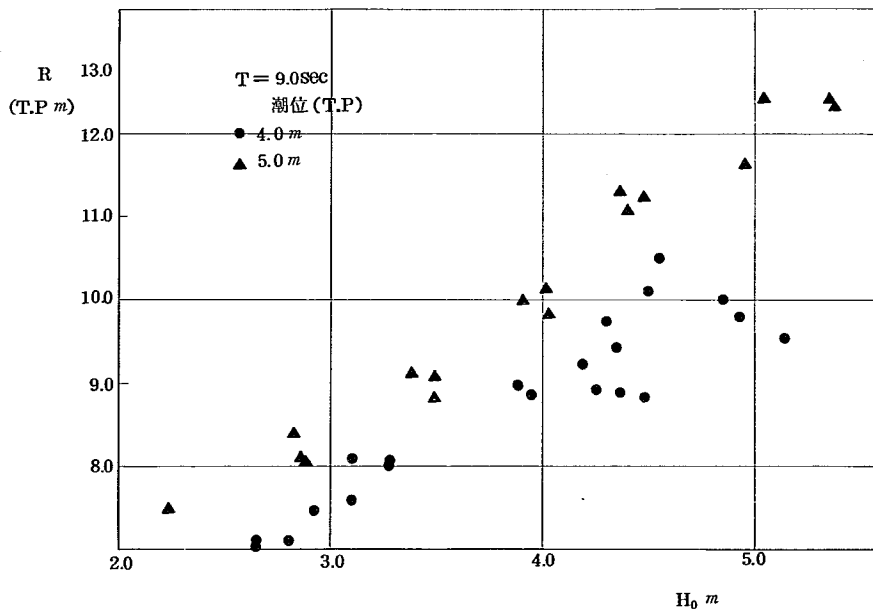


図-Ⅲ-23(a) 最終案堤防の機能調査（うちあげ高）

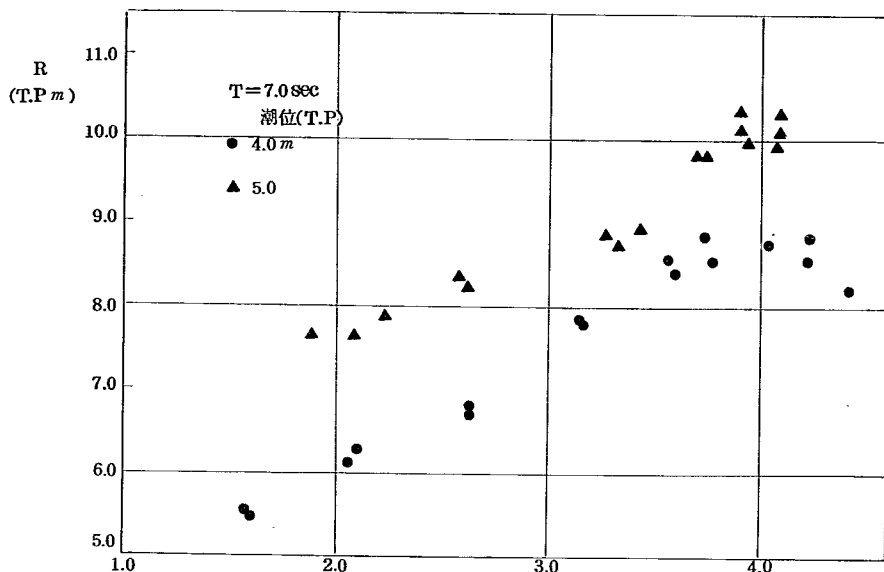


図-III-23(b) 最終案堤防の機能調査(うちあげ高)

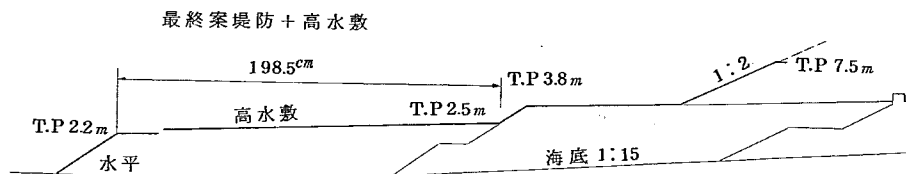


図-III-24 模型堤防側面図最終案堤防+高水敷

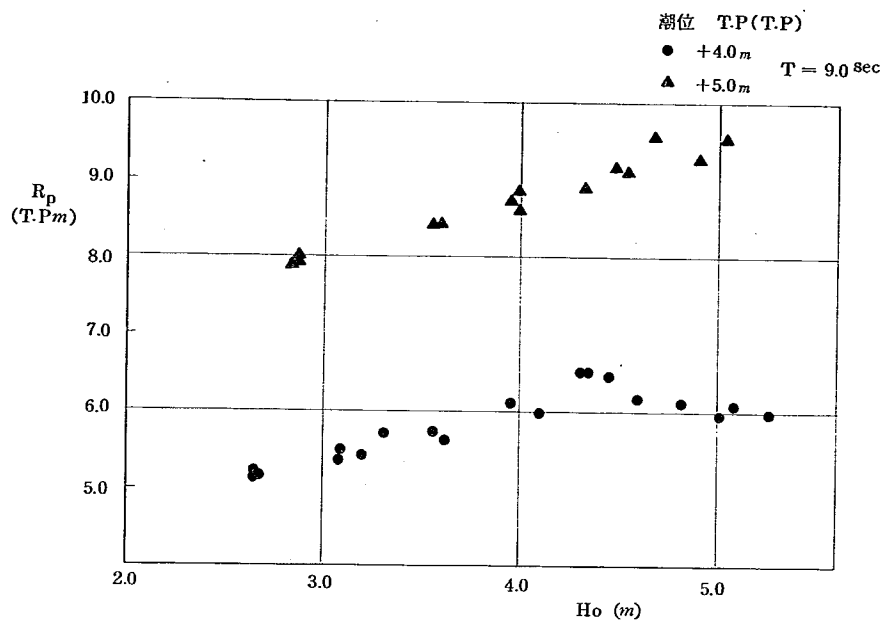
果を示すが、潮位が高い場合と波高の小さい場合には、それほど大きな効果は認められない。潮位がT.P 5.0 mで波高3 m程度の時には打ちあげ高さはT.P 8.0 m程度で、これは高水敷を設けない場合と同程度となっている。

⑥ 小段形状の一般的考察

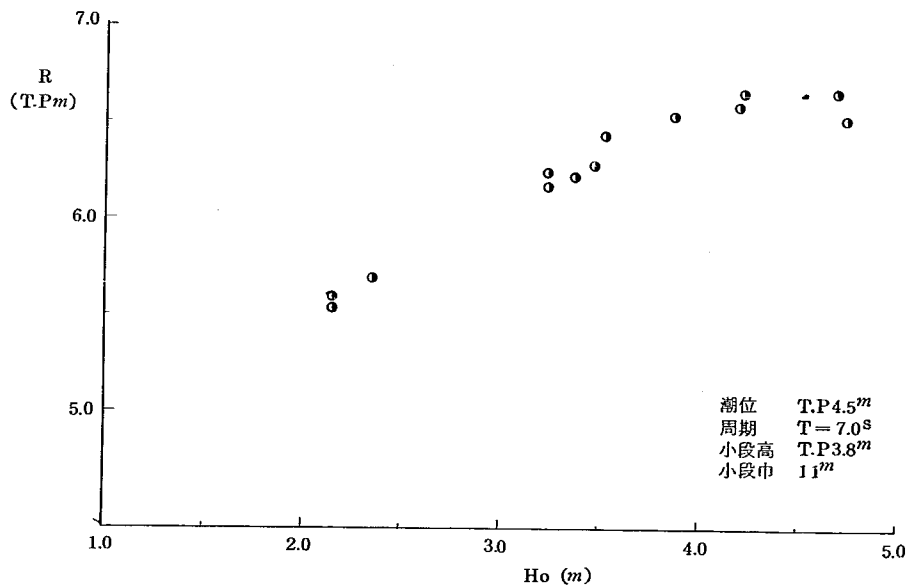
(1) 小段幅

すでに述べてきたように、改訂計画では木曾三川河口付近の海岸高潮堤や河川高潮堤の断面形状は、表小段をもつ複断面形状にすることが決められ、種々の計画案が揭示されこれらについてうちあげ高や越波量が測定され、それぞれの堤防の水理的な特性は明らかになった。本節ではこれらの結果と若干の追加実験にもとずき、複断面の断面形状とうちあげ高の関係がどのようにになっているかを調べてみた。表小段を決定する諸元には、主なものとして、小段幅、小段高、小段勾配の三諸元が考えられる。

こゝでは第一の諸元として、小段幅とうちあげ高の関係がどうなっているかを調べてみる。



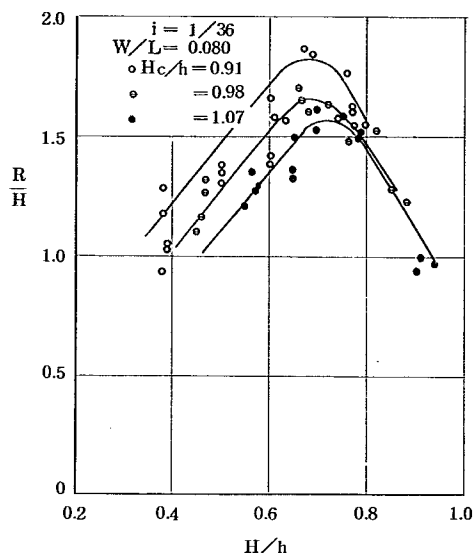
図一Ⅲ-25(a) 最終案堤防+高水敷のうちあげ高



図一Ⅲ-25(b) 最終案堤防(別)+高水敷のうちあげ高

図一Ⅲ-26の(a)(b)(c)の各図は、それぞれ小段幅をある幅に定めた場合のうちあげ高を示したものである。(a)は小段幅の短いものの代表として、小段幅の波長比(相対小段幅) $W/L=0.080$ の場合について示し、(c)は長いものの代表として $W/L=0.40$ をとっている。(b)はほどの両者の中間にあたる。

縦軸にうちあげ高の堤防前面における波高比(R/H)を横軸に波高の水深比(H/h)をとっている。波高水深比(H/h)が0.8以上の波は実際には砕波し存在しえないのであるが、こゝでは沖波をそのまま

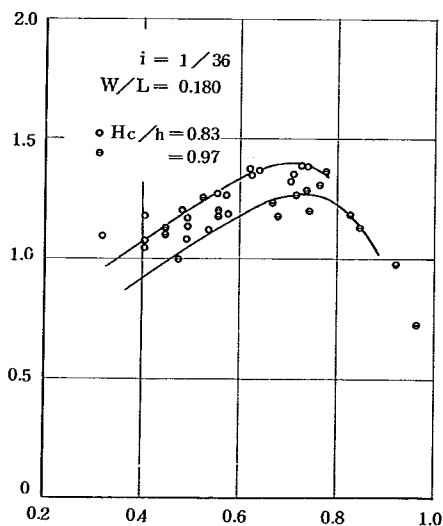


図一Ⅲ-26(a) 各小段幅のもとでのうちあげ高

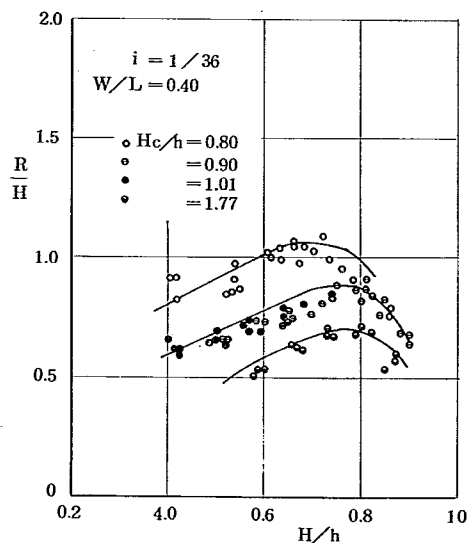
微小振幅波理論により堤防前面の水深における波高に換算した値を用いている。これら一連の図からも明かなように、各小段幅のもとでのうちあげ高は、波高が増大するとともに逐次大きくなり、砕波波高付近($H/h \approx 0.75$)で最大となり、砕波領域に入ると減少している。砂波領域で減少しているのは、うちあげ高が小さくなっているというより、波高が理論値であり実際の波高より大きく出ているために、相対うちあげ高が小さくなっているように見えるのである。図中の H_c は水平床からの小段高である。

これらの図から小段幅とうちあげ高の関係をみると次のようなことが言える。

- ① うちあげ高は小段幅が広くなるに従って低くなり



図一Ⅲ-26(b) 各小段幅のもとでのうちあげ高

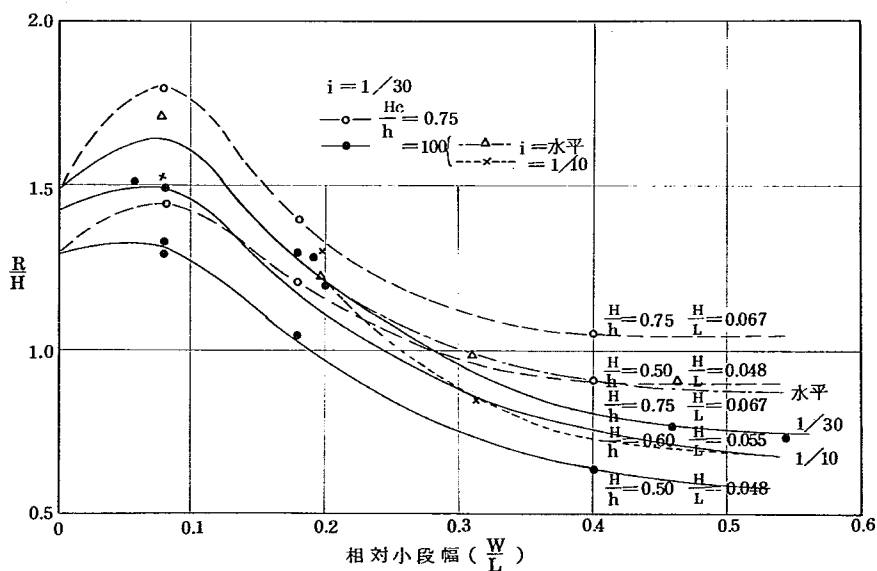


図一Ⅲ-26(c) 各小段幅のもとでのうちあげ高

② 特に低くなる割合は、最大うちあげ高を生ずるような条件のもとで最も大きい。

このことからみて小段幅を広くすることは、うちあげ高が最も高くなるような条件、すなわち堤防前面の水深に限界波が来襲したときにその効果が最も顕著にあらわれると言える。

図一Ⅲ-27はこの小段幅とうちあげ高の関係をより明確に知るために、波を固定し小段幅のみを変えてうちあげ高を測定したものである。縦軸にうちあげ高を横軸に小段幅をとり、小段幅の増減によってうちあげ高がどう変わるかをみている。この図からも明らかなように、うちあげ高は小段幅の短い場合に単断面堤防より高くなり、相対小段幅 $W/L = 0.05 \sim 0.10$ で最大値を示し、それを過ぎると今度は急激に減少し、 $W/L = 0.3 \sim 0.4$ をこえると減少の割合は小さくなる。図に示したのは、 $T = 9.0 \text{ sec}$ と比較的周期の長い波についてであるが、周期の短いものについてみると表-2のようになる。表-2は図一Ⅲ-27に示したものと同一波高で周期のみが異なる場合 ($T = 7.0 \text{ sec}$) のうちあげ高を前者と比較している。これによると、周期の短い波のうちあげ高は、小段幅の短い領域で最大うちあげ高をとるようなことはなく、単断面堤防のうちあげ高が最も高く小段幅が増すとともに通減している。また表からも明らかなように、小段幅が広くなるにしたがって周期による差は小さくなっている。これらのことからみて、小段幅が短い領域でうちあげ高が最大になるのは、周期がある程度長くならないと現われない現象である。また、相対小段幅が長くなると、周期による差が生じなくなり、ほぼ同一のうちあげ高を示すようになる。なぜ、周期の長短によってこのように現象に差が生ずるのか、またその特異点はいずれなのかなどについては、実験範囲の狭さから明らかにすることはできなかった。しかしながらいずれにしても、小段幅を波長の $1/3$ 以上にとると、周期による差はなくなりいずれの周期の波でもほぼ同一のうちあげ高を示すの



図一Ⅲ-27 小段幅とうちあげ高

で、堤防の設計に際しては、来襲の予想される最も周期の長い波を考慮し小段幅を決定すれば良いであろう。

なお図-Ⅲ-27に示した波の周期は、 $T=9.0\text{sec}$ であるがこれは、湾内で発生する波としては、かなり周期の長いものであり、伊勢湾においても最大この程度であると思われる。比水深で示すと、堤防直前で $h/L=0.098$ 沖波で $h/L_0=0.045$ となる。

(2) 小段こう配

小段こう配は、既設の堤防においても、小段表面を盛土ないしは堀削することによって比較的簡単に變えることができる。

表Ⅲ-4 うちあげ高の周期による相違

W/L	h=20.0cm H=15.0cm H/h=0.75			
	Hc=20.0cm Hc/h=1.0		Hc=15.0cm Hc/h=0.75	
	T=1.8sec (9.0)	T=1.4sec (7.0)	T=1.8sec (9.0)	T=1.4sec (7.0)
	H/L=0.067	H/L=0.090	H/L=0.067	H/L=0.090
0	1.50	1.38	1.50	1.38
0.1	1.62	1.36	1.75	1.35
0.2	1.22	1.20	1.30	1.25
0.3	0.96	1.09	1.10	1.05
0.4	0.82	0.85	1.05	0.85
0.5	0.77	0.75	1.00	0.80
0.6		0.70		0.70

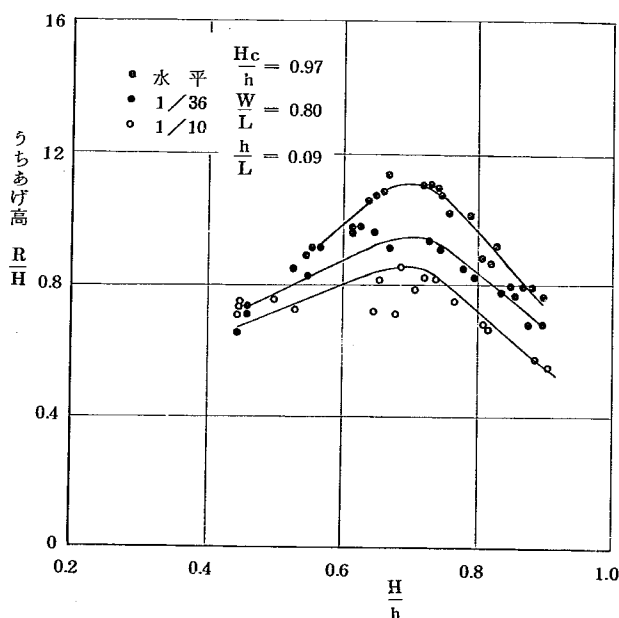


図-Ⅲ-28 小段こう配とうちあげ高

小段こう配のうちあげ高に対する効果をみると、図-Ⅲ-28のようになる。図-Ⅲ-28は小段幅と小段高を一定に保ち、小段こう配と波高を変えてうちあげ高を測定したものである。縦軸のうちあげ高を横軸に波高をとり、パラメーターに小段こう配をとっている。図に示したのは、相対小段幅 $W/L=0.40$ 、相対小段高 $Hc/h=0.97$ である。この図から小段こう配のうちあげ高の關係を見ると、うちあげ高は種々の波高のもとで小段こう配がきつくなる程小さくなり、小さくなる割

り合いは、波高の小さい領域に移行するにしたがって逐次減少している。小段こう配がきつくなるにしたがってうちあげ高が常に低くなるのかどうかを見ると、図Ⅲ-27の中に示したようになる。図に示したのは最大うちあげ高を生ずる場合であることが、これによると、うちあげ高に対する小段こう配の効果は、小段幅がある程度広がって波長の $1/5$ 以上になって初めて現われる。すなわち、小段こう配の効果あらわれるのは、小段幅が来襲波の波長の $1/5$ 以上の領域で小段こう配がきつい程うちあげ高は低くなる。

(3) 小段高

すでにうちあげ高に及ぼす小段幅や小段こう配の効果は明らかになった。これによって表小段を持つ複断面堤防のうちあげ高に対する特性はかなり明らかになった。小段形状を決定する残りの諸元の一つは小段高である。

小段高のうちあげ高に対する効果を見ると、図-Ⅲ-29のようになる。図-Ⅲ-29は縦軸にうちあげ高を横軸に小段高をとり、パラメーターに小段幅をとった。図中の数字は W/L の値である。この図から各小段幅のもとで小段高が変わることによって、うちあげ高がどう変化するかを見ることができるであろう。図(a)は周期の長い波 ($T=9.0\text{sec}$) について、(b)は短いもの ($T=7.0\text{sec}$) について示している。また、図中の鎖線は相対小段高 ($H_c/h=1.0$) の場合のうちあげ高を基準とし、他の小段高のうちあげ高との比を示しているためのものである。

この図から小段高のうちあげ高に対する効果は、いかなる小段幅においても、小段高が高くなるにしたがってうちあげ高は減少するが、その割合は小段幅が短かくしかも波長の長い波の場合ほど大きいことが知れるであろう。逆に言えば、小段幅が長い場合や周期の短い波においては、小段高が多少変化してもうちあげ高が変わるようなことはない。また図中の鎖線からも明らかなように、相対小段高 ($H_c/h=1.0$) のときうちあげ高と他の小段高のうちあげ高との比は、せいぜい $0.9 \sim 1.2$ 程度であった。

表小段の形状を決定する三諸元のうちあげ高に対する影響を述べてきた。しかしながらこれから小段形状を決定することはなかなかむずかしい。又、場所によっては小段幅を長くとれない場合もあろう。これらのことを加味しながら示したのが図-Ⅲ-30の各図である。図はあるうちあげ高に保つには、小段

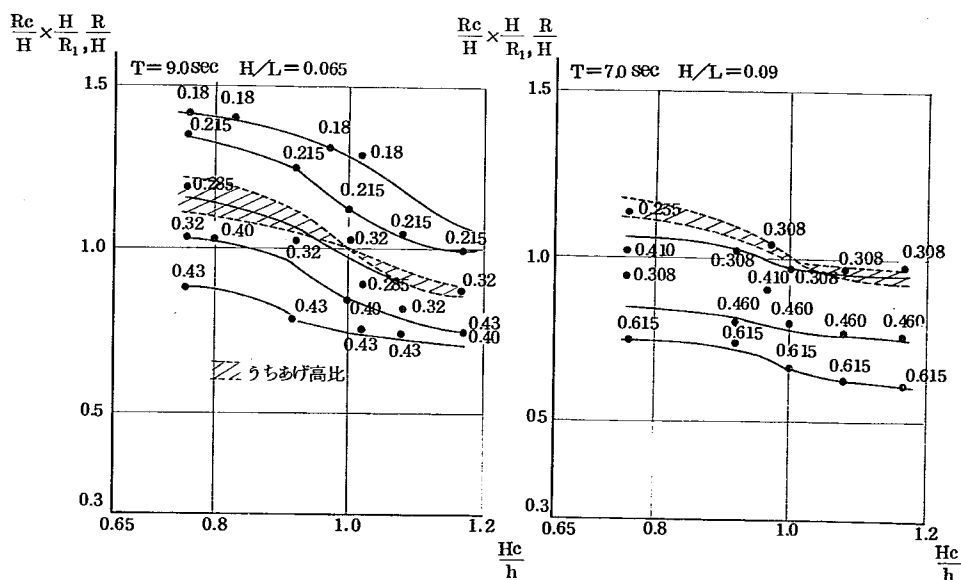


図-Ⅲ-29 小段高のうちあげ高

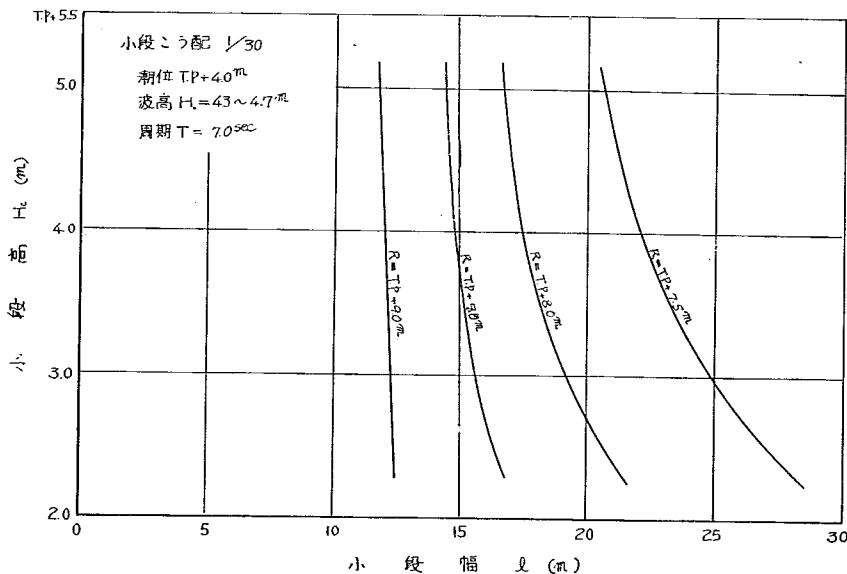
高と小段幅のかね合いがどうなるかを小段こう配 1/10 および 1/30 について示したものである。図中にそれぞれの水理量を示している。図中の曲線のこう配がなだらかなる程、小段高と小段幅のかね合いに幅のあることを示し、垂直になるにしたがって、小段幅が定まりしかも小段高の効果の期待できないことを示している。この図からあるうちあげ高に保つ小段形状の概略は知ることができる。

(4) Set-Up

波が陸地に向って来襲すると、波の持つエネルギーが一方的に陸地に向うため、これと見合って汀線や汀線付近で水位が上昇し、陸地から沖合に向う逆水面こう配が形成される。この水位上昇や水面こう配の形成を Set-Up と呼んでいる。表小段を持つ複断面堤防においても、これと同様な現象が起り、波のエネルギーによって運ばれた水が、小段上に堆積し平均水面が上昇し水面こう配が形成される。こゝで用いる Set-Up とは、この小段上に生ずる堆水のことをさす。

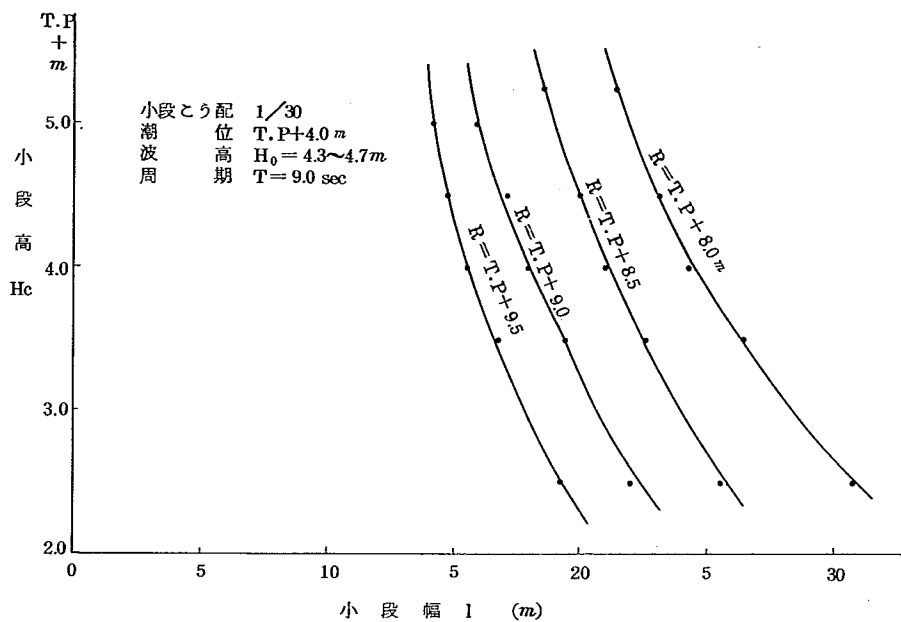
Set-Up は、上記 3 節で述べた小段の形状とうちあげ高の関係などとは若干その性質を異にするが、うちあげ高や越波量に影響をおよぼす大きな要素の一つなので、特にこゝにその現象について述べる。

表小段上の Set-Up の状況の一例を示すと図-III-3 1 のようになる。小段上の 3 か所で測定した平均上昇水位量を示している。 δ_1 は小段の海側先端より 10 cm (2.5 m) の位置で、 δ_3 は本堤法尻における上昇量である。図に示した例は、波高を限界波高とし、周期 $T=1.8$ (9.0) および 1.4 (7.0) sec の波についてである。この図から次のようなことがわかる。水面こう配は小段先端から中央部にかけては急で、中央部から後方にかけては前者に比べかなりなだらかなる。小段先端部の堆水深 δ_1 は、堆水の流下点



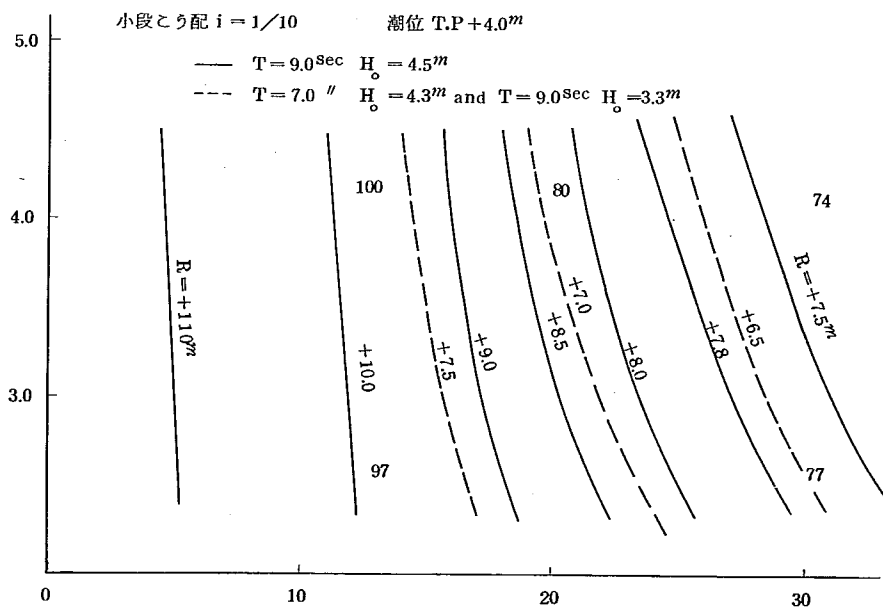
(a)

図-III-3 0 (a) うちあげ高におよぼす小段高と小段幅の効果



(b)

図一Ⅲ-30(b) うちあげ高におよぼす小段高と小段幅の効果



図一Ⅲ-30(c) うちあげ高におよぼす小段高と小段幅の効果

に近いために小さめに出る傾向にあること、また堆水こう配は、小段後方に向って同一こう配で上昇するのではなく、小段先端付近ではきつく、後方に向うにしたがって徐々になだらかになり、無限の遠方になると水底と平行になるからである。堆水深は小段高が高くなるにしたがって大きくなっている。他の小段こう配や水理条件のもとでの、堆水深や堆水こう配を示すと表-Ⅲ-5のようなになる。表中に示した水面こう配は、図に示した各測点の水位上昇量を結んで一様こう配とみなしたものであり、 δ は小段先端部における上昇量 δ_1 をとっている。この表からも明らかなように、小段こう配1/10を除くと、堆水こう配や堆水深は小段こう配に関係なく相対小段高(H_c/h)によって定まるようである。小段高が低い場合は、こう配・水深とも小さく、小段高が水深に比べて相対的に高くなるにしたがって、こう配・堆水深とも大き

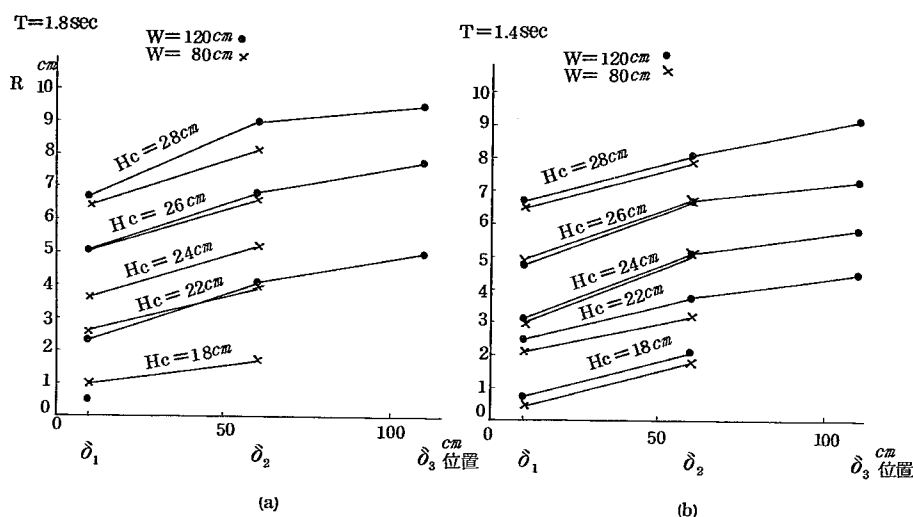


図-Ⅲ-31 小段上の堆水状況

表-Ⅲ-5 小段上の Set-Up の状況

小段 勾配	水 平			1/36			1/30			1/40		
H_c/h	T	$\frac{\delta_1}{H}$	I	T	$\frac{\delta_1}{H}$	I	T	$\frac{\delta_1}{H}$	I	T	$\frac{\delta_1}{H}$	I
0.65				1.8	0	1/43	1.8	0.05	1/47			
0.76				1.8	0.03	1/39	1.4	0.02	1/53			
							1.8	0.02	1/33			
0.83	1.0	0.13	1/57									
	1.4	0.03	1/37	1.8	0.10	1/37						
	1.8	0.12	1/43									
0.97	1.4	0.02	1/39	1.8	0.2	1/34	1.8	0.18	1/24	1.8	0.12	1/10
	1.8	0.2	1/24									
1.01	1.8	0.2	1/30	1.8	0.2	1/21	1.8	0.22	1/25			
1.17				1.8	0.34	1/25						

I : 水面こう配

くなっている。しかしながら、これは小段上にある程度の水脈とエネルギーを持って波がそ上する場合に限られ、小段高が極端に高くなり、単断面堤防に近くなるとこのような現象が起こるとは言えない。

小段上の Set-Up には二つのパターンがみられる。一つは図-III-32(a)に示すように小段こう配の急な場合で、平均的な堆水深は残るが、波が引いたとき小段上は一瞬dry-bedになる。これは小段こう配がきつく $1/10$ の場合などに見られ、堆水こう配は小段こう配に等しいが若干なだらかなる程度である。一方、小段こう配がなだらかなると、(b)に見られるような現象に移行し、小段上に常に滞溜水が残り、波の進行や反射とともにこの滞溜水が小段上を行ったり逆ったりする。そしてこのような現象を生ずる場合には、小段こう配のいかにかわりなく水面こう配は一定となる。(a)の状態から(b)の状態へ移行する小段こう配の限界は、小段高や来襲波の条件などにもよるが、小段高が水面より高ければ $1/17 \sim 1/20$ である。

ではこのような Set-Up による水位上昇量や現象の相違が、うちあげ高や越波量にどのような影響を与えるのであろうか。すでに小段こう配のところで述べたように、うちあげ高は小段幅が短い場合には、小段こう配の影響はほとんど受けませんが、長くなるにしたがって、小段こう配がきつい程小さくなる。これは Set-Up によって生ずる水面こう配と小段こう配とのかね合いによってきまるのではないかと考えられる。本堤に衝突する波の波高は、小段幅が短い場合には小段こう配の影響を受けるひまなく、いずれの小段こう配においてもほぼ同じようなものであるが、一方小段幅が長くなると、小段先端の条件によって定まった波高が、小段上を伝播する間に水面こう配と小段こう配とのかね合いで生じた水深の影響を受けることになり差を生ずる。すなわち、小段こう配がきつい場合は、水面こう配と小段こう配が平行になり、しかも波の谷の来襲のとき一瞬 dry-bed になる。これに比べ小段こう配がなだらかなると、常時滞溜水が残り水面こう配も小段こう配に等しいが多少きつくなり、小段幅が長くなるにしたがって本堤のり先の水深が増し小段上を伝播する波の波高減衰率は前者に比べ小さくなり、本堤に衝突する波高は前者に比べて大きくなる。

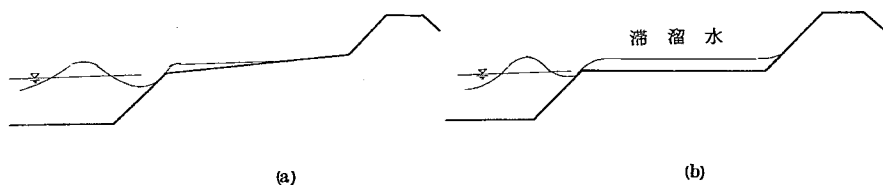


図-III-32 小段上の堆水状況

⑦ 河川堤小段造成形状についての考察

以上述べたように事務所による小段造成案、最終堤防案等についての機能調査および小段造成時の一般的形状考察を行ってきたのであるが、実験条件としてあたえてきた潮位、波浪、堤頂高等の計画諸元が現地において、下流部と上流部では異なる値をとることがみこまれている。具体的にいうと、上流部では下流部に比較して波浪の計画値は小さくとも思われるが、同時に堤頂高も低くすることが考えられ

ている。このため、上の計画諸元にある幅をあたえて、それらの値をある程度任意に組合わせた場合、それに対処できる堤防形状を決定しておくことが必要である。そこで、小段造成形状として、さきに行なった小段形状の一般的考察実験の結果と現地の条件を考慮して、小段高 4.5 m、小段表 3.0 m を最大限として、小段造成堤の形状について検討を加えることにした。堤防形状を図-Ⅲ-33に示す。また、実験結果を図-Ⅲ-34、35に示す。以下その結果について検討を加えてみよう。

④ 打ちあげ高さは、小段が高くかつ長い程低くなっている。潮位が T.P 4.0 m であれば、波高 4.0 m 程度でも打ちあげ高さを T.P 7.0 m におさえることができる。潮位が 5.0 m の時は、小段高を 4.5 m、長さを 3.0 m にすると、波高 3.2 m 程度で打ちあげ高さは T.P 7.3 m 程度で、事務所計画案に比較すると約 50 cm 程度低下させることができる。潮位が T.P 5 m 以下で、波高が比較的小さい場合には、これらの実験結果を組合わせて打ちあげ高さを推定すればよいであろう。

⑤ 越波量は、堤頂高が T.P 5.9 m、T.P 6.5 m の 2 者について実験を行なった。堤頂高が T.P 7.5 m の場合は、前に行なった実験結果からもわかるように、事務所計画案でも波高 4 m 程度であれば、あらゆ

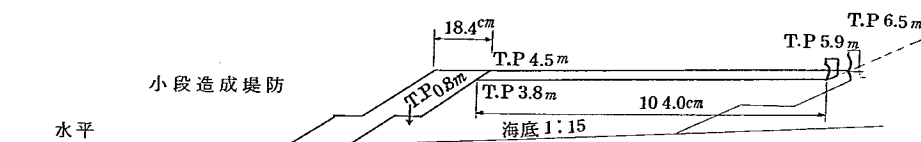


図-Ⅲ-33 模型堤防側面図小段造成堤防

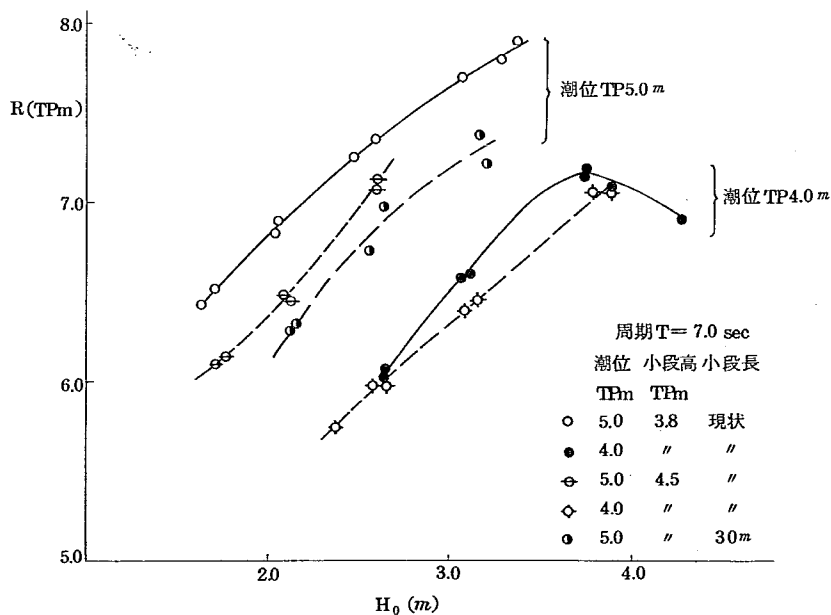


図-Ⅲ-34 小段造成堤の形状考察(うちあげ高)

る場合に越波量は $0.1 \text{ m}^3/\text{m.T}$ 以下になっている。図からわかることは、堤頂高をおさえて小段高のみを高くしたのでは、越波量は逆に増大する。この傾向は潮位および堤頂高に関係なく認められる。これは、小段勾配がゆるく、かつ長いため小段上の水位が高まり、堤頂高との差が比較的小さい時には、そこにたまった水が、そのまま堤内に越波するためである。したがって小段を高くする場合には必ずそれに伴って、堤頂高を高くする必要がある。また、小段長をこの程度長くするのでは、越波量に対してはあまり関係のないことがわかる。

㊦ つぎに、これらの堤防形状における打ち上げ高と越波量との関係を調査した。結果を図-III-36に示す。図によると小段高 T.P 4.5m、堤頂高 5.9m の場合の越波量が最も大きく、小段高 T.P 3.8m、堤頂高 6.5m の場合が最も小さい。小段高が T.P 3.8m、堤頂高が T.P 5.9m の場合と、小段高が T.P 4.5m、堤頂高が T.P 6.5m の場合は、やゝ後者が大きい越波量が $0.1 \text{ m}^3/\text{m.T}$ 以上の場合はその特性は殆ど同程度である。これらからみて、比較的に長い小段を造成する場合には、堤頂高と小段高の差は大きい程良いことがわかる。

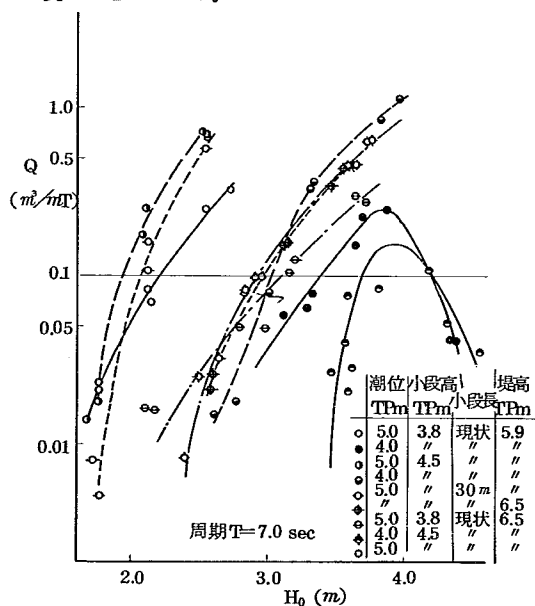


図-III-35 小段造成堤の形状考察(越波量)

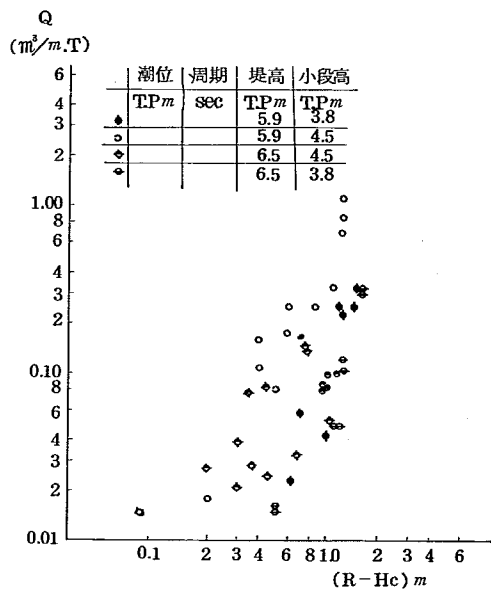


図-III-36 図番だけ

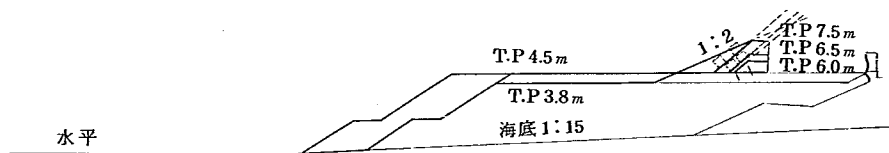


図-III-37 模型堤防側面図 最終案堤防

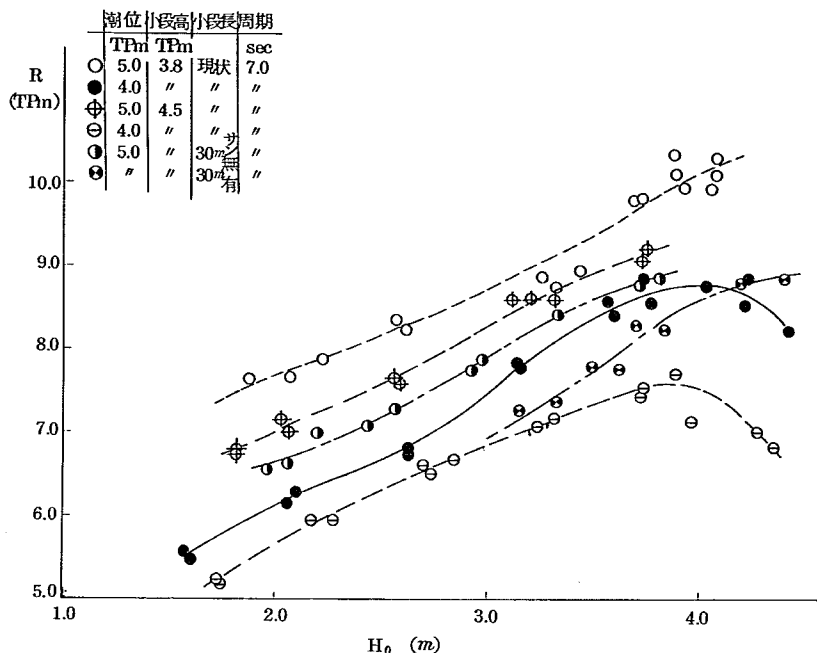


図-Ⅲ-38 最終案堤防の形状考察〔小段形状〕(うちあげ高)

以上のべてきた打ちあげ高, 越波量は, 前にものべてきたように無風時の場合であって, 台風時の越波量は, これらの値の3~4倍となることに留意しておく必要がある。

⑧ 最終案堤の形状考察(小段形状の考察)

前項と同様の方法にて最終案堤の形状についての考察実験を行なった。堤防形状を図-Ⅲ-37に示す。また, 実験結果を図-Ⅲ-38, 39に示す。以下結果の検討を行なってみよう。

④ 打ちあげ高さについてみると, 潮位が T.P 4.0 m の場合には, 事務所計画案と比較すると, 波高 3~4 m で打ちあげ高さは 0.5~1.0 m 程度低い。波高 4 m の場合, 打ちあげ高さは T.P 7.5 m 程度である。潮位が T.P 5.0 m の場合は小段を高くかつ, 長くするにつれて打ちあげ高さは低下するが, 小段高 T.P 4.5 m, 長さ 30 m の場合でも, 波高 3~4 m で, T.P 8.0~9.0

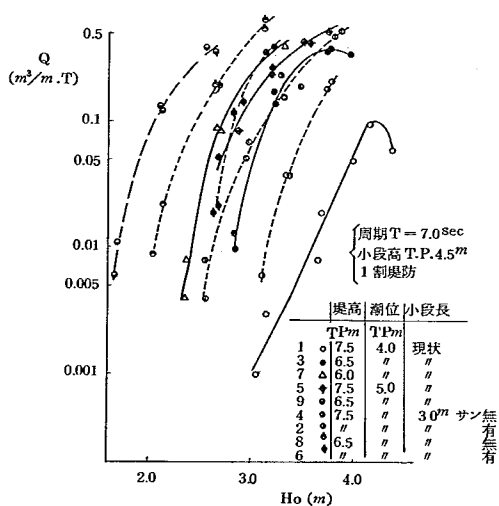


図-Ⅲ-39 最終案堤防の形状考察〔小段形状〕(越波量)

mの打ちあげ高さを示している。そこで、図にも示したように、さんを設置した。その結果、波高3～4mで打ちあげ高さをT.P 7.0～8.5m程度まで低下させることができた。

㊤ 越波量については、堤頂高がT.P 7.5m, 6.5m, 6.0mの3者について実験を行なった。潮位T.P 4.0mの場合は、堤頂高をT.P 7.5mにすれば、波高4mで、 $0.1m^3/m.T$ 程度の越波量におさえることができる。堤頂高をT.P 6.5mにした場合は3m程度の波高で $0.1m^3/m.T$ 弱の越波量にすることが可能である。潮位T.P 5.0mの場合は、堤頂高T.P 7.5mの時、小段高および小段長を増大させた上にさんを設けることによって、3.5m程度の波高で $0.1m^3/m.T$ の越波量におさえることが可能である。また堤頂高を6.5mにすると越波量は大幅に増大することが認められる。

㊦ 越波量について、打ちあげ高との関係を調査したものを図-Ⅲ-40に示す。この図は、前に得られている図-Ⅲ-15と殆ど同程度の値を示している。図-Ⅲ-15に用いた堤防は河川高潮堤でパラペットなしの場合で、両堤防の差は、堤防前面部形状が異なるのみである。図からみて、これらパラペットなしの場合には、打ちあげ高が得られていれば、任意の堤頂高の越波量を推定することは十分可能と思われる。

以上最終案堤の形状考察を行なってきたが、潮位T.P 5.0mで波高の大きい場合には越波量は比較的大きくなる。このような区間では、堤防天端にパラペットを併用することも考えてよいであろう。

㊧ 最終案堤の形状考察（消波工）

最終案堤の形状考察として、消波工や粗度などを設けた場合についても調査を行なった。その形状を図-Ⅲ-41に示す。消波工は図にも示すように本堤前面の小段上に中空三角ブロックを1層2列に配列したものである。粗度は、法面に沿って2m間隔に50cm角の棧を設けたものと、法面を1mおよび2mの階段状にしたものの2種類である。実験結果を図-Ⅲ-42に示す。この図より、消波工や粗度の効果は明らかであるが、消波工の場合、実際にはこの程

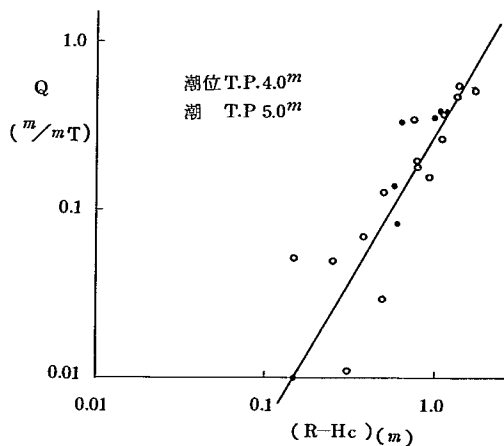


図-Ⅲ-40 最終案（パラペットなし）堤の打ちあげ高と越波量の関係

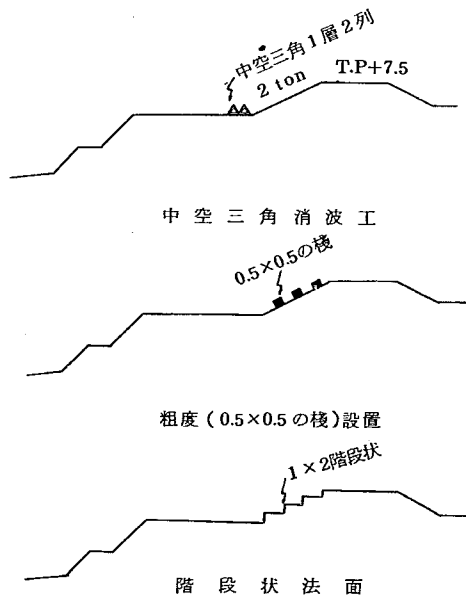
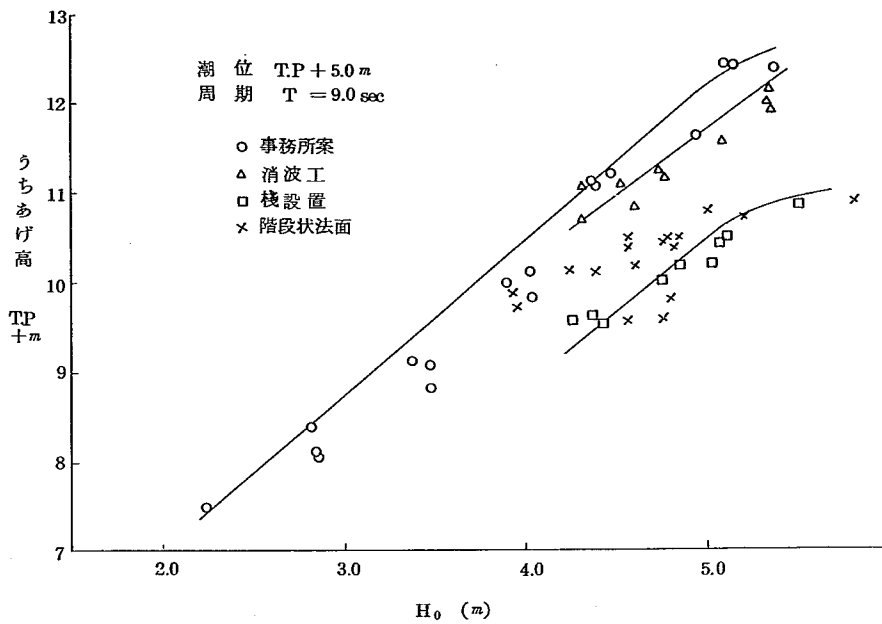
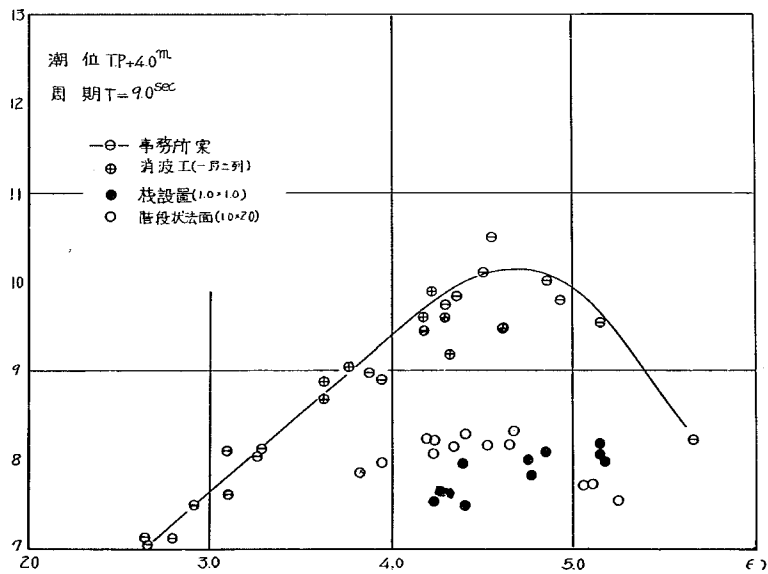


図-Ⅲ-41 粗度および階段状堤防



図一Ⅲ-4 2(a)



図一Ⅲ-4 2(b) 事務所案および粗度設置後のうちあげ高

度では消波効果は小さい。これは波の来襲と共に消波ブロックが完全に水没し、その効果が減殺されるからである。一方法面上の粗度は水脈の薄くなった所では、そ上を阻止するのでかなり効果が期待できる。潮位 T.P 4.0m であれば、粗度を設けることにより、打ちあげ高を T.P 8.5m 以下におさえることが可能である。

4. 結 論

4-1 海岸高潮堤

①竣工当時および現在の長島海岸堤防の水利機能を越波量によって検討すると次のようになる。

竣工当時の越波量

潮位 T.P + 3.5m	T = 9.0sec	Q = 0.1 m ³ /m.T
+ 4.0m	T = 7.0sec	Q = 0
	= 8.0sec	= 0.02
	= 9.0sec	= 0.3

このように竣工当時の長島海岸堤防は、潮位 T.P + 4.0, 周期 8.0sec 程度の波に対しては十分な高さをもった堤防であった。竣工当時から 1.0m 近く沈下した現在の堤防の機能は著しく低下し、潮位 T.P + 4.0m, 周期 (T) = 7.0sec, 波高 (H) = 2.0m 以上の波となれば、許容量以上の許容量が生ずることになる。

②本省海岸課より提示された計画案は、天端高 T.P + 7.5m の表小段を持った堤防で、表小段は高さ T.P + 3 ~ 3.5m, 小段幅 5.1m で小段上は三連ブロックにより被覆されている。この堤防の機能をみると、竣工当時の現長島堤防より悪くて倍程の越波量となる。天端高が T.P + 7.5m に保たれるとすると、潮位 T.P + 4.0m, 周期 (T) = 8.0sec, 波高 (H) = 3.0m 以下であれば許容越波量内に収まる。

③想定される水量全てに対して、越波量を許容内に収めようとして提案したのが土砂案 - 1 - 2 の堤防である。

しかしながらこの堤防の形状を推奨するものではなく、どの程度の形状が必要であるかの一つの目安を与えたものである。

4-2 小段形状の一般的考察

①小段幅のうちあげ高に対する効果は、他の小段こう配や小段高より大きく、小段幅を波長の 1/3 以上にとると、単断面堤防のうちあげ高の 5 ~ 7 割程度に落すことができる。

②来襲波の周期が長い場合には (T = 7.0 ~ 9.0sec) 小段幅の短い領域のうちあげ高は単断面堤防より大きくなるので、このような小段幅はさけるべきである。

③小段こう配のうちあげ高に対する効果は、小段幅が波長の 1/5 以上になって初めて現われ、小段こう配がきつくなる程うちあげ高は低くなる。

④なお、小段上の Set-up は、この小段こう配の影響を最も受け易く、小段こう配が 1/20 よりきつくなると、小段上に常時滞溜水が残るようなことはない。

⑤小段高の効果は、 $H_c/h = 0.75 \sim 1.15$ の範囲内では、小段高が変ることによってうちあげ高が変るの

は 1～2 割程度である。

⑥小段上の Set-up は、小段高と水深の比 (H_c/h)によって決まり、 H_c/h が大きくなるにしたがって、堆水深が大きくなり堆水こう配はきつくなる。

4-3 河川高潮堤

(1) 施工時の河川高潮堤の機能

潮位 T.P 5.0 m, 周期 7.0 sec, 波高 3 m の場合、打ちあげ高さは約 T.P 8.5 m, 越波量は無風時 0.2～0.3 m³/m.T である。波高が 2 m の場合は、打ちあげ高さは約 T.P 7.5 m である。

潮位 T.P 4.0 m, 周期 7.0 sec, 波高 3 m の場合、打ちあげ高さは T.P 8.0 m, 越波量は無風時 0.06 m³/m.T 程度である。波高が 2 m の場合は、打ちあげ高さは約 T.P 6.5 m である。

(2) 小段造成堤

潮位 T.P 5.0 m, 周期 7.0 sec, 波高 3 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは約 T.P 7.6 m で小段長 30 m, 小段高を T.P 4.5 m にすると T.P 7.2 m 程度にすることができる。波高 2 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは約 T.P 6.8 m で小段長 30 m, 小段高 T.P 4.5 m にすると T.P 6.1 m 程度にすることができる。

潮位 T.P 4.0 m, 周期 7.0 sec, 波高 3 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは約 T.P 6.5 m で小段高を T.P 4.5 m にすると T.P 6.3 m 程度にすることができる。波高 2 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは約 T.P 5.5 m で、小段高を T.P 4.5 m にしても殆ど変らない。

越波量に関しては、小段高さを高くした場合には、それに伴ってパラペット高を高くする必要がある。これによって、打ちあげ高さの減少分だけ越波量を小さくすることができる。なお、パラペット付き堤防の場合、台風時の越波量は無風時の約 3 倍程度になることを考慮しておくことが必要である。

(3) 最終案堤防

潮位 T.P 5.0 m, 周期 7.0 sec, 波高 3 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは、約 T.P 8.7 m で、小段高 T.P 4.5 m, 小段長 30 m, かさあげ堤の勾配を 1 割にすると、打ちあげ高さを T.P 7.9 m 程度にすることができる。波高 2 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは約 T.P 7.7 m で、小段形状を上と同様にすると、打ちあげ高さを T.P 6.7 m 程度にすることができる。

潮位 T.P 4.0 m, 周期 7.0 sec, 波高 3 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは、約 T.P 7.5 m で小段高 T.P 4.5 m, かさあげ堤の勾配を 1 割にすると、打ちあげ高さを T.P 6.8 m 程度にすることができる。波高 2 m の場合、事務所案では、打ちあげ高さは約 T.P 6.0 m で、小段形状を上と同様にすると、打ちあげ高さを T.P 5.6 m 程度にすることができる。

Ⅳ 3次元歪模型に関する基礎実験

1. 実験目的

本曾三川高潮対策模型実験の一環として、揖斐川河道内波浪入射実験を行なっている。これは平面実験で模型を歪ませてある。一般に、波浪実験で模型を歪めると種々の問題が生じ、局部的な波高変化状況を把握する必要がある場合等は適切ではない。しかし、全般的な波高変化状況に着目すればよい時には、結果の補正法を考慮しておけば歪模型でも十分実験は可能であると思われる。

本平面実験は揖斐川河道内の堤防高をきめるために行なう実験で、波高、打ちあげ高の局部的な変動状況はそれ程重視してはおらず、下流から上流へ波が侵入するにつれてどの程度波が減衰して行くかを知ることが主目的である。このため、歪模型でも実験は十分可能であると判断した。

本基礎実験は、歪模型における種々の問題点を検討するために行なった実験であり、結果の補正法等についても考察を加えている。

2. 歪模型における問題点の考察

2-1 波浪実験の相似率

波浪実験はフルード則に従い、一般には歪は許されない。縮尺を $1/m$ とすれば、実物と模型の間には次の関係が必要である。

$$\frac{H_p}{H_m} = \frac{L_p}{L_m} = \frac{h_p}{h_m} = \frac{S_p}{S_m} = m, \quad \frac{v_p}{v_m} = \frac{T_p}{T_m} = \sqrt{m}, \quad \begin{cases} H: \text{波高}, L: \text{波長}, \\ h: \text{水深}, S: \text{平面距離}, \\ v: \text{流速}, T: \text{周期}, \\ \text{sulfix} \\ p: \text{実物}, m: \text{模型}, \end{cases}$$

このほかに、海底による摩擦減衰があるが、これは現地と模型では相似しないので別個に考慮する必要がある。

2-2 波浪変形と歪模型

波浪変形は回折、屈折、反射、碎波、堤防への打ちあげ、摩擦による波高減衰等の現象が合成されたものである。したがって、歪模型上でこれらの諸現象が正常模型の場合と比較してどのような相違を示すかについて検討し、それに対処する方法等についても考察を加えておく必要がある。以下、上にのべた個々の現象についてその概略の性質をのべてみよう。

(1) 回折

回折係数を平面 $(X/L, Y/L)$ 上にプロットすると等値曲線は複雑なる曲線分布となる。このため、平面長さと波長の縮尺が一致しないと模型上の回折波分布は異なってくる。

(2) 屈折

屈折は波速の差によって生ずるもので、図Ⅳ～1の状態の時波の入射角度、屈折角度を α_1, α_2 とすると次式が成立する。

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

上式を変形すると次式が得られる。

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{C_1/C_0}{C_2/C_0} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

C/C_0 は h/L_0 の関数であるので、 C/C_0 に
対応する h/L_0 はきまってくる。異なる模型
(無歪模型, 歪模型) 上において対象地点のそ
れぞれの h/L_0 が同一であれば、 C/C_0 は同一
となり従って C_1/C_2 も同一値となって同一の
屈折状態になる。 h/L_0 が異なると、 C/C_0 は異
なり C_1/C_2 の値も異なってくる。模型上の任

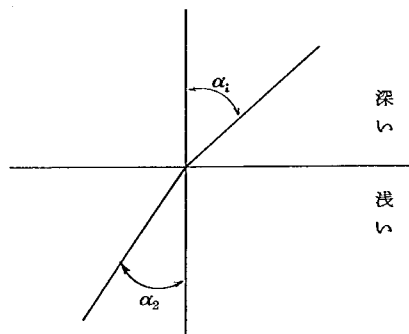


図 IV ~ 1 波の屈折

意の場所において h/L_0 を同一にするには、水深方向長さ
と波長の縮尺を同一にする必要がある。しかし、
この場合でも、歪度を大きくして行くと床板の凹凸が波長に比
べて次第に小さくなり屈折の状態もやゝ異
なってくるから、歪度はあまり大きくすることはさけた方が
良い。

(3) 反射

反射現象については、反射率と反射波形を考えておくことが
必要である。反射率は一般につきの要素で
きまってくる。

$$\text{反射率} = F \{ H_0/L_0, \text{堤防形状}, h/L_0, \text{入射角度}, \text{海底勾配} \}$$

上の要素の中では H_0/L_0 , 入射角度, 堤防形状はその影響度
が強い。このため、堤防形状、 H_0/L_0 は現
地と同一であることが望ましく、従って、これらは歪めない
方がよい。反射波形は、斜め入射の場合堤防
前面部では一般に格子型のマス目を形成する。マス目の大
きさは波長と入射角度によってきまるものである。マス目
の大きさが変るのは合成波の最大地点、最小地点が変るこ
とで、この波が堤防等に再入射する場合には、最大打ちあ
げ高、最小打ちあげ高の場所が異なってくることを意味す
るものである。これらの反射波形を同一にするためには、
平面長さと波長の縮尺を同一にする必要がある。

(4) 碎波

碎波水深 H_b/L_0 及び碎波波高 H_b/H_0 は、 H_0/L_0 と
海底勾配にてきまってくる。従って、水深方向長さ
と波長の縮尺を同一にしないと碎波水深は大幅に異なる
恐れがある。

(5) 堤防への打ちあげ高

堤防への打ちあげ高は次の要素できまってくる。

$$R/H_0 = \{ H_0/L_0, h/L_0, \text{堤防形状}, \text{海浜勾配}, \text{入射角度} \}$$

打ちあげ高は上にのべてあるすべての要素が相当大きく
関係してくる。したがって波形勾配、堤防形状、海浜勾
配等は現地と同一にし、水深方向長さ
と波長の縮尺を同一にした方がよいことがわかる。

(6) 摩擦による波高減衰

これは別個に考慮する。

以上が波の変形現象の概略である。一般に歪模型は、
平面形を小さくし、縦方向を大きくする。当然、

いままでのような種々の問題が発生してくる。そこで、これらの現象をできるだけ正常模型時の状態に近づけるようにする必要がある。このために、具体的には波の縮尺方法と模型細部形状の製作方法について検討することが必要である。以下、これらについて考察を加えた。

(1) 堤防形状

堤防形状は打ちあげ高、反射率等に大きい影響を与えるので歪ませないで、現地と同一形状にて縮尺する。縮尺は縦縮尺にあわせる。

(2) 堤防付近の形状

堤防だけではなく、堤防付近の形状も打ちあげ高にかなり大きな影響を与えるので歪ませない。縦縮尺にあわせる。

(3) 波形勾配

波形勾配は、打ちあげ高、反射率、碎波等に大きな影響を与えるので、現地と同一にする。すなわち波の縮尺は歪ませない。

(4) 波の縮尺方法

波の縮尺方法として考えられるのは、模型の縦縮尺にあわせる方法、横縮尺にあわせる方法、任意に縮尺する方法である。縦縮尺に波をあわせた場合は、屈折、碎波、反射率等は正常模型の場合と同一になる。このため、回折、反射等を含めて波の進行線は正常模型の場合と同一になる。しかし、回折波の波高分布、碎波波高、反射波のマス目の大きさ等が異なってくる。この中で最も影響のあるものは回折波分布の差であろう。

横縮尺に波をあわせた場合は、屈折状況が異なるため波の進行線が異なってくる。また碎波現象は状況によって大幅に異なる恐れがある。しかし、回折波、反射波のマス目の大きさ等は歪めない場合と同一である。ゆえに屈折現象や、碎波現象が比較的著しい時は、波の進行線および、碎波状況が異なるため、すべての現象が異なってくる。ゆえにこの縮尺方法を採用できるのは、屈折や碎波の少ない場合に限られるであろう。任意に縮尺するのは、縦縮尺、横縮尺の中間で、両者の欠陥を補なうことを目的としているが、同時にそれぞれの長所をも失なうことになる。

以上を総合すると、波は縦縮尺にあわせた方が最も問題点は少なく、主として回折波分布の差について注目すればよいことになるであろう。

3. 実験方法と実験装置

3-1 実験方法

実験は模型を歪めない場合、模型を歪めて（歪度2）波を縦縮尺にあわせた場合、横縮尺にあわせた場合および任意に縮尺した場合について、それぞれ屈折のない場合（水平床板）、屈折のある場合（一様勾配床板）について行なった。実験模型は施設の規模を考慮して、平面形を固定し、水深方向を変えて行なうことにした。模型は揖斐川下流部とほぼ同様に波の経路が、斜め入射、反射、再反射をとるようにした。また途中各所で回折を含むようにした。実験模型を図Ⅳ～2に示す。実験時の水深および波はなるべく掛

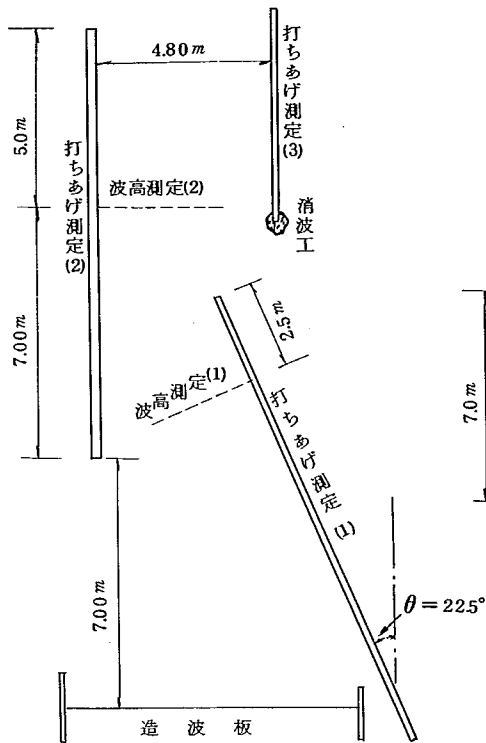


図-Ⅳ～2(a)模型(水平床板)平面図

縮尺 1/100

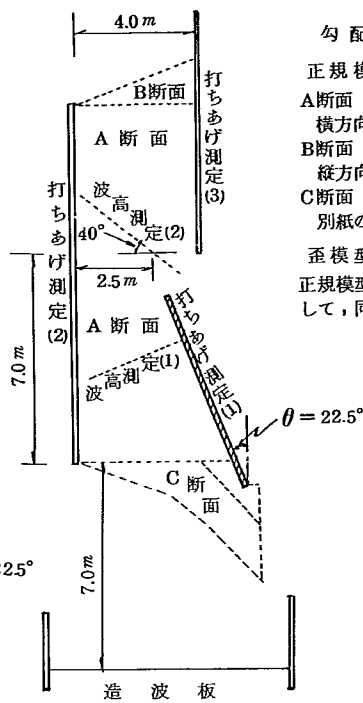


図-Ⅳ～2(b)模型(一様勾配床板)平面図

縮尺 1/100

勾配作成法

正規模型の場合

A断面 横方向 1.8/100 勾配で右上り

B断面 縦方向 5/100 勾配で下り

C断面 別紙の通り

歪模型の場合

正規模型の勾配をすべて2倍として、同一範囲に作成する。

斐川河道および計画波位、計画波浪から得られる値に近い状態にした。現地の河道および波浪条件、実験模型の水深、波等は次の通りである。

現地、 $h=7.5\text{ m}$, $T=6.5\sim 7.0^{\text{sec}}$, $H_0=3.0\text{ m}$, 程度

模型、 $h=18\text{ cm}$, $T=0.9^{\text{sec}}$, $H_0=6\text{ cm}$ [歪のない場合]

3-2 造波装置と測定装置

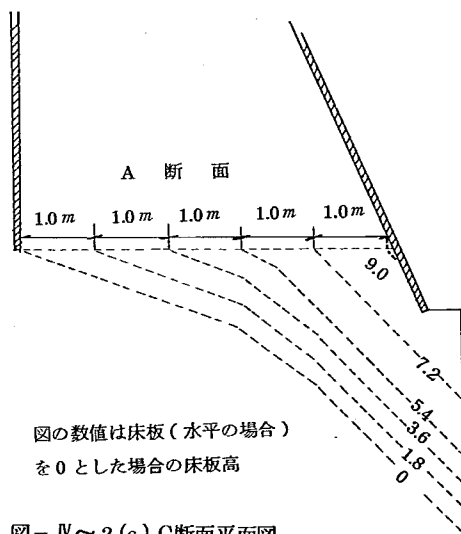
造波装置はペンジュラム型で幅 8 m, 周期範囲 0.8 sec $\sim$ 2.0 sec, 波高 0 $\sim$ 20 cm 程度のものである。波高計は低抗線式波高計を使用した。記録器はビジグラフを用いた。

3-3 実験ケース

実験ケースを表Ⅳ-1に示す。

3-4 実験時の測定法

実験時、水槽の各部には反射消し装置を設置し模



図の数値は床板(水平の場合)を0とした場合の床板高

図-Ⅳ～2(c) C断面平面図

縮尺 1/50

(正規模型)

表Ⅳ～1 実験ケース

(1) 水平床板模型

① 正 規 波	$h = 18cm$	$T = 0.9 \text{ sec}$	$H_0 = 6.2cm$	$H_0/L_0 = 0.049$
② 縦縮尺波	$h = 36cm$	$T = 1.27 \text{ sec}$	$H_0 = 12.7cm$	$H_0/L_0 = 0.050$
③ 横縮尺波	$h = 36cm$	$T = 0.9 \text{ sec}$	$H_0 = 6.0cm$	$H_0/L_0 = 0.0475$
④ 任 意 波	$h = 32cm$	$T = 0.9 \text{ sec}$	$H_0 = 5.8cm$	$H_0/L_0 = 0.046$

(2) 一様勾配床板模型

① 正 規 波	$h = 18cm \sim 9cm$	$T = 0.9 \text{ sec}$	$H_0 = 6.2cm$	$H_0/L_0 = 0.049$
② 縦縮尺波	$h = 36cm \sim 18cm$	$T = 1.27 \text{ sec}$	$H_0 = 12.7cm$	$H_0/L_0 = 0.050$
③ 横縮尺波	$h = 36cm \sim 18cm$	$T = 0.9 \text{ sec}$	$H_0 = 6.0cm$	$H_0/L_0 = 0.0475$

型外からの反射は極力取り除くようにした。実験時の視察によれば、模型外からの反射は殆んど消されていた。実験に先立ち各実験波について模型内における波高の時間的変動を調査した。その結果、模型内各所からの反射、回折等のためかなり時間的に変動のあることが確かめられた。結果例を図Ⅳ～3に示す。そこで、実験はかなり長時間波を発生させ、比較的安定した状態における測定の前平均値と長時間にわたる平均値とにわけて検討することにした。また実験時の波高、打ちあげ高の測定は極大点、極小点を求めて測定した。

4. 実験結果とその検討

4-1 2波以上の合成波の理論的考察

実験結果の検討にさきだって、進行方向の異なる波が混在している場合の波形分布について理論的な考察を加えてみよう。(但し、波の周期は同一で、微小振幅波理論による)

一般に1方向から波が進行している場合は峯線が揃っているが、2方向以上の波が合成されると格子型のマス目が発生する。基本的な波の合成としてはつぎの形式のものが考えられる。

(1) 1方向から堤防へ斜め入射し反射している場合。

- ③ 堤防上の波高(打ちあげ)分布
- ⑤ 堤防前面部の波高分布

(2) 堤防前面にて斜め入射(反射も含む)と沿い波(堤防と平行に進む波)が合成されている場合。

- ③ 堤防の波高(打ちあげ)分布
- ⑤ 堤防前面部の波高分布

(3) 堤防へ相異なる2方向以上の波が斜め入射して反射している場合

- ③ 堤防上の波高(打ちあげ)分布
- ⑤ 堤防前面部の波高分布

以上について理論的な考察を加えてみた。

〔A〕堤防へ斜め入射して反射している場合

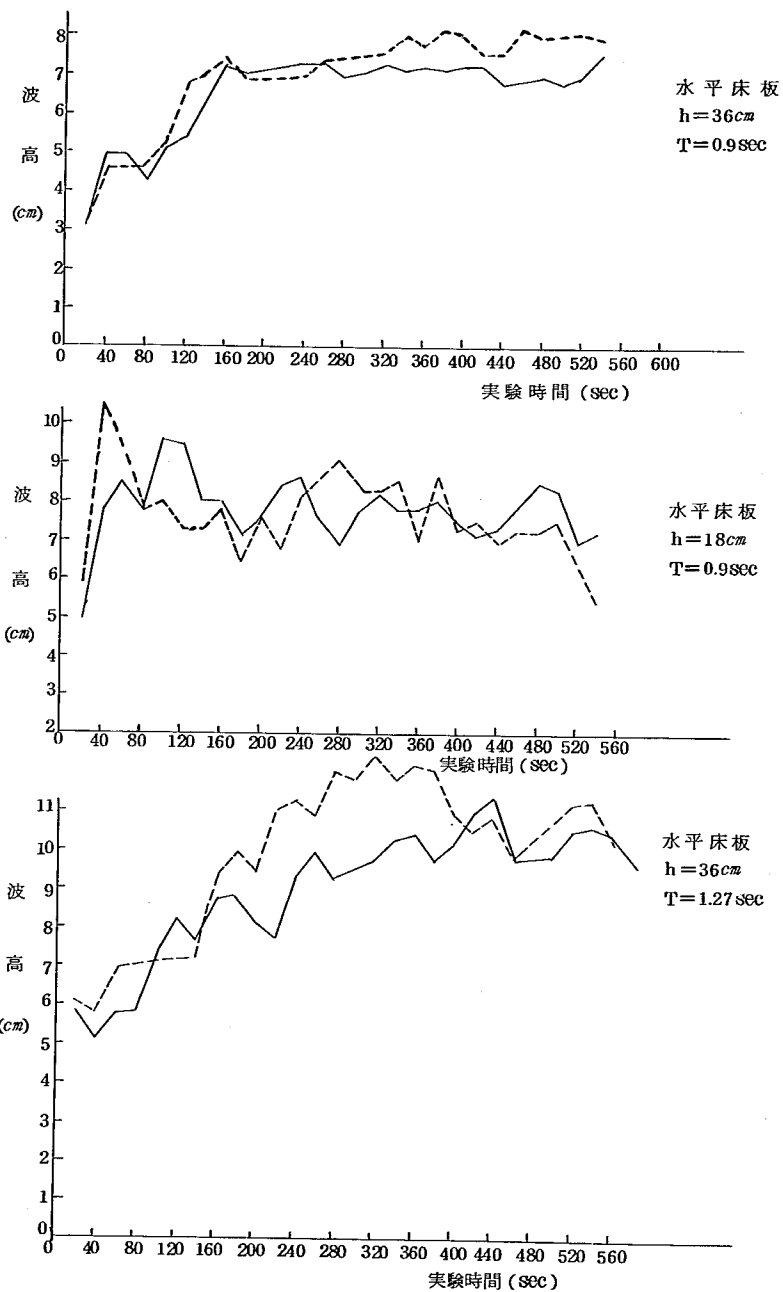
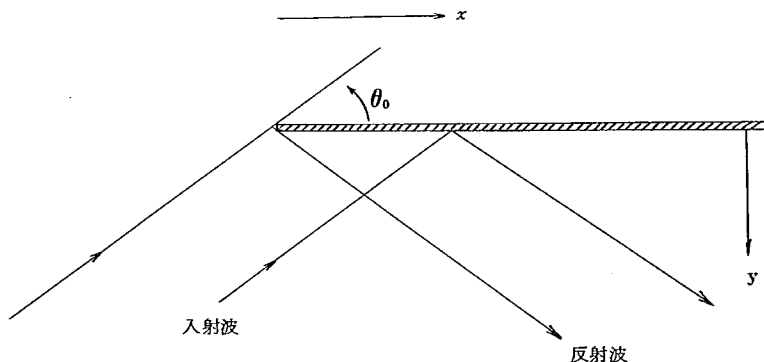


図-N-3 波高の時間的変動

図～Ⅳ～4に示す入射状態時、堤防前面部の水位変動は次式で示されている。

$$\zeta_0 = H_i e^{ikct} \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} + H_r e^{ikct} \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\}$$

$$kc = \sigma = \frac{2\pi}{T}$$



図～Ⅳ～4 防波堤への斜め入射

右辺第1項は入射波で、第2項は反射波である。

上式の実をとれば水位変動式が求められる。

$$\zeta = H_i \left[\cos kct \sin \{ kr \cos(\theta - \theta_0) \} - \sin kct \cos \{ kr \cos(\theta - \theta_0) \} \right] \\ + H_r \left[\cos kct \sin \{ kr \cos(\theta + \theta_0) \} - \sin kct \cos \{ kr \cos(\theta + \theta_0) \} \right]$$

$kc = \sigma$, $r \cos \theta = x$, $r \sin \theta = y$ を代入すると次式を得る。

$$\zeta = -(H_i - H_r) \sin \{ \sigma t - (kx \cos \theta_0 + ky \sin \theta_0) \} - 2H_r \cos(ky \sin \theta_0) \sin(\sigma t - kx \cos \theta_0)$$

時間軸をずらせば次式を得る。

$$\zeta = -(H_i - H_r) \cos \{ \sigma t - (kx \cos \theta_0 + ky \sin \theta_0) \} + 2H_r \cos(ky \sin \theta_0) \cos(\sigma t - kx \cos \theta_0)$$

〔水理公式集〕

上式を整理すると次式を得る。

$$\zeta = \sqrt{H_i^2 + H_r^2 + 2H_i H_r \cos \left(\frac{4\pi y \sin \theta_0}{L} \right)} \sin(\sigma t + \phi)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{H_i \cos \left\{ \frac{2\pi}{L} (y \sin \theta_0 + x \cos \theta_0) \right\} + H_r \cos \left\{ \frac{2\pi}{L} (y \sin \theta_0 - x \cos \theta_0) \right\}}{H_i \sin \left\{ \frac{2\pi}{L} (y \sin \theta_0 + x \cos \theta_0) \right\} - H_r \sin \left\{ \frac{2\pi}{L} (y \sin \theta_0 - x \cos \theta_0) \right\}}$$

上式によれば、堤防前面部の波高は x 方向には同一で y 方向に $L/2 \sin \theta_0$ の波長を持った波高分布となる。堤防上の波高は $y = 0$ を代入すれば $\zeta = H_i + H_r$ となり一定値を示す。

(B) 堤防へ1方向からの斜め入射と沿い波が合成されている場合

一般的な場合として3方向の波が混在する場合前式と同様に取り扱ふと次式を得る。

$$\zeta = - \left[H_1 \sin \{ \sigma t - kr \cos(\theta - \theta_1) \} + H_2 \sin \{ \sigma t - kr \cos(\theta - \theta_2) \} + H_3 \sin \{ \sigma t - kr \cos(\theta - \theta_3) \} \right]$$

$$\zeta = - \{ H_1 \sin \{ \sigma t - (kx \cos \theta_1 + ky \sin \theta_1) \} + H_2 \sin \{ \sigma t - (kx \cos \theta_2 + ky \sin \theta_2) \} \\ + H_3 \sin \{ \sigma t - (kx \cos \theta_3 + ky \sin \theta_3) \} \}$$

$\theta_1 = \theta_0$, $\theta_2 = -\theta_0$, $\theta_3 = 0$ とすると次式を得る。

$$\zeta = \{ H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + 2H_1H_2 \cos 2ky \sin \theta_0 + 2H_2H_3 \cos (kx \cos \theta_0 - ky \sin \theta_0 - kx) \\ + 2H_1H_3 \cos (kx \cos \theta_0 + ky \sin \theta_0 - kx) \}^{\frac{1}{2}} \times \sin (\sigma t + \varphi')$$

$y = 0$ とおけば、水位変動は次式で示される。

$$\zeta_y = 0 \{ H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + 2H_1H_2 + 2(H_2H_3 + H_1H_3) \cos \frac{2\pi}{L}(1 - \cos \theta_0)x \}^{\frac{1}{2}} \sin (\sigma t + \varphi')$$

上式より堤防上での波高(打ちあげ)分布は x 方向に $L/1 - \cos \theta_0$ の波長を持った波高分布となる。

y を任意の値としても同様の波長を持つ。つぎに $x = 0$ として y 方向の波高分布を求めると次式を得る。

$$\zeta_x = \{ H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + 2H_1H_2 \cos \frac{4\pi y \sin \theta_0}{L} + 2(H_2H_3 + H_1H_3) \cos \frac{2\pi y \sin \theta_0}{L} \}^{\frac{1}{2}} \sin (\sigma t + \varphi')$$

上式によれば y 方向に $L/\sin \theta_0$ の波長を持つことがわかる。結局この場合には x 方向にも y 方向にも波長を持った波高分布となることがわかる。

〔C〕堤防へ2方向の波が入射している場合

上にのべた方法と同様にして整理すると次式を得る。

$$\zeta = \{ H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + 2H_1H_2 \cos (2ky \sin \theta_1) + 2H_3H_4 \cos (2ky \sin \theta_2) + 2H_1H_3 \cos \\ (a + \beta) + 2H_1H_4 \cos (a + \gamma) + 2H_2H_3 \cos (a - \gamma) + 2H_2H_4 \cos (a - \beta) \}^{\frac{1}{2}} \sin (\sigma t + \phi)$$

$$\begin{cases} \alpha = kx (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \\ \beta = ky (\sin \theta_1 - \sin \theta_2) \\ \gamma = ky (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) \end{cases}$$

$y = 0$ とおけば次式を得る。

$$\zeta_y = 0 \{ H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + 2H_1H_2 + 2H_3H_4 + 2(H_1H_3 + H_1H_4 + H_2H_3 + H_2H_4) \cos \{ \frac{2\pi}{L}(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)x \} \}^{\frac{1}{2}} \sin (\sigma t + \phi)$$

したがって x 方向には $\frac{L}{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}$ の波長を持つ波高分布となる。

4-2 実験結果とその検討

実験波の横断波高分布を図Ⅳ～Ⅴに示す。つぎに各実験の測定結果を図Ⅳ6, 7, 表Ⅳ～2に示す。

各測定場所における波高、打ちあげ高の変動状態は比較的是っきり表わされている。しかし、これらの分布を詳細にながめるとかなり複雑であるので結果の検討方法を次のようにきめた。

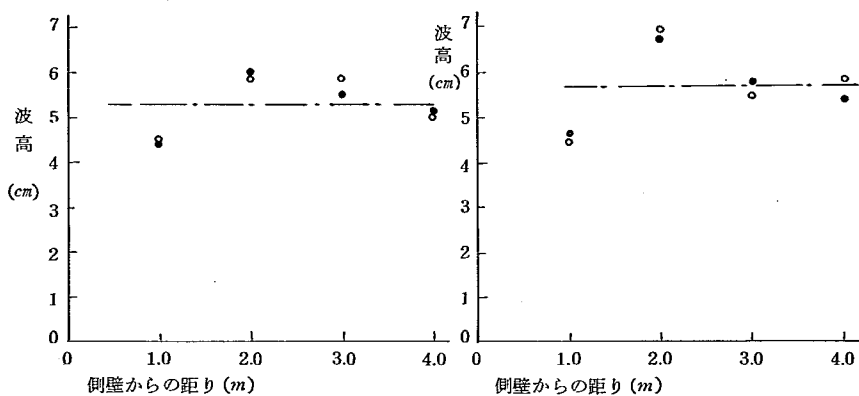
$$\text{波高部} \left\{ \begin{array}{l} \text{断面平均波高} \\ \text{入射波高} \\ \text{断面波高分布の半振幅} \\ \text{断面平均波高} \quad (1 \text{ 方向から入射している場合の反射率}) \\ \text{マス目の波長(波高分布の波長)} \\ \text{その他} \end{array} \right.$$

打ちあげ部

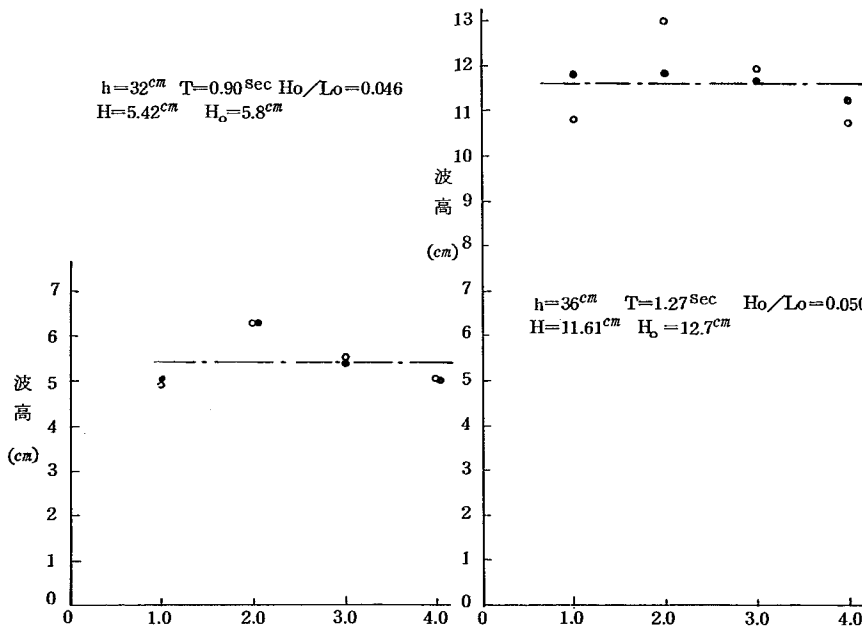
最大打ちあげ高(打ちあげ振幅)
入射波高
最小打ちあげ高(打ちあげ振幅)
入射波高
平均打ちあげ高(打ちあげ振幅)
入射波高
マス目の波長(堤防上における分布の波長)
その他

$h=18^{\text{cm}}$ $T=0.90^{\text{sec}}$ $H_0/L_0=0.046$
 $H=5.3$ $H_0=5.8$

$h=36.0^{\text{cm}}$ $T=0.90^{\text{sec}}$ $H_0/L_0=0.0475$
 $H=5.65^{\text{cm}}$ $H_0=6.0^{\text{cm}}$



$h=32^{\text{cm}}$ $T=0.90^{\text{sec}}$ $H_0/L_0=0.046$
 $H=5.42^{\text{cm}}$ $H_0=5.8^{\text{cm}}$



$h=36^{\text{cm}}$ $T=1.27^{\text{sec}}$ $H_0/L_0=0.050$
 $H=11.61^{\text{cm}}$ $H_0=12.7^{\text{cm}}$

図～Ⅳ～5 実験波の横断分布

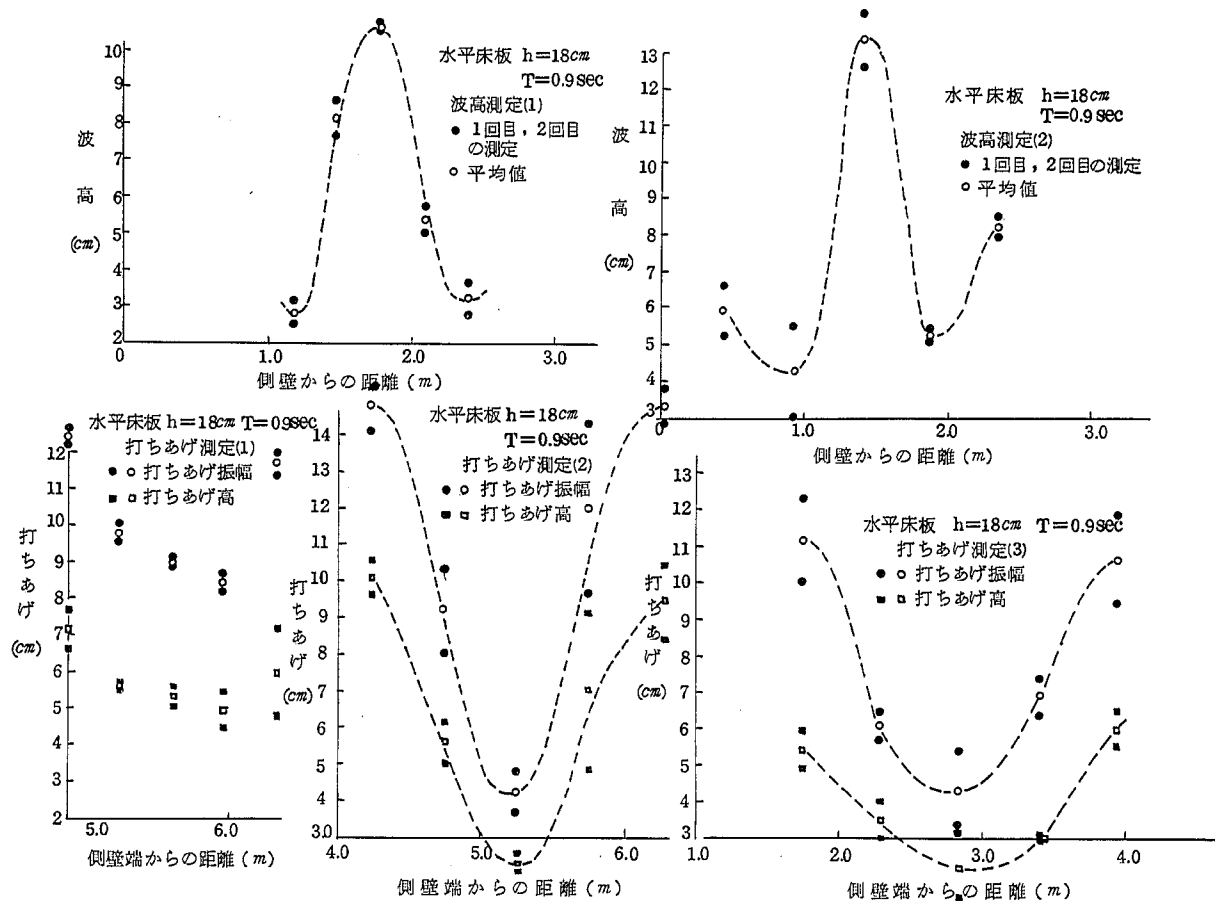


図-N-6-1-1

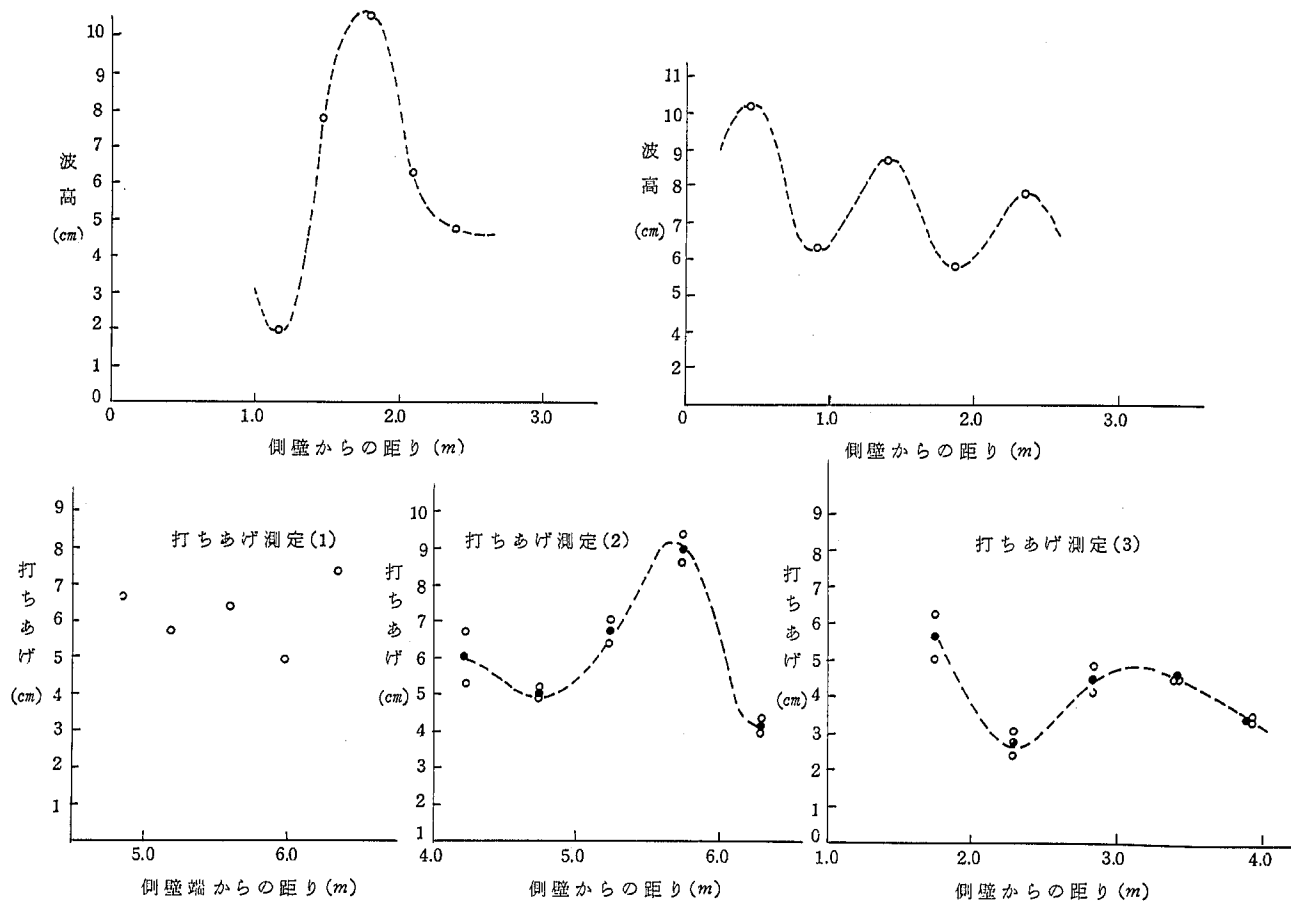


図 - IV - 6 - 1 - 2 水平床板 $h=18\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$

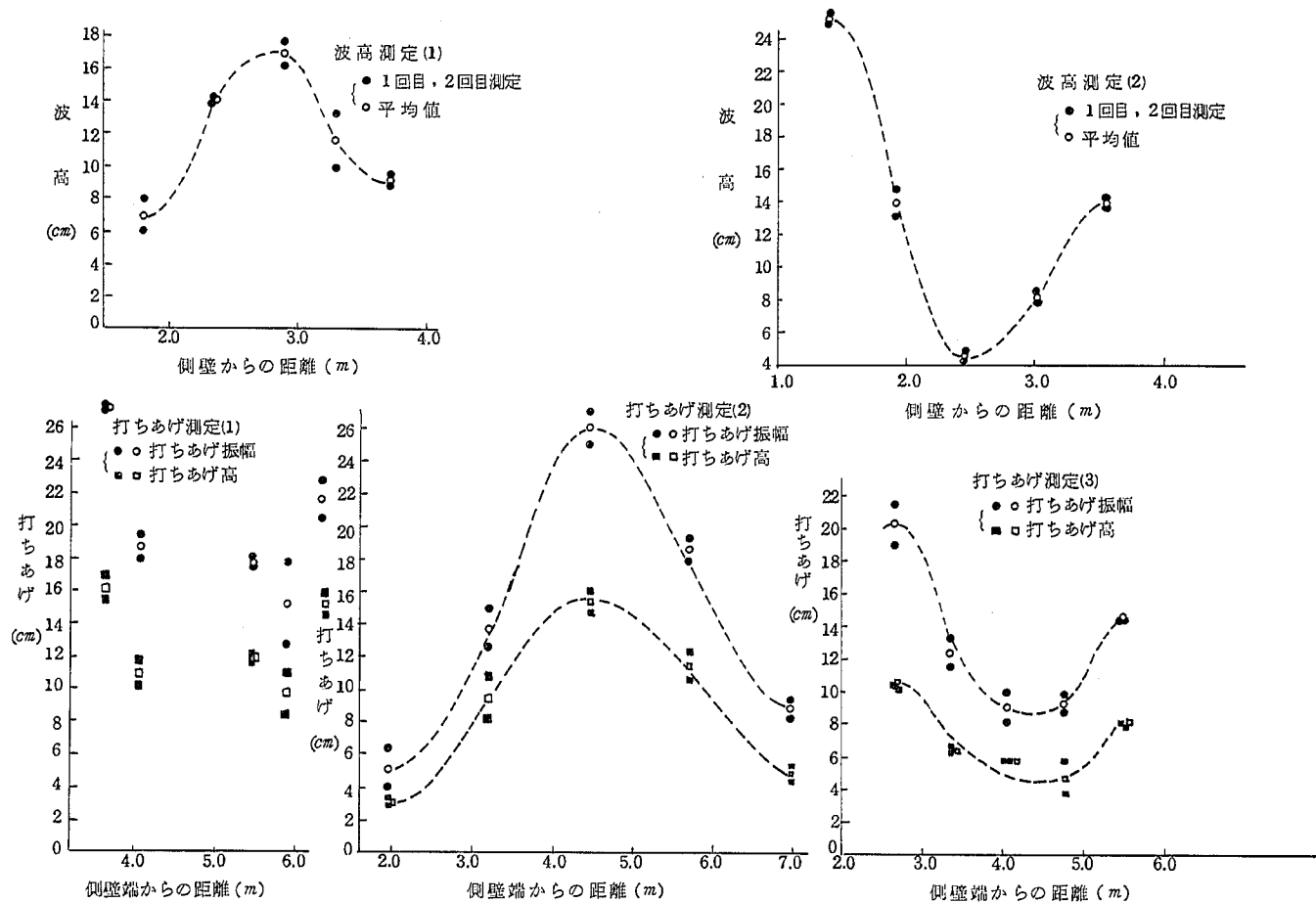


図-N-6-2-1 波高打ちあげ分布
 水平床板 $h=36cm$ $T=1.27sec$

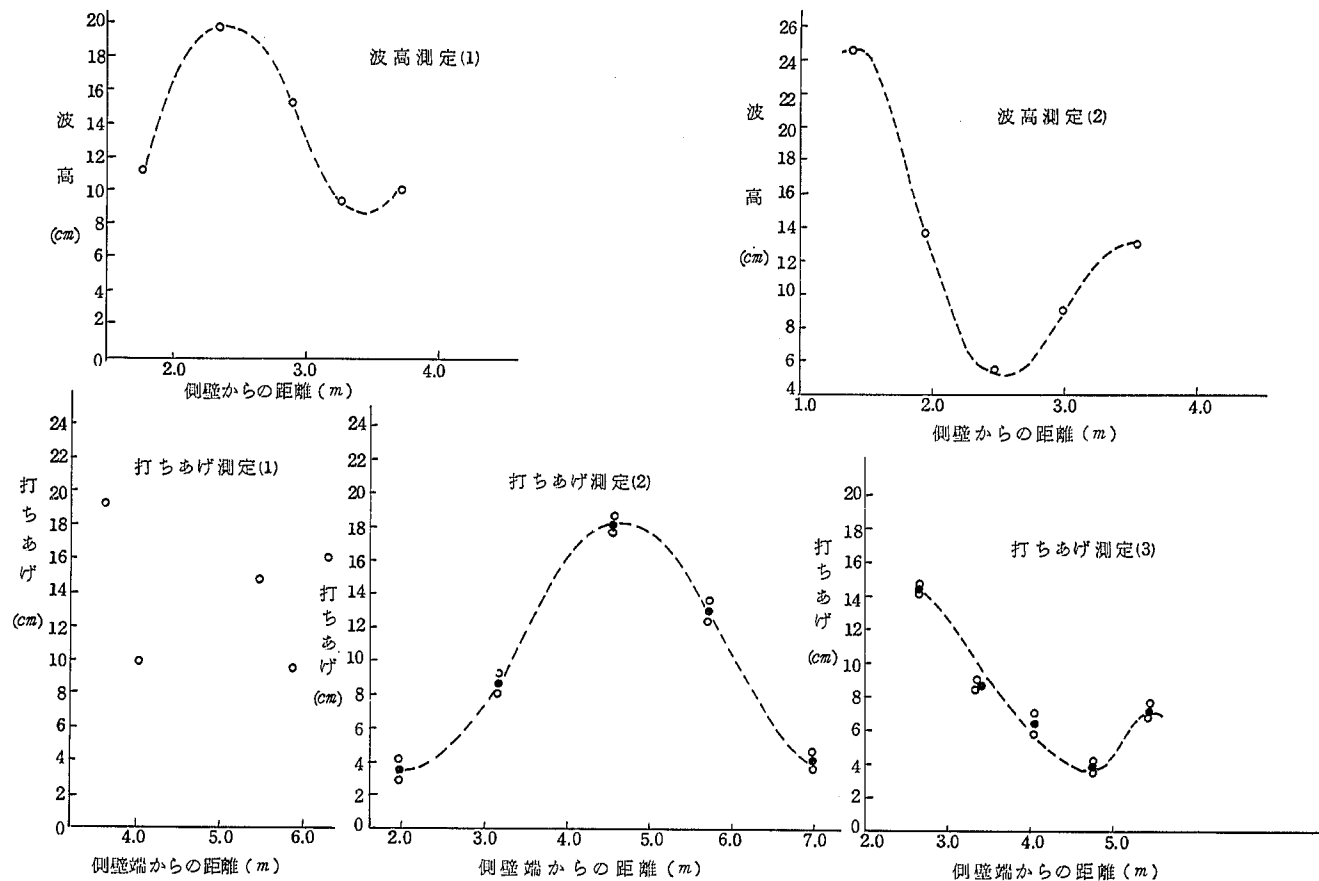


図-Ⅳ-6-2-2 水平床板 $h=36\text{cm}$ $T=1.27\text{sec}$

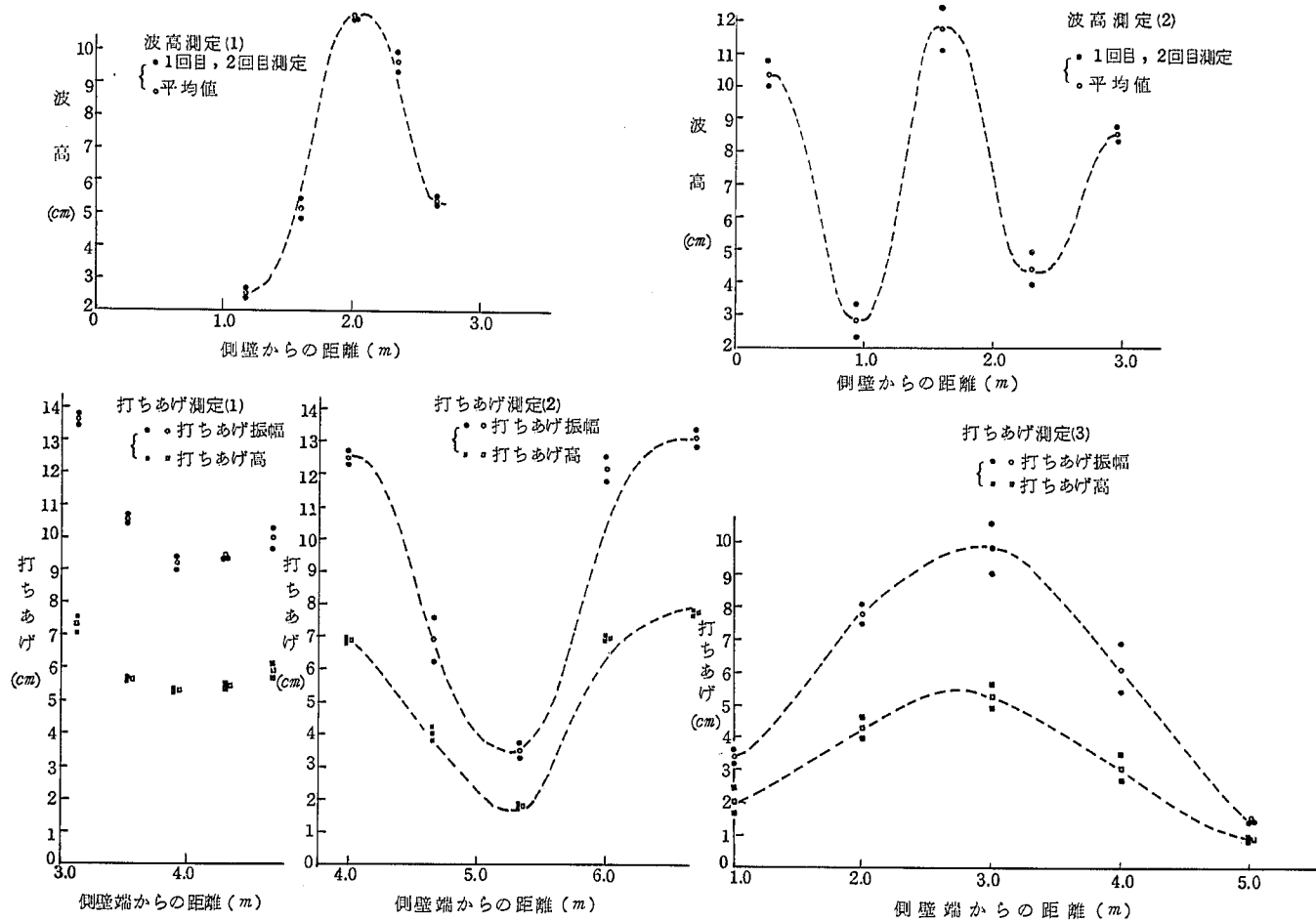
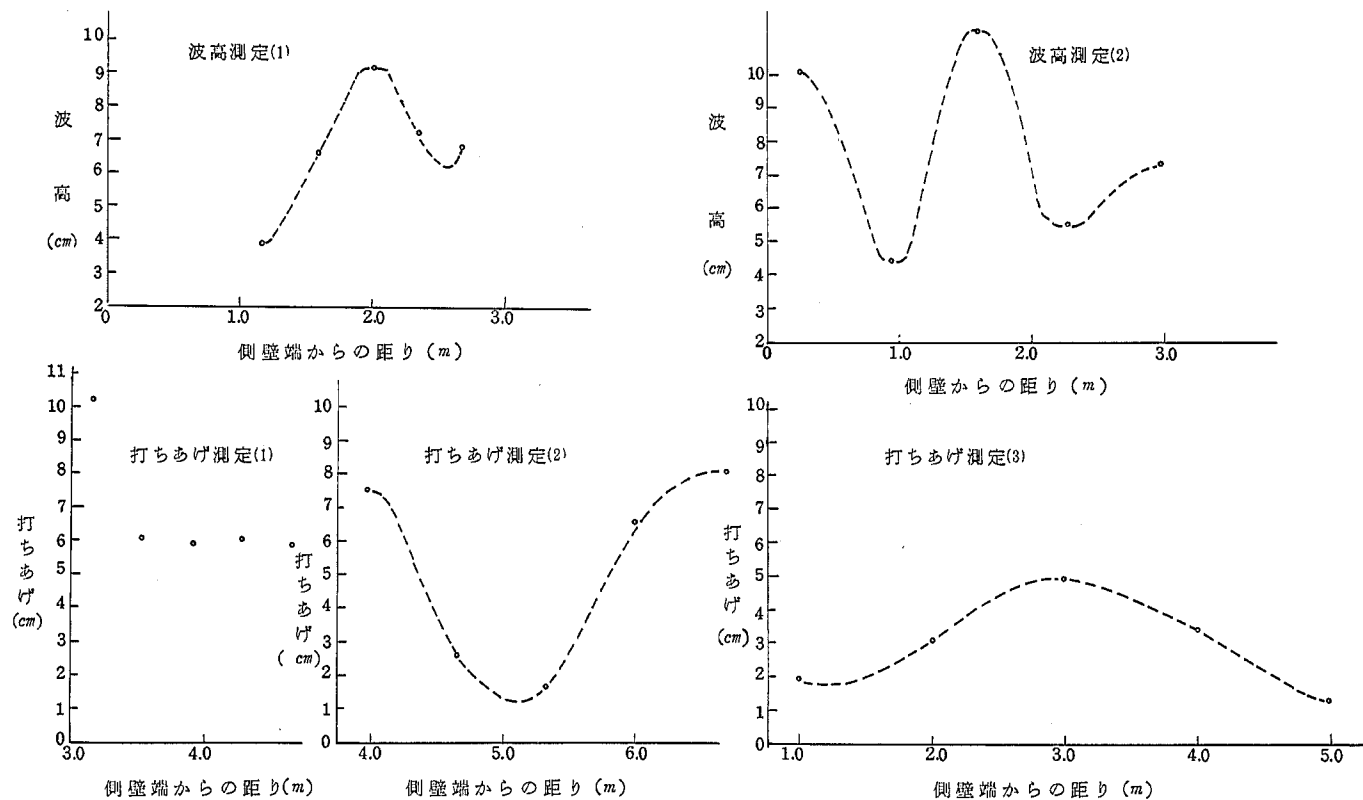
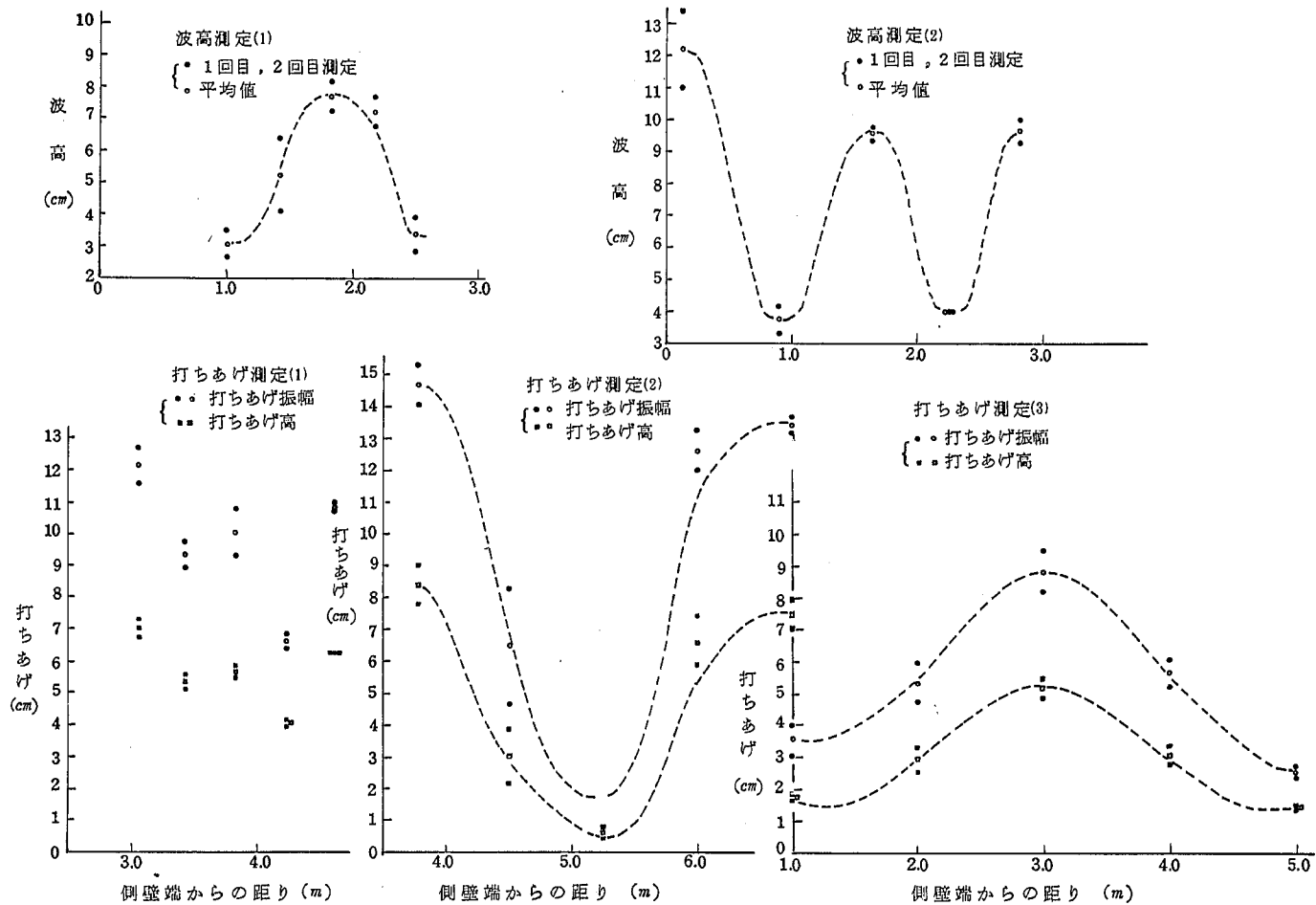


図-N-6-3-1 波高打ちあげ分布
 水平床板 $h=36\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$



図—IV—6—3—2 水平床板 $h=36cm$ $T=0.9\text{ sec}$



図—Ⅳ—6—4—1 波高打ちあげ分布

水平床板 $h=32\text{ cm}$ $T=0.9^{\text{sec}}$

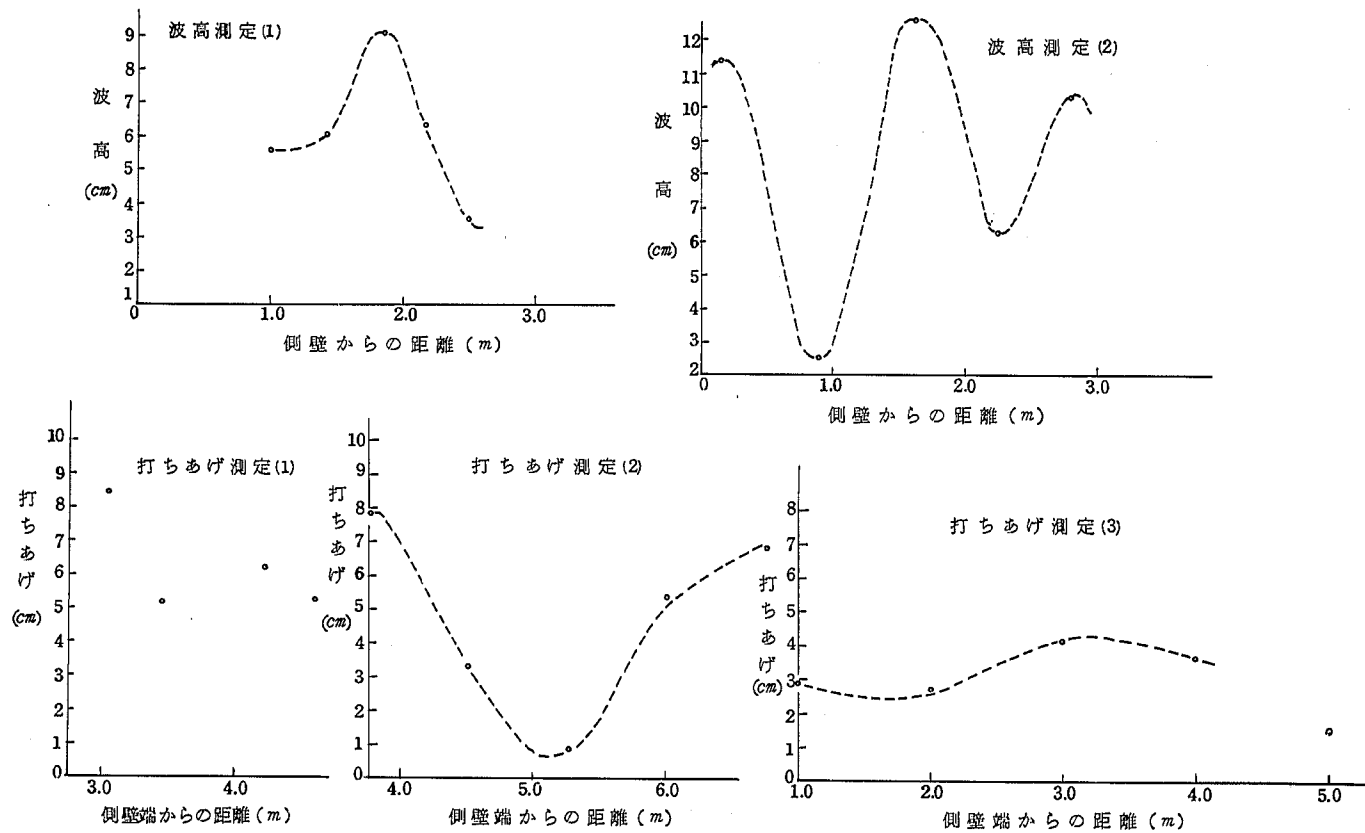


図-N-6-4-2 水平床板 $h=32\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$

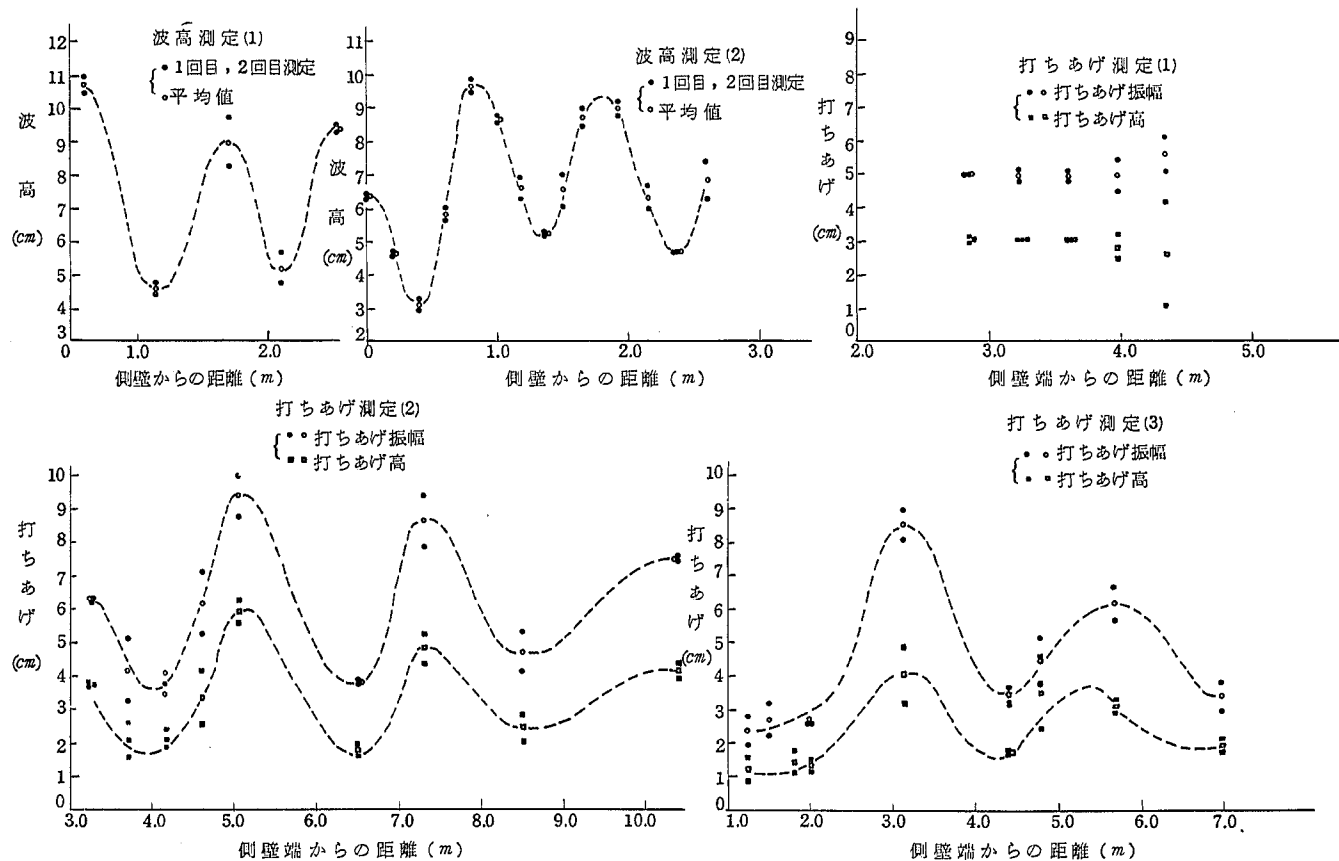


図-N-7-1-1 波高打ちあげ分布
 一様勾配床板 $h=18\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$

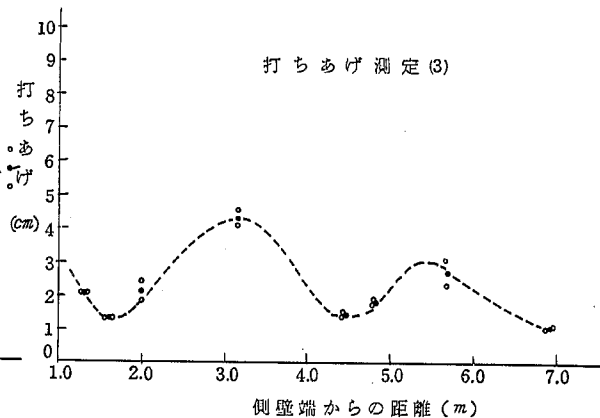
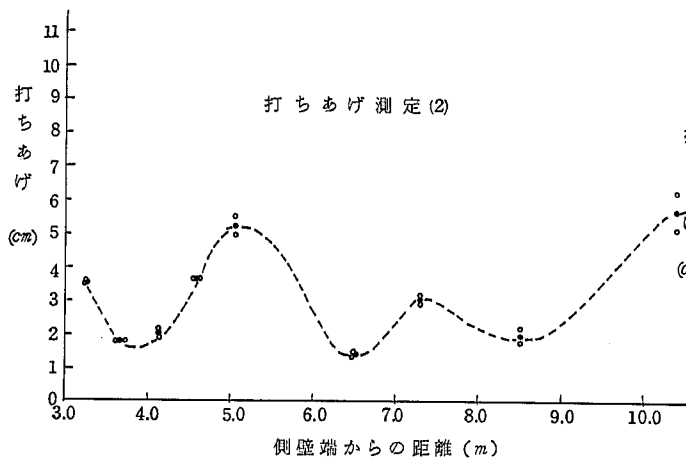
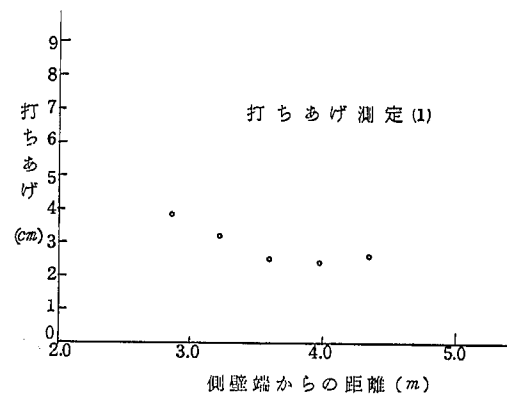
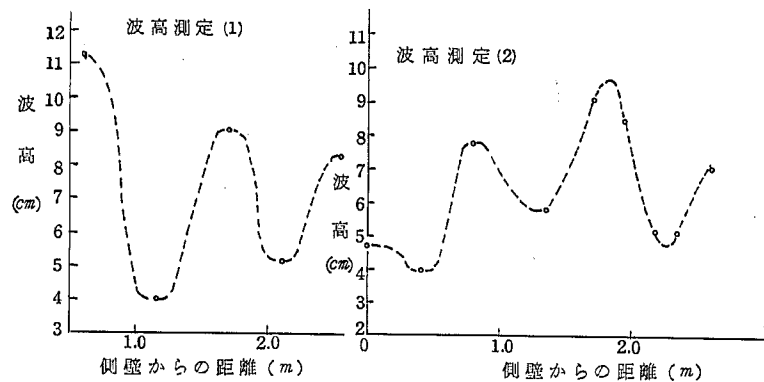
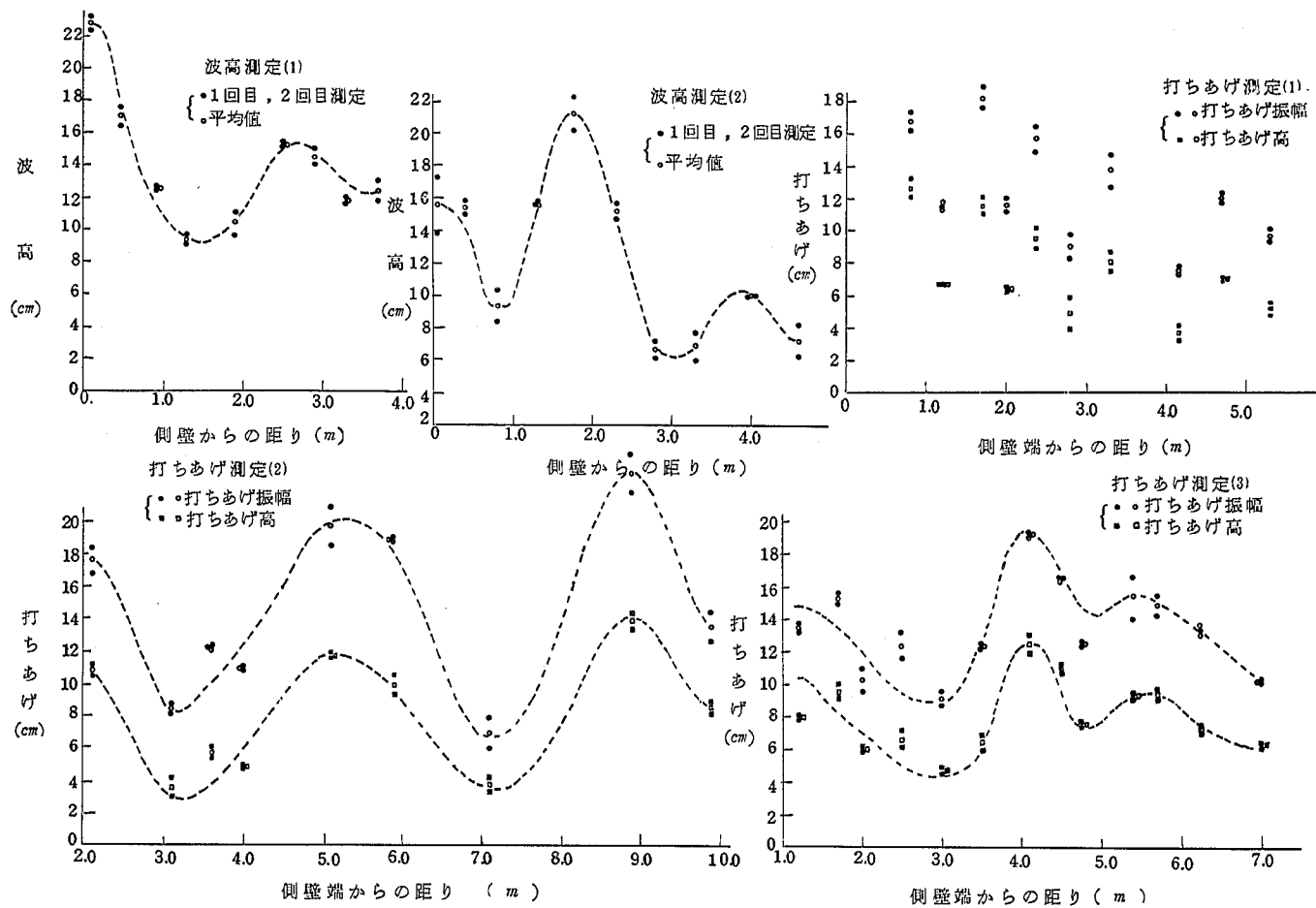


図-N-7-1-2 一様勾配床板 $h=18\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$



図一Ⅳ-7-2-1 波高，打ちあげ分布
 一様勾配床板 $h=36\text{ cm}$ ， $T=1.27\text{ sec}$

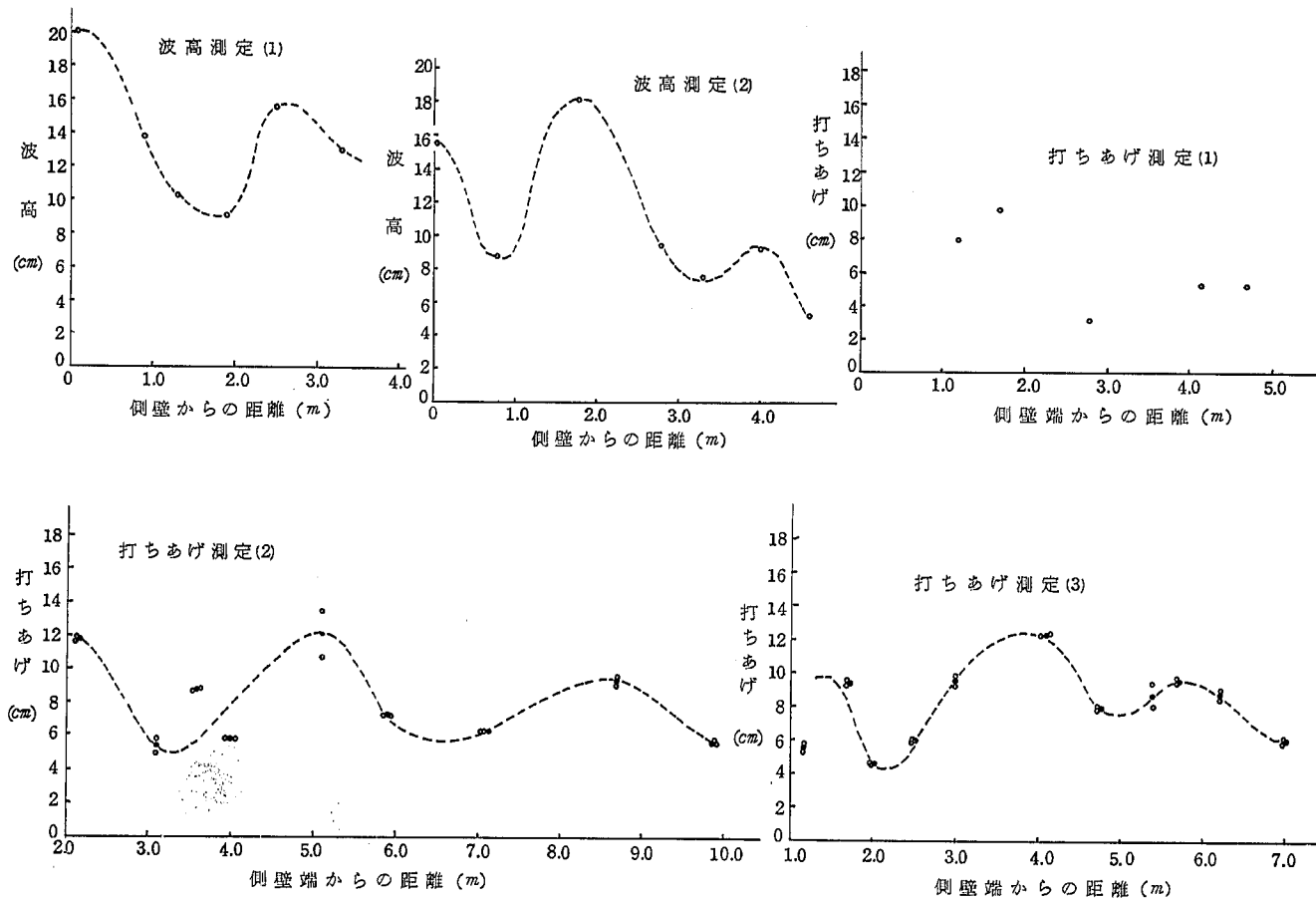


図-N-7-2-2 一様勾配床板 $h=36\text{cm}$ $T=1.27\text{sec}$

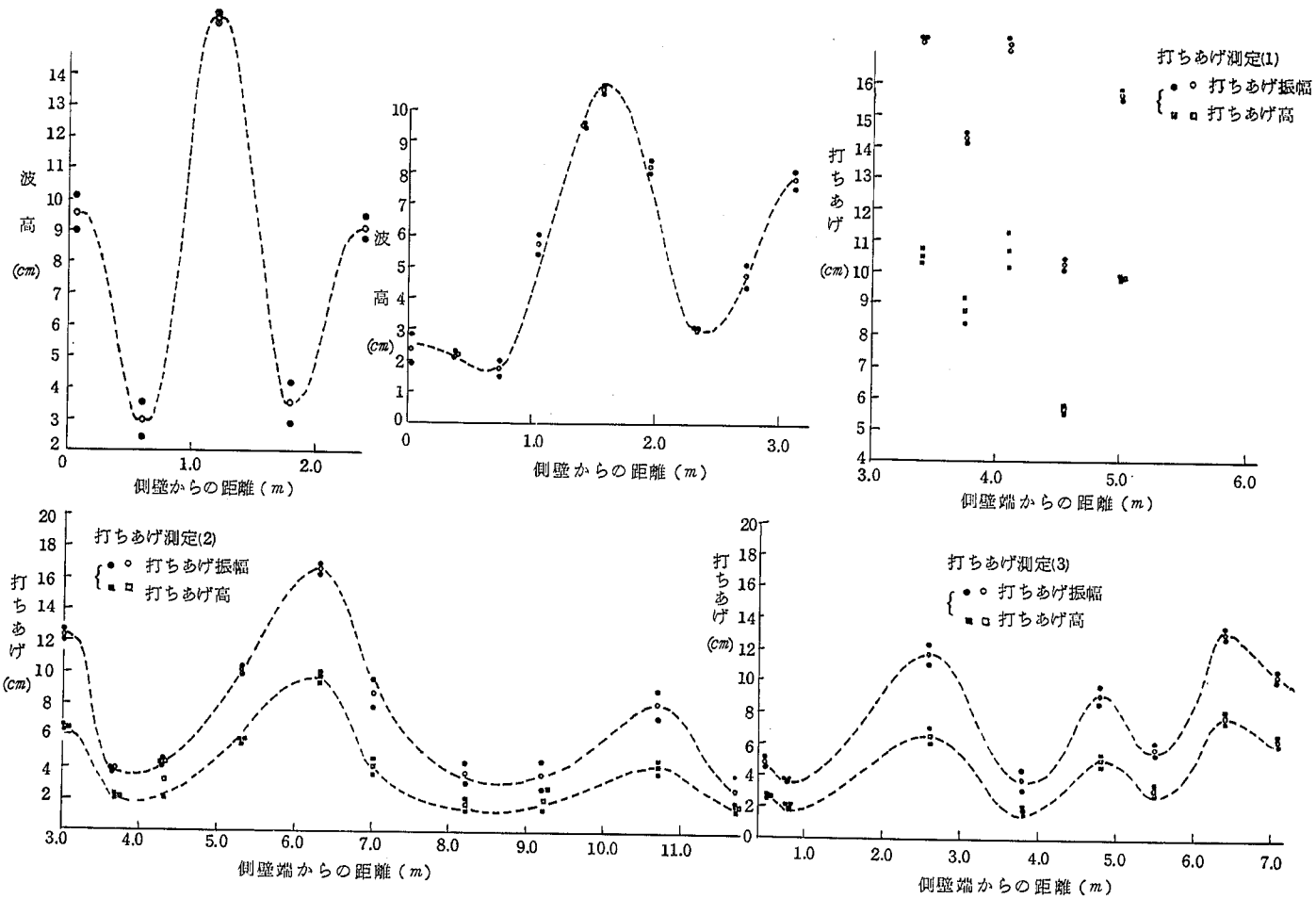


図-N-7-3-1 波高打ちあげ分布，一様勾配床板

$h = 36 \text{ cm}$ $T = 0.9 \text{ sec}$

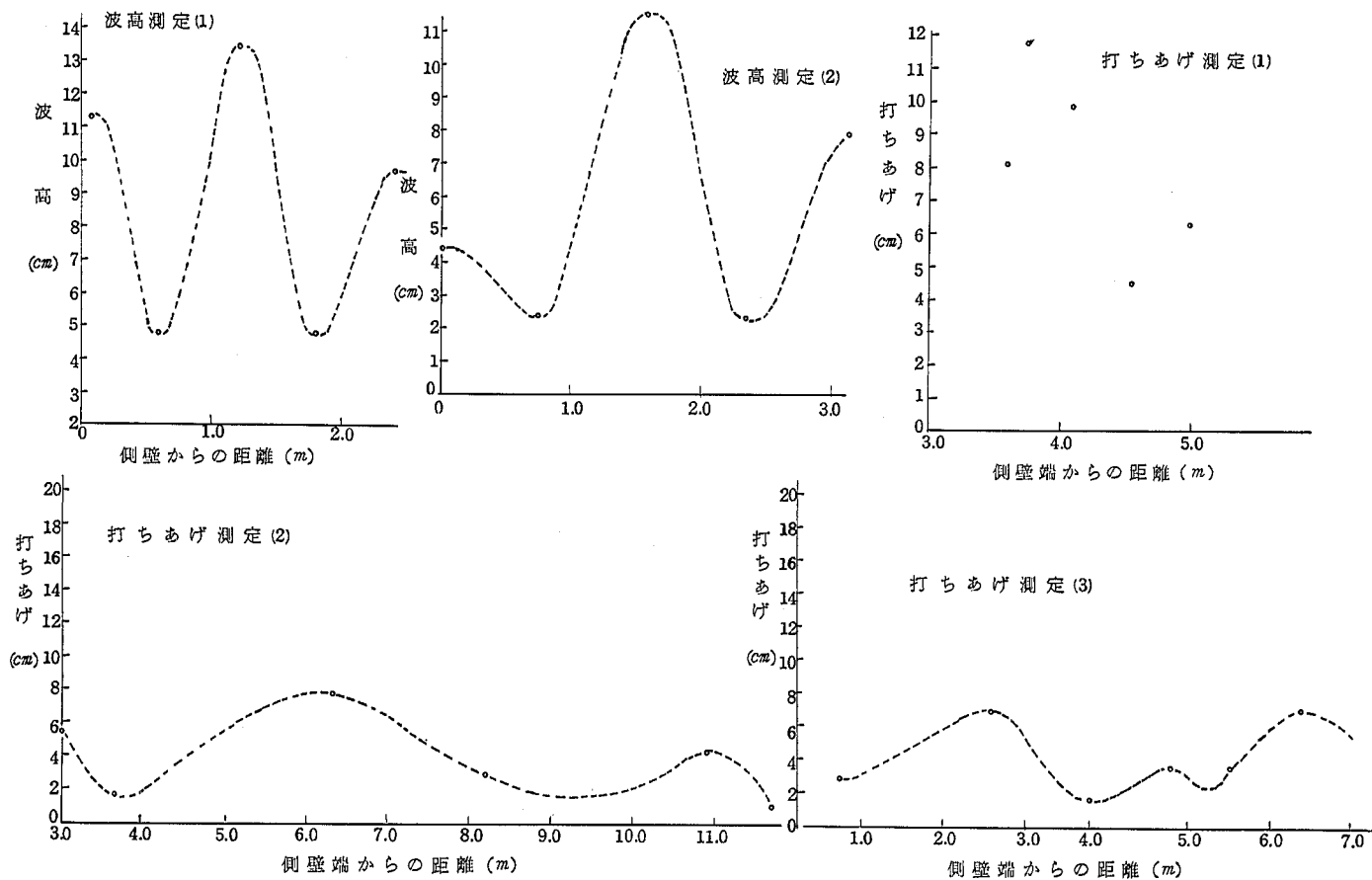


図-N-7-3-2 一様勾配床板 $h=36\text{cm}$ $T=0.9\text{ sec}$

上のそれぞれについて、正規波（歪ませない場合の波）縦縮尺波、横縮尺波、任意波等について比較した。

以下、比較した結果についてのべる。

(I) 波高測定№1

〔A〕 水平床版

- ③ マス目の波長はそれぞれ計画値に近い。
- ④ 安定波と長時間平均波の波形は比較的一致しているが位相のずれの認められるケースもある。特に縦縮尺波の場合のピーク位置のずれが大きい。図から判断すると時間を経過した方がピーク位置は計算値に近い。
- ⑤ 平均波高／入射波高は一般に 1.0 より大きい。これは、波が微小振幅法でないことおよび、基本的な入射波、反射波の他に、回折による種々の波が合成されているためであろう。
- ⑥ 平均波高／入射波高、波高半振幅／平均波高をそれぞれの場合について比較すると、安定波の場合には、正規波に比較して縦縮尺波がやや小さい。これは造波板右側部の回折の影響によるものと思われる。理論的にも導波板の両側があるきまった長さで、開放されると導波板の延長線付近の同一地点では波長の大きい方が回折係数は小さい。このため入射波がやや小さくなり、従って反射波も小さくなる。このため反射率等もやや小さくなるであろう。しかし、時間を経過するにつれて各所からの回折波、反射波が合成され平均波高等も増大し、両者の差は小さくなるものと思われる。この理由としては、一般に囲まれた領域内に波が入射して発生する回折波は波長の大きい方が同一点での回折係数は大きいと思われる。横縮尺波は安定波の場合は正規波に近い値をとっている。時間を経過すると反射率にやや差を生ずる程度である。

〔B〕 一様勾配床版

- ③ マス目波長は水平床版時よりやや小さい。屈折により堤防への入射角度が大きくなっているのが当然であろう。
- ④ 安定波と長時間平均波の波形は比較的一致している。
- ⑤ 平均波高／入射波高は一般に 1.0 より大きい。これも水平床版時と同様の理由によるものと思われる。
- ⑥ 平均波高／入射波高、波高半振幅／平均波高をそれぞれの場合について比較すると安定波の場合正規波と縦縮尺波はかなり近い値を示している。横縮尺波の場合は、反射率が相当大きい。これは波の屈折状態が異なったため堤防へ入射する際の碎波状態が大幅に異なったためである。すなわち、正規波と縦縮尺波は堤防へ入射する際はほぼ同程度の規模で碎波したのであるが、横縮尺波は無碎波であった。また時間を経過した場合はほぼ同様の傾向である。

以上、水平床版の場合、一様勾配床版の場合を総合すると屈折が含まれてくると波の縮尺方法によって屈折係数に差を生じ、その一例として碎波状態等も相当に異なってくことを示している。縦縮尺波は屈折率が正規波と同一状態であるため波の進行線が正規波と等しい。ゆえに、屈折現象が非常に小さい場合を除けば、横縮尺波にて実験するのは好ましくないであろう。しかし、縦縮尺波の場合波長が大きい

表-N-2-1-1 水平床板 波高測定(1)

	平均波高/入射波	波高分布の振幅/平均波高	マス目の波長	摘 要
正 規 波 h=18cm T=0.9sec	側壁に近い側 6.7/5.3=1.26 側壁に遠い側 6.8/5.3=1.28 平均 1.27	側壁に近い側 3.9/6.7=0.58 側壁に遠い側 3.7/6.8=0.54 平均 0.56	120 cm	波高 max 位置 1.75 m (側壁から)。 (計算によるマス目波長 133cm)
縦 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	側壁に近い側(1.8m~2.9m) 11.8/11.6=1.02 側壁に遠い側(2.9m~3.7m) 13.0/11.6=1.12 平均 1.07	側壁に近い側 5.2/11.8=0.44 側壁に遠い側 4/13.0=0.31 平均 0.38	220 cm	側壁に遠い側では、回折その他の影響範囲 波高 max の位置 2.85 m 正規波に対する比 0.85 0.68 (計算によるマス目波長 266cm)
横 縮 尺 波 h=36cm T=0.9sec	側壁に近い側 6.8/5.7=1.19 側壁に遠い側 8.2/5.7=1.44 平均 1.32	側壁に近い側 4.2/6.8=0.62 側壁に遠い側 2.8/6.8=0.41 平均 0.52	150 cm	波高 max 位置 2.05 m 正規波に対する比 1.04 0.93 (計算によるマス目波長 156cm)
任 意 波 h=32cm T=0.9sec	側壁に近い側 5.4/5.4=1.0 側壁に遠い側 5.5/5.4=1.02 平均 1.01	側壁に近い側 2.4/5.4=0.46 側壁に遠い側 2.2/5.5=0.40 平均 0.43	150 cm	波高 max 位置 1.85 m 正規波に対する比 0.80 0.77 (計算によるマス目波長 154cm)

表-N-2-1-2 水平床板 波高測定(1)

	平均波高/入射波	波高分布の振幅/平均波高	マス目の波長	摘 要
正 規 波 h=18cm T=0.9sec	側壁に近い側 6.3/5.3=1.19 側壁に遠い側 7.7/5.3=1.45 平均 1.32	側壁に近い側 4.3/6.3=0.68 側壁に遠い側 2.9/7.7=0.38 平均 0.53		
縦 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	側壁に近い側(1.8~2.5m) 15.7/11.6=1.36 側壁に遠い側(2.5~3.4m) 14.5/11.6=1.25 平均 1.31	側壁に近い側 4.3/15.7=0.27 側壁に遠い側 5.5/14.5=0.38 平均 0.33		正規波との比 0.99 0.62
横 縮 尺 波 h=36cm T=0.9sec	側壁に近い側(1.2~2.0m) 6.5/5.7=1.14 側壁に遠い側(2.0~2.6m) 7.6/5.7=1.33 平均 1.24	側壁に近い側 2.6/6.5=0.40 側壁に遠い側 1.5/7.6=0.20 平均 0.30		正規波との比 0.94 0.57
任 意 波 h=32cm T=0.9sec	側壁に近い側 7.3/5.4=1.35 側壁に遠い側 6.3/5.4=1.17 平均 1.26	側壁に近い側 1.8/7.3=0.25 側壁に遠い側 2.8/6.3=0.44 平均 0.35		正規波との比 0.96 0.66

表-N-2-2-1 一様勾配床板 波高測定(1)

	平均波高／入射波	波高分布の振幅／平均波高	マス目の波長	摘 要
正 規 波 $h=18\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$	側壁に近い側(0.5~1.15 m) $7.6/5.3=1.44$ 中 間 (1.15~1.7 m) $6.8/5.3=1.28$ 側壁から遠い側(1.7~2.1 m) $7/5.7=1.22$ 平均 1.36	側壁に近い側 $3.0/7.6=0.40$ 中 間 $2.2/6.8=0.32$ 側壁から遠い側 $2.0/7.0=0.29$ 平均 0.34	95cm	側壁から2.5 m程度までを採用 それより先は回折・屈折等の影 響を受ける。 (水平床板実験時のマス目波長) 120cm
縦 縮 尺 波 $h=36\text{cm}$ $T=1.27\text{sec}$	側壁に近い側(0~1.5 m) $16/11.6=1.38$ 側壁に遠い側 $12.3/11.6=1.06$ (回折等の影響あり) 平均 1.22	側壁に近い側 $6.8/16=0.42$ 側壁から遠い側 $3.1/12.3=0.25$ 平均 0.33	220cm	正 規 波 と の 比 0.90 0.97 (水平床板実験時のマス目波長) 220cm
横 縮 尺 波 $h=36\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$	側壁に近い側(0~0.6 m) $6.3/5.7=1.10$ 中 間 (0.6~1.2 m) $9.4/5.7=1.65$ 側壁から遠い側(1.2~1.8 m) $9.7/5.7=1.70$ 平均 1.48	側壁に近い側 $3.3/6.3=0.52$ 中 間 $6.4/9.4=0.68$ 側壁から遠い側 $6.1/9.7=0.63$ 平均 0.61	120cm	 (水平床板実験時のマス目波長) 150cm

表-N-2-2-2 一様勾配床板 波高測定(1)

	平均波高／入射波	波高分布の振幅／平均波高	マス目の波長	摘 要
正 規 波 $h=18\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$	側壁に近い側(0.5~1.15 m) $7.6/5.3=1.43$ 中 間 (1.15~1.7 m) $6.6/5.3=1.24$ 側壁から遠い側(1.7~2.1 m) $7.1/5.3=1.34$ 平均 1.34	側壁に近い側 $3.6/7.6=0.47$ 中 間 $2.6/6.6=0.39$ 側壁から遠い側 $2.0/7.1=0.28$ 平均 0.38	95cm	側壁から2.5 m程度までは大体 入射波が主体となる。 それより先はなれど回折の影響 あり。
縦 縮 尺 波 $h=36\text{cm}$ $T=1.27\text{sec}$	側壁に近い側(0~1.7 m) $14.5/11.6=1.25$ 側壁に遠い側(1.7~2.6 m) $12.3/11.6=1.06$ (回折の影響あり) 平均 1.15	側壁に近い側 $5.5/14.5=0.38$ 側壁に遠い側 $3.4/12.3=0.28$ 平均 0.33		側壁から遠い側の部分は回折の 影響を受け、入射波高は小さく なっている。 正 規 波 と の 比 0.86 0.87
横 縮 尺 波 $h=36\text{cm}$ $T=0.9\text{sec}$	側壁に近い側(0~0.6 m) $8.0/5.7=1.40$ 中 間 (0.6~1.2 m) $9.0/5.7=1.58$ 側壁から遠い側(1.2~1.8 m) $9.0/5.7=1.58$ 平均 1.52	側壁に近い側 $3.3/8.0=0.41$ 中 間 $4.3/9.0=0.48$ 側壁から遠い側 $4.3/9.0=0.48$ 平均 0.45	120cm	正 規 波 と の 比 1.13 1.18

ので、堤防前面部波高のマス目の波長は大きくなる。このため、同一地点における波高値は異なってくる。しかし、これは反射波そのものに差を生じたのではなく、単にピークの生じる場所が異なってくるにすぎない。

(2) 波高測定№2

〔A〕 水平床板

波高測定№2の付近は側壁に近い所では3方向(斜め入射波、反射波、沿い波)波の合成波で側壁からはなれると2方向(反射波、沿い波)の合成となる。しかしこの場合でも回折波が含まれてくるので完全な2方向波ではない。3方向波の合成はさきにのべた通り側壁方向にも、それと直角方向にもそれぞれマス目の波長を持つ。この点に留意して結果の検討を行なってみよう。

④ 安定波と長時間平均波の波形は比較的一致しているが、正規波の場合大幅に変化している。これは時間の経過と共に波の混合状態が変わり、見掛け上非常に大きな変化となって表われたものと思われる。理論的な立場からみれば波形は時間の経過した方がより理解しやすい傾向であろう。すなわち、側壁に近い部分では3方向波の合成に近く、側壁から遠ざかるに従って2方向波に近くなり更に回折波の影響が現われているようである。

⑤ 各実験共、側壁に近い部分では相当大きな波高となっている。これは明らかに3方向波の合成に近い結果を示すものと思われる。

⑥ 2方向波として計算したマス目の波長と実験結果のマス目の波長はほぼ一致している。

⑦ 波高測定№1に準じて、平均波高/入射波高、波高半振幅/平均波高を求め比較するとそれぞれ異なった値となっている。これはこの付近での波の合成状態が複雑なるため、このように単に一断面の比較を試みても判然としないものと思われる。この場所の測定結果に関しては、打ちあげ測定№2と関連して考察する必要がある。

〔B〕 一様勾配床板

この場合には波が屈折するので波高分布は更に複雑になるとと思われる。そこで、できるだけ波高測定位置を後へずらし、2方向波のみ合成として調べるようにした。

④ 安定波と長時間平均波の波形は比較的一致している。しかし、正規波の場合や、異なっている。この場合も長時間平均波の方が、理解し易い結果と思われる。

⑤ 各実験結果とも側壁付近では屈折効果によって入射法、反射共に小さくなっていると思われるが、実際にも、平均波高/入射波高、波高半振幅/平均波高の値も小さくなっている。

⑥ 詳細については、打ちあげ測定№2と関連して検討して行きたい。

(3) 打ちあげ測定№1

〔A〕 水平床板

④ 安定波と長時間平均波を比較すると、いずれの場合も長時間平均波の打ちあげ高が大きい。これは各所から発生する回折波や反射波の混入によるためと思われる。

⑤ 安定波の場合、打ちあげ高/入射波高を正規波と比較するとその比は全ケースとも1.0に近い。長時

表-N-2-3-1 水平床板 波高測定(2)

	平均波高/入射波	波高分布の振幅/平均波高	マス目波長	摘 要
正 規 波 h=18cm T=0.9sec	側壁に近い側(0.8~1.4m) 8.8/5.3=1.66 中 間 (1.4~1.9m) 9.3/5.3=1.75 側壁に遠い側(1.9~2.4m) 6.8/5.3=1.28	側壁に近い側 4.1/8.8=0.47 中 間 4/9.3=0.43 側壁に遠い側 1.55/6.8=0.23	100cm	側壁に近い側は、斜め入射と沿 い波の合成波。(0~1m) 側壁に遠い側は回折波の影響あ り。(3m以上) max 位置 1.4m (計算によるマス目波長 123cm)
縦 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	側壁に近い側(1.4~2.5m) 15/11.6=1.29 側壁に遠い側(2.5~3.55m) 9.2/11.6=0.79	側壁に近い側 10.3/15=0.69 側壁に遠い側 4.8/9.2=0.52	210cm	(計算によるマス目波長 246cm)
横 縮 尺 波 h=36cm T=0.9sec	側壁に近い側(0.95~1.6m) 7.2/5.7=1.26 側壁に遠い側(1.6~2.3m) 8/5.7=1.40 側壁に遠い側(2.3~3.0m) 6.8/5.7=1.12	側壁に近い側 4.5/7.2=0.62 側壁に遠い側 3.7/8=0.46 側壁に遠い側 2.1/6.4=0.33	135cm	(計算によるマス目波長 144cm)
任 意 波 h=32cm T=0.9sec	側壁に近い側(0.9~1.65m) 6.6/5.4=1.22 中 間 (1.65~2.25m) 6.8/5.4=1.25 側壁に遠い側(2.25~2.85m) 6.8/5.4=1.25	側壁に近い側 2.95/6.6=0.45 中 間 2.8/6.8=0.41 側壁に遠い側 2.8/6.8=0.41	135cm	(計算によるマス目波長 142cm)

表-N-2-3-2 水平床板 波高測定(2)

	平均波高/入射波	波高分布の振幅/平均波高	マス目の波長	摘 要
正 規 波 h=18cm T=0.9sec	側壁に最も近い側(0.4~0.9m) 8.2/5.3=1.54 中 間 (0.9~1.4m) 7.5/5.3=1.41 側壁に遠い側(1.4~1.9m) 7.2/5.3=1.36 側壁から最も遠い側(1.9~2.3m) 6.8/5.7=1.19	側壁に最も近い側 2.0/8.2=0.24 中 間 1.3/7.5=0.17 側壁に遠い側 1.5/7.2=0.21 側壁から最も遠い側 1.0/6.8=0.15	100cm	側壁に最も近い側は斜め入射と 沿い波の合成。 側壁から最も遠い側は回折波の 影響あり。
縦 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	側壁に近い側 15.4/11.6=1.33 側壁に遠い側 9.6/11.6=0.83	側壁に近い側 9.6/15.4=0.62 側壁に遠い側 3.8/9.6=0.40	210cm	側壁から遠い側は回折の影響が ある。
横 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	側壁に近い側(0.95~1.6m) 7.8/5.7=1.37 中 間 (1.6~2.3m) 8.4/5.7=1.47 側壁に遠い側(2.3~3.0m) 6.4/5.7=1.12	側壁に近い側 3.45/7.8=0.44 中 間 2.9/8.4=0.35 側壁に遠い側 0.9/6.4=0.14	135cm	側壁に遠い側は回折の影響があ る。
任 意 波 h=32cm T=0.9sec	側壁に近い側(0.9~1.65m) 7.6/5.4=1.40 中 間 (1.65~2.25m) 9.4/5.4=1.74 側壁に遠い側(2.25~2.8m) 8.3/5.4=1.54	側壁に近い側 5.0/7.6=0.66 中 間 3.15/9.4=0.33 側壁に遠い側 2.0/8.3=0.24	135cm	

表-N-2-4-1 一様勾配床板 波高測定(2)

	平均波高/入射波	波高分布の振幅/平均波高	マス目波長	摘 要
正 規 波 $h=18\text{ cm}$ $T=0.9\text{ sec}$	側壁に近い側(0~0.4 m) (屈折効果) $4.8/5.3=0.91$ 中 間 (0.85~1.35 m) $7.5/5.3=1.41$ 側壁から遠い側(1.8~2.4 m) $7.0/5.3=1.32$ 平均 $\frac{1.41+1.32}{2}=1.37$	側壁に近い側 $1.6/4.8=0.34$ 中 間 $2.3/7.5=0.31$ 側壁から遠い側 $2.3/7.0=0.33$ 平均 $\frac{0.31+0.33}{2}=0.32$	98 cm	側壁端から(0~ m)ま では回折, 屈折の影響あり。 また 3.5 m 以上も同様の影響あ り。 (水平床板実験時のマス目の 換算波長 130 cm)
縦 縮 尺 波 $h=36\text{ cm}$ $T=1.27\text{ sec}$	側壁に近い側(0~0.8 m) (屈折効果) $12.4/11.6=1.07$ 中 間 (1.8~3.0 m) $13.9/11.6=1.20$ 側壁から遠い側(3.0~3.9 m) (屈折, 回折効果) $8.2/11.6=0.71$ 採用 1.20	側壁に近い側 $3.2/12.4=0.26$ 中 間 $7.4/13.9=0.53$ 側壁から遠い側 $2.0/8.2=0.24$ 採用 0.53	220 cm	(水平床板実験時のマス目の 換算波長 274 cm)
横 縮 尺 波 $h=36\text{ cm}$ $T=0.9\text{ sec}$	側壁に近い側(0~0.75 m) (屈折効果) $2.1/5.7=0.37$ 中 間 (1.5~2.4 m) $6.8/5.7=1.20$ 側壁から遠い側(2.4~3.15 m) (屈折, 回折効果) $5.4/5.7=0.95$ 採用 1.20	側壁に近い側 $0.4/2.1=0.19$ 中 間 $3.85/6.8=0.57$ 側壁から遠い側 $2.4/5.4=0.44$ 採用 0.57	170 cm	(水平床板実験時のマス目の 換算波長 176 cm)

表-N-2-4-2 一様勾配床板 波高測定(2)

	平均波高/入射波	波高分布の振幅/平均波高	マス目波長	摘 要
正 規 波 $h=18\text{ cm}$ $T=0.9\text{ sec}$	側壁に近い側(0~0.4 m) (屈折効果) $4.3/5.3=0.81$ 中 間 (0.8~1.3 m) $6.8/5.3=1.28$ 側壁から遠い側(1.8~2.25 m) $7.2/5.3=1.36$ 平均 $\frac{1.28+1.36}{2}=1.32$	側壁に近い側 $0.4/4.3=0.09$ 中 間 $1.0/6.8=0.15$ 側壁から遠い側(1.8~2.25 m) $2.4/7.2=0.33$ 平均 $\frac{0.33+0.15}{2}=0.24$	93 cm	側壁端の付近は, 回折, 屈折の 影響あり。 また 3.5 m 以上はなれると同様 に影響を受ける。
縦 縮 尺 波 $h=36\text{ cm}$ $T=1.27\text{ sec}$	側壁に近い側(0~0.8 m) (屈折効果) $12.1/11.6=1.04$ 中 間 (1.8~3.4 m) $12.5/11.6=1.08$ 側壁から遠い側(3.4~4.0 m) (屈折, 回折効果) $8/11.6=0.69$ 採用 1.08	側壁に近い側 $3.4/12.1=0.28$ 中 間 $5.7/12.5=0.46$ 側壁から遠い側 $1.4/8.0=0.18$ 採用 0.46	250 cm	
横 縮 尺 波 $h=36\text{ cm}$ $T=0.9\text{ sec}$	側壁に近い側(0~0.75 m) (屈折効果) $3.4/5.7=0.60$ 中 間 (1.5~2.4 m) $6.9/5.7=1.21$ 側壁から遠い側(2.4~3.2 m) (屈折, 回折効果) $5.1/5.7=0.90$ 採用 1.21	側壁に近い側 $1.0/3.4=0.29$ 中 間 $4.6/6.9=0.67$ 側壁から遠い側 $2.8/5.1=0.55$ 採用 0.67	165 cm	

間平均波は一般にこの比は1.0より大きくなっている。これは回折波の波高が、正規波より大きいためであろう。

〔B〕 一様勾配床板

- ③ 正規波と縦縮尺波は時間が経過すると打ちあげ高は一般に高くなっている。横縮尺波は逆に小さくなっている。横縮尺波は、波高測定 №1 の結果からみてもわかるように、反射率は時間の経過と共にやゝ小さくなっている。反射率の減少と共に打ちあげ高もやゝ小さくなっているわけである。
- ④ 打ちあげ高／入射波高の値は長時間平均波の場合、縦縮尺波は比較的正規波に近いが、横縮尺波は大幅に異なりかなり大きい。これは屈折状態の差から生じた碎波状況の差によって生じた結果であろう。安定波の場合、これらの傾向が更に強い。

以上を総合すると、波の縮尺は縦縮尺にあわせる方が良く横縮尺波は屈折現象の小さい時以外は不適当であろう。

（4） 打ちあげ測定 №2

〔A〕 水平床板

- ① 一般に安定波と長時間平均波の打ちあげ高に大きい差は認められないが、縦縮尺波の場合は長時間経過するとやゝ大きくなっている。
- ② 安定波の場合、縦縮尺波の打ちあげ高が正規波に比較して小さいのは造波板右側部の回折波のためであろう。これは波高測定 №1 の場合と同様の傾向である。
- ③ 時間が経過すると正規波の打ちあげ分布は相当異なっている。波高 №2 も全く同様の傾向であった。これは、時間の経過と共に波の混合状態が変わったためであろう。
- ④ この付近の波の合成状態は複雑である。そこで、波高測定 №2 と比較しながら検討してみる。この付近は3方向入射波であるが打ちあげ高分布のマス目の波長は、計算値と一致していない。これは図-Ⅳ-8からみてもわかるように、打ちあげ №2 付近の斜め入射領域が比較的せまいこと、実測値の測定範囲がやゝせまかったことなどが重なって実験値の波長がやゝ不明瞭であったためと思われる。また、波高測定 №2 の地点では、マス目の波長としては、沿い波と反射波の合成と考えてもよく両波を合成させた場合のマス目の波長の計算値と実測のマス目波長は比較的良好に一致している。つぎに、打ちあげ №2 地点の打ちあげ高分布のピーク位置と波高測定 №2 地点のピーク位置を比べた。すなわち、実験から得られている打ちあげ №2 地点のピーク

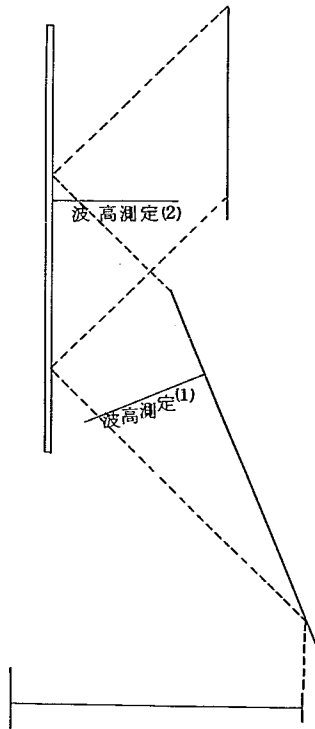


図-Ⅳ-8 波の入射概要図

表-N-2-5-1 水平床板 打ちあげ測定(1)

	平均打ちあげ振幅 入射波 (H ₀)	平均打ちあげ高 入射波 (H ₀)	最大打ちあげ振幅 入射波 (H ₀)	最大打ちあげ高 入射波 (H ₀)	最小打ちあげ振幅 入射波 (H ₀)	最小打ちあげ高 入射波 (H ₀)	摘 要
正 規 波 h=18cm T=0.9sec	10.3/5.8 =1.77	5.8/5.8 =1.00	12.4/5.8 =2.14	7.2/5.8 =1.24	8.4/5.8 =1.45	5.0/5.8 =0.86	部分的に砕波あり
縦 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	20/12.7 =1.58	12.65/12.7 =0.99	27/12.7 =2.13	16.0/12.7 =1.26	15.1/12.7 =1.19	9.6/12.7 =0.76	部分的に砕波あり， 正規波との比 平均 最大 最小 0.89 0.99 0.82 (左側) 0.99 1.02 0.87 (右側)
横 縮 尺 波 h=36cm T=0.9sec	10.6/6.0 =1.77	5.95/6.0 =0.99	13.65/6.0 =2.27	7.3/6.0 =1.22	9.25/6.0 =1.54	5.3/6.0 =0.88	部分的に砕波あるも， 正規波，縦縮尺波より少ない。 正規波との比 平均 最大 最小 1.00 1.06 1.06 (左側) 0.99 1.05 1.03 (右側)
任 意 波 h=32cm T=0.9sec	9.8/5.8 =1.68	5.68/5.8 =0.98	12.15/5.8 =2.10	7.0/5.8 =1.21	6.65/5.8 =1.14	4.1/5.8 =0.71	部分的に砕波あっても， 正規波，縦縮尺波より少ない。 正規波との比 平均 最大 最小 0.95 0.98 0.79 (左側) 0.98 0.98 0.82 (右側)

表-N-2-5-2 水平床板 打ちあげ測定(1)

	平均打ちあげ高 入射波高 (H ₀)	最大打ちあげ高 入射波高 (H ₀)	最小打ちあげ高 入射波高 (H ₀)	摘 要
正 規 波 h=18cm T=0.9sec	6.2/5.8 =1.07	7.3/5.8 =1.26	4.9/5.8 =0.85	
縦 縮 尺 波 h=36cm T=1.27sec	14.1/12.7 =1.11	19.5/12.7 =1.53	9.8/12.7 =0.77	正規波との比 平均 最大 最小 1.04 1.22 0.92
横 縮 尺 波 h=36cm T=0.9sec	6.8/6.0 =1.13	10.2/6.0 =1.70	5.9/6.0 =0.98	正規波との比 平均 最大 最小 1.06 1.35 1.15
任 意 波 h=32cm T=0.9sec	6.3/5.8 =1.08	8.4/5.8 =1.44	5.2/5.8 =0.90	正規波との比 平均 最大 最小 1.01 1.14 1.06

表-N-2-6-1 一様勾配床板 打ちあげ測定(1)

	平均打ちあげ幅 入射波(Ho)	平均打ちあげ高 入射波(Ho)	最大打ちあげ幅 入射波(Ho)	最大打ちあげ高 入射波(Ho)	最小打ちあげ幅 入射波(Ho)	最小打ちあげ高 入射波(Ho)	摘 要
正 規 波 h = 18cm T=0.9 ^{Sec}	0.89	0.49	0.96	0.52	0.84	0.43	全面的に砕波。
縦縮尺波 h = 36cm T=1.27 ^{Sec}	0.99	0.66	1.44	1.00	0.60	0.29	全面的に砕波。 正規波との比 平均 最大 最小 1.11 1.50 0.71(左側) 1.35 1.93 0.68(右側)
横縮尺波 h = 36cm T=0.9 ^{Sec}	2.5	1.7	2.9	1.78	1.72	0.93	砕波しない。 正規波との比 平均 最大 最小 2.81 3.02 2.05(右側) 3.47 3.42 2.17(右側)

表-N-2-6-2 一様勾配床板 打ちあげ測定(1)

	平均打ちあげ高 入射波(Ho)	最大打ちあげ高 入射波(Ho)	最小打ちあげ高 入射波(Ho)	摘 要
正 規 波 h = 18cm T=0.9 ^{Sec}	3.0/5.8 = 0.52	3.9/5.8 = 0.67	2.5/5.8 = 0.43	
縦縮尺波 h = 36cm T=1.27 ^{Sec}	6.4/12.7 = 0.50	9.8/12.7 = 0.77	3.3/12.7 = 0.26	正規波に対する比 平均 最大 最小 0.96 1.15 0.61
横縮尺波 h = 36cm T=0.9 ^{Sec}	8.1/6.0 = 1.35	11.8/6.0 = 1.97	4.5/6.0 = 0.75	正規波に対する比 平均 最大 最小 2.60 2.93 1.74

表-N-2-7-1 水平床板 打ちあげ測定(2)

	最大打ちあげ幅 入射波 (H_0)	最大打ちあげ高 入射波 (H_0)	最小打ちあげ幅 入射波 (H_0)	最小打ちあげ高 入射波 (H_0)	平均打ちあげ幅 入射波 (H_0)	平均打ちあげ高 入射波 (H_0)	マス目波長	摘 要
正 規 波 $h = 18\text{cm}$ $T = 0.9^{\text{sec}}$	側壁端に近い側 2.56	側壁端に近い側 1.74	0.73	0.40	$\frac{2.56+0.73}{2}$ = 1.64	$\frac{1.68+0.40}{2}$ = 1.04	205 cm	側壁端から3~7mの範囲内の打ちあげを採用する その他は回折波等の影響あり。 (計算によるマス目波長 345)
縦 縮 波 $h = 36\text{cm}$ $T = 1.27^{\text{sec}}$	2.05	1.21	側壁に近い側 0.39 側壁から遠い側 0.71 0.1を採用	側壁端に近い側 0.24 側壁端から遠い側 0.39 0.39を採用	$\frac{2.05+0.71}{2}$ = 1.38	$\frac{1.21+0.39}{2}$ = 0.8	500 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 0.80 0.97 0.84 (左側) 0.72 0.97 0.77 (右側) (計算によるマス目波長 690)
横 縮 波 $h = 36\text{cm}$ $T = 0.9^{\text{sec}}$	側壁端から遠い側 2.08 側壁端から遠い側 2.23 平均 2.16	側壁端に近い側 1.15 側壁端から遠い側 1.29 平均 1.22	0.58	0.31	$\frac{2.16+0.58}{2}$ = 1.37	$\frac{1.22+0.31}{2}$ = 0.77	273 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 0.85 0.80 0.84 (左) 0.73 0.78 0.74 (右) (計算によるマス目波長 410)
任 意 波 $h = 32\text{cm}$ $T = 0.9^{\text{sec}}$	側壁端に近い側 2.52 側壁端から遠い側 2.32 平均 2.42	側壁端に近い側 1.45 側壁端に近い側 1.29 平均 1.37	0.29	0.10	$\frac{2.42+0.29}{2}$ = 1.36	$\frac{1.37+0.103}{2}$ = 0.74	298 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 0.95 0.40 0.83 (左) 0.82 0.25 0.70 (右) (計算によるマス目波長 402)

表-N-2-7-2 水平床板 打ちあげ測定(2)

	最大打ちあげ高 入射波高 (H_0)	最小打ちあげ高 入射波高 (H_0)	平均打ちあげ高 入射波高 (H_0)	マス目波長	摘 要
正 規 波 $h = 18\text{cm}$ $T = 0.9^{\text{sec}}$	側点 (5.7m付近) 9.0/5.8 = 1.55	測点 (6.3m) 4.1/5.8 = 0.71	$\frac{1.55+0.71}{2}$ = 1.13	225 cm	
縦 縮 波 $h = 36\text{cm}$ $T = 1.27^{\text{sec}}$	1.85/1.27 = 1.45	側壁に近い側 (2.0m) 3.8/1.27 = 0.30 側壁に遠い側 (7.0m) 4.6/1.27 = 0.36 0.36を採用	$\frac{1.45+0.36}{2}$ = 0.91	310 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 0.94 0.51 0.81
横 縮 波 $h = 36\text{cm}$ $T = 0.9^{\text{sec}}$	側壁端に近い側 (4.0m) 7.5/6.0 = 1.25 側壁に遠い側 (6.7m) 8.1/6.0 = 1.35 平均 1.30	1.5/6.0 = 0.25	$\frac{1.30+0.25}{2}$ = 0.78		正規波に対する比 最大 最小 平均 0.84 0.36 0.69
任 意 波 $h = 32\text{cm}$ $T = 0.9^{\text{sec}}$	側壁端に近い側 (3.8m) 7.8/5.8 = 1.34 側壁端に遠い側 (6.8m) 6.9/5.8 = 1.19 平均 1.22	0.8/5.8 = 0.14	$\frac{1.22+0.14}{2}$ = 0.68		正規波に対する比 最大 最小 平均 0.79 0.20 0.60

表-N-2-8-1 一様勾配床板 打ちあげ測定(2)

	最大打ちあげ幅 入射波 (H ₀)	最大打ちあげ高 入射波 (H ₀)	最小打ちあげ幅 入射波 (H ₀)	最小打ちあげ高 入射波 (H ₀)	平均打ちあげ幅 入射波 (H ₀)	平均打ちあげ高 入射波 (H ₀)	マス目の波長	摘 要
正 規 波 h = 18 cm sec T = 0.9	側壁端に近い側 (5.0 m 付近) 9.4/5.8 = 1.62 側壁端から遠い側 (7.3 m) 8.7/5.8 = 1.50 平均 1.56	側壁端に近い側 (5.0 m 付近) 6.0/5.8 = 1.03 側壁端から遠い側 (7.3 m 付近) 4.8/5.8 = 0.83 平均 0.39	近い側 (4.0 m) 3.6/5.8 = 0.62 遠い側 (6.5 m) 3.8/5.8 = 0.66 平均 0.64	近い側 (4.0 m) 1.65/5.8 = 0.28 遠い側 (6.5 m) 1.6/5.8 = 0.28 平均 0.28	$\frac{1.56+0.64}{2}$ = 1.10	$\frac{0.93+0.28}{2}$ = 0.61	220 cm	水平床板実験時のマス目 波長 205 cm
縦縮尺波 h = 36 cm sec T = 1.27	側壁端に近い側 (5.2 m) 19.7/12.7 = 1.55 側壁端から遠い側 (9.0 m) 23/12.7 = 1.81 平均 1.68	側壁端に近い側 (5.2 m) 11.6/12.7 = 0.91 側壁端から遠い側 (9.0 m) 13.8/12.7 = 1.08 平均 0.99	近い側 (3.0 m) 8.2/12.7 = 0.66 遠い側 (7.0 m) 6.8/12.7 = 0.53 平均 0.60	近い側 (3.0 m) 2.9/12.7 = 0.23 遠い側 (7.0 m) 3.5/12.7 = 0.28 平均 0.28	$\frac{1.68+0.60}{2}$ = 1.14	$\frac{0.99+0.255}{2}$ = 0.62	390 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 1.04 0.94 1.04 (左側) 1.06 0.91 1.02 (右側) 水平床板実験時のマス目 波長 500 cm
横縮尺波 h = 36 cm sec T = 0.9	側壁端に近い側 (3.0 m) 12.3/6.0 = 2.05 側壁端から遠い側 (6.3 m) 16.5/6.0 = 2.66 平均 2.36	側壁端に近い側 (3.0 m) 6.4/6.0 = 1.07 側壁端から遠い側 (6.3 m) 9.6/6.0 = 1.60 平均 1.33	近い側 (3.8 m) 3.7/6.0 = 0.62 遠い側 (8.5 m) 3.0/6.0 = 0.56 平均 0.56	近い側 (3.8 m) 1.7/6.0 = 0.28 遠い側 (8.5 m) 1.3/6.0 = 0.22 平均 0.25	$\frac{2.36+0.56}{2}$ = 1.46	$\frac{1.33+0.25}{2}$ = 0.79	470 cm 330 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 1.51 0.88 1.33 (左) 1.43 0.89 1.30 (右) 水平床板実験時のマス目 波長 273 cm

表-N-2-8-2 一様勾配床板 打ちあげ測定(2)

	最大打ちあげ高 入射波 (H ₀)	最小打ちあげ高 入射波 (H ₀)	平均打ちあげ高 入射波 (H ₀)	マス目波長	摘 要
正 規 波 h = 18 cm sec T = 0.9	側壁端に近い側 (5.0 m 付近) 5.3/5.8 = 0.91 側壁端に遠い側 (7.3 m 付近) 3.1/5.8 = 0.53 平均 0.72	側壁端に近い側 (4.0 m 付近) 1.7/5.8 = 0.29 側壁端に遠い側 (6.5 m 付近) 1.4/5.8 = 0.24 平均 0.27	$\frac{0.72+0.27}{2}$ = 0.50		
縦縮尺波 h = 36 cm sec T = 1.27	側壁端に近い側 (5.2 m) 12.0/12.7 = 0.94 側壁端に遠い側 (8.7 m) 9.4/12.7 = 0.74 平均 0.84	側壁端に近い側 (3.0 m 付近) 5.0/12.7 = 0.39 側壁端に遠い側 (7.0 m 付近) 5.8/12.7 = 0.46 平均 0.43	$\frac{0.84+0.43}{2}$ = 0.64		正規波に対する比 最大 最小 平均 1.16 1.55 1.27
横縮尺波 h = 36 cm sec T = 0.9	側壁端に近い側 (3.0 m) 5.4/6.0 = 0.90 側壁端から遠い側 (6.3 m) 7.7/6.0 = 1.28 平均 1.09	側壁端に近い側 (3.7 m) 1.2/6.0 = 0.20 側壁端から遠い側 (9.0 m) 1.6/6.0 = 0.27 平均 0.24	$\frac{1.09+0.24}{2}$ = 0.66		正規波に対する比 最大 最小 平均 1.51 0.89 1.32

位置をもとにして、波高測定 No.2 地点のピーク位置を計算にてもとめると図 - IV - 9 に示すようになり、これを波高測定 No.2 の実験結果と比較するとピーク位置はほぼ一致する。また、波高測定 No.2 地点の最高波高値は、各実験共入射波のほぼ 2 倍程度であることがわかる。これらを総合すると、各実験とも波の入射状況は大体同じであるとみて差し支えないと思われる。

〔B〕 一様勾配床板

- ① 各実験ケースとも、安定波と長時間平均波の打ちあげ高分布は同じ傾向である。
- ② 安定波の場合、打ちあげ高／入射波高は縦縮尺波と正規波ではほぼ一致した値となっている。しかし、長時間経過すると縦縮尺波の値が大きくなってくる。これらは回折波による影響であろう。
- ③ 横縮尺波は正規波に比較して、打ちあげ高／入射波高の値は大きい。しかし、打ちあげ No.2 に比較するとやや小さいようである。この理由として考えられるのは、屈折率が正規波より小

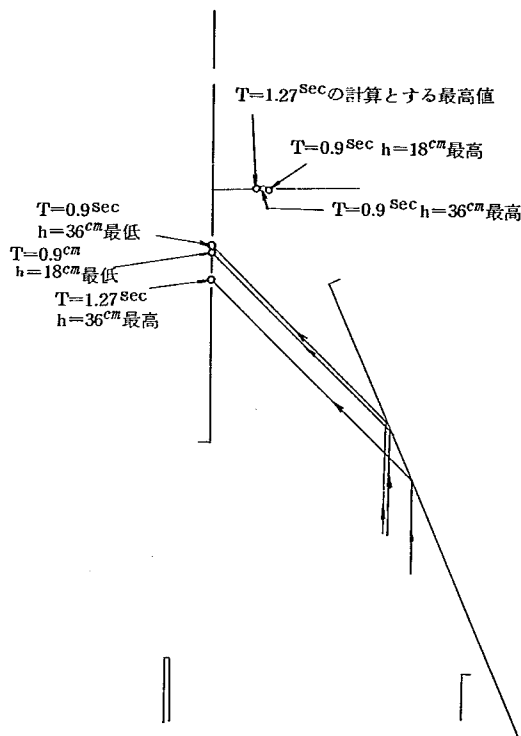


図 - IV - 9

さいため、堤防への入射角度が、正規波よりやや小さめの所が多くなっていると思われること。また、打ちあげ No.1 では正規波等が碎波しているのに、横縮尺波は碎波していないとのためと思われる。したがって打ちあげ No.1 付近にて正規波と同規模の碎波があれば、No.2 の打ちあげ高は正規波より小さな値となったと思われる。

以上を総合すると、打ちあげ No.1 と同様に屈折が含まれる時は、実験は縦縮尺波による方が適当であると思われる。

(5) 打ちあげ No.3

打ちあげ No.3 付近では、基本となる波の勢力は一般に小さくなり、回折波や反射波等が卓越してくる。したがって打ちあげ高もこれらによる影響が大きくなっていくと思われる。

〔A〕 水平床板

- ① 正規波の場合、時間の経過と共に打ちあげ高分布は大幅に変化している。これは、波高測定 No.2、打ちあげ測定 No.2 と関連したものである。その他のケースは時間が経過してもほぼ同様な分布状況を示している。
- ② 長時間平均波の場合、打ちあげ高／入射波高は、縦縮尺波は正規波に比較してやや大きめである。こ

表-N-2-9-1 水平床板 打ちあげ測定(3)

	最大打ちあげ振幅 最大打ちあげ高 入射波(H ₀) 入射波(H ₀)	最小打ちあげ振幅 最小打ちあげ高 入射波(H ₀) 入射波(H ₀)	平均打ちあげ振幅 平均打ちあげ高 入射波(H ₀) 入射波(H ₀)	マス目波長	摘 要
正 規 波 h = 18 cm T = 0.9 sec	側壁に近い側 側壁端に近い側 1.98 0.94 側壁から遠い側 側壁端から遠い側 1.85 1.05 平均 1.90 平均 0.99	0.75 0.38	$\frac{1.90+0.75}{2} = 1.30$ $\frac{0.99+0.38}{2} = 0.68$	220 cm	側壁端から1~5 mの範囲内を採用する。それ以外は回折等の影響あり。
縦縮尺波 h = 36 cm T = 1.27 sec	側壁に近い側 側壁端に近い側 1.59 0.835 側壁から遠い側 側壁端から遠い側 1.14 0.66 1.59を採用 0.84を採用	0.69 0.37	$\frac{1.59+0.69}{2} = 1.14$ $\frac{0.84+0.37}{2} = 0.62$	290 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 0.84 0.92 0.88(左側) 0.85 0.97 0.91(右側)
横縮尺波 h = 36 cm T = 0.9 sec	1.65 0.9 0.57 0.33 側壁から遠い側 側壁端から遠い側 0.27 0.15 平均 0.42 平均 0.24	側壁に近い側 側壁端に近い側 0.57 0.33 側壁から遠い側 側壁端から遠い側 0.27 0.15 平均 0.42 平均 0.24	$\frac{1.65+0.42}{2} = 1.04$ $\frac{0.9+0.24}{2} = 0.57$		正規波に対する比 最大 最小 平均 0.87 0.56 0.80(左) 0.91 0.63 0.84(右)
任 意 波 h = 32 cm T = 0.9 sec	1.51 0.90 0.60 0.26 側壁から遠い側 側壁端から遠い側 0.45 0.24 平均 0.53 平均 0.25	側壁に近い側 側壁端に近い側 0.60 0.26 側壁から遠い側 側壁端から遠い側 0.45 0.24 平均 0.53 平均 0.25	$\frac{1.51+0.53}{2} = 1.02$ $\frac{0.895+0.25}{2} = 0.57$	500 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 0.80 0.70 0.78(左) 0.91 0.66 0.84(右)

表-N-2-9-2 水平床板 打ちあげ測定(3)

	最大打ちあげ高 入射波高(H ₀)	最小打ちあげ高 入射波高(H ₀)	平均打ちあげ高 入射波高(H ₀)	マス目波長	摘 要
正 規 波 h = 18 cm T = 0.9 sec	側壁端に近い側(1.3 m) 5.6/5.8=0.97 側壁端に遠い側(3.2 m) 4.7/5.8=0.81 平均 0.89	測点(2.3 m) 2.7/5.8=0.47	$\frac{0.89+0.47}{2} = 0.68$		
縦縮尺波 h = 36 cm T = 1.27 sec	側壁端に近い側(2.7 m) 1.47/1.27=1.16 側壁端に遠い側(5.5 m) 8/1.27=0.63 1.16を採用	測点(4.8 m) 4.2/1.27=0.33	$\frac{1.16+0.33}{2} = 0.75$		正規波に対する比 最大 最小 平均 1.30 0.70 1.10
横縮尺波 h = 36 cm T = 0.9 sec	測点(3.0 m) 4.9/6.0=0.82	側壁端に近い側 1.9/6.0=0.32 側壁端に遠い側 1.3/6.0=0.22 平均 0.27	$\frac{0.82+0.27}{2} = 0.55$		正規波に対する比 最大 最小 平均 0.92 0.57 0.81
任 意 波 h = 32 cm T = 0.9 sec	測点(3.2 m) 4.2/5.8=0.72	測点(1.6 m) 2.5/5.8=0.43	$\frac{0.72+0.43}{2} = 0.58$		正規波に対する比 最大 最小 平均 0.81 0.92 0.85

表-N-2-10-1 一様勾配床板 打ちあげ測定(3)

	最大打ちあげ高 入射波(H ₀)	最大打ちあげ高 入射波(H ₀)	最小打ちあげ高 入射波(H ₀)	最小打ちあげ高 入射波(H ₀)	平均打ちあげ高 入射波(H ₀)	平均打ちあげ高 入射波(H ₀)	マス目波長	摘 要
正 規 波 h = 18 cm T = 0.9 sec	側壁に近い側 (3.0 m) 8.5/5.8=1.46 側壁に遠い側 (5.7 m) 6.1/5.8=1.05 平均 (採用) 2 方向入射 1.46 1 方向入射 1.05	側壁に近い側 (3.0 m) 4.1/5.8=0.71 側壁に遠い側 (5.2 m) 3.7/5.8=0.64 平均 (採用) 2 方向入射 0.71 1 方向入射 0.64	側壁に近い側 (4.4 m) 3.4/5.8=0.59 側壁に遠い側 (7.0 m) 3.4/5.8=0.59 平均 (採用) 2 方向入射 0.59 1 方向入射 0.59	側壁に近い側 (4.4 m) 1.5/5.8=0.26 側壁に遠い側 (7.0 m) 1.8/5.8=0.31 平均 (採用) 2 方向入射 0.26 1 方向入射 0.31	2 方向入射 $\frac{1.46+0.59}{2}=1.03$ 1 方向入射 $\frac{1.05+0.59}{2}=0.82$	2 方向入射 $\frac{0.71+0.26}{2}=0.49$ 1 方向入射 $\frac{0.64+0.31}{2}=0.48$	2 方向 256 cm 1 方向 260 cm	側壁端から近い方は回折効果あり, 遠い側は 1 方向入射 中間付近は 2 方向入射である。
縦 縮 尺 波 h = 36 cm T = 127 sec	中間 (4.0 m) 192/127 = 1.51 2 方向入射 1.51	中間 (4.0 m) 122/127 = 0.96 2 方向入射 0.96	中間 (3.0 m) 9.0/127 = 0.70 2 方向入射 0.70	中間 (3.0 m) 4.2/127 = 0.33 2 方向入射 0.33	2 方向入射 $\frac{1.51+0.70}{2}=1.10$	2 方向入射 $\frac{0.96+0.33}{2}=0.65$		正規波に対する比 最大 最小 平均 2 方向 2 方向 2 方向 1.04 1.18 1.07 (左) 1.35 1.27 1.32 (右)
横 縮 尺 波 h = 36 cm T = 0.9 sec	側壁に近い側 (2.6 m) 11.5/6.0 = 1.91 中間 (4.8 m) 9/6.0 = 1.5 側壁から遠い側 (6.4 m) 13.6/6.0 = 2.27 平均 2 方向 1.91 1 方向 2.15	側壁に近い側 (2.6 m) 6.4/6.0 = 1.07 中間 (4.8 m) 5.0/6.0 = 0.83 側壁から遠い側 (6.4 m) 7.7/6.0 = 1.28 平均 2 方向 1.07 1 方向 1.28	側壁に近い側 (3.8 m) 3.5/6.0 = 0.58 側壁から遠い側 (5.5 m) 5.7/6.0 = 0.95 平均 2 方向 0.58 1 方向 0.95	側壁に近い側 (3.8 m) 1.5/6.0 = 0.25 側壁から遠い側 (5.5 m) 2.8/6.0 = 0.47 平均 2 方向 0.25 1 方向 0.47	2 方向 $\frac{1.91+0.58}{2}=1.25$ 1 方向 $\frac{2.15+0.95}{2}=1.55$	2 方向 $\frac{1.07+0.25}{2}=0.66$ 1 方向 $\frac{1.28+0.47}{2}=0.88$	2 方向 240 cm 1 方向 185 cm	正規波に対する比 最大 最小 平均 2 方向 2 方向 2 方向 1.30 0.98 1.22 (左側) 1.51 0.96 1.35 (右側) 1 方向 1 方向 1 方向 2.05 1.61 1.89 (左側) 2.0 1.52 1.73 (右側)

表-N-2-10-2 一様勾配床板 打ちあげ測定(3)

	最大打ちあげ高 入射波(H ₀)	最小打ちあげ高 入射波(H ₀)	平均打ちあげ高 入射波(H ₀)	マス目波長	摘 要
正 規 波 h = 18 cm T = 0.9 sec	側壁に近い側 (3.0 m) 4.3/5.8 = 0.74 側壁に遠い側 (5.2 m) 3.0/5.8 = 0.52 2 方向入射 0.74 1 方向入射 0.52	側壁に近い側 (4.4 m) 1.4/5.8 = 0.24 側壁に遠い側 (7.0 m) 1.1/5.8 = 0.19 2 方向入射 0.24 1 方向入射 0.19	2 方向入射 $\frac{0.74+0.24}{2}=0.49$ 1 方向入射 $\frac{0.52+0.19}{2}=0.36$		
縦 縮 尺 波 h = 36 cm T = 127 sec	測点 (4.0 m) 123/127 = 0.97 2 方向入射 0.97	測点 (2.3 m) 4.5/127 = 0.35 2 方向入射 0.35	2 方向入射 $\frac{0.97+0.35}{2}=0.66$		正規波との比 最大 最小 平均 2 方向 1.31 1.45 1.34
横 縮 尺 波 h = 36 cm T = 0.9 sec	側壁に近い側 (2.6 m) 7.0/6.0 = 1.16 側壁から遠い側 (6.4 m) 7.0/6.0 = 1.16 2 方向入射 1.16 1 方向入射 1.16	側壁に近い側 (3.8 m) 1.7/6.0 = 0.28 側壁から遠い側 (5.2 m) 2.6/6.0 = 0.43 2 方向入射 0.28 1 方向入射 0.43	2 方向入射 $\frac{1.16+0.28}{2}=0.72$ 1 方向入射 $\frac{1.16+0.43}{2}=0.80$		正規波との比 最大 最小 平均 2 方向 1.55 1.17 1.47 1 方向 2.23 2.26 2.22

れも前と同様に、回折波等の混在によるためであろう。

- ③ 打ちあげ高/入射波高は全ケースともそれ程大きな差はないが、正規波に比較して、縦縮尺波はやゝ大きく、横縮尺波はやゝ小さい値となっている。

〔B〕一様勾配床板

- ④ 安定波と長時間平均波の打ちあげ分布は、それほど大きい変化はみられないが、縦縮尺波、横縮尺波の場合は局部的に変化を示している。しかし、打ちあげ高/入射波高の値は全ケースとも時間が経過してもあまり変化はしていない。
- ⑤ 打ちあげ高/入射波高の値をそれぞれのケースで比較すると、正規波に比べて他のケースはいずれも大きい。
- ⑥ 縦縮尺波の場合、正規波に比較すると、それらの値は約 30 % 程度大きくなっている。
- ⑦ 横縮尺波も正規波に比較するとかなり大きい。しかし、打ちあげ N_{a1} に比較すると相当小さめになっている。
- ⑧ 縦縮尺波の場合、正規波に比べて打ちあげ高が大きいのは回折波によるためと思われる。横縮尺波が、打ちあげ N_{a1} に比べて比較的小さいのは、打ちあげ N_{a2} と同様に屈折率が小さいため、堤防への入射角度が小さくなるためと思われる。

以上、波高、打ちあげ高について考察を加えてきたが実験波としては縦縮尺波が適当であって、横縮尺波は、比較的屈折が少なく、かつ碎波のない（正規波等が）場合以外是不適当と思われる。しかし、縦縮尺波で実験を行なうと、時間の経過と共に一般に打ちあげ高が高くなる傾向を持ち、特に、模型入口から入射した波の勢力が衰えて、各所からの回折波等が発生し、全体の波の勢力の中で、これらの波の占める割合が増大してくると、この傾向は特に強くなると思われる。各実験の打ちあげ係数について比較した結果を表-Ⅳ-3に示す。表-Ⅳ-3によってもわかる通り、歪模型で実験を行なう場合には、状況によっては補正の必要性のあることを示している。そこで、本実験における模型内の回折波について検討を加え、増大の割合について検討を加えた。

(6) 模型内の回折波について

防波堤先端において図-Ⅳ-10に示すように波が入射している場合、波高分布は図に示されるような3つの領域にわけて考えることができ、それぞれの領域についての合成波高（入射波、反射波、回折波）分布を理論的に求めることができる。しかし、回折波のみを独立にとりだした場合の水位変動を求めることもでき、防波堤先端においての入射波延長線付近、反射境界線付近の波高分布を除けば、回折波は次式で表わされる。

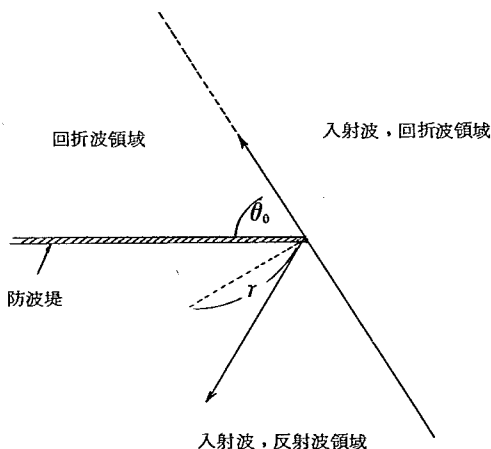


図-Ⅳ-10 波の回折状況

表-N-3-1 正規波に対する比（水平床板）

打ちあげ測定(1)						打ちあげ測定(3)						
		h=18cm T=0.9sec	h=36cm T=1.27sec	h=36cm T=0.9sec	h=32cm T=0.9sec			h=18cm T=0.9sec	h=36cm T=1.27sec	h=36cm T=0.9sec	h=32cm T=0.9sec	
安定波 打ちあげ振幅	最大	1.00	0.99	1.06	0.98	安定波 打ちあげ振幅	最大	1.00	0.84	0.87	0.80	
	最小	1.00	0.82	1.06	0.79		最小	1.00	0.92	0.56	0.70	
	平均	1.00	0.89	1.00	0.95		平均	1.00	0.88	0.80	0.78	
打ちあげ高	最大	1.00	1.02	1.05	0.98	打ちあげ高	最大	1.00	0.85	0.91	0.91	
	最小	1.00	0.87	1.03	0.82		最小	1.00	0.97	0.63	0.66	
	平均	1.00	0.99	0.99	0.98		平均	1.00	0.91	0.84	0.84	
平均値(波) 打ちあげ高	最大	1.00	1.22	1.35	1.14	平均値(波) 打ちあげ高	最大	1.00	1.30	0.92	0.81	
	最小	1.00	0.92	1.15	1.06		最小	1.00	0.70	0.57	0.92	
	平均	1.00	1.04	1.06	1.01		平均	1.00	1.10	0.81	0.85	
打ちあげ測定(2)												
安定波 打ちあげ振幅	最大	1.00	0.80	0.85	0.95	※	h=18cm T=0.9	: 正 規 波				
	最小	1.00	0.97	0.80	0.40			h=36cm T=1.27	: 縦 縮 尺 波			
	平均	1.00	0.84	0.84	0.83				h=36cm T=0.9	: 横 縮 尺 波		
打ちあげ高	最大	1.00	0.72	0.73	0.82	h=32cm T=0.9	: 任 意 波					
	最小	1.00	0.80	0.78	0.25		h=32cm T=0.9					
	平均	1.00	0.84	0.74	0.70							
平均値(波) 打ちあげ高	最大	1.00	0.94	0.84	0.79							
	最小	1.00	0.51	0.36	0.20							
	平均	1.00	0.81	0.69	0.60							

表-N-3-2 正規波に対する比（一様勾配床板）

打ちあげ測定(1)					打ちあげ測定(3)				
		h=18cm T=0.9sec	h=36cm T=1.27sec	h=36cm T=0.9sec			h=18cm T=0.9sec	h=36cm T=1.27sec	h=36cm T=0.9sec
安定波 打ちあげ振幅	最大	1.00	1.50	3.02	安定波 打ちあげ振幅	最大	1.00	1.04	1.30 2.05
	最小	1.00	0.71	2.05		最小	1.00	1.18	0.98 1.61
	平均	1.00	1.11	2.81		平均	1.00	1.07	1.22 1.89
打ちあげ高	最大	1.00	1.93	3.42	打ちあげ高	最大	1.00	1.35	1.51 2.00
	最小	1.00	0.68	2.17		最小	1.00	1.27	0.96 1.52
	平均	1.00	1.35	3.47		平均	1.00	1.32	1.35 1.73
平均値(波) 打ちあげ高	最大	1.00	1.15	2.93	平均値(波) 打ちあげ高	最大	1.00	1.31	1.55 2.23
	最小	1.00	0.61	1.74		最小	1.00	1.45	1.17 2.26
	平均	1.00	0.96	2.60		平均	1.00	1.34	1.47 2.22
打ちあげ測定(2)					※ h=18cm : 正規波 T=0.9sec h=36cm : 縦縮尺波 T=1.27sec h=36cm : 横縮尺波 T=0.9sec h=32cm : 任意波 T=0.9sec				
安定波 打ちあげ振幅	最大	1.00	1.04	1.51					
	最小	1.00	0.94	0.88					
	平均	1.00	1.04	1.33					
打ちあげ高	最大	1.00	1.06	1.43					
	最小	1.00	0.91	0.89					
	平均	1.00	1.02	1.30					
平均値(波) 打ちあげ高	最大	1.00	1.16	1.51					
	最小	1.00	1.59	0.89					
	平均	1.00	1.27	1.32					

$$\eta = H i e^{i k c t} e^{-\frac{2\pi}{i(\frac{L}{r} + \frac{1}{4})}} \cdot 0.0796 \sqrt{\frac{L}{r}} \left\{ \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\theta_0 - \theta) + \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\theta_0 + \theta) \right\}$$

上式の実部をとって整理すると次式を得る。

$$\eta = -H \cdot 0.0796 \sqrt{\frac{L}{r}} \left\{ \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\theta_0 - \theta) + \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\theta_0 + \theta) \right\} \sin \{k c t + \phi\}$$

$$\phi = f \{L, r\}$$

上式にて、任意点の回折波を求めることができる。また、防波堤先端部からの入射波延長線付近、反射波境界線付近の回折波高は入射波高の約0.5倍である。上式をみてもわかるが、回折波高は、回折点からの距りの平方根に反比例し入射波長の平方根に比例する。したがって距りが遠くなるにつれて回折波の影響は小さくなり、入射波の波長が大きくなると同一点における回折波高は大きくなる。模型内では、入射波、反射波とこれらの回折波が合成されている。さきにのべたが、一般に多数の波（周期は同一）が合成されると波高は一定とならず、各所にて異なった波高となる。打ちあげ部においても同様である。そして、それらの最高値を示す場所は、合成領域が十分に広ければ、各波の波高、打ちあげ高の和となる。本実験模型内にも多数の波が混合されており、打ちあげ部においては、入射角度が各場所毎に異なっているため、非常に複雑なる分布を示している。また、模型の大きさが小さいので、模型内で示されている打ちあげ高のピーク値が必ずしも各波高の和とは限らない。しかし、これらの各波の合成状態を詳細に検討するのは容易ではない。また、至模型の実験結果を補正する際、これらの波の合成を詳細に検討するのは容易ではないし、必ずしも最適の方法とは限らないであろう。比較的簡単な方法で、補正できればよいと思われる。そこで、実験結果の最高値は各波の波高の和であるとみなして計算値との比較を行なった。すなわち、模型内の入射波、反射波、回折波等を求め、それらの和を正規波と縦縮尺波についてそれぞれ計算した。結果を図-IV-11に示す。計算を行なう場合、反射率は0.7とした。たゞし、一様勾配床板の場合、打ちあげ測定No.1の部分では波が碎波しているので0.5とした。また、堤防への入射角度が相当小さい場合には0.4とした。図に示した入射波、反射波、回折波は主なるものでこれらの波がまた各堤防へ入射して再反射し、この現象が繰返えされるのであるが、計算上では、これらは除外した。図によると正規波と縦縮尺波では一般に縦縮尺波の合成波高が大きく、約10%程度の差が生じている。これを実験結果と比較すると、水平床板、一様勾配床板両者とも、実験結果が大きい。水平床板の場合、打ちあげNo.1、No.2では、正規波がむしろ大きめであるが、これは、造波板から入射する際の波高が正規波に比較して縦縮尺波がやや小さめであったためであろう。しかし、打ちあげNo.3の場合には、水平床板、一様勾配床板の両者とも計算値より相当大きくなっている。この理由としては、各所より発生する乱反射が多く含まれること、および模型の奥では、回折波の占める割合が、計算値より大きいと思われる。計算を行なう場合反射率を0.7としたが、従来の実験を参照すると0.55程度まで小さくしてもよいと思われ、これを計算に適用すると、縦縮尺波と正規波の比は打ちあげNo.3において1.15程度になる。したがって、この場合でも実験値の方が大きい値になる。

以上、水平床板、一様勾配床板の場合を総合すると、比較的模型の入口に近い方では、縦縮尺波と正規

- 第1項 再反射波
 第2項 左側堤防先端からの回折波
 第3項 右側斜め堤防からの回折波
 第4項 右側斜め堤防先端から打ちあげNo2入射した回折波の反射波

$$1.75 / 1.58 = 1.11$$

$$0.49 \times 1.7 + 0.052 \times 1.7 + 0.263 \times 1.4 + 0.173 \times 1.7 = 1.58$$

$$0.49 \times 1.7 + 0.073 \times 1.7 + 0.328 \times 1.4 + 0.20 \times 1.7 = 1.75$$

平均	平均
0.49, 0.052, 0.263, 0.173,	0.49, 0.073, 0.328, 0.20,
0.49 0.04 0.29 0.22	0.49 0.06 0.36 0.22
0.49 0.04 0.28 0.22	0.49 0.06 0.35 0.22
0.49 0.05 0.27 0.20	0.49 0.07 0.34 0.21
0.49 0.05 0.26 0.15	0.49 0.07 0.32 0.20
0.49 0.06 0.25 0.13	0.49 0.08 0.31 0.18
0.49 0.07 0.23 0.12	0.49 0.10 0.29 0.17
正 規 波	縦 縮 尺 波

$$1.97 / 1.91 = 1.03,$$

$$1.7 + 0.07 \times 1.7 + 0.088 \times 1.7 + 0.085 \times 1.7 + 0.125 \times 1.91 = 1.91$$

$$1.7 + 0.085 \times 1.7 + 0.125 \times 1.97 = 1.97$$

平均	平均
1.0, 0.071, 0.088	1.0, 0.085, 0.125,
1.0 0.18 0.13	1.0 0.18 0.19
1.0 0.14 0.10	1.0 0.18 0.14
1.0 0.05 0.09	1.0 0.07 0.12
1.0 0.03 0.08	1.0 0.04 0.11
1.0 0.02 0.07	1.0 0.03 0.10
1.0 0.01 0.06	1.0 0.01 0.09
正 規 波	縦 縮 尺 波

- 第1項 斜め入射波
 第2項 左側堤防からの回折波
 第3項 右側斜め堤防からの回折波

$$2.83 / 2.72 = 1.04,$$

$$1 + 0.7 \times 1.7 + 0.059 \times 1.7 + 0.277 \times 1.7 = 2.72,$$

$$1.0 + 0.7 \times 1.7 + 0.084 \times 1.7 + 0.330 \times 1.7 = 2.83,$$

平均	平均
1.0, 0.7, 0.059, 0.277,	1.0, 0.7, 0.084, 0.330,
1.0 0.7 0.04 0.5	1.0 0.7 0.06 0.5
1.0 0.7 0.05 0.5	1.0 0.7 0.07 0.5
1.0 0.7 0.05 0.31	1.0 0.7 0.07 0.42
1.0 0.7 0.05 0.23	1.0 0.7 0.08 0.33
1.0 0.7 0.06 0.18	1.0 0.7 0.09 0.25
1.0 0.7 0.07 0.12	1.0 0.7 0.10 0.17
1.0 0.7 0.07 0.10	1.0 0.7 0.12 0.14
正 規 波	縦 縮 尺 波

- 第1項 沿い波成分
 第2項 斜め入射成分(打ちあげNo1からの反射波)
 第3項 左側堤防先端よりの回折波
 第4項 右側斜め堤防先端よりの回折波

図-N-11(a) 正規波と縦縮尺波

- 第1項 斜め堤防②からの回折波
 第2項 斜め入射波
 第3項 ①から打ちあげNo2をへて達する回折波
 第4項 ②から打ちあげNo2をへて達する回折波

$$1.89 / 1.75 = 1.08$$

$$\begin{aligned} &0.56 \times 1.3 + 0.20 \times 1.7 + 0.207 \times 1.7 + 0.196 \times 1.7 = 1.75 \\ &0.589 \times 1.3 + 0.20 \times 1.7 + 0.239 \times 1.7 + 0.223 \times 1.7 = 1.89 \end{aligned}$$

平均	平均
0.56 0.20, 0.207, 0.196	0.589, 0.20, 0.239, 0.223
0.70 0.13 0.09	0.68 0.19 0.13
0.67 0.14 0.16	0.65 0.21 0.23
0.62 0.35 0.18 0.21	0.62 0.35 0.22 0.24
0.58 0.35 0.21 0.24	0.61 0.35 0.25 0.24
0.50 0.35 0.25 0.24	0.56 0.35 0.26 0.24
0.45 0.35 0.27 0.24	0.53 0.35 0.27 0.24
0.40 0.27 0.19	0.47 0.27 0.24

正 規 波 縦 縮 尺 波

$$2.38 / 2.24 = 1.06$$

$$0.37 + 0.17 + 1.7 = 2.24 \quad 0.524 + 0.158 + 1.7 = 2.38$$

平均	平均
0.37, 0.112, 1.0	0.524, 0.158, 1.0
0.28 0.17 1.0	0.40 0.24 1.0
0.31 0.10 1.0	0.44 0.17 1.0
0.35 0.10 1.0	0.50 0.14 1.0
0.41 0.09 1.0	0.58 0.13 1.0
0.5 0.08 1.0	0.70 0.11 1.0

正 規 波 縦 縮 尺 波

- 第1項 ①からの回折波
 第2項 ②からの回折波
 第3項 入射波

2.65 / 2.45 = 1.08

0.344 × 1.7 + 0.258 × 1.7 + 1.0 + 0.25 × 1.7 = 2.45	0.41 × 1.7 + 0.311 × 1.7 + 1.0 + 0.25 × 1.7 = 2.65
平均	平均
0.344, 0.258, 1.0, 0.25	0.410, 0.311, 1.0, 0.25
0.22 0.18 1.0	0.32 0.25 1.0
0.23 0.50 1.0 0.5	0.33 0.50 1.0 0.5
0.26 0.50 1.0 0.5	0.37 0.50 1.0 0.5
0.32 0.30 1.0 0.5	0.45 0.42 1.0 0.5
0.50 0.18 1.0 0.5	0.50 0.25 1.0 0.5
0.50 0.16 1.0	0.50 0.23 1.0
0.50 0.14 1.0	0.50 0.20 1.0
0.22 0.10 1.0	0.31 0.14 1.0
正 規 波	縦 縮 尺 波
第1項 斜め堤防①からの回折	
第2項 斜め堤防②からの回折	
第3項 沿い波	
第4項 打ちあげNo1からの反射波	



図-N-11(b) 正規波と縦縮尺波

波の打ちあげ高の比は計算値に近いが、模型の奥に入って各所からの回折波の影響が強まってくると両者の比は計算値より大きくなっていくことが認められたわけである。揖斐川河道内の波浪実験でも当然このような傾向は認められると思われる。しかし、揖斐川河道模型は本実験模型に比較して数倍大きい。また、実験波長も揖斐川実験の方が、本基礎実験の波長よりやや小さい。回折波高は距りの平方根に反比例し、入射波長の平方根に比例する。このため、回折波高値は本基礎実験の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 程度になり、その影響度は相当小さくなると思われる。さきにのべた図-IV-11の回折波高を $\frac{1}{2}$ 程度にして計算すると縦縮尺波と正規波の打ちあげ高の差は5%程度になる。また乱反射の影響も弱まると思われるので、そのような状態で実験を行えば、両者の差は1割以内になるであろう。揖斐川実験の場合は、本基礎実験のような、はっきりとした回折点が存在するわけではないので、歪模型による打ちあげ高への影響が1割以上になるとは考えられない。したがって、実験結果をそのまま適用すれば、安全側な値ではあっても、大きすぎる値を採用したことにはならないと思われる。

5. 結 論

本実験結果を要約すると次の通りである。

- (1) 歪模型の場合、模型の堤防勾配および堤防付近の地形は、歪ませないように製作すべきである。
- (2) 与える波の縮尺方法として模型の縦縮尺にあわせる場合と横縮尺にあわせる場合が考えられるが、屈折および砕波現象が予想される場合には、横縮尺波は適当ではない。
- (3) 縦縮尺にあわせた波を与えた場合、無歪の場合と比較すると回折波高と、河道内波高分布および打ちあげ高の分布状態が異なってくる。すなわち、回折波高は一般に大きくなり、波高分布および打ちあげ高分布は、場所的変動状態の距りのスケールが大きくなる。これは、入射波長が大きいためである。
- (4) 縦縮尺にあわせた波を与えた場合、波高、打ちあげ高の局所的な値を求めることはできない。全体的な分布として求めるべきである。また、実験結果は一般に大きい値となる。揖斐川実験の場合もこの傾向はみられるであろうが、模型が大きいので、無歪の場合と比較してその差は1割以内と思われる。

V む す び

以上、木曾三川河口部の高潮堤防の形状考察および歪模型の基礎実験についてのべてきた。揖斐川河道内の平面実験が終了していないので、総合的な結論は得られていないが、高潮堤防の形状考察実験については、平面実験結果および、河口部の計画諸元とあわせて結論を求めればよいと思われる。なお、形状考察の実験結果はすべて二次元実験であるので、斜め入射が主体となる河道上流部に対しては、すべて安全側な解が得られるであろう。