

水深の大きい埋立地護岸に作用する波浪対策に関する一研究

田 中 茂*・杉 本 修 一**

要 旨 最近わが国においては、臨海工業地帯の埋立てがさかんに行なわれ、水深 9, 10 m という深さのところにケーソン、パラペット壁などで護岸を築造し、この護岸は接岸用の岸壁としても役立たせようとする目的のものも多い。このような護岸には捨石部の大きいものを造ると船舶の接岸にも支障があるために、このようなものは設けられない。したがって、台風時などでは、勢力がほとんど消耗せずに沖から波が進行してきてこの護岸に衝突することになる。この際、護岸の直立壁により反射率の高い反射波が生じ、その結果波高の大きい重複波が護岸の前方海面に起こることになる。この波のために護岸天端に越波を生じ、埋立地の浸水が生じ、しばしば問題を起こしている。このような護岸の波浪対策に関する研究の第一歩を踏み出したのでここにその概要を述べる次第である。

1. 緒 言

沖からの進行波と反射率の高いその反射波とが創造する重複波は「波高拡大率」が大きいために、標題のような護岸の波浪対策として普通に考えられるのは、第1に、護岸を沖波の直接攻撃から守るために防波堤あるいは防波構造物を護岸から離して少し沖合に築造する方法、第2に、多孔壁を有するケーソン構造の護岸を築造して重複波を消滅するような方法、第3に、在来構造の護岸のパラペット壁の天端を高くして重複波の越波を許さないようにする方法、第4に、在来構造の護岸と一定距離を距てて埋立地に副壁を設けて、副壁で波をくい止め、副壁から後の埋立地の浸水を防止する方法、その他である。なお、このほかに、埋立地およびその背後地に降った雨水の排除を円滑に行なうにはどのようにすべきかという別の問題の解決策もまた大切である。

著者らは第4の方法による波浪対策が既設埋立地の浸水対策として実施しやすいことから、重点をここにおいて研究を行ない、さらに第3の方法についてもふれ、また雨水排除の問題についても研究を行なったので、これらについて報告をする。ただし雨水排除の問題は紙面の都合上、次報にゆずることとした。

この研究には台風時に発生した沖波が前記のような護岸で反射して重複波を引き起こすが、この時の重複波

は、護岸の断面や構造がきまれば、潮位、沖からの進行波の特性、護岸の法線と波の進行方向などにより、影響を受ける。したがって、まずこのような状態を正しく実験により把握し、しかる後に護岸および副壁のそれぞれの高さやそれらの間の距離などを変え、また他方、潮位や沖波の波高、周期などの特性を種々与えて、これらの多くの組合せに関する模型波浪実験を行なった。埋立護岸の対象としては神戸市西部埋立地の護岸をえらんだ。なお、この研究は神戸市埋立事業局の委託研究費によるものである。

2. 実験の説明

(1) 模型実験の選択

この研究は模型波浪実験によって行なった。このような研究を対象とする模型実験には2次元水槽によるものと3次元水槽によるものの二通りが考えられる。神戸大学工学部にある2次元水槽は両面ガラス張り鋼わく製で一端にフラッター式起波機を有しているもので、高さ 1.2 m, 幅 1.0 m, 長さ 23.0 m の寸法を有しているので、護岸および波などの模型縮尺は 1/25 程度が適当である。他方、3次元水槽は鉄筋コンクリート製で、深さ 0.5 m, 幅 25 m, 長さ 30 m のものが上記工学部に屋外水槽として設備され、これに移動可能なプランジャー式の長さ 20 m, 7.5 HP の変速機つきモーターで駆動する起波機を具備している。これを使用すると、起波機や水槽寸法などの都合で、構造物や波などの模型の縮尺は 1/80 程度が適当である。

以上のような実験施設や設備の都合から、2次元水槽では模型をあまり小さくしなくてよいこと、ガラス面越しに波の縦断面や越波および跳波などの現象をよく撮影しうることが長所であるが、起波機で起こす波の調整が必ずしも容易でないことはこの種の水槽の短所である。一方、3次元水槽では所定の沖波の模型波を出すことが水槽の対岸による反射波をいま考えている水域のほかの水域へ転じ得て、当該水域には進行波のみを起こすことが可能であること、一定範囲の埋立地を模型にとり入れ得て、いわゆる3次元模型を造りうることなどは長所であるが、何分にも小さい模型しか造れないし、風の影響を受けたりすること、および波の縦断面を直接撮影しにくいことなどは短所である。

ここでは、沖からの進行波の特性に対応した模型波を

* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部

** 正会員 神戸大学 工学部

造り、それが護岸模型に衝突してどのように重複波が生ずるかを明らかにすることが第一になすべきことであるのに鑑み、前記三次元模型実験用水槽を使用して縮尺 1/80 の護岸模型を造りこの関係を明らかにした。二次元模型実験用水槽では幅 1 m であるので、埋立護岸の模型を縮尺 1/25 の水槽幅いっぱいにして、3 次元模型実験により明らかにせられた結果、特に進行波と重複波との間の「波高拡大率」を基準として、2 次元水槽の起波機により重複波を起こして、それがどのように護岸天端をこえ、または護岸と副壁との間で越波してきた水がどのように運動するかを明らかに把握する目的で、2 次元模型実験を行なったのである。

(2) 進行波と重複波との関係を得る実験

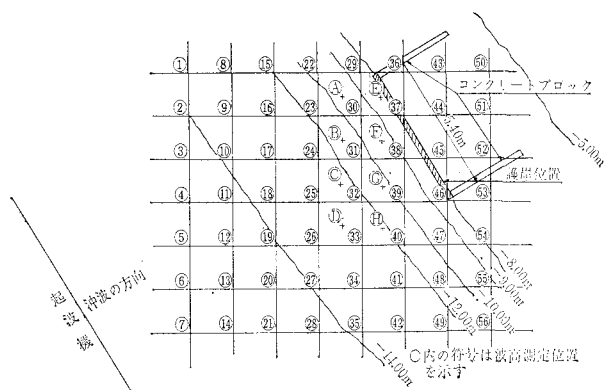
前記 3 次元水槽の一辺 25 m の壁近くにやや斜めに起波機を設置し、起波機と平行に縮尺 1/80 の護岸模型を木材と亜鉛引き鉄板とで製作し、コンクリートブロックで重しをかけたものを延長 5.40 m だけ、距離約 13.75 m へだてて置くようにした。実験の順序としては、まず、このような護岸を置かず、進行波が水槽側壁に衝突してそれが反射して進行波と干渉し合ふよう反射壁や消波壁を別に設置して、起波機の上下運動のストロークや周期を調整して、所定の潮位に対して、種々の想定した波に対応する縮尺 1/80 の模型波を出しうるようにした。なおこの実験で対象とした潮位および波高の種類は表-1 に示すとおりである。

表一1 実験に使用した潮位、沖波

潮 位 (m)	冲		波	
	波 高 (m)		周 期 (sec)	
	实 物	模 型	实 物	模 型
K.P.+3.0	3.0	3.75×10^{-2}	8	0.9
"	3.5	4.38×10^{-2}		
K.P.+3.7	3.8	4.75×10^{-2}		

このような条件の各模型潮位に対して、3種類の進行波の模型波を三次元水槽で再現しようように努力した。しかる後に模型護岸を所定の位置に図-1に示すように設置すると、たちまちに、反射波を生じ、その結果重複する。重複すると、波の腹と節になるところが護岸から沖に向かってほぼ一定間隔で定まった平行線をなしている。このようにして重複波が一定してから、その様相をmovie cameraにおさめ、さきに進行波のみの時の様相を同様にしておさめたものと比較した。もちろんこの時、重複波の腹に相当するところの波高を測定した。また重複波が護岸に衝突する時の越波や跳波の状況をも参考のために movei camera で撮影した。進行波と重複波との比較、特に「波高拡大率」は潮位、波高、護岸の天端高などでこの場合はかなり異なるから、これらの要素

図—1 3次元模型実験測定位置平面図

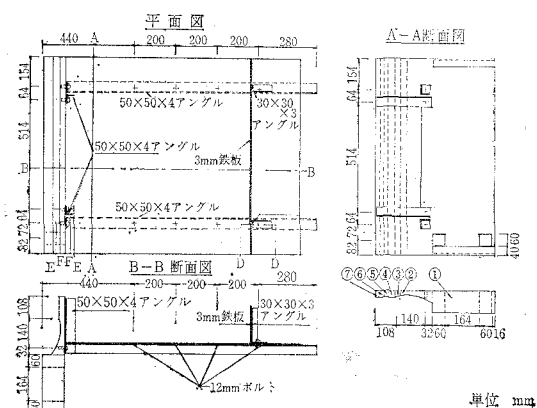


を極力変えた場合について実験を行なった。

(3) 護岸、副壁等に対する越波、水の運動などに関する実験

2次元の模型水槽を使用して標記の実験を行なった。前記2次元模型実験用水槽に図-2に示すような護岸模型を縮尺 1/25 で造ったものを水深 K.P.-8.0 m から K.P.-14.0 m まで沖へ向って傾斜している海底の模型を砂で造ったものの上に、水深 K.P.-8.0 m に相当する位置に設置して護岸の模型を造った。図-2 に示す模型は鋼材を使用して造ったもので、護岸高を K.P.+5.0 m, K.P.+5.7 m, K.P.+6.5 m, K.P.+7.0 m, K.P.+7.5 m, K.P.+8.0 m および K.P.+9.0 m と容易に変え得る構造とした。さらに副壁も、高さ K.P.+7.0 m, K.P.+7.5 m, K.P.+8.0 m と変え得るし、さらに護岸

図一2 平面および断面図



圖—3 見 取 圖

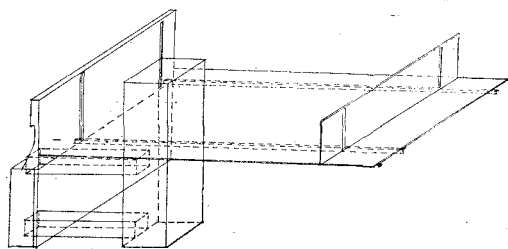


表-2 実験に用いた定数の表

護岸高 h_1	副堤高 h_2	副 距	潮 位	波 高	備 考	護岸高 h_1	副堤高 h_2	副 距	潮 位	波 高	備 考
K.P. +5.0 m	K.P. +7.5 m	10 m	K.P. +3.0 m	3.0 m 3.5 3.8		K.P. +5.7 m	K.P. +7.0 m	25 m	K.P. +3.0 m	3.0 3.5 3.8	
			3.7	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
		15	3.0	3.0 3.5 3.8			K.P. +7.5 m	10	3.0	3.0 3.5 3.8	
			3.7	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
	K.P. +8.0 m	10	3.0	3.0 3.5 3.8			K.P. +7.5 m	15	3.0	3.0 3.5 3.8	
			3.7	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
		15	3.0	3.0 3.5 3.8				20	3.0	3.0 3.5 3.8	
			3.7	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
		20	3.0	3.0 3.5 3.8				25	3.0	3.0 3.5 3.8	
			3.1	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
		25	3.0	3.0 3.5 3.8			K.P. +8.0 m	10 m	3.0 m	3.0 3.5 3.8	めがねでも実験を行なった
			3.7	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
K.P. +5.7 m	K.P. +6.5 m	20	3.0	3.0 3.5 3.8		K.P. +6.5 m 7.0 7.5 8.0 9.0	K.P. +8.0 m	15	3.0	3.0 3.5 3.8	
	K.P. +7.0 m	15	3.0	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
			3.7	3.0 3.5 3.8			K.P. +8.0 m	10 m	K.P. +3.0 m	3.0 3.5 3.8	
		20	3.0	3.0 3.5 3.8					3.7	3.0 3.5 3.8	
			3.7	3.0 3.5 3.8							
			3.7	3.0 3.5 3.8							

の下部ケーソン前面から、副壁までの距離、略して副距と呼ぶが、これを $l=10\text{ m}$, 15 m , 20 m , 25 m に変えられる構造としてある。護岸と副壁の見取図は 図-3 に示す。

なお、実験を行なった潮位、波高、護岸天端高、副壁天端高、副距等の組合せを一覧的に 表-2 に示す。

さらに、護岸の高さを +5.0 m まで切り、その上に眼鏡式に開口部と阻壁部とを互い違いにおいたものを乗せ、図-4 に示すような2種類のパラペット部を用意した。これは護岸と副壁との間に打ちこんできた水槐の排除をねらったものである。

図-5 は護岸のパラペット壁の模型の詳細を示す。

3次元模型実験用水槽を使用した結果より、沖波波高

図-4 開口部を有する護岸正面図

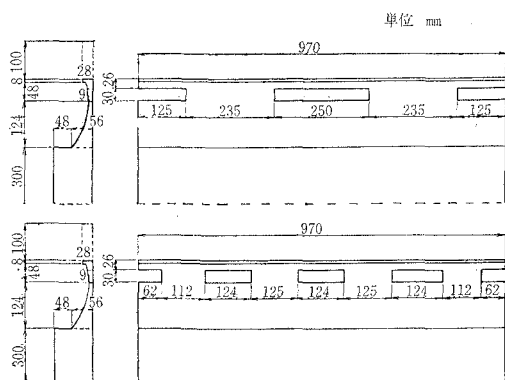
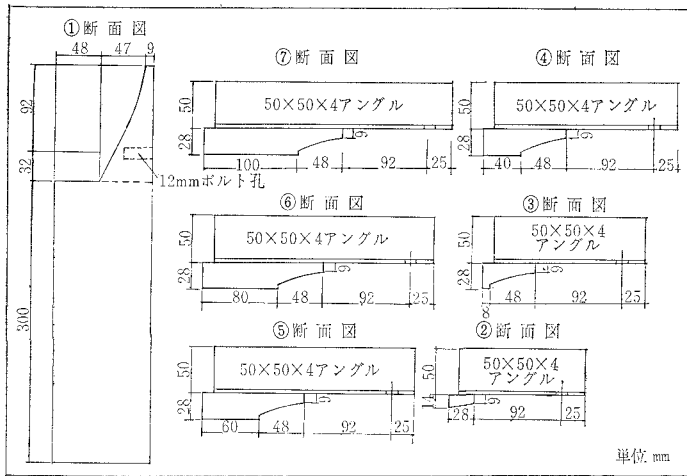


図-5



重複波の高さとしては上記の高さを波高としてとるのは高くとりすぎであるので、護岸の両端部を省いた中央部の延長3.6m部分の前面のところの点の平均波高を求めて、波高拡大率を計算した。それらの結果を一覧的に表-3に示した。

表-3 波高拡大率の表

波 高	3 m	3.5 m	3.8 m
波高拡大率	1.5	1.6	1.7

上表の値は平均波高に關してのものであるが、有義波高や 1/10 波高などの場合はさらに大きい値をとるようである。また、重複波は護岸から非常に遠い沖合いにも生じている。

(2) 2次元実験の結果とその考察

a) 総説

護岸天端高は昭和 39 年現在で K.P.+5.7 m であるが、この高さはこの実験で取り扱った潮位と沖波波高のすべての組合せに対してはいずれも低くて越波する。天端高を K.P.+9.0 m にして始めてここで取り扱った潮位と沖波波高のどのような組合せに対しても護岸のみで越波を許さずにすむことが判明した。したがって、ここの実験の主眼は護岸と副壁との組合せにより、護岸を越波してきた波をくいとめることにおかれた

図-6 護岸をおかぬ時の波高 K.P.+300 m, 波高+3.00 m

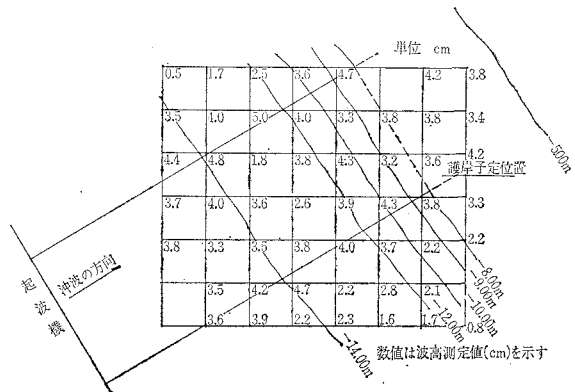
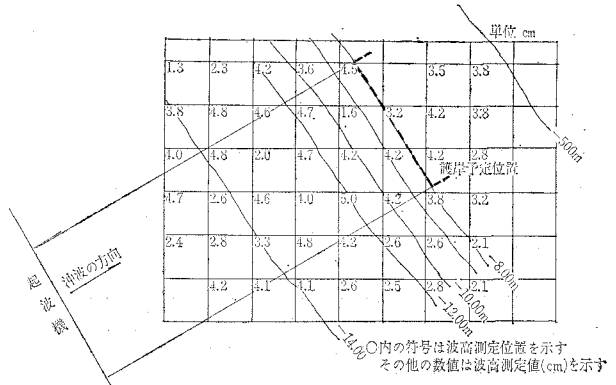


図-7 護岸をおかぬ時の波高 K.P.+300 m, 波高+3.80 m



と重複波波高との関係を明らかにした後、2次元模型実験用水槽内の潮位、護岸高、波高などの組合せの各場合についての「波高拡大率」を参考として、起波機の調整を行なった。Froude の相似律によって求められる沖波の模型波の波高に前記拡大率を乗じた重複波高をもち、沖波の周期を模型沖波の周期に換算したものを有するような模型重複波を起こした。護岸天端からの反射状態と越波状況、護岸と副壁との間の水域へ越波がとびこんだ結果引き越す擾乱波が伝播する状況および副壁からの反射状況、さらにそれが副壁を越える状況、引き波の時に護岸天端や開口部から、水が海側へ落下する状況などを 16 mm movie camera におさめた。また特に重要なものは high speed motion camera によってフィルムに収め、解析を行なった。

3. 実験結果とその考察

(1) 三次元実験の結果

図-6~8 は護岸をおかぬ時の波高を水槽内の各点で求めたものの数例を示す。

さらに護岸の模型(天端高を 5.7 m, 7.0 m, 9.0 m などそれぞれしたもの)を設置した後の重複波の測定を行なったのであるが、重複波は護岸のところを腹として、約 50 cm(実際では 40 m)間隔で護岸と、ほぼ平行な線が腹の線となっている。この時の腹のところの各点の波高を測定した結果の数例を図-9~12に示す。護岸の無い場合の波高は護岸延長 5.40 m という幅をはなれた側方の各点では波高が小さくなっている。護岸を設置した場合は同じ重複波の腹の線上でも点によりかなり波高に差がみられる。護岸両端付近は反射波と進行波とはかなりはげしくぶつかり合っているので、重複波高が特に大きい値を示している。

結果となる。

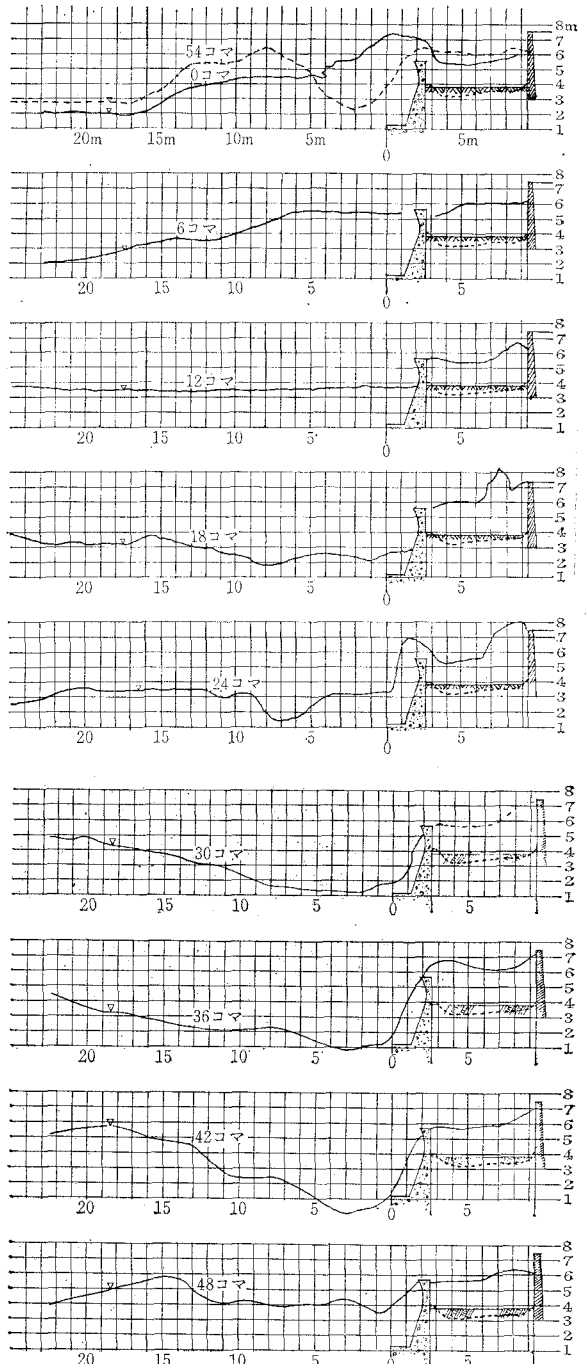
重複波は護岸天端を越える時は一般に波の峯全体が高まって越流のような形でこえるのであって、いわゆる跳波のようにくだけて水壁が高く天に沖するという現象はこの実験ではみられなかった。ただ少し白濁した波立ちが重複波の天端の上方に数メートルの高さまで上ることが認められた程度である。3次元的には波の進行が収れんしたり、反射波がぶつかり合ったりして跳波が高く天に沖する現象も局所的にはみられるであろう。この場合のように重複波の峯の一部が護岸天端より上に出るために、その部分は下がけつまついて前にのめったようになり、護岸をこえて副壁との間の空間にとびこむことになる。このとびこむ水塊はもはや波としての運動をせず一種の跳水のような運動をする。この跳水量は一波ごとにかなりの量に達するがために、護岸と副壁との間の空間は十数波ないし数十波の来襲により護岸天端まで水を湛えたプール状になる。この場合は引き波の時の排水がこのプールの両端が海に開いているときはそこから行なわれるが、護岸延長が長い割りに両端開口部の断面積が小さいから、このプール内への打込み水量の方がはるかに排水量よりも大きく上回っているので、結局はこの実験結果のようになることは容易に考えられる。このことは護岸に開口部と阻壁部とを交互に設けたものの実験結果でわかるように、開口部からの排水はプール内の水位の低下に驚くようには利かないことから容易に想像される。プール内の湛水部への越波による跳水が擾乱を与えるとともに水量の供給をなすことになる。したがって、この擾乱に起因してプール内の水がおしのけられる結果、新たに擾乱波のようなものが発生してこれが副堤へ向って移動して副堤を越えるかまたは副堤で反射して護岸の方へもどり護岸で反射してまた副堤へ向って進むと同時に、とびこんだ水による水量増加が引き波の時に擾乱波が護岸にもどった時とに海側へ滝のように落下することにより排水される。この場合に、プール内の水の容量と、とびこんでくる水の容量と速度とその方向などの関係いかんによりプール内の水のうける動揺の程度は異なる。また、プール内の水深の大小によっても水じよく作用のきき方を異にし、プール底の砂の洗掘と移動などの程度も大きく異なるのである。重複波が護岸天端をこえる時刻とプール内に生じた擾乱波が副壁に衝突して反射し、それが護岸に向って進み、護岸天端にもどる時刻のずれや一致がまた護岸をこえる波の峯の高さに影響を与えるとともにとびこみの速度や量などにもまた影響を与えるのである。図-13, 14 は沖波、潮位、護岸、副壁などの条件を同じにとり、副距のみを変えた場合の波の打ちこみとプール内に生じた擾乱波の移動状況を6コマごとにわけて示したものである。この場合は副距を10m, 20mの二つの場合のみを考えたのであるが、前者の場

合は擾乱波が護岸と副堤間を往復する時間が重複波の周期よりも短いので、重複波の峯と擾乱波のそれとは護岸付近では出あっていない。それに反し、後者の場合は、上記の両者が護岸天端の少し海側よりで重複する状

図-13 越波状況

潮位	3.7	護岸	5.7
波高	3.8	副高	7.5
周期	8	副距	10.0

40 コマ撮影



態を示している。また前者の場合はプール内の水の容量が後者の場合のその約半分であるのに対し護岸から打ちこんでくる水の運動量はあまり変わらないものと考え、プールの水は前者の場合の方が後者の場合よりも大きく擾乱をうける理屈である。これらの図を比較してもこのような傾向がみられる。プールの底の砂の洗掘状況は前者の方が後者よりもはげしいことは当然である。図-15 もまた同様な傾向を示した図である。

b) 各 論

① 護岸天端高 K.P.+5.7m のとき：この高さは現在の護岸天端高さである。この場合にも副壁天端高が K.P.+7.0m, K.P.+7.5m, K.P.+8.0m の3つの場合をとり上げた。これらのなかでも、K.P.+7.5m を標準と考え、副距を 10m, 15m, 20m, 25m の4通りにとって実験を行った。潮位と波高の関係は潮位 K.P.+3.0m で沖波波高 3.0m の時は比較的護岸頂部を越波する量は少ないし、それがプール底の砂におよぼす衝撃も比較的少ないから砂のところの洗掘量も比較的少ない。またプール内の水の擾乱の程度も少ない。同じ潮位で沖波波高 3.5m の時は同 3.0m の時と比較すれば大きな量が越波する。いま、半

図-14 越波状況

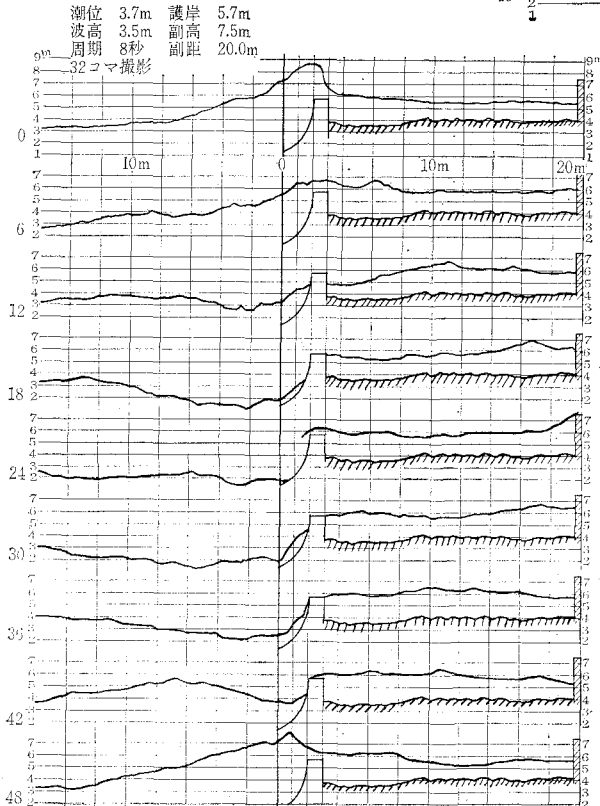
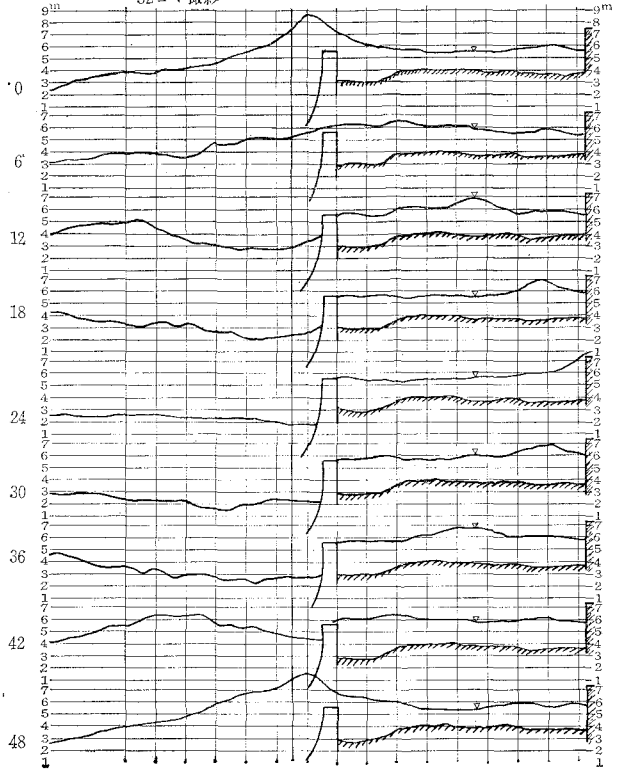


図-15 越波状況

潮位 3.7m 護岸 5.7m
波高 3.8m 副高 7.5m
周期 8秒 副距 20.0m
32コマ撮影

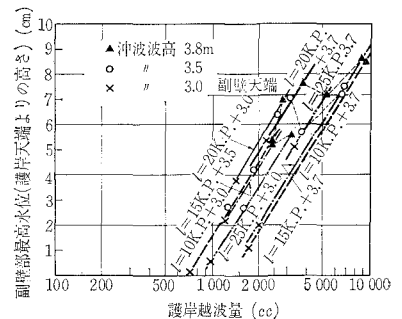


対数方眼紙の普通目盛に護岸天端高を基準として計った副壁部最高水位をとり、対数目盛に護岸越波量をとって、潮位と副距の組合せをパラメーターとして、各波高をプロットすると 図-16 に示すようにほぼ平行な直線関係をうる。これより潮位と副距の組合せに対して、沖波波高を与えれば護岸越波量や副壁部最高水位を求められる。

この図は副壁天端高が K.P.+7.5m の時のものであるが、副壁天端を擾乱波が越波するのは、 $l=10m, 15m, 20m, 25m$ の順に越波しにくい

図-16 副壁部最高水位

護岸天端高 K.P.+5.7m
副壁天端高 K.P.+7.5m



ことが明らかにわかるのである。副壁天端高がこれと異なるほかの2つの場合についても同様の傾向がある。

② 護岸天端高 K.P.+5.0 m のとき：この高さは現在の護岸天端高より 0.7 m 低いものである。この時は①の場合より護岸天端高が低いから、潮位および波高の同じ組合せ条件の下では、①の場合よりも、護岸を越波してくる水の量およびその運動量が大きいし、また護岸と副壁との間のプール水深も浅いので、プール内の水の容量および水じょう作用ともにさきの場合よりも小さい。したがって、プール内の擾乱もより大きく、また副壁を越える越波量よりも大きくなる。図-17 はこの場合、副壁高 K.P.+8.0 m の時について、護岸天端越波高を普通目盛にとり、潮位と副距の組合せをパラメータとして、各沖波波高に対するこれらの関係をプロットしたものである。これによれば、ほとんどの場合が副壁を越波することが明らかで、副壁越波量もかなり大きいことがわかる。また、副距が 10 m, 15 m, 20 m, 25 m の順に副壁越波量が少なくなることも明らかである。この場合はまたプールの底が護岸越波により、かなり大きい衝撃をうけて、砂が洗掘移動する量も大きい。

③ 護岸天端高 K.P.+6.5 m の時：この時は護岸天端高が高くなった結果、護岸を越波する波の同天端上の越波高、越波量ともに①の場合に比して小さくなり、したがって副壁越波量も少ない。この場合は副距 10 m の時のみを取り扱った(図-18 参照)。

④ 護岸天端高 K.P.+7.5 m の時：この時は護岸天端を越える波の越波高はさらに小さくなる。副距 10 m,

図-17 護岸天端越波高と副壁越波量

護岸天端高 K.P.+5.0 m, 副壁天端高 K.P.+8.0 m

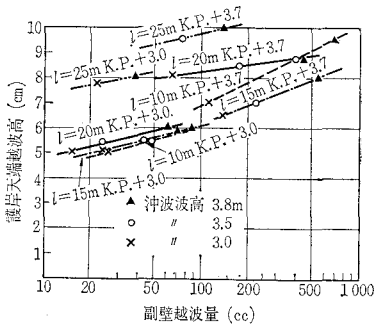
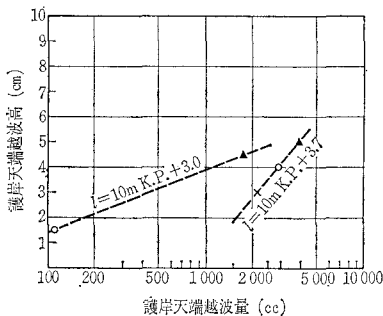
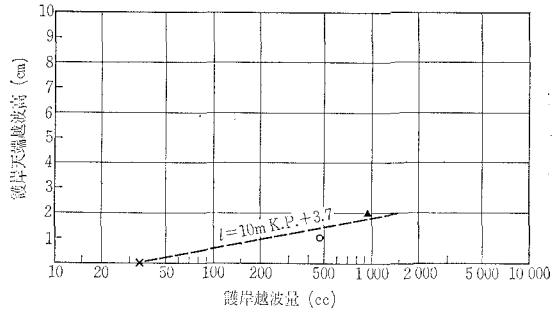


図-18 護岸天端越波高と越波量 護岸天端高 K.P.+6.5 m



副壁高 K.P.+8.0 m の場合について実験を行なった。この場合、潮位が K.P.+3.7 m, 沖波波高 3.8 m の時でも護岸越波高は 0.5~0.75 m にとどまり、副壁を越波する程度である。図-19 は図-18 と同様な関係をこの場合について示したものである。

図-19 護岸天端越波高と越波量
護岸天端高 K.P.+7.5 m



⑤ 護岸天端高 K.P.+8.0 m の時：この時も副距 10 m, 副壁高 K.P.+8.0 m の場合について実験を行なった。この場合は④の場合よりもさらに護岸天端高が高いので、護岸越波量はさらに少なくなり、プール内の擾乱も非常に少なくなる。潮位が K.P.+3.0 m の場合で沖波波高が 3.5 m の時の波が護岸を越波する限度である。潮位が K.P.+3.7 m の時にに関して少し詳細につぎに説明する。

護岸高が K.P.+8.0 m であり、相当地高いわけであるから、沖からの波と護岸からの反射波とが重複し合っかなり高くなることは明らかである。沖波の波高が 3.0 m, 3.5 m, 3.8 m の3種の場合に対して、沖波が重複波となる時の波高拡大率は平均的にみると 1.5~1.8 となっているが、1/3 有義波高や 1/10 有義波高に関しては波高拡大率は 2.0~2.4 にもなることは3次元模型実験の結果から明らかであるが、これは護岸にぶつかった時のものではないから、護岸にぶつかった時はこのように高い護岸天端を越えることも容易に予想される。

波高 3.0 m の場合は護岸のところでは護岸天端より下約 1.0 m のところまで上る。

波高 3.5 m の場合は波返しがよくきいているため、よく空気を連行して上り、その頂きは K.P.+10~11 m にも達する。したがって副壁との間にはさまれたプールには相当な水深の水溜りを生ずる。このプールは $l=10$ m という短い間隔で壁に囲まれているが、水深が 7~8 m と深いので、護岸を越える水塊のときみ量はプール内の水の容積に比して少ないので、プールの水はよくクッション作用がきいているせいか、プール内の擾乱波は比較的小さいが、副壁をこえるのは時折りである。

波高 3.8 m の場合も、波返しがよくきいているため、よく空気を連行して上り、その頂きは K.P.+11.0~12.0 m にも達する。したがって、 $l=10.0$ m という間

隔のプールにはすぐに水はいっぱいになり水深8.0mとなる。この時のプールへの水のとびこみ量は、沖波波高が3.5mの時に比較すると、多いから、それにつれてプール内の擾乱波もさきの場合と比較すると、少し大きい。したがって、副壁を越えて越波するのは一様に越えないで切れ切れに少し越える。

前記のプール内の水をホースでサイフォン作用を利用して排水してみた時について同様な実験を行なったが、結果は前の場合とほとんど同じである。

⑥ 護岸天端高 K.P.+9.0m の時：この時も副距10m, 副壁高 K.P.+8.0 の場合について実験を行なった。潮位が K.P.+3.0m の時は沖波波高3.8mの時でも天端より少し下にとどまる。つぎに潮位が K.P.+3.7m の時について述べるとつぎのようである。この時の護岸の天端高は⑤の場合よりもさらに天端高が1.0mだけ高いが波返し位置の関係もあり、⑥の場合に波高、3.5m, 3.8m の沖波がきた時には、かなりの高さまで跳波が上ったが、この場合はその割に高く上らずこの天端をこえることはほとんどない。沖波波高3.8mの時でも、この護岸天端すれすれまで上り、これで護岸のみで波をくい止めるとみなしてもよい。

⑦ 護岸天端高 K.P.+5.7m で交互に開口部と非開口部とを設けた場合：図-4に示すような2種のパラペットに開口部を設けたものを使用した。このような構造のものをとり上げた理由は、引き波の時に護岸と副壁との間のプール内の水の排水を良くし、かつ寄せ波の時には、開口部を通してプール部に侵入する水流と、護岸天端をこえて同部に侵入するそれとを干渉させ、かつ非開口部と開口部の交互の設置により護岸越波高を不均等にすると同時に空気混入を良くしてエネルギーを減殺しようとする狙いもあったことによる。しかしながら開口部から急速に流入する奔流がプールにクッション作用が少ないために床面の洗掘を大きくし、かつ副壁にまともに衝突する可能性も考えられるし、越波による流れと開口部からと奔流との衝突干渉が効果的に行なわれるかどうかがこの構造の生命であろうことは容易に予想せられた。実験は副壁天端高 K.P.+8.0m のものを対象とした。この場合、副距10m の時には、潮位が高い場合でしかも沖波波高が高くてもプール内の水面の凹凸は少ないが、全体的に侵入波の運動量でプール内の水が副壁側へおしつけられたようになり、特に開口部のない時に比し効果的とはいえない。副距が15m, 20m と大きくなるにつれて、プール内の水の容量もますますプール内の水が副壁に向って全体的におしつけられる傾向は少なくなるが、一方開口部を通りぬけた流れと護岸天端を越えてきたそれとが互いに干渉し合うということが少なくなるので①の場合に比してもその消波効果はほとんど変

わらない。開口部の大きさの違いはこの実験ではほとんどわからなかった。

この型で効果を上げるには、護岸と副壁との間に護岸から4~5mのところに護岸の開口部と非開口部の配列と千鳥にこれらの配列を有するパラペット壁(天端高は護岸のそれより少し高いもの)を設けること護岸天端をこえた水流とその開口部を通りぬけた水流とがよく衝突してエネルギーを消耗し、消波効果はきわめて大きかった。

4. 結 論

以上行なった各種の実験により得られた結果から実際にどのような護岸、副壁などの組合せを採用すべきかという問題になるが、護岸天端の高いものを採用すれば、それを越波する水はその量、エネルギーともに小さくなるが、完全に越波をくい止めるには非常に高い天端高とする必要がある。この実験は海からの風の影響については行っていないが、それを考察に入ればなおさらにこの傾向が強調される。したがって護岸天端高をある高さ、たとえばこの場合では K.P.+7.5m 程度におさえて、それをこえてくる水塊は副壁でとめるようにし、副距は10m 程度におさえ、副壁天端高は K.P.+8.0m 程度にするのも埋立地を越波の影響から守る一案である。あるいは、既設護岸天端が K.P.+5.7m というのをそのままにして使用する時には天端高 K.P.+8.0m 程度の副壁を副距10m として設置するか、または天端高 K.P.+7.5m の副壁を副距25m として設置するか、もしくは同じ高さの副壁天端付近に適当な波返しをつけたものを副距10m として置くことが消波効果のみからみた良案である。または3.⑦の最後に述べた開口部を有する壁体を護岸と副壁の間にもうひとつおくことも良い。このほか、壁体を埋立地におく場合の壁体の動水学的安定についても別途吟味する必要があることはいうまでもない。また、この時の護岸を越える波は碎波した波が護岸をこえるような時の様相とは異なり、潜堤上の水の越流に似た様相を呈するから風による水滴の飛散とは趣きを異にすることは明らかである。

5. 結 語

この研究は深い水深を有する埋立地護岸の防波対策のひとつの足掛かりをうるためのものであるが一応定性的な傾向と大雑把な定量的な関係を知り得た。今後さらに詳細な実験と解析とを行なって一般的な指針を得たいと考えている。本研究に対して絶大な援助を下された神戸市埋立事業局の各位、特に石原有技官と、神戸大学助手片山邦康氏に感謝の意を表する。