

沿岸開発に及ぼす長周期波の影響

岩 崎 敏 夫

1 はしがき

故速水頌一郎先生は沿岸海洋を陸地の影響を受ける海洋の境界域であるとして、陸岸から約20km、水深約350mで大陸棚の上であるとし、河川水が拡散しつつ運ぶ栄養の為に生物の宝庫になっていると指摘され、河川水と海水との混合、泥の運ばれ方が沿岸海洋の働きを理解する上で特に重要であると述べていられる。⁽¹⁾この際輸送の主原因は沿岸流、潮流であるから、沿岸開発の利用にあたっては、これらの機構を明らかにせねばならないであろう。

わが国の沿岸開発は狭い臨海地域に集中的に行なわれ、現在は過密・環境汚染という問題を惹起している。この場合にも沿岸海流の働きが重要である。

沿岸における長周期波は平常時は天文潮たる潮汐波であるが、その誘起する傾斜流、密度流、補流などの沿岸開発に及ぼす作用は、生物学的ならびに化学的反応上由々しい役割を演じていると考えられる。このような見地より、水理学者と、生物学者あるいは化学々々との協同研究が現在発足して、すでに二、三の成果が挙げられているけれども、まだ揺籃期にあるというべきで本講に論ずべきほどのことはととのえられていない。

つぎに長周期波として問題になるのは高潮であり、水工学シリーズでもたびたび取上げられてきた。^{(1)~(5)}また津波もこれに劣らず大きい問題と考えられ、やはり数回にわたり講ぜられている。^{(6)~(9)}高潮と津波は災害をもたらすものとして沿岸開発の大敵である。これらはよく知られた現象といえよう。また本講においても詳細に述べる。

平常時において以上にのべたもの以外に起る長周期波は、波高の変動性に起因するもの、微気圧変化に起因するもの、edge waveとして伝播するものなどがある。⁽¹⁰⁾

砕波帯付近の平均水位が高い波群が続いたとき高まり、低い波群が続いて来たときに低くなりして、周期1分～5分の長周期変動を繰返すことがある。これがサーフ・ビートとよばれ、Munkは平均砕波高の10%になることを示した。波の荒い外洋において波浪の非線型干渉によっても数分周期の波動が生ずることが理論的に示されている。静岡県御前崎地方の“やっぴき”は1～4分の周期で、台風のうちねりと平行して発達する。富山湾の寄廻り波は数分ないし数十分の周期であり、また昭和41年台風26号の際の田子ノ浦の潮位記録において、5～20分の長周期振動が卓越した。⁽¹¹⁾これら波高の変動性に起因するものは、その発生機構が十分解明されていないものが多い。

気圧や風の急変を伴う雷雨、前線などが洋上に存在する場合長周期波が生ずることが、わが国の海洋学者によって研究されてきた。中野⁽¹²⁾は低気圧がわが国の太平洋側を通過した際、各検潮所に現われた普通の周期のセイシュと数分周期の波動について検討し、これらの波動は低気圧中心の微気圧変化によって起され、伝播したものと述べている。長崎湾のセイシュはその83%が気圧振動と関係づけられている。気圧変化による長周期波の発生の場合には、前線の速度が長波の伝播速度に一致したとき、増巾することが期待できるのである。

edge波は大陸棚縁辺に沿って斜め反射を繰り返して伝わる波であり、岸で閉、海洋側で開の反射を行

うから、その周期は、縁辺の巾に関係する。その原因は、サーフ・ビートまたは気圧変化に起因するであろうが、浅海に捕えられてからは周期は大陸棚の dimension と角度によることになる。

これらの長周期波が港内に進入したり、あるいは港内自体で発生した場合、港の固有周期による振動すなわち副振動に発達することが多く、各港においてしばしば観測されている。図-1に宇野木がまとめた代表的な副振動の周期の頻度分布と水深分布を示す。

図-1(a)は土佐清水、外の浦、長崎など細長い湾に見られる狭い周期帯にエネルギーが集中しているもので、頻度分布にひとつのピークが現われる。

図-1(b)は宮古、内浦に見られるもので2つの振動系が特に頻繁に現われる。

図-1(c)は、東京湾、伊勢湾、大阪湾、鹿児島湾など南方にひらけた湾で、高調波を含めて広い周波数帯が見られる。

図-1(d)は、鳥羽、舞坂（浜名湖）など出入の多い形状の為に各種の振動が見られるものである。

図-1(e)は、口の広く奥の浅い入江にある八戸、小名浜、岩崎などで、振動系の決定が困難なものである。

図-1(f)は、銚子や岡田に見られるもので、湾入が少なく棚セイシュや島セイシュの可能性のある水域に見られる。

表-1に各港湾のセイシュの最大と次大を示す。見られるように波高が1 mを越すのもまれでない。しかし、2 mを越すものは大抵地震に伴っており、津波の為に発生したと考えてもよいようである。そのような場合を除き、平常時に発生した長周期波の影響は、港内の振動の模様によって大きい影響を受けることが報告されている。表-2は長崎港のセイシュによる船舶の被害を示すが、わずか数カ月のうちに相当数の事故が報ぜられている。

沿岸海洋の開発は具体的には工業・農業・漁業など生産地域の設定、港湾、沿岸交通及通信施設の建設、商業、住宅等の居住区域の設定、教育、公園、上下水道、電気、海水浴場等の文化施設の付置などの諸事業をさすことになろう。この面に関する講義も一部本シリーズで行なわれた⁽¹³⁾。また、積極的な開発の為の研究もなされている。⁽¹⁴⁾

しかし“長周期波の影響”は何と云っても、高潮、津波や副振動（セイシュ）などの及ぼす災害の予知とその対策がその内容となると考えられ、以下にはそのような点について講ずることとしたい。ただ

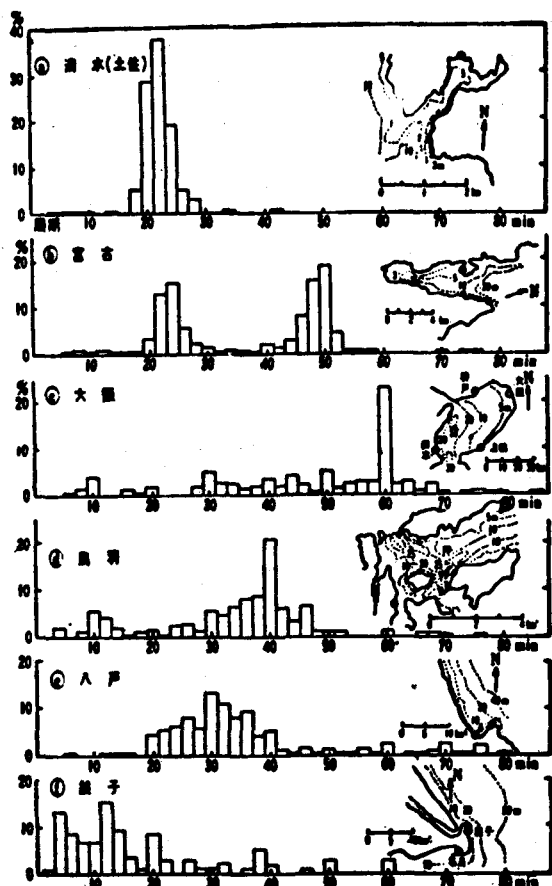


図-1(a) 土佐清水 (b) 宮古
(c) 大阪 (d) 鳥羽
(e) 八戸 (f) 銚子

表-1 各港湾のセイシュの最大と次大一字野木による。

地名	年	月	日	周期 (min)	波高 (cm)	気象現象	地名	年	月	日	周期 (min)	波高 (cm)	気象現象
稚内	1956	1	7	39	99	M(Lj, C.F.)	串本	1952	11	5	12	143	T(Agnes)
網走	1956	12	22	53	91	M(Ln)	下津	1953	8	27	18	57	S.F.
釧路	1952	11	5	46	95	(カムチャッカ地震)	和歌山	1953	8	29	25	56	S.F.
函館	1956	6	13	55	87	Lj(F.)	淡輪	1953	2	12	7	29	S.F.
八戸	1948	10	5	80	38	Ln(C.F.)	大坂	1953	6	6	110	48	T(Judy)
宮古	1917	4	1	47	145	移動性High	神戸	1955	9	27	—	53	T(Na22)
鮎川	1952	11	5	7	192	(カムチャッカ地震)	呉	1954	7	26	15	17	Lj(C.F.)
小名浜	1952	11	5	12	155	(カムチャッカ地震)	高松	1953	1	2	14	23	Lp, Lj
銚子	1952	3	4	17	75	(十勝沖地震)	小松島	1952	11	5	35	63	(カムチャッカ地震)
名洗	1955	12	26	40	38	Lj	松山	1956	5	13	14	93	弱いC.F.
布良	1944	12	7	22	283	(熊野灘地震)	宇和島	1950	7	18	29	130	T(Grace)
東京	1952	11	5	70	45	(カムチャッカ地震)	清水	1952	11	5	24	121	(カムチャッカ地震)
品川	1937	10	16	76	12	L	高知	1953	9	25	18	29	T(Na13)
岡田	1953	11	26	4	34	(房総沖地震)	油津	1952	11	5	30	120	(カムチャッカ地震)
伊東	1946	12	21	13	70	(南海道地震)	鹿児島	1951	6	22	19	34	F
内浦	1946	12	21	16	204	(南海道地震)	名瀬	1959	2	3	15	235	C.F.
御前崎	1952	2	18	15	77	C.F.	富江	1942	4	14	28	130	High
舞坂	1953	9	25	7	52	T(Na13)	女神	1955	3	22	36	125	2本のF
名古屋	1956	9	25	140	77	T(Na15)	外の浦	1956	4	19	34	108	L
鳥羽	1953	9	25	9	37	T(Na13)	境	1956	3	16	50	50	Lj
尾鷲	1953	9	25	4	56	T(Na13)	岩崎	1951	1	9	23	61	M
浦神	1953	9	25	13	88	T(Na13)							

(註) M : 冬の季節風 S.F. : 定常前線 Lp : 日本の太平洋側を通った低気圧
T : 台風 C.F. : 寒冷前線 Lj : 日本海を通った低気圧
F : 前線 L : 低気圧 Ln : 日本の北方を通った低気圧

表-2 長崎港のセイシュによる船舶の被害一字野木による。

年	月	日	周期 (min)	波高 (cm)	船の種類	積荷	被害金額 (1,000円)	被害内容
1949	12	18	15	142	{ H K	石炭 木材	1,000 450	4隻沈没 船橋舷側破損
"	12	20	13	120	{ H K	鋼材 漁獲物	600 150	2隻破損 舷側破損
"	12	26	20	178	{ H K	雑貨 船	300 500	1隻坐礁沈没 1隻船底大破
1950	1	2	20	99	H	雑貨	200	16隻ロープ切断
"	1	30	12	120	{ H K	"	200 300	労働者負傷、荷役中止 荷役中止
"	3	7	15	110	{ H K	石炭	700 200	2隻船底大破 船底小破
"	6	18	13	100	K	"	200	舷側小破
"	6	25	12	121	K	雑貨	200	荷役中止
計							5,000	

H : はしけ船, K : 機帆船

し、高潮、津波については前述したように既に多く論じられており、その他、よい啓蒙の書が出版されてもおりますので、今回は主として東北大学で行なって来た研究を中心にして説明を加える。従って、表題の割りには一部に偏した点が多いと思うけれどもその点は読者の御了承を得たい。

2. 冠水による被害

台風によって起る高潮は、風による吹き寄せ、気圧低下、暴風による波浪、湾内の強制振動などが重なって生ずる海面上昇であり、3時間以上継続する平均海面の上昇の為に、大きい高潮の場合には広い範囲にわたって冠水し、甚大な被害をもたらす。わが国では、湾が南方に開口する東京湾、伊勢湾、大阪湾、有明海、鹿児島湾などでことに著じるしく、台風がこれらの湾の左側を北上する際に大災害をもたらすことは周知のことである。

大阪港においては図-2に示すように過去何回となく高潮の被害を蒙っており、その記録は、表-3に示されている。図-3は第二室戸台風(1962)における大阪港の潮位曲線で、最高水位実にO.P. 4.12mに達した。しかも大阪市では地下水汲上げによる地盤沈下が、図-4に示すように進行し、被害を激化せしめている。

浸水の影響は西淀川地区等に数日にわたり水のひかなかった地区にある中小メーカー、工具、歯車、

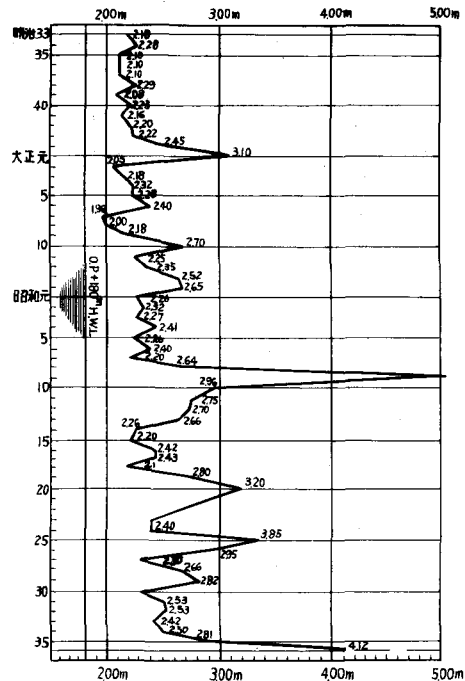


図-2 大阪港における各年最高潮位

表-3 大阪市における明治以後の高潮被害記録

年 月 日	台 風 の 勢 力		被 害 の 概 要				
	最大風速 (m/S)	高潮潮位 (O.P.+m)	人	建 物 (戸)	船 船 (隻)	土木施設 (箇所)	
明治44. 6. 18	SW 30.1	2.45	多 数	多 数	—	—	—
大正 1. 9. 22	WSW 25.9	3.10	3	73,203	41	—	—
" 10. 9. 25	W 25.0	2.70	27	7,129	186	—	—
昭和 4. 8. 15	SW 14.5	2.44	0	2,000	—	—	—
" 6. 10. 13	NE 12.7	2.40	—	—	—	—	—
" 8. 9. 4	WSE 18.6	2.58	0	27,000	—	—	—
" 8. 10. 20	S 13.0	2.64	—	—	—	—	—
" 9. 9. 21 (室戸)	S 欠測	5.10	17,898	142,845	2,739	提防橋	45 258
" 12. 9. 11	SW 14.5	2.70	2	5,175	—	提防	1
" 13. 9. 5	SE 13.2	2.66	0	15,729	—	—	—
" 19. 9. 17	SW 18.6	2.80	0	24,448	—	—	—
" 20. 9. 18	S 19.0	3.20	4	39,034	—	—	—
" 25. 9. 3 (ジェーン)	S 28.1	3.85	18,794	123,209	899	提防	118
" 26. 10. 15	WSW 15.7	2.95	0	2,495	0	護岸	19
" 36. 9. 16 (第二室戸)	SSE 33.3	4.12	2,424	145,959	122	道路 橋梁 河川 海岸 砂防 港灣	73 19 51 56 9 151

熱処理等機械工業関係に大きく、また臨海部にあったセメント工場の被害も大きかった。大阪市城東区、泉州地区で、紡績、綿スフ織物、タオル、毛織物業者も浸水により甚大な被害を受けている。また商品の浸水による商店の被害も大きかった。

しかるにこの高潮では人的被害は比較的軽微であった。

ところが昭和34年の伊勢湾台風では名古屋港中央突堤で、T. P. 3.89 m (名古屋港工事基準面上 5.31 m) に達したが、人命損失は実に 5,000 名を越えた。この例では海岸堤防を大きく越流し、さらに破堤した為である。

図-5 は伊勢湾台風時の洪水被害状況平面図である。このとき被害の約 2/3 が南部臨海工業地帯の南区、港区、中川区、熱田区に生じた。化学工業、繊維工業、機械金属工業などの工場数約 5,000、商店数約 9,000 が約 2 週間にわたって湛水状態となり、この地帯で約 650 億円に達する災害を受けているのである。

このようにして臨海工業地域における冠水の被害は、甚大なものとなる。

津波による被災地は、北海道、三陸に多く、開発地域は、八戸、釜石程度で工場被害は上に述べた 2 例ほど甚大とはいえない。しかし、新潟地震 (1964) に伴う津波による冠水被害にはつぎのような災害があった。

すなわち工場地域の多くは信濃川や堀込港湾または小河川に接した低地にあった。津波によって堤防が越波されて破堤し、これによって広域にわたり長期に冠水し、あわせて土砂や海水の流入があり、かつ破損したオイルタンクからの石油の流出があった。石油は干満に応じて浸水地域内を往復し、低地にあってはひどいところでは、厚さ 30 cm に達し、工場、運輸の復旧を遅らせた。火災は直接には地震によるタンクの亀裂に伴って生じたが、流出した石油やガソリンは津波の為に、工場地帯にひろがり、しかもいつまでも減水していないのである。

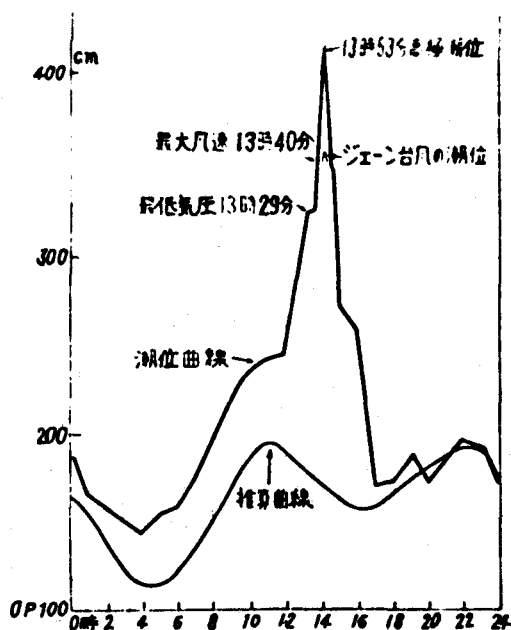


図-3 大阪港における潮位曲線

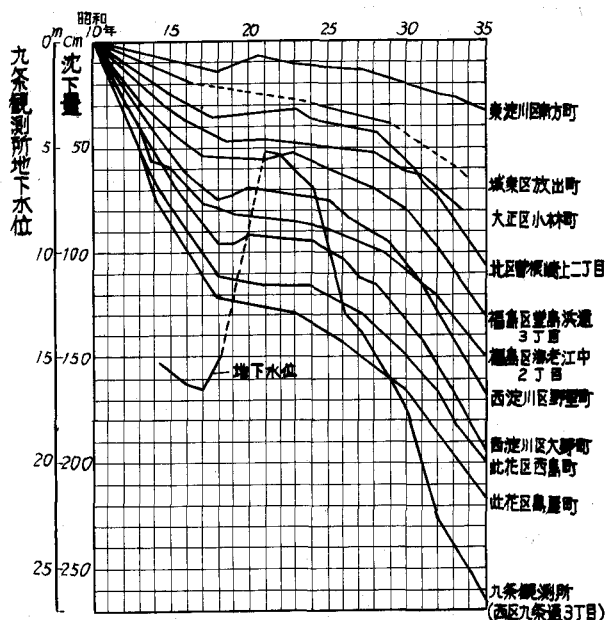
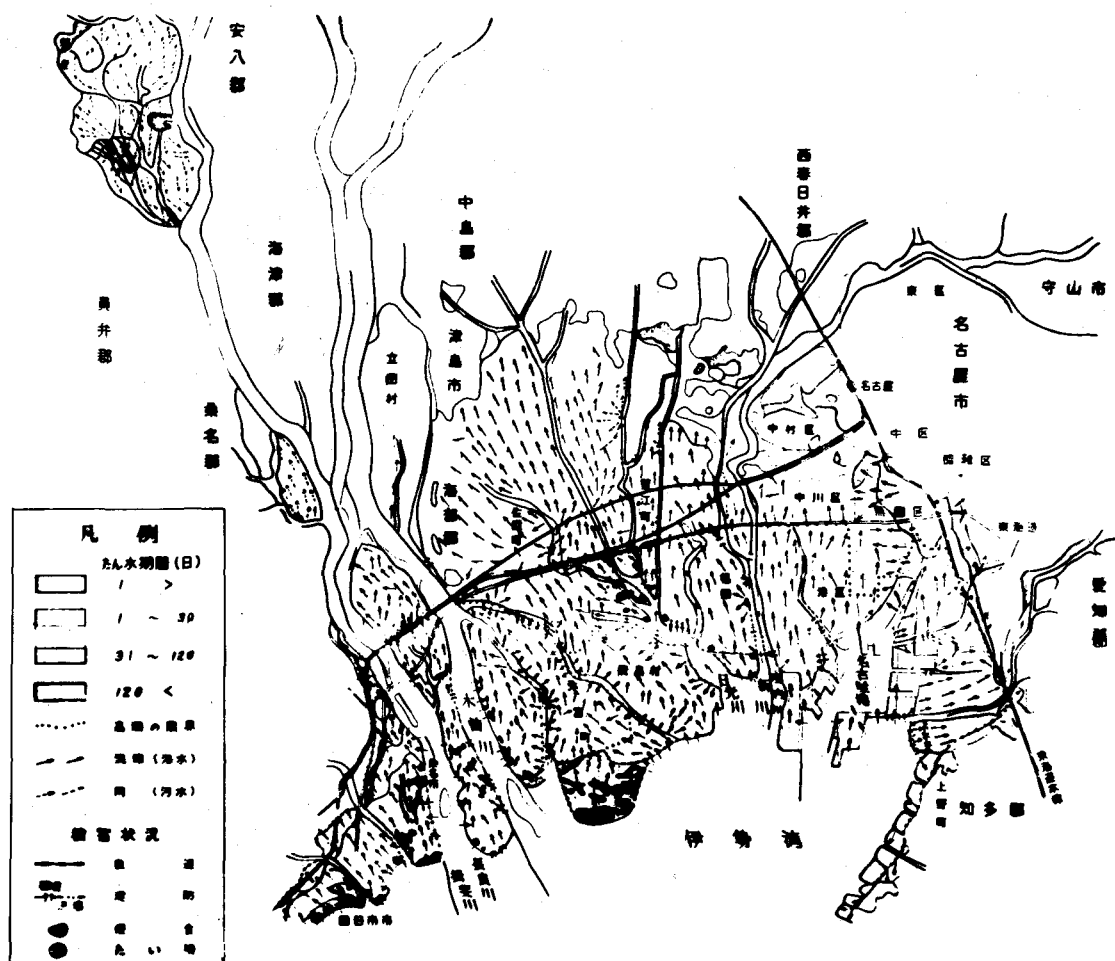


図-4 大阪市における地盤沈下曲線



図一五 伊勢湾台風洪水被害状況平面図⁽¹⁸⁾

3. 家屋の破壊と流失

高潮の場合は台風で、津波の場合は地震で、家屋は破壊することもあるが、それよりもこれら長周期波の為に船舶や木材が陸上に乗りあげて来て、家屋が破壊される場合の方が著じるしく多い。伊勢湾台風の際には名古屋市南部の貯木場が12ヶ所、面積1.16km²、被災時3,665トンの貯木があったうち約2,160トンが流出分散しこの流木による全壊流失は1,874世帯、死亡者1,511名に及んだ。写真一1, 2はチリ地震津波の際、大船渡及び志津川でとられたものである。

これらの教訓から貯木場の管理は充分徹底されるように叫ばれているものの、実際の港湾管理の現実是不十分であって、将来とも禍根を残しているように考えられる。

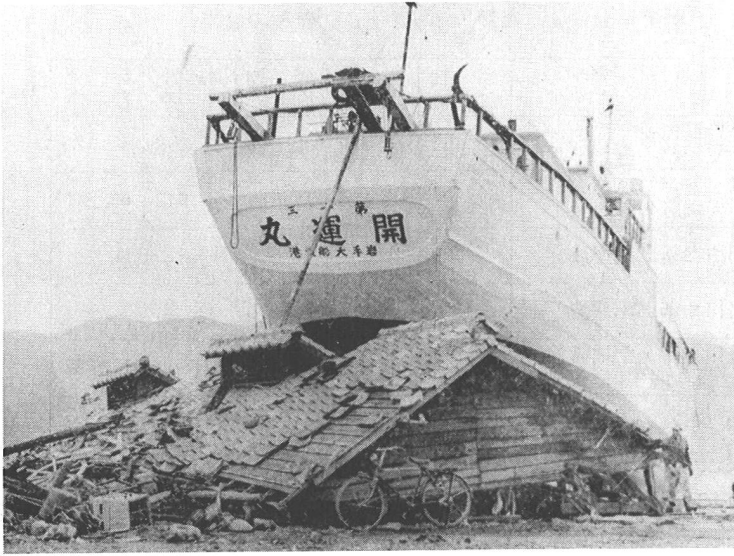


写真-1 チリ地震津波 大船渡船舶の乗上げ



写真-2 チリ地震津波 志津川筏の流出

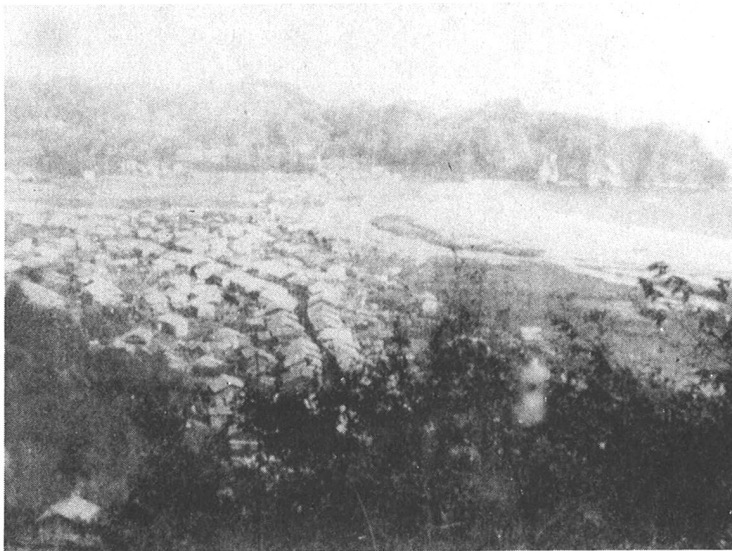
家屋の流失と浸水の比率によって高潮と津波を比較すると、表-4に示すように、著じるしい差があることに気付く。高潮の場合には周期、あるいは水位上昇の時間的勾配 $\partial \zeta / \partial t$ が、津波の場合に比して小さく、ゼロメートル地帯で堤防高が地盤より著じるしく高いのに破堤したというような場合は別として、岸壁などから溢れ上ってくる場合にはフロントの速度はそう早いものではない。しかし津波の場合には、後ろからフロントに追いつかれて、おし流され、気付いた時は山の頂上の松の木に引っかかっていたというような話を屢々耳にするように、陸上を走る津波の速さは相当なものである。人間の走る速さから換算しても、 $2 \sim 5 \text{ m/sec}$ 程度であれば、遅い者なら逃げ遅れるであろう。

表－４ 高潮・津波のときの建物の損害

	建 物 全 壊	建 物 半 壊	建 物 流 失	床 上 浸 水	床 下 浸 水
伊勢湾台風 愛知県のみ	22,359	70,739	2,342	67,202	58,426
第２室戸台風 大阪府のみ	2,591	8,195	79	57,942	63,815
明治29年三陸津波	776	1,068	8,526	3,694	
昭和８年三陸津波	1,810		4,015	4,329	
昭和35年チリ地震津波 青森, 岩手, 福島のみ	1,497	2,872	983	14,002	11,537

かつて今村明恒博士は、リスボンで開かれる津波研究会に出陳の目的で、浪災の惨状を示す写真を用意しつつあったが、田老、唐丹、本郷のように全村流亡したのは跡に一物も留めず一幅の風景画にすぎなかったが、釜石の場合は津波の高さわずかに4.5 m、死者も3万の人口中38人に過ぎなかったのに、波に流され損った家が、或は倒れ、或は近所の家に衝突し、それに大小の船舶まで上陸雑居していて、誰が見ても凄いと述べていられた。²⁰⁾写真－3、4は田老町で、昭和8年2月5日と3月2日、すなわち津波の前後の光景である。写真－5は大船渡町で、チリ地震津波直後に筆者がとったものである。

那須信治博士は昭和8年津波の際に1/1000～1/2000の地形図を平板測量と水準測量で正確に作製され、家屋の被害を調査されている。その結果によると、水が1.0～1.5 mの高さで浸水すると、家は大抵半壊程度に破壊され、水が1.3 m位になると土台に密着していない家は浮き出す。また水が2 m



写真－3 昭和8年2月5日 田老町



写真－4 昭和8年3月2日 田老町



写真－5 チリ地震津波 大船渡町内の惨状

を越すと1階は全く破壊され、2階が落ちる。1階家及び構造の弱い家は破壊を免れない。しかし、石本巳四雄・萩原尊礼の2氏によると、家屋の背後に空間があって水流が生ずる場合には破壊流失し、その隣接地で背後に空間がなく山際に家屋があった場合は残っているとして家屋の流失は流速によるものであるとのべていられる。両氏の略算によると流失の限界は水深2mの場合、流速1m/secであると

いう。²²⁾

4. 岸壁・護岸の被災

岸壁・護岸は港湾において最も多く用いられる構造物で、いわば水陸境界の第一線に位置するものであるだけに、高潮・津波の災害として常に多く報ぜられるものである。その被災のあり方は

- (1) 裏込め土砂の抜け出し、あるいは吸出し
- (2) 石垣の場合にはその膨み出し
- (3) 基礎の深堀れ、洗掘
- (4) 転倒

などである。

(1)裏込め土砂の抜け出し、あるいは吸出しは、前面水位が低くなり、あるいは海底迄露出した場合に、岸壁・護岸の裏込め土砂中の膨和水圧が作用して生ずる現象と考えられる。従って、津波の場合に発生するが、高潮の場合には発生しない。写真-6はチリ地震津波の際の大船渡港一万トン岸壁の裏込めの流失状況で、天端高はT.P. 1.65 m、高極水位T.P. 3.85 m、よって冠

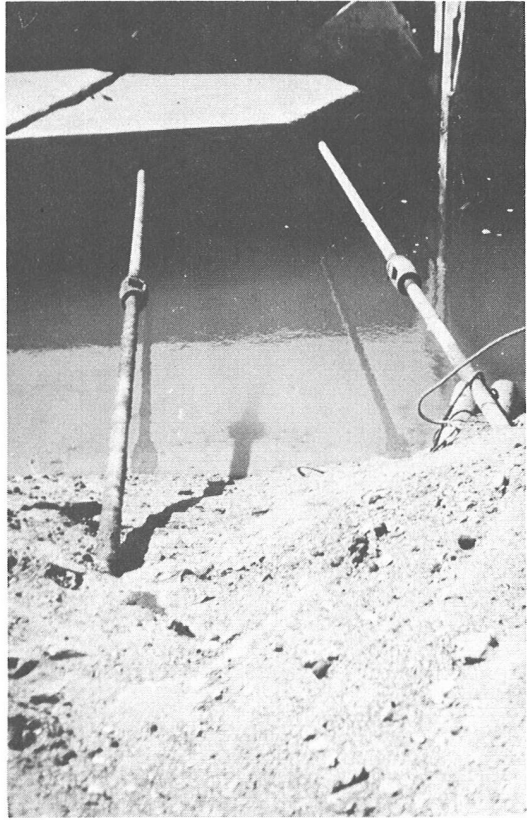


写真-6 チリ地表津波 大船渡一万トン岸壁裏込流失

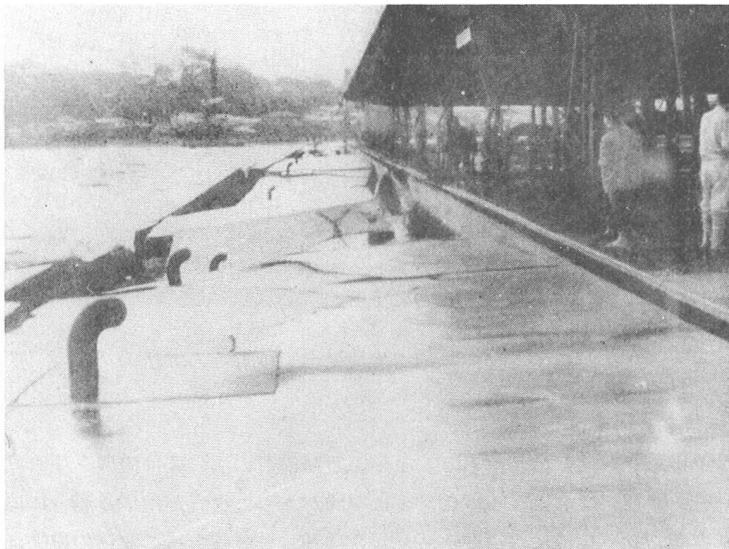


写真-7 物揚場エプロン低下

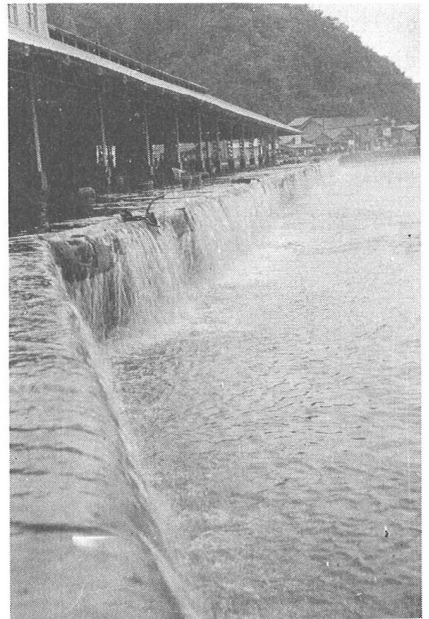


写真－８ 石垣の膨み出し（女川港）

水高は 2.20 m であったのに対し、引波時には T. P. -2.35 m 程度となった。また物揚場背後のエプロンの波下が多く見られた。

(2) 石垣の場合の膨み出しも、引潮のときの残留水圧によって生ずるものである。写真－８は、女川港で見られたチリ津波の際の事例である。矢板岸壁でも、コンクリート護岸でも、同様にして膨み出すことがある。新潟地震の際には地盤振動や砂の流動化現象が目立った為、上述の津波の影響はあまり注目されていないが、矢板構造の箇所の被害が、ことに水深の浅いところで著じるしかつたのは、津波の為でなかったかを疑わせる。

(3) 基礎の深堀れ、洗堀、津波の際には、引き潮のときにその前に来た押し波で陸上にたまった水が、滝のようになって岸壁から落下する。写真－９は同じくチリ津波のときの釜石港での状況である。この写真は越流水深がごく僅かであるが、もし陸上の浸水高が 3 m なり 5 m なりあったとし、引き波が急速に生じたとしたならば、図－６のように岸壁前面の基礎は深堀れし、倒壊に至ることは容易に想像される。



写真－９ 釜石港岸壁の落水水

これとは若干性質を異にするが、八戸市小中野岸壁では、岸壁の法線に平行に津波が、図－７に示すように往復し、この為、写真－10に示すような倒壊をした。

また写真－11は松島湾の入口、塩釜港航路にあたるところの護岸で平常時は石垣天端より 0.50 m 程度

の水がある。しかるに、この前面を、水深 9 m にわたって、津波が流入して、松島湾内に向って、写真-12に示すような衝撃波を生ぜしめている。かくして、護岸の基礎捨石は容易に移動し、護岸がずり落ちたものである。

(4)転倒、引潮のときの間隙水圧を支えるものがない構造のときは護岸は海側に転倒すると考えられる。図-8は志津川湾波伝谷、水戸辺間道路護岸の設計図であるが、推定痕跡よりして、引潮時は前面が露出したに違いない。写真-13に見るようにこの護岸は完全に転倒している。これと同様な事例は女川湾小乗浜道路護岸にも生じている。しかし平常時でもこの写真に見るように引き潮のとき前面海底は露出するので、問題は引潮の前に生じた押し波の為に陸上に遡上した水にあることがわかる。家屋の場合と同様に、背後に山が迫っているところでは、貯溜される水量が少なく、その場合には安全であった。

従って、転倒に至る為には間隙水圧のほかに、引き潮のときに生ずる水面勾配による掃流力、岸壁や護岸が完全に水没する為の浮力、前面にできるウェークと、そこに誘起される循環などが複雑に作用したものでないかと思われる。(図-9)

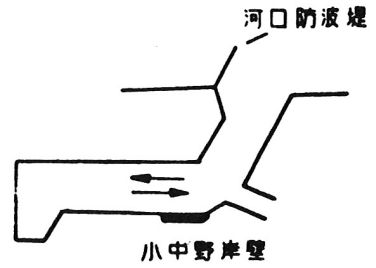


図-6 小中野岸壁

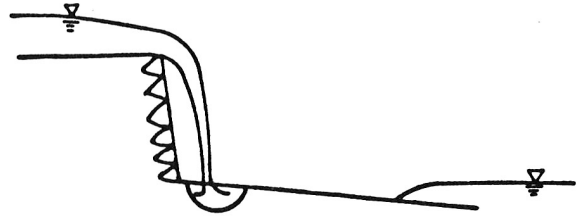


図-7 基礎の洗堀

5. 防潮堤の被害

最近が高潮にしても津波にしても、これを海岸線において防禦しようという考えで、防潮堤が至るところに建設されており、またその高さを嵩上げて、かつ堅牢なものにしようとしている。図-10は大



写真-10 八戸小中野岸壁の倒壊



写真-11 松島湾入口小乗浜石垣のズレ下り

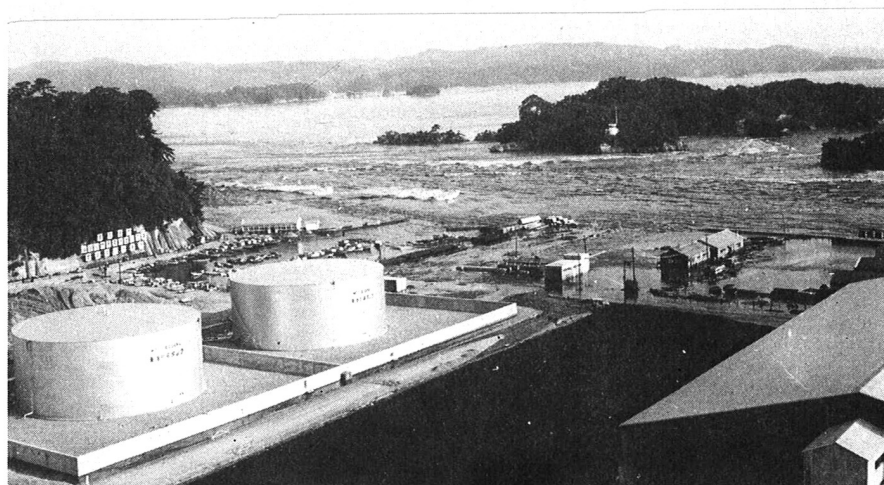


写真-12 松島湾入口の衝撃波

阪市内地盤沈下対策総合計画図であるが、防潮堤、橋梁の嵩上げ、排水施設の機能の復元をはかっている。同様な計画は東京湾、伊勢湾、三陸海岸などにおいてなされ、現時点では、往時にくらべ比較にならぬ程、強い海岸になっている。

長周期波の水害が高い水位の為の冠水、遡上に伴う流速、引波の掃流力などの為、静的動的に引き起されることを見て来たので、まず防潮堤を設けて水際線でこれを防止しようとするのは当然である。

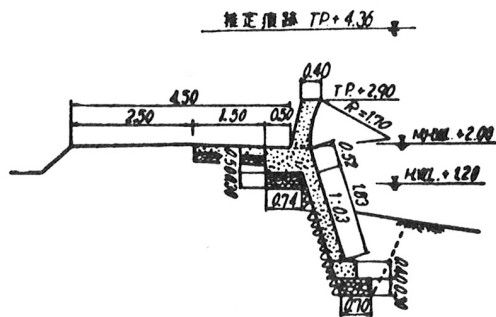


図-8 波伝谷道路護岸



写真-13 志津川惨波伝谷・水戸辺間護岸欠損

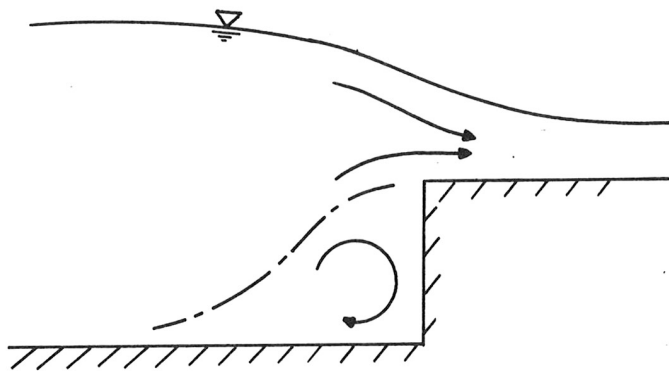


図-9 掃流と循環

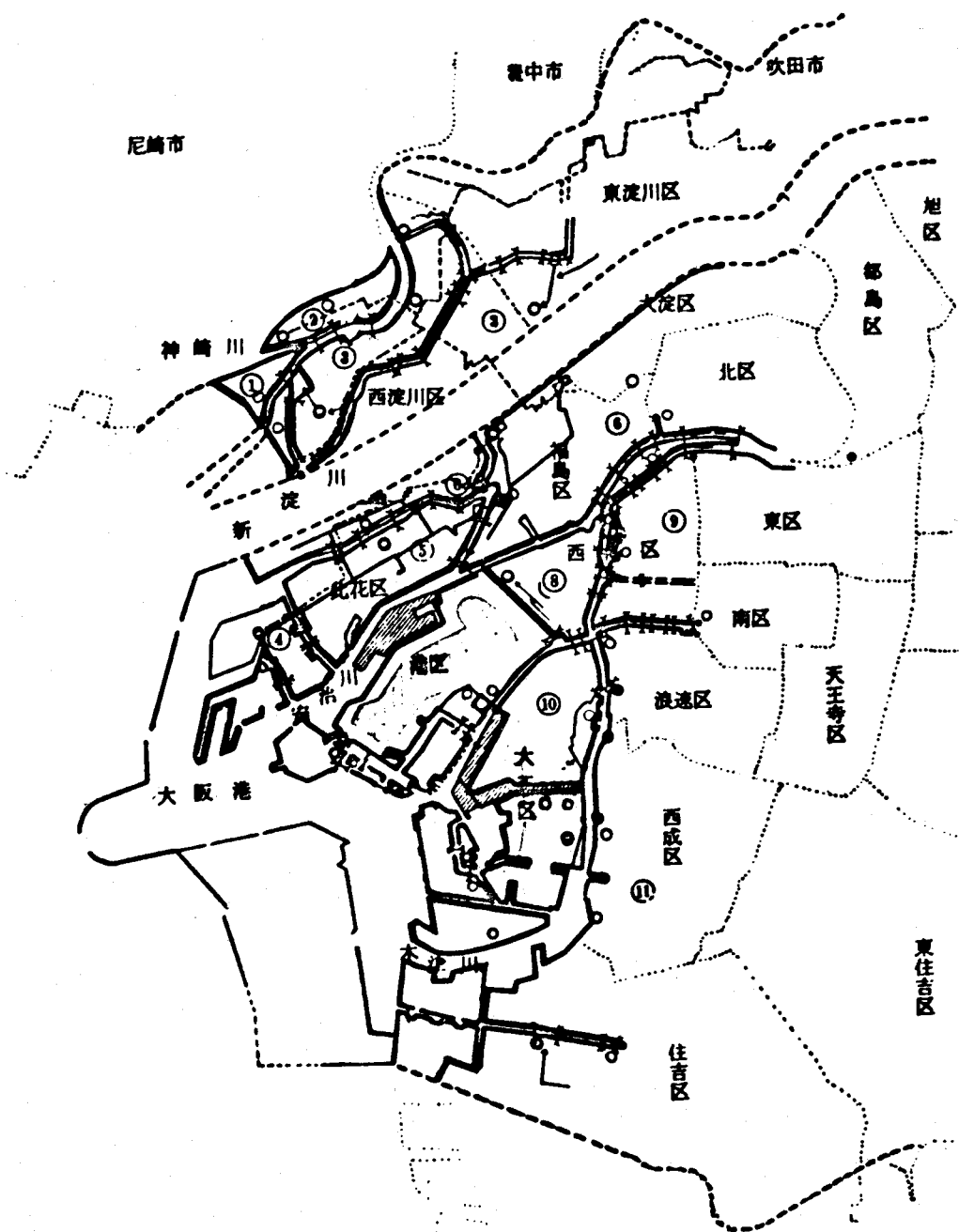


図-10 大阪市地盤沈下対策総合計画図

事実、1964年十勝沖地震津波の際には、防潮堤が効果を発揮した。図-11は東北大学工学部において調査したものであり、横軸に防潮堤の天端高、縦軸に最大浸水高を示してあるが、殆んどところで防潮堤を越さなかったから、十分に効果を発揮した。しかし、もし、満潮時であつたらどうだったかを調べたところ、○印で示すように、5カ所程越したことになる。⁽²³⁾

しかし防潮堤の高さの程度あるいはそれ以上に高潮、津波が来た場合にはどうか、この適例は伊勢湾台風のときに起った。

図-12は伊勢湾北部の破壊状況を示すものである。このように非常に広範囲に多数の堤防が破壊されたのであるが、名古屋港の検潮記録は図-13に示すように、21時35分頃T.P.上3.89mであり、これに対し護岸の天端高は、名古屋港周辺でT.P.上2.8～3.4m、日光

川と鍋田川沿岸で、3.0～4.0mであつたから浸水が著じるしかつた。⁽²⁴⁾しかし些細に見ると、高潮の場合にはこれに伴う高波の越波が大きい水量を打込んで破堤に至らしめるもののようである。図-14は浸水の始まった時刻、図-15は最高水位の時刻、図-16は最高水位の分布である。名古屋気象台の調査によると、浸水開始時の潮位はT.P.上1.9m～2.2mで、潮位は堤防高に達していなかった。

海岸堤防の破壊されたものの殆んどは、推定最高潮位よりも天端高は高かつた。表-5に細井らが調査した結果を示す。⁽²⁵⁾

表-5 伊勢湾台風における被災堤防の天端高と潮位及び波高

海岸名	天ば高	表のり こう配	被 覆 の 状 況	最高潮位	推 定 波 高
康衛新田	T. P. 4.9m	1:3	表のり石張り、天ばなし 裏のりコンクリート	T. P. 3.0m	2.0 ^m
南 陽	5.5～5.75	1:2.5～ 3.0	表のり石張り 天ば、裏のり張芝	3.9	1.8
海 部	5.5～6.0	1:3	表のり石張りおよびコンクリート 天ば、裏のり張芝	3.9	1.8
長 島	6.0～6.5	1:3	表のり石張り、天ば張芝一部コンクリートブロック 裏のり、張芝、一部石張り	3.5	2.0
城 南	5.5	1:4	表のり石張り 天ば、裏のりなし	3.5	2.0
富 田 浜	5.5	1:2	表のり階段式コンクリート 天ば裏のりなし	3.3	2.6
石 原	4.5～5.0	1:1	表のり石張り天ばコンクリート 裏のり石張り	3.0	3.4
磯 津	5.5	1:1.5	表のり、天ば、裏のりコンクリート	3.0	3.4

高さは東京湾中等潮位(T.P.)を基準とする。

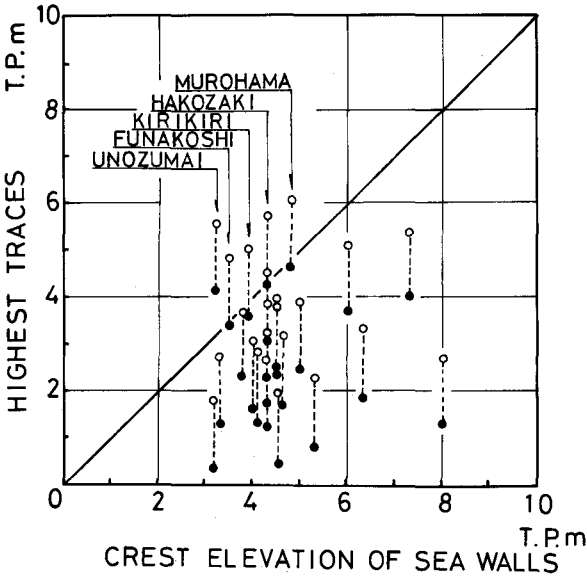


図-11 1964年十勝沖地震津波における防潮堤の効果

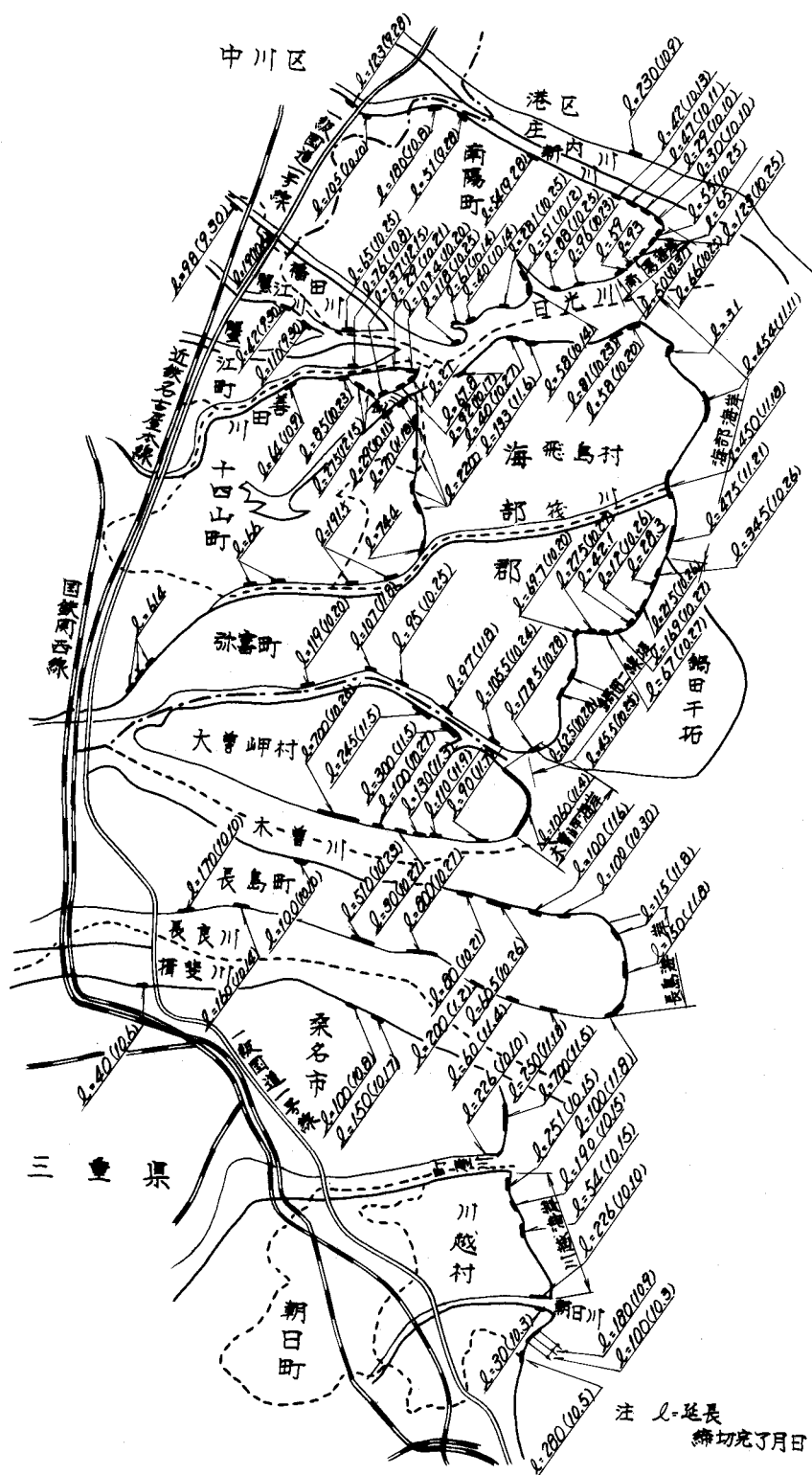


図-12 伊勢湾北部破堤状況

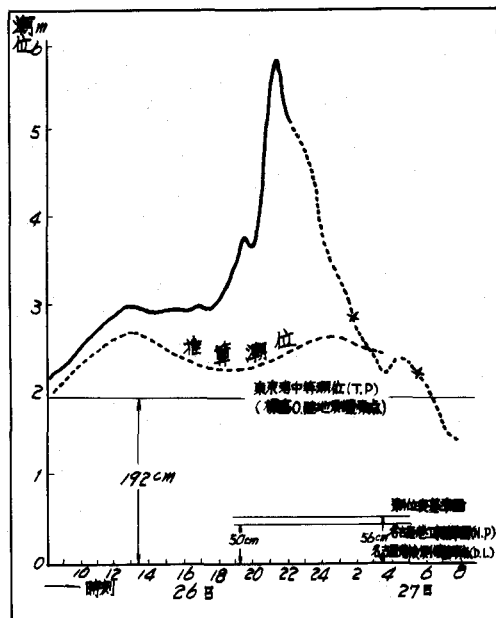


図-13 名古屋港検潮記録

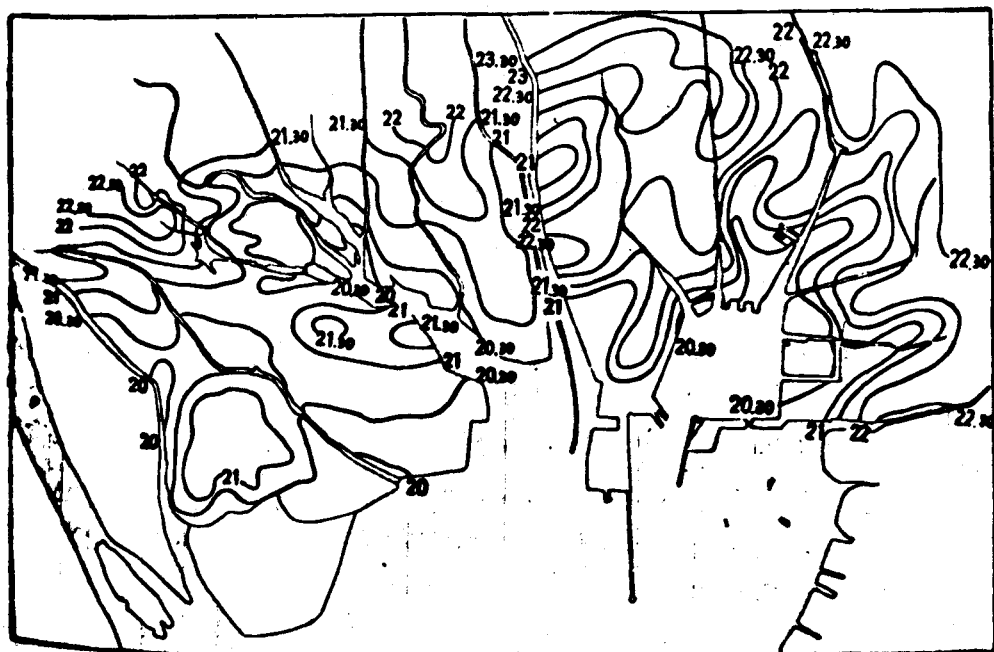


図-14 浸水の始まった時刻



図 - 15 最高水位の時刻

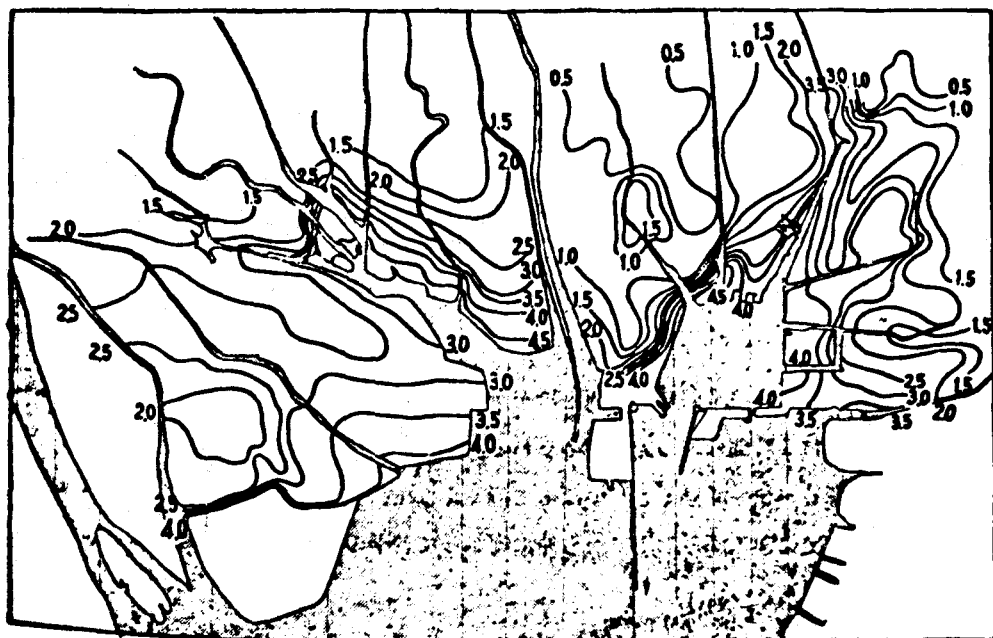
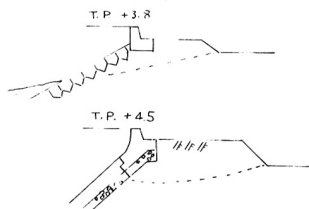
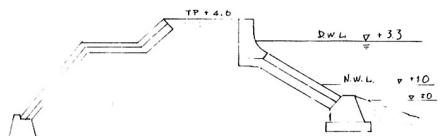


図 - 16 最高水位の分布



図一七 常滑市西浦北小学校前の防潮堤



図一八 康衛新田干拓堤防

海岸堤防の被災の原因はつぎのようにまとめられている。⁽²⁶⁾

(1)波当りの影響 前面がみお筋に当り波当りの特に激しかったところは、最高潮位に対し 2 m 以上の余裕高があったにもかかわらず、波高 1.5 m 前後の波が重なって全潰した。名古屋港貯木場護岸の東側、送電塔の蔭では裏込土流失のみで倒壊を免れた。



図一九 天宝新田の欠潰箇所

(2)高潮及び越波による裏込の洗掘 現在は殆んど海岸堤防は三面張に改められたが当時は、表法面のみコンクリート被覆されていた。天端と裏法が盛土のままのものは、その大半が越波、越水によって被災した。(図一七、図一八)

(3)中詰土砂の沈下または流出 中詰土砂が急速施工などの関係で沈下したり、隣設堤防の欠潰の為に、横方向に吸出されたりすると、いかに三面張といえども、中が空洞化してしまう。この為には築堤



写真一四 大槌湾海岸堤防

時の入念な締固めが必要であるとともに隣設堤防との中間に仕切壁を所々設けておくことが望ましい。

(4)パラペットと堤本体の継手 パラペットと堤本体の継手は施工不良であり、パラペットが倒壊して裏込の流失を早めることがある。

(5)河川堤との取付、海岸堤防は波の影響を考慮して天端高が十分にあったのに、河川堤は考慮せず天端が低く、構造が簡易な為に破壊され、その累が海岸堤防に及んだところが多い。河川内へは高潮の勢力は相当強いままで遡上する為に、この点十分考慮の必要がある。(図-19)

(6)水門、樋門の危険性 水門、樋門と堤防との取り付け部分から災害が始まった例も多い。

津波の場合にはこうした高波を伴うことはないが、越流に伴う欠潰の仕方はほとんど同様である。²⁷⁾

写真-14は大槌町にあったもので、T.P.3.20mに対し、痕跡高T.P.3.70mで、冠水高が低かったので冠水時間は短かく裏法の崩壊が始まった頃には越流の水位は低くなり、水は天端のコンクリートからすぐ直下で落下して写真に示すような洗堀が起った。

山田湾大沢の前面石張りの土堤が、河をそ上して背後より襲った水の為に破堤させられたものもある。

伊勢湾台風の例ではその前の昭和28年13号台風の隣の潮位偏差最大1.60mによって設計された海岸堤防に対し、3.41mに達する偏差をもって来襲し、この為に、広範囲にわたる堤防欠潰と、その後にひきつづく2ヶ月に及ぶ滞水とがあって、大災害となっている。

6. 岸壁を乗越える長周期波

いままでに見て来たように陸上に種々の災害をもたらす長周期波が岸壁を乗越える時の挙動が水理学的に明らかにされるまず第1に重要な問題である。

そこで垂直岸壁を乗越える長周期波の変形の問題を、 $U-C$ 特性線を用いて解析する方法を述べる。²⁸⁾有限振幅の長波においてはつぎの関係が成立する。

$$C_+ \text{ 特性線に対し } P/C_* = 2(C-1) + U \dots\dots\dots (6.1)$$

$$C_- \text{ 特性線に対し } Q/C_* = 2(C-1) - U \dots\dots\dots (6.2)$$

ここに問題は1次元とし海底勾配は無視する。また、 $C_* = \sqrt{gh}$ 、 $C = (1 + \eta/h)^{1/2}$ 、 $U = u/C_*$ で、 h は岸壁前面の水深、 u は水平方向流速、 g は重力の加速度である。(6.1)は $X-T$ 平面において C_+ 特性線に対応する $U-C$ 平面の特性線が $1/2$ なる負の勾配を有し、横軸と点 $(P/C_*, 0)$ で交わることを示し、同様に(6.2)は $X-T$ 平面における C_- 特性線が、 $U-C$ 平面においては $1/2$ なる正の勾配を有し、横軸と点 $(-Q/C_*, 0)$ で交わることを示している。これらの関係は図-20に示される。

進行波のみを考えると $Q=0$ だから(6.1)(6.2)より

$$U_i = 2(C_i - 1) \dots\dots\dots (6.3)$$

$$P/C_* = 4(C_i - 1) \dots\dots\dots (6.4)$$

これは図-20で点Aで示される。上式で添字 i を付したのは進行波だからである。進入波の波素の静水面からの偏差 η が与えられると(6.3)(6.4)より P/C_* 、 U_i が分るから $A_1, A_2, A_3, \dots, A_p$ が定まる。ここに p はピークに対応するものとする。

この波素が岸壁で停止すれば $U=0$ となるので、

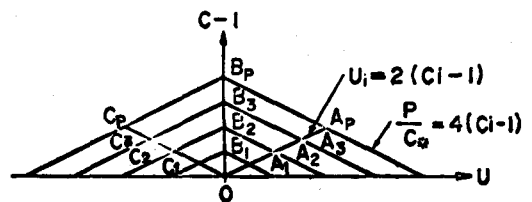


図-20 $U-C$ 特性線(a)

点AはBへ移行する。勿論そのためには、反射波Cと合成したと考えてもよく、或いはABが正の特性線に対応していて、岸壁ではある何等かの原因で $U=0$ となるから、Bに達したと考えてもよい。従って波素 $A_1, A_2, \dots, A_p$ は岸壁で完全に阻止されると、 $B_1, B_2, \dots, B_p$ に移行する。

これはまた反射波、C-特性線上の点と考えられるので、反射波は $B_1 C_1, B_2 C_2, \dots, B_p C_p$ の線上に存在する。もし、 $P=0$ と考えられる場合には点 $C_1, C_2, \dots, C_p$ となる。したがって反射波に添字 r を付すと、

$$U_r = -2(C_r - 1) \dots\dots\dots (6.5)$$

B点が、静水面上の岸壁高 H_w に対応するCの値、すなわち $C_w = (1 + \frac{H_w}{h})^{1/2}$ にて与えられる点に一致する場合には、進入波Aが重複波高において岸壁高と等しくなったことを示す。したがって、これより高くなると、陸上へ越流する。すなわち図-21に示すように

$$C_i - 1 > \frac{1}{2}(C_w - 1) \dots\dots\dots (6.6)$$

のとき、重複波は岸壁を乗り越えて陸上を走る。その場合反射波は C_w を生ぜしめる進入波と同じ波高で、流速は進入波 C_i と同じで方向反対の大きさをもつと仮定すると $U-C$ 特性面上で C_r であらわされる。そうすると、 C_i を通る C_+ 特性線と、 C_r を通る C_- 特性線の交点で示される C_c は不完全重複で陸上に乗上がって来た波素の部分を示すことになる。図-21を参照して

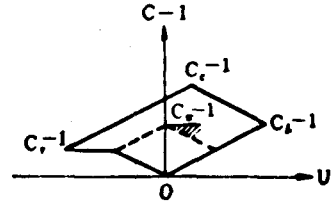


図-21 $U-C$ 特性線(b)

$$\left. \begin{aligned} C_c - 1 &= \frac{3}{2}(C_i - 1) + \frac{1}{4}(C_w - 1) \\ U_c &= (C_i - 1) - \frac{1}{2}(C_w - 1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.7)$$

$C_w - 1 < 2(C_i - 1)$ であるから $U_c > 0$ である。

この理論によると静水面が岸壁の高さに一致しているときには $(U, C-1)$ 面の原点は C_w と一致する。このとき上の考えから $C_r - 1 = 0, \eta_r = 0$ となる。しかも U は入射波々素の変化に対応するので、反射波の波形は現われず、流速の時間変動のみが生ずることになる。

このようにして求まった (C_c, U_c) は岸壁より陸上へ遡上する波素の岩壁上での境界値を与え、 (C_r, U_r) は岸壁より反射する波素の岸壁上での境界値をあたえろと考えねばならない。

実験によると、越流を生じた際には図-22に示すように急に水深が減少し流れはつぎにのべるような理由で、常流から射流へ変化する。

陸上を走る波の場合には今迄と違って陸上のレベルを基準にとって考えるのがよいので、陸上のレベルより測った高さを η' とし、無次元波速を

$$C' = \sqrt{\frac{\eta'}{h}} \dots\dots\dots (6.8)$$

で定義することにする。

そうすると、平均水面より測った量との間には

$$\eta'_c = \eta_c - H_w \dots\dots\dots (6.9)$$

$$C'_c = \sqrt{\frac{\eta'_c - H_w}{h}} = \sqrt{C_c^2 - C_w^2} \dots\dots\dots (6.10)$$

なる関係が成立つ。

$U_c' = U_c$ であるからつぎの関係が得られる。

$$C_c'^2 - U_c'^2 = \frac{5}{16} J^2 + \frac{3}{2} J C_w \quad \dots\dots\dots (6.11)$$

ここに

$$J = 2C_i - C_w - 1 \quad \dots\dots\dots (6.12)$$

overrunning が起っている際には (6.7) より $J = 2C_i - C_w - 1 > 0$ であるから (6.11) の右辺は正である。従って (6.11) より、 C_c' は U_c' より大、すなわち岸壁直上では常流である。

そうすると、岸壁より直ぐ内側のどこかで限界水深が生じなければならない。この地点は、ダムの越流頂とか段落部とかの曲線部分と同じく、この特性曲線の方法ではきめられないが、いづれにしても岸壁附近からそう遠くはない。従って計算上は、岸壁の水際線と考えてよい。しかるときは、限界水深の場所で $U_A' = C_A'$ とおけるので、 C' との関係は正の特性曲線上の値として、

$$U_A' + 2C_A' = U_c' + 2C_c'$$

を用いれば、

$$U_A' = C_A' = \frac{1}{3} (U_c' + 2C_c') \quad \dots\dots\dots (6.13)$$

としてあたえられる。

これから先の遡上については dry bed 上の overrunning として Abbot (1961), Méhauté (1964) などの方法を用いればよい。

先端波素の特性方程式は

$$d(U' + 2C') = -f \left(\frac{U'}{C'} \right)^2 \frac{dX}{U' + C'} \quad \dots\dots\dots (6.14)$$

ここに f は摩擦係数である。先端で

$$C_f' = aU_f' \quad \dots\dots\dots (6.15)$$

とおく。添字 f はフロントの値という意味である。

(6.15) を (6.14) に入れ、 C_f' を消去すると

$$\frac{U_f'^2}{2} = \frac{U_A'^2}{2} - \frac{f}{a^2} \frac{X - X_A}{(1+a)(1+2a)} \quad \dots\dots\dots (6.15)$$

先端では

$$\frac{dX}{dT} = U_f' \quad \dots\dots\dots (6.16)$$

であるとする、式 (6.15) (6.16) より U_f' を消去することにより、先端特性曲線が得られる。

図-22のようにこれに追いつくつぎの特性曲線 C_+ が点 F より出るものとすれば、 C_+ の特性線上で

$$U_f' + 2C_f' = U_F' + 2C_F' - f \left(\frac{U_F'}{C_F'} \right)^2 \Delta T_{FG} \quad \dots\dots\dots (6.17)$$

また先端で (6.15) が成立するから、これと (6.17) とより、

$$\left. \begin{aligned} C_f' &= \frac{a}{1+2a} \cdot \left[U_F' + 2C_F' - f \left(\frac{U_F'}{C_F'} \right)^2 \Delta T_{FG} \right] \quad \dots\dots\dots \\ U_f' &= \frac{1}{1+2a} \cdot \left[U_F' + 2C_F' - f \left(\frac{U_F'}{C_F'} \right)^2 \Delta T_{FG} \right] \quad \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad (6.18)$$

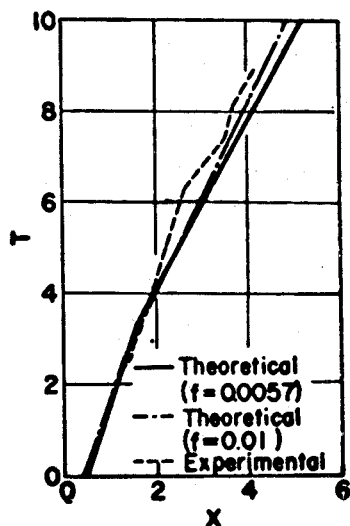


図-22 X-T 特性線

この特性曲線からさらに内側には式(6.15)の U_A' を上式の(6.18)でおきかえて、 $X_A = X_G$ とし新しい先端特性曲線を書いて行く。そして新しいつぎの C_+ 特性線が追いつくまで進ませる。

t -軸と先端特性曲線とで囲まれた領域は通常のように2組の特性曲線の網目によって解析すればよい。

図-23は(6.7)の妥当性を、図-24は $U_f/\sqrt{gh} = 1/a$ の値を実験によってしらべたもので、これより $a = 0.5$ ととればよい。この点については後述する。

図-25は計算結果の一例で $h = 28.1$ cm の一様水深で、 $H_w = 3.1$ cm、また入射波は $\eta_i = 7.7 \operatorname{sech}^2(0.453x)$ なる孤立波を用いている。

7. 陸上における痕跡高の変化

長周期波の陸上における痕跡高を水際線から奥にむかって調べた場合、奥に行くに従って標高を増す場合と、反対に減少する場合とがある。このため富樫は湾奥における増巾率を痕跡などより比較する場合に、汀線波高と陸上遡上高とを区別すべきであると提唱している⁽²⁹⁾。

図-26~29は昭和8年三陸津波の釜石、本郷、両石、佐須(唐丹)での痕跡を那須が求めた資料にもとづいて画いたものである。

この点に関し図-30のように岸壁が傾斜海浜の背後に設置せられている場合に、汀線波高 H_3 と、傾斜海浜の法先 H_1 ならびに陸上遡上高の平均水面よりの高さ $R+H_w$ と H_1 との比を、孤立性の波の無次元周期 $T\sqrt{g/h_1}$ との関係において求め、図-31、32のような結果を得た。これによると $T\sqrt{g/h_1} > 3.5$ では H_3/H_1 、 R/H_1 はほぼ周期にかかわりなく一定であるが、周期が短くなると急に増大する。しかし R/H_3 の値はほぼ一定で汀線波高に等しかった。

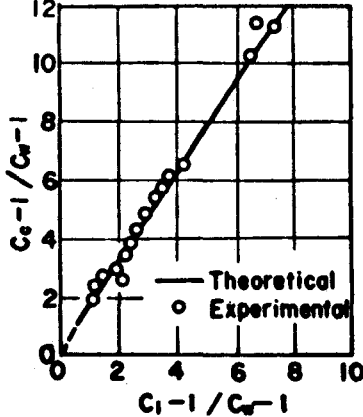


図-23 (6.7)との比較

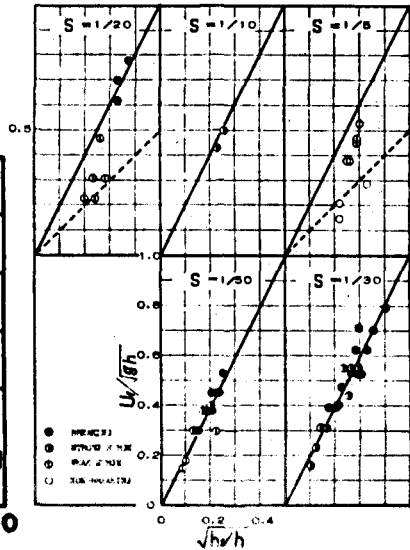


図-24 先端遡上速度と波速との関係

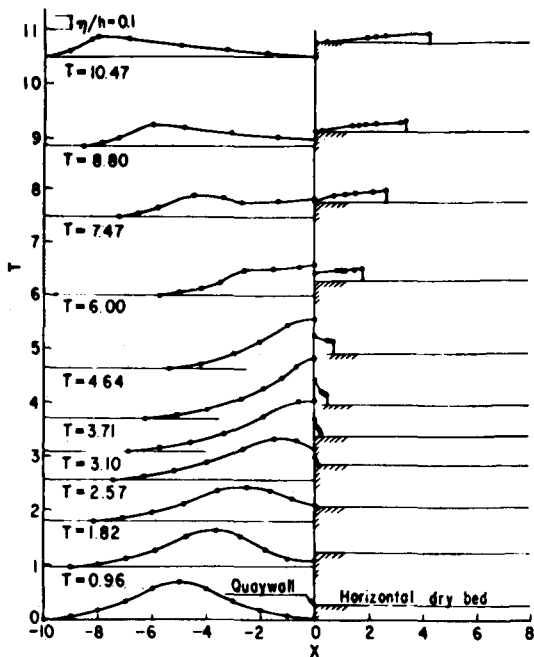


図-25 垂直岸壁を遡上する計算

図-33のような一様傾斜海浜の場合には図-34, 35, 36のような結果がえられる。これらは斜面勾配が $S = 1/50$, $S = 1/30$ 及び $S = 1/20$ の3種にわけられているが、無次元周期が小さくなると砕波している。 R/H_s は砕波の場合には非常に大きい、サージ及び非砕波のときは $R/H_s = 0.7 \sim 1.0$ となった。⁸⁰⁾

従って両石湾、唐丹湾、吉浜海岸などでは一様海浜の結果を利用せねばならないし、釜石湾、大船渡湾、気仙沼湾、女川湾では複合型の海浜（一様海浜上に、鉛直岸壁の乗った形）を考えねばならない。

また前節のような陸上遡上の計算を行う場合の沖側の諸元については湾内振動との関連においてなお今後十分検討の余地があるように考えられる。

8. 一様傾斜海浜及び複合型海岸を乗り越える長周期波

さて前節でのべたように一様傾斜海浜であった場合の長周期波（主として津波）の遡上を取扱うのであるが、今回は KdV 方程式のような曲率項を考慮せず、有限振幅の長波方程式にもとづく特性曲線法を用いることとする。

周知のようにこの方法では沖側境界条件は

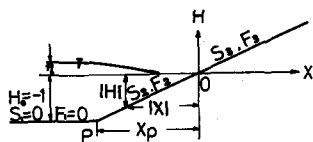


図-33 一様傾斜海浜の遡上

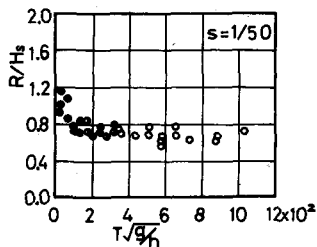


図-34 R/H_s と $T\sqrt{g/h_1}$ との関係 $S = 1/50$

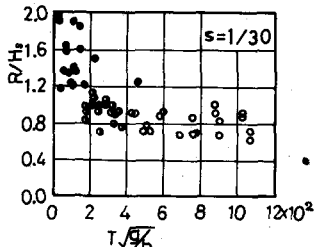


図-35 R/H_s と $T\sqrt{g/h_1}$ との関係 $S = 1/30$

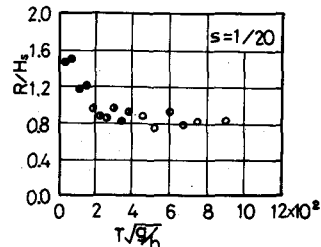


図-36 R/H_s と $T\sqrt{g/h_1}$ との関係 $S = 1/20$

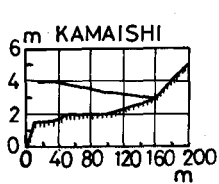


図-26 釜石（昭和8年）

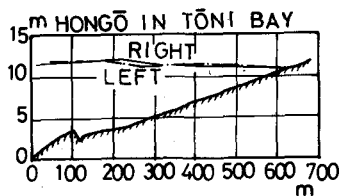


図-27 本郷（昭和8年）

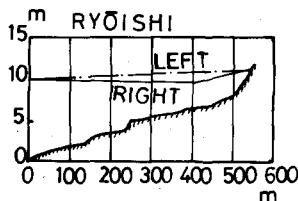


図-28 両石（昭和8年）

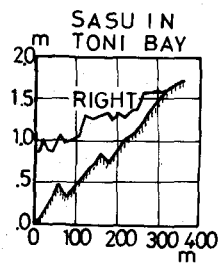


図-29 佐須（唐丹）（昭和8年）

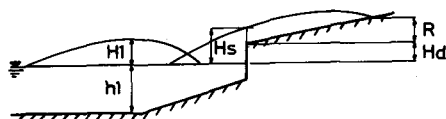


図-30 傾斜海浜・鉛直岸壁の偏差

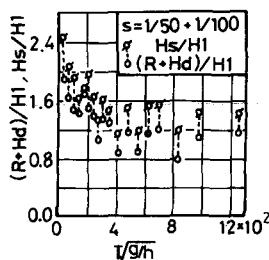


図-31 H_s/H_1 , R/H_s と $T\sqrt{g/h_1}$ との関係(a)

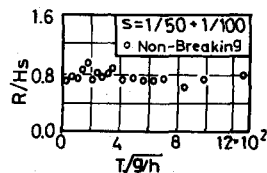


図-32 R/H_s と $T\sqrt{g/h_1}$ との関係

入射波の波高（偏差）の時間分布を与え、その流速は式（6.3）によって求める。問題となるのは初期条件、あるいは波の先端の進行する先端境界条件である。先端境界条件は静水域を進行する津波のフロントのみたす条件、汀線条件及び、dry bed 上の条件あるいは、段波条件など各種があり、さらに進行する波の素波の衝突によって生ずる崩れ砕波の条件もある。従ってこれら各種の条件を選択しながら、計算を進めねばならず、そのアルゴリズムは相当厄介である。

まず津波が砕けていなければ、それは特性曲線法で計算できる。

$$\text{正の } C_+ \text{ 特性線上で } d(U+2C)=G \cdot dT \quad (8-1)$$

$$\text{負の } C_- \text{ 特性線上で } d(U-2C)=G \cdot dT \quad (8-2)$$

$$\text{ここに } X=x/h_*, T=c_*t/h_*, U=u/c_*, C=c/c_*= (h+\eta/h_*)^{1/2} \quad (8-3)$$

h_* は沖合い断面の基準水深でその他の例は説明を要しないと思う。また $G = -\{S+F(U/c)^2\}$ である。

図-37の ($X-H$) 面で座標原点は静止時の汀線である。沖のある基準点 P （これは勾配の変わり目でもよく、あるいは有限振巾の計算をする為として $h_*=20m$ 程度の地点と考えてもよい）に津波のフロントが達したものとす。 OP が一様勾配だから、

座標軸の原点が汀線を通ると、

$$H = -1 + S(X+X_p) \quad (8-4)$$

$X=0$ で $H=0$ につき $X_p=1/S$ である。フロントで $U=0$, $C=\sqrt{|H|}$ であって特性線の勾配は $dX/dT=C$, そこで (8-4) を用いて

$$dT = \frac{dX}{C} = \frac{dX}{\sqrt{|H|}} = -\frac{1}{S} |H|^{-1/2} d|H| \quad (8-5)$$

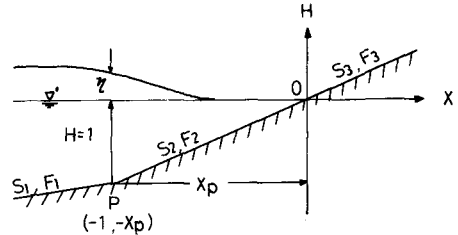


図-37 $X-H$ 平面

これを積分すると

$$T = -\frac{2}{S} (|H|^{1/2} - 1) - T_p \quad (8-6)$$

$T=0$ で $|H|=0$ だから $T_p = +\frac{2}{S}$ となりこれを (8-6) に入れると

$$T = -T_p \cdot |H|^{1/2} \text{ or } |H| = (T/T_p)^2 \quad (8-7)$$

(8-7) を (8-4) に入れて書直すと

$$X = \frac{T_p}{2} \left\{ 1 - \left(\frac{T}{T_p} \right)^2 \right\} - X_p \quad (8-8)$$

これは図-38の ($X-T$) 平面で原点で T 軸に接する。汀線条件は

$dX/dT=0$ にそって $U_0=0$, $C_0=0$ である。ここに添字 0 は汀線におけるフロントの値である。

有限振巾波の考え方に立つ限り、汀線に達する前に必ず bore を発生することとなるが、この段波はその前面の水深 h_0 の 0.626 倍の高さに達する迄波高を高くして行き、それから水深の減少に伴って次第に波高を減じ、遂には 0 になるという Keller らの説がある (1969), しかし実際には KdV 方程式で扱われるような分散波となって、砕波し、遂に波高を減少し再び分散し、というような過程を繰返すもののようである。

ここでは図-38のように限界特性線の後ろから、正の特性線が追付いてくるものとする。 $X<0$ すなわち汀線に達する前のこの段波に対しては、

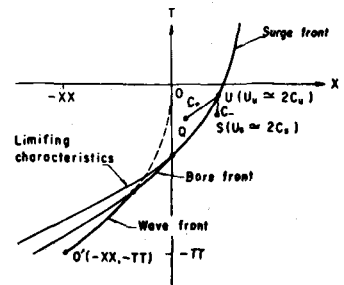


図-38 $X-T$ 平面

$$\frac{dX}{dT} = W = \frac{V_u C_u^2 - U_d C_d^2}{C_u^2 - C_d^2} \dots\dots\dots (8-9)$$

$$C_u^4 - C_d^4 = 2C_d^2 (W - U_d) (U_u - U_d) \dots\dots\dots (8-10)$$

ここに W は無次元の段波の波速 w/c で、添字 C_* の u と d は段波の高い方の側と低い方の側を示す。

さらに bore front に追いつく正の特性曲線上の点 Q を用いて、

$$U_u + 2C_u = U_Q + 2C_Q - G_Q (T_u - T_Q) \dots\dots\dots (8-11)$$

ここに C_u, U_u, W が未知数なのでこの3式より求まる。

上の3式は一般の段波に成立する。静止水面を進行する bore に対しては、 $U_d = 0$ だから

$$\frac{dX}{dT} = W = U_u \cdot \frac{C_u^2}{C_u^2 - C_d^2} \dots\dots\dots (8-12)$$

$$C_u^4 - C_d^4 = 2C_d^2 \cdot W \cdot U_u \dots\dots\dots (8-13)$$

(8-12) (8-13) より U_u を消去すれば

$$W = \left(\frac{C_u^2 + C_d^2}{2} \right)^{1/2} \cdot \frac{C_u}{C_d} \dots\dots\dots (8-14)$$

すなわち (8-12) ~ (8-14) を (8-11) とともに用いればよい。

汀線および dry bed 上においては、 $U_d = 0, C_d = 0$ とし (8-12) の代りに

$$\frac{dX}{dT} = W = V_u \dots\dots\dots (8-15)$$

またさきに実験的に求めた先端条件

$$U_u = 2C_u \dots\dots\dots (8-16)$$

および (8-11) を用いる。従って段波状の surge front となる。

よって、

$$\frac{dX}{dT} = W = U_u = 2C_u = \frac{1}{2} \{ U_Q + 2C_Q + G_Q (T_u - T_Q) \} \dots\dots\dots (8-17)$$

複合型岸壁の場合は、6節の手順と組合せればよい。

図-39に計算例を示した。さらに図-40、図-41に上記の方法を用いて得た最大波高の軌跡が示されている。図-40の場合は鉛直岸壁で非砕波の場合であり、浸水高は、陸地内部へ入るにつれて低くなっているのに対し、図-41では砕波型であって内部へ入るにつれて高くなっており、前節図-26~29の傾向をよく説明している。

9. 船舶・かき筏の被害

港内の船舶、かき筏などは長周期波によって揺動する。短周期波の場合には防波堤などによって適当に遮蔽されるので、揺動による被害は長周期波の場合の方が顕著である。

長周期波のうちで1.にのべた港内副振動・セイシュによる被害は主としてこの場合に生ずる。その場合、振動の節の位置では水平方向の水粒子の軌道が長くその為船が波と一緒に移動し、ドックや栈橋の損傷や船舶の損傷を引き越すことになる。簡単な計算では節線断面を通る平均速度は次式であたえられる。

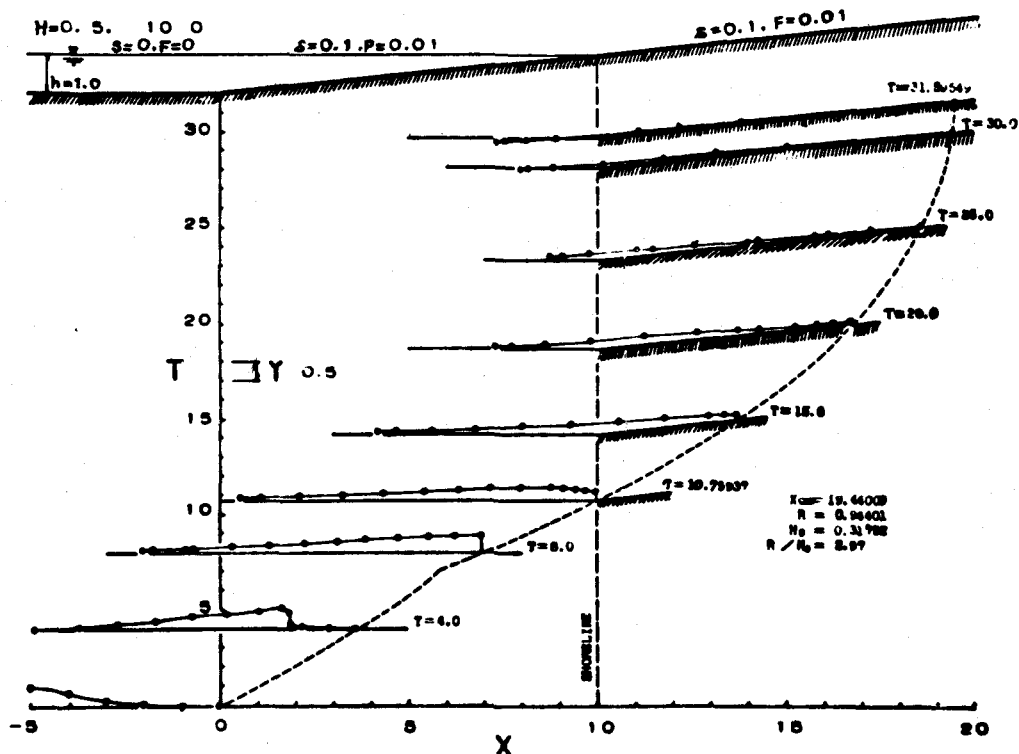


図 - 39 計算例 (a)

$$V = \frac{H}{\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \quad \dots\dots\dots (9.1)$$

ここに H は港内定常波の波高, d は水深である。また, 波動の水平振巾は

$$l = \frac{HT}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{d}} \quad \dots\dots\dots (9.2)$$

ここに T は周期である。勿論 T は入射波の周期よりも, 港の固有周期を用いるべきである。図-42はカリフォルニア州のターミナル・アイランドの突堤ベイソンの鉛直振巾の大きさを模型実験によって求めたもので動揺の甚だしいところと静かなところとの区域がはっきり分かれている。³²⁾

表-2にも船舶被害例が示されている。このようなセイシュの対策として外側に緩衝水域を設けてエネルギーを吸収させることもひとつ考えられている。

津波のときのかき筏の被害について, チリ地震津波の際に調査された例を図-43に示す。このとき気仙沼湾には, かき筏約 5,000 台が一面に分布してほとんど全面的な被害を受け, 内 3,000 台程度が沖合に流出, 2,000 台が湾内の各浜へ破損状態で打上げられた。図

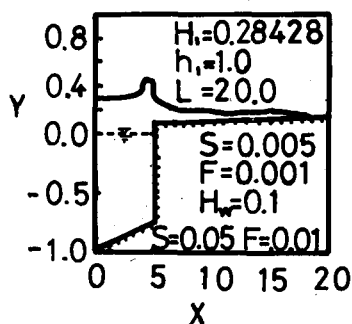


図-40 計算例(b)

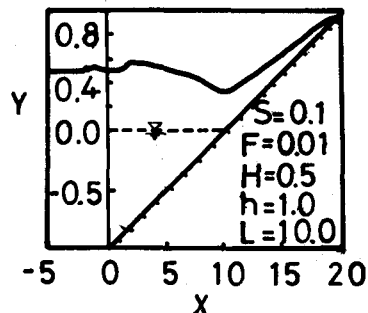


図-41 計算例(c)

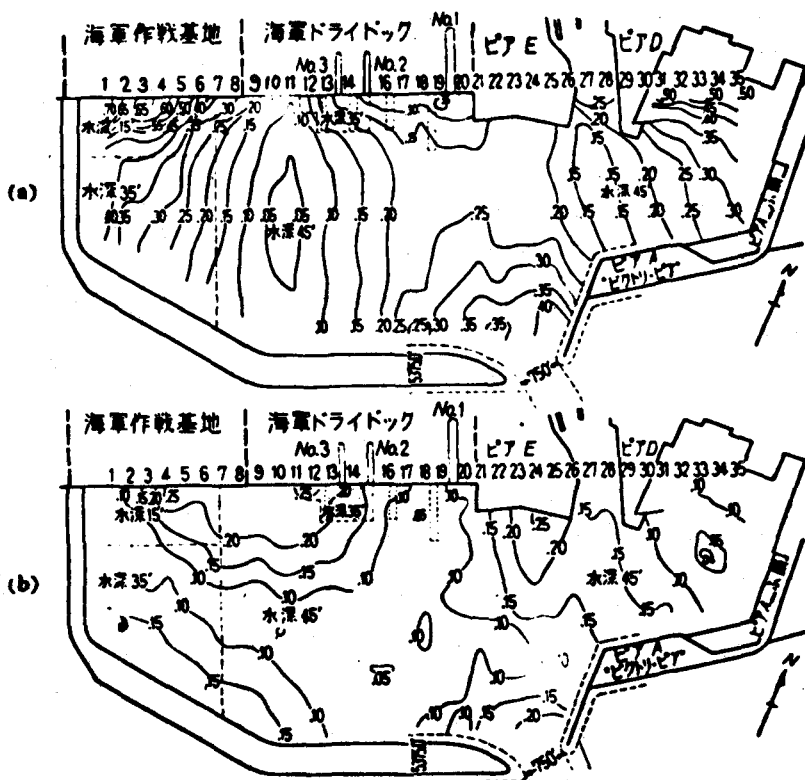


図-42 ターミナル・アイランドの振動

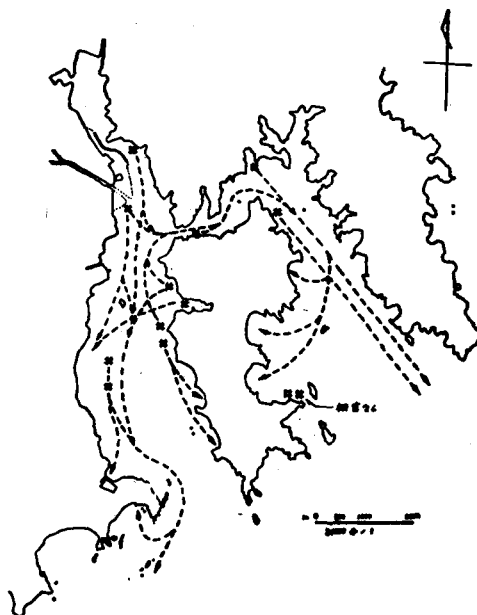
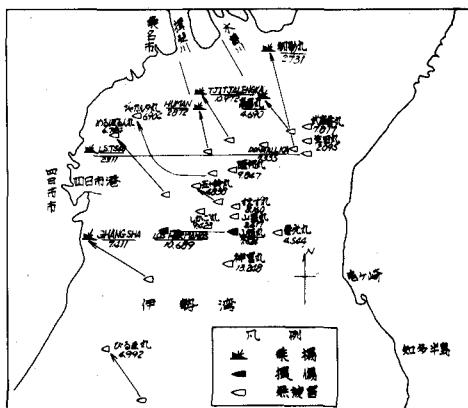


図-43 気仙沼湾のかき筏

—43に移動経路図を示す。

図示されていないが全体の約8割が東湾湾口に集中しその後一部は沖合に流出、一部は風で大島東岸に打上げられた。これは引波のとき水深の深い大島瀬戸、東湾を通った為である。

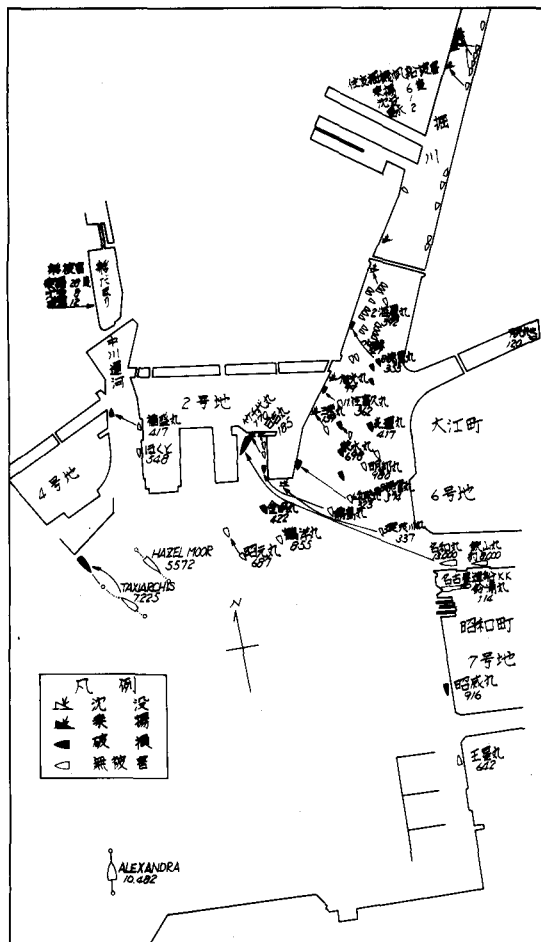
津波・高潮の際の船舶の被害については図—44、45に示されている伊勢湾台風の例を示す。伊勢湾内約30隻の船舶はいずれも走錨に苦しみ、圧流されて乗り揚げたり他船と接触したりした。名古屋港では大型船の事故は少なく、中小型、機帆船・はしけは波没、乗り揚げなどが多く報ぜられている。



図—44 伊勢湾台風の際の船舶の移動（伊勢湾内）

10. む す び

沿岸開発に及ぼす長周期波の影響について、主として被害、それも冠水より陸上遡上に及ぶ現象を中心として講じた。防波堤に対する作用や、船路の洗堀、堆積も論ずべきであったかも知れないが、ここでは紙数の関係もあって省略した。長周期波の港湾に対する影響という題目なら、湾内振動が主体になるかも知れないが、それらは、他に多くの解説があり、ここでは触れる余裕もなかった。あまり多く論じられてはいないが、考えて見れば重要であるというような立場に立って、問題提起のつもりで本稿を起した。諸賢の御了察をお願いしたい。



図—45 伊勢湾台風の際の船舶の移動（名古屋港内）

参 考 文 献

- (1) 室田 明：高潮理論 水工学シリーズ（1964）
- (2) 篠原 謹爾：高潮問題 水工学シリーズ（1966）
- (3) 室田 明：波の変形，とくに長周期波の進入による港域水面の振動について 水工学シリーズ（1971）
- (4) 宇野木早苗：日本の高潮 水工学シリーズ（1972）
- (5) 宇野木早苗：河口付近の潮汐現象，水工学シリーズ（1974）
- (6) 室田 明：津波理論 水工学シリーズ（1965）
- (7) 梶浦欣二郎：津波 水工学シリーズ（1966）
- (8) 岩崎 敏夫：津波 水工学シリーズ（1970）
- (9) 岩崎 敏夫：津波特論 水工学シリーズ（1971）
- (10) 宇野木早苗：港湾のセイシュと長周期波について，第6回海岸工学講演会講演集（1959）
- (11) 富永康照・橋本宏・中村隆：台風26号による吉原海岸の災害について，第14回海岸工学講演会講演集（1967）
- (12) 中野 猿人：低気圧に随伴する潮汐副振動並びにウネリに就て，気象集誌，vol.17（1939）
- (13) 中村 充：沿岸漁場の開発と防災，水工学シリーズ（1974）
- (14) 中村充・白石英彦・佐々木泰雄：海水交流の一解析法，第12回海岸工学講演会講演集（1965）
- (15) 和達清夫編“津波・高潮・海洋災害”共立出版KK（1970）
- (16) 本間 仁編“海岸防災”
- (17) 大阪府：“第二室戸台風災害誌”
- (18) 建設省中部地方建設局：伊勢湾台風復旧工事誌上巻
- (19) “昭和39年新潟地震震害調査報告”土木学会
- (20) 岩手県土木課：震痕災害土木誌，P.165
- (21) Nasu, N. “Heights of Tsunamis and Damage to Structures.” 東大震研彙報 別冊1（1934）
- (22) Ishimoto, M. and T. Hagiwara, : “The Tsunami Considered as a Phenomenon of Sea Water Overflowing the Land.” 文献(21)と同じ
- (23) 岩崎敏夫・富樫宏由・佐藤弘：湾内の津波と遡上（1968年十勝沖津波の特性）第5回災害科学総合シンポジウム
- (24) 気象庁技術報告第7号，伊勢湾台風調査報告
- (25) 細井正延・富永正照・三井宏・岸力：伊勢湾台風における被害と対策，第7回海岸工学講演会講演集（1960）
- (26) 鶴田千里・合田良実：伊勢湾台風による構造物の被害とその特性，文献(25)と同じ
- (27) 岩崎敏夫・堀川清司：チリ地震津波とこれによる三陸地方災害の概況，土木学会誌45-8，（1960）
- (28) Iwasaki, T., and H. Togashi : On the Overland Flow of Tsunami and Effectiveness of Wall as a Counter Measure. Proc. 11th Conference on Coastal Engineering. (1969)
- (29) 岩崎敏夫・富樫宏由：湾奥における津波の痕跡高について，第7回災害科学総合シンポジウム（1970）

- (30) 岩崎敏夫・富樫宏由・佐藤栄司：津波の汀線における水理特性と陸上遡上，第17回海岸工学講演会
論文集（1970）
- (31) Iwasaki, T., and H. Togashi : On the Shoreline and Leading Front Conditions
of Tsunami Waves in the Light of the Method of Characteristics, Coastal
Engineering in Japan, vol.13, (1970)
- (32) Vanoni, V. A. and Carr, J. H. : 港湾におけるサージング，海岸工学I，丸善（1955）