

昭和34年台風14号(サラ)による北海道 西南部沿岸の高潮災害について

北海道大学工学部 工学博士 岸 力
同 五十嵐 日出夫
同 尾崎 晃

1. 台風14号(サラ)の概況

台風14号は昭和34年9月17日正午に朝鮮海峡を通り、日本海を北東に縦断して18日正午過ぎから北海道西岸をかすめ、19日樺太に抜けた。台風は中心示度945mbで日本海に入り北東に進むにつれて、始めやや衰えを見せ、18日6時には中心示度975mbとなったが、その後再び発達して9時には中心示度970mbを示すとともに、進路も北東から東北東に変わり北海道に接近した。中心示度の深りと進路の急変のため、渡島半島南部および西部沿岸は激浪におそれ大きな被害を受けた。

図-1に台風の経路および中心示度を示した。また図-2に調査地点を示した。

2. 台風による波の追算

渡島半島沿岸には波の実測資料がない。港湾施設の災害状況を調べるためには波の追算が必要であった。

2.1. 海上の風

18日03時、09時および15時の天気図から海上の風を求めた。風向は水路要報¹⁾、IsaacsおよびSavilleの提案²⁾、ならびに江差、函館、岩内の3地点における実測風向と比較検討して等圧線と30°の傾きをもつものとした。

風速は天気図から暴風域内の傾度風 U_{grad} を求め $0.8 U_{grad}$ ³⁾ を海上の風速とした。傾度風速は周知のように(1)で与えられる。

$$U_{grad} = \sqrt{(R\omega \sin \varphi)^2 + \frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}} - R\omega \sin \varphi \quad (1)$$

ここに R : 等圧線の曲率半径

ω : 地球自転の角速度
($7.292 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}$)

φ : 緯度

ρ : 空気の密度 (この計算では
 $1.17 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^4$ とした)

p : 気圧 ($1 \text{ mb} = 1.02 \text{ g/cm}^2$ とした)

風向をそれぞれ3枚の天気図に記入すると図-3のようになり、IsaacsおよびSavilleの図式計算法にしたがつて有効風域(Fetch)を示すと図中の破線の領域が定まり、Fetch内の代表風向はSWである。風速の計算値は表-1のとおりで、Fetch内の平均風速は3時、18m/sec；9時、19m/sec；15時、20m/secとなった。また図-3の有効風域の長さは $F=600 \text{ km}$ で、台風の移動速度は3時から15時までの平均52km/hrであるから、有効風の吹続時間は $D=11.5 \text{ hr}$

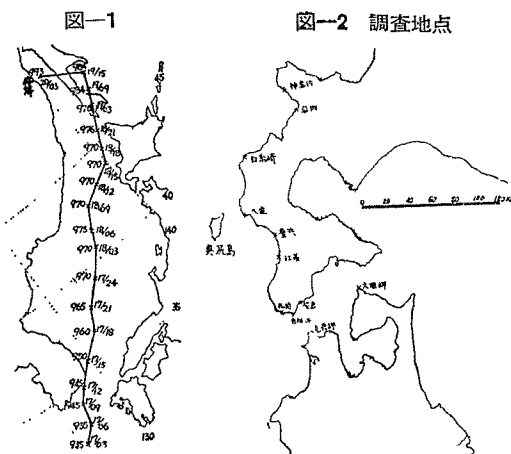


図-3 (a) 風 向

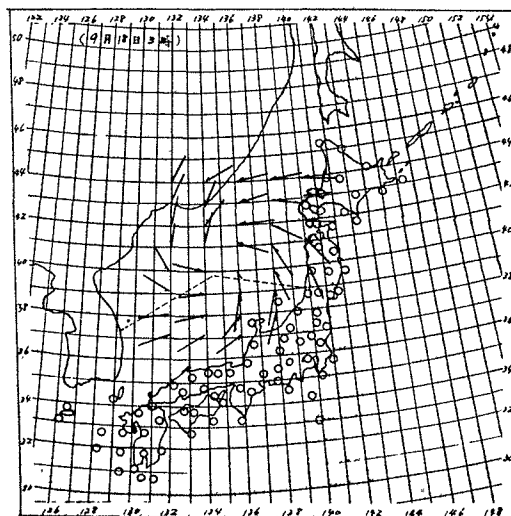


図-3 (b) 風 向

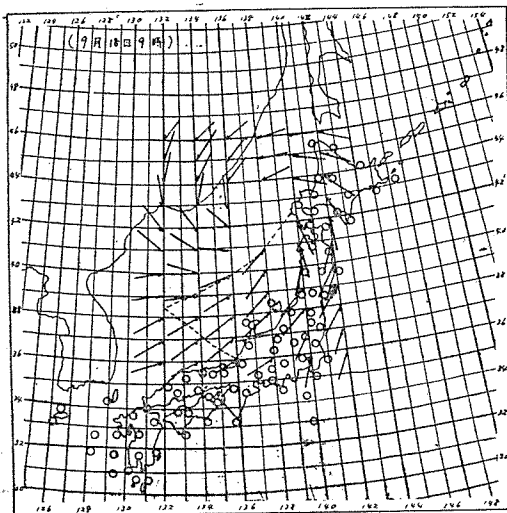


図-3 (c) 風 向

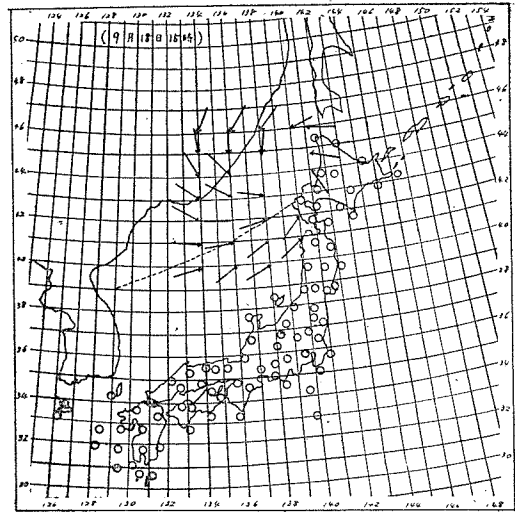


表-1 Fetch 内の風速の計算値

S. 34年9月18日03時

地 点 東経—北緯	Ugrad (m/sec)	U (m/sec)	地 点 東経—北緯	Ugrad (m/sec)	U (m/sec)	地 点 東経—北緯	Ugrad (m/sec)	U (m/sec)
139°—39°	19.3	15.4	136°—37°	24.2	19.4	134°—36°	19.5	15.6
139°—38°	28.4	22.6	136°—36°	21.1	16.8	133°—39°	18.4	14.7
138°—39°	20.0	16.0	135°—39°	21.6	17.3	133°—38°	26.4	21.1
138°—38°	18.3	14.6	135°—38°	26.9	21.5	133°—37°	21.6	17.3
137°—39°	21.9	17.5	135°—37°	24.0	19.2	132°—38°	22.2	17.7
137°—38°	19.4	15.5	135°—36°	21.4	17.1	132°—37°	20.8	16.6
136°—40°	21.9	17.5	134°—39°	19.9	15.9			
—39°	25.6	20.5	134°—38°	25.4	20.3			平均17.7
—38°	21.7	17.3	134°—37°	22.6	18.1			

S. 34年9月18日09時

地 点 東経—北緯	Ugrad (m/sec)	U (m/sec)	地 点 東経—北緯	Ugrad (m/sec)	U (m/sec)	地 点 東経—北緯	Ugrad (m/sec)	U (m/sec)
140°—42°	27.5	22.0	137°—39°	—	—	140°—42°	23.6	18.9
140°—40°	28.5	22.8	136°—40°	—	—	140°—41°	29.1	23.2
139°—42°	25.1	20.1	136°—39°	18.5	14.8	139°—42°	22.7	18.2
139°—40°	30.2	24.1	135°—39°	22.4	17.9	139°—41°	27.1	21.6
139°—39°	25.5	20.4	134°—38°	22.9	18.3	138°—42°	21.9	17.5
138°—41°	—	—	133°—38°	20.6	16.5	138°—41°	26.8	21.4
138°—40°	20.8	16.6				137°—41°	23.0	18.4
138°—39°	29.4	23.5			平均19.4			
137°—40°	19.1	15.3						平均19.9

S. 34年9月18日15時

となる。一方風速 $U=20\text{m/sec}$, Fetch の長さ $F=600\text{km}$ に対する最小吹続時間は、S-M-B 法では $D=24\text{hr}$ である。したがってこの台風による北海道沿岸の波は吹続時間に規制されたものであることがわかる。一方江差、函館、および岩内の三地点における風の記録は図-4 に示すとおりで、これと天気図による計算結果とを比較して波の追算に用いる風を図-4 の実線とした。なお津軽海峡に面した海岸は SE 風の影響を受けるので、図-4 には 3 時から 9 時まで SE 風 $U=15\text{m/sec}$ を記入してある。 $U=15\text{m/sec}$ は 3 時～9 時の津軽海峡の平均傾度風速 $U_{grad}=18\text{m/sec}$ から得たものである。

2.2. 外洋の波

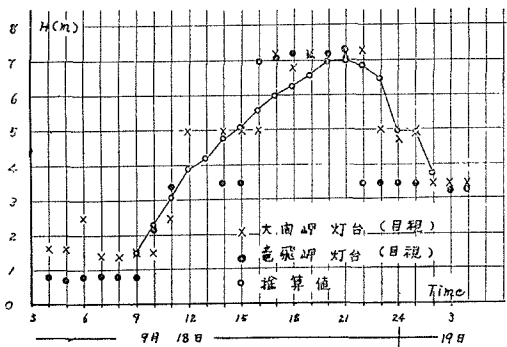
前述のとおり、14 号台風による波の実測資料はない。ただ函館海洋気象台の波浪速報 (異常気象報告, 28 号, 昭和 34 年 5 号) に青森県竜飛岬灯台, 大間岬灯台, および北海道松前灯台における波浪の目視観測結果が報告されている。このうち松前灯台の記録は SE 方向の風の影響を受けているが, 竜飛岬, 大間岬の記録はこのようなこともなく, 14 号台風による外洋の波を比較的正確にあらわしているものと考えられる。

図-4 に示した海上風の推定値の当否を検討するためこの風による外洋の波の計算値、竜飛岬と大間岬における波の観測結果とを比較した。前節に述べた風の性質によれば、台風進路の右側に当る海上は到るところ、 $D=12\text{ hr}$ 、 $U=20\text{ m/sec}$ の風をうけたわけであるから、海上の波で伝播速度の最大のものは S-M-B 法では $T=13\text{ sec}$ のもので、伝播速度 $C_G=\frac{1}{2}\cdot C=36\text{ km/hr}$ である。この速度は Fetch の移動速度 52 km/hr より小さい。したがって外洋の波は 18 日 9 時から始まる SW 風 $U=20\text{ m/sec}$ について計算すればよいことになる。ただ波の観測記録によれば、18 日 3 時～9 時にかけて波高 1～1.5m の波があり、これは SE 風によるものと考えられるが、9 時以後の波の計算に既に存在していた波の効果をどのようにとり入れるかはまだ定説がない。ここでは、9 時の波高を $H=1.5\text{ m}$ として計算することにした。 $U=20\text{ m/sec}$ 、 $H=1.5\text{ m}$ に対しては $D=1\text{ hr}$ となる。図-4 の実線で示した風を用いて S-M-B 法で計算した外洋の波を表-2 に示した。この波と前記 2 灯台における観測結果とを比較すれば図-5 のようになる。波高の計算値は観測結果と発達、減衰の状況、最大値とも非常によく合っており、本節に示した波の追算は妥当なものと思う。なお同じ風を用い、P-N-J 法で計算した結果を表-3 に示す。表-3 と図-5 (あるいは表-2) とをくらべると P-N-J 法による値も、S-M-B 法による値も大きな違いはないが、P-N-J 法による波高は S-M-B 法による値よりも全般的にいくらか小さい。本文では、

表-2 S.M.B. 法による波の推算値

日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H/L $\times 10^2$	日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H/L $\times 10^2$
18 9	1.5	4.2	6.05	18 6.3	10.3	4.05	
10	2.3	5.8	4.18	19 6.6	10.5	3.86	
11	3.1	6.7	4.10	20 7.0	10.8	3.76	
12	3.7	7.5	4.55	21 7.0	11.0	3.76	
13	4.2	8.0	4.30	22 6.9	11.6	3.14	
14	4.8	8.6	4.03	23 6.5	12.6	2.58	
15	5.1	9.0	4.17	24 5.0	12.6	1.91	
16	5.6	9.5	4.06	19 1 5.0	12.6	1.91	
17	6.0	9.8	3.90	2 3.8	11.0	2.04	

図-5 S.M.B. 法での計算値と観測結果との比較



観測値との一致の程度からみて、S-M-B 法による波の推算値を採用することにした。

図-4 江差、函館、および岩内の風の記録

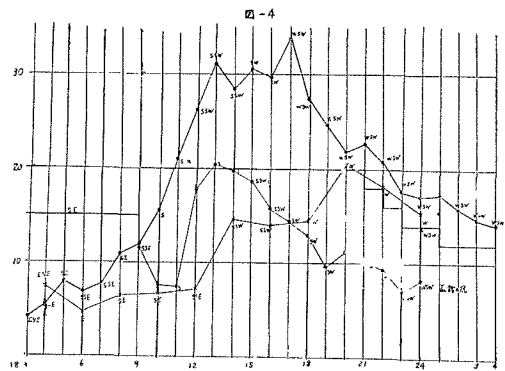


表-3 P.N.J. 法による波の推算値

日 時	E (ft^2)	f_i (sec^{-1})	$0.03 E$ f_u (sec^{-1}) T_u (sec)	$0.85 f_t$ f_e (sec^{-1}) T_e (sec)	平均周期 $\bar{T}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)
18 9						1.5
10	6.4	0.174	—	0.148 6.8	4.3	2.1
11	12	0.146	—	0.124 8.1	5.1	3.0
12	14	0.140	—	0.119 8.4	5.4	3.2
13	16	0.136	—	0.116 8.6	5.6	3.4
14	18	0.130	—	0.110 9.1	5.7	3.6
15	19	0.127	—	0.108 9.3	5.8	3.8
16	22	0.123	—	0.105 9.5	5.9	4.0
17	26	0.116	—	0.098 10.2	6.3	4.3
18	27	0.115	—	0.099 10.1	6.3	4.6
19	31	0.111	—	0.094 10.6	6.6	4.9
20	40	0.106	0.32 3.2	0.090 11.1	6.8	5.5
21	42	0.104	0.33 3.1	0.088 11.4	7.1	5.6
22	43	0.098	0.29 3.5	0.083 12.0	7.3	5.8
23	46	0.087	0.225 4.4	0.0739 13.6	8.0	5.8
24	42		0.222 4.5	0.0630 15.7	8.0	5.5
19 1	42		0.222 4.5	0.063 15.7	8.0	5.5
2	20		0.270 3.7	0.0740 13.6	6.9	3.7
3	20		0.270 3.7	0.0740 13.6	6.9	3.7

3. 沿岸の波

前章では外洋の波を考えたが、沿岸各地点の波はさらに地形の影響が加わって変化している。本章では各地点毎の波の推算結果を述べる。

3.1. 松前港の波

松前港は後章の図-11 にみるとおり、弁天島と陸とを継ぎ、その東側に造られている。したがって松前港の波を考えるには、弁天島の東側と西側とを区別して扱われなければならない。

弁天島の西側の波は表-2 および図-5 に示した外洋の波を沖波とすればよい。弁天島の東側（松前港の港口側）の水域は SE 方向の Fetch をもつことと、南寄りの波に対しては弁天島の陰になる点が特徴である。図-4 に示した江差、函館の風向記録を参考にして、松前の風は 3 時～9 時が SE, $U=15\text{m/sec}$; 9 時～11 時が風向 S, $U=20\text{m/sec}$; 12 時以後は風向が西寄りになって弁天島の陰になると考えた。波の推算に当っては、9 時まで SE 方向の Fetch $F=35\text{km}$ を用い、次の 11 時まででは S 方向の $F=\infty$ を用い、12 時以後は半島堤による波の廻折を考えて波高に係数 0.5 を乗ずることにした。波の推算結果を表-4 および図-6 に示した。

3.2. 福島港の波

福島港は図-2 にみられるとおり SE 方向の Fetch をもつことと、白神岬に至る海岸線がほぼ SSW の方向に走り S 寄りの波向と海岸線との角度が非常に浅くなることが特徴である。波向が海岸線に殆ど平行に近い場合には屈折図を利用するのが通例であるが、ここでは海岸線が約 15km の間、ほぼ直線に近くまた等深線も海岸線に平行であるところから、波の計算には石原、岩垣および村上⁷⁾による沖波と碎波の関係図を利用した。

表-4 松前港 港口の波

日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
18 5	1.7	4.8	18 16	2.9	9.7
6	2.1	5.6	17	3.6	10.1
7	2.1	5.6	18	3.3	10.4
8	2.1	5.6	19	3.5	10.7
9	2.1	5.6	20	3.5	11.0
10	3.0	6.5	21	3.6	11.3
11	3.6	7.3	22	3.5	11.9
12	2.1	7.9	23	3.1	12.0
13	2.3	8.4	24	2.5	12.7
14	2.5	8.9	19 1	2.5	12.7
15	2.7	9.4	2	1.9	11.0

表-5 福島港の波

日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	日 時	Hb (m)			$T_{1/3}$ (sec)	αb (°)	$(H/L) \times 10^{-2}$
				S	SSW	Mean			
18 5	1.7	4.8	18 10	2.5	1.7	2.1	7.0	26	4.5
6	2.1	5.6	11	3.1	2.0	2.6	7.7	26	4.5
7	2.5	6.1	12	3.5	2.2	2.8	8.2	26	4.8
8	2.5	6.1	13	4.0	2.6	3.3	8.7	24	3.8
9	2.5	6.1	14	4.3	2.8	3.6	9.2	25	4.1
			15	4.6	3.0	3.8	9.6	25	4.0

図-6

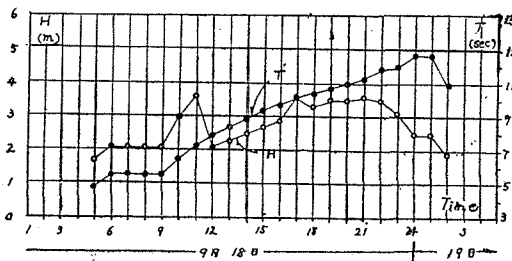
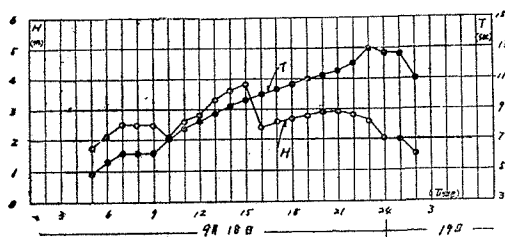
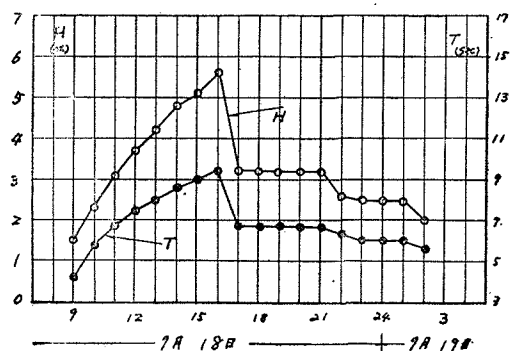


図-7



日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
18 16	2.4	10.0	18 20	2.9	11.2	18 24	2.0	12.7
17 17	2.6	10.3	21	2.9	11.5	19 1	2.0	12.7
18 18	2.7	10.6	22	2.8	12.0	2	1.5	11.0
19 19	2.8	11.0	23	2.6	13.0	3		

図-8



福島港の SE 方向の Fetch は $F=55\text{km}$ である。松前港の場合と同様 9 時まで 風向 SE, $U=15\text{m/sec}$; 9 時～15 時まで 風向 S～SSW, $U=20\text{m/sec}$; 16 時以後は白神岬に完全に遮へいされてしまうが松前の例を参考にして

表-6 久遠港の波

日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (m)
18 9	1.5	4.2	18 19	3.2	6.7
10	2.3	5.8	20	3.2	6.7
11	3.1	6.7	21	3.2	6.7
12	3.7	7.5	22	2.6	6.3
13	4.2	8.0	23	2.5	6.0
14	4.8	8.6	24	2.5	6.0
15	5.1	9.0	19 1	2.5	6.0
16	5.6	9.5	2	2.0	5.6
17	3.2	6.7			
18	3.2	6.7			

図-9

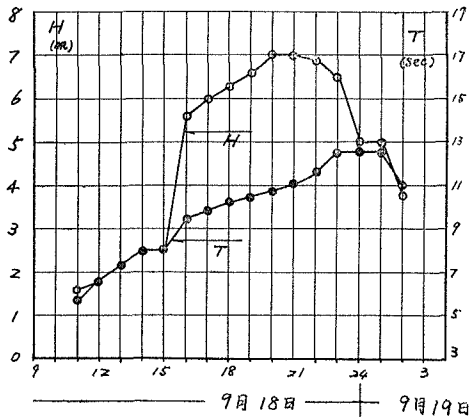
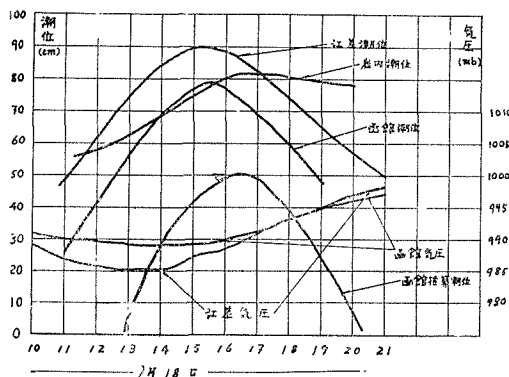


表-7 神恵内港の波

日 時	F (km)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	日 時	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
18 11	24	1.6	5.7	20	7.0	10.8
12	41	1.8	6.6	21	7.0	11.0
13	60	2.2	3.4	22	6.9	11.6
14	80	2.5	8.0	23	6.5	12.6
15	80	2.5	8.0	24	5.0	12.6
16		5.6	9.5	19 1	5.0	12.6
17		6.0	9.8	2	3.8	11.0
18		6.3	10.3	3		
19		6.6	10.5			

図-10



外洋の波に係数0.4を乗じた。9時から15時までの間は波高をSとSSWの2方向にとつてそれぞれの碎波波高 H_b を求め、両者の平均を福島港の碎波波高とした。計算結果は表-5および図-7に示した。

3.3. 久遠港の波

久遠港は図-2にみられるとおり、WSWのFetchが奥尻島で限られ $F=40\text{km}$ となる。図-4の江差の風向から考えて、17時以後の波はこのFetchに規制されるとして計算した。すなわち16時までは表-2および図-5に示した外洋の波を用い、17時以後は $F=40\text{km}$ 、 $U=20\text{m/sec}$ とした。外洋の波の廻折も考慮して計算は17時からFetch Graphを用いた。計算結果は表-6および図-8に示した。

3.4. 神恵内港の波

神恵内港の地形上の特徴は、図-2にみられるとおり、SWのFetchが白糸岬によつて限られ、風向がWSWより西寄りに転じて初めて外洋の波が進入することである。しかもSWのFetch内の水深は20~30mで、この水域の波を深水波として計算するのは妥当でない。浅水域の波の計算にはBretschneider⁹⁾の方法があり、その詳細が永井、その他⁹⁾によつて紹介されているが、Molitorの実験式を用いても大差ない結果が得られるようである¹⁰⁾。本文ではSW方向の波を後の解析に直接使用しないので、簡単にMolitorの式で波高を見積つた。

計算には図-4の江差の風向からみて、9~15時まで $F=80\text{km}$ 、 $U=20\text{m/sec}$ を用い、16時以後に表-2および図-5に示した外洋の波に変わるものとした。結果を表-7および図-9に示した。

4. 潮 位

図-2にみられるとおりこの沿岸は比較的開いた海岸であるから台風による異常高潮はさほど大きくなかった。しかしこの沿岸は日本海に面しもともと満潮位の低い場所であるから、潮位上昇の影響は必ずしも小さくはなかつた。図-10に函館、江差、および岩内における気圧を示した。図から函館の潮位偏差と気圧降下 $\Delta p=(1013-p)$ および風速との関係をしらべると表-8のようになる。表-8によれば、風速が20m/secに達した13~14時には風による吹き寄せが気圧降下による吸上げに匹敵しているが、風速が15m/sec以下になつた17時以後では、潮位上昇は殆ど気圧降下による静的な吸上げ高に等しく、吹き寄せの影響はみられない。

5. 沿岸諸港湾の災害

本章では前章までに述べた14号台風時の波と潮位とに基づいて、沿岸諸港湾における防波堤の災害を技術的に検討した結果を述べる。

5.1. 松前港

松前港の平面図を図-11に示す。既に3.1.で触れたように松前港の波は弁天島の西側と東側で異なる。港湾施設の災害は南防波堤の胸壁が約50mにわたって滑動し、幅15mの物揚岸壁をこえて港内にまで運ばれたのをはじめ、建設中の埋立護岸が倒壊した。外防波堤は被害がなかった。

(a) 南防波堤胸壁の滑動

胸壁は低い既設胸壁を嵩上げし扶壁で補強したものでその断面を図-12に示した。著者らの調べでは時日の経過のため胸壁と防波堤との接合状態は不良で、底面における堤体との附着はないものと判断された。

北海道開発局松前港修築事業所の報告では、胸壁は18日11時30分までは被害なく、滑動は12時以後に起つたという。3.1.に述べたように南防波堤は外洋の波を受ける。表-2および図-4によれば13~14時の間の平均の沖波は $H_o=4.7\text{m}$ 、 $T_o=8.5\text{sec}$ 、波向SSWである。また14時の潮位は図-10で江差、函館の平均とみて+0.76mである。

南防波堤は図-11にみられるとおり、前面に幅150m以上の広い暗しがあり、防波堤に対する波は水深に規制された完全砕波の状態と考えられる。暗しの高さは平均-0.4mであつて水深 $h=1.2\text{m}$ となる。 $h/L_b=0.041$ であるから、著者の一岸によれば $H_b/h=1.0$ 、したがって砕波波高 $H_b=1.2\text{m}$ である。

広井式によつて計算すれば、波と防波堤のなす角 $\theta=92^\circ$ であるから、 $P=1.5w_oH_b=1.85\text{ton/m}^2$ 、港湾工事設計要覧によれば¹¹⁾、この圧力が $1.25H_b$ まで一様に作用するとしているから、 $P \times A=3.33\text{ton}$ (胸壁のunitは2mである。) 一方浮力を差引いた胸壁重量 (コンクリートの単位重量 $w=2.2\text{ton/m}^3$ とした。以下の計算にはすべてこの値を用いてある。) $W=7.5\text{ton}$ 、したがって摩擦係数 $f < \frac{3.33}{7.5}=0.45$ である。一方胸壁に被害がなかったという11時について同様の計算を行えば $f > \frac{0.58}{9.3}=0.062$ となり、潮位あるいは暗しの高さが、胸壁のうける波力を非常に大きく左右したことがわかる。南防波堤延長約150mのうち被害が約50mの部分に集中したのは、残存部の暗し高さがやや高く+0.3m程度であつたためである。

(b) 外防波堤

外防波堤の断面を図-12に示す。北海道開発局港湾部発行の防波堤標準断面図集によれば、外防波堤は波向SSW、 $H=5.0\text{m}$ 、 $\theta=90^\circ$ 、 $f=0.6$ (安全率1.3) として設計されている。表-4によれば松前港の波は $H=3.6\text{m}$ と推定されており、外防波堤に被害がなかったことを説明している。

5.2. 白神港

白神港の平面図を図-13に示す。西防波堤の先端部約20mと北隈部約50mを除いて、西防波堤中央部約

図-11

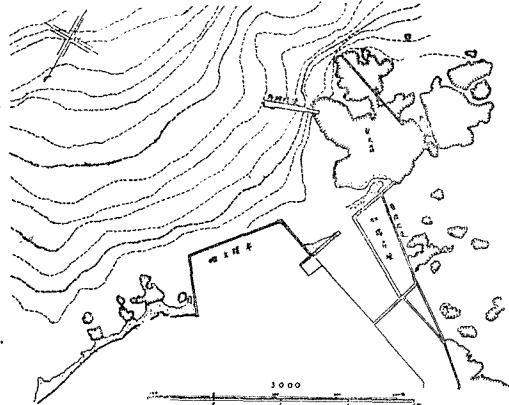


表-8 函館における潮位偏差と気圧降下量風速との関係

日 時	潮位偏差 $\Delta\zeta$ (cm)	気圧降下量 $\Delta p =$ (1013-p) (mb)	風 速 U (m/sec)	$\Delta\zeta -$ $0.991\Delta p$ (cm)
18 10	—	22.4	7.6	—
11	—	23.0	7.3	—
12	—	23.4	17.7	—
13	50	24.2	20.4	36
14	40	24.3	19.7	16
15	35	23.9	18.5	11.3
16	28	22.9	15.7	5.3
17	20	22.0	14.4	—
18	20	20.0	12.9	0
19	25	18.0	9.6	7.2
20	13.8	17.0	11.2	—
21	—	15.9	10.3	—

図-12

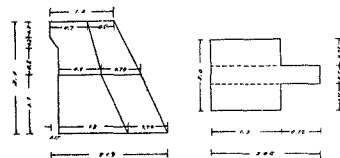
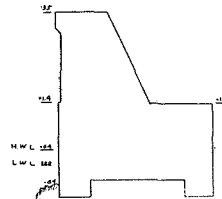
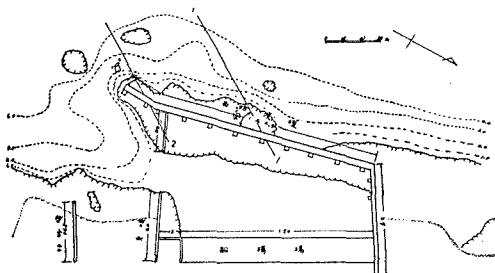


図-13



100m の間の胸壁が破損した。ここは比較的高い岩しように上に堤体と胸壁とを一体に場所打ちしてあり、胸壁の破損は滑動や転倒ではなく、波力による曲げ破かいと考えられた。

胸壁断面図と、破損部 (①-①)、および残存部 (②-②) の代表的な海底横断面を図-14 に示す。現地での調査では胸壁の破損時刻は13時頃であった。図-2 にみるとおり白神港は白神岬の西側にあり、直接外洋の波をうけたと考えられる。

表-2 および図-4 から 11~14 時の平均をとつて沖波は $H_0 = 4.0\text{m}$, $T = 7.7\text{sec}$, 波向 SSW である。

(a) 破損部

潮位は図-10 で江差と函館の平均をとり $+0.65\text{m}$, 波と防波堤とのなす角 $\theta = 45^\circ$ である。

広井式によれば 図-14 から $h = 0.65 + 3.5 = 4.2\text{m}$, $P = 6.18\text{ton/m}^2$ 胸壁天端までの波圧は一様分布になる。胸壁下端で折れたのであるから, $M = 5.5\text{ton}\cdot\text{m}$, 先端に近い $a-a'$ 部では, $W = 0.33\text{m}^3$, それに続く $b-b'$ 部では $W = 0.24\text{m}^3$, したがつてこの胸壁コンクリートの曲げ強度 σ は

$$a-a' \text{ 部 } \sigma < \left(\frac{5.5}{0.33} = 1.7\text{kg/cm}^2 \right)$$

$$b-b' \text{ 部 } \sigma < \left(\frac{5.5}{0.24} = 2.3\text{kg/cm}^2 \right)$$

すなわち、圧力計算に広井式を用いれば、この胸壁コンクリートの曲げ強度 σ は大体 2kg/cm^2 を超えないことになる。次に衝撃波圧の式を用いて計算する。衝撃波圧に関しては多くの研究結果¹³⁾が発表されているが、混成堤を対象にしたものとして永井の実験がある¹⁴⁾。永井は実験結果を整理して波圧式を提案しているが、模型縮尺 $1/20$ を想定している点で多少の一般性を欠く憾がある。著者等は永井の実験結果を (1) Minikin の最大波圧 P_{max} の値がほぼ妥当な値を示すこと、および (2) 圧力分布は永井の提案した 3 型式が Minikin の分布よりも実際に近いことを示していると解釈した。また圧力分布に対しては、今回の調査では胸壁を扱う場合が多かつたので、同時波圧の分布よりも最大波圧の包絡線を用いる方がむしろ妥当であろうと判断し、永井の提案した P_{peak} の鉛直分布を用いた。したがつて、本文の胸壁の計算に用いた衝撃波圧の式は

$$\left. \begin{array}{ll} \text{A型} & P_y = P_{max}(1-y/H)^2, \quad y=0 \text{ は水面} \\ \text{B型} & P_y = P_{max}(1-y/2H)^2, \quad y=0 \text{ はマウンド天端} \\ \text{C型} & P_y = P_{max}(1-y/2.5H)^2, \quad y=0 \text{ はマウンド天端} \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$P_{max} = 102.4h_1(1+\frac{h_1}{h_0})\frac{H}{L} \quad (\text{ton/m}^2) \quad (3)$$

堤体全体を考える場合には、(3)式と永井の同時波圧分布とを組合せるのがよいと思う。

白神港に (2), (3) 式を適用すれば, $h_1 = 1.2\text{m}$, $h_0 = 4.2\text{m}$, $H/L = 0.085$ であるから, $P_{max} = 13.4\text{ton/m}^2$, 圧力分布は A 型になるから $\theta = 45^\circ$ として計算すれば, $M = 3.83\text{ton}\cdot\text{m}$ となる。したがつて衝撃波圧によるときは

$$a-a' \text{ 部 } \sigma < 1.2\text{kg/cm}^2$$

$$b-b' \text{ 部 } \sigma < 1.6\text{kg/cm}^2$$

となる。

(b) 先端残存部

先端残存部は岩しようにの高さが低く 図-13 (②-②断面) に示すように -1.0m になつてゐることと、波と防波堤とのなす角 θ が $\theta = 29^\circ$ である事が前例と異なる。

広井式によつて計算すれば $M = 2.64\text{ton}\cdot\text{m}$ したがつて

$$\sigma > \left(\frac{2.64}{0.33} = 0.8\text{kg/cm}^2 \right)$$

衝撃波圧の式によつて計算すれば、分布は A 型であるから $M = 2.43\text{ton}\cdot\text{m}$, したがつて

$$\sigma > 0.74\text{kg/cm}^2$$

となる。

5-3 福島港

福島港の平面図および東防波堤断面図を図-15 および、図-16 に示す。防波堤ケーソンの先端部 2 基は巾 7.5m , で他は 6.0m である。防波堤ケーソンが先端部から約 70m の間滑動した。そのうち先端の 2 基はマウンドの

図-14 海底横断面図

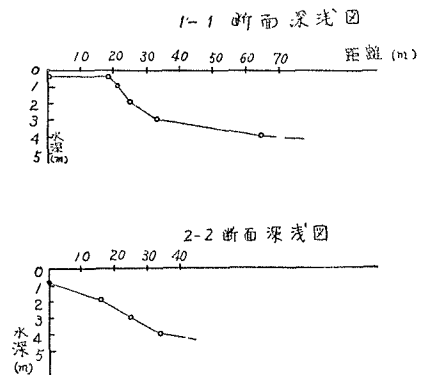


図-15

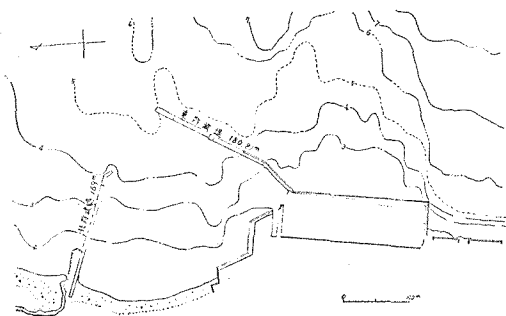
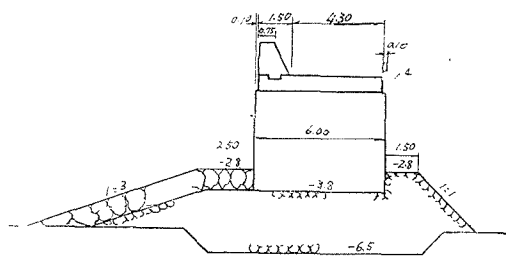


図-16



上に止つたが巾 6 m のケーソンは滑動が大きくマウンドをはずれ港内に落ちた。

福島の波は 3-2, 表-5 で 15 時の値を用い $H_b=3.8\text{m}$, $T=9.6\text{sec}$, 波向 SW とする。潮位は図-10 で函館の 15 時の値 $+0.77$ を用いる。波力計算のため堤前の水深 $h=5.5+0.77=6.3\text{m}$ の地点における波高を求める。 H_b から屈折の影響を除いて沖波波高 H_0 を求め, その波の $h=6.3\text{m}$ における波高を求めれば $H=3.0\text{m}$ が得られる。沖波の波向は SW であるが表-5 の α_b から θ を求め $\theta=68^\circ$ とした。

(a) 巾 6 m のケーソン (激動部)

胸壁がごく一部以外は破損せず防波堤全体が滑動したから, 胸壁を含くめて波力計算を行う。

広井式によれば, $P \times A = 24.6\text{ton}$, 浮力を差引いた防波堤重量 $W = 39.9\text{ton}$, したがって, 摩擦係数 f は,

$$f < \frac{24.6}{39.9} = 0.62$$

衝撃圧力による計算は, ここでは同時波圧分布 B 型を用いた。 $h_1=3.6\text{m}$, $h_0=6.3\text{m}$, $H/L=0.046$ から, $P_{max}=26.6\text{ton/m}^2$, $P \times A = \frac{1}{3} \cdot P_{max} \cdot H_1 = 26.6\text{ton}$, 角度の補正を行えば, $P \times A = 23\text{ton}$, 合力は広井式による場合と殆んど変らず

$$f < 0.58$$

となつた。

(b) 巾 7.5 m のケーソン (軽動部)

同様の計算を広井式で行えば,

$$f \approx 0.53$$

衝撃圧によれば

$$f \approx 0.49$$

前述の防波堤標準断面図集によれば, この部分の設計条件は $H=5.0\text{m}$, $\theta=60^\circ$, $f=0.6$ (滑動安全率 1.0) となつている。

(c) 胸 壁

胸壁は先端の軽動部においても破損しなかつたから, これからコンクリート強度を算出する。本港のようなホゾ付き胸壁の強度計算は図-17 の要領で行つた。図-17 の O 点のまわりのモーメントから反力 R を求め, $a-a$ 断面の曲げと剪断, $\bar{bb}=0.55\text{m}$, $\bar{aa}=0.40\text{m}$, ほぞの長さ $l=0.20\text{m}$ であつたから, 広井式によるときは $P \times A = 5.8\text{ton}$, $M = 2.18\text{ton-m}$, $W = 0.0267\text{m}^3$ から

$$\sigma \approx 8.2\text{kg/cm}^2$$

また $R = 10.9\text{ton}$ と得られたから,

$$\tau > 1.5\text{kg/cm}^2 \text{ (胸壁コンクリート)}$$

$$\tau > 2.0\text{kg/cm}^2 \text{ (ケーソン上蓋)}$$

となる。

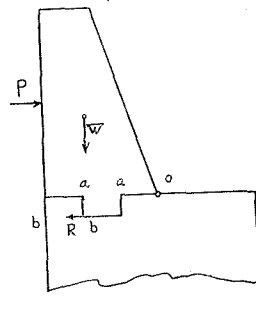
衝撃圧によるときは, (2) 式の B 型と (3) 式とを組合せたが, $P \times A = 3.15\text{ton}$, $M \approx 0$ となつた。

5-4 久 遠 港

久遠港の平面図を図-18 に示す。ここでは南防波堤基部の胸壁と北防波堤北隅寄りの胸壁が破損した, 南防波堤正面部と北防波堤先端部は殆んど被害がなかつた。

久遠港の波は 3-3 に述べたが, 波力計算には 16 時の沖波 $H=5.6\text{m}$, $T=9.5\text{sec}$ を用いる。波向は SW であ

図-17



る。潮位は図-10における江差の値 $+0.85\text{m}$ を用いる。

(a) 南防波堤基部の胸壁

破損した胸壁は岩しよの切れ目にあたる部分で、その細部は図-19に示したが、堤体と帯鉄で連結してあった。

広井式で波力を求めるに、前面水深 $h_0=5.88\text{m}$ であるから $H=5.6\text{m}$ となり、 θ は図-18に示した通り $\theta=45^\circ$ である。 $P \times A=23.4\text{t-m}$ 、転倒モーメントを帯鉄だけが受持つとすれば、外側の帯鉄(1本当り)に働く力 B_1 は、 $B_1=8.5\text{ton}$ となる。帯鉄の表面積が 390cm^2 であるから、帯鉄の附着応力 τ_{oa} は、 $\tau_{oa} < 21.8\text{kg/cm}^2$ となる。

衝撃圧の計算は $h_1=4.9\text{m}$ 、分布は B 型とした。 $P \times A=12\text{ton}$ から $B_1=3.3\text{ton}$ 、したがって $\tau_{oa} < 8.5\text{kg/cm}^2$ となる。

(b) 北防波堤先端部(胸壁残存)

北防波堤の断面を図-20に示す。この部分は図-18にみられる通り、南防波堤の蔭にあたり、波は廻折波を考えるのが至当であろう。廻折係数 $K=0.5$ として $H=2.8\text{m}$ 、 $h=5.85\text{m}$ であるから重複波になる。 $\theta=27^\circ$ を用いて重複波として計算すれば、胸壁に対する波圧の転倒、モーメント $M_p=1.6\text{ton-m}$ これに対して胸壁自重の抵抗モーメント $M_w=5.2\text{ton-m}$ 。北防波堤先端部は南防波堤の遮へい効果で被害を免れたことがわかる。

(c) 北防波堤北隅部(胸壁倒かい)

この部分は $\theta=49^\circ$ である。広井式によつて胸壁の転倒をしらべるに、この部分は南防波堤で遮へいされないから、 $M_p=19.3\text{ton-m}$ 、 $M_w=5.2\text{ton-m}$ となり、底面において、堤体との附着を考えない限り胸壁の転倒は当然である。附着応力を求めてみると、 $\tau_{oa} < 0.78\text{kg/cm}^2$ となつた。

5-5 豊浜港

豊浜港の平面図を図-21に示す。本港では、西防波堤乙部の胸壁が破損し、甲部は被害がなかった。岩しよの効果をあらわす好例と思う。豊浜では胸壁破損の時刻はわからない。ここは外洋の波をうけるから沖波は表-2における20時の値 $H=7.0\text{m}$ 、 $T=10.8\text{sec}$ 、波向 WSW を用いる。潮位は図-10で江差の値から、 $+0.50\text{m}$ とした。

図-21 豊浜港の平面図

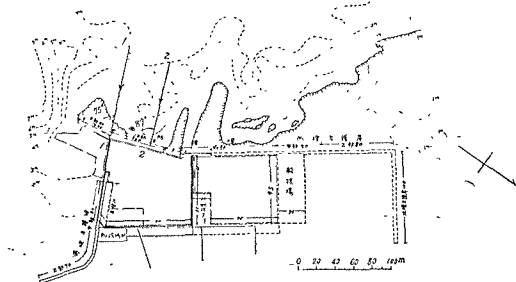


図-18 久遠港の平面図

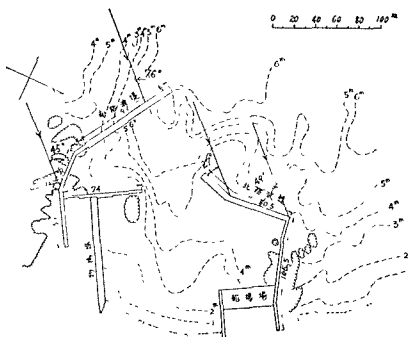


図-19 破損した胸壁

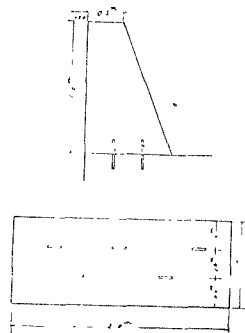


図-20 北防波堤の断面図

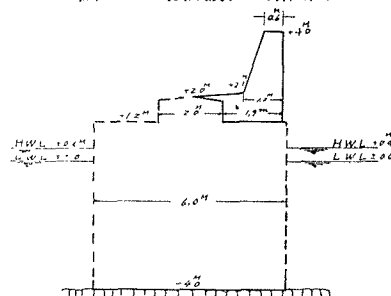
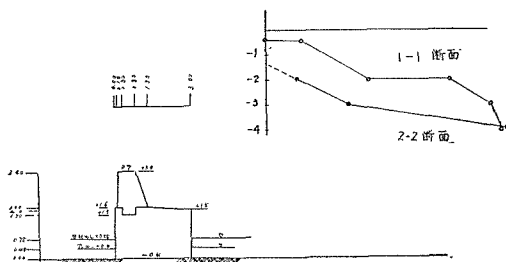


図-22 豊浜港西防波堤丙部横断面図



(a) 西防波堤乙部 (胸壁破損)

防波堤の断面および海底横断 (②—②断面) を図—22 に示す。広井式によれば、図—22 から $h=3.0+0.5=3.5$ m である。 $P \times A=7.06$ ton, $R=12.3$ ton, $M=3.70$ ton-m, および $W=0.042$ m³ から

$$\sigma < 8.8 \text{ kg/cm}^2$$

図—17 の $b-b$ 部はこわれていないから

$$\tau > 4.1 \text{ kg/cm}^2 \text{ (堤体コンクリート)}$$

衝撃圧で計算すれば、 $h_1=2.0$ m, $h_0=3.5$ m, A 型として、

$$\sigma < 7.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau > 3.4 \text{ kg/cm}^2 \text{ (堤体コンクリート)}$$

となる。

胸壁が破損した後も堤体は残ったから、岩盤と場所打との附着力 τ_{oa} を求めると、

$$\tau_{oa} > 0.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ (広井式)}$$

$$\tau_{oa} > 1.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (衝撃圧)}$$

となった。

(b) 西防波堤甲部 (残存部)

甲部は図—22 の ①—① 断面にみられる通り、岩しやうが高く、水深が減少して居り、胸壁の残存はこのためと考えられる。

広井式で計算すると、 $h=2.0+0.5=2.5$ m, $H_0=2.5$ m, および $\theta=75^\circ$ として、

$$\sigma > 5.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau > 2.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (堤体コンクリート)}$$

$$\tau > 1.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (胸壁コンクリート)}$$

衝撃圧で計算すると $h_1=0.9$ m, $h_0=3.5$ m, A 型分布として、 $M_p=1.30$ ton-m, $M_w=1.25$ ton-m となった。

5-6 神 恵 内 港

神恵内港の平面図を図—23 に示す。本港では 15 時過ぎに西防波堤の胸壁が破損した。したがって波力計算には、3-4、表—7 に示した 16 時の波、 $H=5.6$ m, $T=9.5$ sec, 波向 SW を沖波にとる。潮位は 16 時の岩内の値、+0.80 m を用いる。

$h=4.9+0.8=5.7$ m, $\theta=64^\circ$, $H=5.6$ m として図—24 に示した胸壁について広井式を適用すれば、破損は図—17 の $b-b$ 部でおこつたから、

$$\sigma > 10.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau > 1.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (胸壁コンクリート)}$$

$$\tau < 34 \text{ kg/cm}^2 \text{ (堤体コンクリート)}$$

となる。

衝撃波圧で計算すれば $h_1=h_0=5.7$ m, B 型分布として、

$$\sigma > 15.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau > 2.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ (胸壁コンクリート)}$$

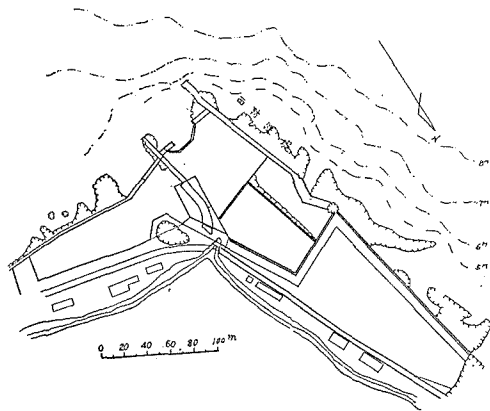
$$\tau < 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ (堤体コンクリート)}$$

となる。

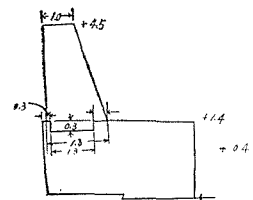
14 時以前に破損しなかつた理由を検討すると、表—7 で 14 時の波は $H=2.5$ m, $T=8.0$ sec である。14 時の潮位、+0.68 から $h=5.6$ m となり、重複波である。重複波の計算を行えば、 $M_p=3.2$ ton-m, $M_w=5.8$ ton-m で胸壁の破損は起こらない。

表—9 と前掲の諸施設の構造図とを照らし考えれば、今後の港湾設計に役立つ多くの点が見出されるのであろう。この中からどのような判断を引き出すかは、

図—23 神恵内港の平面図



図—24 神恵内港胸壁断面



施設の細部構造, 施行の方法にも関係することであり, 読者に任せたい。なお今回調査した諸港湾のコンクリートの配合の詳細は不明であるが, 福島港胸壁がセメント 230 kg/m³ 使用となっており, 他も同じ程度のものと思う。

5-7 計算結果の総括

本章に述べた計算結果をまとめると表-9 のようになる。

表-9 計 算 結 果

港 名	まさつ係数 f		コンクリート 曲 げ 強 度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$		コンクリート 剪 断 強 度 $\tau(\text{kg/cm}^2)$		鉄筋の附着力 $\tau_{oa}(\text{kg/cm}^2)$		岩盤と堤体 との附着強度 τ	
	広 井	衝 撃	広 井	衝 撃	広 井	衝 撃	広 井	衝 撃	広 井	衝 撃
松 前 港	<0.45 堤体と胸壁									
白 神 港			1.7> σ >0.8	1.2> σ >0.74						
福 島 港	0.62> σ >0.53	0.58> σ >0.49	≈ 8.2		(>1.5~ 2.0)					
久 遠 港							<21.8	<8.5		
豊 浜 港			8.8> σ >5.4	<7.3	4.1> τ >1.7 ~2.5	(>3.4)			>0.3	>1.5
神恵内港			(>10.7)	(>15.7)	34> τ (1.8)	50> τ (2.9)				

附 記

本報告は台風直後著者らが現地調査した結果を取まとめたものであり, 現地調査にあたっては著者らの他, 本学工学部土木教室中尾欣四郎, 菅原明, 両氏が参加した。また現地での構造物調査ならびに資料蒐集については, 北海道開発局および北海道庁の協力を得た。ここに記して厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 水路要報, 第20号, 昭和25年10月
- 2) Isaacs-Saville: A comparison between recorded and forecast waves on the Pacific Coast, Ocean Surface Waves, Ann. New York Acad. Sciences, Vol. 51 (1949) 応用水理学, 中II (丸善) P 516 に抄訳あり。
- 3) 2) と同じ
- 4) 5) と同じ
- 5) Pierson-Neumann-James: Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by means of Wave Spectra and statistics, U. S. Navy, Hydrographic Office, Pub. No. 603 (1955) 「大洋の波の新しい予報法」久保時夫, 磯崎一郎共訳, 気象協会 (昭32) がある。
- 6) 永井荘七郎, 久保弘一: 伊勢湾台風時の愛知県および三重県の北部海岸における最大波浪の推定, 土木学会誌, 45巻5号, 昭和35年5月
- 7) 石原藤次郎, 岩垣雄一, 村上正: 明石海峡北岸の侵蝕調査について, 第3回海岸工学講演会講演集 (1956), 水理公式集, P 259~260.
- 8) Bretschneider C.L.: Revision in Waves forecasting; deep and shallow water, Coastal Engineering, Dec, 1957. 土木技術資料 Vol. 1, No.4 (1959年4月) に込永正照による抄訳「浅海における海の予報」がある。
- 9) 6) と同じ
- 10) 福岡正己, 吉川秀夫: 伊勢湾台風による災害をみて, 土木技術資料 Vol. 2, No.2 (1960年2月)
- 11) 港湾工事設計要覧, 日本港湾協会 (1959)
- 12) 岸 力: 海岸堤防に関する研究 (7); 波の変形と砕波に関する実験的研究, 土木研究所報告 95号 (昭和32年3月)
- 13) 林泰造, 服部昌太郎, 林憲吉: 砕波の波圧と力積, 第5回海岸工学講演会講演集 (1958). 栗林隆, 宇田居吾一, 村木義男, 高橋基次, 石田直之: 防波堤に働く波圧について (第1報) 一羽幌港における測定—第5回海岸工学講演会講演集 (1958). 林泰造, 服部昌太郎, 林憲吉: 壁体の移動を考慮した場合の砕波の波圧の研究, 光易恒: 直立壁に働く全波力について, 第6回海岸工学講演会講演集 (1959)
- 14) 永井荘七郎: 防波堤に働く砕波の圧力に関する研究, 土木学会論文集, 第65号, 別冊 (3-3) 昭和34年12月