

港 湾 技 研 資 料

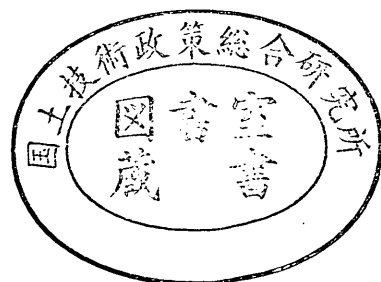
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 470 Nov. 1983

1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察

谷本勝利 高山知司
村上和男 村田 繁
鶴谷広一 高橋重雄
森川雅行 吉本靖俊
中野 晋 平石哲也

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	5
1. ま え が き	5
2. 地震・気象・海象	6
2.1 地震および津波予報	6
2.2 気象および海象	7
3. 津波の概況	11
3.1 津波の浪源域および伝播径路	11
3.2 津波のそ(邇)上高分布	15
3.3 津波による被害	15
4. 検潮記録による津波	22
4.1 検潮記録の収集および整理方法	22
4.2 第1波到達時間	26
4.3 最高潮位および津波偏差	27
4.4 周 期 特 性	32
4.5 波高計にみる津波記録	32
5. 各地の津波来襲および被害状況	52
5.1 北 海 道	52
5.2 青 森 県	79
5.3 秋 田 県	97
5.4 山形県以西	128
6. 浅海における津波の変形とそ上に関する実験	158
6.1 実験の方法	158
6.2 津波の変形およびそ上高	162
6.3 直立壁に働く津波力	183
6.4 実験結果のまとめ	189
7. 津波のシミュレーション計算	190
7.1 計算の方法	190
7.2 計算結果	195
7.3 計算結果のまとめ	199
8. 考 察	200
8.1 今回の津波の水理的特性	200
8.2 そ上高に影響する要素と実測そ上高との関連	208
8.3 津波に対する防波堤の効果	212
8.4 検潮井戸の津波に対する応答	217

8.5	構造物等の被災	223
9.	むすび	228
	参 考 文 献	230
付 録	1. 調査員の構成と行程	231
付 録	2. 検潮資料	233
付 録	3. こん(痕)跡調査表	287

Field and Laboratory Investigations of the Tsunami caused by 1983 Nihonkai Chubu Earthquake

Katsutoshi TANIMOTO¹⁾, Tomotsuka TAKAYAMA²⁾,
Kazuo MURAKAMI³⁾, Shigeru MURATA⁴⁾,
Hiroichi TSURUYA⁵⁾, Shigeo TAKAHASHI⁶⁾,
Masayuki MORIKAWA⁷⁾, Yasutoshi YOSHIMOTO⁸⁾,
Susumu NAKANO⁹⁾, Tetsuya HIRAISHI¹⁰⁾

Synopsis

The tsunami caused by the Nihonkai Chubu Earthquake ($M = 7.7$) hit the coasts along the Japan Sea on May 26, 1983. This tsunami took about one hundred person's lives and brought severe damages over wide area along the Japan Sea. For example, the sea wall which was under construction for a future reclaimed land at the outside of Noshiro Port was collapsed over 300 meters by the attack of tsunami.

Directly after the tsunami, the Port and Harbour Research Institute made the field investigations for the areas along the Japan Sea from Hokkaido to Noto Peninsula located at the middle of the Japan main island in cooperation with many concerning organizations. This report describes the actual conditions of tsunami attacks and damages on the basis of the field investigations and several hydraulic aspects of the tsunami on the basis of laboratory experiments and theoretical calculations.

This tsunami is the greatest among recent tsunamis attacked the Japan coasts including the Chilean Earthquake Tsunami in 1960. The highest run-up measured through the field investigations reaches to 13 meters above the ordinary sea level.

A remarkable aspect of this tsunami is that the tsunami attacked to the northern coasts of Akita Prefecture in breaking bores and undulation having a period of about 10 seconds was clearly observed succeeding the bore front. Such a transformation of tsunami through the propagation on a continental shelf to the coast was studied in a long wave channel of 163 meters. And tsunami forces on a vertical wall was also tested under the action of breaking bore.

According to the test results, it is concluded that the sea wall being under-constructed at the outside of Noshiro Port was collapsed by the action of great breaking bore. The action of breaking bore on the vertical wall is greatly different from the action of non-breaking tsunami, since the breaking bore brings very abrupt change of the situation particularly in the second action. The second bore approaches to the vertical wall through the very lowered water due to the ebb current of the preceding wave. Consequently, the vertical wall experiences very rapid rise of water at the front from the state of the almost lowest water level. This makes a great difference of water levels between the both sides of the vertical wall which produces a sufficient force to flow out it.

The numerical calculation of tsunami including the source area was carried out in order to investigate the macroscopic characteristics of the Nihonkai Chubu Earthquake Tsunami. According to the calculated results, the distribution of initial motion of tsunami starting from flood or ebb and the relative distribution of tsunami run-up height along the coasts were discussed in comparison with observed data.

Besides, the effect of peak cut by breakwaters against the tsunami and the damping of tsunami in a well for tide observations were discussed on the basis of theoretical calculations and observed data.

- 1) Chief of Breakwaters Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 2) Chief of Wave Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 3) Chief of Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 4) Chief of Coastal Observation Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 5) Chief of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 6) Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division
- 7) Member of Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 8) Member of Breakwaters Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 9) Member of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 10) Member of Wave Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察

谷本勝利¹⁾・高山知司²⁾・村上和男³⁾
村田 繁⁴⁾・鶴谷広一⁵⁾・高橋重雄⁶⁾
森川雅行⁷⁾・吉本靖俊⁸⁾・中野 晋⁹⁾
平石哲也¹⁰⁾

要 旨

昭和58年5月26日に発生した日本海中部地震津波について、北海道渡島地方から石川県に至る日本海沿岸の現地調査結果に基づく津波の来襲および被害状況、および水理模型実験や計算に基づく二・三の考察結果をとりまとめた。

本調査研究により、日本海中部地震津波の実態がほぼ明らかとなった。今回の津波はチリ地震津波以降の近年の津波の中では、そ(過)上高で見る限り最大であった。また、著しい特徴として、今回の津波は秋田県北部海岸に段波で来襲し、短周期変動を伴うものであったが、実験等によりその発生状況が明らかとなり、そ上や構造物への作用に関してのその工学的意義について知見を得た。短周期変動、すなわちソリトン分裂の出現は海岸へのそ上高については影響ないが、ある程度の水深の所にある構造物への作用に関しては大きな影響を有する危険性がある。ただし、これは段波状津波の付随的特性といえ、今回生じた能代港外港地区埋立護岸の被災も、基本的にはこの段波性津波の来襲にその原因を求めることができる。

今回の津波の巨視的特性を把握するため、浪源域からの津波のシミュレーション計算を実施した。これにより、押し波、引き波初動の分布、各地の津波の相対的大小関係などある程度説明することができた。

そのほか、今回のように周期の比較的短い津波に対しては、通常程度の港であっても防波堤の締切り効果があること、検潮井戸では津波による水位変動が減衰することなどが明らかとなった。

1. まえがき*

昭和58年5月26日正午秋田県沖北緯40°24′、東経138°54′付近を震央として発生した日本海中部地震(M=7.7)により、秋田港を中心として港湾施設等に甚大な被害が生じた。また、この地震は非常に大きな津波を伴い、秋田県、青森県、北海道渡島地方の日本海沿岸各地で多数の犠牲者が出、さらに日本海沿岸の広い範囲で津波による各種の被害が生じた。そのため、港湾技術研究所では運輸省港湾局、第一港湾建設局、第二港湾建設局、北海道開発局港湾部および土木試験所をはじめ、青森県、秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県の港湾管理者等、多くの機関の協力を得て、以下のように第4次にわたる

津波現地調査を実施した。

第一次調査 昭和58年6月3日～6月7日

秋田県秋田港から青森県小泊漁港まで。

第二次調査 昭和58年6月13日～6月18日

北海道函館港から岩内港まで、奥尻島を含む。

第三次調査 昭和58年6月20日～6月25日

青森県竜飛岬から秋田県秋田港まで。

第四次調査 昭和58年7月11日～7月15日

秋田県秋田港から石川県輪島港まで、佐渡島を含む。

これらの調査の構成員および行程については付録1に示したとおりである。

- 1) 水工部 防波堤研究室長
- 2) 海洋水理部 波浪研究室長
- 3) 海洋水理部 海水汚染水理研究室長
- 4) 水工部 海象観測研究室長
- 5) 海洋水理部 水理研究室長
- 6) 水工部 主任研究官(耐波工担当)

- 7) 海洋水理部 海水汚染水理研究室
- 8) 水工部 防波堤研究室
- 9) 海洋水理部 水理研究室
- 10) 海洋水理部 波浪研究室

* 執筆担当 谷本勝利

なお、上記のうち第一次調査は日本海中部地震被害の運輸省港湾局、港湾技術研究所、第一港湾建設局による合同調査団（団長第一港湾建設局御代田敬一技術次長）における津波班の調査であり、第三次調査は第一次調査で十分に調査できなかった所を中心に同地域を再調査したものである。

現地踏査は今回の津波の実態の把握、関連資料の収集、確認を目的としたもので、各地で津波来襲および被害状況の聴取、こん（痕）跡高の測量、検潮資料等の収集、確認などを行った。特に、今回の津波では港外の海岸と防波堤等で囲まれた港湾背後での最高水位が著しく異なることがあり、港内域における調査ばかりでなく、その両側海岸でのこん跡高の調査も努めて実施した。また、検潮記録は津波記録として非常に貴重な資料であるので、それがどのような条件下で得られたものであるかについても努めて確認を心掛けた。さらに、検潮記録については現地踏査の範囲ばかりでなく、運輸省第三港湾建設局、第四港湾建設局の協力を得て、両局管内の日本海沿岸についても収集した。

これらの現地調査によって今回の津波の来襲状況や大きさなど全ぼうがしだいに明らかとなり、さらに分析・検討すべき事項が抽出された。そのため、現地踏査結果を整理とりまとめるとともに、幾つかの事項について検討・考察を加えることにした。その基本的事項は比較的緩勾配の海岸における津波性状の解明とその作用の分析である。このため、163mの長水路において浅海における津波の變形とそ上に関する水理模型実験を実施した。また、今回の津波の巨視的な性状をより適確に把握するため、波源域を含めた津波のシミュレーション計算を実施した。

本報告は以上のような現地調査および室内における検討結果によって今回の津波の実態と特性を明らかにし、さらに防波堤の津波防止効果、検潮井戸の津波に対する応答、構造物等の被災について考察を加えたものである。

なお、今回の津波の北海道における概況については、北海道開発局によっても別に報告されている¹⁾。

2. 地震・気象・海象*

2.1 地震および津波予報

昭和58年5月26日12時00分、秋田県沖（40.4°N, 138.9°E）を震源とする、マグニチュード(M)7.7の大地震が発生した。気象庁はこの地震を、「昭和58年(1983年)日本海中部地震」と命名した。この地震による各地

の震度は図-2.1に示すとおりである²⁾。また、気象庁発表による、本震に続いて発生した余震の分布と推移を図-2.2、図-2.3に示す。一方、東北大学理学部地震予知観測センターが調査した余震の震源分布を図-2.4に示す。図中、大きな星印が本震、小さな星印が6月21日の最大余震(M6.9)である。本震の破壊域は、5月26日～5月31日の余震の震央分布図では南北に120kmくらい、東西に30～40km程度で、余震域の拡大した5月31日～6月26日の余震の震源分布図では、さらに大きめ、特に南北に長くなると考えられている³⁾。

この地震の発生にともない、気象庁の津波予報中枢である各気象官署は、表-2.1、図-2.5に示すように各沿岸に対して津波予報（津波警報および津波注意報）を発表した。なお、津波予報地方中枢では、図-2.6に示す津波予報図に基づき、震源位置と海域との関係および当該地域の特殊資料その他の情報を考慮して、震央距離および最大全振幅から、津波の有無あるいは規模を予想している。また、予想される津波については、表-2.2

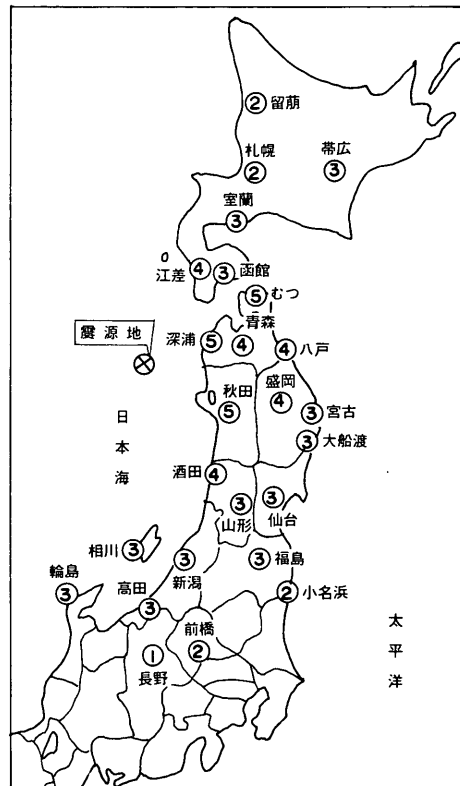


図-2.1 日本海中部地震の震度（気象庁²⁾による）

* 執筆担当 村田 繁

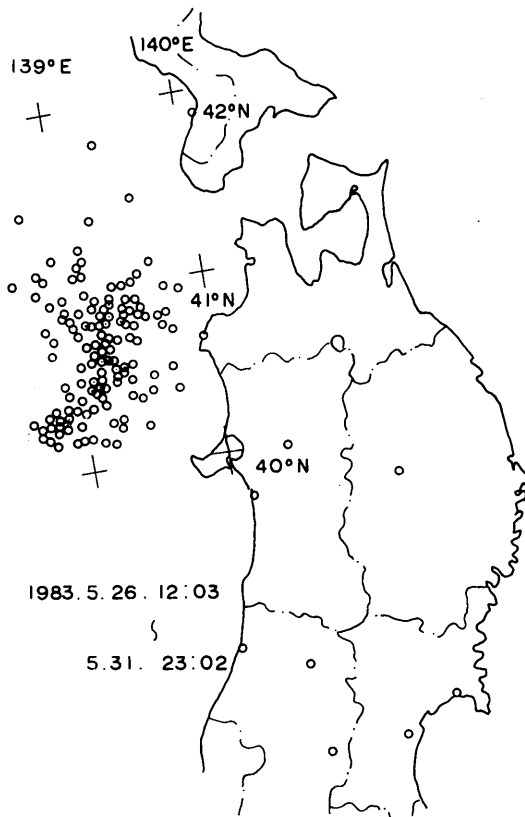


図-2.2 余震の分布(気象庁²⁾による)

の区分に従って津波予報が発表される⁴⁾

2.2 気象および海象

58年5月26日9時の天気図を図-2.7に示す。日本の東海上には、前線をともなう東北東に進んでいる低気圧(1000mb)があるものの、日本海のほぼ中央および北海道には、移動性高気圧(1022mb)があつて日本付近を覆っている。このため、日本海沿岸は晴となっている。また、同日12時の秋田測候所での風向・風速は、WNW、5m/sであつた。このように、日本海沿岸の地震発生時の気象は穏やかなものであつた。

次に、運輸省が実施している全国沿岸波浪観測(これについては4.5で後述)で測得された昭和58年5月26日12時での日本海沿岸での波浪分布を図-2.8に示す。これは、11時50分~12時10分の20分間の連続観測の有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ で表したものである。なお、秋田については、地震動の影響により12時00~12時10分の10分間は欠測となっているため、11時50分~12時00分の10分間の観測記録から求めている。これによれば、秋田、深浦では $H_{1/3} = 50$ cm程度、輪島、福井で $H_{1/3} = 1$ m程度で、 $T_{1/3}$ は全般に6秒以下となっている。このように、地震発生時における日本海中部沿岸の海象は、全般に比較的穏やかな状況下にあつたといえる。

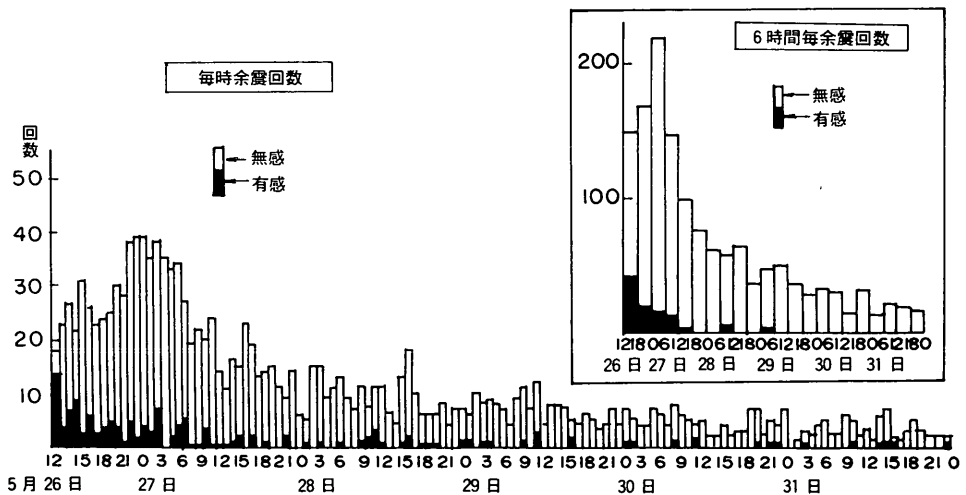
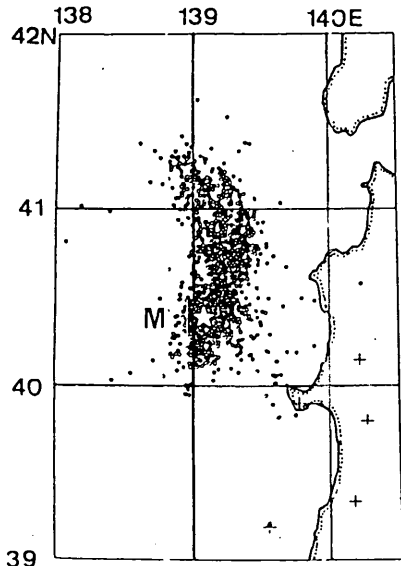
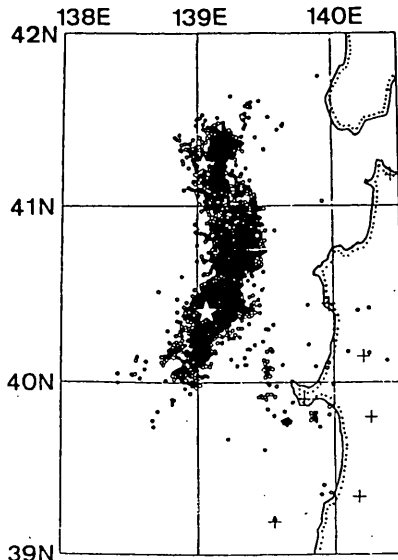


図-2.3 余震の推移(気象庁²⁾による)

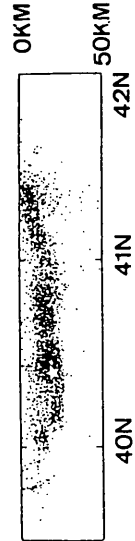
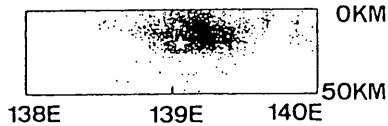


1983.5.26 12:00

5.31 17:25



39N



1983.5.31.17:37 - 6.26.06:14

図-2.4 余震の震源分布(乗富 他³⁾による)

表-2.1 発表された津波予報(気象庁²⁾による)

沿岸	北海道太平洋沿岸	北海道日本海沿岸	東北地方太平洋沿岸	東北地方日本海沿岸
津波警報		ツナミ		オオツナミ
		発表 12時14分	解除 20時59分	発表 12時14分 解除 20時58分
津波注意報	ツナミチュウイ		ツナミナシ	
	発表 12時14分	解除 20時59分	発表 12時14分	解除 20時58分
発表気象官署	札幌管区気象台	札幌管区気象台	仙台管区気象台	仙台管区気象台

沿岸	新潟県～輪島沿岸	輪島～福井県沿岸	山陰地方日本海沿岸
津波警報	ツナミ		
	発表 12時13分	解除 21時01分	
津波注意報	ツナミチュウイ		ツナミチュウイ
	発表 12時13分	解除 21時01分	発表 13時45分 解除 23時30分
発表気象官署	観測部地震課	観測部地震課	大阪管区気象台

表-2.2 津波予報の種類
(気象庁⁴⁾による)

予報の種類	予報略文	予報文
津波注意報	ツナミナシ	津波の来襲するおそれはありません。
	ツナミチュウイ	津波があるかも知れません。津波の高さは高いところでも数十センチメートル程度の見込みです。
	ツナミチュウイカイジョ	津波の心配はなくなりました。
	ツナミケイホウカイジョ	津波の危険はなくなりました。
津波警報	ツナミ	津波が予想されます。予想される津波の高さは、高いところで約2メートルに達する見込みですから、特に津波が大きくなりやすいところでは警戒を要します。その他のところでは数十センチメートル程度の見込みです。
	オオツナミ	大津波が来襲します。予想される津波の高さは、高いところで約3メートル以上に達する見込みですから、今までに津波の被害を受けたようなところや、特に津波が大きくなりやすいところでは、嚴重な警戒を要します。その他のところでも1メートルぐらいに達する見込みですから警戒が必要です。

(注)「津波の高さ」とは、当該津波の来襲地域において、津波によって潮位が高くなった時点におけるその潮位と、その時点で津波がなかったとした場合の潮位(平滑したもの)との差であって、津波によって潮位が上昇した高さをいう。

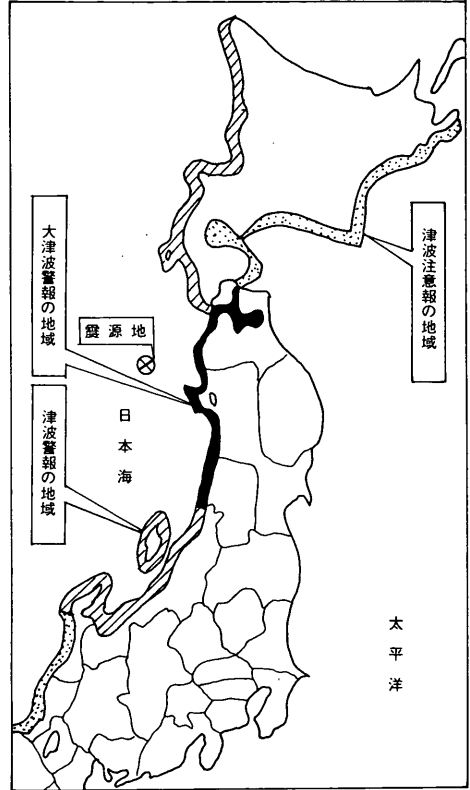


図-2.5 日本海中部地震の津波予報
(気象庁²⁾による)

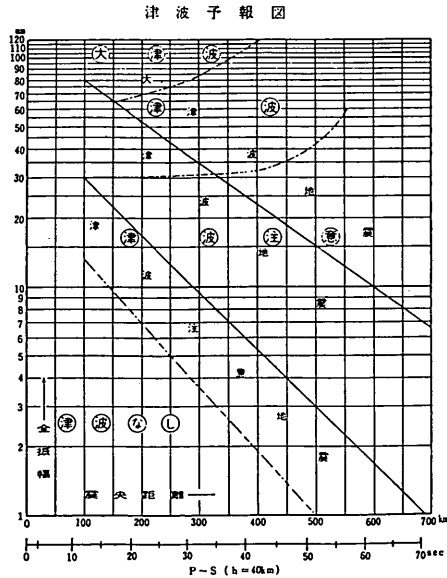


図-2.6 津波予報図(気象庁⁴⁾による)

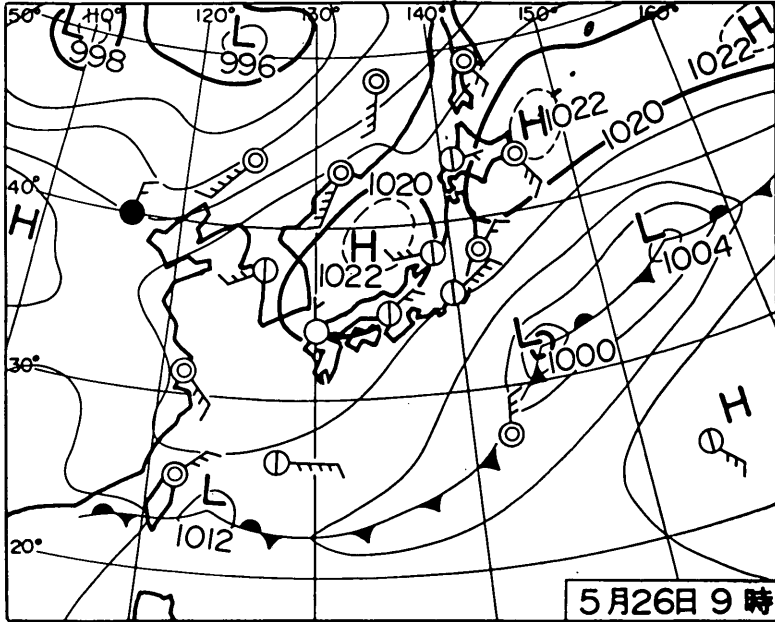


図-2.7 5月26日9時の天気図

表-2.3 5月26日の風向・風速

		時											
地域	風向 風速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		能代	風向	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE	ENE
	風速(m/s)	6	5	5	5	5	5	6	5	4	2	4	5
秋田	風向	SE	ESE	ESE	SE	SE	E	E	SE	SSE	WNW	WNW	WNW
	風速(m/s)	2	2	2	1	2	1	2	2	2	3	3	5
象潟	風向	WSW	SSW	SSW	SSE	—	NNE	SSE	SW	SW	WSW	WSW	WSW
	風速(m/s)	2	2	2	1	0	1	1	3	2	2	3	2

		時													最多風向 平均風速
地域	風向 風速	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
		能代	風向	×	NW	NW	NW	WNW	WNW	WNW	×	—	E	ENE	E
	風速(m/s)	×	5	5	4	3	3	1	×	0	2	2	2	3.8	
秋田	風向	W	WNW	NW	NW	NW	NW	NNW	NNW	NE	E	SE	E	SE	
	風速(m/s)	5	5	5	5	5	3	2	1	2	2	2	2	2.8	
象潟	風向	×	WNW	WSW	SW	SW	NNW	NNW	—	E	SE	ESE	SSE	WSW	
	風速(m/s)	×	2	2	2	2	2	1	0	1	1	1	1	1.6	

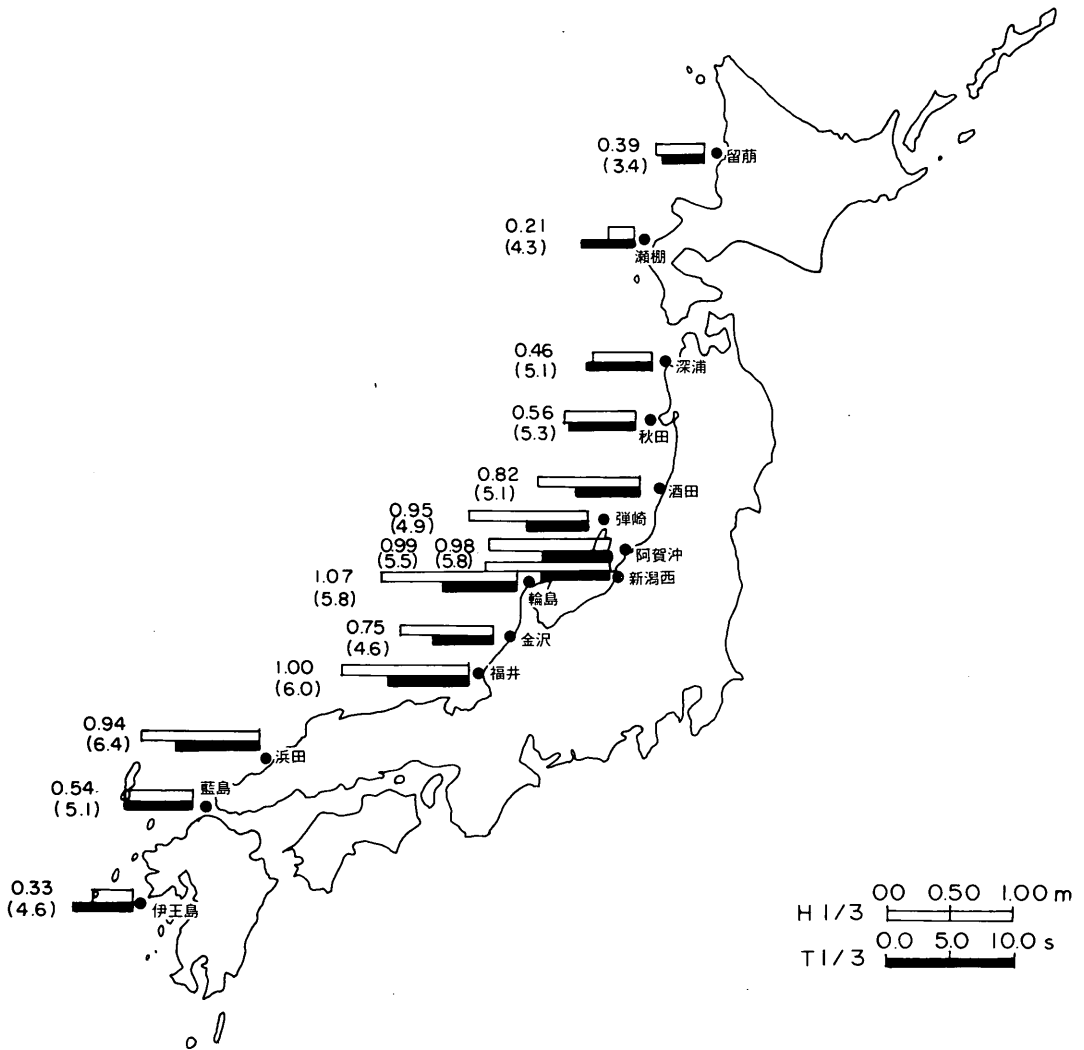


図-2.8 日本海沿岸の波浪 (5月26日12時)

3. 津波の概況

3.1 津波の浪源域および伝播経路*

日本海沿岸の各地の検潮所における検潮記録から津波の第1波の到達時刻が判読でき、これを後出の4.で整理している。このうち、輪島港、伏木港、両津港、酒田港、能代港、深浦港、函館港、松前港、江差港および小樽港における第1波到達時刻を基にして、津波の逆伝播図を描いて浪源域を求めた。

図-3.1はこれを示したもので、各地の地名に付した数字が検潮記録より求めた第1波の到達時刻である。図中、

破線は津波の伝播速度を \sqrt{gh} としたときの2分おきの波峯線である。実線で示した楕円状の領域が逆伝播図より求めた浪源域である。•で示した余震の分布と比較すると、余震域の分布と浪源域はほぼ重なっている。なお、余震は1983年5月26日より5月31日までに起こったものを収録した。

図-3.2は浪源域の外縁から法線方向に波が進むものと考え、屈折を考慮しながら津波の伝播図を求めてみたものである。ここに、浪源域から放射線状に延びている実線が津波の波向線であり、浪源域を囲む破線が5分おきの波峯線である。各地の数値は伝播図より求めた津波

* 執筆担当 平石 哲也

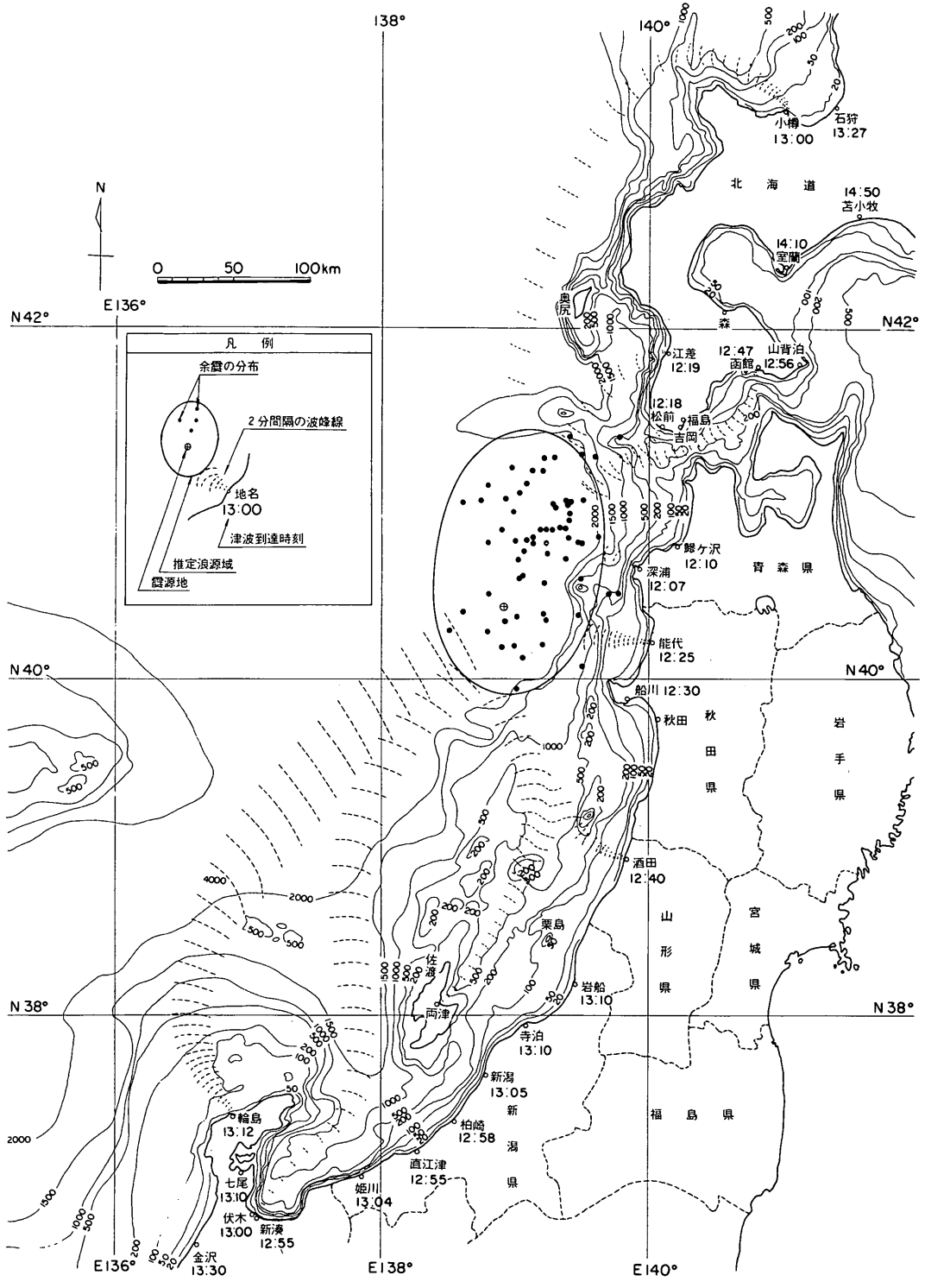


図-3.1 津波の逆伝播図

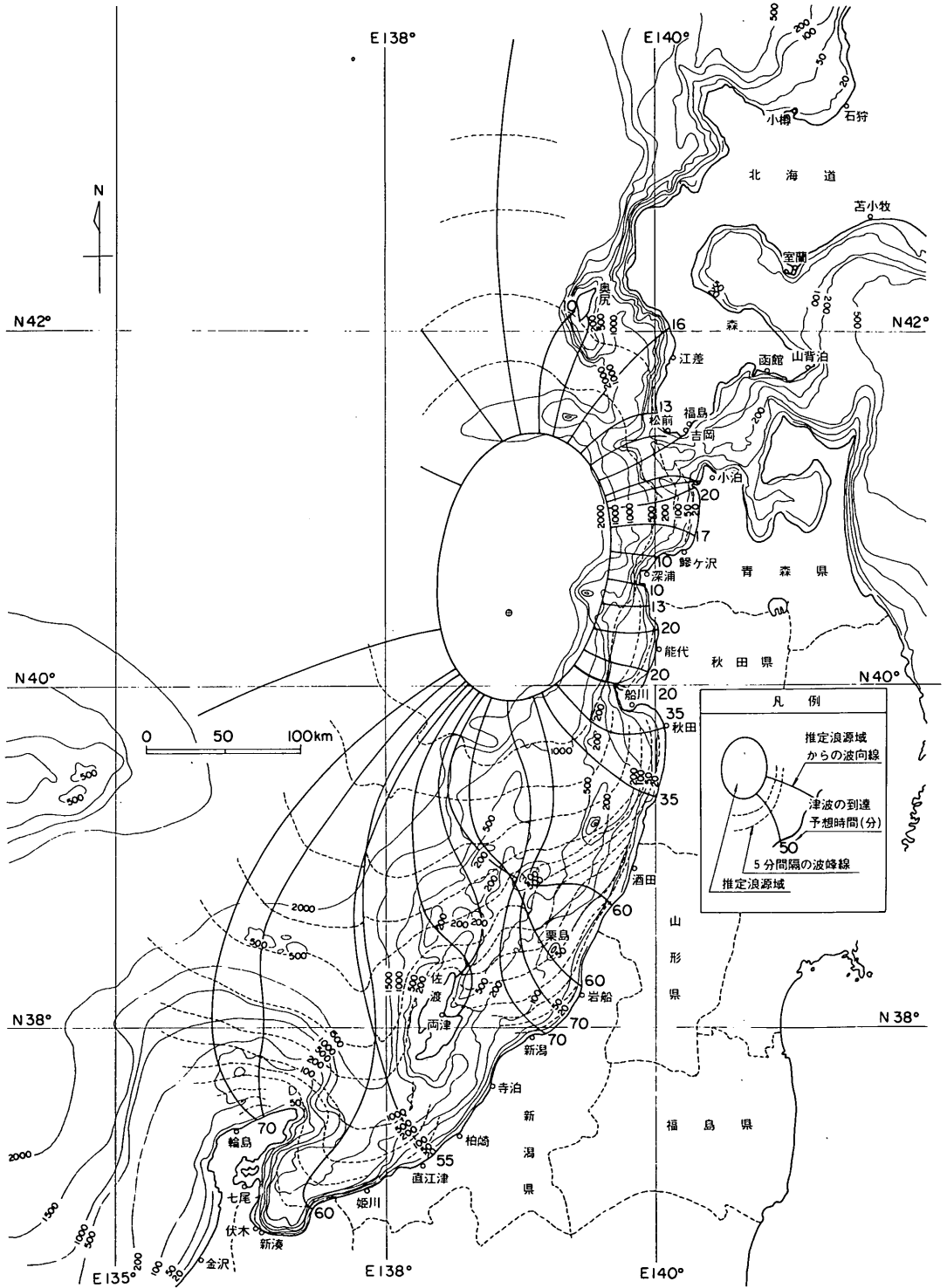


図-3.2 津波の伝播図(20km格子網における屈折計算結果)

の到達時間(分)である。佐渡島の北東に最上堆、鎌礁、向瀬などの水深 200 m 未満の浅瀬が点在しているため、波向線が複雑な変化をしている。屈折によって津波のエネルギーが集中する傾向にある地域は、北海道奥尻島南部、青森県小泊地区などであり、逆に分散する傾向にある地域は、北海道渡島地方、秋田県南部などである。後述するように、奥尻島南部、小泊地区は津波高が 5 m を超え、家屋、漁船の被害もかなり報告されており、逆に北海道渡島地方、秋田県南部は津波高が 2 m 以下であるので、屈折によるエネルギーの集中、分散と津波高の大きさには、ある程度の相関があると思われる。

また、新潟県北部の沿岸における津波の第 1 波の到達時間は、富山県沿岸に比べると、浪源域からの距離が小さいにもかかわらず 10 分程度長くなっている。この傾向は

後述する検潮記録とも一致する。これは、富山県沿岸に到達する津波は、佐渡島北方の 1000~2000 m の水深の深い海域を伝播するために速度が 100m/s~140m/s と大きいのに比べて、新潟県北部に到達する津波は佐渡北東の 200~500m の比較的水深が浅い海域を伝播するために伝播速度が 50~100 m/s と小さいことから説明できる。

この図-3.2 は日本海東部全体における伝播のようすを示した図であり、屈折計算の格子間隔を 20 km としたものであるので、津波のそ上高が特に大きかった青森県西部~秋田県北部における伝播のようすは詳しく表現できていない。そこで、男鹿半島から竜飛崎までの海岸への津波の伝播のようすを、格子間隔を 4 km にとり詳しく求めたのが図-3.3 である。

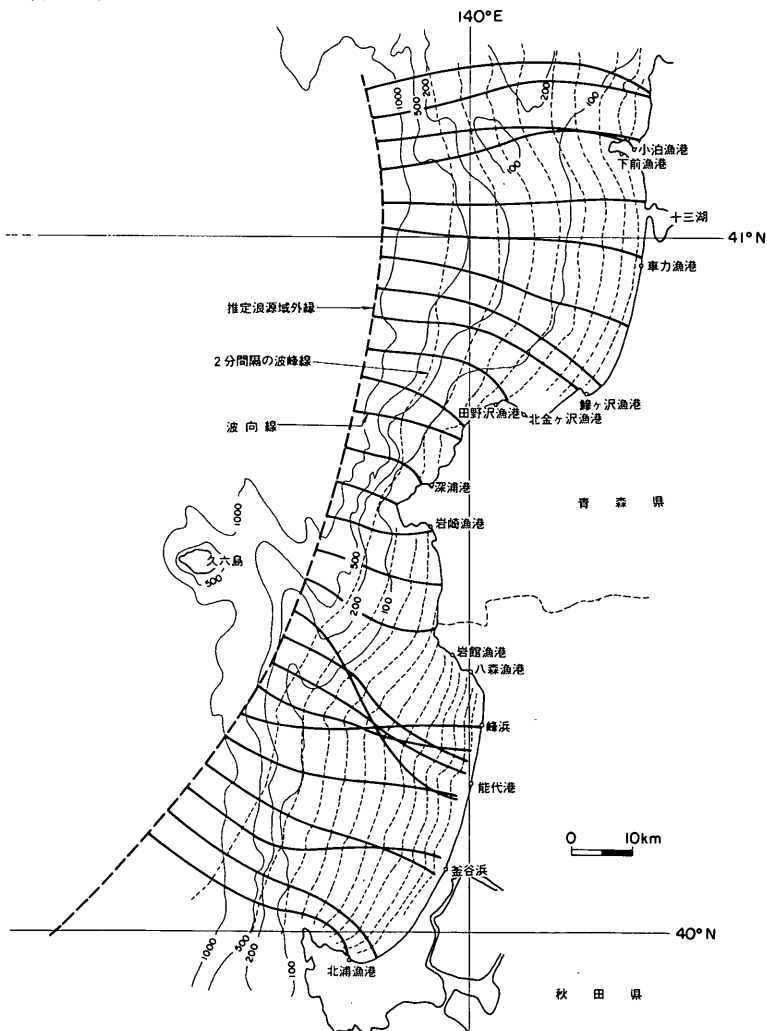


図-3.3 津波の伝播図(4km格子網における屈折計算結果)

図-3.3において太い破線が浪源域の外縁である。太い実線は、浪源域の外縁から法線方向に発した津波の波向線である。細い波線は2分おきの波峯線を示している。図-3.3から判かるように津波のエネルギーが屈折によって集中する傾向があるのは小泊、能代港周辺、能代南方の釜谷浜である。逆に、十三湖から鯉ヶ沢に至る七里長浜では津波のエネルギーは屈折によって分散する傾向を示している。

なお深浦港においては、検潮記録では12時07分に第1波の津波の初動が認められるが、後述する波高計の記録では12時04分に第1波の津波が引き波で現れている。波高計から検潮所までは約1800kmで、この間の平均水深を20mとすると、波高計設置点通過後約2分で津波の第1波が検潮所に到達することになる。したがって、深浦港への第1波の到達時刻は12時06分と考えることも可能である。深浦の到達時刻を12時06として逆伝播図を描くと、浪源域の東側の外縁は約10km程度東寄りになる。検潮記録は紙の巻き取り速度が遅いため、正確な時刻が読み取りにくいなどの難点がある。しかしながら、他の地点では波高記録がないため、あるいはあっても津波の第1波の初動を記録していないため、検潮記録に頼らざるを得ない。そこで、他の地点での津波到達時刻との整合性を保つため、本章では、深浦における津波の第1波到達時刻を12時07分として浪源域を求めたものである。

3.2 津波のそ上高分布*

図-3.4は現地踏査による津波のそ上高分布を示したものである。調査箇所は北海道27、青森県17、秋田県36、山形県以西31の合計111箇所であり、こん跡高の調査・測量地点は総計299点となる。ここに、そ上高は基本水準面(C.D.L)上の高さで定義しており、たとえば測量時点での海面からの高さとそのときの推定潮位を補正して求めたものである。これらのそ上高は得られたデータすべてを示したもので、そ上先端での値ばかりでなく、途中の最高水位の高さも含まれており、また信頼性のやや低い値も含まれている。詳しくは5.各地の津波来襲および被害状況および付録3のこん跡調査表を参照されたい。また、図中港外でのそ上高と港内でのそ上高を一応区別してある。これは防波堤などの外郭施設の外にあるか、背後にあるかによって区別したものである。

この結果から、今回の津波そ上高の概略を述べると以下のとおりである。

まず、北海道の渡島半島日本海沿岸では南端(松前半

島南岸)付近の小島漁港、吉野海岸、福島漁港などで4mに近い高さとなっているが、他は2m程度以下の所がほとんどである。これに対し、奥尻島沿岸では全体にやや高くなり、西岸の神威脇漁港で最大5mとなっている。

青森県では津軽半島北西部の寝内、小泊漁港近辺において4~5m程度、小泊岬南岸から大戸瀬崎にかけては3m程度であるが、十三湖だけ6m以上と大きい。深浦港では4m程度であり、県境に近い大間越では再び6m程度と大きくなっている。

秋田県北部から男鹿半島北岸にかけては全体に大きい。北部の八森海岸では4m程度から大きい所で10m以上に達する。峰浜海岸ではさらに大きくなり7m程度以上、最大では13mを越す高さとなっている。能代海岸で5~7m、八竜海岸で5~10m、琴浜海岸(五里合付近)で4~7m程度である。男鹿半島では北岸で比較的大きく3~7m程度であり、西岸で2~5m程度である。男鹿半島南岸から山形県境にかけては3m程度以下であるが、松ヶ崎漁港では最大6mに達している。

山形県以西においては2m程度以下がほとんどであるが、佐渡島北西端付近に位置する藻浦漁港や関漁港で最大5m程度と大きい。また、石川県能登半島北岸の狼煙漁港や輪島港では2mを若干超えている。

以上、今回の津波そ上高の概略値である。津波のそ上高は浪源域からの距離や方向、海底地形など巨視的要素のほか、海浜地形や障害物の有無など微視的あるいは局的要素によって著しく異なる。特に、青森県小泊漁港、秋田県八森漁港、能代港、北浦漁港等においては、港内背後地でのそ上高が港外海岸でのそ上高より明らかに小さい。これらの点については8.3で考察する。

なお、今回の津波による最大そ上高は秋田県峰浜村水沢川右岸域での14m程度といわれている**

こうした今回の津波のそ上高は1964年の新潟地震津波(最大5m程度)⁵⁾、1968年十勝沖地震津波(最大5m程度)⁶⁾、1973年根室半島沖地震津波(最大5.5m程度、偏差約5m)⁷⁾をはるかに上回り、1960年のチリ地震津波(最大6m程度)⁸⁾よりも大きい。

3.3 津波による被害***

(1) 一般被害

表-3.1は非常災害対策本部がまとめた昭和58年6月15日現在での地震・津波による人的被害、住家被害および船舶被害を示したものである。ただし、地震動と津波来襲による被害を区別していない。特に、住家被害の全

* 執筆担当 谷本勝利

** 東北大学首藤伸夫教授より私信

*** 執筆担当 谷本勝利

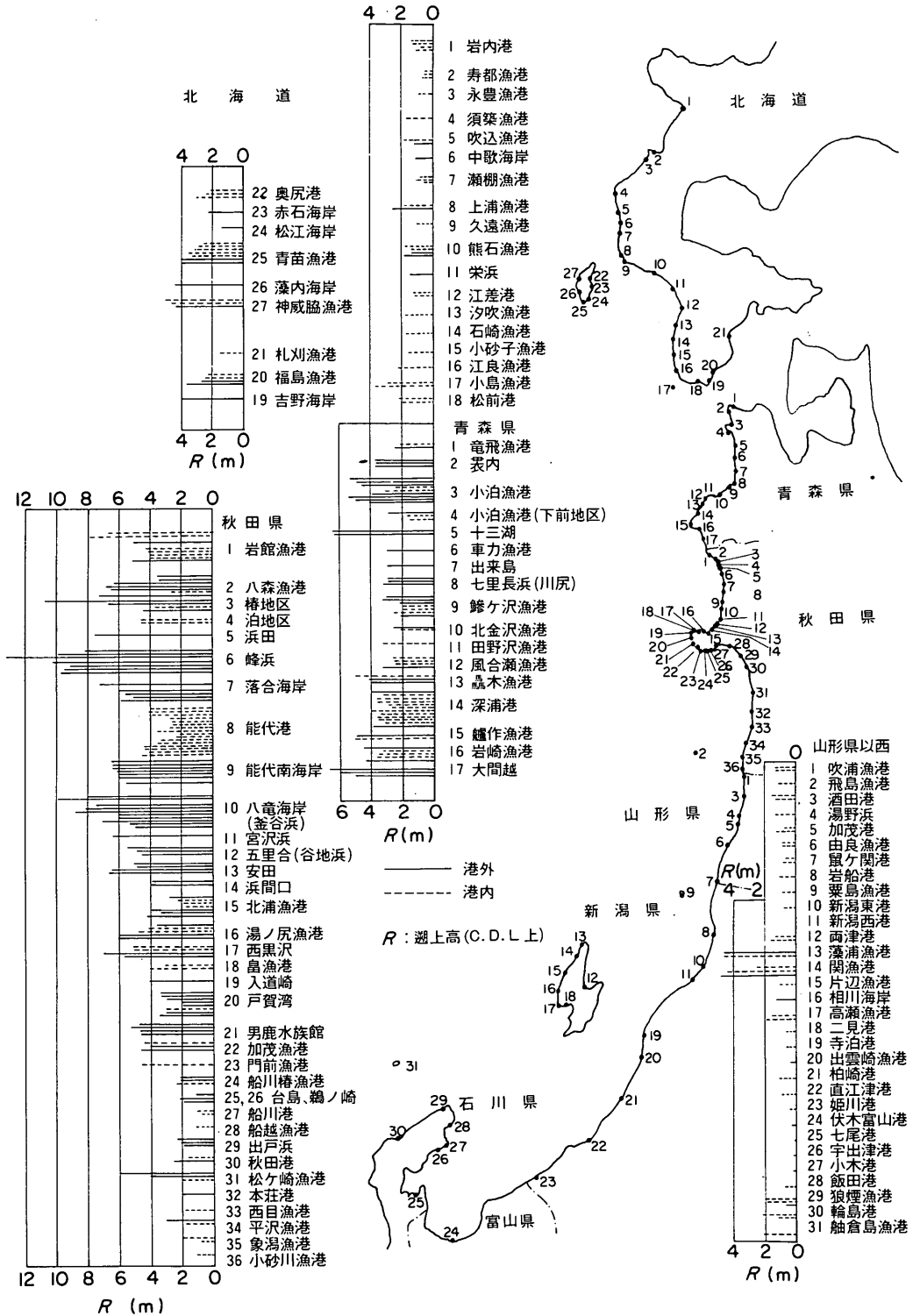


図-3.4 そ上高分布(C.D.L上)

表-3.1 日本海中部地震被害（昭和58年6月15日12時現在）

区 分	単 位	北海道	青森	秋田	山形	新潟	石川	京都	兵庫	鳥取	島根	山口	計
人的被害	死 者	人	4	17	80								101
	行方不明者	〃			2								2
	負 傷 者	〃	24	25	234		2	3			5		293
住 家 被 害	全 壊	棟	5	419	968								1,392
	半 壊	〃	16	782	1,799		2						2,599
	一部破壊	〃	69	2,556	2,503								5,128
	床上浸水	〃	27	66	79		3	1			141		317
	床下浸水	〃	28	152	277		2	3	8		277		747
	非住家	〃	29	2,192	2,195		4	15			103		4,538
	り災世帯	世帯	48	1,267	2,928			5	1			139	
り災者数	人	162	5,412	10,709			25	3			330		16,641
船舶被害	隻	637	853	679	23	40	19	36	27	4	319	9	2,646

壊、半壊、一部破損の中には地震動による被害が多いと考えられる。これらの被害は震源地に近い秋田県、青森県に多く、北海道がこれらに次ぐ。また、島根県でも津波による被害が比較的多い。

今回の地震・津波による被害の特徴の一つは死者・行方不明者など犠牲者が多いことである。このうち、地震動による死者は能代市、秋田市において数名であるので、ほとんどが津波による犠牲者である。図-3.5は新聞情報等を基に津波による死者・行方不明者の分布をまとめてみたものである*。その内訳けは、能代火力発電所用地護岸工事など工事従事者が約40%、磯釣り中の人達が約20%、加茂青砂での遠足児童の例のように海岸での行楽の人達が約20%、漁船や釣り船の転覆などによる人達が約10%、さらに峰浜村の例のように農作業中の人達が約5%である。いずれも集落等から孤立して居た人達である。図中海岸の沖に示してある帯の厚さは、今回のこん跡調査による港外海岸でのその上高さの概略値を相対的に表したもので、数値はその概略値(m)である。

住家被害のうち浸水家屋は津波によるものと思われるが、秋田県、青森県、北海道のほか、島根県、京都府、石川県、新潟県にも生じている。このほか、秋田県を中心に田畑等への津波侵入による農作物の被害もあった。

津波による漁船等船舶の被害は多く、1道1府9県で2646隻となっている。

そのほか、一般被害として乗用車等車の流出も各地に生じていた。

(2) 施設等の被害

港湾や海岸施設等の被害には以下のようなものが認め

られた。

- ① 水面貯木場からの木材の流出〔秋田港〕
- ② 護岸、防波堤等の倒壊〔能代港外港地区埋立地ケーソン護岸（建設中）、岩館漁港ブロック式波除堤、小泊漁港直立消波ブロック波除堤、青苗漁港試験用波除堤、神威脇漁港波除堤先端、上浦漁港北防波堤（方塊ブロック積）先端〕
- ③ 離岸堤等消波ブロックの散乱〔門前漁港、八森海岸〕

このうち防波堤等の倒壊は能代港外港地区埋立護岸の例を除いていずれも副堤あるいは港内波除堤に生じたもので、通常の波浪の作用はそれほど大きくない所に位置していたものである。津波の場合にはそうした位置でも充分な破壊力をもって侵入するので被害が生じたものと思われる。

以上のほか、秋田県の落合海岸や宮沢海岸で階段護岸の一部陥没が見られた。これが地震動によるものか、津波によるものかは不明であるが、津波により冠水しており、洗掘を受けたことは間違いない。また、五里合漁港北側の八地川堤防欠壊、小泊漁港北側海岸堤防の崩壊なども認められた。

以下、これらの被害のうち秋田港における木材流出、能代港外港地区埋立護岸（火力発電所用地護岸）の被災状況についてやや詳しく述べる。

(3) 秋田港における木材流出**

秋田港においては水面整理場および旧雄物川沿いの両岸に約28,000本の木材が貯木されていた。そのうち、津波によって15,000本が流出する被害が生じた。水面整理

* 一部未確認

** 第一港湾建設局新潟調査設計事務所及川研調査課長が6月8日に木材業者にヒヤリングした結果に基づく。

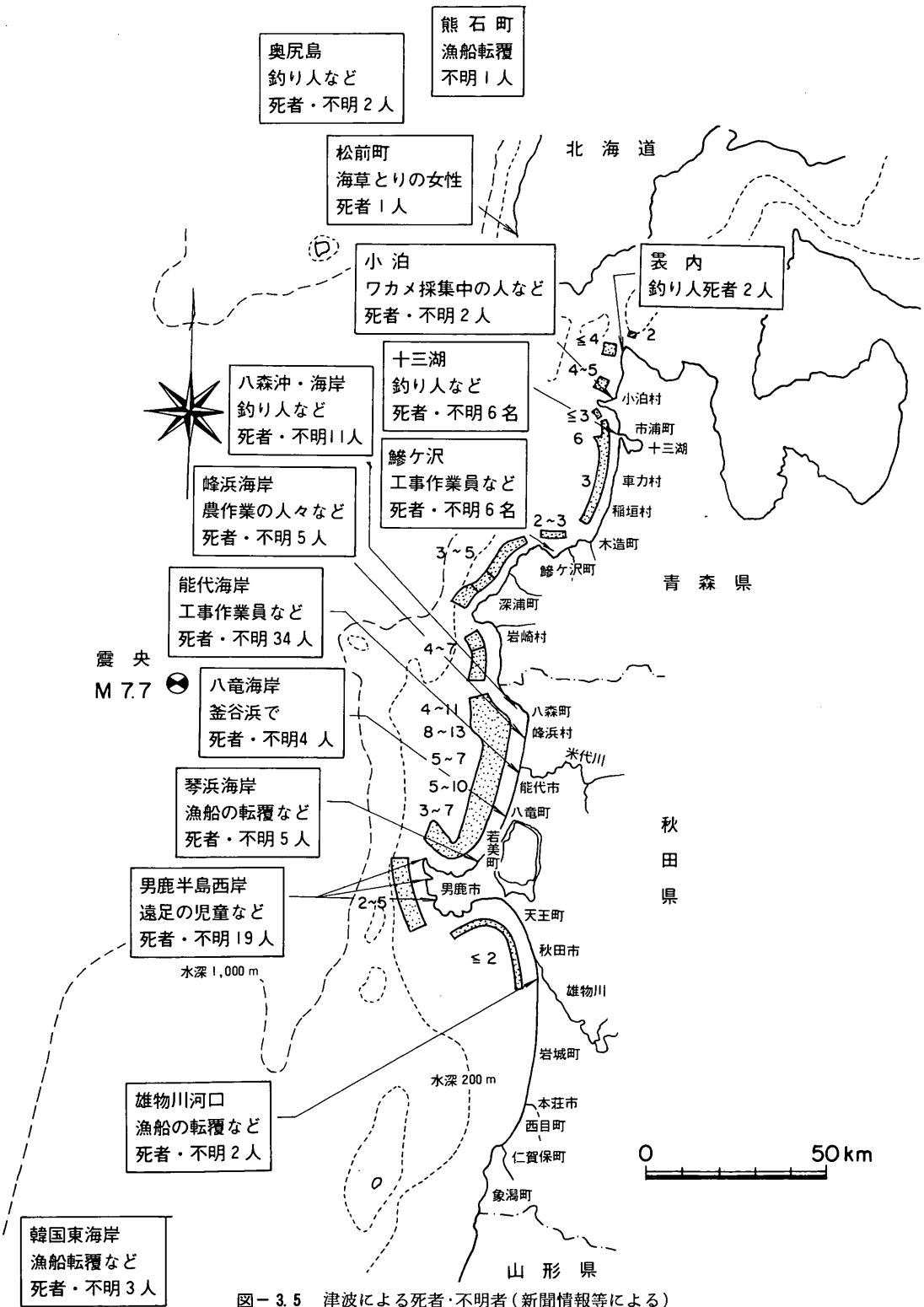


図-3.5 津波による死者・不明者 (新聞情報等による)

場には 6000~7000本あったが、津波後残っていたのは 2割ぐらいということである。

流出木材の回収状況は以下のとおりである。

港内回収	13,350 本
港外流出 回収	643 本
不可能	約50 本

以下、木材業者からヒヤリングした木材の係留状況、流出状況を述べる。

図-3.6 は標準的な木材係留方法を説明したものである。木材は護岸上の $\phi 24\text{mm}$ ワイヤロープからとった $\phi 16\text{mm}$ のロープ（長さ50m）に約45本を係留する。ロープと原木の接続は図示しているように円環とくさびによる。くさびの長さは12cm 程度で、木材に 8~10cm 打込む。この接続は原木 1本あたり 1箇所である。

流出の原因は $\phi 16\text{mm}$ のワイヤロープの切断、円環の切断、あるいはくさびの抜けであるが、これらの内訳は明らかでない。港内における流れの状況としては、50馬力の船は全開しても現位置に届まるのが精一杯でさかのぼることは無理であったけれども、150馬力の船であれば流れにさからって進むことができたということである。なお、昨年一年間で荒天時に 3本流出したことがあるが、その原因はくさびの抜けであった。

流出の状況については航空写真にも認められるが、ヒヤリングによれば次のとおりである。（図-3.7 参照）。

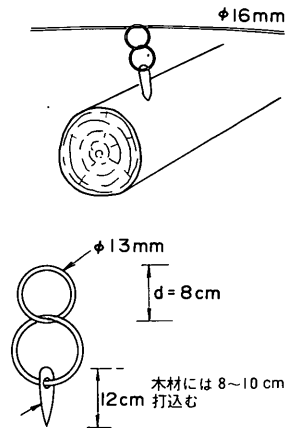
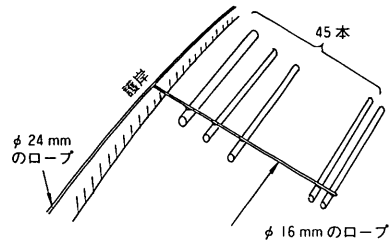


図-3.6 木材の係留方法

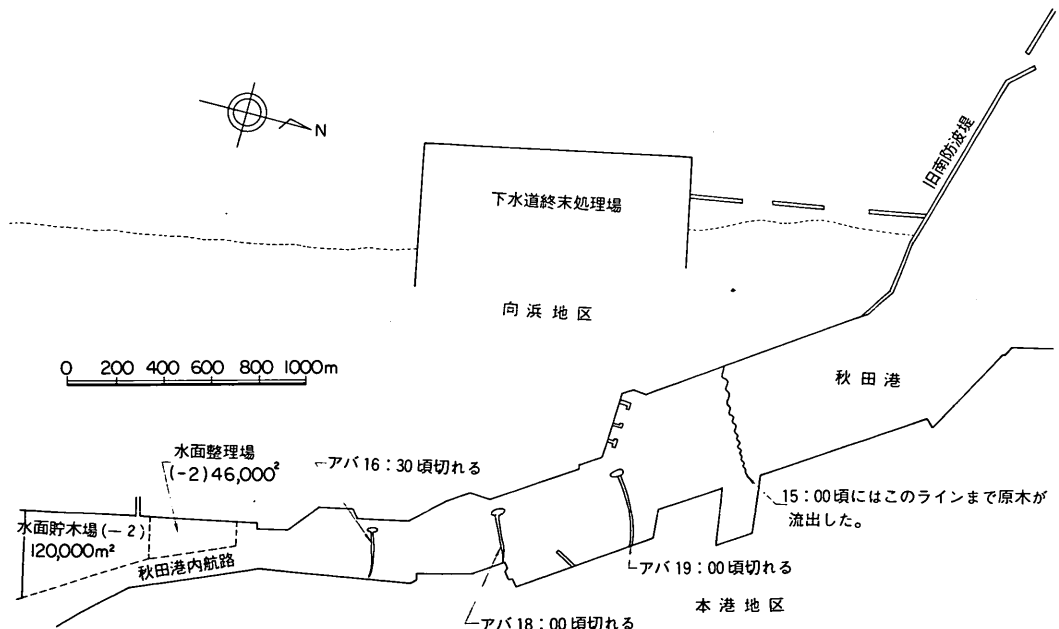


図-3.7 秋田港における木材の流出

15:00 頃から流出を防止するための対策を講じた。このころには北ふ頭(-7.5m)と向浜2号(-12m)を結ぶ線まで原木が達していた。そこで、木材を結び付けたロープを岸壁と船の間に張って流出防止を図った。これをアバと呼ぶそうであるが、途中で切れてしまうとその下流に次のアバをつくり、徐々に港口のほうへ移っていったということである。

(4) 能代港外港地区埋立護岸(建設中)の被害

能代火力発電所用地は能代港南海岸の外港地区に埋立造成される予定で、そのための護岸を建設中であった。これが津波の来襲を受け、多数の工事従事者に死者、負傷者が出るとともに、建設中の護岸の一部が欠壊したり、滑動して甚大な被害を生じた。写真-3.1は当日の15:30ころに撮影された空中写真であり、直立部の倒壊水没、滑動の状況が認められる。

図-3.8はこれの平面図を示したものである。前面護岸は火力用地造成工事の2-5工区、3-5工区、4-5工区、および灰捨護岸建設工事の1-5工区から成り、1-5工区の南端側200mを残してケーソンが据付けら

れ、一部前面消波工および裏込め栗石が施工されていた。

図-3.9は火力用地護岸の完成時標準断面図(図-3.8中のA-2区間)である。ケーソンは長さ20m、幅11m、高さ8.5mで、フーチング付下幅は125mである。A-1区間およびD区間はパラペットの天端高のみこれと異なる。前面護岸の北側端を基点として21かん(図)め、すなわちNo.21までは+5.0m、No.35までは+4.0mまで上部工が打たれ、前面消波工も同高さまで施工されていた。また、背後裏込め栗石はNo.32までは2.5m、No.35までは-2.0mまで施工されていた。この区間では被害が生じていない。

No.36からNo.50の間は、消波工、裏込め栗石は未施工で、中詰め砂を投入し、フタコンクリートを施工しただけのケーソンから、上部工を+4.0mまで打設したケーソンまで種々の段階のものが混在していた。これが大きく破堤した区間である。たとえば、図-3.10はNo.39の状況を示したものであるが、ケーソンは原位置から38m堤内へ移動し、転倒している。また、図-3.11に示したNo.46のケーソンは最も大きく移動したもので、約74

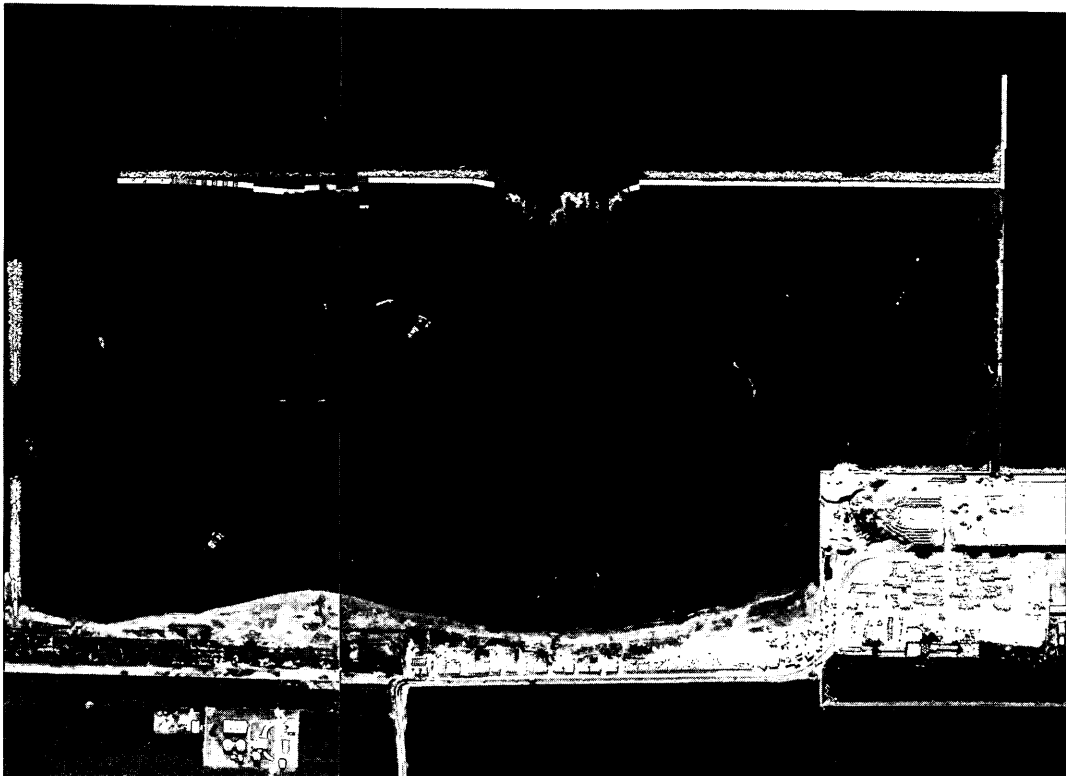


写真-3.1 能代火力発電所用地護岸の空中写真(国際航業株式会社提供)

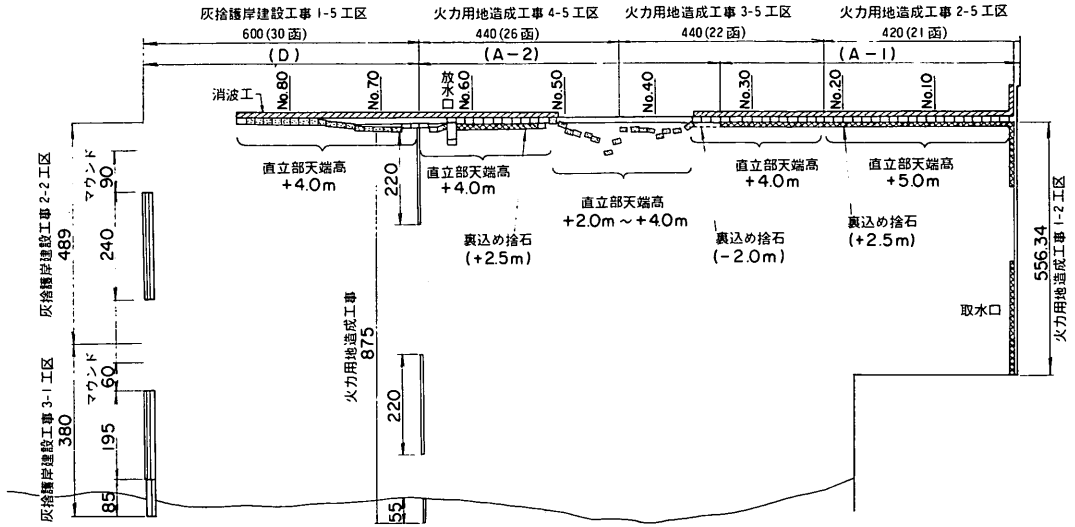


図-3.8 能代港工業用地造成護岸（能代火力発電所用地）の被災状況

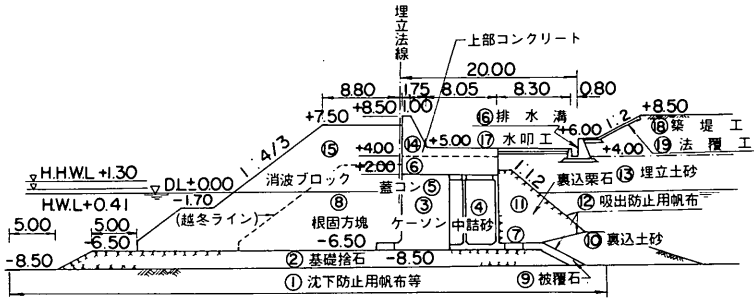


図-3.9 護岸標準断面（A-2完成時）

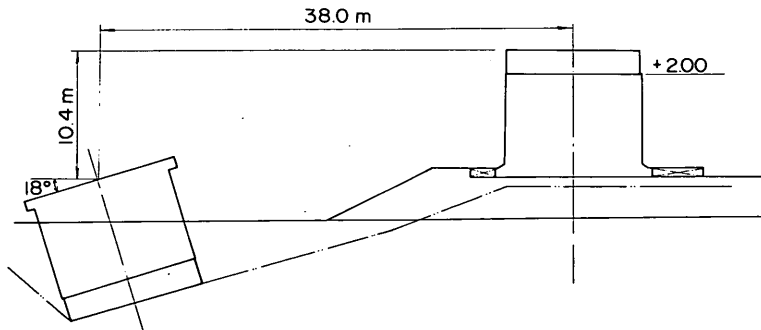


図-3.10 No. 39号かん被災状況

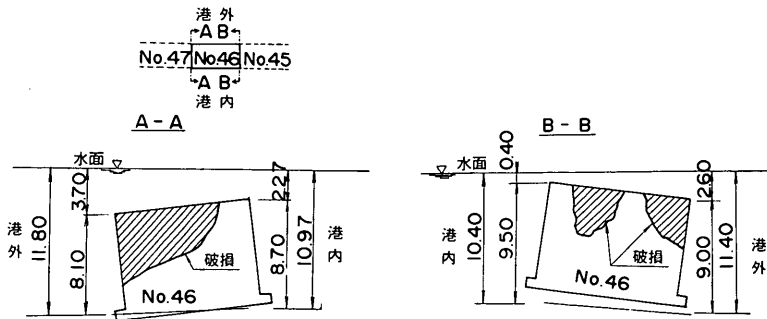


図-3.11 No.46号かん被災状況

・m堤内側に流されている。こうしたケーソンは側壁が破損しており、使用不可能のものが多く。

No. 51から放水口の間は、上部工+4.0mまで打設され、かつ消波工、裏込め栗石（No. 51を除く）が施工されていた区間で、端部のNo. 51を除いて被害が生じていない。

放水口より南側のNo. 63～No. 85の区間は直立部の天端高+4.0mで、同高さまで消波工が施工されていた区間である。しかし、裏込め栗石は施工されておらず、端部のNo. 85を除いて0.15～21.5mの滑動が生じた。図-3.12、3.13はこの区間で最大滑動量を示したNo. 68と比較的小さかったNo. 80の状況を示したものである。

以上のように滑動あるいは倒壊は裏込め栗石未施工の区間を中心に生じていることが指摘できる。これらの原因等については8.5で考察する。

なお、秋田県の調査によると、これらの護岸上作業員は大半が第1波で海に投げ出され、少数は第2波で落下

したのに対し、船上の作業員が落下したのは第2波、第3波めであったそうである。護岸の欠壊は第2波以前であるが、第1波めか第2波めかは意見がまちまちではっきりしない。後述する考察の結果では第2波めでないかと推測される。

4. 検潮記録による津波

4.1 検潮記録の収集および整理方法*

今回の調査においては、津波来襲時の検潮記録を可能な限り入手するように努めた。記録を収集した地点を図-4.1に示す。北海道では、利尻島の杵形から太平洋沿岸の浦河まで16地点、本州では青森県の鯉ヶ沢から島根県の浜田まで43地点、九州では5地点、合計すると64地点になる。これらの地点の検潮所はほとんどが海岸もしくは河口に設置されているが、河川の下流、河口近くに設置されていて津波の影響を記録しているもの（松ヶ崎、帝石橋左岸）も含まれている。収集した検潮記録については付録2を参照されたい。

これらの検潮所（水位観測所）の名称、所在地、位置、所属、管理者、検潮儀形式の一覧を表-4.1に示す。検潮儀の形式はフース型が多い。全国検潮所一覧（改訂版⁹⁾によれば、各検潮儀の特長は以下のとおりである。ロールおよびフース型の特長は感度が高く、読取り、取扱いが簡単なことである。ケルビン型は振子時計を使用しており、精度が高いのが特長である。G S Iはフース型を改造したものである。ケルビンおよびG S Iは国土地理院の検潮所で使用されることが多い。水研61型、62型は記録が2種類の縮率1/50と1/5で書かれており、水位変化の大きい所でも正確な読取りができる。これは建設省所轄の河口近くの水位観測所で使用される場合が多い。以上の検潮儀はフロートにより、水面の変動を察知する

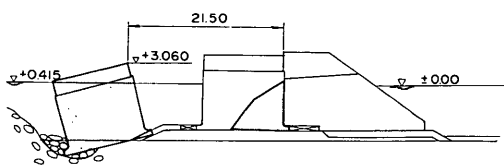


図-3.12 No.68号かん被災状況

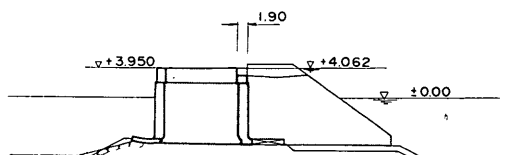


図-3.13 No.80号かん被災状況

* 執筆担当 森川 雅行

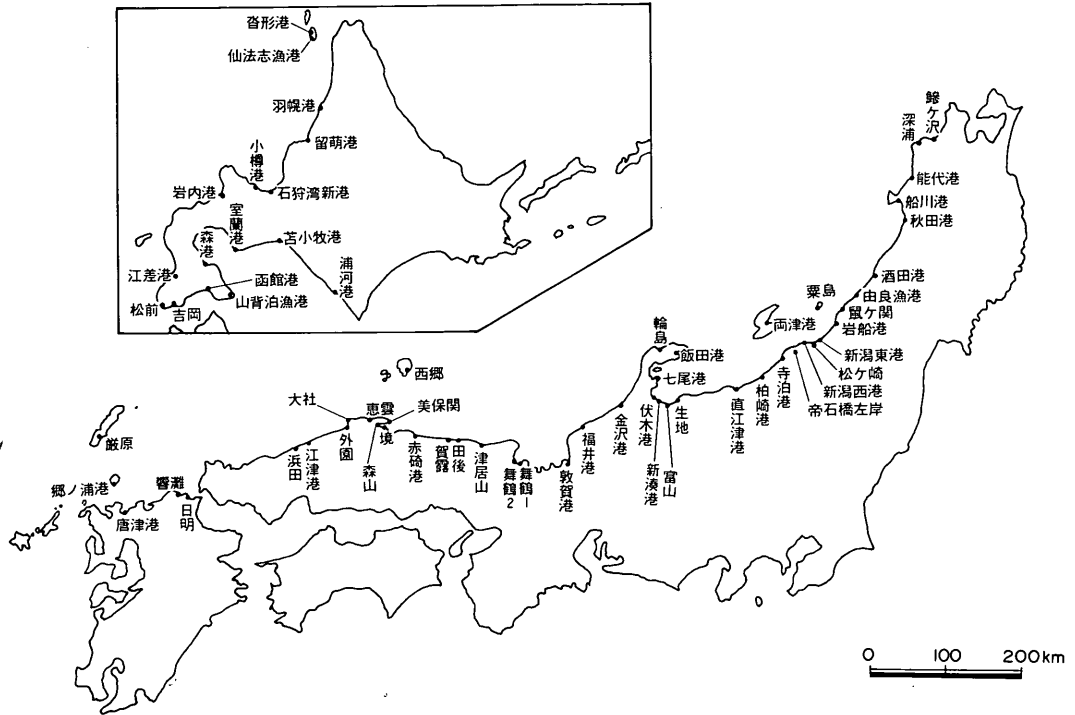


図-4.1 収集検潮所

ものであるが、その他、水圧式のものもあり、この形式は沈鐘によるもので設置が簡単である。

今回収集した検潮記録を記録状態の良好なもの、ほぼ良好と思われるもの、記録状態に問題あるものに分類して以下に示す。ただし、ここでは検潮儀の構造などから生じる問題は対象としておらず、記録の状態のみを対象としている。

良好なもの-沓形, 留萌, 石狩湾新港, 小樽, 江差, 吉岡, 函館, 山背泊, 森, 室蘭, 苦小牧, 浦河(北海道)

深浦, 酒田, 鼠ヶ関, 岩船, 新潟港東地区・西地区, 松ヶ崎, 帝石橋左岸, 寺泊, 柏崎, 直江津, 粟島, 生地, 富山, 伏木, 七尾, 福井, 敦賀, 無鶴(1), 舞鶴(2), 津居山, 田後, 賀露, 境, 森山, 美保関, 大社, 外園, 江津, 浜田, 西郷(本州) 日明, 響灘, 唐津, 郷ノ浦, 厳原(九州)

ほぼ良好と思われるもの-仙法志(北海道)

両津, 船川, 飯田(本州)

問題あるもの-羽幌, 岩内, 松前(北海道)

鯨ヶ沢, 能代, 秋田, 由良, 新湊, 輪島, 金沢, 赤崎, 恵曇(本州)

以上のうち、仙法師は最高水位を記録した波の引きの記録が若干乱れており、両津は津波の第1波の引きの際に針とびが生じている。船川は記録紙上で時間調整を実施しているが、記録そのものには問題がない。飯田は防波堤の外側(泊地側)と内側(物揚げ場側)の2地点で観測されているが、ともに26日13時に用紙交換をしており、その後紙送りが決められた速度で行われていない。羽幌, 岩内, 金沢は津波記録がスケールアウトしているが、水位の下降についてであり、上昇の記録については問題がない。由良, 赤崎は記録紙の紙送りの速度が2 mm/hと遅いために読み取りにくくなっている。恵曇は紙送りは6 mm/hであるが、水位の振動が激しく読み取りが難しくなっている。松前, 鯨ヶ沢, 能代, 秋田, 新湊, 輪島の記録については、地震動もしくは津波の第1波により、ある期間欠測となっている。

検潮儀による記録以外に、標尺等の目視観測により水位変動の記録を得ているところが11地点あり、それらを図-4.2に示す。酒田では北港と本港(東埠頭, 西埠頭), 鼠ヶ関では鼠ヶ関港とマリナーで水位変動が記録されている。目視観測記録については付録2を参照されたい。

これらの検潮記録から津波の第1波の到達時間, 最高潮位, 最大偏差および周期を求めた。偏差については、

表-4.1 収 集 検 潮 所 一 覧

検潮所名称	所 在 地	位 置	所 属	観 測 者	検 潮 儀 形 式
沓 形 港	北海道 利尻郡利尻町沓形字富士見町	N45°11' E141°06'	北海道開発局 稚内開発建設部	同 左	フース
仙 法 志 漁 港	北海道 利尻郡利尻町大字仙法志字政治	N45°07' E141°13'	同 上	同 上	フース
羽 幌 港	北海道 苫前郡羽幌町港町1丁目	N44°22' E141°42'	北海道開発局 留萌開発建設部	羽幌港 修築事務所	フース
留 萌 港	北海道留萌市大町1丁目	N43°56' E141°38'	同 上	留萌港湾 建設事務所	フース
石 狩 湾 新 港	北海道石狩郡 石狩町大字花畔国有海浜先	N43°13' E141°19'	北海道開発局 小樽開発建設部	小樽港湾 建設事務所	フース
小 樽 港	北海道小樽市築港	N43°10' E141°02'	同 上	同 上	フース
岩 内 港	北海道岩内町字大和	N42°59' E140°31'	同 上	岩内港 修築事務所	フース
江 差 港	北海道松山郡江差町	N41°52' E140°07'	北海道開発局 函館開発建設部	江差港湾 建設事務所	フース
松 前 港	北海道松前郡松前町弁天	N41°25' E140°06'	同 上	松前港 修築事務所	フース
吉 岡	北海道松前郡福島町大字吉岡	N41°27' E140°15'	日本鉄道 建設公団	吉岡鉄道建設所	フース
函 館 港	北海道函館市海岸町	N41°47' E140°44'	北海道開発局 函館開発建設部	函館港湾 建設事務所	フース
山 背 泊 漁 港	北海道亀田郡尻岸内	N41°47' E141°07'	同 上	同 上	フース
森 港	北海道茅部郡森町字森町43	N42°07' E140°36'	同 上	同 上	フース
室 蘭 港	北海道室蘭市祝津町	N42°21' E140°57'	北海道開発局 室蘭開発建設部	室蘭港湾 建設事務所	フース
苦 小 牧 港	北海道苦小牧市汐見町20	N42°38' E141°38'	同 上	苦小牧港湾 建設事務所	フース
浦 河 港	北海道浦河郡浦河町	N42°10' E142°46'	同 上	浦河港湾 建設事務所	フース
鯨 ケ 沢	青森県 西津軽郡鯨ヶ沢町本町中突場部	N40°47' E140°13'	青 森 県	青森県漁港課	フース
深 浦	青森県西津軽郡深浦町深浦	N40°39' E139°56'	気 象 庁	深 浦 測 候 所	フース
能 代 港	秋田県能代市能代町字下浜	N40°13' E140°00'	秋 田 県	能代港 建設事務所	フース
船 川 港	秋田県男鹿市船川港埋立地内	N39°53' E139°51'	秋 田 県	船川港湾事務所	フース
秋 田 港	秋田市土崎港大浜	N39°45' E140°04'	運輸省 第一港湾建設局	秋田港 工事事務所	フース
酒 田 港	山形県酒田市大字宮野浦字家岸	N38°55' E139°50'	同 上	酒田港 工事事務所	フース
由 良 漁 港	山形県鶴岡市大字由良	N38°43' E139°41'	山 形 県	由良工事事務所	ロール式自記水位計
鼠 ケ 関	山形県西田川郡温海町	N38°34' E139°33'	国土地理院	東北地方測量部	ケルビン
岩 船 港	新潟県村上市大字岩船	N38°11' E139°26'	新 潟 県	村上土木事務所	フース
新 潟 港 (東港地区)	新潟市太郎代	N37°59' E139°13'	運輸省 第一港湾建設局	新潟港 工事事務所	フース
新 潟 港 (西港地区)	新潟市入船町	N37°56' E139°04'	同 上	同 上	フース
松 ケ 崎	新潟市松浜町	N37°57' E139°09'	建設省 北陸地方建設局	阿賀野川 工事事務所	水研62型
帝 石 橋 左 岸	新潟県西蒲原郡黒崎町	N37°53' E139°01'	同 上	信野川 下流工事事務所	水研61型
寺 泊 港	新潟県三島郡寺泊町片町	N37°38' E138°46'	新 潟 県	与板土木事務所	フース
柏 崎 港	新潟県柏崎市番神1丁目	N37°22' E138°32'	同 上	柏崎土木事務所	フース
直 江 津 港	新潟県上越市港町1丁目	N37°11' E138°15'	同 上	直江津 港湾事務所	フース

検潮所名称	所在地	位置	所管	観測者	検潮儀形式
粟島	新潟県岩船郡粟島浦村内浦	N38°28' E139°15'	海上保安庁 水路部	第九管区 海上保安部	フース
両津港	新潟県両津市夷	N38°04' E138°27'	新潟県	相川土木事務所	フース
生地	富山県砺波市生地漁港内	N36°54' E137°25'	建設省 北陸地方建設局	黒部工事事務所	水圧式
富山	富山市草島	N36°46' E137°13'	気象庁	富山地方気象台	フース
新湊港	富山県新湊市堀岡西新明神	N36°47' E137°07'	運輸省 第一港湾建設局	伏木富山港 工事事務所	フース
伏木港	富山県高岡市伏木古国府	N36°47' E137°04'	同上	同上	フース
七尾港	石川県七尾市府中町負外	N37°02' E136°58'	運輸省 第一港湾建設局	七尾港 工事事務所	フース
飯田港	石川県珠州市飯田	N37°26' E137°16'	石川県	珠州土木事務所	簡易型自記記録式
輪島港	石川県輪島市河井町1部	N37°24' E136°54'	運輸省 第一港湾建設局	七尾港 工事事務所	フース
金沢港	石川県金沢市大野町	N36°37' E136°36'	運輸省 第一港湾事務所	七尾港 工事事務所	フース
敦賀港	福井県敦賀市川崎松栄	N35°39' E136°04'	同上	敦賀港 工事事務所	フース
福井港	福井県坂井郡三国町黒目	N36°12' E136°08'	同上	同上	フース
舞鶴(1)	京都府舞鶴市大字浜	N35°28' E135°23'	気象庁	舞鶴海洋気象台	フース
舞鶴(2)	京都府舞鶴市大野辺904-2	N35°27' E135°20'	海上保安庁 水路部	第八管区 海上保安本部	フース
津居山	兵庫県 豊岡市小島字作り4-1番地先	N35°39' E134°50'	兵庫県	豊岡土木事務所	フース
田後	鳥取県岩美郡岩美町大字田後	N35°35' E134°19'	国土地理院	中国地方測量部	G. S. I.
賀露	鳥取市賀露	N35°32' E134°11'	建設省 中国地方建設局	鳥取工事事務所	水研62型
赤碕港	鳥取県東伯郡赤碕町赤碕	N35°30' E133°15'	鳥取県	倉吉土木出張所	ロール式自記水位計
境	鳥取県境港市岬町	N35°33' E133°15'	気象庁	境測候所	フース
森山	島根県八束郡美保関町森山	N35°32' E133°12'	中国・四国 農政局	中海干拓事務所	フース
美保関	島根県八束郡美保関町	N35°34' E133°19'	建設省 中国地方建設局	出雲工事事務所	水研62型
恵曇	島根県八束郡鹿島町恵曇	N35°31' E132°58'	同上	同上	同上
大社	島根県簸川郡大社町	N35°24' E132°40'	同上	同上	同上
外園	島根県出雲市西園町	N35°22' E132°40'	同上	同上	同上
江津港	島根県江津市江津	N35°01' E132°14'	島根県	浜田土木事務所	同上
浜田(外の浦)	島根県浜田市外の浦町	N34°54' E132°04'	気象庁	浜田測候所	フース
西郷	島根県隠岐郡西郷町	N36°12' E133°20'	気象庁	西郷測候所	フース
日明	福岡県北九州市小倉北区港町	N33°54' E130°53'	運輸省 第四港湾建設局	小倉港 工事事務所	フース
響灘	福岡県北九州市若松区響町	N33°56' E130°51'	北九州市	北九州市港湾局	フース
唐津港	佐賀県唐津市二夕子	N33°28' E129°58'	運輸省 第四港湾建設局	唐津港 工事事務所	フース
郷ノ浦港	長崎県壱岐郡郷ノ浦町郷ノ浦	N33°44' E129°41'	同上	長崎港 工事事務所	フース
厳原	長崎県下県郡厳原町	N34°11' E129°17'	海上保安庁	第八管区 海上保安部	フース

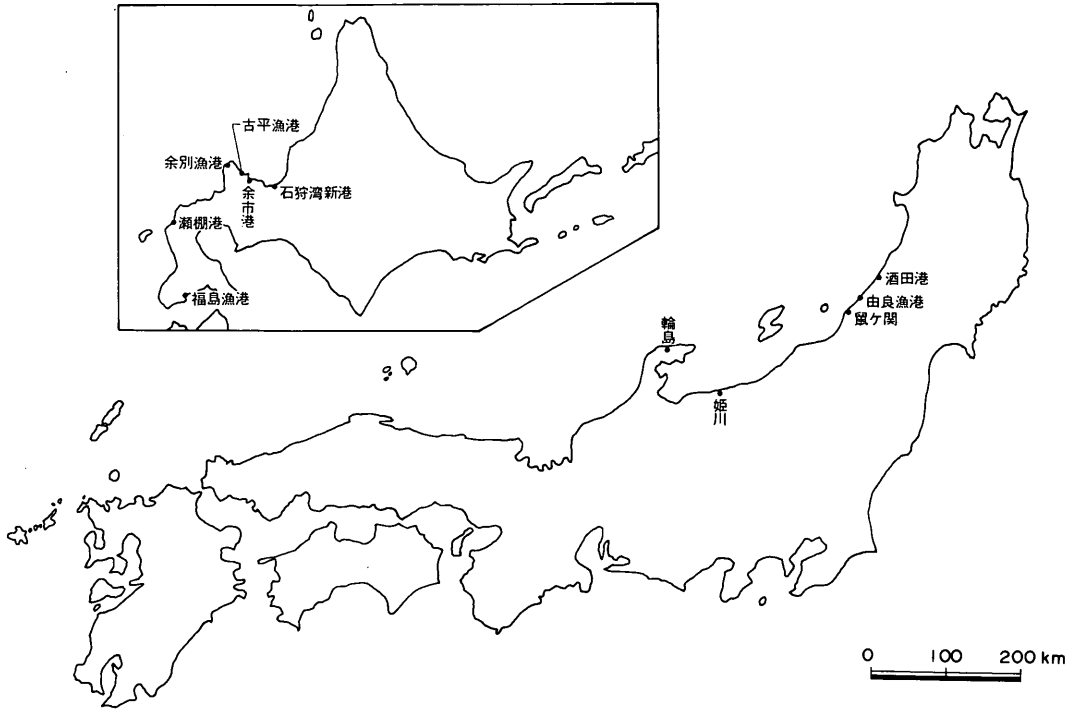


図-4.2 目視観測地点

実際に記録された水位を平滑化して推算潮位を求め、推算潮位からの差を津波の偏差とした。したがって、この推算潮位は潮位表から予報されたものとは若干異なっている。

また、今回の津波は周期が短く、相対的に紙送りが遅いため読み取りにくい検潮記録が多い。波数、周期の算定には原則として peak to peak法を用いたが、波と判断できかねる微小なものについては無視した。

本報告では津波のそ上高や最高水位を示す基準は、原則として基本水準面(C.D.L)を用いている。基本水準面はその地点の平均水面から主要4分潮の半潮差の和を差し引いた高さである。この基準面はこん跡高を測量時の海面から測って後にそのときの潮位を潮せき(汐)表から推算するのに用いられる。しかし、港の管轄によっては基本水準面を用いず、東京湾中等潮位(T.P)を基準としているところがある。T.Pは国土地理院設定の水準点を基準として港内基準点を定めているときに使われる。調査員の調査・収集した資料および第一港湾建設局の観測台帳¹⁰⁾、第三港湾建設局および第四港湾建設局の施設台帳^{11),12)}などによると、今回検潮記録を収集した港のC.

D.LとT.Pの関係は表-4.2に示すとおりである。この表から、深浦から浜田までの日本海沿岸はT.PとC.D.Lの差はあまりなく、九州北岸や北海道の太平洋側で差が大きくなるのがわかる。差が大きくなるのは水位変動に占める潮せき成分の割合が大きくなるからである。

4.2 第1波到達時間*

検潮記録から求めた第1波の到達時間を図-4.3に示す。これによると、もっとも早く津波が来襲したのは深浦で12時07分には初動が始まっている。遠方の北海道の仙法師では13時31分に、太平洋側の浦河では15時26分に、島根県の浜田では14時28分に、佐賀県の唐津港では16時15分に第1波が到達している。北海道の太平洋側や九州では津波偏差が小さく、津波による初動も浪源地に近い所に比べて明瞭でないので、若干の誤差が生じる可能性がある。なお、大韓民国東海岸の東草港には13時40分に第1波が到達した由である。

一般的には、波源域から離れるに従って到達が遅くなるが、海底地形やそれによる波の屈折によりそうでないところもある。たとえば、新潟県の岩船港や新潟東港、西港では第1波の到達が13時10分であるのに対し、浪源

* 執筆担当 森川 雅行

表-4.2 T.PとC.D.Lの関係

港名	T.P	C.D.L	港名	T.P	C.D.L
羽幌港	0.092 ^m	0.00	新潟港東地区	-0.24	0.00
留萌港	0.02	0.00	新潟港西地区	-0.32	0.00
石狩湾新港	-0.02	0.00	柏崎港	-0.018	0.00
小樽港	-0.02	0.00	直江津港	0.00	0.00
余市港	0.01	0.00	姫川港	0.00	0.00
岩内港	0.19	0.00	両津港	+0.18	0.00
瀬棚港	0.049	0.00	富山	+0.01	0.00
江差港	0.079	0.00	新湊港	-0.014	0.00
松前港	0.118	0.00	伏木港	-0.011	0.00
福島	0.372	0.00	七尾港	+0.03	0.00
函館	0.476	0.00	金沢港	+0.012	0.00
山背泊漁港	0.687	0.00	福井港	+0.02	0.00
室蘭港	0.948	0.00	敦賀港	-0.01	0.00
苫小牧港	0.82	0.00	舞鶴	+0.03	0.00
浦河	0.96	0.00	境	+0.05	0.00
深浦	-0.092	0.00	浜田	+0.148	0.00
能代港	-0.04	0.00	西郷	+0.328	0.00
船川港	-0.254	0.00			0.00
秋田港	-0.122	0.00	日明	+0.81	0.00
酒田港	-0.18	0.00	響灘	+0.795	0.00
鼠ヶ関・由良	-0.05	0.00	唐津港	+1.12	0.00
岩船港	0.00	0.00	厳原	+0.90	0.00

域から遠い富山県の富山や新湊、伏木はそれより早く13時以前に第1波が到達している。これは3.1で前述したように伝播経路によるものである。しかし、富山県生地の到達時間が12時45分というのは近辺の他地点と比べて特に早く、記録時間の精度について疑問が残る。同様に遠地点に先に到達した例として他に、若狭湾沿岸の敦賀や舞鶴の第1波到達時間はそれぞれ13時45分、14時ごろであるのに対し、津居山や田後に13時35分ごろに第1波が到達していることがあげられる。これは海底地形や波の屈折によるものと考えられる。

逆に、信濃川の下流部の帝石橋左岸（関谷（信濃川）分水路河口より約3.2 km、信濃川河口より7 km 上流）の第1波到達時間は13時35分であるのに対し、信濃川河口の新潟西港では13時10分に第1波が到達しており、近地点のわりには時間を要しているが、これは津波が関谷分水路をそ上するに要した時間と考えられる。

また、検潮記録に現れた津波の初動については、江差、松前、吉岡、深浦、能代、船川はわずかな引きから始まっているが、他の地点ではすべて押しから始まっている。引きの大きさについては、江差、吉岡、船川でたかだか

10 cm 程度、松前、能代で20 cm 程度、深浦で約30 cm である。これらの地点はいずれも波源域から近い。

4.3 最高潮位および津波偏差*

検潮記録より求めた各地の最高潮位とその起時および津波到達時からの波数を図-4.4に示す。欠測期間のある地点（鯉ヶ沢、能代、秋田、新湊、輪島）では、真の最高潮位と異なる可能性がある。また、最大の津波偏差についても同様に図-4.5に示す。最高潮位は原則としてC.D.Lを基準として示したが、不明な地点についてはT.Pもしくは塑望平均干潮面（L.W.L）を基準として示した。該当地域のT.PあるいはL.W.LとC.D.Lの差はたかだか10 cm 程度である。

最高潮位は、日本海側では津波によって生じているが、北海道の太平洋側や九州では津波よりも潮せきによる水位上昇によって生じている。したがって、日本海側では津波の最大偏差は最高潮位と同時に記録される場合が多いが、北海道の太平洋側や九州では両者の起時は異なっている。

北海道の浦河から岩内までの港では最高潮位は1.0 mを超えており、岩内では13時37分に1.40mを記録している。余別から羽幌にかけて最高潮位は低くなっているが、利尻島の仙法志では1.0 m以上の値を示している。津波の最大偏差については、山背泊から浦河までは0.2 m以下となっているのに対して、函館から岩内にかけては大きくなり、岩内では13時35分に1.25mを記録している。利尻島での津波偏差も比較的大きく、仙法師では13時50分に0.95mを記録している。

本州では波源域に近い能代で最も高い潮位を記録している。第1波により12時31分に2.08m（津波偏差1.94 m）を記録している。鯉ヶ沢は紙送りりが3mm/hと遅く、時刻が明確でないが、最高潮位1.48m（偏差1.33m）を記録した。しかし、両地点間に位置する深浦では8波目、13時35分に0.73m（偏差0.61 m）を記録しているにすぎない。このことから、今回の津波における最高潮位は検潮所の位置や構造などの影響をかなり受けていることがわかる。能代から南になるにつれて、最高潮位は低下しており、新潟県下では0.7~1.0m（偏差0.6~0.9m）程度である。佐渡の両津では第2波で13時17分に1.37m（偏差1.17m）と高い値を示している。

富山県より西の地点では、最高潮位、津波偏差は輪島を除いて小さい。輪島の最高潮位は1.36m（偏差1.26m）であるが、13時30分~17時は欠測しており、実際には更に高くなったと推測される。富山、新湊、伏木では最高

* 執筆担当 森川 雅行

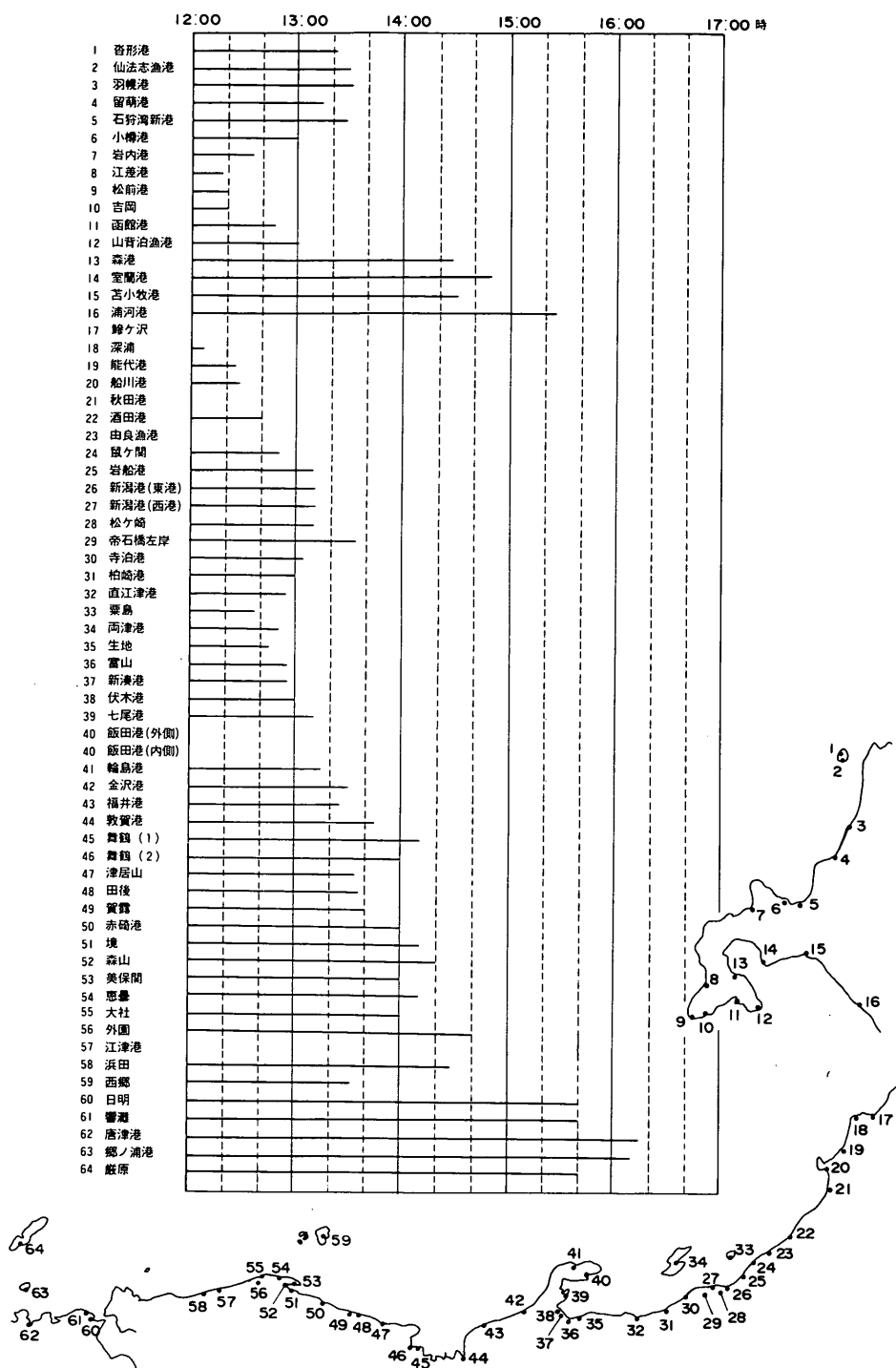


図-4.3 検潮記録から求めた第1波到達時間

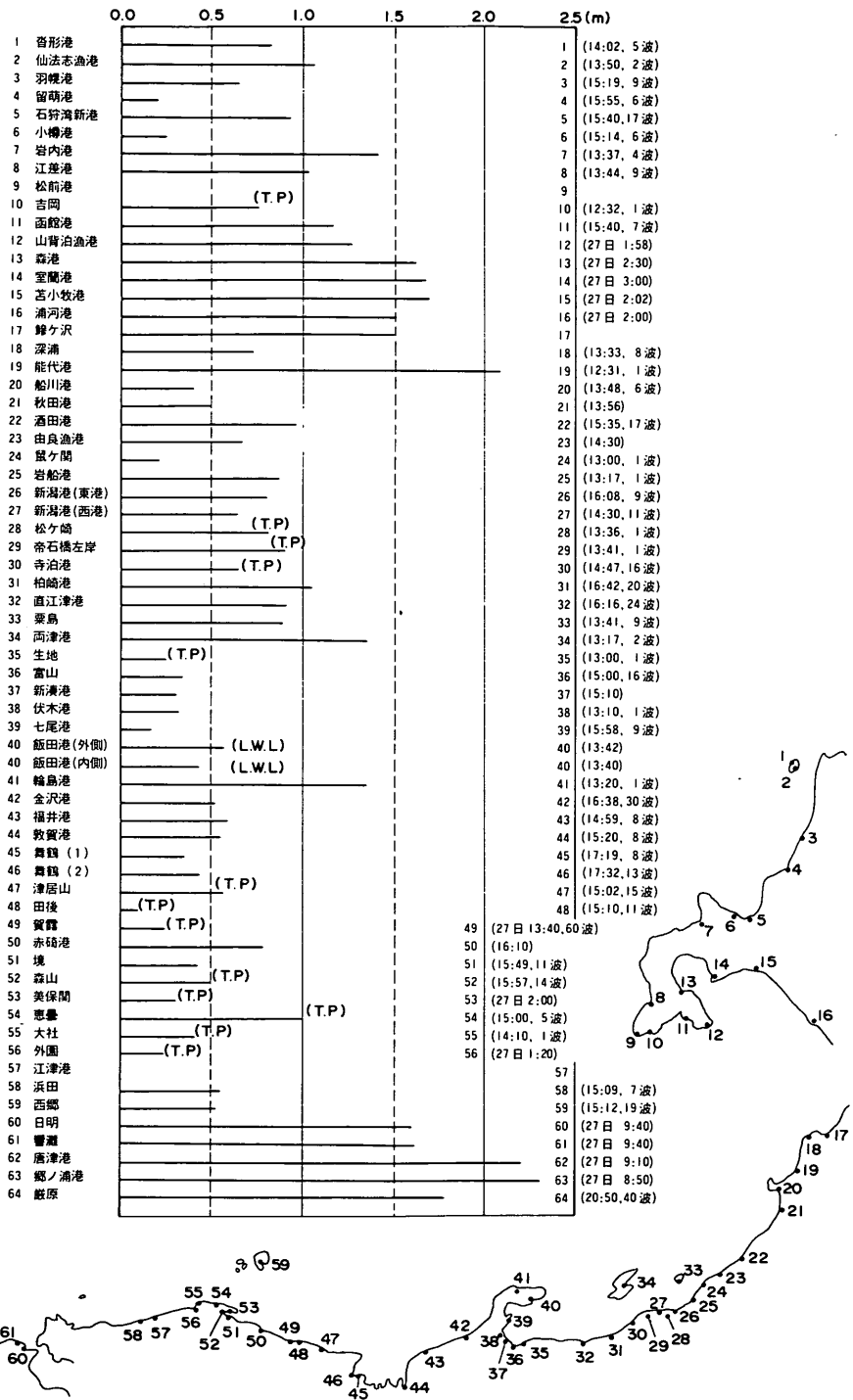


図-4.4 検潮記録から求めた最高潮位

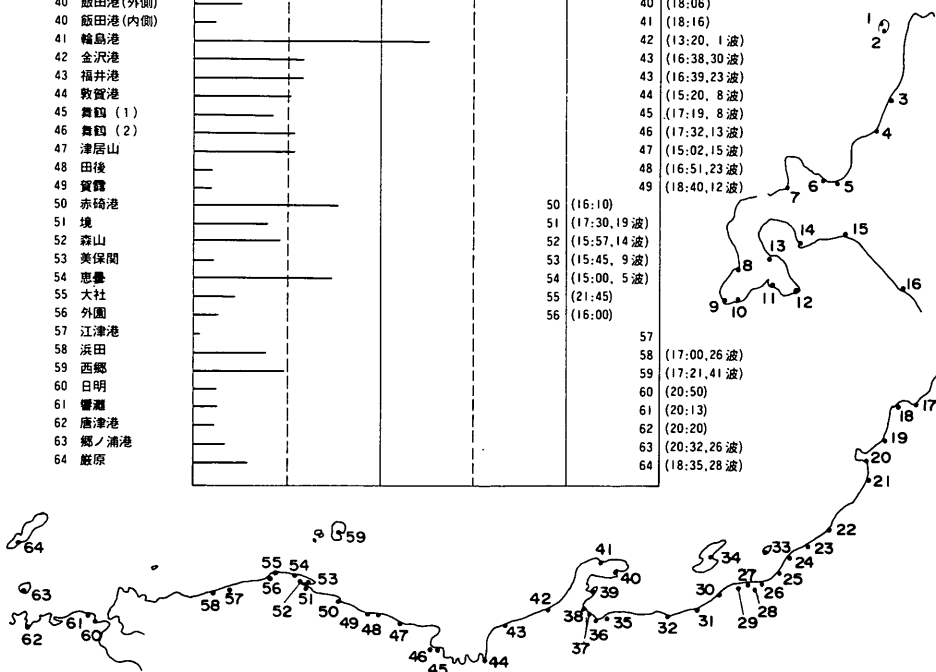
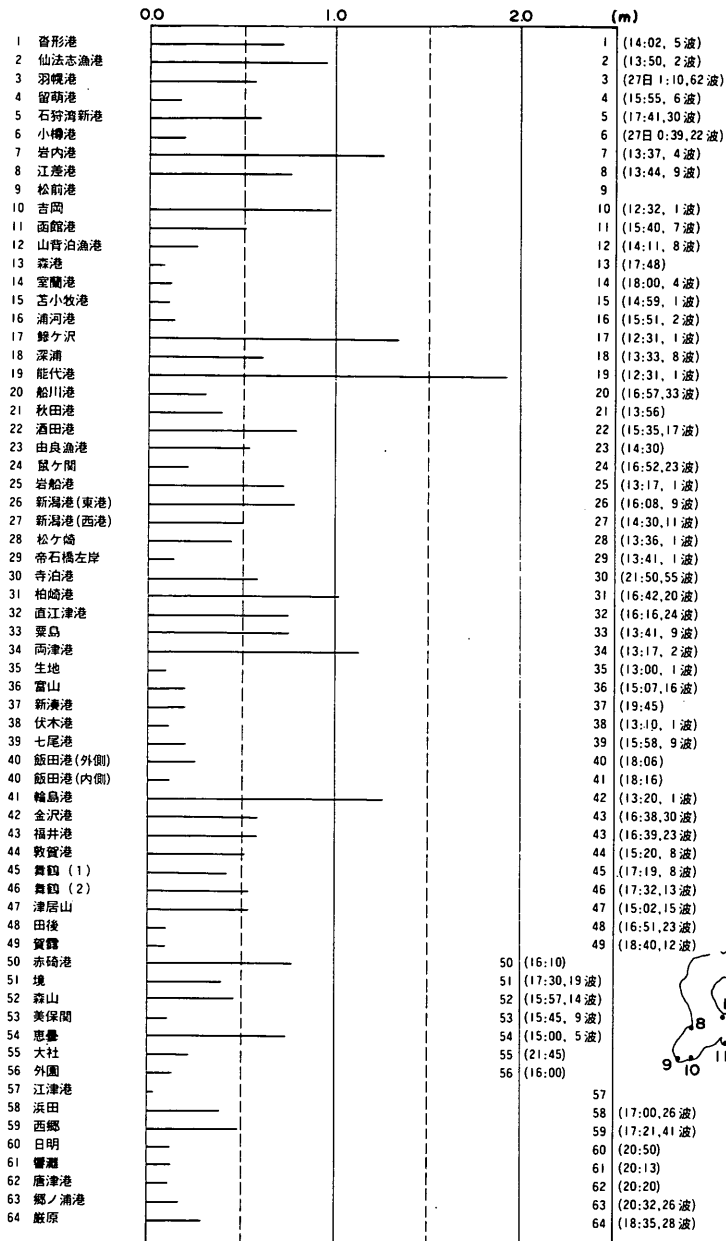


図-4.5 検潮記録から求めた最大偏差

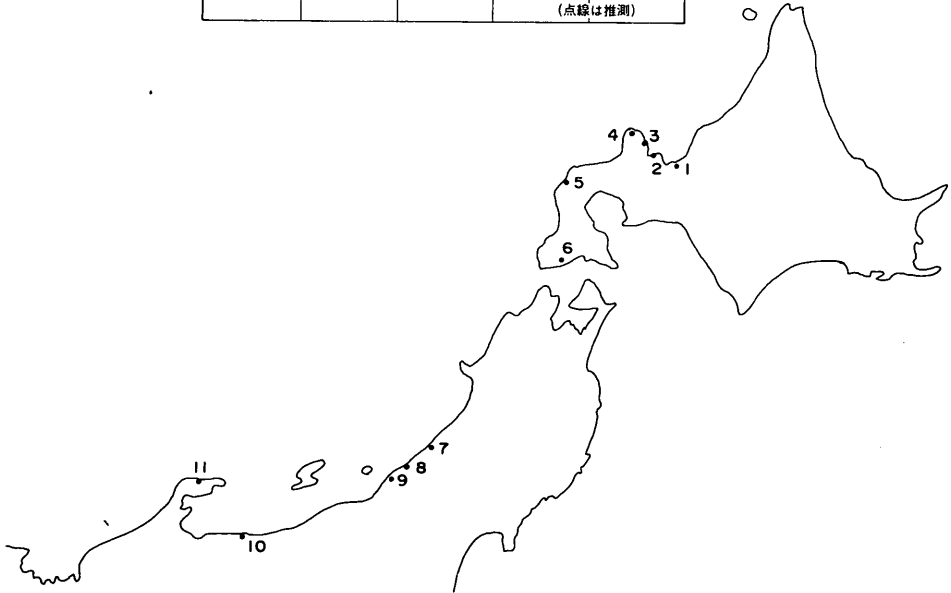
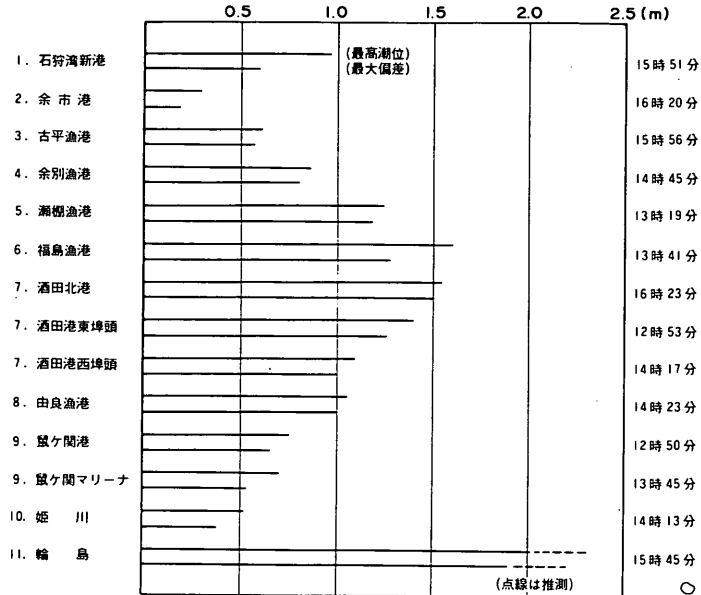


図-4.6 目視観測から求めた最高潮位と最大偏差

潮位が0.3m(偏差0.2m)程度であるのに対して、金沢より浜田までの西の地点では、最高潮位は0.5m(偏差0.4~0.5m)程度の地点が多い。

九州北岸では、最高潮位は潮せきによる水位上昇のため約2.0mであるが、偏差は0.1m程度と非常に小さくなっている。

なお、大韓民国東海岸の東草港では最高潮位は1.23m(偏差0.98m)であり、墨湖港では1.8mを超えたようである。

最高潮位を示した時間に着目すると、津波により高い潮位を示した杵形から直江津までの日本海沿岸については、第1波到達後約1時間以内で最高潮位を示す地点が多い。しかし、柏崎では第1波到達後約3時間30分経過した16時42分に最高潮位1.06m(偏差1.01m)を記録している。新潟東港、直江津も16時台に最高潮位(最大津波偏差)を記録しており、酒田も15時35分に最高潮位を記録している。これらは比較的遅い時間に最高潮位を示した地点である。

次に、目視観測から求めた最高潮位および最大偏差を図-4.6に示す。輪島は+2.0m C.D.Lの護岸で計測しており、津波はこの護岸を越波したため最高水位は推測である。石狩湾新港は検潮所の近くで水位を読みとっており、検潮記録と目視とでよく一致している。しかし、鼠ヶ関や酒田の本港では検潮記録よりかなり高い値を示している。この理由は、検潮所の位置と観測位置が違うために、最高水位が異なっている可能性があるが、検潮井戸の津波に対する応答が悪いためとも考えられる。検潮井戸の応答の問題については、8.4で詳しく考察を加える。

現地での調査では、今回の津波は夜中まで大きかった、いつまでもおさまらなかつたという話がしばしば聞かれた。そこで、26日の19時から27日の6時までの間に津波偏差が+0.5mを超えた地点を調べてみた。羽幌では27日1時20分に+0.56m(最大偏差)、江差では19時14分に+0.70m(最大偏差0.75m)、酒田では20時30分に+0.59m(最大偏差0.81m)、岩船では20時20分に+0.67m(最大偏差0.73m)、直江津では21時50分に+0.78m(最大偏差)を記録した。これらの地域では、26日の夜から翌朝の間に、最大偏差もしくはそれに近い偏差が現れており、深夜まで津波が大きかったことを示している。

津波の影響が終わった時間を検潮記録から読みとることはかなり難しい。そこで、地震発生から1日経過した27日12時ごろの記録を調べてみると、杓形から舞鶴までの地点では、富山湾に面した地点を除いて、津波の偏差は0.1~0.2m程度であり、その他の地域および富山湾沿岸ではあまり津波の影響はみられない。十勝沖地震¹³⁾による津波では、地震発生24時間後の偏差が小名浜や森港で0.1m程度を示しており、今回の津波の継続時間が特に長かつたとは言えないようである。

4.4 周期特性*

検潮記録から求めた各地の周期を図-4.7に示す。対象とした波は第1波後30波程度である。10分程度の短い周期を示す港が多いが、秋田で20~40分、酒田で10~45分、新潟東港で15~45分となっている。浪源域から遠い九州でも、周期は10分程度であり地域的な傾向はみられないようである。また、目視観測より求めた周期を図-4.8に示しておいた。

検潮記録を見てみると、函館や新潟西港、舞鶴では長い周期の上に短い周期の波が重なっているのがわかる。そこで、さらに津波の周波数特性を詳しく知るために、津波偏差のパワースペクトルを求めてみた。本来、津波

偏差は非定常な性質を示し、定常現象を対象とした通常のスเปクトル解析がどこまで適用できるかについては疑問が残るが、卓越した周期を知ることができると思われる。パワースペクトルは第1波到達から512分間の津波偏差のデータから計算した。時間ステップは30秒、データ数は1024個で、FFT法で得られた1次スペクトルに対して4個の三角形フィルターをかけている。なお、データは、まず平常潮位の推定曲線を描いて、偏差のピーク値と時間を読み取り、その間を直線で近似することによって作成したものである。

函館、深浦、新潟西港、寺泊、舞鶴、西郷について計算したパワースペクトルを図-4.9に示す。卓越している周期は函館で51分、深浦で20、13、9分、新潟西港で43、10分、寺泊で17分、舞鶴2)で85、18分、西郷で7分である。函館、舞鶴での51、85分の周期成分は平常時の潮位記録においてもみられ、湾の固有周期ではないかと考えられ、津波の周期としては函館で16分、舞鶴で18分程度である。同様に、新潟西港についても、津波の周期は10分と考えられる。以上のスペクトル計算から求めた卓越周期と図-4.8に示した各地の周期とはほぼ一致している。

以上の最高潮位、最大偏差、周期をまとめて、検潮記録から求めたものを表-4.3に、目視観測から求めたものを表-4.4に示しておいた。

4.5 波高計にみる津波記録**

運輸省では、港湾局、港湾技術研究所、第一~五港湾建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局が協力して、図-4.10に示すような全国での沿岸波浪観測を実施している。これらの観測地点では、水深-50mでの観測を基本としており、毎偶数正時の前後10分間、合計20分間の連続観測を実施している¹⁴⁾、¹⁵⁾津波の来襲地帯では、これらの波高観測記録に津波が記録されていることが期待される。そこで、日本海沿岸の瀬棚、深浦、酒田、弾崎、輪島の5地点での、昭和58年5月26日11時50分~12時10分、および13時50分~14時10分の各20分間の波高記録をもとに、長周期変動を求めてみた。これらの波高計の設置位置を図-4.11~4.15に、波高記録と長周期変動を図-4.16~4.21に示す。この長周期変動は、0.5秒間隔の波高データを61個ずつ移動平均することにより求めたものである。また、図中には観測時間帯の平均水位を示しており、水位変動はこれを基準にして考えている。

まず、深浦の12時の記録(図-4.16)では、地震発生と同時にスパイク状の変動がみられる。これは、波高計

* 執筆担当 森川 雅行

** 執筆担当 村田 繁

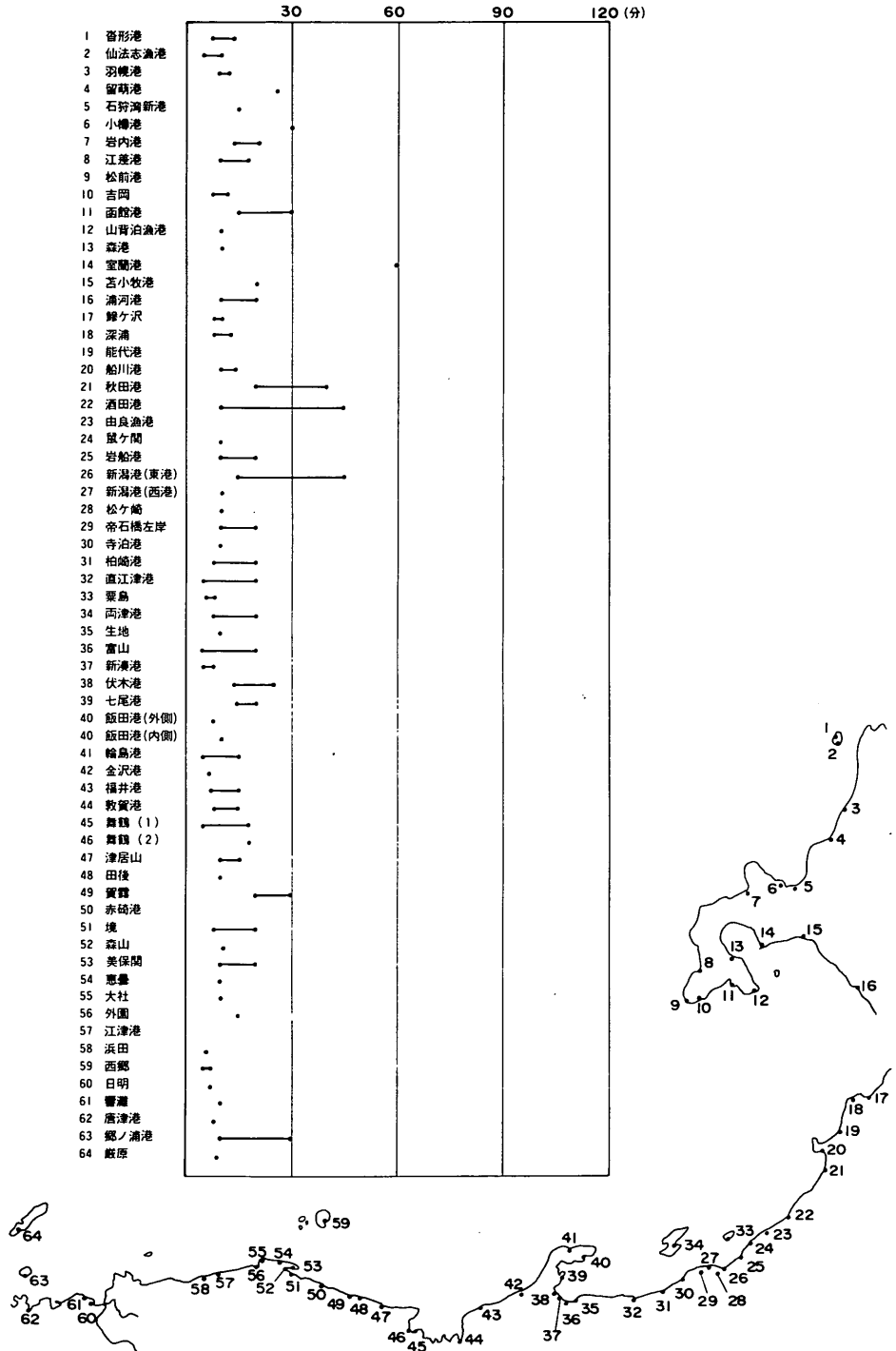


図-4.7 検潮記録から求めた周期

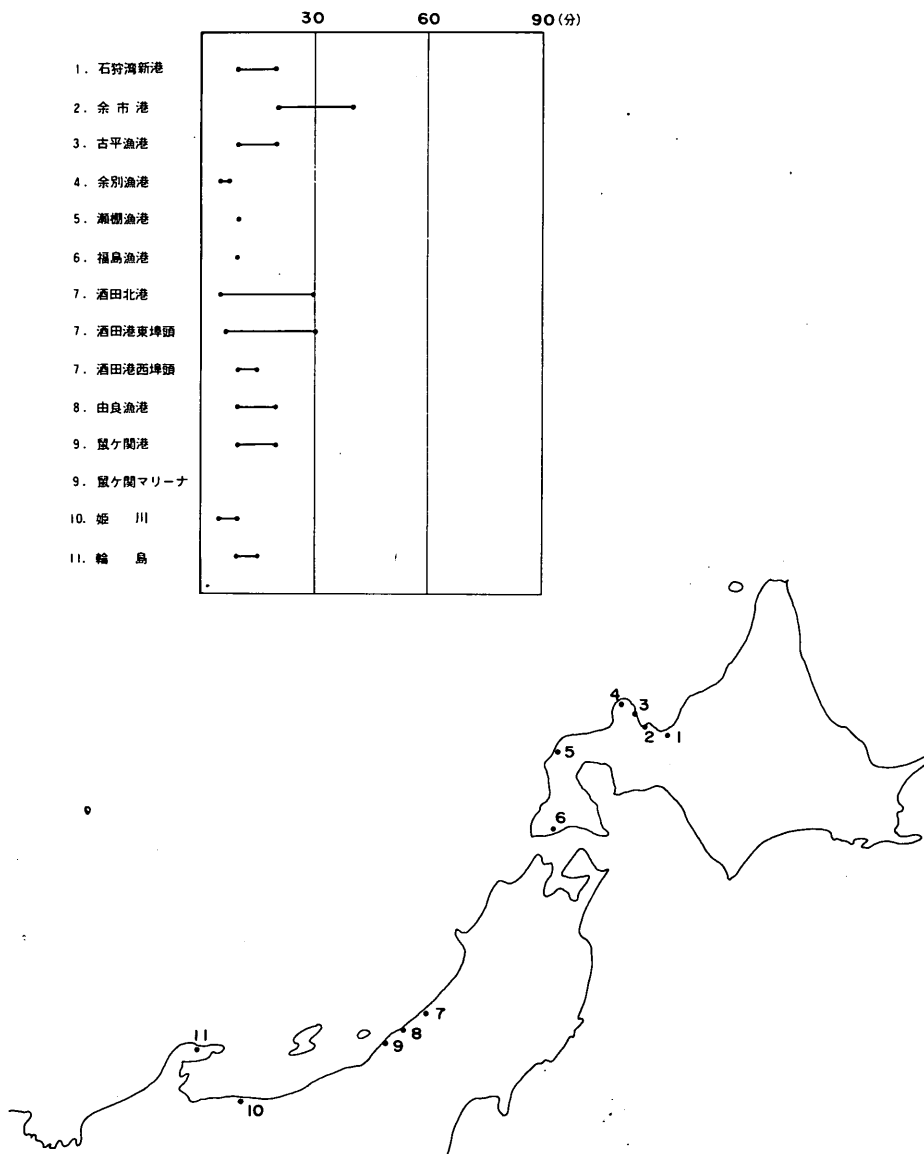
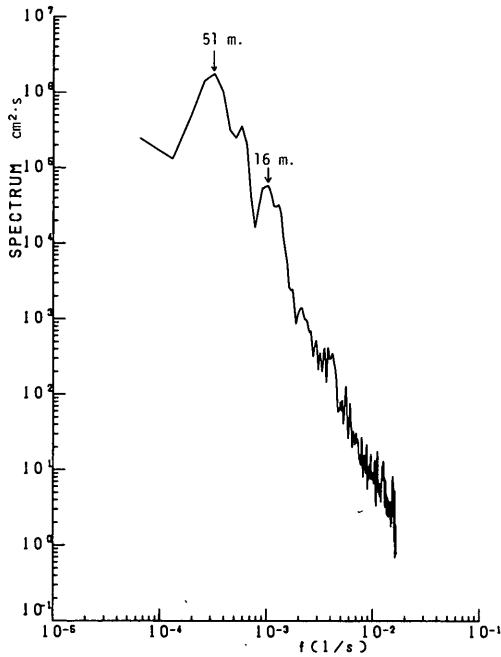
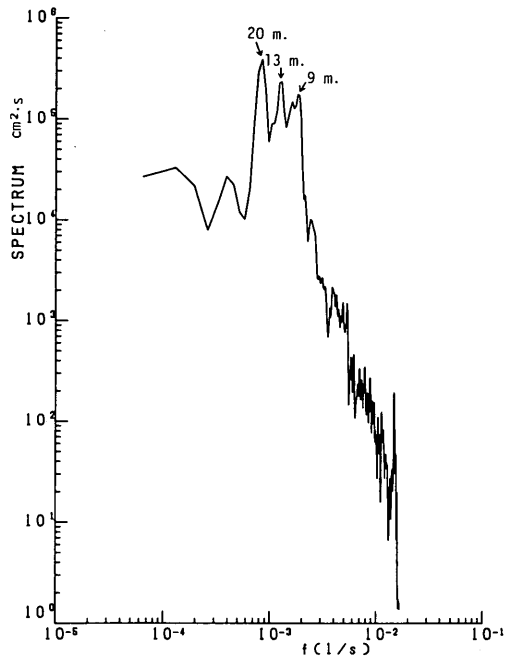


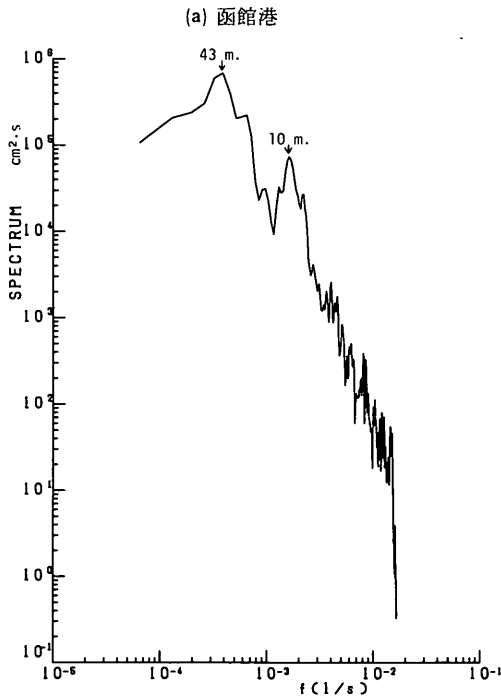
図-4.8 目視観測から求めた周期



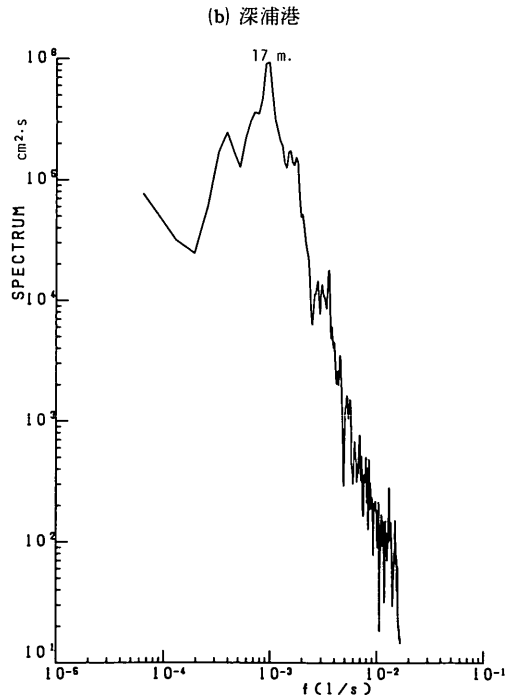
HAKODATE PORT



FUKAURA



NIICATANISHI PORT

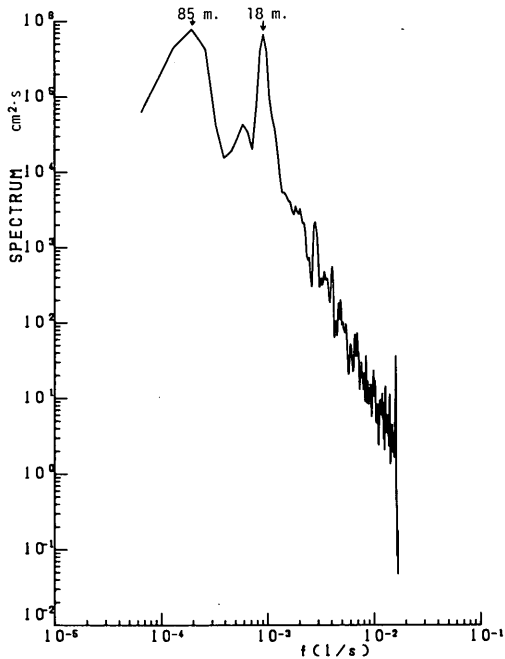


TERADOMARI PORT

(c) 新潟西港

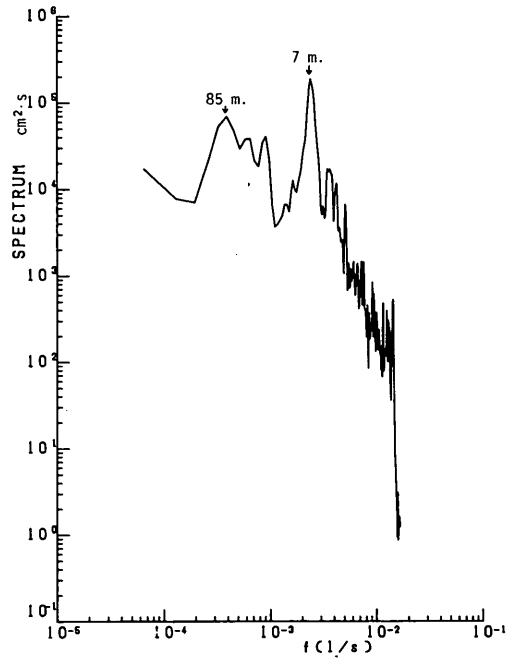
(d) 寺泊港

図-4.9(1) 各港のパワースペクトル



MAIZURU PORT (2)

(e) 舞鶴港



SAIGO PORT

(f) 西郷

図-4.9(2) 各港のパワースペクトル

表-4.3(1) 津波の諸元(検潮記録による)

地 形	津波到達時間	最 高 水 位			最 大 偏 差			周 期	備 考
		波順	起 時	水 位	波順	起 時	水 位		
沓 形	13時22分	5	14時02分	+ 0.82 CDL ^m	*	*	+ 0.71 ^m	8~14分	記録スケールアウトで欠測
仙 法 志	13時31分	2	13時50分	+ 1.06 CDL	*	*	+ 0.95	5~10分	
羽 幌	13時32分	9	15時19分	+ 0.64 CDL	62	27日 1時10分	+ 0.56	10~12分	
留 萌	13時14分	6	15時55分	+ 0.21 CDL	*	*	+ 0.16	26分	
石狩湾新港	13時27分	17	15時40分	+ 0.93 CDL	30	17時41分	+ 0.61	15分	
小 樽	13時 0分	6	15時44分	+ 0.25 CDL	22	27日 0時39分	+ 0.19	30分	
岩 内	12時35分	4	13時37分	+ 1.40 CDL	*	*	+ 1.25	14~21分	
江 差	12時17分	9	13時44分	+ 1.02 CDL	*	*	+ 0.75	10~18分	
松 前	12時20分								
吉 岡	12時20分	1	12時32分	+ 0.76 TP	*	*	+ 0.97	8~12分	
函 館	12時47分	7	15時40分	+ 1.17 CDL	*	*	+ 0.51	15~30分	
山 背 泊	13時 0分		27日 1時58分	+ 1.27 CDL	8	14時11分	+ 0.25	10分	
森	14時28分		27日 2時30分	+ 1.62 CDL		17時48分	+ 0.08	10分	
室 蘭	14時50分	14	27日 3時 0分	+ 1.67 CDL	4	18時 0分	+ 0.12	60分	
苫 小 牧	14時30分		27日 2時 2分	+ 1.68 CDL	1	14時59分	+ 0.11	20分	
浦 河	15時26分		27日 2時 0分	+ 1.50 CDL	2	15時51分	+ 0.13	10~20分	
鯉 沢				+ 1.48 CDL			+ 1.33	8~10分	
深 浦	12時07分	8	13時33分	+ 0.73 CDL	*	*	+ 0.61	8~13分	
能 代	12時25分	1	12時31分	+ 2.08 CDL	*	*	+ 1.94	1波の水位上昇のみ記録	
船 川	12時27分	6	13時48分	+ 0.40 CDL	33	16時57分	0.32	10~14分	
秋 田			13時56分	+ 0.50 CDL	*	*	+ 0.39	20~40分	

*は最高水位に同じ

表-4.3(2) 津波の諸元(検潮記録による)

地 点	津波到達時間	最 高 水 位			最 大 偏 差			周 期	備 考
		波順	起 時	水 位	波順	起 時	水 位		
酒 田	12時40分	17	15時35分	+ 0.94 CDL ^m	*	*	+ 0.81 ^m	10~45分	判読不能
			14時30分	+ 0.70 TP	*	*	+ 0.57		
由 良	12時50分	1	13時0分	+ 0.36 TP	23	16時52分	+ 0.22	10分	
鼠 ヶ 関	13時10分	1	13時17分	+ 0.87 CDL	*	*	+ 0.73	10~20分	
岩 船	13時10分	9	16時08分	+ 0.80 CDL	*	*	+ 0.78	15~45分	
新潟(東地区)	13時10分	11	14時30分	+ 0.64 CDL	*	*	+ 0.50	10~45分	
新潟(西地区)	13時10分	1	13時12分	+ 0.81 TP	*	*	+ 0.46	10分	
松 ヶ 崎	13時10分	1	13時41分	+ 0.90 TP	*	*	+ 0.14	10~20分	
帝 石 橋 左 岸	13時05分	16	14時47分	+ 0.66 TP	*	*	+ 0.59	10分	
寺 泊	12時58分	20	16時42分	+ 1.04 CDL	*	*	+ 1.01	8~20分	
柏 崎	12時55分	24	16時16分	+ 0.90 CDL	55波	21時50分	+ 0.78	5~20分	
直 江 津	12時36分	9	13時41分	+ 0.89 CDL	*	*	+ 0.75	6~8分	
粟 島	12時50分	2	13時17分	+ 1.37 CDL	*	*	+ 1.17	8~20分	
両 津	12時45分	1	13時0分	+ 0.25 TP	*	*	+ 0.10	10分	
生 地	12時55分	16	15時07分	+ 0.32 CDL	*	*	+ 0.20	5~20分	
富 山	12時55分		15時10分	+ 0.31 CDL		19時45分	+ 0.20	5~8分	13時8分~20分まで欠測
新 湊	13時0分	1	13時10分	+ 0.32 CDL	*	*	+ 0.12	14~25分	
伏 木 尾	13時10分	9	15時58分	+ 0.17 CDL	*	*	+ 0.21	15~20分	
飯 田(内)			13時40分	+ 0.43 LWL		18時16分	+ 0.11	10分	
飯 田(外)			13時42分	+ 0.56 LWL		18時06分	+ 0.25	8分	
輪 島	13時15分	1	13時20分	+ 1.36 CDL	*	*	+ 1.26	5~15分	13時30分~17時まで欠測
金 沢	13時30分	30	16時38分	+ 0.53 CDL	*	*	+ 0.58	7分	
福 井	13時25分	8	14時59分	+ 0.59 CDL	23	16時39分	+ 0.59	7~15分	
敦 賀	13時45分	8	15時20分	+ 0.56 CDL	*	*	+ 0.51	8~15分	
舞 鶴(1)	14時10分	8	17時19分	+ 0.37 CDL	*	*	0.42	5~18分	
舞 鶴(2)	14時0分	13	17時32分	+ 0.44 CDL	*	*	0.53	18分	
津 居 山	13時35分	15	15時02分	+ 0.58 TP	*	*	0.54	10~15分	
田 後	13時36分	11	15時10分	+ 0.09 TP	23	16時51分	0.10	10分	
賀 露	13時40分	60	27日13時40分	+ 0.24 TP	12	18時40分	0.09	20~30分	
赤 碓	14時0分		16時10分	+ 0.78 CDL	*	*	0.78	判読不能	
境	14時10分	11	15時49分	+ 0.42 CDL	19	17時30分	0.39	8~20分	
森 山	14時20分	14	15時57分	+ 0.49 TP	*	*	0.47	11分	
美 保 関	14時0分		27日2時0分	+ 0.28 TP	9	15時45分	0.10	10~20分	
恵 曇	14時10分	5	15時0分	+ 0.99 TP	*	*	0.74	10分	
大 社	14時0分	1	14時10分	+ 0.40 TP		21時45分	0.22	10分	
外 園	14時40分		27日1時20分	+ 0.21 TP		16時0分	0.12	15分	
江 津									
浜 田	14時29分	7	15時09分	+ 0.55 CDL	26	17時0分	0.39	6分	
西 郷	13時33分	19	15時12分	+ 0.53 CDL	41	17時21分	0.48	5~7分	
日 明	15時40分		27日9時40分	+ 1.59 CDL		20時50分	0.12	7分	
響 灘	15時40分		27日9時40分	+ 1.61 CDL		20時13分	0.12	10分	
唐 津	16時15分		27日9時10分	+ 2.20 CDL		20時20分	0.11	8分	
郷 蒲	16時10分		27日8時50分	+ 2.29 CDL	26	20時32分	0.17	10~30分	
蔵 原	15時40分	41	20時50分	+ 1.80 CDL	28	18時35分	0.29	9分	

*は最高水位に同じ

表-4.4 目視観測から求めた津波の諸元

地 点	最 高 水 位		最 大 偏 差		周 期	備 考
	起 時	水 位	起 時	偏 差		
石狩湾新港	15時51分	+ 0.97 CDL ^m	*	+ 0.59 ^m	10~20分	15時~17時までの記録
余市港	16時20分	+ 0.30 CDL	*	+ 0.19	20~40分	
古平漁港	15時56分	+ 0.60 CDL	*	+ 0.57	10~20分	
余別漁港	14時45分	0.86 CDL	*	+ 0.80	5~8分	
瀬棚漁港	13時19分	+ 1.24 CDL	*	+ 1.18	10分	
福島漁港	13時41分	+ 1.60 CDL	*	+ 1.28	10分	
酒田北港	16時23分	+ 1.55 CDL	*	+ 1.50	5~30分	
酒田港東埠頭	12時53分	+ 1.40 CDL	*	+ 1.28	7~30分	
酒田港西埠頭	14時17分	+ 1.10 CDL	*	+ 1.00	10~15分	
由良漁港	14時23分	+ 1.05 CDL	*	+ 1.00	10~20分	
胤が関港	12時50分	+ 0.75 CDL	*	+ 0.66	10~20分	12時47分~14時30分まで観測
胤が関マリーナ	13時45分	+ 0.70 CDL	*	+ 0.54		
姫川	14時13分	+ 0.53 CDL	*	+ 0.38	5~10分	
輪島	13時38分~51分	+ 2.0 CDL 以上	*	+ 1.9 以上	10~15分	

*は最高水位に同じ。

の記録部が地震動の影響を受けて震動したためと思われる。そして、地震発生後3.6分経過して、水位が下降し始めている。この水位下降の最低水位は36cmである。下降開始後さらに4.2分(すなわち、地震発生後7.8分)経過して、水位は顕著に上昇し始め、記録範囲内での最高水位は104cmとなっている。

一方、深浦の検潮記録(付図-2.18)をみると、津波の第1波は4.2で述べたように12時07分に(すなわち、地震発生後7分経過して)到達している。初動は引きで、この水位下降の最低水位は-32cmである。水位下降開始後さらに4分経過して水位は上昇し始め、その水位上昇の最高水位は35cmである。したがって、波高記録から得られる津波第1波到達時間と、検潮記録から得られるそれとの間には3.2分の時間差がある。また、水位変動の偏差は検潮記録のほうが小さくなっている。

深浦の14時の記録(図-4.17)では、記録範囲内の長周期変動の最高水位は30cm、最低水位も-30cmで、これらの時間差は約10分である。また、深浦の14時前後10分間、計20分間の検潮記録では、最高水位は21cm、最低水位は-25cmで、これらの時間差も約10分となっている。

4.2で述べているように、酒田、輪島での津波第1波到達時間は、検潮記録からそれぞれ12時40分、13時15分である。したがって、瀬棚、酒田、弾崎、輪島の4地点での12時の波高記録では、顕著な長周期変動はみられないが、図-4.18~4.21に示した14時の記録では長周期変動をみることができる。酒田の14時の記録(図-

4.19)では、長周期変動の最低水位は-18cm、最高水位は24cmで、これらの時間差は4.6分である。酒田の14時前後20分間の検潮記録(付図-2.22)では、最低水位-14cm、最高水位58cmで、これらの時間差は約5分である。この他、波高記録からは瀬棚で最高22cm、最低-12cm、弾崎で最高28cm、最低-40cm、輪島で最高52cm、最低-35cmの長周期変動がみられる。

なお、上述のように波高記録から貴重な津波情報が得ることができるが、今後、津波来襲時に連続した観測が行われれば、研究の促進に役立つものと思われる。

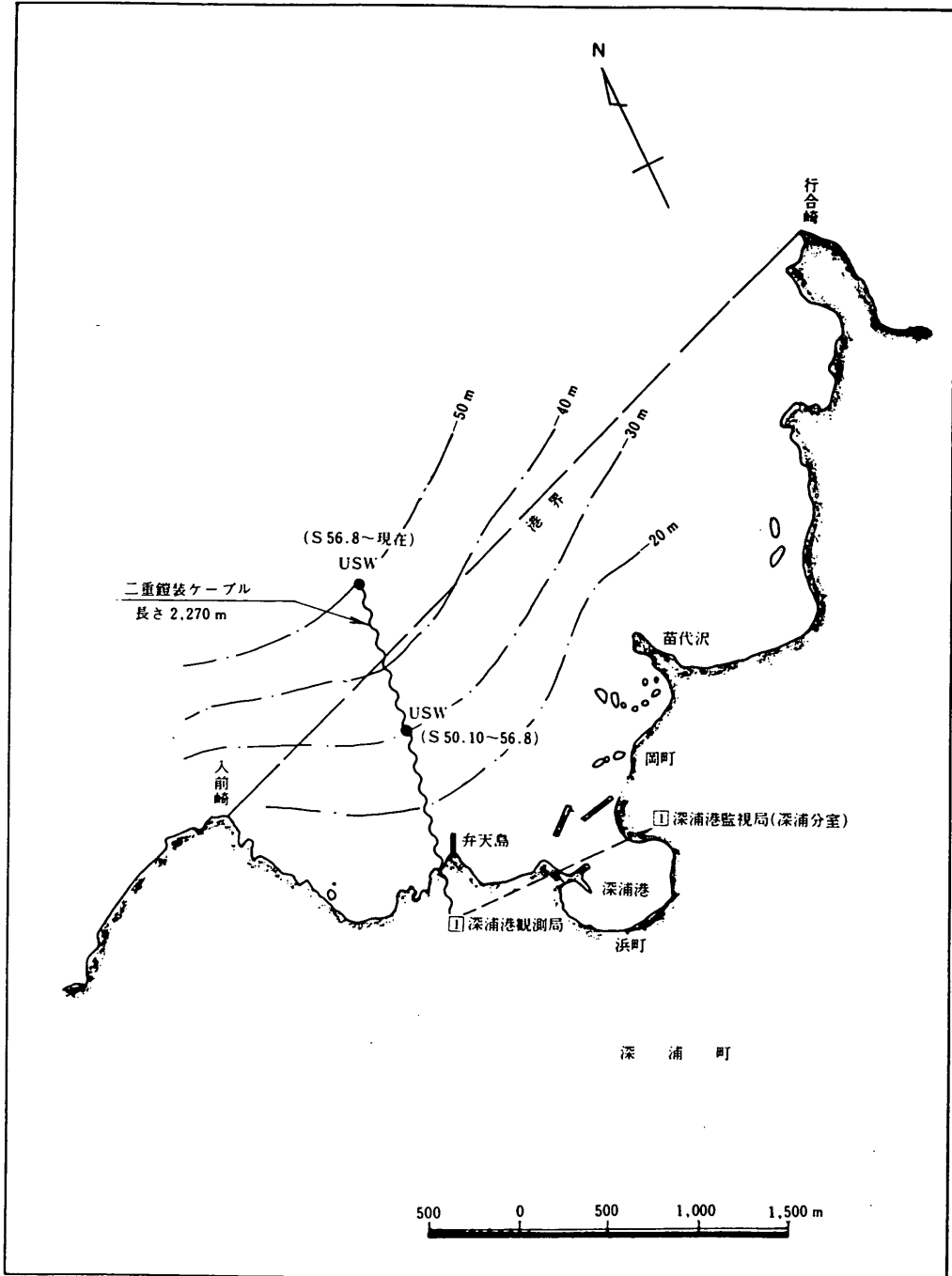


図-4.11 波高計設置位置(深浦)

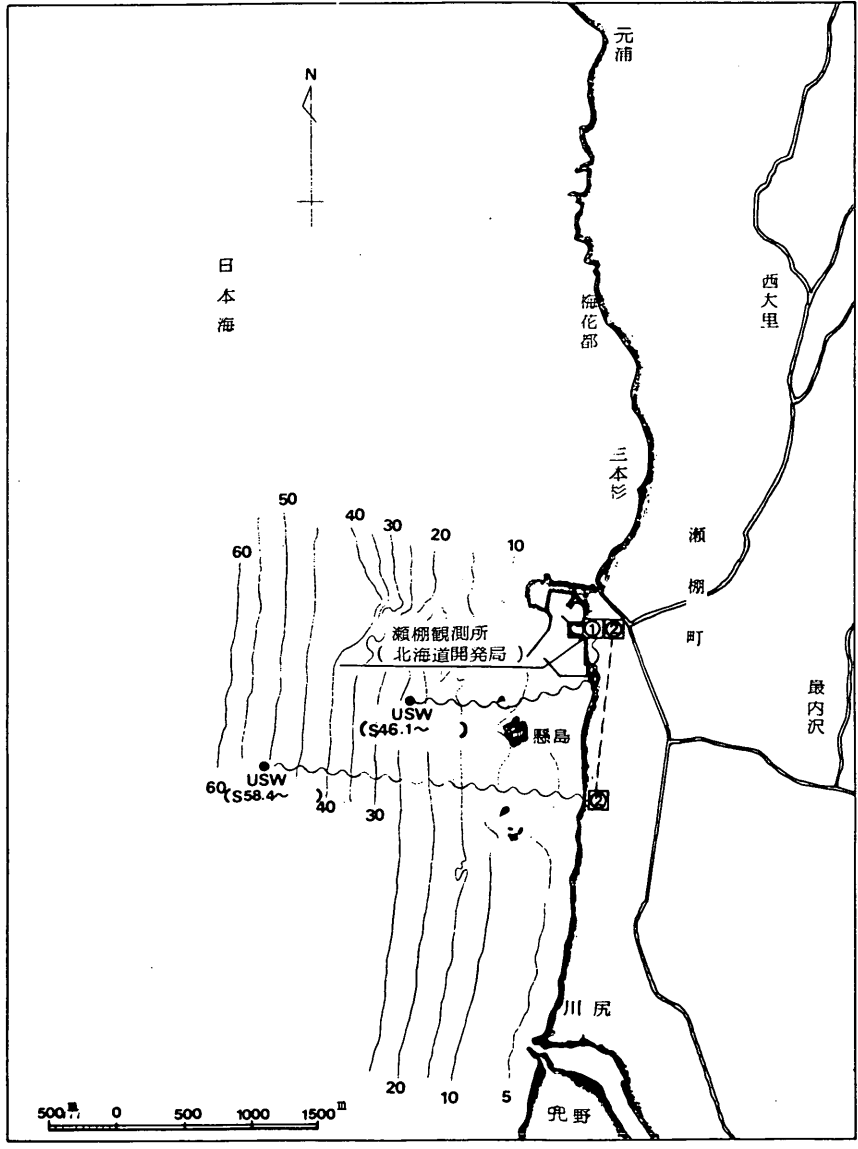


図-4.12 波高計設置位置(瀬棚)

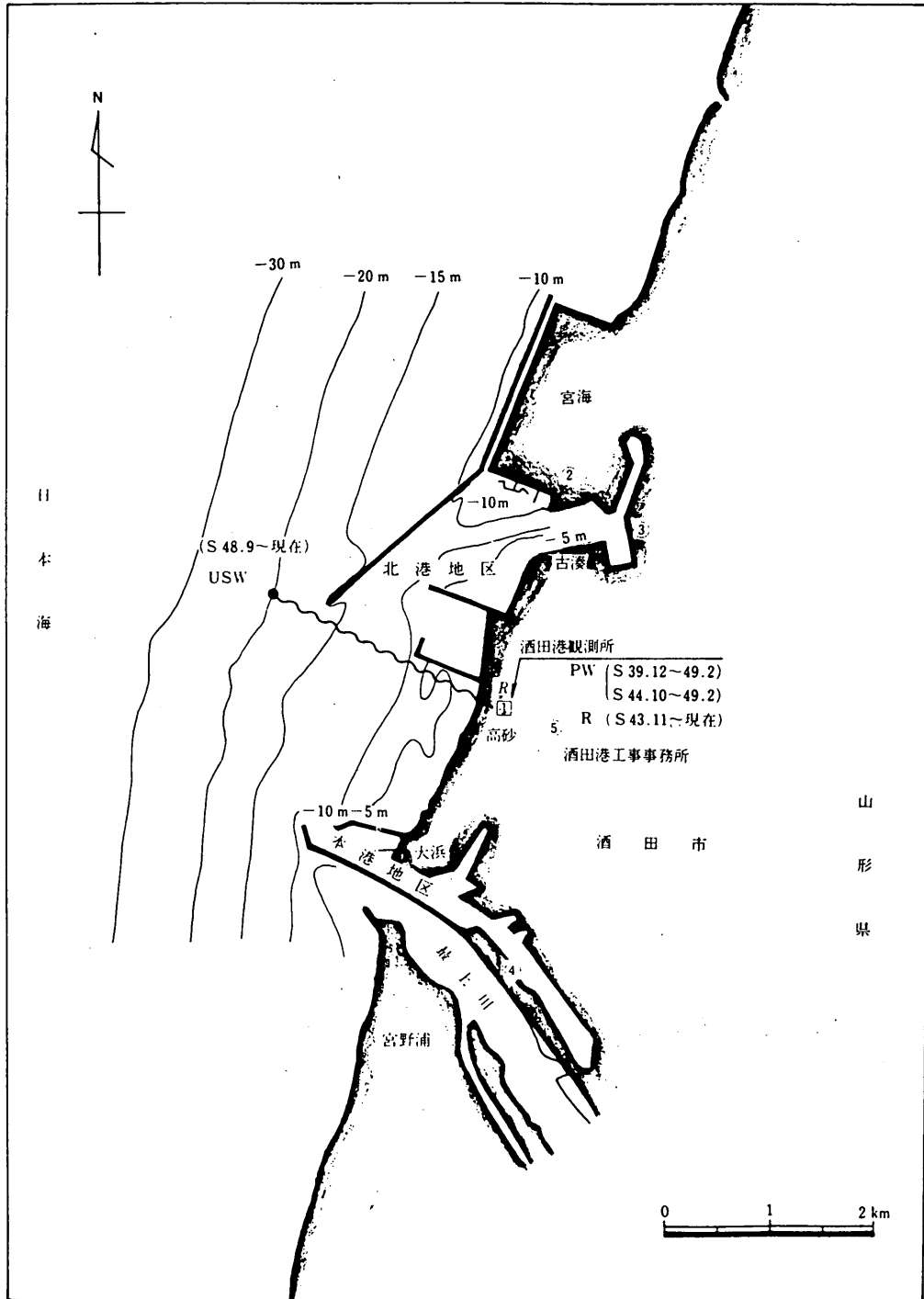


図-4.13 波高計設置位置(酒田)

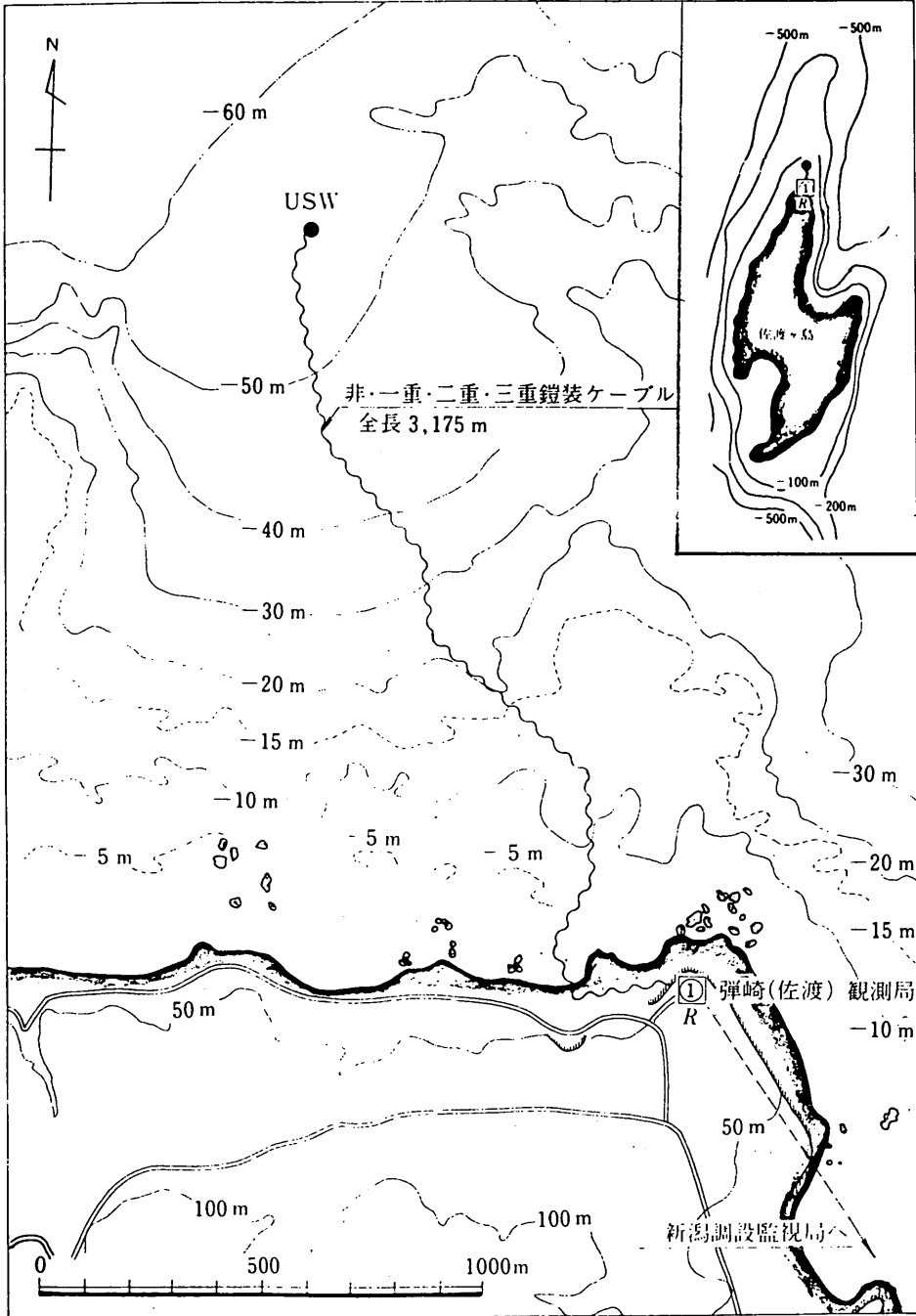


図-4.14 波高計設置位置(弾崎)

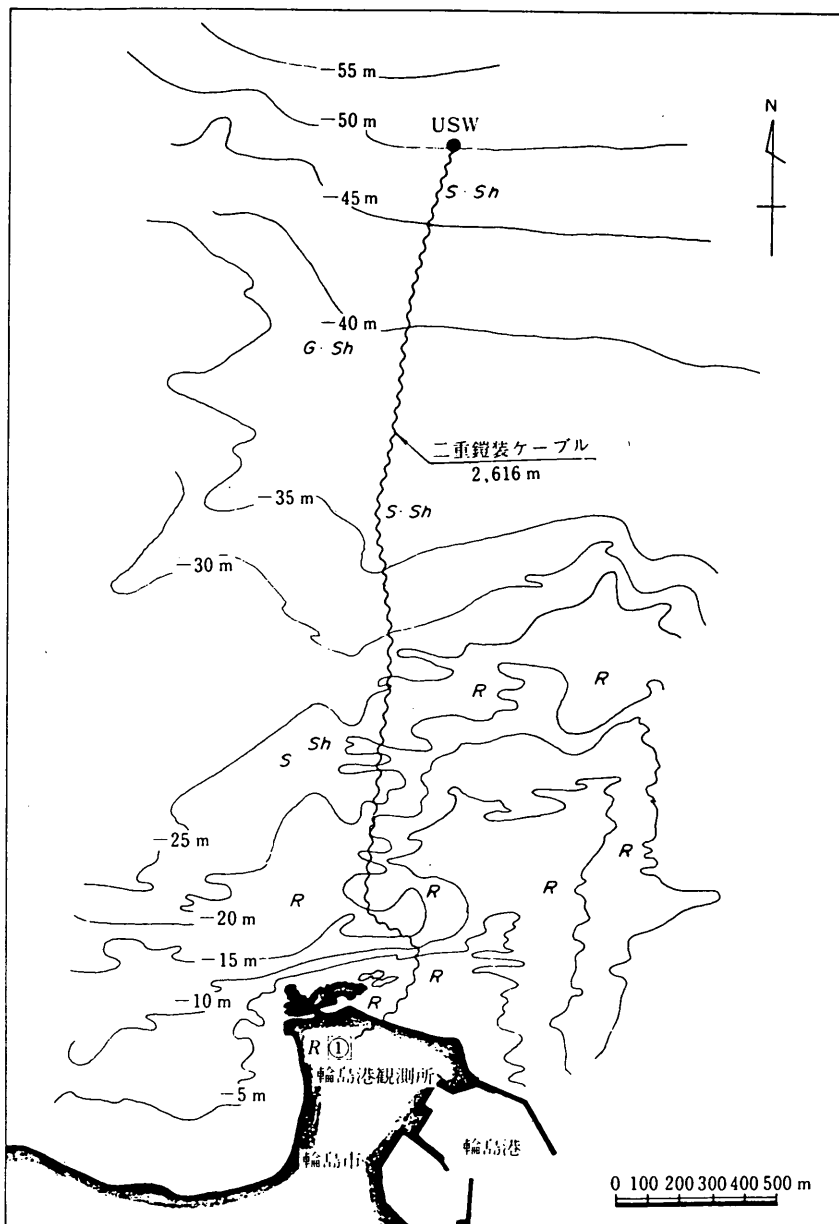


図-4.15 波高計設置位置(輪島)

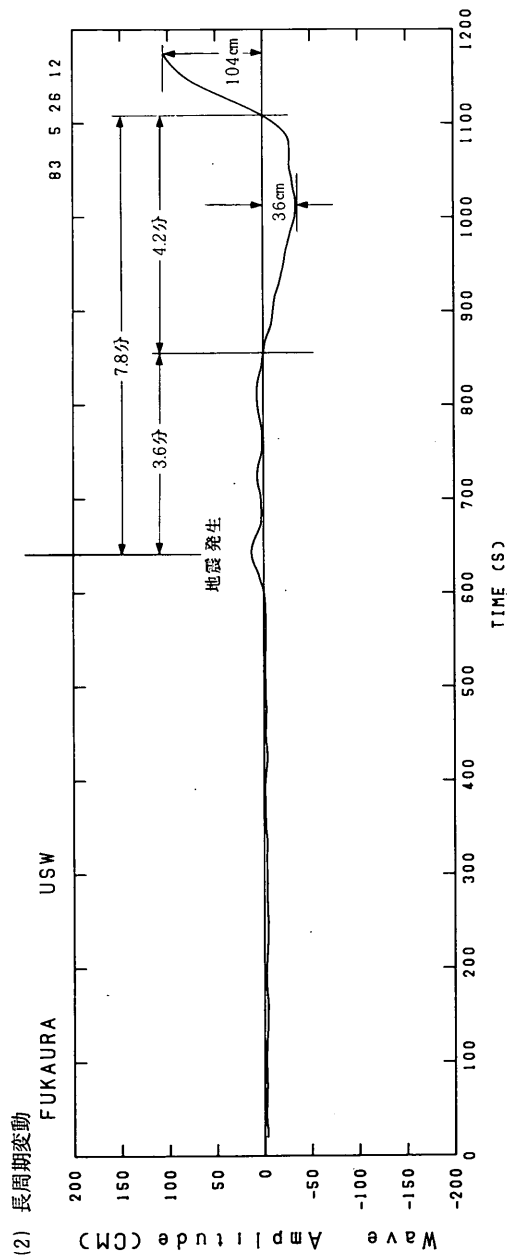
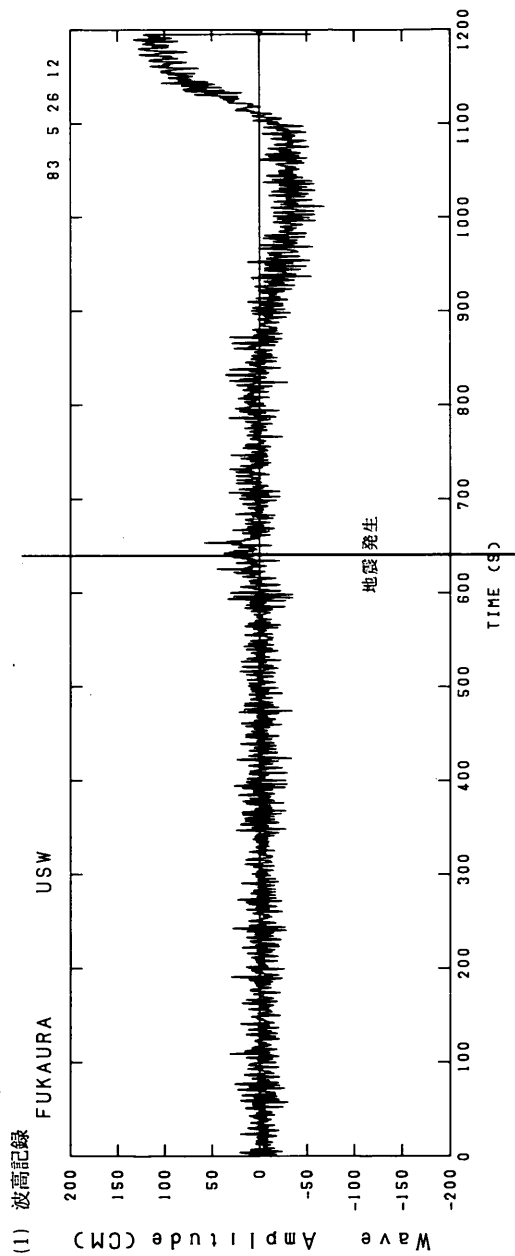


図-4.16 波高記録と長周期変動(深浦, 12時)

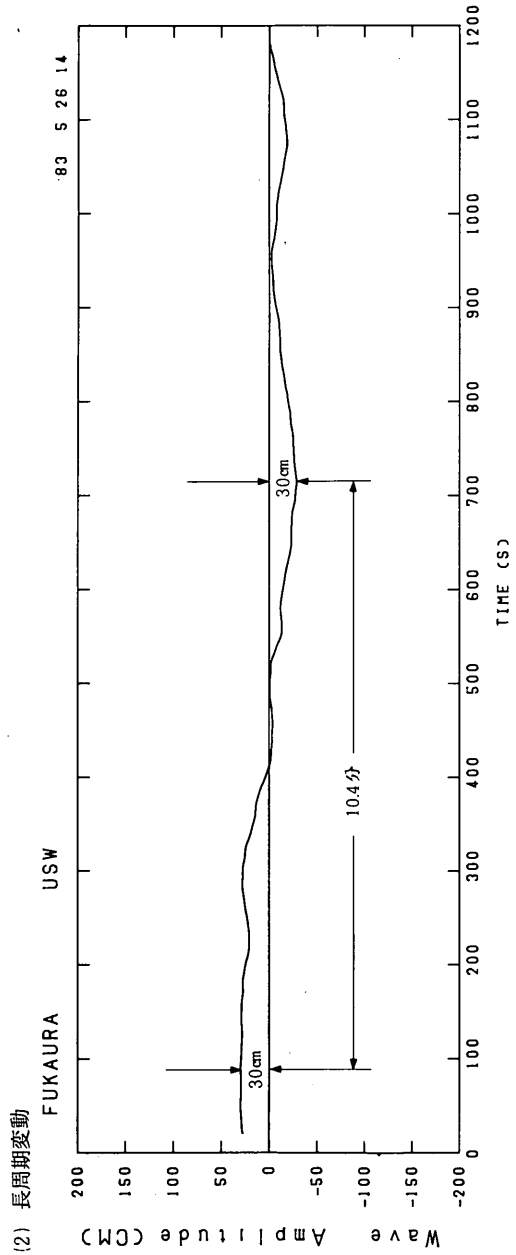
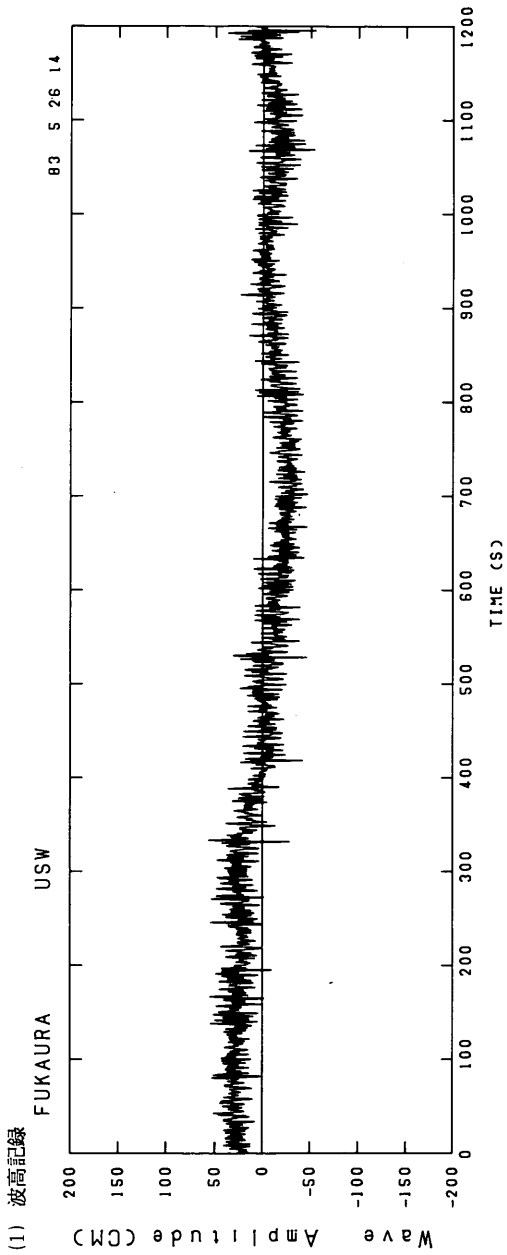


図-4.17 波高記録と長周期変動(深浦,14時)

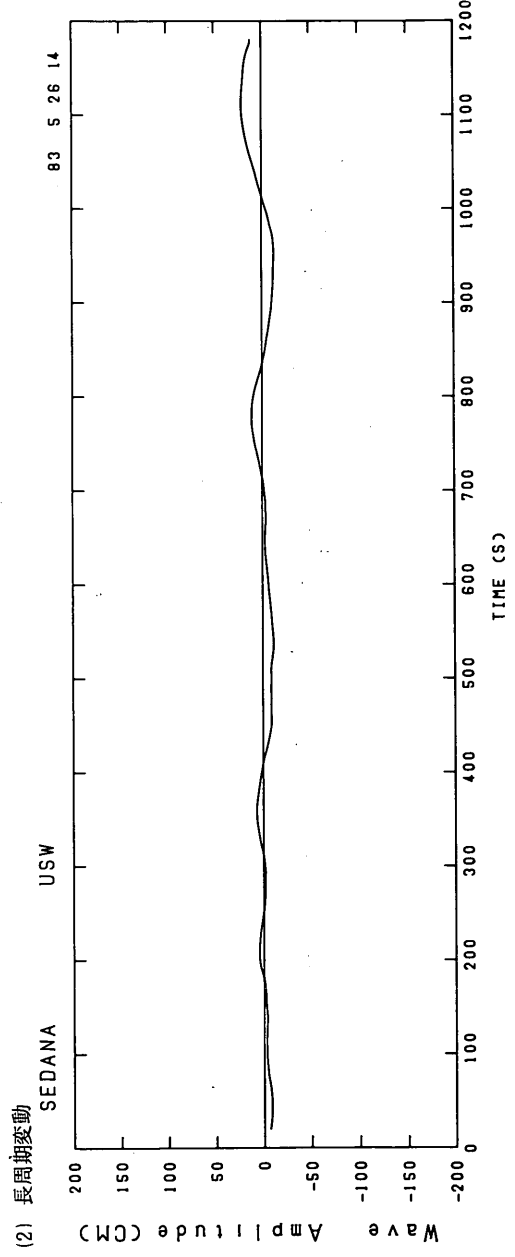
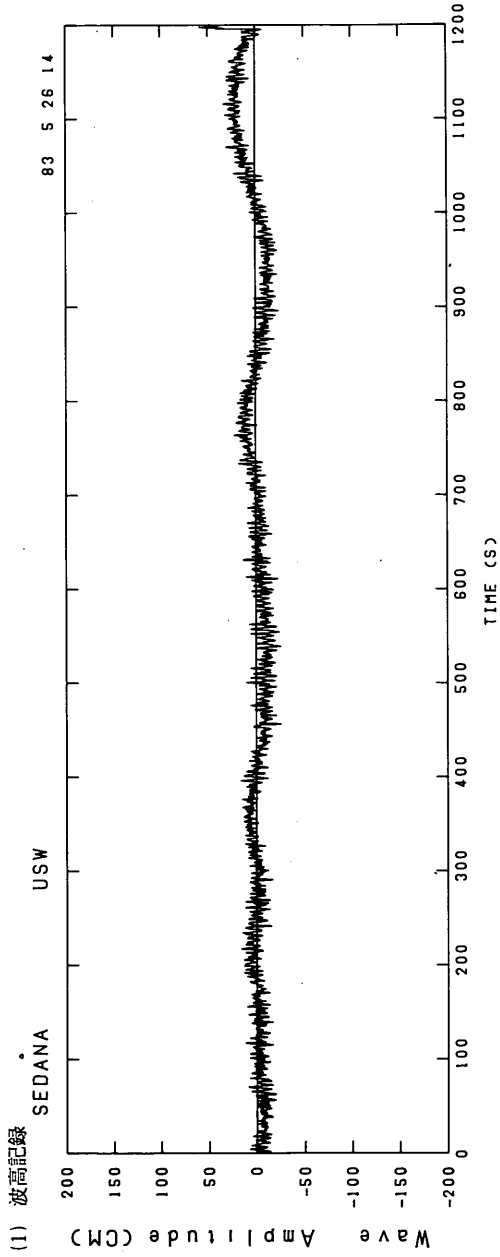


图-4.18 波高記録之長周期変動(潮棚, 14時)

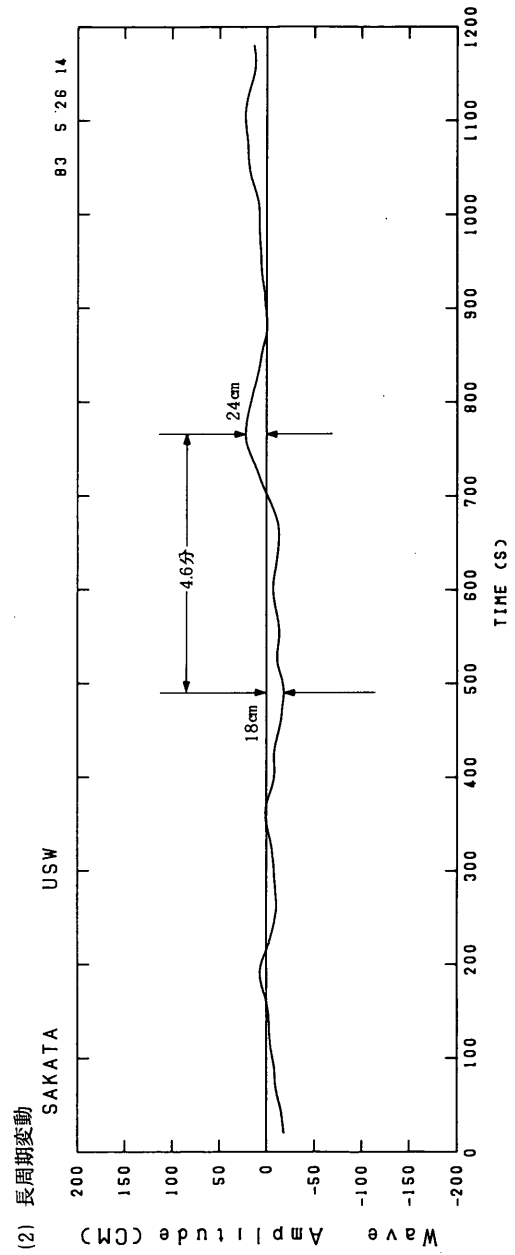
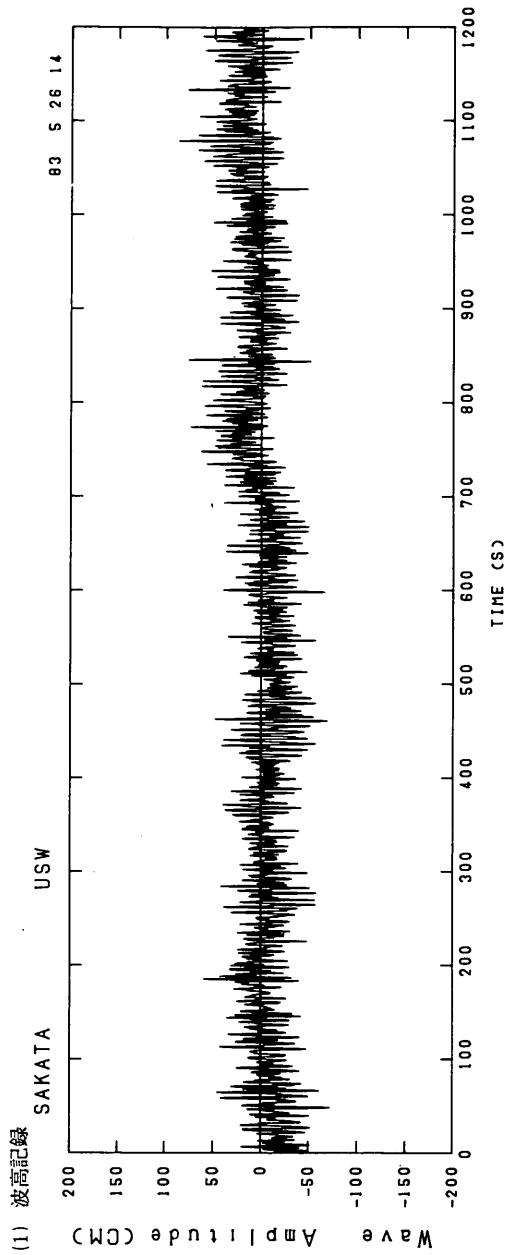


図-4.19 波高記録と長周期変動(酒田,14時)

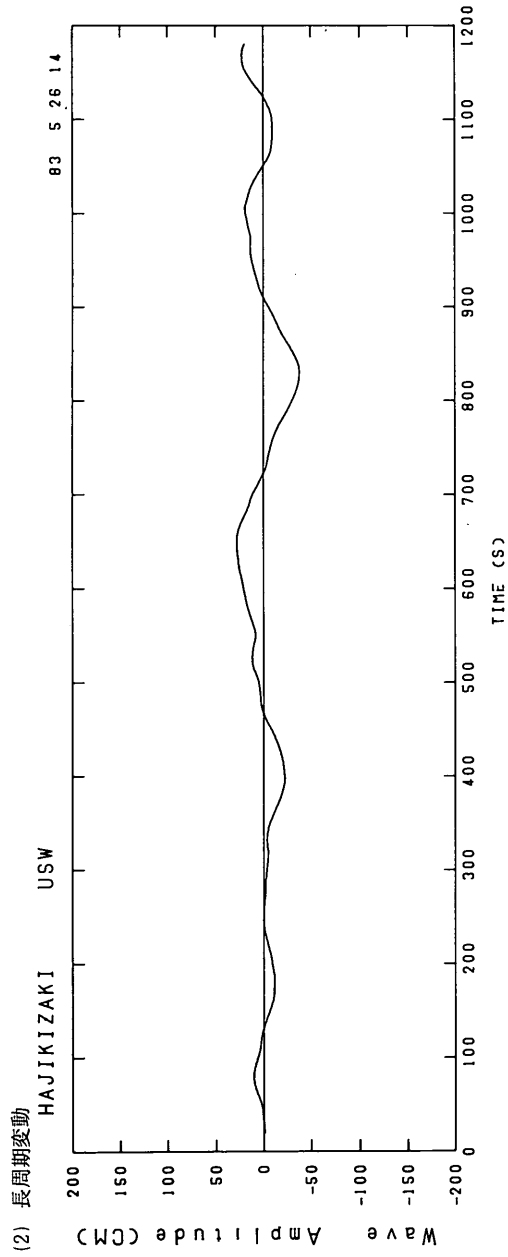
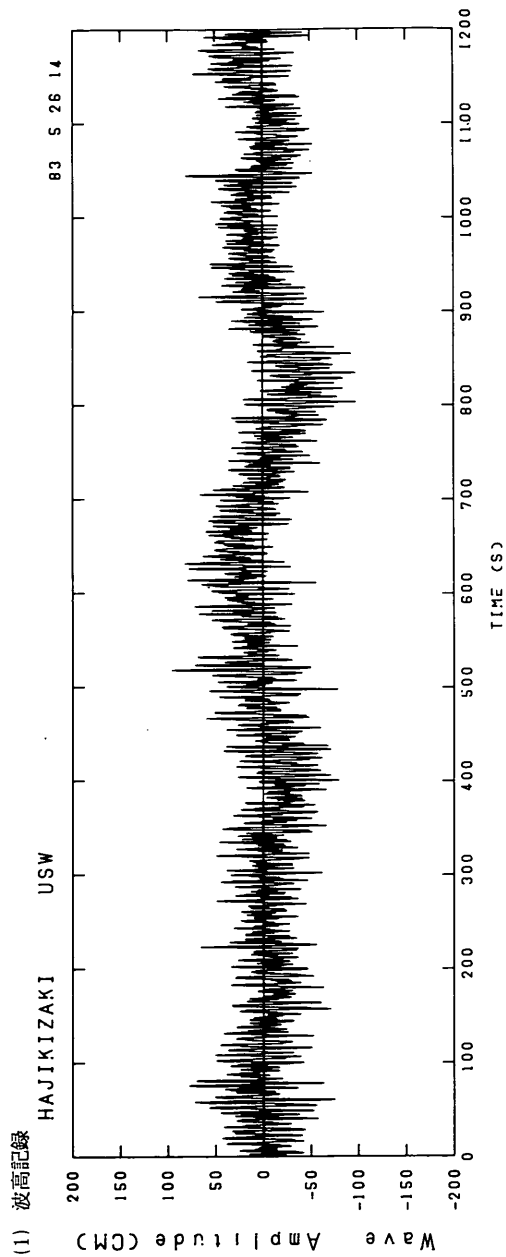


図-4.20 波高記録と長周期変動(弾崎,14時)

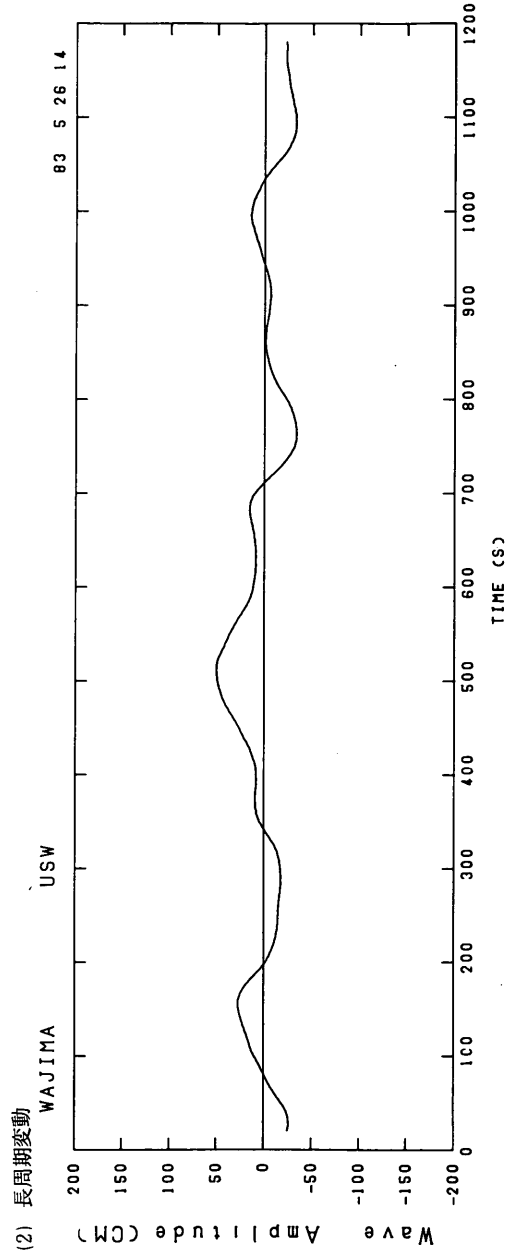
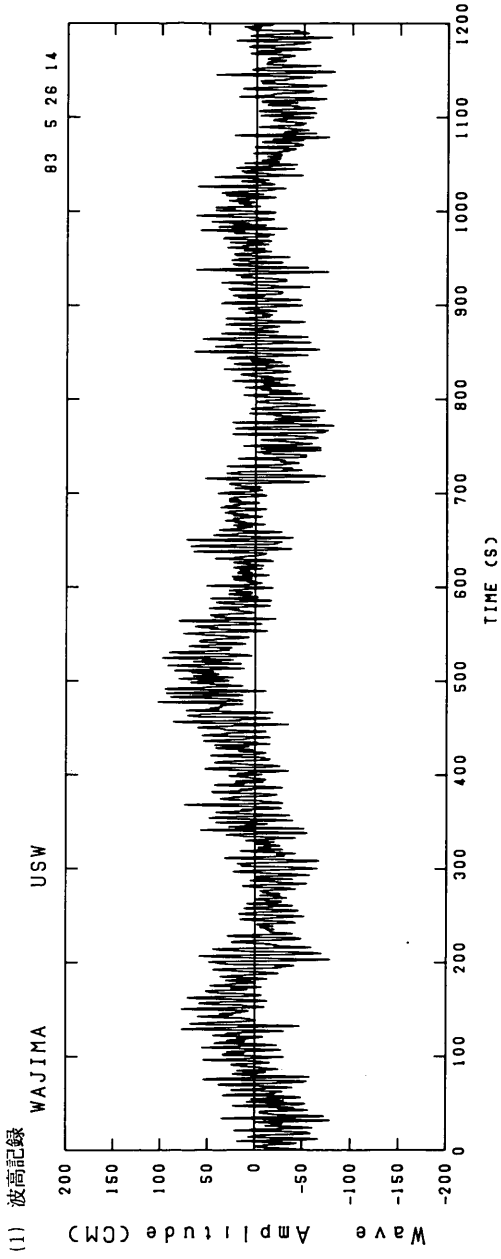


図-4.21 波高記録と長周期変動(輪島, 14時)

表-4.5 沿岸波浪観測施設の概要

地点名	波高(向)計機種	水深	観測データ集中管理期間	波向観測機種
一 建	秋田港 D _s B (加速度計方式)	-700 m	S. 57. 1~	R
	酒田港 USW	-20.4	44.10~	R
	弾崎 "	-5.4	53.10~	R
	阿賀沖 SRW	-8.0	55. 1~	
	新潟西 CWD	-1.5	56.12~	R
	輪島港 USW	-5.0	54. 1~	R
	金沢港 "	-20.2	44.12~	
	福井港 "	-21.3	55. 9~	R
	深浦港 "	-49.6	54.12~	
	むつ小川原港 "	-4.9	49. 4~	SGWD
二 建	八戸港 "	-2.1	46. 3~	SGWD
	宮古港 "	-23.3	56. 7~	
	釜石港 "	-4.3	53. 3~	
	仙台新港 USW CWD	-2.0	54. 1~	
	小名浜港 USW	-2.0	55. 1~	R, SGWD
	阿字ヶ浦 USW CWD	-3.0	54.12~	
	鹿島港 USW	-2.2	47. 4~	SGWD
	浜金谷 "	-2.2	47. 9~	
	波浮港 "	-4.9	48. 4~	
	潮ノ岬 PW	-12.8	45. 8~	
三 建	高知沖 D _s B (加速度計方式)	-12.0	55. 9~	
	鳥取港 USW	-3.0	54. 9~	
	浜田港 "	-5.1	49. 3~	
	神戸港 "	-1.7	46. 5~	
	油津港 "	-5.0	50. 3~	
四 建	志布志港 "	-3.5	55. 4~	
	名瀬港 "	-5.0	52. 3~	
	伊王島 SGW	-2.4	49.12~	
	玄界灘 SpB (USW)	-51.7	55. 8~	
	藍島 USW	-20.7	50. 4~	
北 開 局	釧路港 "	-19.5	46. 2~	
	苫小牧港 "	-24.5	45. 1~	R, CWD
	瀬棚港 "	-2.4	46. 1~	
	留萌港 "	-5.0	45. 1~	R, CWD
	紋別港 "	-1.8	49.11~	
沖 総 局	中城湾 "	-5.5	48.11~	
	那覇港 "	-5.1	48. 7~	R

注) USW : 超音波式波高計
 SRW : ステップ式波高計
 SGW : 水圧式ストレーンゲージ型波高計
 PW : 水圧式撓動抵抗型波高計
 CWD : 超音波式流速計型波向計
 SGWD : ストレーンゲージ型波向計
 R : 波向測定用レーダ
 D_sB : ディスカスプイ
 SpB : 耐波性直立ブイ

5. 各地の津波来襲および被害状況

5.1 北海道*

(1) 北海道における津波の概況

今回の津波は、地震発生後約17分後に北海道最南端の松前港に到達している。そのうち津波は、渡島半島西岸、奥尻島に被害を与えながら、日本海沿岸を北上していった。とりわけ、奥尻島青苗岬における被害は大きかった。

図-5.1に、渡島半島西岸および奥尻島における津波の最高そ上高(最高水位)をC.D.Lを基準にして示している。これらの値は、ヒアリングや津波来襲時の写真に基づき、海岸、船揚場斜路、岸壁、防波堤や浸水家屋のこん跡高から求めたもので、検潮記録がある所については、それによる最高水位もあわせて示してある。

渡島半島西岸では、松前半島の先端部で比較的大きく、松前港ではC.D.L+2.2m、小島漁港ではC.D.L+3.8mであった。松前半島東岸の函館港周辺では、最高水位はしだいに小さくなり、福島漁港でC.D.L+1.6m、札川漁港でC.D.L+1.5m、函館港ではC.D.L+1.2mであった。函館港内の検潮記録によると、津波の第1波は地震発生後約45分まで到達している。福島漁港での簡易測定によると、ここでの平均周期は約11分であった。

一方、松前半島西岸においても、松前港から江差港に至る地域では、石崎漁港C.D.L+1.8m、江差港C.D.L+1.4mと、北上するにつれて小さくなる傾向にあるが、江差港から尾花岬の南にある上浦漁港に至る地域では、熊石漁港C.D.L+1.9m、上浦漁港C.D.L+2.0mとやや大きくなる。さらに、上浦漁港北側の港外ではC.D.L+2.7mと大きくなっている。周期は江差港で約10分、熊石漁港では約7分であった。

尾花岬から茂津多岬に至る地域では、瀬棚港で最高水位がC.D.L+1.2mと小さいが、吹込漁港でC.D.L+1.9m、須築漁港でC.D.L+1.8mと大きくなる傾向にある。茂津多岬から積丹半島にかけては、弁慶岬の背後にあたる寿都漁港でC.D.L+0.8mと小さく、永豊漁港でC.D.L+1.0m、岩内港ではC.D.L+1.5mであった。

奥尻島は、北海道において最も津波による水位変動が大きい地域であった。特に、奥尻島西岸では神威脇漁港の港内において、最高水位がC.D.L+5.0m、港外(北側)においてC.D.L+4.5mと非常に大きく、奥尻島南端に至る海岸では、藻内海岸でC.D.L+4.4m、青苗岬西岸でC.D.L+4.0mと約C.D.L+4m以上であった。青苗岬東岸でも、最高水位はC.D.L+4.1m、青苗漁港港内ではC.D.

L+3.5mであった。

青苗岬では東西両岸から津波が侵入している兆候が見られる。青苗岬から室津島(青苗岬の南方沖合約4km)に到る海域は、奥尻島から南方へ約30~40kmのびている奥尻海嶺の上において、青苗岬~室津島間の水深は約20mと浅い。この海底地形の影響をうけて、南方から来襲した津波は青苗岬に収れんし、その結果、津波は東西両海岸からそ上し、水位も大きくなったものと思われる。

奥尻島東岸の松江海岸ではC.D.L+1.5mであるが、そこから奥尻港にかけては最高水位は高くなり、赤石海岸でC.D.L+2.3m、奥尻港ではC.D.L+3.1mとなっている。奥尻島の北東端にある稲穂岬と北海道側の尾花岬の間は、約16kmと狭くなっており、この地形のため津波の集中が生じ、北海道側、奥尻島側ともこの地域で水位の上昇が大きくなったものと推測される。

今回、踏査しなかった積丹半島以北および太平洋沿岸の一部についても、検潮記録から津波が確認できる。各港の到達時刻と最高水位は、小樽港13時00分、C.D.L+0.3m、留萌港13時14分、C.D.L+0.2m、羽幌港13時32分、C.D.L+0.6m、仙法志漁港(利尻島)13時31分、C.D.L+1.0m、杓形港(利尻島)13時22分、C.D.L+0.8m、太平洋岸の浦河港で15時56分、C.D.L+1.3mである。

(2) 奥尻島における津波

奥尻島は江差町の沖合北西約61kmの日本海上(北緯40°03'~42°15'、東経139°33'~139°24')にあり、周囲84km、南北27km、面積143.3km²の離島である(図-5.2参照)。島の東海岸は比較的単調な地形であり、渡島半島との間の奥尻海峡では水深が500~1000mである。一方、西側海岸は奇岸絶壁等の変化に富む岩礁海岸であり、沖合は急に深くなっている。今回、踏査した神威脇漁港の沖合6kmでは水深が1500mとなっている。なお、図-5.2には、以下に記述する奥尻島内の踏査箇所を示してある。

a) 奥尻島東岸(奥尻港~松江海岸)

奥尻島東岸北部にある奥尻港(地方港湾、図-5.3)では、津波は東外防波堤をまわりこんで港内に侵入しており、-5.5m岸壁先端では渦をまいていた。漁民からのヒアリングによると、押し、引きとも2波めが最大であった。こん跡高は奥尻島分駐所前(測点①)でC.D.L+2.2m、-4m岸壁エプロン上の漁業協同組合冷蔵庫内(測点②)でC.D.L+2.5m、港奥部の道路(測点③)ではC.D.L+3.1mであり、港奥にいくほど大きかった。港奥では係船施設の大半が水没し、引き波時には港奥船

* 執筆担当 吉本 靖 俊・村田 繁

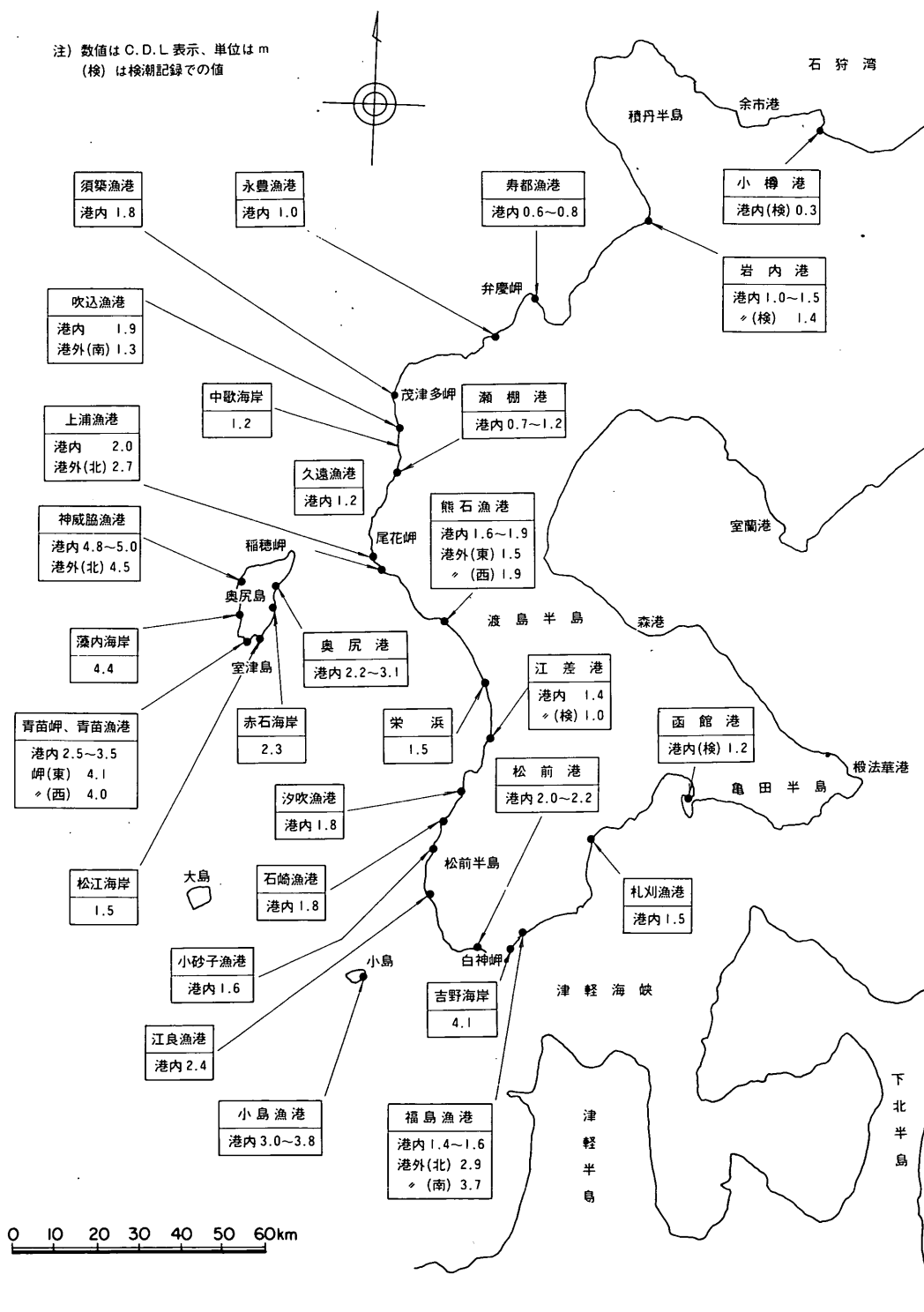


図-5.1 各地の最高水位(渡島半島西岸および奥尻島)

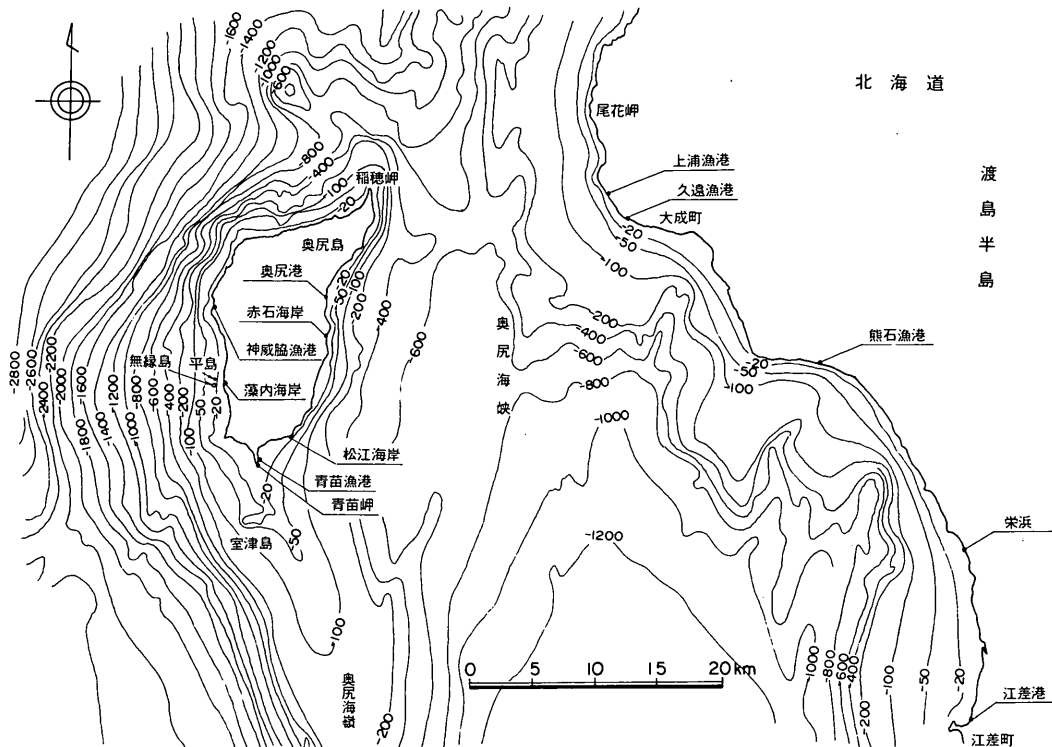


図-5.2 奥尻島および周辺の海底地形

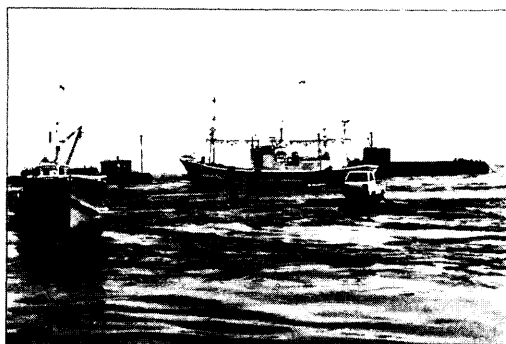


写真-5.1 奥尻港
(-4m岸壁, 江差港湾建設事務所撮影)



写真-5.2 赤石海岸
(踏査時撮影)

溜り(C.D.L-3m)の海底が見えた。写真-5.1は港奥-4m物揚場(天端高C.D.L+1.3m)上を越流している状況である。また、-6m岸壁(天端高C.D.L+2.0m)のエプロンでも若干の浸水が見られた。

奥尻港の南方約3kmにある赤石海岸は、大きな栗石からなる急勾配の地形をなしている。住民からのヒアリングによると、ここでは津波の初動は引きから始まっ

ている。最大波は第2~3波めであり、そのときの最高そ上高はC.D.L+2.3m(写真-5.2中のドラム缶の根元までそ上)であった。

松江海岸は写真-5.3に示されるように岩礁海岸である。住民からのヒアリングによると、ここでも津波の第1波は初動が引きから始まっている。最大波も第2~3波めであり、そのときの最高水位はC.D.L+1.5m

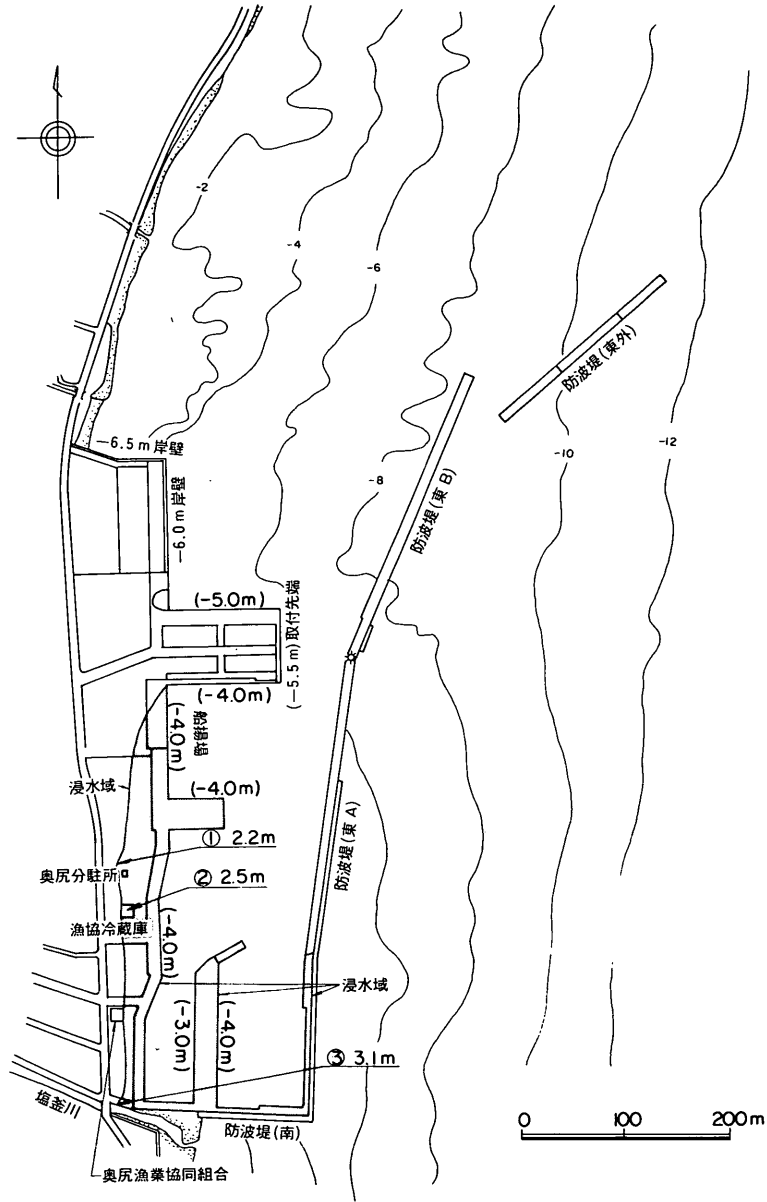


図-5.3 奥尻港（地方港湾）

（写真-5.3中の電柱の根元までそ上）であった。

奥尻島東岸では、北にいくほど津波のそ上高は大きくなっている。

b) 青苗岬

奥尻島の南端にある青苗岬（図-5.4）は、北海道において漁船、人家への津波の被害が最も大きかった地域であり、2人が死亡している。当岬は南方向に舌状に突

き出た地形となっており、その周辺の海岸は写真-5.4からわかるように岩礁からなる浅瀬である。このため、南方向から来襲した津波は舌状の青苗岬に収れんし、東西の両海岸からそ上したと推測される。

津波のそ上高は、青苗岬先端に近いところにある漁具倉庫内（測点⑥）では、こん跡からC.D.L+4.1m、被害集落のほぼ中央にあり、西海岸より約100mのところ



写真-5.3 松江海岸
 (引き波時, 奥尻町山崎涓二氏撮影)



写真-5.5 青苗地区被災状況
 (江差港湾建設事務所撮影)

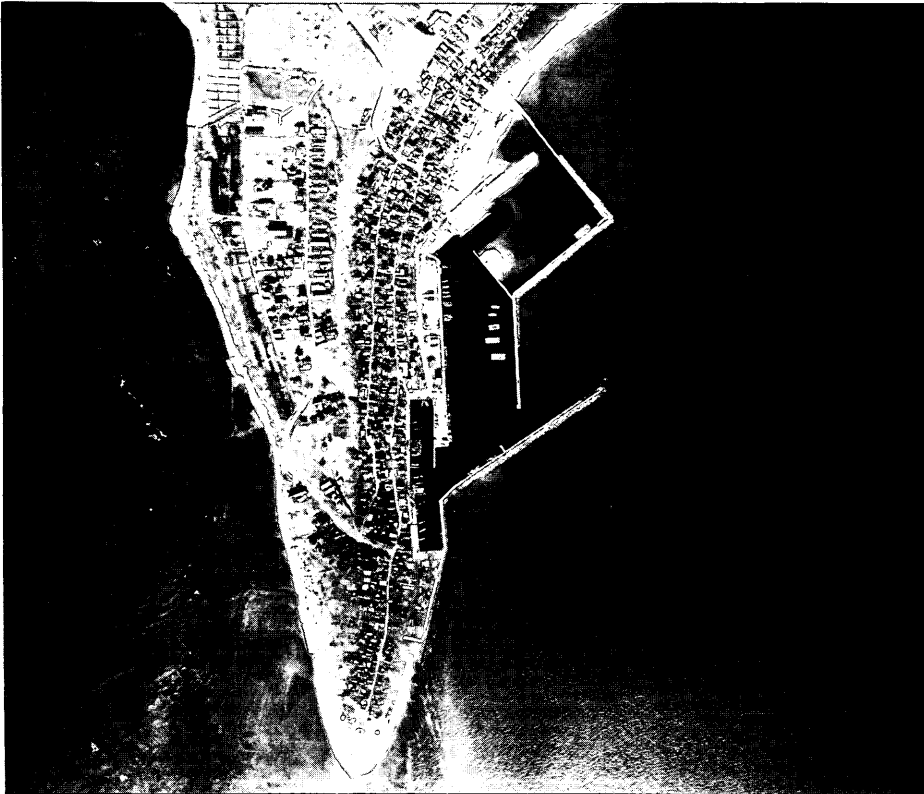


写真-5.4 青苗岬航空写真(函館開発建設部提供)

ある民家(測点⑤)では、外壁の下にみられるこん跡からC・D・L+4.0mであった。また、西海岸での津波のそ上は、海岸より約50mのところにあった小屋が約29m流された方向から南西方向からそ上してきたと推測できる。なお、押し波により西海岸にあった岩石(大きさ約1m×1m×1m)が海岸線にそって北方向に約120m運ば

れていた。

奥尻町役場の調査によると浸水域は図-5.4に示される範囲であり、最高そ上高はT・P+5.9mであった(江差港では、T・P=C・D・L+0.079m)。集落の被害状況は全壊5戸、半壊16戸、床上浸水20戸、床下浸水22戸と報告されている(写真-5.5)。

青苗漁港（第3種漁港）は舌状に突出た地形の東岸にあり、図-5.4 に示されるように港口は北東に開いている。津波の第1、2波めは港口より砕波して段波状に港内に侵入している。写真-5.6 は港口を侵入する第2波めの津波である。青苗漁業協同組合職員の話によると、最大波は第3波であり、北防波堤（天端C.D.L+4.0m）、および南防波堤（天端C.D.L+4.5m）を越波して港内に

押し寄せている。このため、港内はかなりじょう（擾）乱し、南防波堤港内側に仮置きされていた試験用波除堤（方塊ブロック積み、図-5.5 参照）が倒壊してブロックが散乱した。港奥に係留されていた漁船の中には、岸壁や突堤の上に打ち上げられたものや（写真-5.7）、転覆したり沈んだりした漁船（写真-5.8）も多数あった。また、船揚場をそ上した波や南埋立護岸（天端C.D.

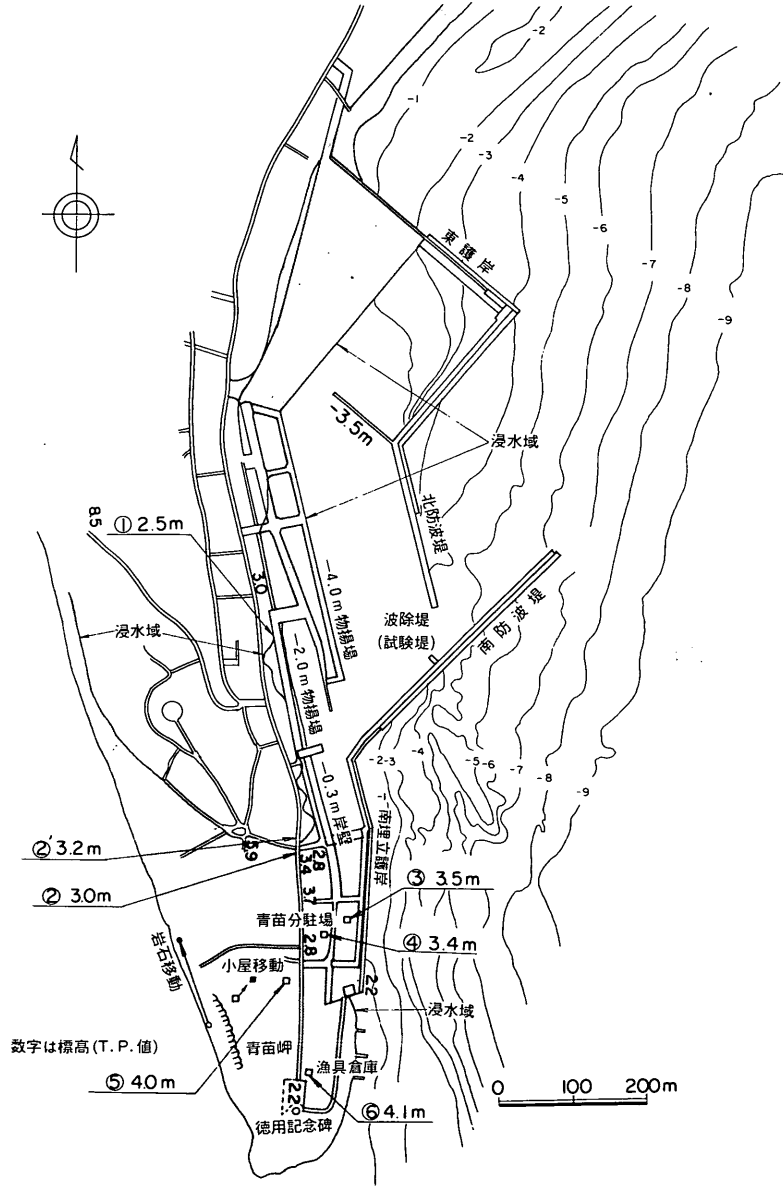


図-5.4 青苗岬と青苗漁港（第3種漁港）

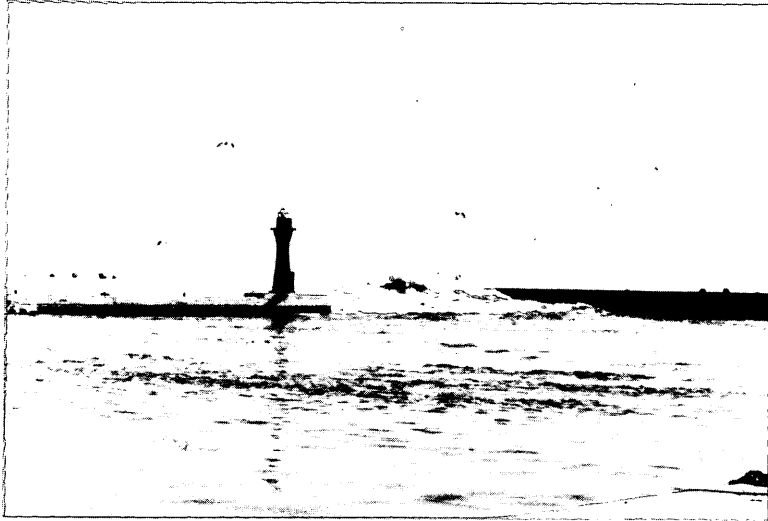


写真-5.6 青苗漁港港口（第2波め，江差港湾建設事務所撮影）

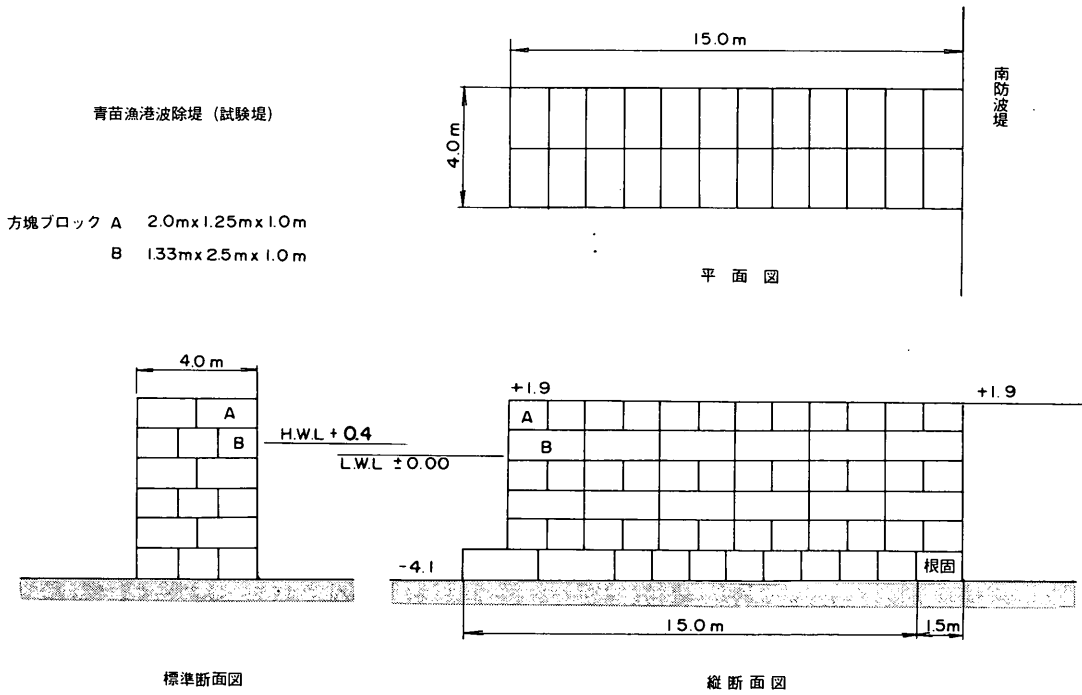


図-5.5 青苗漁港波除堤（試験堤）

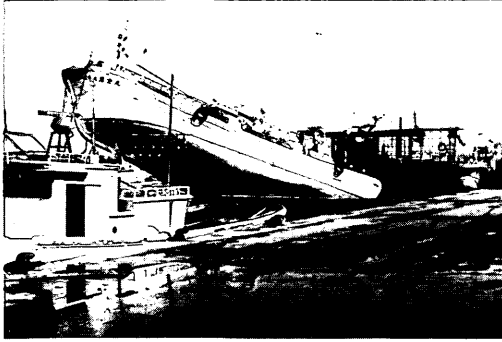


写真-5.7 津波による被災例1
(江差港湾建設事務所撮影)

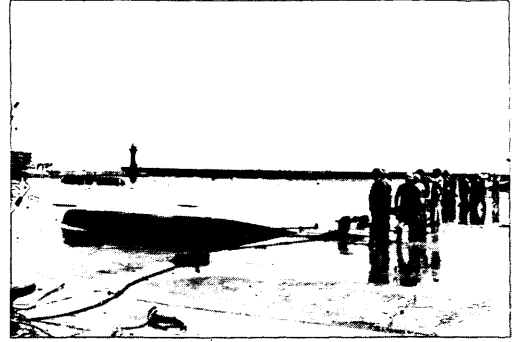


写真-5.8 津波による被災例2
(江差港湾建設事務所撮影)

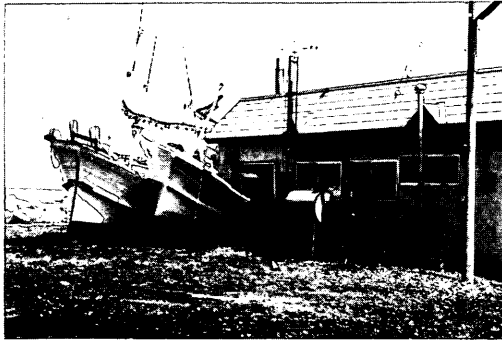


写真-5.9 津波による被災例3
(江差港湾建設事務所撮影)

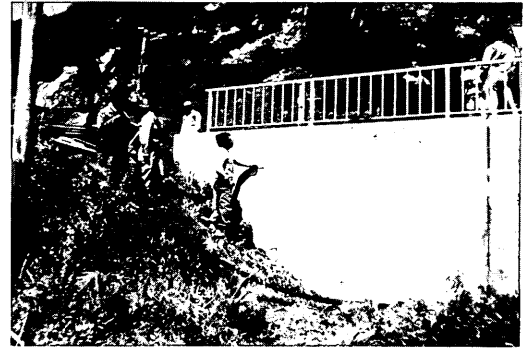


写真-5.10 神威脇漁港道路下こん跡

L+3.5m)を越えた波に運ばれて家屋に衝突した漁船(写真-5.9)もあった。最高水位はこのときに生じており、-2m物揚場(天端C.D.L+1.6m)隅角部のエプロン直背後(測点①)では、民家でのこん跡よりC.D.L+2.5m、-3m岸壁(天端C.D.L+1.6m)南端エプロン背後(測点②、②')では民家のこん跡からC.D.L+3.0~3.2m、南埋立護岸背後(測点③)では江差道路建設事務所青苗分駐所のこん跡よりC.D.L+3.5mであった。

青苗岬の南方約4kmの沖合に位置する室津島(岩礁からなる小さな島で、灯台が設置されている。)では、津波のこん跡高は、北海道大学の調査によるとC.D.L+0.5~0.6mと青苗岬に比較して非常に小さかったようである。

c) 奥尻島西岸(神威脇漁港~藻内海岸)

奥尻島西岸は北海道において津波による水位変動が最も大きかった地区である。図-5.6に示す神威脇漁港(第4種漁港)では、津波は南に開いている港口(幅約

50m)より港内に侵入している。港内では-3m岸壁と物揚場エプロンのすべてが浸水し、さらに取付道路斜面をそ上した津波によって一般道路まで浸水している。写真-5.10に示してある道路下(測点①)でのこん跡高はC.D.L+5.0mであった。また、北防波堤(天端C.D.L+3.5m)および港外北護岸を越波した津波のため、港内および神威脇温泉保養所前が浸水しており、神威脇温泉保養所横(測点③)でのこん跡高はC.D.L+4.5mであった。引き波時には港内の海底(C.D.L-3m)全域が露出することもあった。なお、港内波除堤の先端が一部倒壊し、港内、港外で漁船(4.9t)が各一隻転覆した。

神威脇漁港と青苗岬のほぼ中間に位置する藻内海岸(写真-5.11)は栗石からなる比較的遠浅の地形をなしている。ここには小さな船揚場斜路があり、津波はこれをそ上し、その背後を通る一般道路まで浸水した。道路上の浸水高はC.D.L+4.4mであった。漁民からのヒアリングによると、最大波のときには沖合約700mのと

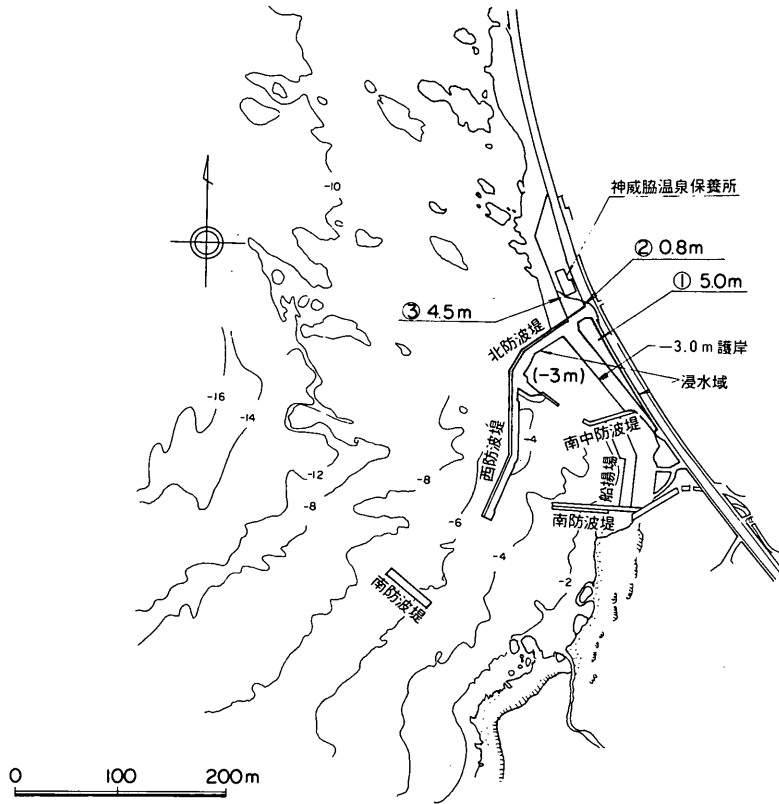


図-5.6 神威脇漁港（第4種漁港）



写真-5.11 藻内海岸

（中央：無縁島，右：平島，踏査時撮影）

ころにある平島が水没することもあったということである。また、無縁島近くの岩礁上には海岸から流出した木材片が打ち上げられていた。

奥尻島西海岸では、以上のように、約C.D.L+4m以

上の最高水位となっていた。

(3) 渡島半島西岸における津波

渡島半島西岸において調査した箇所を図-5.7，図-5.8に示す。

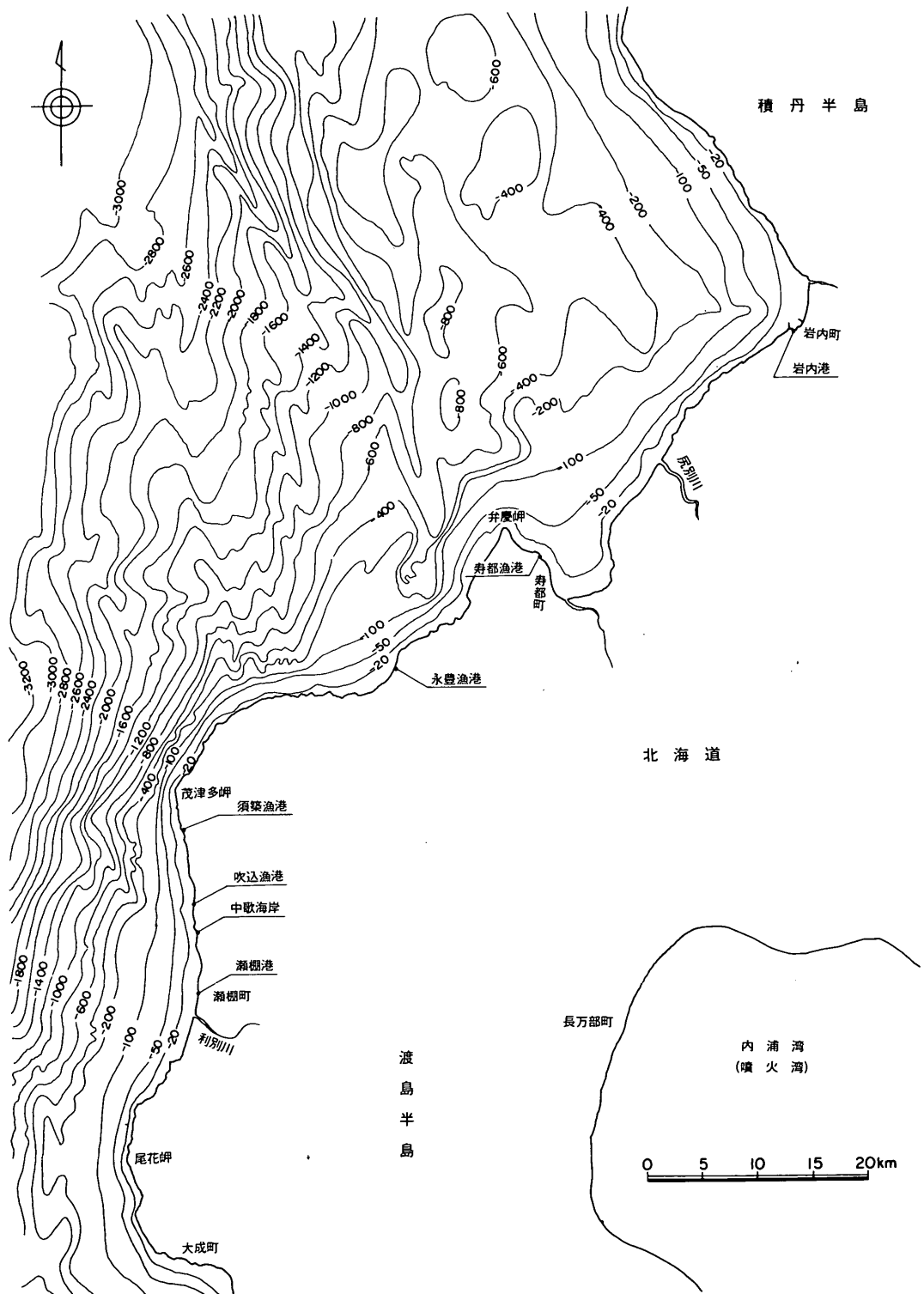


図-5.7 渡島半島北部とその調査箇所

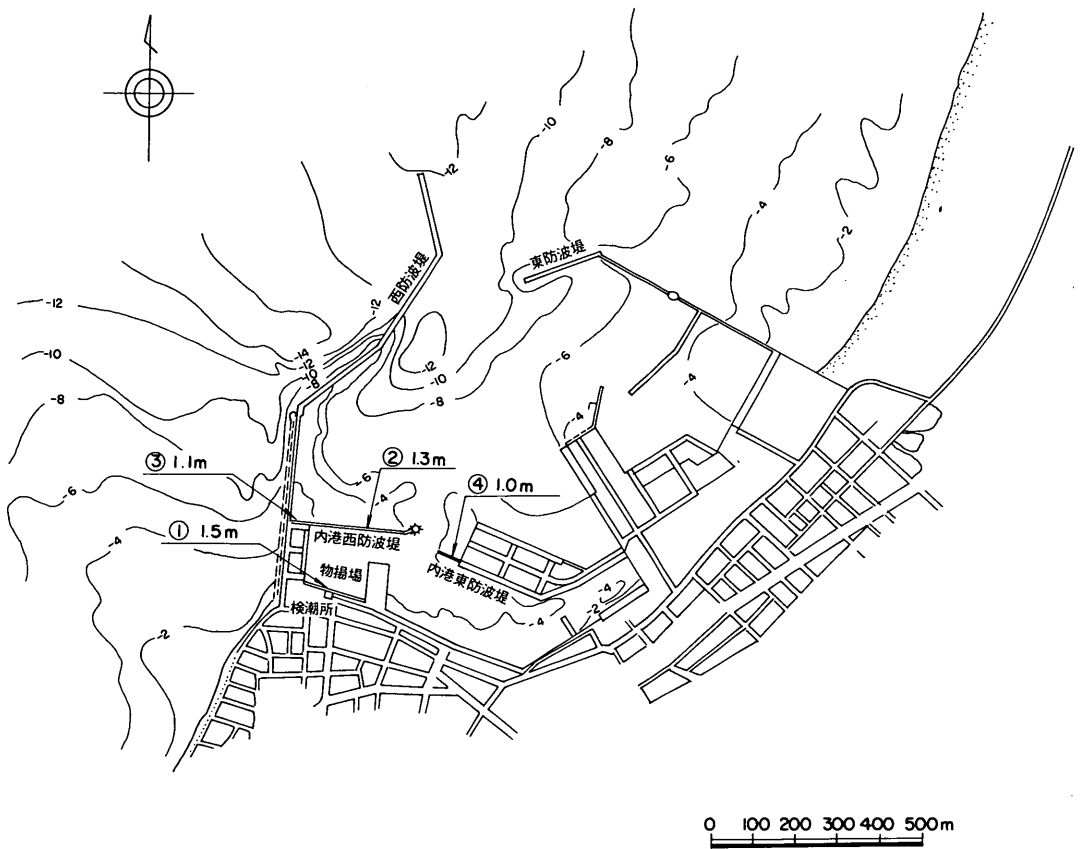


図-5.9 岩内港（地方港湾）

a) 岩内港～永豊魚港

積丹半島の南側に位置する岩内港（地方港湾，図-5.9）では大きな地震動は感じられなかったが，津波は内港物揚場に設置されている検潮所（フース型検潮儀）の検潮記録によると，地震発生後約40分後に来襲しており，初動は押しから始まっている。また，平均周期（第1～30波の平均）は約15分である。最高潮位は第4波め（13時40分ごろ）に生じC・D・L+1.4m，最低潮位は第12波め（15時50分ごろ）のC・D・L-0.6mであった。検潮所のある内港物揚場（天端C・D・L+1.36m，測点①）は浸水し，そこでのこん跡高はC・D・L+1.5mであり，約0.1m検潮記録より高くなっている。内港西防波堤（測点②）および内港東防波堤（測点④）では，それぞれC・D・L+1.3m，C・D・L+1.0mと比較的小さくなっており，漁港施設，漁船等の被害はなかった。

図-5.10に示される寿都漁港（第3種漁港）は弁慶岬の東側に位置し，津波の遮へい領域に入るところである。ここでは，津波による水位変動は小さく，最高水位は内港口（測点②）でC・D・L+0.7m，-3m岸壁（測点③）でC・D・L+0.8m，北防波堤隅角部（測点①）ではC・D・L+0.6mであり，港内では浸水した箇所はなかった。しかし，港口（幅約45m）での流れは速く，引き潮時に漁船が入れなかったほどであった。

また，茂津多岬の北東約20kmにある永豊漁港（第1種漁港）では，船揚場斜路上での最高そ上高はC・D・L+1.0mであった。

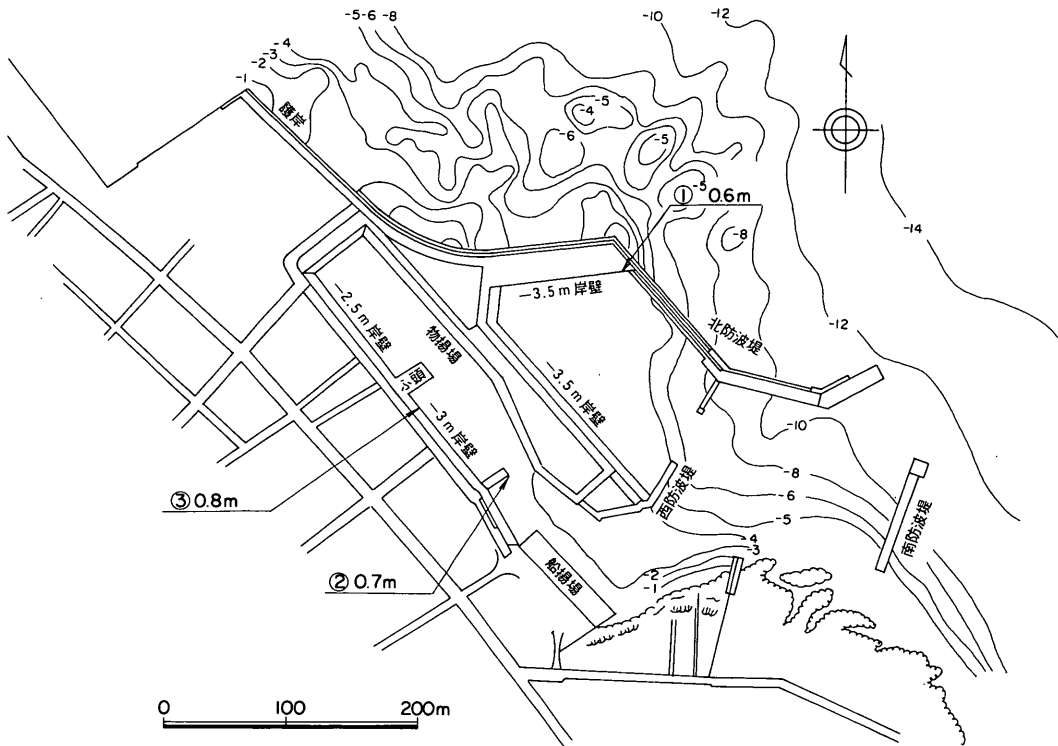


図-5.10 寿都漁港(第3種漁港)

b) 須築漁港～瀬棚港

茂津多岬南側にある須築漁港(第4種漁港, 図-5.11)では, 船揚場斜路(測点①)で最大C.D.L+1.8mまで上昇した。引き波時には-4m岸壁(測点②)の直立消波ブロック(クロスホロー14t型)の2段めまでみえたということから約C.D.L-1.7mであったと考えられる。当漁港でも引き波時, 港口での流れは速く船外機船が入れなかったほどである。

須築漁港の約8km南方にある吹込漁港(第1種漁港, 図-5.12)でも港内(測点①)の最高こん跡高(写真-5.12)はC.D.L+1.9mであり, 南防波堤の水叩き(天端C.D.L+1.3m)まで浸水した。しかし, 港外南海岸(測点②)での最高水位はC.D.L+1.3mで港内より約0.6m低くなっている。

さらに, これより約4.5km南方にある中歌海岸(写真-5.13)でも最高こん跡高はC.D.L+1.2mであり, 須築漁港の港外南海岸でのものと近い値になっている。

図-5.13に示す瀬棚港(地方港湾)における最高水位は外港-4m岸壁(測点②)でC.D.L+1.2m, 内港-4m岸壁(測点①)でC.D.L+0.9mであり, 防波堤や岸壁上への浸水はなかった。なお, 港湾建設会社, 松本組の従業員が津波来襲時に内港-4m岸壁で12時38分~21時50分にわたり箱尺による潮位測定を行っており, それによると, 最高潮位はC.D.L+1.3m(13時20分ごろ), 最低潮位はC.D.L-0.8m(12時40分ごろ)であった。また, 平均周期は約10分であった。

以上述べたように, 茂津多岬から瀬棚港にかけては, 南に行くにつれて津波の最高水位が低くなっている。

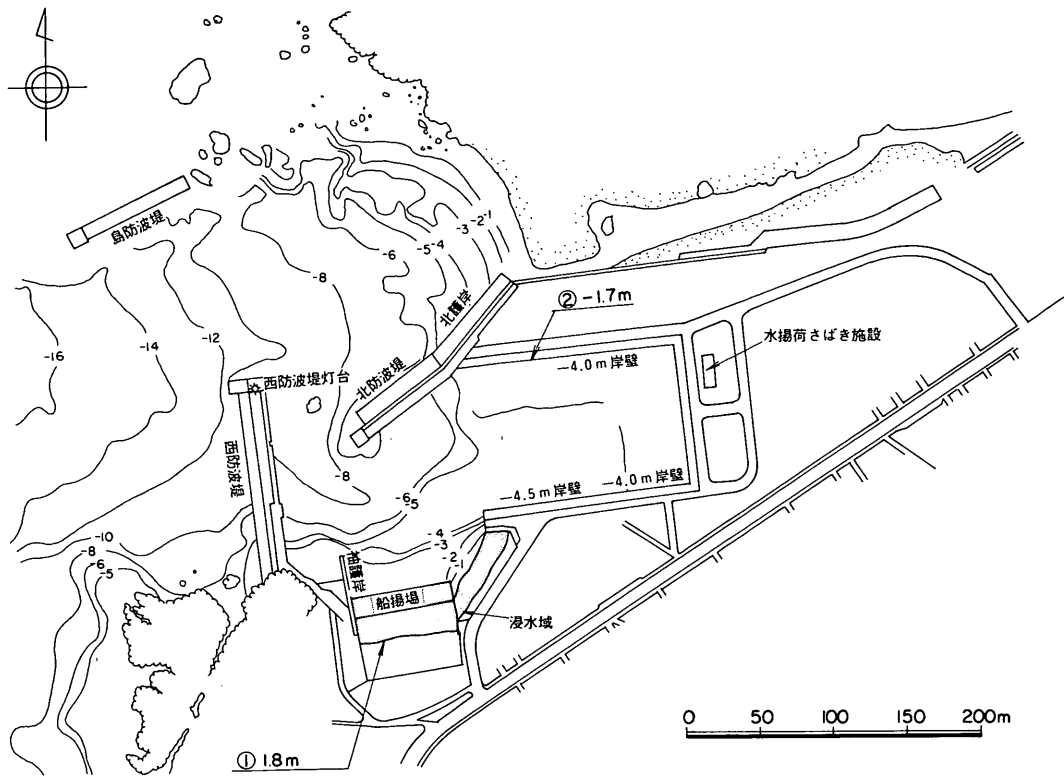


図-5.11 須築漁港（第4種漁港）

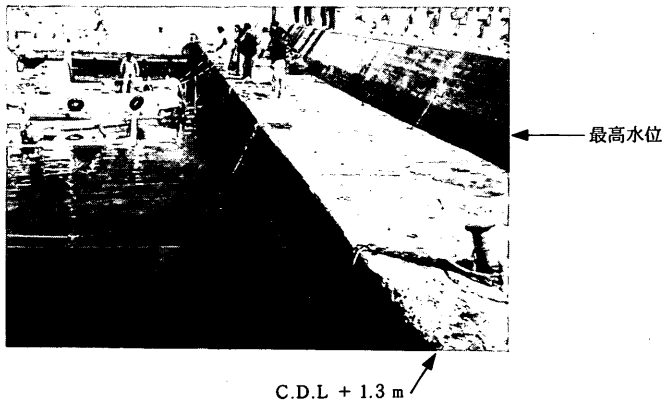


写真-5.12 吹込漁港
（引き波時，瀬棚町役場撮影）

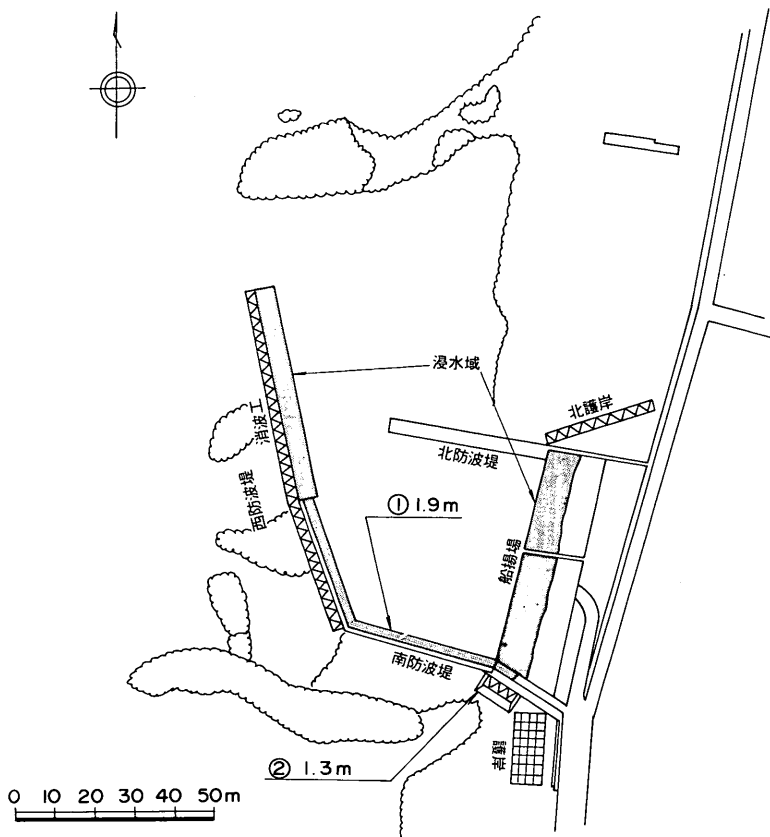


図-5.12 吹込漁港(第1種漁港)



写真-5.13 中歌海岸
(引き波時, 瀬棚町役場撮影)

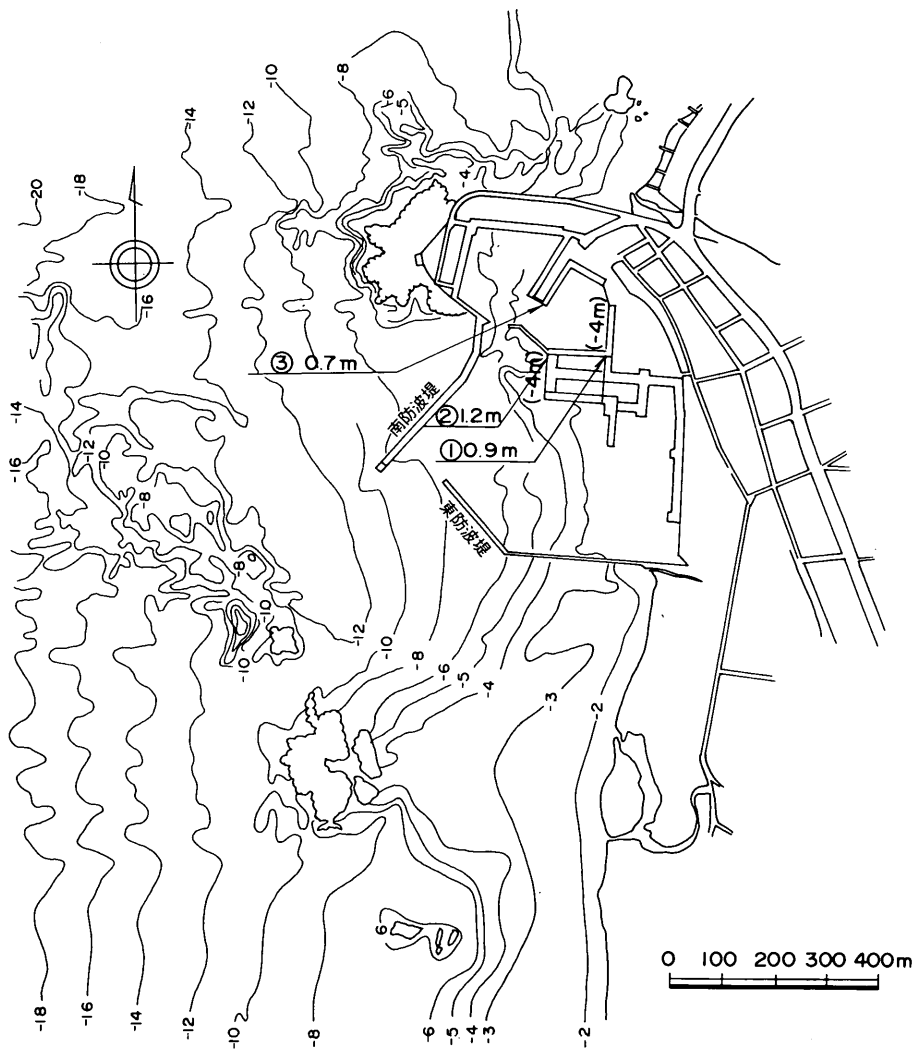


图- 5.13 瀬棚港(地方港湾)

c) 上浦漁港～熊石漁港

上浦漁港（第1種漁港）、久遠漁港（第3種漁港）および熊石漁港（第3種漁港）は、渡島半島西岸の尾花岬から南東方向に伸びる海岸線にあり、西方約30 km 沖合には奥尻島が位置する。ここでは、浪源域から伝播してくる津波が地形にさえぎられることなく直接来襲してくる所であり、以下に述べるように津波による水位変動が比較的大きくなっている。

上浦漁港（図-5.14）は北方に港口が開いており津波は西防波堤をまわりこんで港内に侵入している。-3 m岸壁（天端C.D.L+2.0m, 測点①）のエプロン上では最大そ上高はC.D.L+2.0mであった。なお、北防波堤の先端部（方塊ブロック積）の一部が押し波により港内側に倒壊している。

また、上浦漁港北側約1 kmにある船揚場斜路における最高そ上高はC.D.L+2.7mであった。

久遠漁港（第3種漁港、図-5.15）は、港口が南西に開いている。ここでは、大成町役場が津波来襲時に-4m岸壁（測点①）にて潮位の簡易測定を行っていた。この結果によると、港内の最高水位はC.D.L+1.2mであった。

熊石漁港（図-5.16）は港口が東に開いており、津波は南防波堤をまわりこんで港内に侵入している。第1波めは比較のおだやかに水位上昇したが、これが最高の水位であった。第2波めからは港口、-3.5 m岸壁、および内港口で渦をまいていた。内港-3 m岸壁（天端C.D.L+1.4m）および南防波堤内港部（天端C.D.L+1.5m）では浸水したが、そのときのこん跡高は内港-3 m岸壁（測点①）でC.D.L+1.9mであった。港口の近くでは水位の上昇量が港奥と比較して小さく、船揚場西側の-4 m岸壁（天端C.D.L+1.9m, 測点④）では最高水位がC.D.L+1.6mであった（写真-5.14）。港外では津波が直接あたる西防波堤西側（測点③）は、港奥とはほぼ同じ程度の水位で、最高C.D.L+1.9mであった。しかし、東防波堤の港外（測点②）ではC.D.L+1.5mと小さくなっている。なお、江差港湾建設事務所熊石漁港監督員が-3 m岸壁にてステップ式波高計を用いて2波め以降の潮位を測定している。それによると2波め以後では最高水位がC.D.L+1.7mであり、平均周期（第2～12波め）は約7分である。熊石漁港では高波のため漁船が沖合で一隻隻転覆し、漁民が1人死亡している。

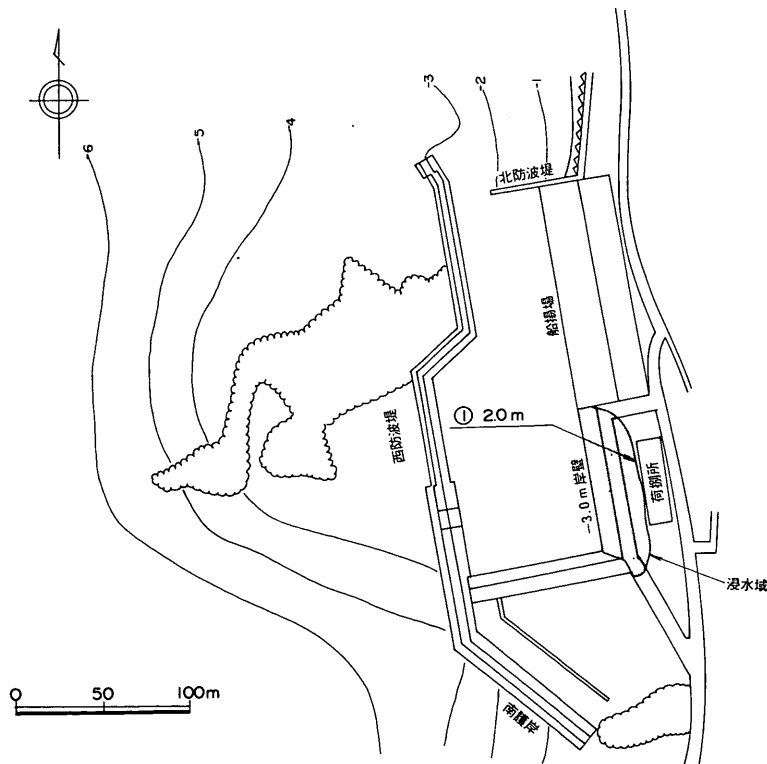


図-5.14 上浦漁港（第1種漁港）

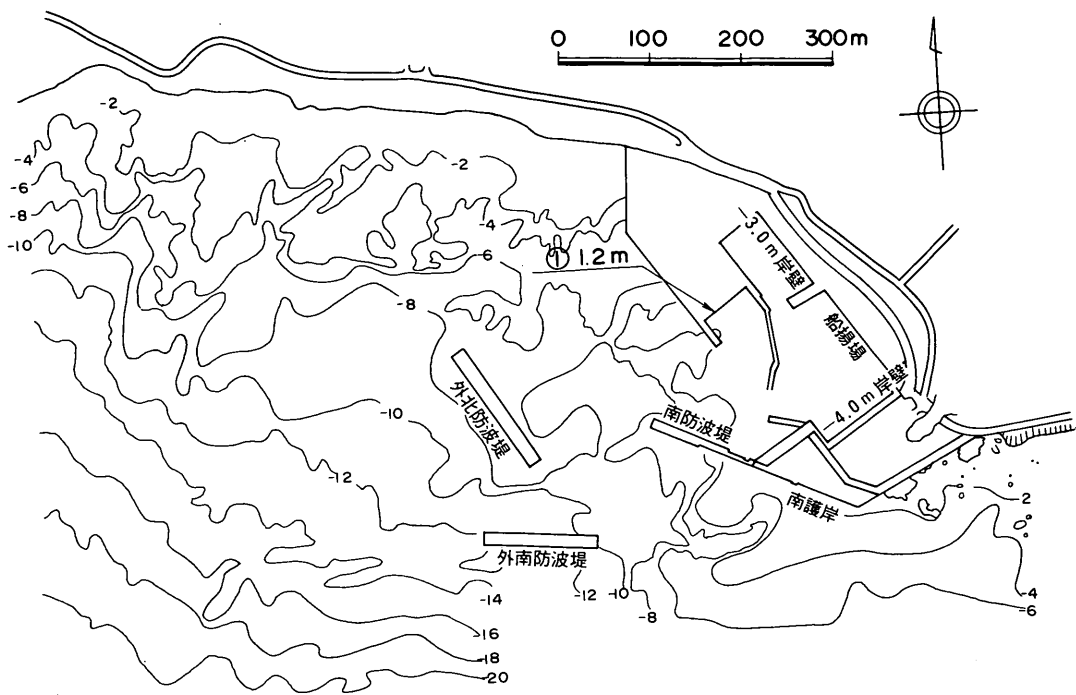


図-5.15 久遠漁港 (第3種漁港)

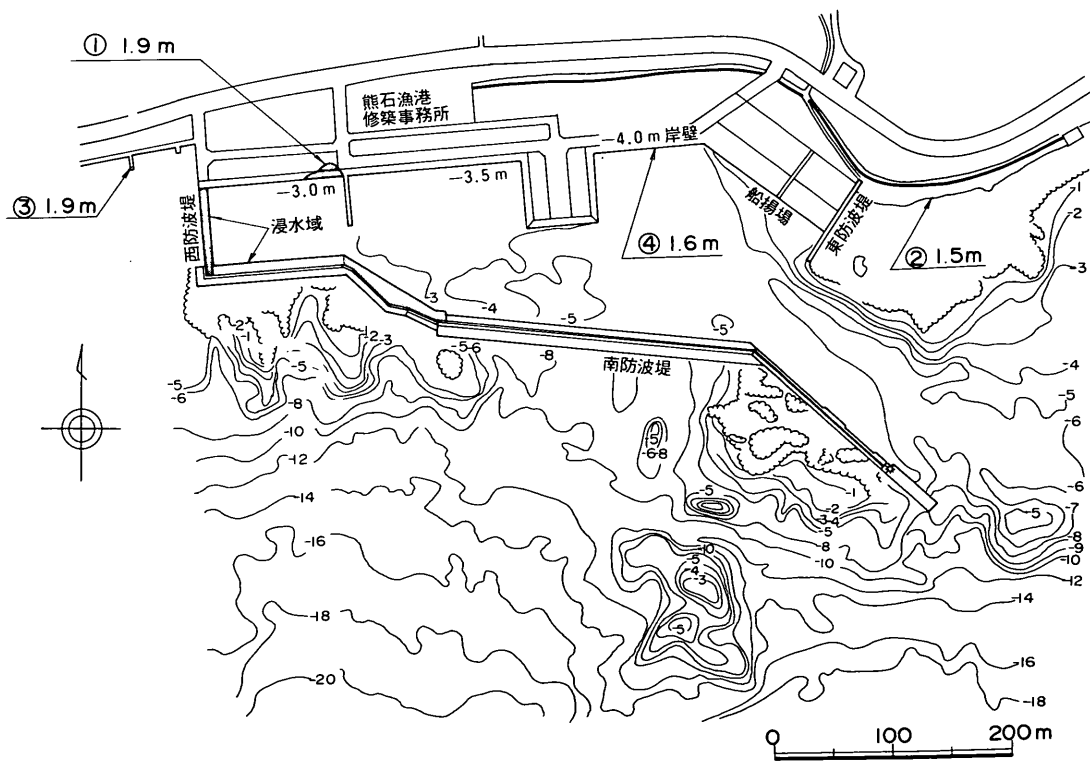


図-5.16 熊石漁港 (第3種漁港)

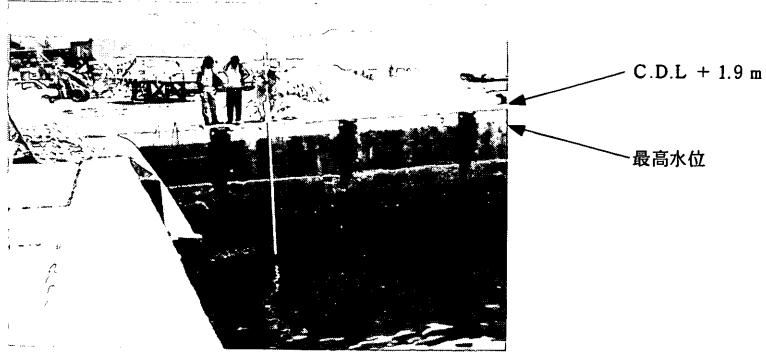


写真-5.14 熊石漁港

(-4m岸壁, 江差港湾建設事務所撮影)

d) 江差港周辺(栄浜~小砂子漁港)

当地域は渡島半島西岸の湾曲した海岸線にあり、津波による水位変動は以下に示すように、久遠漁港周辺あるいは後述する松前港周辺より小さくなっている。

江差港の北方約14 kmにある栄浜では、船揚場斜路上での最高そ上高はC.D.L+1.5mであった。

図-5.17に示される江差港(地方港湾)は港口が北に向いており、津波はかもめ島をまわりこんで港内に侵入している。港内の最高水位は-3m物揚場(写真-5.15、測点②)で、C.D.L+1.4m、船揚場斜路の取付護岸(写真-5.16、測点①)でも、C.D.L+1.4mであった。

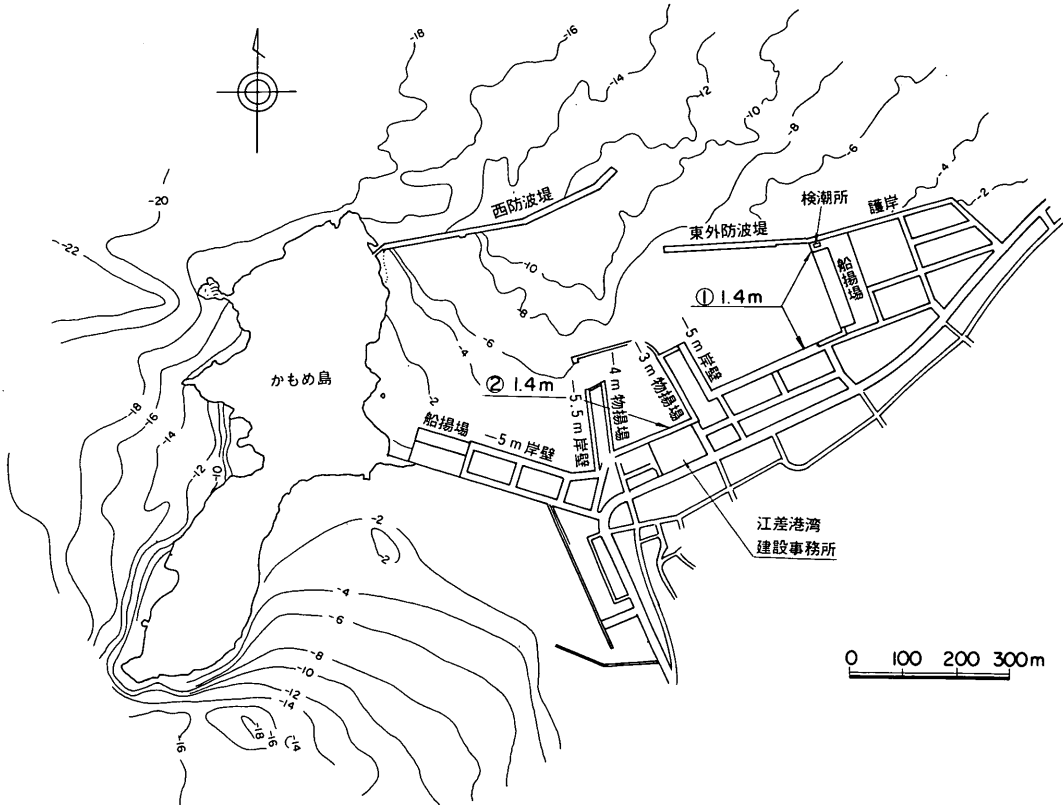


図-5.17 江差港(地方港湾)

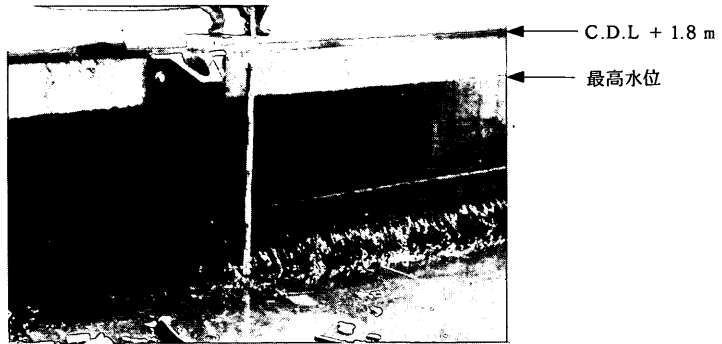


写真-5.15 江差港
(-3m岸壁, 江差港湾建設事務所撮影)

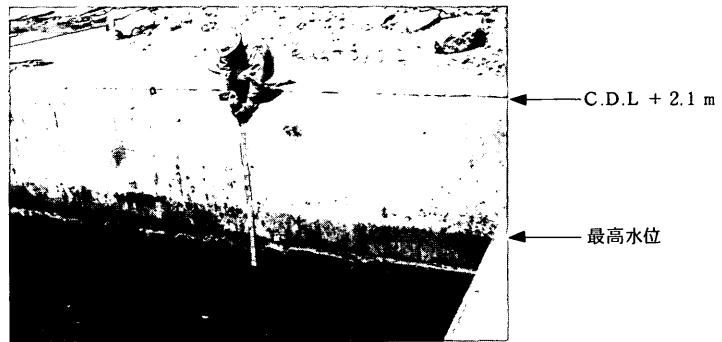


写真-5.16 江差港
(取付護岸, 江差港湾建設事務所撮影)

この船揚場斜路北側の取付護岸上には検潮施設(フース型検潮儀)があり, この検潮記録では, 第1波は12時17分に到達し, 初動は引き潮であった。また, 最高潮位は第9波(13時40分ごろ)でC.D.L+1.0m, 最低潮位は第13波(14時30分ごろ)でC.D.L-0.7mであった。このように検潮記録では取付護岸での最高水位より約0.4mほど低くなっている。また平均周期は約10分(第1~14波の平均)であった。

江差港から南へ約15km, 19km, 27kmのところにある汐吹漁港(第1種漁港), 石崎漁港(第1種漁港), 小砂子漁港(第1種漁港)での最高水位は, 汐吹漁港(図-5.18)でC.D.L+1.8m(13時30分ごろ), 石崎漁港(図-5.19)でC.D.L+1.8m, 小砂子漁港(図-5.20)でC.D.L+1.6mであった。これらは北海道函館土木現業所が津波来襲時に箱尺により測定したものである。

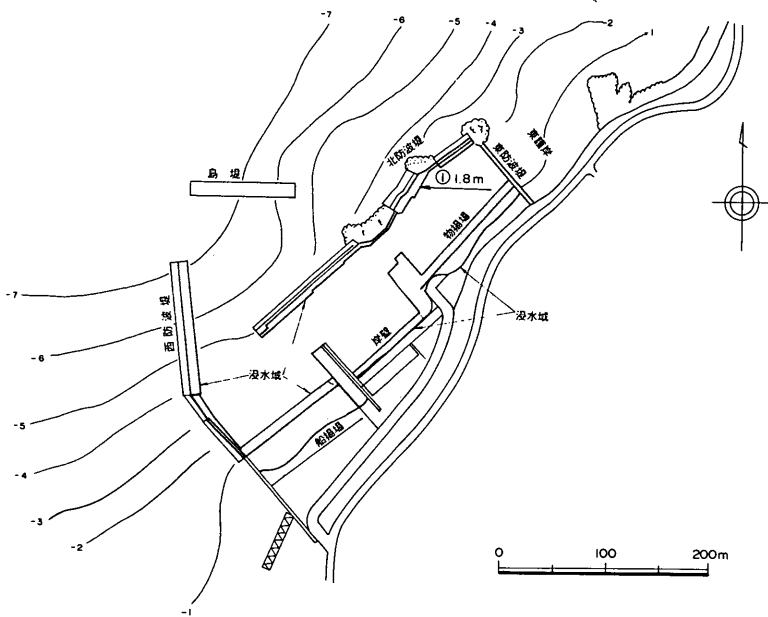


图-5.18 汐吹漁港(第1種漁港)

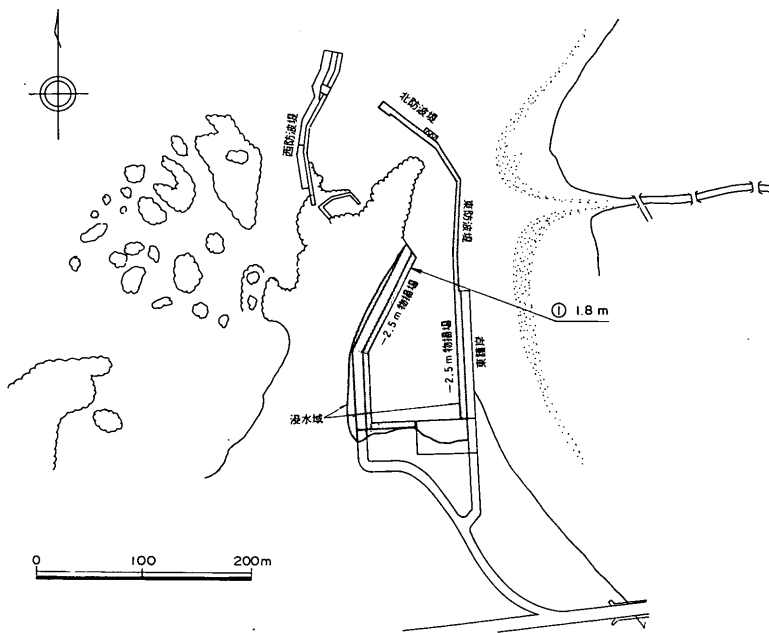
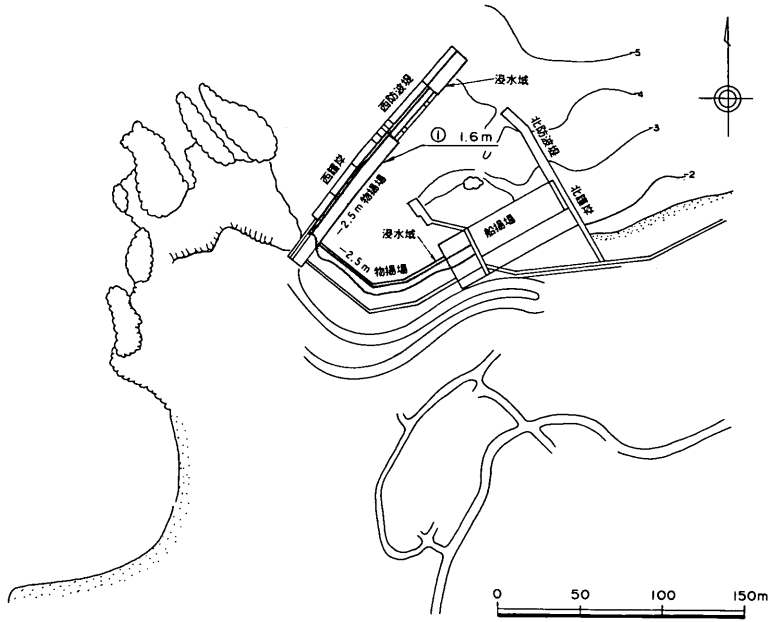


图-5.19 石崎漁港(第1種漁港)



图— 5.20 小砂子漁港 (第1種漁港)

e) 松前半島先端部 (江良漁港～松前港)

松前半島先端およびこれの西南西方向約18kmの沖合にある小島は津波が伝播してくる洋上の真ただ中であり、ここでの津波による水位は高かった。

江良漁港 (第3種漁港, 図-5.21) の新港では, 写真-5.17に示しているように南方に開いている港口 (幅約30m) から津波が段差をなして侵入するとともに, -4m岩壁の南護岸からも, これを越えて港内へ侵入し-4m岸壁 (天端C.D.L+1.6m) の道路まで浸水している。港

奥では船揚場エプロン上まで浸水し, 斜路上にあった漁船が流出している。当時津波の状況を見ていた人の話によると, 津波の初めは潮が引いたということであった。

一方, 南側の旧港では, 港口 (幅約70m) での流れは速く, 渦をまいていた。港内では港奥-3m護岸 (測点①) の天端 (天端C.D.L+1.6m) 上約80cmくらいまで潮が上がり, 最高潮位はC.D.L+2.4mであった。このほかにも物揚場 (天端C.D.L+1.6m) が浸水した。港内には漁船が20隻係留してあったが, このうち1隻が転覆した。

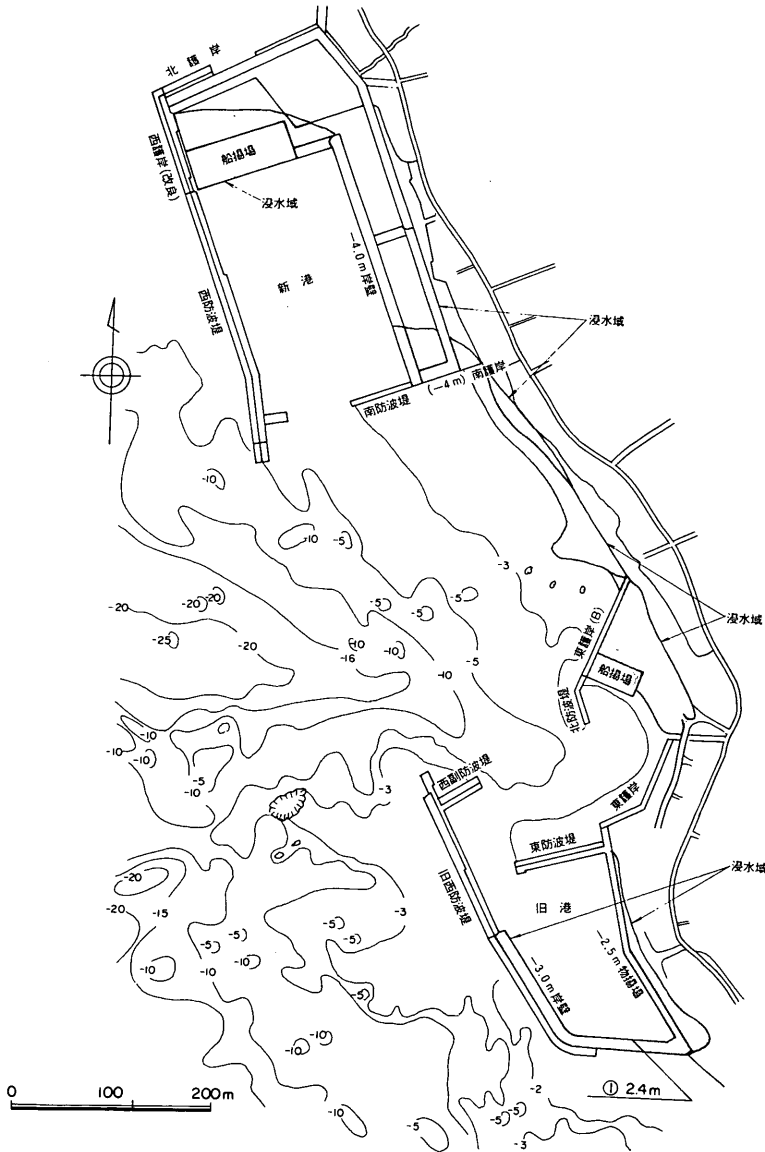


図-5.21 江良漁港 (第3種漁港)

なお、新港南護岸近くの砂浜でわかめ採りをしていた老女が逃げ遅れて亡くなった。この老女は南護岸を越波する波とともに新港内に運ばれたのち新港を流れ出て、旧港内で発見されている。

松前半島先端に位置する松前港（地方港湾）は、図-5.22に示すように東方に開いており、津波は外防波堤をまわりこんで港内に侵入している。第1波の潮位は高く、西内港港奥の岸壁（天端C.D.L+1.6mおよびC.D.L+1.8m）エプロンが浸水し、内港-3m岸壁にある検潮所（フース型検潮儀）も第1波で浸水し、稼動不能となった。しかし、津波の初動は記録されており、これによると津波は地震後約17分に到達し、引き波で始まっている。検潮所内（測点①）のこん跡をもとに、ここでの最高水位を測定するとC.D.L+2.2mであった。港口（幅約120m、測点②）では、段差をなして津波が侵入しており、写真によるこん跡高から、ここでの最高水位を求めるとC.D.L+2.0mであった。引き潮時には、松前港修築事業所北東側の船溜りの海底（約C.D.L-2.0m）が露出することもあった。

小島漁港（第4種漁港）は図-5.23に示しているように島の北東にある弁天ノ鼻に位置しており、港口は津

波の来襲方向である南に開いている。津波来襲時に、現地で港湾工事をしていた東亜建設の作業員がこん跡高を測量していた。その結果によると、港内の最高水位は内港-3m岸壁（測点①）にてC.D.L+3.8mであった。北防波堤（上部工天端C.D.L+5.2m）先端の港口部（測点②）では、上部工が打設されていない先端のケーソン（天端C.D.L+1.0m）1函の上約2mまで海面があがっており、ここでの潮位は約C.D.L+3.0mであった。この

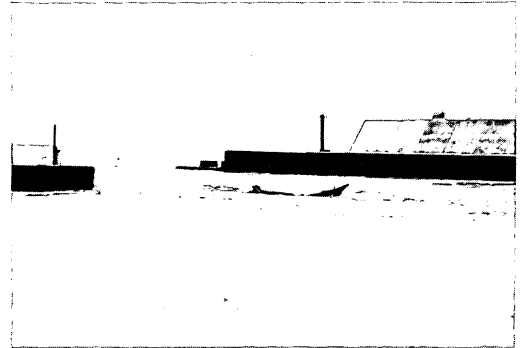


写真-5.17 江良漁港港口
（江良漁業協同組合撮影）

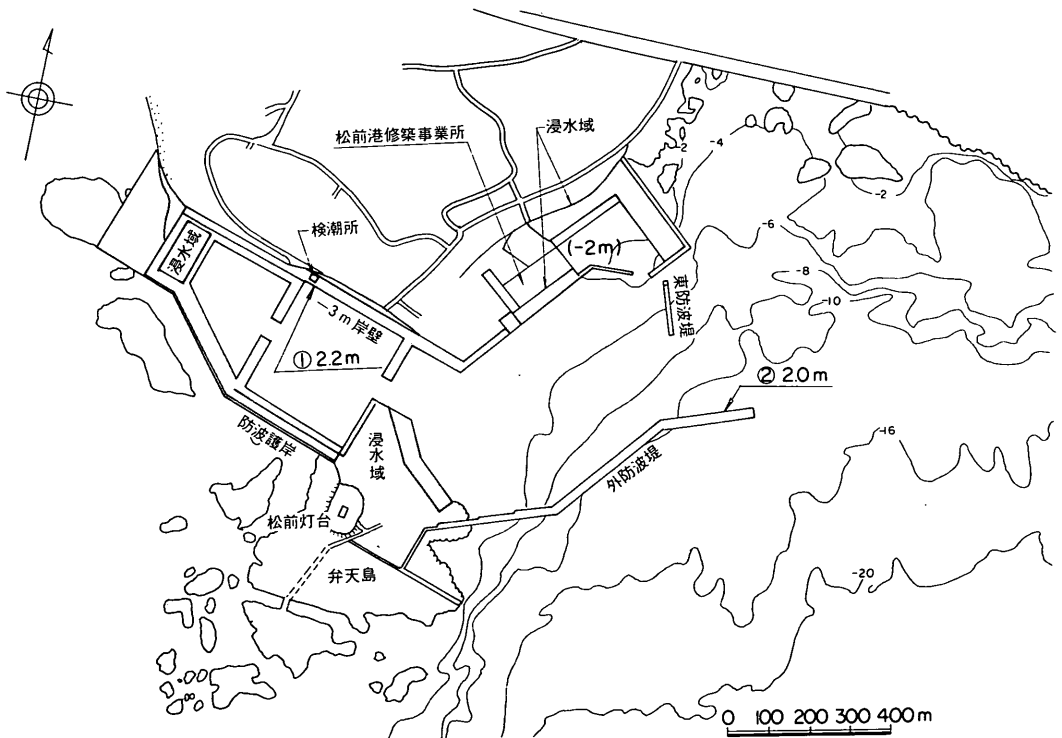


図-5.22 松前港（地方港湾）

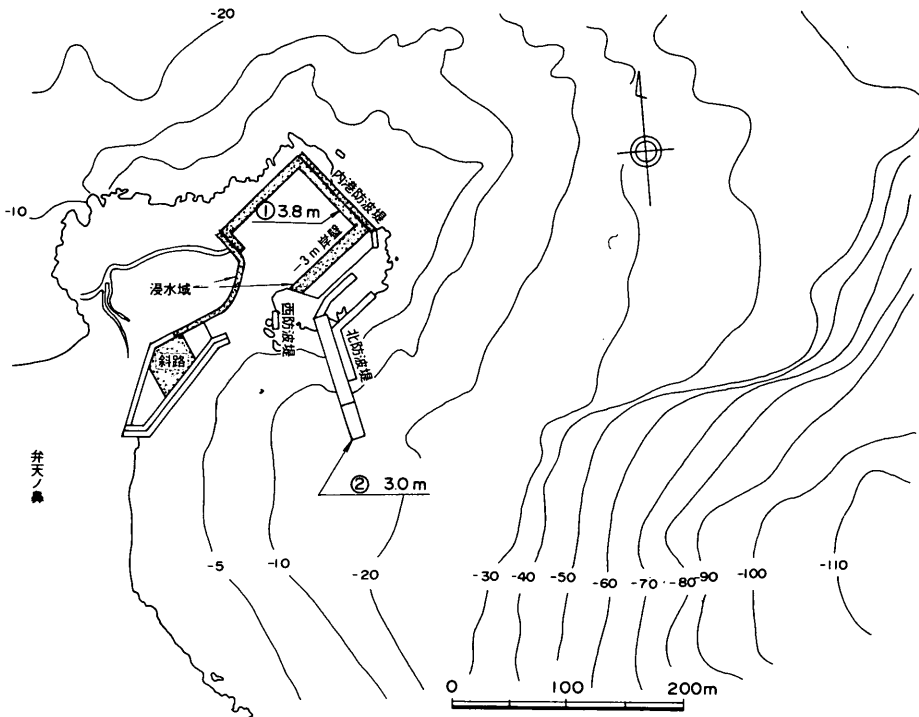


図-5.23 小島漁港（第4種漁港）

とき、写真-5.18、5.19で示されるように、-3m岸壁エプロン上のトラッククレーンはトラック部分が水没し、港内に係留されていた台船は、津波の押し波により岸壁（天端C.D.L+1.6m）エプロン上に持ち上げられている。引き波時には、港内海底（C.D.L-3m）が見えるほどで、

港口での流れもかなりなものとなっていた。しかし、漁港施設の被害はなく、また、東亜建設が行った津波後の潜水調査の結果、岸壁基礎の洗掘もみられなかった。なお、ヒアリングによると、最高水位は第1波めに生じていた。

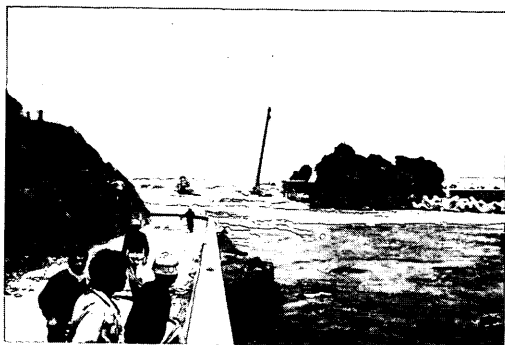


写真-5.18 小島漁港
（押し波時、東亜建設撮影）

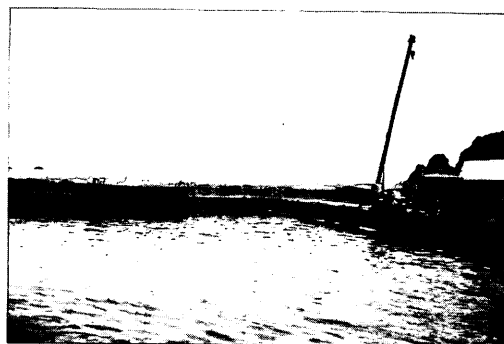


写真-5.19 小島漁港
（引き波時、東亜建設撮影）

f) 松前半島東岸(吉野海岸~函館港)

松前半島先端の白神岬から東側の地域では、最高水位は比較的小さくなっている。

吉野海岸は白神岬の北東約5kmのところであり、湾曲した道路に続く船揚場斜路を津波はそ上し、道路上まで浸水した。道路より約30cm高い道路護岸天端近くまできており、これから最高水位を測定するとC.D.L+

4.1mであった。

吉野海岸よりさらに6km北東にある福島漁港(第三種漁港, 図-5.24)では港口が東防波堤の北西側にあり、南方から来襲した津波は東防波堤をまわりこむように港内に侵入している。

港口(幅約50m)では、津波の侵入最強時に、最高速度9ノットの漁船(19t型)が港外へ避難しようとして

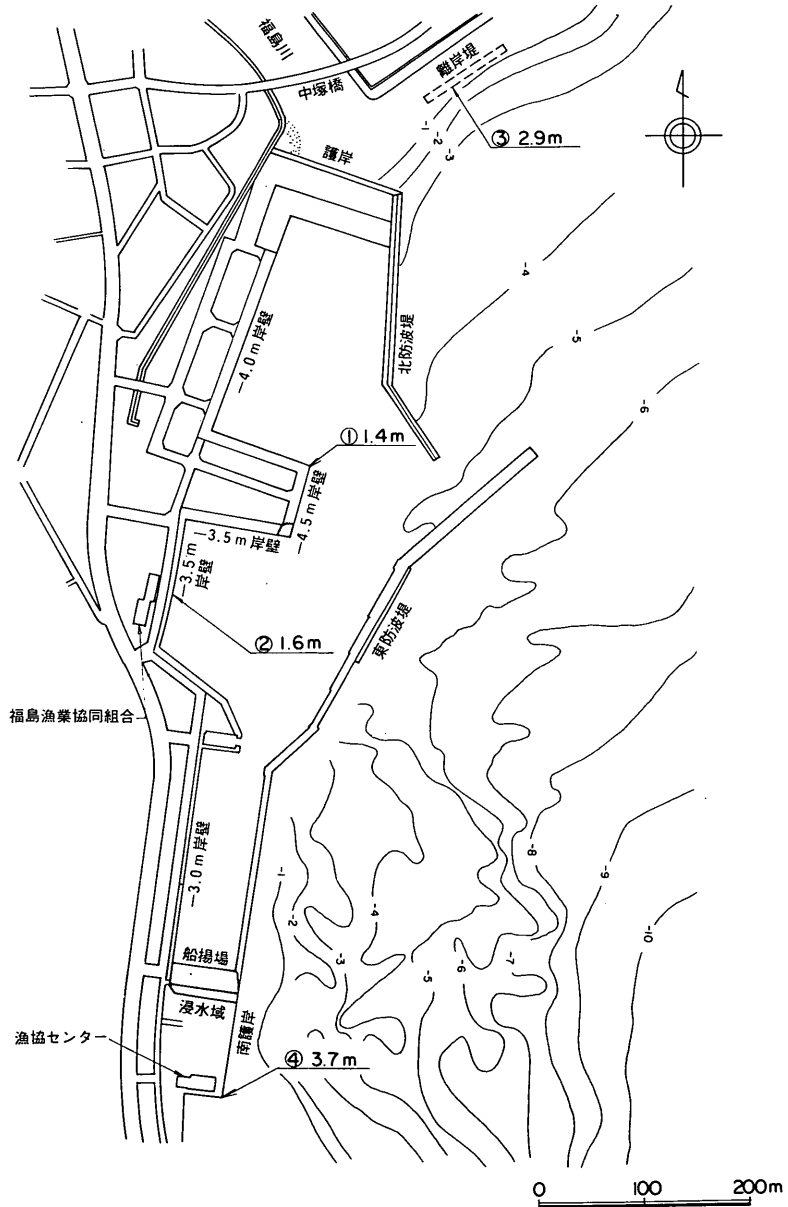


図-5.24 福島漁港(第3種漁港)

いたが、ほとんど進むことができないほどの流れであった。南内港では波が砕けることなく全体に海面が盛りあがっているようであり、 -4.5m 岸壁(天端C.D.L+1.7m)の先端の一部、写真-5.20に示される港奥の -3m 岸壁(天端C.D.L+1.6m)、および、船揚場の全延長にわたって浸水した。 -4.5m 岸壁先端のこん跡高より、ここでの最高水位はC.D.L+1.7mであった。津波来襲時に福島漁業協同組合前面の -3.5m 岸壁(天端C.D.L+1.7m、測点②)にて、漁協センター職員が水位、およびその時刻を測定していた。それによると、最高水位はC.D.L+1.6m(13時40分ごろ)、最低水位はC.D.L-0.6m(13時10分ごろ)、平均周期は約11分である。

北内港では海面が若干上下するだけであり、南内港も含めて含めて漁港施設、漁船の被害はなかった。

一方、福島漁港北側の福島川河口左岸(測点③)では、海岸護岸の約40m沖合にある離岸堤(消波ブロック積、写真-5.21)の天端がわずかしか見えなくなるほど潮位が上がっていたということであった。この話から、離岸堤の天端を基準にすれば最高水位は約C.D.L+2.9mとな

る。

写真-5.22に示される福島漁港港外の南側(福島町漁協センター裏側)では、埋立護岸(天端C.D.L+3.9m、測点④)の天端下約20cmまで潮位が上がっており、最高水位はC.D.L+3.7mであった。また、隣接する船揚場を越えて道路まで浸水している。

松前半島東岸中央部に位置する札刈漁港(第1種漁港、図-5.25)では港口が西方に開いており、津波は南防波堤をまわりこむように港内に侵入している。第1波は、引き波から始まっている。目視者によると最大波は3~4波めであった。ヒアリング、および津波来襲当時撮影された写真からすると、港奥物揚場(天端C.D.L+1.5m、測点①)の天端ぎりぎりまで水位が上がっており、最高水位はC.D.L+1.5mである。港口付近では写真(写真-5.23)で判読できるほど段差がつき、港内では渦をまいていた。漁港施設の被害はなく、漁船も南防波堤の沖約50m付近に待避していた。

函館港(重要港湾)では、検潮記録より12時47分に第1波が到達し、津波は押しから始まっている。最高潮位



写真-5.20 福島漁港
(-3m 岸壁、福島町役場撮影)



写真-5.22 福島漁港南側
(漁協センター南側、福島町役場撮影)



写真-5.21 福島漁港北側
(福島川左岸、踏査時撮影)

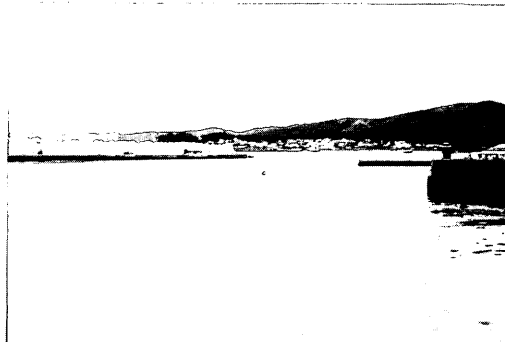


写真-5.23 札刈漁港港口
(木古内漁業協同組合撮影)

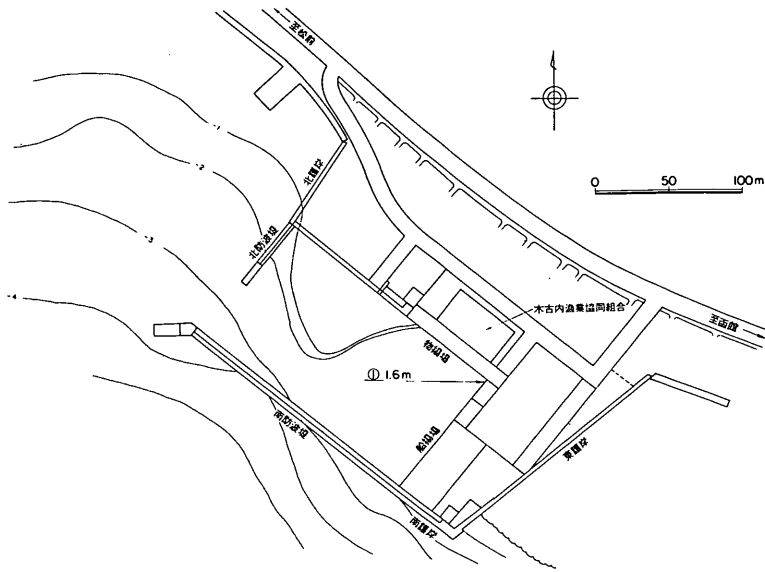


図-5.25 札刈漁港（第1種漁港）

は第4波め（15時40分ごろ）のC.D.L+1.2m、最低潮位は第1波め（13時30分ごろ）のC.D.L+0.0mであった。

5.2 青森県*

(1) 津波の概況

青森県の日本海沿岸部における各地点で測量した津波のそ上高を図-5.26に示す。図中の地名は測量した地点を示し、数値は海図基準面（C.D.L）上の津波のそ上高をm単位で示している。漁港および港湾に関しては、港周辺部の港外と港の中の港内に分けて津波のそ上高が示してある。

図-5.26の津波のそ上高の分布特性から青森県の日本海沿岸部は3つの地域に分類することができる。第1の地域は竜飛岬から十三湖までの青森県北部海岸である。この海岸では、小泊岬の北側の小泊で4m以上の津波そ上高を示すのに対して、この岬の南側の下前では2.9m、さらに下前の南側の十三湖の海岸では6m以上のそ上高を示すように、地点によってそ上高が大きく変動している。このことは、この地域では津波が局所的な地形の影響を強く受けていることを示すものである。特に、地震の発生域から判断して、小泊は小泊岬による津波の遮蔽域に位置するにもかかわらず、津波のそ上高が大きい。ここでは、3.1で述べたように海底地形による屈折によって津波が侵入し、また、屈折によって津波のエネルギーが集中したものと考えられる。

第2の地域は、七里長浜海岸の車力から南の風合瀬までの海岸である。この地域の北部、七里長浜海岸は単調な砂浜海岸で、この海岸での測量地点である車力、出来島海水浴場、七里長浜（川尻）および鯉ヶ沢では、津波のそ上高は一樣に3m程度である。また、鯉ヶ沢から南の風合瀬までの海岸においても、津波そ上高は地点ごとに少しの変化はあるものの、ほぼ3mである。このようにこの地域で津波のそ上高が小さいことは、この海岸に入射する津波が小さいことを意味し、このことはまた、屈折計算によれば、この地域は屈折によって津波のエネルギーが分散傾向にあったこととも対応する。

第3の地域は、轟木以南の秋田県境までの海岸である。この地域では、ほとんどすべての海岸で4m以上のそ上高を示し、特に南に下るほどそ上高が大きくなる傾向がある。これは、南に下るほど津波の発生域に近づくため発生域から距離による平面的エネルギー分散が小さくなることによると考えられる。しかし、岩崎や深浦では他の地点に比して津波そ上高がやや小さく、局所的な地形の影響も含まれているものと推測される。

以上、青森県の日本海沿岸を津波のそ上高特性から判断して3地域に分類し、各地域の津波の概要を述べた。これらの3地域の各測量地区について、以下に詳細に述べるけれども、これら3地域を北から青森県北部海岸、青森県中部海岸および青森県南部海岸と呼ぶことにして

* 執筆担当 高山知司・平石哲也

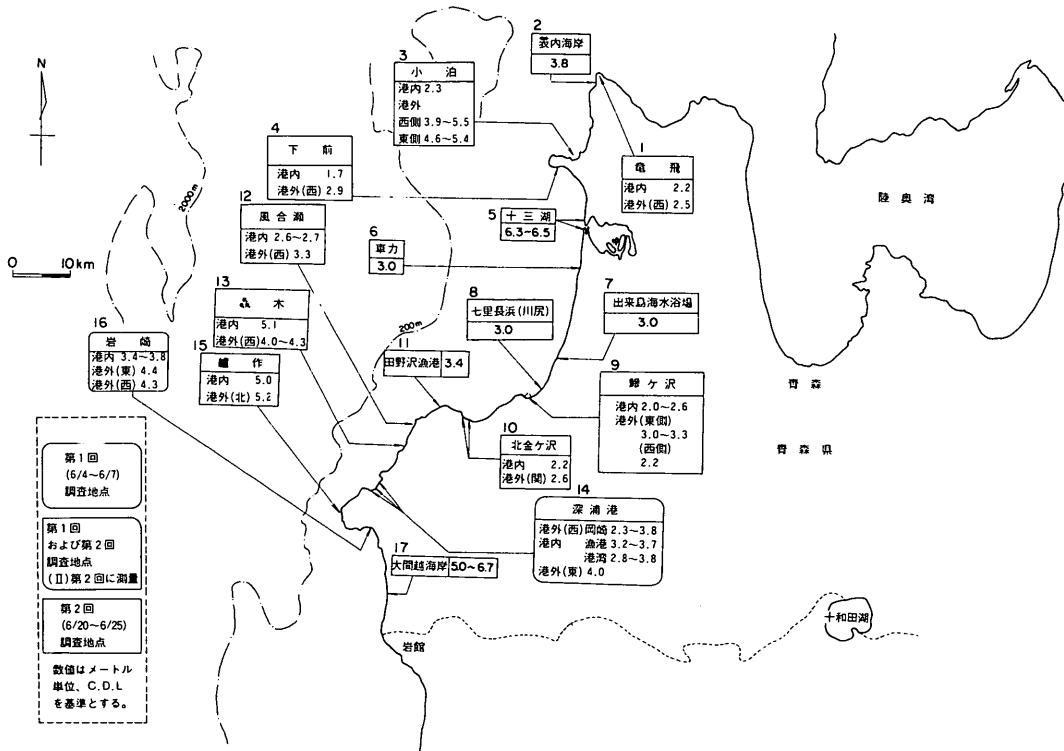


図-5.26 各地のこん跡高(青森県西海岸)

区分けする。

(2) 青森県北部海岸(竜飛崎から十三湖)

a) 竜飛崎

竜飛崎は津軽半島の最北端に位置し、図-5.27に示すように帯島と竜飛崎とに挟まれた海域に竜飛漁港が建設されている。写真-5.24は帯島側から見た竜飛漁港で、写真右側が西防波堤である。日本海中部地震による津波状況を土地の人から聞き取った結果を総合すると次のようになる。

地震発生時には、風もなく、海は非常になぎ(凪)であった。津波警報発生後5分(地震発生後約20分)には西方から白く泡だつた津波が来襲するのが見えた。西方から来た津波は漁港の西防波堤を越え、また防波堤中央部の小型船用水路を通して港内に侵入してきた。西側から港内に侵入した津波は帯島の北を回って東側から侵入した津波と、図-5.27の測点①付近の港内でぶつかり、港内の水位が異常に増大した。津波が引くときに、強い流れが発生した。港内における西側からの津波と東側からの津波の衝突は10回程度繰り返り起こった。津波は2波か3波めが最も大きかったようであるが、港内の海底が見えるまでは水位は下がらなかった。東側道路沿いの

護岸は越えることはなく、津波は道路の側溝の穴から侵入し、道路面をぬらした程度である。西防波堤を越流した津波によって係留中の漁船3隻に被害がでた。

以上の話において西側海域から侵入してくる津波が白く泡だつていたので判断すると、津波は砕波して段波状になって来襲したものと思われる。西側海域は水深の浅い岩礁地帯が広がっているため砕波したと判断される。また、津波の第1波は引き波で始まっており、地震発生後約20分には竜飛まで達しているのがわかる。

津波のそ上高は、港外および港内でそれぞれ1点測定した。測定した地点とその点での津波そ上高は図-5.27に示してある。津波そ上高は、港外で2.5 m、港内で2.2 mと、港外および港内で大きな差はない。この原因としては、西防波堤を越流して侵入した津波と東側から侵入した津波とが港内でぶつかっており、西防波堤の越流の影響が大きくてためたためだと考えられる。

b) 裏内(ほろない)

裏内は竜飛崎から南へ約2 kmの地点にある小さな湾である。土地の人の話によると、津波のようすは次のとおりである。

津波は西北西の方向から侵入し、第1波は地震後約10

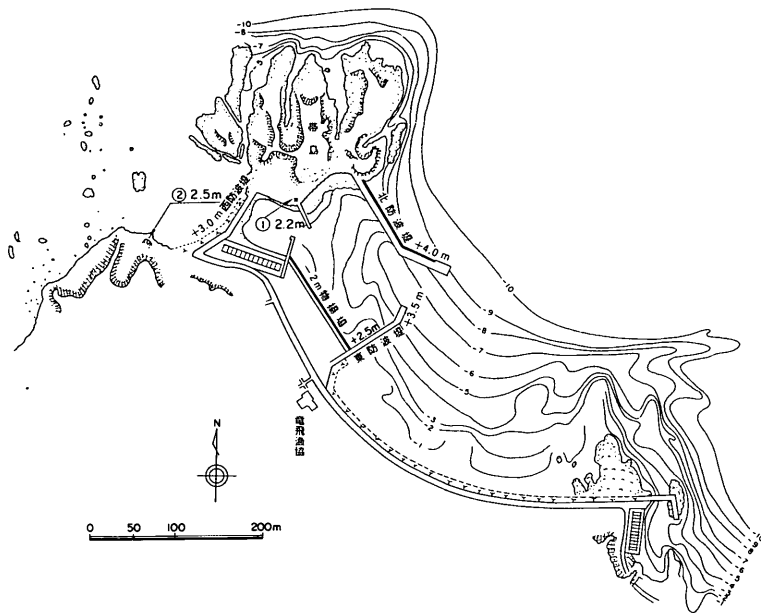


図-5.27 竜飛漁港



写真-5.24 帯島より見た竜飛漁港

分に来襲した。津波が引いたときには、湾内の海底がすべて見えた。釣り人がこの津波で2人死亡した。津波が収まったのは、午後3時から4時にかけてである。

袋内におけるこん跡高の測量では、図-5.28に示すように3点測量したが、すべて3.8mであった。この湾は非常に小さく、津波の局所的な影響は少ないと考えられるため、この津波そ上高は、袋内地区の津波高を代表しているものと判断される。

c) 小泊

小泊は、小泊岬の付根の北側に位置し、津波の浪源域から判断すると、小泊岬で遮蔽された地域に当たる。青森県西北地方漁港事務所小泊出張所職員の話によると、小泊での津波の状況は以下のとおりである。

津波の第1波が来襲したのは、12時20分ごろだと推定

している。津波は第1波より第2波が大きく、第2波で港内の直立消波ブロックの波除堤(図-5.29の⑥)が倒壊した(写真-5.25)。しかし、津波としては第4波が最大で、天端高+4mの第2東防波堤を越波して港内に津波が侵入した。天端高+1.85mの第1東防波堤は完全に水没した(図-5.29の⑤)。第1東防波堤の先端の港口部が狭いため、侵入する津波が堰上げられ、港内と港外で大きな水面の段差がついた(写真-5.26)。流速は港口部で速く、泡を含んだ渦が発生していた。港外東側にある消波ブロックの離岸堤では、津波が引いたときにその基部が現れ、貝を取りに行く人までいた(写真-5.27)。

図-5.29に示すように、小泊では港外7点、港内2点における津波のそ上高を測定した。港外西側における測

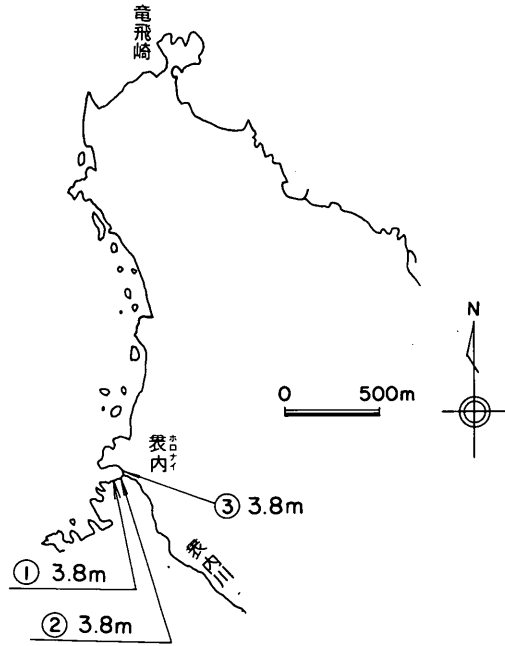


図-5.28 表内

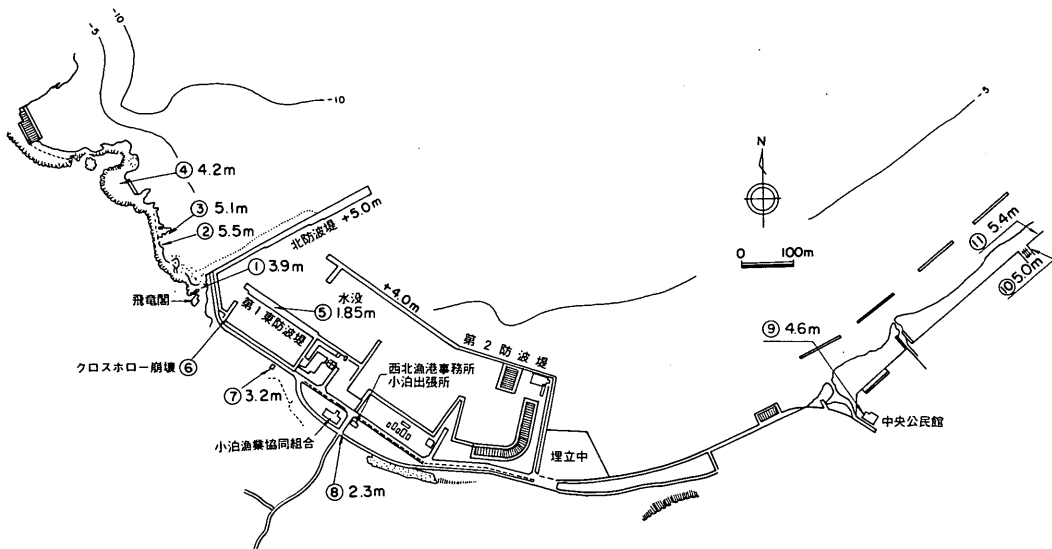


図-5.29 小泊漁港

点①～④では、3.9m～5.5mの津波その上高が測定された。測点①のその上高が最も小さく、3.9mであるが、この点は西防波堤の基部に当たり、写真-5.28でわかるようにこの部分を越えて津波が港内に侵入しており、このために津波のその上高が小さくなったものと考えられる。港外西側は、高い崖になっているけれども、測点④の部分に

は少し平らな地域があり、この点でも津波その上高がやや小さい。港外西側では4～5mの津波が来襲したものと推定される。

港外東側においては、3点測量しており、浸水した中央公民館（写真-5.29）と離岸堤背後の2点である。中央公民館では4.6m、離岸堤背後では5.0mと5.4m

の津波そ上高が得られた。これらの値は港外西側とほぼ同じ値であり、小泊漁港の港外では4～5mの津波が来襲したものと推定される。

港内での津波のそ上高は、測点⑦と⑧でそれぞれ3.2mと2.3mになっており、港外津波そ上高の約1/2の高さである。この原因としては、小泊漁港の港口部は開口幅

が60m程度と狭く、また、防波堤を越えた津波は第4波めだけであることから判断して、港内に侵入する津波は港口部で堰止められ、充分侵入できなかったことによると考えられる。このようなことが起こったのは、津波の周期が10分程度と短かったことも一つの大きな原因だと考えられる。



写真-5.25 小泊漁港港内直立消波ブロック波除堤
(漁船が転覆しているあたり)を越流する津波
(青森県西北地方漁港事務所小泊出張所提供)



写真-5.26 小泊漁港西側港口部に押し寄せる
津波(第4波)
(青森県西北地方漁港事務所小泊出張所提供)

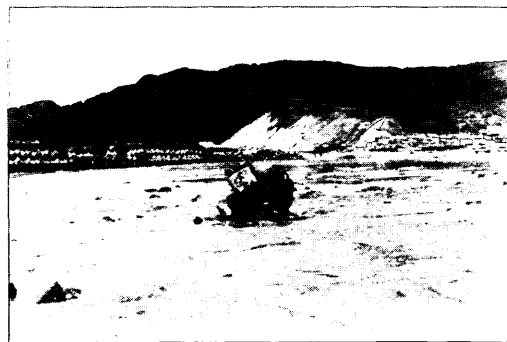


写真-5.27 小泊漁港港外の離岸堤
(引き波時で基部が露出している。手前の消波ブロックは津波によって流出したもの)
(小泊出張所提供)



写真-5.28 小泊漁港西防波堤基部の越流
(青森県土木部港湾課提供)

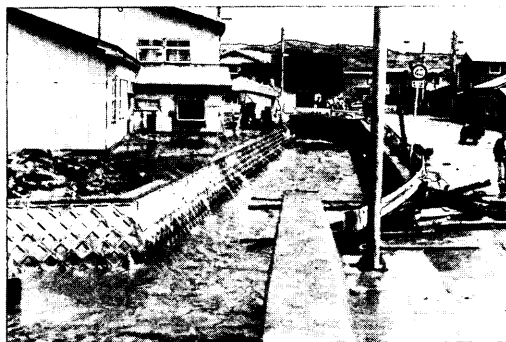


写真-5.29 浸水した小泊中央公民館
(青森県西北地方漁港事務所
小泊出張所提供)

d) 下前

下前は、小泊岬を狭んで、小泊とは反対側の南側に位置しており、地震の発生域との関係では、津波が何も遮蔽されることもなく、直接侵入すると考えられる地点である。

下前漁業協同組合の人の話では下前における津波の状況は次のとおりである。

津波の第1波は12時20分ごろ来襲し、第1波および第2波は港内の奥深くまで侵入したが、第3波以降の津波では港内の中端まで津波が侵入すると、引きが始まり、

港の奥まで達しなかった。津波は午後6時ごろまで続いた。港内の水位は徐々に上昇し、波のような感じではなかった。港口部では渦が発生しており、その渦は激しかった。浸水はほとんど起きておらず、被害は非常に少なかった。

図-5.30に下前の地形と津波そ上高の測点を示している。港外1点、港内2点の測量を行っている。港外の測点は下前漁港の西側にある玉石の海岸において、津波による海藻などの打上げ高で津波のそ上高を測量したが、

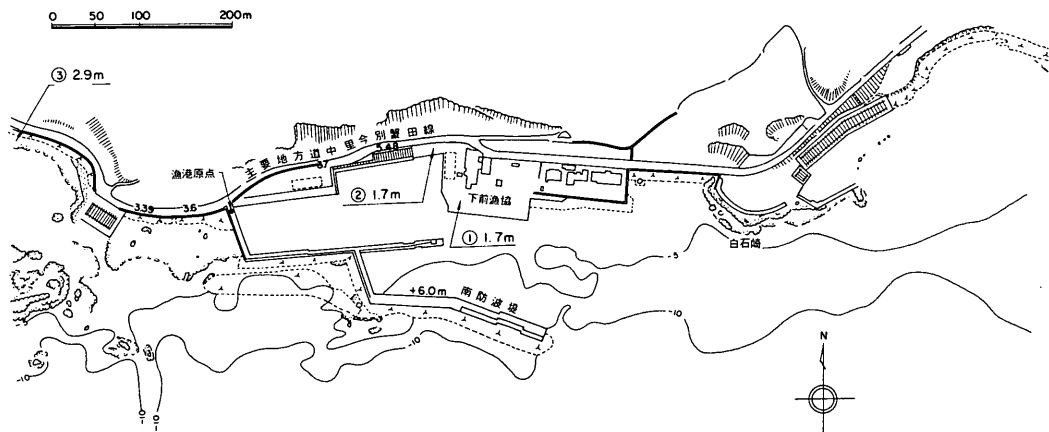


図-5.30 小泊漁港下前地区

そ上高の位置の決定が非常に困難であった。測量の結果、この地点の津波そ上高は2.9 mであった。港内の地点は漁業組合の人の指示によって測量した。2点とも1.7 mであった。下前でも小泊と同様に、港内の津波そ上高は港外の津波高より小さく、その $\frac{1}{2}$ より少し大きいだけであった。しかし、下前では来襲津波が小泊に比して非常に小さい。これは、海底の局所地形の影響を受けて小さくなったものと考えられる。

e) 十三湖

十三湖では、十三湖に通じる水路の両岸で2点測量した。この十三湖では津波によって釣り人が死亡した地点である。この海岸には、防砂林用の植林として、松の幼木が植えられていた。この植林を守るために防砂堤が植林の前面に造られている(写真-5.30)。



写真-5.30 十三湖北岸の防砂堤における
こん跡調査

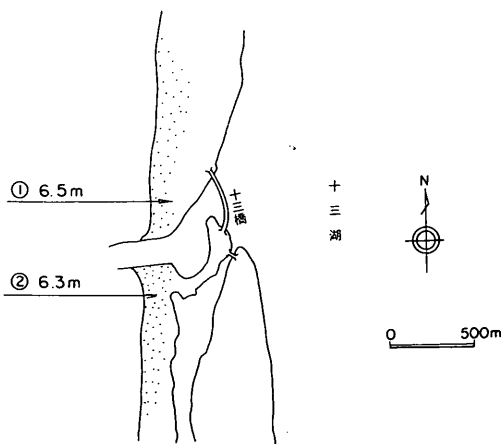


図-5.31 十 三 湖

図-5.31に示すような2点で測量を行った。十三湖北岸の測点①は上記の防砂堤の天端を示し、津波はこの防砂堤をわずかに越えたと推測された。測点①のそ上高は6.5 mであった。一方、南岸の測点②では、防砂堤の天端を越えた形跡はなく、防砂堤のほぼ天端近くまでそ上したと思われる、測点②のそ上高は6.3 mであった。両岸ともほぼ6 m以上のそ上高で、十三湖の海岸では大きな津波が来襲したものと推測される。

(3) 青森県中部海岸(車力~風合瀬)

a) 車力

車力は十三湖の南約10 km の場所にあり、日本海中部地震による地盤の液状化によって電柱や家屋に大きな被害の出た場所である。この車力の海岸では、車力漁港建設のための防波堤工事が行われていた。

工事に従事している人から津波のそ上した地点を示してもらい、その点を測量した。図-5.32に示すような地点で、そ上高は3.0 mであった。

津波のそ上高を測定していた、昭和58年6月21日午後3時25分に地震が起こった。この地震は日本海中部地震の余震であり、マグニチュードは6.9で、余震の中で最大のものである。この地震によって津波警報が発せられ、津波の来襲を観察することができた。本津波は数10 cm の大きさで小さかったけれども、防波堤沿いに消波

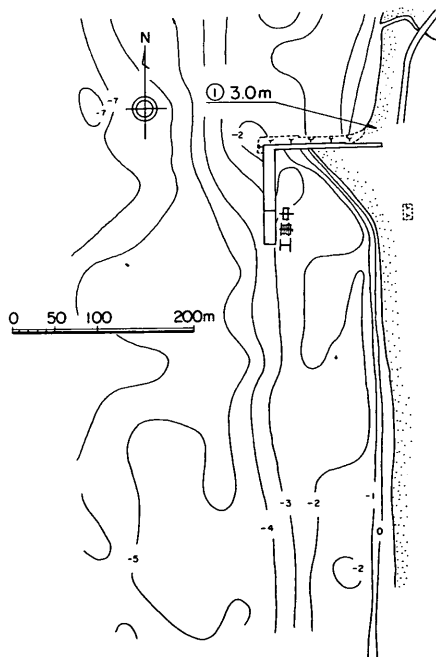
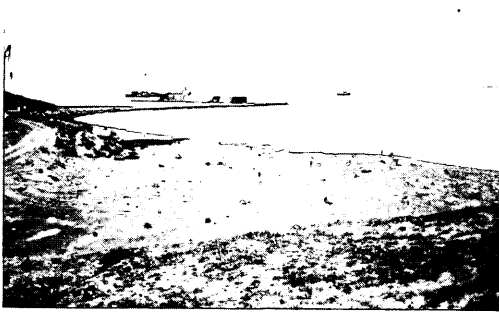
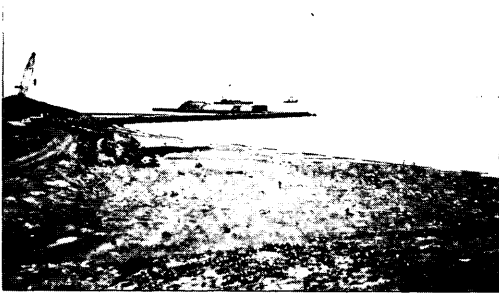


図-5.32 車 力 漁 港

ブロックがあったので海面の上昇(写真-5.31(1))および下降(写真-5.31(2))の状況がよく観察できた。防波堤の背後で、津波による流れが生じているのが認められた。また津波の周期は数分で、周期の短い津波であった。



(1) 押し波のピーク



(2) 引き波のピーク

写真-5.31 車力漁港における津波
(58年6月21日)



写真-5.32 出来島海岸でのこん跡調査

b) 出来島海水浴場

出来島海水浴場は、車力の南に位置し、駐車場から海岸に降りる階段の途中に津波のこん跡があった(写真-5.32)ので、その地点を測量した。なお、出来島の海岸は砂浜上に6脚ブロックによる堤防が海岸沿いに長く建設されている。図-5.33に示すように、津波のそ上高は3.0mと、車力と同じ値であった。

6月21日に起こった日本海中部地震の余震による津波のこん跡高も調べた。出来島での観測は余震の起こった日と同じ日に行っているため、砂浜はこの津波でぬれており、こん跡が明白で、その高さは80cm程度であった。

c) 七里長浜(川尻)、鯨ヶ沢港外

七里長浜の川尻は鯨ヶ沢の少し北にあり、七里長浜新港の計画がある地点で、青森県の波浪観測小屋がある。図-5.34で示すように、この地点で1点観測した。そ上高は3.0mで、車力および出来島と同じ値である。

この地点から南に下り、鯨ヶ沢の港外で2点測量した。この地点は、護岸前面に消波ブロックが設置されており、こん跡が不明であったため、土地の人にヒヤリングした。その人の話によると、「海面は渦まいており、津波が引いたときには、沖合の難波船の底まで見えた。」とのこ

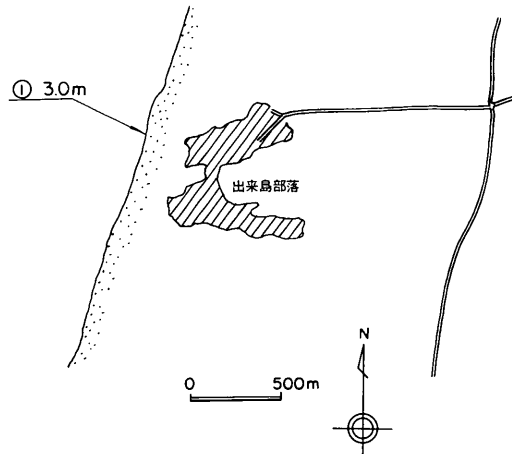


図-5.33 出来島

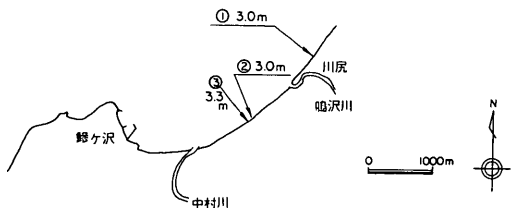


図-5.34 七里長浜(川尻)・鯨ヶ沢港外

とである。沖合の難波船までの距離は500mはあるように見えた。

この2地点の測定の結果、津波のそ上高は3.0 mと3.3 mであり、七里長浜の値にはほぼ等しい。

d) 鯨ヶ沢

鯨ヶ沢漁港は図-5.35に示すような配置になっており、港外の津波そ上高としては測点①および②とc)で述べた測点②および③で測量し、港内では③~⑤の3点で測った。

鯨ヶ沢漁港において津波による漁船の被害が少なかったのは、津波の前日に行方不明者があり、多くの漁船がその捜索のために港外に出ていたことによるとのことである。

港外における津波のそ上高は測点①で2.2 m、測点②で3.2 mであり、図-5.34の測点②および③の値を参考にすると、港外では約3 mのそ上高だと推定される。

一方、港内においては、測点③、④、⑤のそれぞれで2.6 m、2.0 m、2.0 mの津波こん跡高であり、港外に比して0.5~1 m程度小さくなっている。港内での最大水位は第4波か5波で起こったとのことである。

鯨ヶ沢検潮所の検潮記録によると、津波の到達時刻は12時10分である。しかし、津波の大きさについては、1.8 mで針が振り切れて以後欠測したため明らかでない。

e) 北金ヶ沢

北金ヶ沢では、港外および港内のそれぞれ1点ずつで津波のこん跡高を調べた。北金ヶ沢漁港と測点の配置は、図-5.36に示してある。

港外の点は、北金ヶ沢漁港の東側で、小童衣川にかかっている橋(写真-5.32)で測定した。土地の人によると、この橋のちょうど桁下まで津波が達したとのことであり、この点を測量した結果、津波こん跡高は2.6 mであった。この川の堤防を津波は越えていない。

北金ヶ沢漁港の港内では、土地の漁師に聞き、漁業協同組合の荷さばき(柳)所の背後の民家の庭で測量した。この地点には港内からの津波のそ上と側溝からあふれた津波が来たとのことと、この点のこん跡高は2.2 mであった。港内の防波堤を越えて津波が侵入することはない、港口部から津波が侵入したとのことである。

港外と港内との差は0.4 mで小さい。

f) 田野沢

田野沢漁港の平面図を図-5.37に示す。田野沢では港外の津波こん跡高を測量できなかった。港内では、津波のそ上高が赤ペンキで印されており、この高さを測量した結果、3.4 mであった。また、漁港脇の田野沢橋にも赤ペンキの印が付けてあったが、この高さも港内の値とはほぼ同じであった(写真-5.34)。

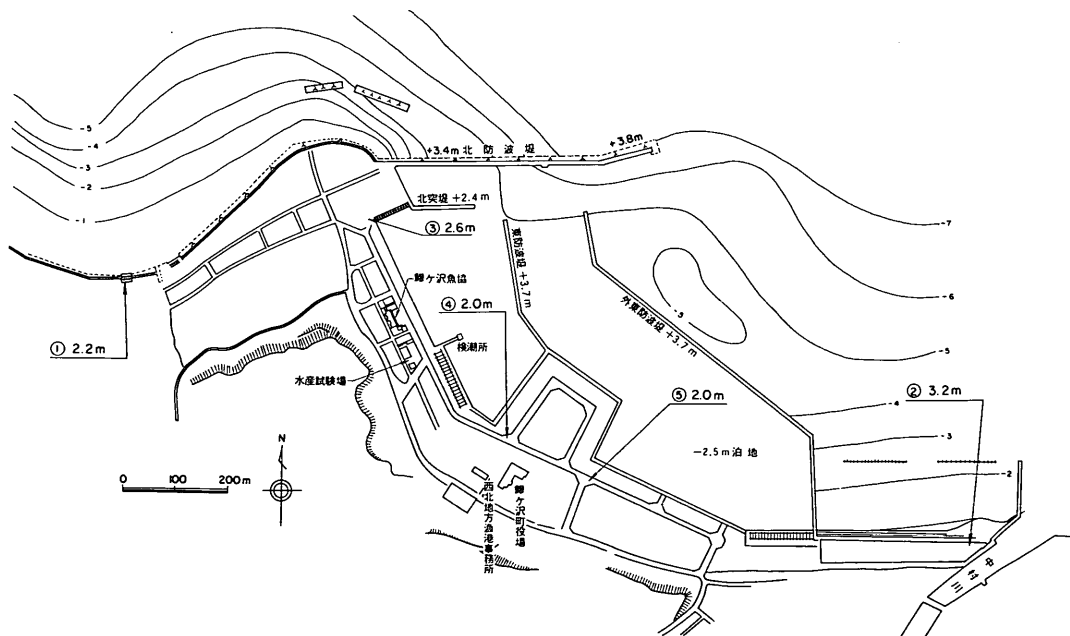


図-5.35 鯨ヶ沢漁港

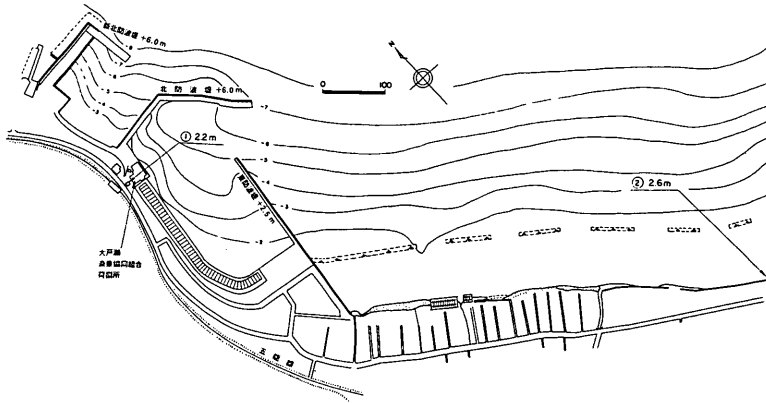


図-5.36 北金ヶ沢漁港



写真-5.33 北金ヶ沢港外の小童衣川
(橋桁の下まで水位が上昇した。)

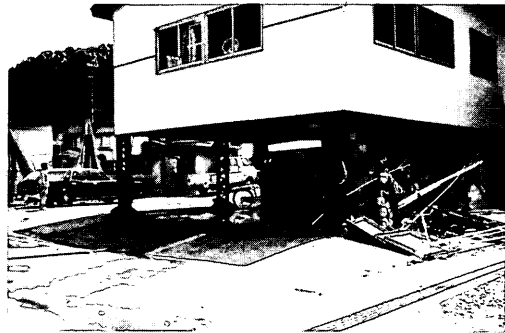


写真-5.34 津波の最高水位のこん跡
(田野沢漁港, 白線で示した箇所
に赤いペンキで線が描かれている。)

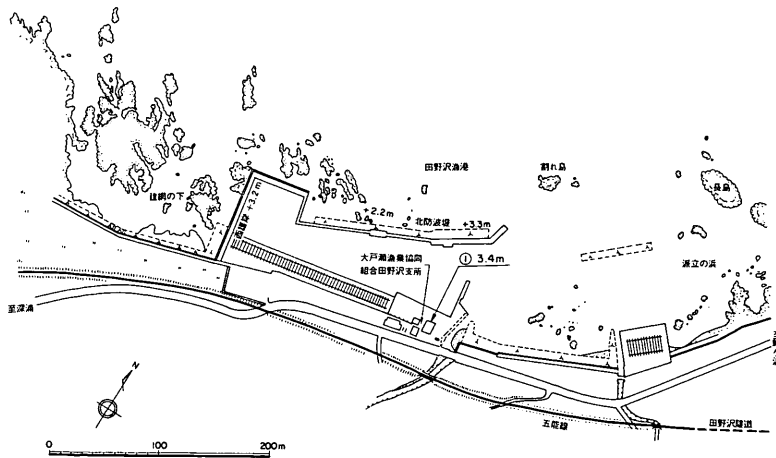


図-5.37 田野沢漁港

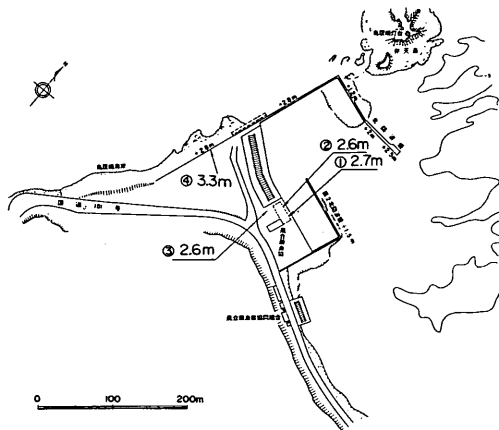


図-5.38 風合瀬漁港

田野沢漁港の人の話では、「津波は北側防波堤を越えて侵入し、港内の奥で非常に強い渦が発生した。引き波で防波堤の天端上に1隻の船が乗り上げ、他の1隻は防波堤を越えて港外に出た。」とのことである。防波堤からの越流で港内の水位が上昇したのではないかと考えられる。田野沢漁港の前面の海域は浅い岩場があり、非常によい漁場となっているとのことであるから、津波が屈折し、防波堤前面に津波が集中したのではないかと想像される。

g) 風合瀬（かそせ）

風合瀬漁港の平面図が図-5.38に示してある。漁業組合の人の話によると、津波は西防波堤の起部から北方向に延びている部分と東防波堤の北西に延びている部分から越流して、港内に侵入してきたとのことである。しかし、西防波堤の東へ延びている部分からの越流はなかったようである。

港内の物揚げ場の建物に津波の最大水位が赤ペンキで2箇所を示してあり、その高さを調べた（写真-5.35）。この2箇所は、図-5.38の測点①および②で、それぞれこん跡高は2.7mと2.6mである。また、津波の最大そ上地点を漁協の人から聞いて測定した。これが測点③で、こん跡高は2.6mと、測点②と一致した。

さらに、風合瀬漁港の西側港外でも測定した。この測点は図-5.38の測点④である。こん跡高は、津波によって打上げられた海藻を頼りに定め、測量の結果、3.3mであった。この付近の海岸は岩礁地帯で水深も非常に浅いようであった。

港内の水位が比較的高くなったのは、港外から防波堤を越えて津波が侵入してきたためだと考えられる。港外からの津波が防波堤の天端を越えて港内に侵入した場合、は、田野沢漁港や風合瀬漁港のように港内の水位と、港



写真-5.35 荷さばき所の柱に示された最高水位のこん跡(風合瀬漁港)

外水位との差は、小さくなり、引き波で港口部の流速が非常に速くなるようである。また、港内では渦が発生する。

(4) 青森県南部海岸（黒木～秋田県境）

a) 黒木（とどろき）

木漁港の平面図が図-5.39に示してある。本漁港は、人家から離れた場所にあり、急傾斜の斜面を降りてゆかなければならない。漁師の話によると津波のようすは次のようである。

津波は防波堤の先端から侵入してきたが、防波堤を越えることはなかった。この津波は西側護岸の打継ぎ部を破壊して西側の港外へ抜けていった。また、西側護岸付近にある冷凍庫の屋根に津波によって運ばれた船が当たり、屋根が壊れた（写真-5.36）。

漁師の指摘により、ウィンチ小屋の津波こん跡庫を測る。これが図-5.39の測定①で、5.1mのそ上高であった。

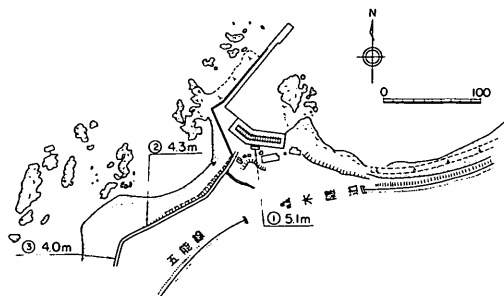


図-5.39 黒木漁港

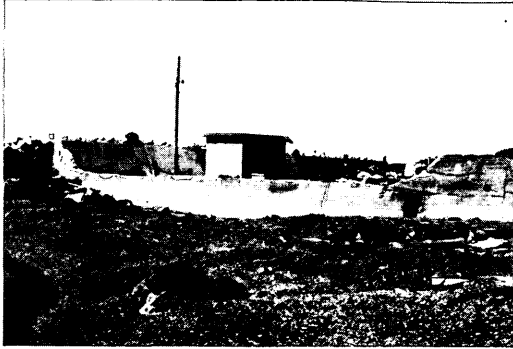


写真-5.36 津波によって破壊された
木魚港西側護岸

西側港外についても、図-5.39 に示す測点②および③で、土地の人の指摘に従って測量した。その結果、港外では、4.3mと4.0mで、港内より約1m小さくなっている。なぜ港外津波のこん跡高が港内より小さくなったのか、その理由については不明であるが、津波の屈折などの局所的地形の影響を調べる必要がある。また、西側護岸の打継部（写真-5.36）は港外に倒れており、港内から港外に倒れたという漁師の言葉を裏付けている。

このことは、津波の到達時間は港外と港内とはほぼ同時刻と考えられるので、港外より港内の津波が大きかったことを示している。

b) 深浦港

深浦港は今回の津波の来襲が最も早かったと言われるところである。ここでは、図-5.40 に示しているように、港内10箇所、港外2箇所でこん跡高を調査した。

まず、港外西側にある岡崎海岸キャンプ場の売店（測点①）でヒヤリングしたが、津波はその入口まではそしなかったそうである。その売店前の海岸に長さ10cm程度の木片が波状に打ち上げられており、津波のこん跡と認められたのでレベル測量を行ったところ、高さは3.8mであった。

港内では西側地区から港奥を経て北側地区方向に踏査した。西側の漁港区域では、深浦漁業協同組合の冷凍倉庫（測点②）が浸水し、写真-5.37 に見られるようにこん跡が明瞭であった。このこん跡高は3.2mである。

これと道路を隔てた所にある鉄工所の作業場内のこん跡高は3.6mであった（測点③）。また、漁業協同組合の事務室には浸水当時の最高水位を示す赤線が残されていたので、これを測量したところ高さは3.7mであった（測点④）。さらに、西船溜斜路付近のこん跡高は、測点⑤で4.0m、測点⑥で3.5mであり、以上から西船溜では3.2～4.0m程度の高さであったといえる。

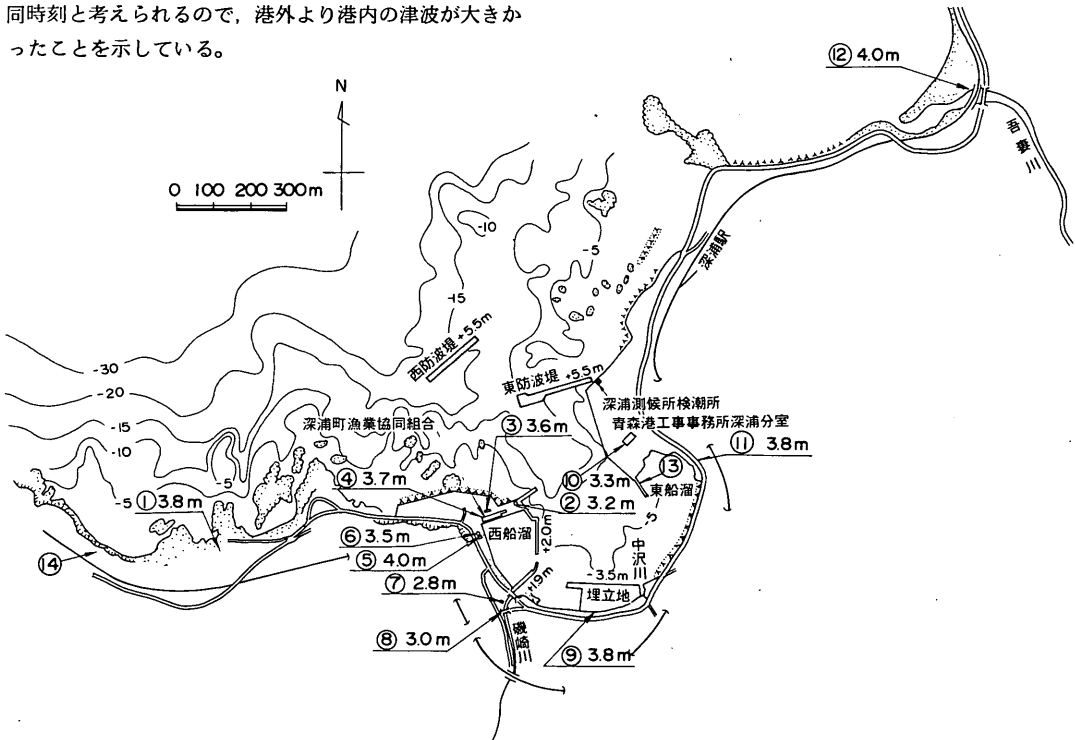


図-5.40 深浦港



写真-5.37 深浦漁業協同組合冷凍倉庫の
こん跡(測点②)

写真-5.38 (1), (2)はこの西船溜での第2波の津波の状況を示したもので、(1)が押し波時、(2)が引き波時である。押し波時には西船溜防波堤(天端高+2.0m)が水没しており、引き波時には開口部からの強い流出が認められる。防波堤の基部が露出しているが、基部から天端までの高さは3.0mである。

西船溜防波堤の外側に磯崎川が流入しているが、この河口付近左岸の民家数軒が床下浸水していた。

写真-5.39はその民家の一つに認められたこん跡を示したもので、高さは2.8mであった(測点⑦)。また、ヒヤリングによるとそのやや上流にある磯崎橋は冠水したということであり、橋上の路面の高さは3.0mであっ



(1) 第2波の押し波時



(2) 引き波時

写真-5.38 深浦港西船溜での津波の状況
(青森県土木部港湾課提供)



写真－5.39 深浦港内、磯崎川左岸の民家の
のこん跡（測点㉗）

た（測点㉘）。このようにこの付近でやや低いのは海側に架かっている観音橋付近の道路がやや高くなっているため、津波が河道を通してのみ侵入してきたことによると推測される。

磯崎川と中沢川間の埋立地は全域が浸水し、引き波のときには、駐車中の車がすべて流されたということである。写真－5.40 は中沢川河口付近の、写真－5.41 は測点㉙付近から北北西方向の浸水状況を示したものである。この測点㉙でのこん跡高はヒヤリングと海草の残留から定まり、その高さは3.8mであった。



写真－5.40 深浦港埋立地の浸水状況(東側)
(青森県土木部港湾課提供)



写真－5.41 深浦港埋立地の浸水状況(西側)
(青森県土木部港湾課提供)

港内北側の埋立地も一部冠水した。第二港湾建設局青森港工事事務所深浦分室の外壁に示されたこん跡高（写真-5.42）は3.3mであった（測点㊸）。また、東北の奥地点では道路を越えて浸水しており、測点㊹ではヒヤリングによりこん跡高は3.8mであった。

写真-5.43 (1), (2)は、この前面の東船溜（図-5.40の㊺）での津波の状況を示したものである。

深浦港にはフース型の検潮儀（気象庁深浦測候所管理（写真-5.44））があり、検潮記録が得られている。これによると、津波の初動は12時07分であり、津波の周期は8～10分であった。最高水位はC.D.L上+0.73mであり、13時35分に記録している。この検潮記録による最高水位は前述のこん跡高と比較して著しく小さく、検潮井戸による減衰が大きかったものと推測される。

当時、前出の図-5.40の㊻で示した高台の深浦町自然休養村保養センター駐車場から、矢印方向に津波を目撃した青森港工事事務所所長の談によると、目視による第2波と思われる津波の押しは12時23分であり、引きは12時29分であった（写真-5.45）。これは検潮記録による時刻とはば一致している。

深浦港では写真-5.46に例示されるように、漁船の転覆等の漁船の被害が大きかった。また、写真-5.47に見られるように建物等の被害も認められた。

深浦港港外北東に位置する吾妻川右岸（測点㊼）でもこん跡を調査した。浮遊物の打ち上げや草の枯れが認められ、これらのこん跡高は4.0mであった。以上の結果から深浦港外では4m前後のそ上高であり、港内では3～4mとやや小さかったといえる。

c) 鱸作（へなし）

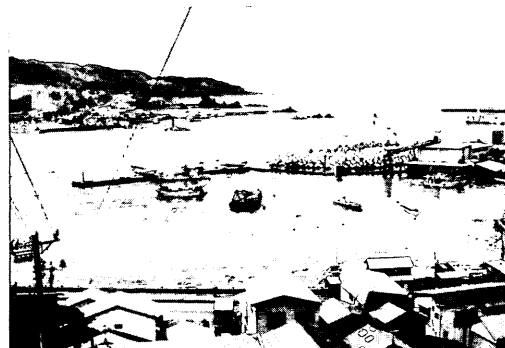
鱸作漁港は人家からかなり離れていて、非常にわかりにくい場所にある。背後が急傾斜の崖になっており、海岸は岩礁地帯である。この漁港は、このような岩礁地帯を埋立てて建設されたようで、図-5.41に示す西側防

波堤はまだ工事中のように思える。港内には消波ブロックが並べてあった。

漁師の話によると、「西側防波堤と南側護岸を津波は越えなかった。津波がきたとき、船は東の方へ流された。自分は胸まで水につかった。仲間は頭が一度水中に見



(1) 引き波時



(2) 押し波時

（青森県土木部港湾課提供）

写真-5.43 深浦港内の津波（東船溜）

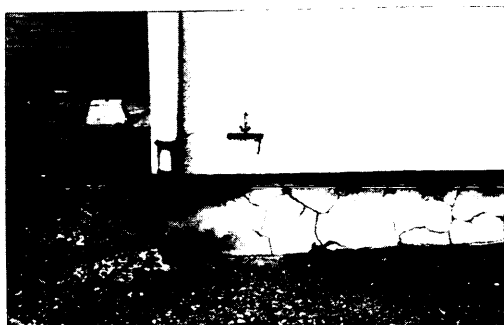


写真-5.42 深浦分室のこん跡(測点㊸)



写真-5.44 気象庁深浦測候所検潮所



写真-5.45 深浦港内への津波の侵入状況
(青森県土木部港湾課提供)



写真-5.46 深浦港内の漁船の被害
(青森県土木部港湾課提供)

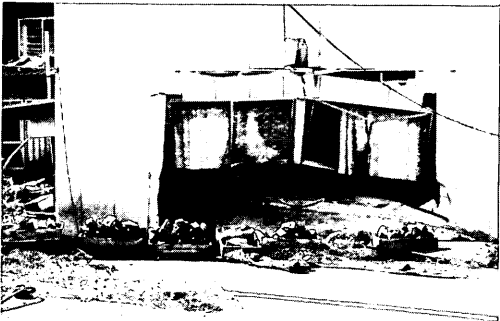


写真-5.47 深浦港内の家屋の被害
(青森県土木部港湾課提供)

えなくなり、駄目だと思ったが、再び現れ、2人とも助かった。あんな津波ははじめてだ。」とのことである。

このような話からも、本漁港内ではかなり大きな津波が来襲したことがうかがえる。本調査のときには津波から1か月近く経っていたので、写真-5.48 に示す船小

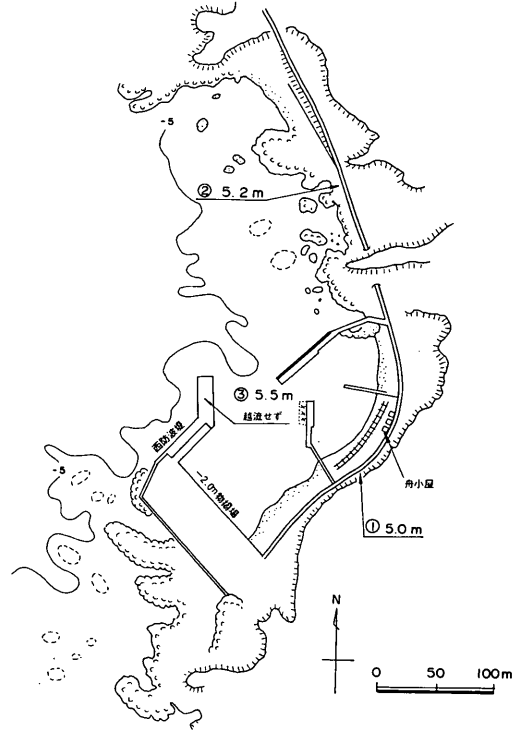


図-5.41 鱸作漁港

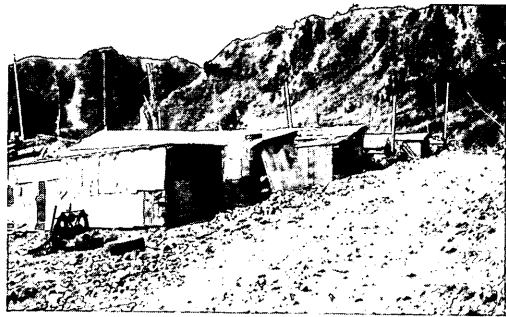


写真-5.48 鱸作漁港港内の舟小屋
(津波の後、修理されたもの)

屋は新しく建て直されていたが、これらの小屋は全壊したものと考えられる。

港内では、図-5.41 の測点①で測定した。こん跡は漁師の指摘によって得た。この点でのこん跡高は 5.0m であり、非常に大きい。港外の津波については、本漁港北側において測量した。こん跡高を調べるために、玉石

の海岸を歩いていると、海岸にたこまで打上げられていた。港外の津波は、図-5.41の測点②で測量し、5.2mを得た。港外と港内の津波のこん跡高はほとんど変わらない。この原因としては、本地域に襲った津波は非常に大きく、天端の低い北側防波堤を越流したため、防波堤とんど現れなかったためではないかと思われる。この効果がほとんど現れなかったためではないかと思われる。

d) 岩崎漁港

岩崎漁港の平面図を図-5.42に示す。岩崎村漁業協同組合でのヒヤリングによると、津波の第1波は西側から、2,3波は南側から防波堤を越波して襲ったようである。港内のこん跡高は測点①で3.4m、測点②で3.6mおよび測点③で3.8mであった。写真-5.49は測点③の冷凍冷蔵施設内の壁面に残る水位のこん跡を写したものである。

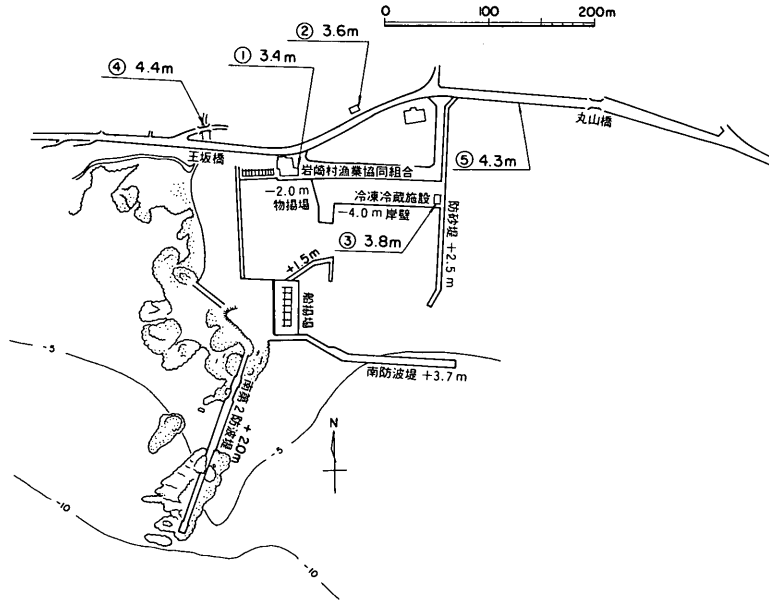


図-5.42 岩崎漁港

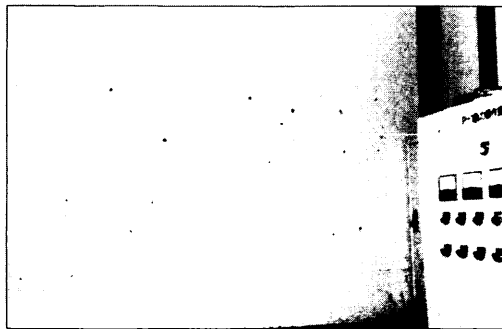


写真-5.49 岩崎漁港冷凍冷蔵施設内のこん跡(壁面に泥水に浸った跡がある。)

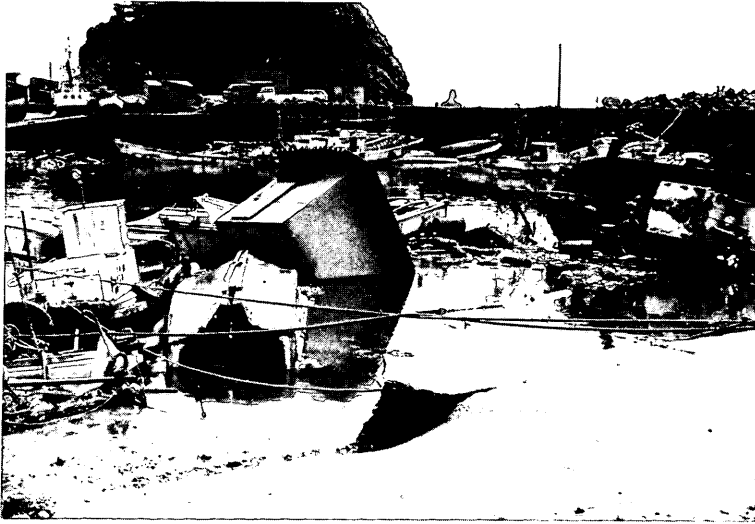


写真-5.50 岩崎漁港、-2.0m物揚場の被害状況
(青森県土木部港湾課提供)

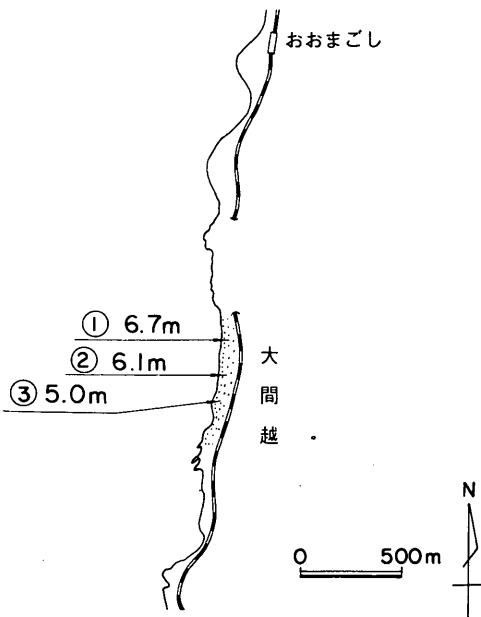


図-5.43 大間越海岸

岩崎漁港は漁港施設の被害も大きく、-2.0m物揚場の前面は流された家屋や、転覆した漁船で埋まるほどであった(写真-5.50)。

岩崎漁港港外のこん跡高は、測点④で4.4m、測点⑤で4.3mであった。岩崎漁港では、港内のこん跡高は3.4~3.8mであるが、港外では0.5~1.0m程度高くなっている。



写真-5.51 大間越海岸でのこん跡調査

(6) 大間越

大間越海水浴場は、秋田県境に近いところに位置しており、砂浜のきれいな海岸である。図-5.43に大間越の位置と測点を示している。この海岸の付近には人家はなく、聞き取りはできなかったので、津波こん跡として海藻の漂着状況および草木の枯れ具合から判断した(写真-5.51)。

この海岸には浜崖ができており、図-5.43の測点①はこの浜崖の頂上付近の点で、6.7mあった。測点②もほぼ同様であるが、測点③は浜崖が低くなっている部分に当たる。背後に田や畑があるが、状況から判断して、田や畑にも津波が侵入したようで、畑の植物は枯れていた。また、田の稲の苗は植え換えられたように思われた。

この測点③では、津波のこん跡高は5.0mと比較的小さかった。この原因としては、津波が浜崖の部分を超えて、背後の低い地域に流れ込んだためだと考えられる。

5.3 秋田県*

(1) 津波の概況

秋田県の海岸で測量した津波のこん跡高を図-5.44に示す。図中の地名は測量した地点を示し、数値は基本水準面(C. D. L.)上の津波のそ上高をm単位で示している。漁港および港湾に関しては、港外および港内におけるそ上高が示してある。

図-5.44の津波のこん跡高の分布特性から、秋田県の海岸を4つの地域に分けることにする。第1の地域は、青森県境から五里合までの比較的単調な海岸部である。

この海岸においては、津波が沿岸部で砕波し、段波状になって来襲したという証言が得られているし、写真でも津波が沿岸部に近づいたとき、砕波による白い泡の線が海岸線に平行に見られている(写真-5.52)。このような海岸では、津波のこん跡高は非常に高く、6mを越えている。この海岸における最大のこん跡高は峰浜村地区で10数mに達しており、農作業中の人の死亡事故があった。また、この海岸の漁港において、漁船などが非常に大きな被害を受けている。特に、岩館漁港や八森漁港では非常に大きな災害を被った。能代港においては、工事現場の作業員が多く死亡した。能代港の南の海岸では、海岸に建てられた漁師の小屋はすべて壊され、背後の松林にその残骸を残していた。このように、この海岸は津波のそ上および被害が大きい地域に当たる。

第2の地域は、男鹿半島の北側と西側海岸で、第1の地域のように津波のこん跡高は大きくはないが、4~6mに達する海岸である。この地域は、浜間口から門前までの海岸に当たる。この地域のほうが第1の地域に比して、地震の発生域に近いけれども、津波そ上高は小さい。この原因としては、第1の区域は水深の浅い海域が広く、津波が強い変形を受けるが、男鹿半島では、水深の浅い海域が狭いからではないかと考えられる。

第3の地域は、男鹿半島の南側の海岸から秋田港までの海岸で、図-5.44においては、椿から秋田港までになる。この海岸では、津波は男鹿半島で遮蔽されるためか、比較的こん跡高は小さく、2m程度である。

第4の地域は秋田以南の秋田県沿岸で、この地域のこん跡高は、松ヶ崎漁港を除くと2.0m以下である。

以上4つの領域を秋田県北部海岸、男鹿半島北海岸、男鹿半島南海岸および秋田県南部海岸と呼ぶことにして以下にこれら海岸の各地点における津波の状況を詳細に述べる。

(2) 秋田県北部海岸(岩館~安田)

a) 岩館

岩館地区の平面図を図-5.45に示す。岩館は青森県との県境近くにあり、岩館本港と分港とからなっている。

分港は本港の200m北にあり、非常に小さい港である。津波のこん跡高は、本港で4点(測点④~⑦)、分港で2点(測点①と②)および本港と分港の中間地点の港外で1点(測点③)測定した。

岩館分港では、斜路にあった船が津波によって流れ、民家に突込み、民家の一階を壊したとのことである。分港背後の地盤高は他に比して低く、この地区のほとんどの民家は被害を受けていた(写真-5.53)。6月23日の調査時点では多くの家が修復中であった。また、分港の南側防波堤の基部付近のパラベットは壊れて、撤去してあり(写真-5.54)、前面の消波ブロックも積み直した形跡があった。津波のそ上高は測点①で6.8m、測点②で7.7mと非常に大きい。前面の防波堤を越えて津波は来襲したものと思われる。

岩館漁港の本港では、津波は防波堤を越えて侵入し、港内では川のように流れたとのことである。港内での測点④~⑦における津波のそ上高は4.2~4.4mと、分港での値に比較すれば小さい(写真-5.55)。防波堤を越えた津波が港内に滞留し、港口部が狭いだけに引き波時でも水は港外に出にくかったように思われる。

港口部の天端高1.5mの東側突堤は港内側に転倒しており、津波によって壊されたものと思われる(写真-5.56)。しかし、何波めで転倒したか明らかでない。

分港と本港の中間の港外での測点③では、津波のこん跡高は5.2mと、分港での値より小さい。この部分は道路沿いに天端高4.5mの護岸が建設されており、この護岸で遮られて、堤内にあまり津波が侵入しなかったものと推測される。

b) 八森

八森漁港の平面図を図-5.46に示す。八森漁港では、港外3点(測点①~③)、港内で1点(測点④)で測量した。

八森漁港漁業組合長の話によると、八森漁港での津波の状況は次のとおりである。

家から漁協までは2~3分で来ることができ、津波警報を聞いて、自転車で漁協の建物近くにきたときには、沖合に白い屏風のような津波が来襲してきていた。第1波で前面の防波堤は一瞬の内に海中に沈んだ。第

* 執筆担当 高山 知司・平石 哲也(秋田港まで)
高橋 重雄・村上 和男(秋田県南部海岸)

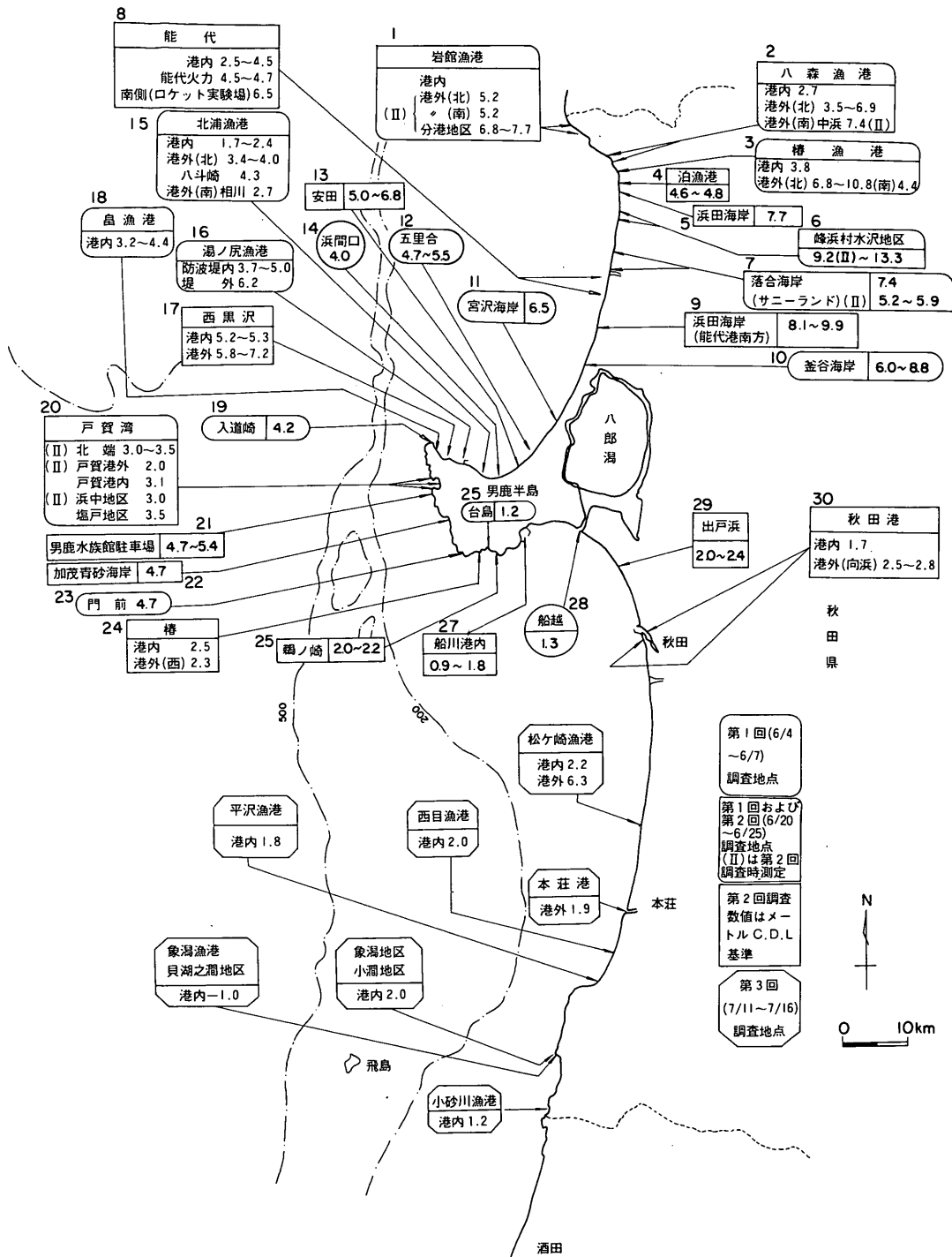


図-5.44 各地のこん跡高(秋田県)



写真-5.52 八森海岸を襲った津波（秋田魁新報社“秋田沖大地震”より転載）

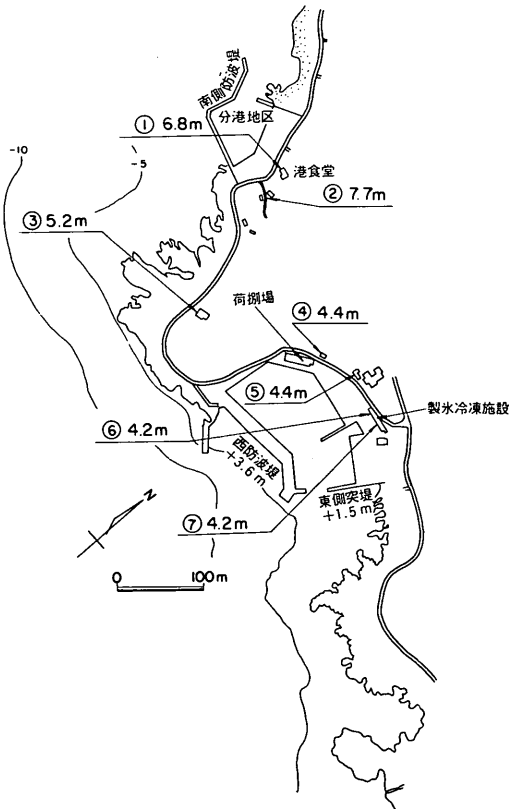


図-5.45 岩館・魚港



写真-5.53 岩館魚港分港の家屋の被災状況

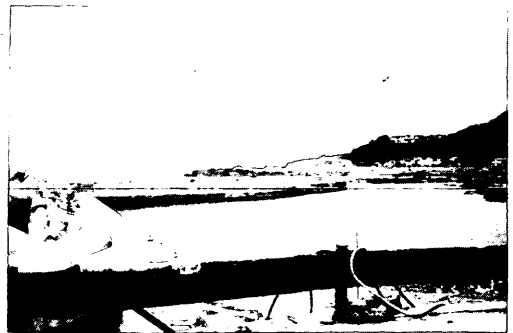


写真-5.54 岩館魚港分港南防波堤の被災状況

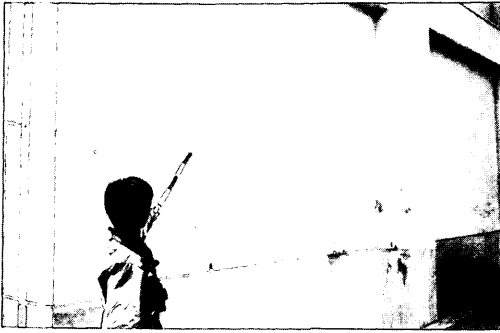


写真-5.55 岩館漁港港内のこん跡(測点⑦)



写真-5.56 岩館漁港東側突堤の被災状況

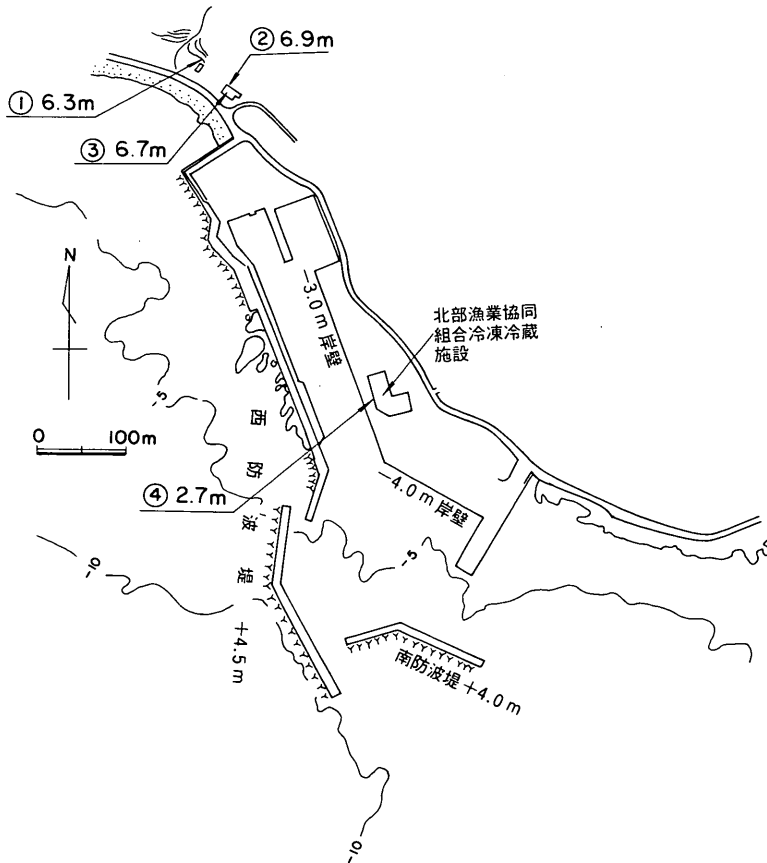


図-5.46 八森漁港

1波の引き波は防波堤を越えることはなく、狭い港口部を濁流のように流れ出たので、これによって大部分の船が流されたり、転覆したりした。引いたときには、2.5mくらい水位が下がり、港内の底の岩が全部見えた。2波めは1波めよりも小さかった。1波めと2波めは北西から来襲し、3、4波めは南からやってきた。津波によって港内の漁船の80%は被害を受けた。

港内の津波のこん跡高は2.7mと、岩館漁港に比して小さい。しかし、八森漁港で多くの漁船が被害を受けている。この原因としては、防波堤（天端高4.5m）を越えて流入した津波や港口部から流入した津波が引き波時に港口部から流出したため、流速が非常に速くなったためと考えられる。

港外の3点（測点①～③）でこん跡高の調査を行った。港外の北護岸の基部にあった家屋は一階が完全に浸水し、民家の人の話では一階の天井まで完全に水につかったとのことである。実際に修復中の家屋（写真-5.57）においては天井近くまで泥がついていた。家屋および草枯れによるこん跡から津波のそ上高を測定した結果、測点①、②、③でそれぞれ6.3m、6.9m、6.7mと、すべて6m以上あった。この部分の前面護岸は天端高4m程



写真-5.57 八森漁港の家屋の被災状況

度であり、津波は容易にこの護岸を越えたようである。

c) 八森漁港樁地区

八森漁港樁地区（図-5.47）では、ヒヤリングによると、津波は最初西方から来襲し、測点①の前面の海面上高さ10～15m程度の岩が、波に隠れて見えなくなったようである。この西方の岩礁地帯で、エネルギーが集中したために、港外（西方）の測点①のこん跡高は10.8mと大きく、測点②でもこん跡高は6.8mと大きかった。

逆に、港内では港外西側で津波がある程度さえぎられたため、こん跡高は測点③で3.8mと小さい。港外東側でも、西側に比べてこん跡高は4.4mと小さかった（測

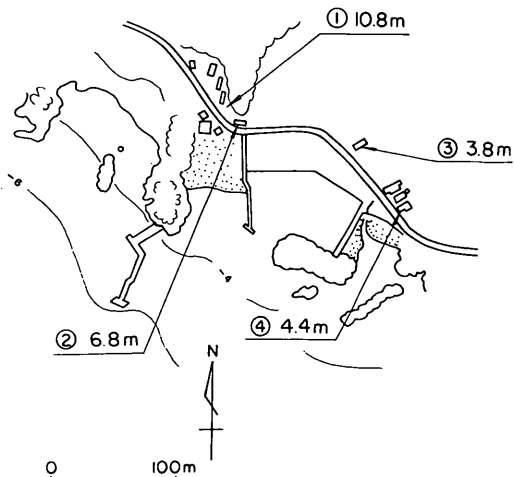


図-5.47 八森漁港樁地区

点④)。

港内では津波の被害はほとんどなかったようであるが、港外西側の測点①付近の舟小屋は流されたり、壊されたりしたものが多く、第1回調査の際には修理中のものが多かった。

八森漁港樁地区は、津波の来襲方向であった西側に、高さ10数mの岩礁（写真-5.58）が存在したために、港外のこん跡高が港内の2～3倍程度になり、その差が顕著であった。



写真-5.58 八森漁港樁地区西側の岩礁（津波は向かって右手方向から来襲した。）

d) 八森漁港泊地区

八森漁港泊地区の平面図を図-5.48に示す。この地区は非常に小さな漁港で、小さな斜路と沖合にコンクリート方塊による防波堤があるだけであった。

泊漁港の漁師の話によると、津波のようすは次のようである。

地震が止んで、12分くらいで津波がきた。1波めは北西の方向から来て、次に南西の方向から来襲した。前面の防波堤の前で重なった。津波は陸上のかんりの高さまではい上がり、妻と一緒に背後の崖をよじ登って逃げた。

このことから、津波は北側と南側から来襲したことになる。このことは、八森漁港の組合長の言葉とも一致し、この地区では2方向から津波が来襲したことになり、非常に興味のある現象である。

この地区では、2点測量し、1点は背後の崖の部分(測点①)と漁師小屋の基部(測点②)である。測点①および②でそれぞれ4.8mと4.6mになっており、津波

の上高が大きい。

e) 八森海岸

岩館漁港から浜田海岸までの各漁港およびその近傍の津波のこん跡高については、a)~d)で述べたが、各漁港の中間地点についても、津波のこん跡高を測量しているので、ここではこれらの地点について述べる。この海岸の平面的配置は図-5.49に示してある。

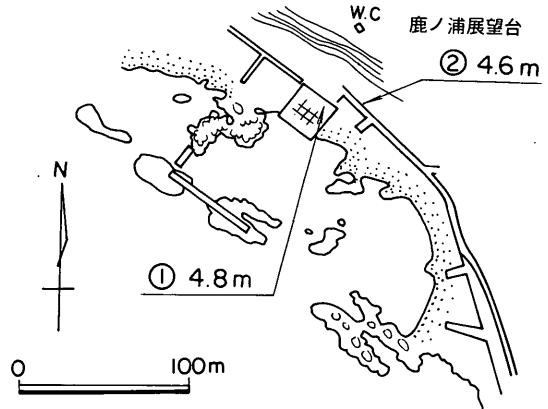


図-5.48 八森漁港泊地区

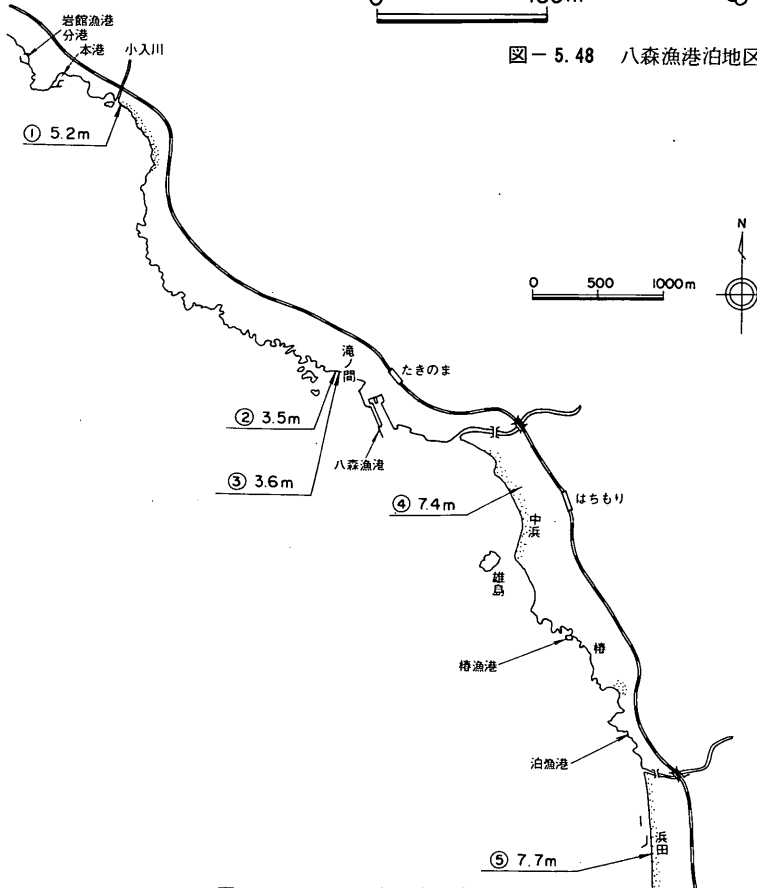


図-5.49 八森海岸

岩館漁港から南へ1km程度行った子入川地区で測定した(測点①)。この部分は海岸堤防が建設されており、その背後は道路になっていて、人家は道路から2mくらい石積みされた場所にある(写真-5.59)。土地の人の話によると、津波はこの護岸を越え、道路上を川のように岩館方向に流れたが、津波は石積みされた途中で止まり、被害はなかったとのことである。この人の指示したこん跡から津波のそ上高を測ると、5.2mに達していた。この地点は岩館漁港から近く、岩館漁港の港外津波になる。



写真-5.59 子入川地区の状況

測点②および③は八森漁港北側 滝ノ間地区の港外点で、八森漁港から約500m離れている。この地点は護岸が整備されており、その背後が2車線の立派な道路がつくられている(写真-5.60)。

この道路の横は、雑草が4~5m程度の幅に渡って生えており、その端から崖になっている。この崖のふちまで草が枯れており、津波がここまでそ上したことがわかる。この部分の2箇所を測量した結果、3.5mと3.6mであった。護岸の天端は4.5m程度で、この天端を津波



写真-5.60 八森漁港港外北側の護岸

が越えたのか明かでない。また、護岸の一部が切れて、人が浜に下りることができるように階段になっており、この部分から津波が侵入したのかもわからない。

八森漁港から1.5km程度南の中浜部落の八森町立中央保育園の前で測量を行った(測点④)。保育園の先生によると、次のような津波の状況であった。

弁当の時間だったが、子供達を連れて、高台の小学校へ避難した。津波は雄島(南方)の方向からきたようだ。小学校からは八森漁港の水位が上がったり下がったりするのが見えた。川からも水が侵入したようで、窓の壊された家がある。

この先生の指摘した保育園フェンスのブロックの高さを測った。津波のそ上高は7.4mにも達していた。この部分の海岸は、前面が砂浜で、約3mの浜崖があり、崖の上は平になって、道路が通っている。崖下には消波ブロックが2列並びで配置してあった(写真-5.61)。この道路の横に保育園があり、保育園の土地はほぼ道路と



写真-5.61 中浜地区でのこん跡調査

同じ高さである。

泊漁港から南1kmの八森町 浜田の海岸で測量を行った(測点⑤)。この海岸は、前面に消波ブロックの離岸堤があり、その背後には護岸がある。護岸の背後は道路で、道路の横から斜面となっており、その背後に人家が並んでいる。津波はこの斜面のほぼ頂上付近まで達しており、もう少し津波が大きくと、大きな災害が起こったと思われる。この地点の津波そ上高は7.7mに達している。

浜田海岸の消波ブロックの離岸堤は津波によってブロックが散乱しており、津波の強さを想像させる。ブロック散乱状況は、一般に貝の付着していないブロックが海岸近くにあり、貝の付いているブロックは離岸堤近くにあった。このことから、最初に天端上のブロックが転がり落ち、その後でそれを支えていた水面下のブロックが動かされたように思われる(写真-5.62)。



写真 - 5.62 浜田海岸の離岸堤の被災状況



写真 - 5.63 埴川左岸の被災状況

f) 峰浜

峰浜は農作業中の人々が死亡したところで、水田の被害は2箇所发生过っていた。図-5.50に示すように、1箇所は水沢川南の水田、他は埴川の南側の水田である。

水田は津波によって運ばれた土砂で完全に埋没しており、埴川付近では見渡す限り、すべての水田が土砂をかぶっていた(写真-5.63)。その面積は25haはあると推定された。水沢川左岸では、海岸近くの水田だけであった。この違いは、埴川付近では水田から海岸が見えるのに対し、水沢川付近では小高い土手があって、海が見渡せず、この海岸近くの土手によって津波の強さが減じられたものと考えられる。なお、水沢川右岸域でもかなり広い地域での浸水があったようである。

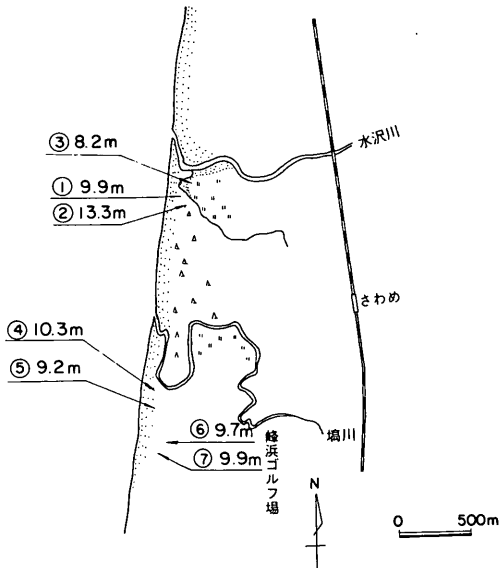


図 - 5.50 峰 浜

第1回調査(6/4~6/7)では、北側の水沢川付近のこん跡高(測点①~③)を調べ、第2回調査(6/20~6/25)では南側のこん跡高(測点④~⑦)を調べた(写真-5.64)。

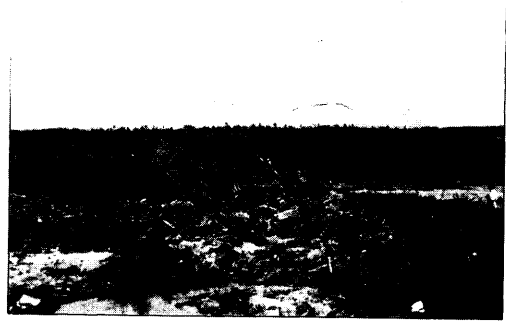


写真 - 5.64 水沢川左岸の丘陵地帯でのこん跡調査

この海岸は、汀線から緩かな勾配の砂浜海岸が続き、小高い丘が連なっている。丘の頂上付近から防砂林としての松林が広がっている。松林の枯れ具合から津波は防砂林の奥深く入り込んでいるようである。所々には津波によって打上げられた木材や船の残骸(骸)が松林にひっかかっていた。こん跡は比較的高い丘に関して調べた。

水沢川付近の海岸では、測点①、②、③でそれぞれ津波のそ上高が9.9m、13.3m、8.2mとなっており、非常に高いそ上高である。土堤(高さ4.2~6.2m)背後の水田では低地が広がっているため急激に低下し、こん跡高は5.0m程度であった。

埴川付近の海岸では4点測量しているが、9~10m程度と大きな差はなかった。

g) 能代港

能代港では今回の日本海中部地震津波で多くの犠牲者がでた。特に、能代港の港外地区の埋立護岸（火力発電所用地護岸）の工事では作業員の多くが津波によって死亡した。この原因は、津波の来襲が非常に早く、地震後20分くらいには津波の第1波が到達し、その津波は碎波しながら、段波状になって来襲したことである。また、写真から津波はソリトン分裂を起こし、周期の短い波が津波の峰に重なって来たともいわれている（写真-5.65）。

写真-5.65は、秋田県能代港建設事務所から、12時25分ころに南防波堤先端部の津波の状況を撮影したものである。能代港については港内の津波のそ上高をできるだけ細かく調べた。

津波の来襲状況について、聞き取った内容を述べる。

まず、運輸省第一港湾建設局秋田港工事事務所能代工場長によると、次のようである。

津波警報を聞いて、沖のほうを見ると、水面は既に白

く盛り上がっていた。津波の第1波の引きは12時40分くらいであった。当工場の船が港内にいたので、無線の交信などで忙しく、外を見る余裕がなかった。水面は何度も上がったが、下がったりしたが、断片的なことしかわからない。能代港内の船は押されたり、引かれたり、2分くらいで往復した。16時ころまで港内は渦巻いていた。新潟地震のときは、海面がじわじわと上がりそして下がったが、今回は一面真白になって来襲した。

建設省東北地方建設局能代工事事務所の調査課長の話では、「津波は米代川の上流7kmまでそ上した。これ以上そ上した可能性もあるが、はっきりとはわからない。このときの米代川は平水流量であった。」とのことである。

以上の談話の結果、能代港にも段波状となって津波が押し寄せているし、津波による船の運動からも短周期の波が現れていることがわかる。調査課長から頂いた、能代港内の津波の写真でも、碎波している先端の津波の後に周期の短い波が続いているのがよくわかる（写真-5.66）。

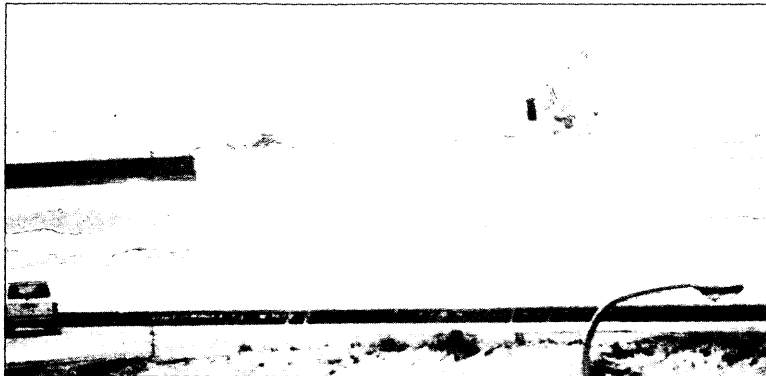


写真-5.65 碎波しながら段波状になって来襲する津波
(能代港南防波堤)(秋田県土木部港湾課提供)

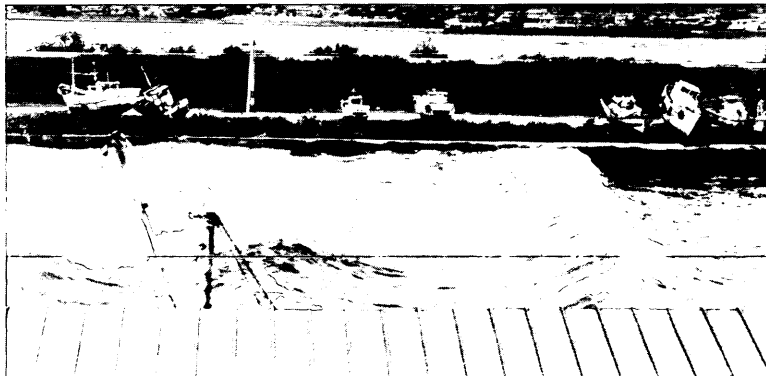


写真-5.66 能代港内への津波の侵入状況(水面貯木場)
(建設省東北地方建設局能代工事事務所提供)

この写真-5.66は、能代工事事務所の2階から、能代港水面貯木場の津波の状況を撮影したものである。

この跡高の調査は、まず米代川河口部東岸について行った。図-5.51の測点①～④の4点について測量した。この海岸は、砂浜海岸で、汀線から少し離れたところから、防砂用の松林が広がっている。この松林は1m程度の高さで、幅50m程度に渡って広がり、その背後に小高い土手が海岸線に平行に延びている。この土手

の背後に3～5m程度の高さの松林が広がっている。津波はこの土手を越えて松林の中まで入り込んでいるが、松林の中は測量困難なので、松の枝にかかった漂流物や松の葉の枯れ具合からその高さを測定した。その結果、この地点では5～6mの高さまで津波がそ上したことがわかった。この松林が粗度の役割をし、津波の勢いをかなり減じる効果があったのではないと思われる。

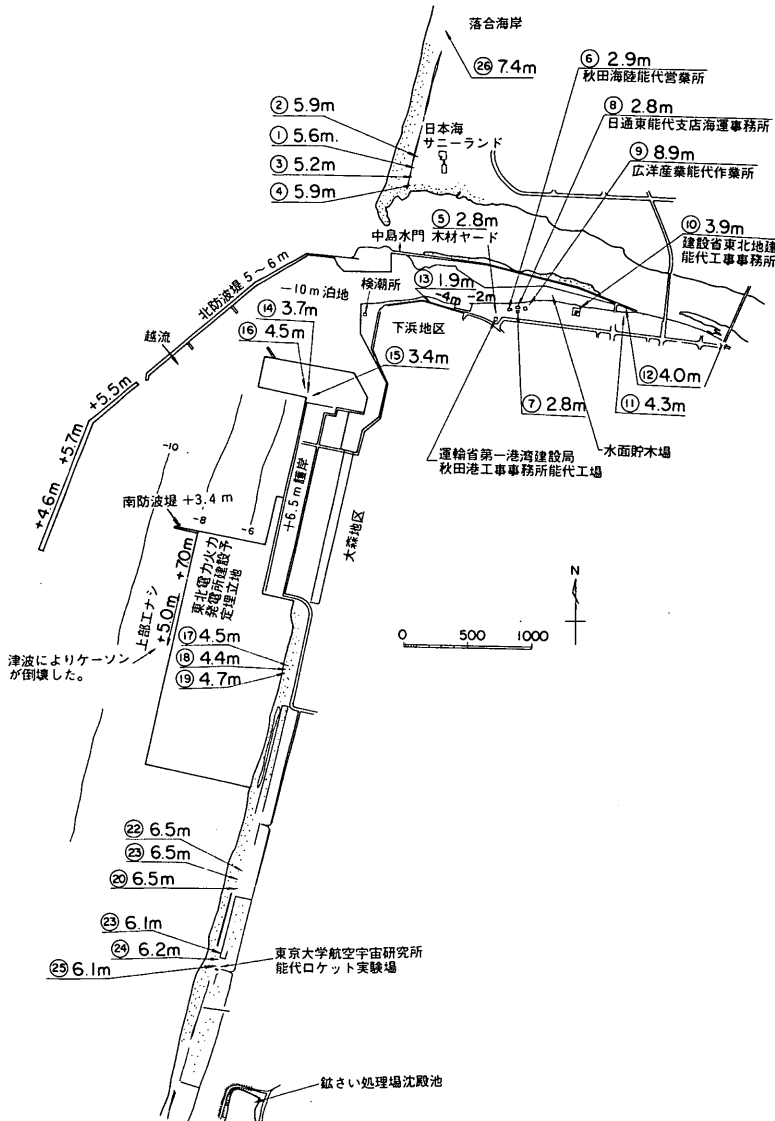


図-5.51 能代港

次に、能代港の港内を調査した。まず、水面貯木場に沿って調べた。水面貯木場の中で最も港口に近い測点⑬では、津波のそ上高は1.9mと比較的小さかった(写真-5.67)。2番めに港口に近い、木材ヤード上の測点⑤では2.8mである。さらに港奥の測点⑥~⑨はほぼ同じ地点にあり、こん跡高も2.8~2.9mと非常に近い値を示している。測点⑩は建設省の能代工事事務所の構内に当たり、この地点は津波そ上高が3.9mもあった。測点⑥~⑩には赤いペンキで津波こん跡の印がつけてあり、こん跡高の発見が容易であった。この水面貯木場では多数の漁船が津波によって陸に乗り上げていた(写真-5.68)。この水面貯木場の終端(写真-5.69)で2箇所測定した。1箇所は測点⑭は、金網上に付着した漂流物

から判断して定め、測量した。この点のそ上高は4.3mであった。他の測点⑮は、津波によって打上げられた木材等の漂流物の位置から定めた。この点のそ上高は4.0mであった。このように、この水路では水路奥に行くに従って津波のそ上高が高くなっている。この原因としては、水路幅が狭くなって津波が堰上げられたのか、また共振したのか明らかでないが、前述の写真-5.66で判断すると、前者の傾向が強いように思われる。

次に、護岸を越流して堤内に滞水した地点を調べた。この地点は測点⑭~⑯に対応する。この隅角部付近の護岸の天端が低く、そこから越流したものと考えられ、アスファルトがめくれていた(写真-5.70)。この3点で測量した結果は3.4~4.5mであった。



写真-5.67 能代港内-4m物揚場(測点⑬)のこん跡



写真-5.69 能代港最奥部の状況



写真-5.68 能代港内の漁船の被害(水面貯木場)(第一港湾建設局秋田港工事事務所能代工場提供)



写真-5.70 津波による舗装の被災状況

さらに、火力発電所用地護岸が倒壊した部分の背後陸上部で測量した。倒壊したケーソンは14かん(函)で、他は残っているため、倒壊部は開口部になっている(写真-5.71)。3点の測量では4.4~4.7mと、大きなばらつきはなく、ほぼ一定であった。この部分は砂浜で、数多くのテトラポッドが仮置きしており、テトラポッドまでは津波は達したようであるが、背後の道路までは達していなかった。この火力発電所の護岸は、第1波めでは倒れず、第2波めで倒れたという話を能代工場で聞いた(写真-5.72)。

港外の津波として、東京大学航空宇宙研究所能代ロケット実験場の北側の海岸で測量した。6点(測点㊸~㊼)で測量しており、6.1~6.5mであった。この海岸は、

汀線から緩い傾斜で登り、少し平らになった部分があってその背後に土手があり、土手の背後は松林で、土手の高さより低くなっている。津波はこの土手を越えたように思われるが、あまりはっきりとしなかった。測点はこの土手上で測った。

なお、能代港北側の落合海岸でもこの跡を調査した。ここには階段護岸(天端高5.0m)があるが、津波はこれを越えて背後の防砂林の中までそ上していた。この跡は非常に明瞭に認められ(写真-5.73)、高さは7.4mに達していた。階段護岸の端部は写真-5.74に見られるように陥没していたが、これが地震動によるものか津波によるものかは明白でない。

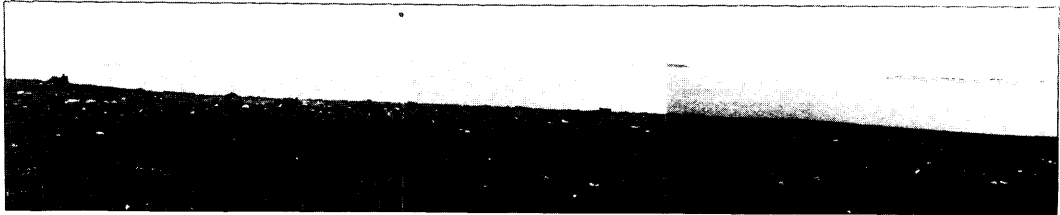


写真-5.71 東北電力火力発電所建設予定埋立地の護岸
(向かって右側の開口部がケーソンが倒壊した部分)

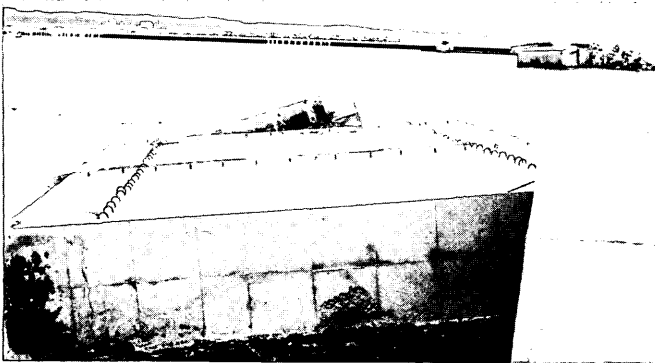


写真-5.72 ケーソンの被災状況
(秋田県土木部港湾課提供)



写真-5.73 落合海岸の津波のこの跡

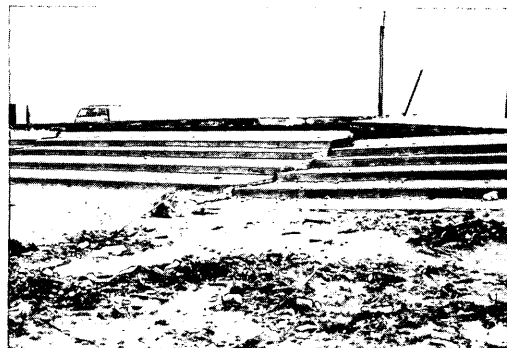


写真-5.74 落合海岸階段護岸の被災状況

能代港検潮所にはフース型の検潮儀が設置してある。検潮記録によると津波の初動時刻は12時25分である。第1波は、12時31分にC.D.L+2.08mが記録されているが、そこでスケールアウトして、その後は欠測している。

h) 八竜海岸

ロケット実験場から2.6km南に下った箇所で、道路脇の海岸寄りの松林の中に木造の建物の残がいを見つけた。そこで、この箇所で海岸へ出てみた。この地点が図-5.52の測点①である。この海岸の断面形状は次のようである。海岸は砂浜海岸で、汀線から20~30m陸に入った箇所に5.6m程度の土手があり、その背後は緩か

な勾配の斜面が続き、再度前面の土手より低い丘があって、その背後が松林になっている。土手の下にはコンクリート基礎をもつ建物が最近建てられたようであるが、これが無残にも津波で壊されており、松林の奥まで津波で流されていた。我々が最初に見たのは、この建物の残がいである。この建物のコンクリート基礎にボルト締めした真新しい木材の梁が残っているだけで、コンクリート基礎も一部壊されていた(写真-5.75)。この部分で測量した結果、土手の天端上が最も高く、図-5.53に示すように5.6mあった。津波はこの土手を容易に越えて行ったことを想像させるが、どの程度の高さで越えたかは不明である。津波は松林を抜け、道路を越え、反対側の松林の中まで入っており、道路から50m以上は松林の中をそ上したようである。

さらにこの松林の中の道路を南に下ると、道路両脇に津波による漂流物が取り片づけられていた。道路の交通を確保するため、ブルドーザで道路上の漂流物を取り除いたものであろう。両脇の松林の中には木材、小型ボートまで流れ込んでおり、津波の強さを目の当たりに見る思いであった(写真-5.76)。

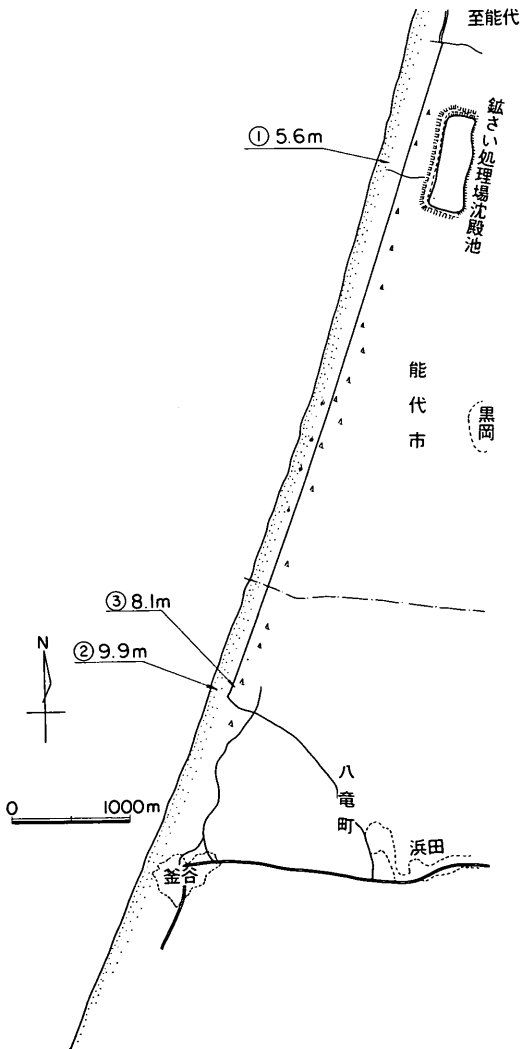


図-5.52 八竜海岸



写真-5.75 八竜海岸の被災状況(1)
(コンクリートの基礎が壊れている。)



写真-5.76 八竜海岸の被災状況(2)
(松林内に木材、ボートが散乱している。)

道路脇に多くの建物の残骸が散乱している場所から海岸に出た。この地点が図-5.53の測点②、③の地点である。ここでは、10人程度の人が漁師小屋を建て直しているところであった。ここでは既に4棟の小屋が建造されていたが、津波発生前には7棟程度の小屋が建てられていたようである。ここで作業していた人の話によると、次のようである。

このあたりの津波はひどかった。海辺の小屋が皆流された。今、使える材木を松林から拾ってきて建て直しているところである。津波が来たときは、自分は能代港の工事現場にいたけれども、ここにいた人は、自動車で逃げたり、ある人は津波で松林の奥まで流されたりした。

この小屋のあたりにある木造の電柱は津波で傾いていた。コンクリートの電柱は支線が張ってあるため、傾いてはいなかったが、この電柱の支線に網が引っかかっており(写真-5.77)、この高さは、図-5.53の測点②の高さで、9.9mあった。この程度までの高さに津波が来たものと思われる。また、松林の枯れ具合から津波のそ上高を調べると、8.1mもあり、この地帯に非常に大きな津波が来襲したことがわかる。小屋の地盤高は5mくらいであった。

i) 釜谷海岸

八竜町釜谷の集落から西へ1kmほど離れた海岸が釜谷海岸(図-5.53)である。

海岸には、いたる所に大きいもので5m、小さいもので10cm程度の木片が散らばっていた。測点③付近の10m四方の活魚施設は上屋が津波で全壊していた(写真-5.78)。

砂丘上のこん跡高は測点①、②および③の3点で測量し、それぞれ、7.5、8.3および8.8mであった。

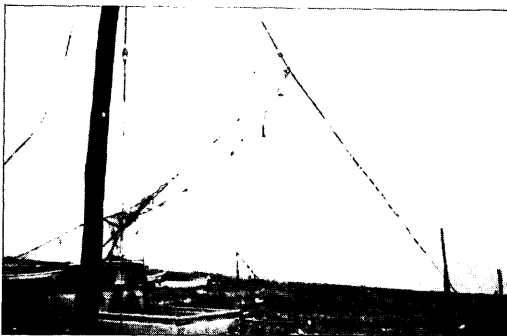


写真-5.77 八竜海岸浜田地区の津波のこん跡(電柱の支線に網が引っかかっている。)

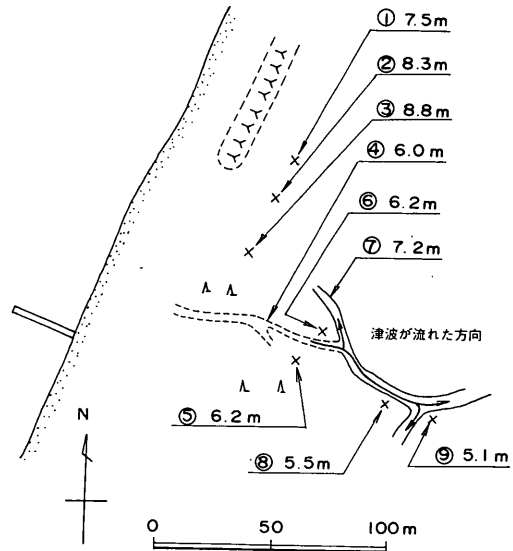


図-5.53 釜谷海岸



写真-5.78 釜谷海岸における活魚施設の被災状況

砂丘が切れた部分は幅5~10mの道路(未舗装)になっており、津波はこの道路沿いにそ上したようである。

測点④のこん跡高は6.0m、測点⑤では6.2m、測点⑥でも6.2mであった。

図の実線で示した道路は舗装されており、海からは登りになっている。ヒアリングによると、津波は測点⑦までそ上したようである。そ上高は7.2mであった。

測点⑧は、道端の盛り土が津波で削られたこん跡で、こん跡高は5.5mであった(写真-5.79)。測点⑨で道は二手に分かれ下りになっていたが、そ上した津波もここで二手に分かれ流れ落ちて行ったようである。測点⑨でのそ上高は5.1mであった。測点⑨は海岸線から200m程度離れており、津波による浸水域が、かなり広範囲にわたっていることが想像できる。秋田県の調査に



写真-5.79 釜谷海岸, 測点⑧のこん跡

よると八竜海岸全域で、海岸線より 100~200m くらいまでが、津波によって浸水している。

j) 宮沢海岸

若美町宮沢より 1km 程度西の海岸が宮沢海岸(図-5.54)である。海岸線の砂浜の背後には高さ 5m 程度の階段護岸があり、護岸上は幅 3m の道路になっている。

護岸のうち排水管上ものは陥没していたが、地震のためか津波によるものかはっきりしない(写真-5.80)。

護岸上のこん跡高は 6.5m であった(測点①)。護岸背後地への浸水はなかった。

k) 五里合(谷地浜)

五里合部落に隣接した海岸が谷地浜(図-5.55)である。測点①の漁具倉庫付近でヒアリングを行った。それ

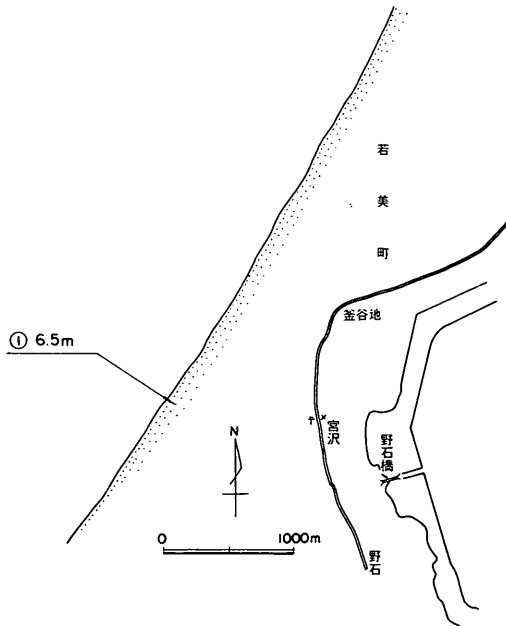


図-5.54 宮沢海岸



写真-5.80 陥没した護岸(宮沢海岸)

によると、津波の第1波は地震後 15分ぐらいで来襲し、第2波が最大であったようである。測点①のこん跡高は 4.7m であった。

砂丘上では2箇所でこん跡を調査した。こん跡高は測点②で 4.9m, 測点③で 5.5m であった。

五里合より 500m ほど北の鯨川の河口付近は、河川に沿ってそ上した津波によって水田が浸水し被害を受けていた(写真-5.81)。この河口付近の河川堤防は一部倒壊していた。

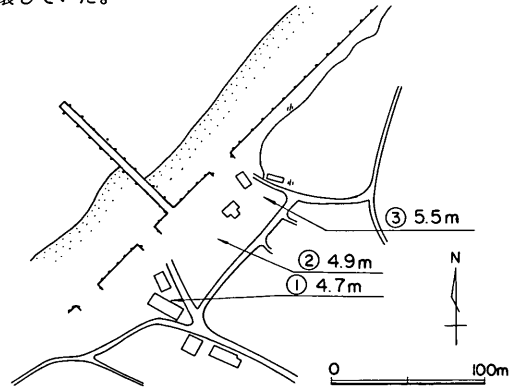


図-5.55 五里合(谷地浜)



写真-5.81 鯨川河口付近の水田の被災

1) 安田

安田は五里合の南にある小さな集落で、集落の西に護岸が造られており、その西に小川が流れている。護岸の前面には消波ブロックが設置してあり、背後は水田になっている。また、小川の対岸は崖になっている。護岸背後の水田は、津波による土砂で埋まっていた。

図-5.56 に示す4点で測量を行った。測点①および②は崖の中途のこん跡により津波のそ上高を調べた。その結果、この部分では6.5～6.8mの高さまで津波がそ上しており、この津波が低地の小川を通過して水田内に侵入したと思われる。測点③は、海岸堤防の天端高を調べたものである。測量の結果、5.0mで、津波はこの海岸堤防をも越えて背後の水田に流入したと予想される。また水田の端（測点④）で津波のこん跡高を調べた結果では、5.0mと、護岸の天端に等しかった。測点④で津波のそ上高が小さいのは、護岸を越えるとき、あるいは小川をさか上るときに津波の勢いが減殺されたものと考えられる。

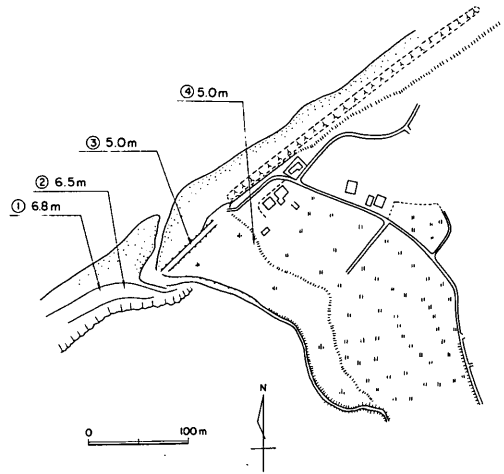


図-5.56 安田浜

(3) 男鹿半島北海岸（浜間口～門前）

a) 浜間口

図-5.57 に示す滝川河口付近でこん跡調査を行った。浜間口橋右岸の雑貨屋は津波によって床上まで浸水しこん跡高は4.0mであった（測点①）。

③で示した民家は土地が測点①の雑貨屋より数10cm低くなっているにもかかわらず床上までは浸水しなかったようである。これは、③の民家のまわりが板べいで囲まれているため、ある程度津波の浸水を防ぎ得たからではないか、と思われる。

河川に沿ってそ上した津波のこん跡を調べたところ、測点②でこん跡高が3.9mであった。

b) 北浦漁港

北浦漁港（図-5.58）は港内西側の第1防波堤の基部で津波の被害が大きかった。測点②の民家は壁面が壊され、第1回調査のときは修理中であった（写真-5.82）。

測点③付近の漁協倉庫および荷さばき所も津波によって壁面および屋根が壊されていた（写真-5.83）。津波は図中Rの記号で示した幅3mばかりの河川をそ上り河川堤を越流して侵入したようである。こん跡高は測点②で3.4m、測点③で4.0mであった。

河川Rをそ上した津波は途中河岸の農具小屋を押し流し、③付近まで達したようである。測点④では河川堤を高さ30cm程度越流していた。

港内中央部の津波の水位は小さく、こん跡高は測点④で1.7m、測点⑤で2.0m、測点⑥で2.4mであった。

港内東側の相川地区では、測点⑦でこん跡高が2.7m

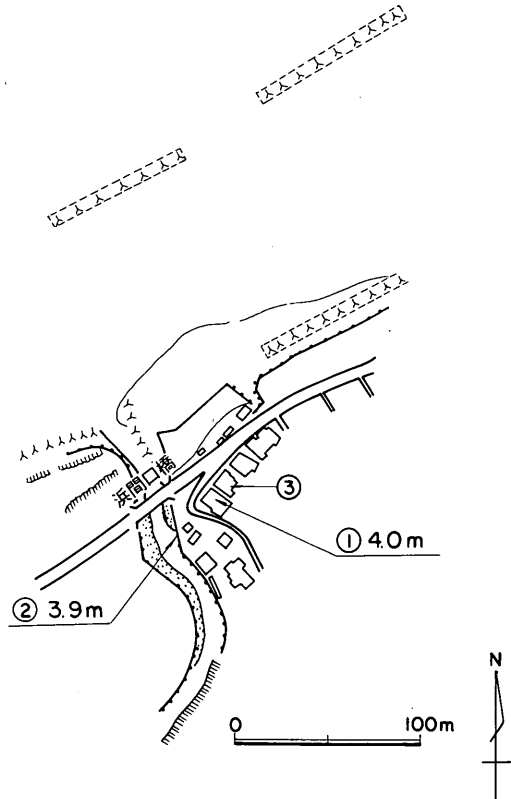


図-5.57 浜間口

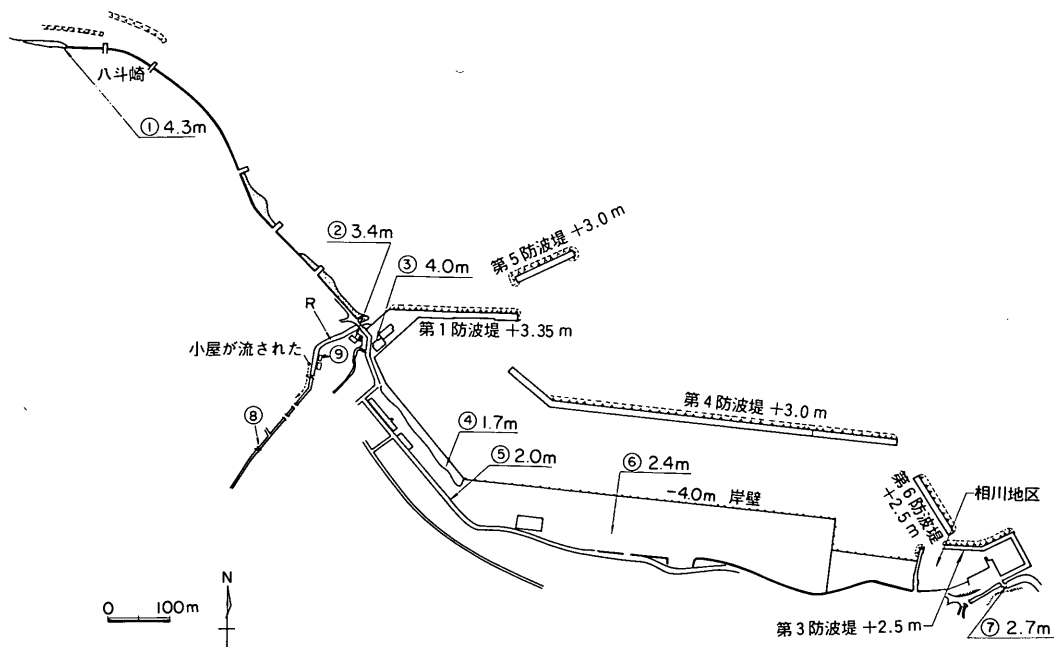


図-5.58 北浦漁港



写真-5.82 北浦漁港第1防波堤基部の民家の被災状況



写真-5.83 荷さばき所の被災状況

であった。

北浦漁港港外の津波のこん跡を北浦漁港から海岸づたいに700m北上した八斗崎の岩礁地帯で調査したところ、こん跡高は4.3mであった(測点①)。前面海岸には消波ブロックによって離岸堤が建設されていたが、津波によってこのブロックは散乱されていた。この離岸堤の各層のブロックはシャックルで連結されているため各層ごとにまとまって転がっていた(写真-5.84)。

北浦漁港では港内の津波の水位は、西端の地域を除くと、港外に比べて1/2程度小さかった。



写真-5.84 八斗崎海岸離岸堤の被災状況

c) 湯ノ尻漁港

湯ノ尻漁港(図-5.59)では、道路の山側の草木が津波によって倒され、変色しており津波のこん跡としてはっきりしていた。

こん跡高は港外の測点①および②でともに、6.2mであった。港内の測点③では5.0m、測点④では4.3mであった。東側港外の測点⑤のこん跡高は他の測点より小さく3.7mであった。これは、前面の消波ブロックの効果によるものではないか、と思われる。

湯ノ尻漁港では、漁船が消波ブロック上に打ち上げられるなどの漁船関係の被害のほか、港内の漁民センターが半壊し、消波ブロックが打ち上げられるなどの被害

があった(写真-5.85)。

d) 西黒沢

西黒沢は小さな漁港で、この漁港の平面図を図-5.60に示す。

この港の西側は護岸があり、途中から護岸が切れており、その部分で津波のこん跡を調べた。津波のこん跡としては草木の枯れ具合と海藻などの漂流物から判断した。

2点測量し、その測点が図-5.60の測点①と②である。津波のそ上高は測点①および②でそれぞれ5.8mと7.2mであった。

港内でも2点測量した。土地の人から教えてもらった地点を測った。この地点はドラムかんに海藻が付着して

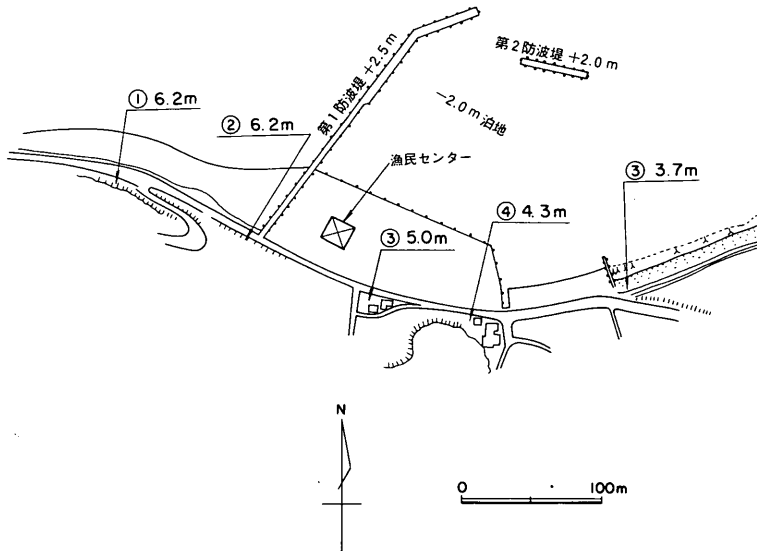


図-5.59 湯ノ尻漁港



写真-5.85 湯ノ尻漁港漁民センターの被災状況(右側の消波ブロックは津波によって打ち上げられたもの。)(秋田県土木部港湾課提供)

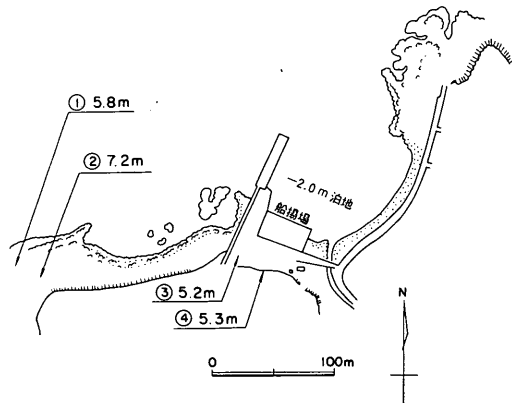


図-5.60 畠漁港西黒沢地区

いた位置と草枯れの位置で、図-5.60の測点③と④である。この地点の津波のそ上高は5.2mと5.3mで、港外の測点①および②より少し小さい。

e) 畠漁港

図-5.61に畠漁港の平面図を示す。ここでは、畠漁業協同組合荷さばき所の事務室においてヒヤリングを行った。地震直後停電し、津波は第2波めが最大で、そのときに室内も浸水したそうである。室内のこん跡高は3.2mであった(測点①)。荷さばき所のシャッターは

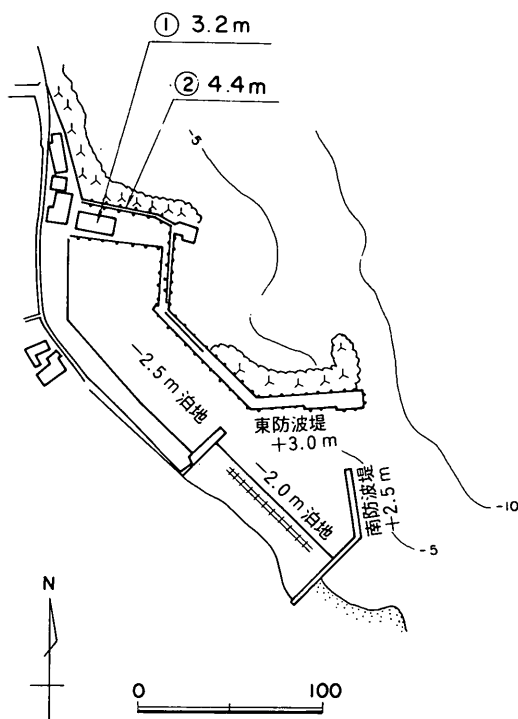


図-5.61 畠 漁 港

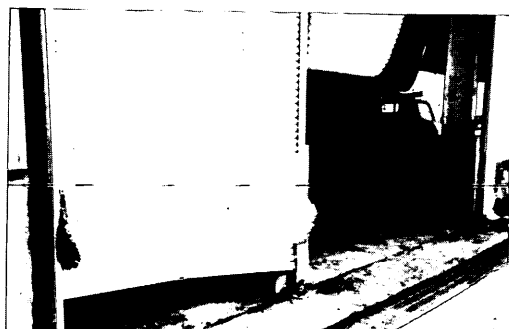


写真-5.86 畠漁港荷さばき所の被害

津波によって湾曲していた(写真-5.86)。

測点②の防波堤の天端は4.4mあり、この部分を波が越えたということである。

f) 入道崎

入道崎は男鹿半島の北西端にあたる(図-5.62)。入道崎周辺は10~20mの断崖になっており、こん跡調査は海底探査船発着場付近でしかできなかった。ヒヤリングによると、津波の第1波は地震発生後10分ぐらいで来襲し、第1波の引き波のときにはかなり遠くまで海底が露出したようである。第2波が最大で、斜路上の透視船は岩場へ打ち上げられてしまったようである。ヒヤリングによる斜路上のこん跡高は4.2mであった(測点①)。

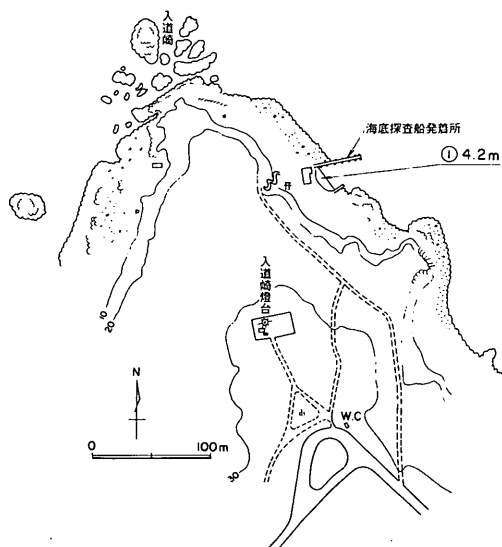


図-5.62 入 道 崎

g) 戸賀湾

戸賀湾は、男鹿半島の西側海岸で、西方に湾口を向けている湾であり、その平面形状は図-5.63に示してある。津波のこん跡高の調査は、北側湾口部から湾沿いに行った。

北側湾口の測点①~③の部分は岩礁地帯で、前面に大きな岩があちこちにあり、背後は崖になっている。測点①、②、③は湾口から湾内に向けて測っており、海藻の漂着や草枯れから判断して津波のそ上高を定めている。

測点①~③の津波そ上高は3.5m、3.4m、3.0mと湾内に入るほど小さくなっている。さらに湾内の測点④、⑤では2.1mと1.9mになっており、さらに津波のそ上高は低減している。しかし、戸賀港の測点⑥では3.1m

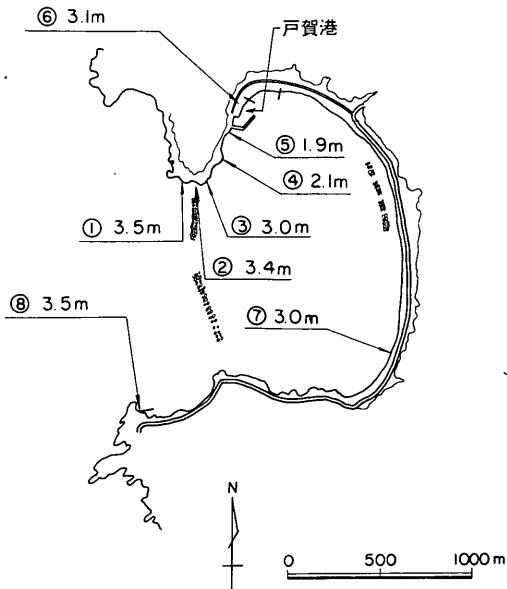


図-5.63 戸 賀 湾

と、逆に高くなっている。震源域から考えて、津波は北西方向から侵入して来ていると推測されるので、測点④から⑤に移るに従って遮蔽域内に入り、津波は小さくなったものと考えられる。

測点⑥と⑦の間の区間は護岸があり、こん跡高が不明である。測点⑦は、砂浜になっており、こん跡がある程度ははっきりしていた。この部分で測量した結果、津波そ上高は3.0mと高く、測点⑧は、漁業組合倉庫の壁面のこん跡を測量したもので、そ上高は3.5mと高くなっている。この地点は南側湾口部の点になる。

津波が北西方向から来襲したとすると、湾北部より湾内部が大きくなると想像されるが、測点⑥を除けば、測量した津波そ上高の変化傾向はこの想像とよく一致する。

h) 男賀水族館

男賀水族館は戸賀湾の南側湾口にあり、水族館や土産物売場の北側の建物と南側の駐車場とから成り立っている。その平面図が図-5.64に示してある。

測点①におけるそ上高は、駐車場の手洗所に残った津波のこん跡から測量した。津波のそ上高は3.5mであった。

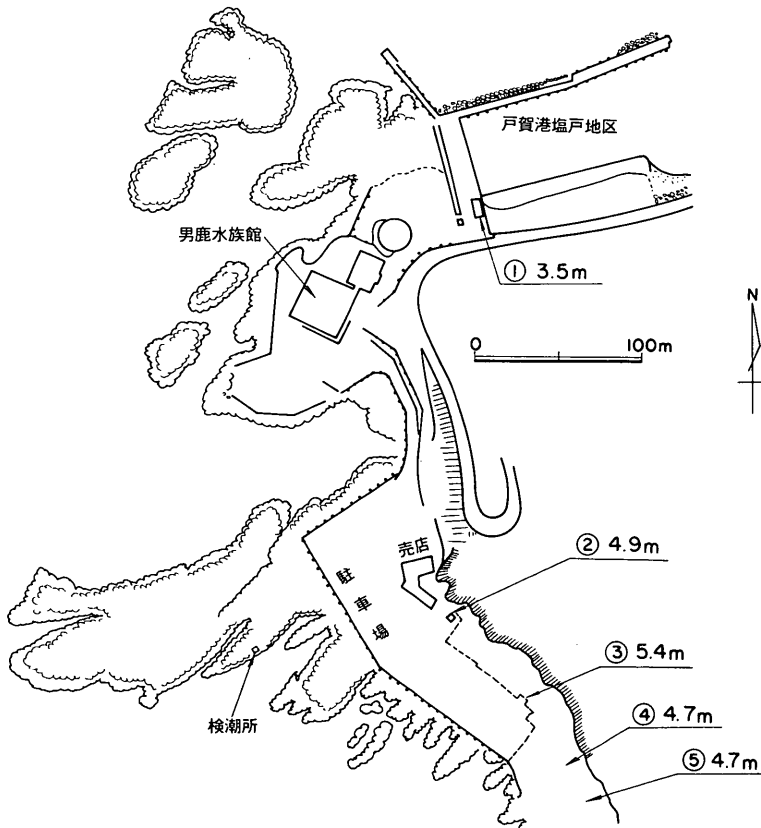


図-5.64 男賀水族館駐車場

駐車場は天端の低い護岸が西側にあるが、北側と南側にはない。前面が岩礁地帯で浅いため、通常の波では護岸が低くても大きな越波は起きないようであるが、本津波の場合には容易に護岸を越えている(写真-5.87(1),(2))。

駐車場は背後が崖になっており、その崖の部分で津波のそ上高を測定した。測点は図-5.64に示す②~⑤の4点で、4.7m~5.4mのそ上高があり、戸賀湾の港口部では湾内に比して大きな津波が来襲していることがわかる。



(2) 平常時の男鹿水族館駐車場

写真-5.87 男鹿水族館



(1) 護岸を越え、男鹿水族館 駐車場に侵入する津波
(秋田魁新報社“秋田沖大地震”より転載)

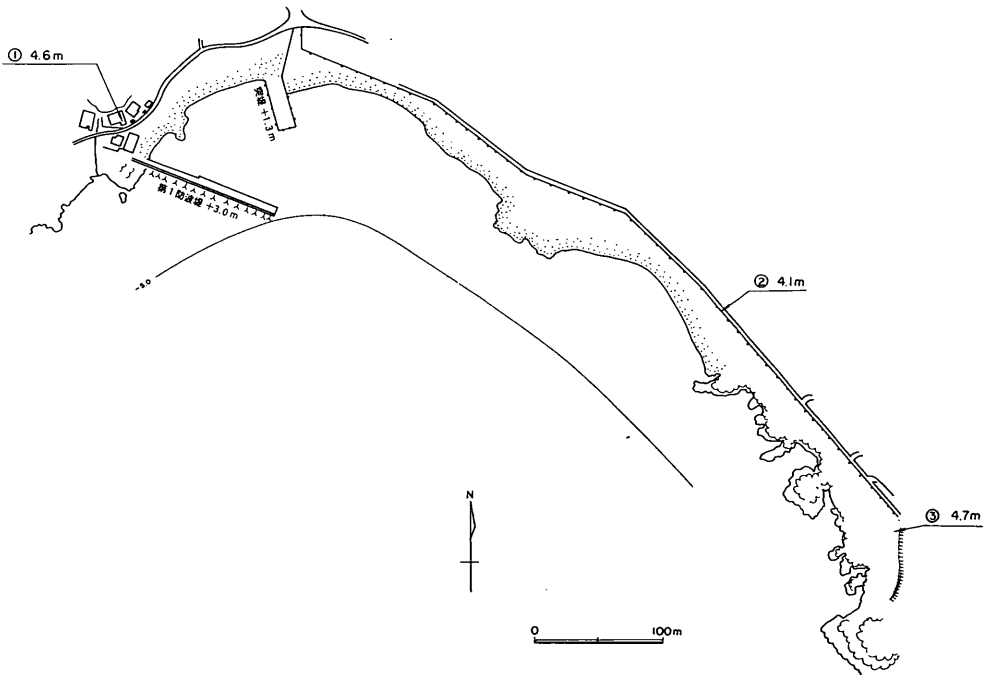


図-5.65 加茂青砂

i) 加茂青砂

加茂青砂の海岸は、遠足に来ていた生徒が多く死亡したところで、その平面図を示すと、図-5.65 のようになる。

地元の人の話によると、津波は地震発生後 25 分ころに来襲して、防波堤の基部(測点①付近)のバラベットの低い部分を越えて流入したとのことである。測点①の津波そ上高を求めると、4.6m であった。

その他に、海岸の西側の 2 点(測点②と③)でこん跡を調べた。この部分の海岸は赤味がかった粒径の大きい砂でできており、海岸には護岸が造られているが、この護岸を津波は越えていない。測点②では 4.1m、測点③では 4.7m のそ上高を示していた。

この海岸では、場所的に津波のそ上高は大きく変化しておらず、ほぼ一様に 4.5m 程度である。

k) 門前漁港

津波発生直後に門前漁港(図-5.66)の被災状況を撮った写真-5.88 を見ると画面上部のブロック積の建築物(遊覧船案内所の手洗所)の窓の下縁まで浸水したようすが見られる。このこん跡高は 4.7m であった(測点①)。

遊覧船案内所でのヒヤリングによると、津波の引き波時には港内の海底が露出したそうである。津波は何回も来襲したが 2 波めか 3 波めが最大であったようである。

門前漁港では、津波は離岸堤の間から、渦を巻きながら回り込むように侵入し(写真-5.89)、消波ブロックを散乱させた(写真-5.90)。

港内の漁船は大部分が護岸前面の消波ブロックに乗り上げた。

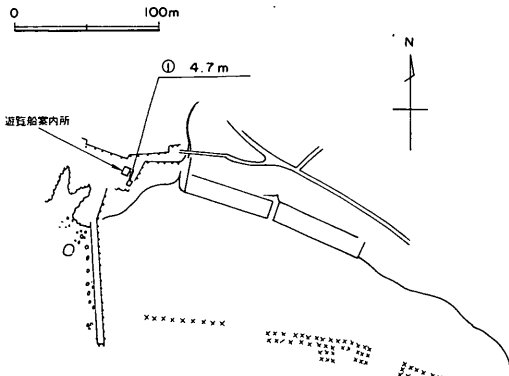


図-5.66 門前漁港



写真-5.89 離岸堤の間から門前漁港に侵入する津波
(秋田県土木部港湾課提供)



写真-5.88 津波直後の門前漁港
(矢印で示した建物の窓の下縁まで浸水した跡がある。)
(秋田県土木部港湾課提供)



写真-5.90 津波による離岸堤の被災状況
(秋田県土木部港湾課提供)

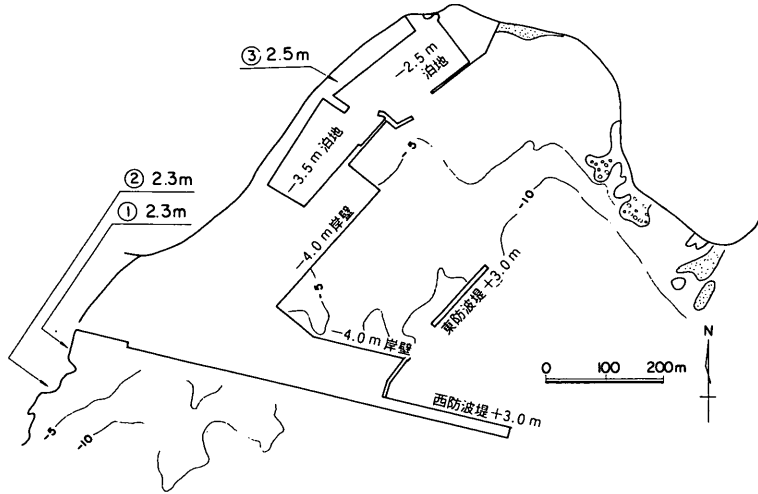


図-5.67 椿漁港

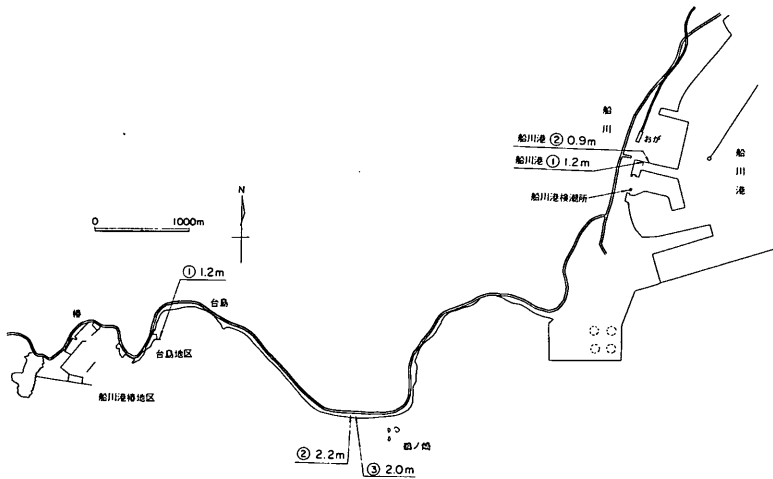


図-5.68 台島・鶴ノ崎・船川港

(4) 男鹿半島南海岸(椿漁港～秋田港)

a) 椿漁港

椿漁港は、男鹿半島両側にあり、津波が男鹿半島に遮蔽されてそ上高が小さい地域に当たる。平面地形が図-5.67 に示してある。

魚釣りの人の話によると、この漁港の埋立護岸を津波は越えていないとのことである。そこで、まず両側の海岸に下りて、その地点の津波のこん跡を調べた。この海岸は岩礁地帯で、海岸には大きな玉石が転がっていた。

草枯れや漂着物の状況からこん跡を調べ、2点(測点①と②)で測量した。津波のそ上高はどちらも2.3mで

あった。

次に、港内の斜路の部分でこん跡を調べた。土地の人が示す地点(測点③)を測ると、2.5mであった。土地の人の話によると、測点すぐ近くの突堤に船が乗り上げたとのことであるので、この突堤の天端高を測定すると、1.75mと、斜路のこん跡高より0.8m程度低かった。この程度の差があれば、小船なら突堤に乗り上げると思われる。

b) 台島・鶴ノ崎

船川港台島地区(図-5.68)では、津波発生直後に撮影された写真-5.91において漁船が乗り上げている

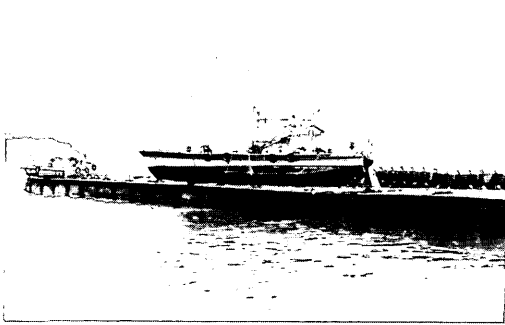


写真-5.91 船川港台島地区における漁船の被災状況
(秋田県土木部港湾課提供)



写真-5.92 船川港内の最高水位のこん跡
(測点①)

突堤の天端高を調査した(測点①)。天端高は1.2mであるので、漁船が乗り上げたことから判断して、津波の水位は1.8~2.0mぐらいではなかったかと思われる。

台島から西へ2km程度離れた鶴ノ崎は、海岸が砂利で覆われており、汀線付近は岩礁になっている。水深の浅い部分が広く広がっているように見えた。こん跡高は2箇所(測点②と③)で測量し、2.2mと2.0mであった。このことから、台島での津波高1.8~2.0mという値は、ほぼ妥当だと思われる。

c) 船川港

船川港の平面図を前出の図-5.68に示している。津波が小さかったこともあって、陸上部に津波が打ち上がることもなくて、測定が困難であったが、運輸省第一港湾建設局秋田港工事事務所船川分室の人から「水位は防舷材の下のところまで上がった。このとき事務所の船があったので観察していた。」という話を頼りに測量を行った。この点が測点②である。測点①は突堤の裏側にビニールシートがかぶせてあり、そこに津波のこん跡があったので、そこも測った(写真-5.92)。

測点①と②でそれぞれ1.2mと0.9mで、津波のそ上高は非常に小さかった。このような高さの津波であったため船川では津波による影響はほとんどなかったものと思われる。

船川検潮所の検潮記録によると、船川港における津波の初動時刻は12時30分である。12時30分より35分までは欠測しているため第1波のピークはとらえられていない。第2波のピーク値は0.40mであった。

d) 船越漁港

船越漁港(図-5.69)内の護岸の一部は矢板式で、地震によって矢板が膨らみ、裏込め土が陥没していた(測点①)。

こん跡高は1.3mで、小さい。

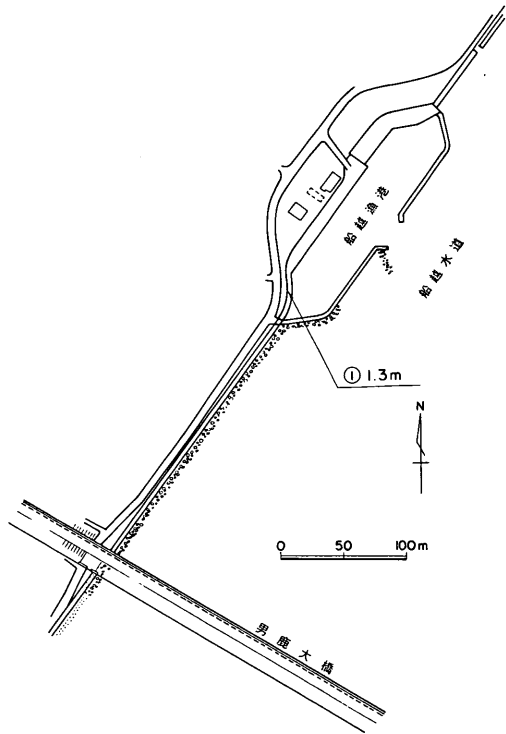


図-5.69 船越漁港

e) 出戸浜

秋田港の港外津波を調べるために、出戸浜においてこん跡調査を実施した。この海岸は細かい砂から成っており、夏は海水浴でにぎわうとのことである。図-5.70に示す出戸浜海岸では3箇所(測点①~③)測量した。

津波のそ上高は2.0~2.4mと、小さかった。こん跡の調査では海藻の打上げ高を目標に測っており、地震の発生以後、海が荒れた場合には波浪によってこの程度の打上げ高は生じるので、地震以後6月25日までに時化たかどうか、同行の新潟調査設計事務所の人に尋ねたところ、そのようなことはないとのことであった。そこで、

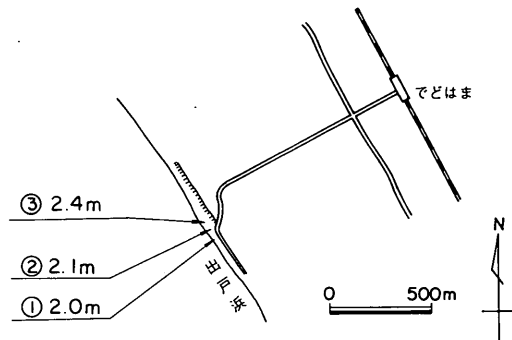


図-5.70 出戸浜

これらの値がこの付近の海岸の津波そ上高と判断した。

f) 秋田港

秋田港の平面図を図-5.71に示す。秋田港の津波も船川同様に小さいと考えられ、こん跡高が調査できるかどうか心配した。そこで、まず南海岸の砂浜でこん跡調査を実施した。測点①の2.7mがこの海岸での測量結果である。海岸には多くの漂着物があり、どれが今回の津波によるものか判断に困ったが、最も高く打上がっている海藻から決めた。

港内の津波については、秋田港工事事務所職員からのヒヤリングに基づきケーソンヤードの近くで測定した。

測点②の1.8mはこの地点の値である。秋田港の港内では津波のそ上高が港外より1m程度小さいことが上記の値から判断できる。引き波のときには測点②の付近の海底が露出したということなので、水深を測量したところ-1.1mであった。

秋田港検潮所は岸壁から5m程度離れた位置にあり、岸壁との間は幅1m程度の橋でつながっている。地震時に故障したために以後の検潮記録は得られていない。検潮所の床面は+1.4mの高さにあるが、当日検潮儀を修理した職員の話では、床は水につかった跡はなかったようである。したがって港内水路中央部における津波の水位は1.4m以下であったと推測できる。ケーソンヤード

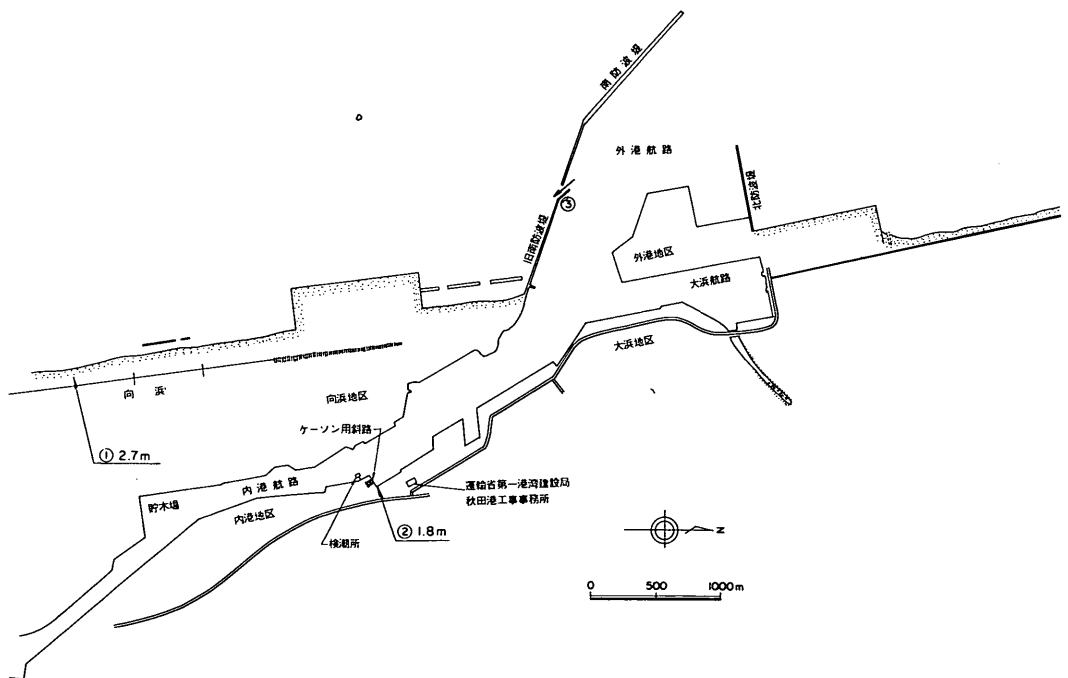


図-5.71 秋田港

北側の測点②は、水路より奥まった位置にあり、港内に侵入した津波がケーソンヤードに遮られ水の流動がせきとめられたようになったために、津波の水位が1.8mと水路中央部より0.4m程度大きくなったものと思われる。

写真-5.93は港内から港外へ流れ出る津波を③の位置で撮ったものであり、防波堤の両側で水位差がついているようすがわかる。

秋田港内の津波による被害は少なかったが、貯木場の木材が約15,000本程度流出した。そのうち約700本は港外まで流出したようである。

(5) 秋田県南部海岸

a) 松ヶ崎漁港

松ヶ崎漁港(図-5.72)は秋田港から約20km南に位置し、秋田市から本荘市に至る単調な砂浜海岸上にあ

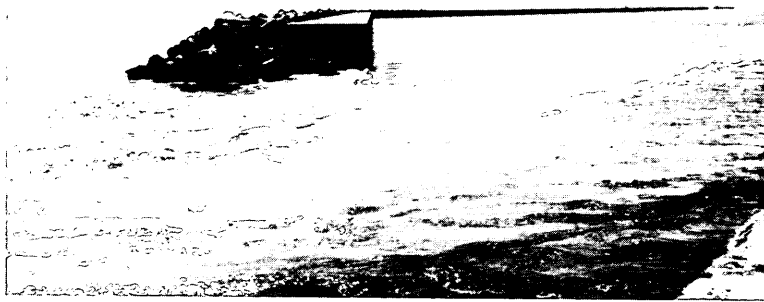


写真-5.93 秋田港内の津波の状況(第一港湾建設局秋田港工事事務所提供)

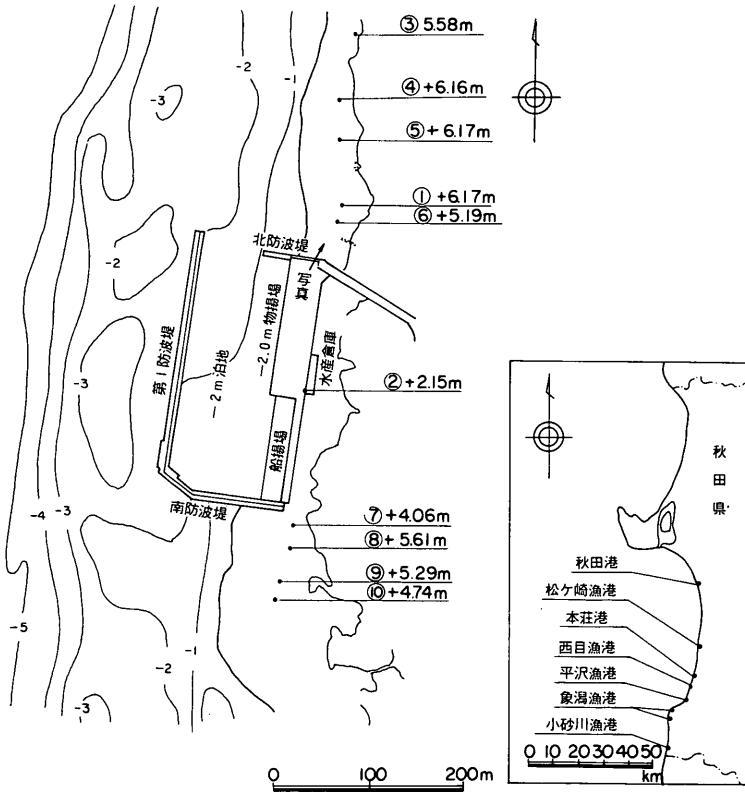


図-5.72 松ヶ崎漁港

る第1種漁港である。ここでは当時改修工事が行われており、写真-5.94に示すような津波の作用状況が撮影されている。写真は第1波めが来襲したとき、港内側から北防波堤の外側を写したものである。この写真を撮った小林繁氏（日本テトラポッド秋田営業所）に話を聞いた。

津波は12時20～30分ごろ少し引き始め、その後第1波めが港外北側の砂浜をそ上し、がけ上の小段（約+3.8m）を乗り越え、+6m程度（測点①では+6.17m）まで達したようである。このとき、港口から港内に津波が侵入し、第1防波堤背後の岸壁（+1.5m）がほとんど水没しそうになり、-2mの物揚場（+1.2m）を越えた。物揚場背後には水産倉庫があったが、その床面（測点②、+2.15m）も冠水した。この第1波が最大であったが、その後もこれに匹敵するような津波が来襲している。引き波も大きく、特に14時ごろの引き波時には-2mの泊地の底がほとんど見えるぐらいであった。港外側も沖合200m程度（約-3m）まで海底が見えた。北防波堤外側の津波のそ上高の値は、港内での水位や港口近くの北防波堤の天端（+2.5m）を越えていないことを考え合せるとやや大きいかもしれない。しかしながら、少なくとも+3.8m程度のがけの小段上に乗り上げたのは写真でも認められ、秋田県由利土木事務所によって図に示す測点③、④、⑤、⑥で+5.19m～6.17mのそ上高であったことが確認されている。また、由利土木事務所により、南防波堤北側（測点⑦～⑩）でもそ上高が4.06m～5.61mであったことが確かめられている。

b) 本荘港、西目漁港、平沢漁港

本荘港（図-5.73）は秋田港から南40kmにある子吉川の河口港であり、現在さらに河口右岸にマリナーを建設中である。このマリナーの北側の海岸には階段護岸があり、階段護岸からは長さ100mの突堤が出ており、沖合400mには離岸堤もある。この突堤（+2.0m）の先端近く（測点①）で+1.9mほど水位が上がり、階段護岸上で+2.2mまでそ上した。一方、子吉川を津波がさかのぼるのも目撃されており、河口から約3.5km上流の本荘漁港の岸壁で+0.3m程度まで水位が上昇した（由利土木事務所調べ）。

西目漁港は本荘港より7km南の砂浜海岸上の第1種漁港であり、図-5.74に示すように、松ヶ崎漁港と同じような平面形状をしている。西目漁港も当時工事中であり、作業中の人達は津波警報とともに避難している。ここの第1波は12時30分ごろと思われる、その第1波が最も大きかった。港内では-2m物揚場（天端+1.2m）上に水があふれ、この上に駐車してあった2台の車のドアの取手近くまで（測点①、+1.9m）水位が上昇している。第1防波堤背後の岸壁の天端（+1.5m）も水中に没している。港外北側には汀線の背後約40mの砂浜にコンクリートの護岸（天端+2.5m）があるが、松ヶ崎漁港の港外でみられたような激しい津波のそ上は認められていない。引き波も大きく、最も引いたときには、-2m泊地のほぼ2/3程度が底を現わした。第1波以後の津波も大きく、夕刻ごろまでは比較的大きな津波が観測されたとのことである。



写真-5.94 松ヶ崎漁港（港外北側）（日本テトラポッド秋田営業所提供）

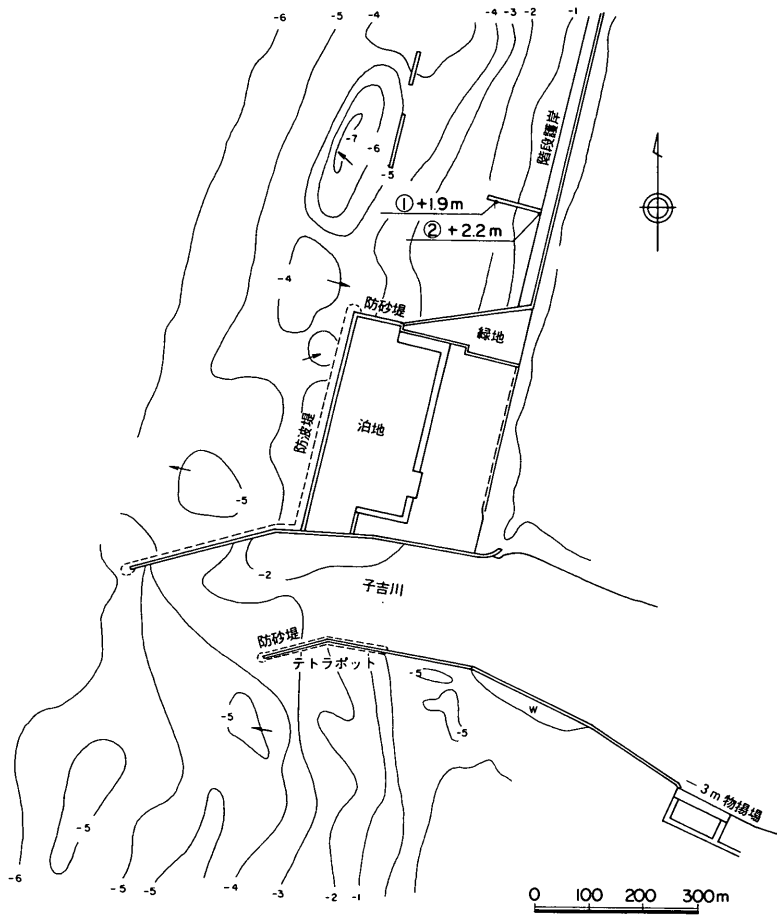


図-5.73 本 荘 港

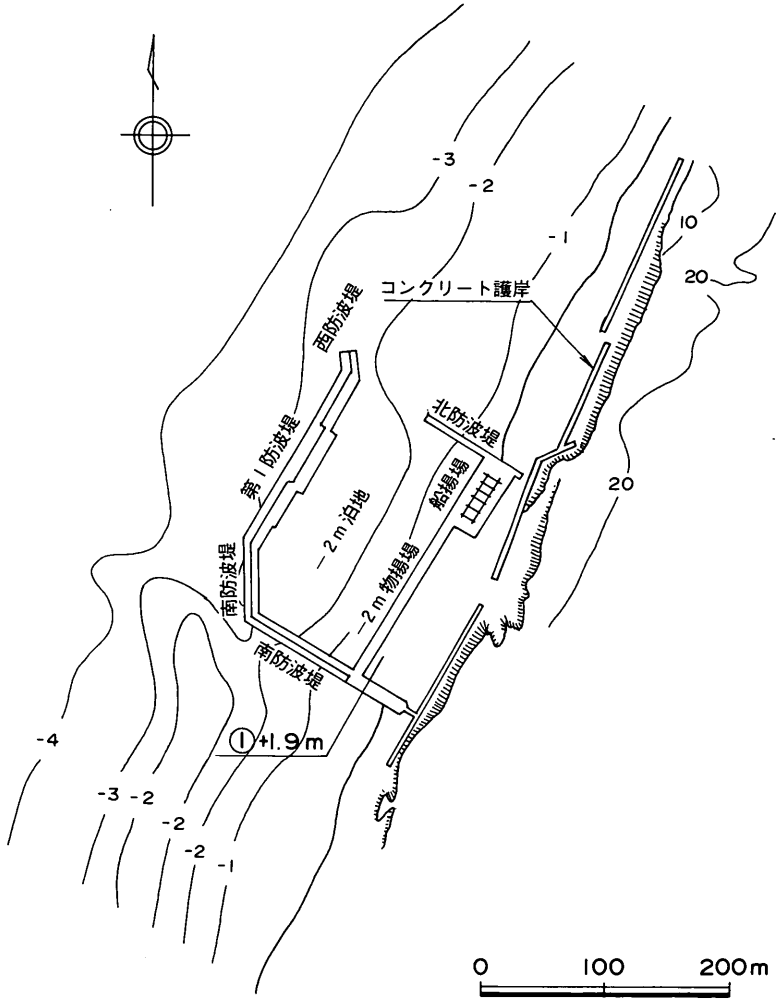


図-5.74 西目漁港

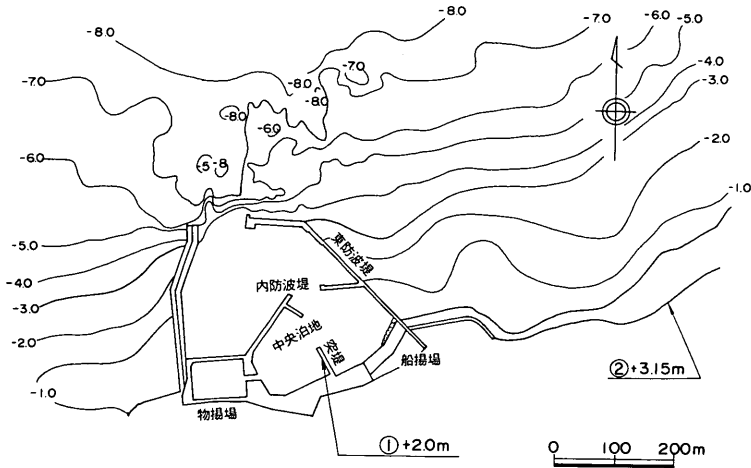


図-5.75 平沢漁港

平沢漁港（図-5.75）は西目漁港よりさらに南に6 km の位置にある比較的古い第2種漁港である。港口部は北北西を向いており、津波はこの港口と東防波堤（+1.85 m）を乗り越えて港内に侵入している。中央泊地の岸壁（+2.8m）は越えなかったが、中央泊地の突堤（測点①天端+1.5m）を+0.3mほど越え、ここに係留中の船が転覆しそうになった。また、由利土木事務所の調べでは漁港の東側の海岸（測点②）で+3.15m までそ上している。

c) 象潟漁港、小砂川漁港

象潟漁港（第2種漁港）は山形県との県境から北に約10km の位置にあり、古くからある小澗地区（図-5.76）と新しい貝湖之澗地区（図-5.76）からなる。小澗地区では港口が北西を向いている。漁民の話では、津波は港口から速い流れとなって侵入し、港口近くの物揚場の天端を越え、その背後の石積み護岸（測点①）の天端（+2.2m）の下約20cm まで水位が上昇した。引き波時には-2m 泊地の底の一部を見ることができたとのことである。ここでは、船外機をつけた小舟が数隻転覆している。

貝湖之澗地区は小澗地区の南側に位置し、港口は南側を向いている。このため、小澗地区に比べて水位の変動も小さく、係留中の漁船に対する被害はほとんどなかった。当時ここで作業していた漁民の人達の話によると、-3.5m 泊地の岸壁の東の端（測点②）で+0.96m まで水位が上昇した。

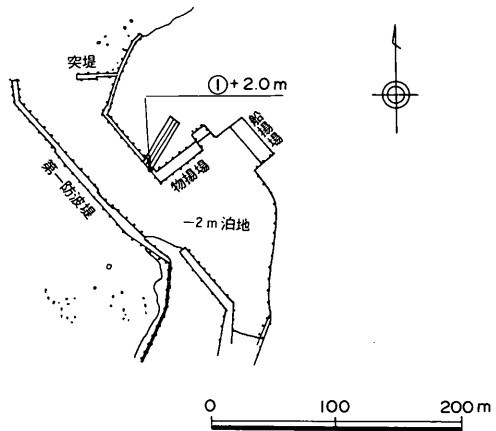


図-5.76 象潟漁港（小澗地区）

小砂川漁港（図-5.78）は山形県との県境近くの岸礁が多い入り組んだ海岸線にある第1種漁港である。ここで水位が最も高くなったのは13時ごろであり、港奥の斜路を+1.22m までそ上した（測点①）。ただし、第1防波堤背後の小段（+1.4m）を越えることはなく、第3防波堤の天端（+2.5m）も越えてはいない。引いたときには、-2m の泊地の一部や、第3防波堤の底近くまでが見えた。漁民の人達はこの引き波時を利用して露出した海藻を取りに行き、水位の上昇とともに陸上に逃げてきたとのことである。

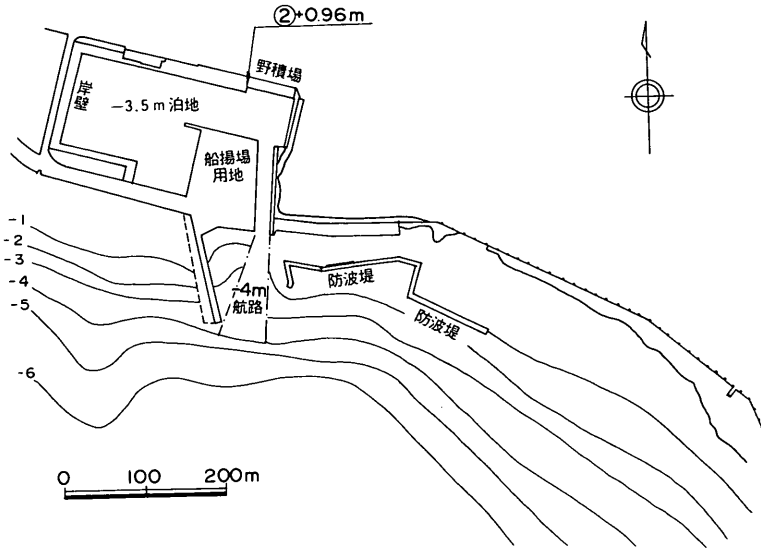


图-5.77 象瀉漁港（貝湖之澗地区）

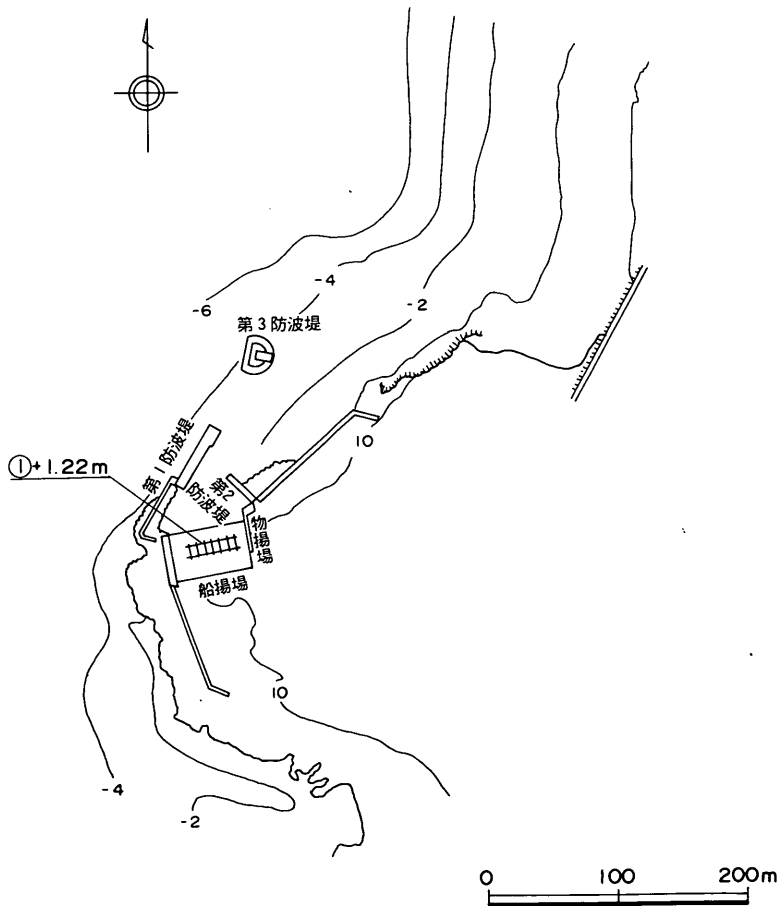


图-5.78 小砂川漁港

5.4 山形県以西*

(1) 津波の概況

図-5.79 は山形県から石川県までの海岸や港における津波の最高水位を C. D. L. を基準に示したものである。

山形から富山までの本州の海岸では、最高水位は 2 m 以下であり、南に下がるほど小さくなる傾向にある。すなわち、酒田港では +1.4 ~ 1.55 m、鼠ヶ関港では 0.70 ~ 0.86 m、新潟東港では 1.0 ~ 1.2 m、直江津港では 0.96 m、伏木富山港では 0.31 ~ 0.33 m となっている。ここでの津波は段波状ではなく比較的ゆっくりした水位の上下動であった。

一方、佐渡島では最高水位が 4 m 以上のところもある。弾崎近くの藻浦漁港では、最高水位は 4.7 m 程度であり、漁港背後の民家が床下浸水を被っている。またこの近くの関漁港では +5 m の護岸の天端から海水があふれており、山形以西で確認できた最高水位のうち最も高いところとなった。ここでの津波も段波状ではなく、「海底から水が湧いてくるような」(漁民の言葉)水位の上昇であった。同じ佐渡でも両津港では最高水位が 1.7 m と新潟県の本土側よりやや高い値にとどまっている。また、相川海岸では 1.3 m、その近くの高瀬漁港ではやや高く 1.6 m ~ 2.0 m となっている。藻浦漁港や関漁港で大きかったのは海底地形の影響で、この部分に津波がやや集中したのではないかと考えられる。

石川県の海岸では、富山湾側では最高水位はごく小さく、七尾港で 0.17 m、宇出津港で 0.28 m にすぎないが、能登半島北岸ではやや高く、狼煙漁港では 2 m 前後であり、輪島では 2.3 m であった。また、輪島の沖にある船倉島では最高水位が 2.1 m であり、民家に被害が生じている。

山形県以西には数多くの検潮所があり、検潮所での地震動が小さかったことや、津波による水位変動が比較的小さかったため、多くの検潮所で比較的良質のデータが取得されている。これらの記録より津波の始動時刻が読み取れる。酒田港では 12 時 40 分であり、南に下がるにしたがって遅れ、鼠ヶ関港で 12 時 50 分、新潟東港で 13 時 10 分である。しかしながら、寺泊以南では佐渡島と能登半島の間の深い部分を通して来た波が第 1 波であり、新潟東港より早く到達している。すなわち、寺泊では 13 時 5 分であり、直江津で 12 時 55 分、富山で 13 時 0 分である。また、輪島では 50 km 沖にある船倉島より 20 分ほど遅れ、13 時 15 分に到達した。

検潮記録や目視観測から、今回の津波の継続時間が比

較的長かったことがわかる。第 1 波到達直後 4 ~ 5 時間経過した夕刻ごろまでは最高水位に近いところまで水位が上がることもあり、夜中の午前 0 時ごろまで比較的大きい津波が続き、さらに翌日中その影響が残っていた。

なお、第 1 波が到達した時刻はほぼ満潮時に近く、潮位が 15 ~ 40 cm 程度あったと思われる。このため、富山港などのように津波による偏差が小さいところでは、通常の潮位が津波の偏差より大きいところもあった。

(2) 山形県

a) 吹浦漁港、飛島漁港

吹浦漁港(第 1 種漁港)は酒田を中心とする庄内平野の単調な砂浜海岸の北端に位置し、これより北側は岩石海岸である。図-5.80 に示すように吹浦漁港は月光川の河口港である旧港地区と河口左岸の新港地区に分けられる。新港地区の -3 m 岸壁背後には漁協があり、職員の話によると、12 時 40 分 ~ 50 分ごろに少し引き、すぐ水位が上昇してきた。この第 1 波が最大であり、写真-5.95 のように漁協前の岸壁の天端(測点①, 1.45 m)すれすれまで上昇した。第 1 波につづいて数分周期で同程度の津波が繰り返している。そのため、港口部付近では港内側に砂が堆積し、浚渫する必要が生じている。旧港地区では西物揚場(測点②)の天端を乗り越え +1.38 m まで達した。

飛島は酒田の北西 40 km の位置にある面積 2 km² の島であり、酒田市に属する。飛島漁港は勝浦、中村、法木の 3 つの地区からなる第 4 種漁港である。勝浦地区(図-5.81)は本土側を向き、蛭子前崎や鼻戸崎によって囲まれた漁港である。中船揚場の端にある潮位計(山形県庄内支庁飛島漁港管理事務所)では、12 時 20 分ごろ津波による水位変動が始まり、12 時 23 分ごろ第 1 波のピーク値 +0.55 m となり、12 時 43 分ごろ最高潮位 +1.2 m、12 時 48 分ごろ最低潮位 -1.3 m となったと記録されている。この最高および最低水位は -3 m 岸壁の天端 1.5 m を越えなかったことなど、目視による観測から判断してもほぼ妥当な値と思われる。このように、飛島漁港での津波が吹浦漁港や秋田県の象潟漁港に比べ、沖合に位置しているにもかかわらず小さいのは、防波堤による遮蔽効果の他に、この地区が津波の進行方向に対し島の裏側に位置するためと考えられる。なお、飛島には調査班が直接に行ってはいなく、ここには、山形県庄内支庁港湾課から得た情報を取りまとめた。

b) 酒田港

酒田港(重要港湾、図-5.82)は最上川の河口港で

* 執筆担当 高橋重雄・村上和男

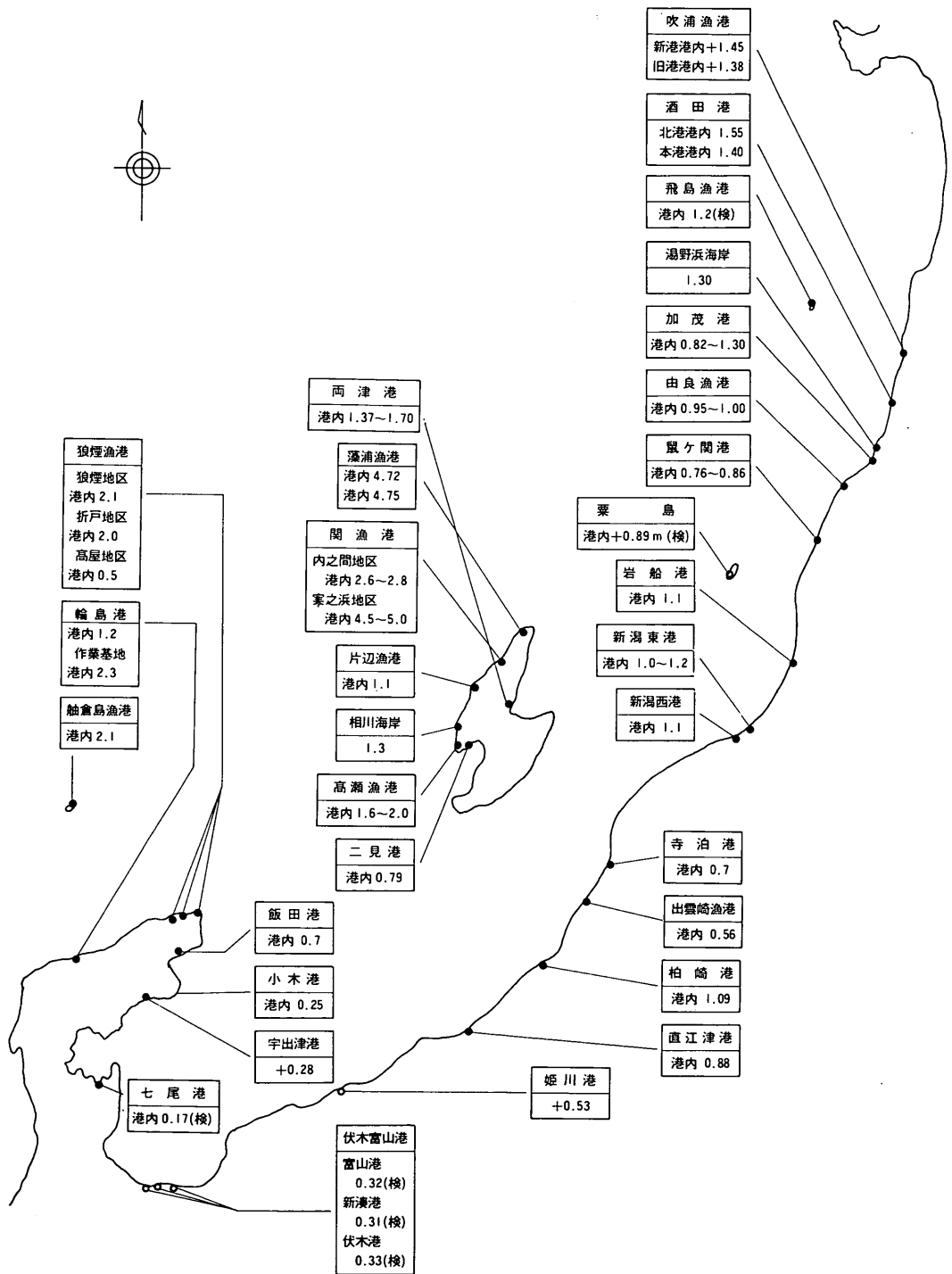


図-5.79 山形県以西における最高水位(検)は検潮記録による)

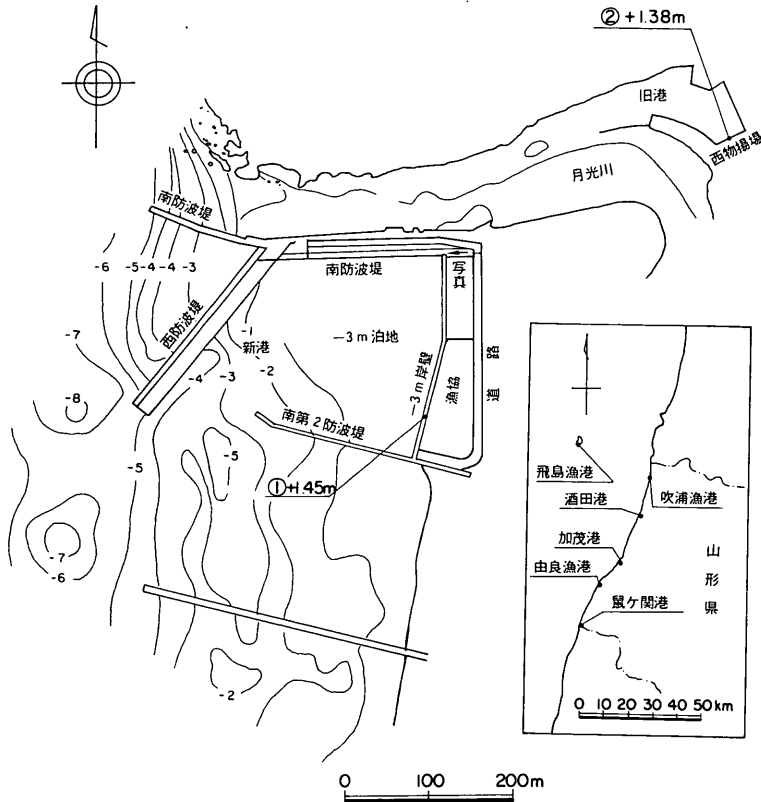


図-5.80 吹浦漁港

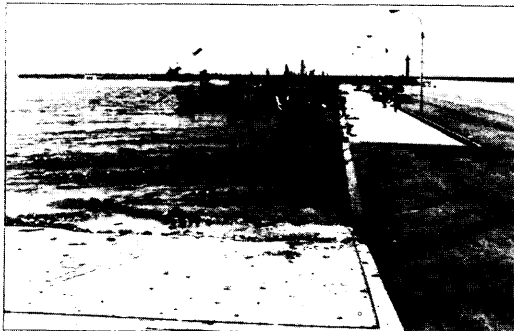


写真-5.95 吹浦漁港(新港地区)山形県庄内支庁提供

ある本港地区と掘込港湾である北港地区からなる。本港地区には検潮所(第一港湾建設局酒田港工事事務所)があるほか、酒田港工事事務所により西埠頭岸壁(天端+2.0m, 測点③)、山形県酒田港管理事務所により東埠頭船場町岸壁(天端+1.7m, 測点④)でスタッフによる目視観測が行われた。また、酒田港工事事務所は北港地区宮海船溜(測点②)でも量水標による水位観測を

実施した。付図-2.72~2.74に各測点での目視観測記録を示しておいた。測点②では第1波のピークから21時ごろまで観測されている。ここの第1波は12時50分の1.45mであり、最高水位は16時23分の1.55mであった。最も引いたのは17時28分の-1.5mである。測点④では、第1波から15時ごろまで観測が実施された。このうち最大なのは写真-5.96に示す第1波の12時53分の1.40mである。測点③では13時30分から14時17分まで実施されたが、最大は14時17分の1.15mである。本港での2点は互いに比較的よく似ており、また本港での記録と北港での記録も傾向的には似ている。いずれの測点でも津波は比較的ゆっくりした水位の上下動であった。

北港の宮海船溜の岸壁(+1.87m)には、調査当日(7月12日)にも写真-5.97に示すように防舷材に二筋のこん跡が残っていた。この防舷材は量水標より10mほどはなれているが、こん跡の高さは+1.56mと1.47mであり、目視観測の結果とほぼ一致している。

検潮所の記録では12時40分ごろから津波が来襲しは

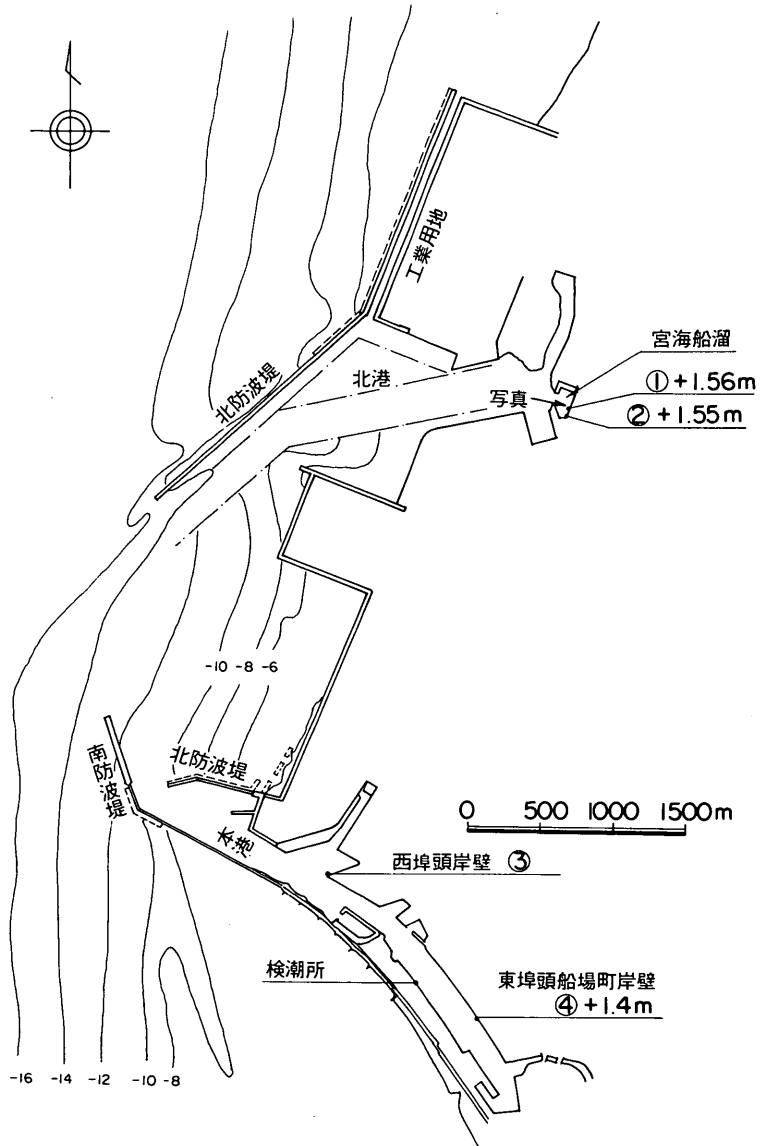


圖-5.82 酒田港



写真-5.96 酒田港

(本港, 東埠頭): 酒田港管理事務所提供

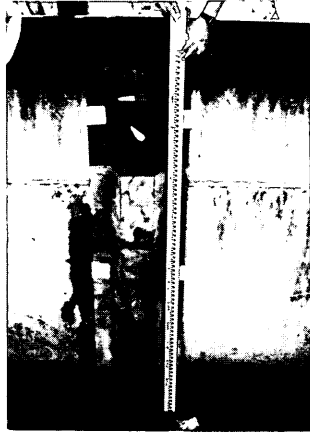


写真 - 5.97 酒田港
(北港、宮海船溜)

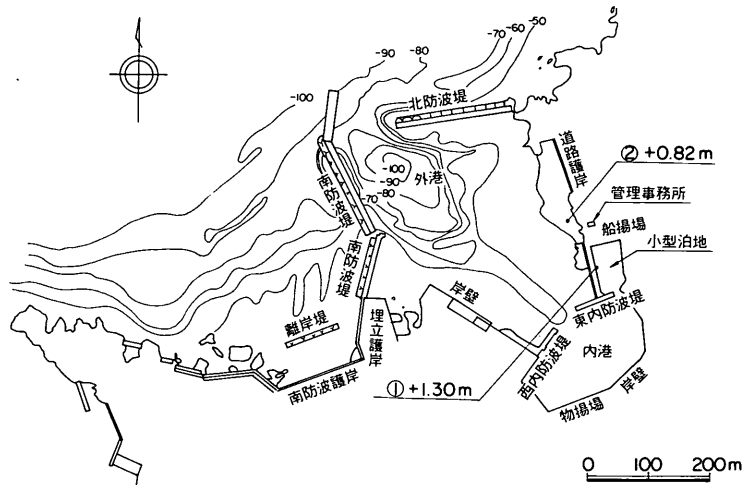


図 - 5.83 加茂港

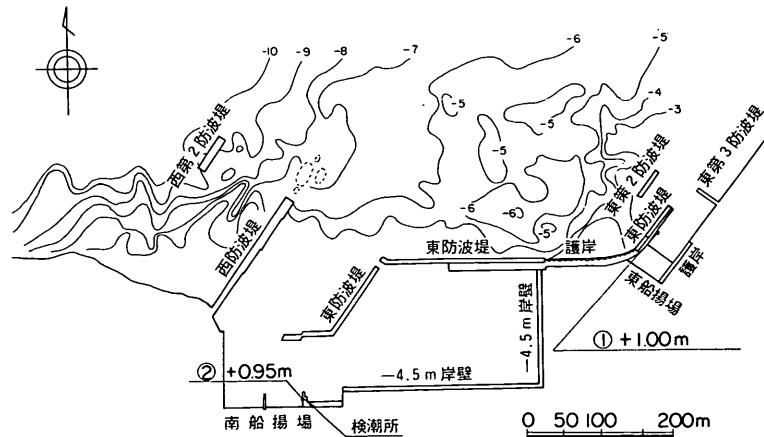


図 - 5.84 由良漁港

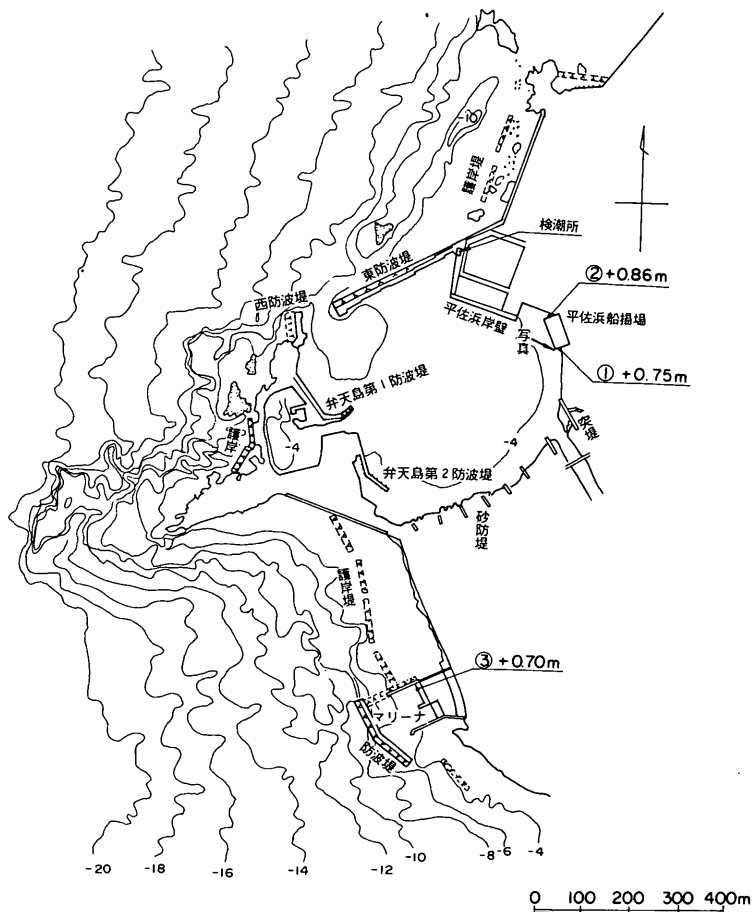


図-5.85 鼠ヶ関港

瞭であった。この検潮所のある突堤（測点②）の天端（+1.15m）までは水位は上がっていないが、小段の天端（+0.65m）は冠水しており、+0.95mまで上昇したと考えられる。

鼠ヶ関港（図-5.85）は新潟県との県境にある避難港であり、弁天島によって遮蔽されている古くからある港である。現在、弁天島の西側にマリーナが建設中である。鼠ヶ関港でも管理事務所によって平佐浜物揚場南端の量水標（測点①）を用いて目視観測が行われた。前述の付図-2.76にその記録をプロットしてあるが、12時50分ごろに第1波のピーク値+0.75mが現われており、これが最高水位であった。ただし、同じ船揚場の北端（測点②）では、写真-5.98に見られるような当時のこん跡を示す線が残っており、その線では最高水位が+0.86mとなる。マリーナでも管理事務所により観測が行われている。物揚場（測点③、天端+0.75m）では、13

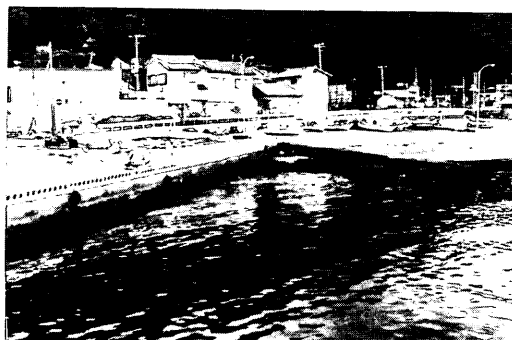


写真-5.98 鼠ヶ関港

（量水標、最高水位こん跡）：山形県庄内支庁提供

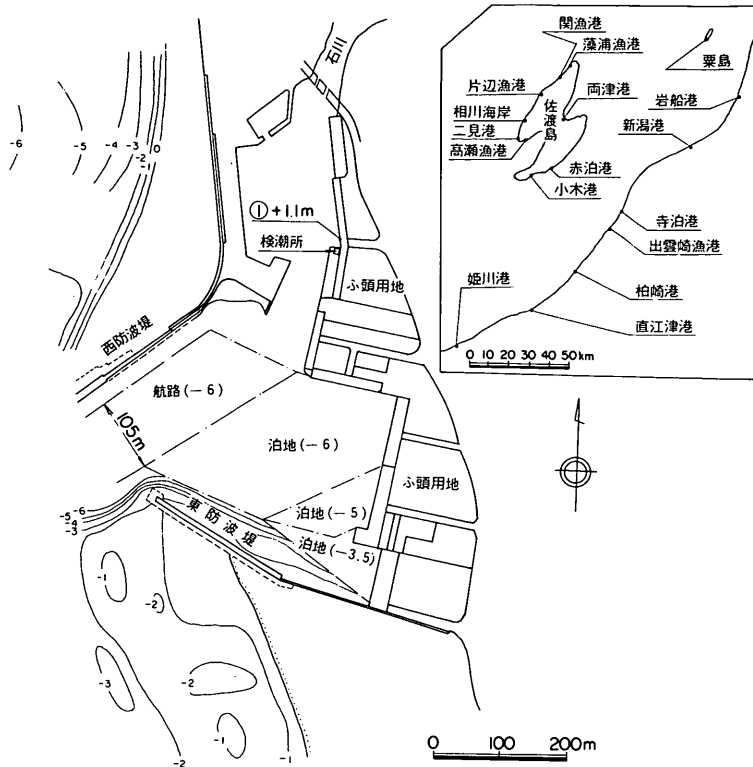


図-5.86 岩船港

時45分に+0.70mの最高水位となっている。ここでは引きが大きく、14時5分に-1.35mとなった。

鼠ヶ関港の東防波堤の基部には検潮所(国土地理院)がある。この検潮所では検潮井戸の導水管が長いため、津波に対する応答が悪く、記録された津波の振幅はごく小さい。位相もやや遅れると考えられるが、記録では津波が来襲しはじめたのが12時50分であり、第1波がピークとなったのが13時であった。

以上の3つの港とも、津波は全般的に水位のややゆっくりした上下動として観測されたが、港口付近では早い流れが観察されている。なお、加茂港よりやや北の湯野浜海岸でも聞取調査を行った。この海岸の護岸法線より海側に出た位置にホテルがあり、このホテルからは砂浜が良く見える。フロント主任の話では、第1波は12時30分から50分の間に到達し、水位はホテル前の岩の天端の1/3程度(+1.3m)まで上昇した。ただし、汀線から100mほど沖合にある消波ブロックの離岸堤の天端は越えてはいないが、引き波時にはその付近の海底が露出していたそうである。

(3) 新潟県

a) 岩船港、粟島漁港

岩船港は、新潟西港から北東40kmの位置にあり、図-5.86に示すように石川の河口にある地方港湾である。港口から侵入した津波は港内を通りぬけ、石川にもそ上している。写真-5.99は河口から上流500mほどの明神橋近くで最高水位のこん跡を示すものである。撮影時の水位は最低水位に近い水位である。写真-5.100は荷さばき所前の-3.5m岸壁(測点①、天端+1.5m)

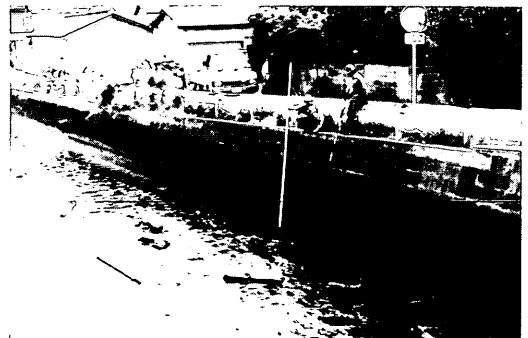


写真-5.99 岩船港(石川): 村上土木事務所提供

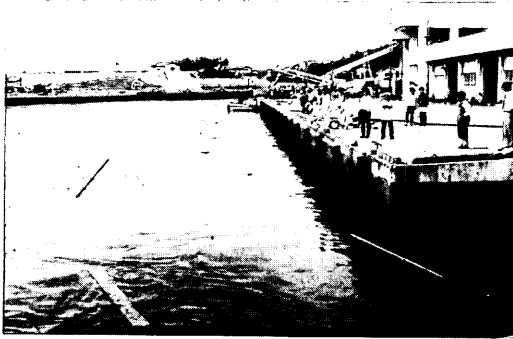


写真-5.100 岩船港(荷さばき所前):村上土木事務所提供

での最高潮位のこん跡(+1.1m)を示したものである。

この岸壁の端に検潮所(新潟県村上土木事務所)があるが、その記録によると、13時10分ごろから第1波の水位変動が始まり、13時17分ごろピーク値+1.13mとなった。第1波が最も大きく、この値は岸壁でのこん跡高にはほぼ一致している。潮位記録による最低潮位は22時13分の-0.32mであった。

粟島は岩船から北西30kmにある面積9km²の島である。粟島漁港(図-5.87)は本土側を向いた海岸にある第4種漁港である。この-5m岸壁上に検潮所(海上保安庁)があり、その記録によると、12時42分ごろに津波の始動が現われ、12時48分に第1波のピーク値+0.43mとなり、13時41分に最高水位+0.89m、15時15分に最低水位-0.69mとなった。

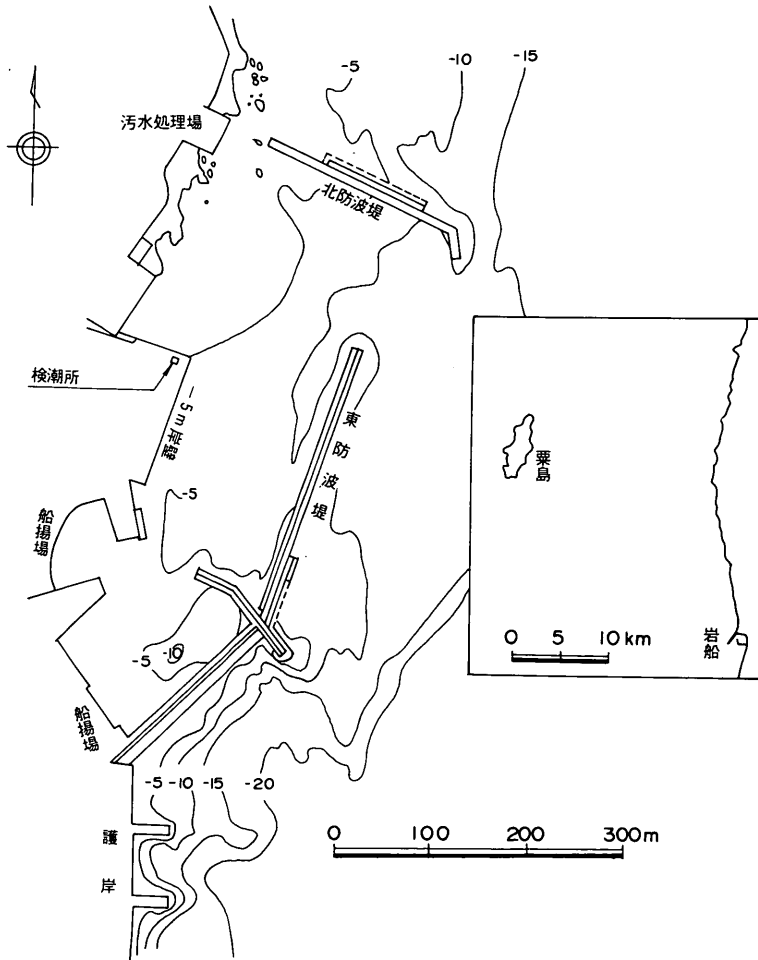


図-5.87 粟島漁港

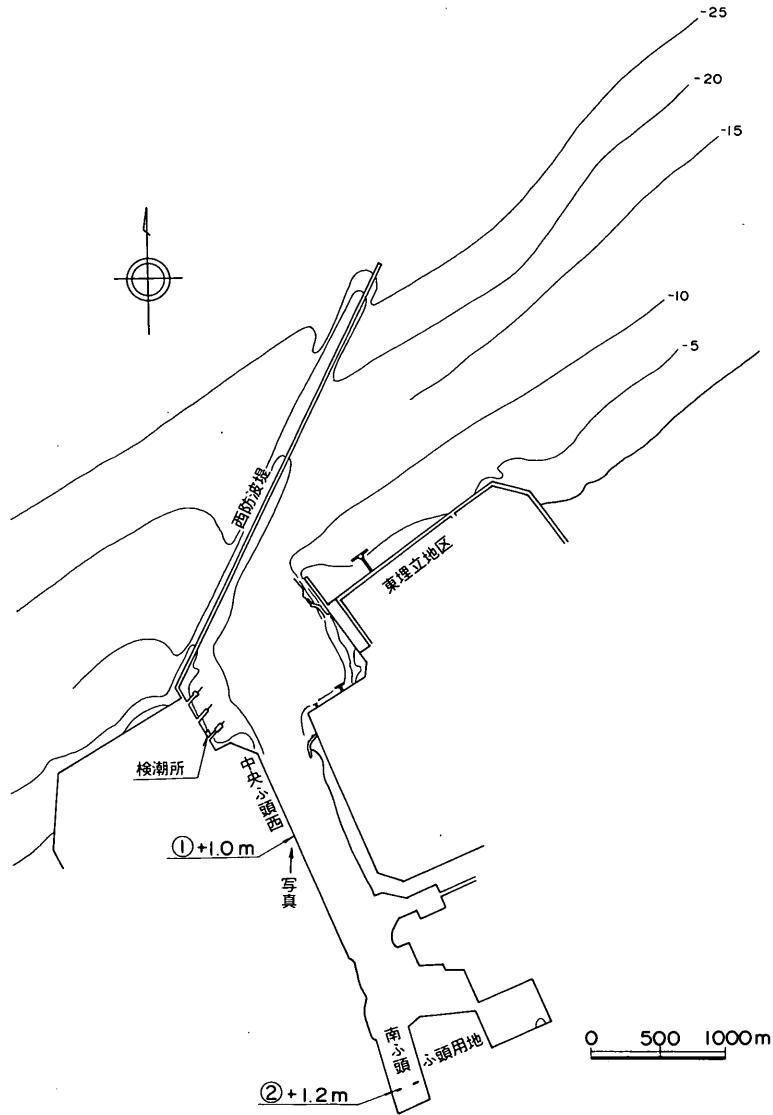


図-5.88 新潟東港

b) 新潟港

新潟港（特定重要港湾）は信濃川の河口港である西港地区と掘込港湾である東港地区に分けられる。東港地区（図-5.88）では中央埠頭西の仮設の法止め護岸（測点①、天端 +1.0m）がほぼ天端まで冠水し、写真-5.101に示すように、そこに仮置してあった消波ブロックが沈下した。また、港奥の南埠頭泊地の波除堤（測点②）では +1.2m まで水位が上昇したとみ跡より判断できる。西防波堤基部近くには検潮所（第一港湾建設局新潟港工事事務所）があり、その記録によると、13時40分ごろから津波による水位変動が始まり、13時15分ごろ



写真-5.101 新潟東港(中央埠頭西)：新潟港工事事務所提供

第1波のピーク値+0.49mとなった。最大は16時7分の+0.8mである。検潮記録はこん跡高よりやや小さいが、こん跡高を測点した位置が検潮所から500m以上離れており、港奥に位置していたためとも考えられる。

西港地区(図-5.89)では、信濃川左岸の運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所近くの護岸(測点③)で、+1.10mまで水位が上昇したことが観測されている。また、この近くには検潮所(新潟港工事事務所)があり、その記録では13時9分ごろ津波の始動が認められ、13時13分ごろ第1波のピーク値+0.49mとなった。最高水位は14時30分ごろの+0.64mであった。目視観測に比べて小さい値である。また、東港と西港の検潮記録を比べると、最高潮位は西港のほうがやや低い。なお、西港でも東港でも第1波のピーク時における津波によら

ない潮位は0.13mであった。

西港の北側の阿賀野川河口から約1.5km上流には、松ヶ崎水位観測所(建設省)がある。その記録によるとやはり、13時10分ごろ水位は+0.02m(T.P上+0.34m)であったが、津波によって上昇しはじめ、13時14分ごろ第1波のピーク値+0.49m(T.P上+0.81m)に達している。これが最も大きく、14時35分ごろにもほぼ同じ水位となった。また、信濃川分水路河口から約3.5km上流には、帝石橋水位観測所(建設省)がある。この記録では、津波による水位変動が始まったのはややおそく、13時35分ごろであり、13時42分ごろ第1波のピーク+0.58m(T.P上+0.90m)となった。これが最高水位であった。この位置は河口からやや遠く、津波によらない水位が13時30分には+0.44mあり、偏差

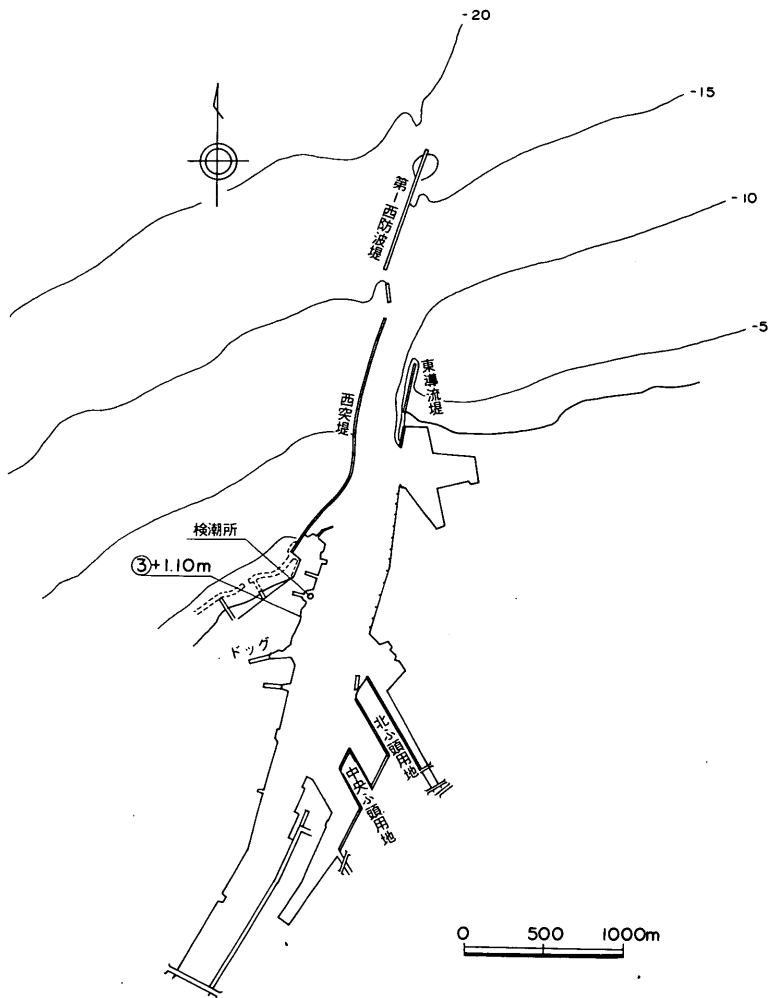


図-5.89 新潟西港

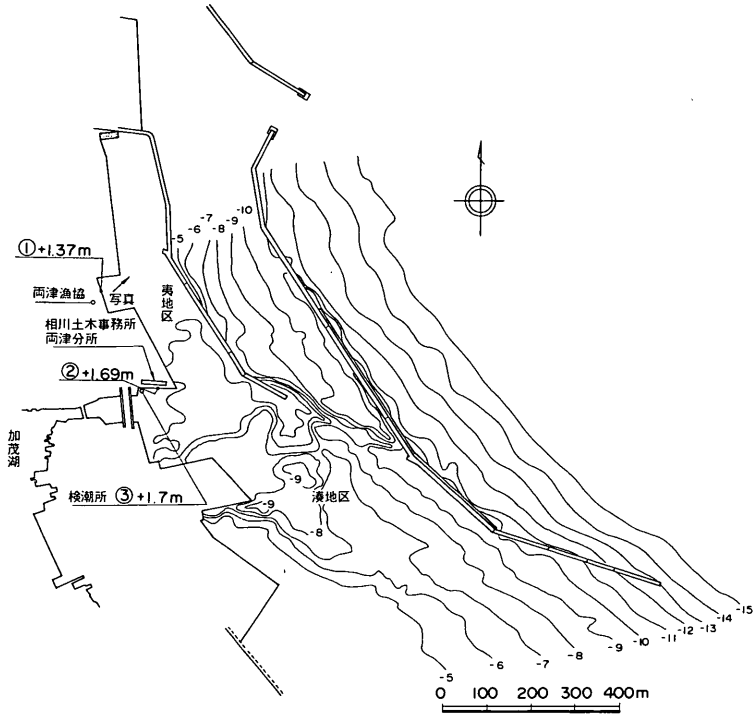


図-5.90 両津港

は 0.14m とごく小さい。

c) 両津港(佐渡)

両津港(図-5.90)は佐渡両津湾の湾奥にあり、新潟港へのフェリーが発着する重要港湾である。津波はこの港に12時50分ごろから来襲しはじめ、13時ごろ第1波のピークとなった。最大波は13時15分ごろの第2波であり、このとき、夷地区の両津漁協前の岸壁(測点①)ではその天端を越えて+1.37mまでそ上した。写真-5.102はその近くの岸壁への津波のそ上を示すものである。また相川土木事務所両津分所前の岸壁(測点②)では、天端(+1.89m)から-0.20mのところまで水位が上昇した。分所前の岸壁前方に検潮所(測点③)があるが、この+1.70mのところの小段があり、水位はそれを上回っていたことが目撃されている。両津港の背後地は狭く、その後方には加茂湖がある。津波は川をそ上し、加茂湖に侵入したが、加茂湖内では津波の影響はほとんどなかった。

両津湾は震源に向かって、扇形に開いており、湾奥の両津港では実測された以上に水位が上昇することが考えられた。しかしながら、実際には津波は震源から直線的にくるのではなく、やや北北西寄りから侵入したのではないかと思われ、予想されたより小さい津波であった。



写真-5.102 両津港(夷地区):両津市役所提供

これは、後述する藻浦漁港や関漁港でのそ上高が大きい事実からも推察できる。

検潮記録は地震動で基準線がずれ、第1波の引きが測定範囲を越えたため再び基準線がずれ、時間軸にもくるいが生じた。ただし、基準線のずれの量と時間の差を考慮してやれば、読みとることが可能である。第1波は1.30m、第2波は1.44mであり、周期は10分程度であったと考えられる。この値は検潮所外側での水位の上昇量よりやや小さい値であった。

d) 藻浦漁港、関漁港（佐渡、外海府）

藻浦漁港（図-5.91）は佐渡島の北端の弾崎の西に位置する離岸堤と船揚場からなる小さな漁港である。ここでは、津波警報発令後漁船を陸上に上げる作業がなされていた。12時45分から13時ごろの間に少し引いた後に第1波が到達している。第1波と第2波は、船揚場の斜路をそ上したが、それほど大きくはない。第3波と第4波は大きく、漁港背後の道路を越えて網小屋のコンクリート基礎（測点①、天端+4.47m）を25cmほど上まわるところまで達した。このそ上した津波の一部は漁港の西海岸の陸上部を越えてゆき、また一部は東側の道路を下り、2戸の民家が床下浸水を被った。漁港の東側の海岸線には+5.5mの護岸があり、この護岸下の浜に降りる階段が護岸の2箇所にあるが、この出入口（測点②、天端+4.75m）を通して津波があふれている。写真-5.103は津波が引いているときを示すものである。斜路はきれいに洗われ、舟が道路まで押し流されているのがわかる。ここでの津波は、漁民の話では段波状

はなく、地から湧き上がってくるような津波であった。

関漁港は藻浦漁港の南西12kmの位置にある第1種漁港である。図-5.92に示すように関岬と寒戸崎に囲まれ、ほぼ北を向いた湾内にあり、神棚岩によって内之間地区と寒之浜地区とに分けられている。内之間地区には消波ブロックによる防波堤があるだけである。当時ここにいた漁民の話では、津波はこの消波ブロックを回り込むように侵入し、西側の港奥に向かって流れ込んだ。港奥（測点①）でのその上高は2.8mであり、西側防波堤背後の岩場（測点②）でも2.6mまで水位が上昇した。寒之浜地区では津波は内之間地区より大きく、湾奥の護岸（測点③、天端+5m）を越えた。津波警報後この船揚場で舟を陸上に避難させる作業をしていた人達は、この津波を体験している。第1波と第2波は斜路の中間ぐらいまでしかそ上しなかったが、第3波、第4波は湾奥に向かう速い流れとなり、護岸からあふれ、その流れが護岸そばに流れてきて船揚場に達したようである。そのため、船揚場の天端（+4m）を越え、陸上（測点④）に

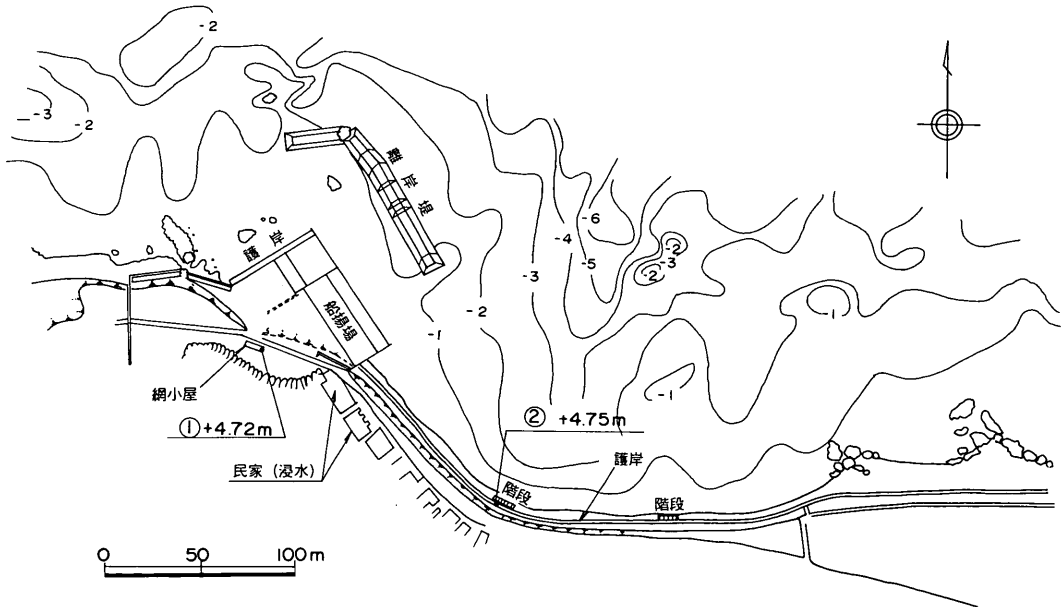


図-5.91 藻浦漁港



写真-5.103 藻浦漁港：両津市役所提供

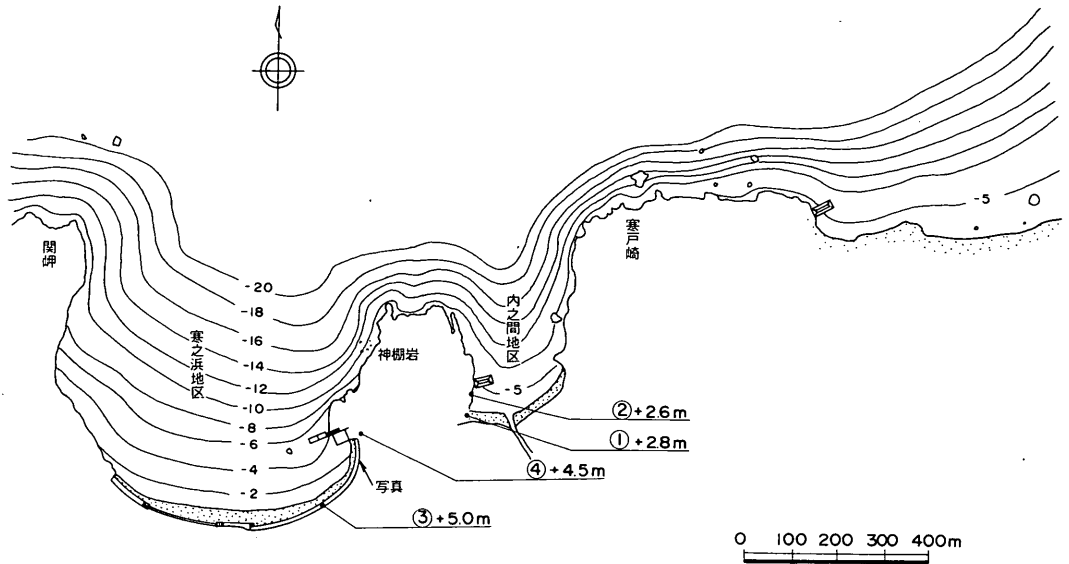


図-5.92 関 漁 港



写真-5.104 関漁港：相川土木事務所提供

あふれて +4.5m まで達した。写真-5.104はその船揚場を示しており、陸上部にこん跡が残っている。引き波時には、-5~-6mの防波堤先端の海底の一部も見えている。また津波の速い流れは対岸の関岬の岩場に長い間あった枯れた松の大木を、船揚場近くまで運んでいる。

関漁港の内之間地区と寒之浜地区のように、ほぼ同じ方向を向いて隣り合った二つの地区での最高水位がこれほど違うのはなぜであろうか。漁民の話からすると、津波の方向は北北西であり、内之間地区では神棚岩と防波堤によりやや遮蔽されたためとも考えられる。

なお、藻浦漁港の2kmほど西にはニッ亀島と呼ばれる景勝地がある。美しい砂州が島と佐渡本島とを結んでいたが、これが津波による流れによって消えてしまった。現在はやや砂が戻り始めているが、もとにもどるためには、しばらく時間がかかるかもしれない。

e) 片辺漁港、相川海岸、高瀬漁港、二見港(佐渡) 片辺漁港は佐渡外海府の南端に位置し、相川海岸より北北東15kmにある第1種漁港である。図-5.93のように、港口部はほぼ西を向いており、いくつもの離岸堤で囲まれた港である。津波はここでは比較的小さく、最も大きいときでも、第2離岸堤の場所打コンクリートの天端(測点①)の天端(+1.0m)をやや越え、引き波時に船揚場先端の海底(測点②、-0.7m)が露出しただけである。

相川海岸(図-5.94)は、西向きの海岸であり、現在、相川町役場前面の海岸を幅100m長さ約500mにわたって埋立て工事中であり、当時は250mほどが埋立てられていた。津波は写真-5.105、106のように、埋立護岸の捨石マウンド(測点①)の天端(+1.3m)を越えており、引き波時にこの背後の海底(約-1m)が

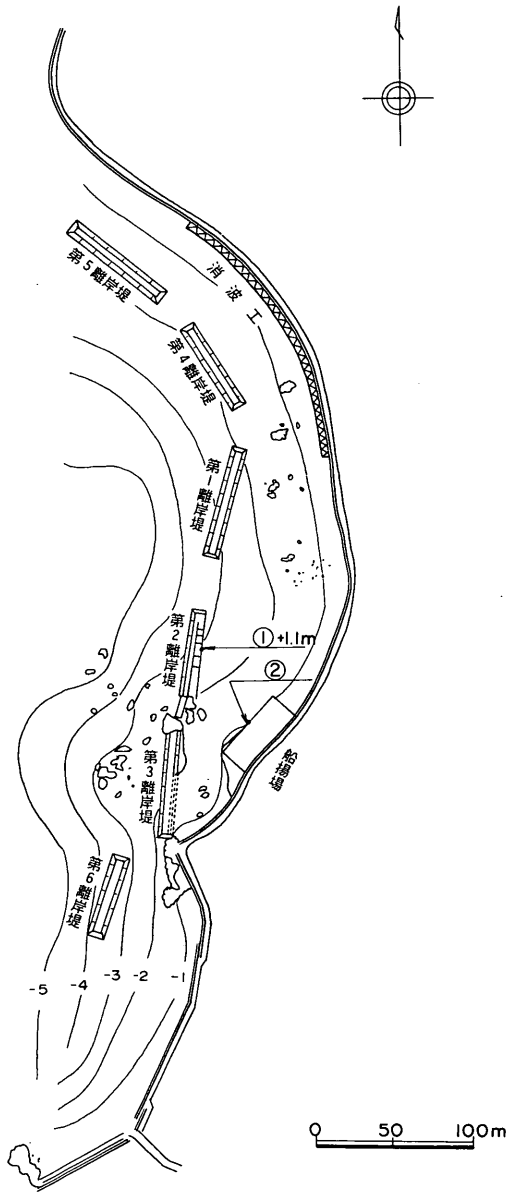


図-5.93 片辺漁港

露出した。

高瀬漁港(図-5.95)は相川海岸から4km南のほぼ南北方向の海岸線上にある第1種漁港である。漁民の話では13時30分ごろ最も水位は高くなり、港口に面する船揚場(測点①)では+2.0mまで上昇した。また、-2.5m物揚場(測点②)では、その天端(+1.20m)を越え、これより40cm程度水位が上昇したため、係留中

の漁船が岸壁に乗り上げそうになり、これを追戻すのに苦労したそうである。このようにこの近くの相川海岸等と比べ、やや最高水位が高かったのは、港口が北を向き、津波による流れを集めやすい形となっていたことにもよるとも考えられる。

二見港(図-5.96)は震源に対しては佐渡島の裏側に位置する真野湾にある避難港である。漁協の人の話では、ここでは津波は12時40分ごろ第1波が来て夕刻ごろまで続いた。最高水位となったのは13時30分ごろであり、水位は漁協前の岸壁(測点①)の天端(+0.79m)ぎりぎりまで上昇した。引いたときには岸壁の前面(-0.52m)が露出した。

なお、佐渡島南岸の小木港および赤泊港には調査班は直接行ってはいないが、相川土木事務所によって調査が実施されている。小木港(図-5.97)は佐渡島の南端にある重要港である。ここでは、バス駐車場前の岸壁の東端(測点①、天端+1.83m)でスタッフによる観測が行われた。これによると、水位は+0.78mまで上昇した。

赤泊港(図-5.98)は小木港の北東10kmほどに位置する地方港湾である。スタッフによる観測が中野川橋前面の-3.5m物揚場の岸壁(測点①、天端+1.5m)で行われた。最高水位は13時52分の+1.40mであり、最低水位は14時4分の-1.30mであった。写真-5.107ではその最高水位のこん跡が認められる。赤泊港で小木港に比して最高水位がやや高かったのは、港の位置する地形と防波堤の形状の違いの他に佐渡海峡を北から下がってくる波と南から上がる波との重ね合わせの影響も考えられる。

f) 寺泊港、出雲崎漁港、柏崎港、直江津港、姫川港
寺泊港(図-5.99)は佐渡海峡をはさんで対岸に佐渡が望める位置にある地方港湾である。津波が港口から侵入したときにも海面の乱れが少なく、ここでの津波は全体的にゆっくりした水位の上下動であった。魚市場前の岸壁(測点①、天端+1.5m)での目視観測(地元の建設業者実施)によると、14時57分に+0.7m、15時3分に-0.5m、15時13分に+0.5mであった。この岸壁近くには検潮所(新潟県と板土木事務所)があり、その記録でも最高潮位は+0.66mとほぼ一致している。ただし、検潮記録では最高水位となった時刻は13時46分であり、目視観測での時間と11分ほどずれていた。検潮記録によると、津波の始動は13時5分であり、第1波のピーク値は0.22mであった。

出雲崎漁港(図-5.100)は寺泊港から南西13kmにある第2種漁港である。ここでの津波もゆっくりとした

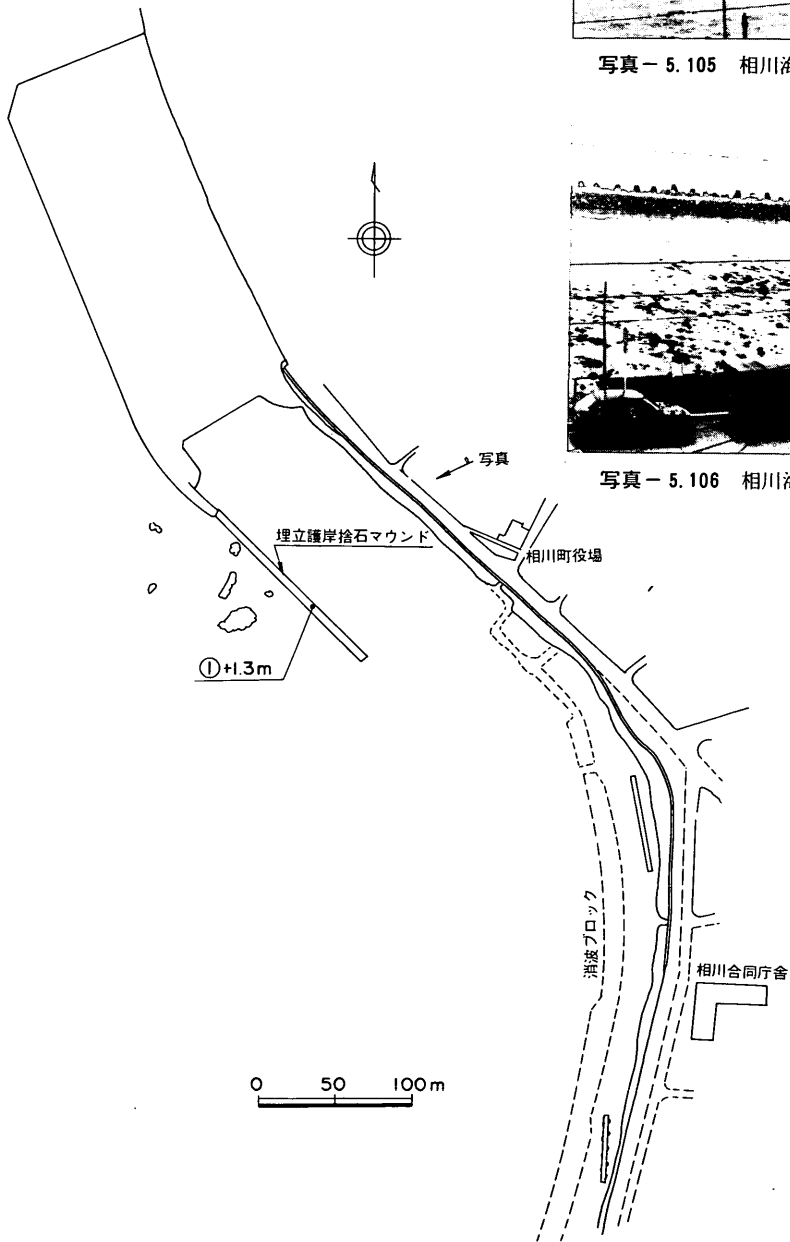


写真 - 5.105 相川海岸 (埋立地): 相川町役場提供



写真 - 5.106 相川海岸 (埋立地): 相川町役場提供

図 - 5.94 相川海岸

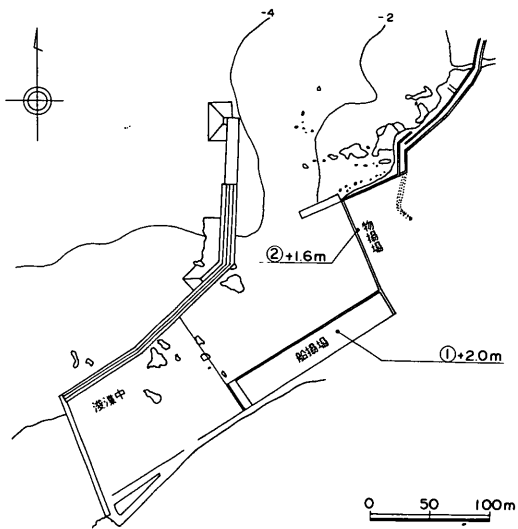


图-5.95 高瀬漁港

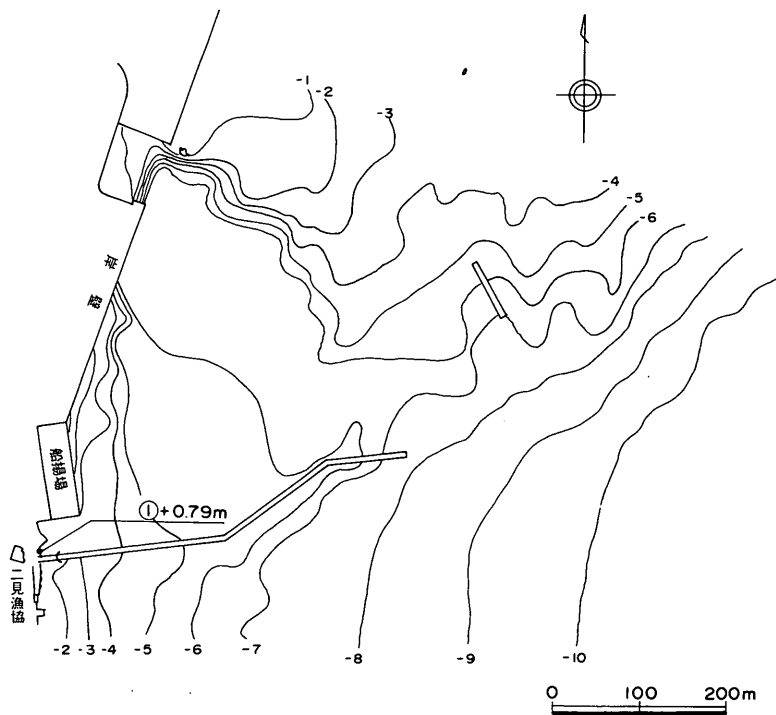


图-5.96 二見港

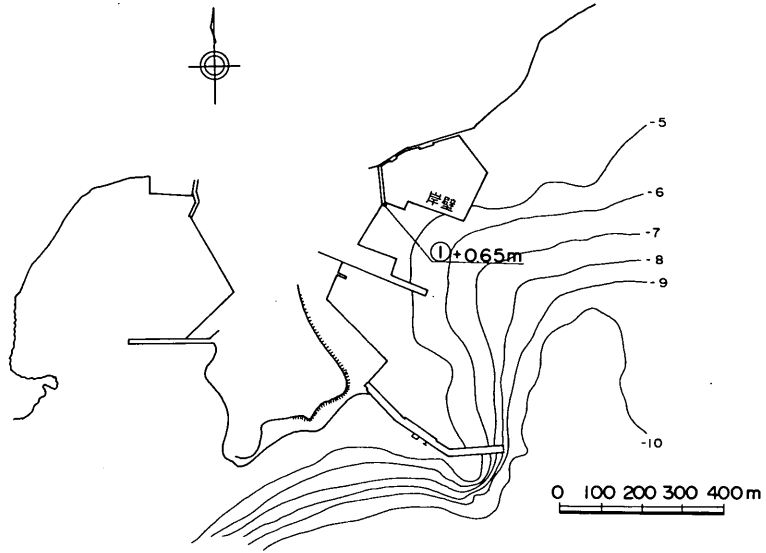


圖-5.97 小木港(佐渡島)

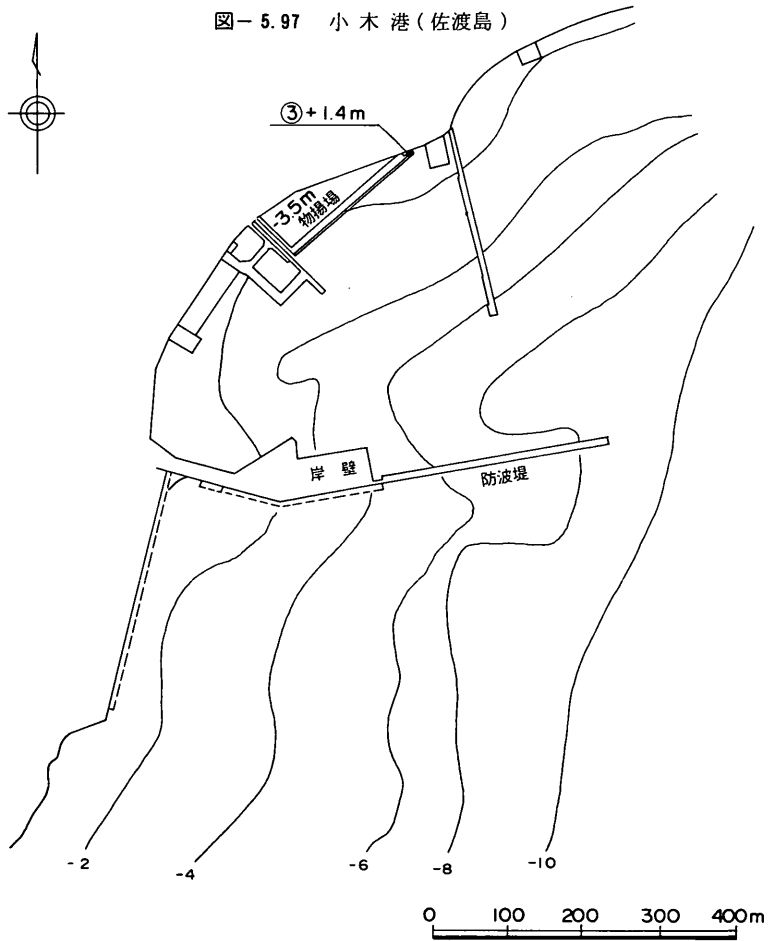


圖-5.98 赤泊港



写真-5.107 赤泊港(中野川橋前-3.5m 物揚場岸壁): 相川土木事務所 提供

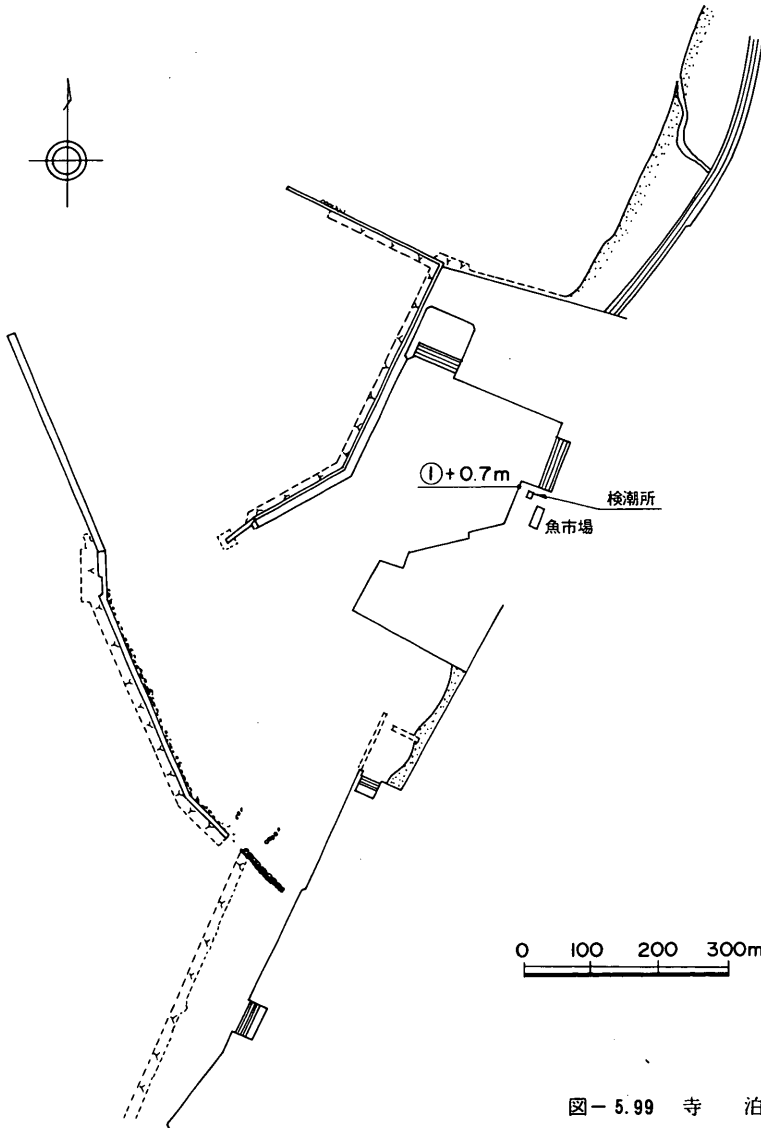


図-5.99 寺泊港

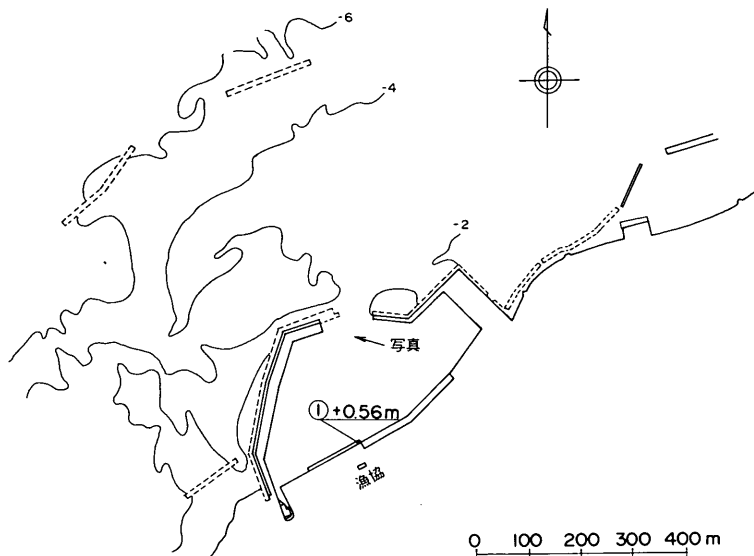


図-5.100 出雲崎漁港

水位の上下動であったが、港口付近では写真-5.108に示したような速い流れが認められている。当時港内の工事を実施していた櫛谷組によって13時45分から15時5分まで目視観測が行われた。その位置は漁協前の岸壁(測点①, 天端+1.2m)であり、スタッフにより測定されている。これによると、14時36分ごろに観測中の最高潮位+0.56mとなっている。寺泊の潮位記録などから考えると、これが第1波から最後まで最高潮位と思われる。観測中の最低潮位は14時15分の-0.34mであった。

柏崎港(図-5.101)は寺泊港と直江津港のほぼ中間にある避難港である。津波はゆっくりとした水位の上下動であったが、漁業センター前の岸壁(測点①, 天端+1.0m)をやや越し、岸壁上+1.09mのところまであふれた。この港にも港奥に検潮所(新潟県柏崎土木事務所)がありデータが取得されている。その記録によると、津波の始動は12時58分ごろであり、16時42分に最高潮位+1.06mを記録している。この値は岸壁上のそ上高+1.09mにはほぼ一致している。ただし、第2位以下のピーク時の水位は0.6m以下と最高水位との差が大きいが、その理由は明らかではない。

直江津港(図-5.102)でも津波はゆっくりとした水位変動であった。新潟県直江津港湾事務所では、津波警報後、津波の目視観測を行った。港奥の南3号岸壁(測点①, 天端+1.26m)での最高水位は写真-5.109に示すように16時20分ごろの+0.88mであり、最低水位

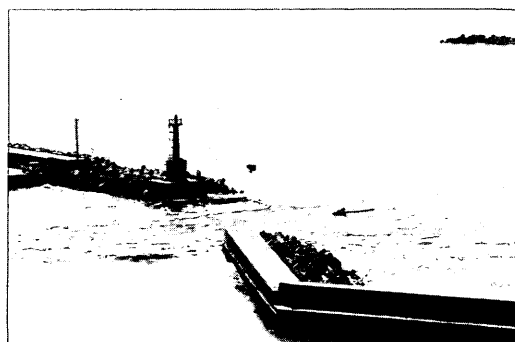


写真-5.108 出雲崎漁港：与板土木事務所

は16時ごろの-58cmである。この南3号岸壁の西端には検潮所がある。この記録によると、最高潮位は16時18分の+0.89m、最低潮位は17時52分の-0.76mであり、16時ごろの負のピーク値は-0.47mであった。

検潮記録は目視の観測値にはほぼ一致している。津波の始動は12時55分ごろであり、柏崎より3分、寺泊より10分早い。これは第1波が佐渡島と能登半島の間の水深の深いところを通過してやってきているためと思われる。

姫川港(図-5.103)は直江津港の西南西40kmで、姫川河口の東に位置する地方港湾である。新潟県糸魚川土木事務所の調べによると、ここでは消防署職員により、漁協前岸壁(測点①)でスタッフを用いた目視観測が行われた。観測は漁協前の岸壁で、13時4分から14時50

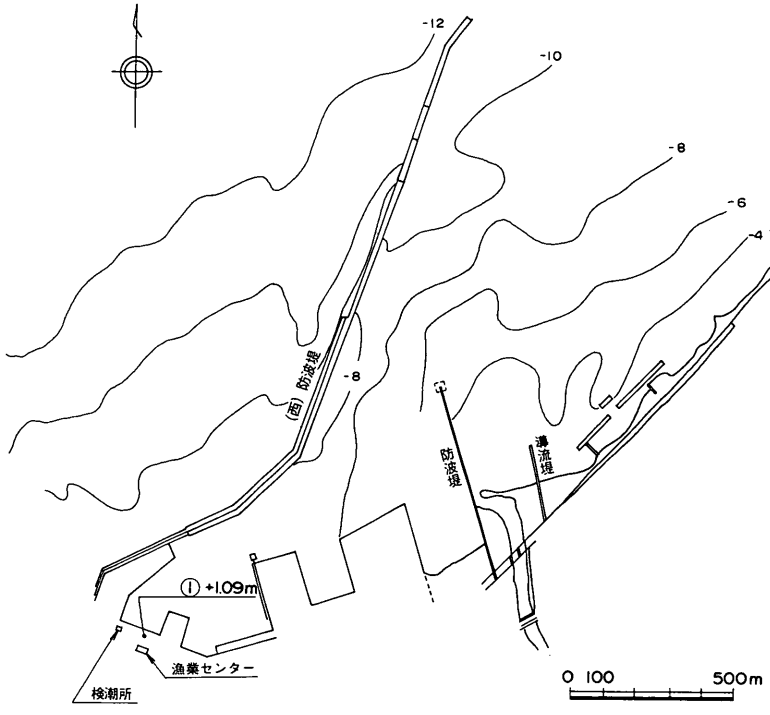


図-5.101 柏崎漁港

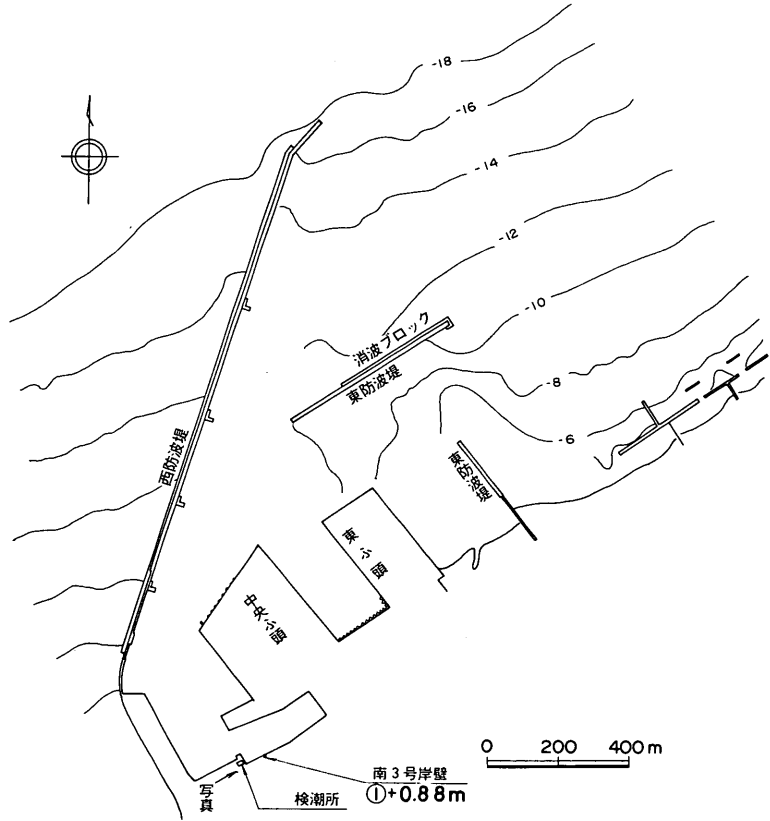


図-5.102 直江津港

分ごろまで行われた。観測時間内での最高潮位は 14 時 13 分の $+0.53\text{m}$ で、これが観測時間外も含めての最高潮位であったとのことである。

(4) 富山県および石川県

(a) 伏木富山港

伏木富山港は富山湾奥にある重要港湾で、富山港（図-5.104）、新湊港（図-5.105）および伏木港（図-5.106）からなる。当日はやや風波もあり、津波による水位変動の振幅もごく小さかったために、目視による観測が試みられたがデータを得るに至っていない。ただし、新湊港と伏木港には第一港湾建設局伏木富山港工事事務



写真-5.109 直江津港
(南3号岸壁): 直江津港湾事務所提供

所の検潮所があり、富山港には気象庁の検潮所がある。潮位記録によると、新湊港では12時55分ごろ津波が到達し始め、第1波のピークが13時7分ごろであった。このときの水位が最高水位であり $+0.31\text{m}$ であったが、ほぼ満潮時で $+0.16\text{m}$ ほどの潮位がすでにあり、偏差としては 0.15m にすぎない。伏木港では12時58分ごろ津波による水位変化が現れはじめ、13時9分ごろ第1波のピークとなった。これが最高水位で $+0.33\text{m}$ あったが、ここでもほぼ満潮時であり津波偏差としては $+0.14\text{m}$ にすぎない。富山港では13時57分ごろから津波の始動が現れ、第1波のピーク $+0.3\text{m}$ に13時10分ごろ達している。最高潮位は15時7分の 0.32m である。

(b) 七尾港

七尾港（図-5.107）は能登半島中央東部の七尾湾南湾に位置する天然の良港である。ここでも津波はごく小さく、目視による観測は行われていない。府中地区の府中埠頭背後には第一港湾建局七尾港工事事務所があり、この敷地内に検潮所がある。検潮記録では第1波は13時15分ごろから始まり、13時33分あたりでピーク値 $+0.12\text{m}$ となった。最高水位となったのは15時56分で $+0.17\text{m}$ である。ただし、検潮井戸の導水管が 20m 以上と長いために井戸内の水位の応答に問題がある可能性があること、および、原因不明の周期1時間程度の水位変動成分も現れていることに留意すべきである。

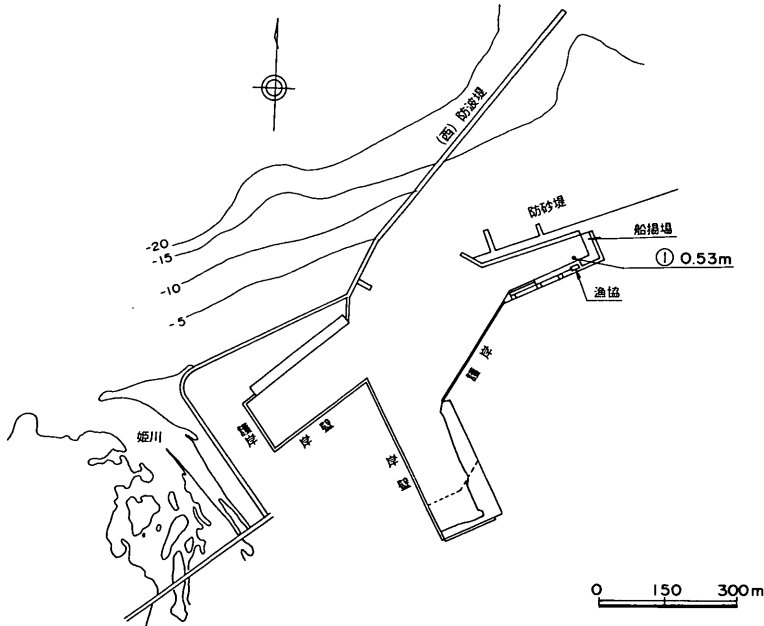


図-5.103 姫川港

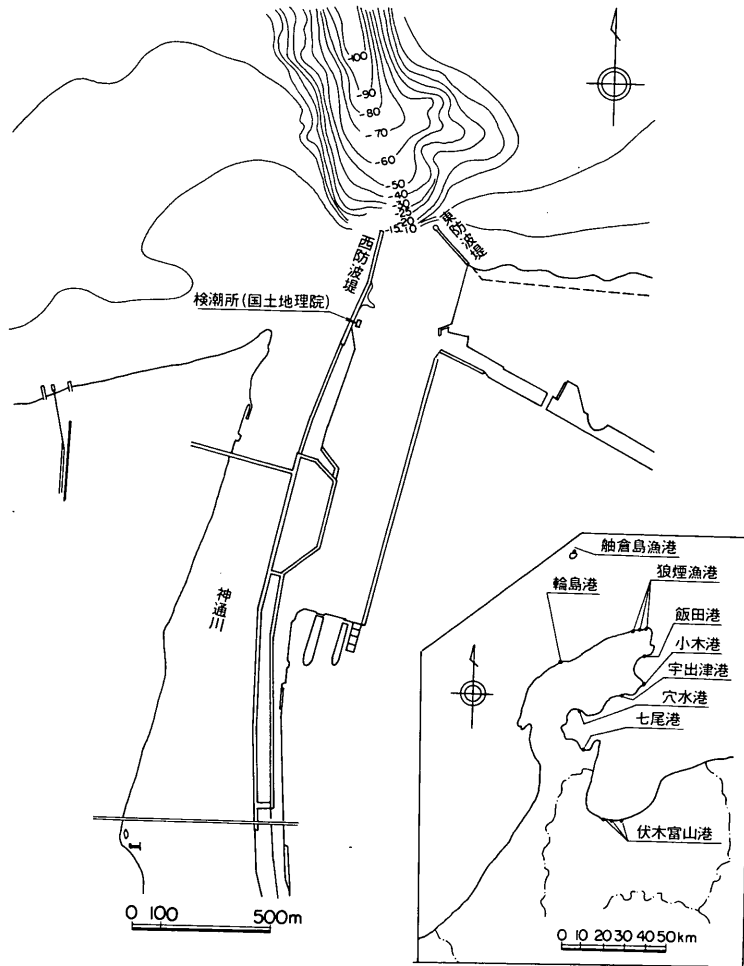


图- 5.104 伏木富山港 (富山地区)

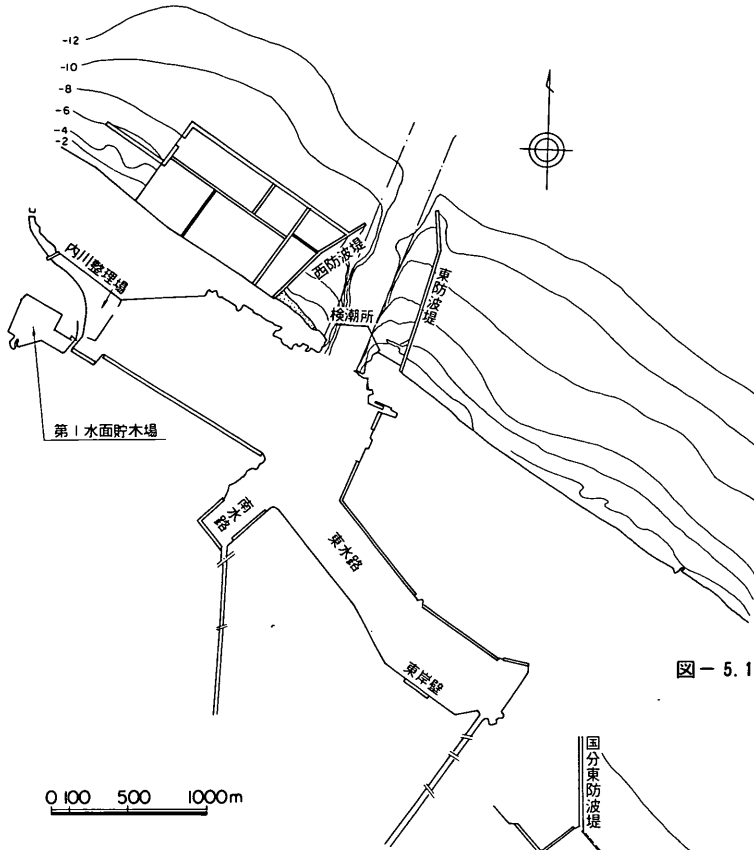


图-5.105 伏木富山港(新湊地区)

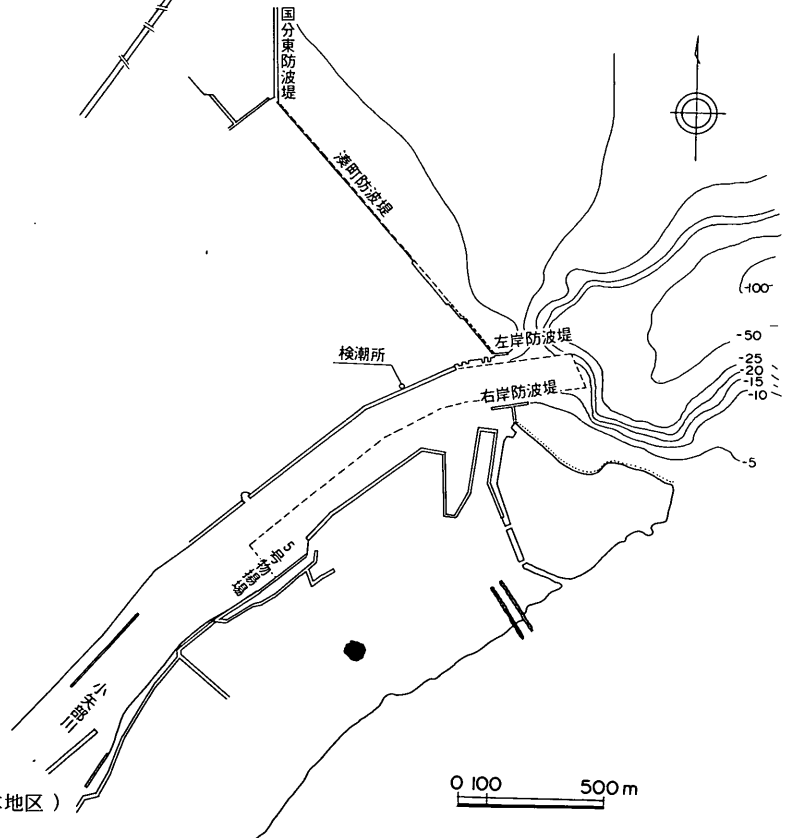


图-5.106 伏木富山港(伏木地区)

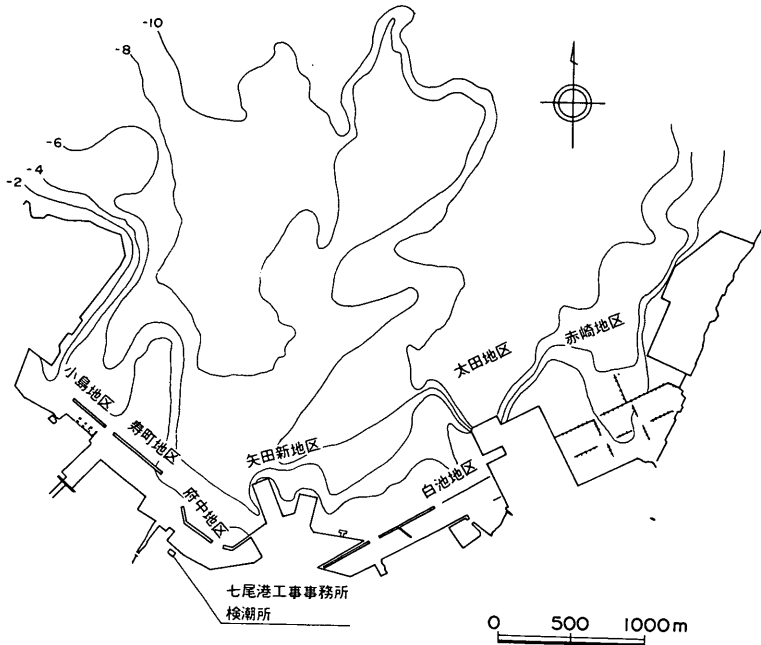


図-5.107 七尾港

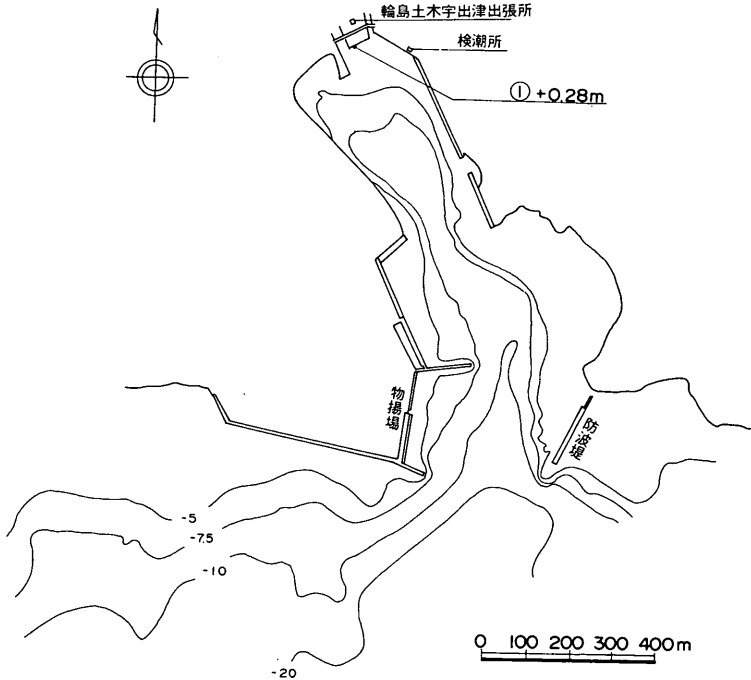


図-5.108 宇出津港

(c) 宇出津港, 小木港, 飯田港

宇出津港(地方港湾, 図-5.108)は能登半島東岸の

南向きの深い入江を利用した港である。ここには検潮所
(石川県輪島土木宇出津出張所)があるが、地震日以前

からの故障のため記録がない。しかし、目視による観測
 が出張所前の岸壁（測点①）で13時30分から14時52分ま
 で行われた。その記録によると、観測時間内の最高水位
 は13時57分の+0.28m、最低水位は14時6分の-0.07m
 であった。

小木港（地方港湾，図-5.109）も宇出津港によく似
 た入江の港である。九十九湾の越坂地区の波除堤（測点
 ①）で、建設業者より14時5分から16時まで目視観測の
 +0.25mであり、最低水位は14時5分の+0.0mであっ
 た。

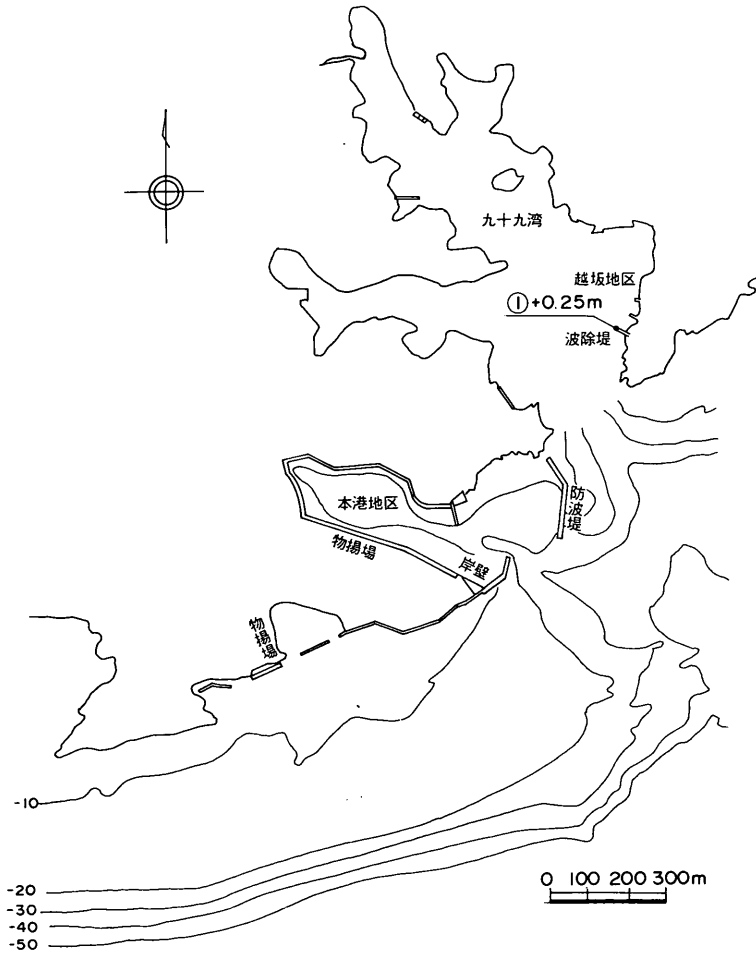


図-5.109 小 木 港

飯田港（図-5.110）は能登半島北端の狼煙から南12 km に位置する地方港湾である。ここでは宇出津港や小木港に比べ津波はやや大きく、漁協前の-2 m泊地側の岸壁（測点①、天端高+1.2m）では、最高水位が+0.7 m、最低水位が-1.3m となったことが石川県珠州土木

事務所によって確かめられている。写真-5.110 はそのこん跡を示す。この岸壁からでた突堤の両側には計2台の簡易式潮位計があり、13時より計測を開始しているが、検潮井戸の構造上今回の津波に対する応答性が充分でなく目視より小さい値しか記録されていない。

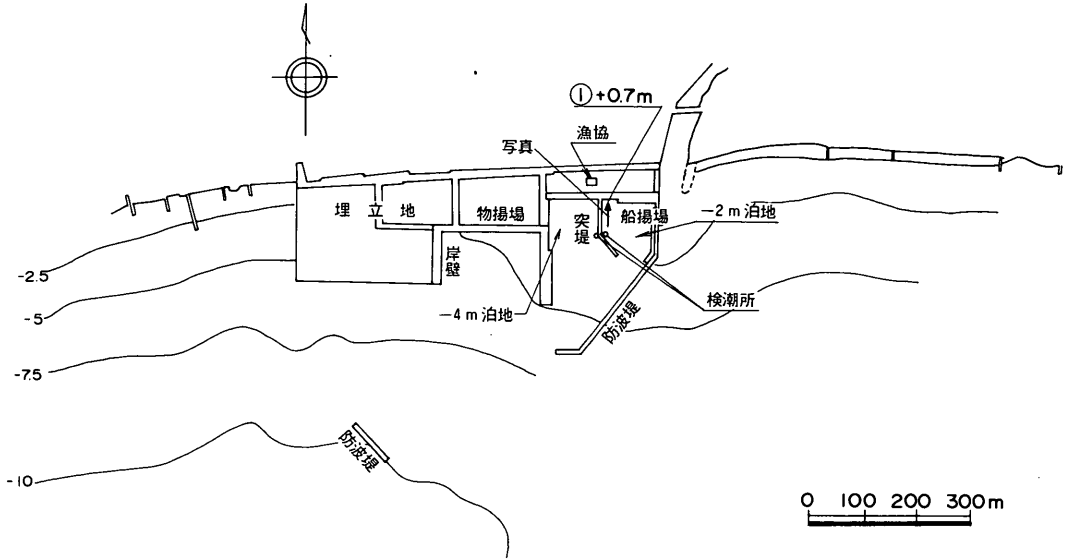


図-5.110 飯田港

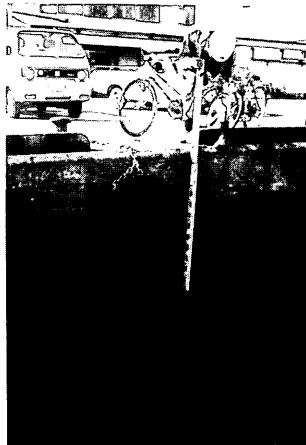


写真-5.110 飯田港
(-2m泊地岸壁): 珠州土木事務所提供

(d) 狼煙漁港

狼煙漁港は能登半島の北端にある第4種漁港で、狼煙
(図-5.111)、折戸(図-5.112)、高屋(図-5.113)

の3つの地区からなる。この漁港での津波は比較的大き
いものであった。

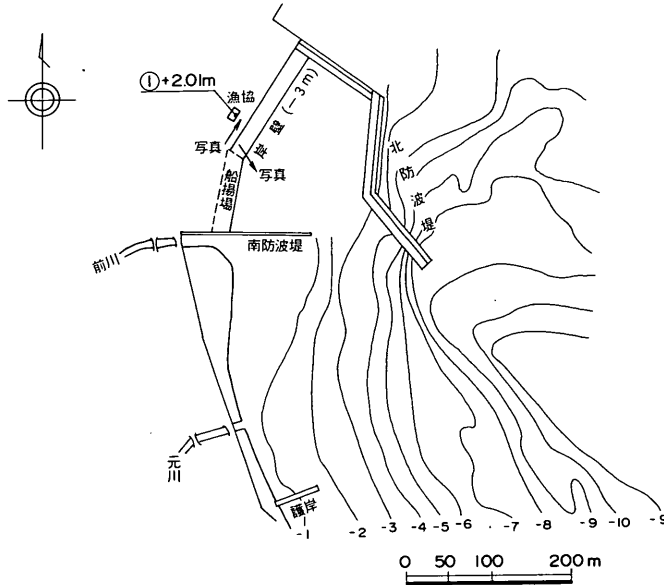
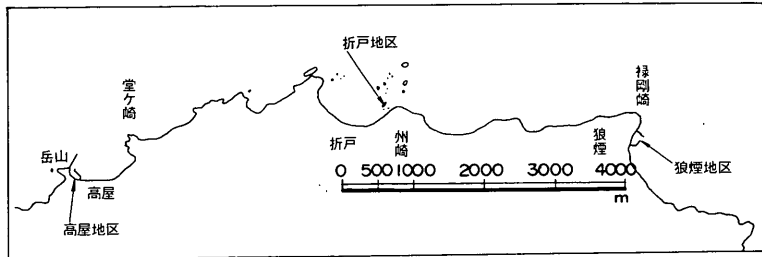


図-5.111 狼煙漁港(狼煙地区)

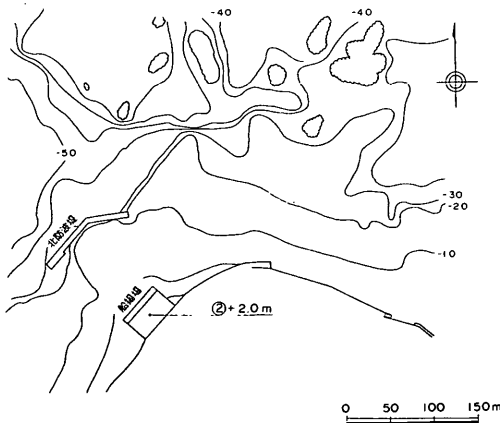


図-5.112 狼煙漁港(折戸地区)

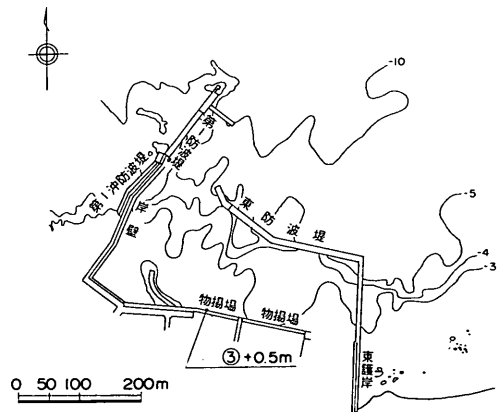


図-5.113 狼煙漁港(高尾地区)

狼煙地区では12時40～50分ごろから引き始め、13時10分ごろに第1波のピークに達している。第2波が最も大きく、13時20分ごろにピークに達し、岸壁(+1.3m)を乗り越え、漁協の床上まで(測点①、+2.10m)浸水してしまった。(写真-5.111)。このため、沖に避難しなかった舟のうち物揚場にあった舟が6隻流出し、うち3隻が転覆した。津波は写真-5.112のように港口から侵入するとき白波をたてていたのが目撃されている。第2波以降も比較的大きな津波が来襲し、3時ごろまでは岸壁を越えていた。

折戸地区でも船揚場の斜路上(測点②)を+2.0mほどそ上し、引き波時には斜路先端の-1.6mまでが露出している。一方高屋地区では、狼煙地区や折戸地区に比べ小さく、漁協前の岸壁(測点③)を越すことはまったくなく、漁協の話では+0.5mほど上昇したにすぎないとのことである。このように高屋地区で他の地区に比べて小さかったのは、港のある湾がやや北北西を向き、津波が北東方向から来襲したために堂ヶ崎によって遮蔽

されたとも考えられるが、あるいは防波堤による遮蔽効果が大きかったためかもしれない。

(e) 輪島港、船倉島港

輪島港は能登半島北岸に位置する避難港である。図-5.114のように、輪島川左岸に漁港を中心とした従来からの輪島港があり、右岸には沖合の第4防波堤を建設するための作業基地がある。写真-5.113は、作業基地岸壁から撮った第1波来襲時の基地船溜内と港外を示すものである。漁口から速い流れとなり、また右側の防波堤を越えて船溜内に津波が侵入しているのがわかる。港外をみると、津波の先端部が分裂し白波をたてているところもある。白波が認められる場所は水深が約5m以下であると思われる。この作業基地には検潮所(第一港湾建設局七尾港工事事務所輪島工場)があり、その記録では13時14分ごろ第1波による水位変動が始まっている。ただし、この記録は第1波のピーク後の引きが大きすぎ、測定範囲を越えたために第2波以後ゼロ線が変動してし



写真-5.111 狼煙漁港
(狼煙地区、漁協前): 狼煙漁協提供

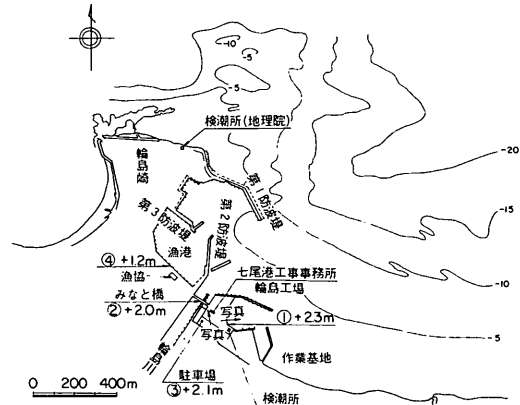


図-5.114 輪島港



写真-5.112 狼煙漁港
(狼煙地区、港口部): 狼煙漁協提供

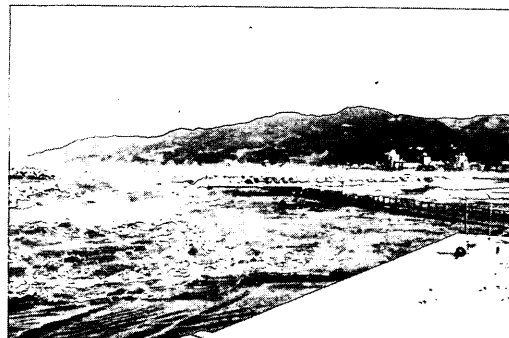


写真-5.113 輪島港作業基地
(第1波): 七尾港工事事務所提供

まい良いデータが得られていない。検潮所前の岸壁（測点①，天端+2.0m）ではスタッフによる目視観測が七尾港工事事務所輪島工場によって実施された。

付図-279はその記録をプロットしたものである。これによると，第1波のピーク値は+1.26mであり，第1波の負のピーク値は-1.8mである。第2波が最大で13時45分でのピークとなったが，岸壁の天端を越えてしまったため，正確には測定されていない。しかし，付近のこん跡からこの第2波のピーク値は+2.3mと推定される。

写真-5.114は，輪島川河口のみなと橋付近に第2波が来襲し始めたときのようすを示すものである。みなと橋の橋台の上流側（測点②）でこん跡から判断して水位は+2.0mほど上昇し，工事事務所の背後の駐車場（測点③）の一部が浸水し，+2.1mまで達した。写真には港口付近から港外に避難している漁船がみえるが，当日港内にいた200隻あまりの漁船の大半は，舳倉島漁港に津波が来襲したという電話が入った後（第1波来襲の約20分前），避難を開始していた。輪島港内では第3防波堤（+1.5m）を乗り越えて侵入しているが，漁協前では岸壁（測点④）天端+1.3mの下0.1mまでしか水位は上昇していない。このように漁港前での水位上昇が比較的小さかったのは，防波堤による締切り効果によると考えられる。

舳倉島は輪島の北約50kmの位置にある周囲4kmの島であり，舳倉島漁港（図-5.115）はこの能登側を向いた海岸線にある第1種漁港である。石川県輪島土木事務所の調べでは，津波は12時25分ごろから少し引いた後に第1波が来襲した。写真-5.115，5.116のように津波はほぼ北西の方向から岩礁地帯を砕けながらやってきて，北防波堤A区間（+1.3m）および陸上部を乗り越え，

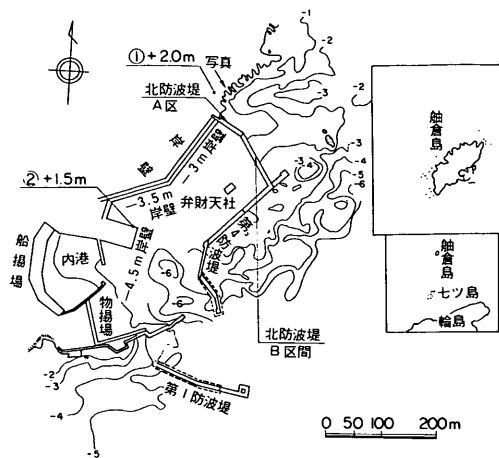


図-5.115 舳倉島漁港



写真-5.115 舳倉島漁港
（第1波）：輪島土木事務所提供

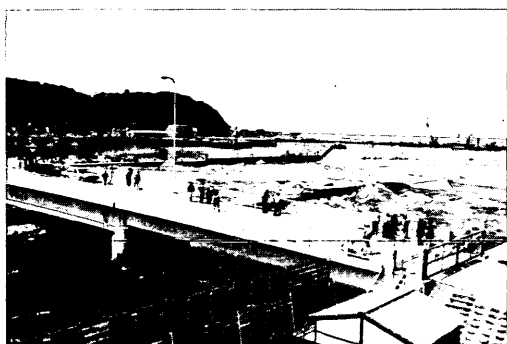


写真-5.114 輪島川と輪島港
（第2波）：七尾港工事事務所提供



写真-5.116 舳倉島漁港
（第1波）：輪島土木事務所提供

- 3 m岸壁から港内に侵入した。その際、陸上部(測点①)を+ 2.1 mほどそ上し、民家数軒に浸水などの被害を与えている。港内では- 4.5 m岸壁(測点②)、+ 1.5 m)が冠水したが、内港防波堤内では+ 0.8 mほどしか水位は上昇しなかった。なお、北防波堤B区間は天端が+ 2.0 mであり、ここを越えることはなかった。この第1波が最大であったが、その後3波ほど同程度のものが続き、夕刻まで比較的大きに水位変動が認められている。

6. 浅海における津波の変形とそ上に関する実験*

6.1 実験の方法

(1) 実験水路および模型床

5.で述べたように、今回の津波は特に秋田県北部海岸において段波となって来襲し、分裂による短い周期変動が見られた。津波としての長波は陸岸に接近するに当たって水深の影響を受けて変形するが、津波はその波長が長く規模も大きいため通常の重力波の場合と異なり、より段波的な形となる¹⁶⁾。こうして形成された段波はそ

の進行にともない分散し、非線型分散波列からなる波状段波に移行することが指摘されている。室田・岩田¹⁷⁾は分散波の相対波高の項と曲率項との和が保存されることにより段波の分散が行われることを示した。また、岩崎他は一山とさざ波からなる波を孤立性段波と名づけ、その分散過程を理論と実験により検討している^{18),19),20)}。

しかし、こうした分裂が今回のようにかなりなだらかな斜面状の海岸でどのように現れ、変形していくか、またそれが陸上へのそ上や構造物への作用にどのように影響するかは不明である。そのため、当所の長さ163 m、幅1 m、深さ1.5 mの鉄筋コンクリート製長水路(津波水路)で実験を行った。造波機は低慣性直流電動機駆動のピストン型式で、入力信号に応じた動きをすることにより任意の波形を作ることができる。なお、この造波機の最大ストロークは±40 cmである。

模型床の形状を決めるために、能代海岸および男鹿半島における深淺測量図および海図から、代表的な地点における海底断面図を求めたのが図-6.1、6.2である。図-6.1によると、八森町から八郎潟付近にかけての海

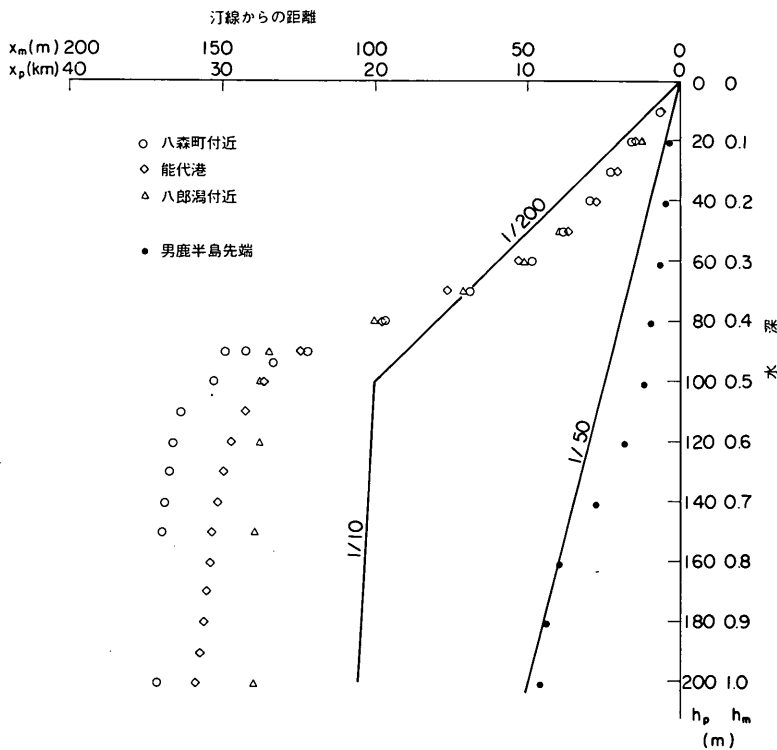


図-6.1 能代海岸および男鹿半島における海底断面図

* 執筆担当 鶴谷広一・中野晋

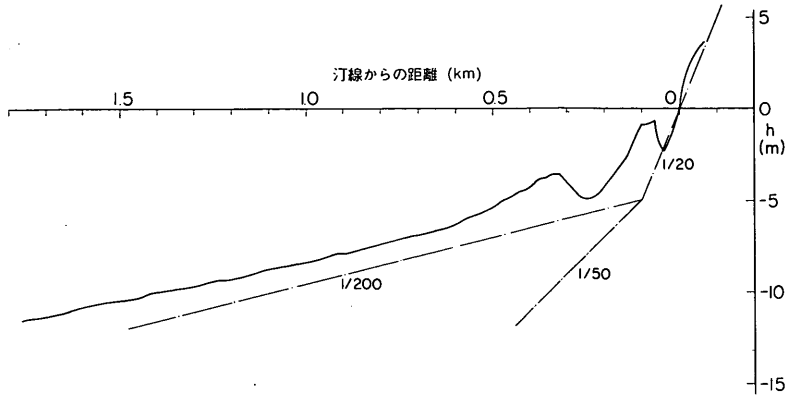


図-6.2 能代海岸沖から陸地までの海底地形図
(米代川河口北岸から900m北地点, 昭和46年9月測量)

岸では水深100m程度まで比較的ゆるやかな勾配となっており、それより以深で急に深くなる傾向がみられる。また、男鹿半島先端ではかなり急勾配で、平均的には1/50程度である。以上の検討より今回採用した模型断面は、水路の長さも考慮して汀線付近から水深100mまでを1/200の勾配とし、さらにその先の水深200mまでを1/10勾配としたケースと1/50勾配の一樣断面のケースの2ケースとした。その形状も図-6.1に示してある。津波の陸上へのそ上を考える場合に、陸上の地形についても考慮する必要がある。図-6.2には水深10mから陸域までの断面図を示すが、汀線付近から陸側での平均

的な勾配はほぼ1/20となっている。そこで、模型では水深5mから陸側を1/20の勾配とし、それより深いところを1/200と1/50の2ケースに分けて実験を行った。

水路の一樣部分の水深は1mの一定とし、模型縮尺は1/200のひずみなしとした。したがって、前述の汀線付近の斜面の急変点は模型上で水深が2.5cmの点となる。また、沖側の水深が一樣な部分での現地換算水深は200mである。

図-6.3に水路と模型床の概略図を示す。水路床は勾配1/200のケースでは造波板の位置から37mの区間が

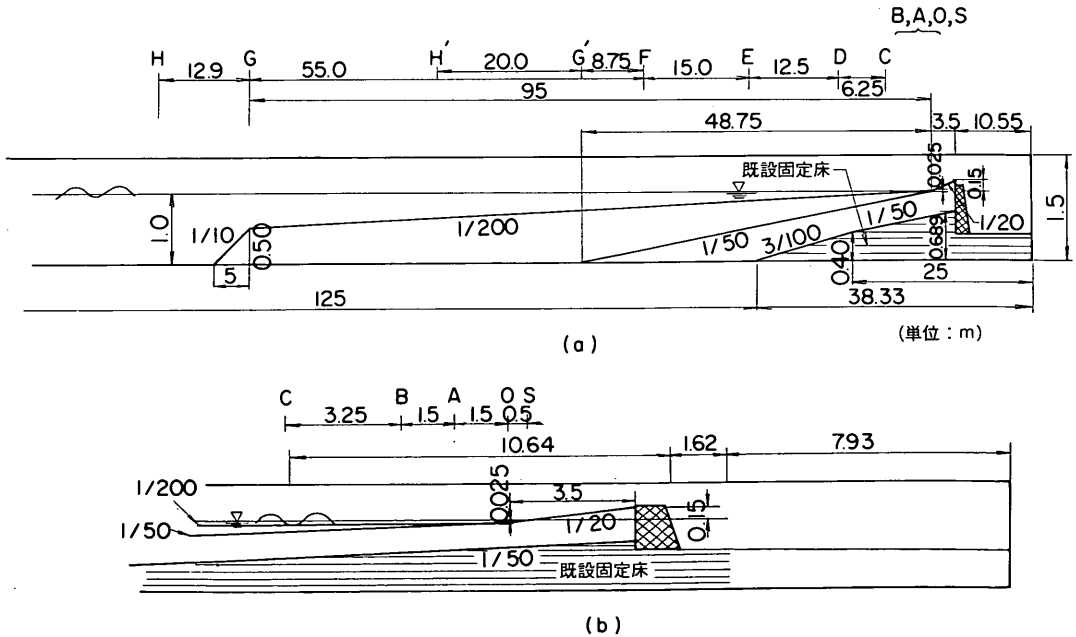


図-6.3 模型床と測定地点概略図

水平で、それから5mの区間が勾配1/10、つづいて95mの区間が1/200、さらにそのあとの区間が1/20の斜面である。

斜面は厚さ12mmの耐水ベニア製で、水路と模型床との間およびベニア板の接続部等はコーキング剤を用いて水の出入りがないようにした。なお、ベニア板には塗装を行っていない。

波高の測定点は勾配1/200のケースでは図-6.3に示してあるように汀線からS、O、A、B、C、D、E、F、G、Hの10点としたが、通常はO点を除いた9点で測定している。勾配1/50のケースでは、G、H点のかわりに、G'、H'点とした。G'点は1/50の斜面の沖側端の位置である。

各測点における水深を表-6.1に示す。ここに、海底勾配はそれぞれのケースの主たる勾配で表示しており、以後 $i = 1/200$ 、 $i = 1/50$ のように表すことにする。

表-6.1 各測点での水深

測点	水深			
	海底勾配 1/200		海底勾配 1/50	
	現地 (m)	模型 (cm)	現地 (m)	模型 (cm)
A	6.5	3.25	11.0	5.5
B	8.0	4.00	17.0	8.5
C	11.25	5.625	30.0	15.0
D	17.5	8.75	55.0	27.5
E	30.0	15.0	105.0	52.5
F	44.0	22.5	165.0	82.5
G	100.0	50.0	200.0(G')	100.0(G')
H	200.0	100.0	200.0(H')	100.0(H')

(2) 実験ケース

今回実施した実験ケースをまとめて表-6.2に示す。模型床の勾配は(1)で述べたとおり1/200と1/50の2ケースであり、縮尺は1/200である。波の周期60, 40, 35秒を主要なケースとした。また、勾配1/200のケースの非周期波というのは正弦波の1山を与えた周期20秒のものである。なお、周期60, 40, 35秒は現地に換算するとそれぞれ約15, 10, 8分に対応している。波高は各ケースに応じて3~10種類変えている。

以後特に断りのない限り、実験諸元は現地換算値で示すことにする。

各種構造物を設置したケースについても実験を行っているが、このうち防波堤を設置したケースはこれに作用する波力を求める目的で実施したものである。図-6.4に防波堤模型の設置状況を示す。模型はアクリル製で、

設置水深は $i = 1/200$ 、 $1/50$ ともに9mであり、静水面からの天端の高さは4m、堤体の幅は10mである。この防波堤模型の水路中央部の沖側2箇所(静水面下1.4mと5m)および岸側1箇所(静水面下5m)の合計3箇所に径8mmの波圧計センサーを取付けて波圧を測定した、また、主としてそ上に対する影響を見る目的で、 $i = 1/200$ のケースでは防波堤のほかにも、これとほぼ同じ大きさの透過堤を同じ位置に設置したケースや、水深5mの位置に離岸堤を、また水深5.5mの位置まで埋立護岸を設置したケースについても実験を行った。これらの構造物の設置状況について図-6.5~6.7に示す。

透過堤および離岸堤はステンレス製の金網に小石を入れたもので、空隙率は両方とも約45%であった。

(3) 実験方法

実験に先立ち、造波機を駆動するための造波信号を作成した。造波機は機械的原点(中立位置)で静止しているので、まず造波板を後方(押波初動と非周期波の場合)あるいは前方(引波初動の場合)へ移動させる必要がある。この場合に波が生じてはいけないので、中立位置から造波板駆動開始位置までは約2分10秒で直線的にゆっくり移動させるようにした。そして、その位置で約1分間造波板を静止させ、その後から所定の周期で造波板を駆動させた。非周期波では造波板を後方から前方へ正弦波の1/2周期分の信号を入れて駆動した。

これらの信号はまず当所の大型電算機ACOS-800IIで1/1000秒ごとに計算したものを磁気テープに記録し、これをDA変換してアナログデータレコーダに記録した。実験ではこのアナログデータレコーダからの信号を造波装置に入力することにより造波機を駆動している。

造波板のストローク調整ダイヤルは、最大片振幅400mmに対応して最大400まで設定できるようになっている。最大振幅は、5Vの入力に対してダイヤルを400に合わせたときに出るようになっており、波高の設定の際にはこのダイヤルを400、350のように適当な数値に合わせて調整した。以下このダイヤル値が造波板の片振幅(mm)に対応するものとして、 $e = 400$ のように表すことにする。

波の測定には主として容量式波高計を用いたが、一部抵抗線式波高計も併用している。水深の浅いところ($i = 1/200$ ではS~D点、 $1/50$ ではS~C点)については波高計のバランスがとれないため、開口部が15×7cmのアクリル製の箱を作り、模型床に埋め込んでその中に波高計のセンサーを入れて測定するようにした。この箱は波高計センサーが入る必要最小限の大きさであり、水の出入りはまったくないようにしてある。

表-6.2 実験ケース

Case	i	$T(s)$	$L(m)$	$2a_0$	$2a_0/L$	構造物	造波タイプ		
1-A-O	1/200	60	187.86	9種類	3.23×10^{-5}	なし	押波初動		
1-B-O						8.52×10^{-5}		防波堤	
1-D-O				3種類	4.63×10^{-5} 1.06×10^{-4}	護岸			
2-A-O		1/200	40	125.21	9種類	5.91×10^{-5}	なし	押波初動	
2-B-O							2.40×10^{-4}		防波堤
2-C-O					5種類	9.90×10^{-5} 2.14×10^{-4}	透過堤		
2-D-O	6種類				3.53×10^{-5} 2.73×10^{-4}	護岸	引波初動		
2-E-O	5種類				5.27×10^{-5} 2.03×10^{-4}	離岸堤			
2-A-H	9種類				1.13×10^{-4} 2.44×10^{-4}	なし			
2-A-S	20	62.61	5種類	9.58×10^{-5} 2.40×10^{-4}	なし	非周期波			
3-A-O	1/50	35	109.54	9種類	1.20×10^{-4}	なし	押波初動		
3-B-O						3.22×10^{-4}		防波堤	
3-D-O				3種類	1.35×10^{-4} 3.45×10^{-4}	護岸			
4-A-O	1/50	60	187.86	9種類	3.19×10^{-5}	なし	押波初動		
4-B-O				4種類	4.05×10^{-5} 8.84×10^{-5}	防波堤			
5-A-O		40	125.21	10種類	3.83×10^{-5}	なし	押波初動		
5-B-O				5種類	1.09×10^{-4} 2.40×10^{-4}	防波堤			
5-A-H				6種類	8.46×10^{-5} 2.71×10^{-4}	なし		引波初動	
6-A-O		35	109.54	9種類	2.45×10^{-5}	なし	押波初動		
6-B-O	5種類			1.42×10^{-4} 3.10×10^{-4}	防波堤				
7-A-O	20	62.53	3種類	2.05×10^{-4}	なし	押波初動			
8-A-O	10	31.11		4.41×10^{-4} 4.42×10^{-4} 8.61×10^{-4}					

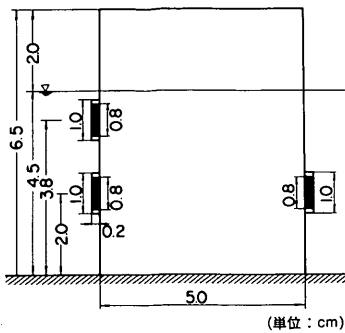


図-6.4 防波堤模型

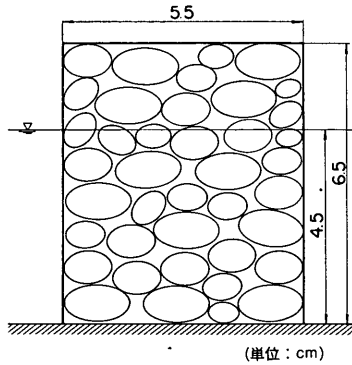


図-6.5 透過堤模型
(空隙率 45%)

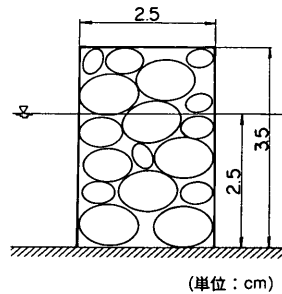


図-6.6 離岸堤模型
(空隙率 45%)

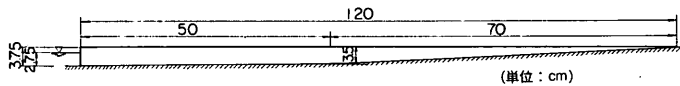


図-6.7 埋立護岸模型

波圧はST研究所製のセンサーPM 10-01とアンプMD-6Dを使って測定した。このセンサーの測定範囲は最大 100 g/cm^2 であり、今回の実験では出力電圧がかなり小さくなるので10倍に増幅して記録した。

これら計測器からの電圧信号は、造波板の位置を示すポテンショメーターからの信号とともに造波板の駆動開始の約20秒前からアナログデータレコーダに記録した。

汀線より陸側へのそ上は、最大そ上高を第3波までについて目視で観測し記録した。また、そ上波形を見るために、16mm撮影機を使って毎秒10コマで撮影を行った。その他C点付近での波形を見るために、モータードライブカメラと8mm撮影機で撮影を行った。

各実験ケースの間は波が十分静まるよう30分程度の間隔をおいている。

6.2 津波の変形およびそ上高

(1) 津波の変形

(a) 波形の変化および整理の方法

図-6.8に海底勾配が $1/200$ で、周期10分(模型で40秒)の押波初動のケースの水位記録の例を示す。この場合の造波板のダイヤル設定値は $e = 350$ で、沖側のH点での波形勾配は 1.9×10^{-4} 程度である。津波は斜面上を進行するにしたがって徐々に変形を始め、段波を形成する。この段波はC点(現地換算の水深で11.25m)の手前あたりから分散波列を形成し、波状段波となって進行する。写真-6.1にC点付近における第1波の段波の先端

に生じたソリトンの波形を示す。このときの波の周期は10分であるが、 $e = 400$ なので図-6.8のケースよりやや波高が大きめである。写真の左端がC点であり、波高計が設置してあるのがわかる。ここに写っているのはC点を通り過ぎた二つのソリトンであるが、先頭のソリトンは既に砕波していて波頂が丸くなり、二つめのソリトンより小さくなっている。図-6.8でもC点では分裂したソリトンの第1波の波高が最も大きい、進行とともに砕波してB点では第2波のソリトンのほうが大きくなっていて、写真-6.1とも定性的に一致しているのがわかる。こうして分裂したソリトンは3波から4波程度が進行しながら波高の増減をくり返すが、汀線(S点)ではもはや進行波としてのソリトンは認められない。

汀線を越えて陸側へそ上した波は反射波となって沖側へ戻ってゆく。波高計では明瞭に認められるこの第1波の反射波も、汀線からC点あたりまではきわめて長周期の水位変動があるだけなので、目視では波として見極めることはむずかしいが、C点からD点にかけて波峰は分裂して沖側へ進行してゆくのがよくわかる。さらに、D点からE点にかけて反射波は第2波の入射波と衝突し、さらに沖側へと戻ってゆく。第2波の入射波と衝突した後の反射波は波峰の数が多くなり、一波一波の周期も長くなる。ただし後で述べるように、この反射波の分裂波の周期が長くなるのは衝突のためというよりは進行にともなう分散の効果のために生じたものようである。写

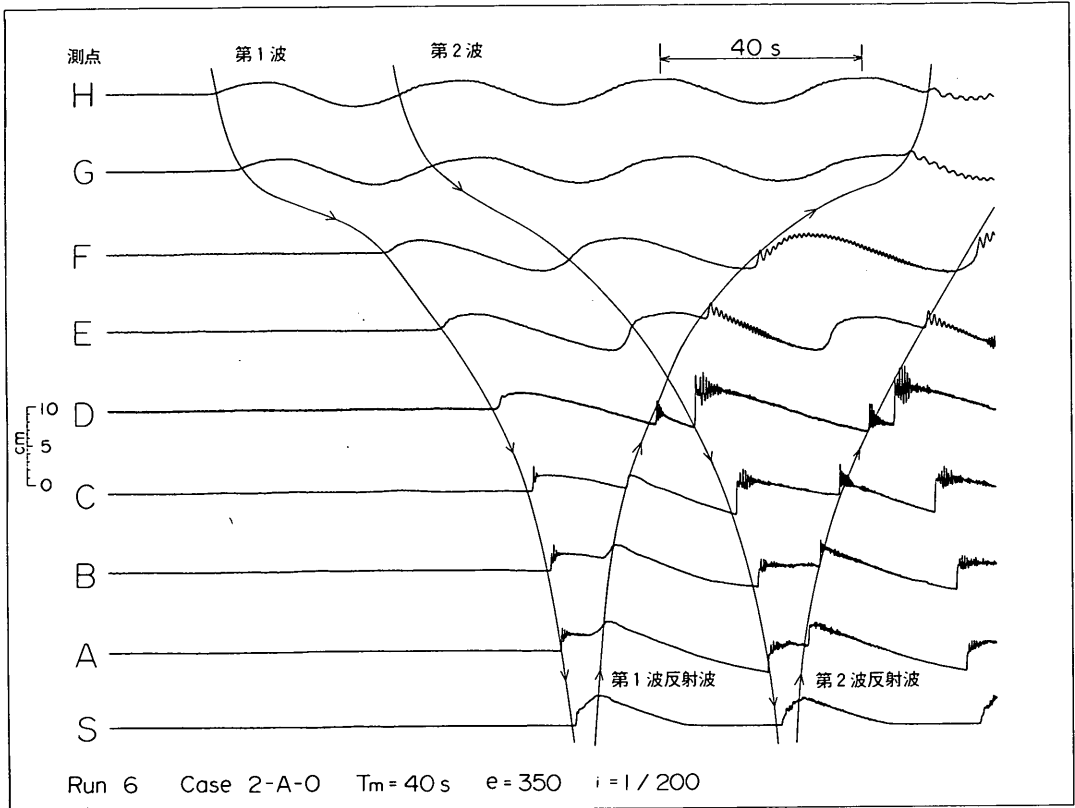


図-6.8 各点における水位記録(押波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$, $e=350$)

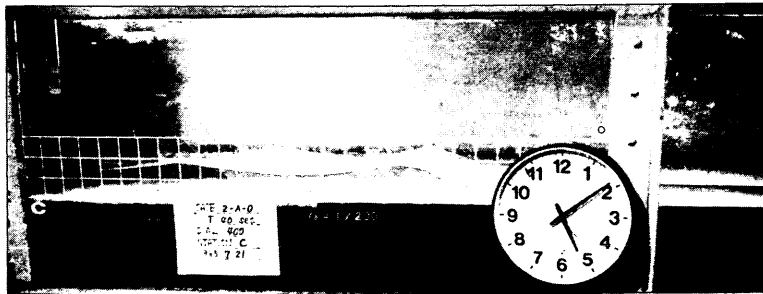


写真-6.1 ソリトンの波形(段波第1波, $T_p=10\text{min}$, C点)

真-6.2, 6.3にこの衝突の状況を示す。この場合も写真-6.1と同様に波の周期は40秒, $e=400$ である。写真の上側が岸側であり, 写真-6.2には岸から戻ってきた第1波の反射波と, 沖側から侵入してくる第2波の段波がとらえられている。なお, 水路中央の波高計の設置してある点がD点である。写真-6.3は反射波と段波が衝突した瞬間であり, 激しく砕けているのがわかる。

汀線付近に話を戻すが, A点およびS点あたりの波形

を見ると, 入射波と反射波の合成された波高は入射段波の波高のほぼ2倍程度であり, 重複波的であると考えられる。反射波が沖へ戻ったあとには引き波がある。この引きが静水面よりかなり下がったところで第2波の段波が進行してくる。第2波の段波は第1波より波峰の分裂が著しい。これはD点付近で第1波の反射波と衝突したことによる影響も考えられるが, 主として引き波にともなう冲向きの強い流れとの干渉によるものと考えられる。



写真-6.2 反射波と段波第2波（衝突前，D点）



写真-6.3 反射波と段波第2波（衝突した瞬間，D点）

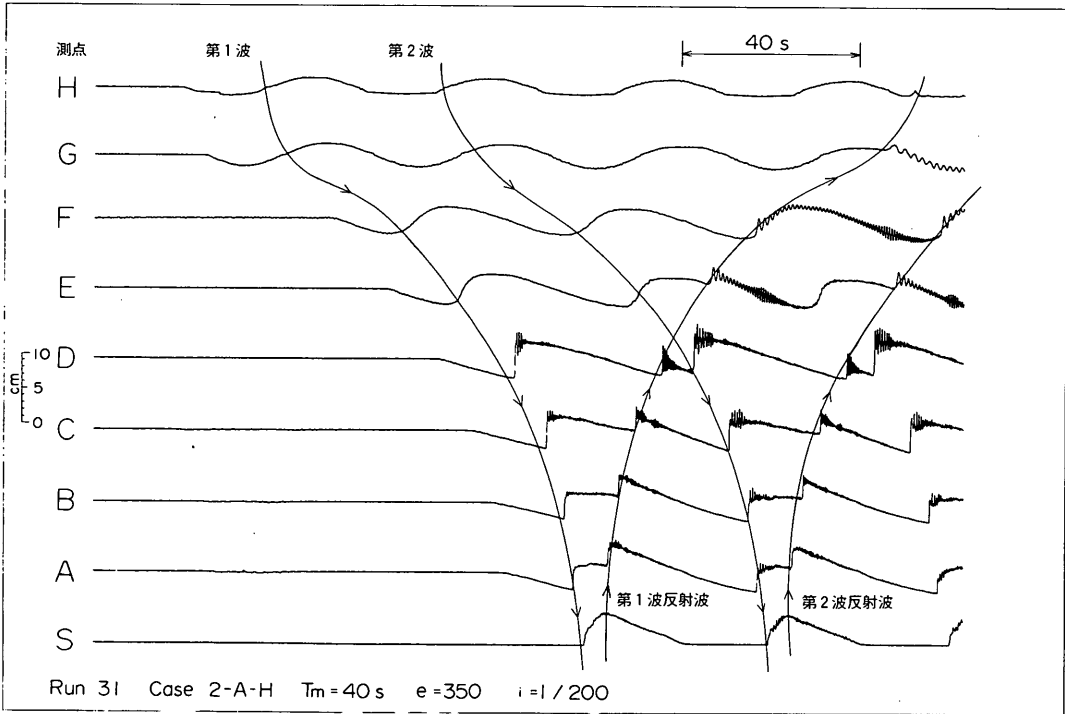


図-6.9 各点における水位記録(引波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$, $e=350$)

ただし、写真-6.2, 6.3にも見られるように、第2波は空気を巻き込んだかなり乱れた段波となっており、第1波のように明瞭なソリトンの分裂が見られるわけ

ではない。

図-6.9には引波初動の場合の水位記録を示す。波の周期、ダイヤルの設定値等はすべて図-6.8と同じとし

ている。この場合には第1波の段波から引き波の影響を受けているために、図-6.8の第2波とはほぼ同じような段波の形状をしており、先に述べたように引き波の影響が大きいことを示している。図中のH点の波形が谷の部分でおかしいが、これはごみの付着によるものである。

図-6.10は図-6.8と波の条件が同じで海底勾配が、 $1/50$ のケースである。この場合には明確な段波の形成はなく、波峰の分裂や砕波も認められない。この場合は重複波となっていると考えてよいであろう。

図-6.11は海底勾配 $1/200$ における非周期波の波形で、このケースも条件は図-6.8と同じである。ただ、正弦波状の1山を与えただけなので、図-6.8の第1波と波形の変化はほとんど変わらない。図-6.8では第1波の反射波の分散波の周期がE点あたりから大きくなっていたが、図-6.11の反射波でも同じようにE点あたりから周期が大きくなっている。しかも、各測点での反射波の波形は両図を比較すると非常に良く似ている。そうすると、図-6.8で第1波の反射波と第2波の段波が衝突した後もお互いにその波形は大きく変わることはなく、反射波の分散波の周期がE点あたりから大きくなっていたのも衝突の影響というよりは波の分散による効果が大

きいと考えたほうが妥当なようである。これは、非線型でありながら、大きなソリトンが小さなソリトンを追い越すときには衝突前後の波形は不変であるという性質と似ていて興味深い。

これらのデータはペンレコーダーに再生し、段波の高さ等を記録紙から読み取った。図-6.12に段波の波形の模式図を示す。段波の先端にソリトンが認められるが、その現れ方は来襲する津波の振幅、周期等により複雑に変化するので、ここでは段波の高さとして平滑化した波高を読みとることとした。 a_1 が第1波の段波の高さ、 a_2 が第2波の段波の高さ、 Δh_1 が第1波の引きの高さである。明瞭にソリトンに分裂しているところは、その最大水位 η_{crest} と最低水位 η_{trough} および次に続く最大水位間の周期等を読みとった。

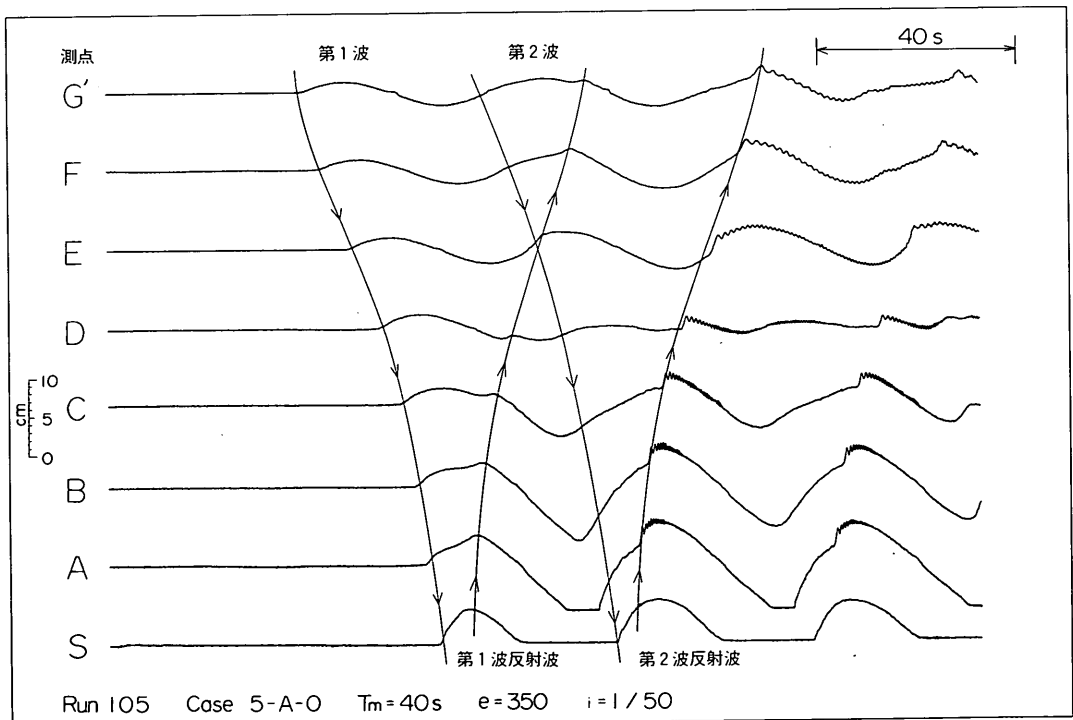


図-6.10 各点における水位記録(押波初動, $i=1/50$, $T_p=10\text{min}$, $e=350$)

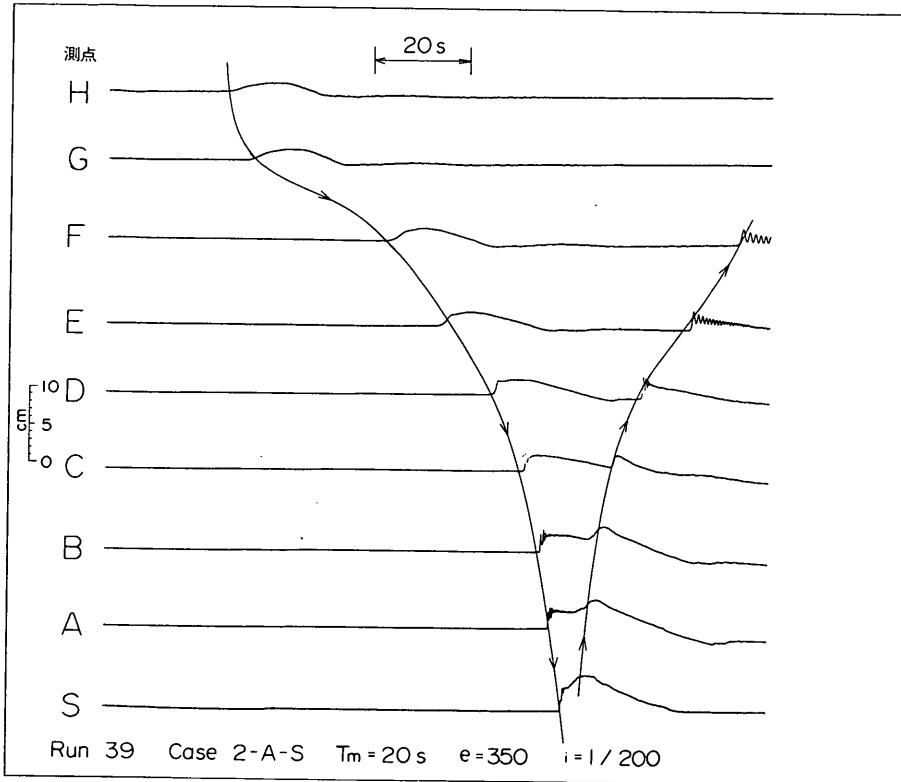


図-6.11 各点における水位記録(非周期波, $i = 1/200$, $T_p = 5\text{ min}$, $e = 350$)

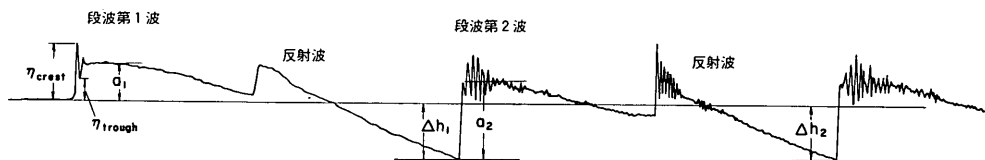


図-6.12 水位記録の例(図-6.8のC点に対応)

(b) 振幅の変化と砕波

図-6.13～6.15 は各測点での水深ごとの第1波の段波の高さ a_1 の変化を示したものである。ただし、段波になっていない沖側では、静水面から最大水位までの値を a_1 としている。

浅海長波の変形でよく用いられるGreenの法則は次式で表される。

$$\frac{a_1}{a_0} = \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{1/4} \left(\frac{b_0}{b_1}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (6.1)$$

ここに、 a_0, h_0, b_0 はそれぞれ基準点0における長波の振幅、水深、水路の幅であり、 a_1, h_1, b_1 はそれぞれ任意点1における長波の振幅、水深、水路の幅である。

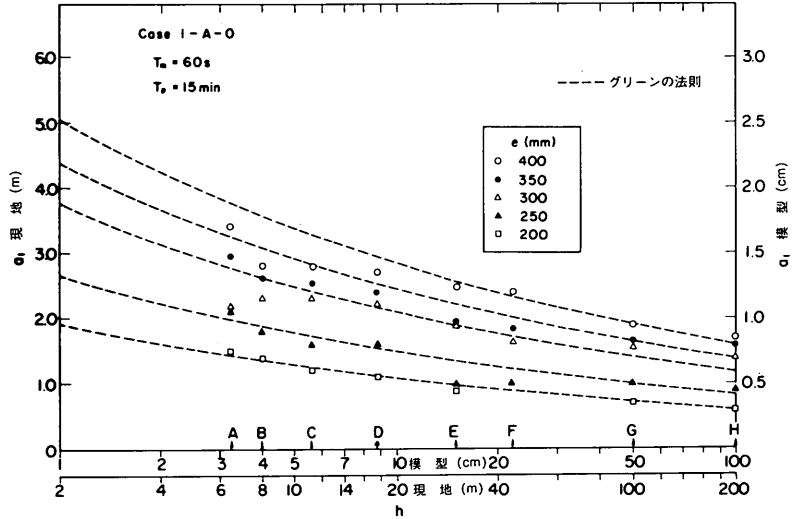


図-6.13 第1波の段波の高さと水深の関係 (押波初動, $i=1/200, T_p=15min$)

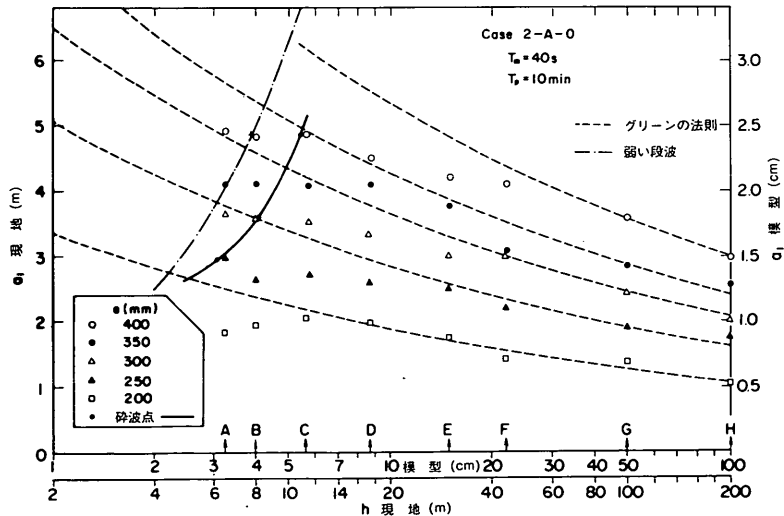


図-6.14 第1波の段波の高さと水深の関係 (押波初動, $i=1/200, T_p=10min$)

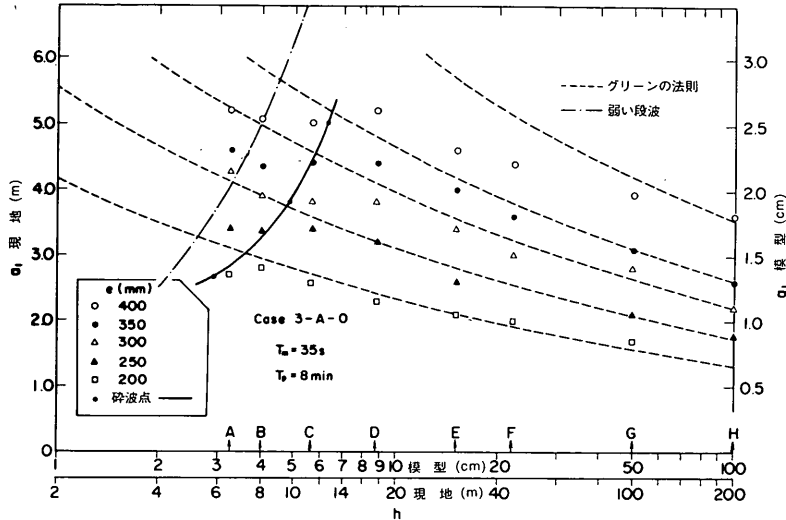


図-6.15 第1波の段波の高さと水深の関係(押波初動, $i=1/200$, $T_p=8\text{min}$)

この式によれば、長波の波高は水深比の1/4乗に逆比例することになる。この法則は

$$L \frac{dh}{dx} \ll h \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

の条件のもとで成り立つ²¹⁾。

いま、 $T_m = 40$ 秒として $h = 1$ mとすれば、 $L = 125.21$ mであり、 $dh/dx = 1/200$ とすると、

$$L \frac{dh}{dx} = 0.63 \quad (\text{m})$$

となる。

したがって、この場合には式(6.2)の条件を十分満足するものではないが、参考のために式(6.1)を計算した曲線が図中に破線で示してある。それによると、振幅の小さいところではほぼGreenの法則に従って変化しているが、振幅が大きくなると水深の減少とともに振幅はそれほど小さくならず、Greenの式からはずれてくる。その原因としては、底面の摩擦による波高減衰の効果と碎波の影響が考えられるが、以下に述べるように碎波後も段波の波高はそれほど小さくならず、むしろ一定値を保っている。これは、先行するソリトンが碎波しているだけで、その後続く段波の平均的な高さまでこの碎波の影響を強く受けていないためであろう。一方、底面の摩擦の効果については、乱流境界層によるエネルギー逸散を考慮する必要があり、今後更に検討の必要がある。

図-6.14と6.15には第1波のソリトンの碎波点の位置を黒丸で示し、それらを実線で結んである。図-6.14には示していないが、 $e = 200$ のケースでの碎波水深は

1.4mである。図-6.14では先導するソリトンが碎波したときの段波の波高と水深の比 a_{1b}/h は0.44~0.49であり、図-6.15では a_{1b}/h は0.39~0.46である。周期の長い $T_p = 15$ minのケース(図-6.13)では碎波は生じていない。

Keller et al²²⁾は一様斜面上での段波の問題を扱ったが、弱い段波(weak bore)の場合の最大波高を次式のように与えた。

$$a_1/h = 0.6262 \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

図-6.14にはこの関係を一点鎖線で示してある。

弱い段波とは、

$$M = \frac{C_s}{\sqrt{gh}} \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

としたときに $M \approx 1$ の場合をいう。ここに、 C_s は段波の波速、 h は水深である。今回の実験では、この条件より小さい波高で碎波が生じているが、これは式(6.3)では段波の前面に生ずる波動成分を考慮していないことによるものであると考えられる。

Shut²³⁾は一様斜面上での微小振幅長波の碎波条件を次式のように与えた。

$$\frac{2a_m}{L} \frac{1}{i} = \frac{2}{\pi} \left(4\pi \frac{l}{L}\right)^{-1} \left\{ J_0^2 \left(4\pi \frac{l}{L}\right) + J_1^2 \left(4\pi \frac{l}{L}\right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots (6.5)$$

ここに、 a_m は斜面上の碎波限界を与える入射波の最大振幅、 L は入射波の波長、 i は斜面の勾配、 l は斜面法先から汀線までの水平距離、 J_0 、 J_1 はそれぞれ0次

および1次のベッセル関数である。

いま、図-6.14の場合について式(6.5)を検討してみる。 $T_m = 40s$ なので $L = 125.21m$, $i = 1/200$, $l \doteq 100m$ とすると、

$$a_m = 0.5 \text{ (cm)}$$

となる。前述のように $T_m = 40s$ の場合 $e = 200$ で砕波は水深が0.7cm(現地換算で1.4m)のところまで生じていたので、このケースがほぼ砕波の限界を示しているも

のと考えられ、このときのH点での a_1 は0.53cmであった。したがって、勾配1/200のケースでは底勾配が一樣ではないものの、斜面長を100mとった場合にShutoの砕波条件と実験とはかなり合っているといえる。

各測点での水深 h を一様水深 h_0 (ここでは $h_0 = 1m$)で無次元化し、第1波の段波の高さ a_1 をH点での片振幅 a_{10} で無次元化したものを図-6.16~21に示す。図-6.16~18は図-6.13~15に対応する勾配1/200のケースで、図-6.19~21は勾配1/50のケースである。

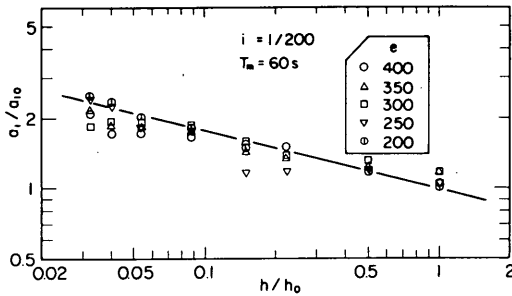


図-6.16 a_1/a_{10} と h/h_0 の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=5\text{min}$)

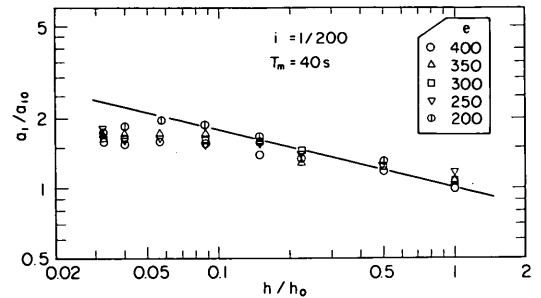


図-6.17 a_1/a_{10} と h/h_0 の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$)

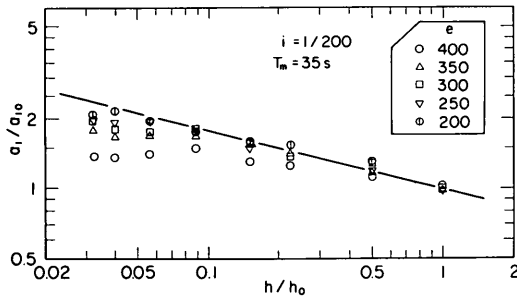


図-6.18 a_1/a_{10} と h/h_0 の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=8\text{min}$)

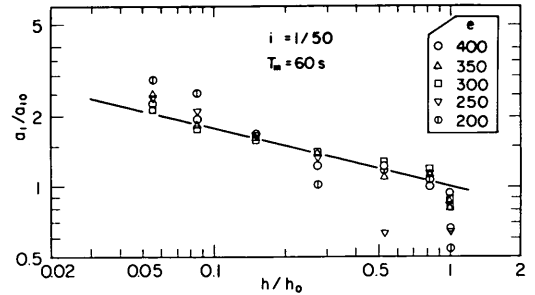


図-6.19 a_1/a_{10} と h/h_0 の関係
(押波初動, $i=1/50$, $T_p=15\text{min}$)

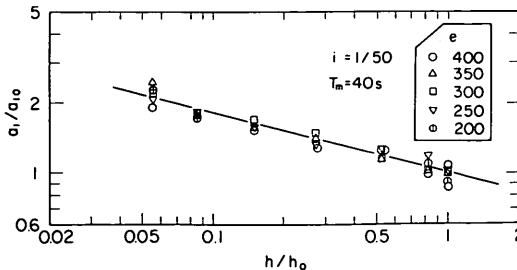


図-6.20 a_1/a_{10} と h/h_0 の関係
(押波初動, $i=1/50$, $T_p=10\text{min}$)

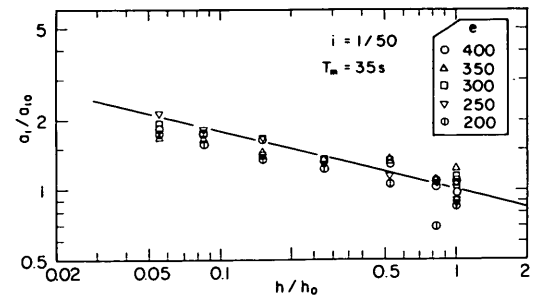


図-6.21 a_1/a_{10} と h/h_0 の関係
(押波初動, $i=1/50$, $T_p=8\text{min}$)

図中の直線はGreenの式(6.1)である。1/50のケースでは反射波を分離するのがむずかしくなるなどのためにデータにばらつきが大きい。

図-6.22~24は第2波の段波の高さ a_2 と水深の関係グリーンの式(6.1)とともに示したものである。やはり図中には砕波点を黒丸で示した。また第1波の反射波と第2波の段波の衝突点を×印で示した。第2波は反射波と重なって段波としての波高を読みとることが不可能な測点が出てくる。図中にカッコで囲ってある点は

一応は読みとれるが、はっきりした段波の山を識別できなかったものである。第2波はその前に引き波をともなうため水深ごとの変化がかなり大きくなっている。また、砕波後の波高の減衰が、第1波よりはっきりと認められる。

図-6.25~27には勾配1/200の各周期ごとの第1波の引きの高さ Δh_1 を、図-6.28~30には勾配1/50の各周期ごとの第1波の引きの高さ Δh_1 を示す。

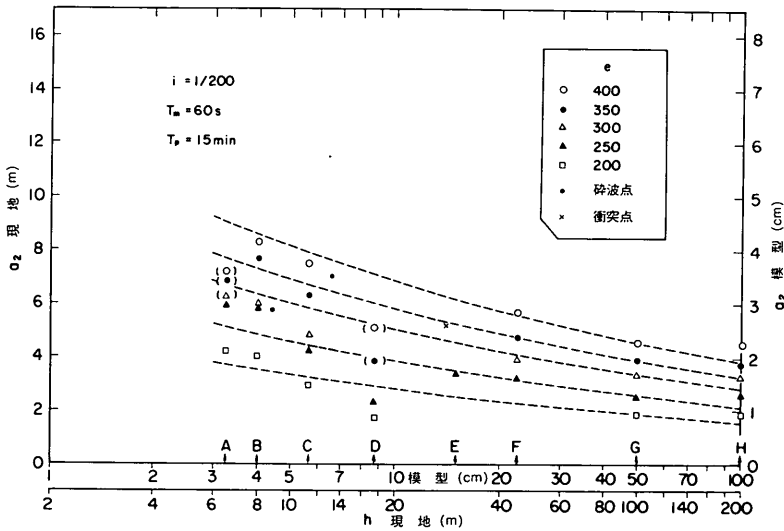


図-6.22 第2波の段波の高さと水深の関係(押波初動, $i=1/200$, $T_p=15\text{min}$)

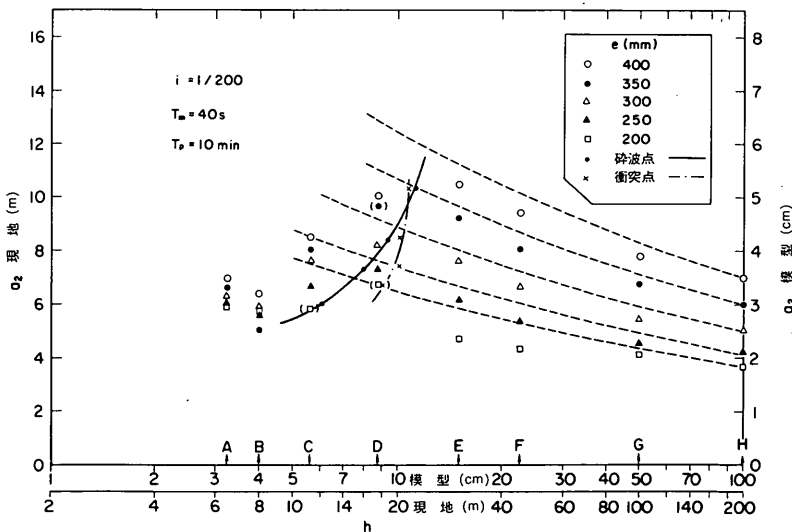


図-6.23 第2波の段波の高さと水深の関係(押波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$)

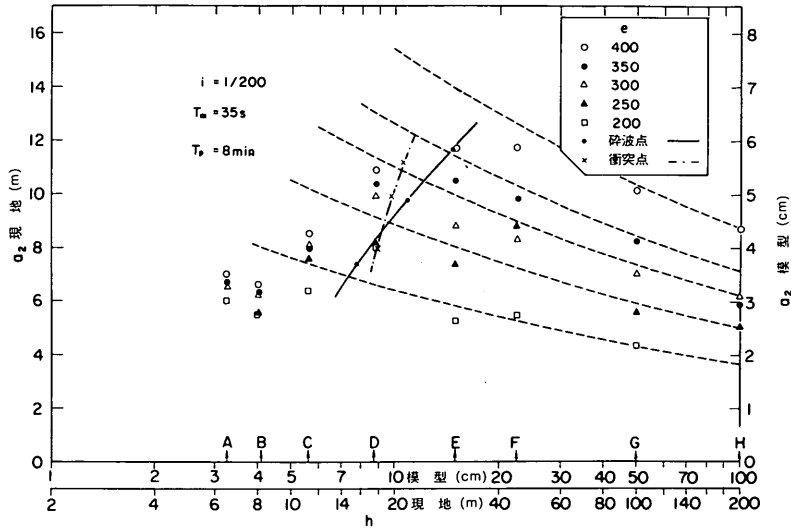


図-6.24 第2波の段波の高さと水深の関係(押波初動, $i=1/200$, $T_p=8\text{min}$)

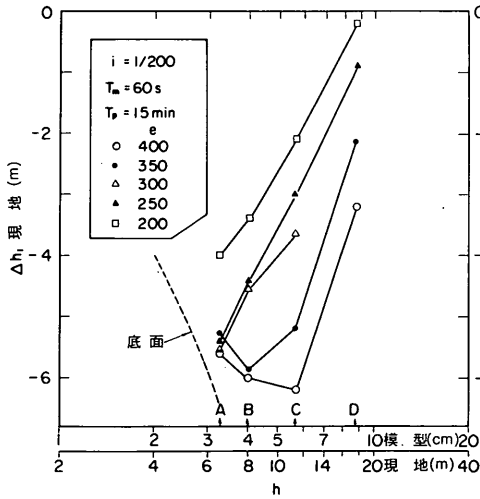


図-6.25 第1波の引きの高さと水深の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=15\text{min}$)

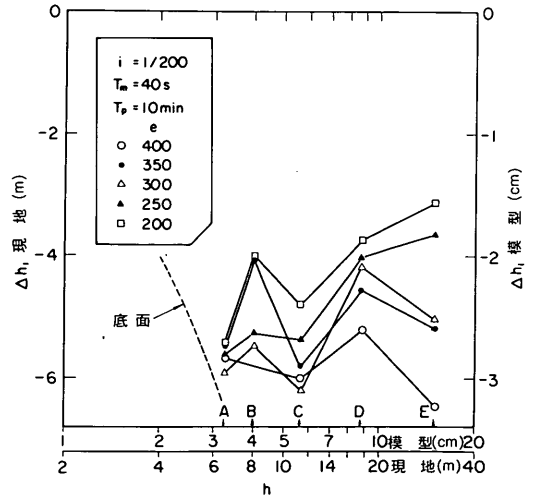


図-6.26 第1波の引きの高さと水深の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$)

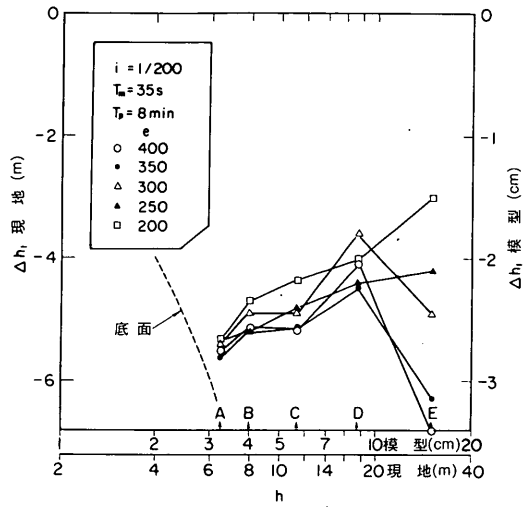


図-6.27 第1波の引きの高さと水深の関係
(押波初動, $i = 1/200$, $T_p = 8min$)

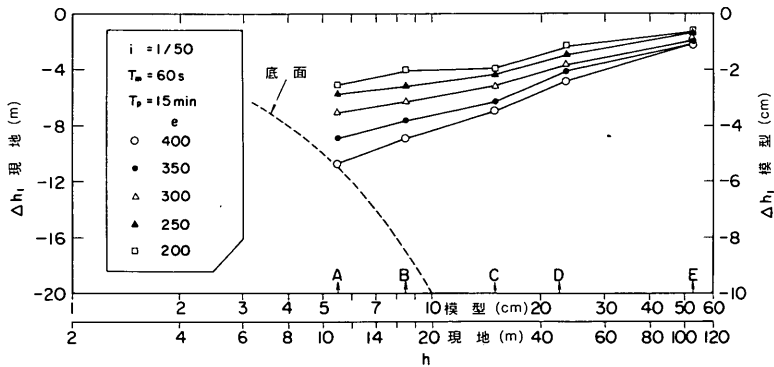


図-6.28 第1波の引きの高さと水深の関係(押波初動, $i = 1/50$, $T_p = 15min$)

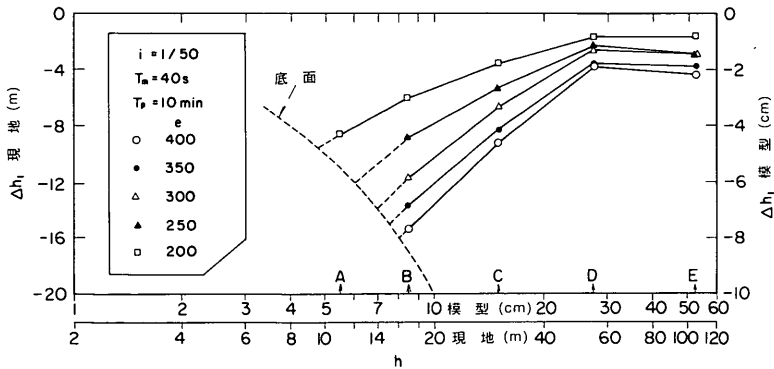


図-6.29 第1波の引きの高さと水深の関係(押波初動 $i = 1/50$, $T_p = 10min$)

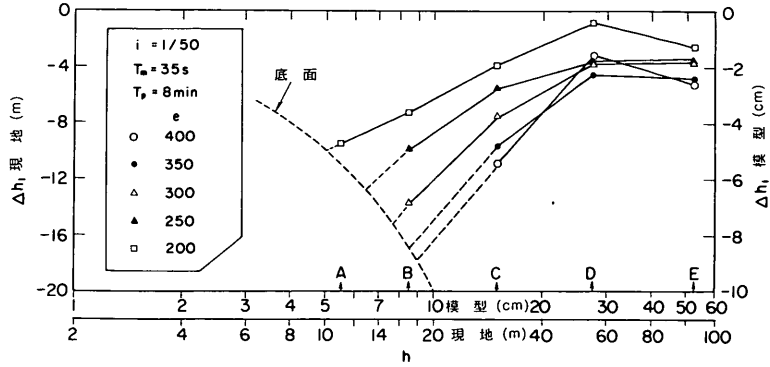


図-6.30 第1波の引きの高さと水深の関係(押波初動, $i=1/50$, $T_p=8\text{min}$)

(c) ソリトン

段波が進行すると分散を始め、分散波列を形成して波状段波となり、その分散波は終局的にはクノイド波や孤立波などの保存波に移行するというは昔から良く知られている事実である²⁴⁾。最近ではこれらの分散波の発生は非線型の波動問題として、統一的にとらえられ、^{25), 26)}発生した波はその独立性からソリトンと呼ばれることが多い。今回の実験でソリトンが発生したのは底勾配が $1/200$ で波の周期が10分と8分のほとんどのケースであった。わずかに周期10分で波高の最も小さい $e=200$ のケースでソリトンの発生がなかったのみである。このソリトンの性質を見るために、押波初動の第1波の段波上に発生したソリトンの最大水位と最小水位および周期を読み取った。ソリトンの周期は最大波高を持つ波の峰とすぐ次に続く峰との時間を測って求めた。ソリトンの最大水位 η_{crest} と最小水位 η_{trough} (図-6.12の説明図参照) を第一波の段波の波高 a_1 で無次元化し、水深に対

する段波の相対波高との関係を示したのが図-6.31, 32である。図中の横軸の a_1/h が小さいところからソリトンが発生し、急速にその波高が増加して最大値に達してから減衰し始め、やがて消滅する過程を示している。図中の曲線はデータの包絡線を描いたものである。図-6.31の $T_p=10\text{min}$ の場合にはソリトンの高さは段波の波高の1.8倍程度にもなる。また、図-6.32の $T_p=8\text{min}$ の場合にはその比が2倍程度まで大きくなっている。防波堤などの構造物に働く瞬間的な波力や、越流などについて考える場合には、この分散波の影響を考慮しなければならない場合もあろう。

図-6.33, 34は図-6.31, 32に対応する段波第1波のソリトンの最大波の周期 T_s を現地換算で示したものである。図-6.33の $T_p=10\text{min}$ のケースで、ソリトンの周期 T_s は5~8秒(現地)程度である。また、図-6.34の $T_p=8\text{min}$ のケースではソリトンの周期はやや大きくなり6~10秒(現地)程度となっている。

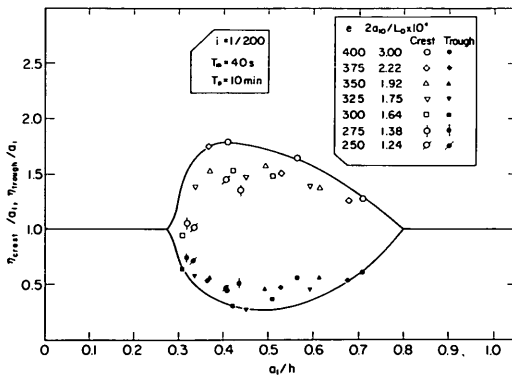


図-6.31 η_{crest}/a_1 , η_{trough}/a_1 と a_1/h の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$)

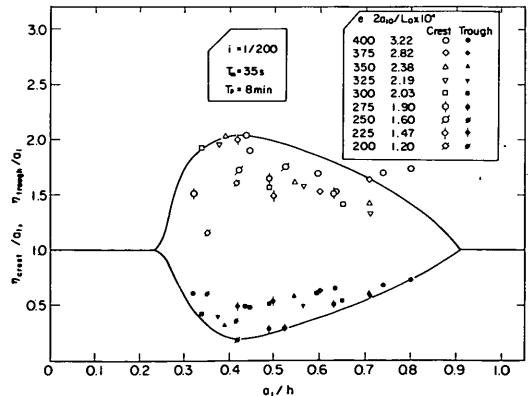


図-6.32 η_{crest}/a_1 , η_{trough}/a_1 と a_1/h の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=8\text{min}$)

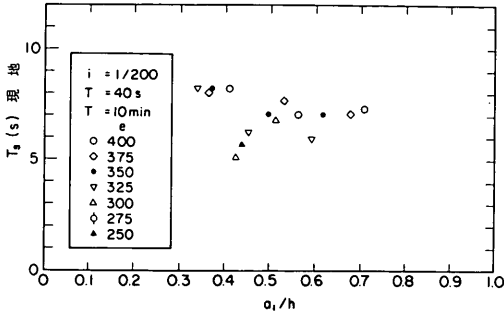


図-6.33 ソリトンの周期 T_s と a_1/h の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=10\text{min}$)

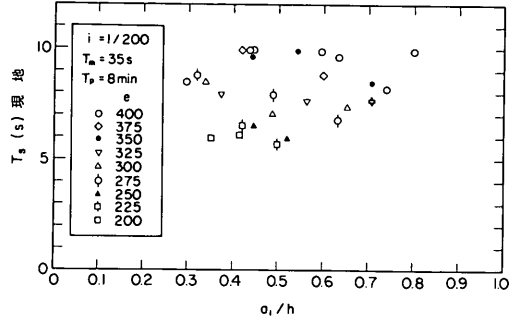


図-6.34 ソリトンの周期 T_s と a_1/h の関係
(押波初動, $i=1/200$, $T_p=8\text{min}$)

(2) そ上高 (構造物なし)

(a) 第1波のそ上高

図-6.35~37は押波初動の第1波のそ上高 R_1 と一様水深での波高 $2a_{10}$ (a_{10} は静水面からの峰高)との関係を示したものである。各周期とも $i=1/200$ のほうが $i=1/50$ よりもそ上高が大きめであるが、40秒と35秒の周期では波高が大きくなってくるとその差が小さくなり、35秒の場合は $2a_{10} > 3\text{cm}$ では $i=1/50$ のほうが大きくなる。

図-6.36には非周波のそ上高も示してあるが、(1)で述べたように周期波の第1波とほとんど変わらない。

Keller & Keller²⁷⁾, Shuto²⁸⁾の線型理論による津波のそ上高は次式で与えられる。

$$\frac{R}{2a} = \{J_0^2(4\pi \frac{l}{L}) + J_1^2(4\pi \frac{l}{L})\}^{-\frac{1}{2}} \dots (6.6)$$

ここに、 R はそ上高、 $2a$ は入射波の波高、 L は入射波の波長、 l は斜面の水平距離、 J_0 、 J_1 はそれぞれ0次および1次のベッセル関数である。

富樫・中村²⁹⁾は有限振幅の波と砕波も含めた次の実験式を提案した。

$$\log\left(\frac{R}{2a}\right) = 0.421 - 0.095 \log\left(\frac{l}{L}\right) - 0.254 \left\{\log\left(\frac{l}{L}\right)\right\}^2, 10^{-1} \leq \frac{l}{L} \leq 1.3 \dots (6.7)$$

今回の実験では斜面が一様ではないので比較はむずかしいが、一応 $i=1/200$ で $l=100\text{m}$ 、 $i=1/50$ では $l=49.25\text{m}$ とした場合の式(6.6)と(6.7)の関係が図中に示してある。これらの図は第1波のそ上高についてなので、式(6.7)を計算する場合には第1波を非周期波と考えると $L=L_0/2$ (L_0 は一様水深での波長)、 $2a=a_{10}$ として比較している。この定義によると $i=1/200$ のケースでは l/L は40秒と35秒の周期で1.3よりも大きくなりこの式の適用範囲外となるが、一応の目安とし

て図中には計算値を示しておいた。これらの直線と実験値を比較すると、 $i=1/200$ と $1/50$ の両ケースとも

Shutoの理論式と富樫・中村の式との中間の値となっている。周期40秒のケースでは $i=1/200$ で今回の実験値はShutoの理論式より約38%小さく富樫・中村の実験式の約2倍である。また $i=1/50$ ではShutoの理論式より約30%小さく富樫・中村の実験式より約40%大きい。

今回の実験では斜面が一様勾配ではなく、汀線近くでかなり急勾配になっていて、 $i=1/200$ のケースではさらに沖側でも $1/200$ から $1/10$ に勾配が急変している。これらの影響がそ上に与える影響については現在のところ明らかではなく、式(6.6)、(6.7)との差が生じた原因の一つと考えられるが、実用上からもかなり重要な問題であり今後さらに検討する必要がある。

図-6.38は $i=1/200$ について各周期ごとのそ上高と波高の関係を見たものである。周期10分と8分については波高に対するそ上高の増加の傾向はほとんど同じであるが、波高の大きいところでは増加の割合は小さくなりその傾向も異なっている。周期10分のケースでは、他の周期と比べてそ上高の増加の割合が小さくなっている。

これらのデータのうち、ほぼ直線的に変化している領域について最小二乗法により現地量換算で実験式を求めると次のようになる。

周期10分(模型で40秒)と8分(模型で35秒)の波に対して、

$$R_1 = 2.16 H_0 + 0.99 \\ 1.4 < H_0 < 4.4\text{m} \dots (6.8)$$

周期15分(模型で60秒)の波に対して、

$$R_1 = 1.80 H_0 + 0.77 \\ 1.2 < H_0 < 3\text{m} \dots (6.9)$$

ここに、 H_0 は沖側の一様水深での波高(m)で、 R_1

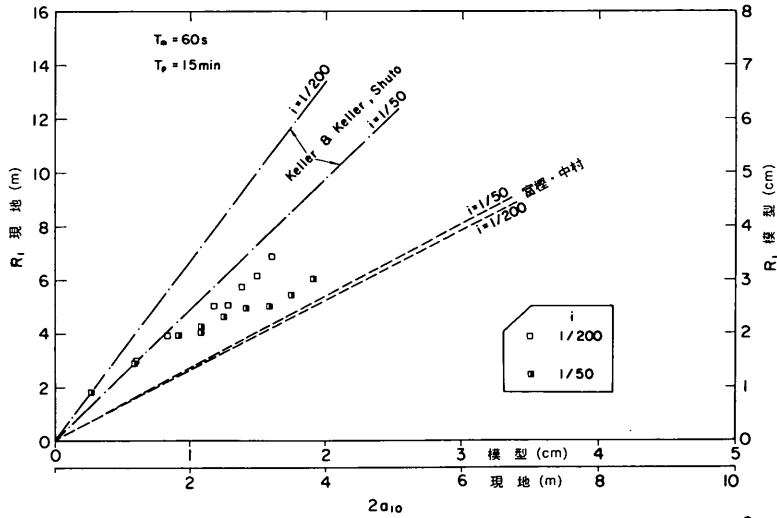


図-6.35 R_1 と $2a_{10}$ の関係
(押波初動, $T_p = 15$ min)

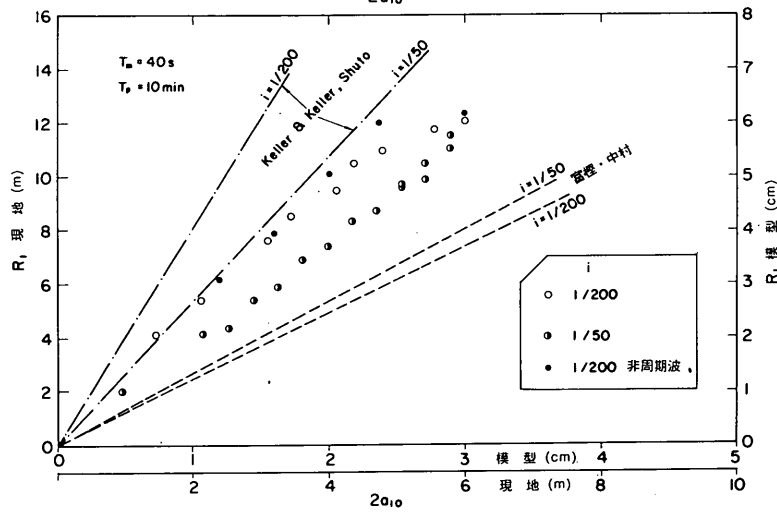


図-6.36 R_1 と $2a_{10}$ の関係
(押波初動, $T_p = 10$ min)

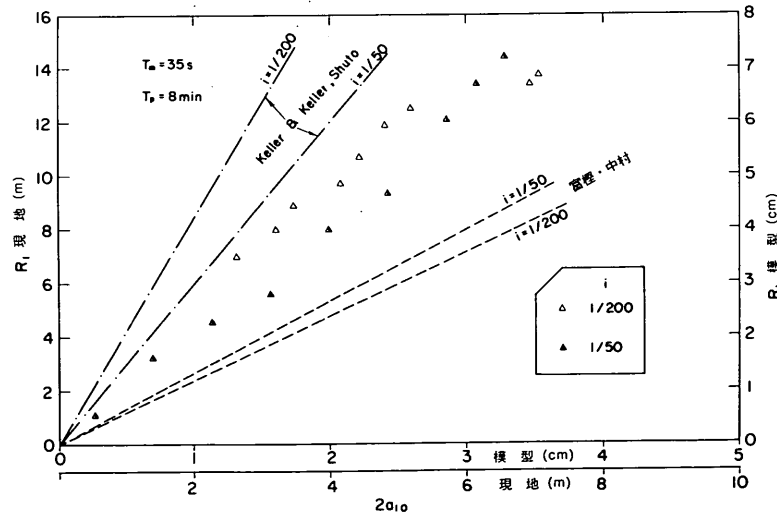


図-6.37 R_1 と $2a_{10}$ の関係
(押波初動, $T_p = 8$ min)

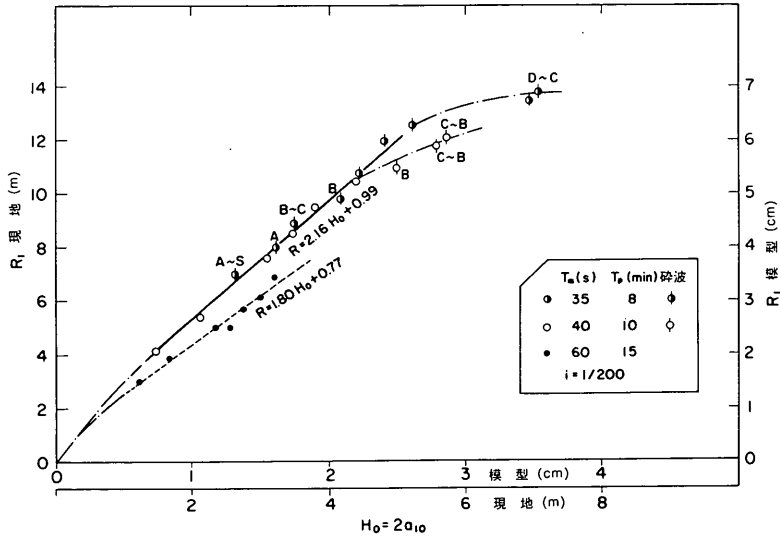


図-6.38 R_1 と $2 a_{10}$ の関係 (押波初動, $i=1/200$)

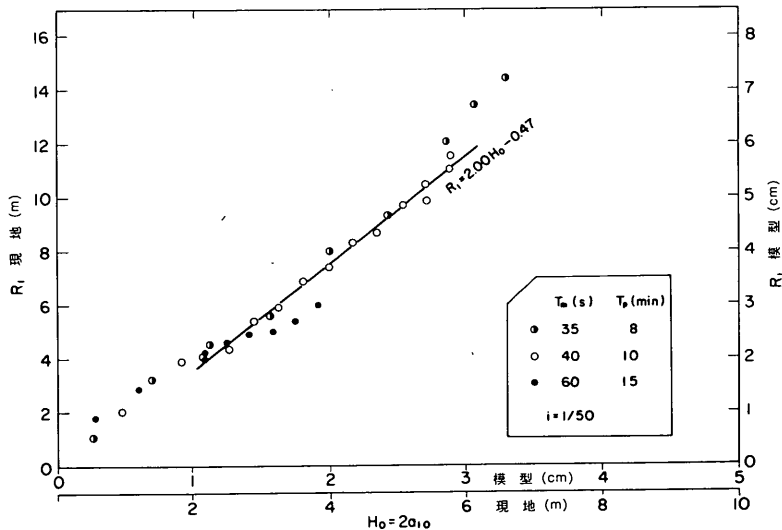


図-6.39 R_1 と $2 a_{10}$ の関係 (押波初動, $i=1/50$)

はそ上高 (m) である。また図中には砕波した波を縦棒で、砕波地点とともに示してある。本実験で、周期8分と10分の波が波高に対してはほぼ同一のそ上高となっていたのは、周期8分の波では砕波によるそ上高の減少が生じていたためであろう。

図-6.39は $i=1/50$ の各周期ごとの第1波のそ上高である。 $i=1/200$ と違い、全体的にそ上高と波高に直線関係が見られない。波高が2.8m程度までは各周期で大きな差はないが、これより大きな波高で周期15分の波

のそ上高が小さくなる。さらに波高が5m程度までは周期10分と15分でそ上高はほぼ等しい。本図では、各周期とも波高とそ上高の関係を線型と見るのは無理があるが、周期10分の波についてだけあえて直線で近似すると次式のようなになる。

$$R_1 = 2.00 H_0 - 0.47$$

$$2.1 < H_0 < 5.9 \text{ m} \dots (8.10)$$

(b) 第2波以降のそ上高

図-6.40, 41は $i = 1/200$ で押波初動の場合の第2波のそ上高 R_2 と第3波のそ上高 R_3 をそれぞれ一様水深での波高 H_{20} , H_{30} との関係で示したものである。図中には第1波の波高とそ上高の関係も示してある。第2波と第3波のそ上高にほとんど差がないのは、図-6.8の第2波と第3波の各測点での波形がかなり一致していることから当然といえよう。このときの波高 H_{20} , H_{30} は先行する谷から山までの偏差をとっている。沖で

の波高をこのように定義したのは引波初動との関連をつけるためと、そ上を考える場合には波が斜面上を進行するに従って変形し、段波状になるが、このときの段波の波高は谷から山までをとっているの、沖側でもこれに対応して谷から山までをとるべきであると考えられるからである。第2波、3波の波高が第1波より大きくなっているのは、第1波の峰高が第2波以降の波の波高の1/2より小さめのためである。これは、第1波の造波時に、水路側壁と造波板との間に水の移動があ

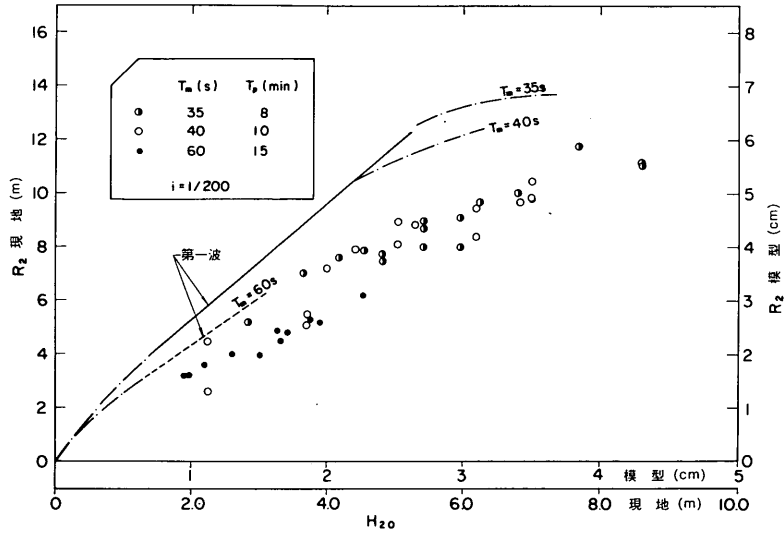


図-6.40 R_2 と H_{20} の関係(押波初動, $i=1/200$)

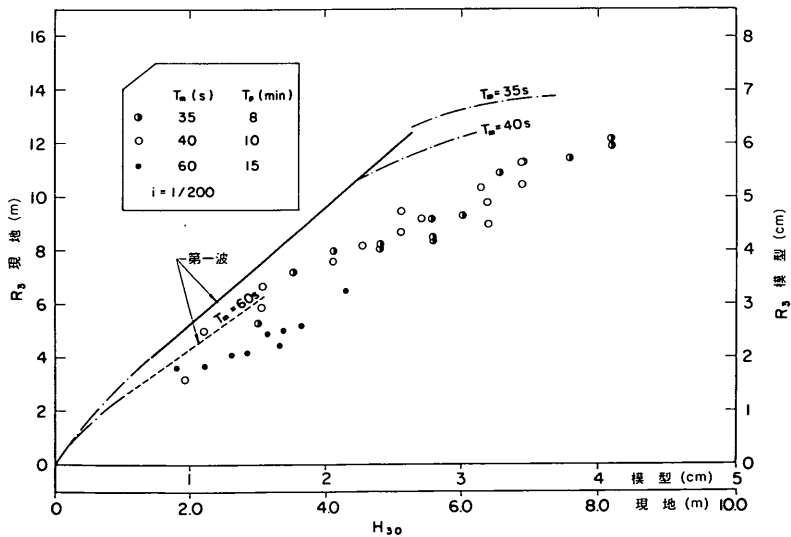


図-6.41 R_3 と H_{30} の関係(押波初動, $i=1/200$)

ったためと思われる。また周期についても第1波は模型で周期40秒の波について正しくは38秒程度しかない。第2波の以後は正確に40秒である。しかし、波長に直すとこれは5%程度の差なので、ここでは周期の差は無視してすべての波を設定した周期の波と考えている。第2波、第3波のそ上高は第1波に比べるとばらつきはあるが、周期10分で25%程度小さくなっている。第2波以降はそれに先行する引きがあるため、段波の高さは第1波より高いものの、平均水位の低下も考慮するとそ

上高そのものは今回の実験では第1波を越えるようなことはなかった。

図-6.42は $i = 1/50$ の第2波のそ上高 R_2 と沖での波高 H_{20} との関係を示している。図中には第1波の波高とそ上高の関係を直線で示してあるが、この場合には $i = 1/200$ のケースとは違って、1波と2波でそ上高には大きな違いはない。

(c) 引き波初動の場合のそ上高

図-6.43に引波初動の第1波の波高 H_{10} とそ上高 R_1

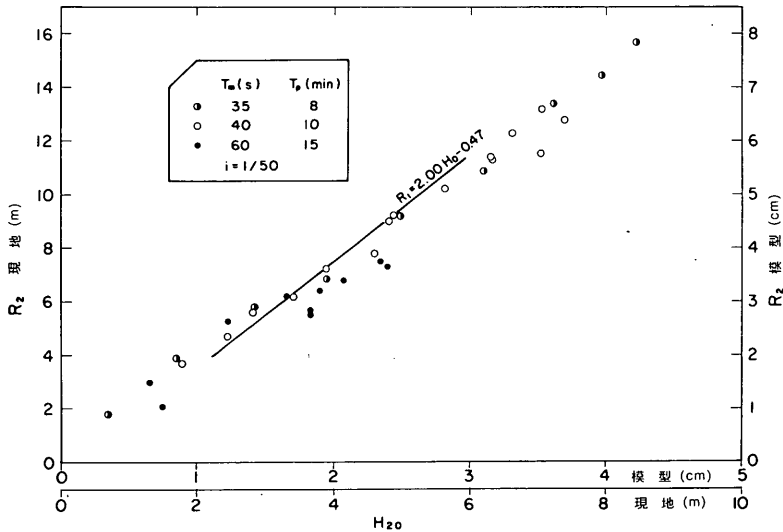


図-6.42 R_2 と H_{20} の関係(押波初動, $i=1/200$)

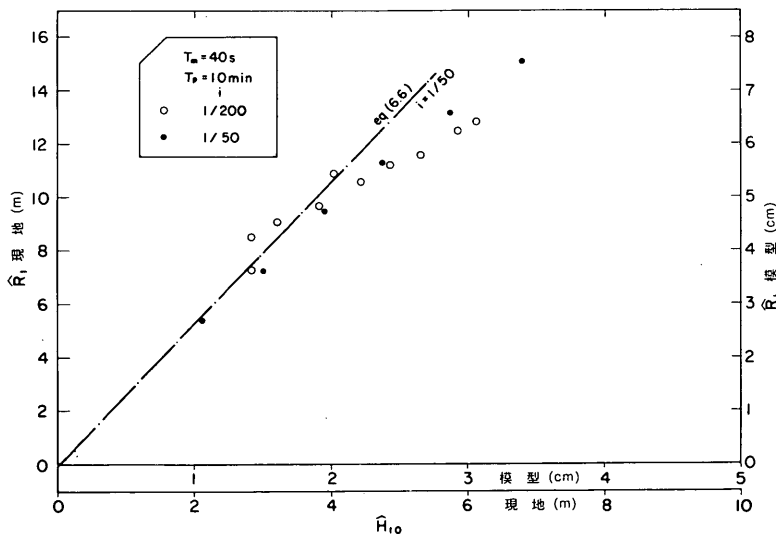


図-6.43 \hat{R}_1 と \hat{H}_{10} の関係(引波初動, $T_p=10\text{min}$)

の関係を示す。引波初動では、押波初動の第2波と状況は似ていると考えられるか、 $i = 1/200$ の図-6.40と比べると押波初動の第2波のそ上高のほうがかなり小さくなっている。これは、引波初動の場合には第1波の先端の引きの効果が押波初動の第2波ほど大きくないためであり（図-6.9参照）、これらの図から押波初動でも引波初動でもいったんそ上したあとの引き波の効果が次のそ上に対して大きな影響を与えることがうかがわれる。

また、図中には $i = 1/50$ の場合の式(6.6)の関係が引いてあるが、波高の小さいところで実験値と理論値はほぼ等しい。しかし、波高が大きくなるにつれて実験値は理論値からはずれて小さくなる傾向が見られる。この場合には砕波は生じていないが波高が大きくなるほど引きの効果も大きくなっているためにそ上高の増加が小さくなっていくのではないかと思われる。

(d) 波形勾配とそ上高の関係

次に第1波のそ上高と波形勾配との関係を調べるために、そ上高 R_1 を a_{10} で無次元化した相対そ上高と波形勾配の関係を図-6.44, 6.45に示す。

$i = 1/50$ の場合は条件に近い Kaplan³⁰⁾の実験式と、富樫・中村²⁹⁾の $i = 1/40$ の場合の実験式も示してある。 $2a_{10}/L_0 < 10^{-4}$ では Kaplanの式と傾向が似ているが、Kaplanの実験では波形勾配 H/L が $10^{-3} \sim 10^{-1}$ の波に対して得た結果であり、富樫・中村は波形勾配の小さい領域($H/L < 10^{-3}$)にまで実験式を外挿するのは誤りであるとしている。

図-6.44と45を比べると、 $i = 1/200$ のほうが $i = 1/50$ より相対そ上高が大きくなっている。この原因を調べるために、汀線での波高 H_s を a_{10} で無次元化し、波形勾配との関係を見たのが図-6.46である。この H_s は斜面上での水深の変化による shoaling 変形、底面の

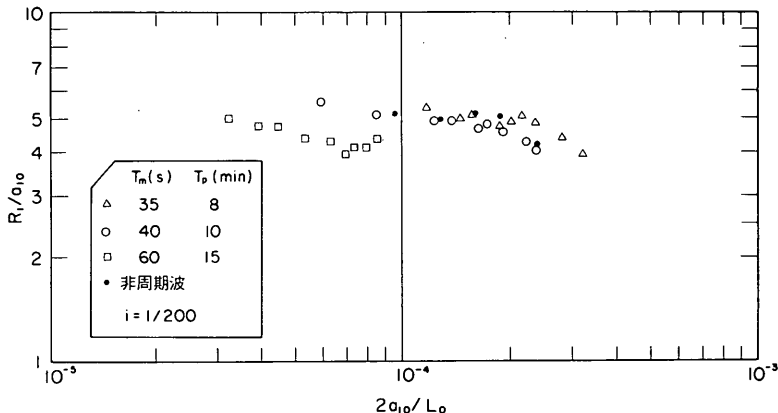


図-6.44 第1波の相対そ上高と波形勾配の関係(押波初動, $i=1/200$)

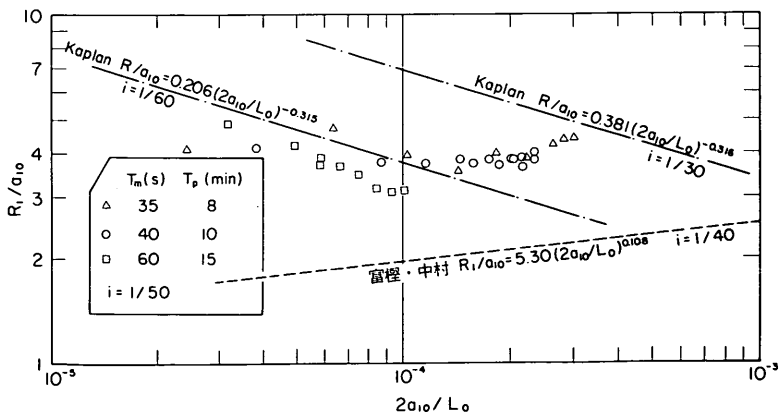


図-6.45 第1波の相対そ上高と波形勾配の関係(押波初動, $i=1/50$)

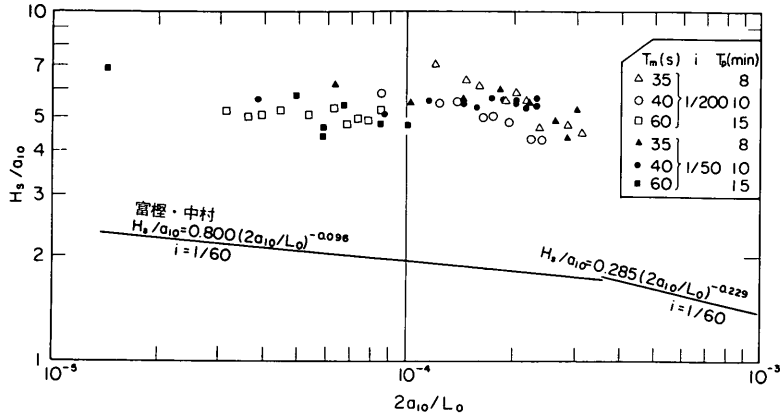


図-6.46 第1波の H_s/a_{10} と $2a_{10}/L_0$ の関係 (押波初動)

摩擦と砕波による減衰，そ上波の反射による波高増加などを含んでいるが， $i = 1/200$ と $1/50$ で大きな違いは見られない。周期10分（模型で40秒）の場合は，逆に波形勾配の大きいところで $i = 1/50$ のほうが汀線での相対波高は大きくなっている。それに対してそ上高は $i = 1/200$ のほうが大きいということは，図-6.8と6.10を比較してもわかるように，入射波形の違いによってこの差が生じているものと考えられる。すなわち，汀線でも水深方向に流速が一樣であると考えれば，図-6.8の $i = 1/200$ の場合には入射波が段波状になり前面が切り立っているの，そ上に寄与する岸向きの流量は図-6.10の $i = 1/50$ の場合より多くなるものと思われる。

(e) アーセル数によるそ上高の変化

波形勾配と相対そ上高の関係では，明らかに周期による違いが現れていた（図-6.44，45）。本実験では波形勾配は $10^{-5} \sim 10^{-4}$ のオーダーでありかなり小さいが，水深も波長に比べてかなり小さく，この効果も考慮する必要がある。浅海波の非線型効果をあらわすパラメータとしてはアーセル数 U_r が用いられる。そこで，ここでは一様水深部でのアーセル数 $U_r (= 2a_{10} L_0^2 / h_0^3)$ を求め，これと相対そ上高の関係を調べてみた。図-6.47が $i = 1/200$ ，図-6.48が $i = 1/50$ のケースである。 $i = 1/200$ では各周期のデータはよくまとまり，アーセル数の増加とともに相対そ上高は減少する傾向にあり， $U_r = 450$ 付近で最小値となりそれからまたやや増加の傾向が見られる。 $i = 1/50$ の場合は $i = 1/200$ のときほどまとまっていないが， $i = 1/200$ と同様にアーセル数の増加とともに相対そ上高はやや減少の傾向にある。

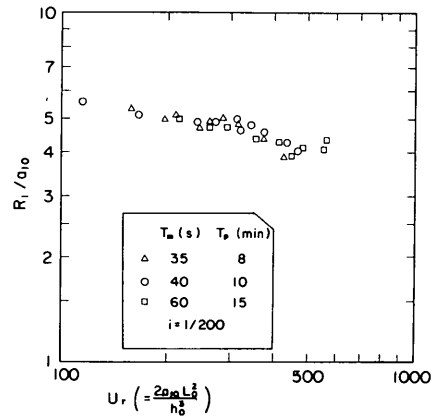


図-6.47 第1波の相対そ上高とアーセル数の関係 (押波初動， $i = 1/200$)

(3) そ上高 (構造物あり)

各種構造物を設置した場合の押波初動第1波の一様水深での波高 $2a_{10}$ と第1波のそ上高 R_1 との関係を図-6.49に示す。

図中の各構造物についてもう一度説明すると，防波堤は図-6.4に示すように水深4.5cm（現地換算で9m）の位置に設置したアクリル製の模型であり，透過堤は図-6.5に示すステンレス製金網に砂利をつめたもので，設置水深は防波堤と同じ，離岸堤は図-6.6に示すように図6.5と同様ステンレス製金網に砂利を詰めたもので水深2.5cm（現地換算で5m）に設置したもので，埋立護岸は図-6.7に示すとおり，水深2.75cm（現地換算で5.5m）まで埋立護岸を設置したものである。

図中の実線は図-6.38に示した構造物なしの場合の $T_p = 10$ 分の場合である。各構造物ともそ上高を軽減す

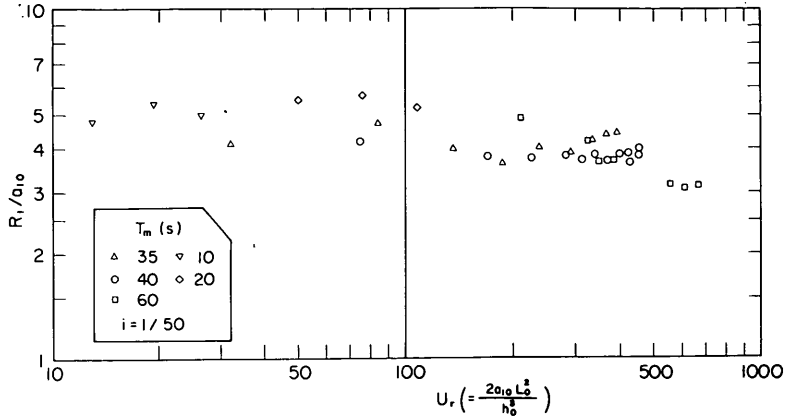


図-6.48 第1波の相対そ上高とアール数の関係(押波初動, $i=1/50$)

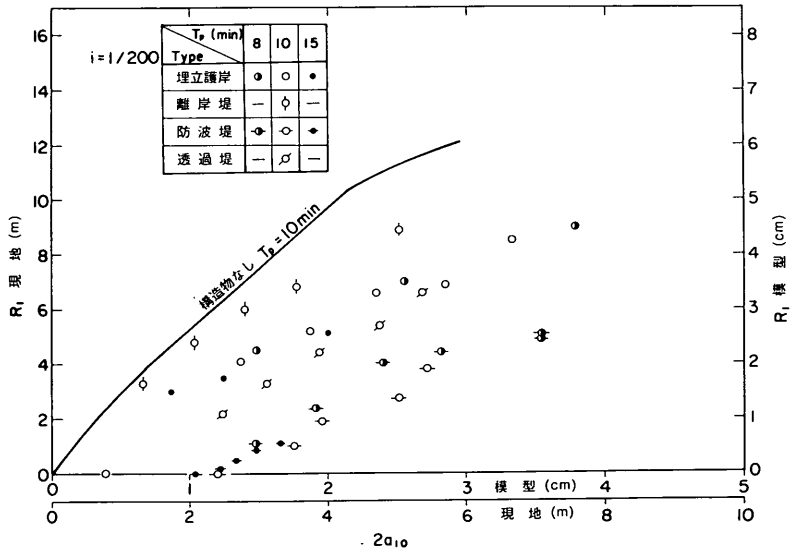
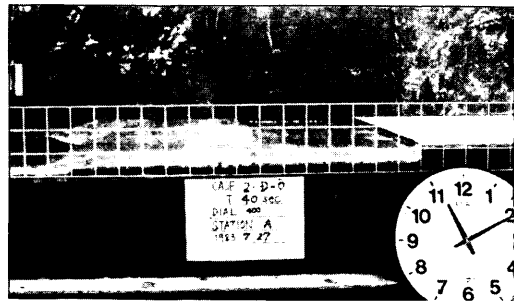


図-6.49 R_1 と $2a_{10}$ の関係(構造物あり, 押波初動, $i=1/200$)

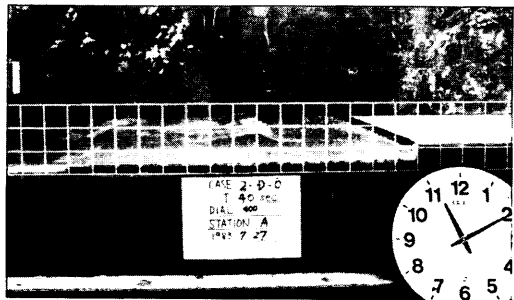
る効果が見られる。防波堤、護岸とも周期による違いはあまり見られない。構造物の中で特に効果があるのは防波堤ありのケースで、構造物なしの場合のそ上高 R_1 が 6.2 m の場合でも防波堤ありではそ上が起こっていない。これは、波高が小さいケースでは防波堤で波が反射されてしまい、防波堤を越えて越流が生じていないためである。もちろんこの実験は 2 次元的であり、現地では 3 次元的な回り込みの影響があるのでこれほどの効果が期待できるわけではない。

埋立護岸についてもそ上高低減の効果があり、構造物なしと比べても約 40% 程度はそ上高が小さくなっている。侵入してきた津波は護岸前面で一部反射される。護岸の天端より高い水位の部分はそのまま直進してそ上するが、護岸前面で反射させられた分だけそ上高は減少する。防波堤の場合と比べても、そ上高の差は 3 m 程度で、波高が大きくなってこの差はそれほど変わっていない。

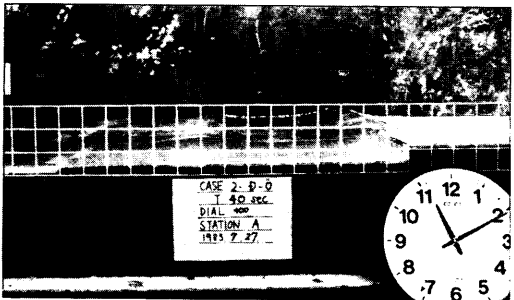
写真-6.4, 6.5は埋立護岸にそ上する波の状況を示したもので、波の周期は10分、 $e = 400$ のケースである。写真-6.4(a)~(d)は第1波の状況を示しているが、



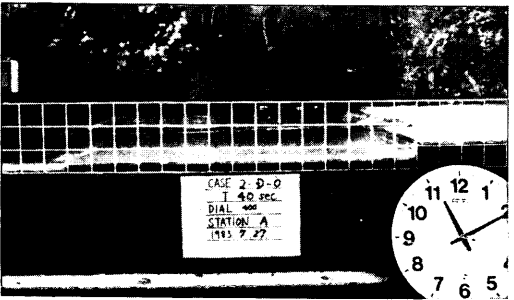
(a)



(b)



(c)



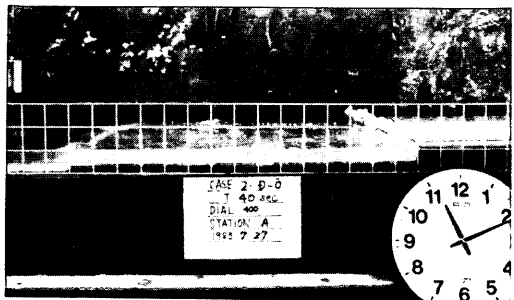
(d)

写真-6.4 埋立護岸へそ上する段波第1波
($T_p = 10\text{min}$, $e = 400$)

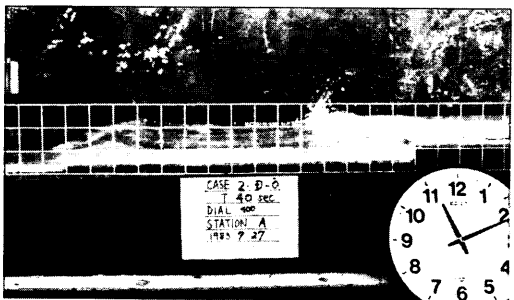
裂した波峰が護岸に乗り上げそ上している。写真-6.5 (a)~(d)は第2波のそ上の状況で、第1波の引きがあるために入射してくる段波のかかなりの部分が護岸前面で反



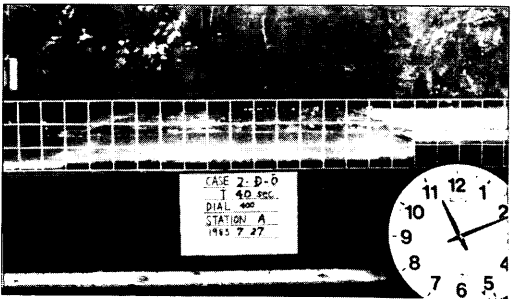
(a)



(b)



(c)



(d)

写真-6.5 埋立護岸へそ上する段波第2波
($T_p = 10\text{min}$, $e = 400$)

射している。

写真-6.6は離岸堤を設置したケースで、波の周期は10分、 $e = 250$ の場合である。これは汀線付近から沖側へ向けて撮ったもので、写真-6.6(a)は入射波が分裂しながら離岸堤に向かって進んでくるところを、写真-6.6(b)はこれらの波が離岸堤に到達して砕けているところを示している。

6.3 直立壁に働く津波力

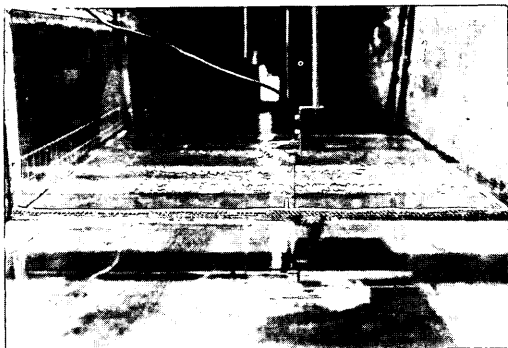
(1) 記録の例および整理の方法

一般に津波は近地地震津波で10~20分程度、遠地地震で30~50分程度の周期が長い波であり、外洋においては波高はそれほど大きくない³²⁾。また、構造物の大きさにくらべて津波の波長は著しく大きい場合がほとんどであり、波というよりは流れとして扱えば十分な場合が多い。しかし、今回の津波のようにかなり海底勾配の緩やかな海底を持つ海域を進行してきたような場合には津波は段

波状となって進行してくるので、このような状況のもとで構造物にどのような津波力が働くかを知っておく必要がある。今回は被災した能代火力発電所用地護岸を想定し、海底勾配 $i = 1/200$ で水深9mの位置に天端高4m、幅10mの防波堤模型を入れて波圧の測定を行った。また、 $i = 1/50$ でも同じ水深のところに防波堤を設置して測定を行った。 $i = 1/200$ では防波堤直前で波高は測定していないので、防波堤の設置位置から450m沖のC点での波形記録を用いて解析を行っている。

$i = 1/50$ では防波堤直前で波高を測定しているので、このデータを使用している。

図-6.50は $i = 1/200$ 、周期10分の場合のC点での水位記録と静水面下1.4mおよび6.3mの点での波圧記録である。波形記録の読み方は図-6.12で説明したのと同様に段波の高さは平滑化した高さ a_1, a_2 として読み取っている。第2波の段波の高さは第1波の引き



(a)

写真-6.6 離岸堤の設置状況と入射波 ($T_p = 10 \text{ min}$, $e = 250$)

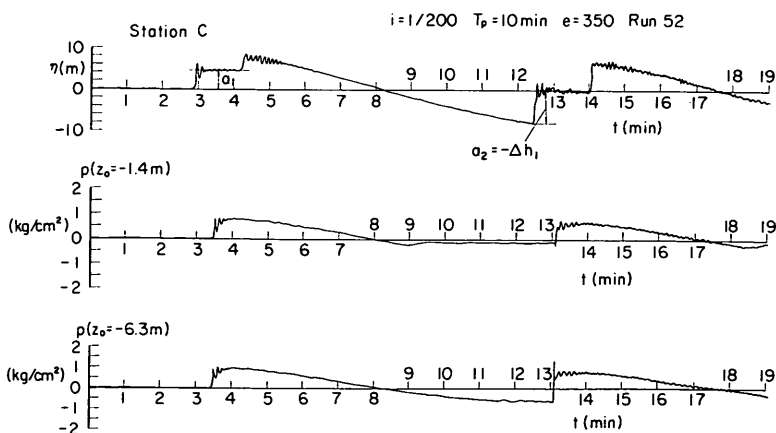


図-6.50 C点での水位記録と防波堤前面の波圧記録

(押波初動, $i = 1/200$, $T_p = 10 \text{ min}$, $e = 350$)

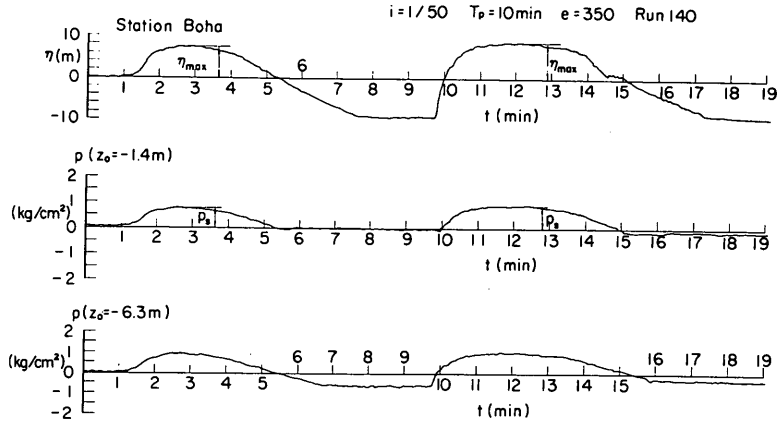


図-6.51 防波堤前面の水位記録と波圧記録 (押波初動, $i=1/50$, $T_p=10\text{min}$, $e=350$)

波があるために来襲直前の水位からの高さとして定義する。第1波の静水位からの引きの高さを Δh_1 とするが、図-6.49の例では第2波の峰の高さが静水位に等しいので $\Delta h_1 = -a_2$ である。

図-6.51は $i = 1/50$ の場合で周期と波高の設定は図-6.50と同じである。波高は防波堤直前で測っており重複波となっているので、最大水位 η_{\max} を読み取る。波圧も衝撃圧は見られないので最大波圧 P_s を読み取る。これと異なり図-6.50では波圧記録にも波状性が認められる。図-6.52に図-6.50の下段の波圧記録を拡大したものを示す。第2波は段波の衝突によって衝撃圧 p_i が認められるが、局所的であり、図-6.49を見ると高さ方向の位置によって明らかに位相差がある。また8.5で後述する被災条件では顕著な衝撃圧は発生しないので衝撃圧 p_i はここでは無視する。第1波、第2波とも波状性を示す波圧のピーク p_p と段波の平均高さに対応する波圧 p_s があるが、後に示すように p_p は p_s に比べてそれほど大きくなく段波の波圧としては p_s を代表値と考えることにする。

写真-6.7, 6.8に防波堤設置時の波の状況を示す。これは $i = 1/200$, 周期は10分, $e = 250$ で水深200mでの入射波の片振幅は約1.5mのケースである。写真-6.7(a)の左端から第1波めが侵入し、写真-6.7(b)は分散した波峰の第1波が防波堤に到達したところである。その後波頂は越流し、反射波が岸側へ戻ってゆくのが写真-6.7(c)以降でわかる。その後の写真からもわかるように、越流は比較的長時間継続する。なお、写真の時間間隔は現地換算で約5.5秒である。図-6.50と比較してもわかるように、第1波ではそれほど大きな衝撃力が生じないのが写真の波形からもわかる。なお、写真のガラ

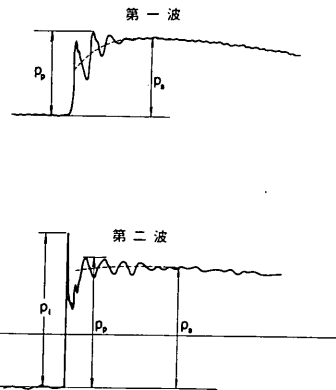


図-6.52 波圧記録の拡大図 (図-6.50, $z_0 = -6.3\text{m}$)

ス面の一マスは4cmである。

写真-6.8は第1波に続く第2波の波の状況を示している。第1波と第2波の間は10分の時間間隔があるので、その間の写真を撮っていないため、写真-6.8(a)を仮に $t = 0$ としている。写真-6.7(h)に続いて波は引き始め、写真-6.8(a)では第1波の引きがほとんど終わった状態である。写真-6.8(b)からは、第2波が左から進行してくるようすを示している。写真-6.8(d)は段波が防波堤に衝突したところで、図-6.50の下段の第2波にあらわれている衝撃波圧はこのような状況のもとで生じているものと考えられる。写真-6.8(e)以降は第2波が反射されることを示していて、越流は第1波のときと同様かなり長い時間続いている。

(2) 防波堤のある場合とない場合の入射波の比較

$i = 1/200$ のケースでは防波堤直前での水位記録がないためC点での水位記録を用いているが、防波堤のあ

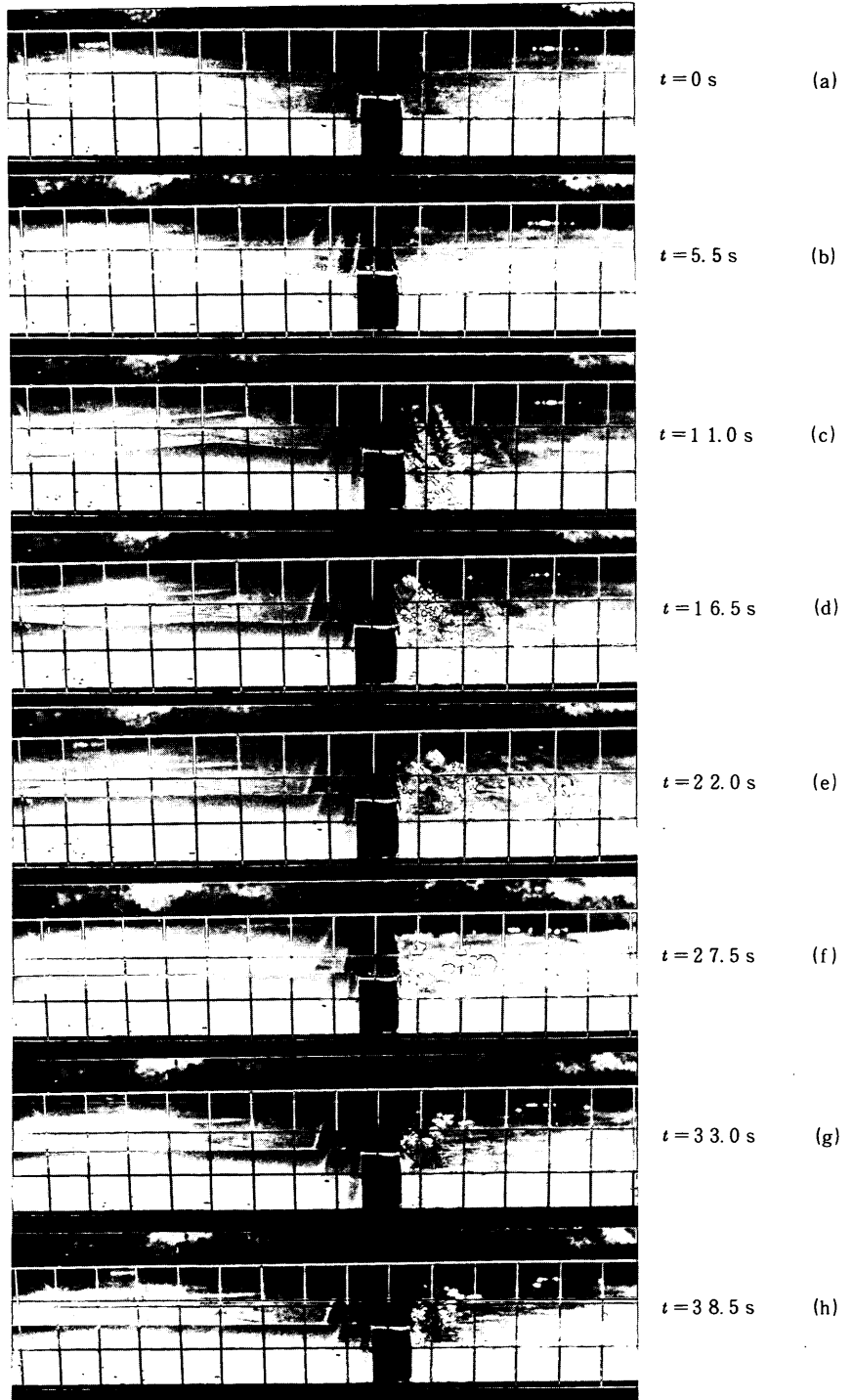


写真-6.7 防波堤と段波第1波の越流状況
 ($T_p = 10 \text{ min}$, $e = 250$, 防波堤の設置水深は 9 m)

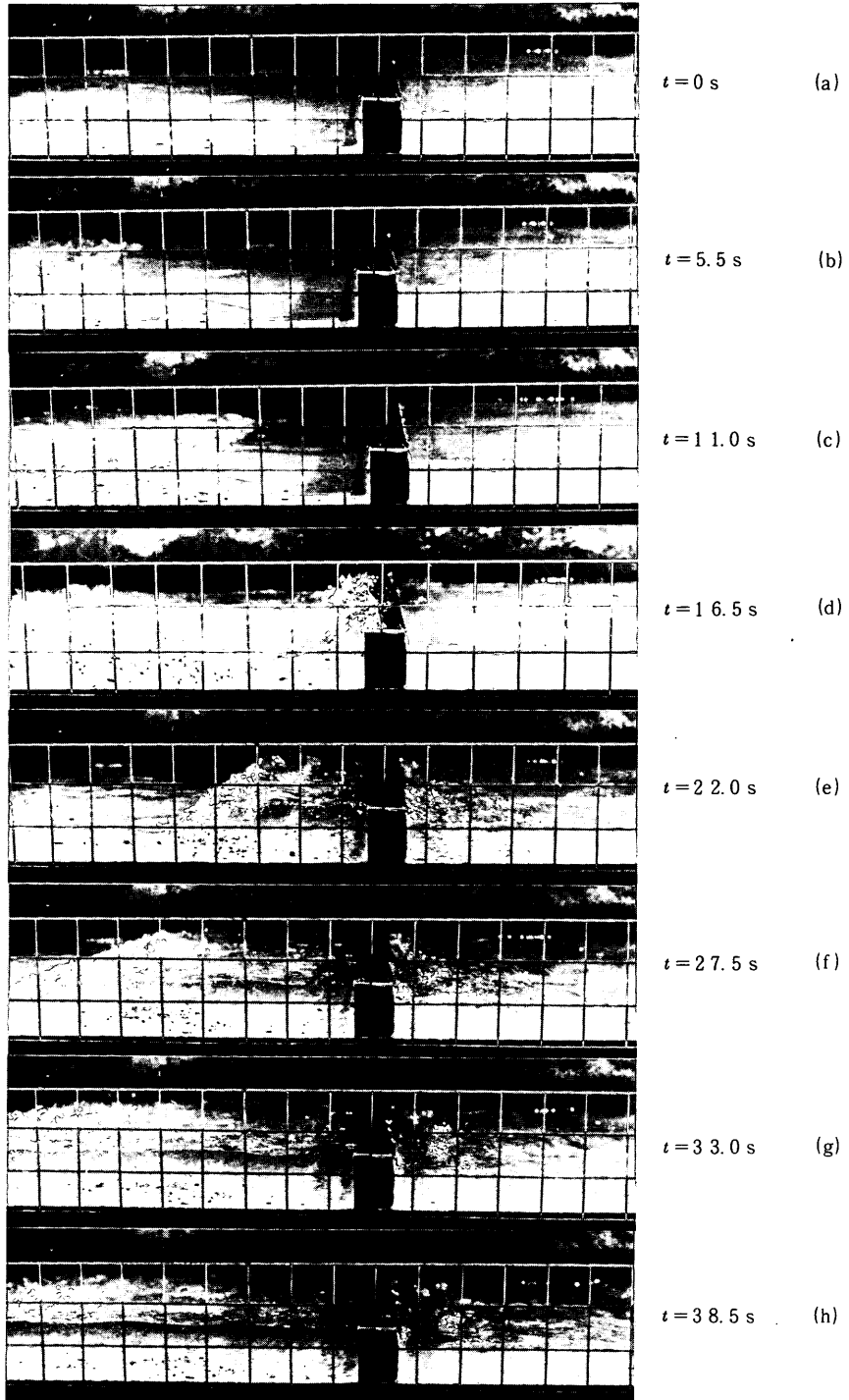


写真 - 6.8 防波堤と段波第2波の越流状況
 ($T_p = 10 \text{ min}$, $e = 250$, 防波堤の設置水深は 9 m)

る・なしのC点での通過波高を比較したのが図-6.53、54である。図-6.52が第1波、図-6.53が第2波であるが、防波堤のある・なしで波高はそれほど変わっていない。

図-6.55はC点での引きの高さを防波堤のある・なしで比較したもので、防波堤があるほうがない場合より

も1.3倍程度引きの高さが大きくなっている。

$i = 1/50$ の場合の第1波と第2波について防波堤のある場合の防波堤直前での最大水位 $\eta_{1\max}$ 、 $\eta_{2\max}$ と防波堤のない場合の段波の高さ a_1 、 a_2 との比較を図-6.56に示す。防波堤のない場合の a_1 、 a_2 の値はC、B、A点の測定値から防波堤の設置位置へ外挿して求めている。

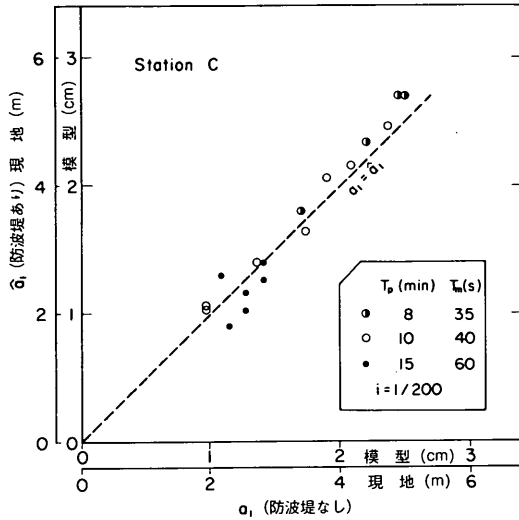


図-6.53 防波堤のある・なしでのC点での第1波の段波の高さ（押波初動， $i=1/200$ ）

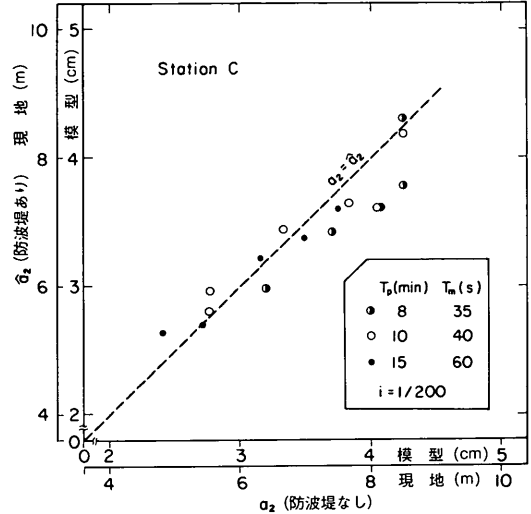


図-6.54 防波堤のある・なしでのC点での第2波の段波の高さ（押波初動， $i=1/200$ ）

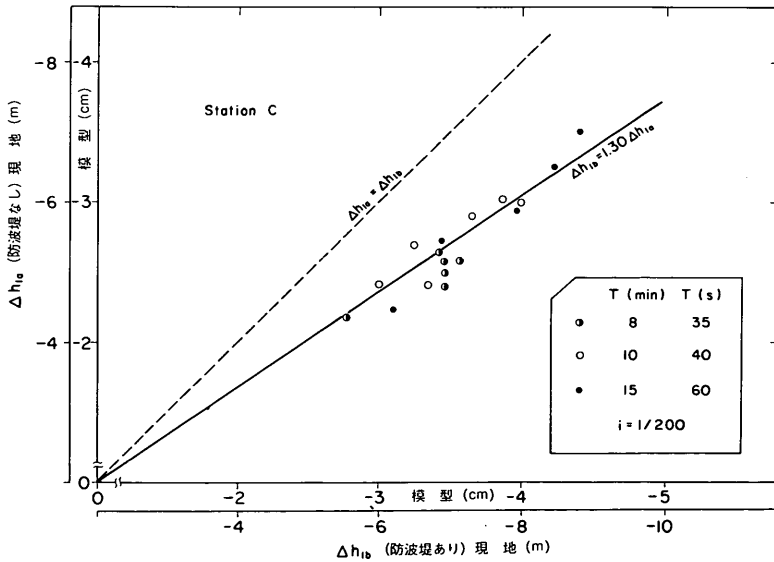


図-6.55 防波堤のある・なしでのC点での第1波の引きの高さ（押波初動， $i=1/200$ ）

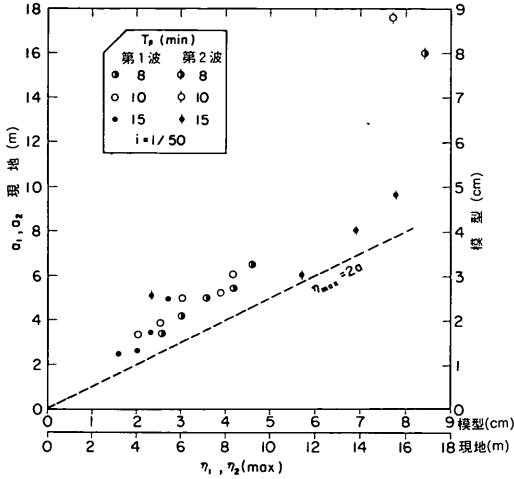


図-6.56 a_1 と η_1 , a_2 と η_2 の関係
(押波初動, $i=1/50$)

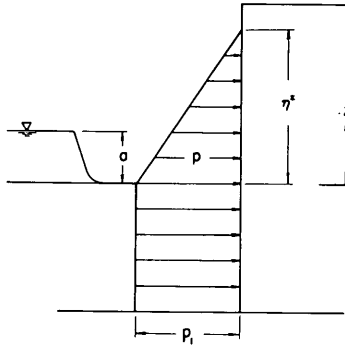


図-6.57 波圧分布と座標軸

第1波について見ると、 η_{\max} は $2a$ の値にまで達していない。第2波については通過波の測定時に汀線からの反射波が戻ってきていて入射波に重なっているため、周期10分と15分の波については a_2 として入射波高だけを読み取るのがむずかしく、大きめに読んでいる可能性がある。

(3) 波圧の鉛直分布

図-6.57 のように座標軸をとる。ここに z は段波到達直前の水位を基点とした鉛直座標、 a は $z=0$ からの段波の高さ、 p は $z=0$ を基準とした波圧強度である。このようにして整理した波圧分布を $i=1/200$ について図-6.58 に示す。この場合、波圧は段波の高さ a で無次元化してある。段波到達直前の状態を基準とすれば第1波、第2波を区別する必要はなくなる。図中の直線は $z > 0$ で $\eta^* = 3a$, $z \leq 0$ で $p_1 = 2.2 w_0 a$ である。

図-6.59 は $i=1/50$ の場合の波圧分布を示してい

る。波圧は $i=1/200$ の場合と違って、 η_{\max} で無次元化している。 z_0 は静水面からの波圧計の位置である。この場合波圧は静水圧の $0.95 \sim 1.35$ 倍に分布している。図-6.56 によれば $\eta_{\max} \doteq 1.5a$ であるので、前述の $p_1 = 2.2 w_0 a$ は $p_1 \doteq 1.5 w_0 \eta_{\max}$ となり、 $i=1/50$ では $1/200$ と比べて波圧がやや小さくなっている。

図-6.60 は $i=1/200$ のケースでの p_p と p_s の関係を示したもので、 p_p が生じていないときは $p_p = p_s$ としている。この図から p_p が発生しているときは、平均的に $p_p = 1.1 p_s$ の関係が認められる。今のところ、どのような状況のもとで p_p が発生するか明らかではないが、少なくとも段波がソリトンに大きく分裂するようなところでは波圧を考える場合に p_p を考慮しなければならないであろう。

(4) 津波力の算定法

以上の実験結果から、直立壁に働く津波力の算定には図-6.60 に示した分布を考えるのがよいであろう。すなわち、静水面 ($z=0$) 上 η^* での 0 から静水面での p_1 まで直線分布、静水面下は p_1 で一様と仮定し、 η^* , p_1 を簡単に次のように与える。

$$\eta^* = 3.0 a_I \quad (6.11)$$

$$p_1 = 2.2 w_0 a_I \quad (6.12)$$

ここに、 a_I は入射津波の静水面上の高さ(振幅)であり、 w_0 は流体の単位体積重量である。この静水面は段波津波の場合には段波来襲直前での水位にとる。

また、揚圧力は当実験では測定していないけれども、前端で前面波圧強度に等しい p_u 、後端で 0 の三角形分布とする。すなわち、

$$p_u = p_1 \quad (6.13)$$

ただし、直立壁前後面で静水位に差がある場合には、これによる静水圧差を考慮する必要がある。図-6.60 にはこれを考慮した分布が示しており、 h_1 , h_2 はそれぞれ直立壁前後面での水深である。 $h_2 > h_1$ の場合には直立壁背後から前方へ向かう静水圧力が働く。このときの浮力は図に示しているように没水体積に対し考慮する必要がある。

なお、ここに示した津波力の算定法は入射津波の波高 H_I を

$$H_I = 2 a_I$$

とすれば、非砕波津波に対して既に提案している方法³³⁾と同じである。

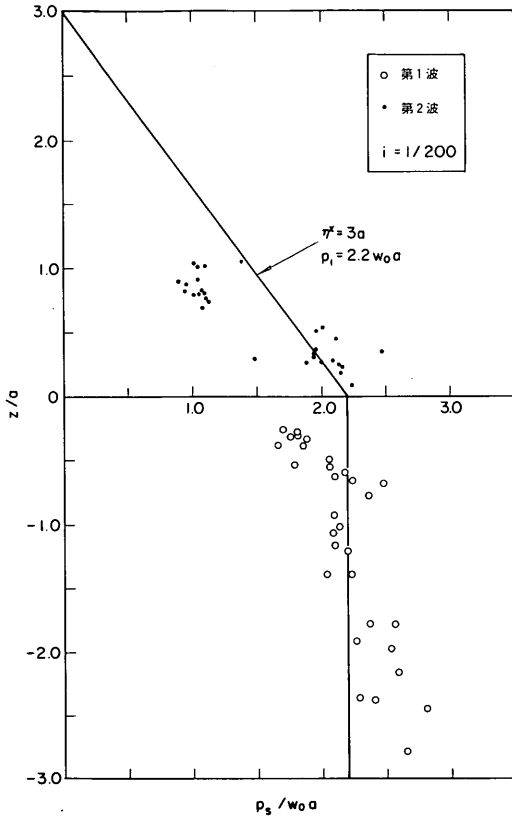


図-6.58 z/a と $p_s/w_0 a$ の関係
(押波初動, $i=1/200$)

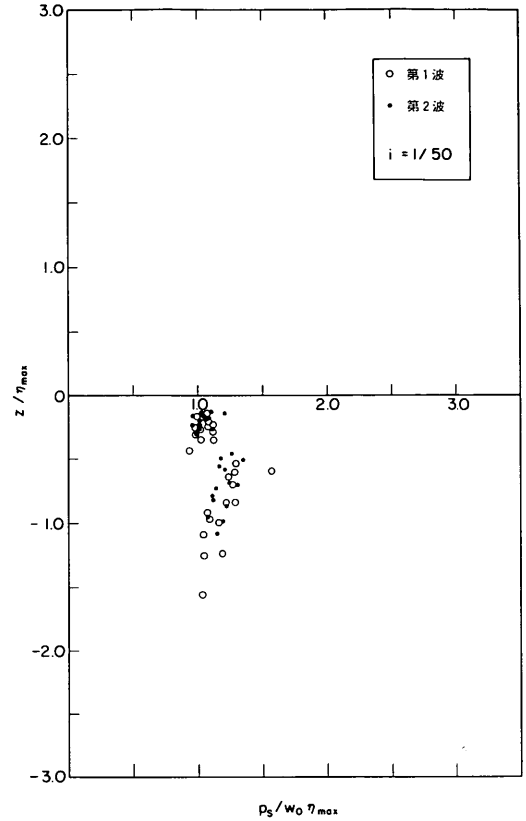


図-6.59 z/η_{max} と $p_s/w_0 \eta_{max}$ の関係
(押波初動, $i=1/50$)

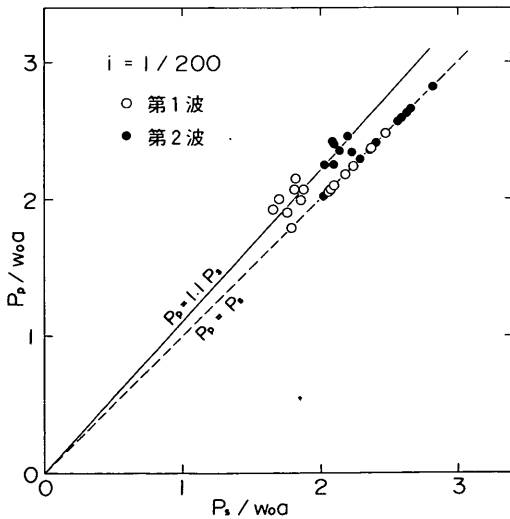


図-6.60 $P_p/w_0 d$ と $P_s/w_0 d$ の関係
(押波初動, $i=1/200$)

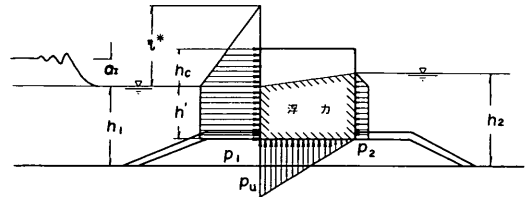


図-6.61 直立壁に働く津波力の算定法

6.4 実験結果のまとめ

本実験では津波水路を使って底勾配が1/200ときわめて緩勾配の斜面上での津波の変形とそ上および波圧に関する実験を行った。実験結果についてはまだ解析中のものもあるが、これまでに得られた結果を要約すると以下のようである。

① $i=1/200$ の場合、周期が8分と10分(模型で35秒と40秒)の波は進行とともに段波を形成し、その先端では波峰分裂を起こしながら進行するが、やがて汀線に近づくにつれて分裂波峰は消滅する。

② 段波が岸へそ上したあとと反射波が形成され、この反射波も進行とともに波峰分裂を起こして7~8波の波群となって沖へ戻ってゆく。

③ そ上高を底勾配と比較すると $i = 1/200$ のほうが $1/50$ の場合よりも大きい。また沖での波の周期が40秒と8分の場合では同じ波高でそ上高に大きな差はない。ただ、周期が15分のケースだけ同じ波高に対して他の周期よりそ上高は小さい。

④ 押波初動では、 $i = 1/200$ の場合に第1波のそ上高が一番大きく、第2波と第3波はほとんど同じで第1波よりやや小さい。また、引波初動の第1波のほうが押波初動の第2波よりそ上高が大きい。これは、来襲する段波に先行する引きがそ上に大きな影響を与えるためであり、強い引きのあとのそ上高はそれほど大きくはならないと考えても差しつかえない。しかし、これは実験室での規則的な波についてあてはまることであり、現地で沖での第2波、第3波が第1波より大きいような津波波形であれば上の議論は成り立たない。

⑤ 今回の実験で得られた津波のそ上高は $i = 1/200$ 、 $1/50$ とともに線型理論の Keller & Keller, Shuto と富樫・中村の実験式の中間の値であった。ただ、この程度の差は実験のばらつきの範囲内ともいえるが、今回の実験では一様勾配ではないので、このことも差を生じた原因の一つと考えられる。

⑥ 汀線での波高の増大率は $i = 1/200$ と $1/50$ で大差ないが、そ上高は $1/200$ のほうが大きい。これは $1/200$ の場合に流れによるそ上効果が大きかったことを示している。

⑦ 第1波の相対そ上高 R_1/a_{10} はアセール数 U_r で整理すると $i = 1/200$ のケースでは良くまとまり、アセール数の増加とともに相対そ上高はゆるやかに減少して $U_r = 450$ の付近で最小値をとり、それからまたやや増加する傾向がみられた。

⑧ 各種の構造物が津波のそ上を軽減する効果があることが確かめられたが構造物のタイプによってその効果にはかなりの違いがある。

⑨ 直立壁に働く津波力の実験公式を得た。この算法は段波津波、非砕波津波の別なく適用できる。

7. 津波のシミュレーション計算*

各地の津波のこん跡高は5.で示したとおりである。本章では、相田^{34), 35)}によって開発された数値計算手法を用いて津波のシミュレーション計算を行い、津波の最高

水位の地域的な分布の特徴および、周期特性を定性的に明らかにすることを試みた。

各地の津波のこん跡高を定量的に計算で求めるためには、沿岸における津波の水位を求めたのち陸上部においてそ上計算を行う必要がある。しかし、そ上計算には、多くの計算時間と、詳細な地形データが必要である。本計算は暫定的な断層モデルを用い、時間的な制約もあって、本断層モデルを用いると、どのような特性の津波が発生するかを調べたもので、実測そ上高との一致を目指したのではない。そのため、結果は津波のそ上高を正確に再現したものではなく、各地域の津波を定性的に比較し、また周期特性の概略を示した暫定的なものと考えなければならないことを、こゝでわけておく。

7.1 計算の方法

座標系は、 x 軸および y 軸を水平方向にとり、 z 軸を静水面上を原点として鉛直上向きにとる。長波近似された運動方程式は、コリオリ力および海底摩擦項を無視すると、次式のように表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \end{aligned} \quad (7.1)$$

ここで、 u および v は、それぞれ x および y 方向の水粒子速度、 ζ は静水面からの水面変動量、 g は重力加速度である。式(7.1)を海底から水面まで積分すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} &= -g(h + \zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ \frac{\partial q_y}{\partial t} &= -g(h + \zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} \end{aligned} \quad (7.2)$$

ここで、 q_x および q_y はそれぞれ x および y 方向の単位幅あたりの流量、 h は水深である。連続式は、 q_x および q_y を用いると次のように表される。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \quad (7.3)$$

式(7.2)および(7.3)が、本計算で用いる基礎方程式である。式(7.2)および(7.3)を x および y に関する微分は中間差分で、 t に関する微分は前進差分で近似した差分式で表示すると、それぞれ次の式(7.4)および式(7.5)のように表される。

$$\frac{q_{x,i,j}^{t+\Delta t} - q_{x,i,j}^t}{\Delta t} = -g \frac{\zeta_{i,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_{i-1,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}}}{\Delta s}$$

* 執筆担当 平石哲也・高山知司

$$\left(\frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{2} + \frac{\zeta_{i,j-\frac{1}{2}}^{t+\frac{\Delta t}{2}} + \zeta_{i,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}}}{2} \right)$$

$$\frac{q_{y,i,j}^{t+\Delta t} - q_{y,i,j}^t}{\Delta t} = -g \frac{\zeta_{i,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}} - \zeta_{i,j}^{t-\frac{\Delta t}{2}}}{\Delta t}$$

$$\left(\frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2} + \frac{\zeta_{i,j-\frac{1}{2}}^{t+\frac{\Delta t}{2}} + \zeta_{i,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}}}{2} \right) \quad (7.4)$$

$$\frac{\zeta_{i,j}^{t+\Delta t} - \zeta_{i,j}^t}{\Delta t} = -\frac{1}{\Delta s} \left[\left(q_{x,i+1,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}} - q_{x,i,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right) + \left(q_{y,i,j+1}^{t+\frac{\Delta t}{2}} - q_{y,i,j}^{t+\frac{\Delta t}{2}} \right) \right] \quad (7.5)$$

ここに、 i および j はそれぞれ x および y 方向の格子列番号である。 Δt は計算間隔、 Δs は差分格子間隔を表しており、差分計算の安定条件から Δt および Δs は全計算領域において次の関係を満足しなければならない。

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} > \sqrt{2gh_{\max}} \quad (7.6)$$

ここで、 h_{\max} は最大水深である。

差分格子の配列を図示すると図-7.1のようになる。図中、 Δ および \circ 印がそれぞれ $q_{x,i,j}$ 、 $q_{y,i,j}$ 、 $h_{i,j}$ を計算する格子点の場所を示している。

(2) 境界条件

本計算で用いた境界条件の与え方の例を図-7.2に示した。図中 Δ 印で示した格子辺を海岸線として、陸上部へ津波は伝わらず海岸線で完全反射をするものと仮定する。この仮定によって、 Δ 印の格子辺を横切る線流量 q_x または q_y は0となる。 \blacktriangle 印で示した格子辺は防波堤または岬による線境界で、ここでも格子辺を横切る線流量を0とする。図の中で \circ 印で示した格子辺は計算領域と外海との開境界である。開境界では津波は反射せず進行波となり、その進行速度 $\sqrt{g(h+\zeta)}$ で表される。したがって水深と津波の進行速度との積が、開境界を横切る線流量 q_x または q_y となる。

$$q_x, q_y = \pm \sqrt{g(h+\zeta)} h \quad (7.7)$$

ここで、開境界のすぐ内側の格子における水位変動量 ζ_β が正のときは内から外海への流出、負のときは外海からの流入となるように式(7.7)の符号を決める。

(3) 細分化領域の計算

計算領域の中で、沿岸部の複雑な地形を表現するために、相田モデルでは、一部の領域中の格子間隔を半分に分割することができるようになっている。細分化は何段階にもわたって、順次、格子間隔を小さくでき、外海の最も大きな格子間隔を Δs_0 、第 n 段階の細分化領域の格

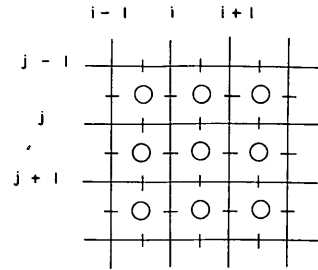


図-7.1 差分格子の配列

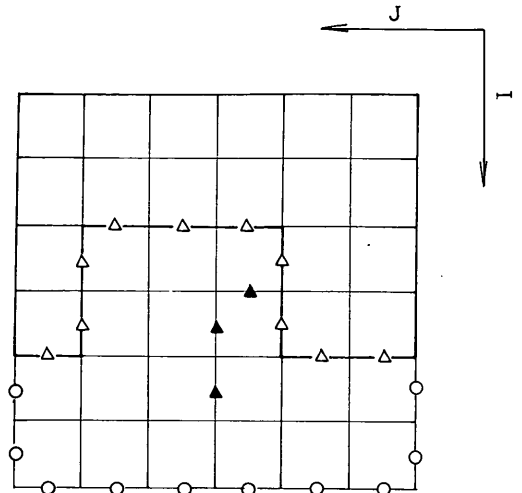


図-7.2 格子上の境界

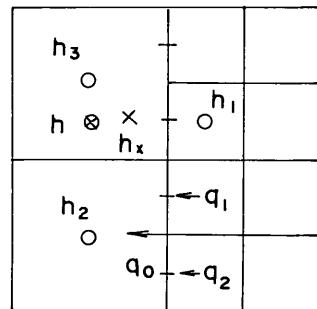


図-7.3 大格子・小格子の接続

子間隔を Δs_n とすると、

$$\Delta s_n = \frac{\Delta s_0}{2^n} \quad (7.8)$$

となる。したがって、 Δs の異なる2つの領域の境界において差分式(7.4)および(7.5)をたてる場合には、補間によって h あるいは q の値を推定する必要がある。そのような示したのが図-7.3である。まず式(7.4)

において q_x あるいは q_y を求めるには、流量計算格子辺の両側で、対象となる位置で水位 h を与えなければならない。図-7.3の大小両メッシュの境界線上の流量を与えるためには、図中に示す×点における水深および水位変動を与えなければならない。これら2つの変動量とともに h で代表させる。×点の水位あるいは水深 h_x は、図-7.3中の h_1, h_2, h_3 を用いて補間して求める。まず、図-7.3中の⊗印における h を、 h_2 および h_3 から次式のように求める。

$$h = \frac{1}{4} (3h_3 + h_2) \quad (7.9)$$

この h と h_1 から補間によって h_x は次式のように表される。

$$h_x = \frac{1}{3} (h_1 + h) \\ = \frac{1}{2} h_3 + \frac{1}{6} h_2 + \frac{1}{3} h_1 \quad (7.10)$$

次に、式(7.5)において水位変動量 h を求めるためには、 h の計算点を含む格子の4辺における流量 q_x あるいは q_y が必要である。図-7.3に示す h_2 のように、小メッシュに接続する大メッシュの水位を計算する場合、小メッシュに接していない3辺の線流量は大メッシュ領域内の計算で求まっている。小メッシュに接した境界格子辺における線流量 q_0 は、小メッシュ領域で計算された線流量 q_1 および q_2 から次のように求まる。

$$q_0 = q_1 + q_2 \quad (7.11)$$

(4) 初期条件と断層モデル

式(7.4)および(7.5)の差分式を連立させて各タイム・ステップごとに、 q_x, q_y および h の値を求めるためには、初期条件として初期水位変動量 h_0 を全計算領域について与える必要がある。本計算モデルでは、地震によって生じた海底の地盤変動がそのまま海面の上下変動と仮定して計算を行っている。これは、変動域が幅数10kmの広範囲にわたるため、変動に要する数分間の時間内に海水の流動によって変化する水位変動量は、起こったとしても変動域の端部に限られるため無視できるからである。

地震による海底の地盤変動量は、Mansinha³⁶⁾らによって提案された式によって求める。この計算方法では、

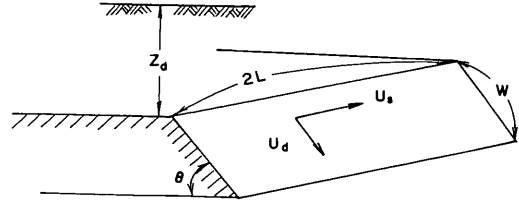


図-7.4 断層の模式図

図-7.4のような長方形の地震断層面を仮定し、断層面の長さ $2L$ 、幅 W 、断層面の傾斜角 θ 、断層の上縁の深さ Z_d 、断層面の縦ずれ変位量 U_d 、横ずれ変位量 U_s をパラメータとして与え、海底地盤変動量を求めることができる。

すなわち、初期水位の計算では、まず、断層のパラメータを決定し、計算によって海底地盤変動量を求め、地盤変動量の分布をそのまま初期水位 h_0 の分布として与える。

(5) 計算領域

大陸からの反射波の影響なども考慮するためには、津波の数値計算をする領域としては、日本海全域を含む領域をとることが望ましい。しかし、領域が広いと、差分格子の間隔も大きくする必要があり、海岸線の地形を再現するためには何段階も細分化してゆくことが必要となるが、計算機の容量の制限があり、広領域を計算することは困難である。

そこで、本計算では、大メッシュの差分格子間隔を5kmとし、計算領域は、図-7.5に示すように秋田南方から江差までの海岸線を含み、南北350km、東西295kmの長方形領域とした。さらに、津波のそ上高が大きい男鹿半島北岸～竜飛までの海岸線を含む南北150km、東西65kmの領域を細分化領域とし、2.5km間隔の格子を用いて海岸線を表した。計算時間間隔は6秒とし、地震発生後2時間の計算を行った。

(6) 断層条件

東京大学地震研究所の伯野教授が紹介された島崎・森モデルによると^{*}、余震分布および強震観測記録から求めた日本海中部地震の暫定的な地震断層の諸元は以下のようである。

地震断層面は、図-7.6のなかで中破線で示したように、南側と北側に2つ生じた。南側の断層面は図で示さ

* 1983年8月8日、土木学会図書館講堂において土木学会耐震工学委員会主催で「日本海中部地震に関する報告会」が開かれた。席上、東京大学地震研究所の伯野教授は、「今回の地震の特徴」という演題で、地震断層およびその変動過程について述べられた。

この地震断層のモデルは、島崎邦彦・森ジム両氏が、東京大学地

震研究所第587回談話会(昭和58年6月28日)、および第588回談話会(7月26日)の席上、「1983年5月日本海中部地震のメカニズム(速報・続報)」という題で発表されたもので、以下、島崎・森モデルと呼ぶ。

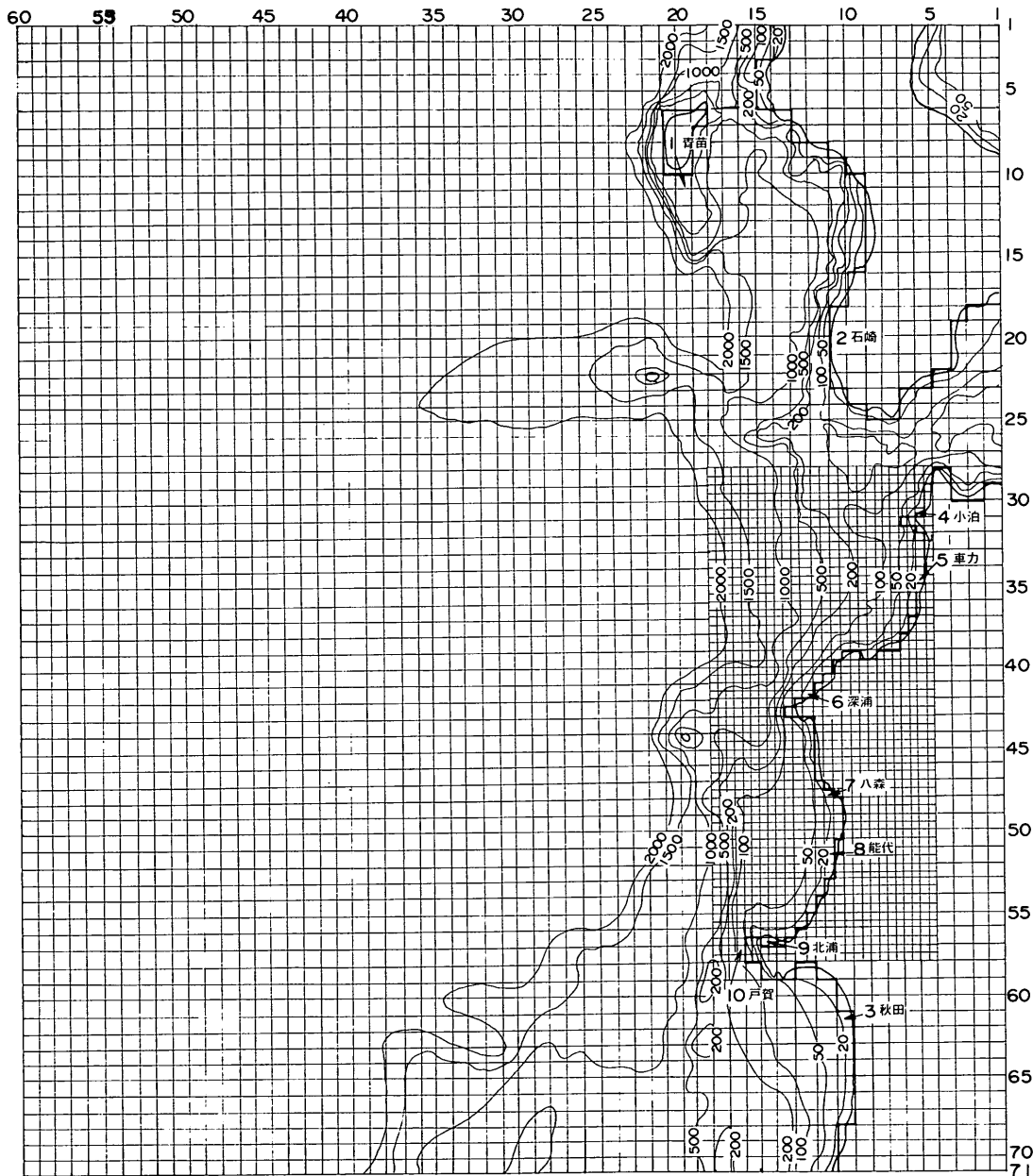


図-7.5 計算領域および経時変化出力地点

れたように、長さ35km、幅30kmの長方形で、東側が30°傾斜し下がっている逆断層である。北側の断層面も、長さ60km、幅35kmの長方形である。縦ずれ変位は南側より小さく4mで、南側と同様に、東側が30°傾いて下がった逆断層である。横ずれ変位は、両断層共、ほとんど無かった。

破壊は、地震後約3秒たってからはじまり、まず南側

の断層面が約10秒間で変動している。その後約10秒間変動が停止し、次の30～40秒間で北側の断層面が変動した。図中、⊕印は震央である。

また震源地の深さは14kmであることが判明しているため、断層面の中心が、ほぼこの程度の深さに位置すると考えて、断層面のの上縁の深さは、南北両断層とも、約4km程度と仮定した。しかし、参考文献³⁾に示したよ

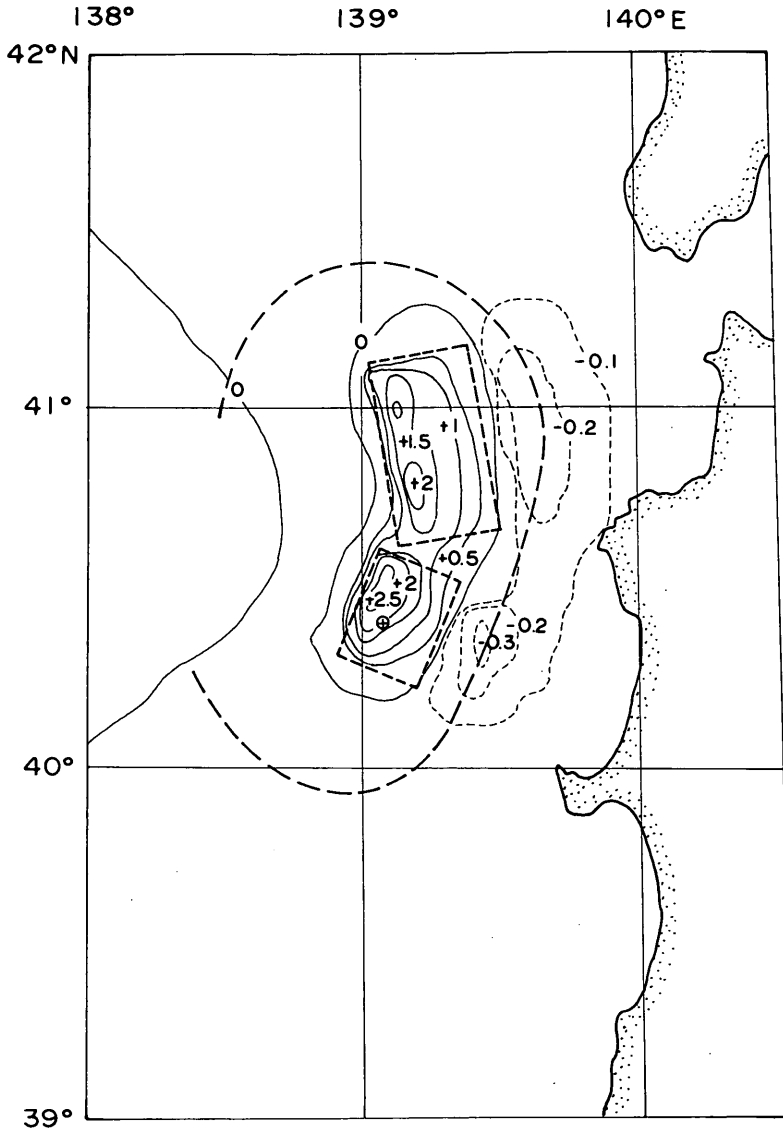


図-7.6 地震断層面の位置および海底地盤変動量

表-7.1 断層モデルのパラメーター

	断層面の長さ	幅	横ずれ変位	縦ずれ変位	断層面の傾き	断層面上縁の深さ
	$2L$ (km)	W (km)	U_s (m)	U_d (m)	θ ($^\circ$)	Z_d (km)
断層1 (南側)	35	30	0	-6	30	4
断層2 (北側)	60	35	0	-4	30	4

うに、断層上縁の深さは海底変動量に大きな影響を与えない。

以上のデータから断層の各パラメーターの値を、表-7.1に示すように定めた。

7.2 計算結果

(1) 海底地盤変動量

7.1で述べた断層条件を用いて海底地盤変動量を求めた。海底地盤変動量の分布は、前述の図-7.6に細い実線および破線で示した。海底地盤変動量が正、すなわち地震によって海底が隆起した部分の等高線を0.5m間隔で細い実線で表した。海底地盤変動量が負、すなわち海底および陸地が沈降した部分の等高線を0.1m間隔で細い破線で示している。

この分布をみると、断層面が東下りの逆断層となっているため、海底地盤の隆起の頂点から東側はゆるやかな下り坂となり、やがて変動量は負となる。しかし、地盤の沈降量は小さく、南側でたかだか30cmである。北側の断層面の東側では、その値はたかだか20cm程度である。さらに東側では、わずかに沈降量が小さくなり、沈降あるいは隆起はほとんど0になっている。

この海底地盤変動量を初期水位変動量 ζ_0 として、計算をはじめるので、各沿岸の初期の水位変動量は負である。そして断層面の東側の沿岸へは、図-7.6で破線で示した部分の変動がそのまま伝わるので、水位の時間的な変動をみると、初期の水位よりさらに下がると思われる。すなわち、引き波が最初に表れる。しかし、その値は初期の ζ_0 がたかだか-0.3m であるので小さい。やがて、盛上がった初期水位変動 ζ_0 が伝播し、水位は正になる。その値は、初期水位変動量 ζ_0 が最も大ききところで+2.9m程度であるので、かなり大きくなり、場所によっては2.9m以上になると思われる。

図-7.6で太い破線で囲まれた部分は3.で求めた津波の浪源域である。海底地盤変動の分布と比べると、やや西寄りになっており、20~30km程度、東側へ浪源域を移動させたほうが、海底地盤変動の分布形とよく一致するようになる。しかし、浪源域は各地の検潮記録から求めたものであり、断層モデルを仮定して求めた海底地盤変動量と単純な比較はできない。

(2) 水位の経時変化

前述の計算領域を示した図-7.5の中で、No.1~No.10の場号をつけた地点の水位の経時変化を求めた。各格子点は、ほぼ現地では、1が奥尻島青苗、2が渡島半島西岸石崎付近、3が秋田、4が小泊、5が七里長浜の車力漁港付近、6が深浦、7が八森、8が能代、9が北浦、10が戸賀湾に相当する。各点の水位の経時変化図を図-7.7(1)~(10)に示す。

図-7.7(1)のNo.1の青苗における水位変動は、ピークでも0.1mより小さい。津波の周期は、ほぼ12~14分と推測できるが、実際の奥尻島南部での津波の状況から

考えると、その値がかなり小さすぎる。これは、計算の都合でこの付近の地形を5km間隔の格子網で表現したため、津波高としてもこの格子内の平均値でしか表示できなかったためである。

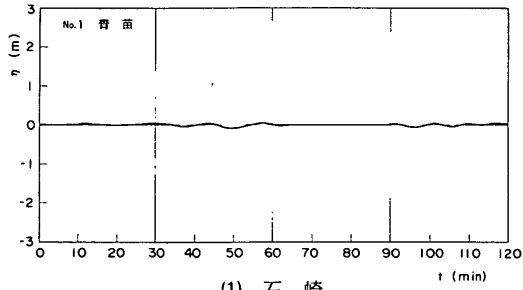
No.2の石崎では、図-7.7(2)に示すように周期4~6分、最大値0.5m程度の津波が生じている。また、第1波の山の到達時刻は14分である。石崎より20km程度北側の江差の検潮記録では、第1波の山のピークの到達時間は24分であり、周期は10分程度である。計算した到達時間が、同一格子点ではないが、江差と比べると10分程度早くなり、また計算周期が検潮記録に現れた周期の1/2程度にしかないのは、このあたりは水深が急激に変化するため、5kmの格子では水深変化を表しにくく、平均水深が実際的水深より深くなっているためであると思われる。

No.3の秋田では図-7.7(3)に示すように32分後に、周期25分程度の津波が現れている。最高水位は0.35mであり、秋田港内のこん跡高1.7mに比較すると小さすぎるが、計算値は5km格子の平均の水位を表しており、局所的な地形の影響が強く現れる津波のこん跡高と比較すれば、かなり小さくなるのは計算手法の点から考えると止むを得ない。秋田港の検潮記録は、地震時から1時間30分程度欠測しているが、その後の津波の周期は20~30分程度であり、計算による津波の周期とはほぼ一致している。

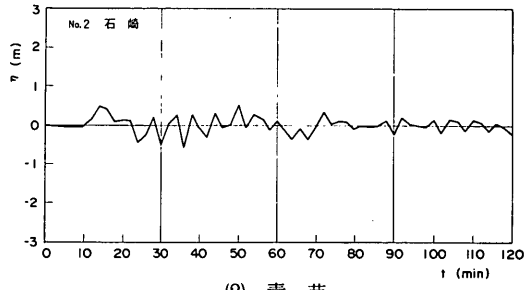
No.4の小泊では津波の第1波のピークの到達時間は28分、最高水位は1.65mである。図-7.7(4)からわかるように、小泊では最高水位が第4波めで、2.1m程度になっている。このことは5.で述べた小泊でのヒアリングで得られた、小泊漁港では第4波が最大で、防波堤を越流した、という事実と一致する。津波の引きのピークは-1.85m、周期は約14~16分である。

No.5の車力では、図-7.7(5)に示すように津波の水位の最大値は第1波めで生じており、1.1mで小泊よりは小さい。周期は約20分である。

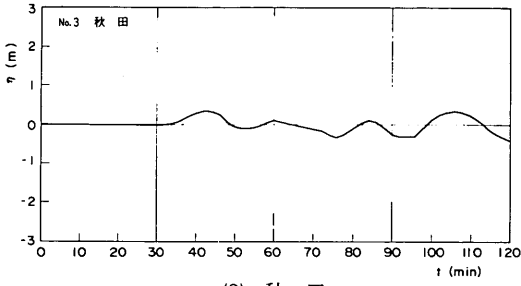
No.6の深浦では、図-7.7(6)に示すように津波のピークの値は最大値で2.0mであるが、引き波のピーク値は-3.0mにもなっている。第1波の山のピークの時刻は14分である。矢印で示した時刻は、深浦港の検潮記録において第1波のピークが現れた時刻である。また検潮記録に現れた津波の周期は約12分であり、計算した津波の周期は10~12分である。これらのことから、計算結果はある程度、実際の津波を表し得ていると言える。なお、計算値は負ではじまっているので、引き波が現れた時刻、すなわち、初動時刻を求めることはできない。



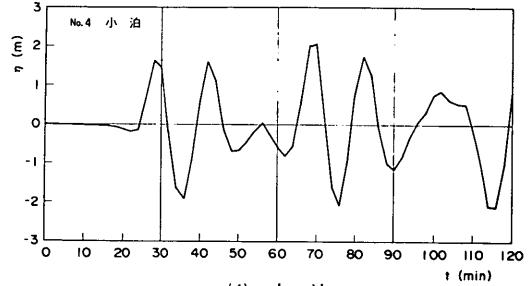
(1) 石崎



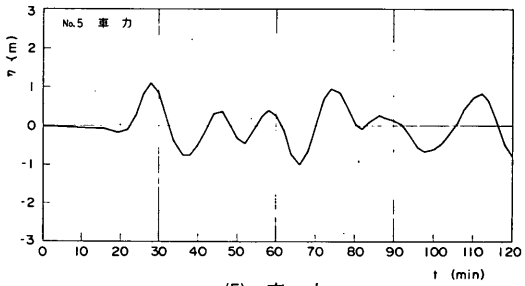
(2) 青苗



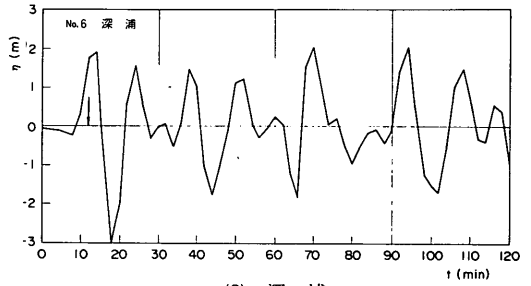
(3) 秋田



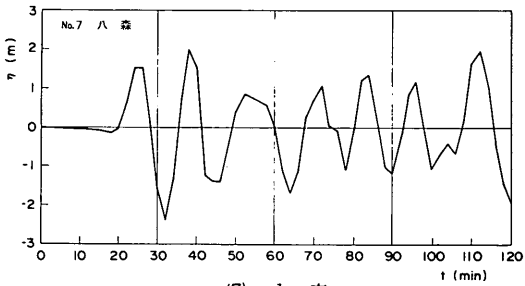
(4) 小泊



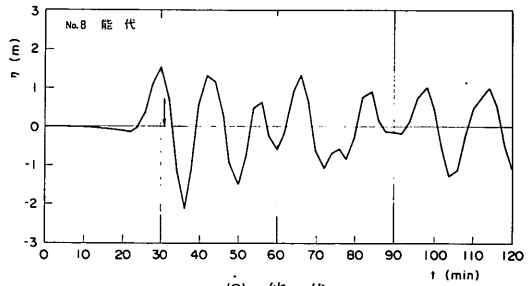
(5) 車力



(6) 深浦



(7) 八森

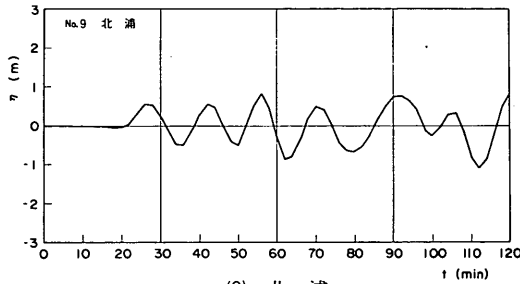


(8) 能代

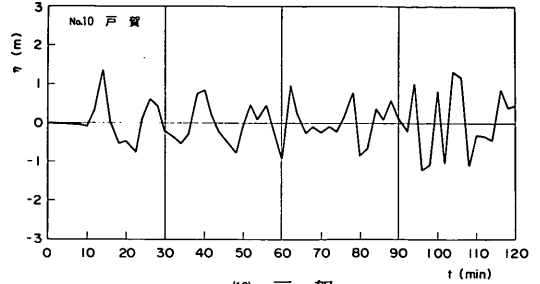
図-7.7 各地の水位の経時変化

また、水位変動の様子はNo. 5の車力などから比較すると、各波のピークの値が一定しておらず、第1波、第2波、第4波などは1.5～2m程度であるが、第3波および第6波では0.2～0.5mになり複雑になっている。3.で述べた深浦でのヒアリング調査によると、津波は第

1波が最大であったということである。計算結果によると、第1波の水位は1.9mであるが、第7波および第10波は2.0mであり、第1波より大きい。しかし、その差は0.1mと小さく、第7波および第10波は1時間以降に現れているので、1時間以内では第1波が最大である。



(9) 北浦



(10) 戸賀

図-7.7 各地の水位の経時変化

そして、第1波のあと、第2波、第3波および第4波は0.2~1.5m程度であり第1波に比べると小さくなる。したがって、ヒアリングで得た事実とほぼ一致している。引き波では、18分に現れた第2回めの引き波のピークが最大で、-3mである。

No. 7の八森では最高水位は第2波の2.0mである。第1波および第2波の周期は14~15分であるが、第3波は周期20分とやや長くなる。第4波以降は12~14分程度である。八森でのヒアリングによると、第1波が最大で第2波は第1波より小さかった、ということである。計算した津波では第1波のほうが第2波より0.5m程度小さくなっており、ヒアリングで得た事実とは一致していない。しかし、図-7.7の水位変動のグラフは、2分おきに出した水位を結んでおり、各波の最大値が出力時間の中間に現れる場合、グラフで表現できない場合もある。八森での第1波のピークは24分であるが、26分でも同じ値であり、グラフの形から25分に24分および26分における水位よりも大きな水位になっていると推測できる。22~24分間の水位変動の勾配と同じように24~25分の間も水位は変動すると仮定すると25分における第1波のピークは2.1m程度になり、第1波のほうが第2波よりも大きくなるというヒアリングから得た事実と一致するようになる。しかし、計算結果を1分おきに出していないため、はっきりしたことはわからない。

八森では、また、津波の第1波、第2波は北西から、第3波、第4波は南から来襲した、という事実をヒアリングから得ている。このことから、第3波および第4波は男鹿半島北岸からの反射波が現れているのではないかと推測できるが明らかではない。しかし、第1波および第2波と、第3波および第4波では周期が違っていたと推測できる。計算結果でも前述したように第1波および第2波の周期は14~15分であるが第3波は20分でやや違っている。ただ、計算では第4波は周期が15分で、第1波および第2波とほぼ同じになる。これはやはり2.5kmの格子幅では地形を正確に表現しにくいからと思われる。

れる。

No. 8の能代の最高水位は第1波のピークで1.6m、引き波のピーク値は、-2.1mである。第1波のピークは計算では、30分後に現れている。能代港の検潮記録によると、第1波のピークは31分に現れており、図の中で矢印で示した。計算した津波の周期は12~14分である。検潮記録では、第2波以降が欠測しているため、周期の比較はできない。

No. 9の北浦では、最高水位は第3波で0.8m、引き波の最大値は-0.6mである。第1波のピークの時間は26分、津波の周期は約14~16分である。北浦より5km東寄りの五里合でのヒアリングによると、第2波が最大であり、計算結果とは一致しない。

No.10の戸賀では最高水位は第1波で現れ、1.3mである。第1波のピークが現れた時刻は、14分であり、津波の周期は約10分である。ヒアリングでは、門前、加茂、戸賀いずれにおいても第2波が最大であったということである。計算では第2波は0.6mで第1波より小さい。No.9の北浦およびNo.10の戸賀では、ヒアリングで得た事実と計算結果とはあまり一致しないようである。これは、男鹿半島の沿岸は地形が入り組んでおり、2.5kmの格子では入り組んだ地形を表すことができず、図-7.5からわかるように単純な地形になってしまうからと思われる。以上の経時変化図から次のようなことが言える。計算した津波の周期は、各地の地域的な差はあるが、ほぼ10~20分であると言える。また津波の最高水位については、計算値は5kmあるいは2.5km格子の平均の水位であり、またその計算を行っていないため、現地調査で得られた各地のその上高と絶対値を比較することは困難である。しかし、No.6の深浦やNo.8の能代において、検潮記録に現れた第1波のピークの時刻と、計算した津波の第1波のピークの時刻がほぼ合うことから、各地の実際の津波の第1波のピーク時をある程度知ることができる。計算した津波の各点の第1波のピーク時を表-7.2にまとめた。また、No.4の小泊あるいはNo.7の八森にお

けるヒアリング調査結果との比較から、計算結果により津波の定性的な特徴をある程度把握できるといえる。

(3) 最高水位の分布

海底地盤変動量と津波の水位の関係を調べるために、

表-7.2 各点の第1波のピーク時

		第1波のピーク時(分)	
		計 算	検潮記録
水	泊	28	
車	力	28	
深	浦	14	12
八	森	24	
能	代	30	31
北	浦	26	
戸	賀	14	
秋	田	42	

計算した津波の2時間の最高水位の分布を求めた。図-7.8が計算した津波の最高水位の分布図である。等水位線を1.0mと2.0mは実線で描き、0.5m、1.5mおよび2.5mを破線で描いた。深浦から東へ60~70km程度離れた、ほぼ図の中央部の1.0m~2.5mと最高水位の大きな水域は、図-7.6で示した海底地盤変動量の分布図の中で、変動量が+1.0m以上になっている部分とほぼ等しい。すなわち初期条件として与えた ζ_0 が、最大水位となっている。

初期水位 ζ_0 がそのまま最大水位になる部分を除いて、沿岸部で津波の最大水位が1.0m以上となる地域は、青森県の西海岸の先端から男鹿半島北岸あたりまでである。2.0m以上になる部分は、深浦付近の沿岸部、岩崎、八森付近、能代の沖5km、釜谷および男鹿半島西岸である。八森、能代沖、釜谷沖では、一部2.5m以上の最高水位を示す水域もある。図-7.6と比較しながら図-7.

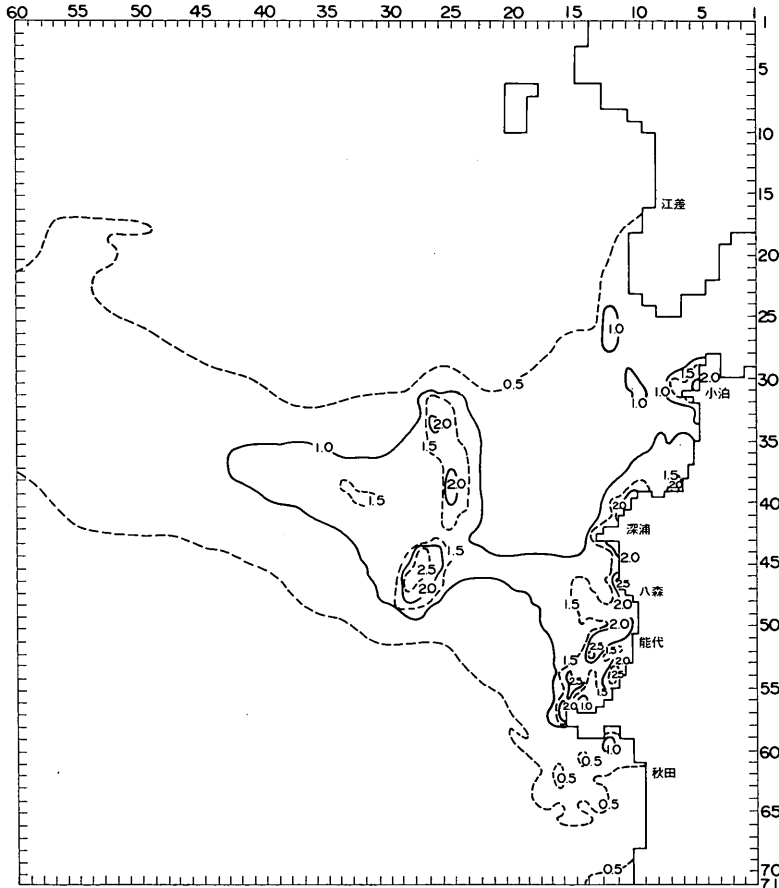


図-7.8 最大水位分布(2時間件算)

8をみると、北側の断層面によって変動した水域の ζ_0 が小泊から深浦にかけての沿岸に伝播し、南側の断層面によって変動した水域の ζ_0 が深浦から、能代、男鹿半島にかけて伝播したように推測できる。

南側の断層面の変位量は6mであり、北側の断層面の変位量4mより50%大きい。そのため、海底地盤変動量も最大値で、南側のほうが0.5m程度大きくなっていくため、当然初期水位 ζ_0 も0.5m程度大きい。したがって沿岸の最高水位も、南側の変動域の ζ_0 が伝播した深浦～男鹿半島では2.5m程度であるが、小泊～深浦間は1.0～1.5m程度の地域が広く、深浦および小泊近辺で2.0m程度である。

(4) こん跡高との比較

(2)で、計算値は2.5kmあるいは5kmの格子の平均水位であり、またその計算を行っていないので各地のこん跡高と単純に比較することは困難であると述べたが、地域分布の相対的相違はある程度比較できると考えて、各地の計算値の分布および調査したこん跡高の分布を比較した。

図-7.9は計算値とこん跡高の分布を海岸線を直線に近似して示した図である。図中GRIDは計算領域の細分化段階を示し、0が5km格子の計算領域、1が2.5km格子の細分化領域であることを示す。IおよびJは格子番号である。こん跡高は、港外および海岸で測定したもののみを示した。

北海道における計算値は、ほとんど全海岸線で0.1m以下になり極端に小さい。これは、もともと北海道沿岸の津波高が小さいこと、および、5km格子では地形が

単調になりすぎることが原因と思われる。

竜飛～深浦間の計算値は深浦～釜谷間に比べるとやや小さいが、こん跡高のほうも竜飛～深浦間が十三湖を除くと2～4mであるのに対して、深浦～釜谷間は2～13mとなり、分布の傾向は似ている。

釜谷以南では、こん跡高はやや小さくなり、北浦では3～4m程度である。計算でも釜谷以南では徐々に小さくなり北浦では0.7m程度である。男鹿半島西岸の戸賀、門前ではこん跡高は5m程度で北浦よりやや大きいが、計算でも2.0m程度になり北浦より大きくなる。男鹿半島南岸から秋田にかけてこん跡高は2m程度になり小さくなるが、計算でも船川、秋田はともに0.7m程度で、男鹿半島西岸の戸賀および門前における計算値より小さい。

以上調べたように、こん跡高の地域的な分布と計算値の地域的な分布は、その絶対値はかなり異なるが、その傾向はある程度一致していると言える。

7.3 計算結果のまとめ

本章で行った津波計算は、差分の格子間隔が5kmおよび2.5kmで、局所的な地形の再現が不可能であり、その計算を行っていないので、計算された最高水位からその高さを求めることはできないが、津波の到達時間および周期はある程度表すことができ、最高水位のおおよその傾向を知ることができた。本計算より知り得た結果をまとめると以下ようになる。

(1) 東大地震研究所の島崎・森両氏が求めた断層面は南北2つに分かれており、南側の断層面の縦ずれ変位は6mで北側の断層面の変位4mより大きい。断層モデル

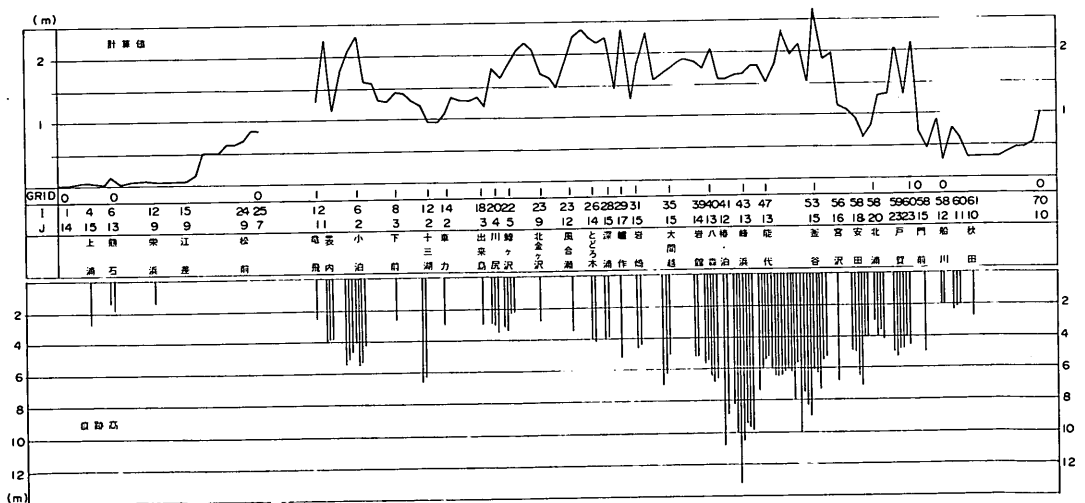


図-7.9 計算値とこん跡高の比較

によって海底地盤変動量の分布を求めると最大値は+ 2 m程度で、断層面の東側は、地盤変動量が最大で- 0.3 m程度であるが、わずかに負になっている。

(2) 海底地盤変動量が初期水位分布 ζ_0 に等しいという初期条件で計算するため、すくなくとも男鹿半島～小泊沿岸における津波の水位の変動はまず引き波ではじまる。

(3) 深浦および能代における計算した津波の第1波のピーク時と、検潮記録に現れた第1波のピーク時刻はほぼ一致する。このことから、本計算で求めた津波の第1波のピーク時刻から、各地の実際の津波の第1波のピーク時刻をある程度推測できることがわかる。計算した津波の各点での第1波のピーク時刻は表-7.2に示している。

(4) 計算した津波の周期はほぼ10～20分である。深浦および秋田における計算した津波の周期は検潮記録に現れた津波の周期とほぼ一致する。

(5) 最大波が第何波めになるかをいう津波の定性的な特徴を計算値とヒアリング結果とで比較すると、小泊、八森ではほぼ一致するが、男鹿半島沿岸は地形が複雑で、2.5 kmの格子で適確に表現できないため、北浦および戸賀では一致しなかった。

(6) 各沿岸における計算値の最高水位の分布は、ほぼ、こん跡高の分布の傾向を示している。

計算値の最高水位は、能代沖で2.5 m程度の最高値を示し、深浦～能代間ではほぼ1.5 m以上である。それに対して深浦～小泊間ではほぼ1.0～1.5 m程度である。これは南側の断層によって生じた変動が伝播し、小泊～深浦間には北側の断層によって生じた変動が伝播しているが、海底地盤変動量すなわち初期水位 ζ_0 が、南側の断層面の変動域では最大値が2.5 m以上になり、北側における最大値2.0 m～2.5 mより大きいためである。本計算では、計算値と実測こん跡高を一致させることはできなかったが、今後、実測こん跡高と計算値を一致させるためには陸上部でその計算を行うとともに、断層モデルについても検討を加えていく必要がある。

8. 考 察

8.1 今回の津波の水利的特性*

(1) 今回の津波の特徴

昭和58年5月26日12:00に発生した日本海中部地震による津波の特徴として以下のような点が挙げられる。

i) 検潮記録によると、津波の第1波は江差、松前、吉岡、深浦、能代および船川の6地点では引き波で始まっ

ており、その他の地点では押し波で始まっている。

ii) 津波の周期は比較的短かく、10分程度である。

iii) 八森海岸から南の男鹿半島の付け根までの非常に単調な海岸において特に津波のそ上高が高く、10数mに達する地点がある。一方、この区域外では七里長浜海岸のような単調な海岸あるいは男鹿半島のようなリヤス式海岸であっても津波のそ上高は高々6 m程度である。

iv) 写真やビデオによると、八森や能代の海岸においては津波は沿岸部で破碎しながら段波状になって来襲し、また、津波には通常の波浪のような10秒程度の短周期波が重なって来襲してきている。しかし、その他の海岸では、海面が急激に盛り上がってきたといわれており、このことは通常の津波のように破碎せずに来襲したものと思われる。

v) 今回の津波では、非常に長時間にわたって津波が続いたといわれている。12:00に津波が発生し、津波警報が解除されたのが、その日の20:00ごろである。

vi) 現地の人からのヒアリングによると、八森海岸では北側と南側からの2種類の方向から津波が来襲したとのことである。第1波と第2波が北側から、第3波以降が南側からである。

vii) 一般に、港内より港外でのそ上高が高くなっているが、状況によっては逆の場合もある。

今回の津波の特徴をi)～vii)に示したが、このような特徴の現れた原因を地形的要因や数値計算結果および模型実験結果を参照して以下に検討する。

(2) 青森および秋田海岸における引き波初動の原因

東京大学地震研究所の島崎・森岡氏が今回の地震について検討を行ったその暫定結果によると、図-8.1に示すように、断層は2ヶ所で続けて起っている。まず、図-8.1において震央を中心とする南側の断層で起り、その約10秒後に北側の領域で発生し、どちらも東下りの逆断層となっている。南側断層では縦ずれ変動6 m、北側断層では縦ずれ変動4 mとなっている。また、水変方向の横ずれ変位はほとんどないとなっている。

このような逆断層によって海底がどのように鉛直変動を起すか、金森・安藤³⁶⁾によるモデルで検討を行う。図-8.2で示すような縦ずれ変動のみの逆断層が起ると、断層面上の領域では海底が隆起する。一方、断層面からはずれた場所(図-8.2では左右方向の領域)では海底が沈降する。図-8.2で四角に囲った部分が断層面を示す。海底が沈降する量は海底の隆起量に比して小さい。しかし、図-8.2の中心線A B上の海底変動量を示した

*執筆担当 高山 知 司

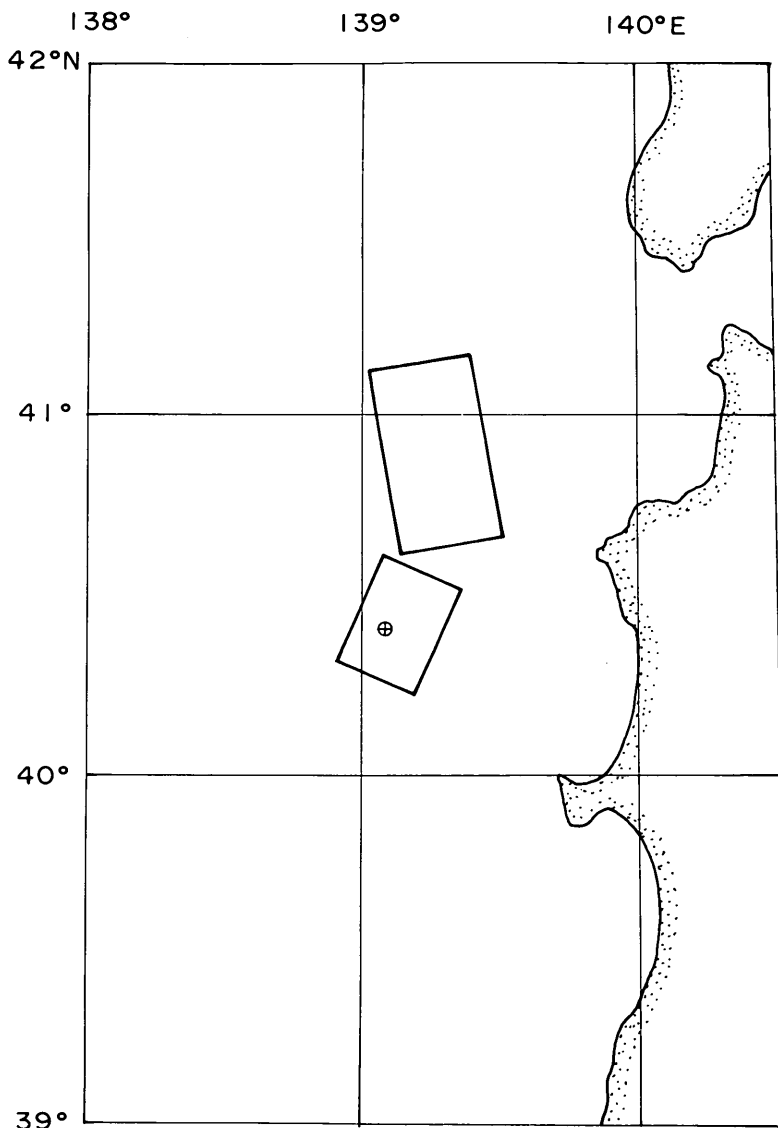


図-8.1 断層の位置(東大地震研究所 島崎・森による)

図-8.3でわかるように、断層面から離れた地点では、断層面に近い部分で最大の沈降量を示し、それより離れると、沈降量は徐々に小さくなる。また、断層面の両端では、図-8.2で示すように海底面の隆起のみが生じ、沈降は現れない。

島崎・森モデルの断層が実際に起ったとすると、断層面の東側海岸である北海道南部から秋田県北部海岸では引き波の初動から始まることになる。これらの海岸における検潮記録は引き波初動で始まっており、島崎・森の逆断層モデルで説明できることがわかる。上記海岸に

おける引き波は図-8.2の海底変動量から、引き波に続く押し波に比して非常に小さいと考えられる。能代港について最初の引き波と次に続く押し波の偏差を比較すると、引き波が0.2mで、押し波が2mと、引き波が押し波の約1/10である。また、断層の両端から出た津波は押し波初動で伝わるため、最初に押し波が現れることになる。

島崎・森の断層モデルを用いて数値計算から求めた海底変地盤変動量を示した図-7.6からわかるように、断層面東側の海域では海底地盤は沈降している。これによっても、北海道南部から秋田県北部海岸にかけて引き波

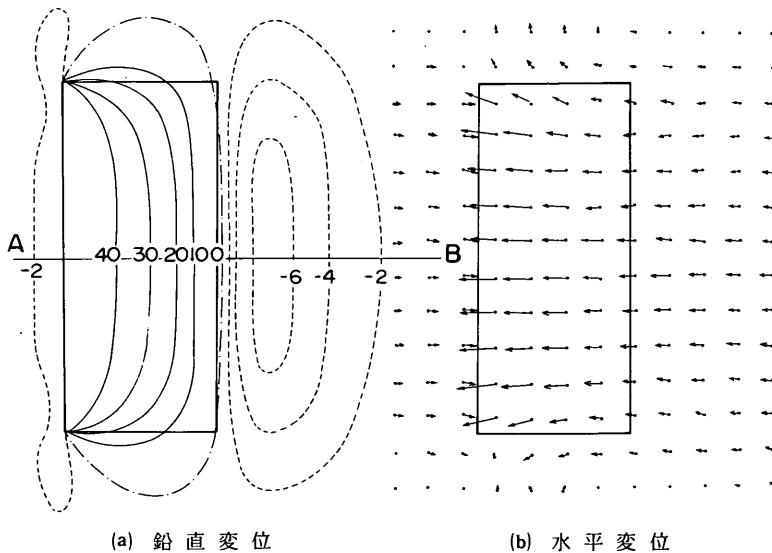


図-8.2 縦ずれによる海底地盤の変位特性

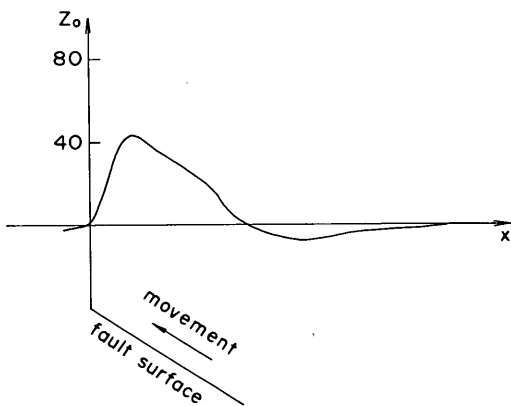


図-8.3 縦ずれによる海底地盤の鉛直変位の特性
鉛直変位の特性

初動になることがわかる。また、海底地盤の最大沈降量は0.3mと最大隆起量2.9mの約1/10で、能代港の検潮記録の結果とよく一致している。

以上の検討結果、北海道南部から秋田県北部海岸にかけて、引き波初動で始まる原因が東下りの逆断層によるものであることがわかった。

(3) 短周期津波の原因

津波の周期は、浪源域の広さおよび浪源域の水深によって異なる。また、津波の波形は非定常であり、津波が伝播するに従って変化してくる。特に、第1波の津波の周期は津波の伝播距離が長くなるほど、周期が長くなることが理論解析からわかっている。

高橋³⁹⁾は多くの津波のスペクトル解析を行って、津波の卓越周期と地震の規模との関係を式(8.1)のように表している。

$$\log T_p = 0.57M - 2.85 \quad (8.1)$$

ここに、 T_p は津波の卓越周期〔min〕、 M はマグニチュードである。この式(8.1)を今回の津波に適用してみると、 $M=7.7$ であるから、

$$T_p = 35 \text{ 分} \quad (8.2)$$

となる。しかし、4.における検潮記録の解析では津波の卓越周期は7分から10数分で、式(8.2)の値の1/3程度である。

島崎・森の断層モデルを用いた数値計算結果(図-7.7)によると、津波の周期は10~15分であり、検潮記録から推定される値に近い。津波の周期は前述のように浪源域の広さに関係し、浪源域が広いほど長くなる。理論解析によると、津波の波長は浪源域の幅とほぼ同じになり、水深2,500mとして、周期10分になる浪源域の幅を計算すると、幅が94kmになる。この浪源域の幅は、津波の逆伝播から推定した浪源域の幅に近い。今回の津波の周期か式(8.1)で推定したものより小さいのは浪源域の幅が同じマグニチュードの過去の津波より小さかったためだと考えられる。

(4) 段波状の波の発生原因

八森海岸付近から男鹿半島の付根に至る海岸においては、津波は碎破しながら段波状になって来襲しているが、

その他の海岸では砕波が来襲したようには思われぬ。このように津波の来襲形態が異なった原因について考えてみる。

図-8.4は、青森県および秋田県の典型的な海岸における海底の断面形状を示したものである。断面形状は単調な海岸である七里長浜および能代海岸、リアス式形状を示す鱧作および戸賀海岸における形状を示し、方向としては津波の来襲方向にとっている。

七里長浜海岸では沖方向20kmまでは1/100の緩勾配で深くなり、さらに沖では1/20勾配に急変する。また、能代海岸では、海岸から30kmの沖までは1/200の緩勾配で深くなり、30kmより沖では約1/10の急勾配に変化する。このように、単調な海岸である七里長浜および能代海岸では沿岸部では緩勾配で、水深150~200m付近から急勾配に急変する類似の形状を示すが、能代海岸に比して七里長浜海岸の緩勾配部の長さが10km程度短い。

一方、リアス式海岸形状を示す鱧作および戸賀海岸では、鱧作ではば1/20、戸賀ではば1/50の勾配で一様で深くなってゆき、それぞれ水深300mと150m程度で1/10以上の急勾配で深くなる。このように、リアス式形状の海岸では沿岸部の海岸勾配は単調海岸に比してかなり急勾配である。

配である。

6.で示した模型実験結果からわかるように、海底勾配1/50では砕波は起こっておらず、このことから判断して、鱧作および戸賀海岸のようなリアス式海岸では砕波は起こっていないと判断できる。

模型実験においては、能代海岸の断面形状として、1/200の海底勾配部を20kmの長さとして再現しているが、実際は30km程度で、模型では1/200の勾配部が10km程度短い。模型実験結果によると、実際より1/200勾配部が短くても砕波が起き段波状になっている。1/200の海底勾配部が30kmの長さになると、式(6.5)の右辺の値が小さくなり、1/200海底勾配部が20kmである場合に比して小な津波高でも砕波することになる。能代海岸では、1/200の緩勾配が30kmに渡って広がっており、そのため砕波が起こったものと考えられる。

単調な海岸である七里長浜海岸ではなぜ砕波が起こらなかったかが問題になる。前述のように、この海岸の海底勾配は1/100で、20kmに渡って広がっている。能代海岸に比較すると急勾配である。このことを検討するために、1/200の海底勾配に関して砕波条件をよく表している式(6.5)を用いることにする。計算する条件としては

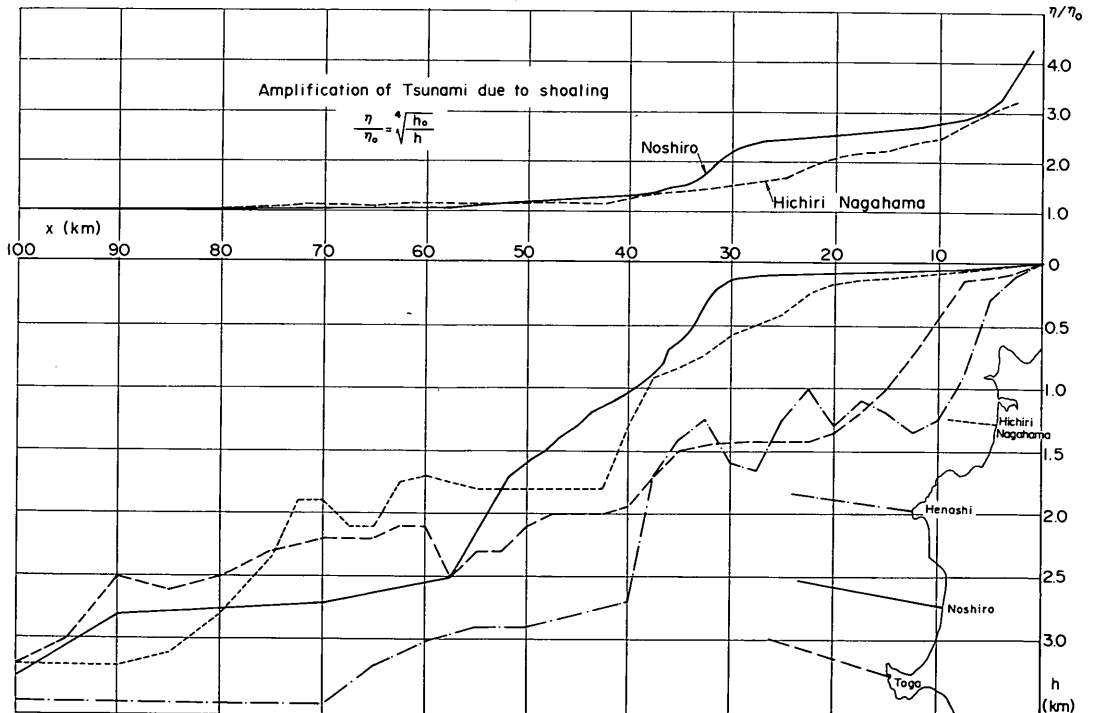


図-8.4 典型的な海岸断面形状

実験の同じ条件で $L = 25 \text{ km}$, $l = 20 \text{ km}$, $i = 1/100$ とすると、

$$a_m = 2 \text{ m}$$

となる。七里長浜の海岸においては、津波の振幅が 2 m 以上生じないと、砕波は生じないことになる。数値シミュレーションの結果によると、図-7.8 で示した七里長浜海岸での津波振幅は 0.5~1.0 m であり、数値計算の精度が悪いと考えて、2 倍の値を用いたとしても砕波しないことになる。

以上のように、砕波が起こったのは八森から南の単調な海岸だけで他の海岸では津波は砕波しなかったと考えられる。しかし、八森以南の単調な海岸においても入射する津波の高さが小さい場合、つまり 1 m 以下の場合には津波は砕波を起こさないと推定される。

(5) 短周期波の発生原因

八森海岸以南の単調な海岸においては、段波状の津波の上に通常の波浪程度の周期の波が重なっていたといわれている。このことは、実験によっても明らかで、図-6.2 に既に示しているように津波の峰付近に短周期の波が認められる。この短周期の波の周期は、図-6.33 と 6.34 に示したように 5~10 s で、入射する津波が高いほど周期が長くなる傾向にある。

このように津波の峰で発生する短周期波はソリトンと呼ばれ、孤立波としての性質を有している。ソリトンは波の非線型性によって生じるもので、長周期波における非線型性の指標としてアーセル数 ($U_r = HL^2/h^3$) がある。 U_r が 1 より大きければ大きいほど、波の非線型性が強く、 $U_r < 1$ の場合は波の非線型性が弱く、線型理論が適用できる。しかし、 $U_r > 1$ であるからといってソリトンが発生するとは限らず、アーセル数は非線型性の指標であって、

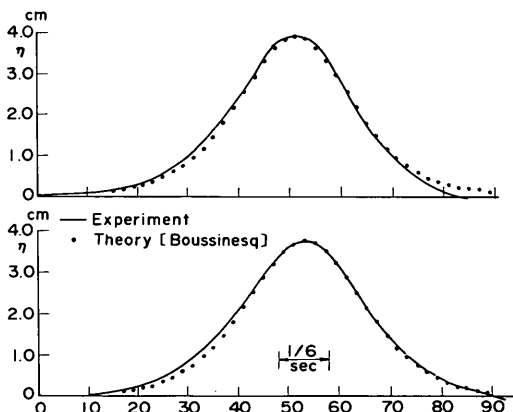


図-8.5 孤立波の変形(長島⁴⁰⁾による)

ソリトンの発生の指標ではない。例えば、長島⁴⁰⁾による図-8.5 は、水深 15 cm の水路で造波板の制御によって波高 4 cm の理想に近い孤立波を起こした場合の波形を示したものである。この場合、 $U_r = 10$ と非線型性の強い波であるが、波の伝播によっては波形はほとんど変化しない。これは、起こした孤立波は非線型波であっても、非線型な水面条件を満足しているためである。このことから、アーセル数が 1 より大きく、非線型な水面条件を満足しない波形の波の場合にソリトンの分裂が起こるといえる。長島⁴⁰⁾による図-8.6 は、このような場合のソリトンの分裂を示したものである。

ソリトンの分裂は津波が伝播するにつれてだいに発生するものであるため、伝播距離が短いと明瞭な分裂には到らない。ソリトンの分裂を表す水平スケールとして sorting distance の概念がある。岩崎ら⁴¹⁾ は波高増加の影響が有意となる距離を sorting distance として定義し、有意波高増大を 20% であるとして検討している。一様水深における実験結果から sorting distance d_s を次式のように求めている。

$$(d_s/h)_{20} = 1/(H_0/h - 0.1) + 7.4 \quad (8.3)$$

この式によると、 $H_0/h = 0.1$ では $d_s = \infty$ になり、 $H_0/h < 0.1$ ではソリトンに分裂しないことになる。また、式(8.3)からわかるように水深波高比が小さいと、相対的に長距離伝播しないと、ソリトン分裂が発生しない。

実際の海岸においては、海底勾配があるため沿岸に近づくほど水深が浅くなる。そのため、式(8.3)をそのまま適用することはできないが、特性としては式(8.3)で推定できるものと考えられる。能代海岸に入射した津波の高さは図-7.8 から最大で 2~2.5 m と推定でき、この 2 倍が波高になるとすると、津波の波高は 4~5 m となる。 $H_0/h = 0.1$ をソリトン分裂の限界値とすると、限界の水深が 40~50 m になる。海底勾配が 1/200 程度であるから、沿岸までの距離は 8~10 km と非常に長い。海底勾配があることもあって、8~10 km の長距離を津波が伝播する間にソリトン分裂を起こしたと考えられる。一方、七里長浜海岸では、図-7.8 から $H_0 = 1 \sim 2 \text{ m}$ と考えられ、限界の水深は 10~20 m となる。海岸線までの距離は海底勾配を 1/100 とし、1~2 km である。能代海岸の場合の 1/8~1/5 と短く、ソリトンの分裂は七里長浜ではほとんど起こらなかったと考えることができる。

ソリトンの分裂が起こると、その周期は津波に比して短く、分裂が進行するほど、周期が長くなる傾向がある。これは伝播するに従ってソリトン間の距離が離れるためである。津波の波高が高いと、ソリトン分裂は水深の深

い場所から起こり、津波の伝播とともにソリトンの分裂が大きくなる。このため、同一地点で測ると、津波の波高が高いほど周期が長くなるものと思われる。このことは前述の図-6.33と6.34の傾向と一致する。

(6) 津波の継続時間

今回の津波では、非常に長時間に渡って津波が続いたといわれている。この原因として、日本海では大陸と日本海の間で多重反射が起こり、そのため津波のエネルギーが

あまり拡散せず、津波が長時間にわたって続いたと説明されている。

秋田県海岸から日本海対岸のウラジオストック付近までの距離は760~800kmある。この間の平均水深を3,000mとすると、津波は80分程度で大陸に達し、160分かかって反射してくることになる。大陸沿岸と日本海沿岸との間で津波の多重反射が起こったことは確かだと考えられるが、大陸からの反射波が入射する津波の高さを増幅させ、津波のそ上高に大きく影響したとは考えにくい。

図-8.7は、今回の地震津波における深浦港における検潮記録であり、図-8.8⁴²⁾は、1968年の十勝沖地震津波における十勝港の検潮記録である。十勝沖地震は1968年5月16日9時49分に十勝沖(北緯40.7°、東経143.7°)に起きた地震で、そのマグニチュードはM7.8で、今回の地震とはほぼ同じ規模である。十勝沖地震津波のうち太平洋側に伝播する津波は反射しないため、今回の津波とは異なる。

図-8.7および図-8.8を比較すると、能代港では津波発生後12時間で偏差が20cm程度になり、ピーク時の1/3程度になっている。また、十勝港では津波発生後13時間で偏差が50cmで、ピーク時の1/3程度になっている。この2港だけの比較では、今回の津波も十勝沖地震津波も大きな津波の継続時間には差がない。このことおよび4.3での検討から考えて、今回の津波では朝鮮半島やソビエト連邦の日本海沿岸と日本沿岸との間で多重反射があったとしても、大きな津波の継続時間に影響を与えるまでは至っていないと考えることができる。

(7) 2方向の津波の発生原因

八森海岸では1および2波めの津波は北側から来襲し、3および4波めの津波は南側から来襲したといわれている。図-3.3によれば、津波の第1波はほぼ西方から来襲したと考えられる。しかし、津波浪源域の形状にも関係するため、西方より少し北側から到達した可能性もある。3および4波めで南側から来襲した津波の原因としては、八森以南の沿岸部からの反射波が考えられる。これを調べるために、図-3.3に示されている屈折図から求まる各海岸での入射角を用いて、反射方向に屈折計算を行い、海岸での反射津波がどこに到達するか調べてみた。この結果が図-8.9に示してあり、図中の数字は地震発生後の津波到達時間で、分で示してある。この図-8.9によると、北浦付近の海岸で反射した津波は58分後に峰浜海岸に達し、釜谷海岸で反射した津波は岩館や八森付近に64分後に到達する。峰浜における反射波の侵入方向は少し南寄りの西方向からである。また、岩館や八森では真

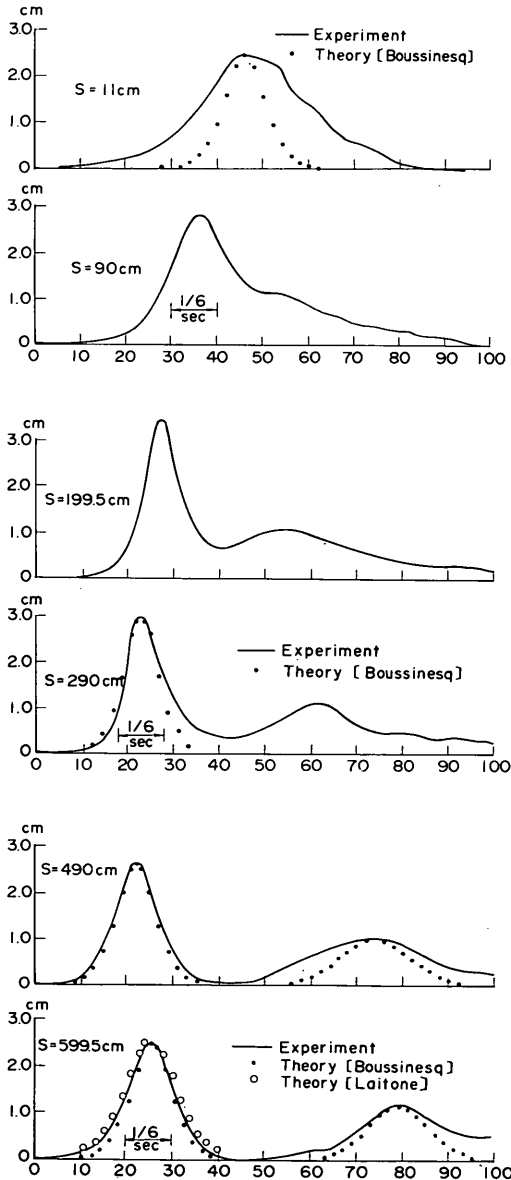


図-8.6 ソリトン分裂(長島⁴⁰⁾による)

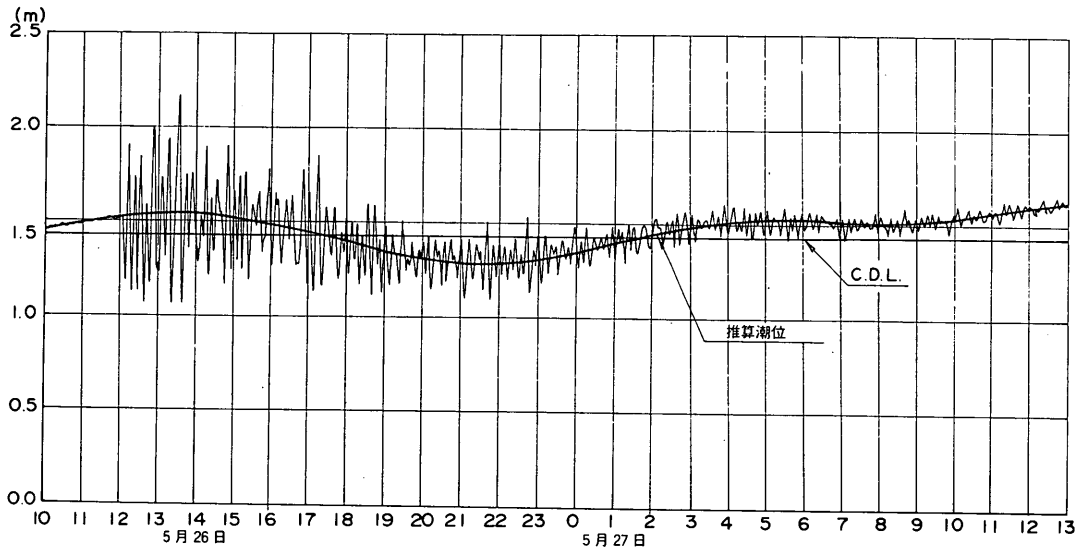


図-8.7 深浦港における検潮記録

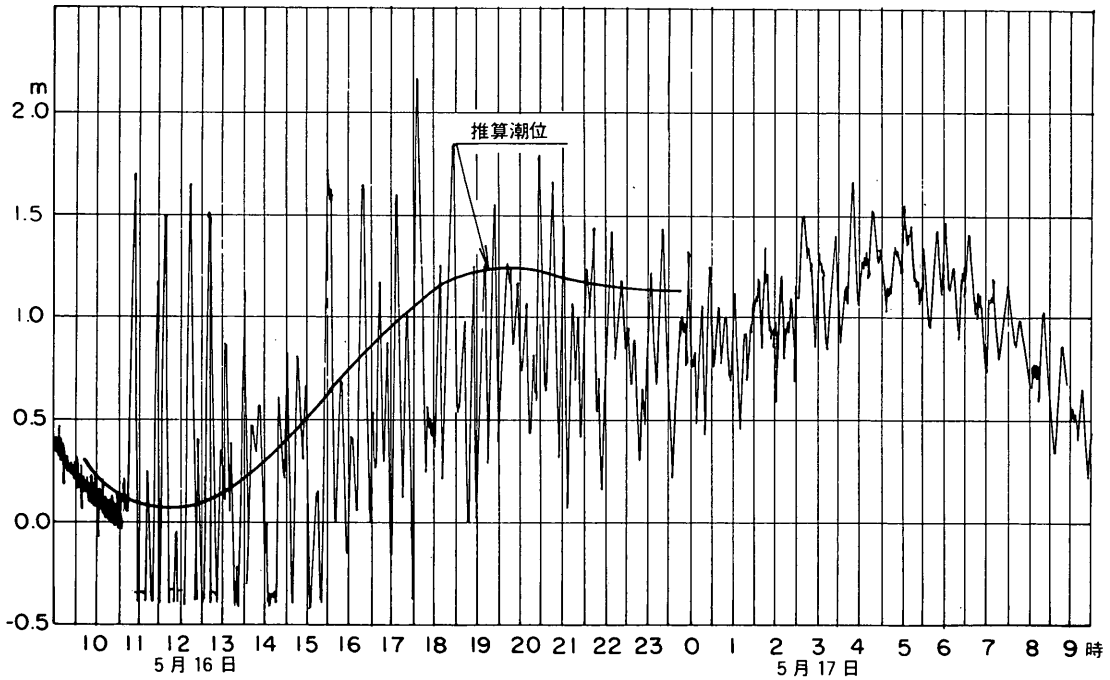


図-8.8 十勝港における検潮記録
(昭和43年5月, 十勝沖地震)

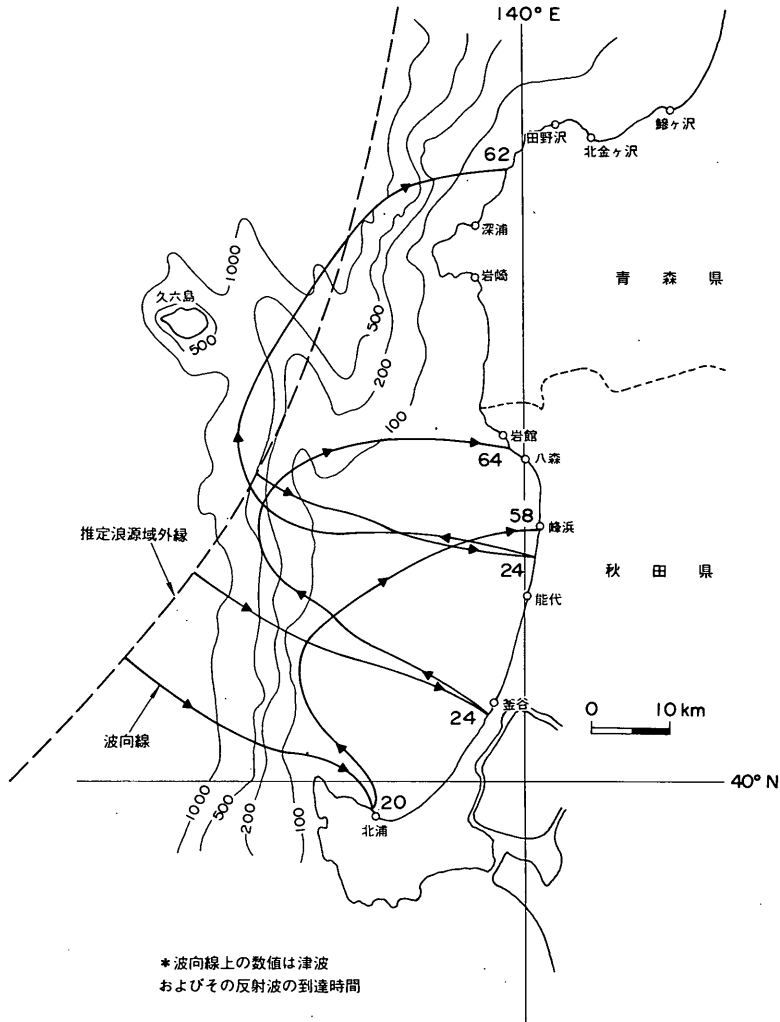


図-8.9 津波の反射

西から侵入することになる。この方向は図-3.3における直接波源域から出た津波が到達する方向とほぼ同じであり、南寄りの方向から反射津波が来襲するようには思えない。反射角度が変化すると、反射津波の来襲方向も変化する可能性もあるけれども、南側というより西側に近い方向から反射津波が来襲したと考えられる。

数値計算結果を用いて波峰線を描き、津波の進行方向を調べる方法も考えられる。第1波めでは可能であるが、第2波め以降では反射波が重なり波峰線が描けないのでこの方法は行わなかった。

その他の原因としては、エッジ波のようなものも考え

られるが、第3波や第4波めの津波ほどエッジ波の波高が大きくなるか疑問である。

このように、南側からの津波については反射波の可能性もあるが、その原因についてははっきりしない。

以上、(1)において今回の津波の特徴を述べ、(2)~(7)においてこのような特徴の現れた原因について考察を行ったが、まだ今回の地震の特性について十分解明されていない時点においては、不明な部分も多く、間違った考察があると思われる。今回の津波の特徴の究明については今後の詳細な検討が必要である。なお、8.1(1)におけるVII)については8.3において検討する。

8.2 そ上高に影響する要素と実測そ上高との関連*

(1) そ上高に影響する要素

津波のそ上高に変化を及ぼすものとして、大きく分けて下記に示す五つの要因が考えられる。ただし、海底の地盤変動量や断層面の広さは津波高に影響し、結果としてそ上高に関係するがこれについては除いている。

i) 浪源域から離れるほど津波の高さは減少し、その結果、そ上高は小さくなる。

津波は浪源域から離れれば離れるほど、津波のエネルギーは広く分散するため、津波の波高は減少する。たとえば、浪源域の半径を R とすると、津波発生時には津波の全エネルギーは半径 R 内に集中しているが、ある時間経過し、 r の地点まで津波が伝播すると、半径 r 内に津波の全エネルギーが入っていることになり、津波高 η と初期の津波高 η_0 との比は、

$$\eta/\eta_0 = (r/R)^{-1} \quad (8.4)$$

となる。このように、3次元の場合には、距離 r に反比例して減少する。しかし、厳密な解析では、 r が十分離れた場所($r/h > 35$)では、

$$\frac{\eta}{\eta_0} \approx (r/R)^{-5/6} \quad (8.5)$$

となって、津波の減少率が小さくなる。

また、2次元の場合も同様で、浪源域近傍($x/h \leq 7$)では、津波の高さは $(x/B)^{-1/2}$ に比例し、 $x/h > 7$ では、 $(x/B)^{-1/3}$ に比例する。

このように、浪源域から離れれば離れるほど、津波の高さは減少し、その結果、津波のそ上高は減少する。

ii) 津波の速度は水深の平方根に比例するため、海底の地形の変化によって屈折する。この屈折によって、波向線が集中する場所では、津波のエネルギーが集中し、そ上高が高くなる。また一方、その逆の場合はそ上高は低下する。

津波の屈折による津波高の変化は、

$$\eta/\eta_0 = \sqrt{b_0/b} \quad (8.6)$$

で表される。ここに、 b_0 は沖での波向線の間隔幅で、 η_0 はその地点での津波高である。また、 b は沿岸部での波向線間隔幅、 η はその地点での津波高である。式(8.6)でわかるように、波向線の間隔幅が半分になれば、津波高は $\sqrt{2}$ 倍に増大する。波向線の間隔幅が2倍になれば、津波高は $1/\sqrt{2}$ 倍に低減する。津波の波向線を屈折計算によって求めれば、津波高が増大するか、あるいは低減する

かがわかる。しかし、波向線の計算においては、計算開始時での波向、つまり津波発生時の波向を正確に求めることが重要であるが、これは通常不明であるため、浪源域から法線方向に伝播すると仮定して求めている。

iii) 湾の形状や湾水振動の固有周期によってそ上高が変化する。

湾の形状がV字形をしている場合、湾口から侵入した津波は湾奥でそのエネルギーを集中させ、高さを増大させる。また、湾口の狭くなっている湾においても、津波の周期が湾内水の振動固有周期と一致する場合、湾内水の振動は増幅され、湾内での津波のそ上高が異常に大きくなる場合がある。

iv) 津波が半島にぶつかると、通常の波と同様に回折現象が起こり、津波は半島の背後に回り込むが、津波の波高は減少し、そ上高も小さくなる。

v) 式(6.6)や式(6.7)で示されている首藤や富樫によって求められた津波のそ上高の式でわかるように、海底斜面の長さもそ上高に関係する。斜面の長さが長いほどそ上高が高くなる傾向にあるが、あまり長くてもそ上高は低下する。

以上、津波のそ上高に関連する重要な諸要素について述べたが、実際の海岸ではこれらが複雑に絡みあって起こり、津波のそ上高とこれらの要素との関連を明らかにするのが困難な場合が多い。

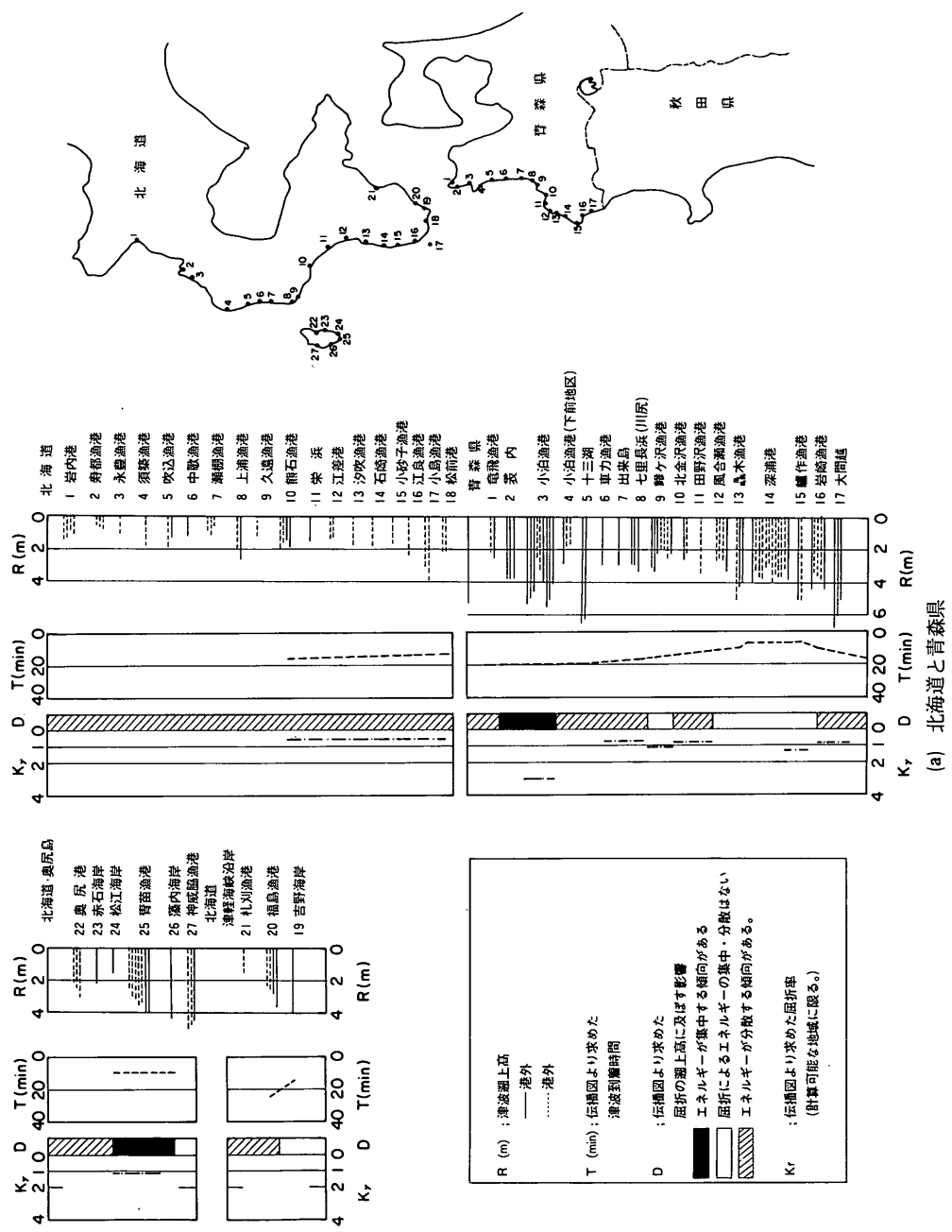
(2) 津波のそ上高と諸要素との関連

図-8.10は、こん跡調査によって得られた津波のそ上高と、図-3.3で示す屈折計算によって求めた津波の到達時間および屈折係数との関連を図示したものである。

この図でわかるように、北海道の瀬棚漁港より北および山形県の吹浦漁港の南では、津波のそ上高は比較的小さい。これは、(1)で述べた浪源域から離れるほど津波高が減少することが原因で津波のそ上高が小さくなったものと考えられる。ただし、佐渡島の藻浦漁港および関漁港で大きくなっているのは、浪源域からの距離による津波の減衰と屈折による津波高の増大とが同時に現れ、そのため、近傍の沿岸より大きくなったものと推測される。

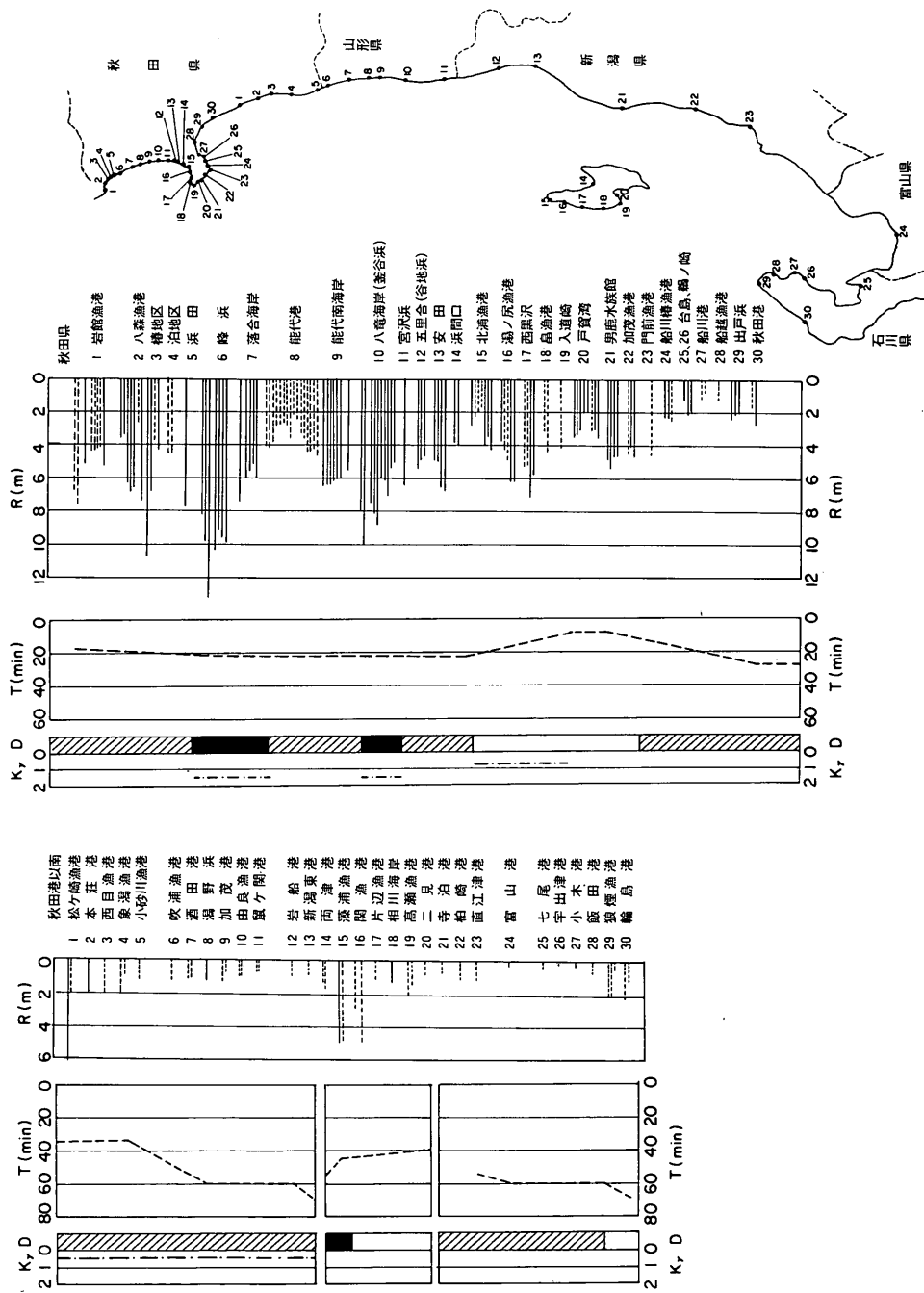
北海道南部海岸から青森県の日本海沿岸および秋田県の加茂漁港までの海岸では、浪源域からの距離が短く、距離による波高減衰は小さいと思われる。これらの海岸では津波の屈折の影響、湾の形状および海底斜面の影響が大きいと思われる。津波の屈折計算によると、小泊漁港、峰浜海岸および八竜海岸で屈折係数が大きくなり、津波のそ上高が高くなると予想され、事実、これらの海岸で

*執筆担当 高山知司



(a) 北海道と青森県

図-8.10 津波そ上高と屈折係数および到達時間との関係



(b) 秋田県以南

図-8.10 津波そ上高と屈折係数および到達時間との関係

を示すが、いくつかの海岸で計算値の傾向と異なる。まず、十三湖では実測所上高は6mに達して、付近の下前や車力におけるそ上高の2倍程度の値になっているのに対し、計算では十三湖付近は津波高が近傍の海岸より小さい傾向にあり、逆の傾向になっている。また、実測所上高が10mに達して最も大きい峰浜では、近傍の海岸よりかなり大きくなっているが、計算では峰浜を含み、大間越から能代の海岸にかけては1.6~2.0mと、ほぼ一般的な値になっている。

このように、計算値は津波そ上高が高くなるか低くなるかの全体的な傾向は表しているが、上記のように局所的に傾向が異なる部分がある。この原因としては、7.で示したように、メッシュ間隔が最小でも2.5kmと大きく、地形を十分に再現していないことや計算では非線型項を除いていることが考えられる。今後の検討においては、さらに細かいメッシュで計算することと、非線型な項も考慮し、そ上計算も行ってみる必要がある。また、地震断層条件についても今後新しいデータが提出された場合にはそれに対しても検討する必要がある。

8.3 津波に対する防波堤の効果*

(1) 海岸でのそ上高と港内そ上高の相違

今回の津波のそ上高を調査して、港外の海岸での高さや港内での高さの違いがあり、多くの場合港内での高さが低い傾向にあることが認められた。たとえば、図-8.12は港内外のそ上高が得られた26港について、横軸に港の規模を表すパラメータとして波長の2乗で無次元化し

た堤内水面積 $A/(T\sqrt{gh})^2$ をとり、港内そ上高と港外そ上高の比 R_i/R_o をプロットしてみたものである。これによると、26港の内約8割にあたる20港では $R_i/R_o=0.37\sim 0.94$ と港内におけるそ上高が小さいことが知られる。約2割にあたる5港で、 $R_i/R_o=1.1\sim 1.6$ と港内におけるそ上高が大となっているが、特に $R_i/R_o=1.2$ 以上を示すのは $A/(T\sqrt{gh})^2$ が 5×10^{-4} 以下であり、堤内水面積では $3,500\text{m}^2$ 以下の非常に小規模な港に限られている。

この結果から、極めて小規模な港を除いて、防波堤等の外郭施設で囲まれた港内においては、港外と比較して津波のそ上高が小さかったことが明らかである。この理由としては次の二つが考えられる。

- ① 防波堤による締切り効果
- ② 埋立護岸等の効果

このうち、①は防波堤で囲むことによって堤内への津波の流入量を小さくする効果で、いわゆるピークカット効果としてよく知られている。一方、②は港内に埋立護岸や岸壁などの施設がある場合、これが陸上へのいっせいの水を減じる効果である。これはまた、埋立護岸や岸壁背後には平地があるので、そこでの滞水効果も伴うことになる。

この②の効果は6.の水理模型実験の結果からも明らかで、水深5.5m地点に先端を有し、静水面上地盤高+2.0mの埋立地(護岸天端も+2.0m)があるとき、海岸でのそ上高が5~8mあっても、埋立地背後斜面上でのそ上高は3~5m程度と約6割に減じる(前出図-6.48参照)。

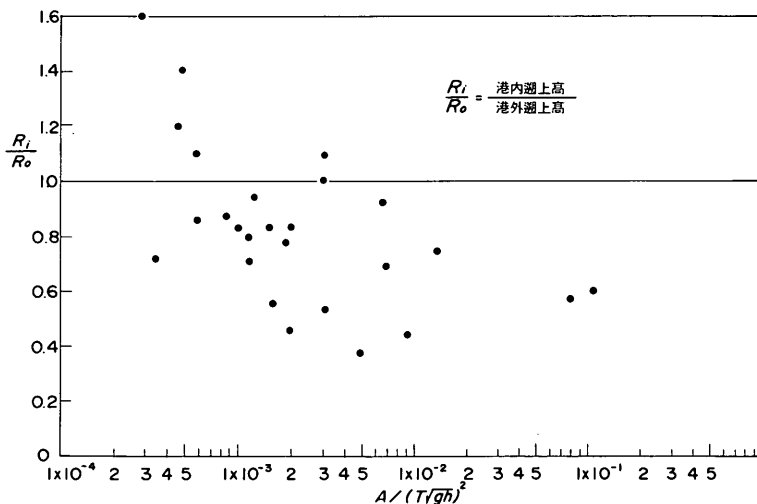


図-8.12 港の大きさと港内そ上高

* 執筆担当 吉本 靖俊・谷本 勝利

ただし、こうした効果は来襲津波の条件のほか、護岸の設置水深、天端高、埋立地の地盤高、距離等の条件によって変化する。そこで、ここでは主として防波堤の締切り効果の面から港外と港内における津波そ上高の相違を検討してみる。

(2) 流入方式による計算法と基本的特性

流入方式というのは、堤外における緩慢な水位変動に伴う内水位の変化を、内外の水位差に基づく流入量（または流出量）に応じて一様に上昇（または低下）するとして求めるもので、堤内津波の場所的波動性を無視したものである。したがって、堤内奥行が来襲津波の波長の1/4程度以上の港湾には不向きであるが、比較的小規模な港湾に対しては充分適用できる。今回の津波に対する各港の締切り効果もこの流入方式によって検討する。

図-8.13は流入方式の基本式と解を示したものである。ここに、過渡状態というのは静水状態に対し津波の第1波が来襲した状態に対応し、定常状態というのは2波め以降の状態に対応する。解はインプリシットの形で得られるので、逐次近似計算によって求める必要があるが、これから堤外津波振幅に対する堤内津波振幅の比 λ を次のパラメータの関数として計算することができる。

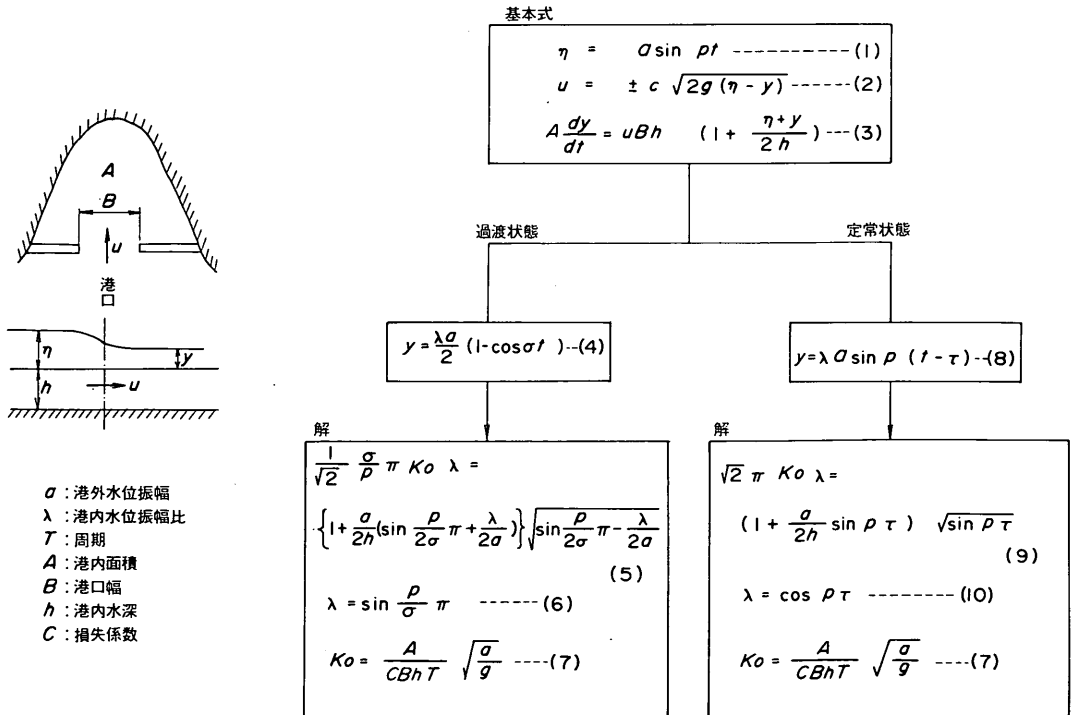
$$\lambda = f(K_0, a/h) \quad (8.7)$$

ここに、

$$K_0 = \frac{A}{CBhT} \sqrt{\frac{a}{g}} = \frac{A}{CBh} \frac{h}{\sqrt{gh}} \frac{1}{T} \sqrt{\frac{a}{h}} \quad (8.8)$$

であり、 A は堤内水面積、 B は港口幅、 h は港口水深、 a は堤外津波の振幅、 T は津波の周期である。また、 C は損失係数で通常0.8の値を用いる。

図-8.14、8.15はそれぞれ過渡状態、定常状態での計算結果を示したものである。横軸に $h/(T\sqrt{gh}) (=h/L)$ をとり、 a/h 、 A/Bh をパラメータとして、 λ の計算曲線を示してある。これから、 A/Bh が大きいほど、また $h/(T\sqrt{gh})$ が大きいほど、 λ の値が小さくなるのがわかる。つまり、港口開口部の断面積 Bh に対して、堤内水面積 A が広いほど、また津波の周期 T が短いほど、堤内津波の高さが小さくなる。 a/h については、大きいほど λ の値が低下するが、それほど大きく影響するものではない。過渡状態と定常状態を比較すると、定常状態での効果がやや大きいことがわかる。



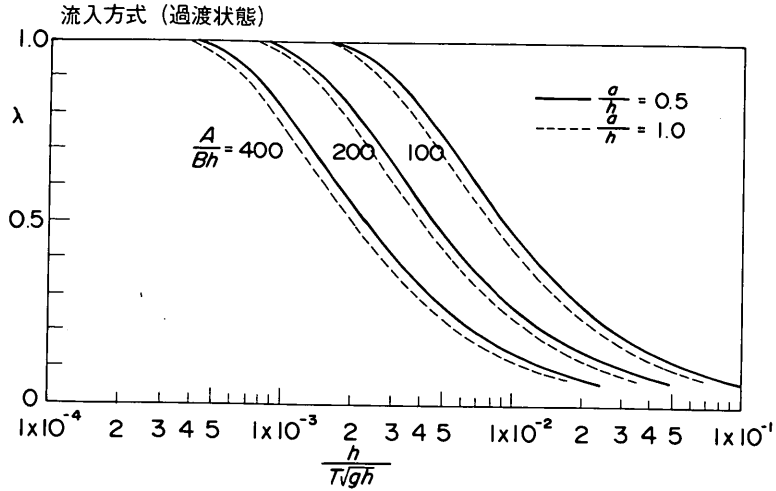


図-8.14 津波周期の影響（過渡状態）

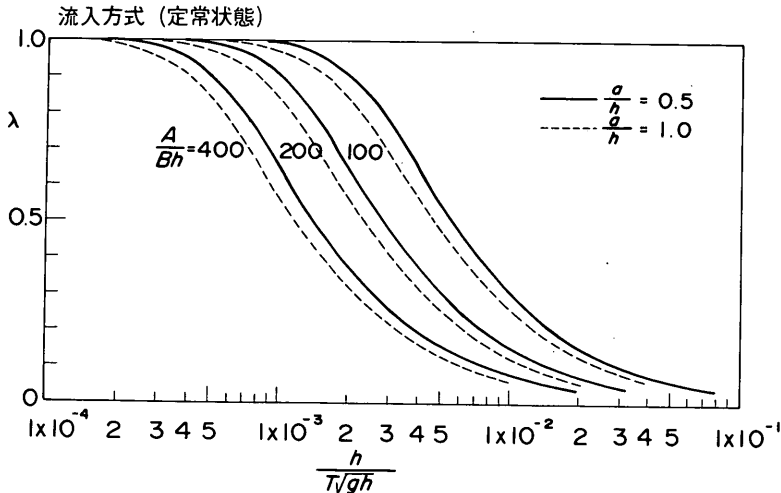


図-8.15 津波周期の影響（定常状態）

(3) 実測値との比較

表-8.1は前述した26港に対する港および来襲津波の諸元、および流入方式による計算結果を示すものである。ここに、港口は、図-8.16に説明しているように、その開口幅が最短となるようにとっている。津波の来襲方向欄の θ はこの港口部の垂線と津波の来襲方向との間の角度で、反時計回りの方向を正と定義したものである。津波の来襲方向は3.の伝播経路図から適宜判断して決定している。津波の周期 T は対象地域では比較的短い場合が多いので、簡単のため計算上10分(600s)としたものである。また、港外そ上高 R_0 、港内そ上高 R_i はこん跡高

から津波来襲時の推定潮位を補正した偏差のかたちで示したもので、測定値が複数の場合には平均値をとっている。ただし、港外そ上高は防波堤等の影響を強く受けた局所的値と考えられるものは除いてある。

流入方式に用いる港外津波の振幅 a は港口部での値であり、海岸でのそ上高とは当然異なる。しかし、一部を除いてこれを推定することは困難であること、および流入方式の計算において a/h の値はそれほど大きく影響しないことのため、 $a \approx R_0$ としている。

図-8.17は R_i/R_0 を主要パラメータ K_0 に対してプロットしたものである。図中記号に付した()の数字は、前

表-8.1 各港における流入方式による計算結果

* 備考 越…港口付近が防波堤あるいは島、岬等の越へい域となっている場合
 越…越流が生じており、これにより、これも港内に水塊が流入している場合
 内…港内が複数の内港に分かれている場合

港名	港内面積 A (㎡)	港口水深 h (m)	港口幅 A/Bh (m)	津波来襲 方向θ°	周期 T(s)	港外そ上高 R _o (m)	港内そ上高 R _i (m)	$\lambda_m = \frac{R_i}{R_o}$	$\frac{R_i}{R_o}$	$\frac{a(=R_o)}{h}$	$\frac{h}{T\sqrt{gh}}$	$K_o = \frac{A}{CBhT\sqrt{g}}$	そ上高 λc		備考
													過渡状態	定常状態	
①吹込漁港(北海道)	2028	2	20	50.7	109	1.0	1.6	1.600	0.50	0.50	$\frac{\times 10^{-3}}{0.75}$	0.034	1.000	1.000	越
②岩館漁港分港(秋田県)	3486	2	23	75.8	69	5.0	7.0	1.400	2.50	2.50	0.75	0.113	1.000	0.986	1.400
③品木漁港(青森県)	3281	2	30	54.7	120	4.1	4.9	1.195	2.05	2.05	0.75	0.074	1.000	0.996	1.195
④船川樽漁港(秋田県)	37962	3.5	50	216.9	-137	2.1	2.3	1.095	0.60	0.60	1.00	0.209	0.966	0.869	1.134
⑤神威漁港(北海道)	10419	5	47	44.3	-28	4.2	4.6	1.095	0.84	0.84	1.19	0.060	1.000	0.998	1.095
⑥熊石漁港(北海道)	53022	5	85	124.8	-101	1.6	1.6	1.000	0.32	0.32	1.19	0.105	1.000	0.980	1.000
⑦鱒作漁港(青森県)	15366	3.5	56	78.4	75	5.0	4.7	0.940	1.43	1.43	1.00	0.117	1.000	0.980	0.940
⑧深浦漁港(青森県)	347144	15	210	110.2	104	3.7	3.4	0.919	0.25	0.25	2.06	0.141	1.000	0.946	0.919
⑨冠飛漁港(青森県)	21318	7	55	55.4	152	2.3	2.0	0.870	0.33	0.33	1.41	0.056	1.000	0.998	0.870
⑩八森漁港地区(秋田県)	4135	2	26	79.5	-45	4.2	3.6	0.857	2.10	2.10	0.75	0.108	1.000	0.986	0.857
⑪北金ヶ沢漁港(青森県)	42198	6	84	83.7	174	2.4	2.0	0.833	0.40	0.40	1.30	0.086	1.000	0.991	0.833
⑫岩崎漁港(青森県)	23887	4.5	50	106.2	-153	4.1	3.4	0.829	0.91	0.91	1.13	0.143	1.000	0.957	0.829
⑬岩崎漁港本港(秋田県)	12553	3.5	25	143.5	-136	5.0	4.1	0.820	1.43	1.43	1.00	0.213	0.998	0.903	0.822
⑭西黒沢漁港(秋田県)	7958	2	89	44.7	32	6.3	5.0	0.794	3.15	3.15	0.75	0.075	1.000	0.996	0.794
⑮風合瀬漁港(青森県)	13093	2	107	61.2	177	3.1	2.4	0.774	1.55	1.55	0.75	0.072	1.000	0.996	0.774
⑯砂ヶ沢漁港(青森県)	282267	5.5	92	518.3	154	2.7	2.0	0.741	0.49	0.49	1.25	0.567	0.639	0.456	1.160
⑰島漁港(秋田県)	5427	4.5	20	60.3	-147	4.2	3.0	0.714	0.93	0.93	1.13	0.082	1.000	0.993	0.714
⑱上浦漁港(北海道)	12293	3	22	186.1	25	2.4	1.7	0.708	0.80	0.80	0.92	0.192	0.989	0.902	0.716
⑲苧苗漁港(北海道)	121727	5	55	442.6	-110	3.2	2.2	0.688	0.64	0.64	1.19	0.527	0.693	0.506	0.993
⑳秋田港(秋田県)	3776533	10	1000	377.7	55	2.5	1.5	0.600	0.25	0.25	1.68	0.397	0.726	0.567	0.826
㉑能代港(秋田県)	3086943	11	1070	262.3	-41	5.6	3.2	0.571	0.51	0.51	1.77	0.413	0.761	0.590	0.750
㉒下前漁港(青森県)	28013	5	106	52.8	-134	2.7	1.5	0.556	0.54	0.54	1.19	0.058	1.000	0.998	0.556
㉓小泊漁港(青森県)	70037	6.5	57	189.0	131	4.7	2.5	0.532	0.72	0.72	1.36	0.273	0.923	0.790	0.576
㉔八森漁港(秋田県)	48495	7	110	63.0	-146	5.5	2.5	0.455	0.79	0.79	1.41	0.098	1.000	0.986	0.455
㉕北浦漁港(秋田県)	128471	4	153	209.9	149	4.1	1.8	0.439	1.03	1.03	1.06	0.283	0.943	0.803	0.466
㉖福島漁港(北海道)	86914	5	53	347.7	-132	3.5	1.3	0.371	0.70	0.70	1.19	0.433	0.777	0.597	0.477

出の表-8.1中の港名の番号を表しており、その右側の数値は a/h の値を示している。また、データは防波堤を越流したものと、しないもので区別してある。

この結果によると、データは著しくばらついているけれども、 K_0 が大きくなるにつれて R_i/R_0 の値が低下していく傾向にあることがわかる。 R_i/R_0 が1.0を越えているものもあるが、これらは前述したように港の規模が非常に小さく、津波によって一のみにされるような条件の

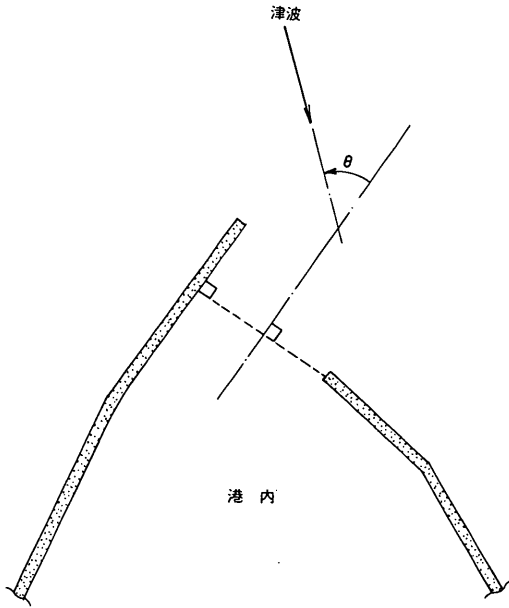


図-8.16 津波来襲方向の定義

場合である。これらのデータを除いて、図中過渡状態に対する計算曲線を示してあるけれども、計算値は実測値のはば上限に対応していることが知られる。これは、前述した海岸でのその上高と港内背後の平地でのその上高の相違のほか、計算では堤外津波を正弦波としているけれども実際には段波津波で来襲している港があること、また津波の来襲方向が港口に対してかなり斜め、あるいは回り込むかたちである港も多いこと、さらに港内に副堤などがあって二重になっている港も多いことなどが関係していると考えられる。

このうち、海岸でのその上高と護岸背後の平地へのその上高の相違について、ちなみに水理模型実験から得られた比0.6を用いて、計算値を0.6倍した曲線も図-8.17に示してある。 R_i/R_0 の実測値の多くはこの二つの計算曲線の間分布しており、この影響が大であると推測される。

また、図-8.18は横軸に θ をとって、港口に対する津波の来襲方向の影響を見たものである。ここに、縦軸は港内外でのその上高の比の実測値 $\lambda_m (=R_i/R_0)$ を計算による過渡状態での比 λ_c で割って示してある。これは K_0 の影響を各港について一応規準化したものである。これによると、データはばらついているけれども、下限値の包絡線を見ると、 θ の絶対値が大きくなるにつれて明らかに漸減傾向にあり、今回の津波では港口への来襲方向によっても港内外のその上高に違いがあったといえる。

以上、港内外のその上高の相違について考察したが、結論として、今回の津波では周期が比較的短く、通常の港湾や漁港であっても防波堤の締切り効果がある程度発揮

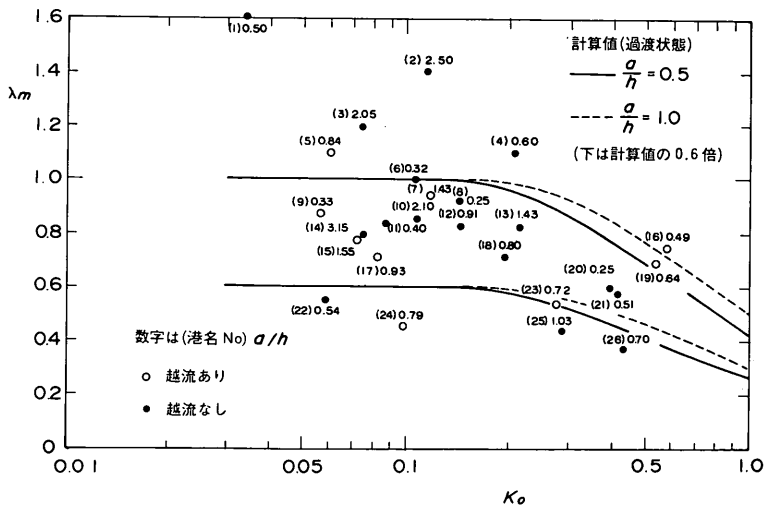


図-8.17 K_0 と港内その上高の関係

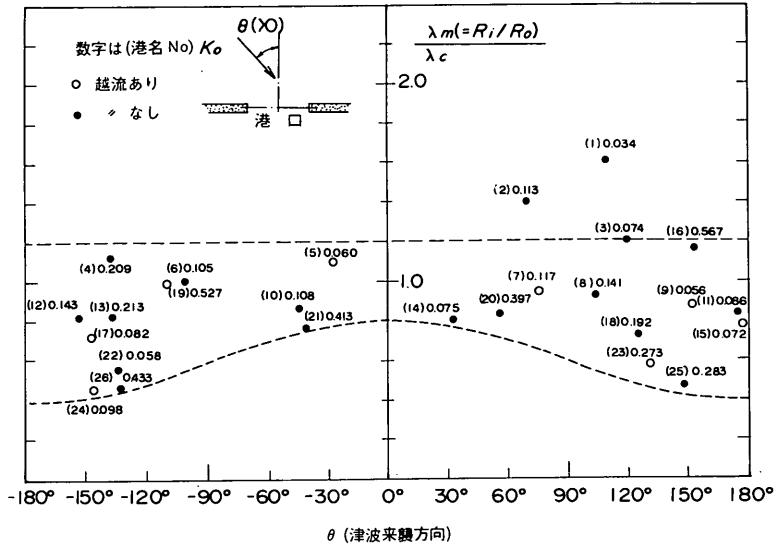


図-8.18 津波来襲方向の影響

されたこと、さらに港内埋立護岸等の効果、港口に対する津波の来襲方向などによって、流入方式によるピークカット効果以上に、港内でのそ上高が港外でのそ上高より小さかったことが指摘される。なお、防波堤の越流の有無の影響はそれほど大きくないと考えられる。

8.4 検潮井戸の津波に対する応答*

(1) こん跡高と検潮記録最高潮位の相違

検潮記録は津波の記録として非常に有効であるが、今回の津波では現地における実際のこん跡高と比較したとき、検潮記録による最高潮位が小さい場合が多い。例えば、C. D. L.を基準にして深浦港においては3.3mのこん跡高が記録されているのに対し、検潮記録の最大値が0.73 m、また、能代においても海岸で6 m以上の津波が来襲しているのに対し、検潮記録の最大は2.08mにすぎなかった。このように、検潮儀の記録が実際の津波のこん跡高よりも小さい値を示す原因としては、次の3つが考えられる。その第一は、検潮所の設置位置が港内にあることが多いために、前節で述べたように港の防波堤等による津波波高の減衰の効果があることである。第二番めには、同じ港内においても、こん跡高は場所的に異なることがあり、かならずしも検潮所の位置で、港内のこん跡高の最高を示すとは限らないことがある。以上の点は、前出の図-5.51の能代における津波のこん跡高分布の例でも明らかである。能代港付近のこん跡高調査によると、港外においては5~7mの非常に高いこん跡高を

示しているのに対し、港内では2~4mに減少している。また、港内においても、検潮所の付近では2m程度のこん跡高であるのに対し、港の奥まった所では4mと比較的高いこん跡高を示している。

第三番めに、検潮所の構造、すなわち検潮井戸の津波に対する応答特性の問題がある。検潮儀は本来変動の非常に緩やかな潮汐を記録するために設けられたものであり、通常の波浪のように周期の短い変動は消去されるように設計されている。そのため、津波の場合でも周期が比較的短いときには、その振幅が減じられる可能性がある。本節においては、この三番めの問題について検討してみる。まず、表-8.2は、今回の津波において得られた検潮記録の最高潮位と、港内の検潮所付近において得られた津波のこん跡高あるいは目視観測による結果を示したものである。ここでの検討は、検潮記録および目視観測あるいはこん跡高の両方が精度良く得られた地点に限定している。ここに、津波高は検潮井戸の津波に対する応答を調べるために、推定潮位からの偏差に直してある。これによると、岩内、岩船、寺泊、柏崎、直江津などは検潮記録とこん跡あるいは目視観測による偏差の比(A/B)が0.96~1.03ではほとんど一致しているのに対し、石狩湾新港、深浦、能代、船川、酒田、両津、新潟東港、新潟西港などでは0.19~0.89と検潮記録による値が明らかに小さい。特に深浦では0.19と極端に小さくなっている。このように、検潮記録とこん跡高の相違は条件によ

* 執筆担当 村上和男

表-8.2 検潮記録とこん跡高の比(偏差を基準として)

	A 検潮記録 による偏差	B こん跡または目 視による偏差	A/B
石狩湾新港	0.56 m	0.63	0.89
岩内港	1.25	1.3	0.96
江差港	0.75	1.1	0.68
深浦港	0.61	3.2	0.19
能代港*	1.94	2.8	0.69
船川港	0.32	0.7	0.46
酒田港	0.81	1.3	0.62
岩船港*	0.73	0.7	1.04
新潟東港	0.78	1.0	0.78
新潟西港	0.50	1.0	0.50
両津港	1.17	1.5	0.78
寺泊港	0.59	0.6	0.98
柏崎港	1.01	1.0	1.01
直江津港	0.72	0.7	1.03

*第1波目が最高潮位を示したもの。

って非常に異なっていることが知られる。

(2) 流入方式による算定式と基本的特性

こうした検潮井戸の津波に対する応答を前節と同様に流入方式を用いて検討する。ただし前節と異なり、開口部に自由水面がないので計算式は若干簡単になる。以下、その式の誘導を示す。

検潮所は一般に図-8.19に示すような構造をしている。この構造のうち、水位変化に対する応答特性を支配する要因としては、検潮井戸の面積、導水孔の面積及びその長さが増えられる。検潮井戸の水位変動を次の二つの仮定を用いて近似的に求める。

- i) 導水孔の流速 u は、内外の水位差によって与えられる。

$$u = C\sqrt{2g|\eta - y|} \quad (8.9)$$

- ii) 検潮井戸の水位は導水孔の流入量に応じて変化する。

$$A \frac{dy}{dt} = uS \quad (8.10)$$

ここに、 η : 検潮井戸外側の水位

y : 検潮井戸の水位

u : 導水孔内の流速

g : 重力加速度

である。また、図-8.20は検潮儀をモデル化して示したものである。ここにおいて、

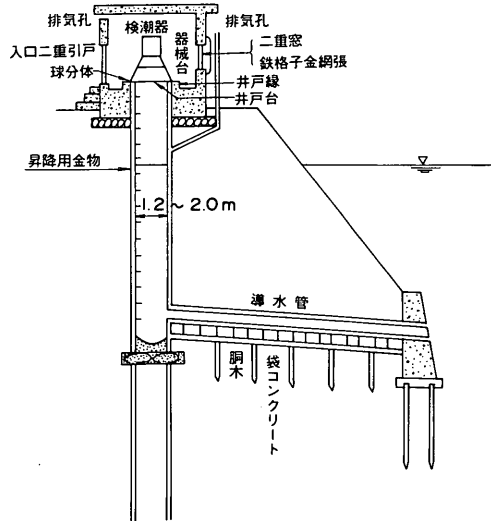


図-8.19 検潮儀

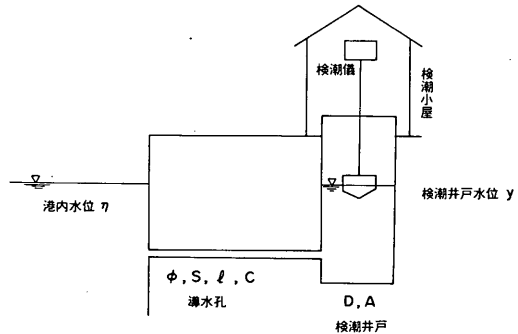


図-8.20 検潮井戸の簡単な構造

D : 検潮井戸の内径

A : 検潮井戸の面積 $(= \frac{\pi}{4} D^2)$

ϕ : 導水孔の内径

S : 導水孔の面積 $(= \frac{\pi}{4} \phi^2)$

C : 抵抗係数 $(= 1/\sqrt{f_0 + f' \frac{l}{R} + f_0})$

l : 導水孔の長さ

R : 導水孔の径深

f : 摩擦損失係数

f_0 : 流入損失係数

f_0 : 流出損失係数

である。いま、定常状態として港内の水位変動 η と検潮井戸の水位変動 y を式(8.11), 式(8.12)のように仮定する。

$$\eta = a \sin(p t) \quad (8.11)$$

$$y = a \lambda \sin p(t - \tau) \quad (8.12)$$

ここに、 $p = 2\pi/T$ 、 T は周期、 λ は波高の減衰比、 τ は位相の遅れ時間、 t は時間である。これらの関係を図-8.21に示す。

以上の関係において、 $t = \tau$ のときに、

$$y = 0 \quad (8.13)$$

$$\frac{dy}{dt} = p a \lambda \quad (8.14)$$

$$\eta = a \sin p \tau \quad (8.15)$$

が条件式として与えられ、これを式(8.9)、(8.10)に代入すると、

$$\frac{\sqrt{a} A p \lambda}{CS \sqrt{2g}} = \sqrt{\sin p \tau} \quad (8.16)$$

となる。同様に、 $t = \tau + T/4$ において、

$$\frac{dy}{dt} = 0 \quad (8.17)$$

$$a \lambda = a \sin p \left(\tau + \frac{T}{4} \right) = a \cos p \tau \quad (8.18)$$

となる。これより、

$$\lambda = \cos p \tau \quad (8.19)$$

が得られる。式(8.16)、式(8.19)を組み合わせると、

$$\left(\frac{\sqrt{a} A p \lambda}{CS \sqrt{2g}} \right)^4 + \lambda^2 = 1 \quad (8.20)$$

となる。これを λ について解くと、

$$\lambda = \left(\frac{-1 + \sqrt{1 + 4a^2(E_0 p)^4}}{2a^2(E_0 p)^4} \right)^{1/2} \quad (8.21)$$

が得られる。ここにおいて、 E_0 は検潮所の構造を表す係数として次のように定義されるものである。

$$E_0 = \frac{A}{\sqrt{2g} CS} \quad (8.22)$$

図-8.22に、構造係数 $E_0 = 50$ の場合の定常状態における周期(T)と波高の減衰比(λ)との関係を示す。この図より、周期が短いほど、また入射波高が大きいほど減衰比(λ)の値が小さくなるのがわかる。また、図-8.23は、周期を $T = 10$ 分に固定した場合の、定常状態における構造係数(E_0)と波高の減衰比(λ)との関係を示したものである。この図より、 E_0 が大きくなるにつれて減衰比 λ の値が小さくなるのがわかる。

同様の検討を、過渡状態、すなわち第1波めの津波偏差について行う。過渡状態に対しては、港内と検潮井戸の水位変動は次のように仮定される。

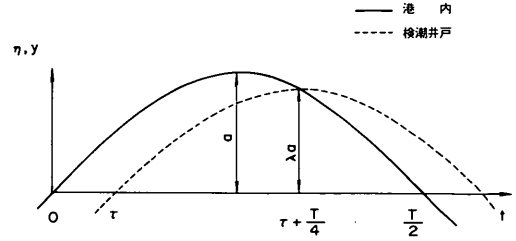


図-8.21 定常状態における港内と検潮井戸の水位変化

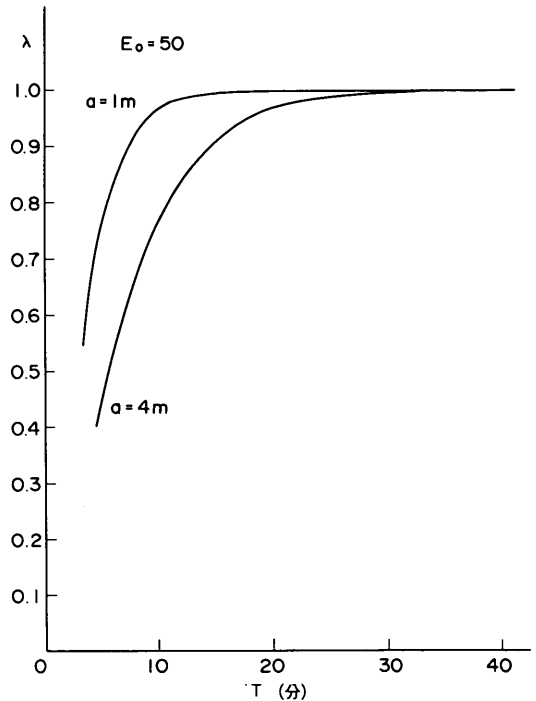


図-8.22 減衰比(λ)と周期(T)の関係 (定常状態, $E_0 = 50$)

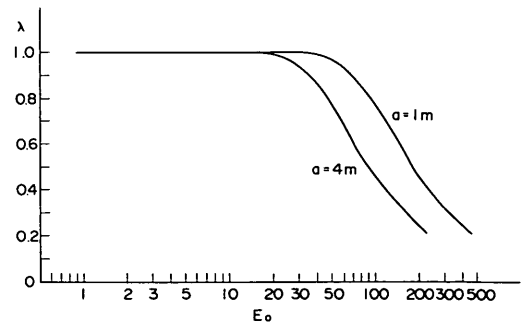


図-8.23 減衰比(λ)と構造係数(E_0)の関係 (定常状態, $T = 10$ 分)

$$\eta = a \sin pt \quad (8.23)$$

$$y = \frac{a\lambda}{2} (1 - \cos \sigma t) \quad (8.24)$$

この関係を図-8.24に示す。

ここで、 $t = t_1$ のときに、

$$y = a\lambda \quad (8.25)$$

$$\frac{dy}{dt} = 0 \quad (8.26)$$

$$\eta = a \sin pt_1 = a \sin \frac{p}{\sigma} \pi = a\lambda \quad (8.27)$$

で表される。また、 $t = t_1/2$ のときに、

$$y = \frac{a\lambda}{2} \quad (8.28)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{a\lambda}{2} \sigma \quad (8.29)$$

$$\eta = a \sin \frac{p}{2\sigma} \pi \quad (8.30)$$

で表される。これらの関係式を、式(8.9)、式(8.10)に代入すると、

$$\sqrt{a} E_0 \frac{\lambda}{2} \sigma = \sqrt{\sin \frac{p}{2\sigma} \pi - \frac{\lambda}{2}} \quad (8.31)$$

$$\lambda = \sin \frac{p}{\sigma} \pi \quad (8.32)$$

となる。ここに、 σ は過渡状態における検潮井戸内の水位変動の周波数である。

前と同様に、過渡状態における周期と波高の減衰比との関係を図-8.25に、構造係数 E_0 と波高の減衰比との関係を図-8.26に示す。定常状態における場合よりも、過渡状態のほうが減衰比が小さいことがわかる。

(3) 流入方式による計算結果との検討

以上の流入方式を用いて、現地検潮井戸の応答を調べてみる。ただし、今回の津波においては、第1波めが最大潮位を示す地点は能代と岩船のみであり、したがって、その他の地点については定常状態とし、能代と岩船については過渡状態として計算する。付録2に、本節で検討した検潮所の構造図を示しておいた。

表-8.3に表-8.2に選出した検潮所における検潮儀の諸元および E_0 の値を示す。ここに E_0 を計算する際、導水孔の摩擦損失係数 f' は次のように与えている。

$$f' = \frac{124.5 n^2}{\phi^{1/3}} \quad (8.33)$$

この式において、 n はマンシングの粗度係数である。一般に、導水孔はヒューム管で設計されることが多いのでヒューム管の粗度係数として、 $n = 0.013$ の場合に対する検潮儀の構造係数を E_0 とした。しかし、導水孔にいろいろな生物が付着したり、ごみ等が付着したりしている可能

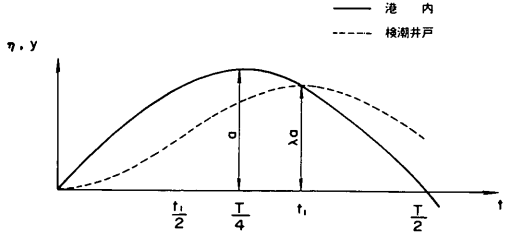


図-8.24 過渡状態における港内と検潮井戸の水位変化

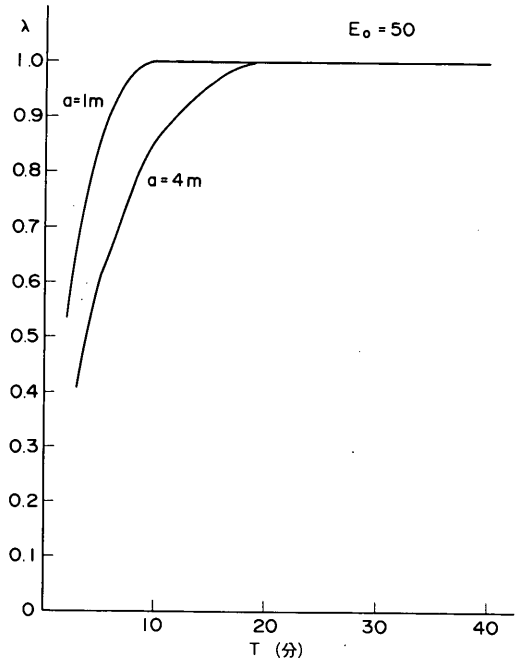


図-8.25 減衰比(λ)と周期(T)の関係 (過渡状態, $E_0 = 50$)

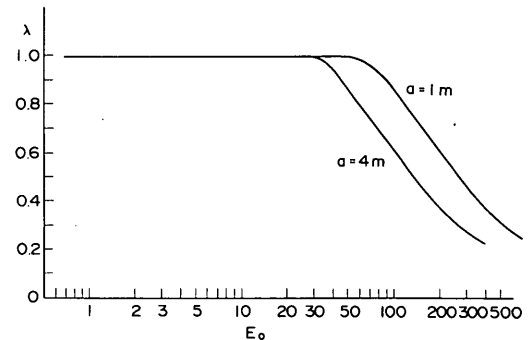


図-8.26 減衰比(λ)と構造係数(E_0)の関係 (過渡状態, $T = 10$ 分)

表-8.3 検潮儀の諸元と $E_0 (=A/\sqrt{2g}CS)$

	検潮井戸の内径 (m)	導水孔の内径(cm)	導水孔の長さ(m)	E_0 ($n=0.013$)	E_0' ($n=0.026$)
石狩湾新港	1.0	15	11.7	37.2	86.4
岩内港	1.2	15	8.8	47.4	107.6
江差港	0.9	5(4本)	4.4	85.7	167.5
深浦港	1.0	15	7.0	29.9	55.8
能代港	1.2	15	11.5	53.3	102.4
船川港	1.2	10	21.4	205.9	406.7
酒田港	1.2	15(2本)	24.0	37.5	73.1
岩船港	0.65	12	1.8	13.4	22.8
両津港	1.5	7.5	0.95	181.4	308.3
柏崎港	1.2	30	7.8	7.9	13.8
直江津港	1.0	20	2.0	9.6	15.1
新潟東港	1.2	8	0.875	96.5	160.1
新潟西港	1.2	10	0.7	44.6	82.8
寺泊港	0.6	30	2.4	1.4	2.1

表-8.4 検潮井戸の津波に対する減衰比
(最高潮位を記録したときの偏差に対して)

	こん跡 H (m)	検潮記録 a (m)	周期 T (分)	減衰比 λ	推算値 h (m)	減衰比 λ'	推算値 h' (m)
石狩湾新港	0.63	0.56	15	1.00	0.63	0.98	0.62
岩内港	1.3	1.25	14	0.99	1.29	0.82	1.07
江差港	1.1	0.75	10	0.81	0.89	0.51	0.56
深浦港	3.2	0.61	8	0.91	2.91	0.66	2.11
能代港	2.8	1.94	10	0.89*	2.49	0.66*	1.85
船川港	0.7	0.32	10	0.51	0.36	0.28	0.20
酒田港	1.3	0.81	10	0.98	1.27	0.84	1.09
岩船港	0.7	0.73	10	1.00*	0.70	1.00*	0.70
新潟東港	1.0	0.78	15	0.92	0.92	0.74	0.74
新潟西港	1.0	0.50	10	0.98	0.98	0.84	0.84
両津港	1.5	1.17	20	0.72	1.08	0.47	0.71
寺泊港	0.6	0.59	10	1.00	0.60	1.00	0.60
柏崎港	1.0	1.01	20	1.00	1.00	1.00	1.00
直江津港	0.7	0.72	20	1.00	0.70	1.00	0.70

*最高潮位が第1波めであるために過渡状態の値を採用

性が考えられるので、粗度係数を2倍とした $n=0.026$ にした場合についての構造係数 E_0' も示してある。現地における粗度の状況が不明であるので正確ではないが、導水孔の長さが長い場合には大きい抵抗値の E_0' を、短い場合には小さい抵抗値の E_0 を用いるのが現実的であると考えられる。

これらの諸量を、式(8.21)あるいは式(8.31)、(8.32)に代入して減衰比を求めたものを表-8.4に示す。この表において、 λ は E_0 ($n=0.013$) に対応する値であり、 λ'

は E_0' ($n=0.026$) に対応する値である。この計算で得られた減衰比と、実測で得られた減衰比(検潮記録/こん跡または目視)の比較を図-8.27に示す。この図において白丸は $n=0.026$ に対応し、黒丸は $n=0.013$ に対応した減衰比である。深浦、酒田および新潟西港を除いて、45°の斜めの直線の周辺に分布しており、検潮井戸の津波に対するレスポンスは、流入方式によってかなり説明できるものと考えられる。

結果が合わないもののうち、酒田港の場合には、酒田

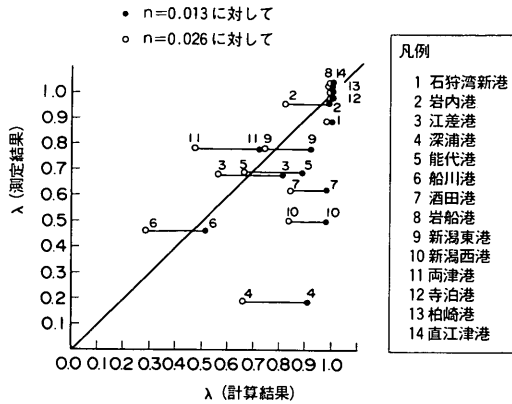


図-8.27 計算結果と定測値による減衰比λの比較

港管理事務所で開催された目視観測によるC.D.L基準+1.40mという潮位が検潮所付近で生じたとする、検潮所設置位置の護岸(C.D.L+1.22m)の天端を越えたことになるが、観察者の話では、護岸は越えていないということなので津波波高分布に場所的な相違があったものと推察される。これに対し、深浦については、検潮所付近で3m程度の津波が来襲していることは明らかなので、検潮記録の小さかった理由はよくわからない。おそらく、摩擦損失係数を更に大きくする、すなわち導水孔に何らかのつまりが生じており、構造係数 E_0 が200程度になっていたのではないかと推測されるが、明確なことは言えない。また、新潟西港についても同様な理由が考えられるが詳しいことはよくわからない。

ここで、構造係数 E_0 を決定する要因の影響について若

干検討してみる。 E_0 は式(8.22)で定義されるように、検潮井戸の面積、導水孔の面積、及び導水孔の損失抵抗によって決定される。式(8.22)を、これらの諸元で表すと、式(8.34)のようになる。

$$E_0 = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{1.5 + \frac{498 n^2 l}{\phi^4}}}{\sqrt{2g} \frac{\pi}{4} \phi^2} \quad (8.34)$$

いま、標準として、 $D=1.2\text{m}$ 、 $\phi=15\text{cm}$ 、 $l=10\text{m}$ 、 $n=0.026$ の場合について、それぞれの諸元を変化させた場合の E_0 の変化を図-8.28に示す。この図より、導水孔の内径、および検潮井戸の内径が E_0 を大きく変化させることがわかる。ついで摩擦係数 n は E_0 を線型的に変化させ、導水孔の長さ l はその平方根に比例して変化させているのがわかる。したがって、導水孔の長さという諸元は、他の要因と比べると、 E_0 をそう大きく変化させるものではないといえる。しかし、これらの諸元は一義的なものではなく、例えば導水孔の長さが長くなると、その中をきれいに保つことが難しくなり、ごみや海生生物などが付着しやすくなることが考えられる。このことは、 n の値を大きくし、かつ ϕ の値を小さくすることを意味するので、 E_0 を大きく変化させる可能性がある。このようなことから検潮井戸のレスポンスを高めるためには、導水孔の内径を大きくし、かつ長さを短くして、ごみあるいは海生生物の付着を防ぐ構造が望ましいといえる。

(4) 検潮儀による津波記録の取得について

以上みてきたように、今回のように比較的周期が短い津波(例えば $T=10\text{分}$)が来襲した場合の検潮井戸のレスポンスは、0.5~0.9程度の波高の減衰をもたらすことが

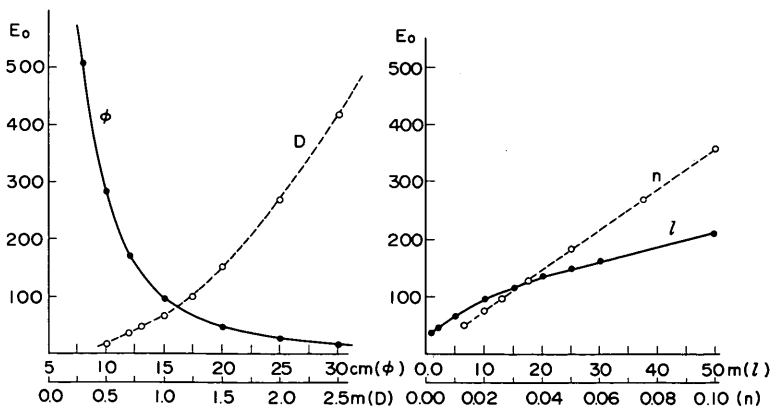


図-8.28 $D=1.2\text{m}$ 、 $\phi=15\text{cm}$ 、 $l=10\text{m}$ 、 $n=0.026$ を基準にして、それぞれの諸元を変化させた場合の E_0 の変化

わかった。また、今回の津波が、日本海側という比較的潮位差の小さいところに来襲したために、検潮儀の記録範囲をスケールオーバーして、基準線がずれたり（両津港）、ねじがゆるんで測定不能（輪島港）になった例がある。また、秋田港の検潮儀のように地震動による揺れが原因で故障になった例もある。もともと、検潮儀は潮せき（汐）に対して設計されたものであり、検潮井戸の設計に対しても、周期の長い潮せきが対象である。したがって、津波に対しての応答が若干悪いことや、スケールオーバーに関しては仕方がない面がある。しかし、津波の現象を解明するためには、津波による水位変動を正確に記録することは重要であり、全国各地の沿岸に設置されている検潮儀によってこれが達成されるならば効果は大である。そのためには、検潮儀の設計の考え方を潮位記録だけでなく、津波計として考える必要がある。今回の調査において、幾つかの検潮儀を覗いてまわった感じから判断すると、検潮儀を津波計として用いるためには、まず地震動に対して強い構造であること、また導水孔の径を大きくし、その長さを短くすること、および測定範囲を大きくすることなどが考えられる。しかし、あまりレスポンスを高くすると、風波による水位変動を感じとってしまうために、データ整理が非常にはん雑なものになってしまう。したがって、1分以下の周期の波はカットする必要があるであろう。また、記録方式には何らかのくふうを加え、例えば電気的なフィルターを通して記録するシステムを併用すれば、潮せきと津波に対して別々に記録をとることも可能であろう。また、スケールアウトの問題に対しては、例えば、阿賀野川河口の松ヶ崎の検潮記録は、2ペン方式により縮尺1/5と1/50の2つが記録されており、大きな変動と小さな変動に対して別々の記録方式を採用しているが、このような方法も改良のひとつの方法であろうと考えられる。

8.5 構造物等の被災*

一 能代港外港地区埋立護岸の被災原因 一

(1) 滑動限界津波高

今回の津波による構造物等の被災のうち、最も大であったのは能代港外港地区埋立護岸（火力発電所用地護岸、建設中）である。これの被災状況は既に3.3で述べたとおりであり、ここではその被災条件等について考察する。

図-8.29は被災直前の前面護岸の代表的な幾つかの断面図を示したものである。この護岸は建設中であって種々の施工段階にあり、被害を受けたのは裏込め栗石を未施工の断面ⅢおよびⅣであった。このうち、断面Ⅲは消

波工がある場合であっても滑動している。

まず、これらの断面についてどのような津波が来襲したときに滑動を生じるかを、6.3で示した直立壁に働く津波力の算定法に基づき検討してみる。ただし、引き波は比較的長時間継続するので、段波来襲直前での直立壁前後での水位は第2波めであっても同じ（ $h_1=h_2$ ）であると仮定する。また、津波力は比較的静水圧に近いので、消波工があっても変化しないものとする。このとき、滑動限界状態に対応する入射津波の高さ a_c は次式のように表される。

$$a_c = \frac{\mu W_0 + \mu' W'_0 + 1.1 w_0 h_c^{*2} / 3}{\left(1 + \frac{h_c^*}{h} + \frac{\mu}{2} \frac{B}{h}\right)} \times 2.2 w_0 h' \quad (8.35)$$

ここに、

$$h_c^* = \min \{ h_c, 3.0 a_c \} \quad (8.36)$$

であり、 μ は直立部と捨石マウンドの間の摩擦係数（=0.6）、 μ' は捨石と捨石の間の摩擦係数（=0.8）、 W_0 は直立部の単位長あたりの静水中重量（tf/m）、 W'_0 は裏込め栗石の有効重量（tf/m）、 w_0 は海水の単位体積重量（=1.03 tf/m³）、 h_c は直立部の静水面上天端高(m)、 h' は直立部底面の深さ(m)、 B は直立部の幅(m)である。また、 $\min \{ a, b \}$ は a または b いずれか小の値を表す。

式(8.35)は直立部の摩擦抵抗力の他、裏込め栗石の抵抗力を考慮したもので、すべり面は水平面としている。裏

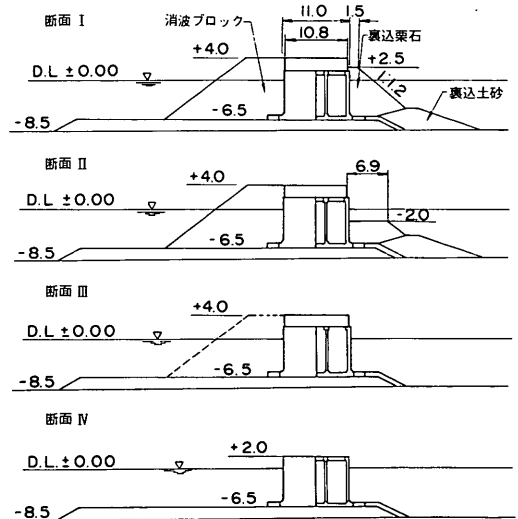


図-8.29 前面護岸の断面（建設中）

* 執筆担当 谷本勝利

込め栗石の有効重量は水面上の体積に対し 1.8 tf/m^3 、水面下の体積に対し 1.0 tf/m^3 の単位体積重量を用いて求める。

図-8.30は断面I~IVに対して式(8.35)により a_c を求めプロットしたものである。津波来襲時の天文潮を $+0.15 \text{ m}$ とし、段波来襲直前での水位変化 Δh を $0 \sim -6 \text{ m}$ （は水位低下を表す）の範囲で変化させて計算してある。図中記号説明の上から順に断面I, II, III, IVに対応しているが、直立部の単位長あたりの空中重量は断面I~IIIが、 251.3 tf/m 、断面IVが 201.6 tf/m である。

滑动限界津波高 a_c は、 $\Delta h = 0 \text{ m}$ のとき、断面Iが 5.3 m 、断面IIが 4.6 m 、断面IIIが 3.5 m 、断面IVが 2.9 m であり、それぞれ水位が低下するほど抵抗力が増加するので高くなることを読み取れる。同様に転倒に対する限界高さを求めることもできるが、当該条件の場合滑动限界津波高よりも大きくなり、ここには示していない。

(2) 被災条件の推定

次に、このような前面護岸がどのような津波条件で被災したのか現地踏査の結果および6の実験結果に基づき推測してみる。

まず、来襲津波の周期は10分程度であったと考える。また、能代港の検潮記録には初動に引きが認められるが、その偏差は 0.2 m 程度と小さく、工学的意味からは押し波初動と考える。

さて、能代港両側の海岸でのその上高は河口部など特殊な地形の所を除いて $6 \sim 7 \text{ m}$ 程度である。これに対応する水深 200 m 地点での第1波めの入射津波の振幅 a_{10} は図-6.38から $1.2 \sim 1.4 \text{ m}$ である。これが水深 9 m 程度のところに伝播したときの段波の高さ a_1 は図-6.14の実験値を補間して次のように推定される。

$$a_1 = 2.3 \sim 2.6 \text{ m}$$

この値は能代港内での検潮記録による第1波押しの偏差 1.94 m より大きい。ただし、その比較に際しては港外と港内での高さの相違、検潮井戸の応答性、および反射波の影響を考える必要がある。ちなみに、流入方式による港外と港内高さの比は過渡状態に対し 0.5 程度、検潮井戸による減衰率を 0.8 程度とすると、検潮記録から逆算した港外での津波偏差は 4.9 m となる。これは反射波と重なった状態での値であるので、入射波の高さとしてその $1/2$ を考えると 2.5 m 程度となり、前述の推定値とはほぼ一致する。

同じような津波が第2波めにも続いたとすると、第1波の引きによる水位変化 Δh （後述するように直立壁があるときとないときの平均値をとる）および第2波めの段波の高さ a_2 は図-6.26, 6.23, 6.55から次のように推定さ

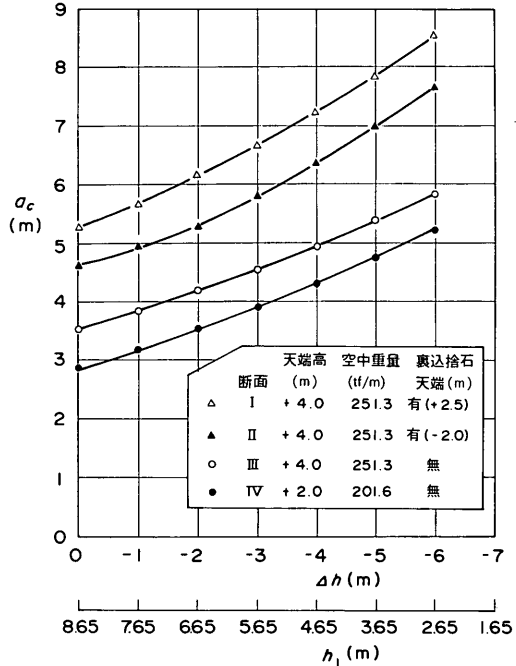


図-8.30 滑动限界津波高

れる。

- ① $\Delta h = -5.2 \text{ m}$, $a_2 = 5.0 \text{ m}$
- ② $\Delta h = -5.8 \text{ m}$, $a_2 = 6.0 \text{ m}$

こうした津波が作用したとき、護岸直立部の安定性は以下ようになる。

1) 第1波の作用

$\Delta h = 0 \text{ m}$, $a_1 = 2.3 \sim 2.6 \text{ m} < a_c(\text{断面IV}) = 2.9 \text{ m}$
したがって、滑动しない。

2) 第2波の作用 ①

$\Delta h = -5.2 \text{ m}$, $a_2 = 5.0 \text{ m} > a_c(\text{断面IV}) = 4.9 \text{ m}$
 $< a_c(\text{断面III}) = 5.5 \text{ m}$

したがって、断面IVは滑动するけれども、断面IIIは滑动しない。

3) 第2波の作用 ②

$\Delta h = -5.8 \text{ m}$, $a_2 = 6.0 \text{ m} > a_c(\text{断面IV}) = 5.1 \text{ m}$
 $> a_c(\text{断面III}) = 5.8 \text{ m}$
 $< a_c(\text{断面II}) = 7.5 \text{ m}$

したがって、裏込め栗石のない断面IV, IIIは滑动するけれども、裏込め栗石のある断面は滑动しない。

実際には断面IV, IIIが滑动しているのので、以上の推定値のうち大きいほうの条件を採用して、第1波めは高さ

2.6m程度の津波が来襲したけれども護岸は滑動には至らず、第1波の引きによって水位が5.8m程度低下していたときに、高さ6.0m程度の第2波めの段波が来襲し被害が生じたものと推測される。

ただし、この推測は以下のような仮定をおいたものであることに留意する必要がある。

- ① 能代港に来襲した津波の第1波と第2波が、実験において造波板を等振幅運動をさせたときの発生波のようである。
- ② 第1波来襲時の堤背後水面は静水位であり、第2波めの段波来襲時には前面水位と同じ高さに低下している。

この中でも問題となるのは①であるが、第1波については検潮記録から逆算した入射津波の高さとほぼ一致することから、それほど間違いないと考えられる。実験では、水深200mでの第2波の振幅は第1波めよりもやや大きいけれども、海岸へのそ上高は引き波の影響を受けるため第2波めが第1波めとほぼ同じかやや小さい。したがって、海岸におけるそ上の最大値が第2波めに生じたものとする、第2波めは上述の推定条件とほぼ一致するか、やや大きくなるにすぎない。検潮器に第1波の引きによってトラブルが生じ、記録が取れていないので

正確なところは不明であるが、第1波、第2波ともほぼ推定した条件のようであったと考えても大きな間違いはないと考えられる。

②の仮定は今回の津波が段波状で来襲し水位の上昇が急激であったこと、既に述べたように引きは比較的長時間継続するので堤背後の海水は開口部から充分流出できることにより、ほぼ妥当と考えられる。

ただし、検潮記録や7.のシミュレーション計算による能代での波形に認められるように、第1波の顕著な押しの前に小さな引きが先行している。これによって第1波の押し波が影響されて、より大きな段波となって来襲したとすると、第1波によって一部滑動が生じた可能性も否定しきれない。

(3) 被災条件での作用状況

前述の被災条件は6.の実験条件でいえば周期が40sで、造波板の片振幅 e が200mmと250mmの中間に相当する。そのため、やや大きめの条件であるが、 $e=250$ mmの押し波初動の実験結果に基づいて、津波の来襲および作用状況を以下に示すことにする。

まず、図-8.31は直立壁を設置しない状態($i=1/200$)での水位記録を示したものである。津波の第1波は沖から汀線方向へ伝播するにつれて、波形が前傾し段波とな

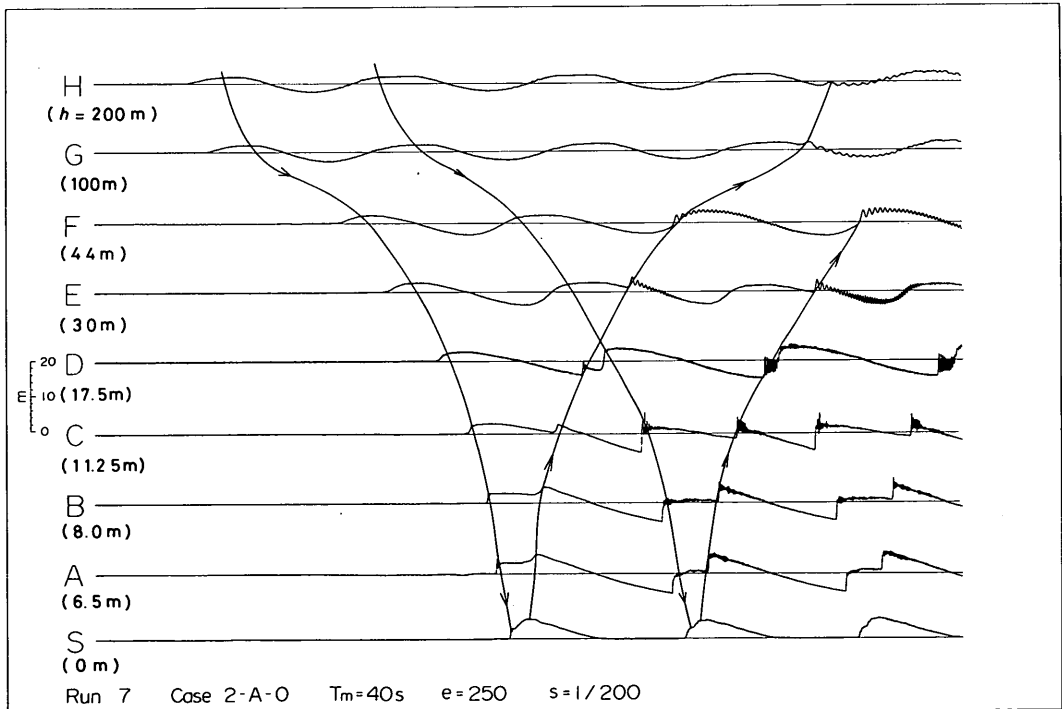


図-8.31 直立壁がないときの水位記録

ることがわかる。護岸位置は測点B(-8.0m)と、測点C(-11.25m)の間にあるが、やや沖側の測点Cでの第1波最大水位は波形の先端から若干遅れて生じており、約2.6mである。これに対し、やや岸側に相当する測点Bでは、先端付近に短周期変動が現れ始めているけれどもその振幅は小さく、最大水位は2.7m程度である。

第2波めは第1波の引き波時に顕著な段波となって来襲する。測点Cでの段波来襲直前での水位低下は、約5.4mであり、測点Bでは約5.2mである。第2波めの段波波形には、特に測点Cにおいて顕著な短周期変動が見られる。中でも二番めの波が大きく、波高が約6mにもなる。この短周期変動を平滑化したときの段波の高さは約6.6mである。これに対し、測点Bでの短周期変動の振幅は小さく、最大波高でも1.4m程度である。また、これを平滑化した段波の高さは約5.6mである。

一方、図-8.32は-9.0m地点に直立壁を設置したときの測点Cでの水位記録と直立壁前面での波圧記録を示したものである。前出の図-8.31と比べると、測点Cでの水位記録には、直立壁が近くにあるため、反射波が早く出現しているのが認められる。そのため、入射波と反射波の区別がやや難しくなるが、反射段波が現れる以前の状態で読み取ると、入射波第1波の最大水位は約2.8m、第2波段波来襲直前での水位低下は7.2m、第2波段波の平滑高さは約6.5mである。これを直立壁がない場合と比べると、既に6.で指摘したように段波の高さはほぼ同じであるが、第2波来襲直前の引き波による水位低下が大きい。これは直立壁があるため、波の谷に対し重複波がより顕著になること、および腹の位置に近いことによると推測される。ただし、これは直立壁が無限の長さを有する場合である。実際には、構造物の長さは有限であり、しかも津波の波長が非常に長いためこれほど低下しないと考えられる。つまり、実際の水位低下は直立壁がない

場合の値と、ある場合の値の間にあると考えるのが妥当である。前述の被災条件の第2波め段波来襲直前の水位変動量 Δh はこれを考慮して、両者の平均値を与えたものである。

なお、直立壁がない場合の第2波めの入射段波には非常に大きな短周期変動が見られたけれども、直立壁がある場合にはそれほど顕著でない。また、波圧波形にも短周期変動が認められるが、その振幅は小さく、この例の場合最大波圧は段波衝突からある程度時間が経過した後生じている。

図-8.33, 8.34はモータドライブカメラで連続撮影した写真から直立壁への第1波、第2波の作用状況を図化したものである。撮影時間を現地量へ換算して示してあるが、直立壁の50m程度前方に第1波の来襲を認めてから天端高+4.0mの直立壁を越流するまでの時間が10s以内と非常に短い。越流高は1.0~1.5mで比較的長時間継続する。天端高が+2.0mであれば第1波の越流高は3.0~3.5mに達するものと考えられる。

直立壁への第2波の作用はさらに急激である。直立壁前方約50mに白波状で来襲する段波を認めてから、越流開始までの時間は約6sと非常に短く、しかもそれが第1波の引きによる最干時から急変するのが著しい特徴である。この第2波の衝突では写真-8.1に見られるようにやや高い跳波が生じるけれども、その後継続する越流高は+4.0mの直立壁天端上1.0m程度である。

以上、実験結果に基づく直立壁への段波津波の作用状況である。能代火力発電所用地護岸の条件とは断面形状や水深等若干異なるけれども、ほぼここに示した状況であったと考えられる。ただし、第2波めの背後水位は初期の静水位に近いが、これは実験で引き波による流出を再現していないため、実際には水位が相当低下していたと推測される。

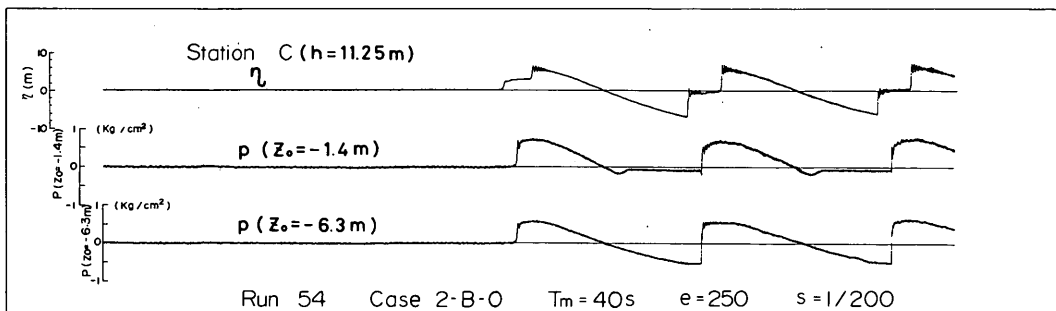


図-8.32 直立壁前方での水位記録と波圧記録

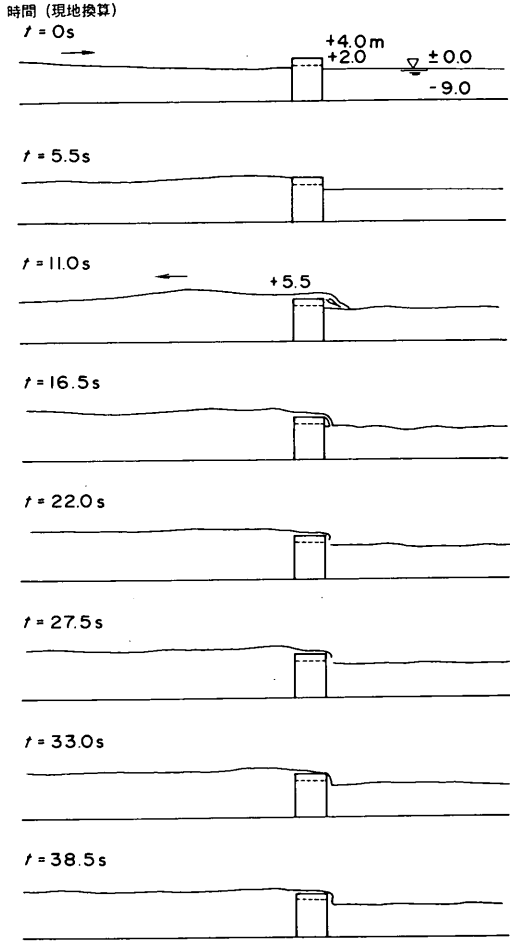


図-8.33 直立壁への津波第1波の作用状況

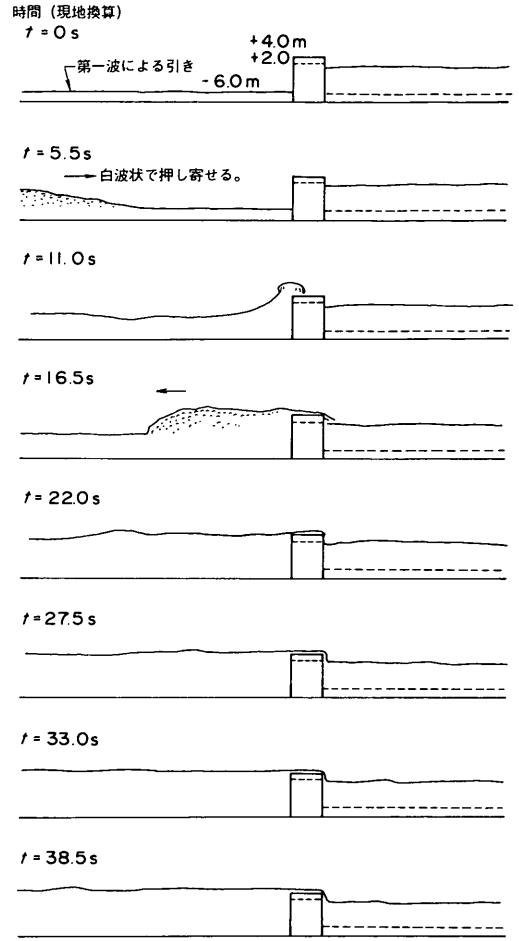


図-8.34 直立壁への津波第2波の作用状況

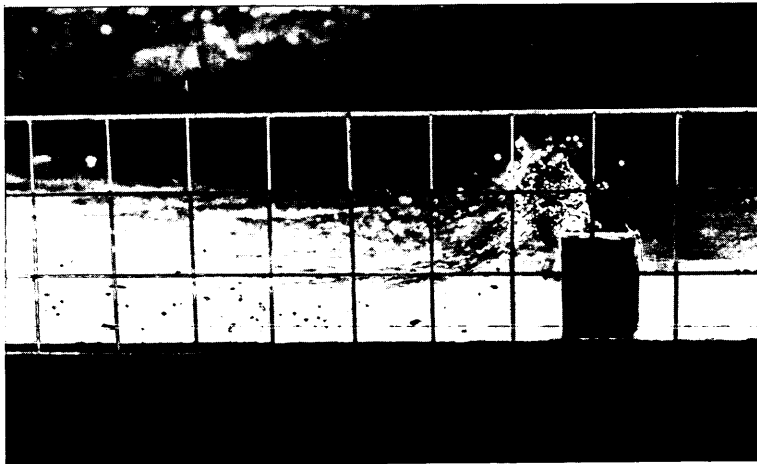


写真-8.1 直立壁への段波第2波の衝突 ($T_p = 10min, e = 250$)

9. むすび*

以上、1983年日本海中部地震津波の調査・研究結果を述べたが、2.から8.までの内容を、簡単にまとめておく以下のとおりである。

2. 地震・気象・海象

日本海中部地震およびそれに伴って発令された津波予報について述べるとともに、当日の気象・海象について概説した。当日は天候穏やかで、日本海沿岸における12時の波高観測記録による有義波高は1 m程度以下であった。

3. 津波の概況

津波の逆伝播図を描いて浪源域を求め、その浪源域から屈折計算を行って各地への伝播経路を示した。推定浪源域は秋田・青森県沖に位置し、南北約170 km, 東西約110 kmの略楕円形である。

また、現地踏査で得た総計299点でのそ上高分布を示し、今回の津波の規模の概略を示した。そ上高の特に大きい地域は秋田県北部海岸で、峰浜村ではC.D.L上13 mを超えているところもある。そ上高で見ると、今回の津波は1960年のチリ地震津波以降の近年の津波の中で最大であった。

さらに、今回の津波による被害状況全般を概説するとともに、秋田港における木材流出、能代港外港地区埋立護岸（建設中）の被災状況についてやや詳述した。

4. 検潮記録による津波

北海道から九州に至る日本海沿岸全域にわたって収集した64の検潮記録により、第1波到達時間、最高潮位および津波偏差、周期特性などを示した。収集検潮記録による最高潮位は能代港でのC.D.L+2.08 m(津波偏差1.94 m)であり、こん跡高より小さい。また、検潮記録以外に標尺等により目視観測を行っているところが11箇所あり、それらの結果についても述べた。

さらに、日本海沿岸の5地点で得た波高観測記録から長周期変動を抽出、波高観測記録にも断続的であるが、津波がよく記録されていることを示した。

5. 各地の津波来襲および被害状況

北海道岩内港から石川県輪島港に至る日本海沿岸各地111箇所での津波来襲状況、こん跡高、被害状況などを記述した。各地で提供を受けた津波の来襲状況を示す多くの写真も掲載した。

6. 浅海における津波の変形とそ上に関する実験

比較的浅い海岸が広く広がる能代海岸、これと逆に比

較的急勾配の男鹿半島西岸の二つの海岸を略対象として、縮尺1/200の海底模型を水深200 m以浅についてひずみなしで再現し、津波の変形およびそ上に関する実験を行った。その結果、能代海岸のような緩勾配(1/200)の海岸に比較的周期の短い津波(8~10分)が来襲したとき、波形は伝播とともに著しく変形して段波状となり、周期5~10秒程度の短周期変動を伴うことがあること、これに対し男鹿半島西岸のように比較的急勾配(1/50)の海岸では、顕著な段波津波とはならず、重複波であることが例証された。こうした津波の来襲による入射津波の高さとそ上高の関係を求めたが、そ上高は入射津波の高さが同じであれば緩勾配海岸のほうが大きい。ただし、これは短周期変動の有無によるものではなく、段波性津波が重複波の津波かによる相違である。

さらに、海岸に離岸堤や埋立護岸がある場合のそ上高に及ぼす効果、および防波堤に働く津波力に関する実験も行った。その結果、離岸堤（透過性）や埋立護岸（護岸の天端高は埋立地面の高さと同じ）があれば、そ上高が減少することが明らかとなった。また、段波性津波が防波堤に作用する場合の津波力の算定法を示した。

7. 津波の数値シミュレーション

今回の津波の巨視的な特性を把握するために、東京大学地震研究所の島崎・森両氏による暫定的な断層モデルを用いて、浪源域を含めた津波のシミュレーション計算を行った。この計算は線型基礎方程式に基づいており、格子間隔を2.5~5.0 kmとした粗いものである。また、陸上へのそ上は考慮していない。これによって、引き波初動の範囲や津波高の相対的分布特性など、ある程度の説明ができたが、沿岸での津波高の絶対値は実測そ上高との相違が大である。実際のそ上高に近い値を得るためには、非線型項や陸上へのそ上を考慮し、さらに格子間隔を小さくした計算を行う必要がある。

8. 考 察

今回の津波の水理的特性、そ上高に影響する要素と実測そ上高の関連、津波に対する防波堤の効果、検潮井戸の津波に対する応答、構造物等の被災について、現地調査、水理実験、理論計算などに基づき考察した。それぞれの概要を以下に述べる。

8.1 今回の津波の水理的特性

今回の津波について、押し波初動、引き波初動の原因、短周期津波の原因、段波津波の発生原因、短周期波の発生原因、津波の継続時間、2方向津波の発生原因について考察した。特に、今回の津波の著しい特徴は秋田県北

* 執筆担当 谷本勝利

部海岸において、段波状津波が来襲し、かつ短周期波が付随したことであるが、この原因としては津波の周期が短かったこと、この海岸では1/200程度の緩勾配の海岸が30kmにわたって広く広がっていること、そのため短周期分裂波が発達する十分な距離があったことなどである。津波の継続時間については、過去の津波と比較して、特に長いとはいえない。また、八森海岸で認められた2方向津波の来襲については、男鹿半島北岸～能代海岸からの反射波の伝播を屈折計算により検討してみたが、これらの反射波は沖へ伝播して屈折し、再び北方側に離れた海岸を襲うものの、方向については浪源域からの来襲方向とそれほど違わず、明快な説明はできなかった。もう少し局所的な現象の影響であるかもしれない。

8.2 そ上高に影響する要素と実測そ上高との関連

そ上高の分布について巨視的な見方から考察した。大局的には浪源域からの伝播距離、屈折による収れん、発散などによって、地域ごとのそ上高の大小がかなり説明できるけれども、局所的には十三湖が付近の他に比べて大きいなどの不明な点もある。

8.3 津波に対する防波堤の効果

今回の津波では港外の海岸でのそ上高に比べ、港内でのそ上高が小さい傾向が認められた。この理由は、防波堤による締切り効果、埋立地等の効果が考えられる。そのうち、防波堤の締切り効果について、流入方式により検討した。26港について調べた結果、計算による堤内外の波高比は、海岸におけるそ上高と港内におけるそ上高の比の実測値のほぼ上限に相当し、計算以上に港内におけるそ上高が小さいことが明らかとなった。これは今回の津波の周期が比較的短く、通常規模の港の防波堤であっても締切り効果があったこと、さらに港内埋立地の効果、港口に対する津波の来襲方向の効果などによって、予想以上に港内でのそ上高が小さくなったものと推測できる。ただし、非常に規模の小さい二・三の港では、逆に港内におけるそ上高が大きくなっている。

8.4 検潮井戸の津波に対する応答

今回の津波では、現地におけるこん跡高と比べたとき、検潮記録による最高潮位が小さい場合が多い。検潮所近くでのこん跡高が得られている14港について、こん跡による津波偏差と検潮記録による津波偏差の比をとると、0.19～1.0であった。これに対し、流入方式を応用した理論によって減衰比を計算すると0.5～1.0でほとんどは説明できるけれども、深浦港など二・三については計算以上の減衰であった。この理由は不明であるが、今回のように比較的周期の短い津波を記録するためには、検潮井

戸の構造、記録方式について検討の余地がある。

8.5 構造物等の被災

能代外港地区埋立護岸（建設中）の被災原因について考察した。水理実験結果等により、第1波めは高さ2.6m程度の津波が来襲したけれども護岸は滑動には至らず、第1波の引きによって水位が5.8m程度低下していたときに、高さ6.0m程度の第2波めの段波が来襲し、被害が生じたものと推測される。段波津波の作用の著しい特徴は変化が急激であることにある。たとえば、第2波めの段波の来襲は、第1波の引きにより水位が著しく低下しているときであり、最も引いた状態で前方50m程度の沖に段波の来襲を認めてから約6s程度で越流が始まるという急激な変化を示す。そのため、背後に津波が充分回り込むことができず、堤内外に著しい水位差がついて滑動、倒壊したものと考えられる。したがって、比較的緩やかな水面の上下を示す重複波の津波の来襲であったならば、被災は生じなかったかもしれない。ただし、以上は多くの仮定を含むもので、第1波の作用による滑動を完全に否定するものではない。

本調査・研究は津波発生後の現地調査に続き、比較的短期間のうちに種々の問題を検討して、一時も早く全ぼうを示すべくとりまとめたものである。そのため、記述に間違いがあったり、検討不十分などところがあるかもしれない。気付かれたところがあれば、お知らせ願えれば幸いである。

なお、本調査・研究には、現地調査や資料の収集において、非常に多くの方々協力して頂いた。運輸省港湾局、第一港湾建設局、第二港湾建設局、北海道開発局港湾部および土木試験所、青森県、秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県を始め、市町村等の関係者の皆様から心からお礼を申し上げる次第である。

また、東北大学首藤伸夫教授、東京大学地震研究所伯野元彦教授からは地震・津波についての貴重な情報を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表する次第です。

さらに、当所合田良実水工部長、田中則男海洋水理部長には終始御支援と御教示を頂き、厚くお礼を申し上げます。そのほか、水理実験や計算の実施、データ整理および図面等の作成には、水工部防波堤研究室山崎一雄、海象観測研究室橋本典明、立花裕二、波エネルギー研究室明瀬一行、海洋水理部波浪研究室古川正美、関口忠志、水理研究室一戸秀久、寺川博也、松延嘉國、海水汚染水理研究室佐藤英治の各研究官等の協力を得た。ここに記して感謝の意を表したい。（1983年9月16日受付）

参考文献

- 1) 永井 豊・牛島龍一郎・長谷川道夫：北海道における昭和58年日本海中部地震津波の分布について，北海道開発局土木試験所月報，No. 362，1983，pp. 16～22.
- 2) 気象庁観測部地震課：1983年5月地震火山概況（速報），1983年6月1日，7 p.
- 3) 乗富一雄 他：1983年日本海中部地震による災害の調査速報，第20回自然災害科学総合シンポジウム，pp. 22～23.
- 4) 気象庁：気象官署津波業務規程（中央気象台達第10号），1952年4月1日，pp. 78～80.
- 5) 運輸省港湾局，第一港湾建設局，港湾技術研究所：新潟地震津波調査報告，1964，96 p.
- 6) 運輸省港湾局，港湾技術研究所，第二港湾建設局，北海道開発局港湾部：1968年十勝沖地震津波調査報告，1968
- 7) 運輸省港湾局，港湾技術研究所，北海道開発局港湾部：1973年根室半島沖地震津波調査報告，1973
- 8) チリ津波合同調査班：1960年5月24日チリ地震津波踏査速報，昭和35年度科学研究費交付金総合研究「遠地津波による災害の研究」による，1960
- 9) 建設省国土地理院：全国検潮場一覽（改訂版），1977，127 p.
- 10) 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所：風・潮位・気圧台帳—第16集—（1980年），1982年，817 p.
- 11) 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所：管内観測網施設調査報告書（風向風速・潮位・波浪各観測施設）1981，552 p.
- 12) 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所：管内気象・海象観測施設台帳(II)，1981，706 p.
- 13) 前出 6) に同じ
- 14) 高橋智晴・菅原一晃・広瀬宗一：沿岸波浪観測施設台帳，港湾技研資料No. 418，1982年3月
- 15) 高橋智晴・菅原一晃・広瀬宗一：沿岸波浪観測年報（昭和56年），港湾技研資料No. 445，1983年3月
- 16) 福井芳朗・白石英彦・中村 充・佐々木泰雄：津波の研究(I)，第9回海岸工学講演会講演集，1962，pp. 44～49.
- 17) 室田 明・岩田好一朗：段波の変形に関する研究，土木学会論文集，第160号，1967，pp. 49～58.
- 18) 岩崎敏夫・真野 明・小杉達郎：孤立性段波のソリトン分裂に関する研究，第22回海岸工学講演会論文集，1975，pp. 47～51.
- 19) 岩崎敏夫・鈴木義和：孤立性段波よりのソリトンの変形と砕波に関する研究，第24回海岸工学講演会論文集，1977，pp. 45～49.
- 20) 岩崎敏夫・首藤伸夫・鈴木義和・栗田 悟：孤立性段波のえりわけ距離に関する研究，第25回海岸工学講演会論文集，1978，pp. 132～136.
- 21) 井島武士：海岸工学，朝倉書店，1970，315 p.
- 22) Keller, H. B., D. A. Levine and G. B. Whitham : Motion of a bore over a sloping beach, *J. Fluid Mech.*, Vol. 7, part 2, 1960, pp. 302～316.
- 23) Shuto, N. : Standing Waves in front of a Sloping dike, *Coastal Engineering in Japan*, 15, 1972, pp. 13～23
- 24) 例えば，前出 17)
- 25) 首藤伸夫：非線型波動論，1974年度（第10回）水工学に関する夏期研修会講義集，1974，pp. B-1-1～B-1-35
- 26) 岩崎敏夫：ソリトン分裂—分散波動論—，1979年度（第15回）水工学に関する夏期研修会講義集，1979，pp. B-5-1～B-5-22
- 27) Keller, J. B. and H. B. Keller : Water wave run-up on a beach, *Research Report No. NONR-3828(00), Office of Naval Research, Dept. of the Navy*, 1964
- 28) 前出 23) に同じ
- 29) 富樫宏由・中村武弘：津波の遡上高に関する実験的研究，第22回海岸工学講演会論文集，1975，pp. 371～375
- 30) Kaplan, K. : Generalized laboratory study of Tsunami run-up, *Tech. Memo., No. 60, Beach Erosion Board, U. S. Corps of Engineers*, 1955, 30 p.
- 31) 富樫宏由・中村武弘：津波の陸上遡上高に関する実験式の再検討（続），第30回年次学術講演会講演概要集，第II部門，土木学会，1975，pp. 31～32.
- 32) 小舟浩治・高橋重雄・谷本勝利：多列円筒浮体に働く津波力の算定法について，港湾技術研究所報告，第18巻第2号，1979，pp. 3～26.
- 33) Tanimoto, K. : On the hydraulic aspects of tsunami breakwaters in Japan, *Proc. of the International Tsunami Symposium*, 1981, *IUGG Tsunami Commission*, 1983, pp. 423～435.
- 34) 相田 勇：1923年関東地震津波の数値実験，地震研究所彙報，Vol. 48，1970，pp. 73～86.
- 35) 相田 勇：三陸沖の古い津波のシミュレーション，地震研究所彙報，Vol. 52，1977，pp. 71～101.
- 36) L. Mansinha and D. E. Smylie : The displacement fields of inclined faults, *Bull. of the Seismological Soc. of America*, Vol. 61, No. 5, 1971, pp. 1433～1440.
- 37) 高山知司・永井紀彦・平石哲也：東京湾の津波計算，港湾技研資料 No. 454，1983，pp. 7～10.
- 38) 金森博雄・安藤雅孝：関東大地震の断層モデル，関東地震50周年論文集，1973，pp. 89～101.
- 39) 和達清夫編：津波・高潮・海洋災害，防災科学技術シリーズ2，共立出版(株)，pp. 42による。
- 40) 長島秀樹：KdV Soliton とその応用，第21回海岸工学講演会論文集，1974，pp. 49～55.
- 41) 岩崎敏夫・首藤伸夫・鈴木義和・栗田 悟：孤立性段波のえりわけ距離に関する研究，第25回海岸工学講演会論文集，1978，pp. 132～136.
- 42) 運輸省港湾局・港湾技術研究所・第二港湾建設局・北海道開発局港湾部：1968年十勝沖地震津波被害報告津波調査報告，1968，pp. 240.
- 43) 運輸省港湾局調査設計室：長周期に対する防波堤の効果に関する計算，1962，47 p.

付録 1. 調査員の構成と行程

1-1 第1次調査（昭和58年6月3日～6月7日，秋田県，青森県）

(1) 構成

谷本勝利 港湾技術研究所水工部防波堤研究室長
平石哲也 港湾技術研究所海洋水理部波浪研究室研究官
及川 研 第一港湾建設局新潟調査設計事務所調査課長
小田 修* 秋田県土木部港湾課技師
望月義仁** 第二港湾建設局青森港工事事務所深浦分室長
巻 義雄** 青森県土木部港湾課建設班長

(2) 行程

6月3日（金）調査員秋田港工事事務所へ集合。
午後5時から調査団打合せ，引続き秋田港工事事務所，秋田県港湾課，秋田港湾管理事務所より被災状況の概要説明。
6月4日（土）秋田港，船川港，男鹿半島南岸および西岸の津波こん跡調査，途中秋田県船川港湾事務所，男鹿市水産漁港課で状況説明を受ける。
6月5日（日）男鹿半島入道崎から八竜海岸釜谷浜までに至る沿岸で津波こん跡調査。
6月6日（月）秋田港工事事務所能代工場より被害状況の説明，能代海岸浜浅内から八森海岸岩館漁港に至る沿岸で津波こん跡調査の後青森県へ，青森県鯉ヶ沢土木事務所より津波来襲状況の説明を受ける。
6月7日（火）岩崎漁港，深浦港，鯉ヶ沢漁港，小泊漁港で津波こん跡調査，途中青森県西北地方漁港事務所および同小泊出張所で津波来襲状況の説明を受ける。青森港工事事務所で調査員解散。

1-2 第2次調査（昭和58年6月13日～6月18日，北海道渡島地方日本海沿岸，奥尻島を含む）

(1) 構成

村田 繁 港湾技術研究所水工部海象観測研究室長
吉本靖俊 港湾技術研究所水工部防波堤研究室研究官
牛島龍一郎 北海道開発局港湾部港湾建設課災害係長
長谷川道夫 北海道開発局農業水産部水産課災害係長

* 秋田県内調査のみ
** 青森県内調査のみ

永井 豊 北海道開発局土木試験所港湾研究室副室長
島岡恒一 北海道開発局函館開発建設部築港課計画係長

(2) 行程

6月13日（月）調査団，函館開発建設部に集合。午後2時から調査団打合せ。函館開発建設部より被災状況の概要説明。
6月14日（火）函館～松前～江差の松前半島海岸（札刈漁港，松前港，江良漁港を含む）の津波こん跡調査。途中，松前町役場，松前港修築事業所，江差港湾建設事務所にて津波の状況説明をうける。
6月15日（水）奥尻島にわたり，江差港湾建設事務所奥尻分駐所にて津波の状況説明をうけた後，奥尻島海岸（奥尻港，神威脇漁港を含む），青苗岬（青苗漁港を含む）の津波こん跡調査。
6月16日（木）江差に戻り，江差～瀬棚間の海岸（江差港，上浦漁港を含む）の津波こん跡調査。途中，熊石漁港修築事務所，大成町役場，瀬棚町役場，瀬棚港修築事業所にて津波の状況説明をうける。
6月17日（金）瀬棚～岩内間の海岸（瀬棚港，寿都漁港，岩内港を含む）にて津波こん跡調査。途中，岩内港修築事業所にて津波の状況説明をうける。
6月18日（土）北海道開発局港湾部港湾建設課にて資料の整理および今後のとりまとめ方針について打合せを行う。

1-3 第3次調査（昭和58年6月20日～6月25日，青森県，秋田県）

(1) 構成

高山知司 港湾技術研究所海洋水理部波浪研究室長
森川雅行 港湾技術研究所海洋水理部海水汚染水理研究室 研究官
平石哲也 港湾技術研究所海洋水理部波浪研究室研究官
上平 豊* 青森県土木部港湾課 課長補佐
伊藤秀和** 第一港湾建設局 新潟調査設計事務所調査課 資料係長

(2) 行程

6月20日（月）青森県土木部港湾課において本調査の打合せ，目的の説明，青森県提示資料の検討。午後，竜飛，罨内および小泊の津波こん跡調査。
6月21日（火）小泊漁港，下前漁港，七里長浜海岸および鯉ヶ沢漁港の津波こん跡調査，途中青森

* 青森県内調査のみ
** 秋田県内調査のみ

県西北地方漁港事務所小泊出張所および下前漁業協同組合で状況説明を受ける。

6月22日(水) 鯨ヶ沢漁港港内、七里長浜(川尻)、北金ヶ沢漁港、田野沢漁港、風合瀬漁港、轟木漁港、鱸作漁港および大間越海水浴場における津波こん跡調査、途中青森県西北地方漁港事務所で状況説明を受ける。

6月23日(木) 青森港工事事務所深浦分室において状況説明を受け、秋田県へ、岩館漁港から八森漁港、八森海岸を経て、峰浜海岸までの津波こん跡調査、途中秋田県北部漁業協同組合において津波の状況説明を受ける。

6月24日(金) 秋田港工事事務所能代工場において津波の状況説明を受け建設省能代工事事務所にて津波の河川上での状況の説明を受ける。能代港および能代港の北部と南部の海岸の津波こん跡調査を行う。

6月25日(土) 八斗崎から男鹿半島の周辺海岸および秋田港までの海岸の津波こん跡調査を行う。

1-4 第4次調査(昭和58年7月11日~7月16日、秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県)

(1) 構成

村上和男 港湾技術研究所海洋水理部海水汚染水理研究室室長

高橋重雄 港湾技術研究所水工部 主任研究官

林 輝幸* 第一港湾建設局 新潟調査設計事務所 調査課

佐川雅悦** 同 上

福田又二郎*** 第一港湾建設局秋田港工事事務所 次長

佐藤信一郎*** 秋田県由利土木事務所 次長

松下正弘**** 第一港湾建設局酒田港工事事務所 建設専門官

幸福 到**** 山形県庄内支庁港湾課 技術主査

堀 雅***** 新潟県相川土木事務所 港湾課長

水島一成***** 第一港湾建設局七尾港工事事務所 次長

近藤 滋***** 石川県土木部港湾課企画調査係長

(2) 行程

7月11日(月) 秋田港工事事務所において秋田県南部

の津波について説明を受ける。午後より、松ヶ崎漁港、本荘港、西目漁港、平沢漁港、象潟漁港、小砂川漁港および山形県の吹浦漁港の調査。

7月12日(火) 酒田港工事事務所、酒田港管理事務所にて説明を受け、酒田港を調査、その後、加茂港、由良漁港、鼠ヶ関港を調査する。さらに新潟県の岩船港を調査、ここでは村上土木事務所で粟島漁港の話聞く。また、新潟県を調査し、新潟調査設計事務所にて調査全体の打合せを行う。

7月13日(水) 佐渡島に渡り、相川土木事務所両津分所にて佐渡島の説明を受ける。藻浦漁港、片辺漁港、相川海岸、高瀬漁港、二見港を調査。

7月14日(木) 寺泊港、出雲崎漁港、直江津港を調査する。直江津港湾事務所にて姫川港について説明を受ける。さらに、伏木富山港工事事務所で説明を受ける。

7月15日(金) 七尾港、穴水港、宇出津港、小木港、飯田港、狼煙漁港を調査、珠州土木事務所にて説明を受ける。

7月16日(土) 七尾港工事事務所輪島工場にて説明を受け、輪島港を調査、輪島漁協でも話を聞く。輪島土木事務所の人に舩倉島の説明を受ける。

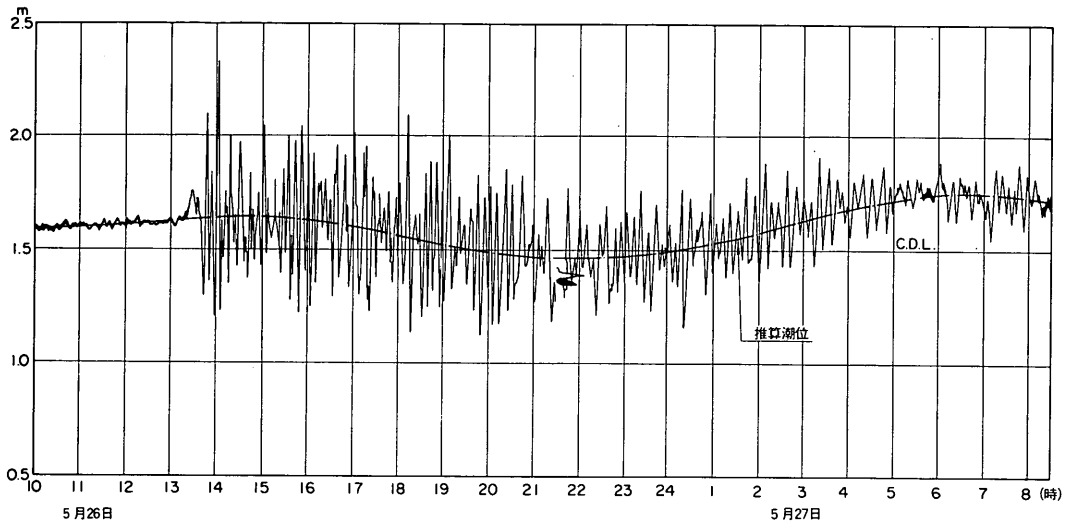
* 秋田県・山形県・新潟県の調査
** 新潟県・富山県・石川県の調査
*** 秋田県の調査
**** 山形県の調査
***** 新潟県佐渡島の調査
***** 石川県の調査

付録 2. 検潮資料

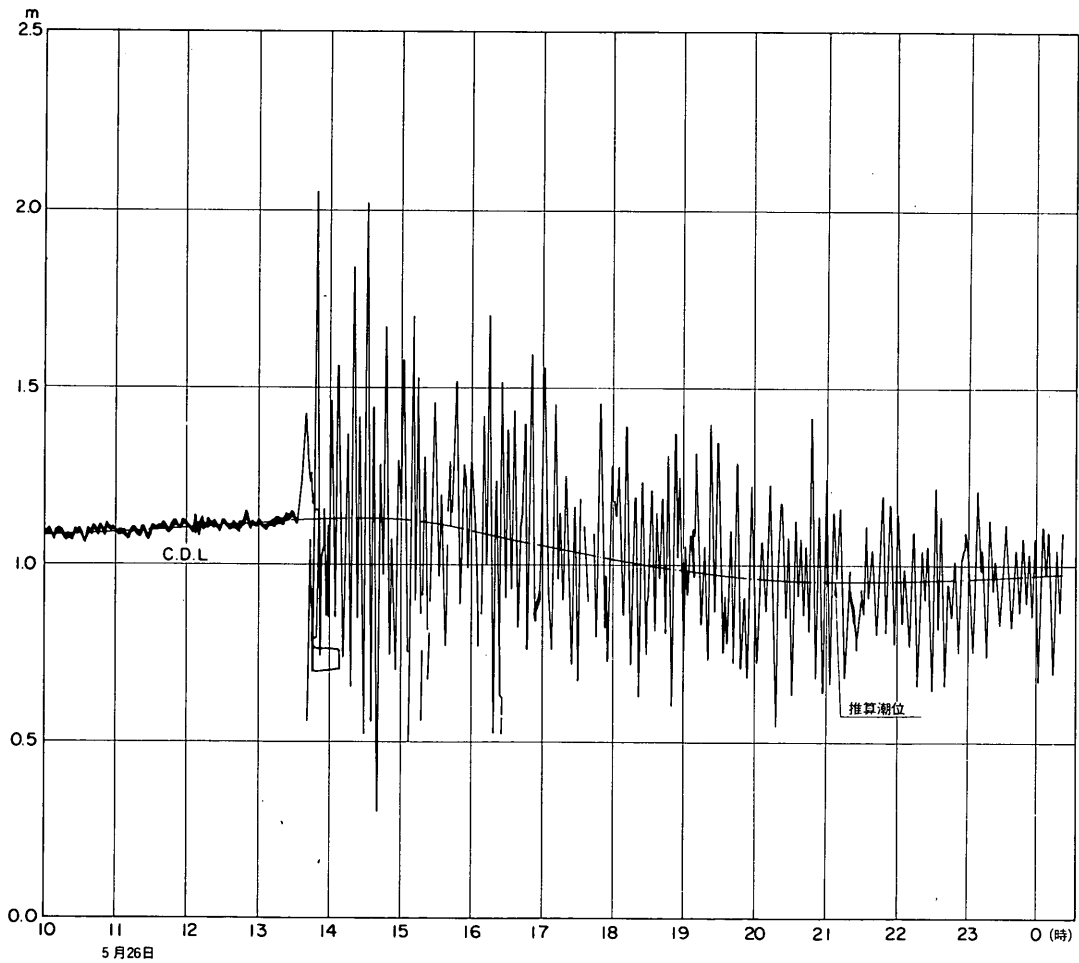
今回の調査で収集した検潮記録を付図－2.1～2.65に示した。これらの検潮所の一覧は本文中の表－4.1のとおりである。なお、付図－2.28, 2.29, 2.50, 2.54～2.58 は2種類の縮尺で記録されており、縮尺の大きい記録（変動が激しい）が時間軸に対して正確である。

また、付図－2.66～2.79には標尺等による目視観測の結果を示した。

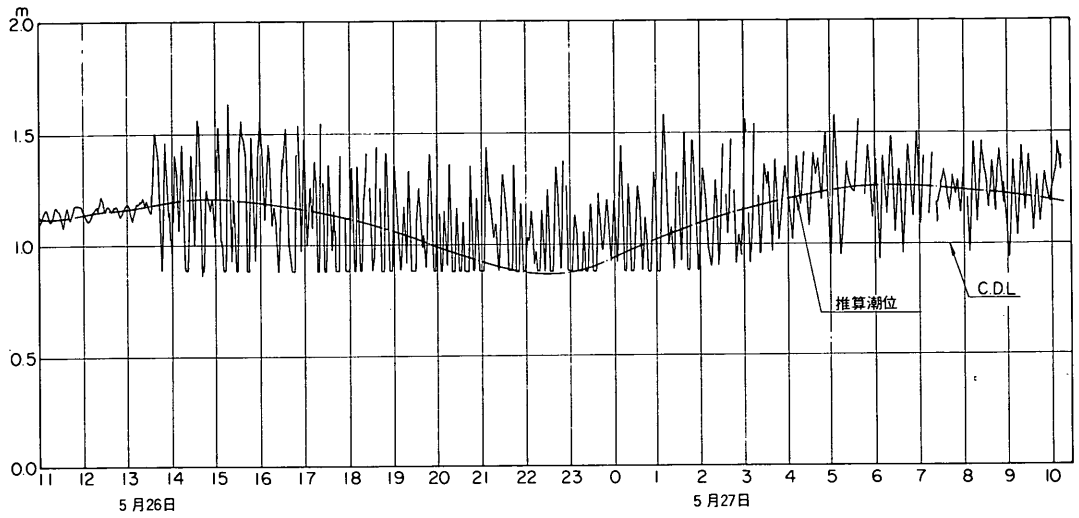
さらに、付図－2.80～2.94は本文 8.4 検潮井戸の津波に対する応答 の検討に用いた検潮儀の構造図を示したものである。これらの位置は本文 5. 各地の津波来襲および被害状況の中の該当地区の平面図の中に示してある。ただし、石狩湾新港については含まれていないので、ここに示した。



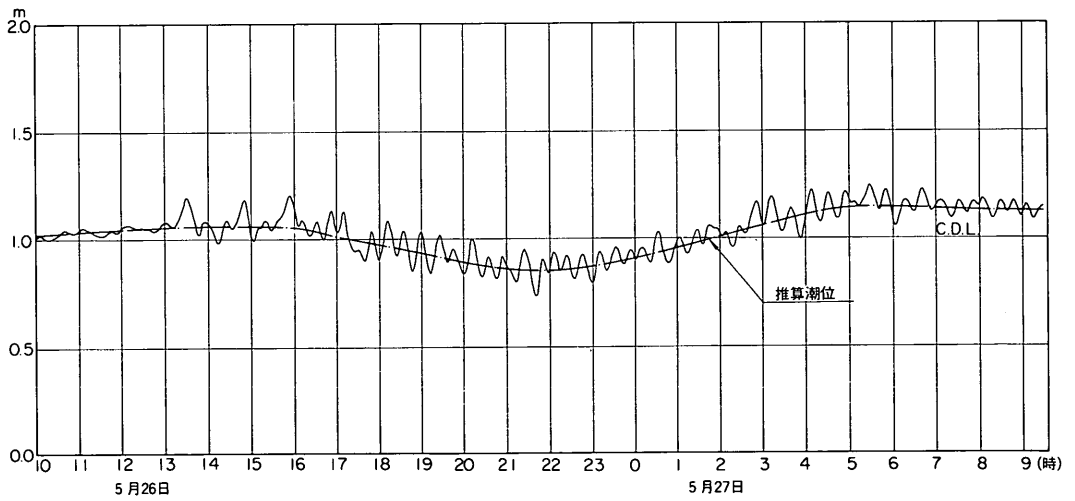
付図-2.1 杏形港検潮記録



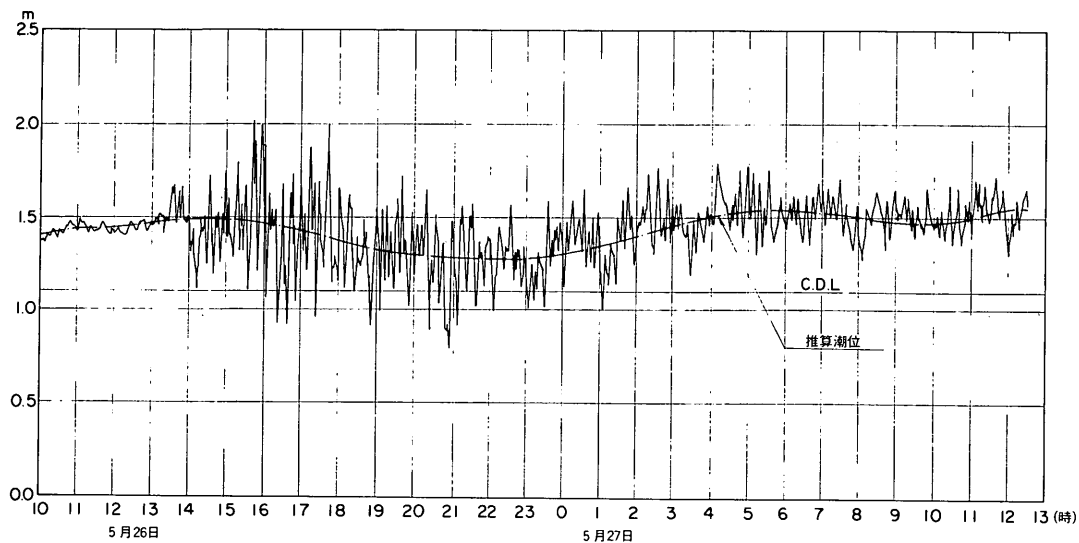
付図-2.2 仙法志漁港検潮記録



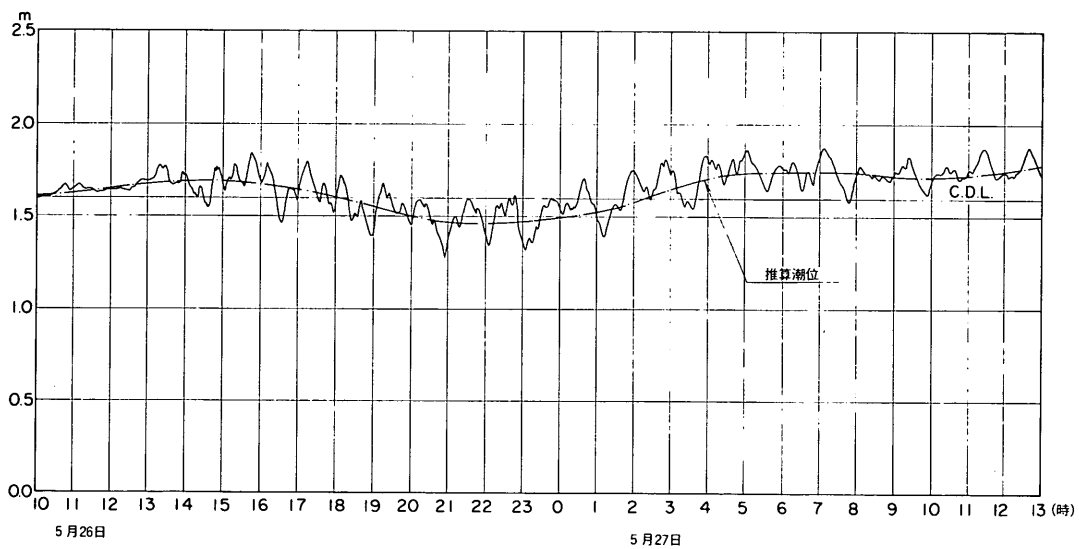
付図-2.3 羽幌港検潮記録



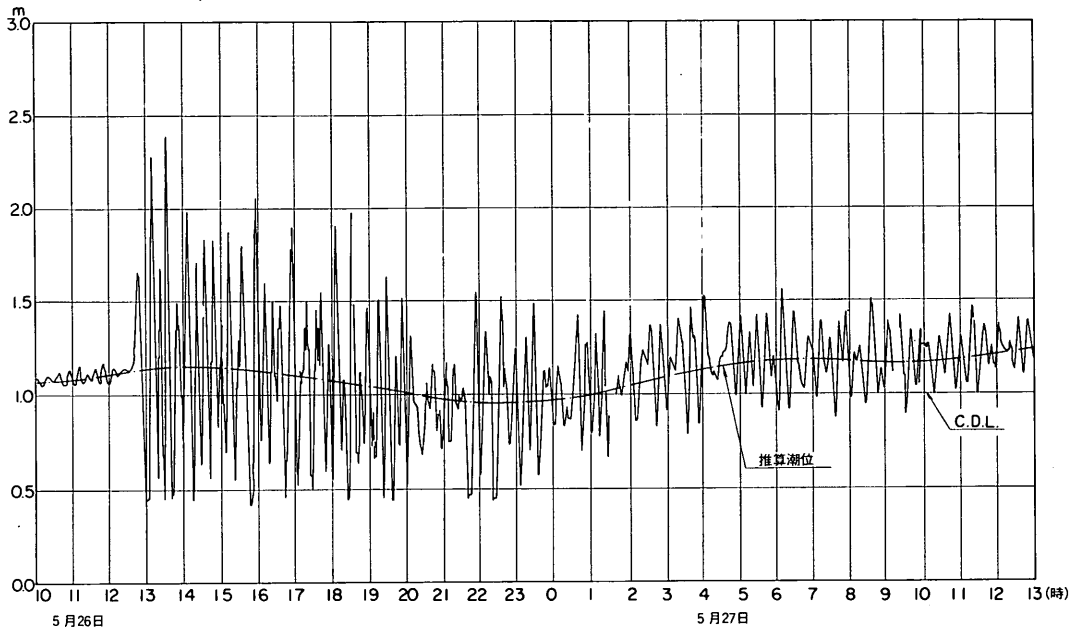
付図-2.4 留萌港検潮記録



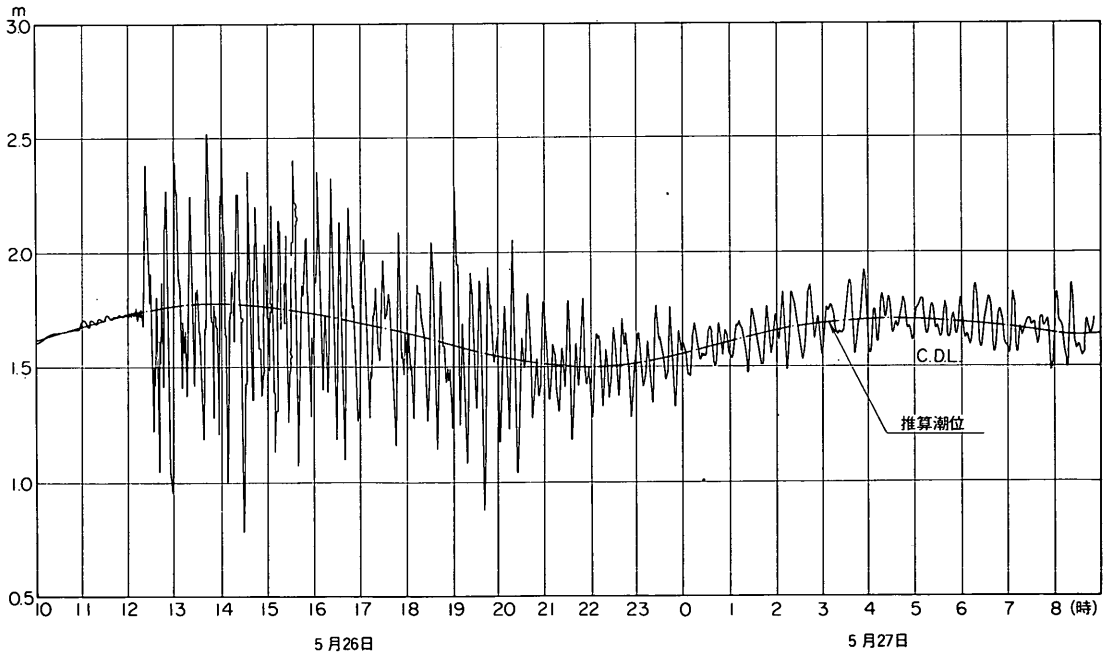
付図-2.5 石狩湾新港検潮記録



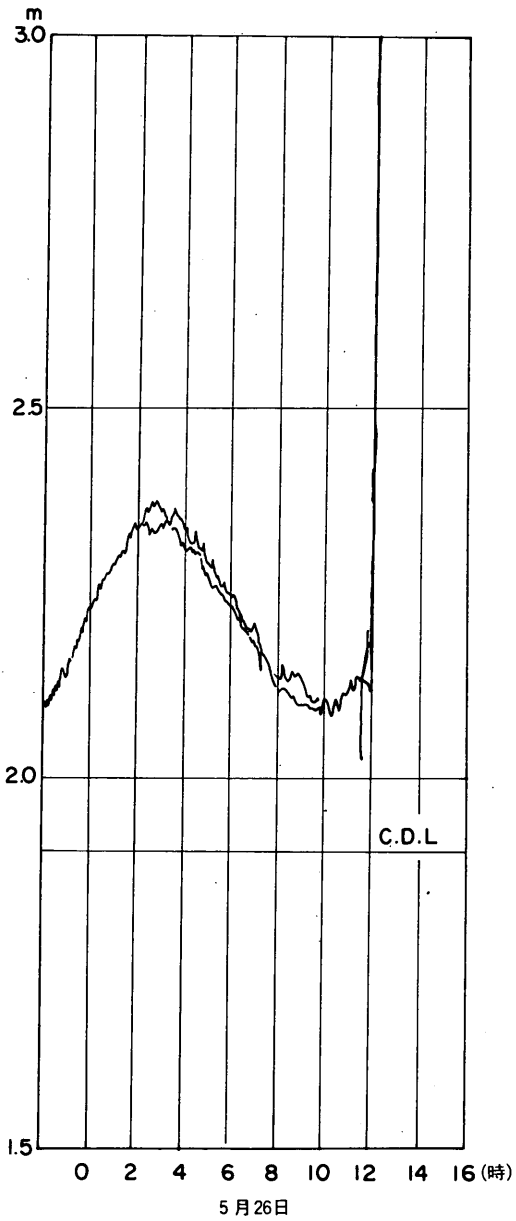
付図-2.6 小樽港検潮記録



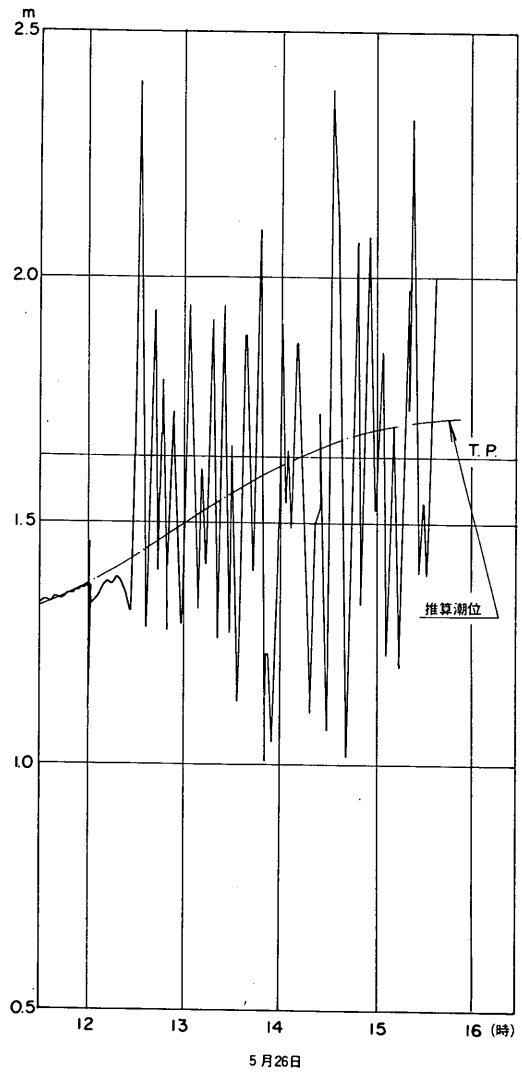
付図-2.7 岩内港検潮記録



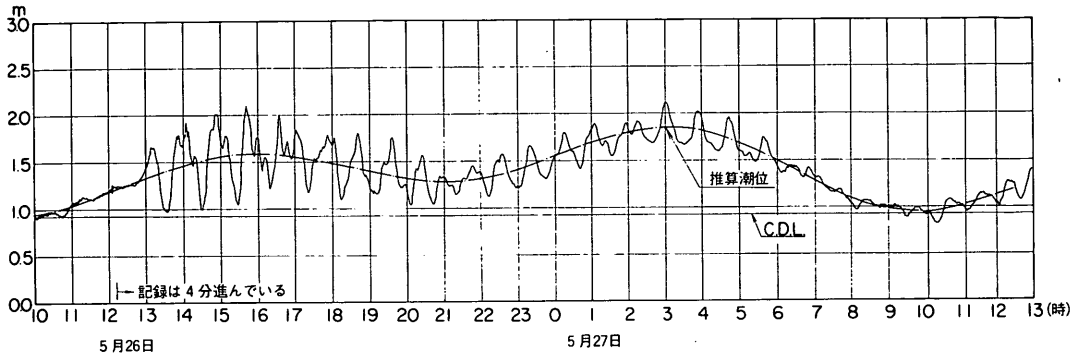
付図-2.8 江差港検潮記録



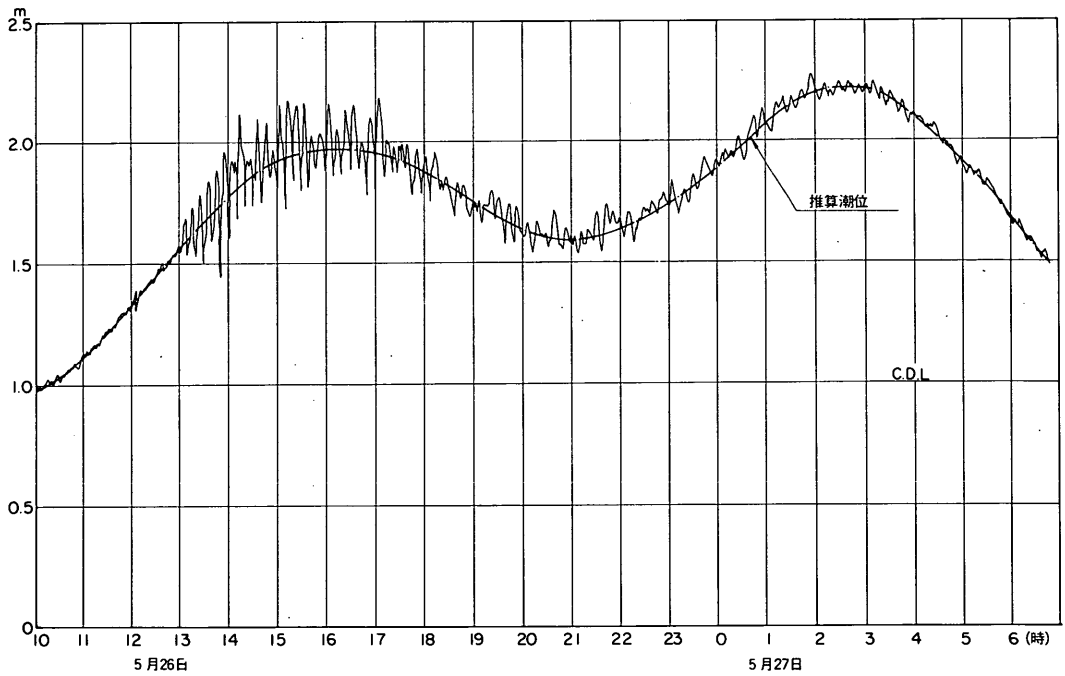
付図-2.9 松前港検潮記録



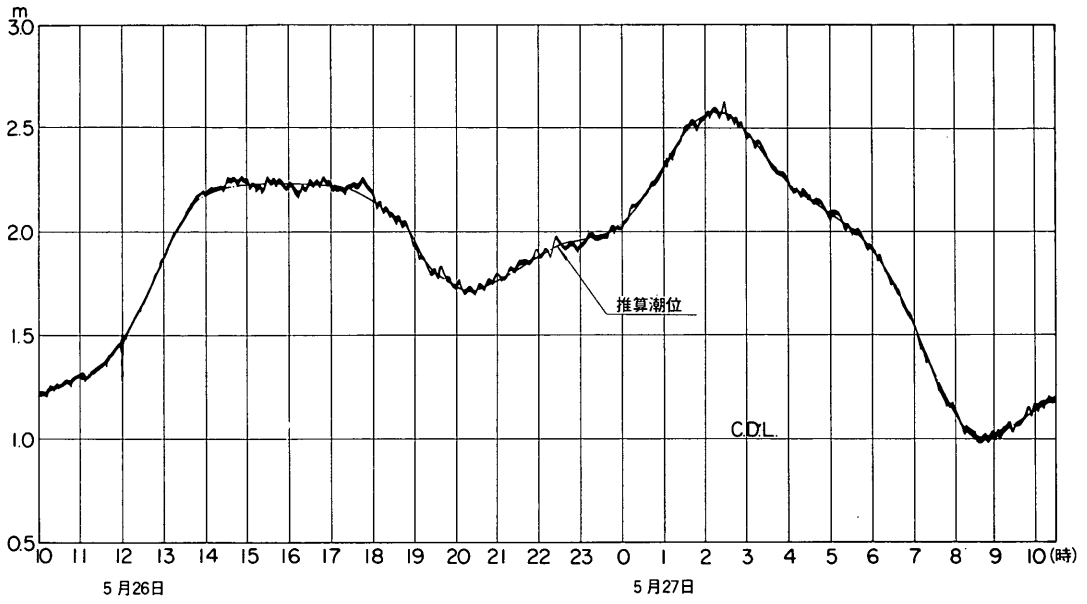
付図-2.10 吉岡検潮記録



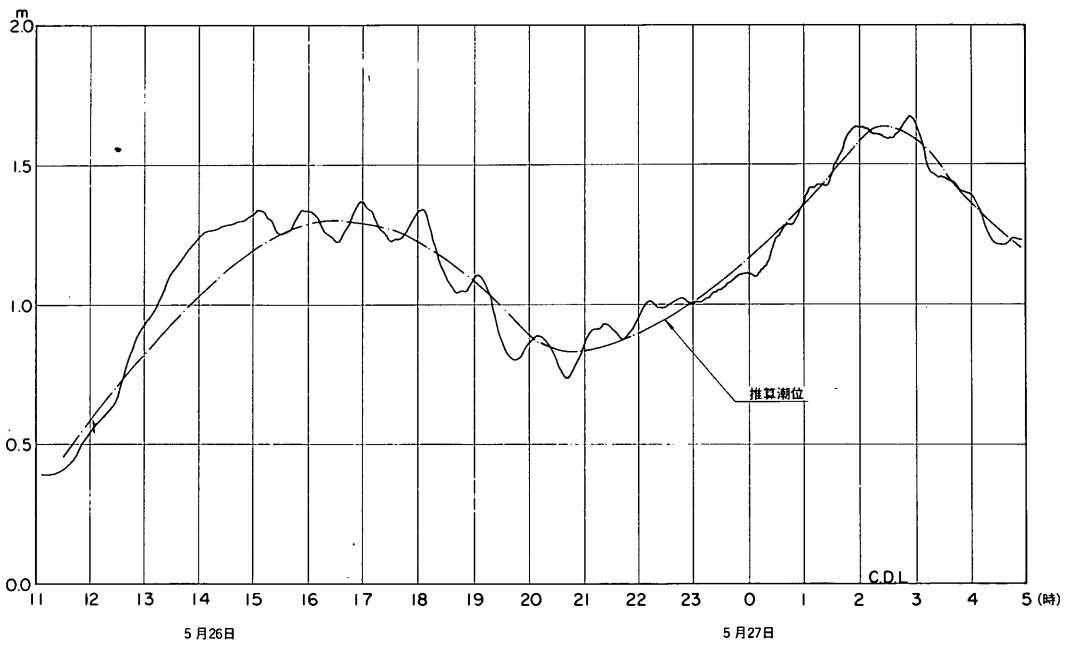
付図-2.11 函館港検潮記録



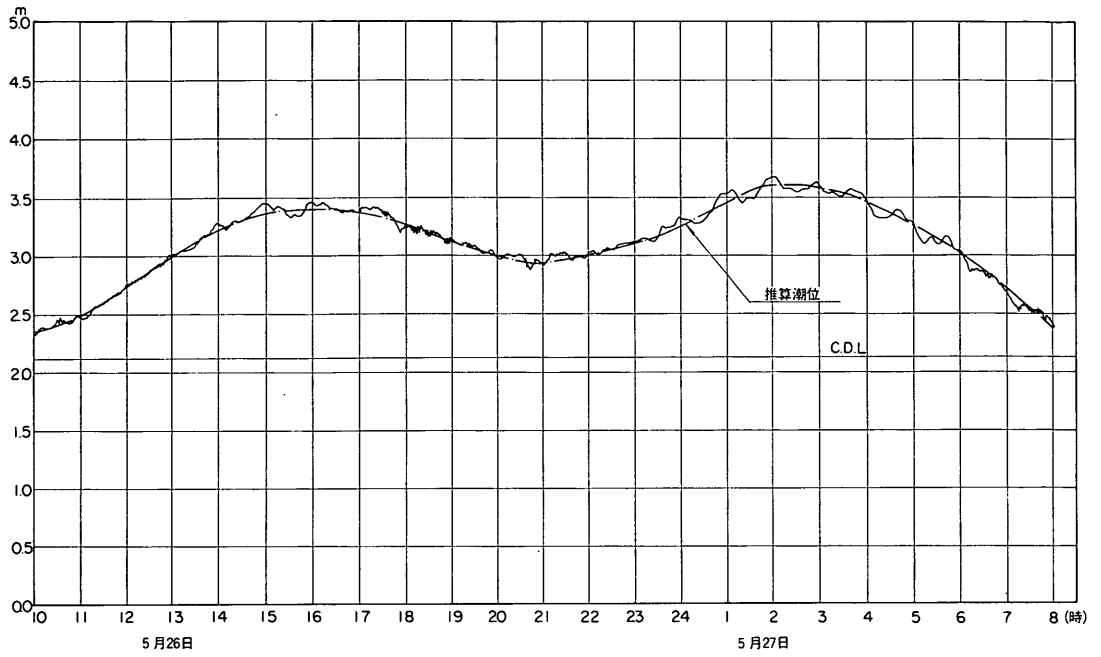
付図-2.12 山背泊漁検潮記録



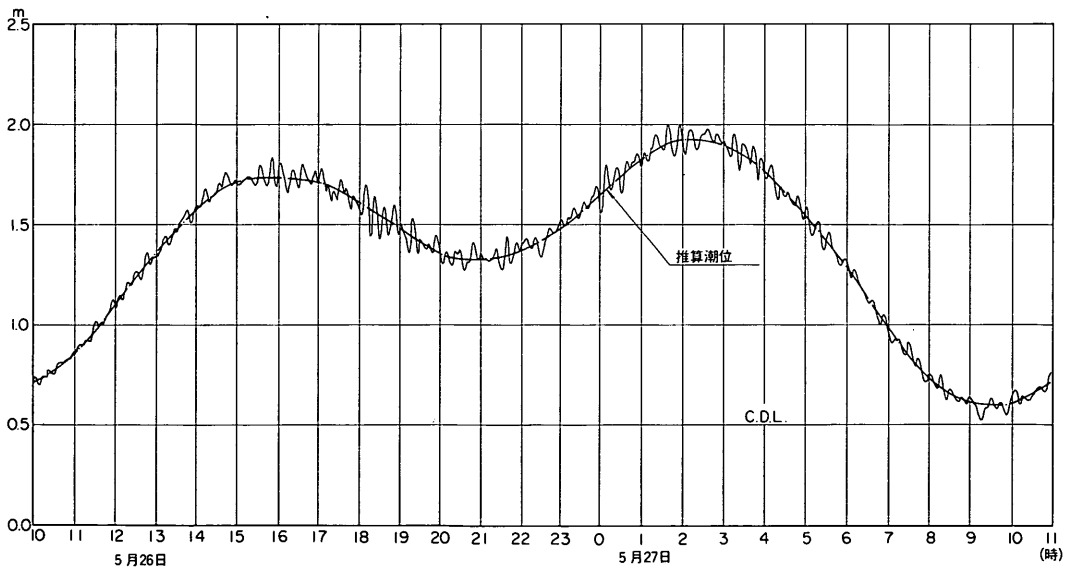
付図-2.13 森港検潮記録



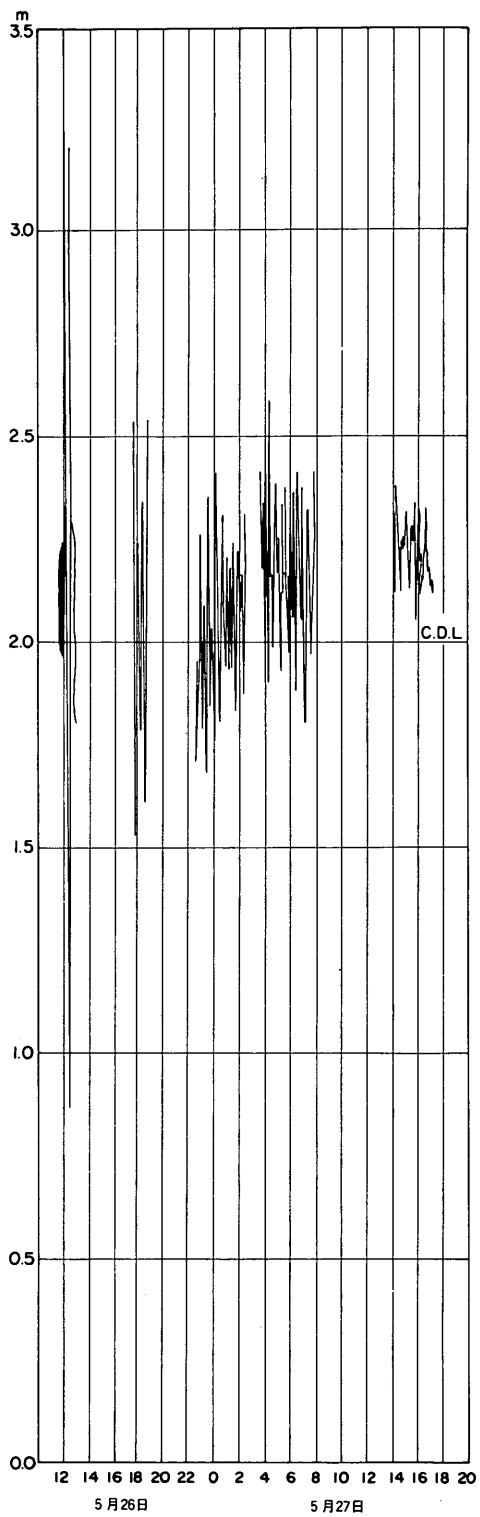
付図-2.14 室蘭港検潮記録



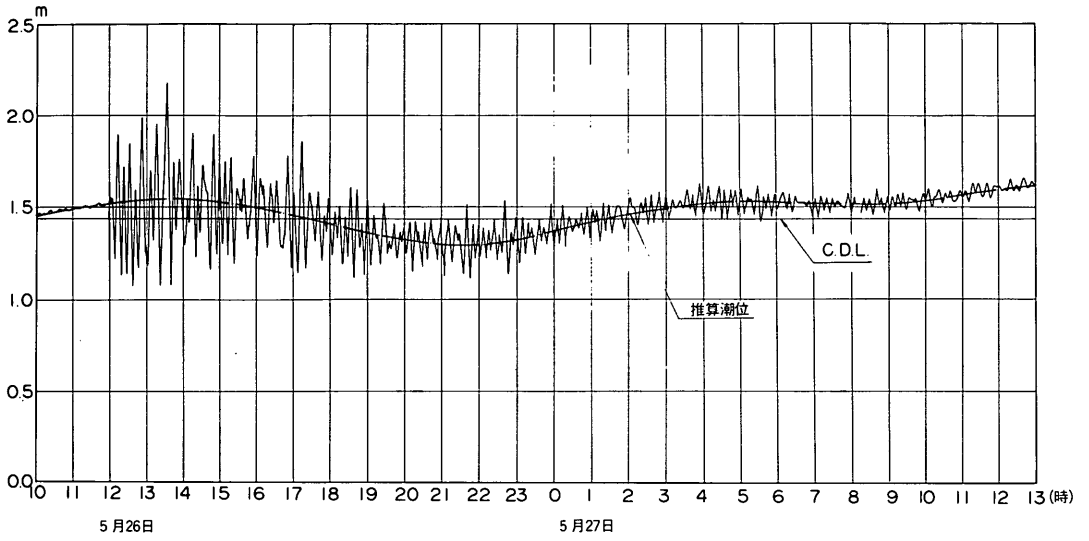
付図-2.15 苫小牧港検潮記録



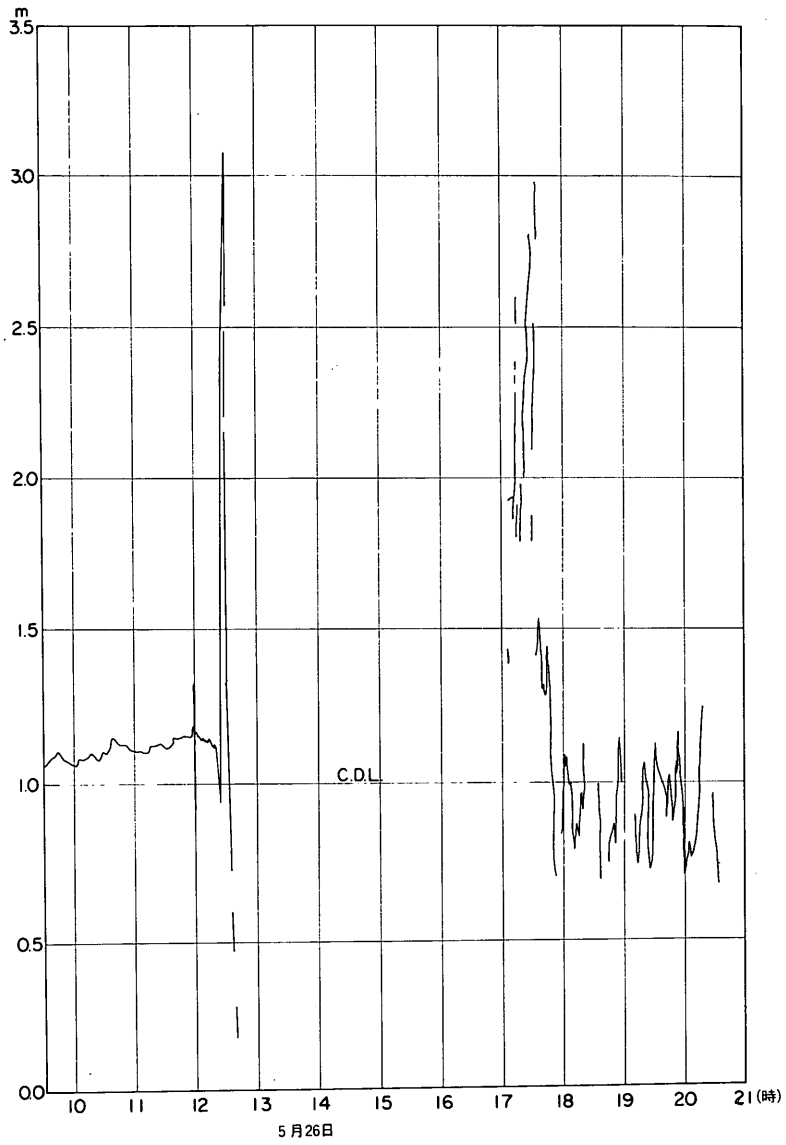
付図-2.16 浦河港検潮記録



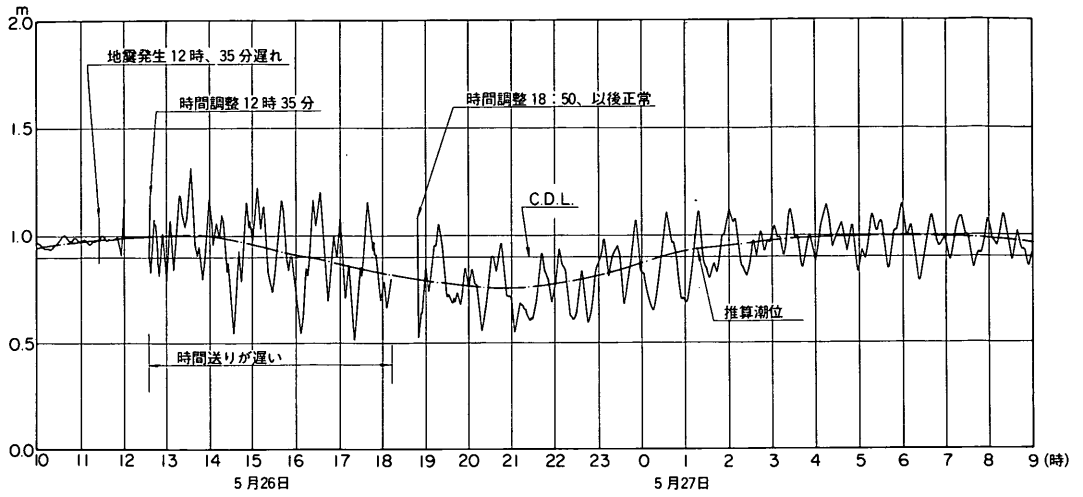
付図-2.17 鯨ヶ沢検潮記録



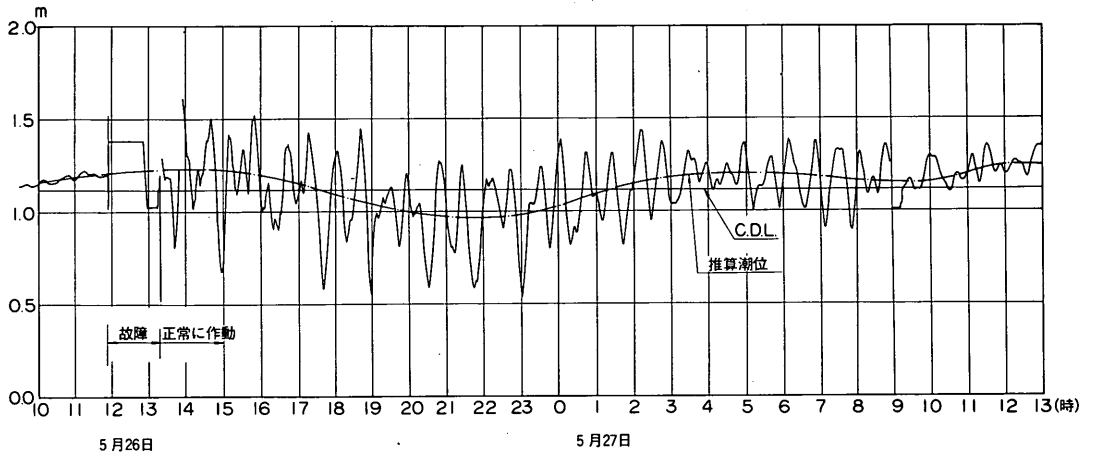
付図-2.18 深浦検潮記録



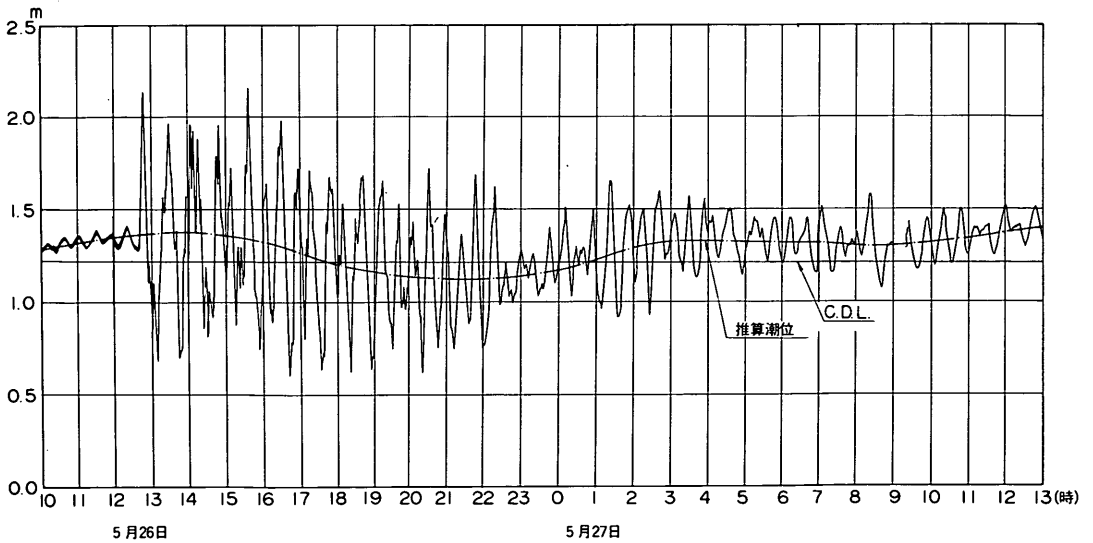
付図-2.19 能代港検潮記録



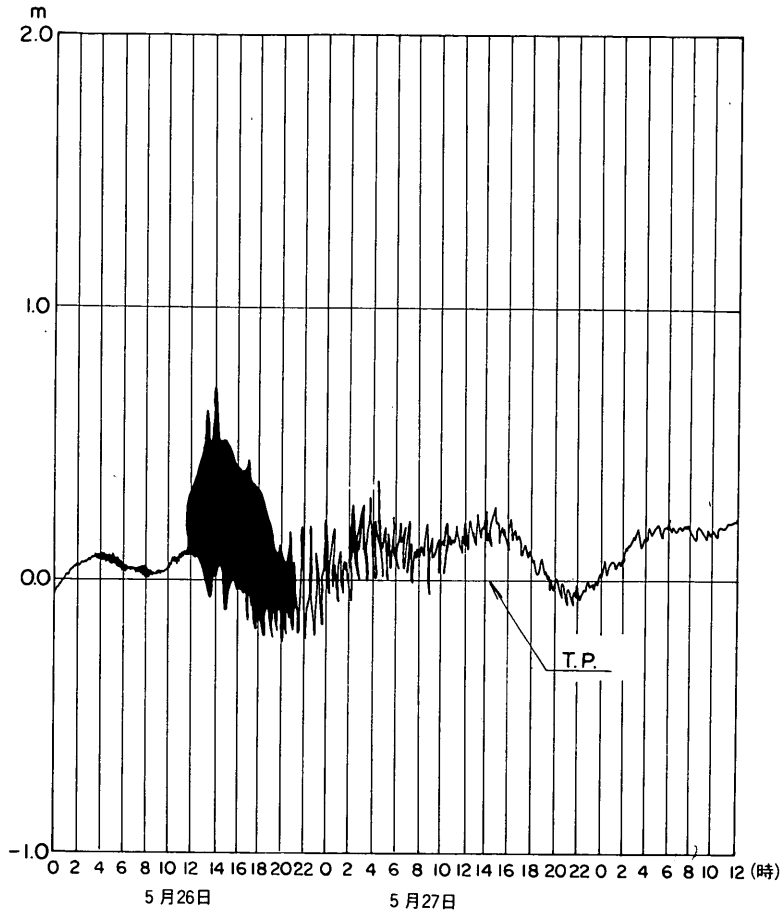
付図-2.20 船川港検潮記録



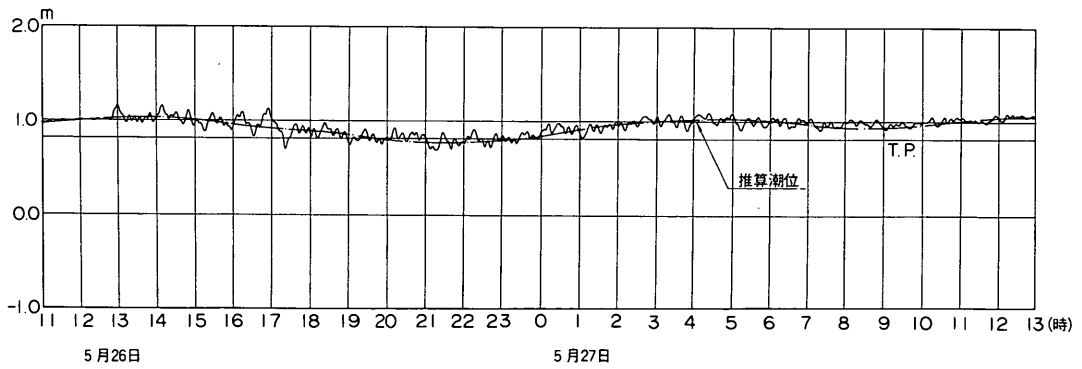
付図-2.21 秋田港検潮記録



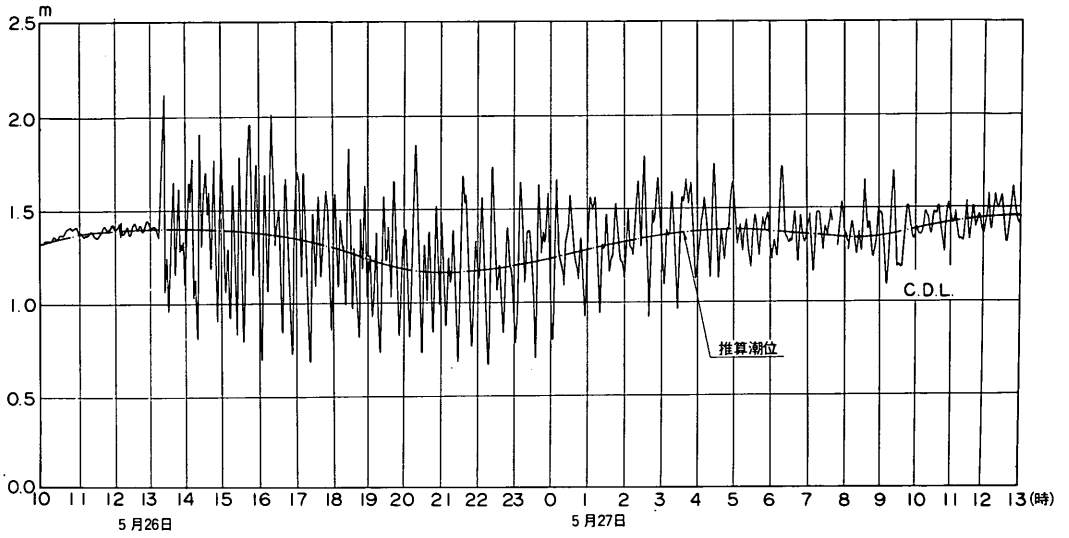
付図-2.22 酒田港検潮記録



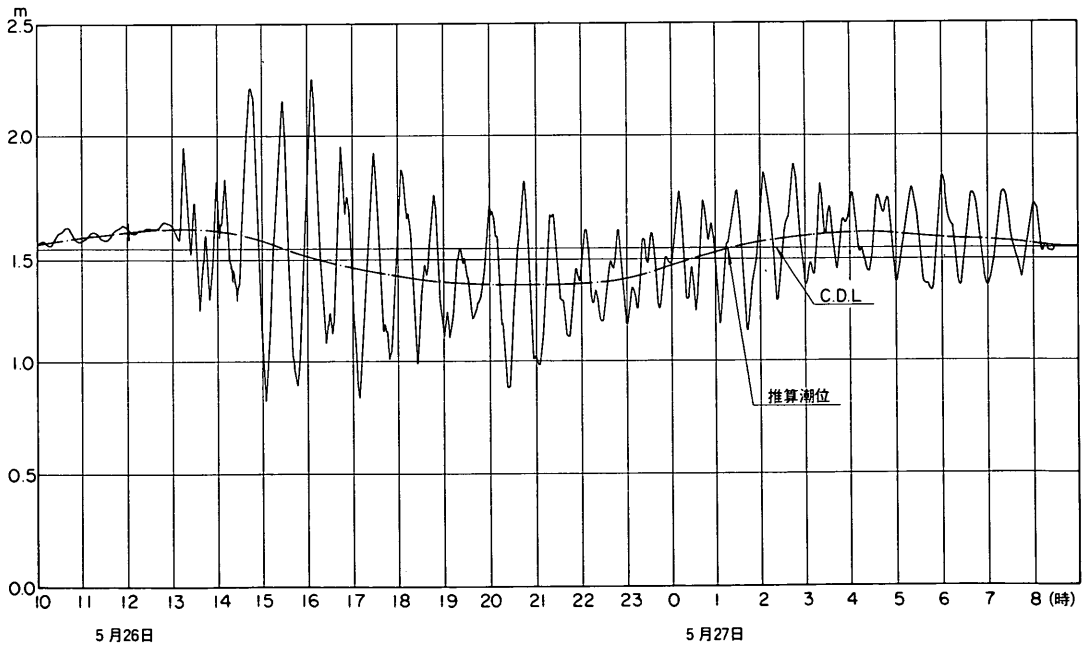
付図-2.23 由良漁港検潮記録



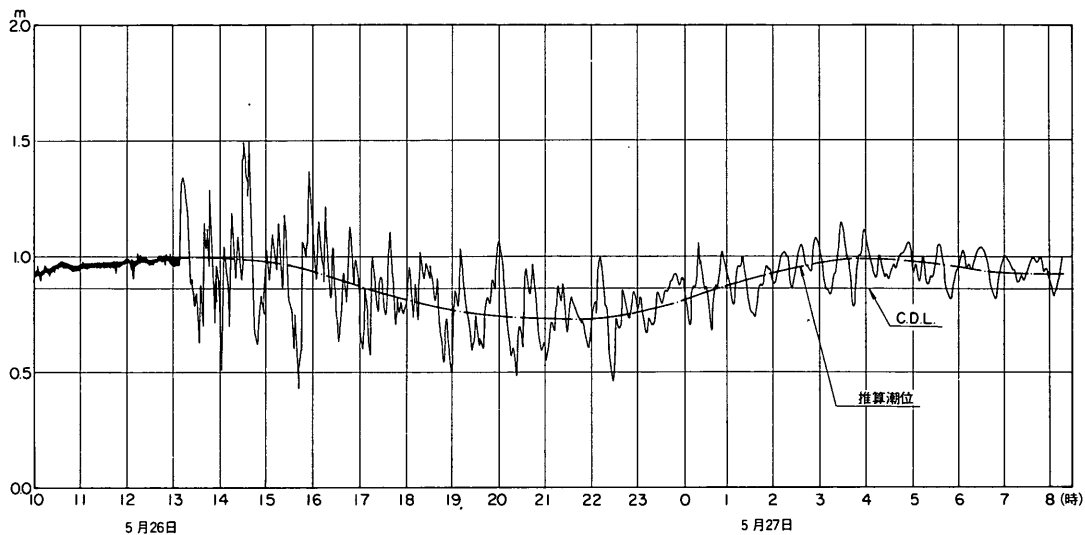
付図-2.24 鼠ヶ関検潮記録



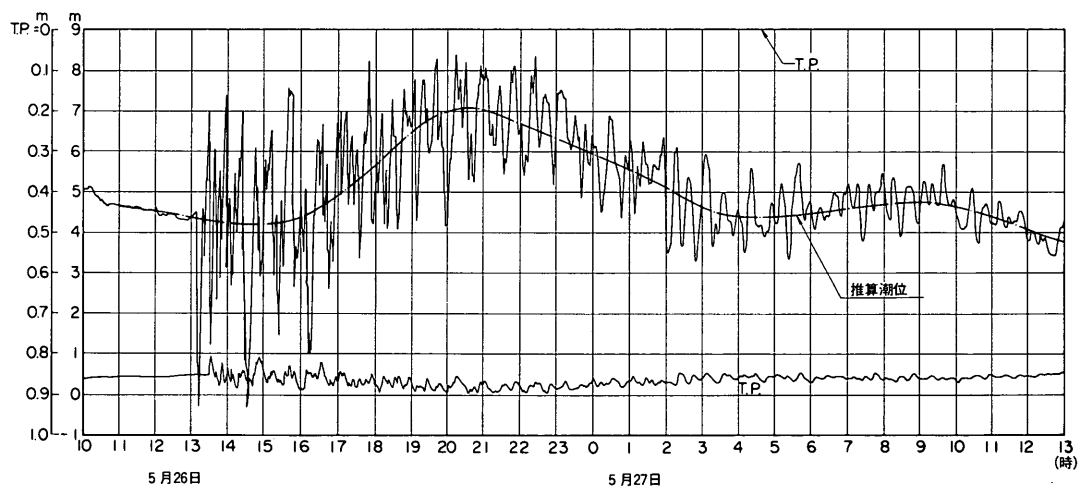
付図-2.25 岩船港検潮記録



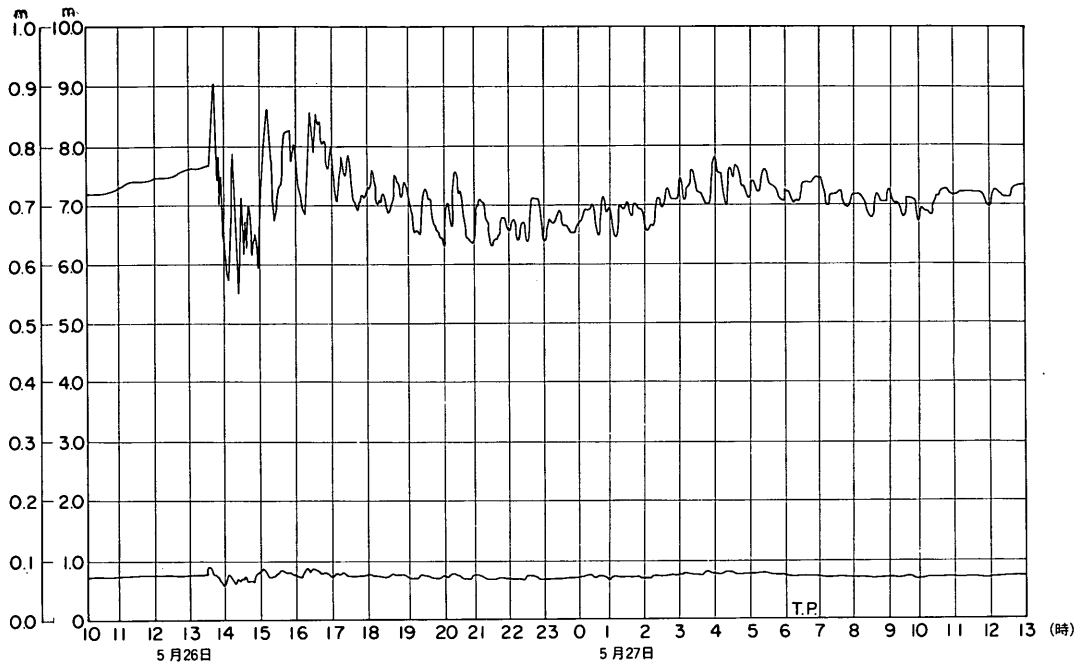
付図-2.26 新潟港(東港地区)検潮記録



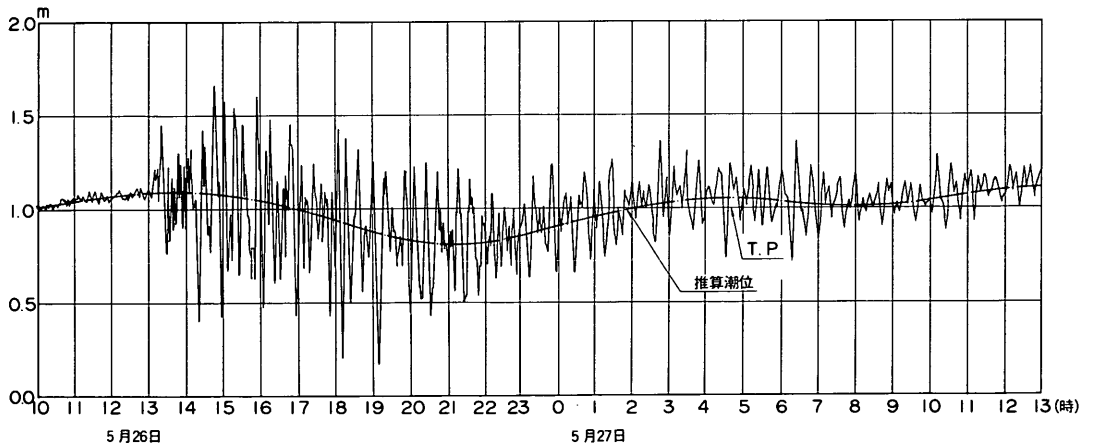
付図-2.27 新潟港(西港地区)検潮記録



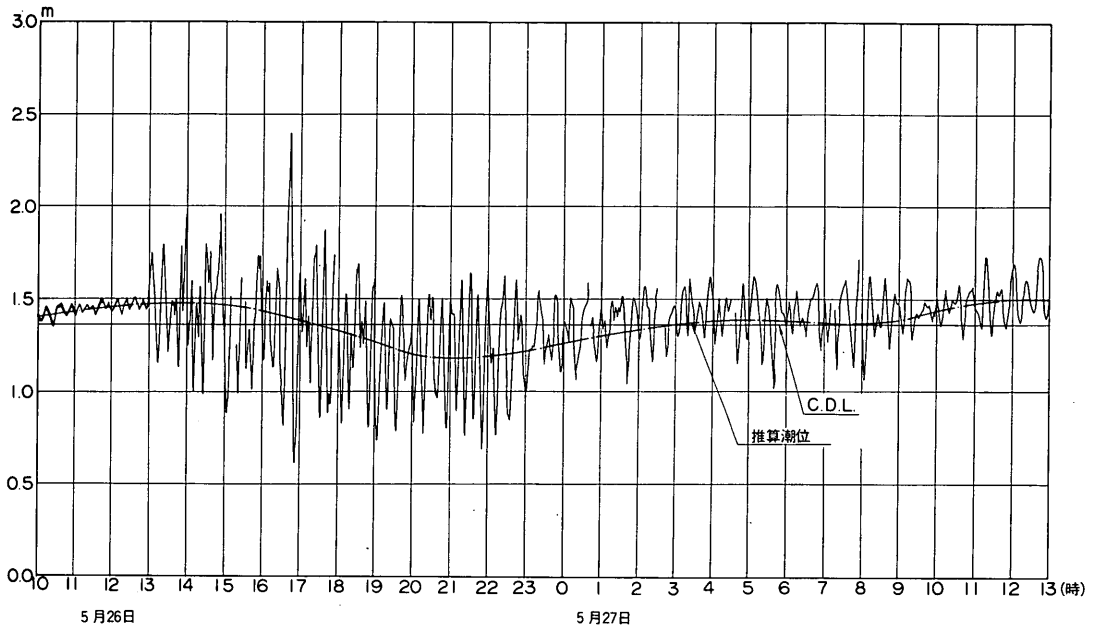
付図-2.28 松ヶ崎検潮記録



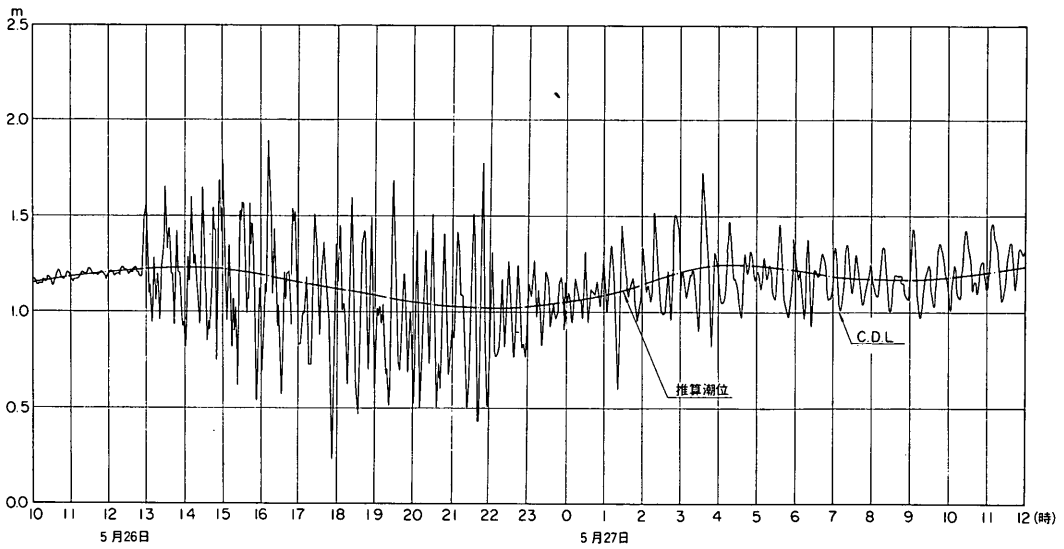
付図-2.29 帝石橋左岸検潮記録



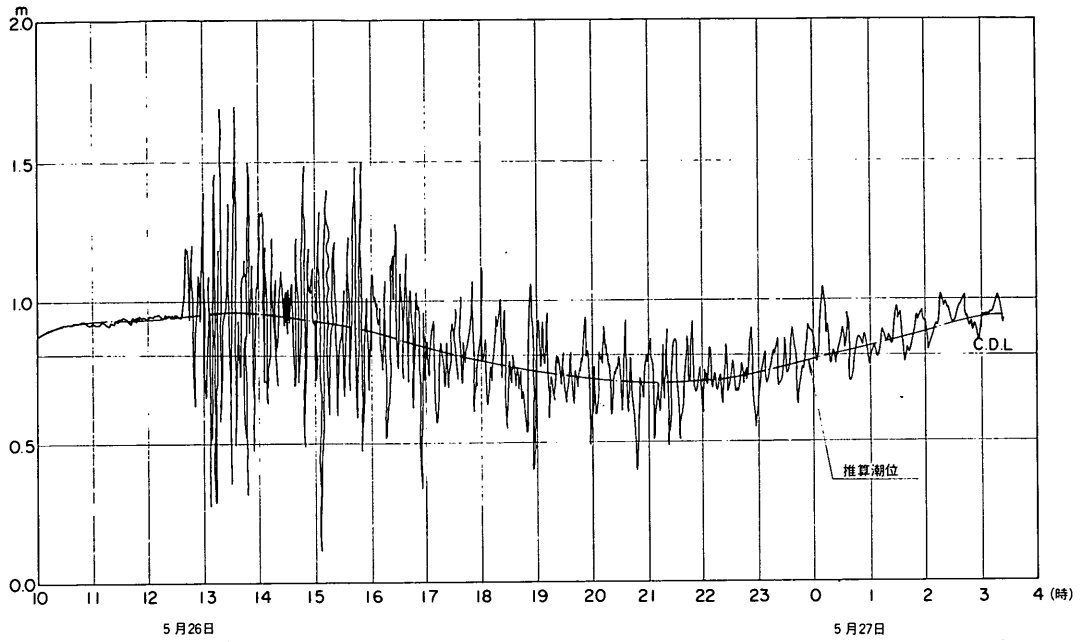
付図-2.30 寺泊港検潮記録



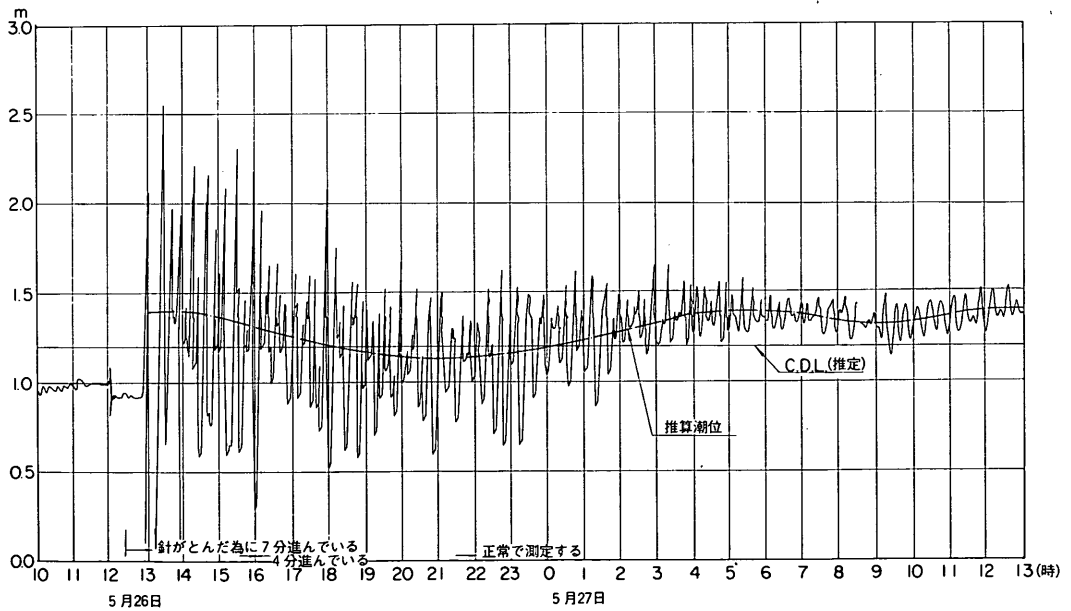
付図-2.31 柏崎港検潮記録



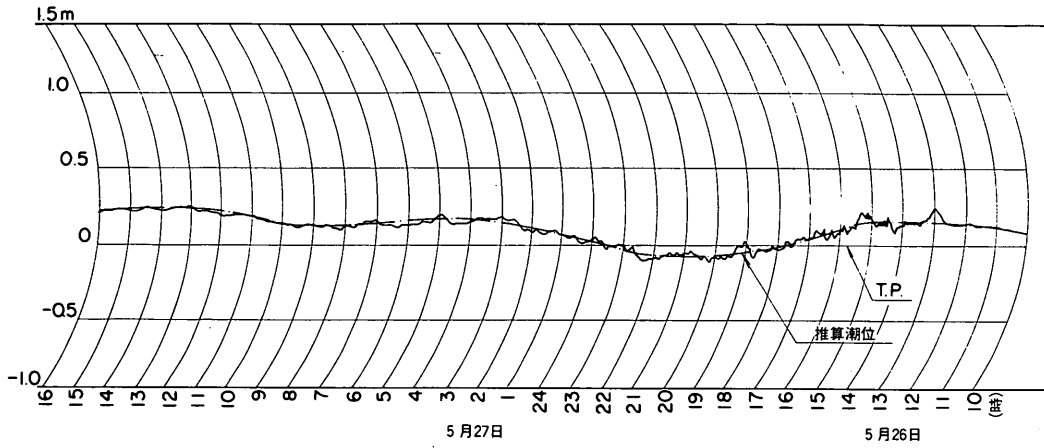
付図-2.32 直江津港検潮記録



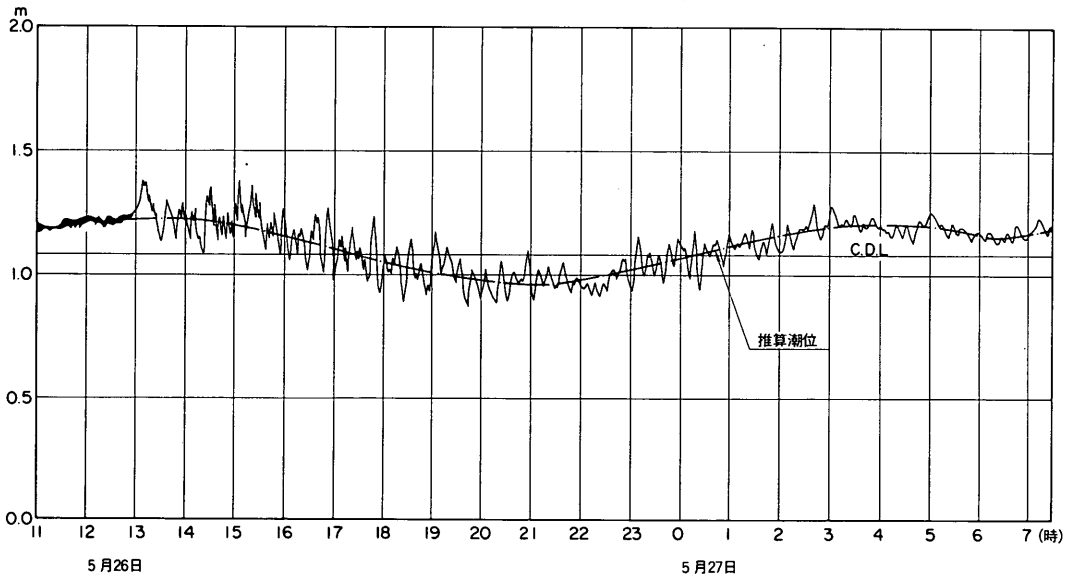
付図-2.33 粟島検潮記録



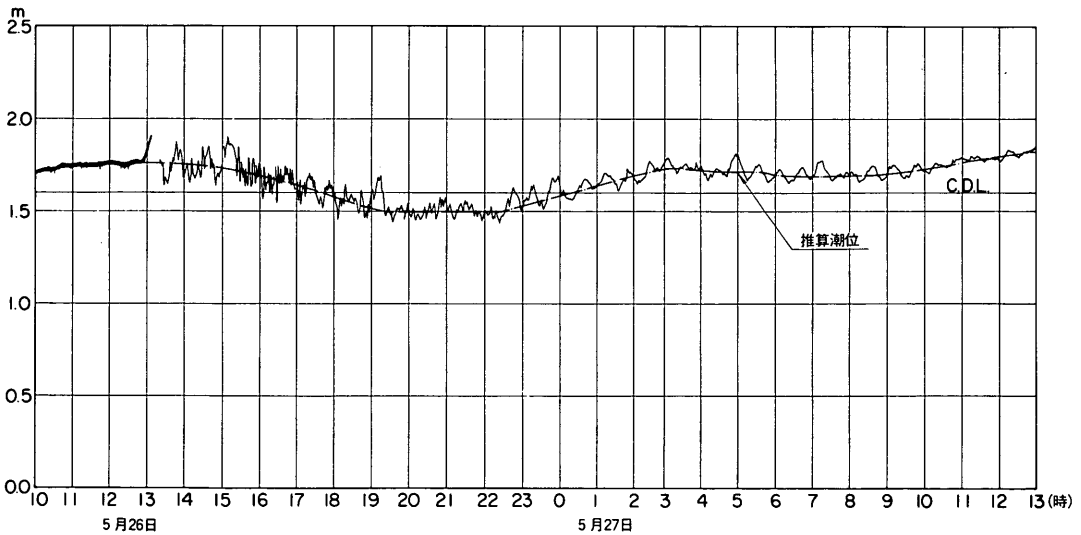
付図-2.34 両津港検潮記録



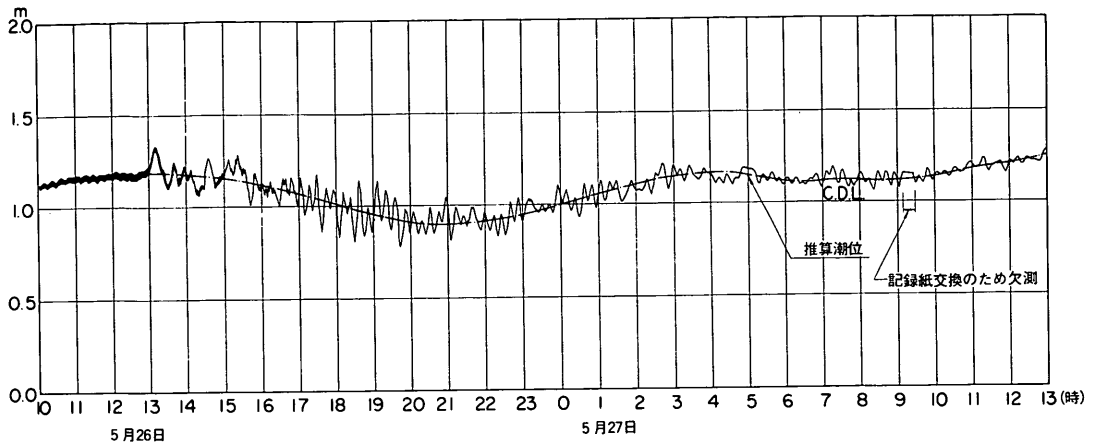
付図-2.35 生地検潮記録



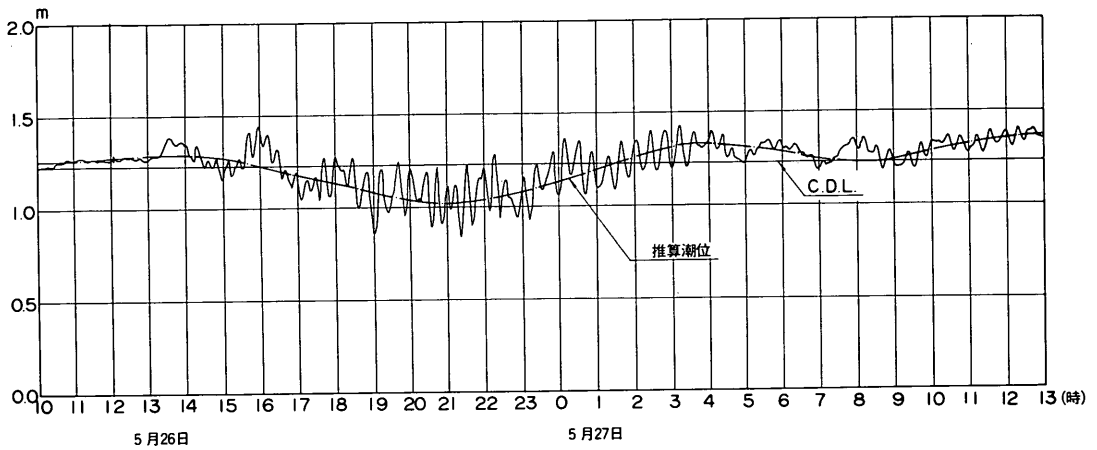
付図-2.36 富山検潮記録



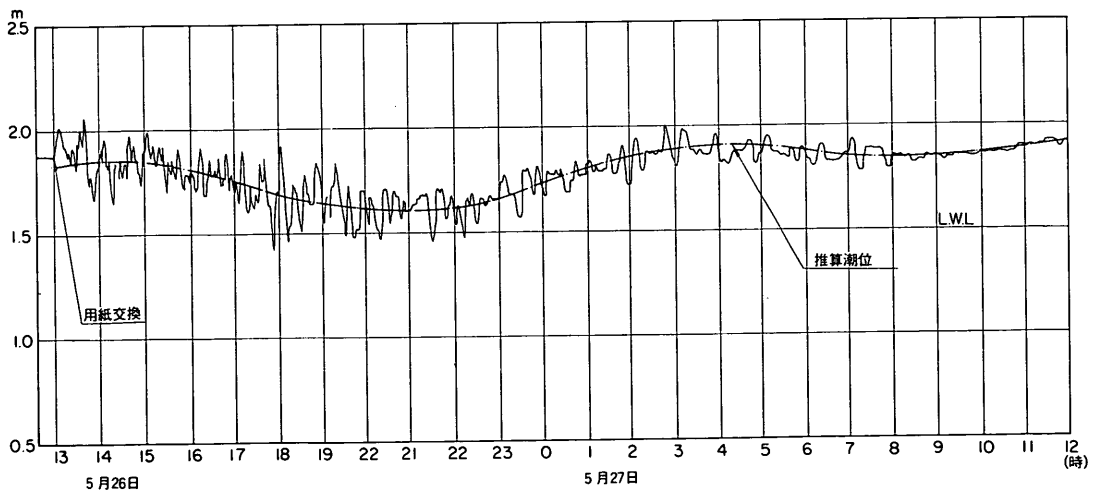
付図-2.37 新湊港検潮記録



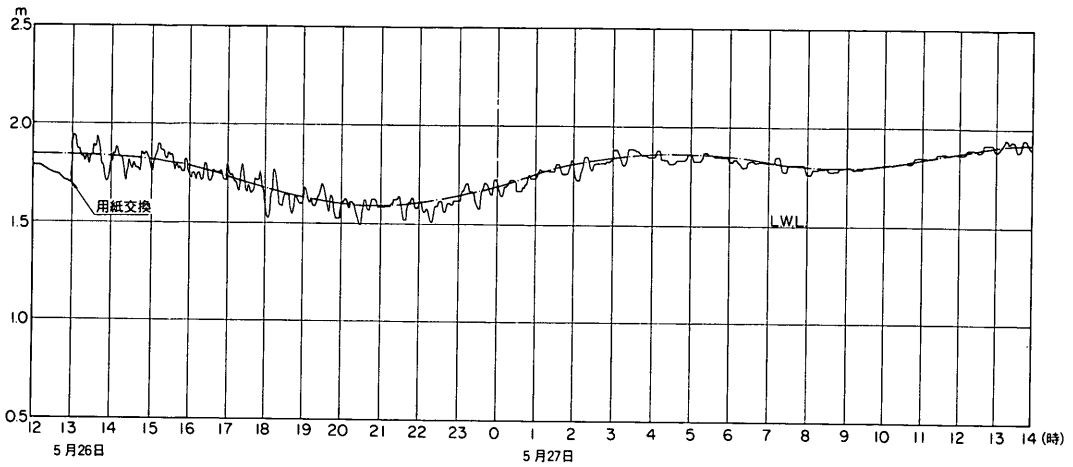
付図-2.38 伏木港検潮記録



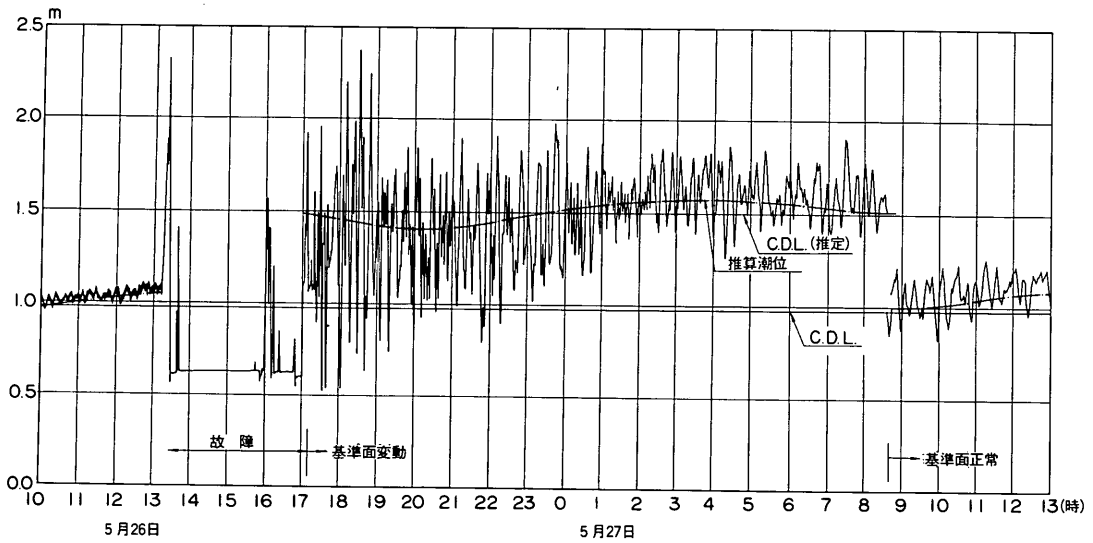
付図-2.39 七尾港検潮記録



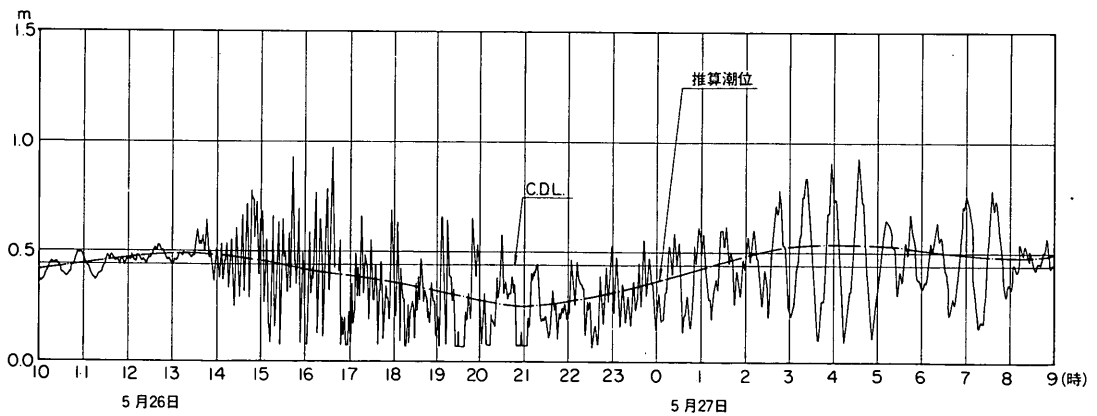
付図-2.40 飯田港(外側)検潮記録



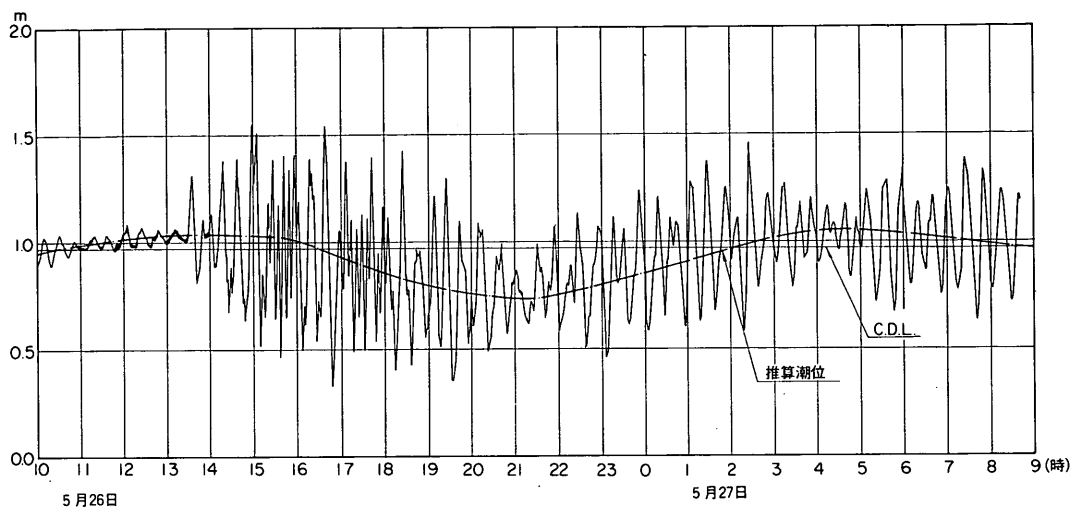
付図-2.41 飯田港(内側)検潮記録



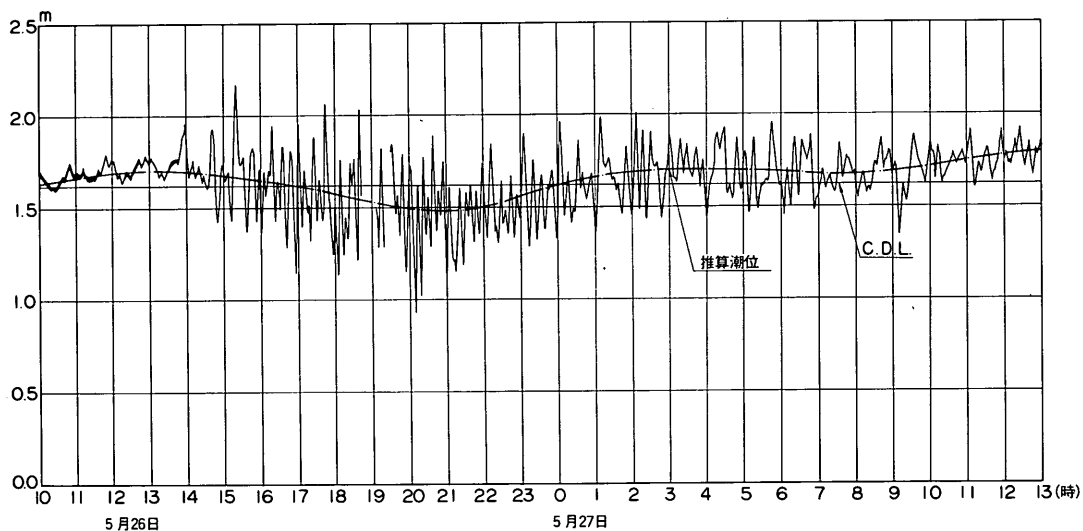
付図-2.42 輪島港検潮記録



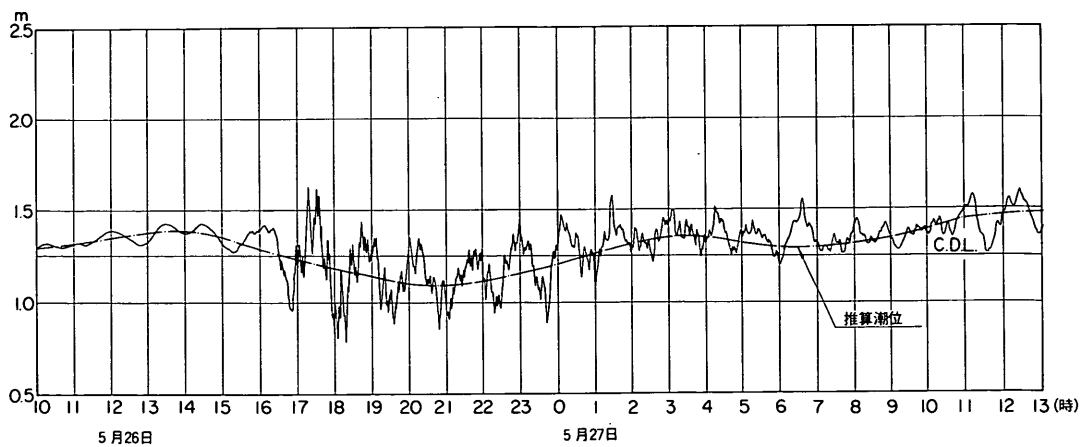
付図-2.43 金沢港検潮記録



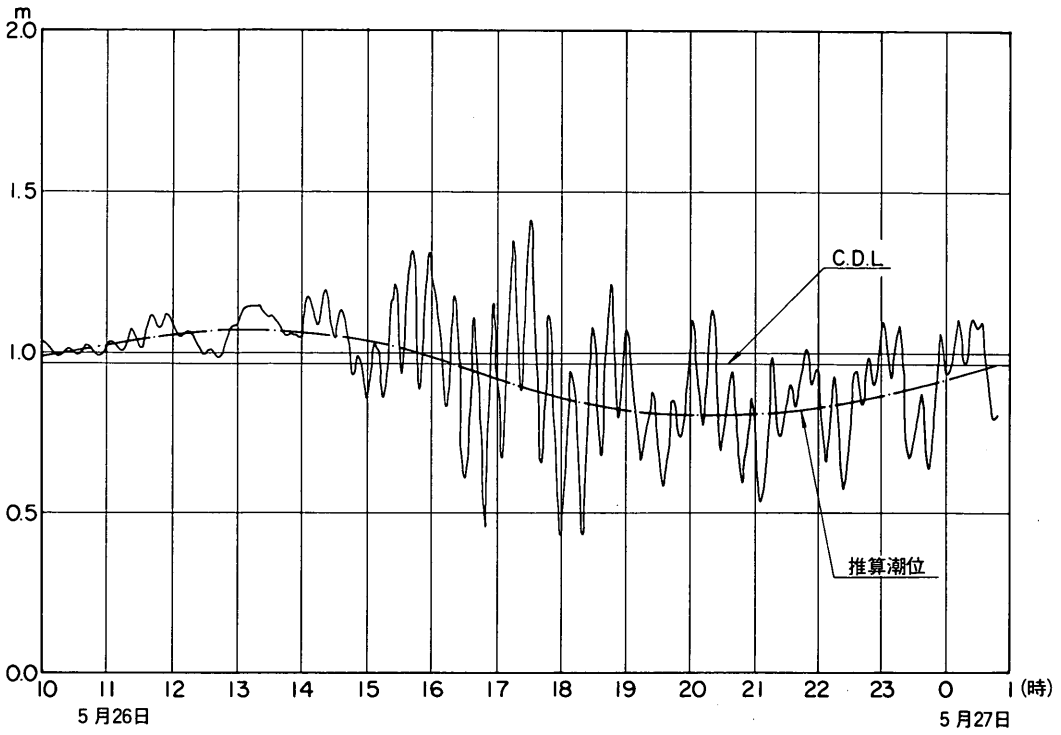
付図-2.44 福井港検潮記録



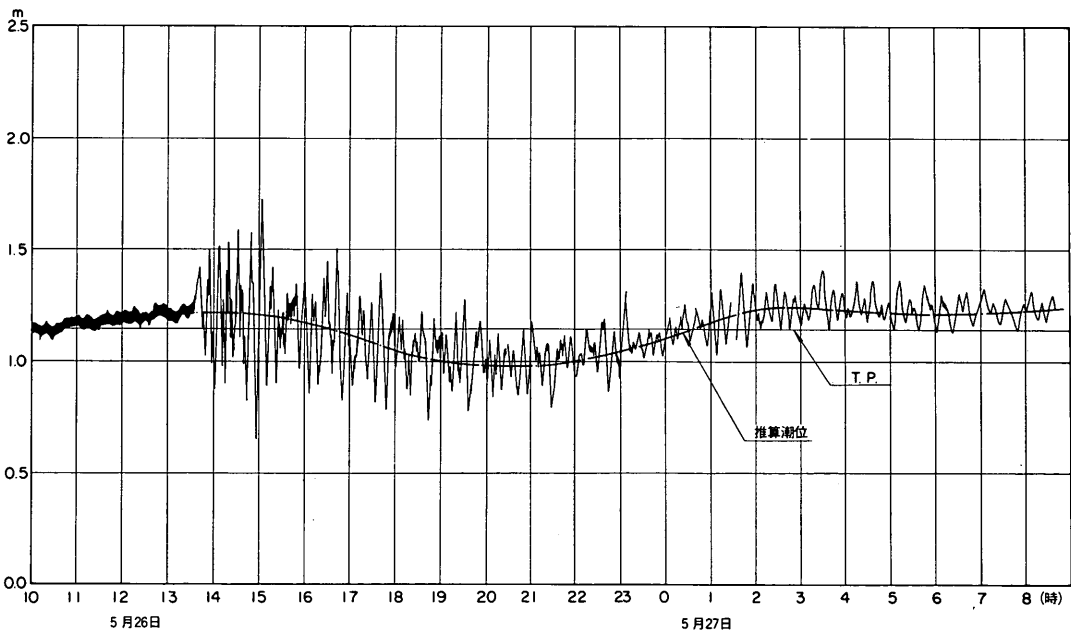
付図-2.45 敦賀港検潮記録



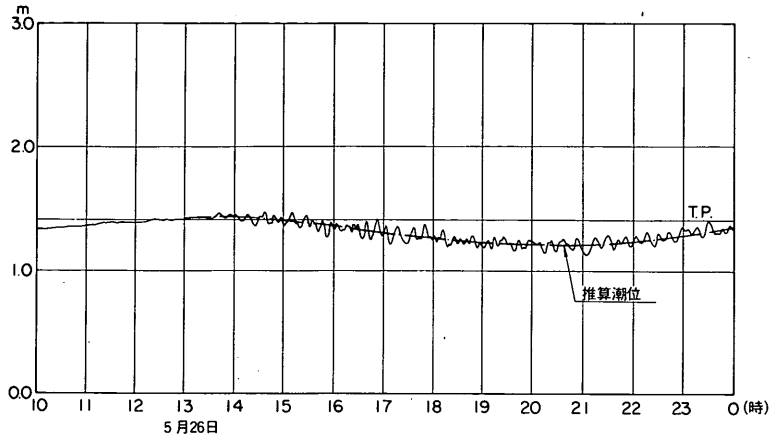
付図-2.46 舞鶴(1)検潮記録



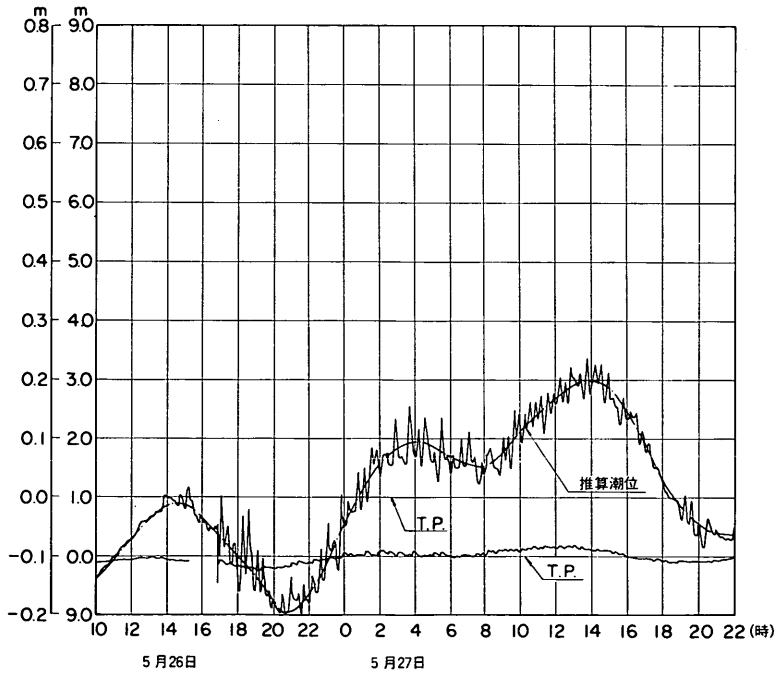
付図- 2.47 舞鶴(2)検潮記録



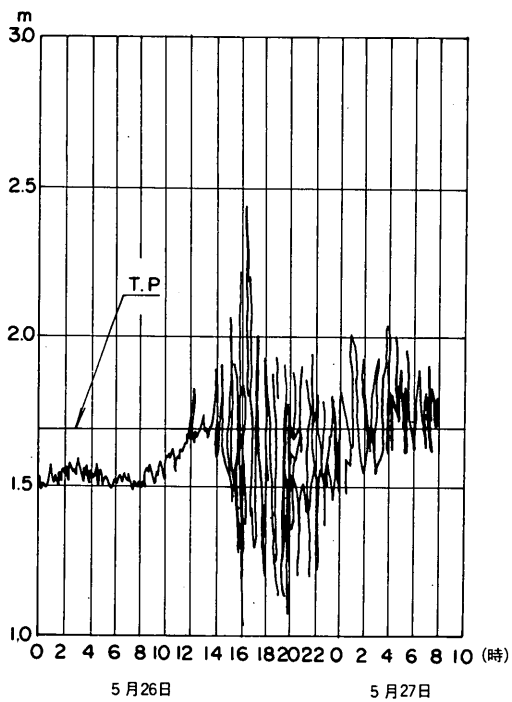
付図- 2.48 津居山検潮記録



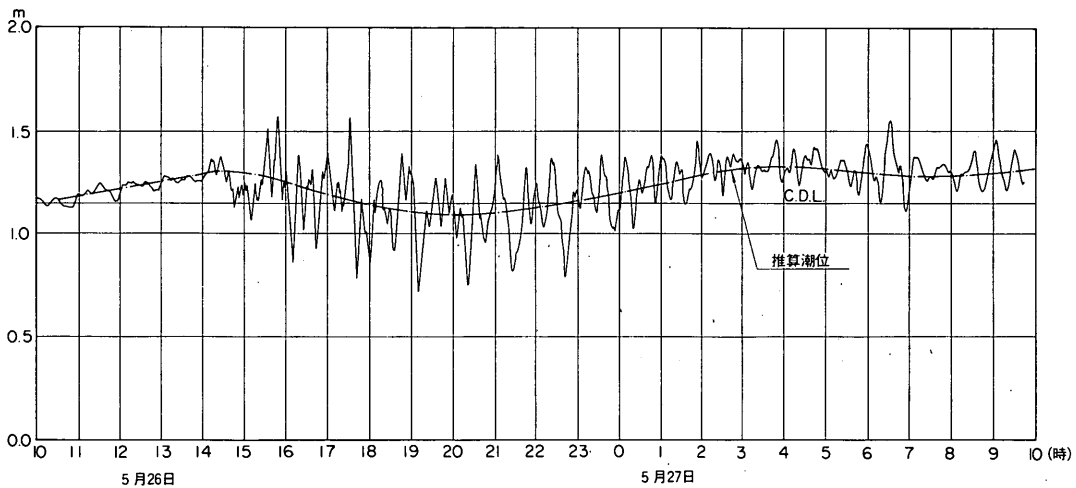
付図-2.49 田後 検潮記録



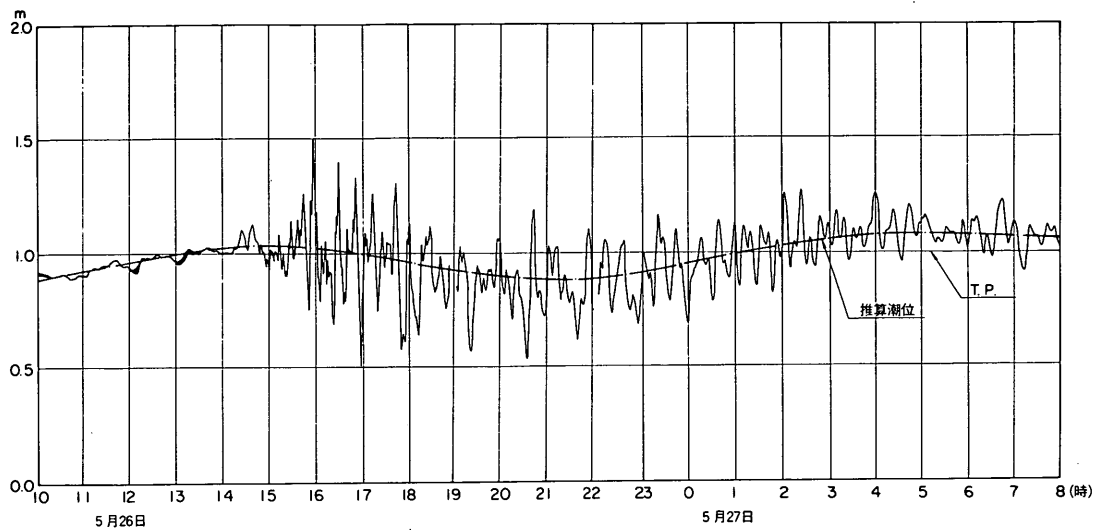
付図-2.50 賀露 検潮記録



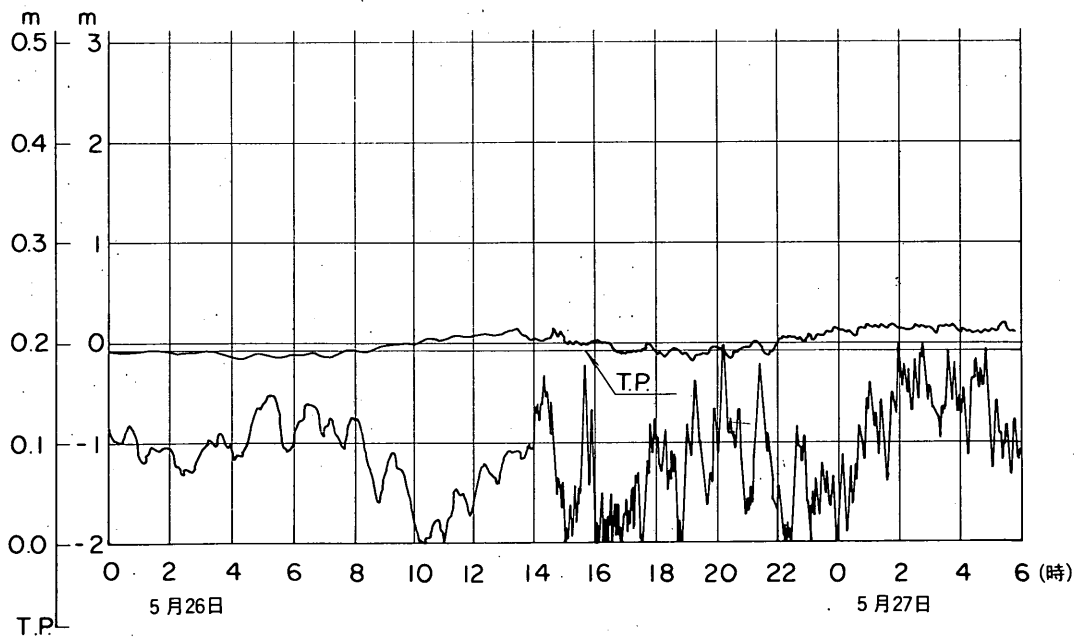
付図-2.51 赤碕港検潮記録



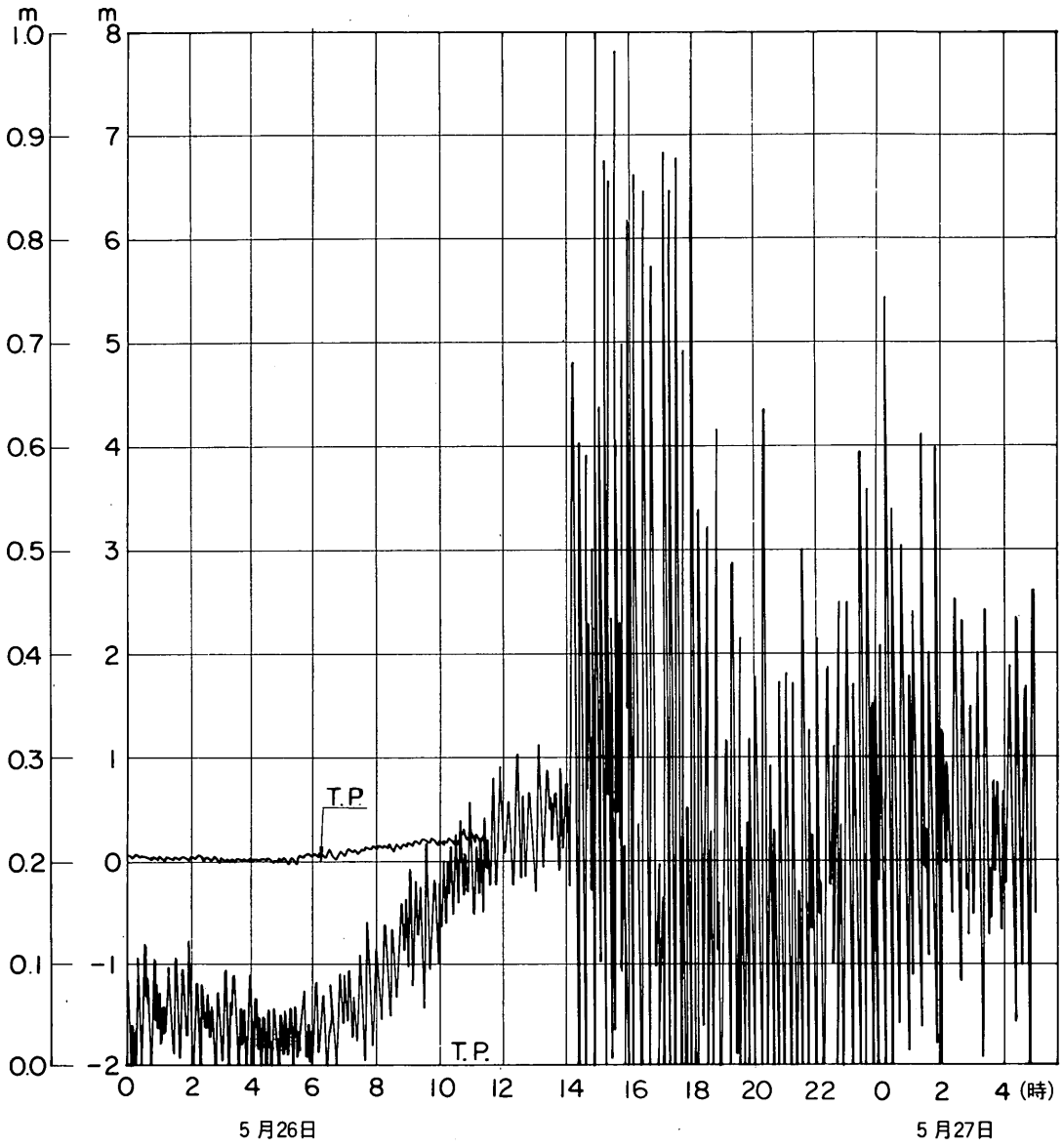
付図-2.52 境検潮記録



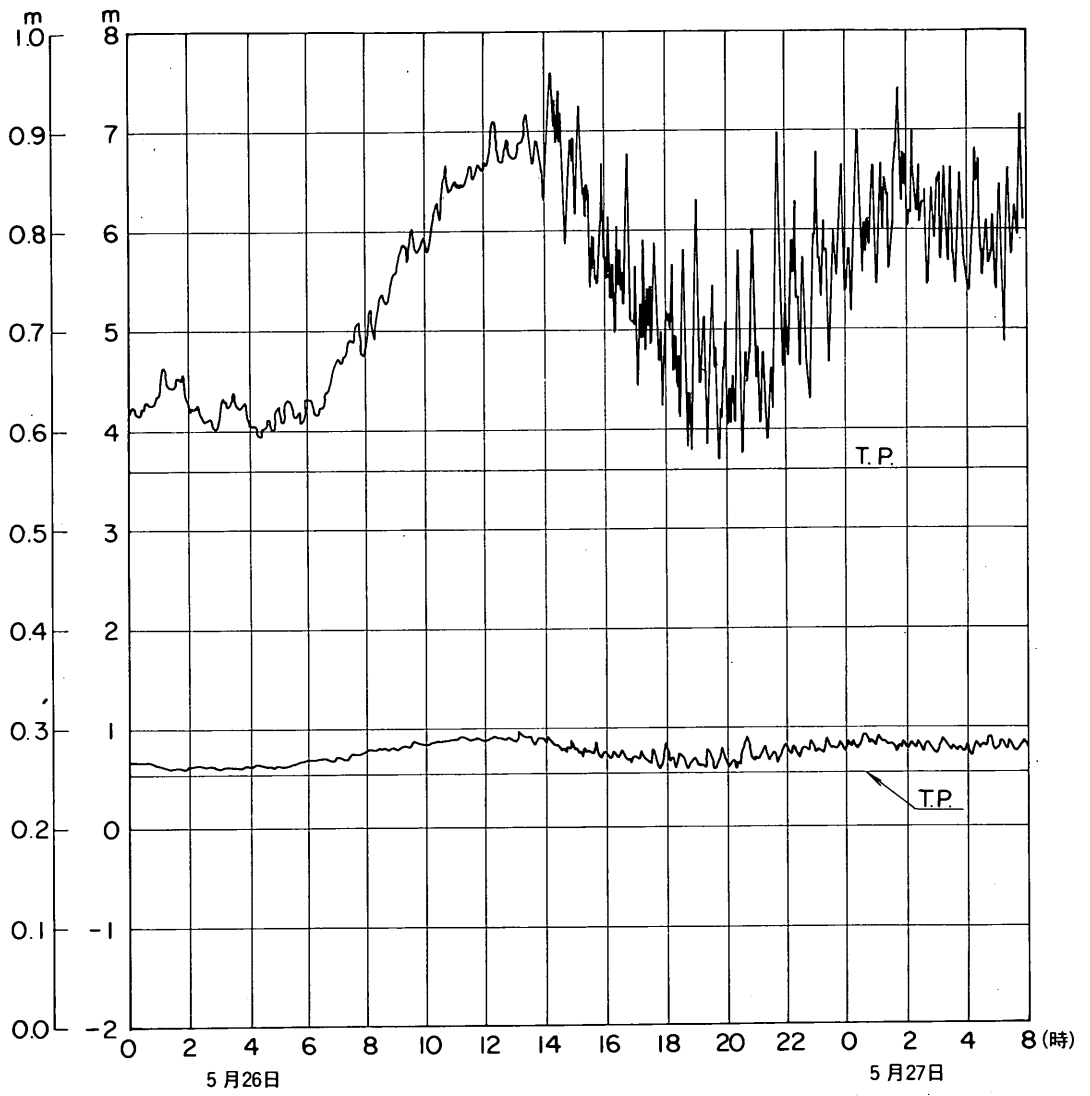
付図-2.53 森山 検潮記録



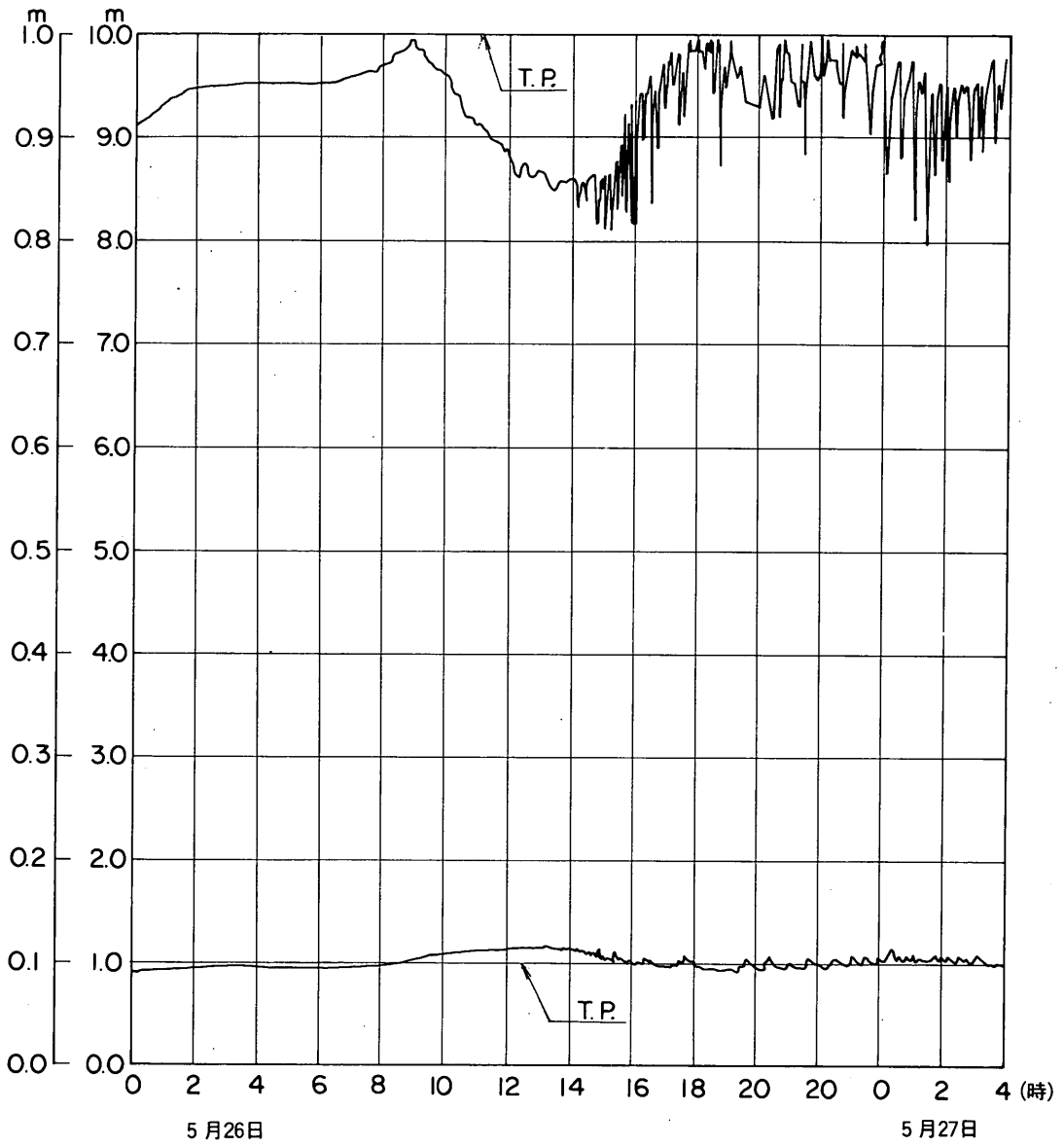
付図-2.54 美保関 検潮記録



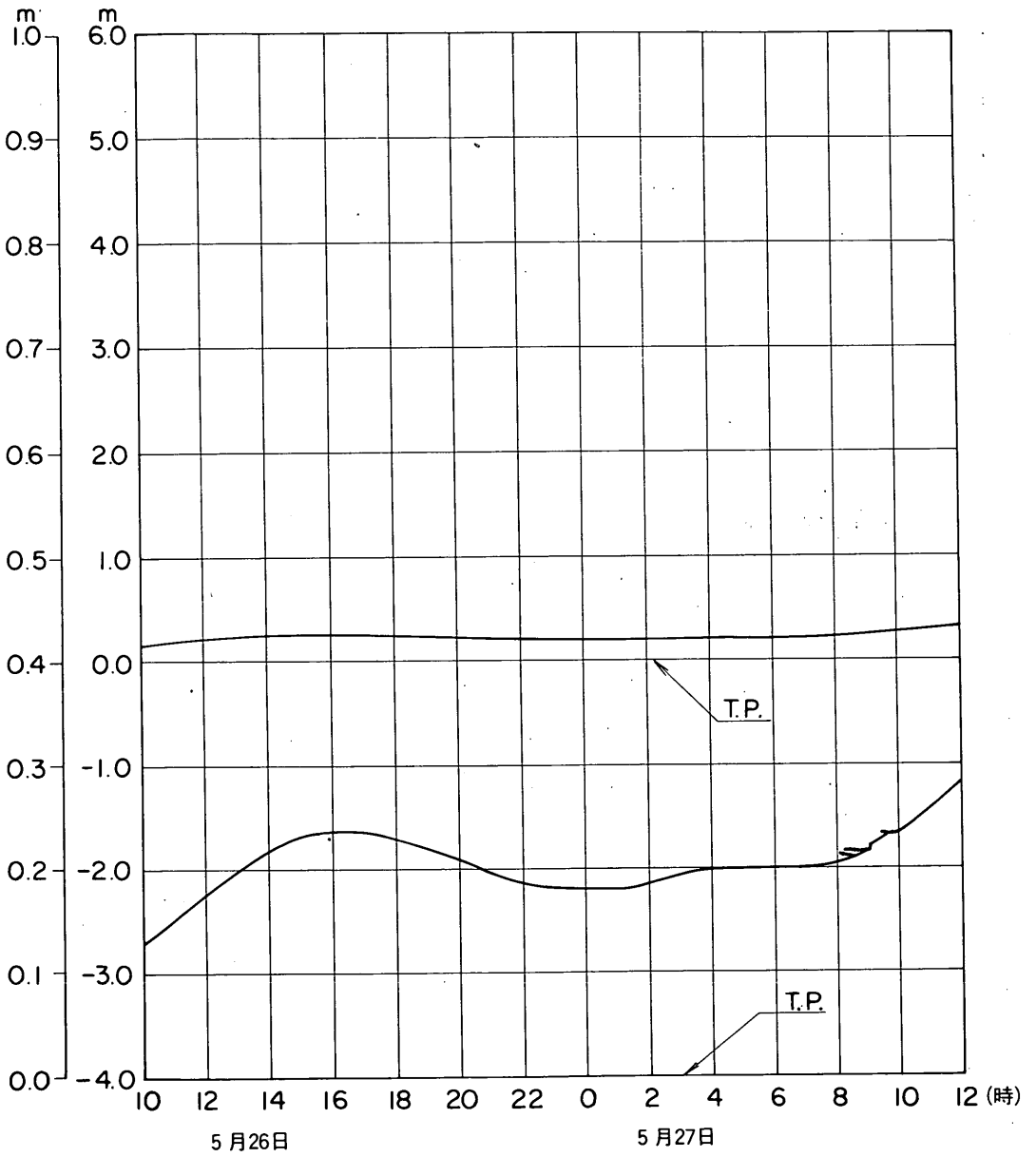
付図-2.55 惠曇檢潮記録



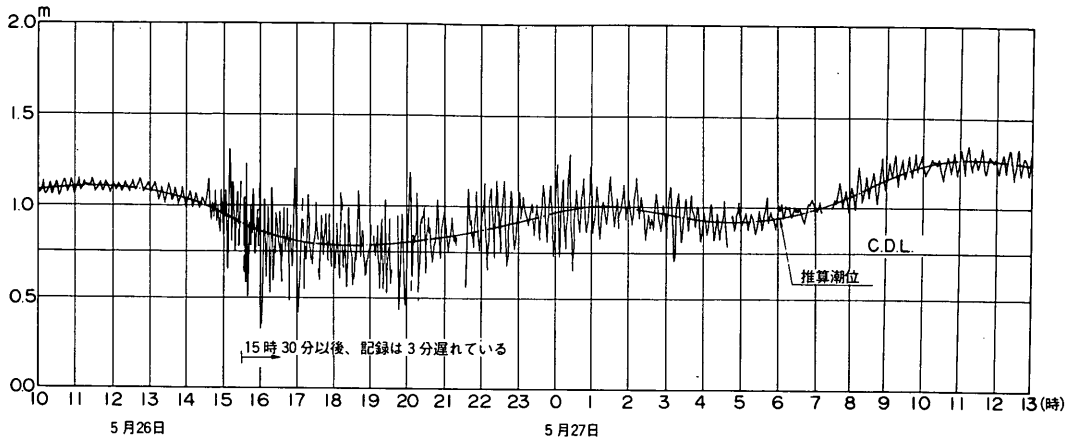
付図-2.56 大社検潮記録



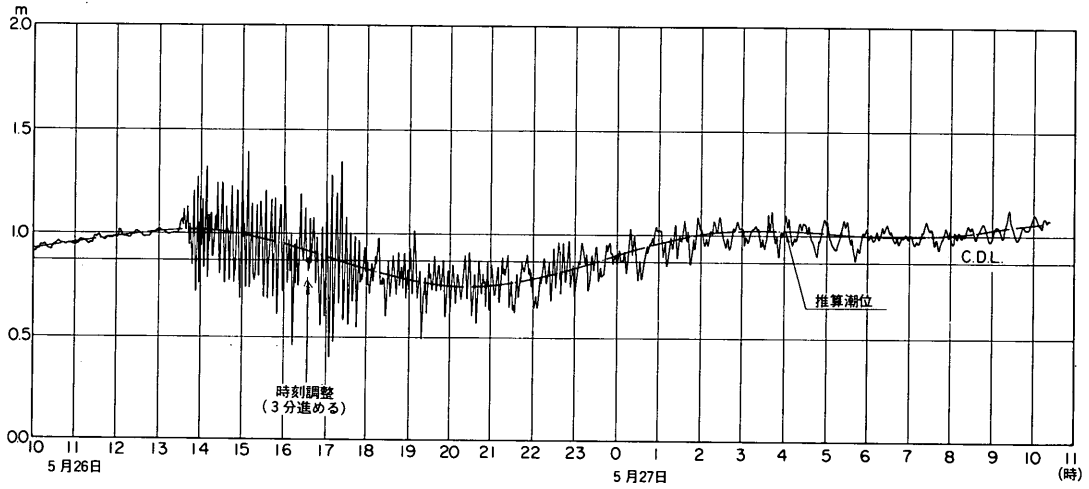
付図-2.57 外圍検潮記録



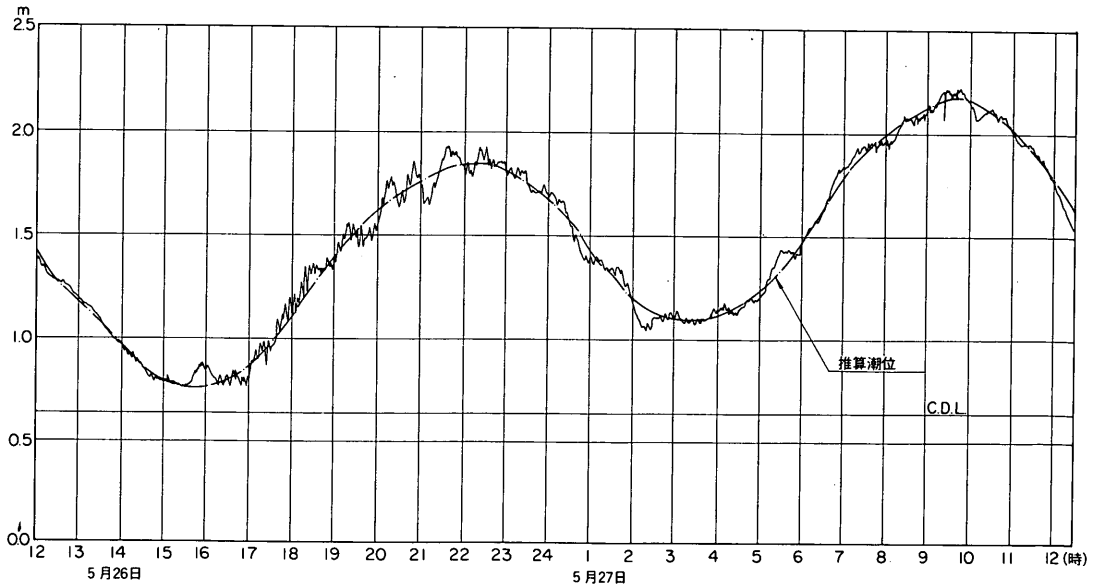
付圖-2.58 江津港檢潮記錄



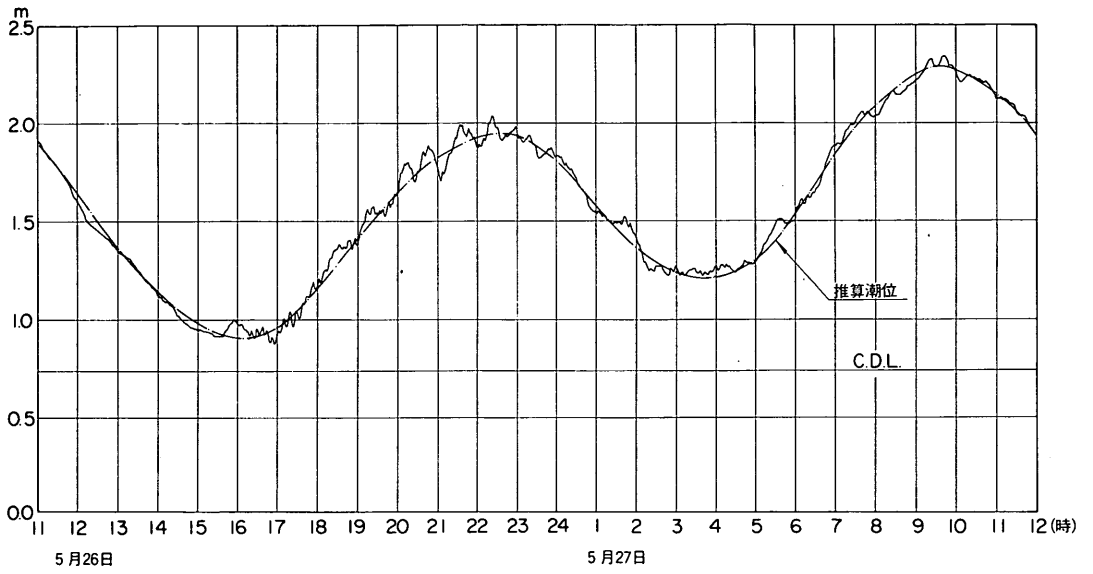
付図-2.59 浜田(外の浦)検潮記録



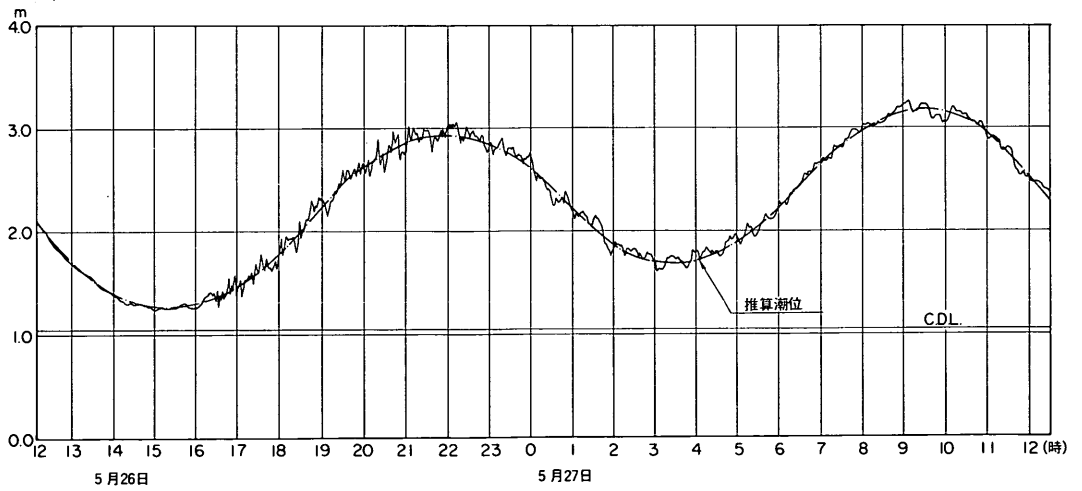
付図-2.60 西郷検潮記録



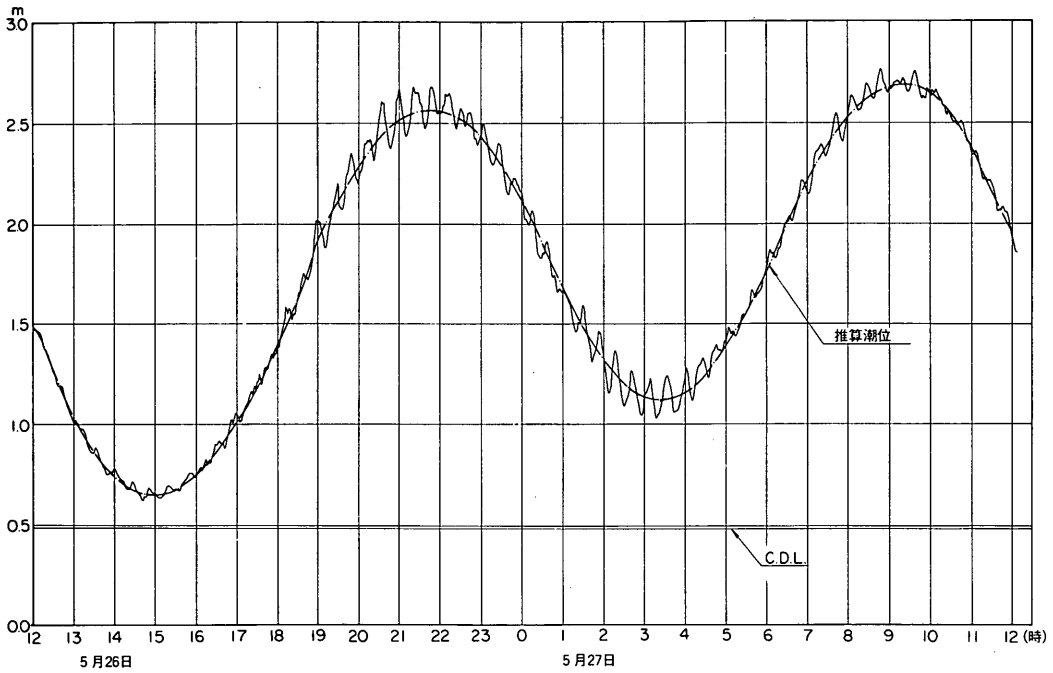
付図-2.61 日明検潮記録



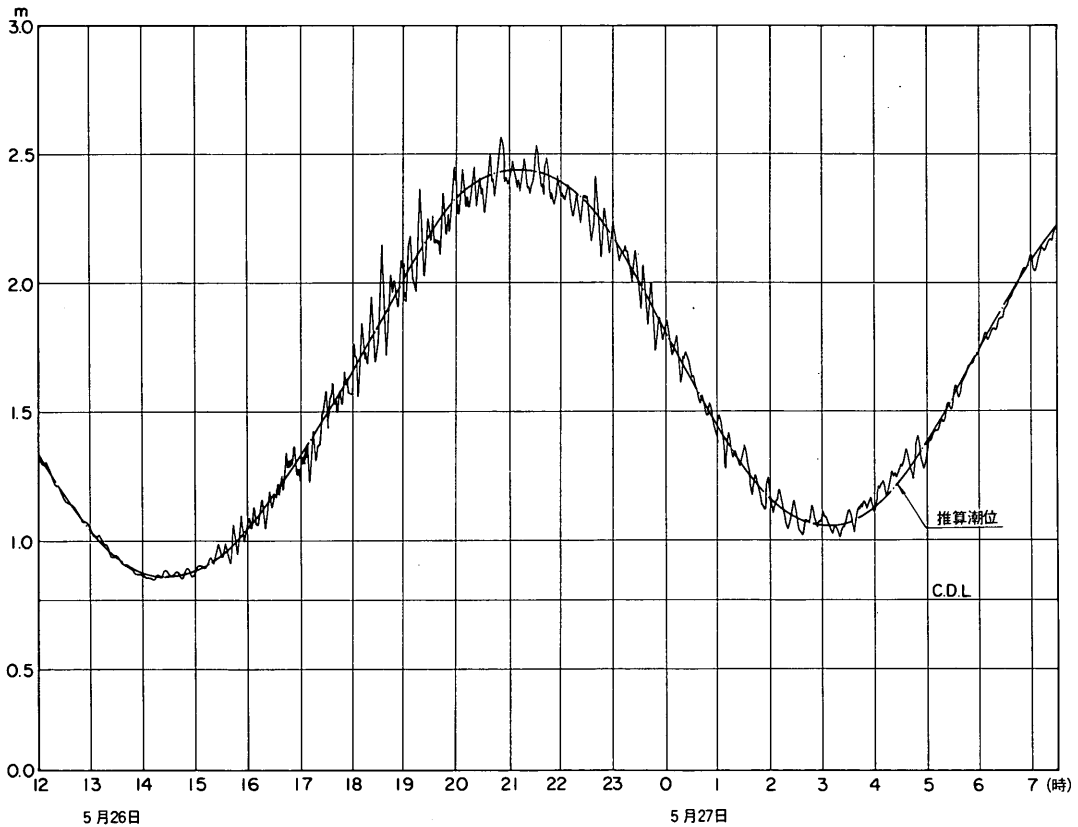
付図-2.62 響灘検潮記録



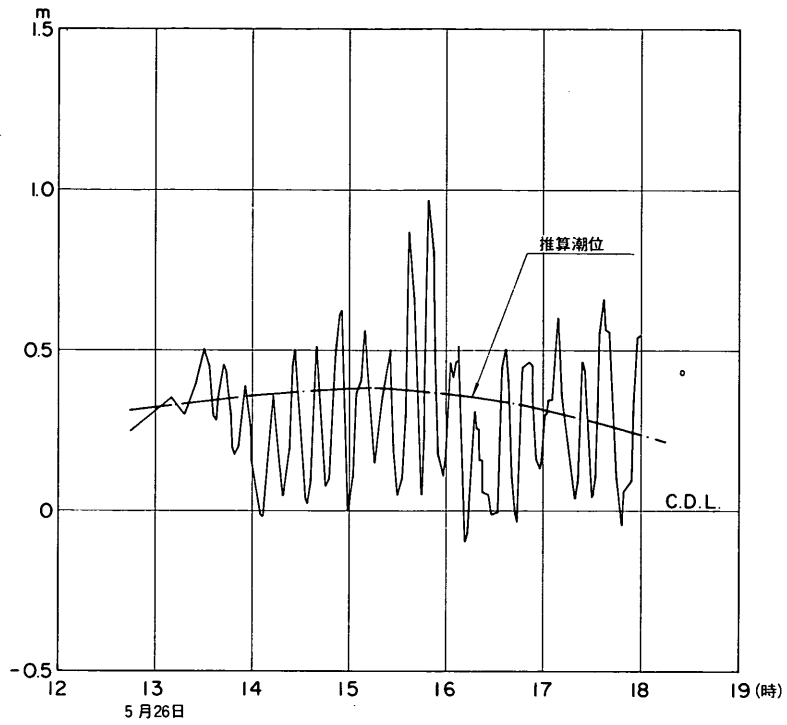
付図-2.63 唐津港検潮記録



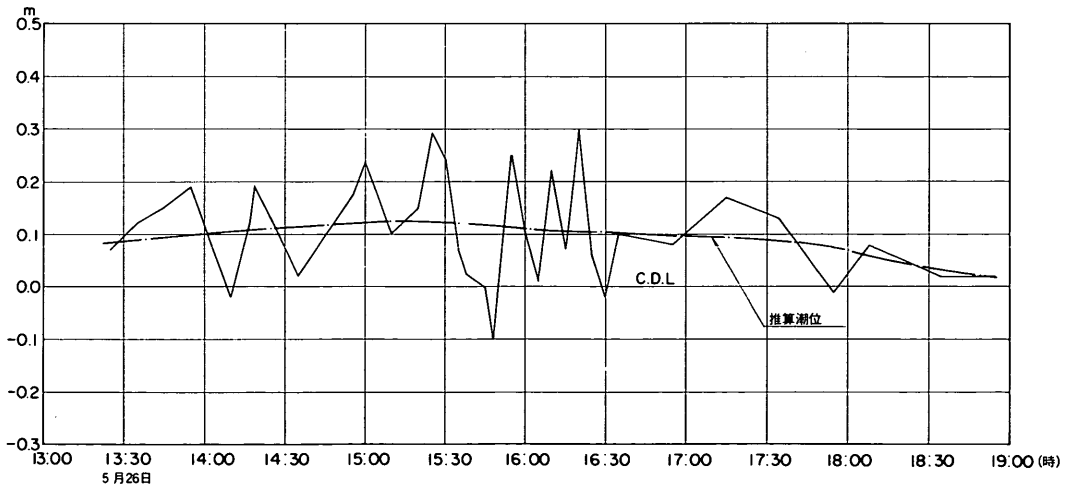
付図- 2.64 郷ノ浦港検潮記録



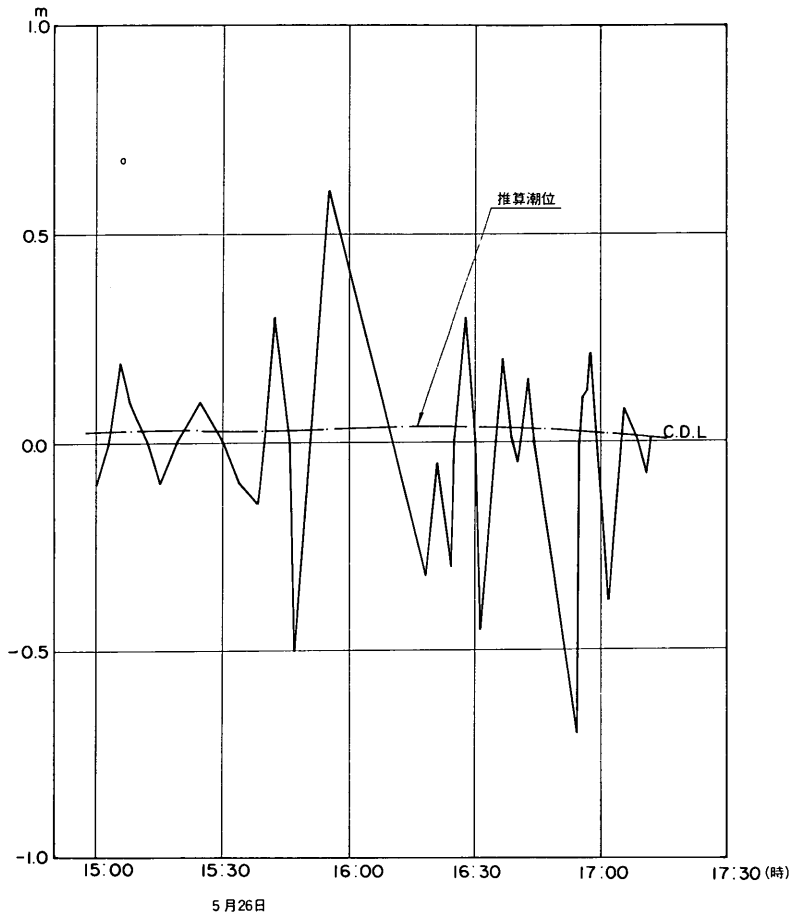
付図- 2.65 厳原検潮記録



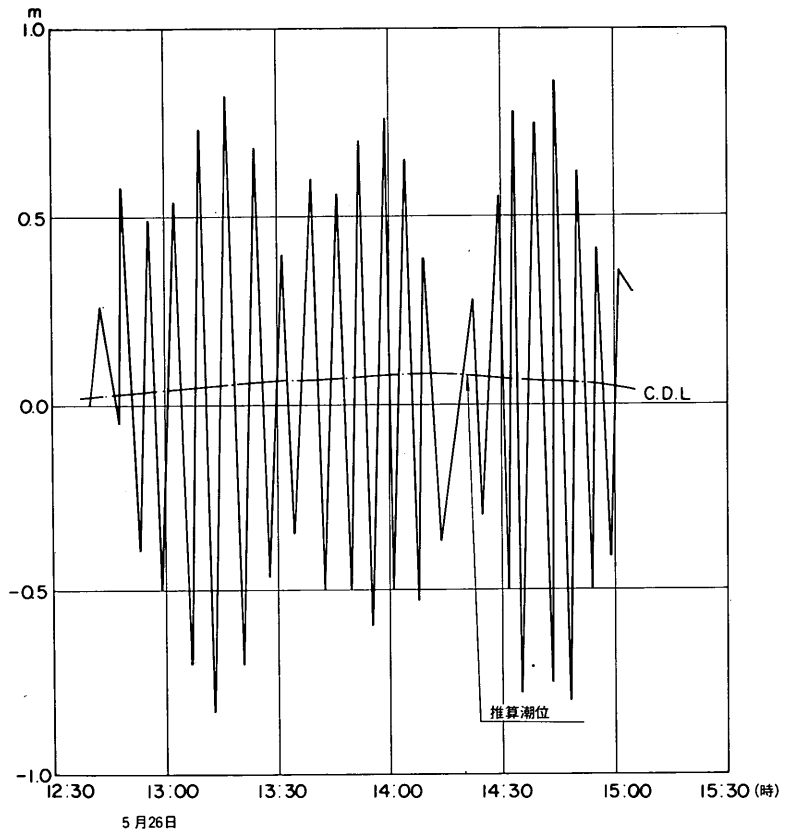
付図-2.66 石狩湾新港目視観測記録



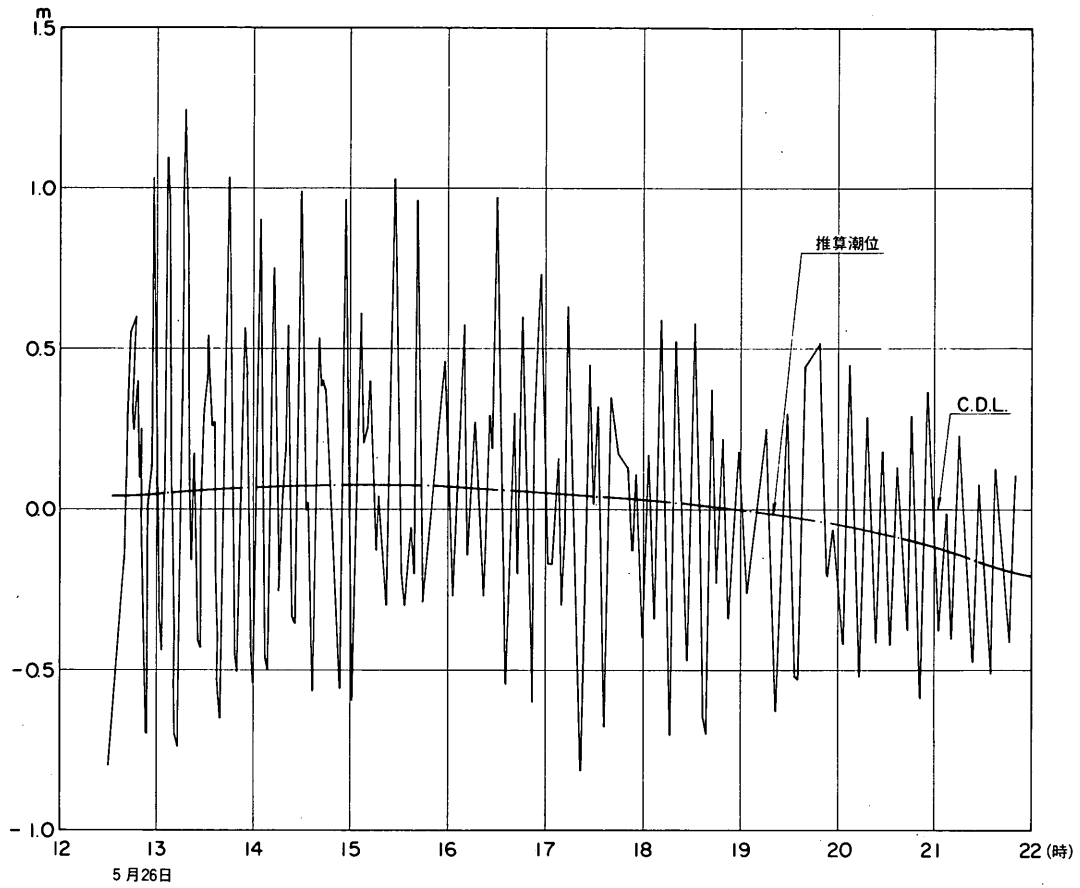
付図-2.67 余市港目視観測記録



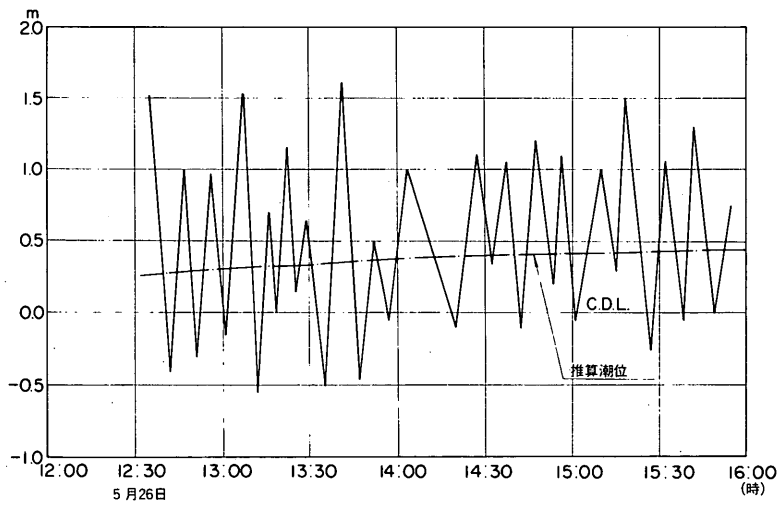
付図-2.68 古平漁港目視観測記録



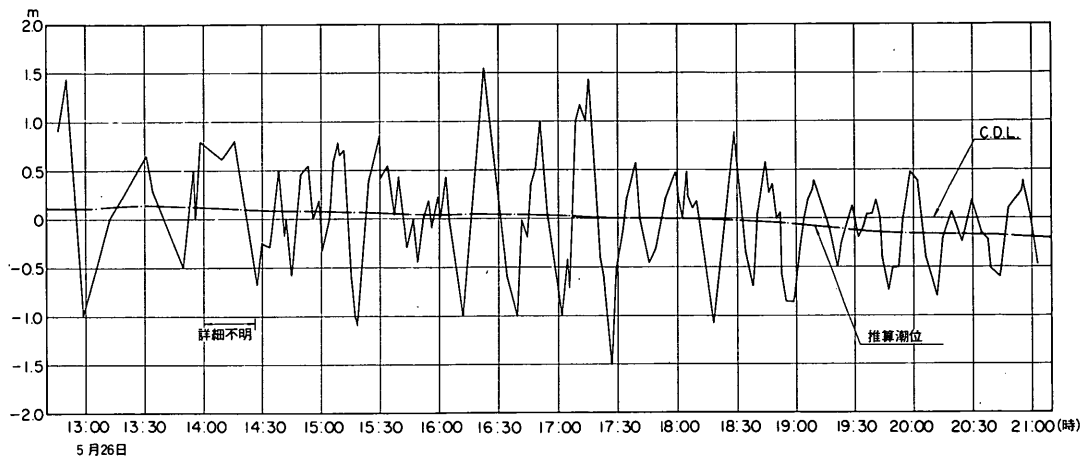
付図- 2.69 余別漁港目視観測記録



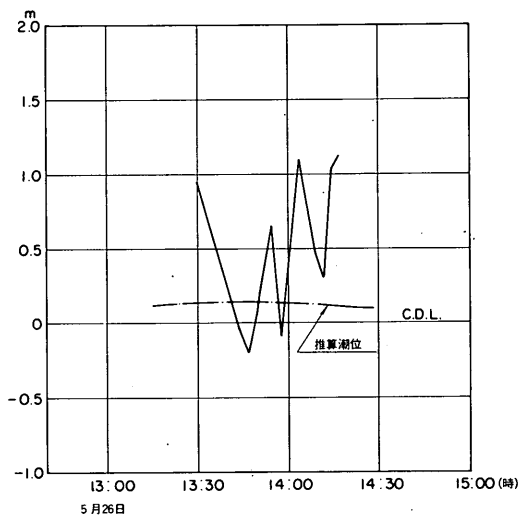
付図-2.70 瀬棚漁港目視観測記録



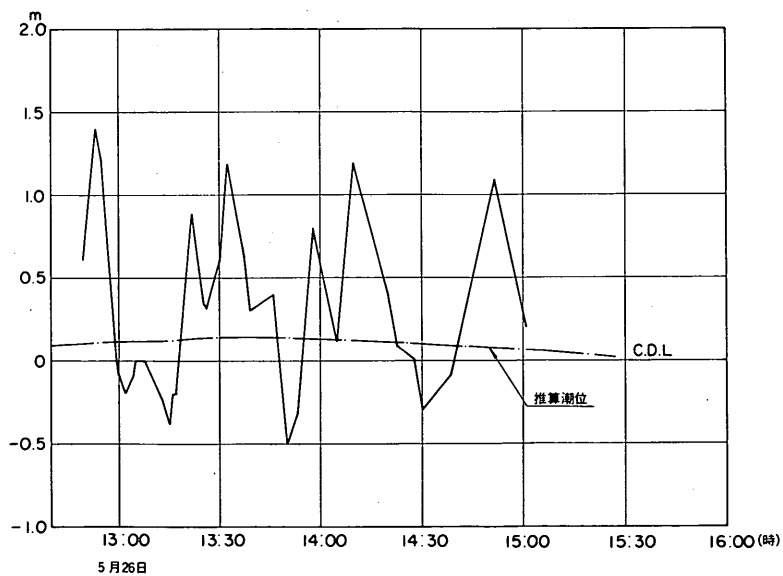
付図-2.71 福島漁港目視観測記録



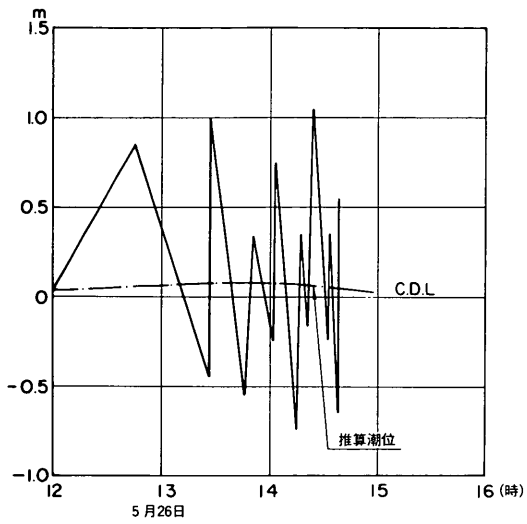
付図- 2.72 酒田北港目視観測記録



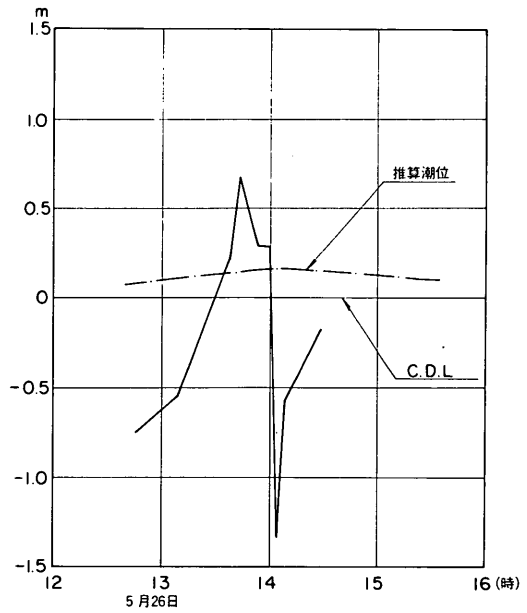
付図- 2.73 酒田港(西埠頭)目視観測記録



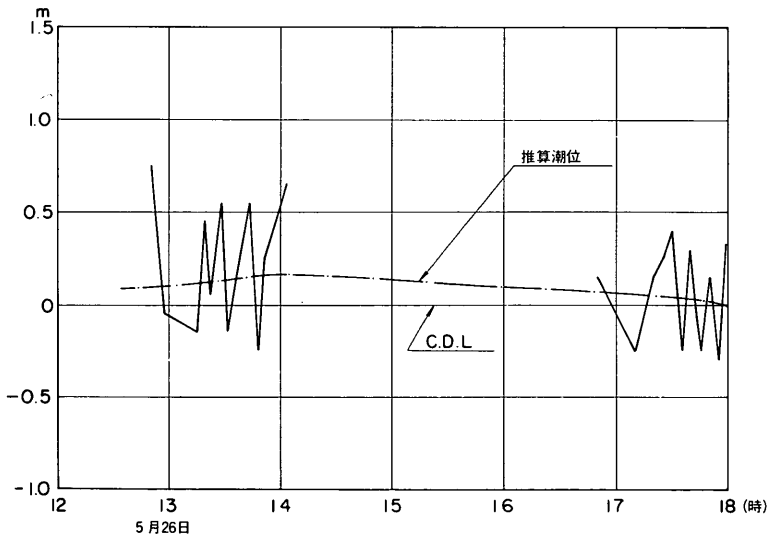
付図- 2.74 酒田港(東埠頭)
目視観測記録



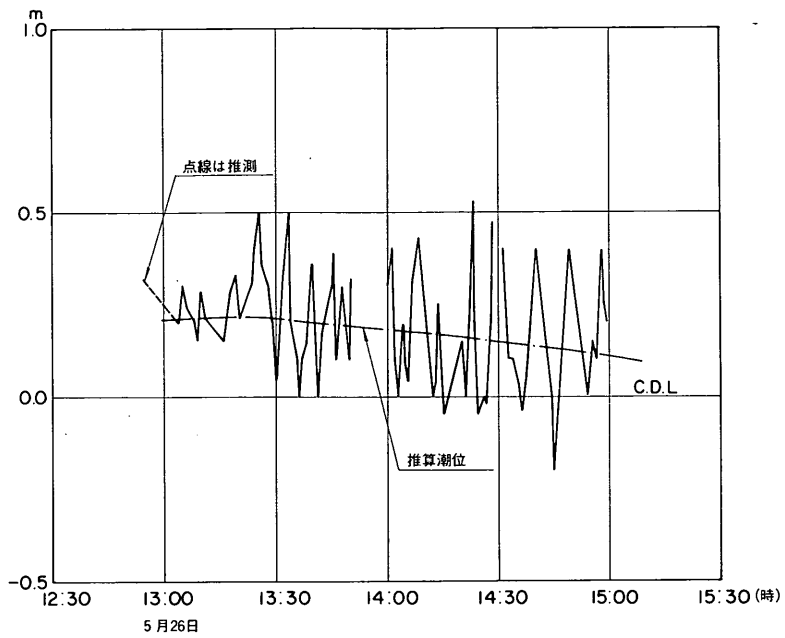
付図- 2.75 由良漁港目視観測記録



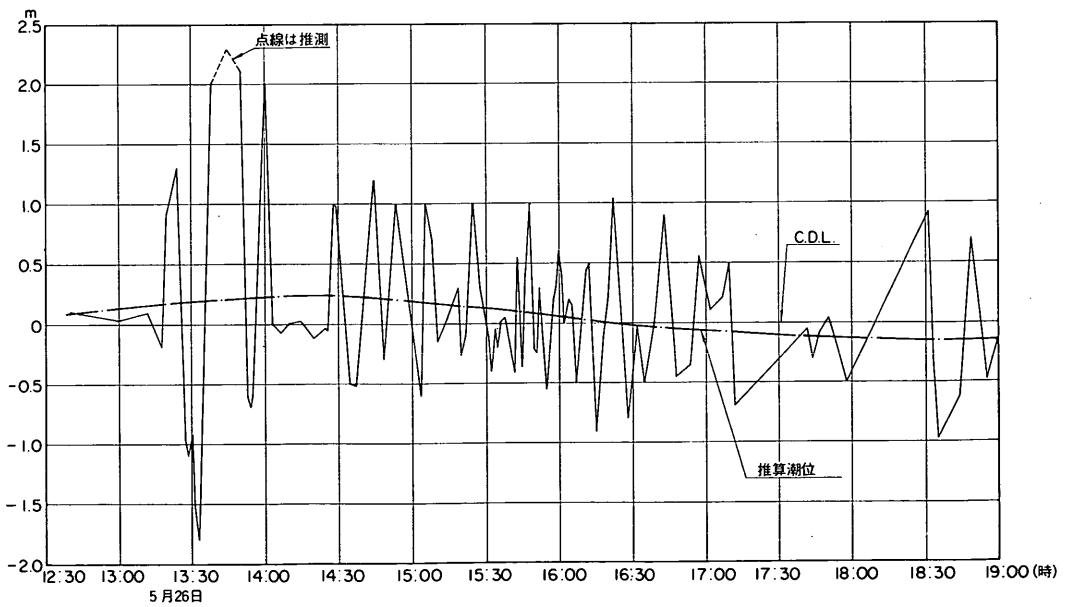
付図- 2.77 鼠ヶ関マリーナ目視観測記録



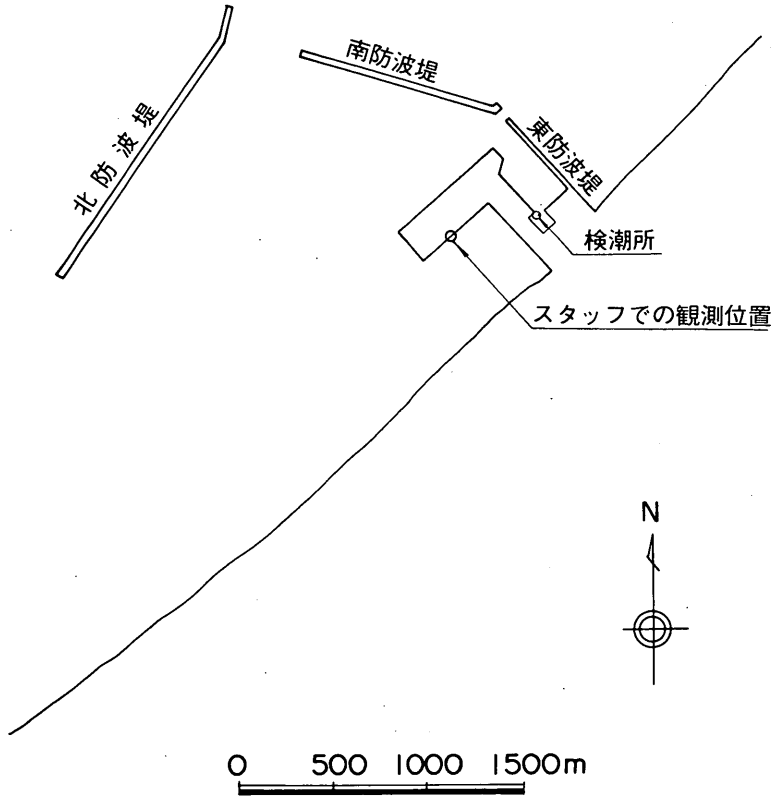
付図- 2.76 鼠ヶ関港目視観測記録



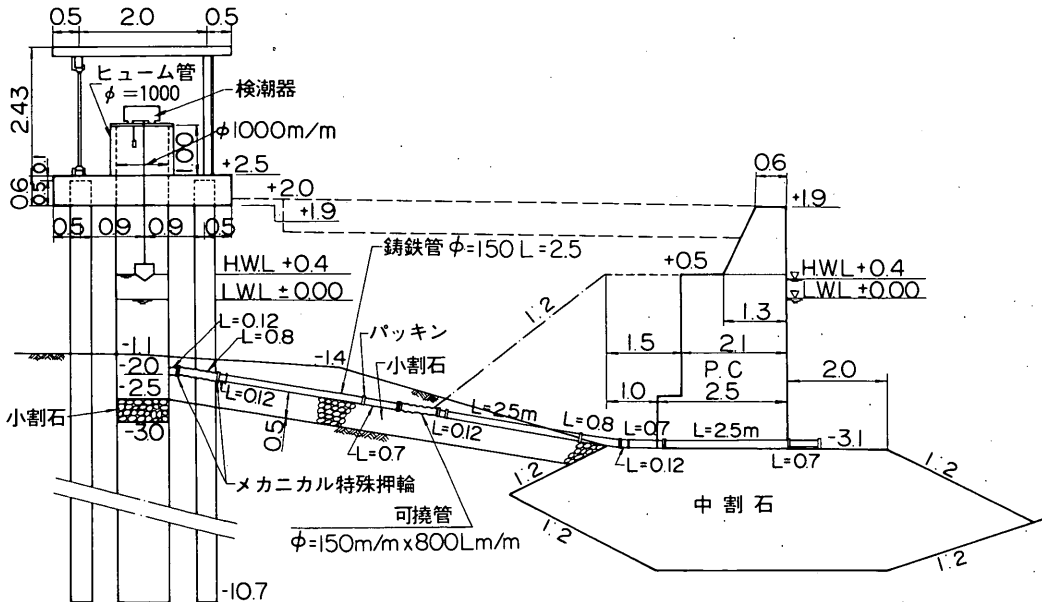
付図- 2. 78 姫川港目視観測記録



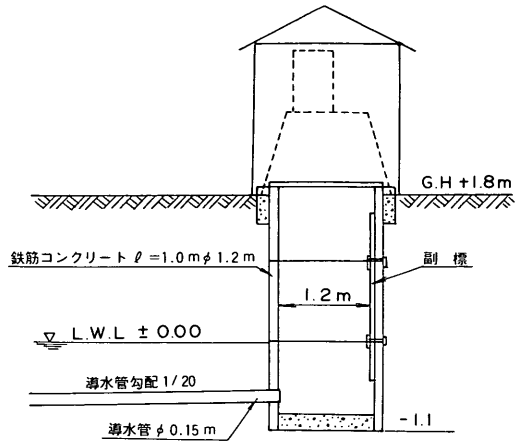
付図- 2. 79 輪島港目視観測記録



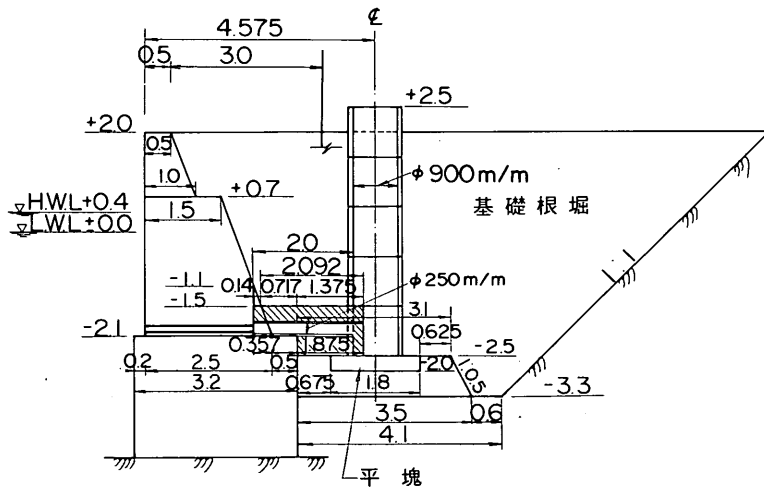
付図-2.80 石狩湾新港目視観測，検潮所位置図



付図-2.81 石狩湾新港検潮井戸構造図

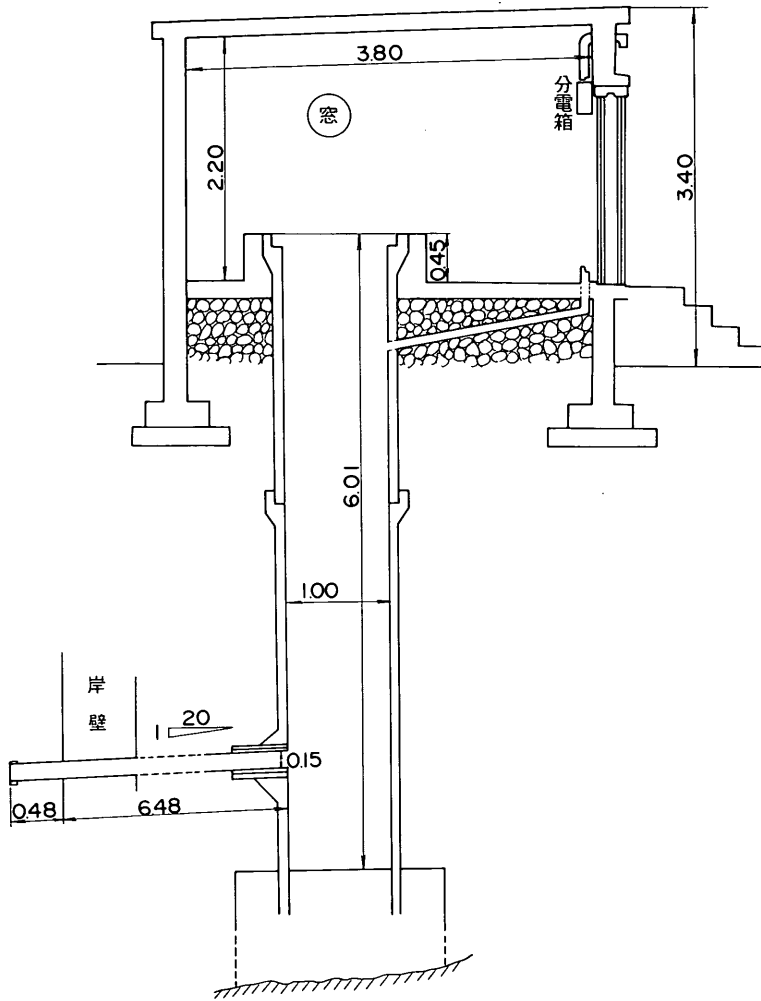


付図- 2.82 岩内港検潮井戸構造図

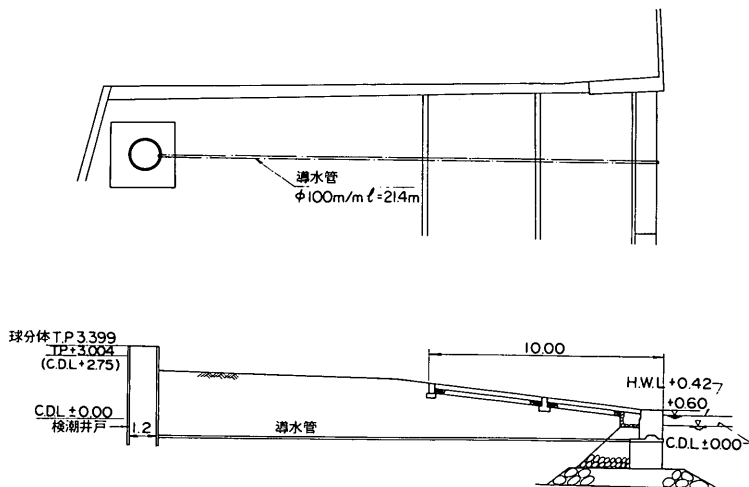
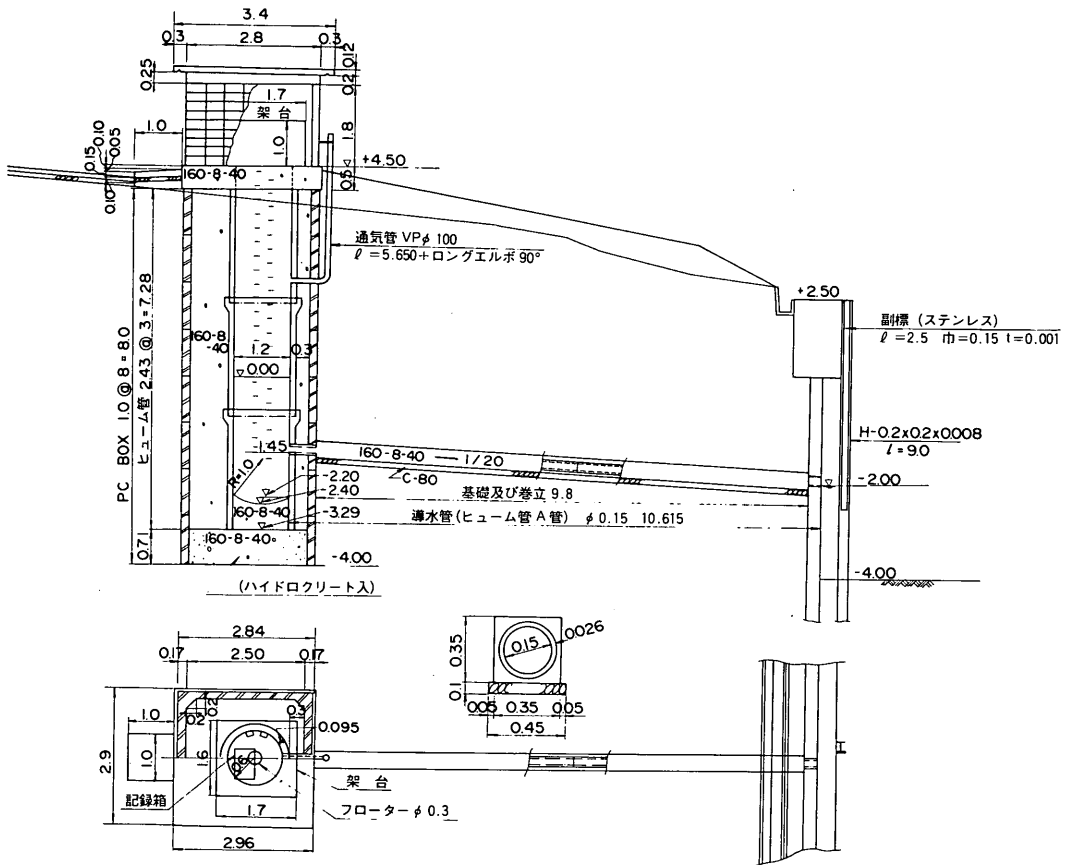


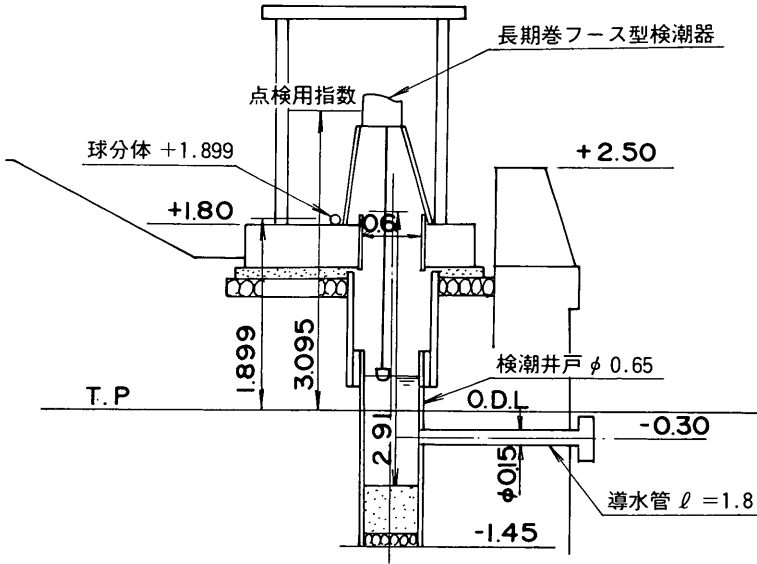
(a) 断面図

付図- 2.83 江差港検潮井戸構造図

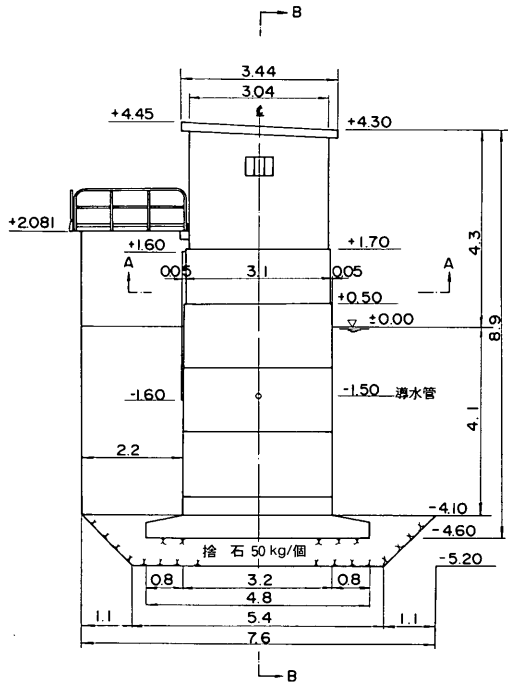


付図-2.84 深浦検潮井戸構造図

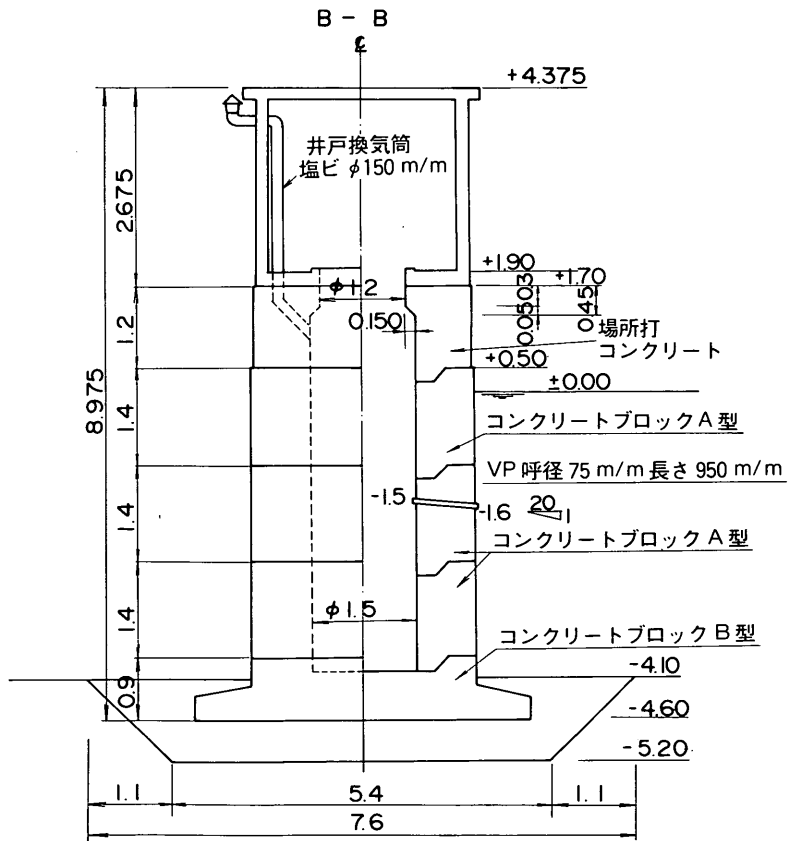
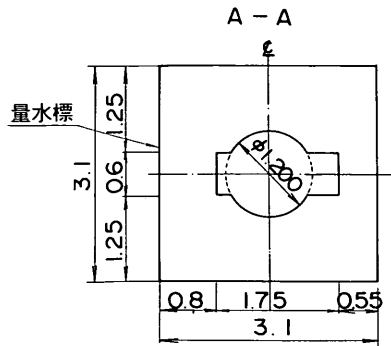




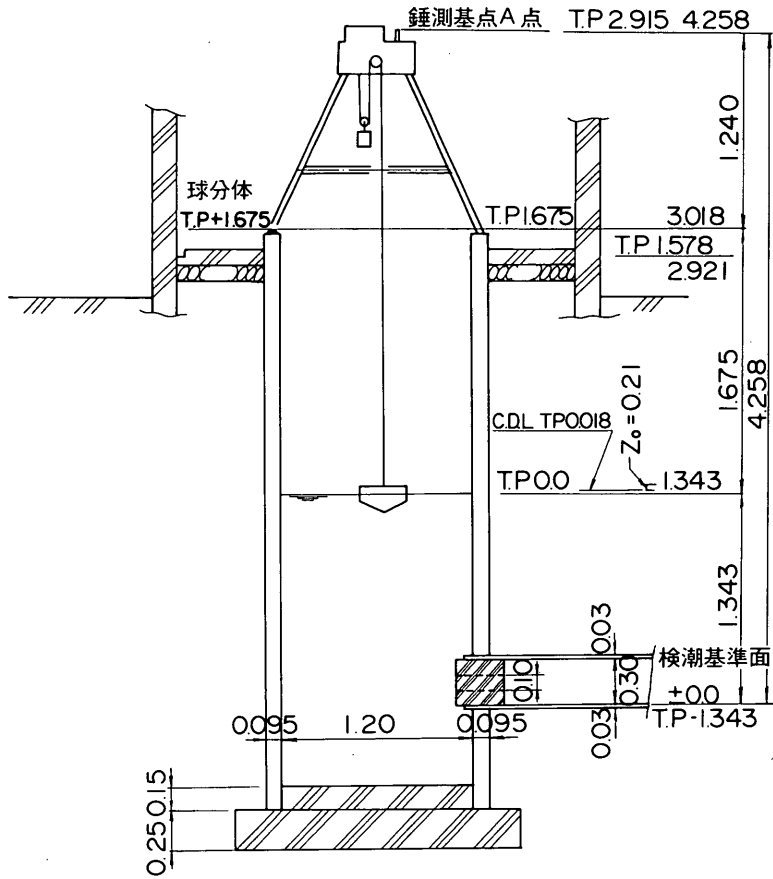
付図-2.88 岩船港検潮井戸構造図



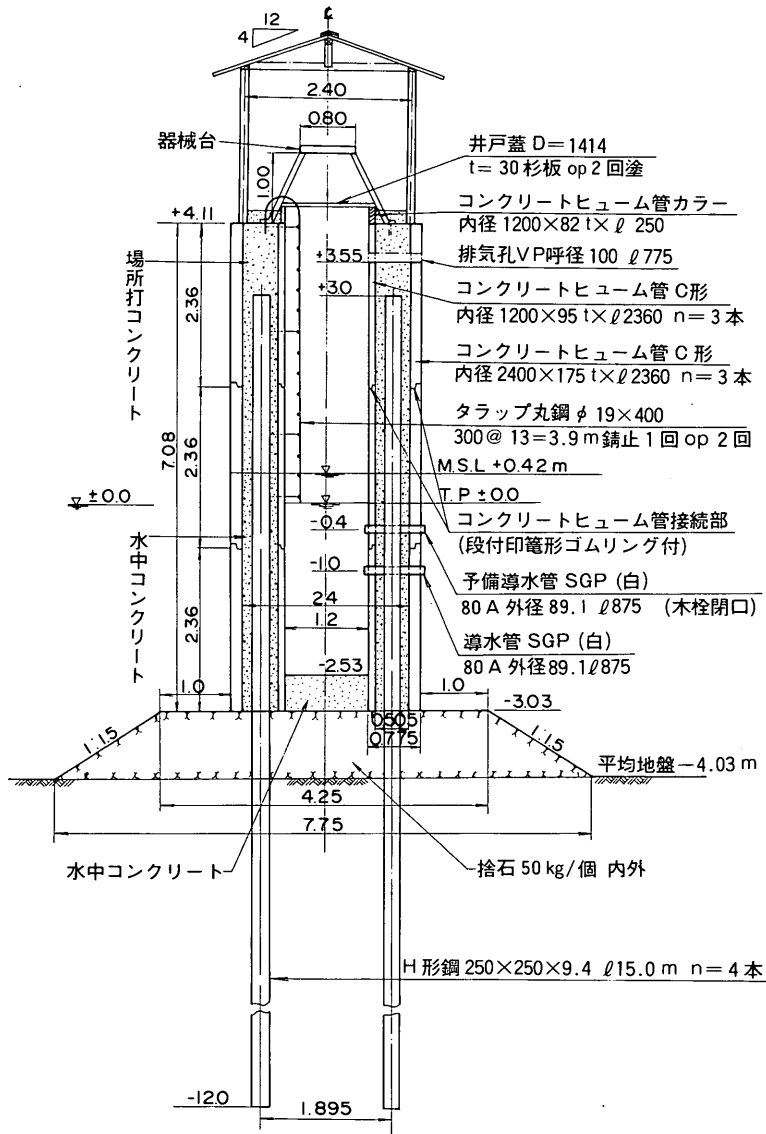
付図-2.89 (a) 両津港検潮井戸構造図



(b) 両津港検潮井戸詳細図

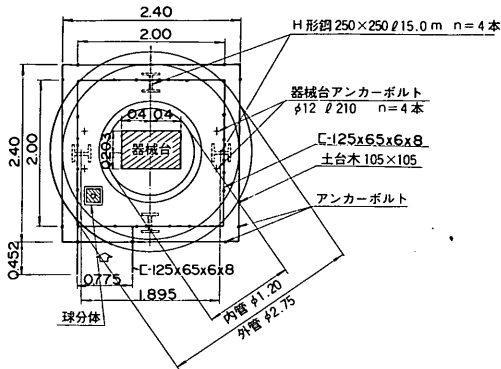


付図- 2.90 柏崎港検潮井戸構造図

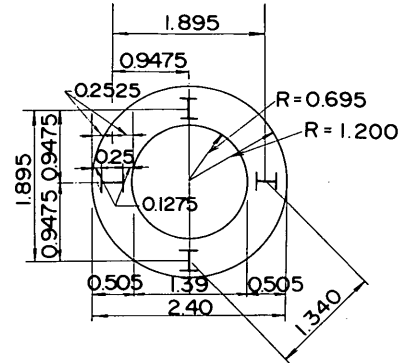


(a) 断面図

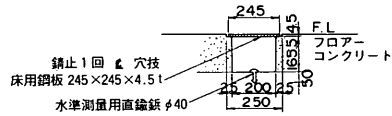
付図-2.92 新潟東港検潮井戸構造図



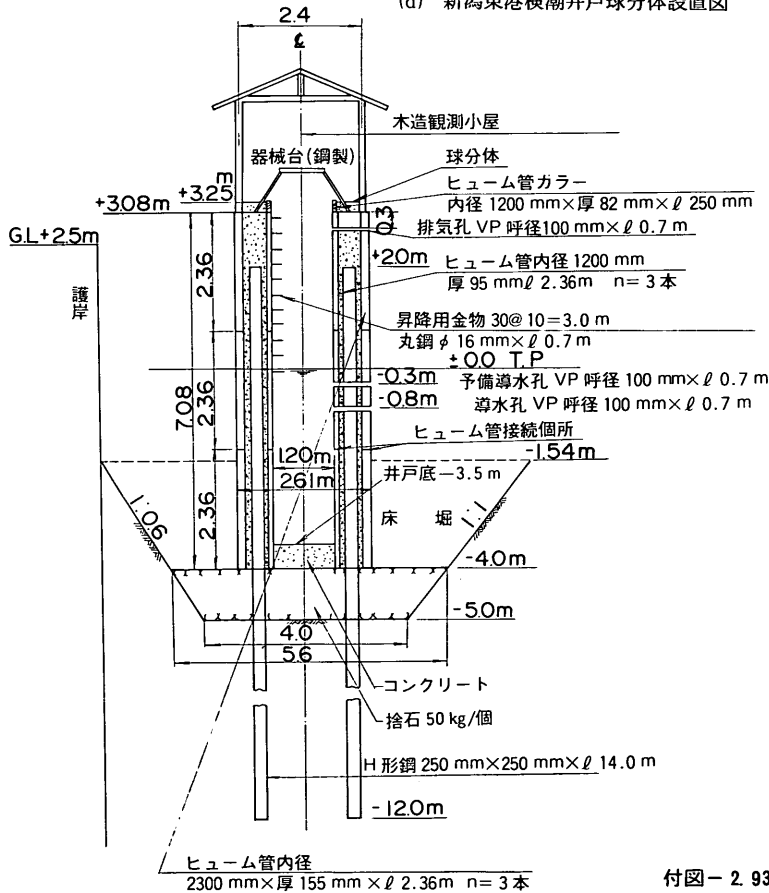
(b) 新潟東港検潮井戸平面図



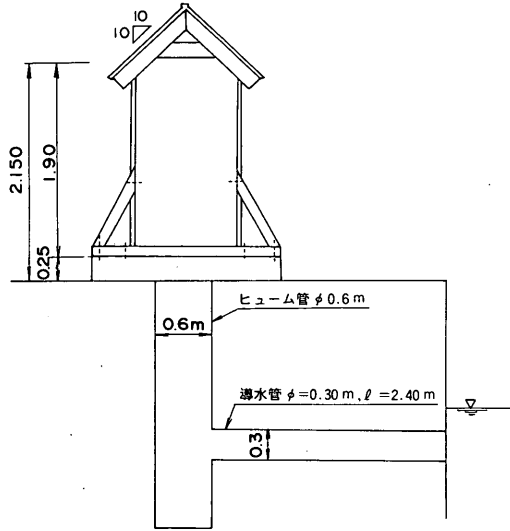
(c) 新潟東港検潮井戸H形鋼配列図



(d) 新潟東港検潮井戸球分体設置図



付図-2.93 新潟西港検潮井戸構造図



付図-2.94 寺泊港検潮井戸構造図

付録3. こん（痕）跡調査表

現地踏査等によって得たこん跡高のデータを以下の表に示す。精度欄のA, B, Cは次のような基準で判別したものである。

A：こん跡が明瞭に残っており、津波による最大そ上高であることがヒヤリングその他によって確認される場合。または、他の状況によって明らかな場合。津波来襲時の状況あるいはこん跡が写真等に撮影されていて、最大そ上高であることがヒヤリングその他によって確認される場合。
標尺等による目視観測記録に基づく場合。

B：こん跡は比較的明瞭であるが、その他によって確認できない場合。

ヒヤリングによって、明らかな対象物に対し、最大そ上高を指示されるが、こん跡が明確でない場合。個々では確実ではないが、複数の事象によって、ほぼ確信できる場合。

C：こん跡らしきものを認める場合。

ややあいまいであるが、ヒヤリングによって指示される場合。

推測による場合。

3-1 北海道

測	測定場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (CDL上)	こん跡高 (CDL上)	測 定 方 法	精 度
①	奥尻分駐所前	6/15, 10:28	+ 1.95	+ 0.27	+ 2.2	ヒアリングによりこん跡位置を求めレベルで現海面より測定	B
②	魚協冷蔵庫前	6/15, 10:40	+ 2.27	+ 0.27	+ 2.5	"	B
③	塩釜川横	6/15, 10:49	+ 2.78	+ 0.28	+ 3.1	"	B
	赤石63番地	6/15, 11:10	+ 1.96	+ 0.29	+ 2.3	"	B
		6/15, 11:10	- 1.50	+ 0.29	- 1.2	"	C
	字松江	6/15, 11:34	+ 1.20	+ 0.31	+ 1.5	"	B
①	魚協無線局前	6/15, 15:08	+ 2.06	+ 0.40	+ 2.5	"	B
②	民宿古川宅前	6/15, 15:23	+ 2.59	+ 0.40	+ 3.0	"	B
②	古川ノブテリ一前	6/15, 15:23	+ 2.82	+ 0.40	+ 3.2	こん跡を求めレベルで現海面より測定	A
③	青苗分駐所壁	6/15, 15:23	+ 3.11	+ 0.40	+ 3.5	"	A
④	分駐所西側漁具小屋	6/15, 15:43	+ 2.96	+ 0.41	+ 3.4	"	A
⑤	辻氏宅	6/15, 15:56	+ 3.62	+ 0.41	+ 4.0	"	A
⑥	倉庫内	6/15, 16:30	+ 3.65	+ 0.41	+ 4.1	"	A
	道路上	6/15, 14:06	+ 4.03	+ 0.38	+ 4.4	ヒアリングによりこん跡位置を求めレベルで現海面より測定	B
①	- 3.0 m岸壁背後	6/15, 13:15	+ 4.63	+ 0.36	+ 5.0	"	A
②	道路上	6/15, 13:30	+ 4.45	+ 0.37	+ 4.8	"	B
③	神威脇温泉保養所横	6/15, 13:30	+ 4.16	+ 0.37	+ 4.5	"	B
①	検潮所前岸壁	6/17, 14:50	+ 1.29	+ 0.25	+ 1.5	写真よりこん跡位置を求めハンドレベルで現海面より測定	A
②	内港西防	6/17, 15:06	+ 1.02	+ 0.26	+ 1.3	"	A
③	内港東防	6/17, 15:28	+ 0.71	+ 0.26	+ 1.0	"	A
②	西防波堤	6/17, 15:12	+ 0.88	+ 0.26	+ 1.1	"	B
①	- 3.5 m岸壁	6/17, 13:21	+ 0.37	+ 0.26	+ 0.6	写真よりこん跡位置を求めスタックで現海面より測定	A
②	内港 - 3.0 m岸壁突堤	6/17, 13:30	+ 0.44	+ 0.26	+ 0.7	"	A
③	内港 - 3.0 m岸壁	6/17, 13:25	+ 0.50	+ 0.26	+ 0.8	"	A
	船揚場斜路	6/17, 11:35	+ 0.80	+ 0.22	+ 1.0	ヒアリングによりこん跡位置を求めハンドレベルで現海面より測定	C
①	船揚場斜路	6/17, 10:42	+ 1.62	+ 0.20	+ 1.8	"	B
②	- 4.0 m岸壁	6/17, 10:52	- 1.89	+ 0.20	- 1.7	ヒアリングによりこん跡位置を求め現海面より推定	C
④	南防波堤	6/17, 10:00	+ 1.72	+ 0.18	+ 1.9	写真よりこん跡位置を求めハンドレベルで現海面より測定	B
②	漁港南側 (押し波) (引き波)	6/17, 10:17	+ 1.12	+ 0.19	+ 1.3	"	B
	"	6/17, 10:17	- 0.40	+ 0.19	- 0.2	"	C
①	外	6/17, 9:45	+ 1.02	+ 0.18	+ 1.2	写真よりこん跡位置を求めレベルで現海面より測定	B
①	- 4.0 m物揚場(押し波) (引き波)	6/17, 9:10	+ 0.75	+ 0.17	+ 0.9	"	A
	"	6/17, 9:10	- 0.46	+ 0.17	- 0.3	"	A

測 定 場 所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L.上)	こん跡高 (C.D.L.上)	測 定 方 法	精 度
瀬棚漁港	② 内	6/17, 9:21	+ 1.00	+ 0.18	写真よりこん跡位置を求め、レベルで現海面より測量	A
	③ 内	6/17, 9:31	+ 0.54	+ 0.18	"	A
上浦漁港	① 内	6/17, 9:31	- 1.35	+ 0.18	ヒアリングによりこん跡位置を求めレベルで現海面より測量	A
	② 外	6/16, 16:55	+ 1.65	+ 0.38	"	B
久遠漁港	① 内	6/16, 17:03	+ 2.35	+ 0.38	"	B
熊石漁港	① 内	5/26	+ 1.54	+ 0.38	津波時、大成町役場が測定	B
	② 外	6/16, 16:00	+ 1.13	+ 0.39	勇建設にヒアリング、測定を依頼、現海面から高さを測定	B
	③ 外	6/16, 16:15	+ 1.13	+ 0.39	"	B
	④ 内	6/16, 16:30	+ 1.52	+ 0.39	写真よりこん跡高を判読する(天端C.D.L.+1.90m)	B
		5/26		+ 1.6	"	B
		5/26		- 1.0	"	B
栄浜	① 外	6/16, 14:40	+ 1.13	+ 0.37	ヒアリングによりこん跡位置を求めハンドレベルで現海面より測量	B
江差港	① 内	5/26		+ 1.4	写真よりこん跡高を判読する(天端C.D.L.+2.10m)	A
	② 内	5/26		+ 1.4	"(天端C.D.L.+1.80m)	A
汐吹漁港	① 内	5/26		+ 1.8	津波時、道が測定、天端C.D.L.+1.4m上0.4m水位上昇	B
	② 内	5/26		- 1.1	下2.5m水位低下	C
石崎漁港	① 内	5/26		+ 1.8	津波時、道が測定、天端C.D.L.+1.5m上0.3m水位上昇	B
小砂子漁港	① 内	5/26		+ 1.6	津波時、道が測定、天端C.D.L.+1.4m上0.2m水位上昇	C
	② 内	5/26		- 1.1	下2.5m水位低下	C
江良漁港	① 内	6/14		+ 2.4	ヒアリングよりこん跡位置を求め防波堤天端(C.D.L.+1.60m)より測定	B
小島漁港	① 内	5/26		+ 3.8	津波時、建設業者が測定、天端C.D.L.+1.6m上2.2m水位上昇	B
	② 内	5/26		+ 3.0	津波時、建設業者が測定、天端C.D.L.+1.0m上2m水位上昇	B
松前港	① 内	6/14		+ 2.2	こん跡位置(油あと)を測定(球分体を基準とする)	A
	② 内	5/26		+ 2.0	津波時、建設業者が測定	B
吉野海岸	① 外	6/14, 13:07	+ 4.00	+ 0.13	ヒアリングよりこん跡位置を求め現海面よりコンベックスで測定	C
福島漁港	① 内	6/14, 11:30	+ 1.30	+ 0.13	津波時、建設業者が測定、天端C.D.L.+1.60m	B
	② 内	5/26		+ 1.6	津波時、魚協センター職員が潮位測定(天端C.D.L.+1.70m)	A
	③ 外	5/26		- 0.6	"	A
		6/14		+ 2.9	ヒアリングよりこん跡位置を求め離岸堤の天端(C.D.L.+2.90m)	C

測定場所		測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L.L)	こん跡高 (C.D.L.L)	測定方法	精度
福島漁港	外	6/14			- 0.5	測定 ヒアリングよりこん跡位置を求め離岸堤の天端(C.D.L.L+2.90m)より測定	C
	④	6/14, 12:43	+ 3.60	+ 0.11	+ 3.7	ヒアリングよりこん跡位置を求め現海面より測定	B
札川漁港	内	6/14, 10:25			+ 1.5	ヒアリングよりこん跡位置を求め護岸天端(C.D.L.L+1.50m)より測定	B
	①						

3-2 青森県

測定場所		測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L.L)	こん跡高 (C.D.L.L)	測定方法	精度
竜飛漁港	内	6/20, 14:00	1.90	0.34	2.2	土地の漁師が浸水高を指示	B
	①		2.20		2.5	斜面上、海草がひっかかり、ヒアリングでも確認	A
袋内	外	6/20, 15:00	3.53	0.22	3.8	岩や石のすき間に残った海草	B
	②		3.61		3.8	"	B
小泊漁港	外	6/20, 17:00	3.60	0.15	3.8	ロープに残留した海草	B
	①		3.72		3.9	岩に打ち上げられていた海草	B
下前漁港	内		5.39		5.5	"	B
	②		4.96		5.1	"	B
十三湖	内		4.03		4.2	写真によると完全に水没した。	B
	①				1.9	クロスホローが流された。	A
車力漁港	内	6/ 8, 16:00	2.1	0.15	3.2	西北地方漁業事務所小泊出張所が測量済	A
	①		4.42		2.3	ヒアリングによって道路が冠水したことを確認	B
下前漁港	外	6/21, 10:00	4.68	0.28	4.6	窓に泥がついており、ヒアリングでも確認	A
	②		5.14		5.0	漁師からそ上高を聞いた。	B
下前漁港	内	6/21, 11:00	1.45	0.29	5.4	草が枯れ、海草が付着していた。	B
	①		1.44		1.7	漁協の事務員から浸水高を聞く。	B
十三湖	外	6/21, 12:00	2.63	0.29	2.9	消波ブロックに海草が付着していた。	B
	②		6.19		6.5	防風林前面の砂丘の頂上を測量した。	C
車力漁港	内	6/21, 15:00	6.04	0.22	6.3	"	B
	①		2.73		3.0	土木作業員にそ上高を聞く。	B

測	測定場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L上)	こん跡高 (C.D.L上)	測定方法	精度
出 来 島 七 里 長 浜 鯉 ケ 浜	① 海水浴場	6/21, 17:00	2.80	0.15	3.0	階段護岸上に海草が打ち上げられていた。	B
	① 波高観測所前面の海浜	6/22, 10:00	2.67	0.29	3.0	砂浜にごみ, 木切れが散らばっていた。	A
	① 港外(東)護岸	6/21, 18:00	2.82	0.29	3.0	土地の人に護岸前面の津波の最高水位を聞く。	C
	② "		3.14	0.13	3.3	護岸を越流したと言われる箇所のパラベット天端高	C
	③ はずなす会館前の緑地		3.08	0.13	3.2	緑地が浸水したことを聞いた。	B
	④ 道路の路肩	6/22, 10:00	2.32	0.29	2.6	西北地方漁港事務所で浸水域を聞き, その場所の地盤高を測量した。	B
北 金 ヶ 沢 漁 港	⑤ "		1.71		2.0	"	B
	⑥ "		1.69		2.0	"	B
	⑦ 港外(東)の斜路	6/ 7, 13:00	2.0	0.21	2.2	土地の人にその上高を聞いた。	B
	① 民家の玄関	6/22, 11:00	1.90	0.30	2.2	"	B
	② 閑地区, 河口付近		2.32		2.6	護岸は越流しなかった。河川の最高水位を聞いた。	B
	① 漁協荷さばき所	6/22, 12:00	3.13	0.31	3.4	漁港荷さばき所支柱に赤線がひいてあり, 最高水位を示した。	A
田 野 泥 漁 港	① "	6/22, 15:00	2.41	0.25	2.7	"	A
	② "		2.32		2.6	"	A
	③ 荷さばき所の入口 (陸地側)		2.33		2.6	事務所の人から, その上高を聞いた。	B
轟 木 漁 港	④ 護岸天端		3.09		3.3	護岸背後にごみが散乱していたので, 越流と判断した。	B
	① ウィンチ小屋	6/22, 14:00	4.81	0.28	5.1	小屋の浸水高をヒアリングで確認した。小屋の中に線が残っていた。	A
	② 道路路肩		3.97		4.3	路肩に海草がひっかかっていた。	B
深 浦 港	③ "		3.69		4.0	"	B
	① 岡崎キャンプ場	6/ 7, 10:00	3.62	0.21	3.8	海岸に木切れが打ち上げられ, ヒアリングでもその上高を聞いた。	A
	② 漁業協同組合倉庫	6/ 7, 11:00	2.98	0.22	3.2	窓と戸に泥線が残っていた。	A
	③ 港内西の漁具製作工場		3.34		3.6	作業場内に浸水して, 浮いた油が壁についていた。	A
	④ 漁業協同組合事務所		3.47		3.7	津波の最高水位を赤線で示してあった。	A
	⑤ 漁港の斜路		3.73		4.0	漁具を入れた小屋の浸水高をヒアリングで確かめた。	B
	⑥ "		3.32		3.5	斜路の上の直路まで水がきた, という人もいた。	B
	⑦ 磯崎川左岸民家		2.62		2.8	便所が浸水し, 汚物が線状に付着していた。	A
	⑧ 磯崎橋		2.76		3.0	橋は冠水していたと通行人から聞いた。	B
	⑨ 港内の集落		3.60		3.8	民家の石垣に海草がひっかかっていた。	B
鯉 作 漁 港	⑩ 第二港堰建設局青森港 工事事務所深浦分室		3.07		3.3	津波の最高水位を赤線で壁面に記録している。	A
	⑪ タクシーの車庫		3.57		3.8	その上高をヒアリングで確認した。	B
	⑫ 吾妻川右岸		3.78	0.22	4.0	土手上的の草が枯れていたので, 地盤高を測った。	B
	① 港内, 斜路の背後	6/22, 16:00	4.80	0.21	5.0	土地の漁師が山の斜面を指してここまで来た, と話った。	B

測定場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L.L上)	こん跡高 (C.D.L.L上)	測定方法	精度
岩崎漁港	② 外	5.01	0.21	5.2	急斜面上に、海草、ごみ類がひっかかっていた。 浸水高をヒアリングで確認した。 室内には壁面に泥線がついていた。 海草が全面にぶら下がっていた。 最高水位をヒアリングで確認した。 草地に海草がひっかかり、低い部分は赤く変色していた。	B
	① 内	3.17	0.19	3.4		B
	② "	3.37		3.6		B
大間越	③ "	3.60		3.8	A	
	④ 外	4.25		4.4	A	
	⑤ "	4.09		4.3	B	
	① 海水浴場	6.51	0.16	6.7	B	
	② "	5.89		6.1	B	
③ "	4.86		5.0	B		

3-3 秋田県

測定場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L.L上)	こん跡高 (C.D.L.L上)	測定方法	精度
岩館漁港	① 分港	6.41	0.34	6.8	津波の最高水位は軒下くらいであった、らしい。 船が突っ込んで壊された民家の裏山に海草、計器が打ち上げられた。 そ上高をヒアリングで確認した。 日が陽たらないため、水につかっていた跡がくわくわくわかった。 浸水高をヒアリングで確認した。 壁面に泥線がついていた。 草木が枯れ、下へ向かって枝がしおれていた。 修理中の民家の天井近くに、泥が点々ついていた。 事務室の机の引き出しまで水がきた、ことを聞いた。	B
	② 外	7.39		7.7		A
	③ 内	4.87		5.2		A
	④ 民家北側の護岸背後	4.22	0.14	4.4		A
	⑤ 民家のブロック壁	4.27		4.4		B
	⑥ 民家の庭	4.08		4.2		A
	⑦ 冷凍冷蔵施設	4.18		4.2		A
八森漁港	① 外	6.18	0.15	6.3	A	
	② "	6.72		6.9	A	
	③ "	6.79		6.7	A	
	④ 防波堤基部の山の斜面	2.56		2.7	B	
八森樺地区	① 内	10.62	0.19	10.8	斜面の草が変色し、折れているものもあった。 小屋の浸水高をヒアリングで確認 玄関先の草が枯れていた。 浸水状況をヒアリングで確認 枯草が固まっていた。 草が枯れ、倒れていた。 石垣の浸水高をヒアリングで確認した。	B
	② 外	6.65		6.8		B
	③ 港の北端	3.64		3.8		B
	④ 民家の玄関	4.18		4.4		B
八森泊地区	① 港の南端	4.48	0.28	4.8	B	
	② 斜路背後の電柱の根元	4.32		4.6	B	
八森海岸	① 小屋	4.88	0.32	5.2	B	
	② 岩館港外の農家				B	

測	定	場	所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L上)	こん跡高 (C.D.L上)	測定方 法	精度
八森海岸	②	外	八森港外(北)の護岸	6/23, 13:00	3.21	0.31	3.5	護岸背後の草が枯れており、海草が付いていた。	B
	③	"	"	6/23, 14:00	3.24		3.6	"	B
	④	"	八森港外(南)の幼稚園フェンス	6/23, 14:00	7.12	0.29	7.4	浸水状況を先生から聞いた。	B
峰	⑤	"	泊港外(南), 浜田地区	6/23, 15:00	7.45	0.25	7.7	斜面上の草が枯れていた。ヒアリングでも確認した。	B
	①	"	水沢川支流の下流付近	6/ 6, 13:00	9.66	0.19	9.9	砂丘上の草が枯れ、水の流れた方向に倒れていた。	B
	②	"	"		13.13		13.3	"	B
	③	"	"		8.00		8.2	"	B
	④	"	埴川河口付近	6/23, 17:00	10.12	0.15	10.3	"	B
	⑤	"	"		9.04		9.2	砂丘上の草が枯れたり、水の流れた方向に倒れていた。	B
	⑥	"	"		9.53		9.7	"	B
	⑦	"	"		9.76		9.9	"	B
能	①	外	サニーランド裏の国有林内	6/24, 11:00	5.24	0.35	5.6	国有林内に広範囲にごみが散らばり、松の落葉は流され、松の根元に固められていた。最前列の松の樹に引っかけた海草類の地面からの高さを測り、地盤高とプラスして津波のこ	B
	②	"	"		5.59		5.9	ん跡高とした。	B
	③	"	"		4.81		5.2	ごみが波状に打ち上げられていた。	B
	④	"	"	6/ 6, 10:00	5.59	0.19	5.9	道路のそばに海草がひっかかっていたので、そこをそ上高と	B
	⑤	内	能代工場裏木材ヤード	6/24, 13:00	2.02	0.36	2.2	した。	B
	⑥	"	秋田海陸能代営業所		3.37		3.7	赤線で最高水位を示していた。	A
	⑦	"	営業所裏の倉庫, 何の倉庫か不明		2.51		2.9	能代工場が当日調査して、最高水位を赤線で示していた。	A
	⑧	"	日通能代支店海運事務所		2.45		2.8	"	A
	⑨	"	広洋産業能代作業所		2.44		2.8	"	A
	⑩	"	東北地方建設局能代工	6/24, 14:00	2.55		2.9	最高水位が赤線で示されていた。	A
	⑪	"	車事務所		3.50	0.35	3.9		A
	⑫	"	港興		3.95		4.3	フェンスにごみがひっかかっていたので、こん跡と確認。	B
	⑬	"	"		3.65		4.0	土手に海草がひっかかっていた。	B
	⑭	"	水産物揚場	6/ 6, 11:00	1.77	0.20	1.9	エプロンにごみが波状に打ち上げられていた。	B
	⑮	"	"	6/24, 14:00	2.17	0.35	2.5	エプロンはきれいになっていたが、道路の路肩の草に海草が	B
	⑯	"	埋立地の隅角部		3.35		3.7	ついていた。	B
	⑰	"	"		3.04		3.4	浸水によって材木類が散乱していたので、材木, ポリ容器が	B
	⑱	"	"		4.17		4.5	散らばっている地盤高を測った。	B

測代	測定場所	測定日時	測定時間 （C.D.L.上）	測定時刻 （C.D.L.上）	こん跡高 （C.D.L.上）	測定方法	精度
能	火力発電所立予定地	6/24、15:00	4.19	0.32	4.5	消波ブロックの仮置場くらいまで浸水したようすなので、地盤の高そうな地点を3点測った。	B
⑮	"	"	4.12	"	4.4	"	B
⑯	"	"	4.40	"	4.7	"	B
⑳	東大航空宇宙研能代ロケット実験場北側の防砂林帯	"	6.22	"	6.5	砂丘背後の防風林前列の木の枝が折れ、途中に海草がひっかかっていたので、前面の砂丘の地盤高を測った。	B
㉑	"	"	6.17	"	6.5	"	B
㉒	ロケット実験場北側	6/24、15:30	6.17	0.32	6.5	砂丘の地盤高を測量した。	B
㉓	"	6/ 6、10:00	5.87	0.19	6.1	砂丘の斜面（海側）に材木、ごみが波状に分布していたのでその平均と思われる点をこん跡とした。	B
㉔	"	"	6.09	"	6.2	"	B
㉕	"	"	5.87	"	6.1	"	B
㉖	落合海岸階段護岸	6/ 6、12:00	7.2	0.20	7.4	防風林（松）内のごみが打ち寄せられている所を測った。	B
①	紐さい処理場敷地付近	6/24、17:00	5.34	0.21	5.6	砂丘背後の防風林内にごみが散乱していたので砂丘頂を測った。	B
②	浜田部落	"	9.71	"	9.9	海岸の電柱の支持ワイヤーに綱がひっかかっていた。	B
③	"	"	7.88	"	8.1	防風林の前列の木の枝にごみがひっかかっていた。	B
④	海岸より100m くらいの距離にある砂丘	6/ 5、18:00	7.34	0.14	7.5	砂丘頂上付近の海草、ごみ、木材をこん跡とした。	B
⑤	"	"	8.14	"	8.3	"	B
⑥	"	"	8.65	"	8.8	"	B
⑦	海岸より150m くらいの防風林	"	5.88	"	6.0	松の木の先端（地面より+2.5 m）にごみがひっかかっていた。	B
⑧	防風林背後の道路	"	6.03	"	6.2	松の枝が変色し折れていた。（地面より1.3 m）	B
⑨	"	"	6.06	"	6.2	（ " 1.2 m）	B
⑩	"	"	7.10	"	7.2	民家の前の道（登り）のそ上高をヒアリングで知った。	B
⑪	"	"	5.31	"	5.5	道端の土盛り下部が津波でけずられていた。	B
⑫	"	"	5.00	"	5.1	ここより先は下り坂になっており、ヒアリングによると水が流れ落ちたという事である。	B
⑬	護岸上の道路	6/ 5、17:00	6.34	0.12	6.5	道端の草は地面上30m くらいまで変色していた。	B
⑭	漁具倉庫	6/ 5、16:30	4.57	0.11	4.7	濁水高をヒアリングで確認した。	B
⑮	海岸砂丘	"	4.77	"	4.9	草が海側へ倒れ、枯れたようであった。	B
⑯	"	"	5.40	"	5.5	"	B
⑰	岩場の急斜面	6/25、10:00	6.52	0.32	6.8	岩に海草がひっかかっていた。	B
⑱	"	"	6.20	"	6.5	"	B
⑲	護岸パラペット上	"	4.64	"	5.0	護岸の天端高を測った。（越流したようであった）	C
⑳	背後の畑の土手	"	4.71	"	5.0	土手の草が枯れ、多種のごみが集まっていた。	B
㉑	浜間口川右岸の雑貨屋	6/ 5、16:00	3.86	0.13	4.0	地面上+1.0 m まで浸水したことをヒアリングで確認した。	B
㉒	浜間口橋右岸	"	3.80	"	3.9	草が枯れ、海草もからまっていた。	B

測	測定場	場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L.L上)	こん跡高 (C.D.L.L上)	測定方	法	精度
北 浦 漁 港	①	外	八斗崎	6/25, 11:00	3.99	4.3	斜面上の草が枯れて変色していた。		B
	②	内	北浦港橋右岸の民家	6/ 5, 14:00	3.20	3.4	浸水高をヒアリングで求めた。		B
	③	"	西防波堤基部の倉庫		3.86	4.0	電気のひき込み線に海草がひっかかっていた。		B
	④	"	北浦漁港物揚場		1.60	1.7	浸水状況をヒアリングし、浸水高を求めた。		B
	⑤	"	"		1.90	2.0	"		B
	⑥	"	"		2.30	2.4	海草が波状に打ち上げられており、平均を測った。		B
湯ノ尻漁港	⑦	"	相川地区		2.60	2.7	草が海側に倒れていたもので、こん跡とした。		B
	①	外	道路の南側(山側)	6/ 5, 12:00	6.05	6.2	浸水した部分は草が変色し、土が削られており、上方の浸水		A
	②	"	の山の斜面 "		6.06	6.2	しなかった部分との境が明瞭であった。しかも、その境界は		A
	③	内	道路南側の民家の庭さ		4.84	5.0	一直線上に水平に続いていた。境界の高さをこん跡高とした。		B
島 漁 港	④	外	き		4.10	4.3	ヒアリングによりその上高を求めた。		B
	⑤	外	西側の消波ブロック背		3.59	3.7	草が密生していたが下方の草が変色していたので、こん跡と		B
	①	"	後の海岸	6/25, 11:00	5.41	5.8	した。		B
	②	"	西側の急傾斜地		6.89	7.2	草木の間に海草がひっかかっていたので、こん跡とした。		B
	③	内	漁港斜路背後		4.90	5.2	ごみ、木材がかたまっており、津波によるものであることを		B
戸 賀 湾	④	"	"		4.99	5.3	ヒアリングで確認した。		B
	①	"	漁港荷さばき所	6/ 5, 11:30	3.0	3.2	浸水状況をヒアリングし、浸水高を求めた。		B
	②	"	"		4.1	4.3	壁面に海草が付いていた。		B
	③	"	北防波堤		3.18	4.2	ヒアリングで越波した、ということなので天端高を測った。		C
	④	外	戸賀湾北端の岩礁地帯	6/25, 12:00	3.03	3.5	岩場に海草、ごみが散らばっていた。		B
	⑤	"	"		2.63	3.4	"		B
入 道 崎	⑥	内	戸賀漁港、旧護岸	6/ 4, 19:00	1.78	2.1	"		B
	⑦	"	浜中地区	6/25, 12:00	1.53	1.9	護岸前面の緑地帯に海草がひっかかっており、ヒアリングで		A
	⑧	"	塩戸地区、漁協倉庫		3.0	3.0	も確認。		B
	①	"	海底深査船発着場	6/ 4, 18:00	4.0	3.5	海岸堤防の下端まで水がきたことをヒアリングで確認。		A
	②	"	駐車場	6/ 5, 11:00	4.79	4.2	突堤天端(+2.0)上、1.56の高さに浸水した跡があった。		B
	③	"	"	6/ 4, 18:00	5.09	4.9	浸水状況をヒアリングして、斜路の上高を求めた。		B
男鹿水族館	①	"	"	6/25, 14:00	4.39	5.4	草地に海草がひっかかっており、こん跡高を求めた。		B
	②	"	"			5.4	"	B	
	③	"	"			4.7	"	B	

測定場所		測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L上)	こん跡高 (C.D.L上)	測定方法	精度	
男鹿水族館 加茂青砂	④ 駐車場	6/ 5, 17:00	4.32	0.12	4.7	草地上海草がひっかかっており、こん跡高を求めた。 玄関の階段の上から2段めまで、水がきたことをヒアリングした。	B	
	① 内 加茂漁港斜路背後の民家		4.48		4.6		B	
門 前	② 外 青砂海岸（護岸了り）	6/25, 14:00	4.40	0.34	4.1	C.D.L + 5.25の天端より、1.2m低い排水口のところまで、水がたまったことをヒアリングした。	B	
	③ “ “（護岸のない部分）		4.51		4.7		B	
	① 遊覧船案内所前のブロック建の便所		4.51		4.7		A	
船川港 椿魚港	① “ “西側の岩礁地帯	6/25, 15:00	1.99	0.32	2.3	当日の写真によると、窓の下縁までブロックが濡れていたの で、その高さを測量した。 岩場に海草が打ち上げられていたのでこん跡と認め、こん跡 高を測った。	B	
	② “ “		1.99		2.3		B	
	③ 内 斜路		2.20		2.5		B	
	④ “ “中央防波堤		2.20		1.8		B	
台 島	① 突堤	6/ 4, 14:30	1.96	0.28	1.2	C.D.L + 1.2の突堤上に船が上がったことを写真で確認した。	C	
	① 砂浜	6/25, 16:00	1.76	2.0	2.2	草地上海草がひっかかっており、こん跡とした。	B	
船 川 港	② “ “	6/25, 17:00	0.92	0.23	1.2	ビニールシートがかかかっており、シートの浸水した部分は粘土 がついていた。	B	
	① 内 港奥の突堤（埋立予定地）		0.92		1.2		A	
船 越 戸 港	② 内 上記突堤の南側の水路の護岸	6/25, 17:00	0.72	0.23	0.9	ヒアリングから津波の最高水位を求めた。	B	
	① 内 船越漁港南端	6/ 4, 12:00	1.79	0.21	1.3	C.D.L + 1.0の護岸上の草は下から30cmほど変色していた。	B	
	① 海水浴場	6/25, 17:30	1.82	0.13 (検潮記録)	2.0	砂況にごみ、海草が散乱していたので、海岸線から、最も遠 い地点にある海草をこん跡とした。	B	
② “ “	2.21	2.1	B					
③ “ “	2.21	2.4	B					
秋 田 港	① 内 秋田港工事事務所ケーソンヤード護岸	6/ 4, 10:00	1.52	0.13	1.8	工事事務所職員のヒアリングから津波の最高水位を求めた。 測量は一建が行った。	B	
	① “ “	6/25, 19:00	1.52	0.13	1.7	別の職員のヒアリングから、最高水位を判断し、スタッフで 測った。	B	
秋 田 港 検 潮 所	① “ “	6/ 4, 10:00	1.6	0.13 (検潮記録)	-1.1	ヒアリングによると、引き波時に水底が露出したようなので 水底を測った。	B	
	② “ “ケーソン進水用斜路	6/ 4, 10:00	1.25		1.7		ヒアリングで斜路のそ上高を求めた。	B
	③ “ “秋田港検潮所	6/ 4, 10:00	1.25		1.4		1.4	検潮所の床は浸水したようすはなかったらしい。床の高さを 測った。

測	測定場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L上)	こん跡高 (C.D.L上)	測定方法	精度
秋田港	④ 外	6/25, 19:00	2.67	0.13	2.8	砂浜に海藻が打ち上げられていた。(海岸線より20mくらい)	B
	⑤	"	2.37	"	2.5	"	B
	⑥	"	2.45	"	2.6	"	B
松ヶ崎漁港	② 内	7/11, 13:54			6.17		B
	③ 外	7/11, 14:10			2.15		B
	④	"			5.58	由利土木事務所調べ	B
	⑤	"			6.16	"	B
	⑥	"			6.17	"	B
	⑦	"			5.19	"	B
	⑧	"			4.06	"	B
	⑨	"			5.61	"	B
	⑩	"			5.29	"	B
	⑪	"			4.74	"	B
本荘港	① 内	5/26	1.9		2.2	"	B
	② 内	5/26	2.2		1.9	工事作業員の話から岸壁の天端(+1.2m)より判断	C
西目漁港	① 内	7/11, 16:05			1.8	漁民の話から突堤の天端(+1.5m)より判断	C
	② 外	"			3.15	由利土木事務所調べ	B
象潟漁港	① 内	7/11, 17:12			2.0	漁民の話によるこん跡高を護岸の天端より測定	B
	② 内	7/11, 17:24	0.70	0.26	0.96	漁民の話によるこん跡高を海面より測定	B
小砂川漁港	① 内	7/11, 17:54	1.0	0.22	1.22	漁民の話によるこん跡高を海面より測定	B

3-4 山形県以西

測	測定場所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位 (C.D.L上)	こん跡高 (C.D.L上)	測定方法	精度
吹浦漁港	① 内	7/11	1.20		1.45	天端(+1.45)まで上昇したとの漁協の人の話	B
	② 内	7/11, 18:19	1.20	0.18	1.38	漁民の話によるこん跡高を測定	C
酒田港	① 内	7/12, 9:07			1.56	残っているこん跡高を天端(+1.87m)より測定	A
	② 内	5/26, 16:23			1.55	スタッフによる連続目視観測(酒田港工事事務所)	A
	③ 内	5/26, 14:17			1.15	"	B
	④ 内	5/26, 12:53			1.40	スタッフによる連続目視観測(酒田港管理事務所)	A

測	定	場	所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位	こん跡高 (C.D.L.上)	測	定	方	法	精度
湯野浜海岸	①	外	ホテル宮嶋前砂浜	7/12, 11:17	1.0	0.30	1.30				ホテルの人の話によるこん跡高を海面より測定	C
加茂港	①	内	小型泊地 - 2 m 物揚場	5/26, 14:06			1.30				量水標にする目視観測 (加茂港管理事務所)	A
	②	"	内港防波堤外側	7/12, 11:35	0.46	0.36	0.82				管理事務所の話によるこん跡高を海面より測定	C
由良漁港	①	"	東防波堤背後	5/26, 14:23			1.05				量水標による連続目視観測	A
	②	"	南船揚場突堤	7/12, 12:10			0.95				管理事務所の話によるこん跡高を天端より測定	C
鼠ヶ関港	①	"	平佐浜物揚場南端	5/26, 12:50			0.75				量水標による連続目視観測	A
	②	"	" 北端	7/12, 14:57	0.40	0.46	0.86				管理事務所の話によるこん跡高を海面より測定	C
岩船港	③	"	マリーナ, 物揚場	5/26, 13:45			0.70				量水標による目視観測	A
	①	"	荷さばき所前	7/12, 12:53			1.10				写真によるこん跡高を天端 (+ 1.5 m) より測定	A
新潟東港	①	"	中央埠頭西仮設法止 護岸				1.0				法止護岸の天端 (+ 1.0 m) まで上昇したとの新潟港工事事務所の話から判断	B
	②	"	南埠頭泊地波除堤				1.2				写真にあるこん跡高を天端高 (+ 1.76 m) より判断	C
新潟西港	①	"	信濃川左岸護岸				1.10				工事事務所の話によるこん跡高	B
両津港	①	"	夷地区, 両津漁協前	5/26			1.37				相川土木事務所による測定	A
	②	"	相川土木両津分所前 岸壁	7/13, 9:57			1.69				相川土木両津分所の人の話によるこん跡を検潮所の B.M. より測定	B
薬浦漁港	③	"	検潮所	7/13, 9:50			1.70				"	B
	①	"	網小屋	7/13, 11:15			4.72				漁民の話によるこん跡を海岸護岸天端 (+ 5.0 m) より測定	B
		"		7/13, 11:20			4.75				"	B
関漁港	①	"	内之間地区, 港奥	7/13, 13:46			2.8				漁民の話によるこん跡を海岸護岸天端 (+ 5 m) より測定	B
	②	"	" 西防波堤背後岩場	13:49			2.6				"	B
	③	"	寒之浜地区, 港奥護岸	14:10			5.0				"	B
	④	"	" 船揚場背後	14:20			4.5				"	B
片刃漁港	①	"	第 2 離岸堤	5/26			1.1				漁民の話ではこの離岸堤の天端 (+ 1.0 m) を越した。	C
相川海岸	①	外	埋立護岸捨石マウンド	5/26			1.3				写真によると工事中の捨石マウンドの天端 (+ 1.3 m) を越した。	B
高瀬漁港	①	内	船揚場	7/13, 16:30	1.7	0.3	2.0				漁民の話によるこん跡を海面より測定	B
	②	"	- 2.5 m 物揚場	7/13, 16:35			1.6				漁民の話によるこん跡高を岸壁の天端 (1.2 m) より判断	C
二見漁港	①	"	漁協前岸壁	7/13, 17:04			0.79				漁民の話によるこん跡高を近くの港の B.M. より測定	B
小泊港	①	"	バス駐車場前	5/26			0.78				相川土木事務所による目視観測	A
赤泊港	①	"	- 3.5 m 物揚場	5/26, 13:52			1.40				相川土木事務所による目視観測	A
寺泊港	①	"	魚市場前岸壁	5/26, 14:57			0.70				地元建設業者による目視観測	A
出雲崎漁港	①	"	漁協前岸壁	5/26, 14:36			0.56				地元建設業者による目視観測	A

測 定 場 所	測定日時	測定時 こん跡高	測定時潮位	こん跡高 (C.D.L.上)	測 定 方 法	精 度
柏崎漁港	7/14, 13:49			1.09	栢崎土木事務所が当日調査したこん跡位置を港のB.Mより測定	A
直江津港	5/26, 16:20			0.88	直江津港湾事務所による目視観測	A
姫川港	5/26, 14:13			0.53	消防署職員による連続目視観測	A
宇出津港	5/26, 13:57			0.28	宇出津出張所による目視観測	A
小木港	5/26, 15:30			0.25	地元建設業者による目視観測	A
飯田港	5/26			0.7	珠州土木事務所による目視観測	B
狼煙漁港	7/15, 15:30			2.10	漁協の人の話によるこん跡高を岸壁の天端(+1.3m)より測定	A
輪島港	5/26, 13:45			2.0	珠州土木事務所による調査	B
				0.5	漁民の話による	C
				2.3	スタッフによる目視観測	B
				2.0	写真にみられるこん跡高を測定	C
				2.1	工事事務所の調査	B
軸倉島	5/26			1.2	漁協の人の話から天端(+1.3m)より判断	B
	5/26			2.1	輪島土木事務所調べ	B

港湾技研資料 No.470

1983・11

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 日青工業株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.