

港 湾 技 研 資 料

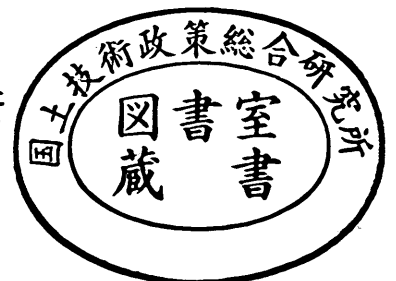
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 775 June 1994

1993年北海道南西沖地震津波の特性と被害

高山知司，鈴木康正，鶴谷広一，高橋重雄，後藤智明，永井紀彦，
橋本典明，長尾 毅，細山田得三，下迫健一郎，遠藤仁彦，浅井 正

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	4
1. まえがき	4
2. 地震の規模と地震時の海象	5
2. 1 地震および津波予報	5
2. 2 気象および海象	7
3. 津波の概況	8
3. 1 津波の波源域	8
3. 2 津波被害の概況	11
3. 3 日本海中部地震津波との比較	13
4. 観測波形における津波の特徴	15
4. 1 検潮記録における津波	15
4. 2 波高計観測による津波	29
4. 3 検潮記録と波高計観測における津波の比較	55
5. 津波の数値計算	80
5. 1 津波の数値計算	80
5. 2 断層モデル	83
5. 3 数値計算からみた津波の特性	84
5. 4 計算結果のまとめ	88
6. 津波による被害状況	89
6. 1 津波被害調査の概要	89
6. 2 各地の津波来襲および被害状況	90
7. 港湾における津波の被害とその特性	128
7. 1 港湾における被害概況	128
7. 2 防波堤の滑動被害の特徴	130
7. 3 マウンドの洗掘による防波堤の倒壊	133
8. 今後の課題	136
8. 1 津波波源域の設定	136
8. 2 陸上構造物に与える津波力	137
8. 3 防波堤開口部におけるマウンドの洗掘	138
9. あとがき	140
参考文献	141
付録1 調査員の構成	143
付図	146
付表	210

Field Investigations of the Tsunami Caused by 1993 Hokkaido Nansei-oki Earthquake

Tomotsuka TAKAYAMA ¹⁾, Yasumasa SUZUKI ²⁾
Hiroichi TSURUYA ³⁾, Shigeo TAKAHASHI ⁴⁾
Chiaki GOTOH ⁵⁾, Toshihiko NAGAI ⁶⁾
Noriaki HASHIMOTO ⁷⁾, Takeshi NAGAO ⁸⁾
Tokuzo HOSOYAMADA ⁹⁾, Ken-ichiro SHIMOSAKO ¹⁰⁾
Kimihiro ENDO ¹⁰⁾, Tadashi ASAI ¹¹⁾

Synopsis

The tsunami caused by the Hokkaido Nansei-oki Earthquake (M=7.8) hit the coasts around the Okushiri Island and along the Japan Sea in the late evening on July 12, 1993. This tsunami tolled more than 200 human lives in Hokkaido, especially in Okushiri Island. The large loss of the human lives was caused by the immediate attack of the huge tsunami after the occurrence of the earthquake. For example, the coast of Okushiri Island was hit by the tsunami a few minutes later than the occurrence of the earthquake, and Hokkaido South-West coast was hit about five minutes later.

As soon as the tsunami disaster happened, the Port and Harbour Research Institute sent several field investigation teams to the disastrous areas of Okushiri Island, Hokkaido South-West Coast and Japan Sea Coast of Honshu to investigate the characteristics of the tsunami run-up and structural damages in harbors in the cooperation with the concerning organizations of Hokkaido Development Agency and First and Second Port Construction Bureaux. The present report mainly describes the results of the field investigations.

The tsunami is the greatest one since the occurrence of the tsunami caused by the Nihonkai Chubu Earthquake, which happened in 1983, just 10 years ago. The magnitude of the tsunami is also almost equivalent to that of the Nihonkai Chubu Earthquake Tsunami which caused the great damages of human lives and structures along the Japan Sea coast. The existence of a new fault line between the Eurasian and North American plates was found out after the occurrence of the Nihonkai Chubu Earthquake. This earthquake in 1993 was took place just on a part of the line.

The tsunami in the Aonae area of Okushiri Island ran up over the sea wall which was heightened up to the past run-up height at the Nihonkai Chubu Earthquake Tsunami. Consequently many persons were killed there by the tsunami. The run up height was over 30m in a specified part of Okushiri Island.

The damages due to the tsunami are concentrated in the restricted area of Okushiri Island and the South-West Coast of Hokkaido in spite of the great magnitude of the tsunami. In Okushiri Port the north breakwater was almost completely collapsed by the tsunami, and the two caissons at the narrow gap of the East Breakwater fell down due to the erosion of the breakwater mound.

The profiles and current velocities of the tsunami could be observed in the offshore by the wave meters which were installed for steady observation of waves. The present paper also describes the characteristics of the observed tsunami.

Even until now the fault model of the earthquake has not been settled, because several

proposed models have individual defects in the description of seismic physics and arrival time of tsunami. In the present paper the numerical simulation of the tsunami is made for most reliable model at the present stage in order to obtain overall feature of the tsunami propagation in Japan Sea.

Several technical problems to be solved are found out in the investigation of the tsunami. The analysis of the specific problems will be published in the later technical publication of our institute.

- 1) Director of Hydraulic Engineering Division
- 2) Chief of Wave Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 3) Chief of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 4) Chief of Maritime Structures Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 5) Chief of Ocean Energy Utilization Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 6) Chief of Marine Observation Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
- 7) Senior Research Engineer, Marine Hydrodynamics Division
- 8) Senior Research Engineer, Planning and Design Standard Division
- 9) Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division
- 10) Member of Maritime Structures Laboratory, Hydraulic Engineering Division
- 11) Member of Marine Observation Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

1993年北海道南西沖地震津波の特性と被害

高山 知司¹⁾・鈴木 康正²⁾・鶴谷 広一³⁾・高橋 重雄⁴⁾・後藤 智明⁵⁾
永井 紀彦⁶⁾・橋本 典明⁷⁾・長尾 毅⁸⁾・細山田得三⁹⁾・下迫健一郎¹⁰⁾
遠藤 仁彦¹⁰⁾・浅井 正¹¹⁾

要旨

平成5年(1993)7月12日22時17分に発生した北海道南西沖地震(M=7.8)によって起こされた津波は日本海沿岸、特に奥尻島および北海道南西海岸に襲撃した。この津波によって、奥尻島においては200名以上の人命が失われた。このように多くの人命が失われた原因としては、津波が大きかったことに加え、夜半であったことや奥尻島近海で起きたため地震発生後、数分で襲撃したことが考えられる。

港湾技術研究所においては、津波災害が発生後すぐに北海道開発局と連絡を取り、北海道開発局と協力しながら、現地調査チームを派遣した。また、日本海沿岸への津波の影響を考え、第一および第二港湾建設局と協力して、青森県から石川県までの海岸踏査のために調査チームを派遣した。

本報告は、これらの調査チームによる津波の調査結果を主体に、今回の津波の特性を調べたものである。本津波に関しては、定常的に行っている波浪観測システムによっても一部津波の波形および流速が観測されているので、この観測結果についても記述している。さらに、現状ではまだ津波の震源モデルが確定されていないが、比較的信頼性が高い震源モデルを用いて津波の伝播計算も行い、津波の伝播特性についても検討した。今後の技術的な課題についても述べているが、これらについては今後の研究を待たざるを得ず、これらについては、別途、研究成果を発表する予定である。

1. まえがき*

平成5年(1993年)7月12日22時17分に起きた地震は巨大津波を発生し、数分後には津波が北海道奥尻島に襲撃した。この地震はマグニチュード(M)が7.8で、奥尻島では震度6(烈震)、対岸の江差では震度5(強震)の地振動を起こした。この地震に対して札幌管区気象台が地震発生5分後に北海道日本海沿岸に大津波発生の予測をしたときには既に奥尻島には津波の第1波が襲撃していた。奥尻島対岸における津波の襲撃は地震発生後5分であるから、気象台の警報発生時には既に到達していたことになる。このように今回の地震津波は地震発生直後には津波が襲撃しており、そのため、それだけ人命の被害が大きかった。また、津波の襲撃が夜中であったことも被害を大きくしている。

今回の津波の特徴を調べるために、港湾技術研究所では運輸省港湾局、第一および第二港湾建設局、北海道開発局港湾部および開発土木研究所をはじめとして青森県、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、以下のような第四次にわたる津波現地調査を実施した。

第1次調査：平成5年7月19日から23日

北海道江差から北桧山町、さらに奥尻島西部から南部

第2次調査：平成5年7月26日から30日

北海道松前から江差町、さらに奥尻島北部から東南部

第3次調査：平成5年8月2日から6日

青森県から新潟県佐渡島

第4次調査：平成5年8月4日から6日

富山県および石川県

これらの調査の構成員および行程については付録1に示すとおりである。

現地踏査では今回の津波の実態およびその特性の把握、関連資料の収集、確認を目的として、各地における津波襲撃および被害状況の聴取、痕跡高の測量、検潮資料等の収集および確認を行った。今回の津波による被害は奥尻島および北海道南西部に集中しており、局所的に大きな津波が襲撃したことが予想されるとともに、奥尻島および北海道南西部には地震発生後数分で津波が襲撃しており、津波の波源域モデルが十分解明されない段階

でも、得られる最新の断層モデルを用いて、津波の伝播計算を行って、津波の全体像を把握することにした。津波の数値シミュレーションでは、北海道西岸沿岸ばかりではなく、日本海ほぼ全域について行い、どのように津波が日本海を伝播したかを示し、津波のエネルギーの集中・発散の状況を調べた。

今回の津波では、潮位記録から推定された津波の高さが実際より小さいことで大きな問題となった。そこで、運輸省港湾局が日本沿岸全域に展開している波浪観測網(NOWPHAS)で得られた波浪観測データを用いて津波の沖合いでの特性を調べるとともに、沿岸部における潮位観測記録との比較を行った。このような波浪記録の中には、地震発生直後に当所職員の機転によって遠隔操作で波浪の連続観測(20分観測で10分休止)を行い、海面の変化とともに流速をも観測した地点も含まれており、将来における津波防災対策として利用できる可能性を示した。

本報告は、今回の津波の特性に関する上記の調査結果について現状で明らかにできる範囲のことを記述している。しかしながら、さらに調査研究しなければならないことが数多く残されているが、これらについては、さらに研究を行い、それらが究明された時点で別の報告書として発表する予定である。

- 1) 水工部長
- 2) 水工部 波浪研究室長
- 3) 海洋水理部 水理研究室長
- 4) 水工部 耐波研究室長
- 5) 水工部 海洋エネルギー利用研究室長
- 6) 海洋水理部 海象調査研究室長
- 7) 海洋水理部 主任研究官
- 8) 計画設計基準部 主任研究官
- 9) 水工部 主任研究官
- 10) 水工部 耐波研究室
- 11) 海洋水理部 海象調査研究室

*執筆者 高山知司

2. 地震の規模と地震時の海象*

2.1 地震および津波予報

平成5年7月12日22時17分ごろ、北海道と東北地方を中心に大規模な地震が発生した。気象庁によると震源は北緯42°47′, 東経139°12′の北海道南西沖で、深さ34km, マグニチュードは7.8の大地震であった。この地震による各地の震度は図-2.1に示すとおりで、北海道の小樽, 寿都, 江差, 青森県の深浦で震度5の強震を観測したほか室蘭, 苫小牧, 倶知安, 函館, 青森, むつで震度4を観測するなど、北海道から東北地方の広い範囲で有感となった。この地震は日本海側ではこれまでの観測史上最大の規模で、昭和58年5月26日12時に発生した日本海中部地震(マグニチュード7.7)を上回る規模であった。

この地震の発生にともない、地震発生から5分後の22時22分に札幌管区気象台は北海道の日本海沿岸に「オオツナミ」の津波警報、北海道の太平洋沿岸に「ツナミ」の津波警報、オホーツク海沿岸に「ツナミチュウイ」の津波注意報を発表した。また、仙台管区気象台は22時25分に東北地方の日本海沿岸に「オオツナミ」の津波警報、東北地方の太平洋沿岸に「ツナミ」の津波警報を発表した。気象庁本庁、大阪管区気象台および福岡管区気象台も順次津波警報、津波注意報を発表し警戒体制に入った。また、22時23分にはNHK札幌放送局がテレビ・ラジオで警報を伝達した。

なお、津波警報・注意報は、図-2.2に示す津波予報図に基づき、震源域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、表-2.1の区分に従って発表される¹⁾。

本震を含む7月12日~7月20日までと7月21日~7月31日までに発生した余震の震源分布を図-2.3と図-2.4に示す。余震密集地域は奥尻島を完全に含む南北方向180km, 東西方向最大幅50kmの三日月状をしており、この範囲が津波の波源域と考えられている。なお、8月10日までの最大の余震は、8月8日午前4時42分に北緯41°57′, 東経139°53′, 深さ26kmの海底で発生した地震で、マグニチュード6.5と推定されている。図-2.5は地震発生から7月21日までの余震の日別の推移を示したものである²⁾。

震源域にあたる北海道南西沖は、図-2.6に示すように1983年の日本海中部地震と1940年の積丹半島地震(マグ

*執筆者 橋本典明

震度分布図

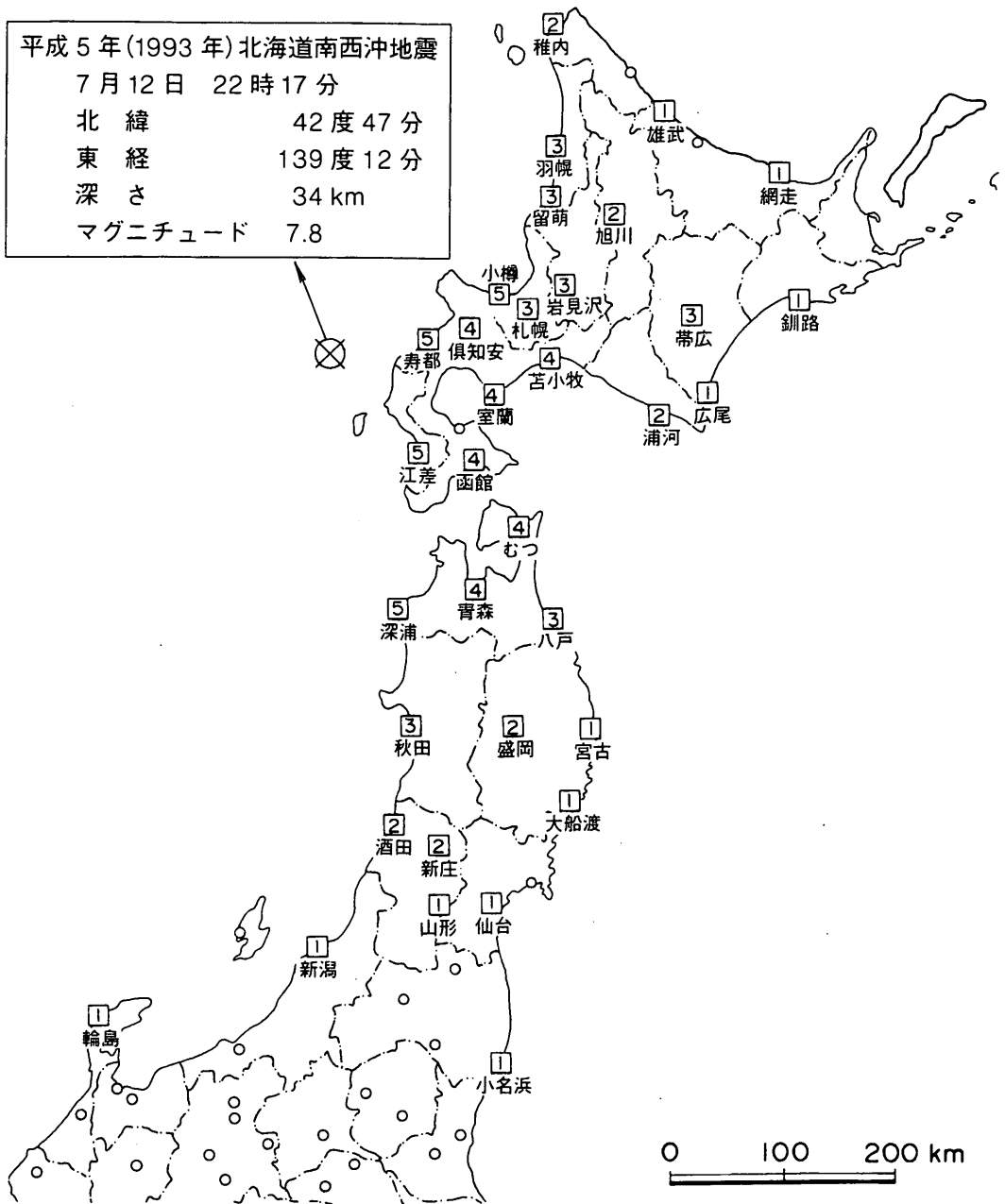


図-2.1 北海道西沖地震における各地の震度

ニチュード7.5)との震源域に挟まれた場所に当たる。この日本海東縁地域は、北海道・東北日本側とアジア大陸側との二つの岩盤がぶつかり合っている場所とされ、

プレートテクトニクス理論では、ここが北米プレートとユーラシアプレートの境界であるとする見解が有力である³⁾。

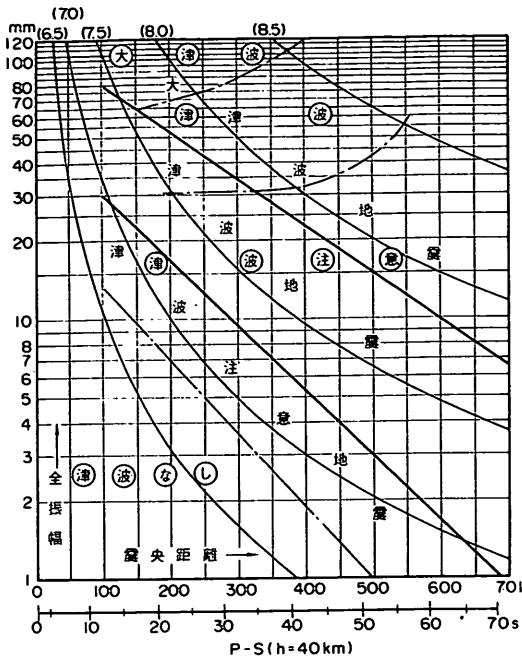


図-2.2 気象庁津波判断図

表-2.1 津波注意報・警報

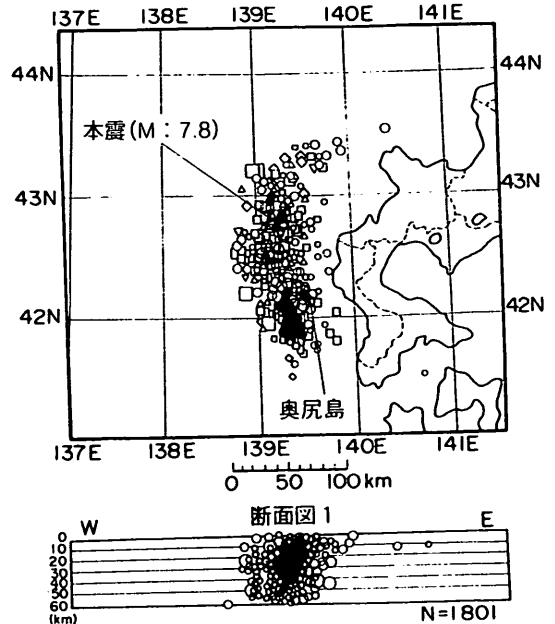
予報の種類	予報略文	予報文
津波注意報	ワミナツ	津波の来襲するおそれはありません。
	ワミナウイ	津波があるかも知れませんが、津波の高さは高い所で数十センチメートル程度の見込みです。
	ワミナウイカゾ	津波の心配はなくなりました。
	ワミナウイカゾ	津波の危険はなくなりました。
津波警報	ワミ	津波が予想されます。予想される津波の高さは高いところで約2メートルに達する見込みですから、特に津波が大きくなりやすい所では警戒を要します。その他の所では数十センチメートル程度の見込みです。
	ワミワミ	大津波が来襲します。予想される津波の高さは高いところで約3メートル以上に達する見込みですから、今までに津波の被害を受けたような所や、特に津波が大きくなりやすい所では、厳重な警戒を要します。その他の所も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、その時点に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。

2. 2 気象および海象

平成5年7月12日21時の天気図を図-2.7に示す。日本の南には高気圧が、南西諸島方面に張り出している。一方、梅雨前線が東日本から日本海を通過して大陸にのびている。このため、南西諸島と九州南部で晴れているほかは全般にくもりで、東日本から北日本の所々で雨が降っていた。

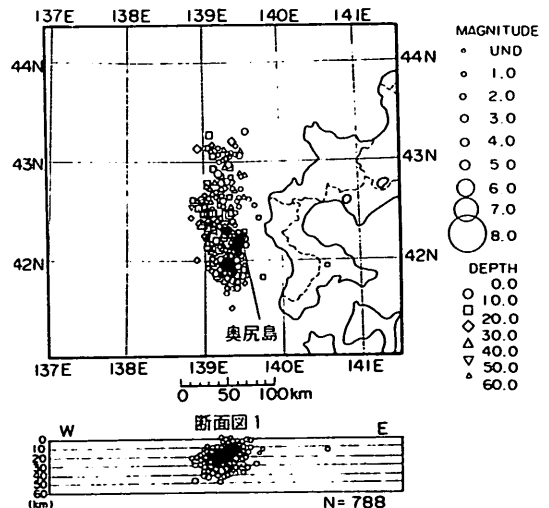
震源分布図



1993/7/12 0:0--1993/7/20 24:0

図-2.3 余震の震源分布 (7月12日~7月20日)

震源分布図



1993/7/21 0:0--1993/7/31 24:0

図-2.4 余震の震源分布 (7月21日~7月31日)

図-2.8は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. 2で後述)で観測された平成5年7月12日22時での日本沿岸での有義波高 $H_{1/3}$ ・周期 $T_{1/3}$ の分

[期間：1993.07/12 22:17～07/22 24:00]

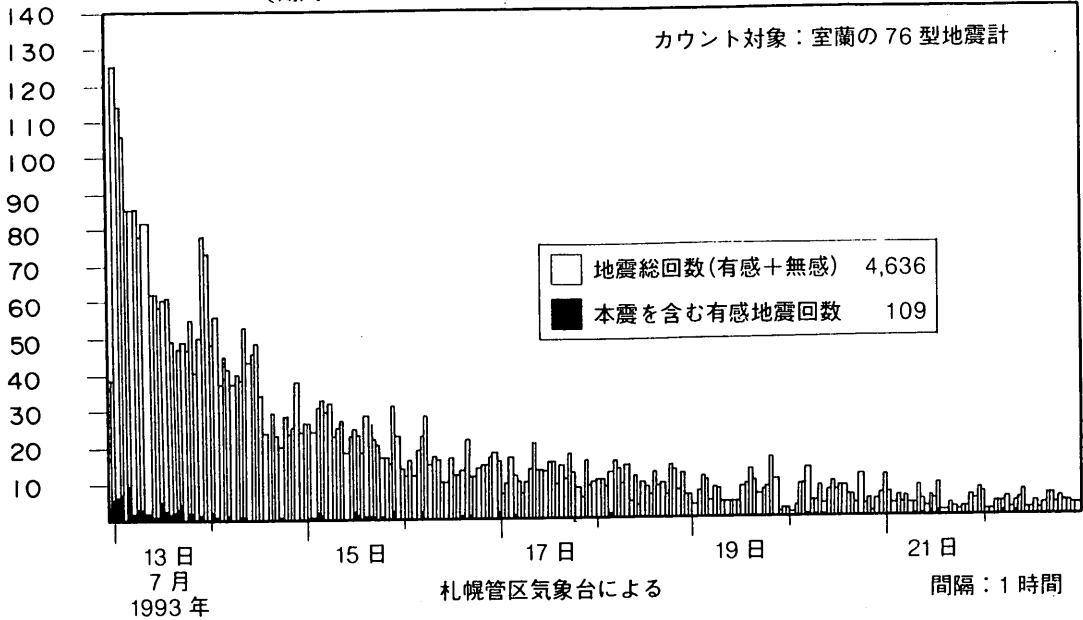


図-2.5 地震回数の日別推移

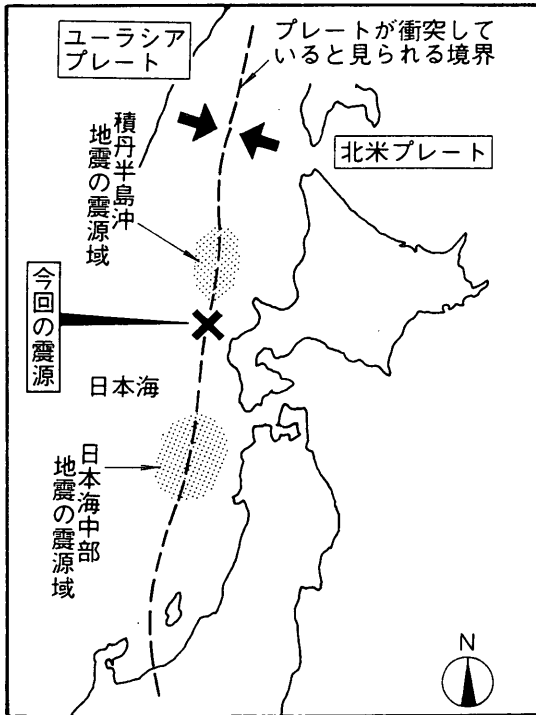


図-2.6 北海道南西沖地震と既往の地震との関係

布を示したものである。これは、同日21時50分～22時10分までの20分間の観測値を解析して得られたものである。これによれば福井が $H_{1/3}=1\text{m}$ 、 $T_{1/3}=5$ 秒程度で最も高く、次いで伊王島の $H_{1/3}=0.76\text{m}$ 、 $T_{1/3}=5$ 秒であり、他の観測地点ではそれ以下の比較的穏やかな海象条件で、特に北海道西岸海域は $H_{1/3}$ が20cm程度、 $T_{1/3}$ が5秒以下の静穏な海象条件であった。

一方、関東近海では北部海域で波が高くなっており、南部海域でも次第に波が高くなりつつあった。

3. 津波の概況*

3.1 津波の波源域

津波の波源域は、日本沿岸の各地の検潮所における検潮記録から津波の第1波の到達時間を読みとり、これをもとにして、津波の逆伝播図を描いて求める方法と、各地の地震計の記録や余震分布を解析して求める方法の2つの方法がある。現在では後者の方法が一般に用いられているが、今回の地震津波に対しては、各研究・調査機関で、両者を併用したいくつかの検討がなされている。しかしながら、今回の地震の波源域については、当初発

*執筆者 3.1 橋本典明 3.2,3.3 鈴木康正

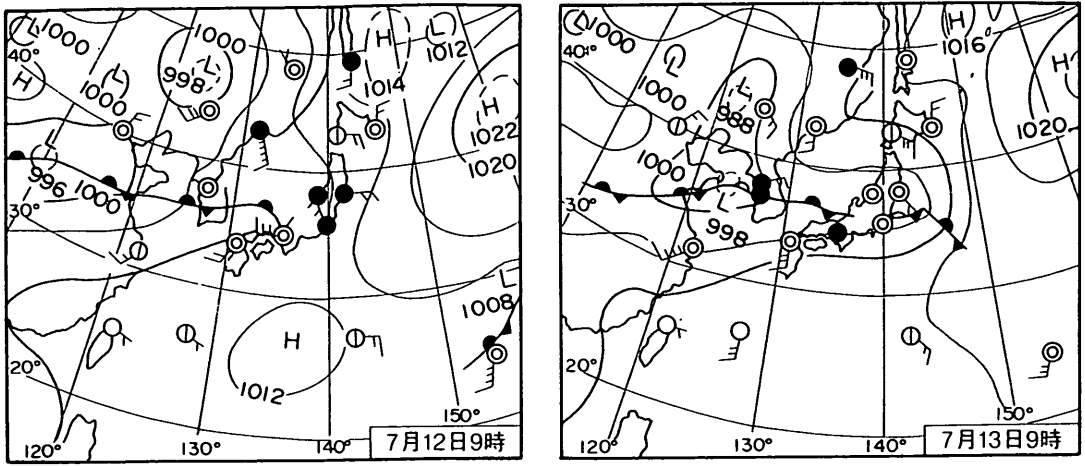


図-2.7 北海道南西沖地震発生前後の天気図

沿岸波浪分布

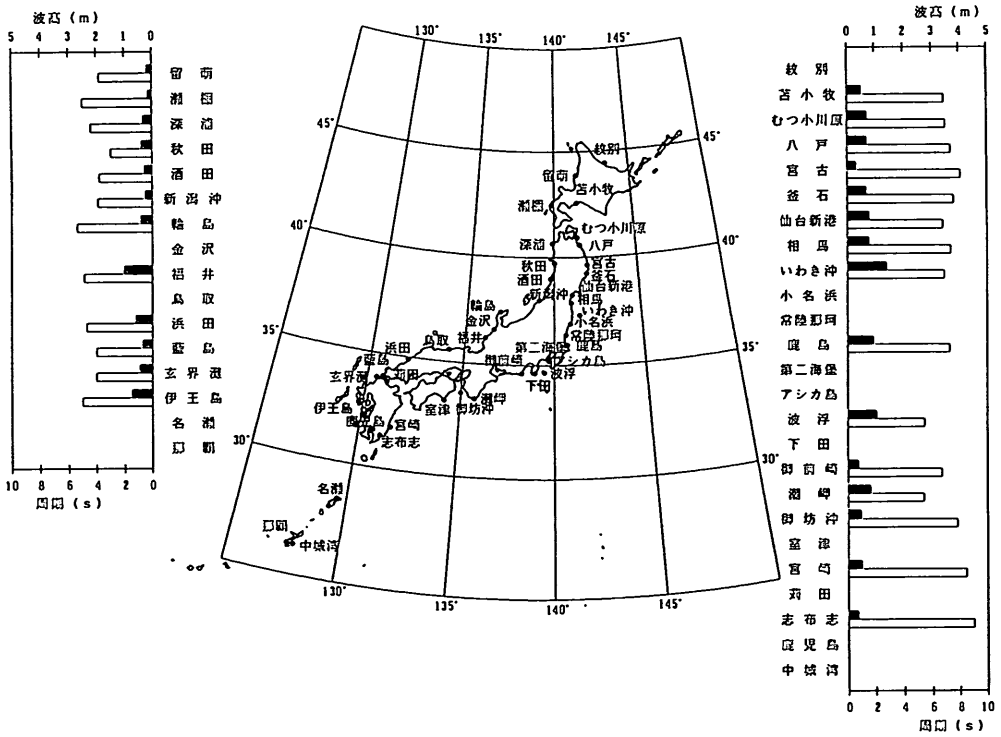
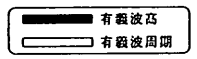


図-2.8 日本沿岸での有義波高・周期の分布

表された説では津波の到達時間や津波の高さをうまく説明できず、専門家の頭を悩ませた。

平成5年7月22日の読売新聞にはハーバード大学による北海道南西沖地震時の海底面の隆起・沈降図（津波初期波形）の暫定的なモデルが発表された。図-3.1はこれを示したもので、奥尻島西方の海底が最大1.8m盛り上がる的同时に、同島を含む広い地域が沈降したことで大津波が発生した様子が示されている。図-3.1によると、同島西方40 km 付近の海底面で南北約170 km にわたって地盤が沈降し、0.2m以上に隆起した海底面は南北に長い丘のように盛り上がっている。隆起面の境界は同島の沖合い7, 8 km まで達している。これに対し、奥尻島を含む南北約100 km, 東西約40 km の楕円形状の海底で0.2mから最大0.4mの沈降があり、奥尻島西岸の沖合い7, 8 km を境に隆起面と沈降面が左右対称の形で並んでいる。津波はこのような海底面の急激な隆起・沈

降によって発生する。東北大学で実施した図-3.1に基づいた計算によると、津波の第1波が北海道本島の瀬棚に到達する時間は13分。しかし、実際には3分～5分で到達したということであり、東北大学では「なぜ津波が早く到達したかを解明することが今後の重要な問題」であることを指摘した。また、東北大学では「完全な津波の初期波形を作るには1年はかかる」と地震データによる作図の限界を指摘し、奥尻島西方で海底面が隆起し、奥尻島周辺が沈下して今回の津波が発生した仕組みのほかに「現在の理論では解明できない変化があったのかもしれない」ことを指摘した⁶⁾。

一方、図-3.2は北海道大学で作成された津波初期波形である。この初期波形をもとに津波の数値計算を実施すると、津波の到達時間は改善されるが、奥尻島が隆起したことになり、矛盾が生じるようである⁶⁾。

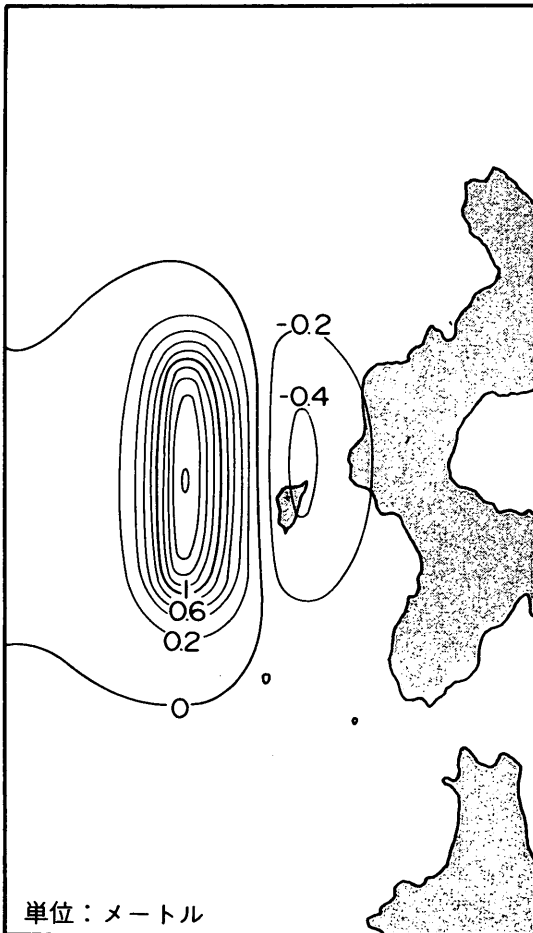


図-3.1 ハーバード大学の断層パラメーターから求めた津波初期波形

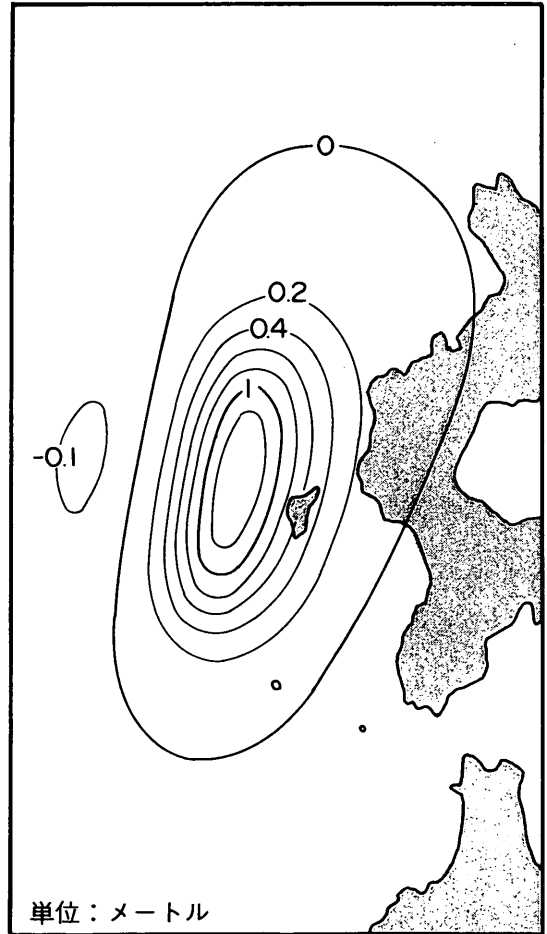


図-3.2 北海道大学の断層パラメーターから求めた津波初期波形

その後、平成5年8月23日の朝日新聞には、東北大学を中心としてさらに検討が進められた結果が発表された。

今回の地震は図-2.6に示したようにアジア大陸がのるユーラシアプレートと、東北日本がのる北米プレートがぶつかる境界線で起きたとのもので、その境界線は奥尻島の西にあり、これに沿って南北約100km、幅約40kmの断層が動いて地震が起きた。北海道大学、東北大学、横浜市立大学などが、各地の地震計の記録や余震分布、津波が到達した時刻、その高さを解析したところ、断層は図-3.3に示すように「く」の字形で、北側の部分と南側の部分に分かれていることが明らかになった。断層は約40秒の間に、まず「く」の北側、次いで南側が動いた。

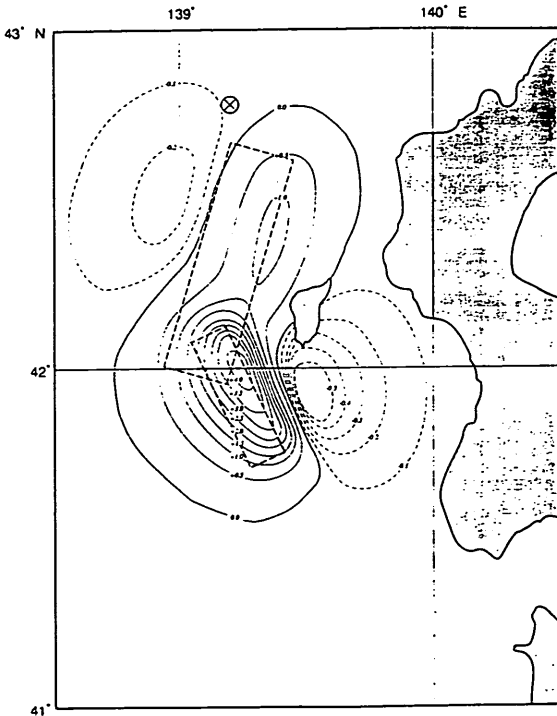


図-3.3 地震断層面の位置および海底地形変動量 (DCRC-4)

南側の断層が放出したエネルギーは北側より5割ほど大きく、これが大規模な津波を発生させたらしい。二つのプレートの内、どちらが下に沈み込んだかについては二通りの説があるが、東北大学の計算では、西側のユーラシアプレートが東側の北米プレートの下に沈み込んだとする方が、津波の高さを説明しやすい、という。ただ、この「く」の字形断層モデルでも、奥尻島西側で津波の高さが20mを超えたことや、津波が計算結果より早く到

達した地点があることなどはうまく説明できず、「さらに枝分かれした副断層がゆっくり動くために振動が出ない「ゆっくり地震」が本震の前にあったのかも知れない。まだまだナゾの多い地震だ」としている。より完全な震源域の推定・確定のためには更なる調査・研究が必要であるとのことである⁷⁾。

このように、現段階では津波の波源域としてはまだ確定されたものではなく、各調査・研究機関によりさらに詳細な検討が進められている。なお、東北大学では上述のように、精力的に地震断面、津波の初期波形の確定作業を進めており、現在までに提案された波源モデルにはDCRC-1~DCRC-11等の多くのモデルがある。後の5. ではこれらの波源モデルの内、DCRC-4を用いて計算した結果を述べている。

3.2 津波被害の概況

(1) 地域別の津波被害の概要

津波による大きな被害は、奥尻島とその対岸の北海道本土地区で発生している。特に震源地に近かった奥尻島の被害は深刻なものであった。

また、今回の津波の遡上高さは史上最大級のものであり、特に奥尻島で大きく、実測値のうち最大のものは、島の西側の藻内地区で30mに達した(東北大学合同調査班)。それだけに、津波被害も大きく、国土地理院の調査結果(図-3.4)⁸⁾によれば、奥尻島では全島域の1.6%以上が浸水した。特に、奥尻島の青苗地区では、東西の3方向から大きな津波が襲来し被害を大きくしたといわれている。

また、正確な水準点がないために具体的な数値はまだ確定されていないが、島の南西部を中心に海岸が40~80cm沈降したという東大地震研究所等の調査結果もある。海上保安庁は、その原因として、地震の影響で島の東西にある活断層がずれ、島全体が沈んだものと推測している。この沈降現象が津波の到達以前に発生していたとすれば、津波の被害を増大させた可能性もある。

さらに、今回の津波は遡上高さの場所的な変動が大きいのも一つの特徴で、そのために津波被害も例えば同じ集落の中でも場所ごとに変化している(写真-3.1)。

一方、北海道本土では、西岸の大成町、瀬棚町および島牧村で津波の遡上高さが大きく、被害も集中している。しかし、それより北の海岸では、積丹半島の積丹岬までは3m程度の遡上高さがみられ、被害も発生しているが、それよりさらに北の海岸では大きな津波は発生していない。また、大成町より南の海岸では、南へ行くほど遡上高さや津波による被害は減少する傾向にある。

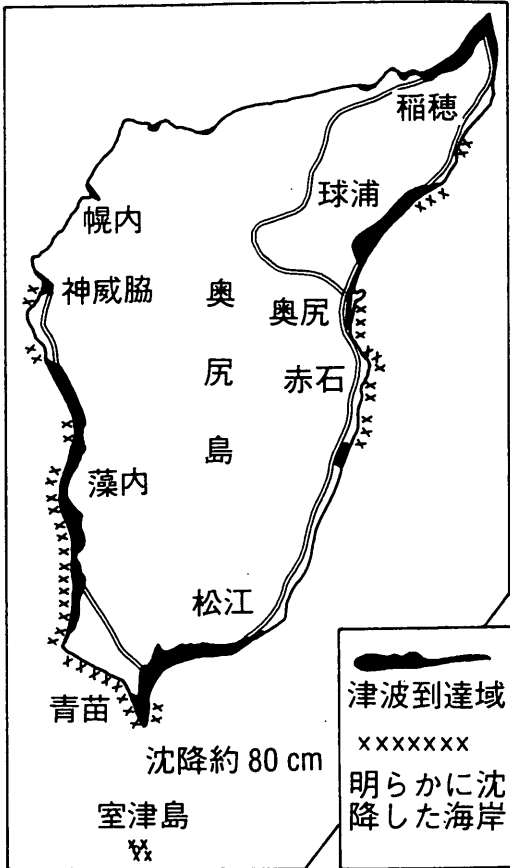


図-3.4 奥尻島の浸水域 (国土地理院による)

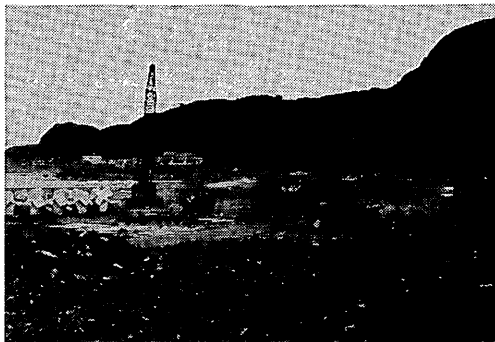


写真-3.1 稲穂地区の被災状況

(2) 津波による人的被害

今回の地震では、札幌管区気象台からの津波警報が、これまでにない早さで出されるなど、10年前の日本海中部地震の教訓が生かされている。しかし、震源地に最も近かった奥尻島では、津波の来襲があまりにも早かったため、警報や避難命令の住民への伝達が、津波の第一波の来襲までに間に合わなかったことにより、人的な被害が大きくなる結果となった。

北海道警察(道警)の発表によれば(8月11日現在)北海道南西沖地震による死者および行方不明者は233人であり、その町村別の内訳は次のようになっている(図-3.5)⁹⁾。

神恵内村	2人
島牧村	7人
瀬棚町	6人
北檜山町	5人
大成町	10人
奥尻町	197人
松前町	1人

これを見ても、いかに奥尻町に被害が集中しているかが判る。

これらの被災原因が津波によるのかは明確ではないが、参考となるデータを道警が発表している。それに

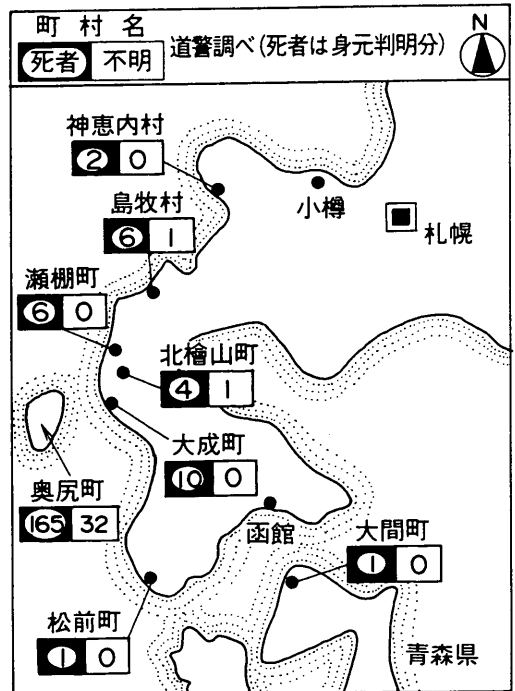


図-3.5 地域別の死者、行方不明者

よると、7月26日午前までの195人の死者についてその死因をみてみると、死者の約63%の125人が水死であり、津波が多数の命を奪ったことを数字で裏付けている。

なお、北海道以外では、青森県で避難した船から転落し1人が死亡している。

(3) 津波による構造物の被害

まず、津波による港湾・海岸構造物の被害は、奥尻港、江差港、青苗漁港および神威脇漁港等で発生している。

最も大きい被害は奥尻港の防波堤および護岸の損壊である。また、奥尻港では岸壁のブロック舗装が流出したり、道路が一部決壊している。

また、江差港では、マリナーの浮き桟橋が係留杭から外れたり、岸壁上の自動車が津波にさらわれて岸壁前面の海中に転落し、そのために岸壁が使用不可能になるという被害も発生している。

青苗漁港では、防波堤のケーソンが転倒や滑動し、仮置きしてあったブロックが流出するという被害を受けた。

神威脇漁港では、防波堤のケーソンの滑動、仮置きブロックの海中転落等の被害があった。

次に、陸上の建造物では建物の被害が最も深刻である。津波および地震によって全半壊した建物は約250棟、住宅の浸水は約200棟に達し、火災の発生した奥尻町青苗地区では約300棟が焼失した。しかし、コンクリートの建物は津波にあっても破壊されずに残っているものも多くみられた。このことは、津波の来襲地域の防災を考える上で参考になろう。

(4) その他の津波被害

津波による転覆、沈没などの船舶被害は北海道を中心に日本海側に広がり、約150隻にのぼっている。

また、養殖の生け簀などが被害を受けたほか、ウニやサザエなどの海産物にも被害が出ている。

3.3 日本海中部地震津波との比較

今回の地震からほぼ10年前の1983年5月26日に発生した日本海中部地震による津波と、今回の津波とを比較すると、次のような相違点がみられる。

(1) 津波を発生させた海底変動について

日本海中部地震は、秋田・青森県西方の日本海に発生し、気象庁によると震央は $40^{\circ}21.4'N$, $139^{\circ}04.6'E$ 、震源の深さ14km、マグニチュード7.7であった。地震記録の解析結果によると、震央付近でまず初期破壊が起り、数秒後にそれより大きな第1主破壊が発生した。さらに、20数秒後にその北北東数10km離れた場所

に第2主破壊が発生したといわれている。

日本海中部地震による津波の波源としての断層モデルについては、いろいろと検討されているが、図-3.6に示した相田モデル¹⁰⁾が津波全体の規模をよく表現し、また局所的な現象を除けば、波源近傍においてもかなり実際の津波挙動を再現しているといわれる。相田モデル10は、東下がり低角逆断層モデルであり、図-3.6の中の長方形は断層面の水平面への投影を表している。

一方、今回の地震の海底変動については、東北大学工学部災害制御研究センター等からいくつかの断層モデルが提案されている(前出の図-3.3)。これらの断層モデルは、暫定的なものであり、まだ結論は出されていない。

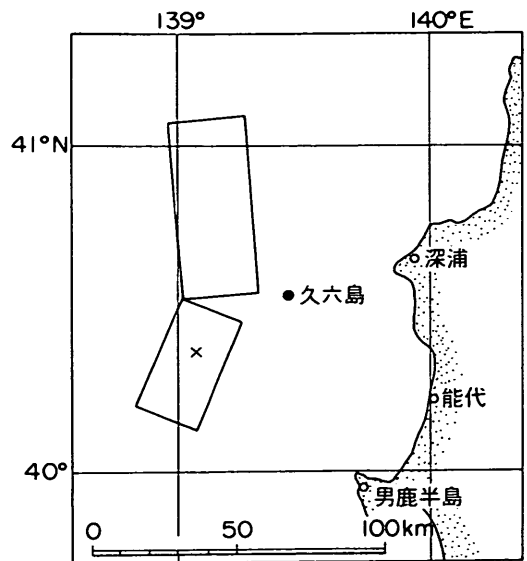


図-3.6 日本海中部地震の断層モデル(相田モデル10)

(2) 津波の遡上高さについて

日本海中部沖地震津波の遡上高さが大きかったのは、秋田県北部から男鹿半島北岸にかけてであった(図-3.7)¹¹⁾。しかし、最大の遡上高さでも降浜海岸で観測された約13mであった。

これに対し、今回の津波では最大で約30mの遡上高さが奥尻島の西岸で観測されている。これは、最高38mを記録した1896(明治29)年の三陸沖地震津波に次ぐもので、今世紀最大だった1933年の三陸地震津波の28.7mを上回った。

ただし、日本海中部地震津波では、比較的大きい津波が日本海の広い範囲の海岸で観測されたのに対し、今回の津波の場合には、津波の大きい地域が奥尻島とその対岸の北海道西岸に集中している(後出の図-6.3)。

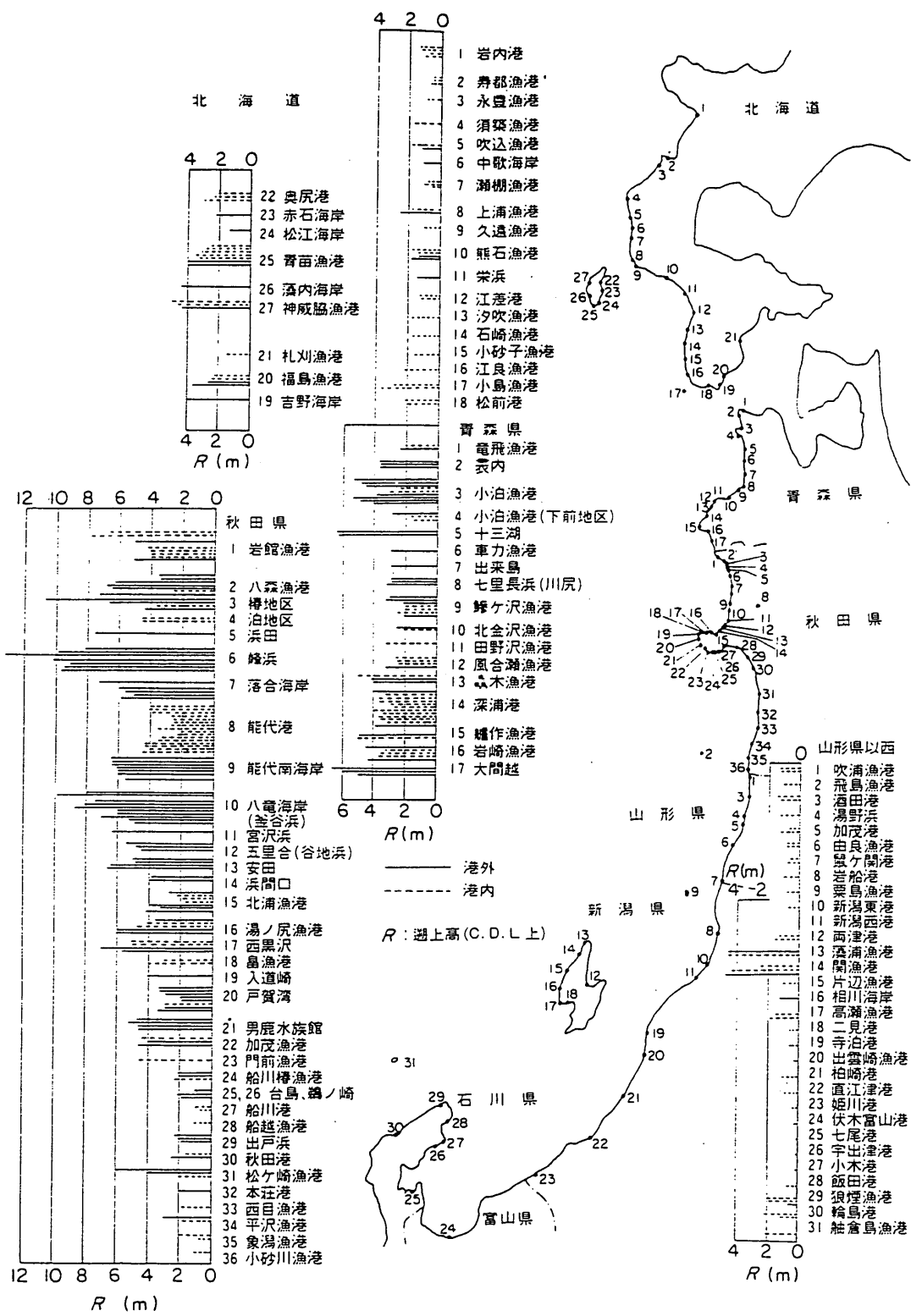


図-3.7 日本海中部地震津波の潮上高分布 (C.D.L.上)

この原因としては、津波の波源域が奥尻島に非常に近い、いわゆる直下型の津波であったことが大きいと考えられる。また、津波のエネルギーが奥尻島の周囲に蓄えられるトラップ現象や、北海道西岸による反射の影響も考えられ、これらと震源域からの直接の津波とが重なりあって、大きな津波が発生したものであろう。これは、奥尻島の海岸で津波の遡上高さが場所的に変動しているように見えることなどの原因とも考えられる。

(3) 津波の到達時間について

今回の津波の大きな特徴の一つは、津波の到達時間が非常に早かったことである。同様のことが、日本海中部地震津波の際にも起こり、ヒヤリングによれば、実際の津波は計算値より10分ほど早く海岸に到達した。

北海道南西沖地震の震源(M7.8)は奥尻島の北北西約50km、深さ約34kmであり、ヒヤリングによれば地震発生後約3~5分で第1波、約13分で第2波が到達している。

ところが、東北大学の首藤教授らが作成した海底の隆起・沈降図(前出の図-3.3)によって津波の計算をすると、津波の第一波が北海道本島の瀬棚に到達する時間はどんなに早くても7分程度という結果となっている。

このように、津波の到達時間が非常に早かった原因としては、地震の発生前から海底地盤の隆起・沈降が発生していたのではないかと等、さまざまな検討がされているが、その究明が重要な課題となっている。

(4) 津波の被害について

(a) 一般被害

日本海中部地震の時の死者・行方不明者は、合計103名であった。道県別の内訳は、秋田県で82名(このうち数名は地震動による死者)、青森県で17名、北海道で4名であった。日本海中部地震は正午に発生したために、海岸にいた工事作業員(全体の約40%)、釣り人(同、約20%)、遠足の児童などの行楽中の人(同、約20%)、漁船や釣り船の転覆などによる人たち(同、約10%)、農作業中の人たち(同、約5%)などが犠牲となっている。

これに対し、今回の地震の発生時間は午後10時17分であったために、自宅内か避難途中で津波に襲われた人が多い。しかし、海岸付近で活動している人が少ない時間であったにもかかわらず、日本海中部地震の時の2倍以上もの犠牲者が出ていることから、今回の津波がいかに強大なものであったかが判る。

(b) 施設等の被害

日本海中部地震津波による港湾や海岸施設等の被害と

しては、護岸や防波堤等の倒壊、陸岸堤等消波ブロックの散乱、水面貯木場からの木材の流出などが発生している。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。

一方、今回の地震の津波では、奥尻港や青苗漁港で防波堤のケーソンが転倒したり滑動している。これも、今回の津波の大きさを示すものである。

4. 観測波形における津波の特徴

4.1 検潮記録における津波*

(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、津波来襲時の潮位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、利尻島の沓形から函館港まで7地点、本州では青森から山口県の南風泊まで24地点、九州では日明の1地点、合計32地点である。なお、これらの地点の内、鯉ヶ沢の潮位記録は地元消防団による目視観測記録であり、参考値として記載した。

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。検潮儀の形式は全てフース型である。

フース型は浮標式検潮儀で最も一般的なものであり、感度が高く、読み取り、取扱いが簡単である。構造は一般には図-4.2に示すように、プーリーから細いワイヤーで吊り下げた浮標を水面に浮かせ、水面が昇降してもワイヤーがゆるまないように重錘でバランスさせている。フース型では、フロートと重錘はそれぞれ別のワイヤーでプーリーに固定されており、水面が昇降するとプーリーが回転し、その動きが歯車機構を介してペンに伝えられ、回転ドラム上の用紙に水位を記録するようになっている¹⁹⁾。

収集した潮位記録は長期巻記録紙に記録されたアナログデータをデジタイザーによりデジタル化し、以後の解析を実施した。デジタル化に際しては、記録紙に記録された水位を36秒間隔で読み取り、フロッピーディスクに収録した。しかしながらこのような方法で潮位記録を等間隔でデジタル化する場合、記録紙の紙送りに対して津波による水位変動が早いため、水位の極値(極大値、極小値)を必ずしも正確に拾うことが出来ない。そこで水位の極値に関しては、これを別途読み取り、フロッピー

*執筆者 橋本典明

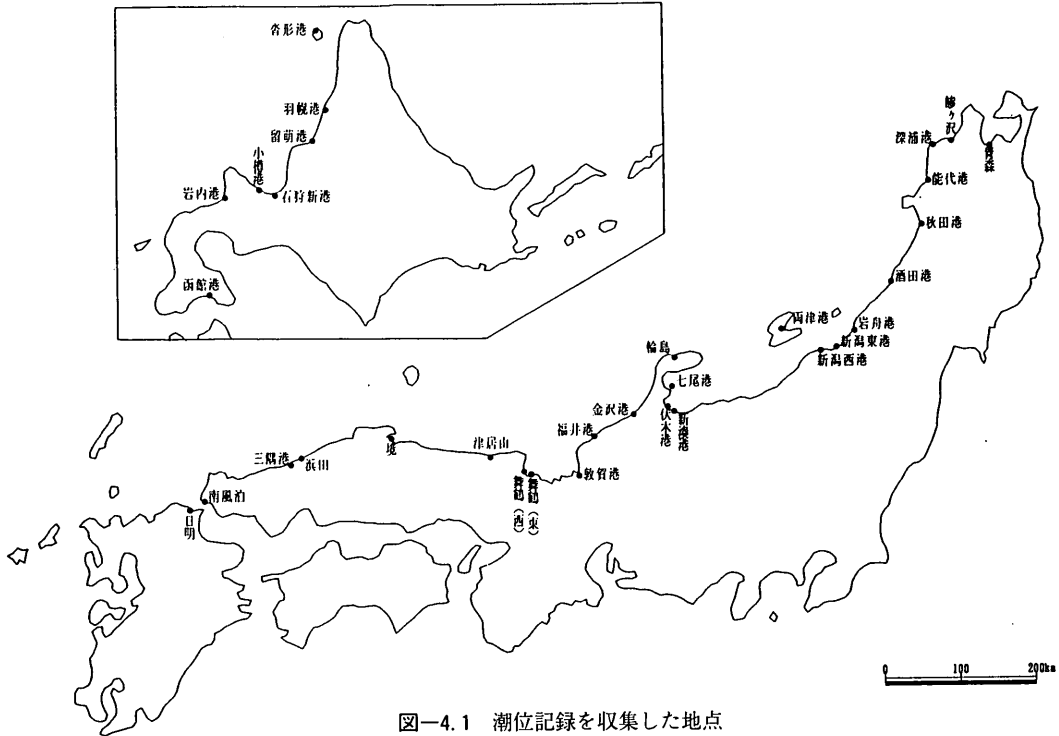


図-4.1 潮位記録を収集した地点

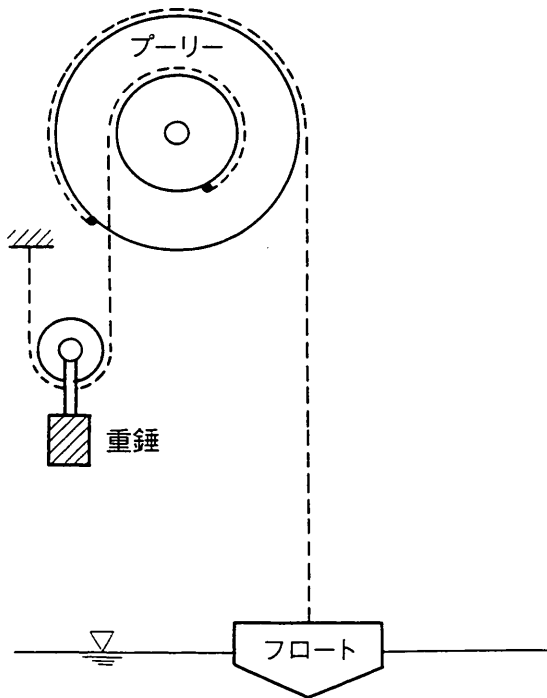


図-4.2 フース型検潮儀の構造

ディスクに収録した。なお、今回収集した検潮記録の記録状態はいずれもほぼ良好であったが、図-4.3に示すように、輪島港の第2波目のピーク値は変動が大きいためか、途中に記録のかすれた部分があり、これについては妥当と思われる時系列変動を内挿してデジタル化した。また、羽幌港では、低潮位の値がほぼ同一の値で揃っており、観測記録にやや問題があると思われたが、記録紙の記録を忠実にデジタル化した。その他の地点の潮位記録には特に問題となる点は見あたらず、ほぼ良好な状態で顕著な津波による水位変動を記録しているようである。各観測地点における検潮記録の時系列図は付図-1に示しているとおりである。付図-1に示す実線はデジタイザーでデジタル化した値を線でつないだものである。また黒丸●は水位記録の極値（極大値、極小値）を表している。実線と●にズレが見られるのは、上述の等間隔でデジタル化したことによる読み取り誤差である。なお、これらの検潮記録の内、函館港、青森港、七尾港、境港、浜田港、南風泊、日明の潮位記録は、各々の時系列図に見られるように第1波目の津波の来襲がやや不明瞭であるが、時間の経過とともに明らかに津

波による異常な水位変動が現れている。

なお、青森県内の鯉ヶ沢漁港、深浦港、および岩崎漁港の岸壁では、それぞれの町村の職員の方々が、水位変動の目視観測をされていたことが、6. で述べる現地調

査の結果判明した。このため、付図-2には、これらの観測地点における目視観測水位変動記録を示している。

また、付表-1および付図-3は、各検潮施設の設置位地と設置条件を示しているが、一部の検潮所において

表-4.1 (1) 検潮所一覧 (その1)

検潮所名称	所在地	位置	所属	観測者	検潮機形式
杓形港	北海道利尻郡 利尻町杓形字日の出地先	N45°11'E141°42'	北海道開発局 稚内開発建設部	杓形港湾 建設事業所	フース
羽幌港	北海道苫前郡 羽幌港町1丁目17番地	N44°22'E141°42'	北海道開発局 留萌開発建設部	羽幌港湾 建設事務所	フース
留萌港	北海道留萌市大町1丁目	N43°57'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 石狩町大字花碑村526-1	N43°13'E141°19'	北海道開発局 小樽開発建設部	羽幌港湾 建設事務所	フース
小樽港	北海道小樽市築港2番2号	N43°11'E141°02'	同上	同上	フース
岩内港	北海道岩内市大和23-1	N42°59'E140°31'	同上	岩内港湾 建設事務所	フース
函館港	北海道函館市海岸町25番地7号	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
青森港	青森市港町地先漁港内	N40°50'E140°46'	運輸省 第二港湾建設局	青森港 工事事務所	フース
深浦港	青森県西津軽郡 深浦町深浦字苗代沢地内	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	能代港湾事務所	フース
秋田港	秋田市土崎港西1丁目1-49	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
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4-3778	N37°56'E139°04'	同上	同上	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
新湊港	富山県新湊市堀岡神明地先	N36°46'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	富山県高岡市伏木綿町先	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'	同上	金沢港 工事事務所	フース
輪島港	石川県輪島市河井町二部205	N37°24'E136°54'	同上	同上	フース
金沢港	石川県金沢市大野町	N36°37'E136°36'	同上	同上	フース

表-4.1 (2) 検潮所一覧 (その2)

検潮所名称	所在地	位置	所属	観測者	検潮儀形式
福井港	福井県坂井郡三国町新保地先	N36°12'E136°08'	運輸省 第一港湾建設局	敦賀港 工事事業所	フース
敦賀港	福井県敦賀市川崎地先	N35°39'E136°04'	同上	同上	フース
舞鶴(東)	京都府舞鶴市大字浜2010	N35°28'E135°23'	気象庁	舞鶴海上気象台	フース
舞鶴(西)	京都府舞鶴市字下福井大野辺	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地先	N35°39'E134°50'	兵庫県	豊岡土木事務所	フース
境	鳥取県境港市岬町111-1地先	N35°33'E133°15'	気象庁	境測候所	フース
浜田(外の浦)	島根県浜田市大辻町2787番地先	N34°54'E132°04'	同上	浜田測候所	フース
三隅	島根県那賀郡三隅町大字岡見	N34°46'E131°55'	運輸省 第三港湾建設局	境港工事事務所	フース
南風泊	山口県下関市彦島西山町 3丁目25番地	N33°57'E130°53'	運輸省 第四港湾建設局	関門航路 工事事務所	フース
日明	福岡県北九州市小倉北区西港町	N33°54'E130°53'	運輸省 第四港湾建設局	関門航路 工事事務所	フース

は、図表が入手できなかったため、図表を添付していない。なお、付表-1および付図-3の図表の番号は、付図-1の地点番号と対応させているため、図表のない地点の番号は欠番となっている。

以上の記録の内、杵形港、羽幌港、留萌港、石狩新港、小樽港、岩内港、函館港の検潮記録と、さらに江差港、松前港の検潮記録を追加して解析した結果が、北海道開発土木研究所から既に報告されている。これによると、震源域に近い港では津波は引き波から生じており、第1

波の押し波ピーク時も震源域に近いほど早く、最高水位も比較的早い時刻で観測されているが、震源域から遠くなると、引き波がはっきりせず、押し波から生じており、最高水位もかなり時間が経過してから生じていると報告されている。

今回収集した検潮記録をもとに、津波到達時刻と第1波の水位の偏差(水位の天文潮位からの差)、最高水位(C.D.L.を基準とする)とその起時、最高偏差(水位の天文潮位からの差が最大の値)とその起時、ならびにゼ

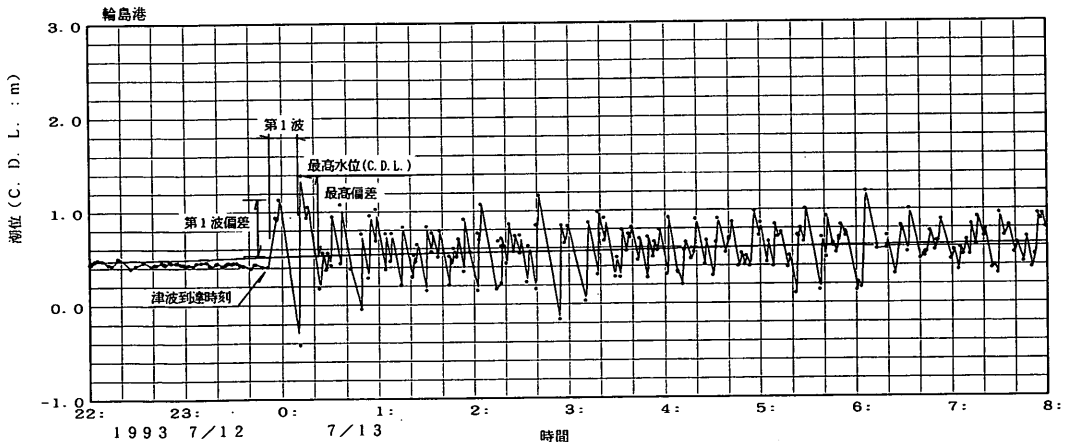


図-4.3 検潮記録整理の凡例

ロアップクロス法で定義した周期の範囲を、図-4.3に示す凡例に従って整理したものが表-4.2である。津波到達時刻は、潮位記録から120分の移動平均分を差し引き、これを天文潮位と見なして、津波の影響と思われる水位変動がこの潮位をクロスした時刻として読み取った。ただし、記録紙に記録された潮位には時刻のズレが認めら

れるものも含まれており、これらについては可能な限り補正したが、なお若干の誤差が含まれている可能性がある。

本解析では津波による水位変動の基準は、原則として基本水準面（CDL）を用いてデジタル化している。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

表-4.2 検潮所における津波の到達記録一覧表

地点	津波到達時刻	第1波 偏差 (m)	最高水位			最高偏差			周期
			波順	起 時	水 位	波順	起 時	偏 差	
杓形港	23時21分	+0.24	28	3時39分	+1.13CDL	28	3時39分	+0.89	4~17分
羽幌港	23時30分	+0.80	15	2時0分	+1.32CDL	15	2時0分	+0.92	5~29分
留萌港	23時12分	+0.42	6	1時49分	+1.06CDL	6	1時49分	+0.75	15~36分
石狩新港	23時17分	+0.15	6	1時50分	+0.68CDL	6	1時50分	+0.36	7~62分
小樽港	23時9分	+0.15	12	6時16分	+0.50CDL	3	0時47分	+0.24	20~66分
岩内港	23時36分	+0.94	2	23時11分	+1.67CDL	2	23時11分	+1.36	10~30分
函館港	23時17分	+0.10	2	0時23分	+1.82CDL	9	5時1分	+0.34	13~64分
青森港	23時31分	+0.08	15	7時2分	+0.78CDL	8	3時18分	+0.26	9~41分
鯉ヶ沢	22時44分	+0.50	1	22時57分	+0.70CDL	1	22時57分	+0.50	14~56分
深浦港	23時35分	+0.26	1	22時44分	+0.58CDL	1	22時44分	+0.26	6~17分
能代港	23時5分	+0.54	7	1時18分	+1.00CDL	7	1時18分	+0.72	7~49分
秋田港	23時17分	+0.35	3	0時31分	+0.62CDL	3	0時31分	+0.35	4~41分
酒田港	23時23分	+0.79	11	4時20分	+0.93CDL	11	4時20分	+0.55	13~41分
岩船港	23時42分	+0.16	1	23時48分	+1.24CDL	1	23時48分	+0.79	6~29分
新潟東港	23時45分	+0.19	13	7時18分	+0.79CDL	5	2時2分	+0.31	14~44分
新潟西港	23時42分	+0.63	21	4時59分	+0.70CDL	7	1時9分	+0.31	5~36分
両津港	23時28分	+0.08	7	0時51分	+0.87CDL	7	0時51分	+0.69	3~21分
新湊港	23時39分	+0.08	16	7時17分	+0.54CDL	7	2時0分	+0.09	4~60分
伏木富山港	23時31分	+0.04	8	6時38分	+0.57CDL	5	3時50分	+0.09	10~45分
七尾港	23時54分	+0.59	10	7時36分	+0.55CDL	4	4時58分	+0.10	13~60分
輪島港	23時52分	+0.19	2	0時12分	+1.39CDL	2	0時12分	+0.83	2~20分
金沢港	23時59分	+0.08	18	4時51分	+0.75CDL	9	2時17分	+0.31	5~41分
福井港	23時49分	+0.19	24	6時35分	+0.87CDL	9	2時12分	+0.48	6~31分
敦賀港	0時8分	+0.18	14	4時57分	+0.78CDL	14	4時57分	+0.37	9~37分
舞鶴東	0時28分	+0.19	24	5時6分	+0.96CDL	24	5時6分	+0.52	3~33分
舞鶴西	0時28分	+0.10	6	2時19分	+0.86CDL	6	2時19分	+0.44	10~33分
津居山	0時3分	+0.10	4	0時53分	+0.94CDL	4	0時53分	+0.36	3~23分
境港	0時44分	+0.10	4	2時17分	+0.75CDL	4	2時17分	+0.32	11~41分
浜田港	0時57分	+0.33	14	4時56分	+0.86CDL	9	3時31分	+0.28	11~25分
三隅港	1時16分	+0.09	24	4時1分	+0.64CDL	24	4時1分	+0.50	4~12分
南風泊	2時27分	+0.07	1	2時44分	+1.30CDL	7	6時41分	+0.10	15~54分
日明	2時50分	+0.05	1	2時53分	+1.29CDL	7	5時16分	+0.14	8~48分

の和を差し引いた高さである。この基準面は痕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もある。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。今回検潮記録を収集した港のC D LとT Pの関係は表-4.3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ことがわかる。差が大きくなるのは水位変動に占める潮汐成分の割合が大きくなるからである。

(2) 各港の潮位記録の特性

沓形港：震源から遠い利尻島にあるため、津波は押し波から生じ、地震後約64分後、23時21分頃に第1波が観測された。また、最高水位はかなり遅く13日午前3時39分頃にC D L上+1.13mとなった。津波来襲時から翌日の4時頃まで比較的振幅の大きい水位変動が見られるが、それ以後振幅はやや小さくなっている。また、周期は比較的規則的で4～17分の範囲で変動している。

羽幌港：引き波は現れておらず、押し波から来ている。第1波は約73分後、23時30分頃で、最高水位は13日午前2時頃にC D L上+1.13mであった。潮位記録の範囲では振幅が減衰することなく長時間に渡って津波の水位変動が現れている。津波来襲時から翌日の4時頃までは比較的短い周期の水位変動が見られるが、それ以後やや周期が長くなっている様に見える。

留萌港：引き波は現れておらず、押し波から来ている。第1波は地震後約55分後、23時12分頃で、最高水位は13日午前1時49分頃にC D L上+1.06mであった。津波来襲後、規則的な水位変動が続いている。

石狩新港：第1波の来襲前に弱い引き波があって押し波に入っている。第1波は地震後約60分後、23時17分頃で、最高水位は13日午前1時50分頃にD C L上+0.68mであった。短い周期と長い周期の水位変動が重なり合った不規則な水位変動を示している。

小樽港：第1波の来襲前に弱い引き波があって押し波に入っている。第1波は地震後約52分後、23時9分頃で、最高水位は13日午前6時16分頃にD C L上+0.50mであった。比較的規則的な水位変動波形を示している。

表-4.3 T PとC D Lの関係

港 名	T . P .	C . D . L .	港 名	T . P .	C . D . L .
沓 形 港	不 明 ^m	0.00 ^m	新 湊 港	-0.036 ^m	0.00 ^m
羽 幌 港	0.049	0.00	伏 木 港	-0.015	0.00
留 萌 港	0.022	0.00	七 尾 港	0.03	0.00
石 狩 湾 新 港	-0.033	0.00	輪 島 港	-0.100	0.00
小 樽 港	-0.02	0.00	金 沢 港	0.012	0.00
函 館 港	0.528	0.00	敦 賀 港	0.031	0.00
青 森 港	0.239	0.00	舞 鶴 (東)	0.022	0.00
深 浦	-0.092	0.00	舞 鶴 (西)		
能 代 港	-0.04	0.00	津 居 山	0.146	0.00
酒 田 港	-0.131	0.00	境	0.05	0.00
岩 船 港	0.00	0.00	三 隅 港		
新潟港東地区	-0.04	0.00	南 風 泊	0.77	0.00
新潟港西地区	-0.10	0.00	日 明	0.81	0.00
両 津 港	0.18	0.00			

岩内港：地震発生時に潮位記録に小さい上下動が見られる。津波は軽い引きから始まり地震後約19分後に第1波の押し波が来襲している。最高水位は2波目で23時11分頃にCDL上+1.67mであった。津波来襲時から翌日の4時頃までは振幅の大きい水位変動を示しているが、それ以後振幅はやや弱まっている。

函館港：第1波は地震後約60分後、23時17分頃で、最高水位は13日午前0時23分頃にCDL上+1.82mであった。しかしながら、津波による顕著な水位変動は津波到達からかなり遅れ、翌日の5時頃が最も顕著となっている。

青森港：地震発生時に潮位記録に小さい上下動が見られる。津波の第1波目はあまり明瞭ではないが、潮位記録の傾向からは、津波は軽い引きから始まり地震後約74分後に第1波の押し波が来襲しているように見える。最高水位はかなり遅く7時2分頃にCDL上+0.78mであった。

深浦港：地震発生時に潮位記録に小さい上下動が見られる。引き波は見られず、22時35分頃に第1波の押し波が来襲している。最高水位は第1波目で起こり22時44分頃にCDL上+0.60mであった。比較的規則的な水位変動を示している。

能代港：第1波は地震後約48分後、23時05分頃で、最高水位は13日午前1時18分頃にCDL上+1.00mであった。津波到達時から2時頃までは比較的短い周期の水位変動を示しているが、その後は長い周期に短い周期の水位変動が重なった複雑な水位変動を示している。

秋田港：第1波は地震発生後約60分後、23時17分頃で、最高水位は第3波目で、13日午前0時31分頃にCDL上+0.62mであった。津波到達後4時頃までは比較的複雑な水位変動を示しているが、それ以後はやや規則的な水位変動になっている。

酒田港：第1波は23時23分頃で、最高水位はかなり遅く13日午前4時20分頃にCDL上+0.93mであった。すなわち、津波による水位変動は、津波到達から時間の経過とともに徐々に顕著となり、4～6時頃が最も顕著となっている。

岩舟港：第1波は23時42分頃で、最高水位は第1波目で

起こり、23時48分頃にCDL上+1.24mであった。第1波目以後水位変動は比較的安定しているが、13日6時50分頃には再度大きな振幅の水位変動が見られる。

新潟東港：第1波は23時45分頃で、最高水位はかなり遅く、13日午前7時18分頃にCDL上+0.79mであった。津波到達後13日1時20分頃までは津波による水位変動はあまり顕著ではないが、それ以後、40分程度の周期を有する規則的な水位変動が続いている。

新潟西港：第1波は23時42分頃で、最高水位はかなり遅く、13日午前4時59分頃にCDL上+0.70mであった。新潟東港では40分程度の周期を有する規則的な水位変動が見られたが、新潟西港ではかなり不規則な水位変動を示しており、周期は新潟東港に比べて短い。

両津港：第1波は23時28分頃で、第1波の後に強い引きがあった。最高水位は13日午前0時51分頃にCDL上+0.87mであった。潮位記録には振幅の強弱が現れている。

新湊港：第1波は23時39分頃で、最高水位はかなり遅く、13日午前7時17分頃にCDL上+0.54mであった。津波による水位変動はあまり顕著ではない。

伏木港：第1波は23時31分頃で、最高水位はかなり遅く、13日午前6時38分頃にCDL上+0.57mであった。津波による水位変動はあまり顕著ではない。

七尾港：第1波の来襲前に弱い引き波があって押し波に入っている。第1波は23時54分頃で、最高水位はかなり遅く13日午前7時36分頃にCDL上+0.55mであった。津波による水位変動はあまり顕著ではない。

輪島港：第1波は23時52分頃で、第1波の後に強い引きがあった。また、最高水位はそれに引き続く第2波目で13日午前0時12分頃にCDL上+1.39mであった。潮位記録には振幅の強弱が現れているが、時間の経過とともに徐々に減衰しているように見える。

金沢港：第1波は23時59分頃で、最高水位はかなり遅く、13日午前4時51分頃にCDL上+0.75mであった。津波による水位変動は長い周期の変動に短い周期の変動が重なった形状を示しており、減衰することなく長時間に渡り不規則な水位変動を示している。

福井港：第1波は23時49分頃で、最高水位はかなり遅く、13日午前6時35分頃にCDL上+0.87mであった。潮位記録からは、3時30分頃を境としてその前後で水位変動波形の特性が変化しているように見受けられる。

敦賀港：第1波は13日午前0時8分頃で、最高水位は4時57分頃にCDL上+0.78mであった。潮位記録からは、津波来襲にともない水位変動の振幅が徐々に増大し、3時頃から比較的安定した波形に推移している。

舞鶴東：第1波は13日午前0時28分頃で、最高水位は5時6分頃にCDL上+0.96mであった。津波来襲にともない水位変動の振幅が徐々に増大し、2時頃より比較的安定した波形に推移しているが、長周期の水位変動に短周期の水位変動が重なった不規則な水位変動を示している。

舞鶴西：第1波は舞鶴東と同じ13日午前0時28分頃で、最高水位は舞鶴東よりも早く、2時19分頃にCDL上+0.86mであった。津波来襲にともない水位変動の振幅が徐々に増大し、2時頃より比較的安定した波形に推移している。しかしながら、舞鶴東の検潮記録に比べて長周期の水位変動を示している。

津居山：第1波は13日午前0時3分頃で、最高水位は比較的早く起こり、0時53分頃にCDL上+0.94mであった。津波来襲後0時30分～2時頃まで顕著な水位変動が見られるが、それからやや減衰し、5時頃から再び振幅がやや増大している。

境港：第1波は13日午前0時44分頃で、最高水位は2時17分頃にCDL上+0.75mであった。津波来襲後徐々に振幅が増大し、2時～3時にかけて顕著な水位変動を示し、その後ゆっくりと振幅が減衰している。

浜田港：第1波は13日午前0時57分頃で、最高水位は4時56分頃にCDL上+0.86mであった。津波来襲後徐々に水位変動の振幅は増大し、4時頃やや減衰して再度増大し、5時40分頃には再び減衰するなど、振幅に強弱が現れている。

三隅港：第1波は13日午前1時16分頃で、最高水位は4時1分頃にCDL上+0.64mであった。津波来襲後、4～12分の短い周期で顕著な水位変動を示している。

南風泊：潮位変動に比べて津波による水位変動が小さく、第1波目の到達時刻が不明瞭である。しかしながら、水位変動の傾向からは第1波は13日午前2時27分頃と推察される。また、最高水位は第1波目で起こり、2時44分頃にCDL上+1.30mであったが、津波による水位の最高偏差はこれより後の6時41分頃に起きている。

日明：潮位変動に比べて津波による水位変動が小さく、第1波目の到達時刻が不明瞭である。しかしながら、水位変動の傾向からは第1波は13日午前2時50分頃と推察される。また、最高水位は第1波目で起こり、2時53分頃にCDL上+1.29mであった。しかしながら、南風泊と同様に、津波による水位の最高偏差はこれより後の5時16分に起きている。すなわち、津波による水位変動は、時間の経過とともにゆっくりと顕著になっている。

(3) 津波の到達時間と第1波の水位の偏差

検潮記録から求めた津波の第1波の到達時刻を図-4.4に示す。図中の横線は津波の第1波到達時刻を表し、●は最高水位の起時である。これによると、最も早く津波が来襲したのは岩内で、22時36分には初動が始まっている。震源から遠方の杓形港や羽幌港ではさらに遅く、それぞれ23時21分、23時30分となっている。また、今回収集した潮位記録の内、震源から最も遠い日明では翌日の2時50分に津波の第1波が到達している。なお、震源から遠い地域では津波による水位変動が小さく、津波による初動も震源に近い所に比べて不明瞭なので、ある程度の誤差が生じている可能性がある。

一般には、震源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、そうでない所もある。例えば、新潟県の岩舟港や新潟東港、西港では第1波の到着が23時40分以降であるのに対し、震源域から遠い富山県の新湊港や伏木富山港では、それよりも早く23時40分以前に第1波が到着している。これは5.に示した屈折にともなう津波の伝播経路の相違によるものである。同様に、遠地点に先に到着した例として他に、若狭湾沿岸の敦賀港や舞鶴港（東、西）の第1波の到着時間はそれぞれ0時8分、0時28分であるのに対し、津居山では0時3分頃に第1波が到達していることがあげられる。これも海底地形や波の屈折の影響によるものと考えられる。なお、これと同じ結果が10年前の日本海中部地震津波の際にも生じている¹³⁾。

検潮記録に現れた津波の初動については、石狩新港、

小樽，岩内，江差，青森港では，弱い引き波から始まっているが，他の地点では全て押し波から始まっている。引き波から始まっている観測点は総じて震源域から近い

地点である。

図-4.5は第1波目の津波による水位の偏差の大きさを示したものである。偏差とは水位の天文潮位からの差の

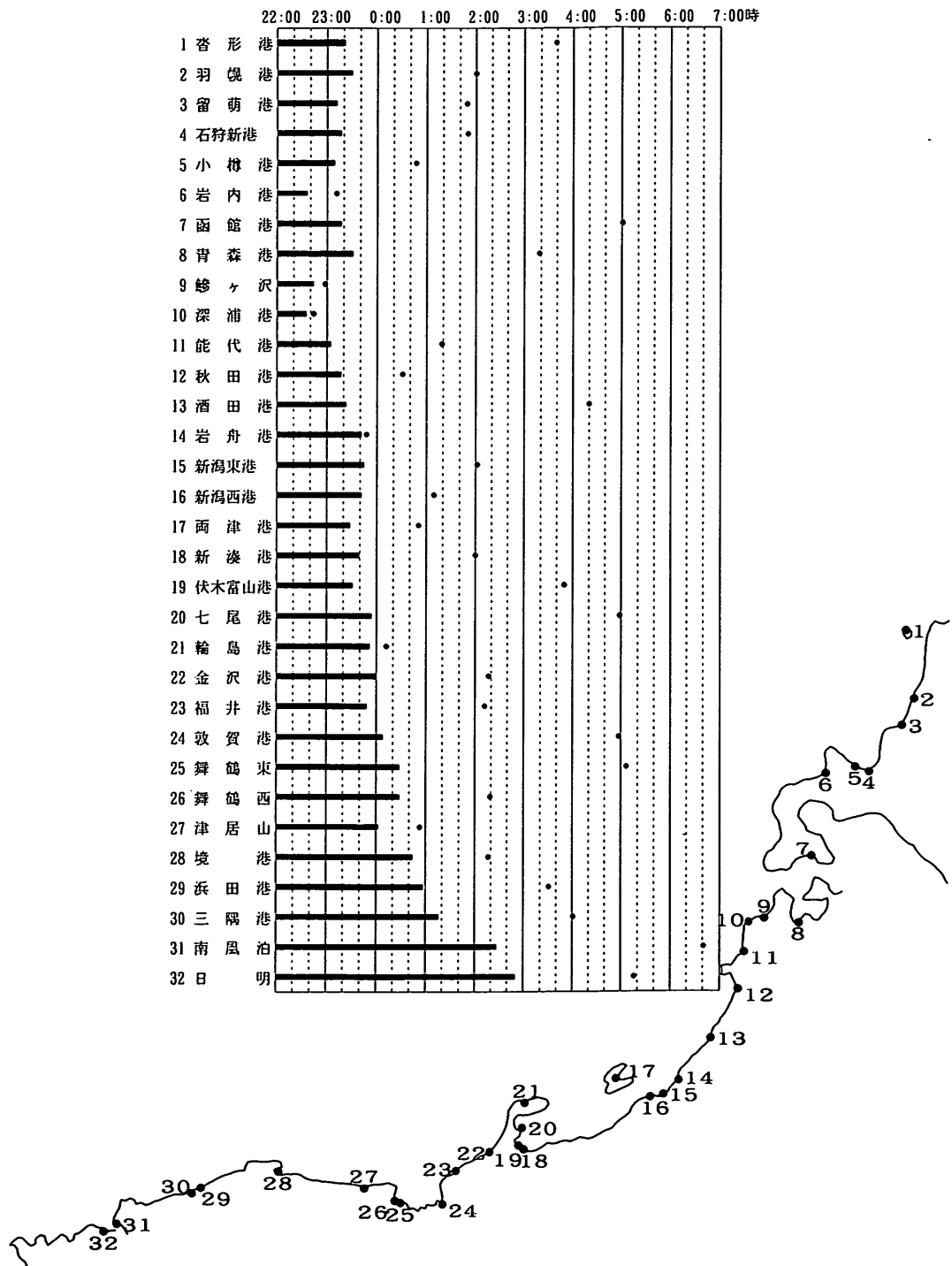


図-4.4 第1波の到達時刻と最高水位記録時刻

大きさであり、ここでは第1波目の押し波のピーク時の高さを潮位分を差し引いた値として示している。ただしここでは、実際には天文潮位の代わりに120分ごとに移動平均した値を用いている。第1波目の偏差は羽幌港、岩内港、岩舟港、両津港、輪島港でそれらの観測地点の周辺よりも大きな値を示している。これらの地点ではその周辺に比べて、津波の集中しやすい地点であると推察される。

(4) 最高水位および最高偏差

検潮記録より求めた各地の最高水位と最高偏差、ならびにそれらの起時と津波到達時からの波数は表-4.2に示すとおりである。図-4.6は各地点ごとに最高水位を図示したものである。図-4.7は各地点ごとに最高偏差を図示したものである。最高水位は原則としてCDLを基準とし、それからの水位上昇量として表示している。ただし、鯉ヶ沢では目視観測により得られたデータであるため平均水面(MWL)を基準に図示している。また、最高偏差は前述のように、天文潮位からの差の最大値である。

最高水位は、潮汐による水位変動が津波による水位変動に比べて相対的に小さいところでは、津波による水位変動によって生じている。しかしながら、例えば函館港では、震源に比較的近く津波による水位変動が顕著であるにもかかわらず、津波の水位変動に比べて潮汐の水位変動が相対的に大きいため、両者の変動の時間的な関係から、津波の最高偏差が生じた時刻と異なる時刻に最高水位が生じている。また、震源から遠く離れた南風泊や日明では津波による水位変動が小さく、これに比べて潮汐による水位変動が相対的に大きいため、同様に最高水位と最高偏差の時刻に差が見られる。この他、小樽港、青森港、新潟東港、新潟西港、新湊港、伏木富山港、七尾港、金沢港、福井港、浜田港でも、最高水位と最高偏差の生じた時刻に差が見られるが、これらはいずれも同様に潮汐による水位変動の影響によるものと考えられる。

図-4.6に示す最高水位は、函館港が最も大きく、0時23分にCDL上+1.82m、次いで岩内港、輪島港で、それぞれ23時11分にCDL上+1.67m、0時12分にCDL上+1.39mとなっている。一方、津波による水位変動の大きさを表す最高偏差を図示した図-4.7を見ると、岩内港が最も大きく、23時11分に1.36m、次いで羽幌港、杵形港で、それぞれ2時0分に0.92m、3時39分に0.89mとなっており、輪島港では0時12分に0.83mを示している。南風泊と日明では最高水位はそれぞれCDL上1.30m、1.29mと大きいですが、最高偏差はそれぞれ0.1m、0.14mと

なっており、かなり小さい。これは、前述のように津波による水位変動よりも潮汐による水位変動が大きいためである。また、新湊港、伏木富山港、七尾港では最高偏差は0.1m以下の値を示している。

最高水位や最高偏差を示した時刻に着目すると、震源に近いところでは、概して、地震後比較的早い時刻で最高水位および最高偏差が生じている。特に最高水位と最高偏差の時刻が一致する地点では、地震後比較的早い時間に最高水位を示す地点が多いが、最高水位と最高偏差の時刻が一致しない地点では、潮汐による水位変動との兼ね合いで、最高水位が最高偏差よりも先に生じる場合と、最高偏差が最高水位よりも先に生じる場合にわかれている。表-4.2では函館港、南風泊、日明では最高水位が生じる前に最高偏差が生じている。一方、小樽港、青森港、新潟東港、新潟西港、新湊港、伏木富山港、七尾港、金沢港、福井港、境港では最大偏差が生じる前に最高水位を生じている。

(5) 津波の周期特性

検潮記録から得られた各港の周期特性は表-4.2に示すとおりである。周期は検潮記録からゼロアップクロス法により算出した。図-4.8はこれを地点ごとに図示したものである。図-4.8中の横線—の範囲が表-4.2に記載した周期の範囲を示し、図中の●、*、×、+は、それぞれ、4.3で示すスペクトル解析した結果から得られたスペクトルの第1~4エネルギーピークを示す周期である。

今回の津波は多くの周期成分を有することが特徴で、所によっては数分~1時間程度の広い範囲で変動している。例えば、杵形港では4~17分、羽幌港では5~29分の周期であるにもかかわらず、石狩新港では7~62分の周期特性を示している。付録に示す検潮記録を見ると、石狩新港の検潮記録には短周期成分の波動も記録上に見られるが、ゼロアップクロス法によりこの成分が見かけ上消されたために、このような幅の広い周期範囲となったためである。

図-4.8に示す周期特性と図-4.7の最高偏差を比べると、概して、最高偏差の大きい地点は周期の範囲はあまり狭くない傾向が見られるようである。例えば、最高偏差が最大の岩内港では周期の範囲は10~30分で、その周辺の小樽港(20~60分)や函館港(13~64分)に比べて周期の範囲が狭く、また、輪島港でも2~20分の周期特性で、その周辺の七尾港(13~60分)や金沢港(5~41分)に比べて周期の範囲が狭い。

なお、津波の周期特性は検潮所の位置や構造などによりかなり影響を受ける。これについては、4.3で検討

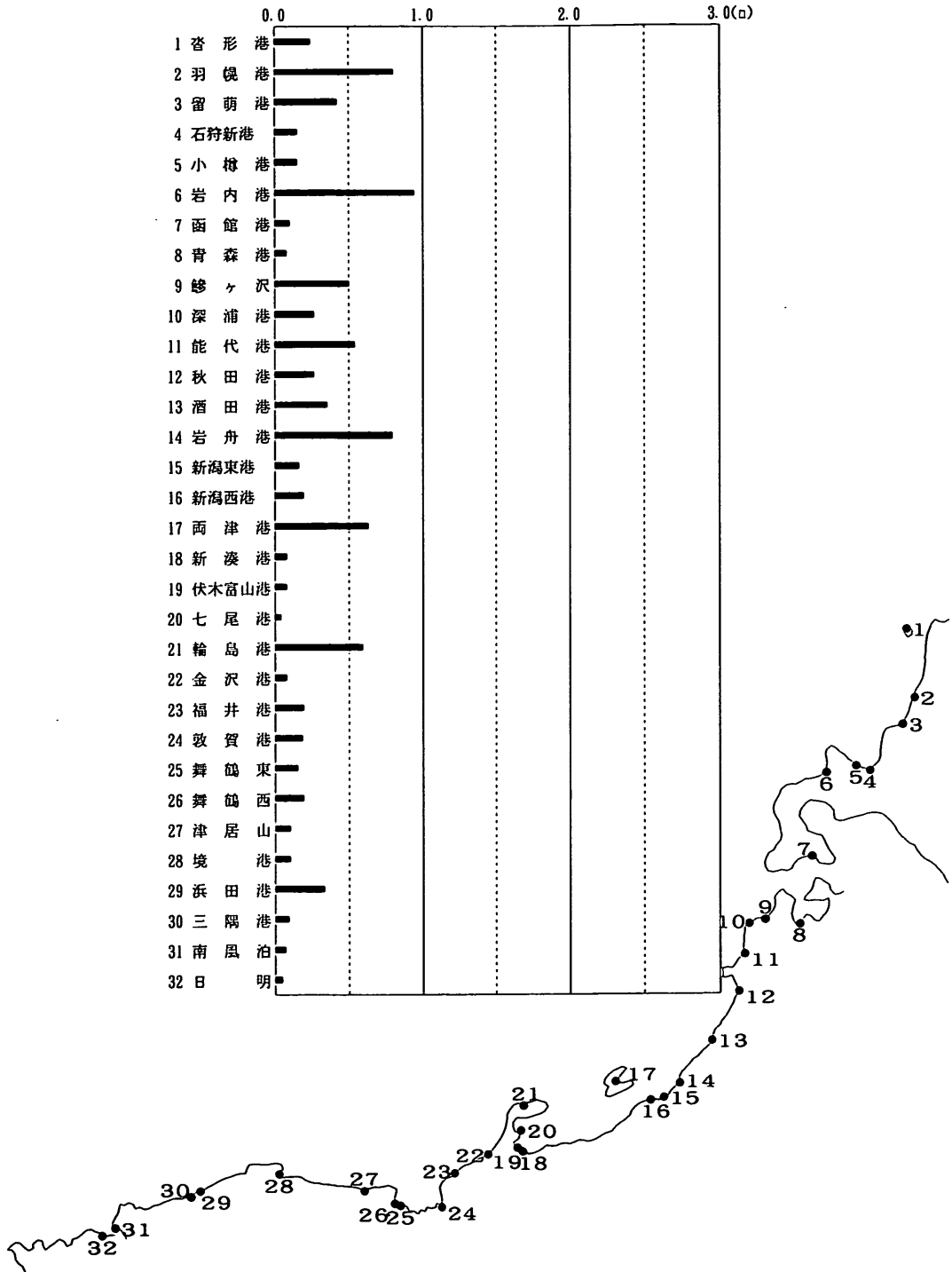


図-4.5 第1波の水位偏差

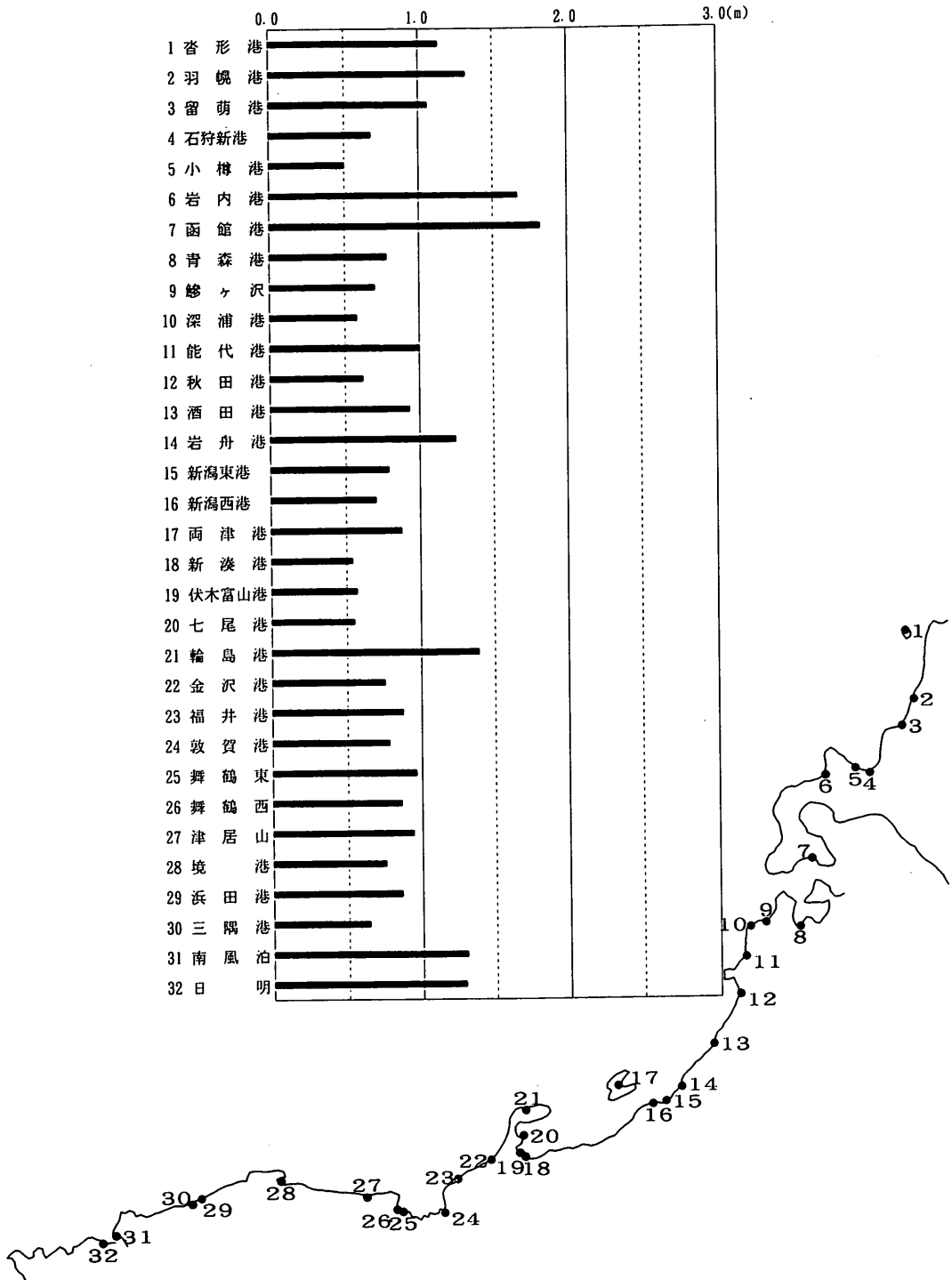


図-4.6 各地点毎の最高水位

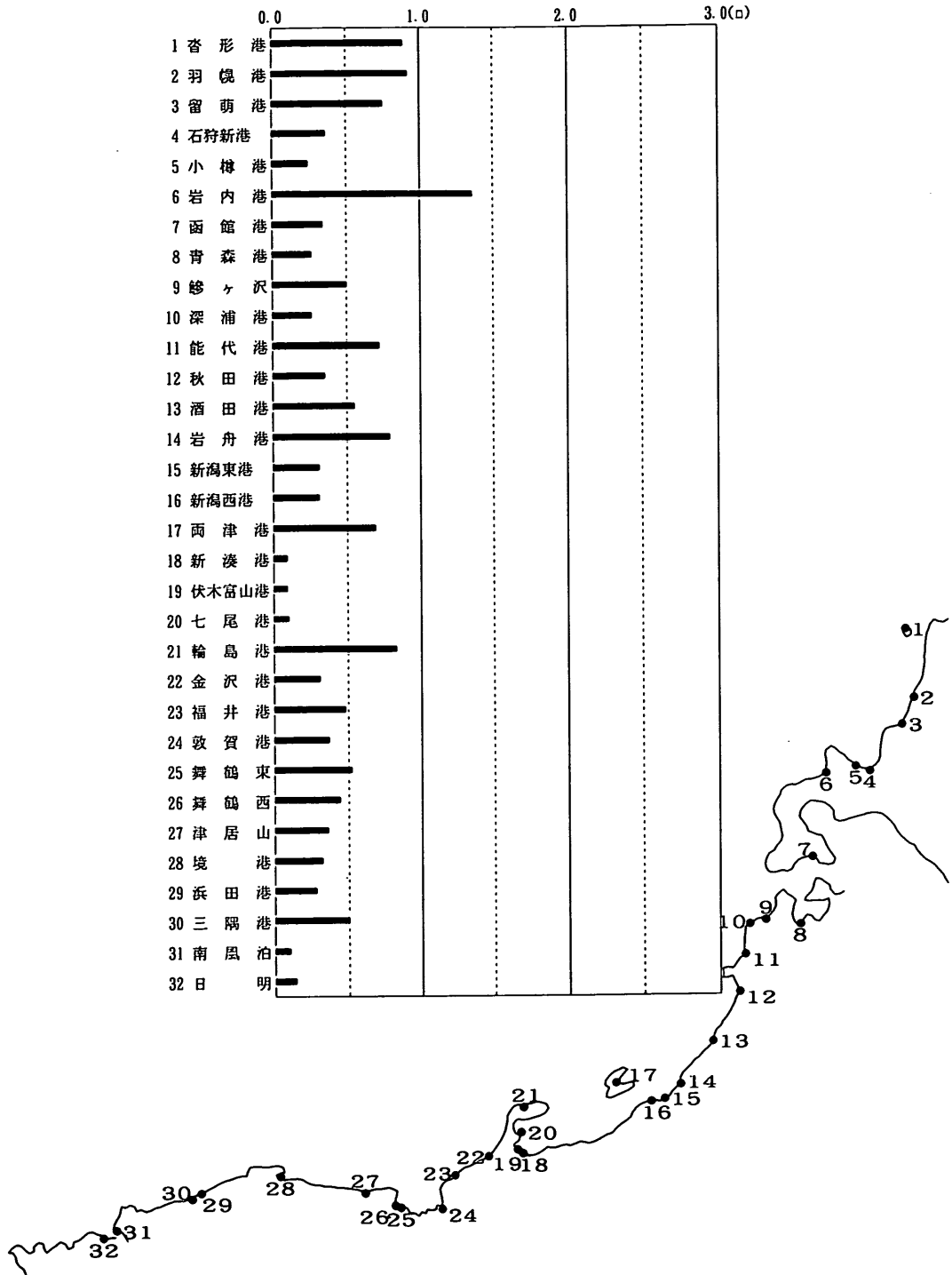


図-4.7 各地点毎の最高偏差

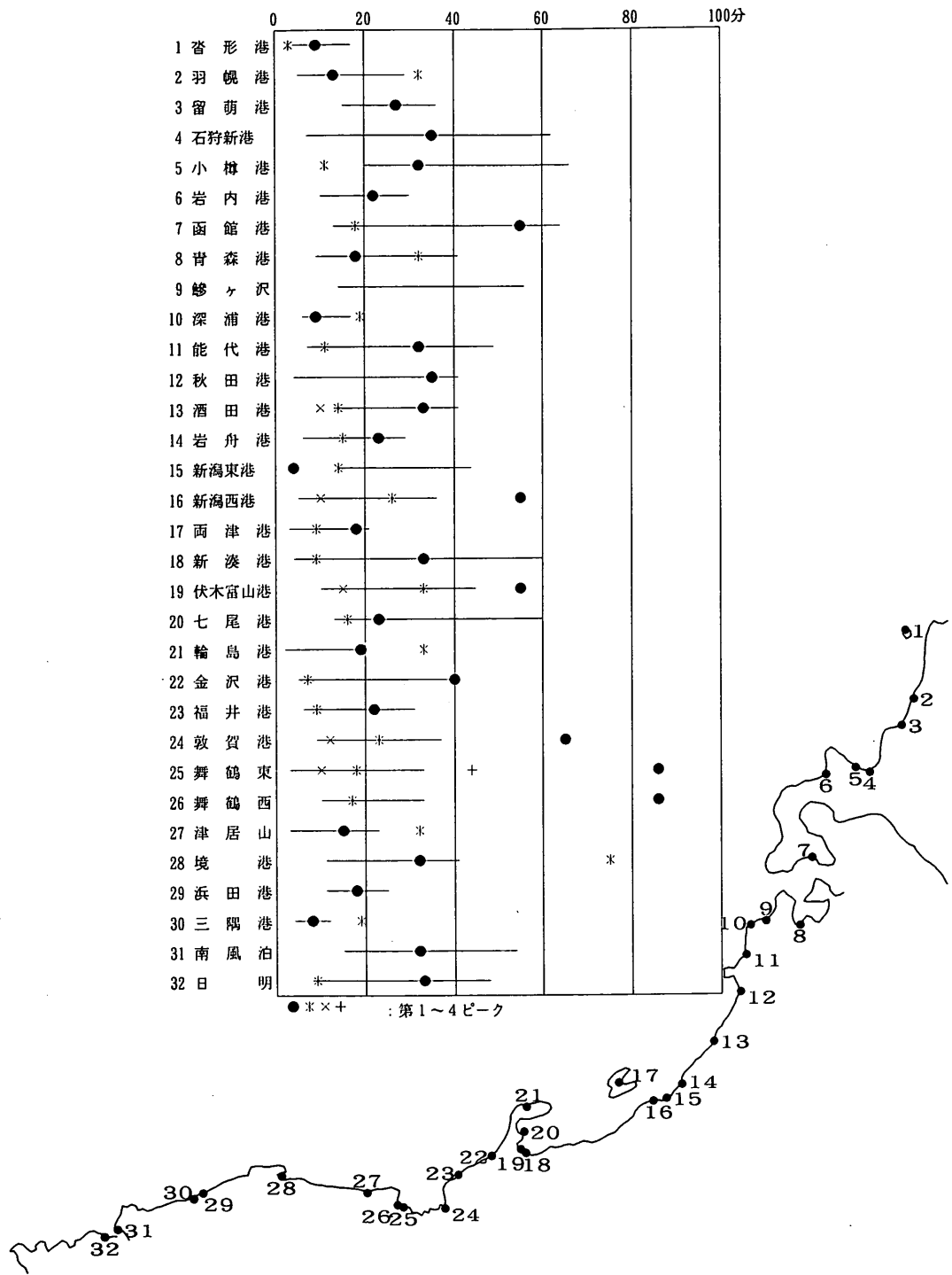


図-4.8 検潮記録から見た各地点毎の津波周期特性

表-4.4 波浪および潮位観測一覧表

○：デジタルデータ作成

地点名	波浪観測	潮位観測	備考
紋別港	連続観測		
杓形港		○	
羽幌港		○振り切れ有り	
留萌港	連続観測, 0:00, 5:30欠側	○	
石狩新港		○	
小樽港		○	
岩内港		○1波目振り切れ有り	
瀬棚港	22:00まで		
函館港		○	
青森港		○	
鯡ヶ沢	目視観測		
深浦港	毎偶数時観測	○	
能代港	連続観測アナログ読取り	○	DT=1.0s
秋田港	連続観測	○	
酒田港	毎偶数時観測	○	
岩舟港	毎偶数時観測アナログ読取り	○	
新潟東港		○	
新潟沖	毎偶数時観測		
新潟西港		○	
両津港		○	
伏木富山(新湊港)		○	
伏木富山(伏木港)		○	
七尾港		○	
輪島港	連続観測	○	
金沢港	欠側	○	
福井港	毎偶数時観測	○	
敦賀港		○	
舞鶴(東)		○	
舞鶴(西)		○	
津居山		○	
境		○	
浜田港	毎偶数時観測	○	
三隅港		○	
南風泊		○	
日明		○	
藍島	毎偶数時観測		

データ収集期間は、7/12 22時から13日6時までとした。

潮位の感度は1mmで読み取り間隔は36sとした。波高の読み取り間隔は、能代港以外は0.5sである。

呼出によってモニターすることができる。このリアルタイムシステムは現在既に23地点で運用されており、今後他の地点についてもCMT郵送システムから電話回線を利用した新システムへの移行が進められる予定である。

表-4.5に示す観測地点の中では、

- 北海道開発局 : 紋別, 留萌, 瀬棚
- 第一港湾建設局 : 秋田, 輪島, 酒田, 新潟沖
- 第二港湾建設局 : むつ小川原

で、この新システムが運用されている。

(3) 津波波形観測地点と解析対象観測時

地震直後12日23:30頃、リアルタイムシステム運用中の以下の観測地点においては、データ収集間隔を通常の2時間間隔から30分間隔に切り替えてデータ収集を実施した。波浪観測は標準的には1観測20分間のデータ収集

を0.5秒間隔で行うため、30分間隔の波浪観測は10分の間隔をあけてほぼ連続的にデータ収集をしたことになる。30分間隔の連続データ収集は13日7:00の観測(6:50から7:10までの観測)まで継続した(*は波向計による観測データが得られている地点である)。

- 北海道開発局 : 紋別(*), 留萌
- 第一港湾建設局 : 秋田(*), 輪島(*)
- 第二港湾建設局 : むつ小川原(*)

また、リアルタイムシステム運用中の下記の観測地点については、現地でのテレメータ装置の作動時間が固定されているため、通常通りの2時間間隔でのデータ収集を実施した。

- 第一港湾建設局 : 酒田, 新潟沖(*)

なお、震源に最も近い北海道開発局管内の瀬棚ではリアルタイムシステムを運用しているが、22:00に実施し

表-4.5 津波波形観測記録地点一覧表

観測地点名	観測項目	北緯	東経	水深(m)
瀬棚	η	42° 26' 31"	139° 49' 16"	-52.9
	U, θ	42° 25' 51"	139° 50' 11"	-20.0
留萌	η	43° 51' 50"	141° 28' 20"	-50.0
紋別	η	44° 24' 58"	143° 26' 00"	-52.0
	U, θ	44° 23' 14"	143° 20' 40"	-18.0
深浦	η	40° 39' 25"	139° 54' 37"	-49.6
秋田	η, P, U, θ	39° 44' 01"	140° 00' 38"	-29.5
酒田	η	39° 00' 21"	139° 47' 18"	-45.0
新潟沖	η, P, U, θ	38° 00' 07"	139° 07' 46"	-35.0
輪島	η	37° 25' 40"	136° 54' 19"	-50.0
	U, θ	37° 25' 35"	136° 53' 44"	-27.0
福井	η, U, θ	36° 12' 39"	136° 06' 44"	-21.3
浜田	η	34° 54' 07"	132° 02' 21"	-51.0
藍島	η	34° 00' 34"	130° 47' 36"	-20.7
むつ小川原	η	40° 55' 20"	141° 25' 40"	-49.0
	U, θ	40° 55' 02"	141° 24' 57"	-27.8

- η : 超音波式波高計(USW)による水位変動記録
(酒田では、ステップ式波高計(SRW-V)による記録)
- P : 海底面における水圧変動記録
- U, θ : 海底面における水平流速記録

た観測データは正常に取得されたものの、それ以後、現地の波浪計に異常が発生し、データは得られていない。

CMT収録方式で運用されている他の観測局では通常の2時間毎の観測により観測データが得られ、今回は以下の観測局で得られた観測データを対象として解析を実施した。

- 第一港湾建設局：福井（＊）
- 第二港湾建設局：深浦
- 第三港湾建設局：浜田
- 第四港湾建設局：藍島

このほか、秋田県港湾課および同県能代港湾事務所からデータ提供を受けた。この観測データは能代港沖合、北緯40度11分55.73秒、東経139度57分34.84秒、水深25.5m地点で超音波式波高計（USW）により観測された貴重な波形記録である。能代港湾事務所では、地震発生直後22:56に波高計の観測を連続観測に切り替えた。このため、第1波来襲前から翌朝に至るまで、連続した津波波形記録が紙送り速度0.5mm/sの記録紙に得られた。後述する図-4.32は、記録紙上の記録を港湾技術研究所において1秒間隔（0.5mm間隔）でデジタル化したものである。

（4）地点別観測波形記録

表-4.6は各観測地点・時刻別の観測波形をもとに長周期成分の各諸元の最大値をとりまとめたものである。津

波来襲時の波形記録の中には、津波による数十秒以上の長周期成分と、波浪による十数秒以下の短周期成分が混在している。ここでは波浪による変動を取り除き、津波による長周期成分を抽出するため、0.5秒毎に取得された生データに20秒間（プラスマイナス10秒づつ）の三角形数値フィルターをかけて解析した。

水位変動 η は各観測時間20分の間に記録された水位の最大値と最小値の差を意味している（m単位）。水圧変動Pは長周期波においては水位変動分がそのまま圧力変動として現れるため、水位変動と同様に水位の最大値と最小値の差として水頭に換算して示している（m単位）。なお、水圧計は、波向計として超音波式流速計と一対になっているタイプのもので、複合型波高計として超音波式波高計と一対になっているタイプのものである。しかしながら、前者は新潟沖を除いてはハイパスフィルターが組み込まれており、長周期成分をカットする構造となっているため、津波解析には不適当であり、表中には記入していない。

水平2成分流速のデータは、各観測時間20分の間に記録された流速の絶対値の最大値U（m/s単位）と、その時の流向 θ （16方位表示）を表-4.6に示している。表-4.6の右には、地点別に各項目の最大値を記載した。表-4.6からわかるように、輪島で最も顕著な津波が観測されている。輪島は能登半島の最北に位置し、地震の震源から遠く離れているものの、能登半島を取り囲む大陸棚

表-4.6 長周期波観測結果の諸元別最大値一覧表

観測地点	項目	7/22:00	7/27:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	最大
瀬棚	η	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05
	U	0.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07
	θ	WNW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	WNW
留萌	η	0.12	—	0.23	0.40	0.18	0.25	0.33	0.20	0.20	0.41	0.15	0.37	—	0.16	0.41
	P	0.06	0.07	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.12	0.10	0.12
	θ	NW	ESE	ESE	ESE	SSE	SE	NNW	SE	NNW	NE	ESE	WNW	SE	WSW	ESE
深浦	η	0.03	0.55	—	—	—	0.25	—	—	—	0.23	—	—	—	0.30	0.55
	P	0.06	0.17	0.26	0.34	0.38	0.25	0.28	0.29	0.18	0.20	0.24	0.21	0.20	0.20	0.38
	θ	S	WSW	E	E	ESE	E	NW	SW	ESE	WNW	E	WSW	WSW	E	SW
秋田	η	0.07	0.28	—	—	—	0.26	—	—	—	0.28	—	—	—	0.15	0.28
	P	0.14	0.39	—	—	—	0.32	—	—	—	0.21	—	—	—	0.16	0.39
	θ	S	WSW	E	E	ESE	E	NW	SW	ESE	WNW	E	WSW	WSW	E	SW
新潟沖	η	0.14	0.39	—	—	—	0.32	—	—	—	0.21	—	—	—	0.16	0.39
	U	0.03	0.14	—	—	—	0.15	—	—	—	0.06	—	—	—	0.05	0.15
	θ	WSW	NW	—	—	—	SE	—	—	—	NNW	—	—	—	NNW	SE
輪島	η	0.04	0.87	0.62	0.40	0.27	0.16	0.37	0.27	0.24	0.24	0.21	0.26	0.16	0.37	0.87
	U	0.02	0.35	0.29	0.17	0.19	0.23	0.16	0.23	0.13	0.09	0.10	0.12	0.07	0.15	0.35
	θ	SE	NW	NNW	N	NNW	NNW	S	NNW	NNW	SSE	NW	N	N	NNW	NW
福井	η	0.05	0.31	—	—	—	0.40	—	—	—	0.28	—	—	—	0.29	0.40
	U	0.02	0.06	—	—	—	0.13	—	—	—	0.08	—	—	—	0.05	0.13
	θ	SW	WSW	—	—	—	WNW	—	—	—	ESE	—	—	—	E	WNW
浜田	η	0.08	0.06	—	—	—	0.21	—	—	—	0.15	—	—	—	0.11	0.21
	P	0.05	0.03	—	—	—	0.07	—	—	—	0.13	—	—	—	0.10	0.13
	θ	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N
むつ小川原	η	0.08	0.09	0.25	0.09	0.14	0.07	0.06	0.16	0.05	0.05	0.08	0.07	0.08	0.06	0.25
	P	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	0.06
	θ	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N

超音波波高計 η : $\eta_{max} - \eta_{min}$ (m), 水圧式波高計 P : $P_{max} - P_{min}$ (m), 超音波流速計 U : U_{max} (m/s), 流向 θ : U_{max} 時 (16方位)

のために津波が屈折し、津波のエネルギーを集中させやすい地形となっているためである。

(5) 輪島の津波波形記録

図-4.10 は輪島における7月12日 21:50から22:10までの観測波形を表示したもので、津波来襲前の波形記録の一例である。上から順に水位変動 η (m)、流向流速のベクトル(上向きが北に向かった流れを表す)、流速の絶対値 U (m/s)、流向 θ (流れの上流側の方向)を示している。波高計および流向流速型波向計の設置位置は、表-4.5に示した通りである。

水位変動 η は短い周期の上下変動を示す風波で、変動幅は $\pm 0.5\text{m}$ 以下で比較的穏やかな海象条件であったことを示している。なお、図中には長周期成分を示すため、プラスマイナス10秒間の三角形型数値フィルターをかけた長周期波形を太線で表示したが、図-4.10の η の図中では長周期成分はほとんど見られず、太線と $\eta=0$ の線とはほぼ一致している。

流向流速のベクトル表示では5秒毎の流向流速ベクトルを示したが、図-4.10はほとんど流向流速ベクトルは表示されていない。なお図-4.25および図-4.26で後述するが、流向流速ベクトルの中には津波による変動成分のほかに、20分間の観測時間内で定常とみなせる潮流等の長周期成分が含まれているが、ここではこの定常成分の影響は除去し、20分間全体の平均流速を基準としてそれからの変動成分だけを表示している。

流速 U にも波浪による水粒子の往復運動による短周期の運動がわずかに見られるものの、その大きさは極めて小さい。図中の太線は η と同様に ± 10 秒間の三角形型数値フィルターをかけて長周期成分を示したものであるが、やはり顕著な長周期成分は見られないことがわかる。流向 θ は21:50~22:10では安定しておらず、E方向とW方向に短い周期でくりかえし変動している。これは水粒子の水平運動は主として周期の短い風浪による往復運動によるもので、長周期の流れが見られないことを意味している。

図-4.11は津波が来襲した際の観測記録の一例であり、図-4.10の2時間後、7月12日23:50~7月13日0:10の観測記録である。表-4.6からわかるように、この観測時刻の輪島港の津波波形は η 、 U ともに全観測地点・全観測時刻中最大の変動幅を示している。 η 、流速ベクトル、 U 、 θ とも顕著な長周期変動が現れており、津波波形が明確に観測されたことを示している。地震は北海道南西沖で7月12日22時17分に発生したが、図-4.11で示した輪島港の検潮記録では輪島港には23時50分ごろに津波の第1波

が到達しており、津波の到達初期に近い波形が取得できたものと考えられる。

図-4.11には2回の 0.3m/s 以上の顕著な流速が記録中に現れている。はじめのピークは23時56分ごろ発生し、この時の流向はS方向となっている。輪島港周辺の海岸線は東西方向にのび、南側が陸となっており、津波はN方向から来襲したと考えられる。したがって、この流れは津波の進行方向とは逆向きであり、この時の水位が平均水位より低い極小値を示していることから、津波の谷であったことがわかる。(厳密には、波高計と波向計の設置位置は同じではないが、津波の波長に比べてその距離は非常に小さく、波高計と波向計の津波の位相差は無視できる。)すなわち23時56分頃の津波は引き波であったことを意味している。

2番目の流速の顕著なピークは0時04分頃に発生している。この流向はN方向で、津波が押し波であったことを意味している。この時の水位はあまり顕著な極大値となっていないが、これは陸からの津波の反射波の影響がすでに現れているためと考えられる。波浪観測地点から海岸線までの距離は約3kmであり、平均水深を約20mと仮定すると、津波は波浪観測地点から海岸線に200秒強で届くものと推定される。引き波と押し波の時間差の2倍を津波の周期と考えれば、津波の周期は約960秒程度となり、この200秒強という時間は津波周期の約4分の1に相当する。したがって、波浪観測地点では入射してくる津波と海岸線で反射される津波が重複波を形成したと仮定すれば、観測地点は重複波の節近傍となり、水平流速は大きくなる一方で、水位変動はあまり顕著ではなく、図-4.11がうまく説明できる。

図-4.12は図-4.11に引き続き津波波形の観測記録を示したもので、7月13日0時20分~0時40分、0時50~1時10分、1時20分~1時40分の水位変動 η と流向流速ベクトルを示したものである。表-4.6を参照して図-4.12を見ると、今回の地震津波は減衰に長時間を要しており、翌朝に至るまで顕著な長周期波が観測されていることがわかる。

これは、日本海全域にわたる複雑な多重反射が起こっていたためであると推察される。図-4.12においても0時50分~1時10分の波形 η は、その後の1時20分~1時40分の波形に比べてより大きな変動を示しているものの、流速ベクトルの変動はむしろ後の方が大きな変動を示している。これは複雑な長周期の重複波の中で、波浪観測地点が重複波の腹に近い特性、あるいは節に近い特性を示したりする現象が繰り返して起こっていたことを示唆しているものと思われる。

(6) 他の観測地点の波形記録

図-4.13～図-4.19は輪島以外の観測地点の観測波形を示したもので、順に留萌、深浦、秋田、酒田、新潟沖、福井、浜田での観測記録を示している。なお、表-4.6で示したこれ以外の観測地点では、瀬棚で地震発生以降の波形が測得されておらず、また、紋別、むつ小川原、藍島においては津波波形が顕著ではなかったため表示を割愛した。

図-4.13は留萌の波形記録であり、上から順に7月12日21時50分～22時10分（地震発生前）、7月13日0時20分～0時40分、0時50分～1時10分、1時20分～1時40分、および

1時50分～2時10分の水位変動 η を示している。津波到達後の0時20分以後の波形記録中には顕著な長周期津波波形が現れているが、震源からの距離が輪島よりも近い地点であるにもかかわらず、図-4.11や図-4.12の輪島の変動よりも小さく現れている。これは積丹半島等による遮蔽の影響や海底地形の影響によるものと考えられる。ただし、留萌での津波第1波の到達時刻は0時20分よりも前であり、図-4.13は必ずしも最大の水位変動を記録しているわけではないことに留意する必要がある。なお、留萌においても津波はなかなか減衰せず、複雑な長周期波が2時20分以後も継続して見られる。

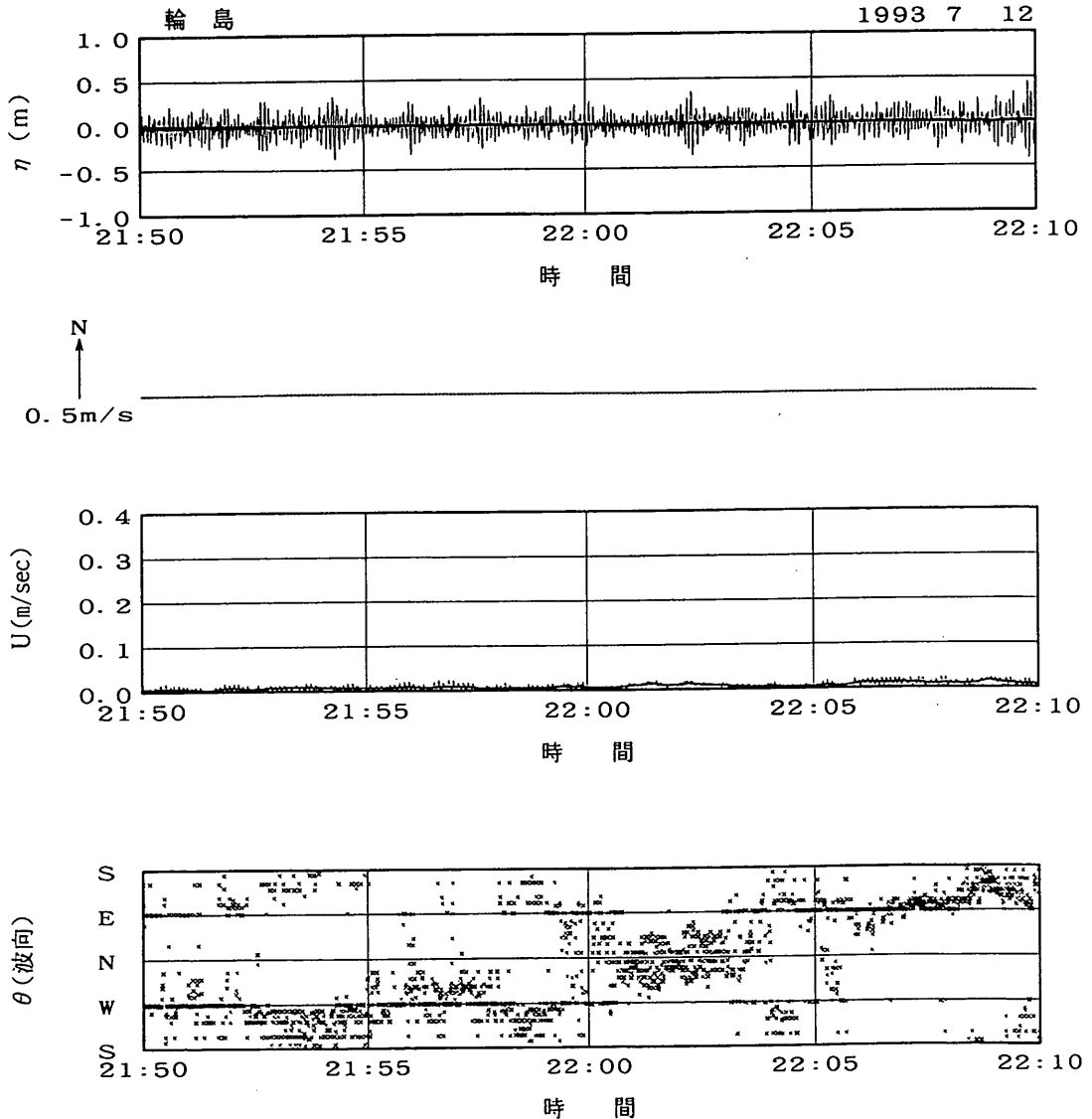


図-4.10 輪島港における波形記録1（津波来襲前）

図-4.14 は深浦の波形記録を示したもので、上から順に7月12日21時50分～22時10分（地震発生前）、12日23時50分～13日0時10分、1時50分～2時10分、3時50分～4時10分、5時50分～6時10分の水位変動 η を示している。深浦では通常と同じ2時間毎に観測が行われたため、図-4.13 とは各観測毎の時間間隔が大きく異なっている。深浦においても津波第1波目の来襲は23時50分より早く、第1波来襲時の波形は取得できなかったが、23時50分～0時10分の観測記録中の長周期成分 η の変動幅は、輪島に次ぐ55cmを示していることがわかる。これは、深浦は震源に比較的近い観測地点で、半島等による遮蔽も

ないことによるものであると考えられる。津波波形は翌朝6時00分になってもまだ顕著に見られ、日本海での複雑な多重反射のため、津波の減衰に長時間を要したことが示されている。

図-4.15 は秋田の波形記録を示しており、上から7月12日 21時50分～22時10分（地震発生前）、12日23時50分～13日0時10分、0時20分～0時50分までの水位変動 η と流向流速ベクトルを示したものである。図-4.11と図-4.12の輪島の記録ほど顕著ではないものの、23時50分以後は水位変動 η と流向流速ベクトルの両者には顕著な津波による長周期成分が見られる。なお、21時50分～22時10

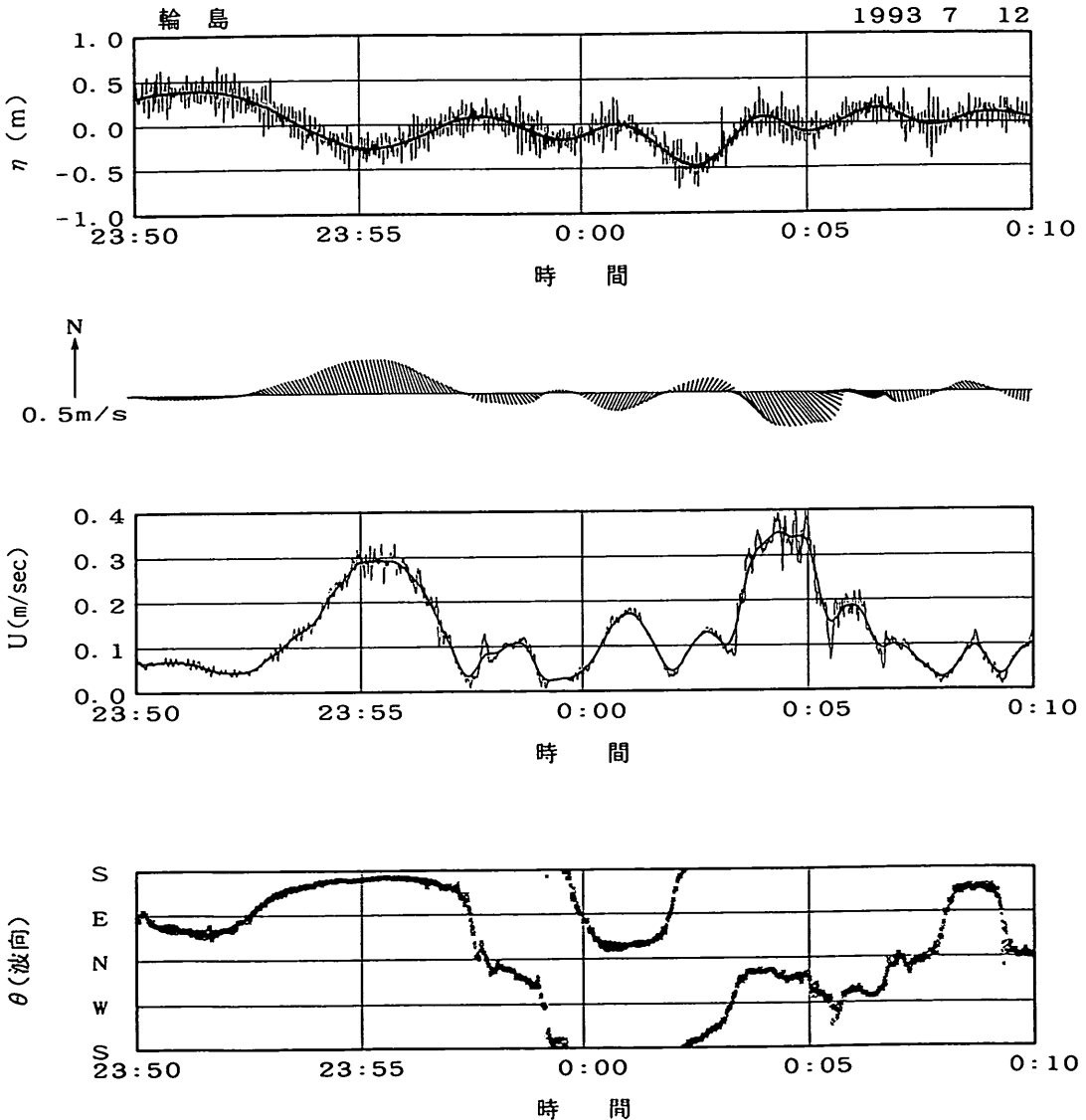


図-4.11 輪島港における波形記録2（津波来襲後）

分にかけて流向流速ベクトルにゆっくりした変化が見られるが、これは地震発生前であるため、津波によるものとは考えにくい。

図-4.16 は酒田の水位変動 η を示したもので、観測時

刻は図-4.15 の深浦と同じである。酒田の観測記録は深浦より変動幅が小さいものの、翌朝6時00分の観測まで顕著な津波波形が観測されている。なお、酒田の波浪観測データは次に示す図-4.17 の新潟沖と同様に沖合いに

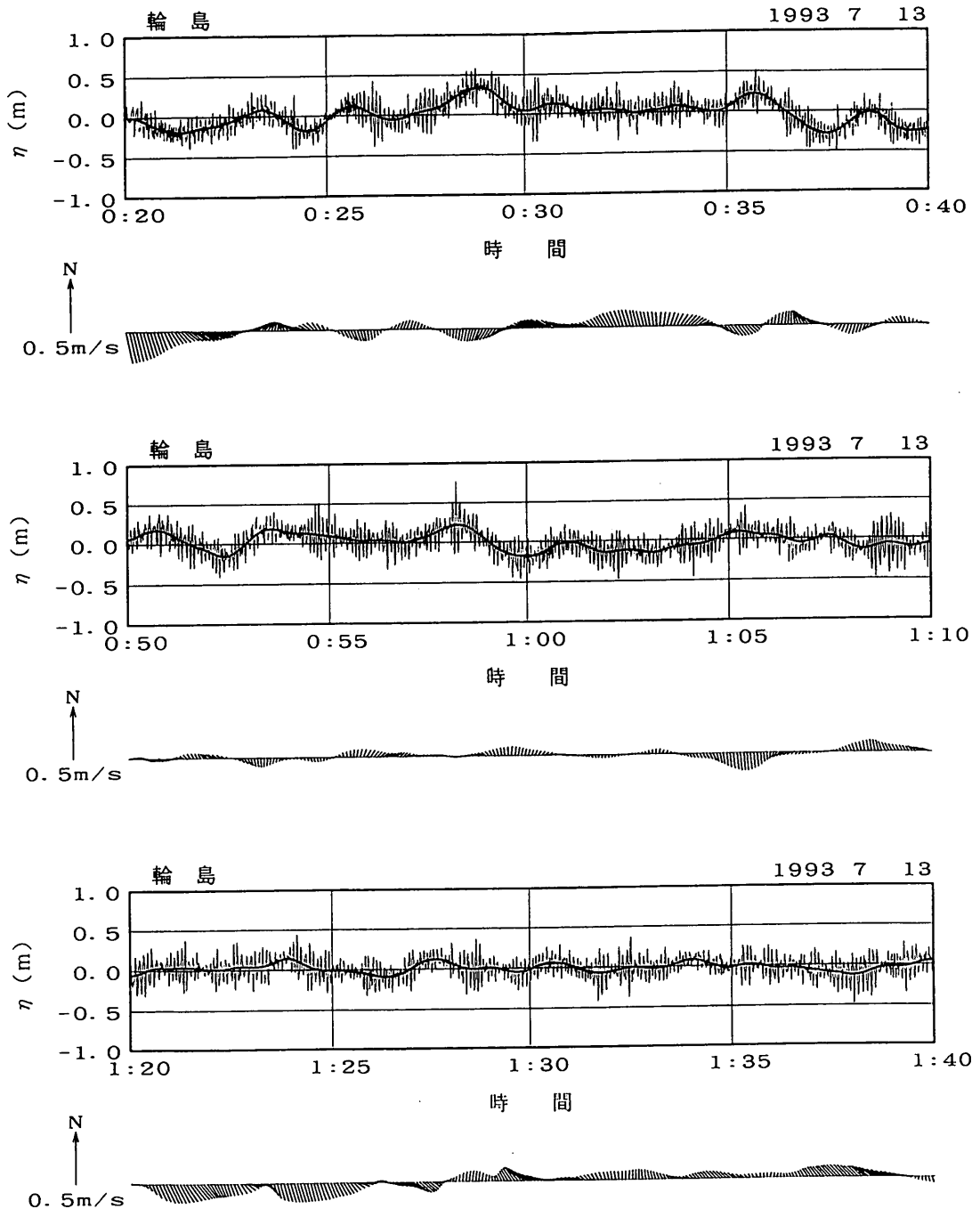


図-4.12 輪島港における波形記録3 (津波来襲後続き)

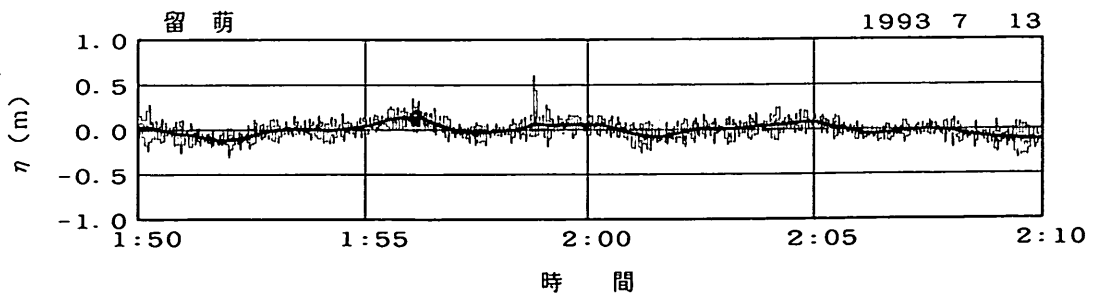
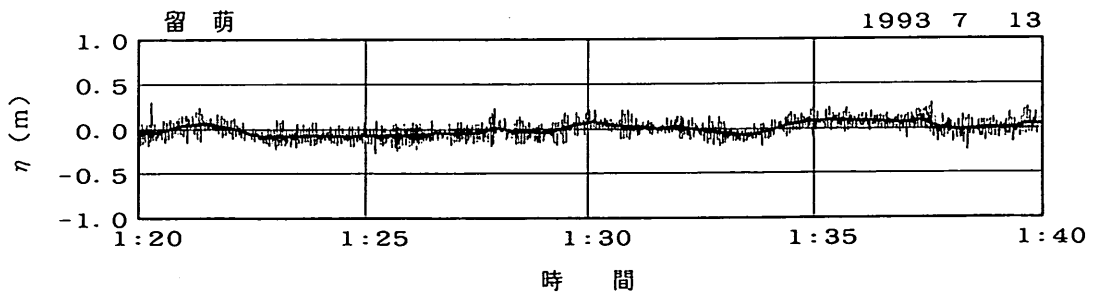
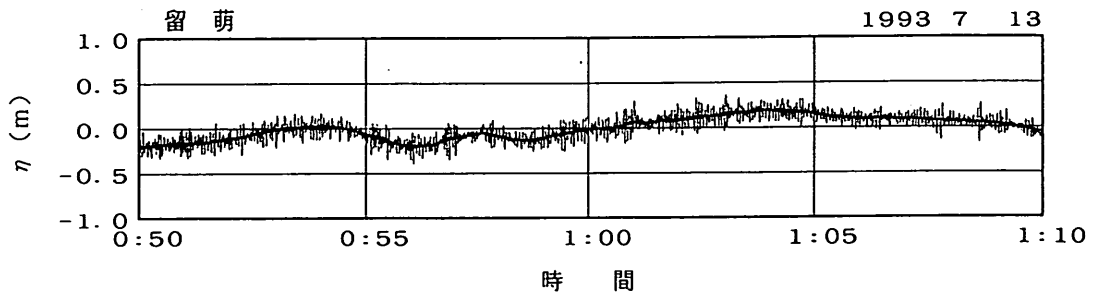
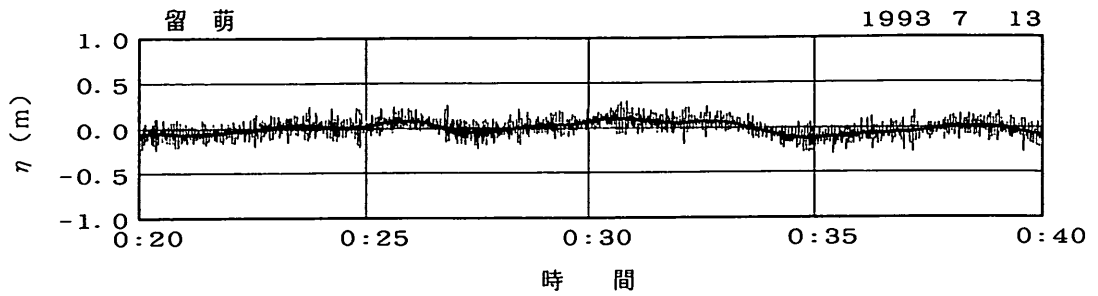
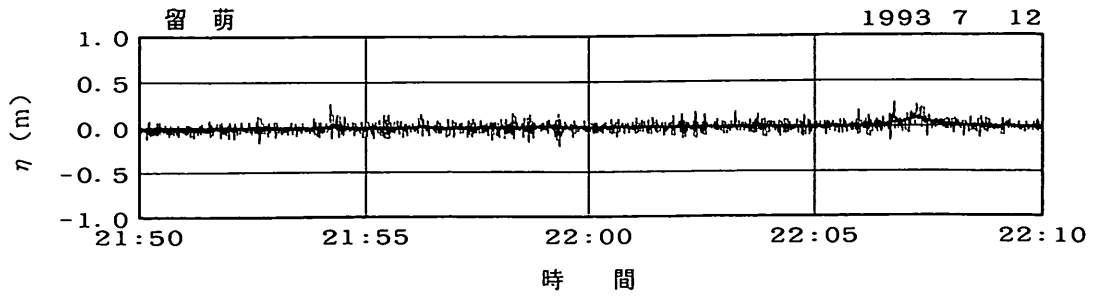


図-4.13 留萌港における波形記録

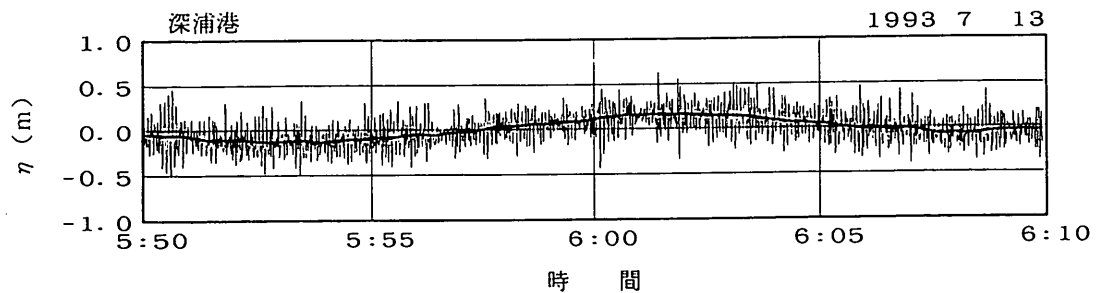
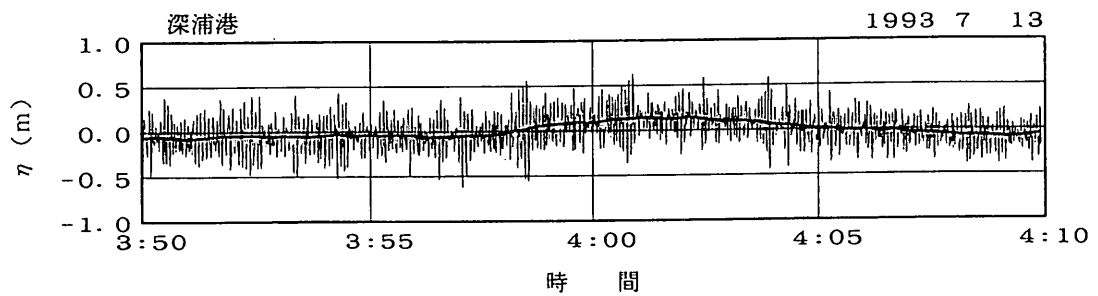
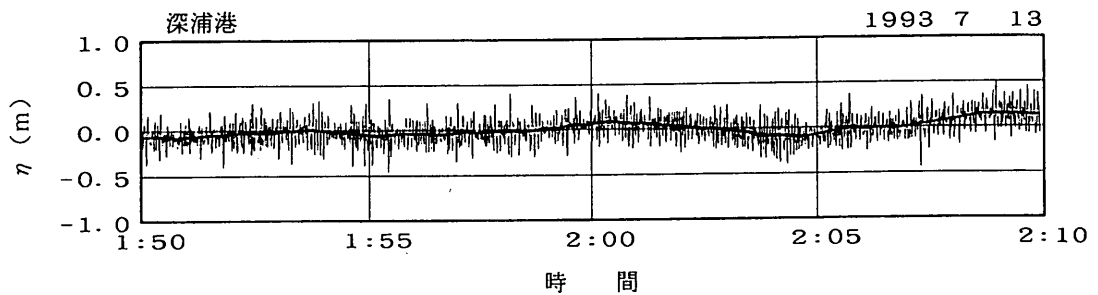
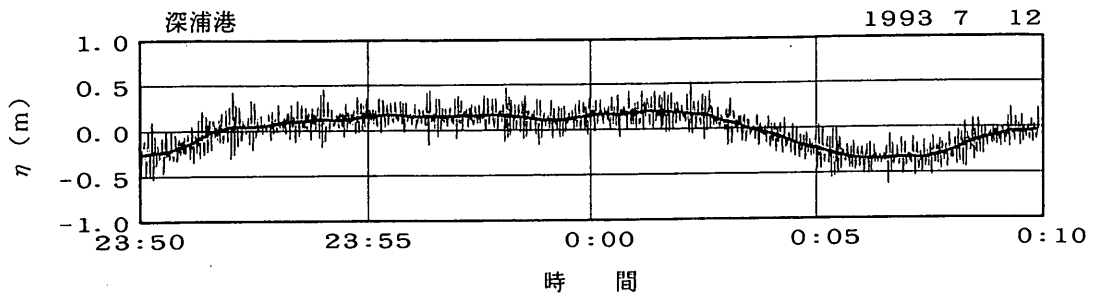
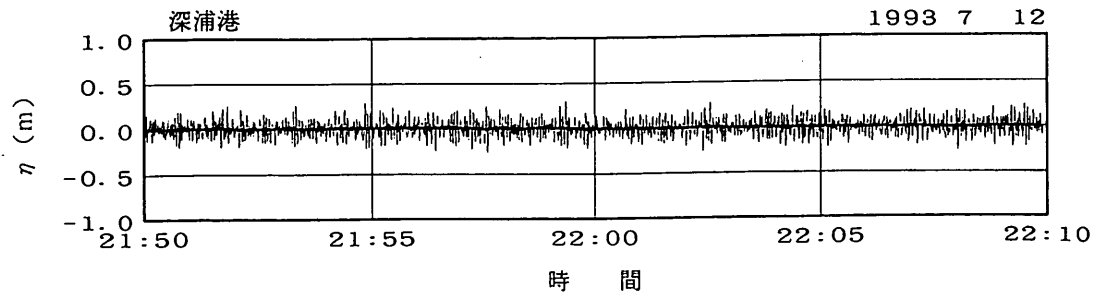


図-4.14 深浦港における波形記録

設置されたタワーから陸上局まで無線でデータが伝送されている。ここではバッテリーの容量に応じて（バッテリー交換作業の頻度をあまり多くできないため）波浪計の電源投入時間が限定されている。このため1回の観測時間は20分間よりも若干短く設定されており、各図中の

右側のデータが一部欠落している。

図-4.17 は新潟沖の水位変動 η と流向流速ベクトルを示したもので、7月12日21時50分～22時10分（地震発生前）、7月12日23時50分～13日0時10分および1時50分～2時10分の波形記録を示している。これを図-4.15 の秋田

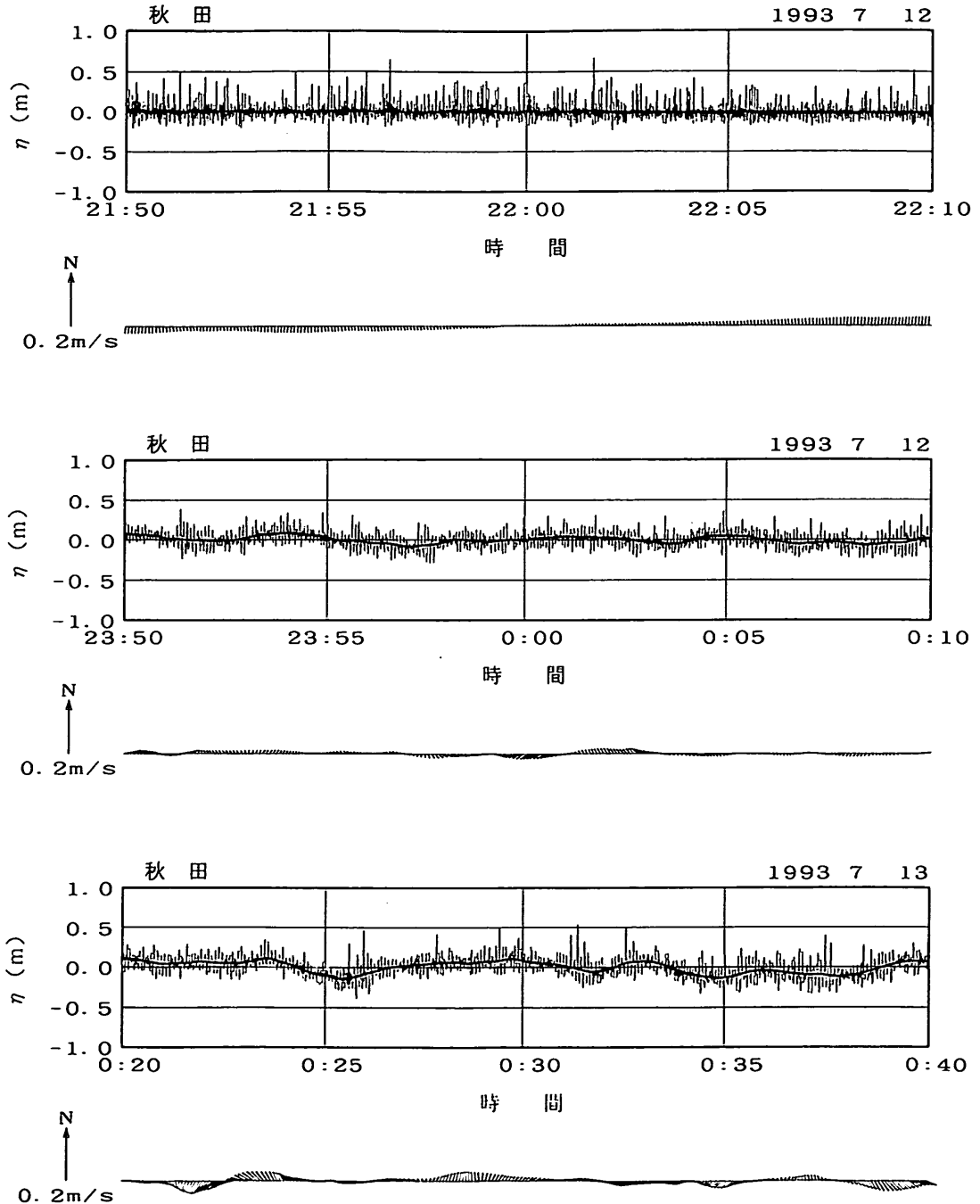


図-4.15 秋田港における波形記録

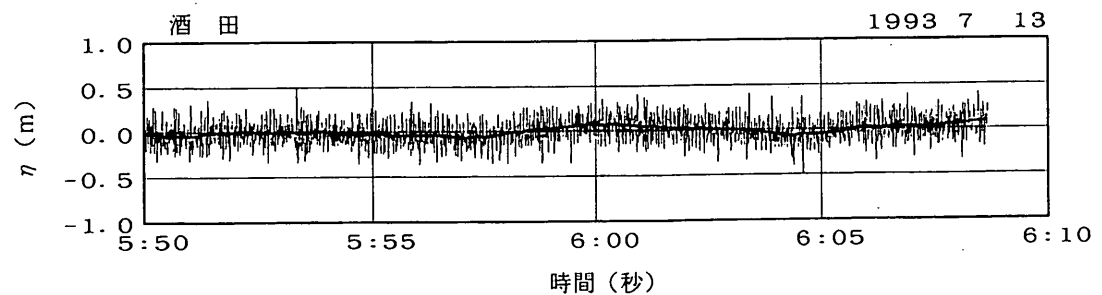
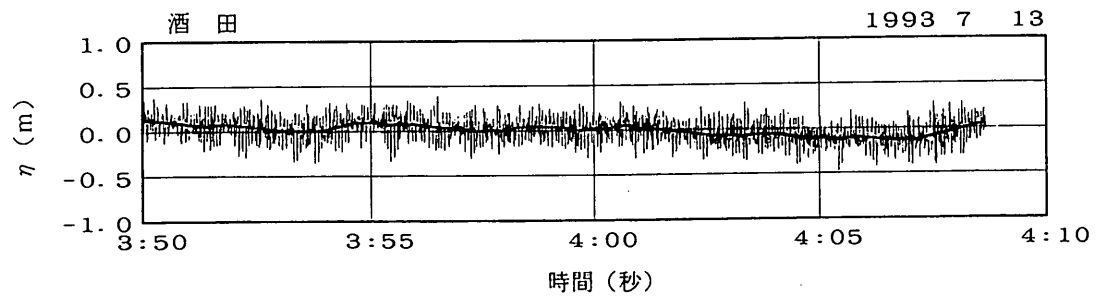
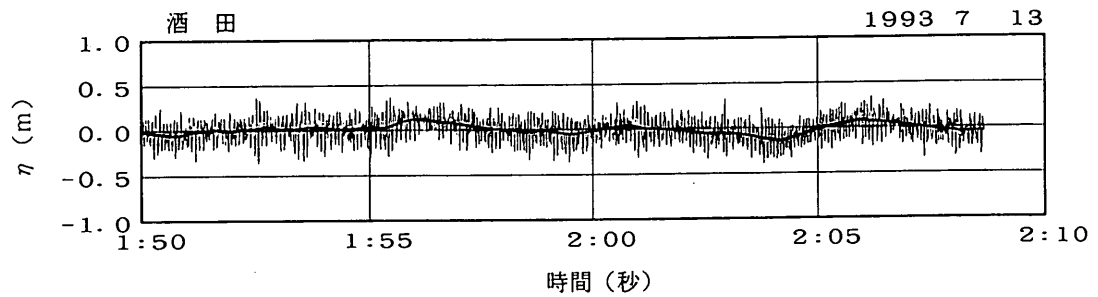
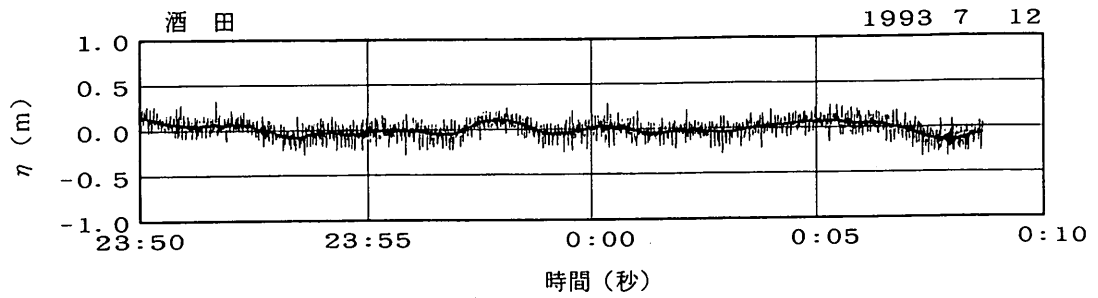
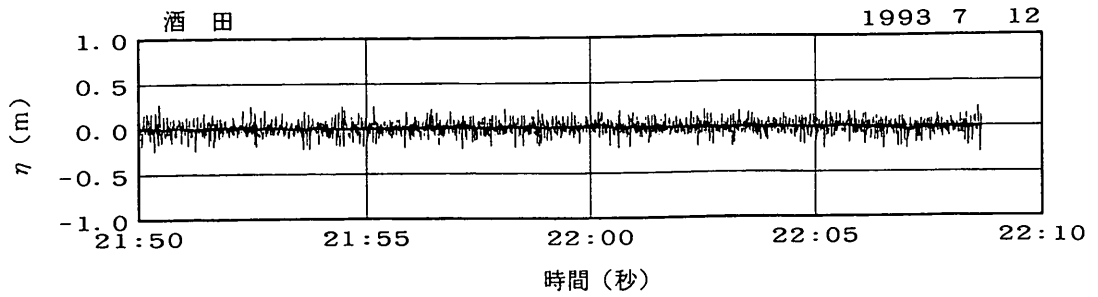


図-4.16 酒田港における波形記録

の記録と比較すると、震源からより離れた新潟沖の方が、 η 、流速とも変動が大きくなっており、新潟沖の方が秋田よりも津波の影響が大きく現れていることがわかる。波浪計の設置水深は表-4.5 や表-4.6 に示すように、秋田

で29.5m、新潟で35mと大差がないことを考えれば、男鹿半島による遮蔽の影響や、信濃川や阿賀野川河口部に位置し新潟沖前面は比較的大陸棚が突き出している影響などの海岸線や海底地形の影響が津波の大きさを大きく

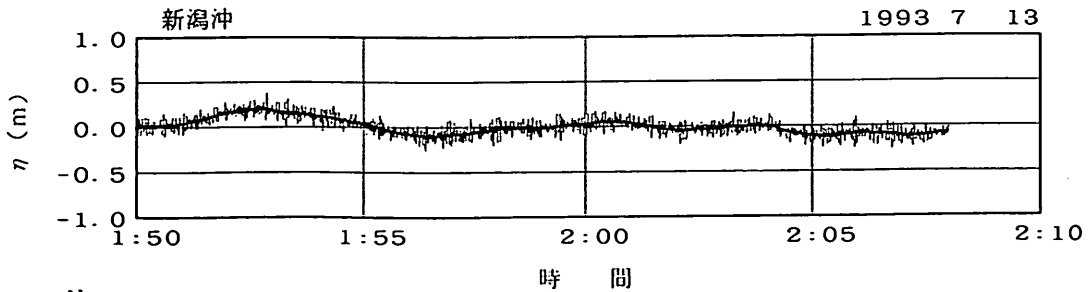
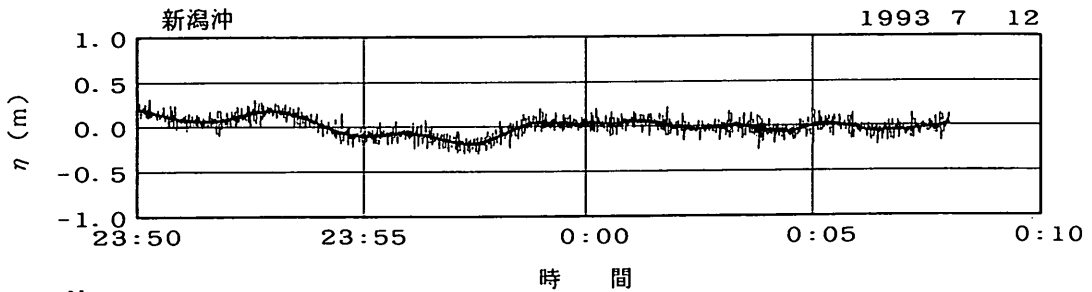
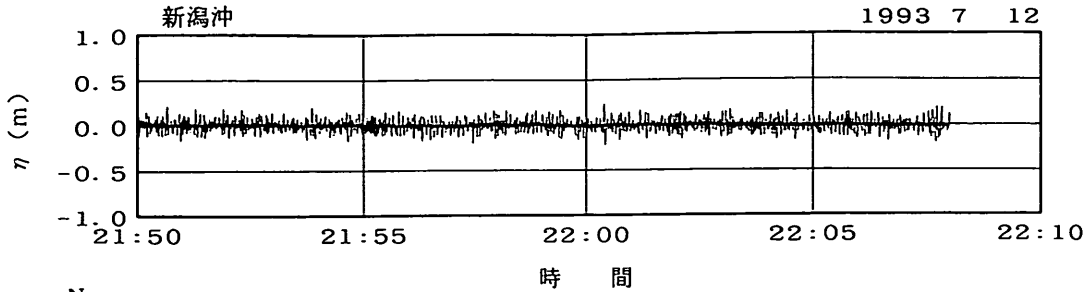


図-4.17 新潟沖における波形記録

変化させたものと推測される。

図-4.18は福井港の波形記録を示したもので、観測時刻は図-4.17の新潟沖と同じである。水位変動と流向流速ベクトルの形状および福井港検潮記録の津波の到達状

況から判断して、津波の第1波の波形が23時50分～0時10分の記録中に現れていると考えられる。福井港においては本報告で示した他の観測地点と比較して、風浪が若干高くなっているため、 η の記録には津波波形があまり顕

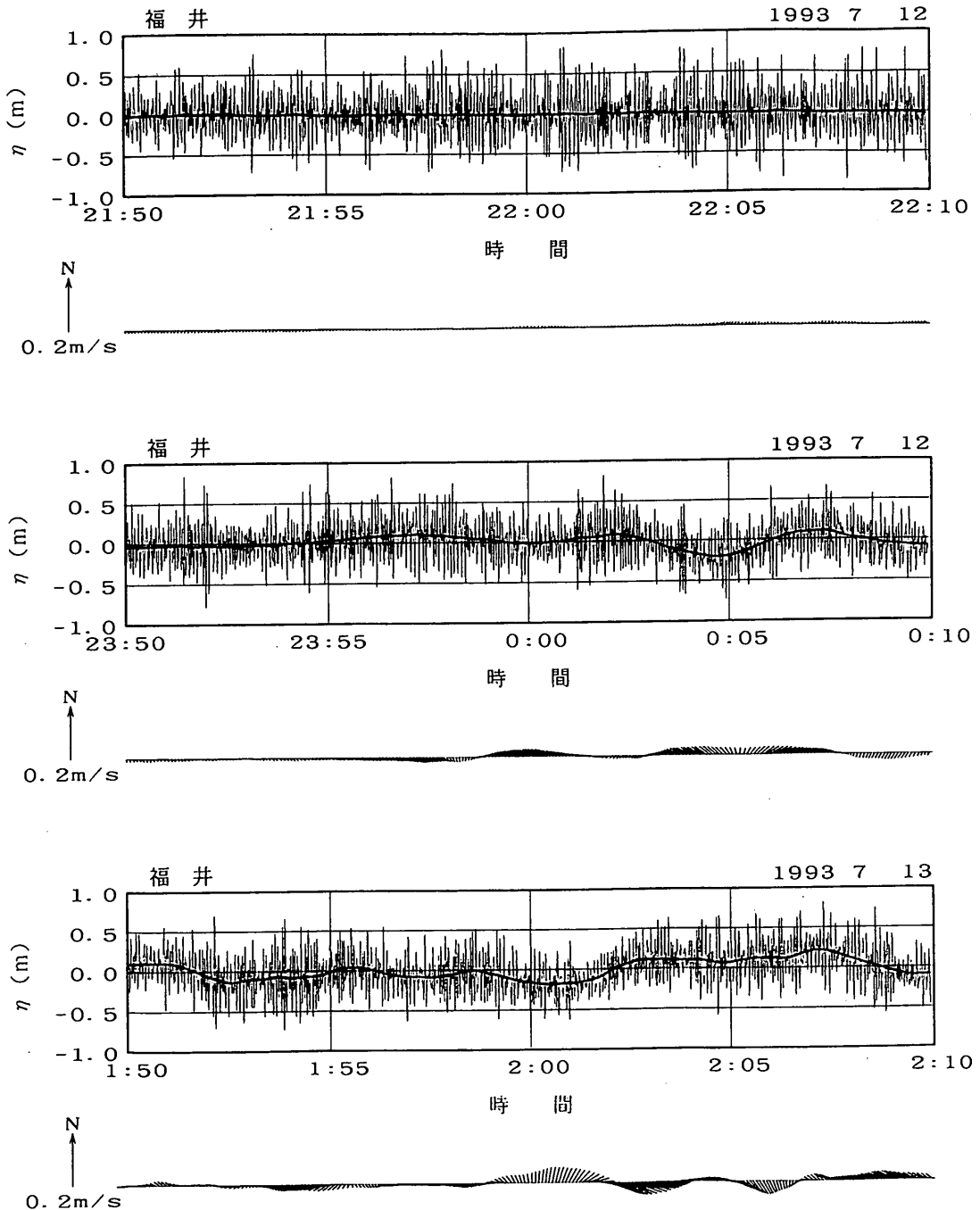


図-4.18 福井港における波形記録

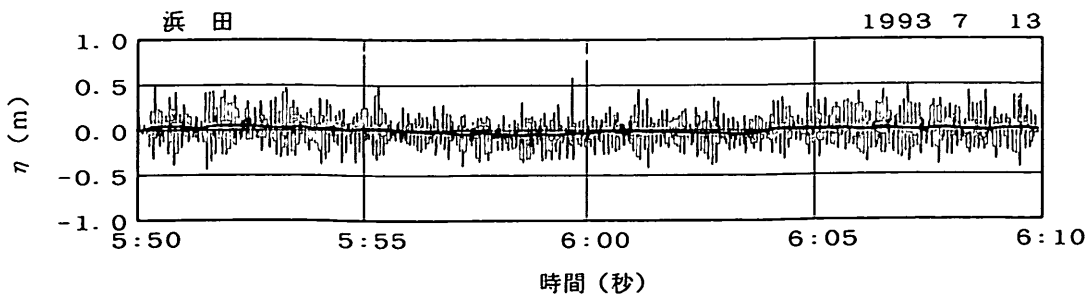
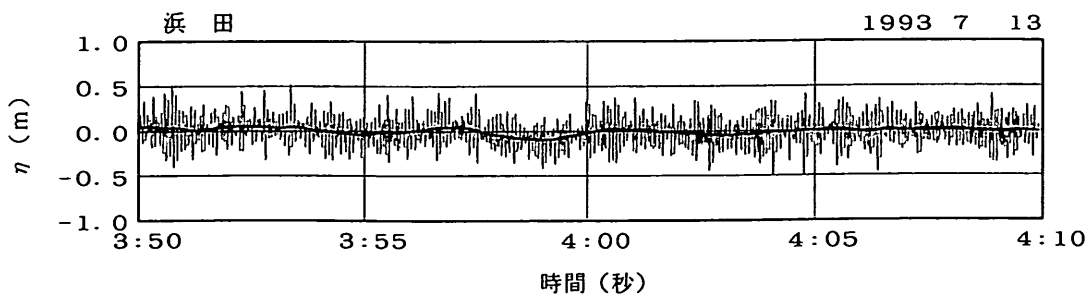
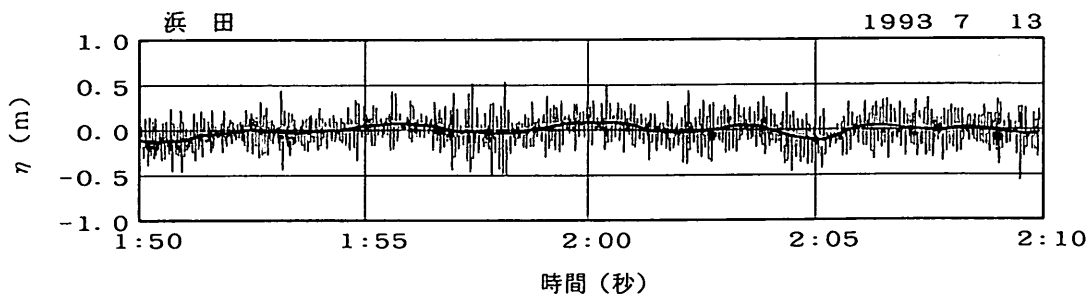
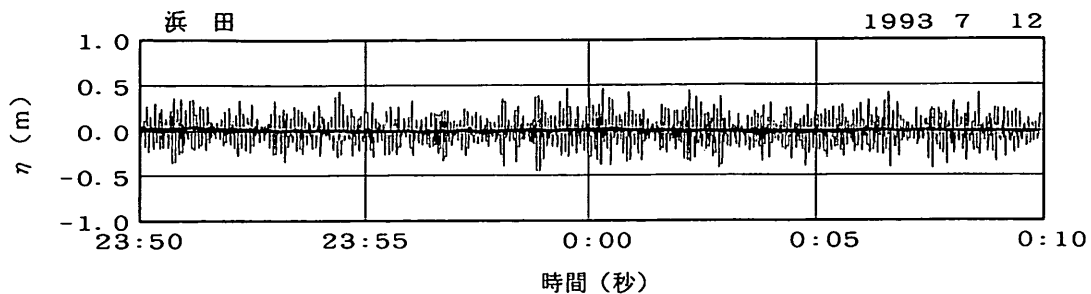
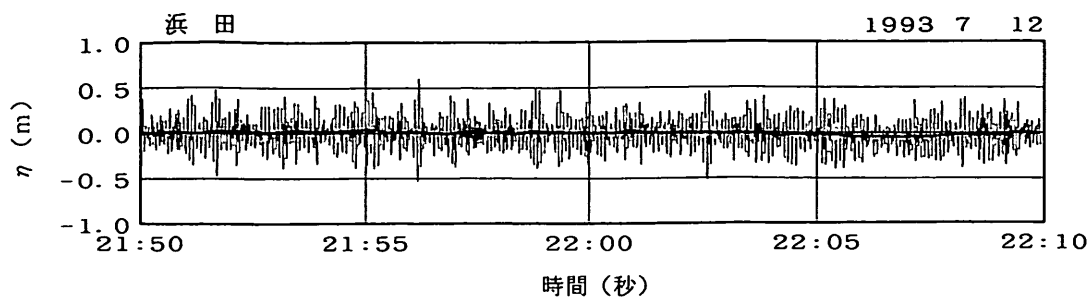


図-4.19 浜田港における波形記録

著には識別されず、太線の数値フィルター処理後の波形によってはじめて津波の形状が明確に示されている。しかしながら、流向流速ベクトル図では津波の記録がより鮮明に現れている。

第1波目の到達時刻は、津波による水位変動があまり大きくないため、図からは必ずしも明確に示すことはできない。23時55分ごろから23時59分ごろにかけて η が10cmほど上昇しており、また同時に北西から南東に向かつての沖から岸に向う流れが観測されており、図-4.11に示した輪島港の波形記録と同様に、福井港においても弱

い押し波から津波がはじまった模様である。津波による最大水位変動や最大水平流速が発生した時刻は0時10分以後であり、1時50分から2時10分までの観測の方が、23時50分から0時10分までの観測よりも水位変動・流速ともに大きい変動が観測されていることは興味深い。

図-4.19は浜田港における波形記録を示したもので、深浦港、酒田港と同様に2時間毎の20分間の水位変動 η を示したものである。浜田港では7月12日23時50分～13日0時10分までの観測中には津波波形は現れておらず、第1波の到達は0時10分以後となっており、第1波の波

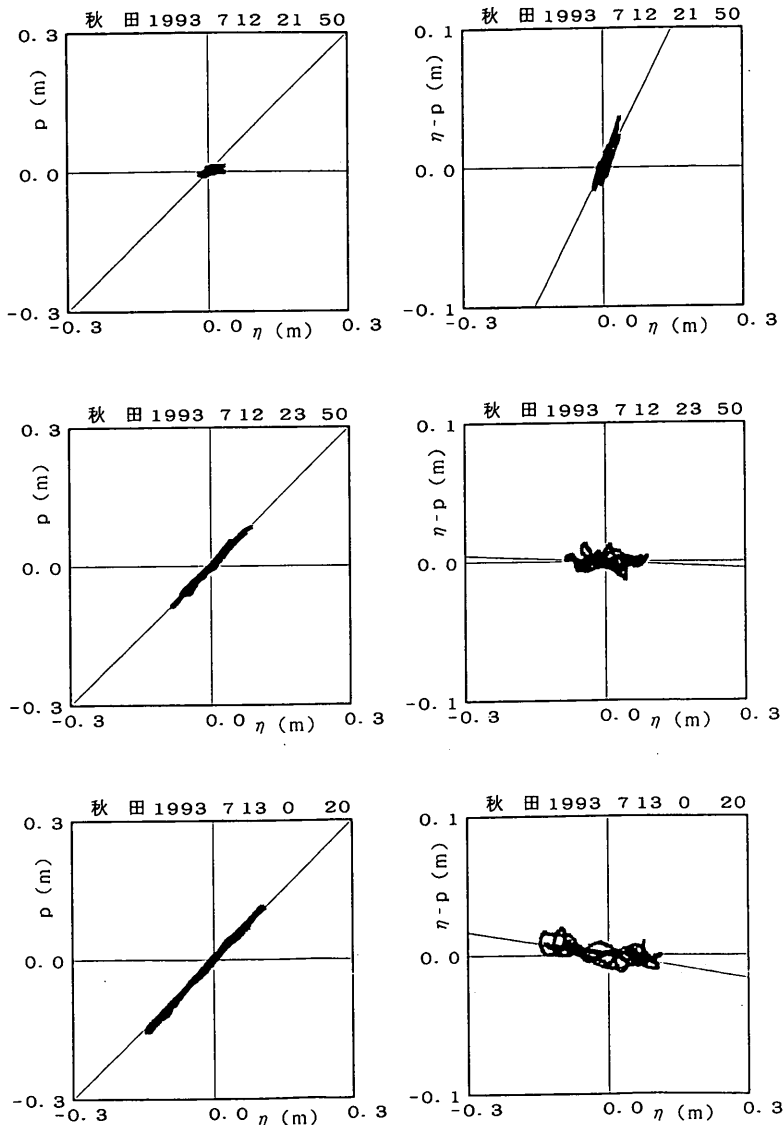


図-4.20 水面変動と水圧変動の比較1 (秋田港)

形は測得されていない。1時50分以後の波形中には、風浪よりも振幅はかなり小さいものの10~20cm程度の津波による長周期成分が現れている。

(7) 水位変動と水圧変動

図-4.20は秋田港で測得された7月12日21時50分~22時10分(地震発生前), 12日23時50分~13日0時10分, 0時20分~0時40分の各観測時の水位変動 η と海底面での水圧変動 P との関係を示したものである。水圧変動 P は海水の単位体積重量を考慮して水頭差(m)に換算した値

を表示しており、 η と P は同じm単位になっている。左側の図は η を横軸、 P を縦軸にとっており、 η と P に±10秒間の三角数値フィルターをかけた後の長周期波成分をプロットしたものである。図中には長波の微小振幅波理論上の関係式 $\eta = P$ の線もあわせて表示している。

一方、右側の図は縦軸を η のかわりに $(\eta - P)$ とし、スケールを3倍に拡大して表示したものである。図中の斜めの直線は、最小自乗法で求められた原点を通過する回帰式を示している。

津波来襲前の上段の図を見ると、 η 、 P ともほとんど

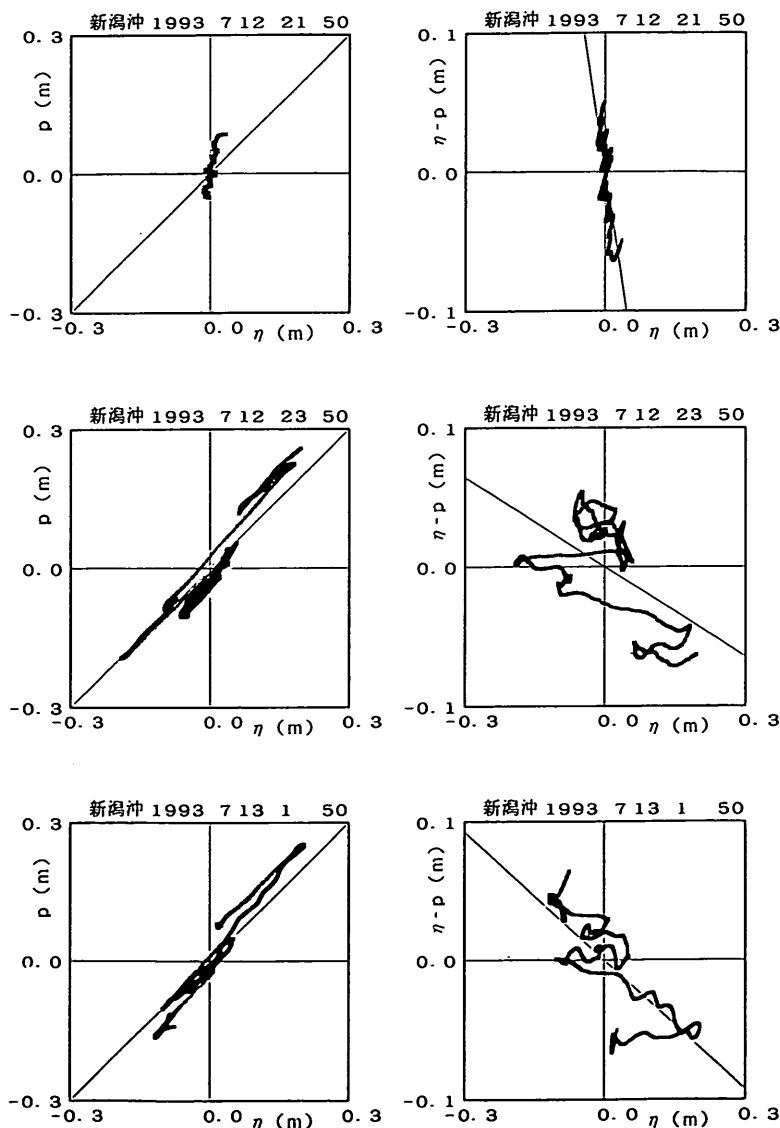


図-4.21 水面変動と水圧変動の比較2 (新潟沖)

原点付近にデータが集中し、長周期成分の変動はほとんど見られない。 η とPを比較すると、 η の方がPより大きい変動を示しており、右側の $(\eta - P)$ の図では回帰式の直線は右上りになっている。

津波来襲後の中段および下段の左側の図を見ると、両者の関係は $\eta = P$ の直線上に乗っている。このため右側の図では $(\eta - P)$ はほとんど0の値を示しているが、詳細には $(\eta - P)$ は η に対してやや右下りの回帰直線上に乗っている。

これは η とPは長波の微小振幅波の理論に従い $\eta = P$ の関係がほぼ成り立っているものの、津波来襲後は来襲前とは逆転して η が正のときは $\eta < P$ 、 η が負のときは $\eta > P$ となり、 η よりもPの変動がわずかに大きくなっている。

図-4.21は新潟港の η とPの関係を図-4.20と同様にとりまとめたものである。津波到達前の上段の図を見ると η はほぼ0に近い値となっているのに対し、Pは ± 5 cm程度の変動を示し、このため上段右側の図は $\eta = 0$ の上下方向の軸上にデータが集まっている。津波来襲後は $\eta = P$ の関係をほぼ満しているが、 $(\eta - P)$ と η との関係はやはり右下りの回帰直線上に乗っており、 η より

もPの変動がわずかに大きくなっている。

こうした図-4.20および図-4.21に示される長波の η とPの関係は非常に興味深く、今後の検討が期待される。

(8) 水面変動と水平流速

図-4.22は表-4.6に示された各観測地点・観測時における η とUの関係を図化したものである。縦軸には表-4.6に示した各観測時間20分間の最大流速をとり、横軸には表-4.6に示した η の値から長波の微小振幅波理論より計算した水平流速をとっている。図中には秋田港、新潟沖、輪島港、福井港の各波浪観測地点で得られた23時50分～0時10分の観測から5時50分～6時10分の全ての観測値に関して、 η とUの関係をプロットしている。

津波が進行波として長波の微小振幅波理論で示される波形を有していれば、データは図中の45°の傾きを持った太線の上にプロットされるはずである。しかしながら、データは各観測地点ごとに、あるいは各観測時ごとに太線の上下方向に大きくばらついている。これは、今回観測された津波の波形は進行波としては説明が出来ず、重複波としての性質を有しているためと考えられる。すなわち観測地点がちょうど重複波の腹の地点にあれば、水

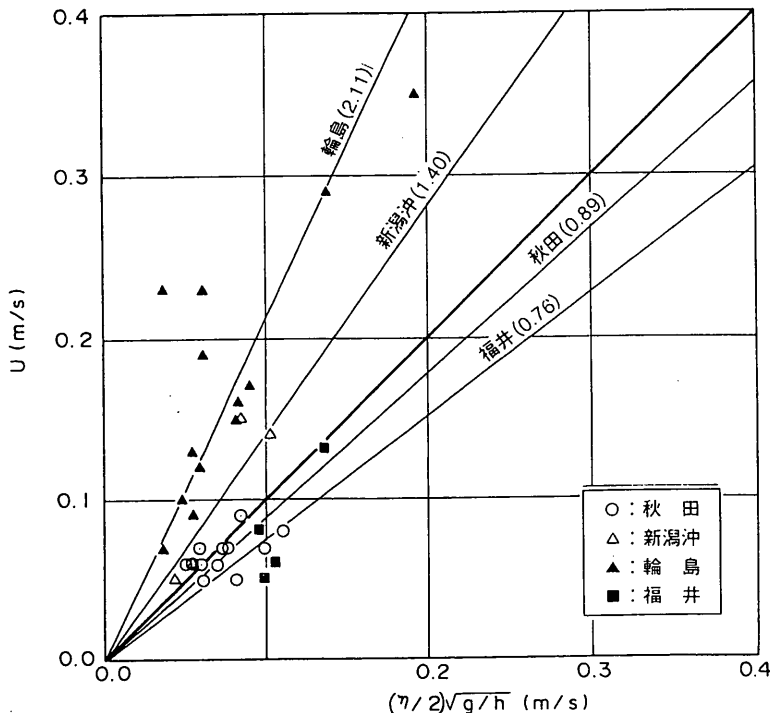


図-4.22 水面変動と水面流速

粒子は水平には動かず鉛直方向に運動するため $U=0$ となり、図の横軸上に U と η の関係がプロットされる。逆に重複波の節にあれば、水面は上下には変動せず、水粒子は水平方向に運動するため、 $\eta=0$ となって図の縦軸上に U と η との関係がプロットされる。

今回の津波の場合減衰が緩やかで、顕著な津波波形が各観測地点で長時間測得されたことから、日本海全域に及ぶ複雑な津波の多重反射が形成されたと考えられる。このため、同じ地点でも時刻によっては多重反射モードの重複波の腹に近い位置となり、別の時刻には別のモー

ドの重複波の節に近い位置となることも十分に考えられる。このため例えば図-4.22 に示す秋田では、最小自乗法で回帰係数を求めた係数は0.89で太線の下側に位置し、重複波の腹に近い性質を示す観測時刻が多いものの、観測時刻によっては太線より上側に白丸が見られている。

このように、図中のプロットの分布状況を地点ごとに見れば、明確な相違を読み取ることができる。最も端的な例が輪島港と福井港である。輪島港の観測値は全ての観測時刻で太線よりも上側に位置し、回帰係数は2.11で

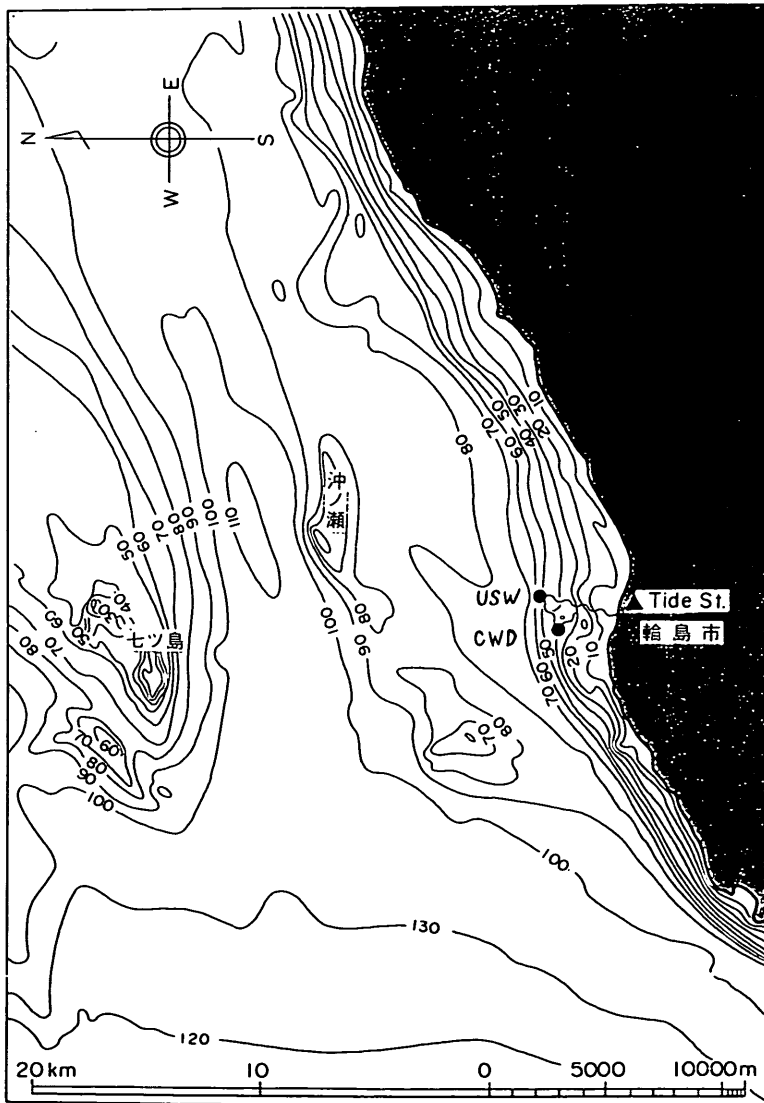


図-4.23 輪島港沖合海底地図

ある。一方、福井港ではすべてのデータが太線よりも下側に位置し、回帰係数は0.76となっている。これらの点については、以下のように解釈できる。

図-4.23は輪島港の波高計と波向計の位置を周辺の海岸線形状と海底地形とともに示したものである。波高計と波向計は比較的近くに位置し、海岸線までの水平距離はどちらも約3kmとなっている。図-4.11で前述したように、津波の周期を約960秒とし、観測地点と沿岸線までの間の平均水深を20mと考えれば、200秒強で津波は観測地点から沿岸線に届くことになり、海岸線から約

1/4波長離れた地点に波浪観測地点が位置していることになる。海岸線を波の反射面と考えれば、波浪観測地点は重複波の節に近い地点に位置することになり、これは図-4.22に対応している。

ただし、図-4.23あるいは前述した表-4.6に示されたように、輪島では他の観測地点とは異なり、 η とUの測定水深がそれぞれ50m、27mと異なっている。すなわち、図-4.22の横軸に示される η から計算される流速は水深50mでの流速であるため、水深27mでは浅水変形の影響のためより速くなることが予想される。Uは η と $h^{-1/2}$ の

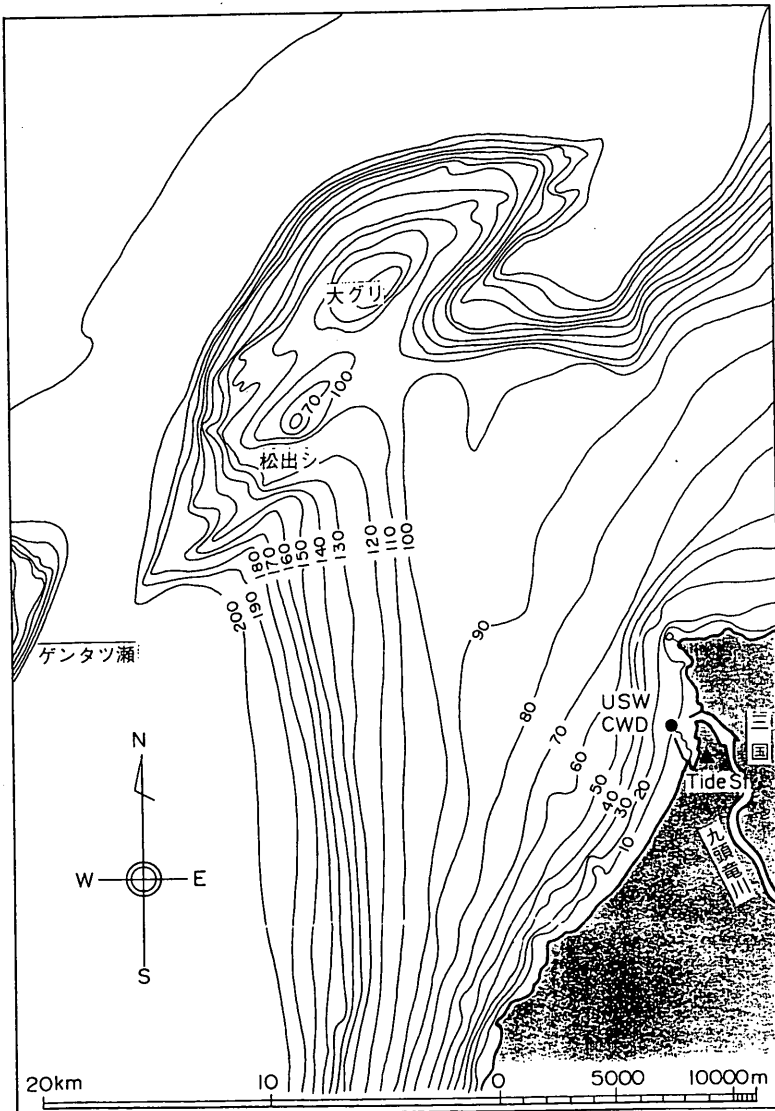


図-4.24 福井港沖合海底地図

積に比例し、 η はグリーンの式から $h^{-3/4}$ に比例するので、 U は $h^{-3/4}$ に比例する。したがって、 $h = 27\text{m}$ での U は $h = 50\text{m}$ での U の 1.58 倍になると計算される。そこで、図-4.22 の輪島の横軸と縦軸の比例係数 2.11 は水深の差による影響を考え、1.58 で除して、1.34 と評価する方がより適切であると思われる。もっとも、このように考えても依然として比例係数は 1.0 よりも大きく、輪島港の波形は進行波よりも重複波の節に近いものであると推察される。

一方、図-4.24 は福井港の観測点の位置を図-4.23 と同

じ縮尺の海底地形図中に示したものである。図-4.23 と図-4.24 を比較すると、福井港の波浪観測地点は輪島に比べて港の防波堤や護岸近くに位置している。これは図-4.22 に対応しており、福井港で観測された津波波形は重複波の腹に近い性質を示しているものと推察される。

(9) 水粒子の運動変位

図-4.25 は輪島港の海底水粒子の水平運動を示したものである。各観測開始時刻の位置を原点にとり、 X 方向

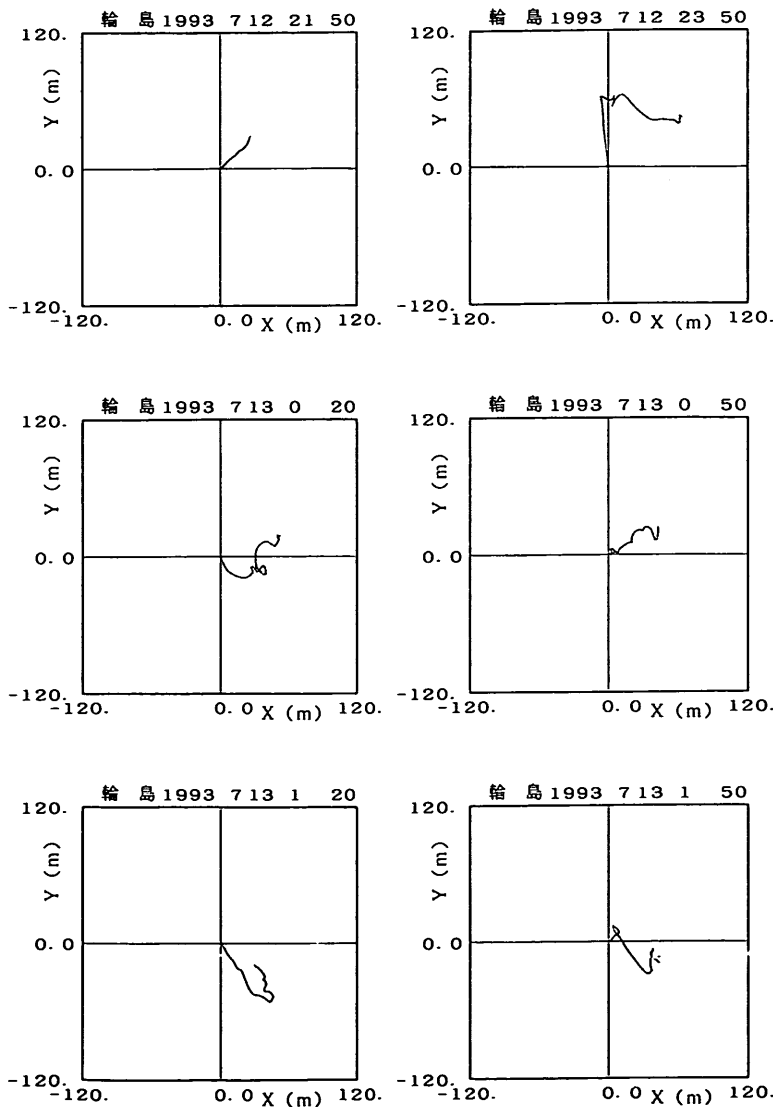


図-4.25 輪島港における海底水粒子の水平運動 1 (定常成分補正前)

(東を正とする方向) およびY方向 (北を正とする方向) それぞれについて流速の値を時間積分して求めた水粒子の変位を示したものである。すなわち、20分間の各観測で水粒子の初期位置を原点とし、20分間に図に示すような変位の軌跡を描いたことを意味している。

地震発生前の21時10分までの観測を示す左上の図を見ると右上の方向、すなわちNE方向に20分間の間、ほぼコンスタントに流れる定常流が存在していることがわかる。20分間の移動距離は約40mであるので、この定常的な流れの流速は約3cm/sということになる。

津波到達後の図を見ると、各観測の開始時刻と20分後の観測終了時刻の水粒子の位置は、どの図も40m程度異なった位置となり、津波来襲前から見られた定常的な流れが存在していることを示唆している。

ここで初期位置を基準とし、20分後の最終的な位置に到る変位を津波による流れとは別の定常的な変位と仮定する。もちろん津波の波形は複雑で、津波の周期の整数倍が20分間となっているとは限らないが、この定常的な流れの方向を各観測時について調べると、X方向には各観測時を通じてほぼ一定速度で西から東へ向かう流れが

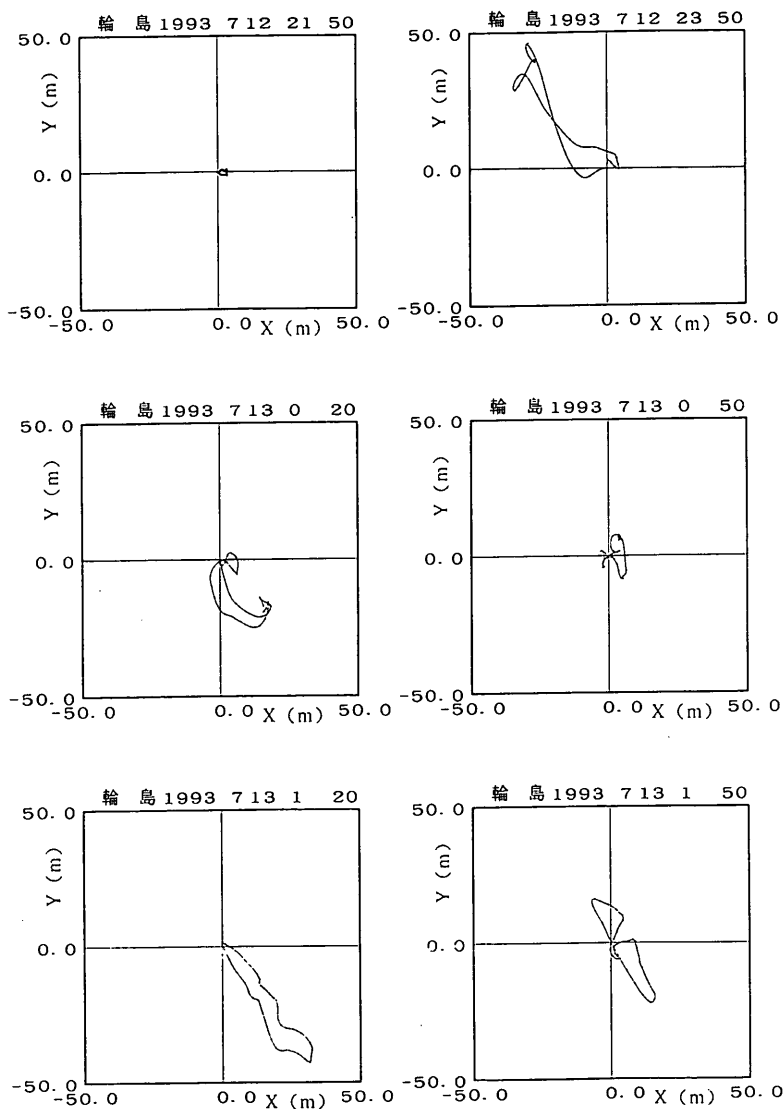


図-4.26 輪島港における海底水粒子の水平運動2 (定常成分補正後)

存在し、Y方向には0時50分からの観測と1時20分からの観測の間に流れの方向が逆転し、0時50分からの観測以前は南から北へ流れ、1時20分からの観測以後は北から南へ流れとなっている。

この日の輪島港の潮位を気象庁刊行の潮位表で見ると、0時51分に干潮時刻となっていることを考えれば、Y方向（南北方向）の定常的な流れは、潮汐にともなう流れであること推察される。すなわち、干潮時刻以前は潮位は低下しているため、海水の流れは岸（南）から沖（北）へ向かい、干潮時刻以後は上昇しているため、逆に北から南へ向かうこととなり、図-4.25をよく説明している。一方、X方向（東西）の定常的な流れについて

は原因は明かではないが、各観測時刻に共通してほぼ一定値となっていることから、やはり津波以外の要因によるものであると考えられる。

図-4.26は前述した定常的な流れを取り除いて図-4.25の中から津波によると考えられる流れを抽出したものであり、観測が終了する20分後には、観測開始時刻と同じ位置に水粒子が位置すると仮定して閉じた曲線を描いたものである。図-4.26から津波による水粒子の運動特性が以下のようなものであると考えられる。

すなわち、水粒子は海岸線および等深線直角方向に50m近い顕著な往復運動をしていることがわかる。同時に東西方向すなわち海岸線に平行な方向の運動も無視する

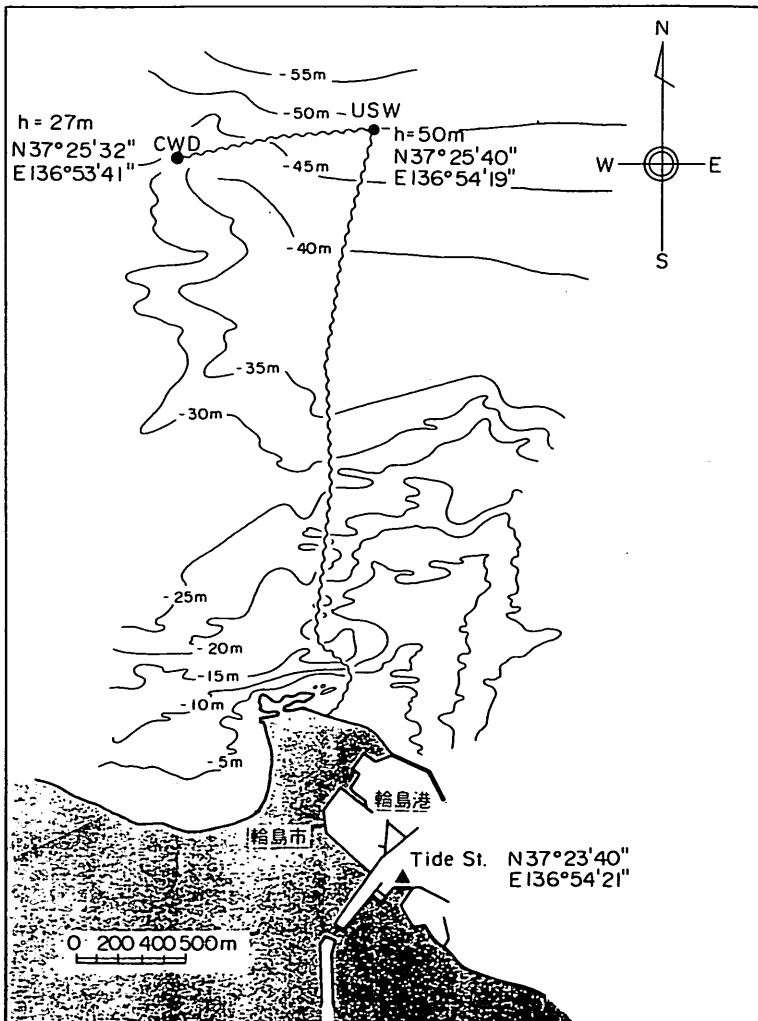


図-4.27 輪島港波浪・潮位観測地点位置図

ことは出来ず、30m近い範囲を運動している。この東西方向および南北方向の運動の位相や周期は複雑で、運動の軌跡は楕円状になることもあれば、8の字状になることもあり、さらに複雑な形状になることもある。このような複雑な水粒子の運動は、日本海全域にわたってさまざまなモードを有する数多くの津波の重複波の場が形成されていることによって起こるものと考えられるが、そ

の詳細な解析は津波伝播のシミュレーションと並行して検討する必要がある。

いずれにせよ、津波は通常の波浪に比べて非常に長周期の波であり、たとえ沖合いで水面変動が数10cmであっても、通常の風波ではどのような激浪であっても発生し得ないような海底面での数10mにも及ぶ大振幅の水平運動をしている事実が示されたことになる。

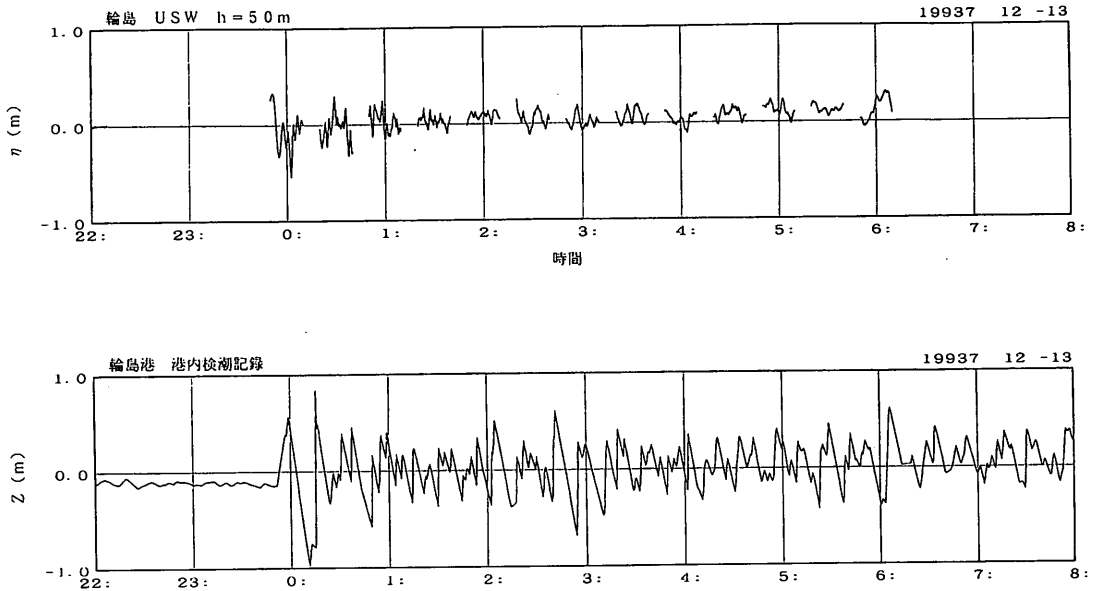


図-4.28 輪島港における波高記録と検潮記録の比較

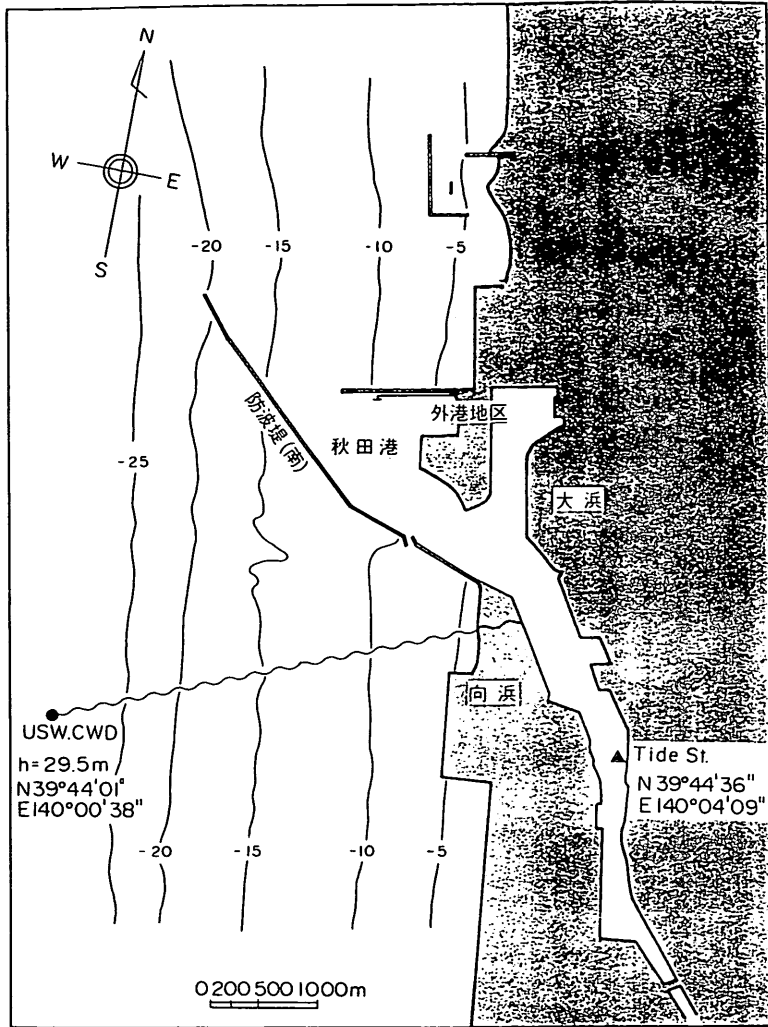


图-4.29 秋田港波浪・潮位観測地点位置图

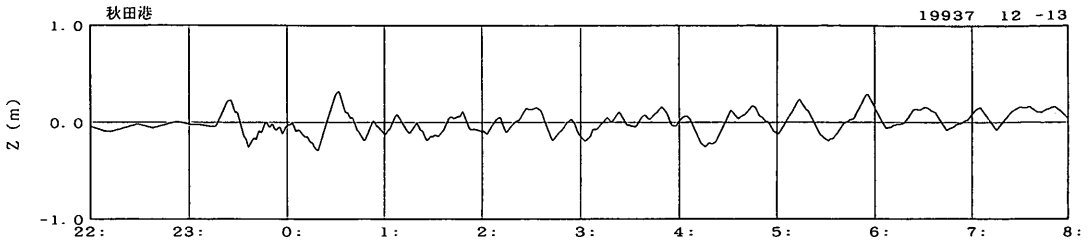
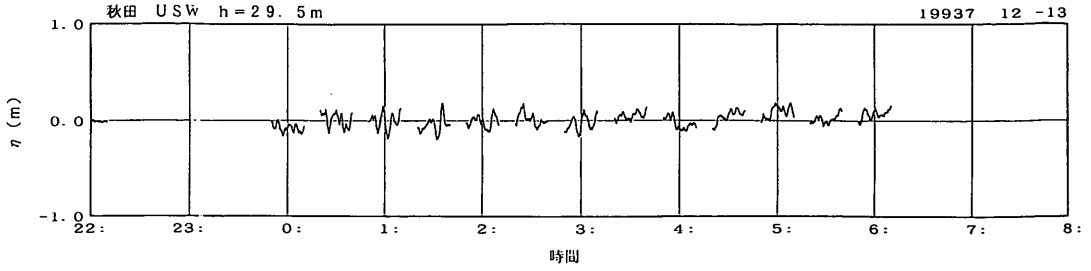


図-4.30 秋田港における波高記録と検潮記録の比較

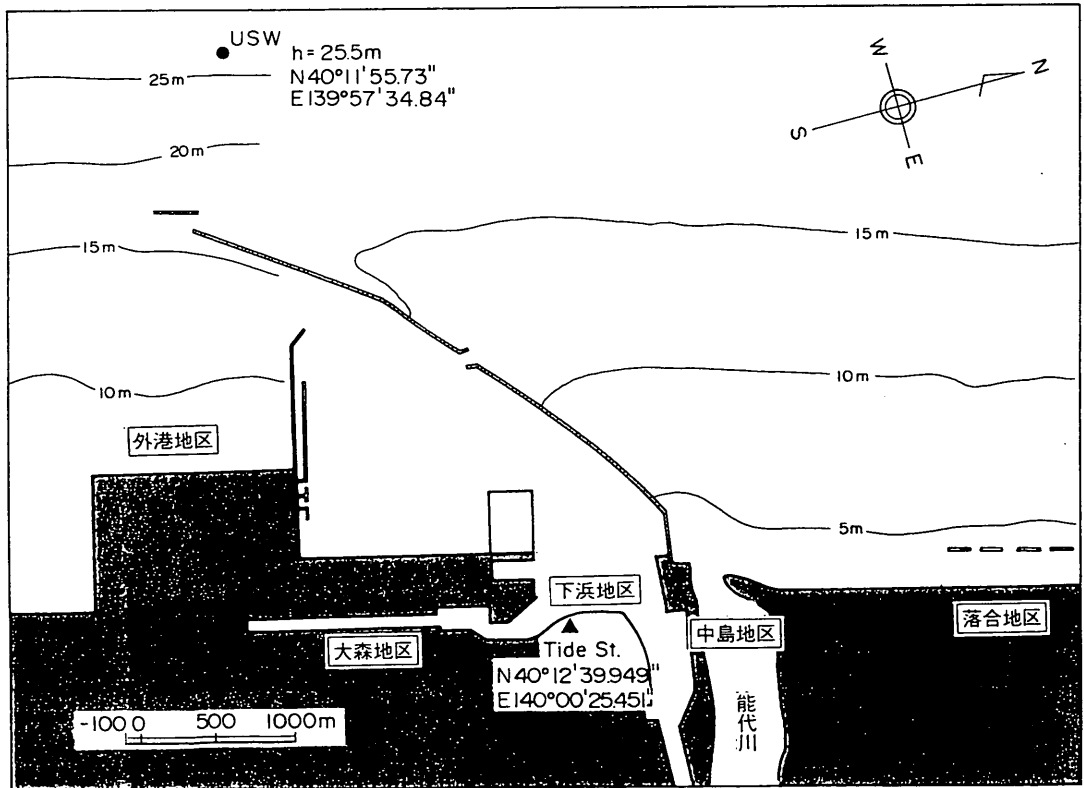


図-4.31 能代港波浪・潮位観測地点位置図

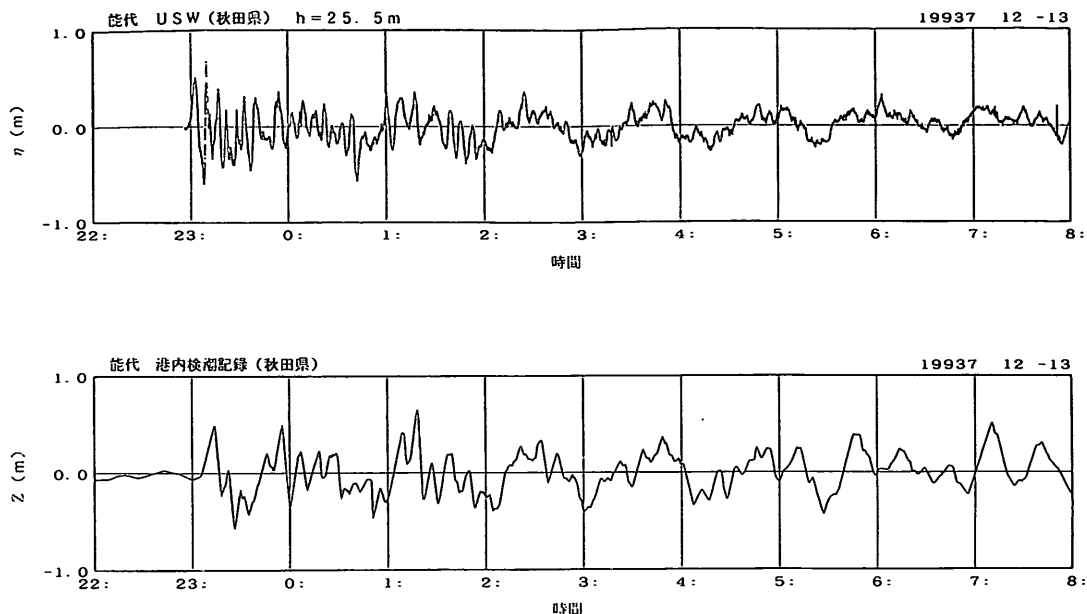


図-4.32 能代港における波高記録と検潮記録の比較

4. 3 検潮記録と波高計観測における津波の比較*

(1) 津波伝達時の潮位時系列がもつ特性

津波の伝播状況を知るための基礎資料として検潮記録が用いられるが、検潮記録が津波波形を正確に追従していないことは、問題点として各方面から指摘されている。その1例として、隣接する2地点で取得された北海道南西沖地震時の潮位時系列を比較することとする。付図-1.14および付図-1.15は、それぞれ新潟東港および新潟西港の潮位観測所で取得された潮位を、横軸に時刻をとって示している。付図-3.14に示したように、これらの潮位観測所が所在する2つの港湾は隣接して立地しているため、港外に伝播する津波の状態の差異は小さいものと考えられる。このように地理的な違いが少ないにも関わらず、取得された検潮記録は両者で異なった性質を示している。たとえば、新潟東港の検潮記録では1:30を過ぎた頃から周期40分程度の波が卓越しており、このような現象は新潟西港の記録ではみられない。これは、東港港内における長周期波成分の発達をとらえていると考えられる。

検潮記録は沖合津波波形から様々な影響を受けた後の波形であるとみなされるが、この影響を与える主要因

には、港内までの伝播過程における浅水変形の他にも、下に示すような多くの要因があげられる。

- ① 防波堤を通過するとき津波波形が変形する。
- ② 津波により励起される長周期波が存在するが、長周期波の発達に対する周波数応答は各港湾で異なる。
- ③ 検潮記録を取得する計測機器（検潮儀）が港内水位変動に対して周波数により異なる応答特性をもつ。

したがって、各港内ではそれぞれ沖合の津波波形と異なる状態がみられ、多くの場合、各港湾の固有周期に対応する長周期波成分が発達する傾向をもつ。しかし、港内の水位変動に限ってみれば、検潮儀のもつ応答特性が明らかになれば、検潮記録から検討することが可能となるため、以下に検潮儀の応答特性について述べることにする。

(2) 検潮儀の応答特性

検潮儀の港内水位変動に対する応答特性は、数時間から数ヶ月間といった比較的長周期の変動成分を対象とし、対象外の高周波数成分は低減させるような構造をもたせている。これは、もともと潮位変動の観測を目的としており、投乱時など検潮儀外部の水位変動が顕著な場合にも、平均水位を安定して観測する必要があるため

*執筆者 浅井 正

ある。したがって、津波波形の取得を目的とする場合には、検潮儀で取得された水位変動は、実際よりも過小に評価されることになる。この精度は、検潮儀の周波数応答特性に依存する。これに関し、村上¹³⁾は検潮儀の導水管での損失を考慮して、外部から強制的な水位変動を一成分規則波で与えた場合の観測井戸内の水位変動の振幅の減衰比 λ と遅れ時間 τ を解析的に求める方法を次のように示している。

観測井戸の内部と外部をつなぐ導水管について管路内の流れを考える。このとき、導水管によるエネルギー損失 H はBernoulliの式を用いて、式(4.1)のように表される。

$$H = \left(\eta + \frac{u_{out}^2}{2g} + p_a \right) - \left(h + \frac{u_{in}^2}{2g} + p_a \right) \quad (4.1)$$

ここで、 h 、 u_{in} および η 、 u_{out} ：それぞれ観測井戸内部の水位上昇、流速および外部水域の水位上昇、流速であり、 p_a ：大気圧を表している。いま、観測井戸内部と外部水域の流速 u_{in} 、 u_{out} および大気圧の差は無視できるものとし、管路の損失 H として式(4.2)の形で与えられる摩擦損失を考える。

$$H = \frac{F}{2g} u^2 \quad (4.2)$$

ここで、 F ：損失係数である。式(4.2)をエネルギー損失の表示式(4.1)に代入し、導水管内の流速 u について整理すると式(4.3)がえられる。

$$u = \sqrt{\frac{2g(\eta-h)}{F}} \operatorname{sgn}(\eta-h) \quad (4.3)$$

また、観測井戸内部と導水管の間の流量の連続式より、式(4.4)の関係がえられる。

$$A \frac{dh}{dt} = su \quad (4.4)$$

ここで、 A 、 s ：それぞれ観測井戸および導水管の断面積である。式(4.3)を連続式(4.4)に代入することにより、 u が消去され、観測井戸の外部水位 η と内部水位 h の関係式(4.5)が導かれる。

$$A \frac{dh}{dt} = s \sqrt{\frac{2g(\eta-h)}{F}} \operatorname{sgn}(\eta-h) \quad (4.5)$$

微分方程式(4.5)を直接解いて、 η と h の関係を解析的に求めるのは一般に困難である。そこで、 h と η の式の形をあらかじめ仮定し、相互のパラメーター間の関係

を求めていくことにする。

① 定常状態

観測井戸外部水域に入射波の第1波到達後、比較的時間が経過した時点では、観測井戸の外部水位 η と内部水位 h の応答関係がほぼ定常状態に達しているとみなしても差し支えない。このとき、 h と η の波形がそれぞれ式(4.6)で与えられる規則進行波で与えられると仮定する。

$$\left. \begin{aligned} \eta &= a \sin \omega t \\ h &= a \lambda \sin \omega(t - \tau) \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

ここで、 a 、 ω ：それぞれ外部水域の水位変動の振幅、角周波数(=2 πf 、 f ：周波数)であり、 λ 、 τ ：それぞれ外部水域に対する内部水域の水位変動の低減率と位相の遅れである。したがって、 $t = \tau$ のときの水位変動は、それぞれ式(4.7)に示す値をとる。

$$h = 0, \quad \frac{dh}{dt} = a \omega \lambda, \quad \eta = a \sin \omega \tau \quad (4.7)$$

これらを観測井戸内外の水位変動の関係式(4.5)に代入して整理することにより、式(4.8)の関係がえられる。

$$\begin{aligned} a \omega \lambda &= \frac{s}{A} \sqrt{\frac{2ga \sin \omega \tau}{F}} \\ \therefore \sqrt{\sin \omega \tau} &= \sqrt{\lambda} \omega E_0 \quad (4.8) \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} E_0 = \frac{A}{s} \sqrt{\frac{F}{2g}}$$

ここで、 E_0 ：パラメーターであり、観測井戸自身の構造によって固有の値をとる(以下、構造係数と呼ぶ)。

同様に、 $t = \tau + T/4$ のとき

$$h = a \lambda, \quad \frac{dh}{dt} = 0, \quad \eta = a \cos \omega \tau \quad (4.9)$$

であるので、これらを式(4.5)に代入することにより式(4.10)の関係を与える。

$$\cos \omega \tau = \lambda \quad (4.10)$$

式(4.8)、(4.10)を組み合わせて整理することにより、 λ と τ はそれぞれ式(4.11)、(4.12)のように求められる。

$$(\sqrt{a} E_0 \omega \lambda)^4 + \lambda^2 = 1$$

$$\therefore \lambda = \left(\frac{-1 + \sqrt{1 + 4a^2(E_0 \omega)^4}}{2a^2(E_0 \omega)^4} \right)^{1/2} \quad (4.11)$$

$$\tau = \frac{1}{\omega} \cos^{-1} \lambda \quad (4.12)$$

② 過渡状態

入射波の第1波に対しては定常の仮定が成り立たない。この場合、観測井戸の内部水位変動は h は、外部水位の変動 η によって静穏状態（静水位で一定の状態）から運動を開始するものとし、その波形を式 (4.13) の規則進行波で与える。

$$\left. \begin{aligned} \eta &= a \sin \alpha t \\ h &= \frac{a\lambda}{2} (1 - \cos \sigma t) \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

ここで、 σ : 過渡状態における観測井戸内の水位変動の角周波数である。なお、このように静止している物体がこれから運動を始めようとする過渡期にある場合に対し、過渡状態にあると呼ぶことにする。

定常状態の場合と同様にして、 $t = t_1 = \pi / \sigma$ のとき、

$$\begin{aligned} h &= a\lambda, \frac{dh}{dt} = 0, \eta = a \sin \alpha t_1 \\ &= a \sin \frac{\omega}{\sigma} \pi \end{aligned} \quad (4.14)$$

であるので、これらを水位変動の関係式 (4.5) に代入することによって、式 (4.15) の関係を与える。

$$\sin \frac{\omega}{\sigma} \pi = \lambda \quad (4.15)$$

同様にして、 $t = t_1 / 2 = \pi / 2\sigma$ のとき

$$\begin{aligned} h &= \frac{a\lambda}{2}, \frac{dh}{dt} = \frac{a\lambda}{2} \sigma, \eta = a \sin (\alpha t_1 / 2) \\ &= a \sin \frac{\omega}{2\sigma} \pi \end{aligned} \quad (4.16)$$

であるので、水位変動の関係式 (4.5) から式 (4.17) の関係を与える。

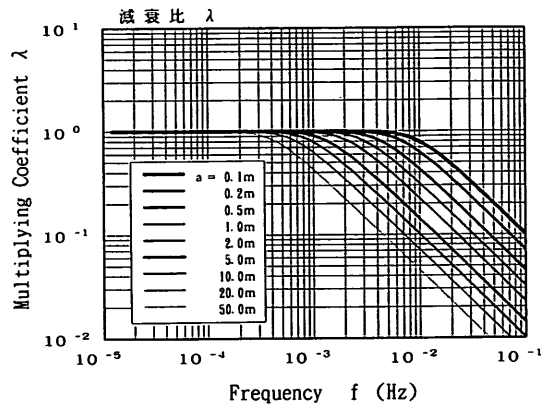
$$\frac{a\lambda}{2} \sigma = \frac{s}{A} \sqrt{\frac{2ga}{F}} \sqrt{\sin \frac{\omega}{2\sigma} \pi - \frac{\lambda}{2}} \quad (4.17)$$

$$\therefore \sqrt{\sin \frac{\omega}{2\sigma} \pi - \frac{\lambda}{2}} = \sqrt{a} E_0 \frac{\lambda}{2} \sigma$$

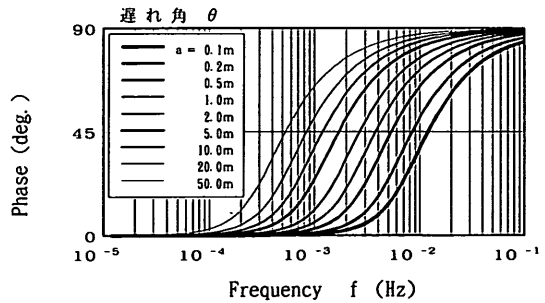
したがって、 λ と τ は、式 (4.15)、(4.17) を組み合わせることで数値的に解くことにより求められる。

水位変動の振幅の減衰比 λ 、位相差 θ および遅れ時間 τ について、村上の提案式から計算した例を図-4.33の

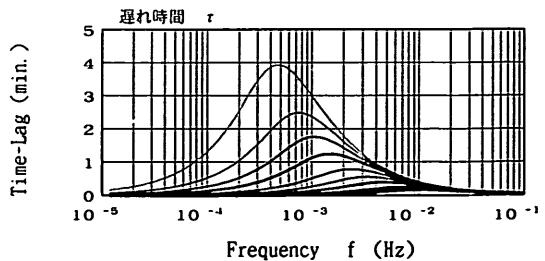
(1) ~ (3) に示す。ここで、位相差は第一象限 ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$) の範囲で定義することとし、遅れ時間はこの位相差に対する値である。図中の計算値は、井戸内の水位変動が定常状態にあると仮定した場合の値を用いている。図の横軸はそれぞれ周波数を示しており、パラメータ a は検潮儀外部の水位変動の振幅である。 λ を用いると、井戸内の水位変動の振幅は λa で表される。応答特性は検潮儀の観測井戸や導水管の構造により変化する。そこで、ここでは構造係数 E_0 が平均的な値 $E_0 =$



(1) 減衰比



(2) フェイズ



(3) ラグ

図-4.33 検潮儀の周波数応答特性（定常状態、 $E_0=50$ ）

50である場合を示し、定性的な特性を議論することにする。構造係数は検潮儀の構造形式により一定の値をとり、 E_0 が大きくなるにつれて減衰比 λ の値が小さくなる傾向を示す。また、構造係数が一定な場合、すなわち同一の観測地点で取得された検潮記録について議論する場合には、 af^2 （観測井戸外部の水位変動の加速度に相当する量）の値が大きいかほど、減衰比 λ は小さくなる傾向をもつ。このため、外部から与えられる水位変動の振幅が小さい、あるいは、周波数が低い場合に減衰比は小さくなる。

(3) 検潮記録と痕跡高との比較

検潮記録と港内の水位変動の関係について、観測井戸の構造が与えられた場合、水位変動の減衰比は入射する波の振幅と周期によって決定されることを4.3(2)で述べた。このことは、観測井戸外部の水位変動の振幅と周期を与えれば、検潮記録を理論的に推定できることを示している。そこで、港内で得られている津波の痕跡高と対応する周期から減衰比を理論的に計算し、対応する潮位偏差の痕跡高に対する比と比較し、4.3(2)の理論の妥当性を検討する。ただし、港内の水位変動は常に一様ではなく場所によって変動する。したがって、観測井戸にもっとも近い地点でえられた痕跡高についても、観測井戸外部水域の水位変動と完全に一致するとは断言できない。

表-4.7は、検潮儀の構造諸元から E_0 を計算して表にまとめたものである。なお、現地では導水管の腐食や生物・ゴミの付着等のために、粗度の増加が想像される。このため、Manningの粗度係数を4倍($n=0.052$)とした場合の減衰比についても推定を行い、その結果を E_0' として表中に示している。また、 E_0 の値は導水管の口径や長さ、粗度の変化に敏感である。そこで、本報告では、以下に示す方法を用いて、導水管の構造形式ごとに損失係数 F を計算している。とくに、導水管の断面形が途中で変化するものについては、流入時と流出時で E_0 の値が異なる。このため、両方の場合について E_0 の値を表に示し、実際の推定値は両者の間に存在するとする。

① 導水管が単線の場合

導水管によるエネルギー損失 H は、損失係数 F を用いて式(4.18)のように与えている。

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{F}{2g} u^2 \\ F &= f + f' \frac{l}{R} + f_0 \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

ここで、 l 、 R ：それぞれ導水管の長さ（ $=A/s$ ）、 A 、 s ：それぞれ導水管の断面積と潤辺長）を示している。右辺の第1項 f と第3項 f_0 は、それぞれ管路の入口損失と出口損失を表しており、通常 $f_e=0.5$ 、 $f_0=1.0$ を用いる。第2項は管路内部の摩擦によるエネルギー損失を示しており、摩擦係数 f' の値は式(4.19)を用いて与えられる。

$$\begin{aligned} f' &= 8gn^2R^{-1/3} \\ &= 8gn^2\left(\frac{4}{d}\right)^{1/3} \end{aligned} \quad (4.19)$$

ここで、 g ：重力加速度（ $=9.8\text{m/s}^2$ ）、 n ：Manningの粗度係数である。 n の値としては、導水管に一般的に使われているヒューム管に対する値 $n=0.013^{16)}$ を用いている。

② 導水管が複数ある場合

導水管が複数ある場合には、それぞれの導水管のエネルギー損失を個々に計算し、その線形和を用いて導水管全体のエネルギー損失とする。

③ 導水管が屈曲している場合

導水管が屈曲している場合の損失係数 F は式(4.20)のように与えることとする。

$$F = f_e + f' \frac{l}{R} + j f_{be} + f_0 \quad (4.20)$$

ここで、第3項は導水管の曲がりによるエネルギー損失を表しており、 j ：導水管の屈曲部の数、 f_{be} ：屈曲部1ヶ所あたりのエネルギー損失を示している。ここでは、 f_{be} の値として、それぞれの屈曲部が直角に曲がっていると仮定して、 $f_{be}=0.99$ と与えている。

④ 導水管の断面形が変化する場合

本報告で対象としたいくつかの検潮所では、導水管の断面形が一定でない。日本海に面した港湾では冬季に來襲する大きな波浪による成分を除去するために導水管の先を細くしているためである。そこで、導水管の断面形をそれぞれ観測井戸側と取水口側で2つの部分 A 、 B にわけて、それぞれの損失を考えることとする。断面が変化する部分が急拡部にあたる場合と急縮部にあたる場合ではエネルギー損失の与え方が異なるため、流入時と流出時で全体のエネルギー損失は異なる値をとる。

流入時に対して、導水管の断面形が変化する場合の水頭の損失 H は、式(4.21)のように与えられる。

$$H = \left(f_e + f_B \frac{l_B}{R_B} + f_{se} \right) \left(\frac{v_B^2}{2g} \right) + \left(f_A \frac{l_A}{R_A} + f_0 \right) \left(\frac{v_A^2}{2g} \right) \quad (4.21)$$

ここで、2つの断面間の流量の連続式から、観測井戸側の流速 v_A は、取水口側の流速 v_B を用いて式 (4.22) のように書き直すことができる。

$$v_A = \left(\frac{d_B}{d_A} \right)^2 v_B \quad (4.22)$$

したがって、流入時に対する損失係数 F は、式 (4.23) のようになる。

$$F = f_e + f'_B \frac{l_B}{R_B} + f_{se} + \left(f_A \frac{l_A}{R_A} + f_0 \right) \left(\frac{d_B}{d_A} \right)^4 \quad (4.23)$$

同様にして、流出時の損失係数 F は、式 (4.24) に示すとおりとなる。

$$F = \left(f_e + f_A \frac{l_A}{R_A} \right) \left(\frac{d_B}{d_A} \right)^4 + f_{se} + f_B \frac{l_B}{R_B} + f_0 \quad (4.24)$$

ここで、添え字 A, B は、それぞれ導水管の A 部と B 部に対する値を表しており、 f_{se} 、 f_e ：それぞれ、急拡大と急収縮によるエネルギー損失である。どちらのエネルギー損失も d_B/d_A の関数を用いて表される。

表-4.7より、江差港や深浦港といった断面形が途中で変化する導水管をもつ観測井戸では、 $n = 0.013$ として計算した場合でも E_0 の値が100以上の大きな値になっている。深浦港については、比較のために導水管を一樣断面とした場合の E_0 も計算した。これらを比較すると、複合断面とみなして計算した E_0 の値は、一樣断面とみなした場合と比べて3~5倍程度増加しており、導水管の先を細くすることによって E_0 が大きくなることが示される。 E_0 は観測井戸の構造による津波波形の減衰を示す諸量であり、 E_0 が大きくなるほど津波の減衰効果は大きい。したがって、導水管の先を細くすることにより、津波波高が低減されると予想される。村上らは日本海中部地震時の津波の痕跡高と検潮記録を比較することにより、観測井戸の津波に対する減衰効果を検討している。その中で、深浦港の検潮記録から推定される津波の高さが痕跡高に比べて小さいことを述べている。これは、村上らは導水管を一樣断面として扱っているため、津波の減衰を検討する上で E_0 を実際の値よりも小さく見積もっているためと考えられる。

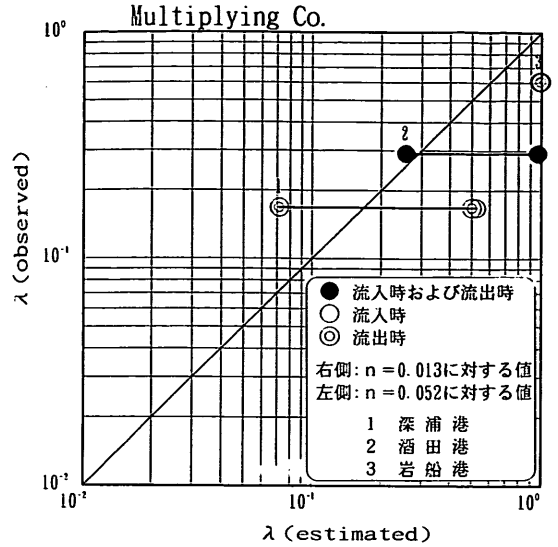


図-4.34 計算結果と観測値による減衰比 λ の比較

表-4.8は、痕跡高から表-4.7の E_0 と E_0' の値をそれぞれ用いて推定した減衰比および潮位偏差の値を示している。表中の観測値は、痕跡高と対応する潮位偏差との比の値である。図-4.34は、減衰比の推定値と観測値をそれぞれ横軸と縦軸にとって示したものである。減衰比の実際の値は E_0 を用いて推定された値と E_0' からの推定値の間にあると思われるので、両者のプロットを直線で結んで推定値のとりうる範囲を示した。

北海道南西沖地震は夜間に発生したため、痕跡高の発生起時が不明確な地点が多くみられる。しかしながら、検潮記録と各港での聞き取り結果を総合すると、第1波が最大となっている場合が多い。そこで、発生起時が不明確な場合には、第1波が最大であるとみなして検潮記録と対応させることとした。また、同様な理由から、痕跡高を潮位偏差として表す場合の補正方法についても、 z_0 からの偏差として表すこととし天文潮位を用いた補正は行っていない。ただし、対象期間の潮位差は10cm程度であるため、痕跡高と比較して無視しても差し支えない大きさであると考えられる。

表-4.8および図-4.34に示されるように、深浦港および酒田港については推定値のとりうる範囲の中に観測値を含んでいる。とくに、深浦港については、断面形の変化を考慮してを計算したために、波高の減衰が大きくなることを説明できるようになった。したがって、深浦港については、断面形を考慮することにより推定精度を向上することができたといえる。

これに対し、岩船港では、断面形を考慮して推定を行

っても減衰比の値が小さくならず、ほぼ1.0に近い値を示している。これは岩船港の観測井戸では、江差港や深浦港と比べて導水管先端部が収縮する割合が小さいため、波高減衰に与える影響が小さいものと考えられる。

同様に、導水管先端部の収縮比が小さな福井港でも、断面形の変化を考慮した計算を行っても、それほどは小さくなっていない。したがって、岩船港で検潮記録が小さくなったことに対して断面形の変化の影響は小さいよう

表-4.7 検潮施設の構造諸元と E_0 。

地点名	井戸 内径 D (m)	導水管			構造係数 E_0 $n=0.013$	構造係数 E_0' $n=0.052$	観測開始	備考
		内径 d (m)	数 n	長さ l (m)				
沓形港	1.0	0.15	1	2.0	19.08	59.63	'81.01-	
羽幌港	0.9	0.12	1	8.0	45.58	172.08	'69.06.01-	
留萌港	1.2	0.15	2	4.0	31.13	108.16	'81.12.07-	正方形断面
石狩新港	1.5	0.15	1	12.48	86.53	329.10	'83.09.19-	
小樽港	1.2	0.08	1	3.1	183.43	571.64	'91.02.28-	4×屈曲部
岩内港	1.2	0.15	1	9.2	48.40	181.07	'49.10.01-	
江差港	0.9	0.25	1	2.0	122.07	458.08	'77.05.01-	
		0.05	4	2.125	121.99	458.06		
函館港	0.8	0.1	1	3.7	41.41	150.79		
青森港	1.2	0.16	1	2.5	25.16	80.60	'55.09.08-	
深浦港	1.0	0.15	1	6.15	98.65	288.09	'72.04.01-	複合断面
		0.06	1	0.3	101.99	289.25		
	1.0	0.15	1	6.45	28.94	105.50		単一断面
能代港	1.2	0.15	1	10.615	51.53	194.37	'81.12-	
秋田港	2.0	0.10	1	0.3	129.17	288.56	'73.06-	
酒田港	1.2	0.15	2	24.0	52.95	206.18	'64.10-	
岩船港	1.2	0.3	1	5.9	28.38	58.87	'85.04-	複合断面
		0.12	1	0.2	29.87	59.60		
新潟東港	1.2	0.08	1	0.875	96.90	303.53	'76.11-	
新潟西港	1.2	0.15	1	8.0	45.59	168.97	'91.08.01-	
両津港	1.5	0.075	1	0.95	181.31	585.06	'79.04-	
新湊港	1.5	0.10	1	0.8	87.29	252.58	'63.03-	
伏木港	1.0	0.10	1	0.15	30.07	54.63	'55-	
輪島港	1.2	0.13	1	17.1	92.99	360.59	'80.01-	
七尾港	1.2	0.08	1	0.875	96.90	303.53	'85.03-	
金沢港	1.2	0.1	1	6.0	114.42	430.90	'63-	
敦賀港	2.0	0.20	1	1.45	36.02	96.33	'79.10-	
福井港	1.2	0.30	1	26.0	18.30	69.49	'76.04-	ヒューム管
		0.236	1	8.0	18.61	69.58		塩ビ管
舞鶴東港	1.2	0.2	1	4.7	17.96	60.63	'68.05-	
境港	0.99	0.1	1	3.5	62.00	224.68	'77.01.27-	
浜田港	1.0	0.07	1	1.5	111.73	389.76	'84.04.01-	
三隅港	1.016	0.1	1	1.0	42.44	128.77	'85.04.01-	
南風泊港	0.78	0.15	1	7.0	18.21	66.83	'09.03-	
日明港	1.2	0.15	1	3.6	33.28	114.10	'69.03-	

※ ここで、観測開始の日付は、表に示す構造諸元をもつ観測施設を用いて観測を開始した日付を表わしている。また、備考欄の「複合断面」は導水管の断面形が途中で変化することを示し、「屈曲部4ヶ所」は導水管が途中4ヶ所で折れ曲がっていることを示している。「複合断面」の場合、流入時と流出時で E_0 の値が異なるため、流入時と流出時の E_0 の値をそれぞれ1行目と2行目に示した。

である。ただし、導水管のつまり等、何らかの原因により導水管先端部の収縮が大きくなっているために、エネルギー損失が大きくなることは考えられる。また、他に損失を与える要因があってその影響を受けていることも考えられる。

なお、対象とした検潮所のいくつかでは、導水管にダンパーを設置していたり、取水口に網等の障害物を取り付けているが、これらの影響によるエネルギー損失は考慮していない。また、前述したように、導水管自身の腐食や管の内部に付着した生物やゴミ等のため、損失係数が実際にはさらに大きくなっていることがある。本報告では、減衰比に与える損失係数の増加の影響を評価するために、粗度を4倍にした構造係数の計算結果と比較を行った。この結果、管の粗度を1～4倍の範囲で変化させることにより、検潮井戸に対する津波の応答をかなり説明できることがわかった。これから、現地の観測井戸の応答特性を検討する場合には、導水管の粗度の増加を考慮しなければならないといえる。

Satake et al.¹⁷⁾は、40ヶ所の潮位観測地点に対し、現地実験結果にもとづいて検潮儀の応答特性を検討している。そして、日本海中部地震時に津波波形が取得された6ヶ所の潮位観測地点について、潮位変動から検潮儀外部の水位変動を推定している。しかし、これらの実験値は、解析値との間に著しい差異がみられる場合もあり、その妥当性については今後さらに検討をする必要がある。

(4) パワースペクトル解析

4.3(1)で示した水位波形の3つの変形要因は、いずれも周波数に対する応答特性を示す。したがって、3つの要因全体をまとめて1つのシステムとして考えた場合には、基本的には周波数応答をもつ入出力関係とみなすことができる。この場合、入力および出力として与

えられる不規則変動は、それぞれ沖合の水位変動記録(沖合津波波形)と検潮記録である。したがって、4.3(2)に示した検潮儀の応答特性を考慮して、両者の入出力関係の特性を検討することにより、津波にともなう港内水位変動の状況を調査する上で有用な情報が得られるものと考えられる。また、この特性を用いて、津波計測機器としての検潮儀の有効性の検討もできるであろう。

上記の目的から、沖合津波波形と検潮記録の周波数応答を調べ、沖合から津波が入射するときに検潮記録が示す特性について検討することとした。なお、津波波形はもともと非定常な個々の波の連なりであり正弦波の重ね合わせで与えられるものではない。ただし、本章の目的は、全体の津波波形を1つの不規則変動とみなした場合の周波数応答を議論することにあるので、両者の入出力関係をそれぞれの変動波形のフーリエ成分を用いて検討した。

不規則変動量 $x(t)$ のパワースペクトル(以下、スペクトルと呼ぶ) $S(f) (\equiv S_{xx}(f))$ の計算は、 $x(t)$ から求められた周波数 f に対するフーリエ成分 $X(f)$ と $S(f)$ が式(4.25)の関係をもつことを利用して実施した。

$$S(f) = E \left[\frac{X(f) X^*(f)}{T} \right] \quad (4.25)$$

ここで、 T :成分波の周期($=1/f$)であり、 $*$:共役複素数、 $E[x]$:アンサンブル平均を表している。また、図-4.33との比較のためにスペクトルの各周波数成分に対する減衰比 λ をスペクトルの入力値に対する出力値の比の平方根を用いて定義し、検討を行った。

$$\lambda(f) = \sqrt{\frac{S_{out}(f)}{S_{in}(f)}} \quad (4.26)$$

表-4.8 検潮施設の津波に対する減衰比

地名	痕跡 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)
深浦港	1.55	0.26	10	0.53	0.49	0.072	3.61
				0.50	0.52	0.071	3.64
酒田港	1.20	0.35	12	0.97	0.36	0.26	1.36
岩船港	1.30	0.79	16	1.00	0.79	0.98	0.80
				1.00	0.79	0.98	0.81

※ 導水管が「複合断面」をもつ場合、流入時と流出時で減衰比 λ の値が異なるため、流入時と流出時の λ の値をそれぞれ1行目と2行目に示した。

ここで、 $S_{in}(f)$ 、 $S_{out}(f)$ ：それぞれ入力波形と出力波形のスペクトルである。

各不規則変動のフーリエ成分は、直接フーリエ変換 (DFT) 法を用いて計算した。沖合の水位記録では、演算およびデータ送信のために一定の時間間隔で観測を休止するため、データのサンプリング間隔が一定ではない。したがって、高速フーリエ変換 (FFT) 法の適用は困難である。また、今回の調査で取得されたデータの個数は900~1000個であり、FFT法を用いた場合、2ⁿ個のデータに適用可能であるために無効となるデータ数が多くなる。

本調査で使用した水位記録は、輪島港、秋田港では30分毎に20分間、そのほかの港では2時間毎に20分間観測されたデジタル記録であり、サンプリング間隔は0.5秒である。ただし、能代港については、連続して得られたアナログ記録から1秒間隔のサンプリングで読み取った値を用いた。なお、風波等の高周波数成分を除去するため、前後それぞれ10秒間のデータを用いて三角フィルターで平滑化した波形を10秒間隔でサンプリングし、フーリエ成分の計算を行っている。検潮記録については、記録紙からサンプリング間隔36秒 (=1/100時間) で読み取ったデータをそのまま用いた。検潮記録および沖合の水位記録中に含まれているトレンド成分の除去は、海上保安庁発行の調和定数表¹⁰⁾を用いて推算された各港湾の天文潮位を取り除くことにより実施した。

クロススペクトルについても同様に、2つの不規則変動 $x(t)$ 、 $y(t)$ のフーリエ成分 $X(f)$ 、 $Y(f)$ とこれらに対するクロススペクトル $S_{xy}(f)$ の関係を表す式 (4.27) を用いて計算を行った。

$$S_{xy}(f) = E \left[\frac{X^*(f)Y(f)}{T} \right] \quad (4.27)$$

クロススペクトルは複素関数であるため、物理的意味をより明確にするためにその絶対値と位相角を用いて2変量間の相関性を評価する。また、クロススペクトル自身が次元量であり、異なる相関関係の組に対して直接相関性の評価を行うことが難しい。そこで、入力および出力波形のスペクトルの値をそれぞれ用いて無次元化を行うことにより、式 (4.28)、(4.29) のようにコヒーレンス $r^2(f)$ とフェイズ $\theta_{xy}(f)$ を定義し、検討を行った。

$$r^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)} = \frac{K_{xy}^2(f) + Q_{xy}^2(f)}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)} \quad (4.28)$$

ただし、 $0 \leq r^2(f) \leq 1$

$$\theta_{xy}(f) = \tan^{-1} \left(\frac{Q_{xy}(f)}{K_{xy}(f)} \right) \quad (4.29)$$

ここで、 $K_{xy}(f)$ 、 $Q_{xy}(f)$ ：それぞれ、クロススペクトルの実部と虚部を表し、コスベクトルとクワドラチャスペクトルと呼ばれる。また、 $S_{xx}(f)$ 、 $S_{yy}(f)$ ：それぞれ2つの不規則変動量 $x(t)$ 、 $y(t)$ のスペクトルを表している。両式よりコヒーレンスの平方根は2つの不規則変動の各フーリエ成分の相関の度合を意味し、フェイズはクロススペクトルの位相差を意味する。したがって、フェイズとラグの間には式 (4.30) の関係がある。

$$\tau(f) = \frac{\theta_{xy}(f) \pm 2n\pi}{2\pi f} \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (4.30)$$

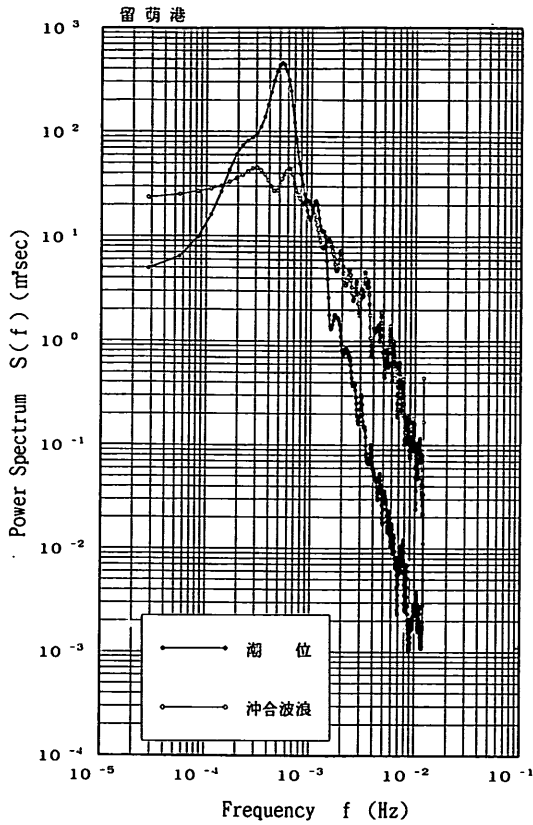
(5) 沖合津波記録と検潮記録のスペクトルの比較

図-4.35~4.48は、各港湾の潮位観測所で取得された検潮記録のスペクトルを横軸に周波数をとって示したものである。各図の(1)中、黒丸を結んだ波形は、検潮記録から計算されたスペクトルを示す。また、沖合津波波形として、港外の近接した位置に設置された波高計で取得された水位記録を4.3(4)に示した方法で計算したスペクトルを、比較のために白抜きで示している。それぞれの検潮記録との比較に用いた波浪観測地点は、表-4.9にまとめられたとおりである。各図の(2)は、式 (4.26) で定義される減衰比 λ を(1)と同じ横軸を用いて示している。

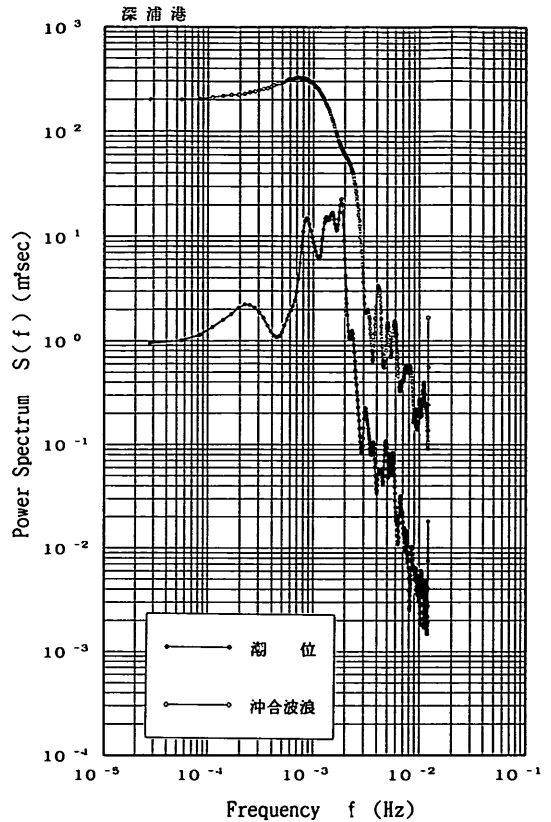
表-4.9 検潮記録との比較に用いた波浪観測地点

検潮記録	波浪観測地点	検潮記録	波浪観測地点
留萌港	留萌港	福井港	福井港
深浦港	深浦港	浜田港	浜田港
能代港	能代港	南風泊港	藍島
秋田港	秋田港	日明港	藍島
酒田港	酒田港	新潟東港	新潟沖
岩船港	岩船港	新潟西港	新潟沖
輪島港	輪島港		新潟西港

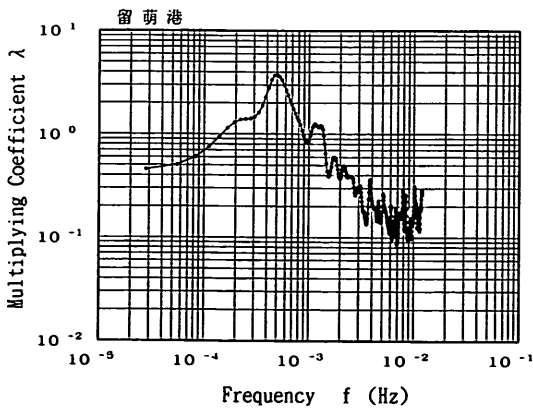
計算されたスペクトルには、どれも顕著なピークの他に細かい振動がみられる。この振動は、解析方法および検潮記録などの精度上の問題から生じるものが含まれているため、相関関係を議論する上でデータ自身のもつ特性をあらかじめ把握しておく必要がある。そこで、スペクトルの比較検討に先立ち、データの取得条件から見かけ上あらわれる特性を示す。



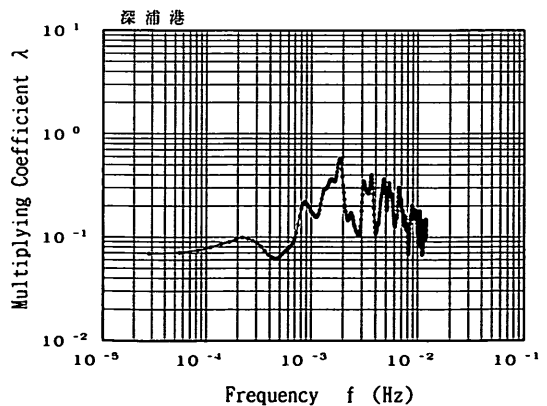
(1) パワースペクトル



(1) パワースペクトル



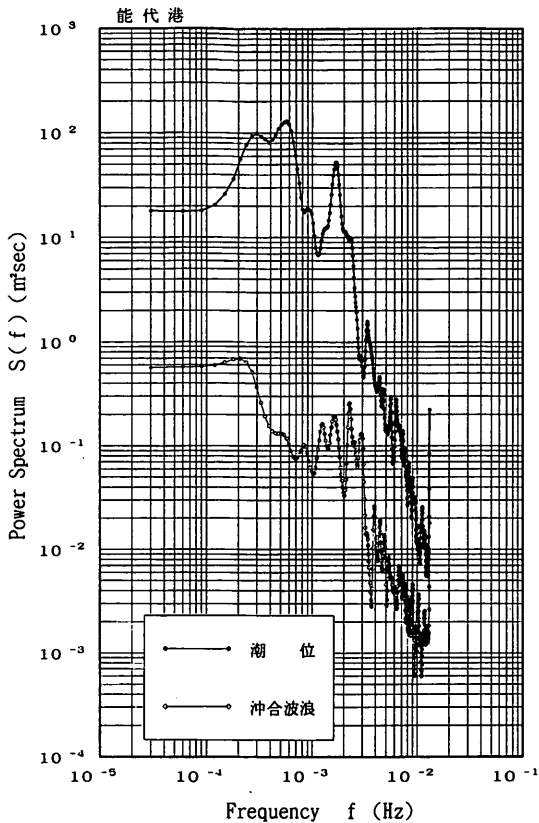
(2) 減衰比



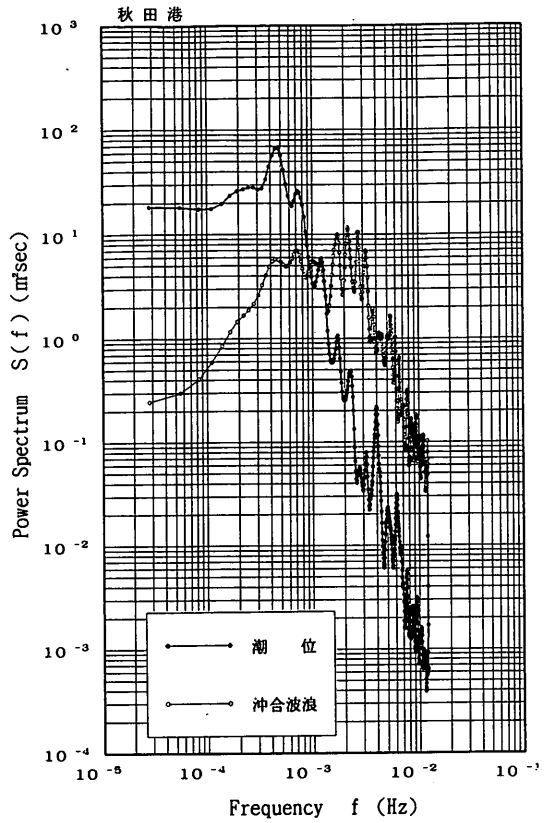
(2) 減衰比

図-4.35 留萌港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は留萌港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、0:20から
 7:10までの30分毎に20分間ずつの観測記録をもとに解
 析を行った。

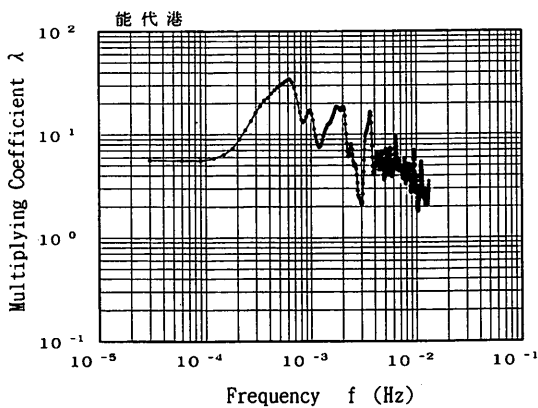
図-4.36 深浦港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は深浦港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに
 解析を行った。



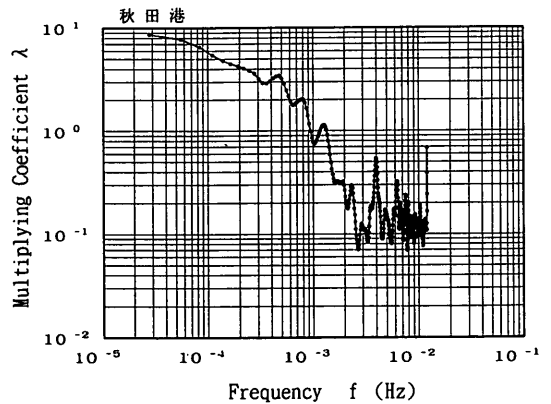
(1) パワースペクトル



(1) パワースペクトル



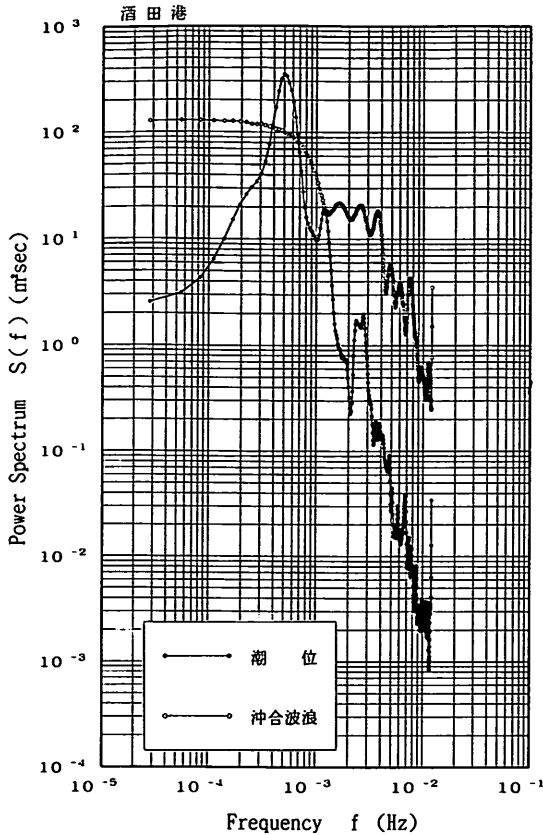
(2) 減衰比



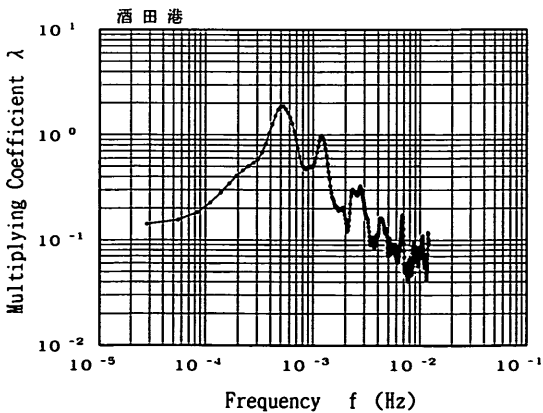
(2) 減衰比

図-4.37 能代港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は能代港の波浪観測地点で22:56から
 8:15まで連続取得したアナログ記録であり、1秒のサ
 ンプリングで読み取りを行ったデータを用いて解析を
 行った。

図-4.38 秋田港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は秋田港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 7:10までの30分毎に20分間ずつの観測記録をもとに解
 析を行った。



(1) パワースペクトル



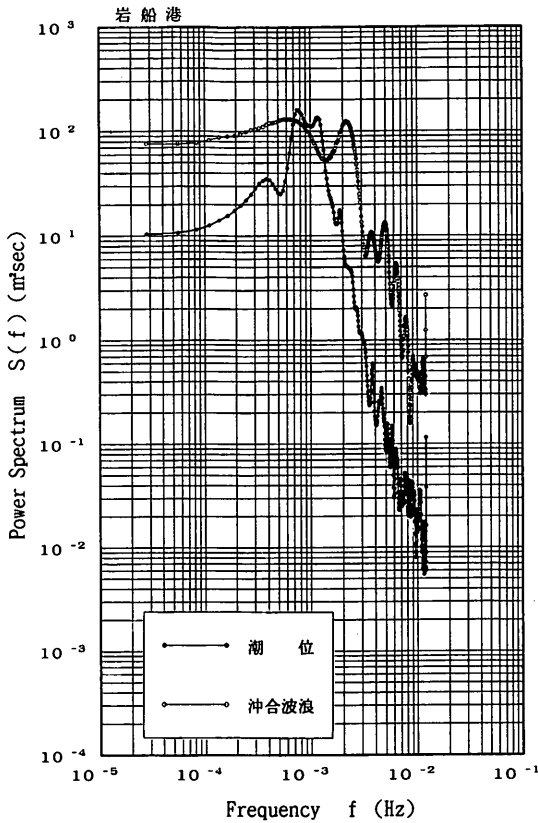
(2) 減衰比

図-4.39 酒田港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は酒田港の波浪観測地点で取得した0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに解析を行った。

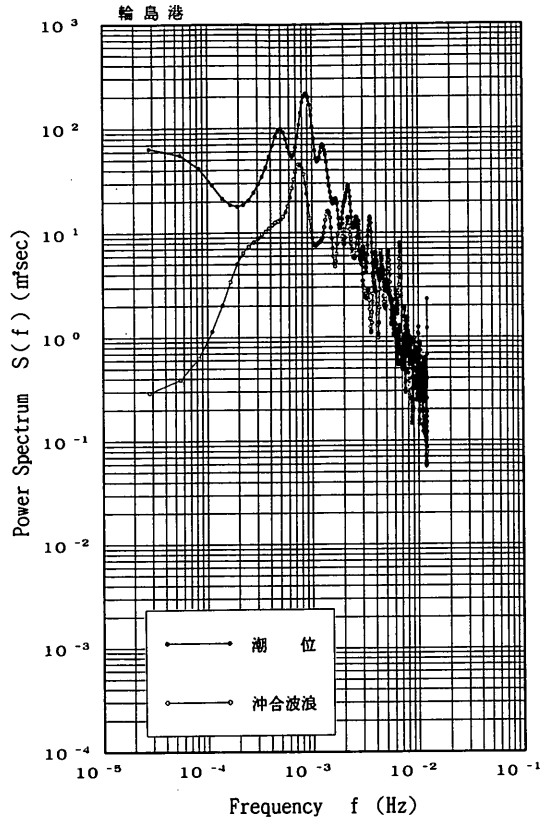
検潮記録はもともと潮位変動の周期に対応した水位変化の取得を目的とするため、記録紙の送り速度を非常に小さくしている。このため、正確な波形の読み取りが困難であり、付図-4.14でもみられたように長周期波成分に対して波の降から谷までがほぼ直線に近い値となっている。これは、ピーク値は正確に読み取れても、その間の読み取りは難しく、直線補間的になりやすいためである。したがって、スペクトル解析を行うと三角波をフーリエ変換した場合と同じような高周波成分がピーク周波数の整数倍の周波数であられることが予想される。これに対し、波高計で取得された水位記録は、デジタル記録であり取得時のサンプリングの間隔も十分短いため、データの精度に対する信頼性は高いものと考えられる。しかし、演算およびデータ送信のための観測休止時間が存在するために、サンプリング間隔が一定間隔をおいて大きくなる。そのため、スペクトルに観測間隔に対応した周波数成分がみられることが予想される。

前に示した図-4.8において、津波の周期と検潮記録から計算されたスペクトルのピーク周期の関係を示した。ほとんどの観測地点において、津波の第1波の周期に対応する周波数でスペクトルのピークをもつ。とくに、津波の第1波の波高が大きかったと考えられる地点では、この周期でスペクトルの値が最大となっている地点が多い。したがって、この傾向は、津波波源域周辺の杓形港・羽幌港等で顕著にみられる。これに対し、東北西部海岸では、波源から遠くなるために津波の第1波の周期に対応するフーリエ成分が小さくなる。しかしながら、さらに遠距離に所在する両津港（佐波島周辺）、輪島港・福井港・敦賀港（能登半島）、浜田港・三隅港（隠岐島周辺）等では、再び津波の第1波の周期に顕著なスペクトルのピークが認められるようになる。これらの地点では、大和堆等、日本海の海底地形の影響により津波が集中したために津波の波高が大きくなったといわれている。したがって、入射する津波の波高の増大にともなって顕著なピークが現れているようである。

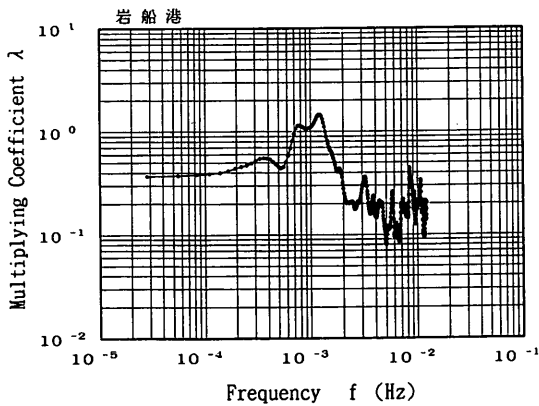
これに対し、それ以外の地点では、津波の周期と比べて十分に周波数が低いところにもピークをもつことが多い。ピーク周期の範囲は、10分から大きなところでは1時間以上と広く分布している。とくに、秋田港や新潟東港等では、長周期成分が津波の周期に対応する部分のエネルギーに比して非常に発達したために、津波の周期に対応する成分が無視できる程度の大きさとなっている。前述したように、付図-4.14に示した新潟東港の検潮記録では、津波到達時にみられる10分程度の周期の波が次第に減衰し、それに代わって長周期の波が発達している



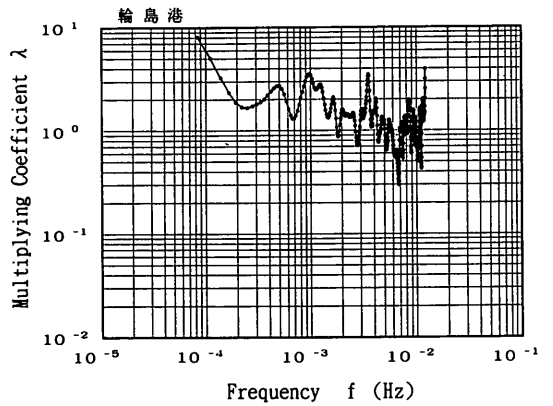
(1) パワースペクトル



(1) パワースペクトル



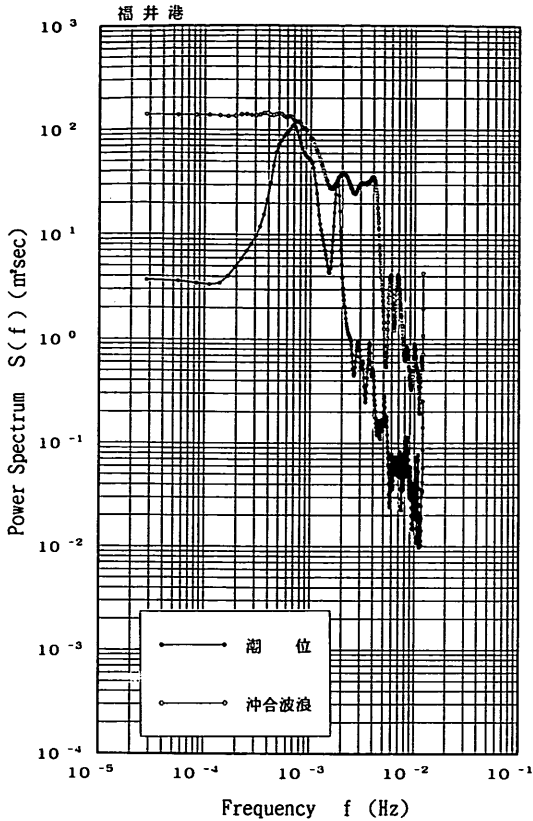
(2) 減衰比



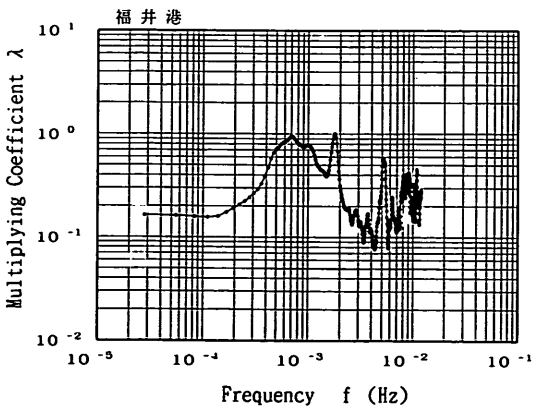
(2) 減衰比

図-4.40 岩船港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は岩船港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに
 解析を行った。

図-4.41 輪島港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は輪島港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 7:10までの30分毎に20分間ずつの観測記録をもとに解
 析を行った。



(1) パワースペクトル



(2) 減衰比

図-4.42 福井港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は福井港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに
 解析を行った。

状態が認められる。したがって、これは観測井戸による減衰の特性により高周波成分が無視できる程度になっているのではなく、港内副振動のような長周期波が卓越していたことを示していると判断できる。副振動の固有周期は港湾の形状によってそれぞれ異なる値をとるため、ピーク周期の値は広く分布していると考えられる。

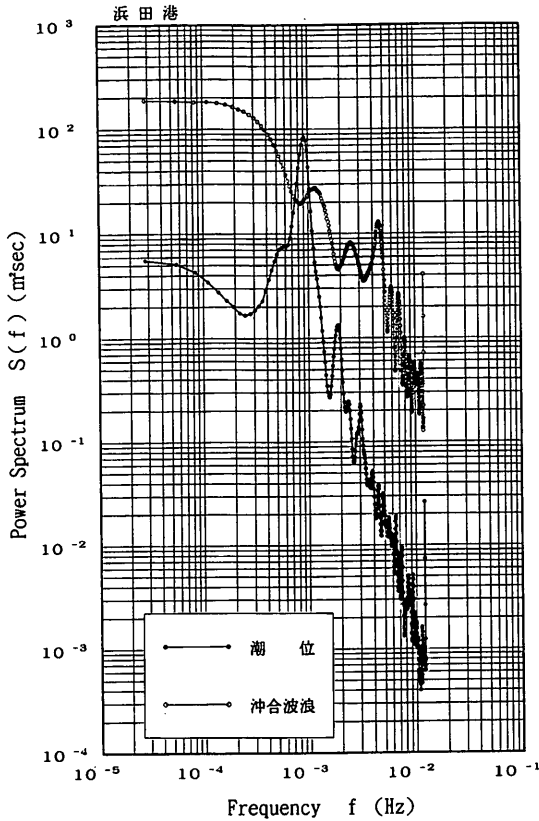
北海道南西沖地震による津波は、日本海という対岸距離の比較的小さな水域内で発生したために、津波自身が減衰した後もさまざまなモードの共振が発生し、長いところでは数日間にわたって長周期波が観測されたといわれている。それぞれのスペクトルにみられる長周期部分のピーク周波数に対応する固有周波数のモードについては、港湾やあるいは湾全体の形状から今後詳しく検討する必要がある。

検潮記録のスペクトルを沖合津波記録のスペクトルと比較すると、全体的に 10^3Hz ($\approx 15\text{分}$: フーリエ成分の周期、以下同様) 付近を境に高周波数側で減衰が大きい。4.3(2)に示したように、検潮儀は全体として水位変動の振幅を低減させる特性をもち、この傾向は周波数が大きくなるほど強くなる。検潮記録のスペクトルにみられる傾向は、この検潮儀の周波数特性を表しているものと思われる。

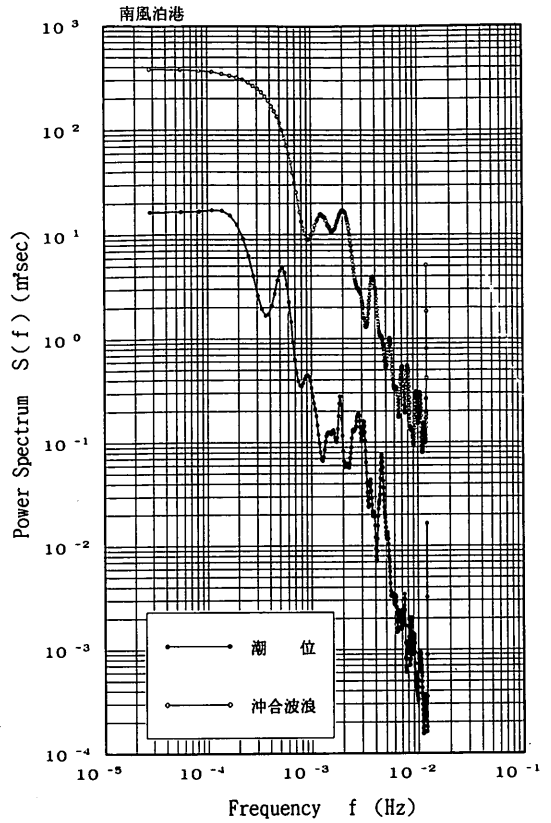
しかしながら、減衰比は周波数の増加とともに単調に減少するわけではなく、 $1 \sim 4 \times 10^3\text{Hz}$ ($\approx 5 \sim 15\text{分}$)の周波数で大きな変動を示すものが多い。この周波数帯は沖合津波波形のピーク周波数とよく対応している。4.3(2)に示したように、検潮儀の減衰比は入射波の振幅によっても変化し、振幅が大きくなるほど減衰比は小さくなる。したがって、ピーク周波数付近では近接するフーリエ成分毎で振幅が大きく変化するために、減衰比の値が変動すると考えられる。また、このピーク周波数は、4.2に示した津波の第1波の周期 ($\approx 960\text{秒}$)の領域に対応している。したがって、沖合から入射した津波の第1波にあたる成分は検潮儀による減衰比が大きく、振幅がある程度低減した値であられることが推察される。

また、検潮記録のスペクトルは、低周波数側で全体的に沖合津波波形のスペクトルより大きな値を示している。検潮儀の応答特性による減衰比は、村上の解析解では1より大きな値をとらないはずである。したがって、港内における波の変形や浅水変形、屈折等による長周期成分の発達の影響により、港内の長周期水位変動が沖合と比べて顕著になっているものと考えられる。

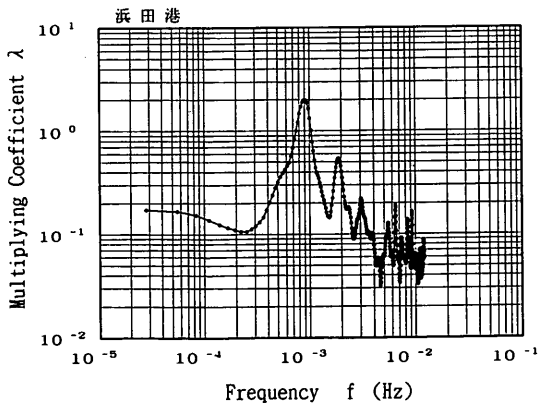
たとえば、輪島港について低周波数側にあらわれたピークの周波数を比較してみると、波高計の記録では $8 \times$



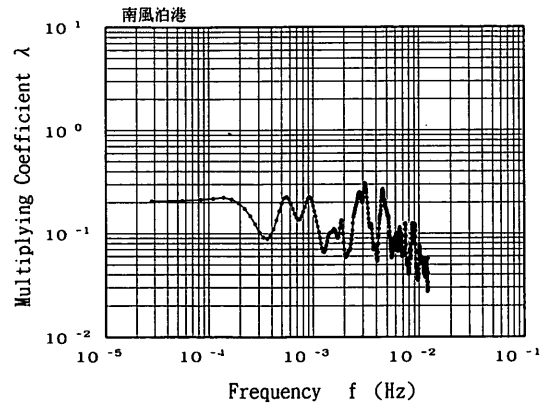
(1) パワースペクトル



(1) パワースペクトル



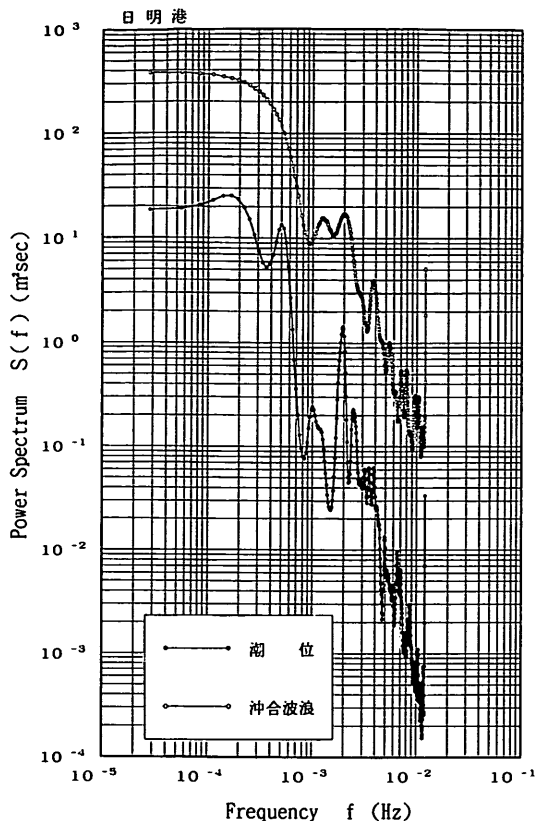
(2) 減衰比



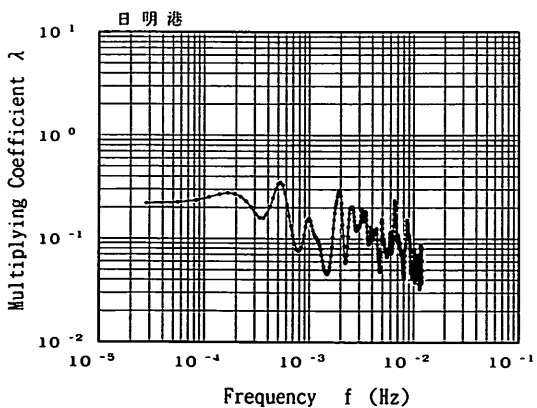
(2) 減衰比

図-4.43 浜田港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は浜田港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに
 解析を行った。

図-4.44 南風泊港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は南風泊港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに
 解析を行った。



(1) パワースペクトル



(2) 減衰比

図-4.45 日明港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は日明港の波浪観測地点で取得した
 0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から
 6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに
 解析を行った。

10^4 Hz ($\approx 20 \text{ 分}$) 付近に顕著なピークが1つだけみられるのに対し、検潮記録中では $5 \times 10^4 \text{ Hz}$ ($\approx 35 \text{ 分}$) 付近のさらに低周波数側にも顕著なピークがあらわれている。このように、沖合では比較的值が小さい周波数成分が港内で増幅されている原因として、副振動などの長周期成分が励起されていることがあげられる。

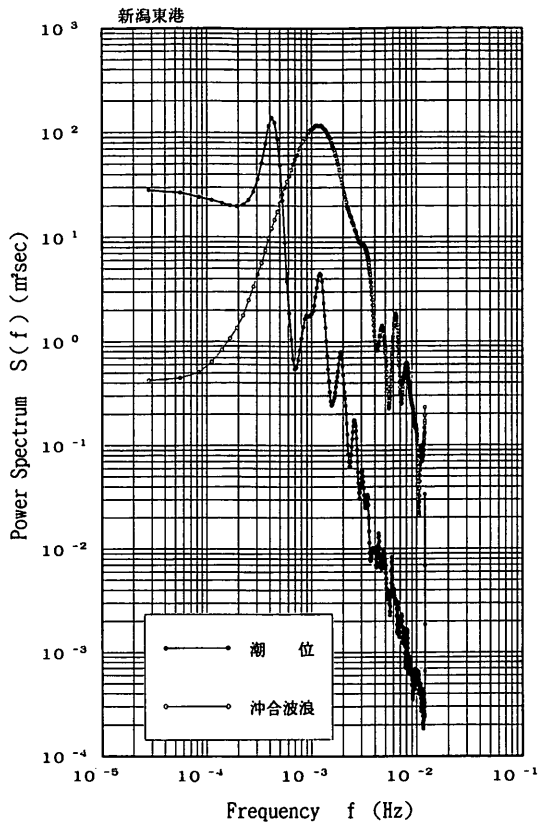
図-4.37に示す能代港のスペクトル計算結果の大きな特徴として、港外の水位記録では 10^3 Hz 以下の低周波数側のスペクトルの値が他の港湾と比べて小さくなっていることがあげられる。したがって、能代港沖合では $2 \times 10^4 \text{ Hz}$ 以下 ($\approx 80 \text{ 分以上}$) の成分を除いて、長周期成分に顕著なエネルギーのピークが認められない。ただし、4.3(5)で述べたように、能代港では連続した記録が取得されているのに対し、他の地点では欠測データの影響により低周波成分が小さく計算されるので、上記の結果にはこの影響が含まれているかもしれない。

これに対し、検潮記録では低周波成分の波の発達が著しく、図-4.37(2)に示すように減衰比が最大で 2×10^1 以上の値をとっている。このエネルギーは主として、 $4 \times 10^4 \text{ Hz}$ ($\approx 40 \text{ 分}$) と $1.5 \times 10^3 \text{ Hz}$ ($\approx 10 \text{ 分}$) 付近の2ヶ所で卓越したピークを形成している。これらの周波数に対応する長周期成分の発生の可能性については、今後、さらに十分検討していく必要がある。

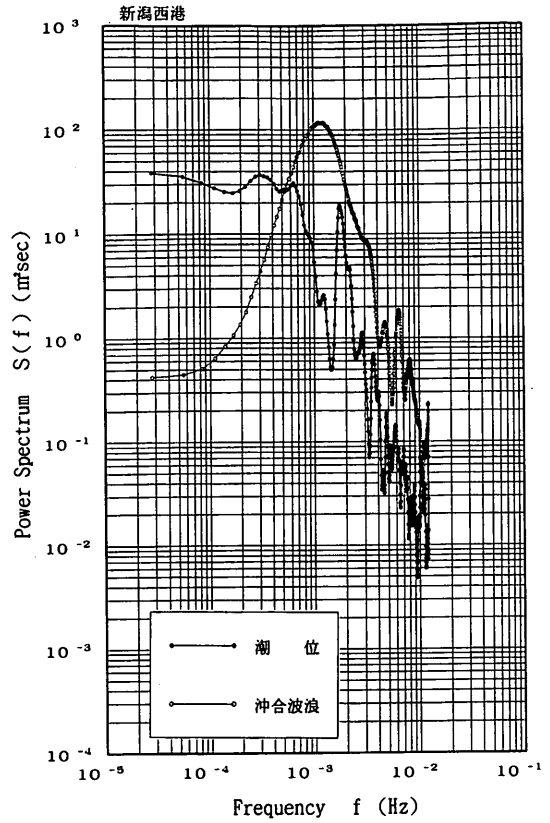
図-4.46と4.47は、それぞれ新潟の東港と西港の潮位スペクトルの計算結果である。東港のスペクトルにみられる $4 \times 10^4 \text{ Hz}$ ($\approx 40 \text{ 分}$) 付近のピークは、付図-4.14の時系列中にみられた長周期振動の周期とほぼ一致し、これからも東港では周期40分程度の長周期成分が卓越していたことがわかる。この他にも高周波数側の倍周波数の位置に規則的なピークがあらわれているが、はじめに示したように、潮位の読み取り波形が三角波のようにしている影響からあらわれる副次的なピークである可能性もあり、さらなる検討が必要である。一方、西港では、 $3 \sim 7 \times 10^4 \text{ Hz}$ ($\approx 25 \sim 60 \text{ 分}$) の周波数帯にみられるなだらかなピークと、 $1.5 \times 10^3 \text{ Hz}$ ($\approx 10 \text{ 分}$) 付近のピークが顕著である。

これに対し、水位記録のスペクトルでは 10^3 Hz 付近にピークをもち、検潮記録のスペクトルピークの出現の傾向と対応しない。この原因としては、水位記録の取得地点は比較的沖合であり長周期成分の発達状態が東港の観測地点とは異なること、あるいは両港のスペクトルの減衰比が高周波数側で小さいことが考えられる。減衰比が小さくなる原因としては港湾の形状による応答特性と検潮儀自身の構造的な応答特性が考えられる。

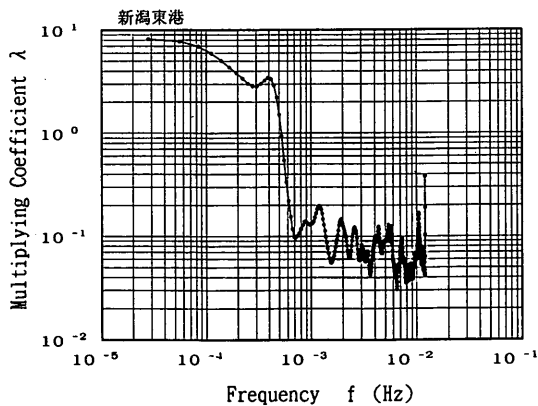
新潟西港では港湾にかなり近接した地点にも波高計が



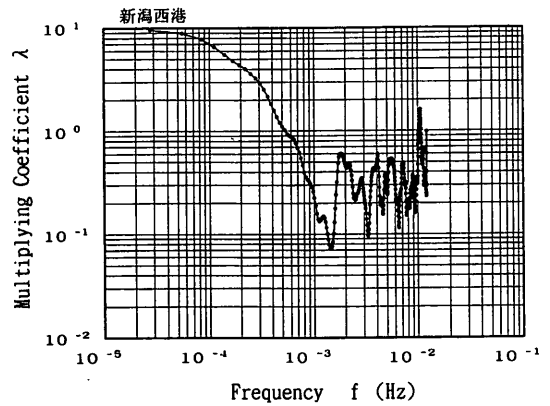
(1) パワースペクトル



(1) パワースペクトル



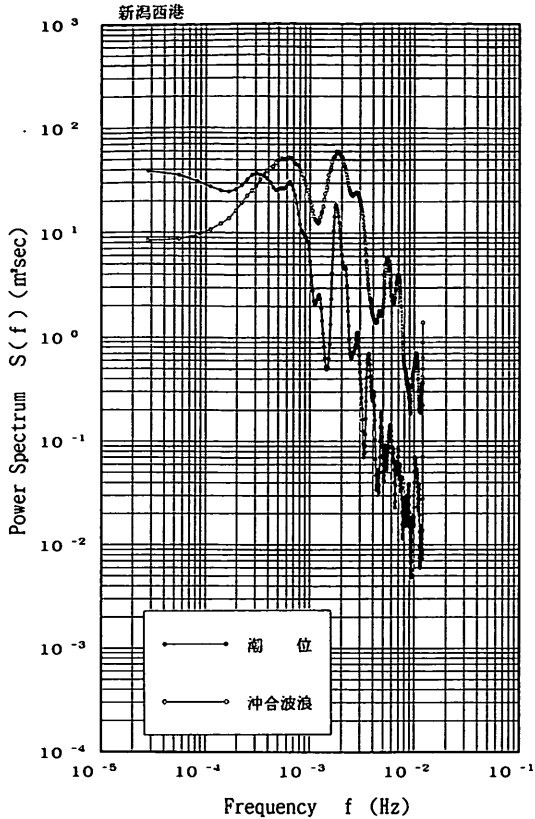
(2) 減衰比



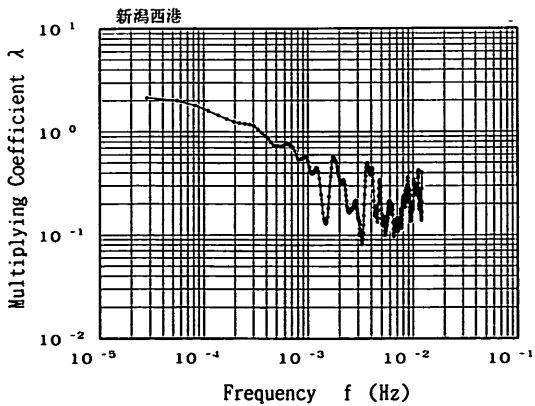
(2) 減衰比

図-4.46 新潟東港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は新潟東港の波浪観測地点で取得した0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに解析を行った。

図-4.47 新潟西港の沖合波浪と潮位変動の周波数スペクトル
 沖合の水位記録は新潟西港の波浪観測地点で取得した0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに解析を行った。



(1) パワースペクトル



(2) 減衰比

図-4.48 新潟西港の沖合波浪 (-9.2m) と潮位変動の周波数スペクトル

沖合の水位記録は新潟西港 (-9.2m) の波浪観測地点で取得した0.5秒サンプリングのデジタル記録であり、23:50から6:10までの2時間毎に20分間ずつの観測記録をもとに解析を行った。

設置されており、その地点で取得された水位記録は西港内の水位変動との相関がより大きいと考えられる。そこで、西港付近で取得された水位変動からも同様にスペクトルを計算し、図-4.48に示す。

図より、近接した地点で取得されたスペクトルには、 $6 \times 10^{-4} \text{Hz}$ ($\approx 25 \sim 30$ 分) 付近にみられるなだらかなピークと $1.5 \times 10^{-3} \text{Hz}$ (≈ 10 分) 付近のピークがみられ、それぞれのピーク周波数は検潮記録のスペクトルの値とよく対応している。このことは、西港で取得された検潮記録中の $6 \times 10^{-4} \text{Hz}$ ($\approx 25 \sim 30$ 分) 程度の長周期振動成分が港湾内で実際に発生している副振動を示していることをあらわしている。したがって、検潮儀の応答特性について十分に検討し、減衰比を正確に求めることができれば、逆に、検潮儀の記録から港内の水位変動を精度よく推定できると考えられる。

また、図-4.47、4.48の比較から、検潮記録と近接した波浪観測地点の波高記録とはスペクトル形状についてよい対応を示すが、沖合に離れた波浪観測地点の波高記録とは応答特性が大幅に異なる場合があるといえる。したがって、検潮記録から沖合の津波波形を推定する場合には、津波の伝播、発達特性を考慮した上で両者の応答についてよく検討しなければならない。ただし、新潟で取得された沖合津波波形は、2時間毎の水位記録から計算しているため、スペクトルの計算結果に副次的なピークがあらわれる可能性もあり、その推定誤差も大きい。したがって、水位記録のスペクトル計算結果に、この影響があらわれているため両者の対応がよくないことも考えられる。

(6) 相互のスペクトルの相関性

図-4.49～4.62は、各港湾の検潮記録と水位記録の相関関係を表しており、横軸は周波数をあらわしている。図の(1)中の縦軸はコヒーレンスを示している。また、両者の間のフェイズとラグについても、同様に、それぞれ(2)、(3)に示す。これらの図をもとに、両者の間の相関の有無とその大きさについて、スペクトル自身のオーダーと比較しながら議論をおこなう。また、両者の間のフェイズには観測地点間の距離のために遅延が生じるので、その点について考慮しながら、フェイズやラグの値について検討する。

図より、コヒーレンスは、 $1 \sim 4 \times 10^{-3} \text{Hz}$ ($\approx 5 \sim 15$ 分) 付近に小さなピークをもつものが多い。これは、4.3(5)に示したパワースペクトルのピーク周波数に対応している。ただし、検潮記録のパワースペクトルに長周期成分 ($6 \times 10^{-4} \text{Hz}$ 以上： ≈ 25 分以上) のピークがみ

られる場合には、コヒーレンスのグラフにはこれに対応する明瞭なピークは認められないことも多い。これは、

この長周期波成分が副振動によるものであるためと考えられる。副振動は港外の水位変動と無関係に港内に入射

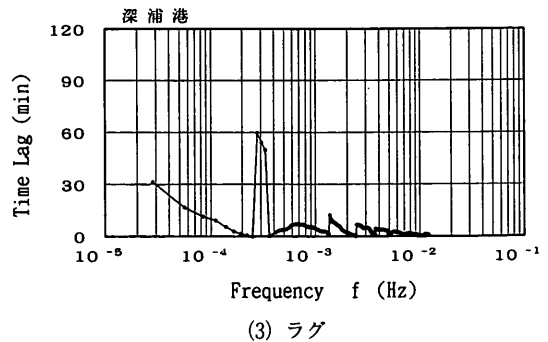
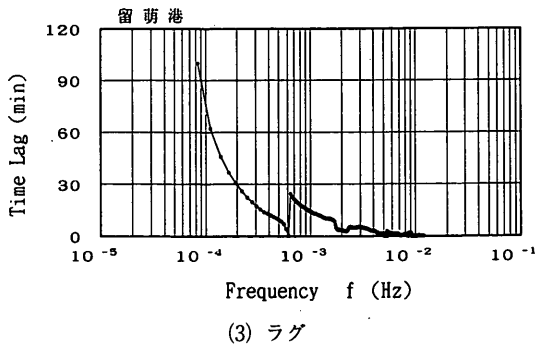
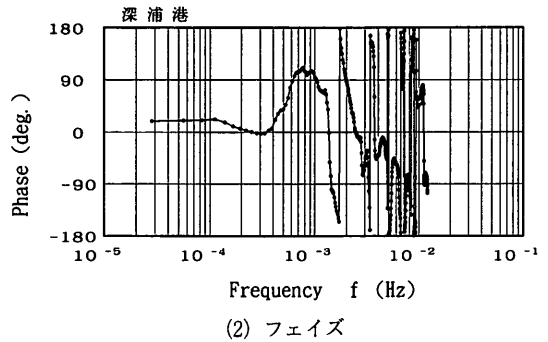
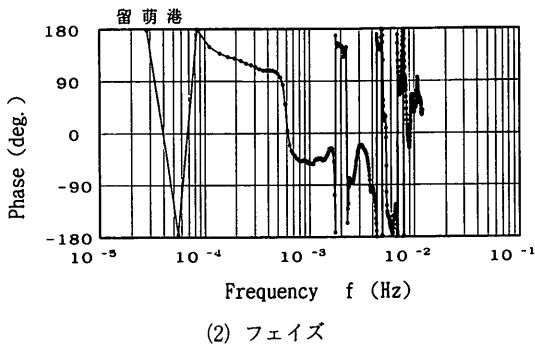
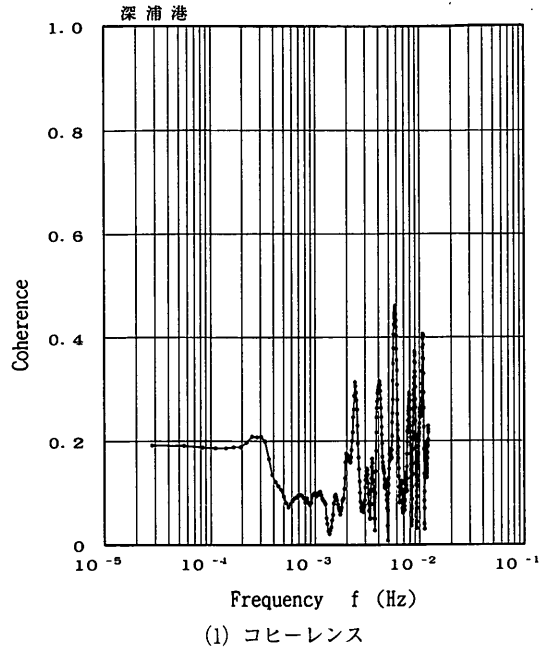
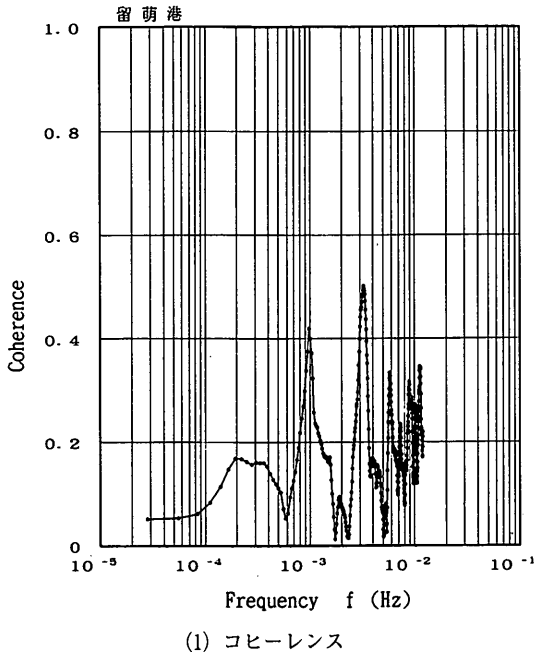
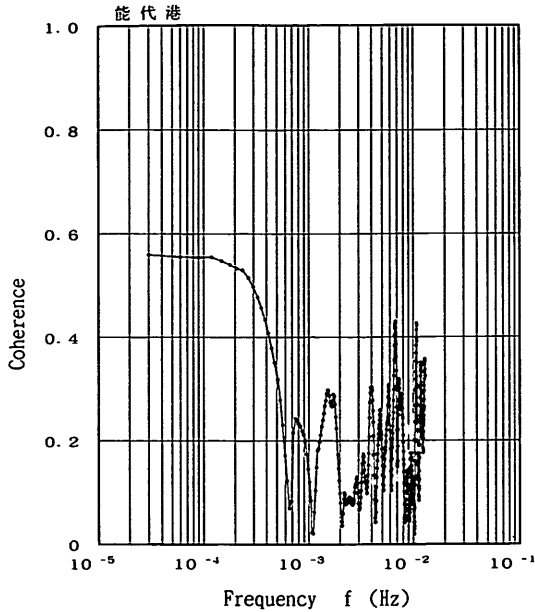


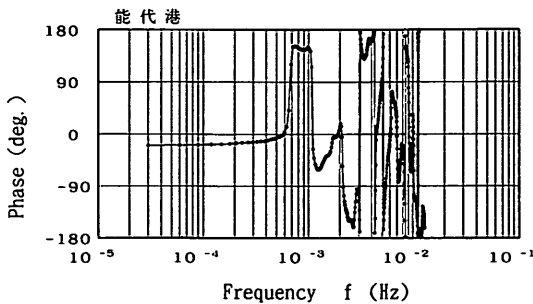
図-4.49 留萌港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

図-4.50 深浦港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

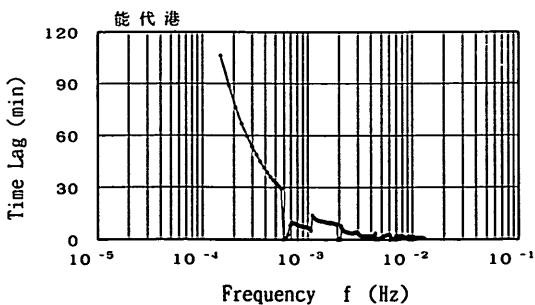
してから顕在するため、沖合水位変動との相関が小さくなる。



(1) コヒーレンス



(2) フェイズ



(3) ラグ

図-4.51 能代港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

コヒーレンスは、 $2.0 \times 10^{-4} \text{ Hz}$ (≈ 90 分) 付近の低周波数側にもなだらかなピークをもち、これらのピークよりも高周波数帯ではコヒーレンスの値が激しく変動する。このなだらかなピークは、潮汐等を含んださらに長周期の波同士の応答を示すと考えられる。また、高周波数側に相関がみられるのは、津波の第1波に対応する周期 (≈ 960 秒) の周辺にあるためと考えられる。ただし、高周波数成分についてはスペクトルの絶対値が小さいこと、およびフェイズが不安定なことから必ずしも相関が高いとはいえない。

図-4.51に示される能代港のコヒーレンスでは、低周波数成分のコヒーレンスも、他の港の場合と比べて大きくなっている。これは、能代港では港湾の内側で、長周期成分の発達がありみられず、外部の潮汐等による水位変動に直接対応する波が港湾内でもみられるためと考えられる。このため、フェイズも低周波数側では 0° 付近を示している。

低周波数成分の波のフェイズは安定している場合が多い。たとえば、輪島港では、ほぼ -90° 付近に集中しており、ラグを計算すると周期の $3/4$ 程度となる。輪島港では、観測地点と港湾の位置的な関係から津波の伝播時間は2~3分のオーダーである。また、図-4.33に示されるように、検潮儀の構造的な特性から与えられる時間の遅れも、 $E_0=50$ とみなした場合、数分程度にしかならない。しかし、周波数が低くなるほどラグが大きくなる傾向は理論値と一致していることから、何らかの原因によってさらに低周波数成分でも減衰比が小さくなっていると考えられる。

この原因としては、たとえば、検潮儀の導水管内の粗度が理論値より大きいため構造係数の値が表-4.8に示した値より大きくなっていったことが考えられる。4.3(3)で示した減衰比の観測結果と計算結果との比較でも、 E_0 の値を大きくすると減衰比が小さくなる傾向がみられており、導水管内の粗度の増加のように管路内の損失が大きくなる場合に減衰比の減少がみられる。また、港湾に津波が入射する場合にも、防波堤外部と内部の水域で検潮儀と同様な周波数応答をもつ。この振動系の固有周波数は検潮儀の周波数応答と比べてオーダーが大きい。したがって、この振動系が支配的となっている影響が低周波成分にあらわれていることも考えられる。

フェイズが安定する周波数帯はどの場合でもほぼピーク周波数より低周波数側とみなしてよい。しかし、フェイズの値自身は、港湾により異なりそれぞれの検潮所で特定の値を示す。これは、各港湾に設置された検潮儀および港湾自身の周波数応答特性が異なるために、それぞ

れの形状により独自の値をとるものと考えられる。

図-4.60, 4.61は、新潟東港と西港の相関関係をそれぞれ

れ示している。新潟東港のコヒーレンスは、 5×10^{-4} Hz以下の周波数帯で、0.2~0.3程度の値をとり、明瞭など

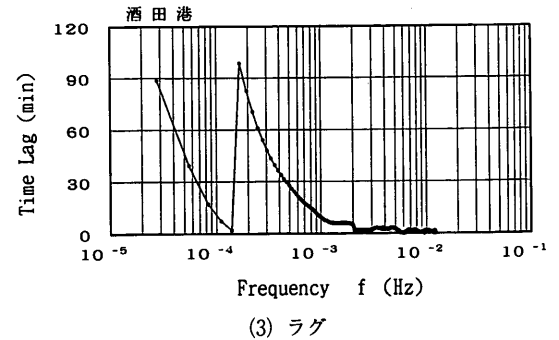
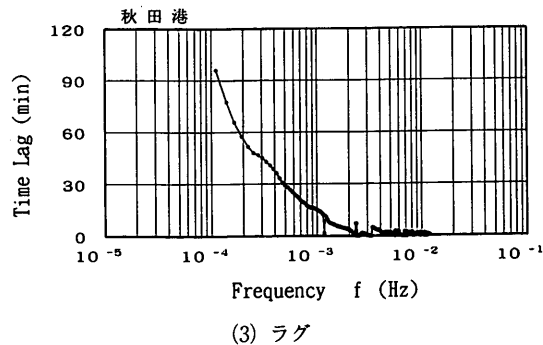
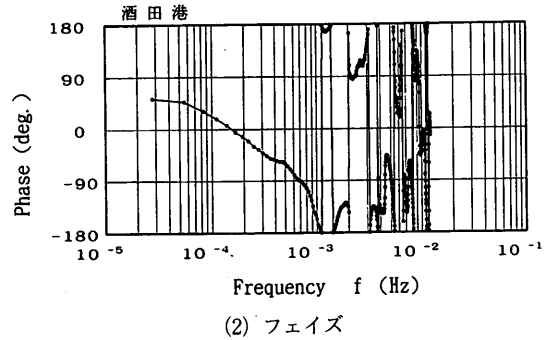
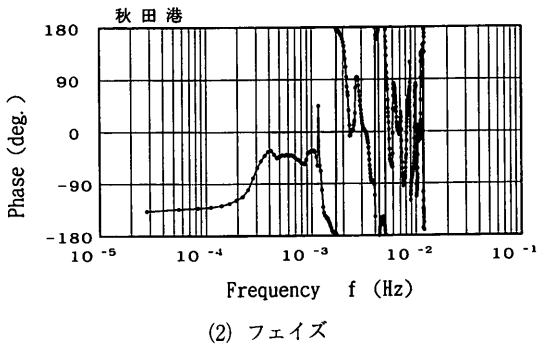
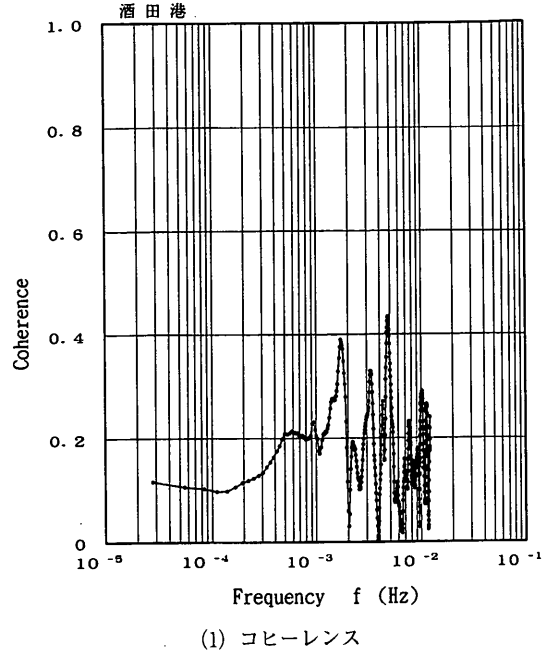
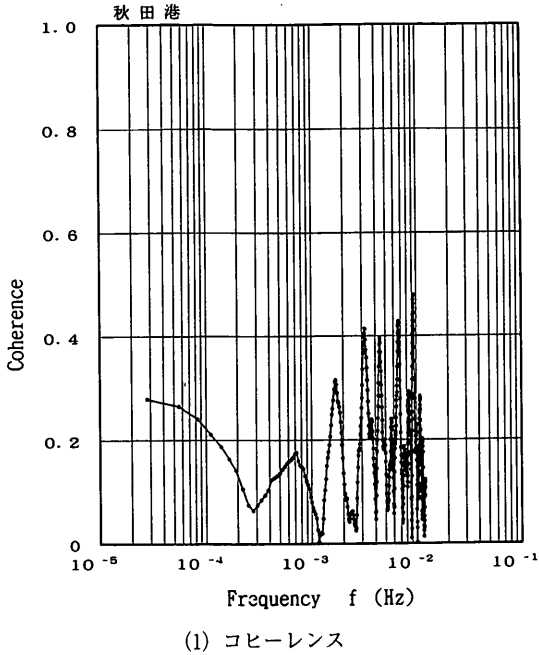
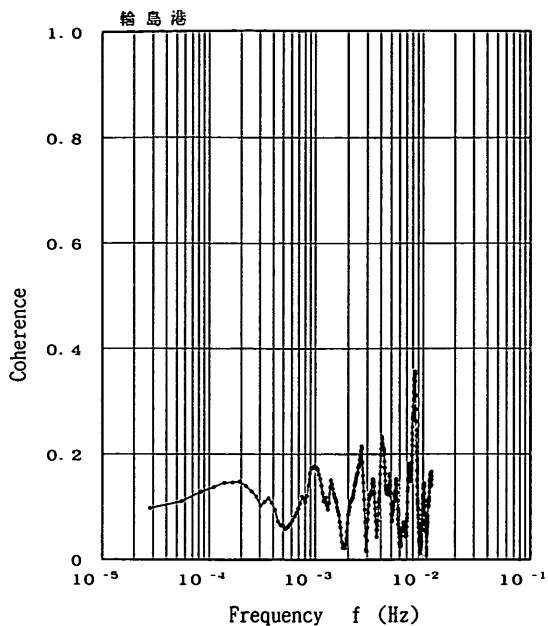


図-4.52 秋田港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

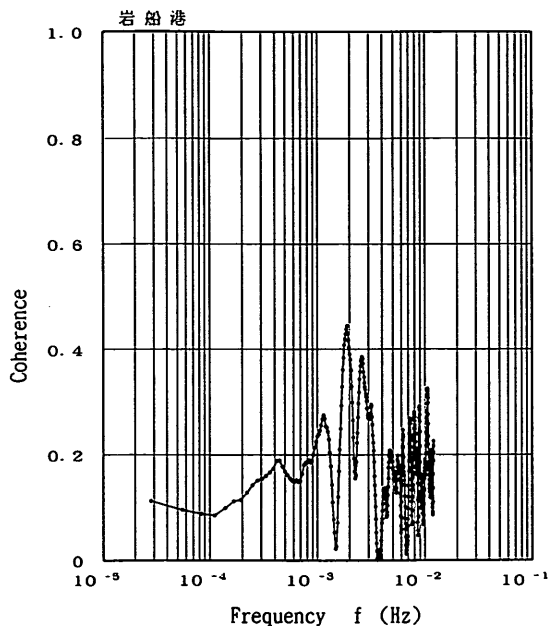
図-4.53 酒田港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

ークをもたない。4. 3 (5) に示したように、新潟東港では40分程度の周期をもつ長周期成分の波の峰と谷の

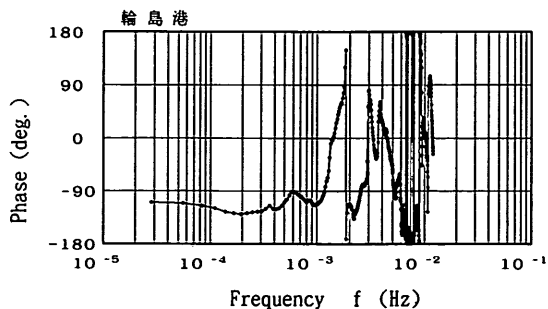
間がほぼ直線となっているため、パワースペクトル上に副次的なピークがあらわれている可能性がある。このと



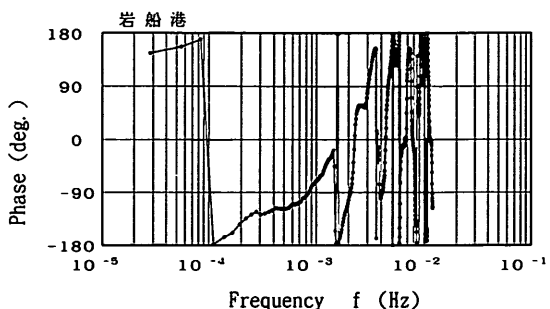
(1) コヒーレンス



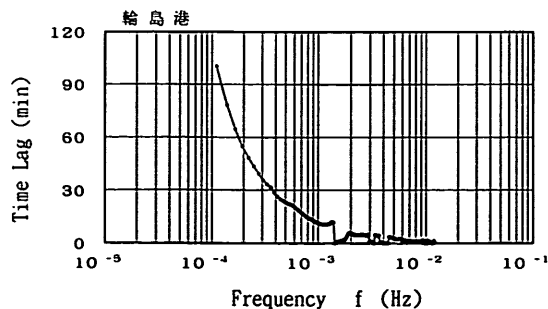
(1) コヒーレンス



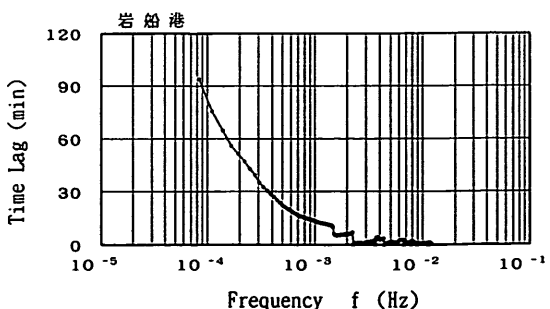
(2) フェイズ



(2) フェイズ



(3) ラグ



(3) ラグ

図-4.54 岩船港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

図-4.55 輪島港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

き、副次的なピークは基本周波数成分のスペクトルと相関をもつので、ピーク自身の周波数成分のスペクトルの

間で相関を計算するとコヒーレンスは小さくなる。このため、全体的に相関が小さくなっていると考えられる。

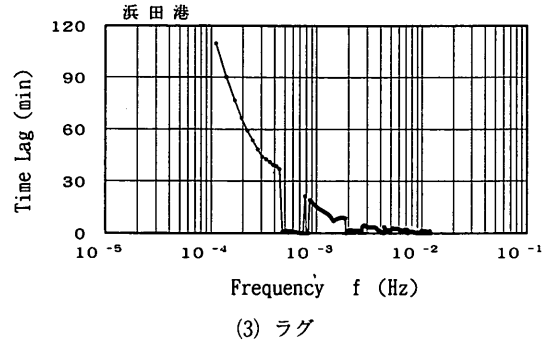
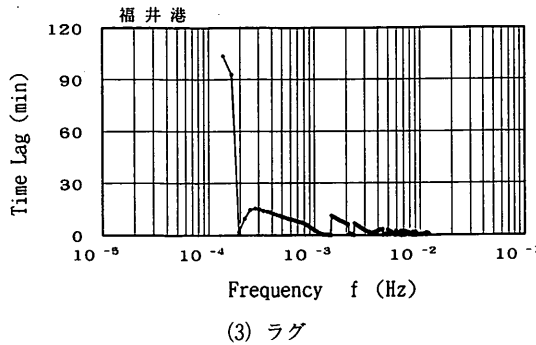
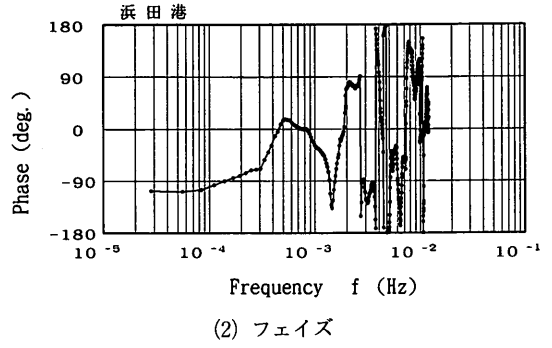
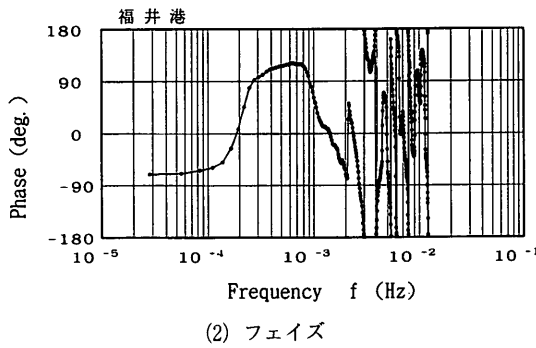
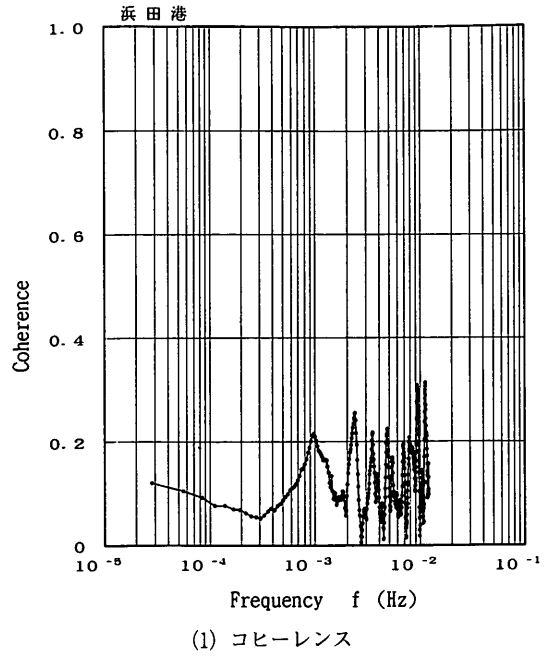
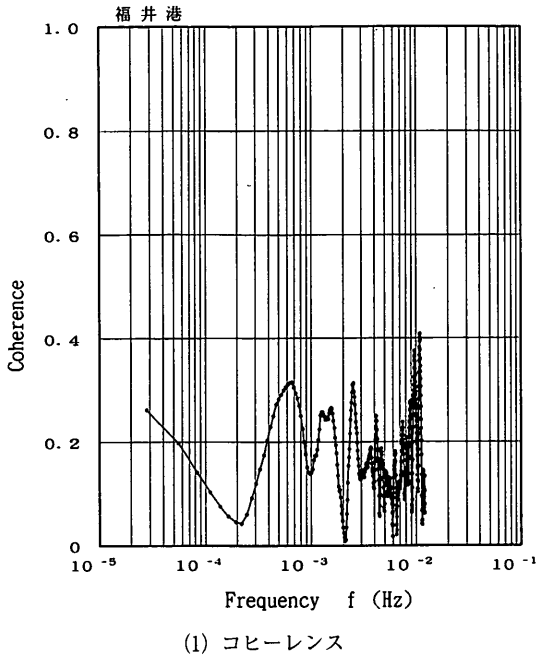
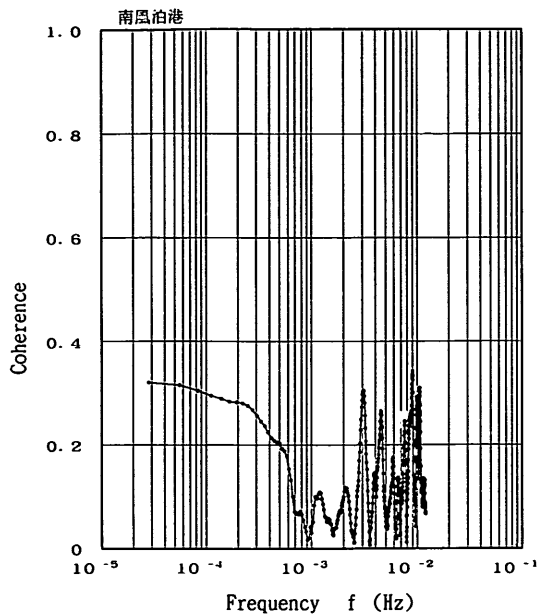


図-4.56 福井港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

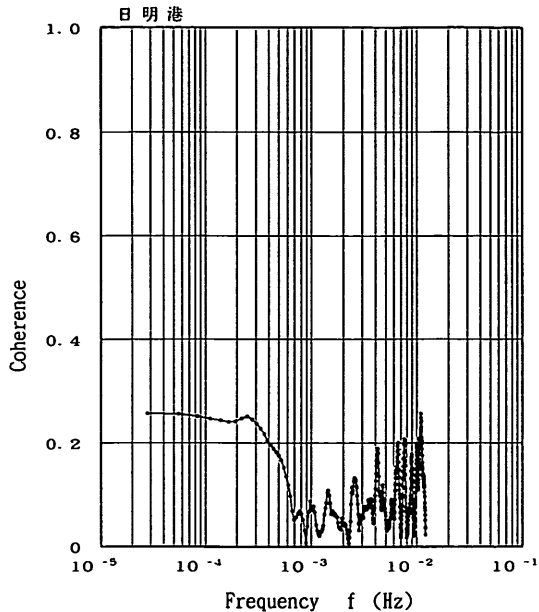
図-4.57 浜田港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

図-4.60は、 10^{-3} Hz以上（≒15分以下）の部分でもいくつかのピークをもつが、前記と同様にパワースペクトルの

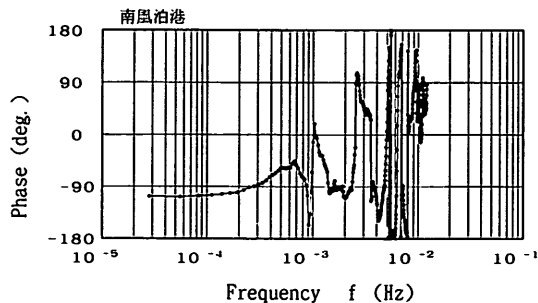
副次的なピークとの相関を計算している可能性がある。新潟東港のフェイズは周波数が高くなるにつれて大きく



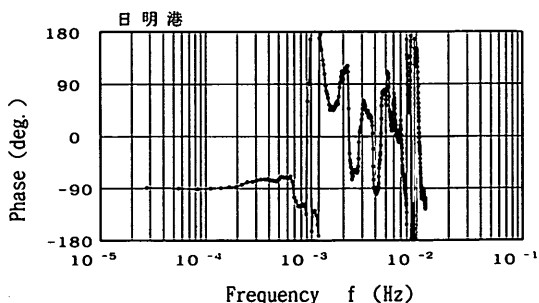
(1) コヒーレンス



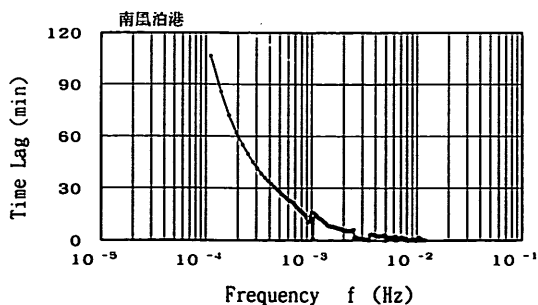
(1) コヒーレンス



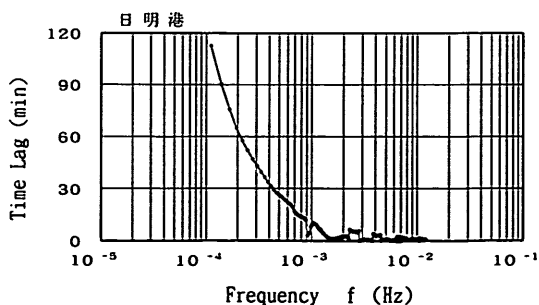
(2) フェイズ



(2) フェイズ



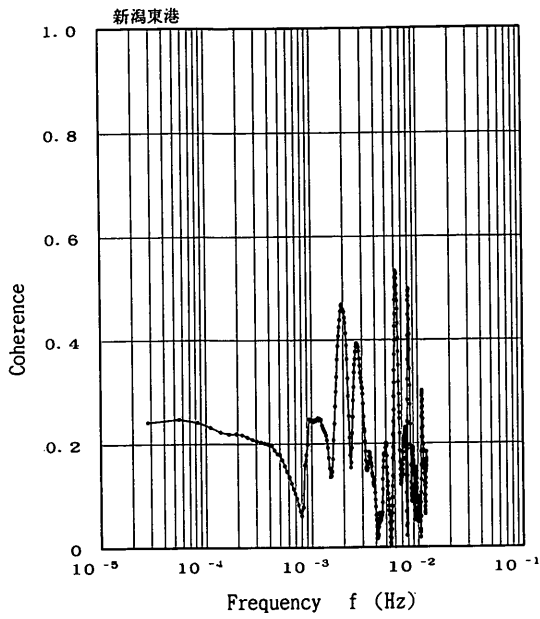
(3) ラグ



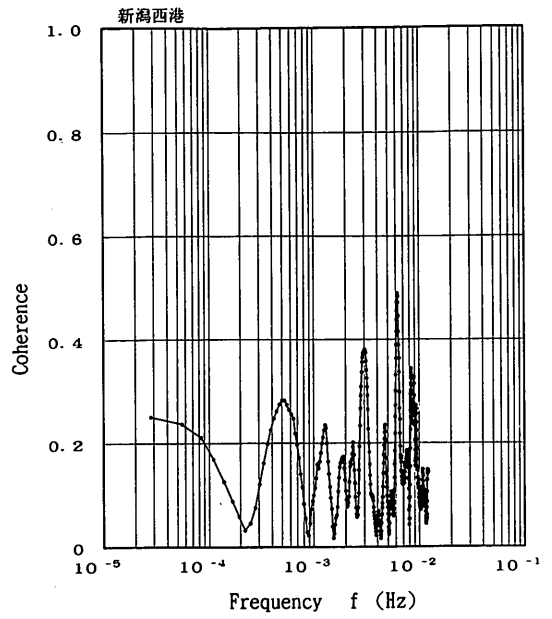
(3) ラグ

図-4.58 南風泊港の潮位変動と港外水位変動との相関関係

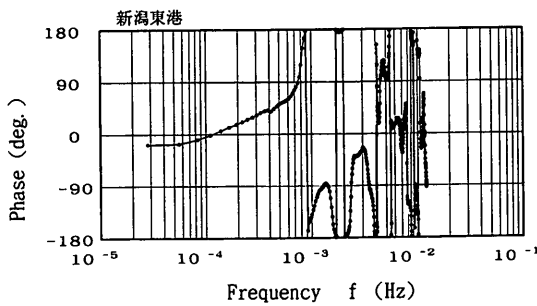
図-4.59 日明港の潮位変動と港外水位変動との相関関係



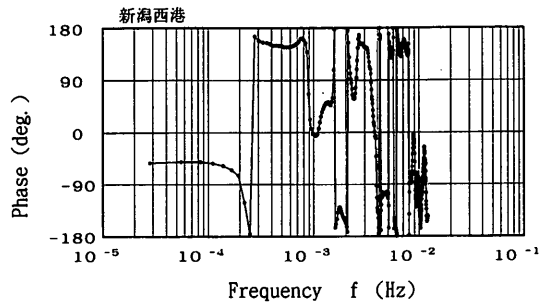
(1) コヒーレンス



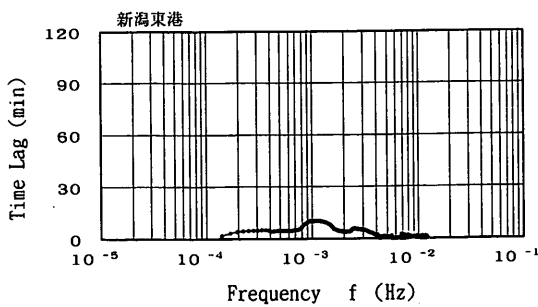
(1) コヒーレンス



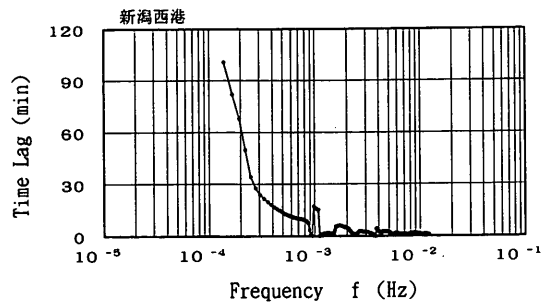
(2) フェイズ



(2) フェイズ



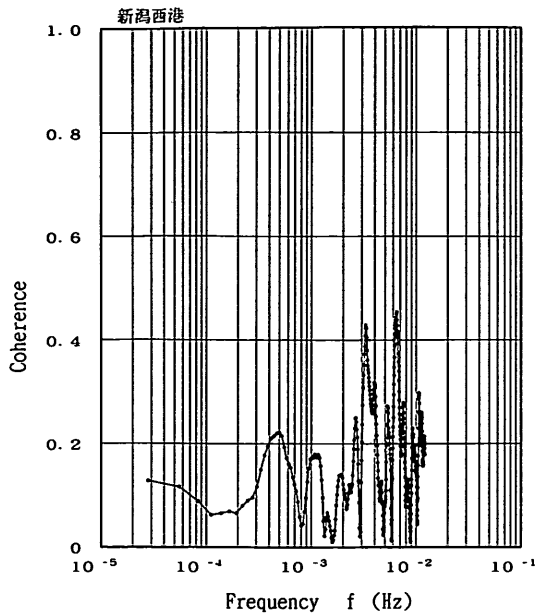
(3) ラグ



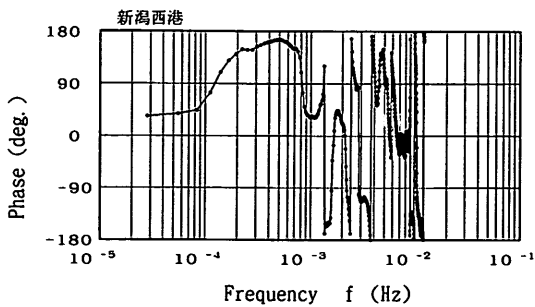
(3) ラグ

図-4.60 新潟東港の潮位変動と港外水位変動（新潟沖）との相関関係

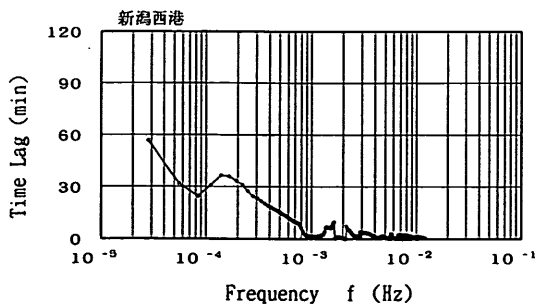
図-4.61 新潟西港の潮位変動と港外水位変動（新潟沖）との相関関係



(1) コヒーレンス



(2) フェイズ



(3) ラグ

図-4.62 新潟西港の潮位変動と港外水位変動(新潟西港(-9.2m))との相関関係

なる傾向を示すが、ラグの値は、ほぼ5~15分の範囲にある。

これに対し、新潟西港のコヒーレンスはパワースペクトルのピークに対応する $5 \times 10^{-4} \text{ Hz}$ (≈ 35 分)、および $1.5 \times 10^{-3} \text{ Hz}$ (≈ 10 分)付近にピークをもつ。ただし、2つのピーク付近のフェイズの値は異なっており、それぞれ 135° および $0 \sim 45^\circ$ である。フェイズの特性に違いがみられるのは、2つのピークに対応する長周期成分の顕在化の原因に違いがあるために、それぞれ位相差が異なるものと考えられる。また、 $2 \times 10^{-4} \text{ Hz}$ 以下の長周期成分では、フェイズは、 -45° 付近の値を示す。

また、西港については、4.3(5)と同様に近接した位置に設置された波高計で取得された水位記録との相関関係を図-4.62に示し、検討を行った。図-4.62のコヒーレンスおよびフェイズは、図-4.61とほぼ同様な性質を示している。したがって、これらの応答特性は、津波が港口付近に伝播するまでの間で与えられたのではなく、港口の波高計設置地点を通過した以降の要因に影響されていることが考えられる。ラグについては $2 \times 10^{-4} \text{ Hz}$ 以下の長周期波成分のフェイズが 45° 付近の値をとるために、低周波数側で傾向が異なっている。

以上、北海道南西沖地震において検潮記録が取得された港湾に対して、沖合津波波形と潮位変動の周波数応答特性を示した。今後、さらに解析を進めていき、長周期成分の励起等について、他の解析結果との比較を行い考察を深めていきたい。

(7) まとめ

- 1) 検潮井戸の津波に関する応答について各港湾の検潮井戸の構造諸元を用いて検討を行った。たとえば、深浦港の場合、導水管の形状損失を考慮して検潮井戸の構造係数を計算すると、考慮しないものと比べて3~5倍増加する。これより、導水管の形状が、検潮井戸の応答特性に大きな影響を与えることが明らかになった。
- 2) いくつかの港に対し、検潮記録の最高潮位の津波の痕跡高に対する減衰比を計算した。導水管の形状を考慮して痕跡高を推定すると、考慮しないものに対して精度が向上することが、深浦港の場合について検証された。
- 3) 各港湾に対して、港内で取得された検潮記録を用いてパワースペクトル解析を行い、港外の水位変動のパワースペクトルとの比較を行った。津波波源に近い北海道沿岸では津波の第1波に対応する周期(≈ 15 分)に大きなピークがみられた。また、大和堆等

の海底地形の影響で津波波高が大きくなったと考えられている佐渡島、能登半島および隠岐島周辺においても、津波の第1波に対応する周期に顕著なピークが認められた。

- 4) ほとんどの港では、10~40分の周期の長い領域にもスペクトルのピークが認められた。これは、検討を行ったそれぞれの港湾の形状に対応して長周期波の発達があったためと考えられる。長周期波の発達が顕著であったことは、検潮記録の時系列からも観察される。
- 5) 検潮記録のパワースペクトルの港外の水位変動のパワースペクトルに対する減衰比を計算し検討を行った。スペクトルの各周波数成分の減衰比は全体的に波の周期が小さくなるほど小さくなる傾向があった。これは、検潮井戸の構造上の応答特性や港湾内に津波が入射するときの応答特性に対応している。また、スペクトルがピークをもつ周波数帯では、減衰比のグラフに大きな変動がみられた。これは、フーリエ成分の大きさが大きい場合、検潮井戸の応答特性が変化することに対応している。
- 6) 各港湾毎に特定の周期以上の波は、減衰比が1より大きくなる傾向がみられた。これは、港内に伝播した波が浅水変形、屈折の影響により波高が増大したのか、あるいは長周期成分が発達したためであると考えられる。この限界を与える周期は各港湾で異なり、1~30分の範囲にある。
- 7) 検潮記録と港外の水位変動記録の相関性を両者のコヒーレンス、フェイズおよびラグを用いて検討した。両方の記録中で同じ周波数帯にスペクトルのピークがみられる場合、その周波数帯でコヒーレンスは大きくなる。これに対し、検潮記録の方だけにピークがみられる周波数帯では相関があまり大きくならない。この場合、長周期成分が港内の条件によって顕在化したものであるため、港外の水位変動との相関が不明瞭になっていると考えられる。
- 8) 検潮記録と港外の水位変動とのフェイズは、長周期波成分では比較的安定した値をとる。安定したときのフェイズの値は各港湾で異なる。フェイズの値を時間遅れに変換した場合、港外から潮位観測施設までの波浪伝播による時間遅れより大きく、伝搬時間だけではフェイズを説明ができない。また、検潮儀の構造係数を $E_0=50$ とした場合の検潮儀の応答特性と比較した結果、全体の傾向には類似点がみられるが、全体的に長周期側でも時間遅れがみられる傾向があった。

5. 津波の数値計算*

5.1 津波の数値計算法

(1) 支配方程式

津波のように波長の長い波の運動は、非線形長波の理論式(浅水理論式)によって記述される。浅水理論は、波高 H と波長 L の比 H/L 、および水深 h と波長の比 h/L がいずれも小さいものとして導かれる。この近似では、圧力は静水圧分布となり、水平流速(u, v)は鉛直方向に一樣な分布となる。また、同理論式は、海岸近くでの津波の挙動を表す際に用いられるものであり、水深の大きい波源域から対象地点沖合まではさらに簡単な式で十分に表現できる。すなわち、津波の波高と水深の比が小さい場合、微小振幅波としての取り扱いが可能となり、浅水理論における非線形項を無視できる。また、海底摩擦についても水深が大きい海域ではそれほど影響しないと考えられる。したがって、波源域から海岸近くまでは次の線形長波理論式を用いることができる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} - fN + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} - fM + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (5.3)$$

ここで、 (x, y) は静水面に採った空間座標、 t は時間座標、 η は水位変動、 h は静水深、 D は($D=h+\eta$)で表される全水深、 g は重力加速度、 (M, N) はそれぞれ (x, y) 方向の流量フラックス、 f はコリオリ係数($f=2\omega \sin \phi$ 、 ω は角速度、 ϕ は緯度)である。

本章は、適用する波源モデルから計算される津波の伝播特性について検討を行うことを目的としている。そこで、今回の計算では、奥尻島、北海道西岸で発生した陸上への遡上計算は取り扱わず、今後、波源モデルが、津波研究分野で確定された時点で、詳細な遡上域を含めた津波計算を再度実施し、その報告を行うこととする。

(2) 差分スキーム

式(5.1)の連続式ならびに、式(5.2)および(5.3)の運動方程式を、スタッカード・リーブフログ差分法を用いて次のように差分化する。図-5.1に示す計算格

*執筆後 後藤智明

子上で、計算格子 (i, j, k) における水位を $(\eta_{i,j}^k)$ 、計算格子 $(i+1/2, j, k+1/2)$ における x 方向の流量フラックスを $(M_{i+1/2,j}^{k+1/2})$ と表す。そして、計算格子 $(i, j+1/2, k+1/2)$ における、 y 方向の流量フラックスを $(N_{i,j+1/2}^{k+1/2})$ とおくと、差分式は、

$$M_{i+1/2,j}^{k+3/2} = M_{i+1/2,j}^{k+1/2} - \frac{\Delta t}{\Delta s} [\eta_{i+1,j}^{k+1} - \eta_{i,j}^{k+1}] \quad (5.4)$$

$$N_{i,j+1/2}^{k+3/2} = N_{i,j+1/2}^{k+1/2} - gD_{i,j+1/2} - \frac{\Delta t}{\Delta s} [\eta_{i,j+1}^{k+1} - \eta_{i,j}^{k+1}] \quad (5.5)$$

$$\eta_{i,j}^{k+1} = \eta_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta s} [M_{i+1/2,j}^{k+1/2} - M_{i-1/2,j}^{k+1/2} + N_{i,j+1/2}^{k+1/2} - N_{i,j-1/2}^{k+1/2}] \quad (5.6)$$

で表される。したがって、 $(k+1/2)$ 時間ステップまでの水位および流量フラックスの値がわかると、 $(k+1)$

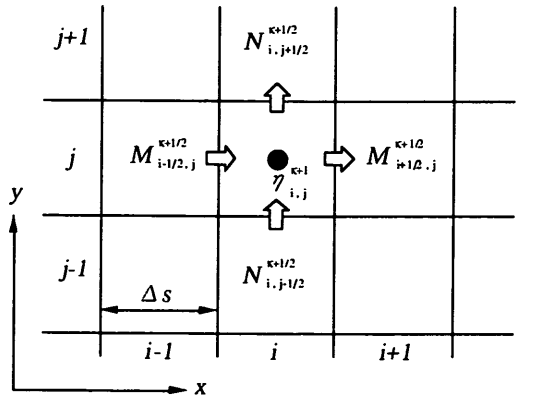
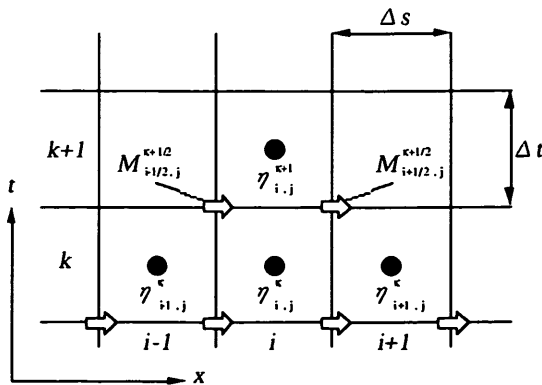


図-5.1 差分格子



時間ステップの水位が式 (5.4) で、また、 $(k+3/2)$ 時間ステップの流量が式 (5.5) および (5.6) で計算できる。さらに先の時間ステップの値は、同様にして、式 (5.4) から (5.6) を順々に計算することにより求めることができる。ここで、 Δs および Δt は空間および時間方向の差分間隔であり、差分スキームの安定条件 (C. F. L. 条件) から、

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} \geq \sqrt{2gh_{\max}} \quad (5.7)$$

を全計算領域で満足しなければならない。ここで、 h_{\max} は計算領域の最大静水深を意味する。

(3) 初期条件

津波数値計算の初期条件としては、地震断層モデルを用いて計算される海底地殻変動の鉛直成分を、海面上の水位変動として与える方法を用いる。地球内部に何らかの原因により蓄積された歪みが、ある限界に達すると亀裂 (断層) が生じ、これに沿って両側に地殻が急激にずれる。この現象が断層運動であり、断層面が食い違う際に地震動が生じる。また、海底下で断層運動が起こると、海底に鉛直方向の隆起・沈降が生じ、津波の発生原因となる。断層運動自体は、微細に見ると非常に複雑な過程を持つが、運動全体を巨視的に見ると比較的簡単なモデルで表すことができる。最も単純なモデルは、図-5.2

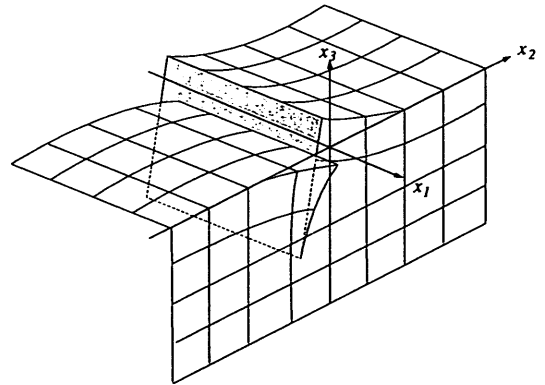


図-5.2 断層による地殻変動の模式図

および図-5.3に示すような6個のパラメータで表現されるものである。この断層モデルでは、長さ L 、幅 W の矩形断層面が、平均的に D (すべり量、あるいは食い違い量という) だけ互いにずれるものと考えられる。典型的なものとしては、水平方向にずれる横ずれ断層 (右ずれと

左ずれの2種類がある)や、鉛直方向にずれる縦ずれ断層(正断層と逆断層)がある。断層の幾何学的特性はすべりの方向 λ (断層下辺とのなす角)、断層の走向 ϕ (N方向から時計回りに測った断層の方向)、断層面の傾斜角 δ によって表される。以上の6個のパラメータが、断層パラメータと呼ばれ、地震波ならびに余震域の解析から推定される。

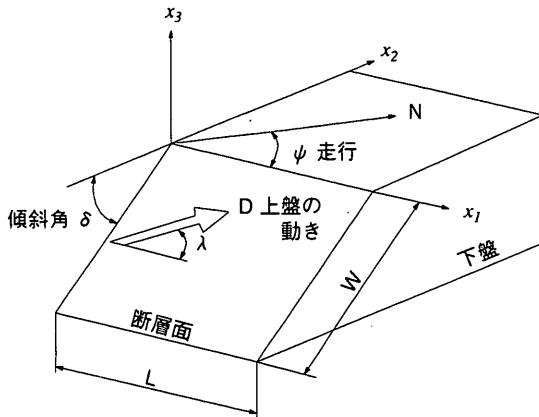


図-5.3 断層パラメータ

上記の断層パラメータが与えられると、断層近傍の海底面(地表面)における鉛直変位分布が、弾性論を基礎とする Mansinha and Smylie¹⁹⁾の方法により、計算で求めることができる。通常は、この鉛直地盤変位と同じ変位量を、海面変位として与えて、津波数値計算の初期条件とする。海底の変位を海面上に与える際には、変動全体が瞬時に完了するものとしている。実際の地震断層運動においては、変動は瞬時に生じるのではなく、数秒から100秒程度の継続時間をもつことが知られている。しかしながら、津波発生時の水位変動としては、瞬間的に海面上に変化が生じた場合と、1から2分の立ち上がり時間で完了させた場合とでは、ほとんど差がないことが確認されている²⁰⁾。

(4) 境界条件

沖側計算領域からの流出量については、進行性長波の特性曲線をもとに、流量を自由透過させるものとする。

沿岸境界条件は、今回の計算において陸域部への遡上計算を行わないため、汀線を鉛直壁と考えて岸に直角な流量を0とする。また、計算の安定性のため、汀線より1個沖側格子の水深を10m以上にとり、海底の露出が生じないようにしている。

(5) 計算領域

日本海を伝播する津波の特性把握とロシア・中国大陸ならびに日本沿岸の海岸線からの反射波の影響を考慮するために、津波の数値計算をする領域は、日本海全域とする。差分格子間隔は3.6kmとし、図-5.4にその範囲を、

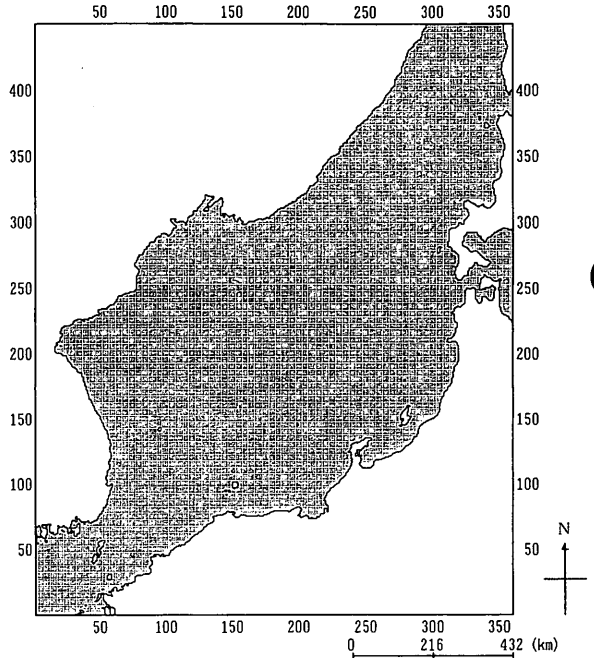


図-5.4 計算領域

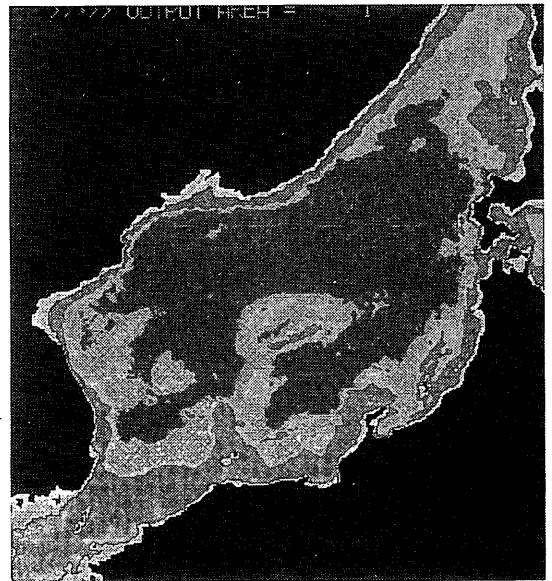


図-5.5 水深分布図

図-5.5に水深分布図をそれぞれ示す。計算範囲は、北海道から本州および九州にかけての日本沿岸を含む南北1620km、東西1296kmの長方形領域とする。また、差分時間間隔を6秒とする。計算の期間は、地震が発生した1993年7月13日20時17分から、8時間後の7月18日6時17分まで行う。これは、8時間程度の時間を経て、津波が北海道から九州沿岸までの日本海全域を伝播するためである。

5. 2 断層モデル

(1) 断層変位

津波計算の初期水位分布を与える断層モデルのパラメータに関しては、十分な検討が進んでいない。ここでは、東北大学工学部災害制御研究センターの首藤教授グループが、現段階で推定している波源モデル(DCRC-4)²⁾を採用する。この断層モデルは、強震観測記録ならびに余震分布から類推された暫定的な地震断層であり、今後修正が加えられることが予想される。

モデルDCRC-4のパラメータ諸元は、次に示すものである。地震断層面は、図-5.6に、太い破線で示すように、北側と南側の2つを仮定している。北側の断層面は、断層の走向開始位置が、東経139° 27′，北緯42° 37′で、長さ75km、幅25kmの長方形、断層の走向は193°，傾斜角30°で、西側が下がる逆断層である。すべり角80°から断層の水平方向と鉛直方向の地盤変位量を計算すると、それぞれ0.69m(左ずれ)、-3.94m(逆断層)となる。また、南側の断層面は、断層走向開始位置が東経139° 11′，北緯42° 37′で、長さ50km、幅25kmの長方形で、断層の走向は157°，傾斜角60°で、東側が下がる逆断層である。すべり角105°から断層の水平方向と鉛直方向の地盤変位量を計算すると、それぞれ-2.33m(右ずれ)、-8.68m(逆断層)となる。初期水位変動の大きさを、左右する鉛直方向の地盤変位量から見て、南側断層により発生した津波が、奥尻島ならびに北海道西岸に特に甚大な被害をもたらした断層であると

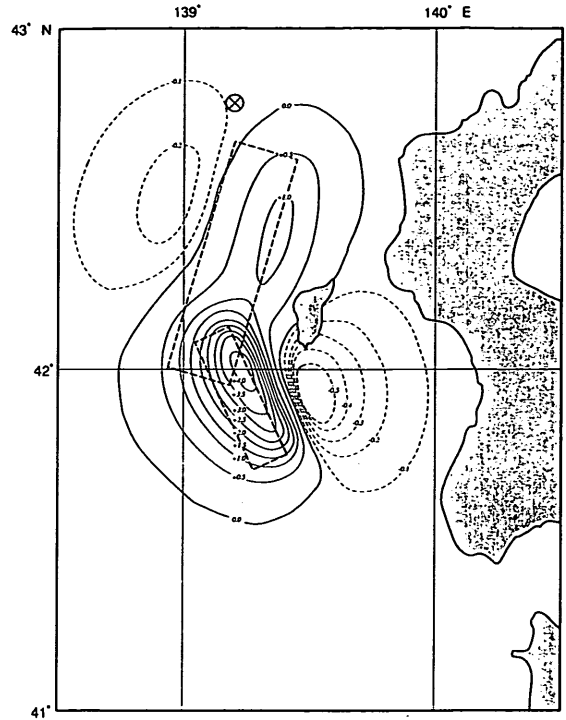


図-5.6 地盤断層面の位置および海底地形変動量(DCRC-4)

考えられる。この断層モデルの特徴は、2断面で構成されるくの字型の断層であり、2断面が奥尻島の南西沖で重複している点にある。この断層面の重複により、2断層による地盤変位分布が連続して与えられるように工夫されている。

計算に使用する断層パラメータの諸元を表-5.1にまとめた。表に示した断層面上縁の深さは、断層パラメータによる計算される断層面変位量が、海底地盤変位量(すなわち海面水位変動量)にどの程度影響するかを決定する重要な値であり、地盤変位の範囲も決定する。上縁の深さが大きいほど、地盤変位量は断層面変位量に近

表-5.1 断層モデルのパラメータ

	断層面の長さ	幅	すべり量	横ずれ変位	縦ずれ変位	すべり角	走行	傾斜角	断層面上縁深さ
	L(km)	W(km)	D(m)	U_s (m)	U_d (m)	λ (°)	ϕ (°)	δ (°)	Z_d (km)
断層1(北側)	75	25	4.00	0.69	-3.94	80	193	30	15
断層2(北側)	50	25	8.99	-2.33	-8.68	105	157	60	7

いものとなり、その変動範囲は断層部に集中する。

(2) 海底地盤変動量（海面水位変動量）

(1) で述べた断層モデルを用いて海底地盤変動量を求める。海底地盤変動量の分布は、前述の図-5.6に細い実線および破線で示す。海底地盤変動量が正、すなわち海底および陸地が隆起した部分の等高線を0.5m間隔で細い実線で、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。

北側断層面の上縁の深さを15km、南側断層を7kmと仮定した結果得られる地盤変位量、すなわち海面変動量は、図-5.6に細線で示すように計算される。北側断層による地盤変動量は、断層面の傾きが緩やかで鉛直方向の変位量が比較的小さいことから、実線で描かれた最大1.0m程度の隆起と、その西側に破線で描かれた最大0.2m程度の沈降となり、隆起域と沈降域の南北方向の範囲は、55km程度、東西に50km程度となる。一方、南側断層による海面変動量は、断層面の傾斜が急で鉛直方向の変位が大きいため、最大4.0m程度の上昇と、その東側に0.5m程度の低下となり、上昇域と低下域の南北方向の範囲は、70km程度、東西に50km程度となる。南側断層面の東側に位置する地盤変動量の隆起と沈降の境界線付近で最も大きい水位勾配が初期に形成されるため、伝播する津波は、震源から北東方向（奥尻島が位置する方向）に強い指向性を有することになる。

以上が、津波数値計算の初期条件として設定される津波の波源域モデルである。なお、図中、×印を付けた位置は、震央と推定される地点であるが、断層モデルでは、震央の南10km程度の位置から断層面が開始しており、

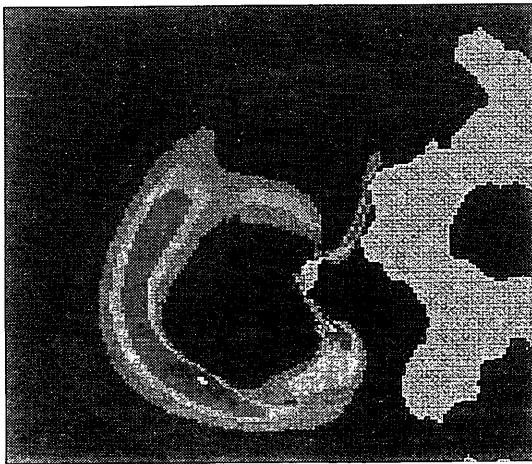


図-5.7 水位分布（計算開始5分後）

断層内に震央が存在していない。この点は、現段階の断層モデルの問題点として残る課題のひとつとして挙げられる。

5. 3 数値計算から見た津波の特性

(1) 津波の日本海伝播特性

津波発生後8時間後までの日本海伝播計算を行った結果から求めた5分後の水位分布を、図-5.7に、津波発生後2時間目までの10分毎の水位分布を、時間経過と併せて順に、図-5.8にそれぞれ示す。また、図-5.9に津

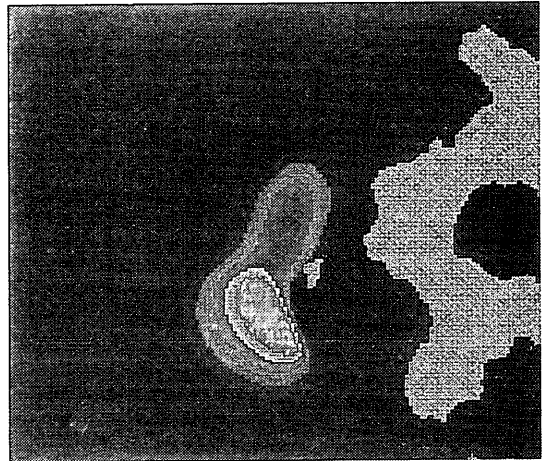


図-5.8 水位分布の経時変化 (1) 計算開始時

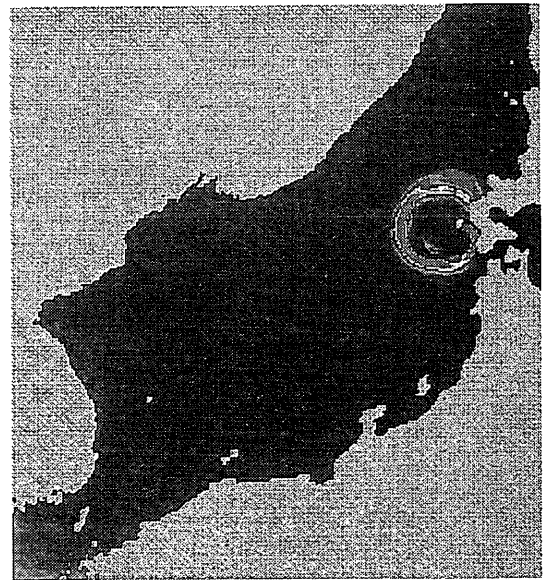


図-5.8 水位分布の経時変化 (2) 計算開始10分後



図-5.8 水位分布の経時変化 (3) 計算開始20分後



図-5.8 水位分布の経時変化 (5) 計算開始40分後



図-5.8 水位分布の経時変化 (4) 計算開始30分後



図-5.8 水位分布の経時変化 (6) 計算開始50分後

波発生後8時間目までの津波伝播図を示す。すべての水位分布は、波高階級に応じて色別され、青から赤になるとともに、津波水位は高くなる。この結果を基に、津波の伝播特性に注目すると、いくつかの知見が得られる。

津波発生後5分で、既に奥尻島の青苗地区（南端）と稲穂地区（北端）に第一波が到達しており、現地聞き取り調査と整合する。特に、鉛直変位量が大きい南側断層

により生ずる津波は、青苗地区に到達し、高い波高分布域となっている。そして、島の南北端を支点として、島背後に回り込む。津波発生から10分後には、津波の第1波が奥尻島の南北側から回り込んだ津波が、北海道西岸に到達している。また、この時の水位分布は、波源域の東側と西側で高い分布を示している。これは、津波の持つ指向性の強さに起因するものである。波源域が南北

方向に長い形状となっているため、伝播する津波のエネルギーは波源の単軸方向である東西方向により大きく伝播する。

その後、津波は波源域から放射状に日本海を伝播し、20分後には本州北部に、30分後にはロシア沿海州に第1波が到達する。20分後以降の奥尻島ならびに北海道西岸を注目すると、継続的に高い津波水位が計算され

る。これは、津波エネルギーが、奥尻島ならびに北海道西岸の陸棚上で捕捉された結果であると考えられる。このような、エネルギーの捕捉は陸棚上の随所で見られる。さらに、40分後には、津波の先端が日本海中央部に位置する浅瀬である大和礁に到達する。ここでは、水深の空間的な変化が著しいため、伝播速度に差が生ずる。その結果、大和礁の南北の水深の深い部分から、大和礁を

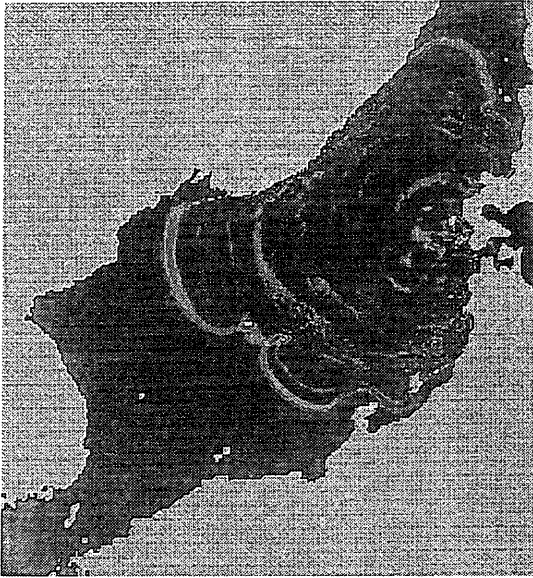


図-5.8 水位分布の経時変化 (7) 計算開始1時間後



図-5.8 水位分布の経時変化 (9) 計算開始1時間20分後

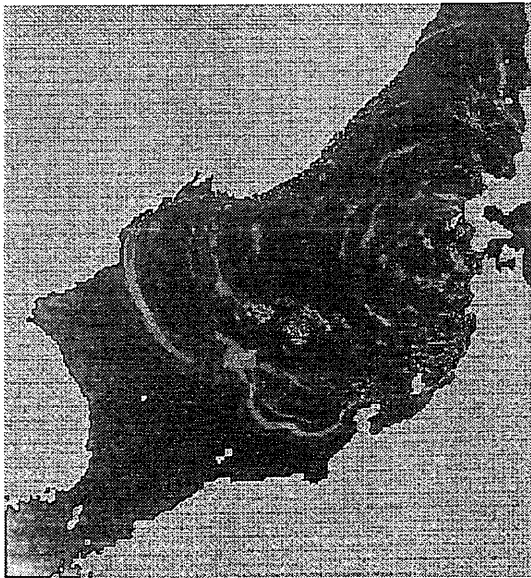


図-5.8 水位分布の経時変化 (8) 計算開始1時間10分後

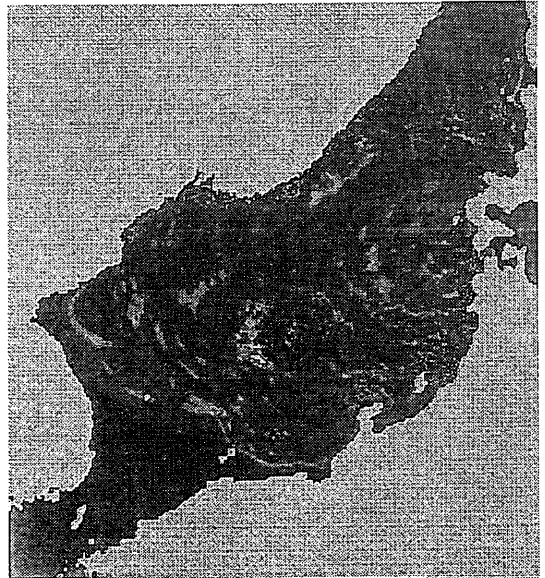


図-5.8 水位分布の経時変化 (10) 計算開始1時間30分後

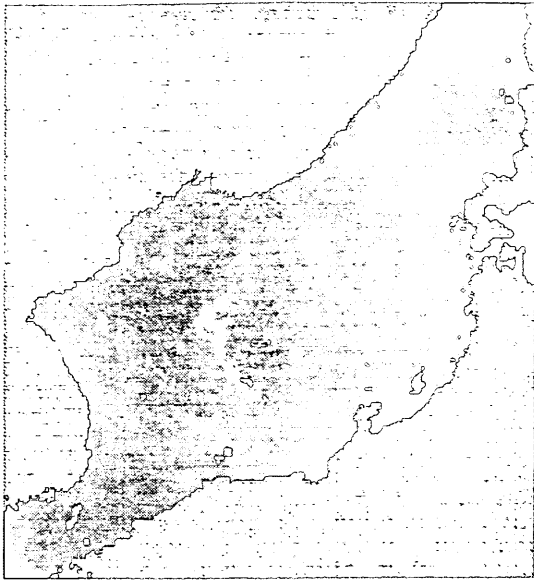


図-5.8 水位分布の経時変化 (11) 計算開始1時間40分後

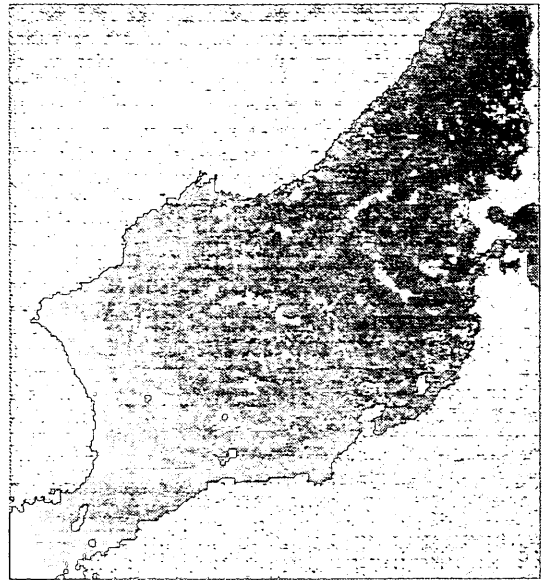


図-5.8 水位分布の経時変化 (13) 計算開始2時間後

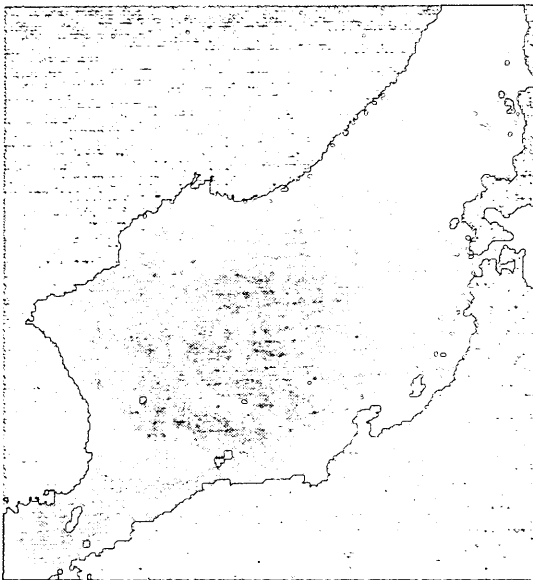


図-5.8 水位分布の経時変化 (12) 計算開始1時間50分後

大きく回り込むように伝播する。ここでも、津波エネルギーの一部が大和礁に捕捉され、津波水位は周辺海域よりも高くなる。50分後には、佐渡に津波の第一波が到達し、それから10分以上遅れて、山形から新潟沿岸に第一波が到達する。波源域までの距離が短い新潟沿岸のほうが、佐渡よりも到達時間は遅れる。すなわち、日本海の本州沿岸を伝播する津波は、沖合いの大水深域を伝

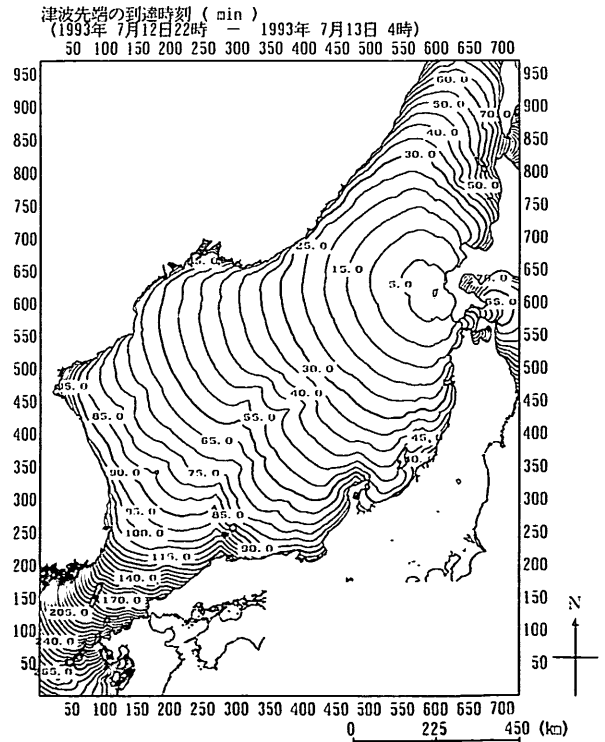


図-5.9 津波伝搬図

播する津波よりもゆっくりと陸棚上を伝播するためである。特に、新潟沖は浅瀬が広がっているため津波の伝播速度が遅くなり、1時間後に津波が到達する富山湾沿岸

よりも、さらに遅れる。この後、3時間後には津波の先端が九州北部に到達し、この時点で、日本海全域の津波水位は小さな値となる。しかしながら、隠岐では、奥尻島と同様に、津波エネルギーが捕捉され、水位も大きくなっている。

(2) 最大津波波高分布と沿岸部における津波高さの再現性

図-5.10に示す、計算により求めた6時間経過時点で



図-5.10 最高水位分布図

の最高水位分布によると、最も高い水位が算出されているのは、奥尻島周辺海域および北海道西岸であり、続いて青森県西岸および秋田県北部となっている。また、ロシア沿海州においても高水位が算出されており、これらの結果を併せて考えると、今回の津波は波源域の東西方向に強くエネルギーが放射されたことがわかる。

この他、沿岸では新潟県沿岸、能登半島先端で水位が高いが、これは新潟沿岸が遠浅な海岸であることから津波エネルギーが鉛直的に集約されるためと、能登半島による屈折の効果により津波のエネルギーが集約されるためである。また、沖合では佐渡、隠岐および大和礁周辺で高水位が算出されているが、これは島および浅瀬で津波エネルギーがトラップされることによるものである。

(3) 津波到達時間

4. で述べた各地における検潮記録による津波到達時

表-5.2 検潮記録および計算値による津波到達時刻の比較

地点名	第1波到達時間 (実測値)	第1波到達時間 (計算値)	時間差 (分)
杓形港	23時 21分	23時 20分	-1
羽幌港	23時 30分	23時 18分	-12
留萌港	23時 12分	23時 10分	-2
石狩新港	23時 17分	23時 16分	-1
小樽港	23時 09分	23時 05分	-4
岩内港	22時 36分	22時 31分	-5
函館港	23時 17分	23時 04分	-13
青森港	23時 31分	23時 26分	-5
深浦港	22時 35分	22時 32分	-3
能代港	23時 05分	22時 51分	-14
秋田港	23時 17分	23時 02分	-15
酒田港	23時 23分	23時 13分	-10
岩船港	23時 42分	23時 31分	-11
新潟東港	23時 45分	23時 33分	-12
新潟西港	23時 42分	23時 30分	-12
両津港	23時 28分	23時 04分	-24
新湊港	23時 39分	23時 30分	-9
伏木富山港	23時 31分	23時 30分	-1
七尾港	23時 54分	23時 40分	-14
輪島港	23時 52分	23時 39分	-13
金沢港	23時 59分	23時 49分	-10
福井港	23時 49分	23時 48分	-1
敦賀港	0時 08分	0時 13分	5
舞鶴東	0時 28分	0時 10分	-18
舞鶴西	0時 28分	0時 09分	-19
津居山	0時 03分	23時 55分	-8
境港	0時 44分	0時 34分	-10
浜田港	0時 57分	0時 47分	-10
三隅港	1時 16分	0時 54分	-22
南風泊	2時 27分	1時 26分	-61
日明	2時 50分	1時 25分	-85

刻と計算により求めた津波到達時刻を表-5.2に示す。これより各地における津波到達時刻を比較すると、各地において観測値と計算値は概ね良好な一致を示す。しかしながら、両津港や南風泊、日明等では観測値と計算値に大きな差異がある結果となっている。この結果は津波が波源域から遠方に進むに従って水位偏差が小さくなり検潮記録においても水位の立ち上がりが明確ではなくなることから津波の到達時刻の判定も困難となるため、津波の伝達速度は、水深によってほぼ決まることを考えるとむしろ数値計算の方が精度が高いものと考えられる。従って、今後は計算結果と観測記録を比較し、検討を行う必要がある。

5. 4 計算結果のまとめ

今回行った計算は北海道南西沖地震津波に対する数値計算の第一段階として、3.6kmという比較的大きな計算格子で行ったものであるため、津波の非線形性が強く現われる浅海域での水位については、精度はあまり高くないと考えられる。また、遡上計算についても同様に行っていないため、各地における痕跡高との比較についても定性的な判断のみを行っている。



図-6.1 津波波源域及び調査区域

今後は更に詳細な計算格子を用いて非線形長波理論による数値計算を行い、陸上遡上についても検討を加える必要がある。また、各地において観測された津波の流速と計算される流速との比較から津波の浅海域における流れの状況を把握し、構造物等に与える津波の流体力等についても検討を加える予定である。

6. 津波による被害状況*

6.1 津波被害調査の概要

平成5年7月12日午後10時17分、北海道渡島半島西北緯42度47分、東経139度12分、深さ34km付近を震央として北海道南西沖地震（マグニチュード7.8）が発生し（図-6.1）北海道奥尻島を中心とし

*執筆者 高橋重雄，細山田得三，長尾 毅，下迫健一郎，遠藤仁彦

表-6.1 調査行程

	期間	調査地域
第一次調査	平成5年 7月19日-23日	北海道江差～北桧山町 奥尻島西部～南部
第二次調査	平成5年 7月26日-30日	北海道松前～江差町 奥尻島北部～東南部
第三次調査	平成5年 8月2日-6日	青森県～新潟県佐渡島
第四次調査	平成5年 8月4日-6日	富山県～石川県

て港湾施設に甚大な被害が生じた。この地震によって引き起こされた津波で奥尻島、北海道渡島半島西岸で数多くの人命が失われ、家屋や港湾構造物が被害を受けた。また、津波は北海道から九州までの日本海沿岸の各地や韓国、ロシアにまで来襲し、被害をもたらした。こ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開発土木研究所をはじめ，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，数多くの機関の協力を得て，表-6.1に示すように4次にわたる津波現地調査を実施した。また，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の各地の検潮記録も収集した。

これらの調査の構成員については付録1に示した通りである。なお第一次および第二次調査は北海道開発局開発土木研究所と合同で実施したものである。

現地調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，各地の津波の来襲および被害状況の聴取，痕跡高の測量，検潮資料等の収集，確認を行った。市町村役場や港湾関係事務所等を訪問し，その地域の被害状況の概略を把握した後，津波被害の著しい地点を現地踏査し，遡上高を測量した。その際，実際に津波被害を受けたり津波の遡上を目撃した住民に聴取り調査を実施した。また，海岸線を移動中にも必要に応じて津波の痕跡を測量した。なお，本文中の津波遡上高はことわり書きのない限り基本水準面（C.D.L.）からの高さで表示する。

本章は現地調査によって確認された津波の被害状況を整理とりまとめたものである。

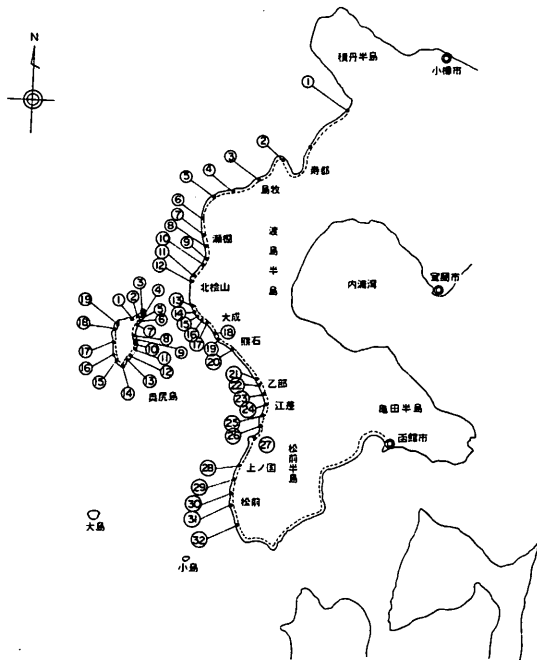


図-6.2 北海道奥尻島における調査地点

6. 2 各地の津波来襲および被害状況

6. 2. 1. 北海道

(1) 津波の概況

北海道は津波の波源域から最も近く，そのため海岸域における人的あるいは家屋，構造物に対する被害が最も大きい。今回の調査は津波の波源域に面した積丹半島から渡島半島の日本海沿岸および津波波源域に最も近い奥尻島において実施した（図-6.2，表-6.2）。図中の点線は

表-6.2 調査地点（北海道）

北海道	調査地点	区分	奥尻島	調査地点	区分
1	岩内町 岩内港	地方港湾	1	奥尻町 海栗前地区	
2	寿都町 寿都漁港	第3種漁港	2	奥尻町 稲穂地区	第1種漁港
3	烏牧村 軽臼漁港	第1種漁港	3	奥尻町 賽の河原	
4	烏牧村 原歌漁港	第1種漁港	4	奥尻町 勘太浜	
5	烏牧村 第二栄浜	第1種漁港	5	奥尻町 宮津地区	第1種漁港
6	瀬棚町 須架漁港	第4種漁港	6	奥尻町 東風泊地区	
7	瀬棚町 吹込漁港	第1種漁港	7	奥尻町 球浦地区	
8	瀬棚町 中歌漁港	第1種漁港	8	奥尻町 奥尻港	地方港湾
9	瀬棚町 瀬棚港	地方港湾	9	奥尻町 谷地区	
10	北桧山町 北桧山町		10	奥尻町 赤石地区	第1種漁港
11	北桧山町 太檜漁港	第1種漁港	11	奥尻町 恩賜歌地区	
12	北桧山町 廻泊漁港	第1種漁港	12	奥尻町 松前地区	
13	大成町 太田地区	第1種漁港	13	奥尻町 初松前地区	
14	大成町 上浦漁港	第1種漁港	14	奥尻町 背苗地区	第3種漁港
15	大成町 久遠漁港	第3種漁港	15	奥尻町 千畳敷	
16	大成町 宮野地区	第1種漁港	16	奥尻町 藻内地区	
17	大成町 平浜地区	第1種漁港	17	奥尻町 モッ立岩	
18	大成町 長磯漁港	第1種漁港	18	奥尻町 神威脇温泉	第4種漁港
19	熊石町 関内漁港	第1種漁港	19	奥尻町 鞆内地区	
20	熊石町 熊石漁港	第3種漁港			
21	熊石町 豊浜漁港	第1種漁港			
22	乙部町 元和漁港	第1種漁港			
23	乙部町 乙部漁港	第2種漁港			
24	江差町 泊漁港	第1種漁港			
25	江差町 江差港	地方港湾			
26	上ノ国町 木の子漁港				
27	上ノ国町 上ノ国漁港	第1種漁港			
28	上ノ国町 石崎漁港	第1種漁港			
29	上ノ国町 小砂子漁港	第1種漁港			
30	松前町 原口漁港	第1種漁港			
31	松前町 江良漁港	第3種漁港			
32	松前町 静浦漁港	第1種漁港			

調査を行った海岸線を示す。調査内容は，津波による被害についての聴取りと遡上高の測量である。渡島半島南部および松前半島では一部津波の岸壁上への遡上や住宅地区への冠水が認められるものの，壊滅的被害を受けることはなかった。渡島半島西北部および奥尻島では津波の波源域から近いため海岸線に面した家屋，海岸構造物等が数多く壊滅的被害を受けた。

各調査地点における津波遡上高の測量結果および東北大学の調査による津波遡上高を併せて図-6.3 (a) (b)に示す。最も高い遡上を示す地区は，奥尻島西部の藻内地区で約10mである。しかしながら局所的に見ると藻内地区の海岸に面した谷間の地点で津波の収斂のため，さらに高い遡上を示しており，遡上高約30mである。また，波源域に近い渡島半島西北部の大成町，瀬棚町でも高い遡上が認められた。渡島半島南部の松前半島では波源域から遠ざかるため遡上高は比較的低かった。

表-6.3には調査を実施した各市町村での地震による人

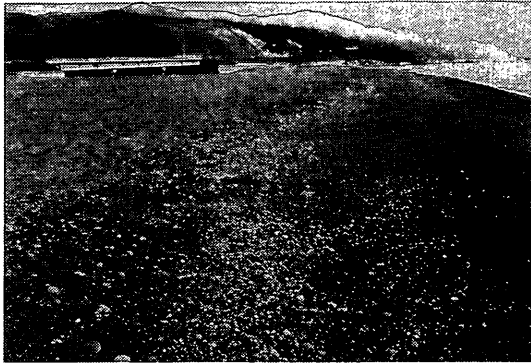


写真-6.1 木の子市街入り口の砂浜におけるこん跡

波の痕跡高は2.3mであった(写真-6.1)。上ノ国在住の江差町役場の職員によれば、津波は地震後約15分で上ノ国町北部の天ノ川付近に襲撃した。最大に遡上したのは4波目で天ノ川の土手を越えた。町内の他の地域まで津波の河川への遡上が見られた。

c) 江差町(図-6.4)

江差港では大きな被害が発生している。江差港(地方港湾)はかもめ島によって東部が津波の侵入方向に対して遮蔽されているが、西防波堤と東防波堤の間の港口が北に向いている。これは波源方向に対応し、津波はほぼ直接港内に侵入したと思われる。江差町役場、北海道開発局江差工事事務所、フェリー会社での聴取り調査によると津波の第1波は、22:45頃襲撃している。23:05に到達した第2波目で最大の遡上高となり、江差工事事

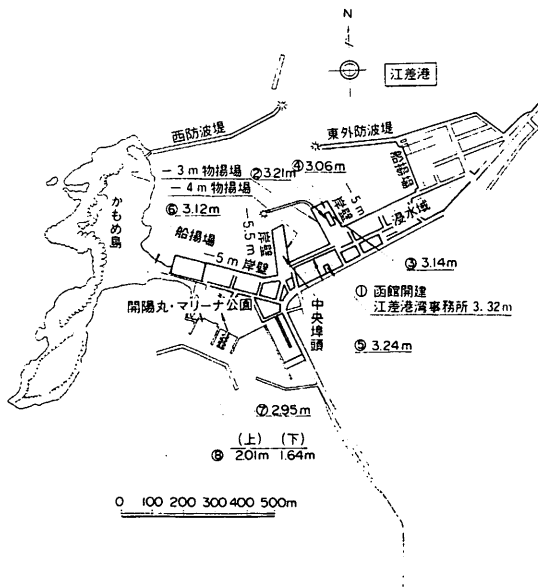


図-6.4 江差港

務所玄関の床まで浸水し、国道まで冠水した。冠水は23:30頃まで続いた。港口から侵入した津波は、中央埠頭付近の泊地からフェリー会社のある埠頭へ滝のように流れた。その際、押し波時に中央埠頭側から漁船が埠頭上を乗り越え反対側に転落し、引き波時に逆に埠頭を乗り越えて中央埠頭側に転落した。また、フェリー乗り場駐車場にあった多数の車が冠水し、約50台の車が岸壁から海に転落している。この車の被害は他にも多くみられ今日の被災の一つの特徴でもある。津波の痕跡は随所に認められた。工事事務所門における痕跡を測量した結果(図-6.4, ①)、遡上高は3.3mであった。その他の痕跡を測量して得た遡上高についてはフェリー会社中央埠頭側スイッチボックスにおける痕跡(②)が3.2m、社屋裏口(③)で3.1m、海側倉庫(写真-6.2 ④)で3.1mであった。また、江差漁協冷凍工場事務所前(⑤)では階段まで冠水しており遡上高は3.2mであった。かもめ島入り口付近のみやげ物店前面のガラス戸の痕跡(⑥)による遡上高は3.1mであった。



写真-6.2 江差港フェリー発着場倉庫
津波によってシャッターが損傷を受けた

以上は江差港の比較的古くからある本港地区の状況であるが江差港のかもめ島の南側には現在マリーナ公園が整備されている。この開洋丸・マリーナ公園では江差港本港側から津波が1波だけ侵入している。開洋丸青少年センターでは入り口(⑦)付近の床まで侵入した程度で遡上高は3.0mであった。ただし、かもめ島をまわって南から侵入した津波は遡上しておらず、開洋丸船尾(⑧)には津波による水位変動の痕跡では2.0mの水位上昇となっていた。いずれにしてもかもめ島による遮蔽効果は顕著であった。

江差町北部に位置する泊漁港(図-6.5)では漁業者2名に聴取り調査を行った。津波は湾口部より侵入し最も

高く遡上したのは第3波目であった。その際、北防波堤 (hc=3.0m) を越波したが、そのほかの防波堤は越波していない。津波は斜路および岸壁上に遡上し、漁具小屋が半壊し、漁船7隻が流されたが、港湾施設に大きな被害を受けなかった。国道側の漁具小屋内の痕跡 (①) による津波遡上高は3.6m、南側斜路上の外壁に残る痕跡 (②) による津波遡上高は同じく3.6mであった (写真-6.3)。

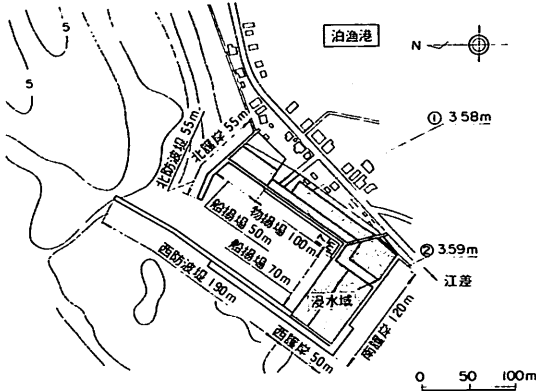


図-6.5 泊漁港

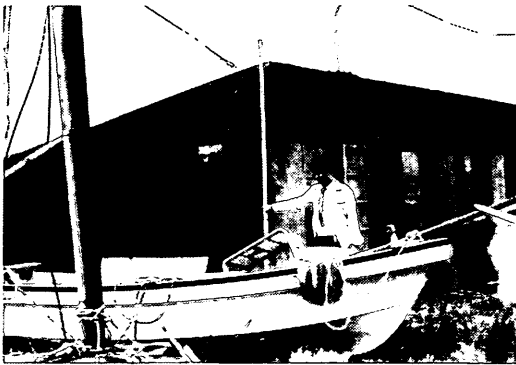


写真-6.3 泊漁港 (江差町)
漁具小屋の側面に残るこん跡

d) 乙部町

乙部町は江差町の北部に位置し、渡島半島西部の凹状に湾曲した海岸線を有している。(図-6.2,図-6.6) 乙部町役場での聴取り調査では管内の乙部漁港、豊浜漁港では津波は岸壁を多少越える程度で港湾施設への被害はなかった。豊浜漁港では漁船が若干流された程度であり、日本海中部地震の時の方が被害が大きかった。乙部漁港協

前 (図-6.6) での聴取りに基づく遡上高は1.9mで豊浜漁港中央埠頭 (図-6.7) では1.6mであった。元和台海滨公園の階段護岸 (図-6.8 ①) および隣接する元和台漁港の

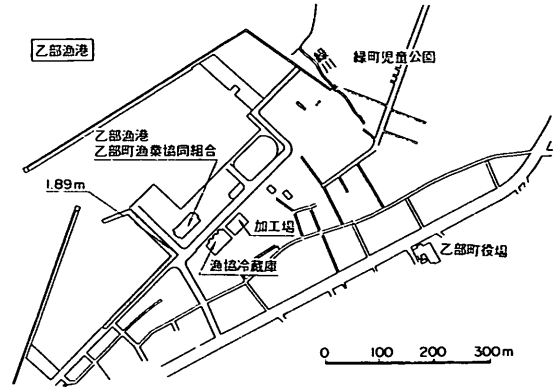


図-6.6 乙部漁港

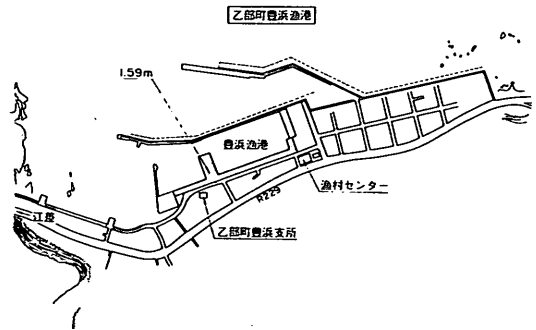


図-6.7 豊浜漁港

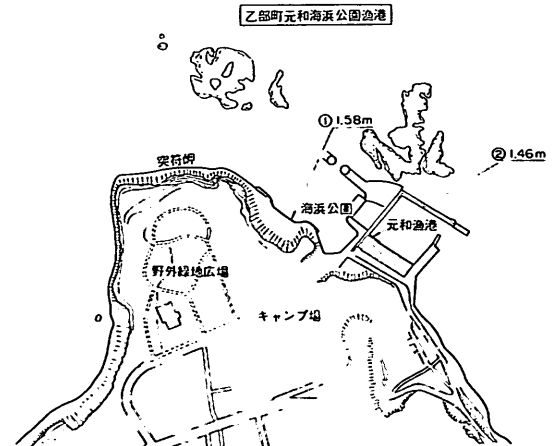


図-6.8 元和台海滨公園

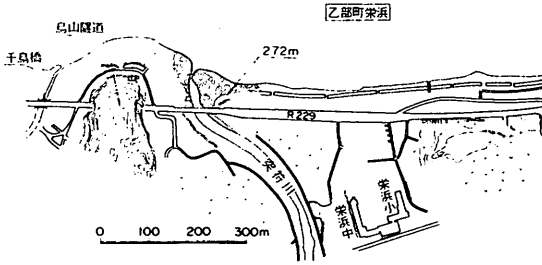


図-6.9 栄浜

斜路上 (②) での遡上高はそれぞれ1.6m, 1.5mであった。栄浜海岸 (図-6.9) の突符川河口防潮堤で津波の痕跡高を測量し、遡上高は2.72mであった。

e) 熊石町

熊石町は乙部町の北に位置し波源域に近いが、海岸線が湾曲しており北部と南部で津波の作用に違いがある。聴取り調査の結果では町北部の関内漁港は津波による被害は少ない。中央部の熊石漁港では引き波時に船のスク

リューが海底と接触し破損した。熊石漁港での枯れ草の痕跡により津波遡上痕跡高は2.90mであった。熊石南見日地区では枯れ草の痕跡より津波遡上高は4.7mであった。

f) 大成町

大成町は渡島半島西岸のうち最も奥尻島に近く、また尾花岬を先端として海側に突き出た地形であり (図-6.2), 津波波源域に直接面しているため津波の遡上高が高い。さらに大成町太田地区では海岸線まで山が迫り、民家が海岸線近くに集中しており津波による被害が渡島半島南部の町村に比べて大きかった。

大成町南部の平浜地区 (写真-6.4 図-6.10) では地震後5~6分で第1波が来襲した。第2波で海岸線の防潮堤のパラベットが2カ所壊れ、その内の1つが民家に激突し1名死亡している。また、防潮堤パラベットを越波して遡上した津波により平浜地区の半数の家屋が全壊した。住宅裏のビニールハウスでの痕跡にもとづく遡上高は+6.5mであった。



写真-6.4 (1) 大成町平浜

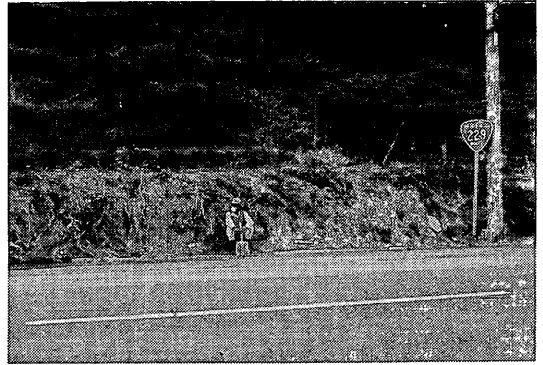


写真-6.4 (3) 大成町平浜



写真-6.4 (2) 大成町平浜

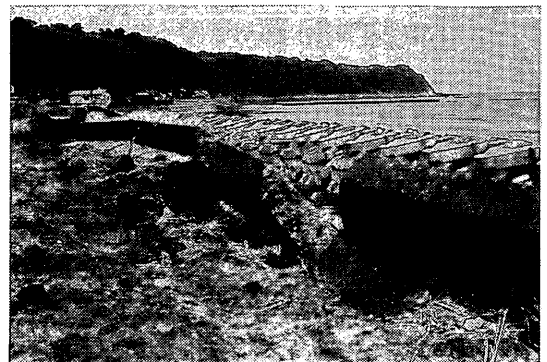


写真-6.4 (5) 大成町平浜 破損したパラベット



写真-6.4 (4) 大成町平浜 散乱した消波ブロックと破損したパラペット

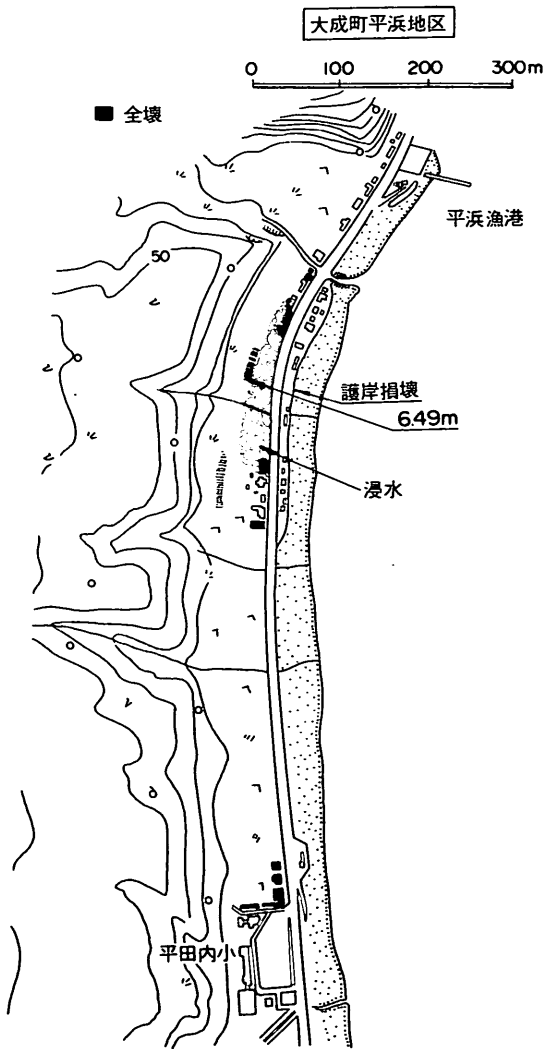


図-6.10 大成町平浜地区

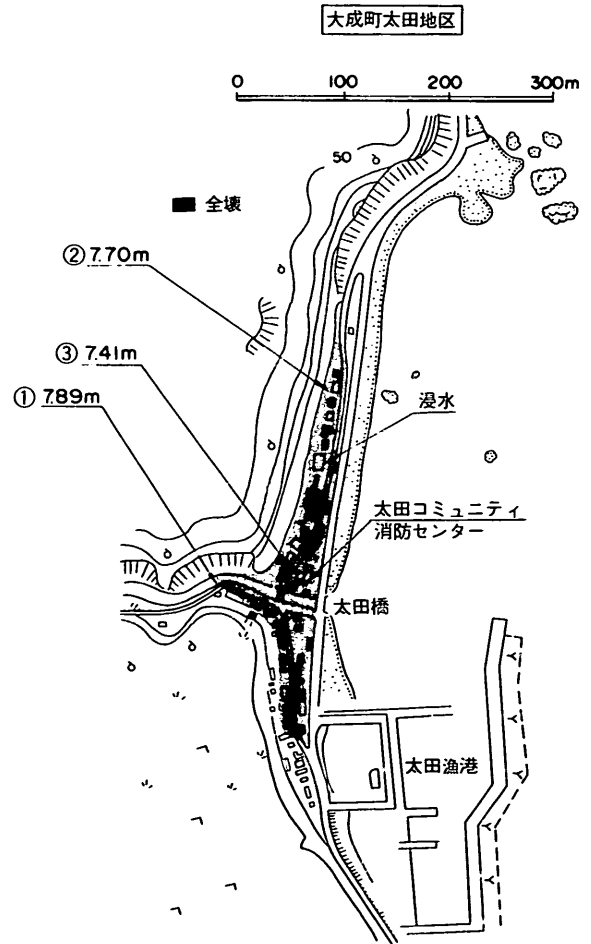


図-6.11 大成町太田地区

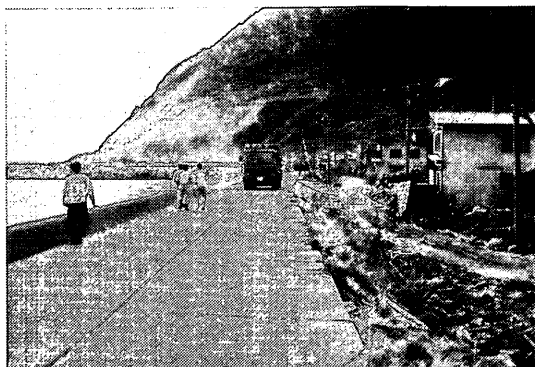


写真-6.5 (1) 大成町太田地区

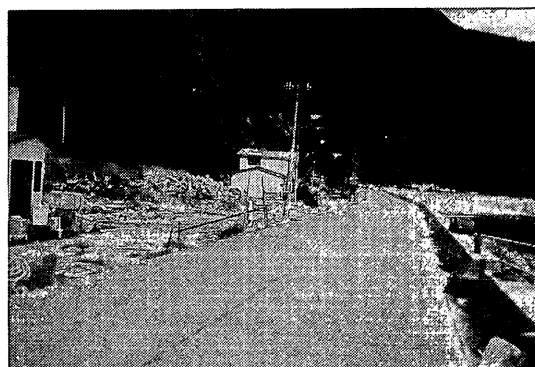


写真-6.5 (2) 大成町太田地区

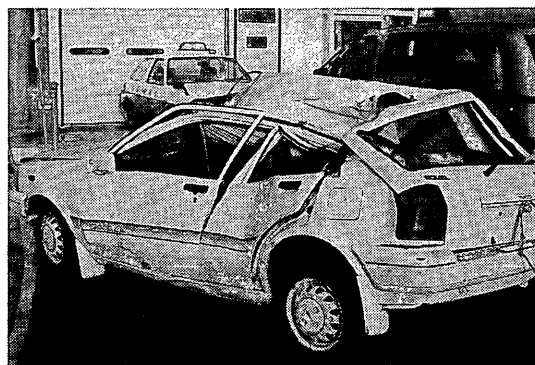


写真-6.5 (4) 大成町太田地区

大成町北部の太田地区(図-6.11,写真-6.5)では地震後3から5分後に引きの津波からはじまりその後第1波が最も高く遡上した。津波の一部は地区中央部の河川に沿って遡上した。海岸線付近の家屋がすべて床上まで冠水し、この地区の1/3の家屋が全壊した。また、一度遡

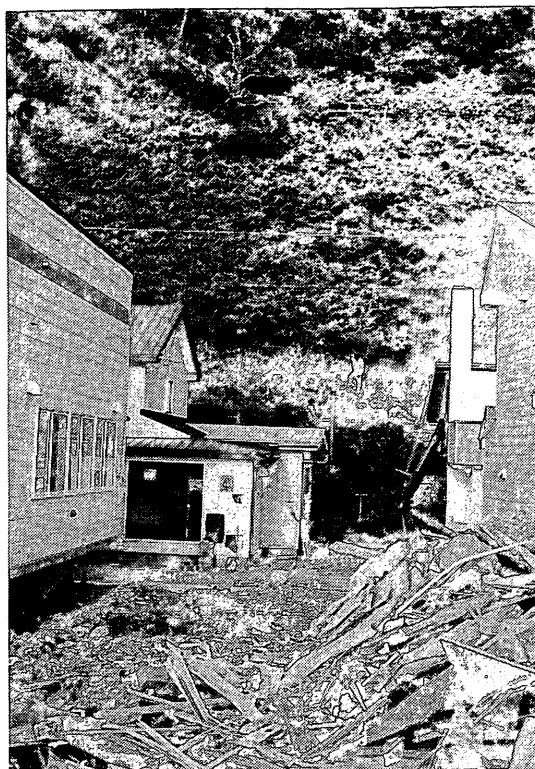


写真-6.5 (3) 大成町太田地区

上した津波が防潮堤のために排水されず人的被害が生じたと報告されている。津波痕跡による遡上高は、振興会館側道路(①)で7.9m, 地区南端住宅(②)で+7.7m, 消防コミュニティセンター裏住宅(③)で+7.4mであった。

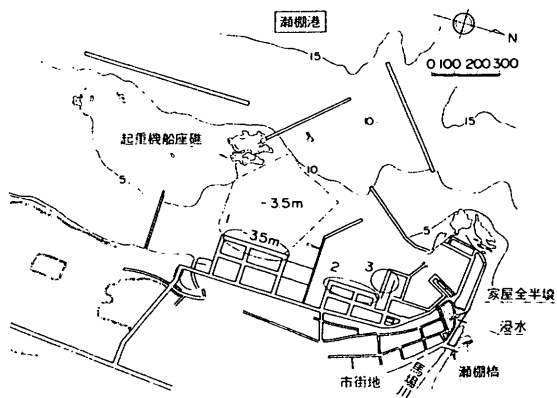


図-6.12 瀬棚港

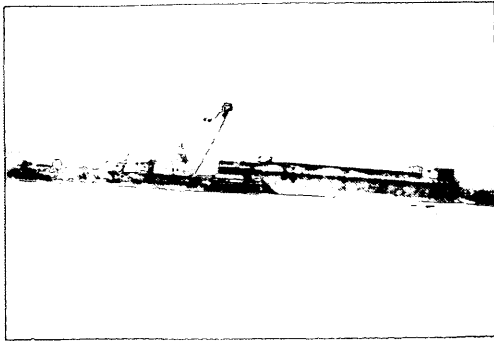


写真-6.6 (1) 瀬棚港
バージが岸に打ち上げられる



写真-6.6 (3) 瀬棚港 (北側) 浸水, 全半壊家屋

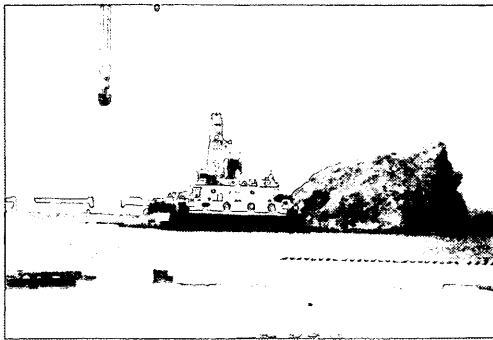


写真-6.6 (2) 瀬棚港
起重機船がかもめ島に打ち上げられる

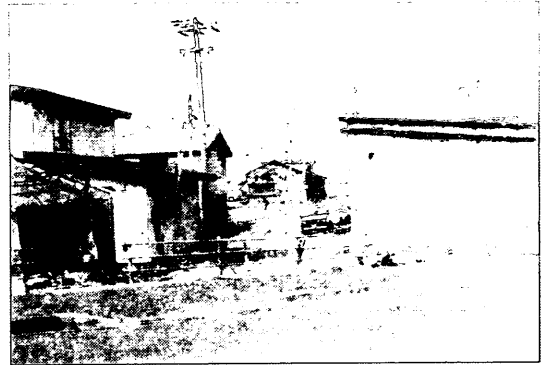


写真-6.6 (4) 瀬棚港 全半壊家屋

g) 瀬棚町

瀬棚町は渡島半島北部に位置し、奥尻島北部の震源に近い(図-6.2)。

瀬棚港(地方港湾)では馬場川河口から津波が遡上し、瀬棚橋の欄干付近(図-6.12)から防砂堤を越えて溢れ出した。このため海岸近くの市街地が冠水し、河口付近住居が全半壊した。防砂堤裏の枯れ草の痕跡を測量し、津波遡上高は5.3mであった。港内漁組冷蔵庫シャッターに残る痕跡を測定した結果、遡上高は3.4mであった。半壊家屋で停止した時計から津波到達時間は10:28であることが分かった。引き波時、岸壁付近の人が沖へ流され死亡した。また、瀬棚港内で津波により1000トンのバージ船が岸壁に乗り上げ、起重機船が港内の小島に乗り上げた(写真-6.6)。

瀬棚町管内、須築漁港では漁港内に枯れ草の痕跡があり、津波遡上高は5.7mであった。管内、鳥歌1区では津波が海岸線沿いに北西から侵入し、4.7mの護岸を越波して港内に遡上した。遡上高は6.7mであった。吹込

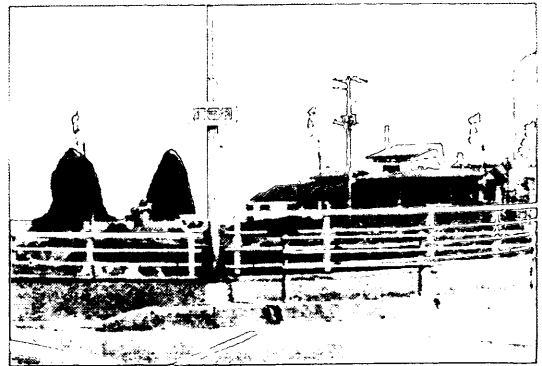


写真-6.6 (5) 瀬棚港 河口付近から浸水する

漁港では護岸高5.7mを越波して6.9mまで遡上した。中歌漁港では港内のバラベットの被害を受けている。

h) 北松山町

北松山町は瀬棚町と同様、震源地に近く、直接波源域

に面している (図-6.2)。

管内、鵜泊漁港では6.1mの護岸を越えて越波した。港内に残る枯れ草の痕跡から遡上高は7.8mであった。また、本漁港内の島堤が被災を受けた。鵜泊漁港から太櫓漁港まで3箇所で枯れ草上の痕跡を測量した。それぞれ遡上高は7.8m, 7.2m, 6.3mであった。

(3) 奥尻島

奥尻島は江差町の沖合い北西約61kmの日本海上 (北

緯40° 03'~42° 15', 東経139° 33'~139° 24') に位置する, 周囲84km, 南北27km, 面積143.3kmの離島である。奥尻島の海岸線は, 一部を除いて平地が少なく, 山が海岸付近まで迫っている。津波波源方向の北西部から南西の藻内地区までは岩礁海岸である。奥尻島西岸の沖合は急に水深が深くなっており神威脇温泉 (図-6.13) の沖合6kmでは水深1500mとなっている。奥尻島東岸は比較的海岸線の出入りが少ない。奥尻島東岸と北海道渡島半島との間の奥尻海峡では水深は500~1000mである。

図-6.3 (b) に示すように津波の遡上高は南西部および北部で高く, 東部で低い傾向にある。ただし, 同じ地区であっても, 地形の影響で津波の遡上高にばらつきが

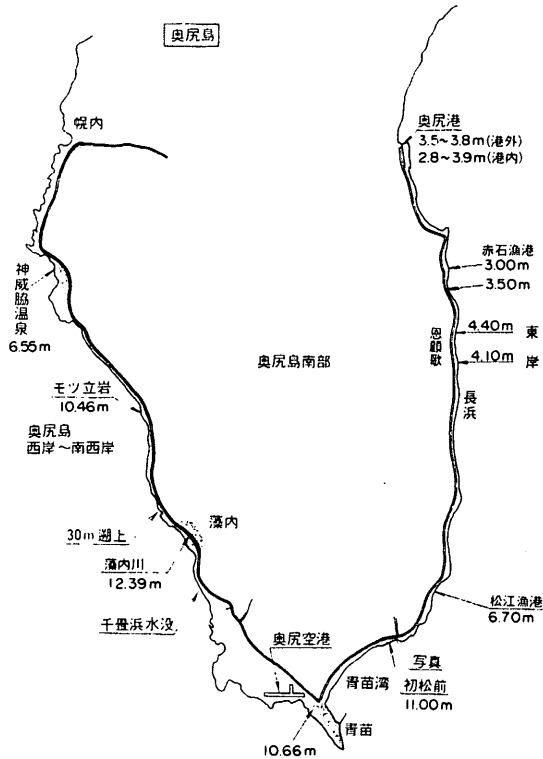


図-6.13 奥尻島南部

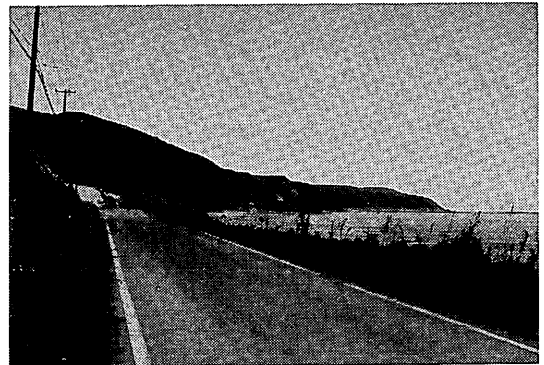


写真-6.8 千畳浜 (奥尻島) 崖上にこん跡が見える道路右の海浜が水没した

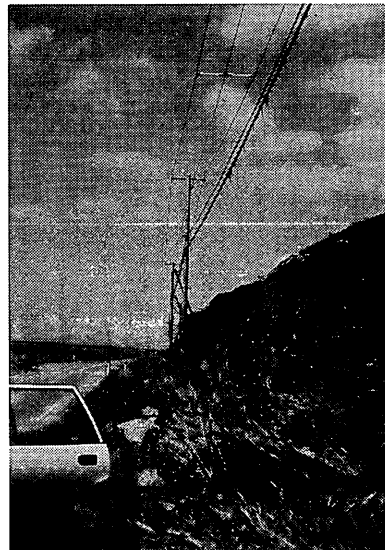


写真-6.9 千畳浜 (奥尻島) 電線に海藻が付着している

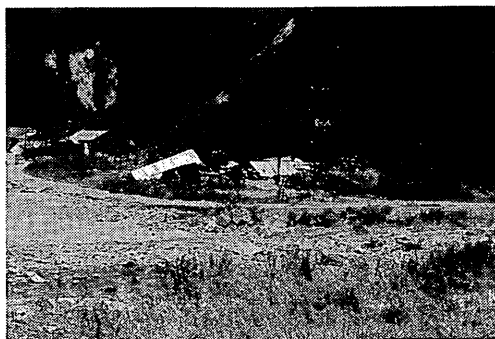


写真-6.7 幌内地区

ある。

a) 奥尻島西部（神威～藻内～千畳浜）（図-6.13）

奥尻島西部の津波の痕跡は、道路脇斜面上の草の変色として明瞭に認められた。

写真-6.7は北西部の幌内地区である。この地点での津波の遡上高は7m程度である。この値は奥尻島南西部や北部におけるものよりも比較的低い。幌内から南に下った神威脇温泉（図-6.13）では海岸線にある温泉施設横の斜面上での遡上高は6.6mであった。神威脇漁港でケーソン据え付け中に津波を目撃した港湾建設業者によれば津波直前に約30cm程度水が引き、その後、津波の第1波、第2波が第3波が時間をおかずに来襲した。津波によって作業用の120tの起重機船がケーソンの上に乗上げ、往復した。2波目の津波が最も大きかった。

神威脇から南の千畳敷付近までの海岸では写真-6.8（千畳敷）に示すように津波の痕跡は海岸線に沿ってほ

一部が深い谷となっており、平均10m程度に遡上した津波が谷奥に向かって収斂し高く遡上したものと思われる。この値は今回の津波による遡上高の中で最も大きいものである。

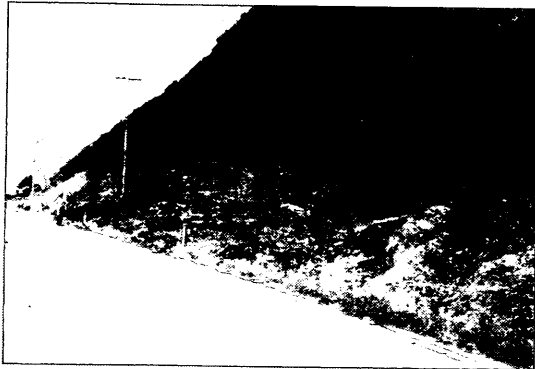


写真-6.10 モッ立岩付近（奥尻島）
津波が遡上したあと道路脇の草が枯れている

ぼ一様である。ただし、海岸に面した谷間の部分では波の収斂によって突出した高い遡上を示す地点もある。写真-6.9は道路脇の電線に引っかかった海藻を示している。津波はこの電線を越えて遡上した。島西部のモッ立岩（写真-6.10、図-6.13）では海岸線に沿う道路脇の斜面で津波の遡上高は10.5mであった。

さらに南の藻内地区（写真-6.11、図-6.13）では藻内川を津波が遡上し、河口からやや上流の河岸に津波の痕跡が認められた。測量による遡上高は12.4mであった。写真-6.12は藻内地区北部、ホヤ石碑近くの谷間の津波の痕跡である。写真-6.12（2）の奥に最大の遡上を示す地点がある。谷周辺の遡上高（写真-6.12（1））が10m程度であるのに対し、谷奥（写真-6.12（2））の最大の遡上高は約30mである。これは海岸線まで迫っている崖の



写真-6.11 (1) 藻内地区 海岸



写真-6.11 (2) 藻内地区 藻内川（右岸）



写真-6.11 (3) 藻内地区 藻内川（左岸）

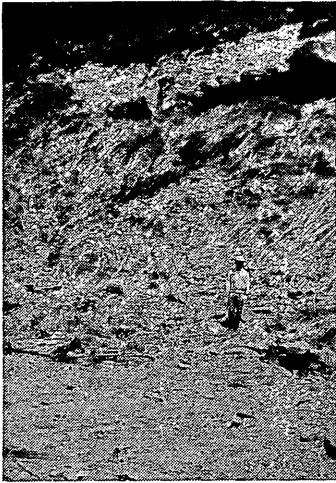


写真-6.12 (1) 藻内地区

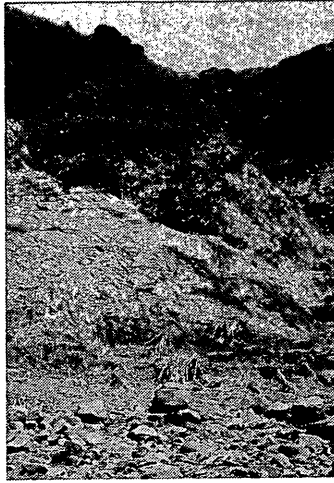


写真-6.12 (2) 藻内地区
奥に最大遡上地点がある

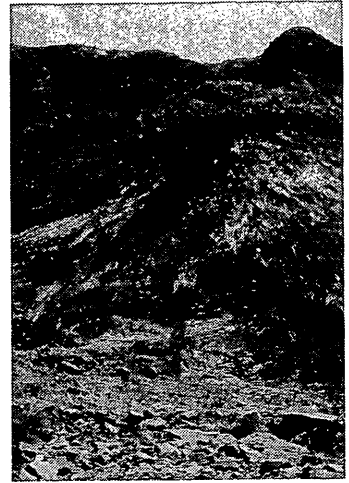


写真-6.12 (3) 藻内地区



写真-6.13 青苗地区の航空写真

b) 奥尻島南部（青苗地区～初松前（はまつまえ）地区）

奥尻島南部には丘陵地が広がりそこから一段低くなった平地がある。青苗地区（図-6.13）は青苗岬に向けて海側に突き出た地形の東部に位置する平地である。青苗地区の北西部は低い丘陵となっている。また、奥尻島南部沖の海底地形は青苗岬先端から沖合2km程度まで水深10m程度と浅い。このため青苗岬北西部から来襲した津波は、浅瀬で屈折して青苗地区およびその東側の青苗湾側の初松前地区へ遡上した。また、倒壊した燈台の西部の丘陵地の斜面に遡上高さ10.7mの痕跡が認められ、青苗岬の先端付近には屈折する前の津波が北西方向から遡上したと思われる。写真-6.13は地震翌朝の青苗地区である。写真中央下部の青苗岬から上の青苗漁港に沿って家屋が被害を受けている。青苗地区は津波の遡上による被害の他に火災の発生による2次災害のため地区全体が壊滅的被害を受けた（写真-6.14）。特に青苗漁港の港奥部は、津波による被害に比して火災による被害が顕著である。これは防波堤による津波低減効果によるものと思われる。また、青苗漁港内の漁船が住宅地まで打ち上げられており、家屋に対して強い外力になったものと思われる。写真-6.15は7月21日に撮影された青苗地区の家屋の被害状況を示す。写真に示すように青苗地区内でも場所によっては家屋の形が残るところもあった。また、堅牢なコンクリート構造物は岸壁先端付近でも倒壊することは少なかった。津波の被害は南端の青苗漁港地区北部から青苗湾に沿って初松前地区まで顕著である。この地区は青苗漁港の防波堤による遮蔽対象外であ

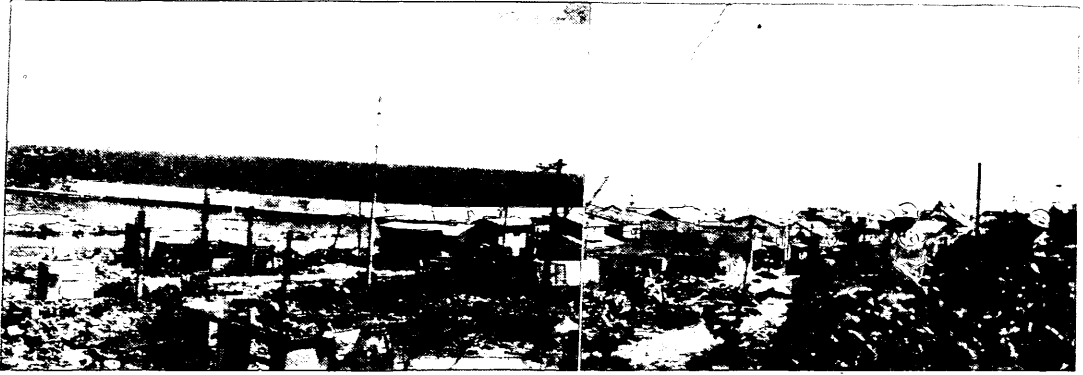


写真-6.14 (1) 青苗地区



写真-6.14 (2) 青苗地区 写真奥に初松前を望む



写真-6.14 (3) 青苗地区 写真右端の壁は日本海中部地震後に建てられた防潮堤

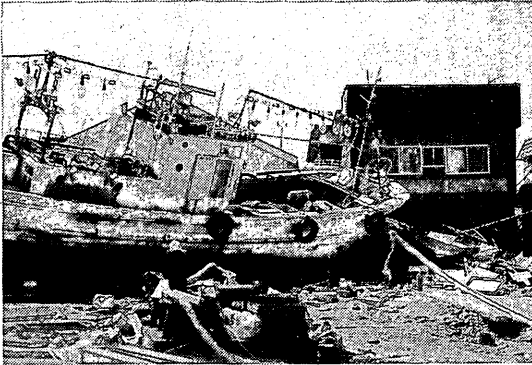


写真-6.15 (1) 青苗地区 家屋の被害状況

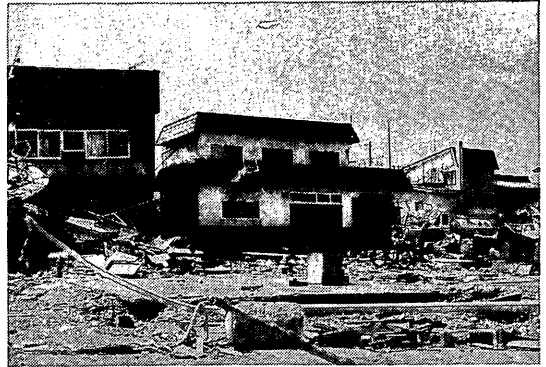


写真-6.15 (3) 青苗地区 家屋の被害状況

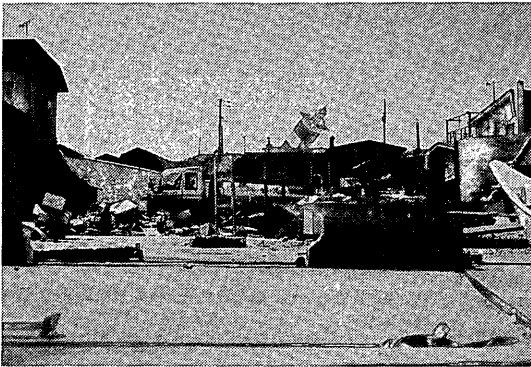


写真-6.15 (2) 青苗地区 家屋の被害状況



写真-6.16 初松前地区のこん跡
公民館前における遡上の状況

り、青苗漁港内に比して津波による被害が大きい。写真-6.16は初松前地区の7月21日に撮影された被害状況である。海岸線に沿った家屋が壊滅的被害を受けている。初松前地区では小高い場所に公民館が建設されており、津波はその床下まで遡上した。遡上高は11.0mであった。

c) 奥尻島東部（松江地区～奥尻地区）

松江地区北部から北の奥尻地区までの海岸線はほぼ東向きであり、津波に遡上高は比較的lowく、3mから6mである。このため津波による海岸線に沿った家屋への被害は青苗地区に比して顕著ではない。

写真-6.17は奥尻港の7月28日に撮影された被害状況

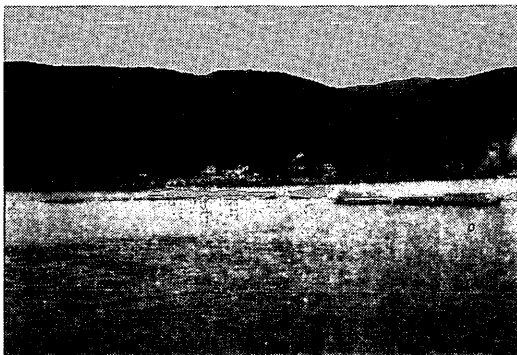


写真-6.17 (1) 奥尻港の被災状況
北防波堤ケーソンの滑動・転倒

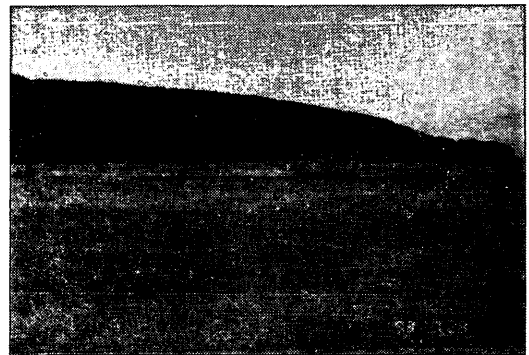


写真-6.17 (2) 奥尻港の被災状況
北防波堤ケーソンの滑動・転倒



写真-6.17 (3) 奥尻港の被災状況
岸壁およびエプロンの沈下, 前出し



写真-6.17 (4) 奥尻港の被災状況
物揚場のエプロン沈下



写真-6.17 (5) 奥尻港の被災状況
岸壁およびエプロンの沈下, 前出し
津波によりエプロンに乗り上げた漁船



写真-6.17 (6) 奥尻港の被災状況
物揚場のエプロン沈下, 道路舗装上のクラック



写真-6.17 (7) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたるエプロンの被災



写真-6.17 (8) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたる陶壁の転倒 (港外側より見た写真)



写真-6.17 (9) 奥尻港北部の被災状況
大きな被害を受けた家屋



写真-6.17 (10) 奥尻港北部の被災状況
大きな被害を受けた家屋

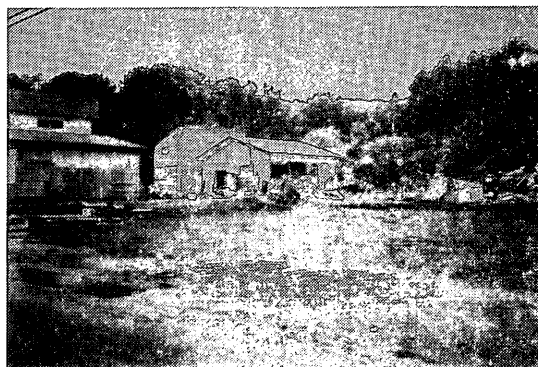


写真-6.17 (11) 奥尻港北部の被災状況
更地の部分は民家が壊滅的被害を受けた場所

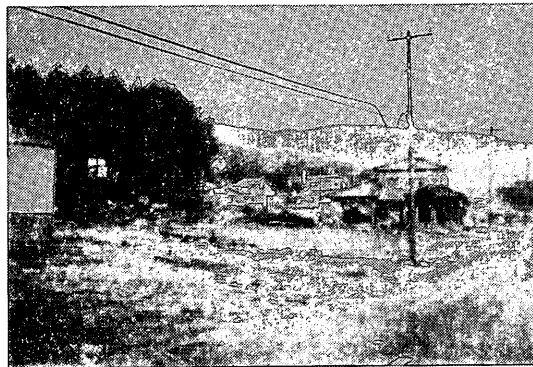


写真-6.17 (12) 奥尻港北部の被災状況
更地の部分は民家が壊滅的被害を受けた場所

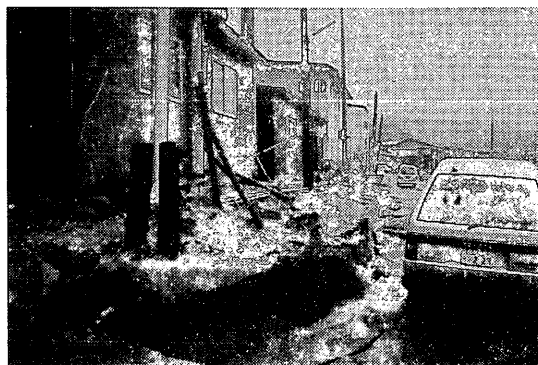


写真-6.17 (13) 奥尻港背後の被災状況

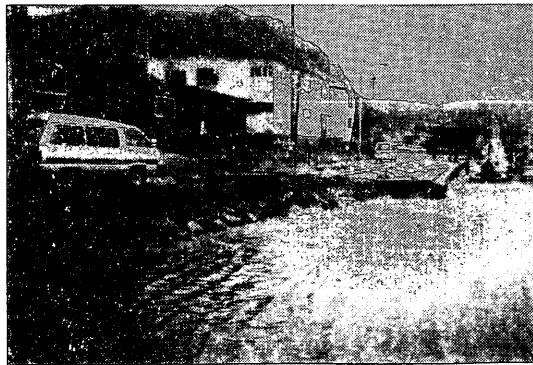


写真-6.17 (14) 奥尻港の被災状況
物揚場のエプロン沈下



写真-6.17 (15) 奥尻港背後の民家の被災状況



写真-6.17 (16) 奥尻港背後の民家の被災状況



写真-6.17 (17) 鍋釣岩付近の被災状況
民家が一軒おきに壊滅的被害を受けた



写真-6.17 (18) 奥尻港南部の状況
津波による被害は大きくない



写真-6.17 (19) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたる胸壁の転倒



写真-6.17 (20) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたる胸壁の転倒
(港内側より見た写真)



写真-6.17 (21) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたる胸壁の転倒



写真-6.17 (22) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたる胸壁の転倒 (港内側より見た写真)



写真-6.17 (23) 奥尻港の被災状況
津波流出経路にあたる胸壁の転倒、
エプロンの舗装版一枚が流されている



写真-6.17 (24) 奥尻港南部の状況
津波流出経路にあたる胸壁の転倒



写真-6.18 奥尻港背後の土砂崩れ現場

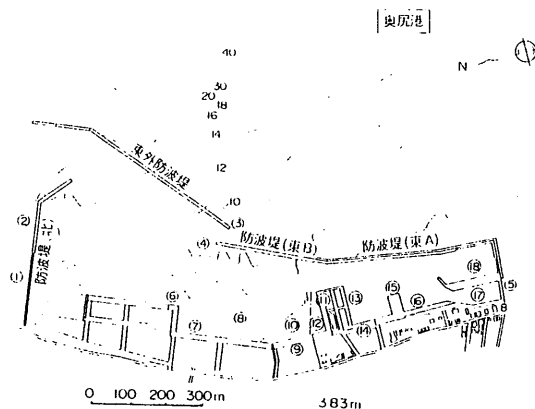


図-6.14 奥尻港

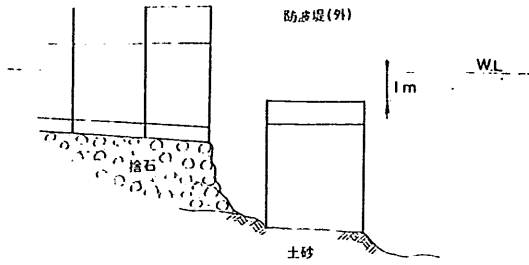


図-6.15 防波堤の被災（奥尻港東外防波堤）

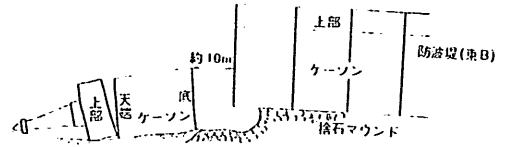


図-6.16 防波堤の被災（奥尻港東B防波堤）

である。奥尻港内の津波遡上高は北側崖崩れ現場横で3.9m、やや南の江差港湾事務所奥尻分駐所で2.7m、南側の堤防で3.5mであった。港外では奥尻港に隣接した北側の集落で7.3m、南側の離岸堤背後で3.4m、鍋釣岩の南側の谷地地区（前面に離岸堤、階段状護岸）で4.2mであった。奥尻港で津波を目撃した港湾建設業者によれば地震によって工事事務所の背後の土砂が崩れ（写真-6.18）、埋もれたが自力で脱出した。その直後に津波第1波が来襲したが土砂崩れの場所には到達しなかった。第2波目は地震から14～15分後に来襲し、最も高く遡上した。また、奥尻港南側の谷地地区の住人によれば津波は地震発生後10分で来襲した。津波は奥尻港側から道路沿いに侵入しD.L+4.5mのパラペットを越えて民家へ侵入した。

図-6.14には津波による奥尻港の被災状況を示す。奥尻港は島東部のやや北よりに位置し、津波は主に北から侵入した。このため、北防波堤の防波護岸は岸との接続部分が約20mほど未施工の状態であったが、本土工（水中コンクリート）が津波の押し波によって散乱した①。北防波堤はケーソン11函が滑動し、4函が転倒した②。その際港内側の根固めブロックが被災を受けた③、港外側の根固めブロックと捨石には被害がなかった。また、堤頭部の根固めブロックと捨

石は洗掘により被災した。東外防波堤は南側堤頭部の基礎が洗掘され、ケーソンがほぼそのままの状態下方に転落した④、図-6.14、図-6.16。北側堤頭部の堤頭部は、ケーソンを設置するために捨石を均した状態であったが被災は受けなかった。東B防波堤は北側の港外部の基礎が洗掘されたほか、燈台を設置した北端の堤頭函は基礎全体が洗掘され、ほぼ法線方向に横倒しとなった⑤、図-6.14。津波の流出経路にあたって考えられる東A防波堤と物揚場の接合部分では胸壁が二箇所にあたって港外側に転倒した⑥。港内に滞留した海水は主にこの部分から港外側に流れ出したものと考えられる。そのほか、岸壁（-6.5m）のケーソンの転落・沈下⑦、岸壁（-4.5m）のエプロンのインターロッキングブロックの飛散⑧、泊地（-6.5m、-6.0mおよび-5.0m）の土砂の埋没⑨、フェリー岸壁（-5.0m）および先端取付部のエプロン沈下、前出しおよび欠壊⑩、物揚場（-4.0m）のエプロン沈下⑪、船揚場の張りブロック破損⑫、物揚場（-4.0m）および先端取付部のエプロン沈下、前出し、欠壊⑬、物揚場（-3.0mおよび-2.0m）のエプロン沈下および前出し⑭、物揚場（-4.0m）のエプロンの前出し、舗装の散乱⑮が生じた。

d) 奥尻島北部（稲穂～賽の河原～球浦）（図-6.17）

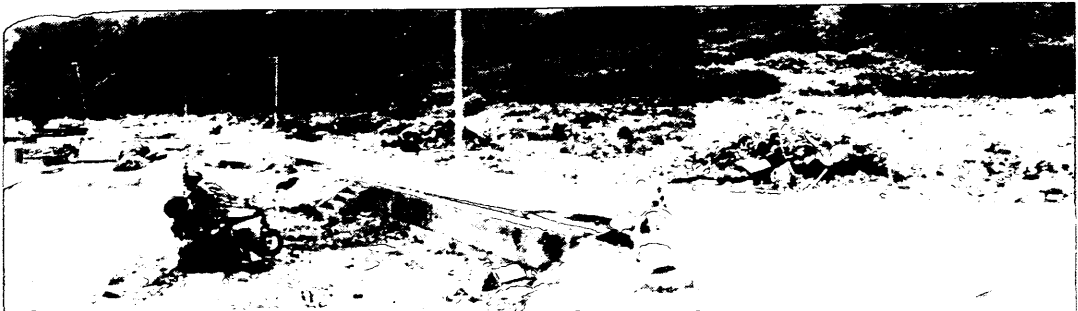


写真-6.19 稲穂地区 更地の部分は民家が壊滅的被害を受けた場所



写真-6.20 (1) 稲穂漁港 津波により胸壁が転倒した部分

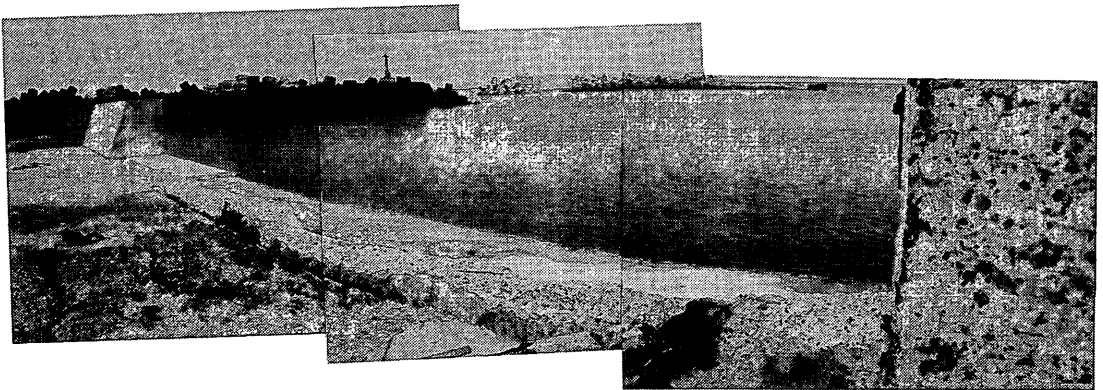


写真-6.20 (2) 稲穂漁港 津波により胸壁が転倒した部分

奥尻島北部は北端の稲穂岬よりも西部の稲穂地区で津波による被害が顕著である。稲穂岬から南の奥尻島東海岸は比較的津波の被害が小さく、部分的に津波の被害を受けていない地区がある。

写真-6.19には稲穂地区における被害状況を示す。稲穂では遡上した津波によって海岸付近の家屋は壊滅的被害を受けた。稲穂漁港では岸壁の胸壁が転倒した(写

真-6.20)。稲穂地区南側の海栗前(のなまえ)地区でも同様の被害を受けたが(写真-6.21)、両地区の間の集落では津波の被害をほとんど受けていない。痕跡による津波遡上高は海栗前地区(図-6.17)で8.8m、海栗前地区の稲穂よりで6.3m、稲穂(図-6.17①, ②)でそれぞれ10.3m、7.9mであった。奥尻島北端の賽の河原では鉄筋の本堂は残ったが木造の売店2軒は津波によって全壊し

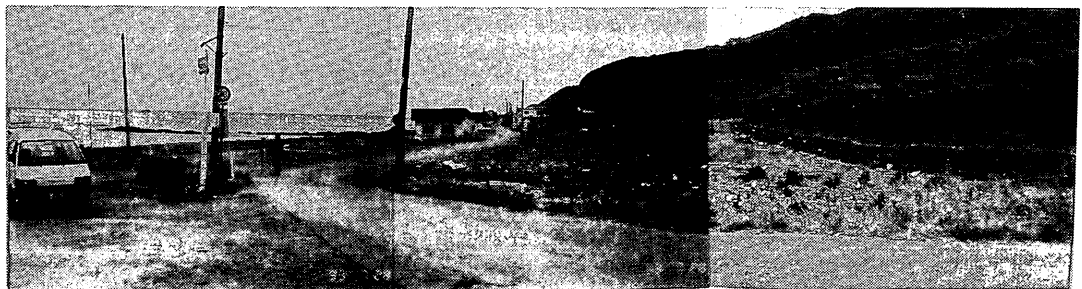


写真-6.21 (1) 海栗前地区 更地の部分は民家が壊滅的被害を受けた場所

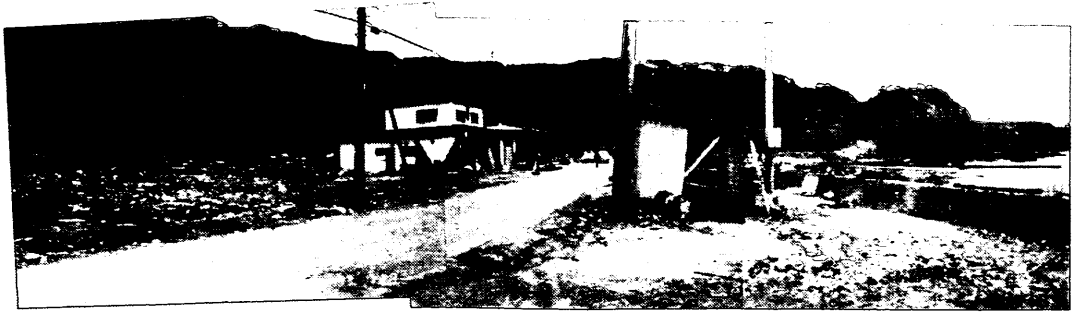


写真-6.21 (2) 海栗前地区 更地の部分は民家が壊滅的被害を受けた場所



写真-6.22 賽の河原 鉄筋の構造物以外は津波により全壊した

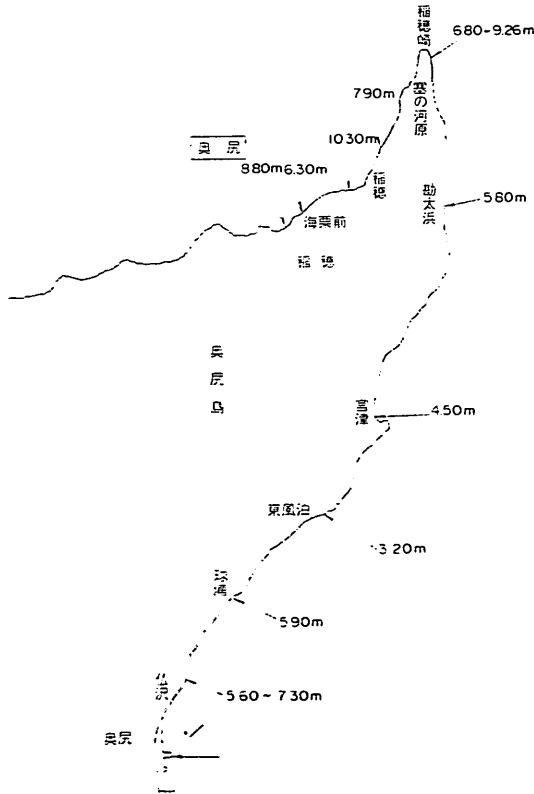


図-6.17 奥尻島北部

た(写真-6.22)。電信柱についた草の高さ(写真-6.23)に基づく遡上高は9.3mで、道路上の遡上高は8.1mであった。勘太浜では海岸沿いの道路の南側の家屋は全壊したが北側の家屋は残った。津波遡上高は5.8mであった。さらに南の宮津と東風泊(やませどまり)では津波が砂浜の斜面よりも高く遡上した形跡はなく、したがって津波による被害は皆無であった。宮津および東風泊での津波遡上高はそれぞれ4.5m, 3.2mであった。球浦では海岸護岸のあるところは津波遡上高が低く、津波による被害が小さかった。球浦地区での津波の遡上高は5.9mであった。



写真-6.23 賽の河原 電柱および電線上のこん勝後

6. 2. 2. 青森県

(1) 津波の概況

青森県の日本海沿岸における各地点で実施した測量および聴取り調査に基づく津波遡上高を図-6.18、表-6.4に示す。なお、むつ湾内は津軽半島によって震源から十分遮蔽されており、津波による被害は皆無であった。

津波遡上高は、最も高い遡上を示す車力漁港で約2.0m、最も低い遡上高を示す岩崎漁港で1.5mである。津軽半島の北端部は比較的津波遡上高は低いが、県中央部七里長浜ではやや遡上高が高くなっている。県南の岩崎漁港は黄金崎によって遮蔽されているため最も遡上高は小さい。今回の地震による津波遡上高は、日本海中部地震による津波の遡上高の半分以下であり、防波堤や波除堤など港湾構造物に対する被害はなかった。ただし、漁港に侵入した津波が斜路上や天端高の低い岸壁に遡上し、岸壁上の小屋などに浸水するとの報告を受けた。しかしながら津波の遡上による痕跡を発見できず、津波の遡上高はすべて聴取り調査によって報告を受けた高さを測量することによって求めた。

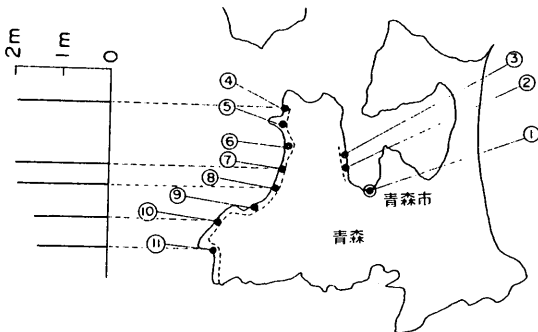


図-6.18 青森県の津波遡上高

表-6.4 調査地点（青森県）

	青森県	調査地点	区分
1	青森市	合浦海岸	
2	蓬田村	後潟漁港	第1種漁港
3	蓬田村	蓬田漁港	第1種漁港
4	小泊村	小泊漁港	第4種漁港
5	市浦村	市浦村役場	
6	市浦村	十三湖	
7	車力村	車力漁港	第1種漁港
8	木造町	木造漁港	第1種漁港
9	鱒ヶ沢町	鱒ヶ沢漁港	第3種漁港
10	深浦町	深浦港	地方港湾
11	岩崎村	岩崎漁港	第2種漁港

漁船に対する被害としては、係船中の漁船が津波の引き波時、ロープに引っかかって転覆したとの報告を数例受けた。また、引き波時、船のスクリューが海底に接触し損傷を受けた。係留中の漁船は津波警報後、沖へ避難した。斜路上の漁船は津波の遡上による損傷は受けなかった。いずれの被害も軽微なもので死傷者は皆無であった。以下に各調査地点における津波の作用状況について詳細に述べる。

(2) 各地の状況

a) 小泊漁港（青森県北部 図-6.19）

小泊漁港は小泊岬の北部に位置している。青森県小泊村役場の職員の話による小泊漁港での津波の状況は以下の通りである。

津波の警報で漁船は大部分沖へ避難した。23:00頃港に出ると船が1隻、ロープに引っかかって転覆しているのを発見した。港付近で津波の遡上を目撃したが津波の進行方向が日本海中部地震の時と異なると思われる。津

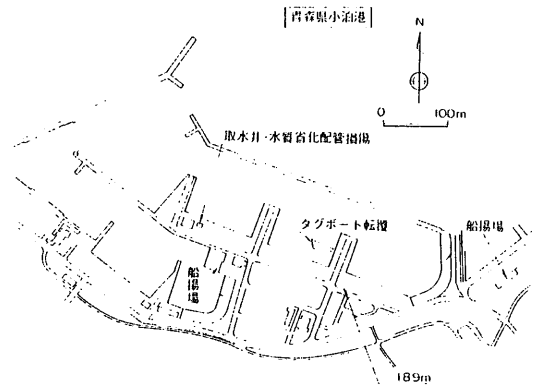


図-6.19 青森県 小泊漁港



写真-6.24 青森県小泊漁港 この岸壁を越波する。構造物の損壊はない。係留中の船が転覆する。

波の翹上が最大の時、西北漁港事務所小泊出張所前の突堤上に津波が1回だけ翹上した(写真-6.24)。翹上高は約1.9mであった。

b) 市浦村(青森県北部 図-6.18)

23:50頃管内脇元漁港の突堤を第4波目の津波が越波するのが確認された。翹上高は約1.5mであった。引き波時は海底が見えた。

管内の十三湖岸では約75cm程度の水位上昇であった。十三湖大橋南側の護岸の無い浜が津波によって侵食された。(写真-6.25)



写真-6.25 十三湖河口付近
このあたりも津波の翹上を受けた

村役場の職員によれば津波による水位上昇は次第に大きくなり10波程度で最大となった。村全体では漁船・港湾構造物の被害は無かった。

c) 車力漁港(青森県中央部七里長浜 図-6.20)

22:40頃津波1波目が到達した。津波は港口から侵入し、防波堤を越波することはなかった。なお、本漁港の上部工は日本海中部地震後、かさ上げされたものである。侵入した津波は港内の斜路に翹上した。漁船は係留ロープ

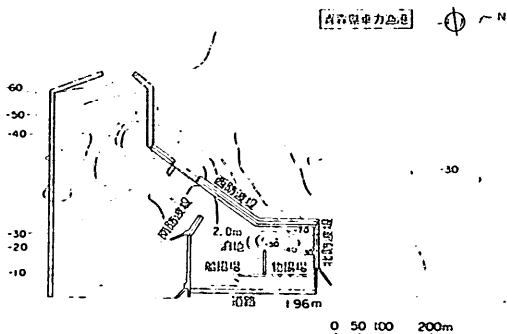


図-6.20 青森県 車力漁港

をのぼして岸壁から離した。そのため船が岸壁上に乗り上げることはなかった。津波によって港内の浅瀬がなくなっていた。港内斜路上での翹上高は2.0mであった。

d) 出来島海岸および木造漁港

出来島海岸砂浜上に置かれていたボートの位置まで津波が翹上した。

建設中の木造漁港の斜路上まで津波が翹上した。23:18頃津波の第一波が到達した。警報が発令され地域住民は避難した。0:00頃の津波が最も翹上高が高かった。港内斜路上での翹上高は1.9mであった。

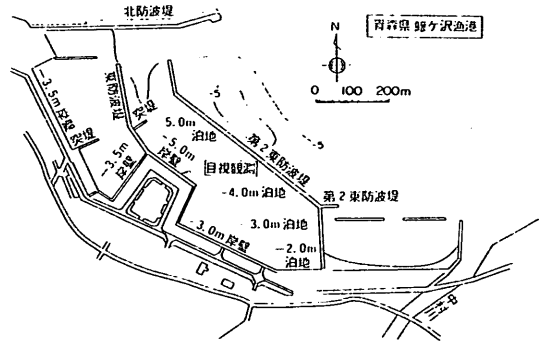


図-6.21 青森県 鯨ヶ沢漁港

e) 鯨ヶ沢町(青森県中部 図-6.21)

浸水、岸壁上への越波はなかった。漁船の被害は避難中にテトラポッドに接触して少し損傷を受けた程度であった。鯨ヶ沢地区消防事務組合職員が漁港岸壁(写真-6.26)にて目視により水位を記録していた。約50cm程度の水位上昇が4、5回程度観測された。港内波除堤での翹上高は1.6mであった。

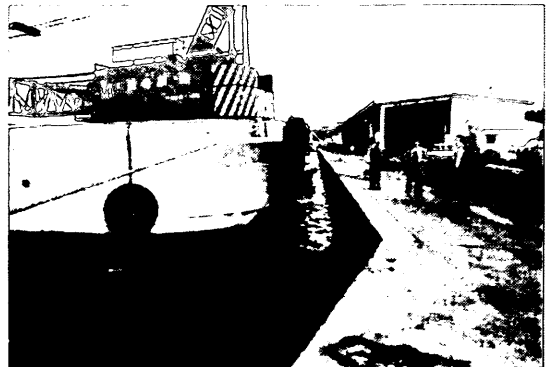


写真-6.26 青森県鯨ヶ沢漁港
この岸壁で津波の翹上を目視観測する

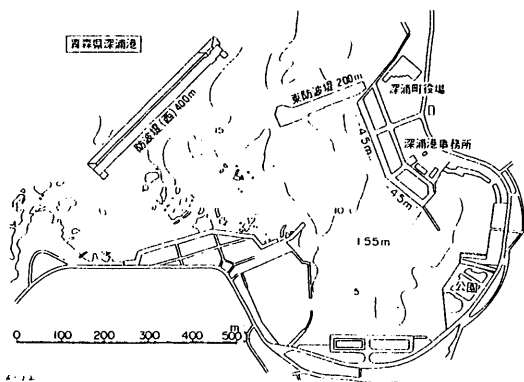


図-6.22 青森県 深浦港

f) 深浦町 (青森県南部 図-6.22)

深浦町職員によれば22:44津波の第1波が到達した。引き波がなく、押し波から始まった。港口および港口と反対側の防波堤と岸壁の隙間 (写真-6.27) より遡上し、

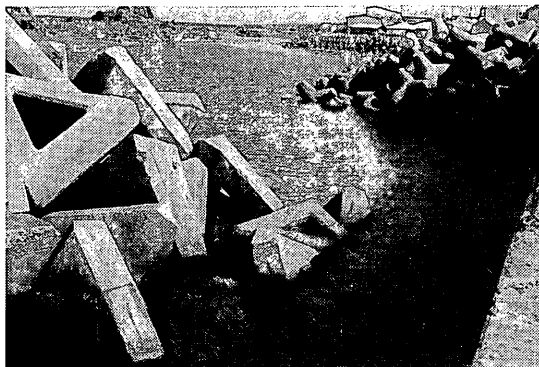


写真-6.27 青森県深浦港
この防波堤と護岸のすき間を通して津波が遡上した

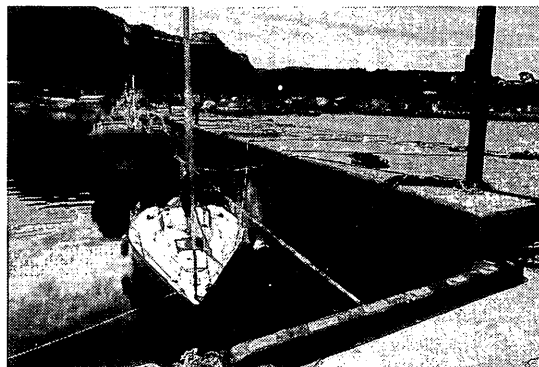


写真-6.28 青森県深浦港
写真中の波除堤前で船が沈む

津波が港内を川のように流れた。このため漁船が2隻転覆し、また、漁船のスクリューが海底と接触し一部破損した。23:21頃第5波が到達し、最も高く遡上した。港内岸壁 (写真-6.28) にて深浦町職員が津波の遡上高を目視により観測した。

g) 岩崎村 (青森県南部 図-6.23)

岩崎村職員が岸壁において津波の遡上を目視観測していた。岩崎漁港において第1波の水位が極大となったのは22:56であった。23時過ぎ周期5.6分が±1m程度の水位変動を観測した。23:44過ぎには水位変動は±30~50cm程度で時間とともに変動は減衰した。管内岩崎漁港において大型の漁船が避難時にスクリューが海底に接触し、一部破損した。港内の斜路上に津波が遡上した。遡上高は+1.5m程度であった。

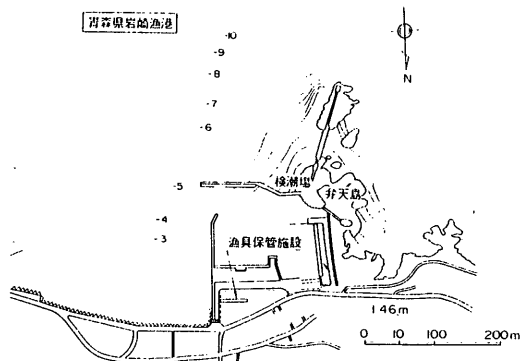


図-6.23 青森県 岩崎漁港

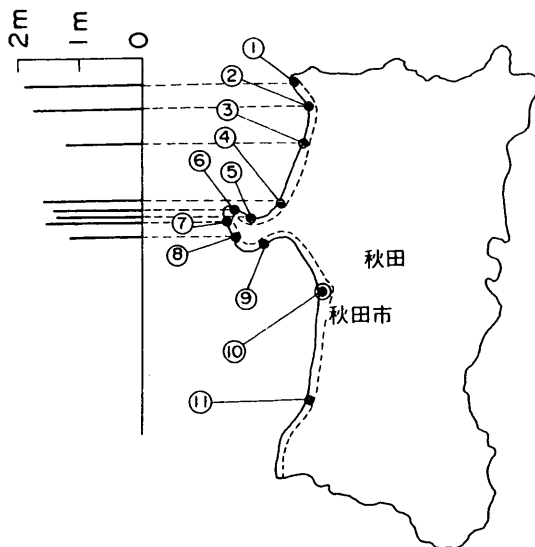


図-6.24 秋田県の津波遡上高

6. 2. 3. 秋田県

(1) 津波の概況

秋田県の日本海沿岸における各地点で実施した測量および聴取り調査に基づく津波遡上高を図-6.24および表-6.5に示す。

表-6.5 調査地点 (秋田県)

	秋田県	調査地点	区分
1	八森町	岩館漁港	第2種漁港
2	八森町	八森漁港	第2種漁港
3	能代市	能代港	重要港湾
4	若美町	若美漁港	第1種漁港
5	男鹿市	北浦漁港	第4種漁港
6	男鹿市	畠漁港	第2種漁港
7	男鹿市	戸賀漁港	避難港
8	男鹿市	加茂漁港	第1種漁港
9	男鹿市	船川港	重要港湾
10	秋田市	秋田港	重要港湾
11	本荘市	本荘港	地方港湾

津波遡上高で、最も高い遡上を示すのは県北部の岩館漁港で約1.9m、最も低い遡上高を示すのは加茂漁港で1.2mである。県北部は津波の震源域から近く、比較的高い遡上高となっている。県南部は男鹿半島によって遮蔽されているため全般的に遡上高は小さかった。

地震発生後、津波警報が発令され、漁船等の沖への避難が迅速に行われた。そのため船舶に対する被害は少なかった。また、港湾構造物に対する被害も皆無であった。以下に各調査地点における津波の作用状況について詳細に述べる。

(2) 各地の状況

a) 岩館漁港 分港・本港 (秋田県北部 図-6.25)

岩館漁港分港付近の漁業者によれば地震発生後約30分で津波が到達した。津波は引き波から始まり、0:00過ぎ

7~8波目で最大の遡上高となった。津波の遡上高は1.5mで写真-6.29中の防波堤裏の船を係留する岸壁の天端近くまで遡上していた。

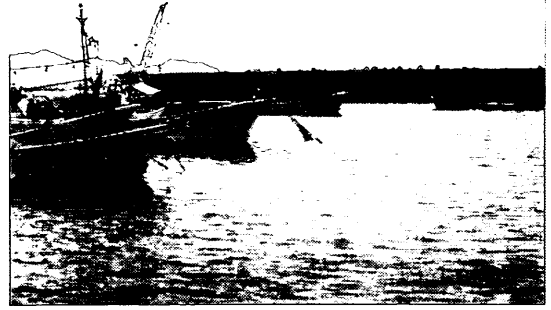


写真-6.29 岩館漁港分港

本港では23:05頃第1波目ご到来し、ついで23:15頃2波目が到来し、最大遡上を示した。船は沖へ迅速に避難し、被害はなかった。本港漁協前の岸壁における聴取り調査の結果、約1.5m程度の遡上高であった。

b) 八森漁港 (秋田県北部 図-6.26)

八森漁港の漁業者2人によれば津波は港口から侵入し、押し波から始まった。23:00前頃引き波となり、その後、港内の斜路に遡上した。3波目が最も高く遡上した。港内斜路上での遡上高は1.9mであり、秋田県において最も高い遡上高であった。

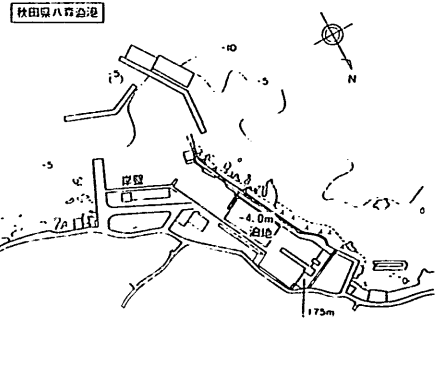


図-6.26 秋田県 八森漁港

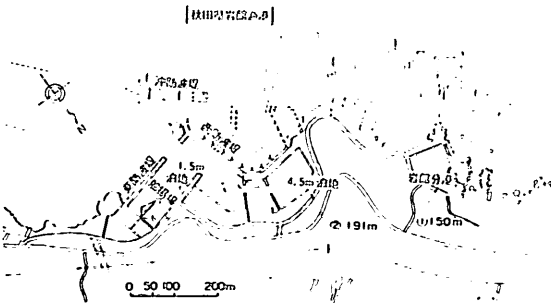


図-6.25 秋田県 岩館漁港

c) 能代港 (秋田県北部 図-6.27)

港湾構造物、船舶ともに津波の被害を受けなかった。港口から侵入した津波は能代港大森地区(堀込み部)の斜路に遡上した(写真-6.30)。能代港大森地区物揚場に

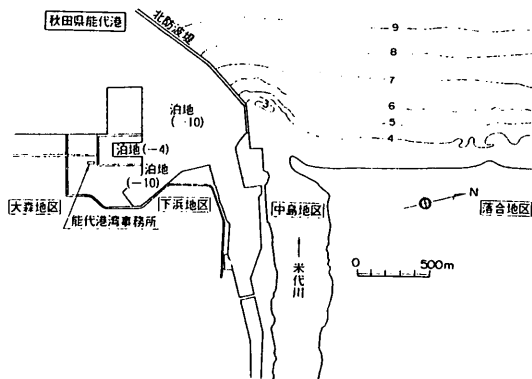


図-6.27 秋田県 能代港

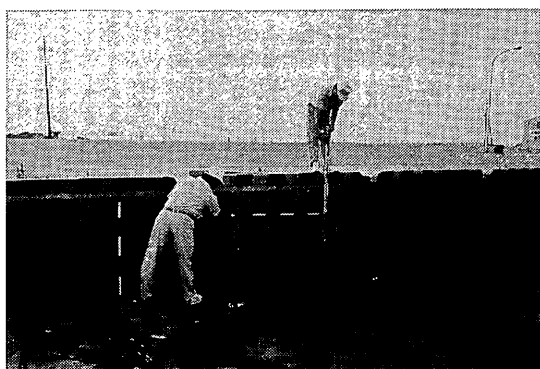


写真-6.30 秋田県能代港大森地区

において1.10mの遡上高であった。能代港沖合では、秋田県によって波高計測が実施されており、津波波形をとらえていた。また、港内の検潮所において検潮記録も得られていた。

d) 若美漁港 (秋田県北部 図-6.28)

まず引き波から始まり海底が見えるほど港内の水位が

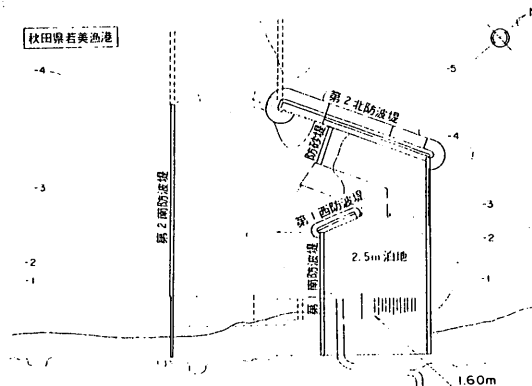


図-6.28 秋田県 若美漁港

低下した。その後押し波となり、23:17頃水位が極大となった。最も高い遡上となったのはその後2~3波目であり、岸壁が少し冠水した。その後5~6分程度の周期で水位が極大となった。遡上高は約1.60mであった。引き波時はゆっくり音もなく水が引くが、押し波時は地ひびきのような音が聞こえた。警報の発令とともに漁船は斜路上部に避難したが作業船付近の漁船が2隻転覆した。また、係留中のモーターボートのロープが津波によって切れた。

e) 北浦漁港 (秋田県男鹿半島 図-6.29)

本漁港は男鹿半島のつけねの北側に位置している。北浦漁港職員および漁業者によれば、男鹿半島先端付近の戸賀において22:45分頃津波の第1波が到来し、その波が引ききらないうちに次の津波の押し波が到来した。北浦漁港では23:10前までに漁船は沖へ避難し、船舶への被害はなかった。津波は港口から港内にまわりこむように流入した。0:00少し前、最大に遡上し、遡上高は港内漁組前の岸壁で1.5mであった。港内斜路の途中まで遡

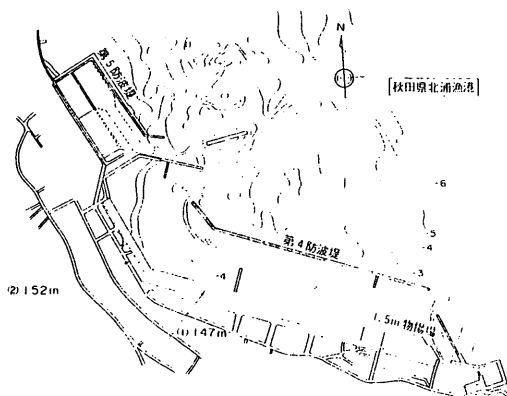


図-6.29 秋田県 北浦漁港



写真-6.31 秋田県北浦漁港

上した(写真-6.31)。また、漁組横の低い岸壁には津波が遡上し冠水した。津波遡上時には川のような音ともなっていた。

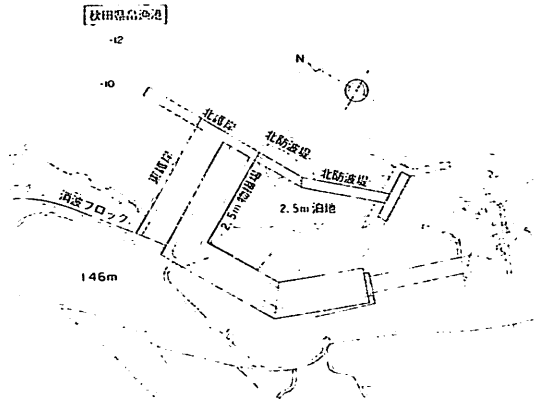


図-6.30 秋田県 畠漁港

f) 畠漁港 (男鹿半島入道崎付近 図-6.30)

畠漁港の漁業者2名によればNHKの津波警報発令後、津波が押し波から流入した。3～4波目が最高の遡上を示した。斜路上の船は避難せず、係留中の船が5～6隻沖へ避難した。津波は港口より流入した。また、防波堤に施されている海水交換用の穴からも津波が流入した。流入時に水位が上昇する音が聞こえた。津波第4波目で最高に遡上した。遡上高は畠漁港岸壁にて約1.5mであった。

g) 戸賀湾 (男鹿半島先端付近戸賀湾・図-6.31)

戸賀湾の漁業者によれば警報による津波来襲時間よりもやや早く引き波が始まった。1波目は、22:30頃到来した。斜路上の船は避難しなかったが、船の被害はなかった。津波によると思われる水位の変動は翌朝まで続いた。

戸賀湾内塩戸地区では港内斜路上(写真-6.32)に遡上し、遡上高は1.24mであった。

h) 加茂漁港 (男鹿半島 図-6.32)

本漁港は男鹿半島の先端近くに位置しているが港口は

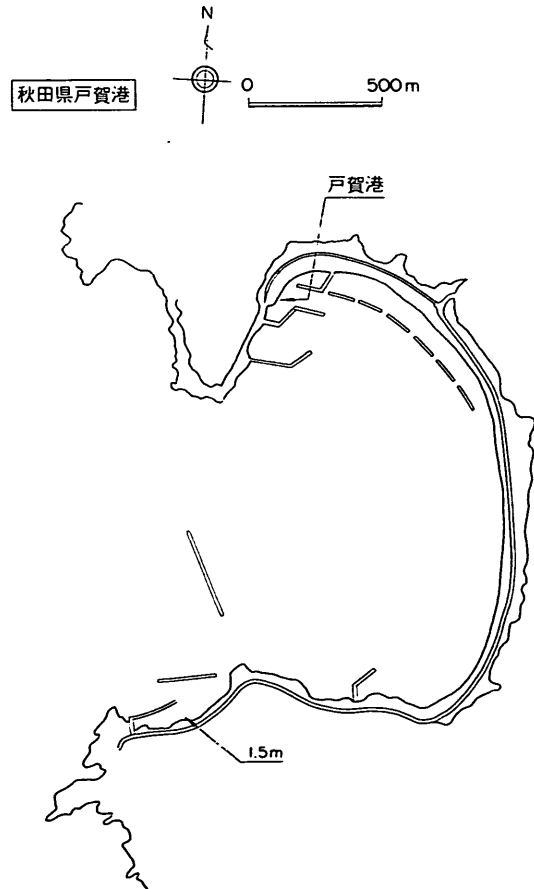


図-6.31 秋田県 戸賀漁港



写真-6.32 秋田県 戸賀港 塩戸地区

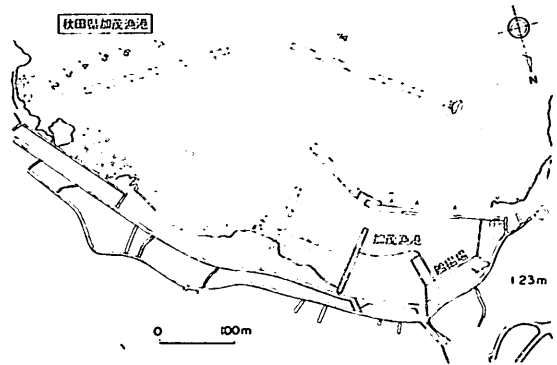


図-6.32 秋田県 加茂漁港

南を向いている。加茂漁港での漁業者によれば、漁船は沖へは逃げず、斜路上に避難した。津波は大きいものが3回到来するが、時間は分からない。港内岸壁上での遡上高は1.2mであった。

i) 秋田県南部（船川港～秋田港～本荘マリーナ）

秋田県南部は男鹿半島によって津波波源域から遮蔽されている。津波の遡上高は比較的低く、県南部の本荘マリーナでの聴取り調査の結果、遡上高は+50cmであった。津波による港湾構造物、船舶等に被害はなかった。秋田港においては港湾区域に集積されていた木材の一部が流出した。

6. 2. 4. 山形県

(1) 津波の概況

山形県の日本海沿岸における各地点で実施した測量および聴取り調査に基づく津波遡上高を図-6.33 および表-6.6に示す。

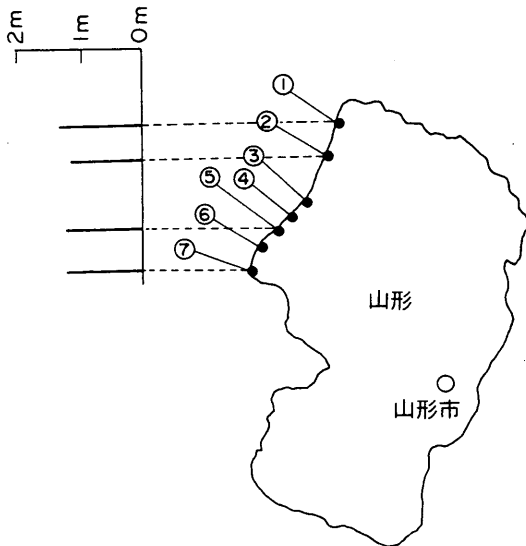


図-6.33 山形県の津波遡上高

表-6.6 調査地点（山形県）

	山形県	調査地点	区分
1	遊佐町	吹浦漁港	第1種漁港
2	酒田市	酒田港	重要港湾
3	鶴岡市	湯ノ浜	
4	鶴岡市	加茂港	地方港湾
5	鶴岡市	由良漁港	第2種漁港
6	温海町	米子漁港	第1種漁港
7	温海町	鼠ヶ積港	避難港

津波遡上高で、最も高い遡上を示すのは県南部の米子漁港で1.20m、最も低い遡上高を示すのは県南部鼠ヶ積漁港の1.0mである。山形県における津波遡上高は防波堤法線形状や海岸線形状によって若干異なるもののおよそ1m程度であった。このため港湾構造物に対する被害は認められなかった。県の海岸線南部の由良漁港にば津波到達時間は23:10で+40cmの遡上高を観測している。

地震発生後、津波警報が発令され、漁船等の沖への避難が迅速に行われた。そのため船舶に対する被害は少なかった。以下に各調査地点における津波の作用状況について詳細に述べる。

(2) 各地の状況

a) 吹浦漁港（山形県北部 図-6.34）

本漁港は山形県北部に位置し、秋田県南部と同じく津波の遡上高は低く、漁船や港湾施設への被害は認められなかった。本港漁業者によれば津波は引きから始まり、第1波が到達した1時間後の第3波目程度が最も高く遡上した。漁船は沖へ避難することはしなかったが、大きな被害を受けることはなかった。聴取りによる津波遡上高を測量した結果+1.3mであった。また山形県の調査では津波遡上高はT.P.+1.18mであった。

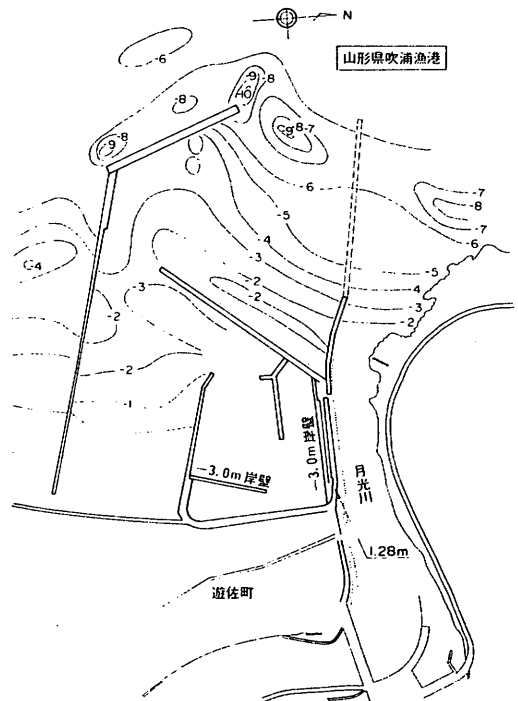


図-6.34 山形県 吹浦漁港

b) 酒田北港（山形県北部）

酒田北港での聴取り調査では津波遡上高は1.2mであった。岸壁天端高は2.0mであり、岸壁を越えることはなかった。港内の大型作業船（写真-6.33）は津波による被害を全く受けなかった。



写真-6.33 山形県酒田北港
このような作業船には被害なし 7/12当夜、ケーソン曳航中（山形県南部にて）も異常なし

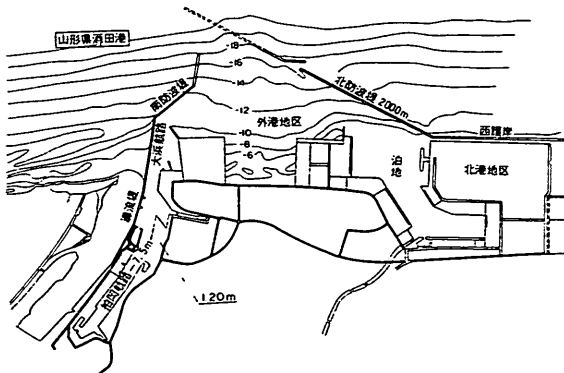


図-6.35 山形県 酒田港

c) 酒田港（図-6.35）

酒田港では県港湾事務所の職員から津波の作用状況の聴取りを行った（写真-6.34）。それによれば23:35頃津波の第1波が到達し、1.10m程度水位が上昇した。その後、最上川に面した泊地で引き波を見たが水位低下は認められなかった。23:45頃波目のピークが到来し1.20m程度まで水位が上昇した。0:00頃第3波目のピークとなり早い流れを見た。港内の作業船は動かず、係留用のロープが切れることはなかった。港内の船は航路付近まで避難した。測量による遡上高は1.2mであった。岸壁天端高さは1.6mであり、越えることはなかった。また、押し波時T.P.+1.3mまで遡上し、引き波時はT.P.+0.3mであった。

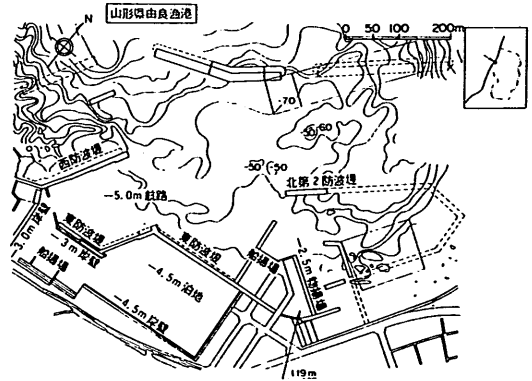


図-6.36 山形県 由良漁港



写真-6.34 酒田港

d) 加茂漁港（山形県海岸線南部 図-6.36）

本港湾施設建設業者に聴取り調査を行った。本港では引き波はなく、23:20前後に第1波が押し波から来襲した。水位変動は翌日の昼ぐらいまで継続し、5～10分周期で水位が変動した。20回に1回大きな波が流入した。津波は防波堤を越えることはなく、湾口より流入した。引き波時にかなり強い流れが認められた。小さな船は係留したままで大きな船は港外へ避難した。最上丸は湾口から流入してきた津波のため港外への避難がすぐにはできず、数回試みた後港外へ避難した。港湾施設への被害はなかった。

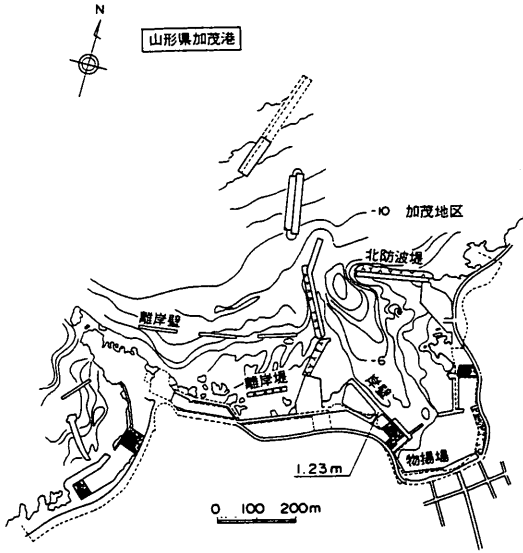


図-6.37 山形県 加茂港

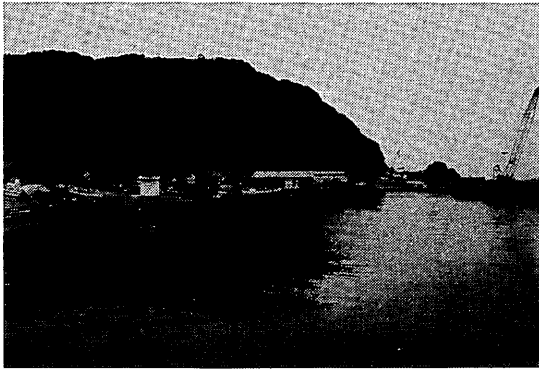


写真-6.35 由良漁港

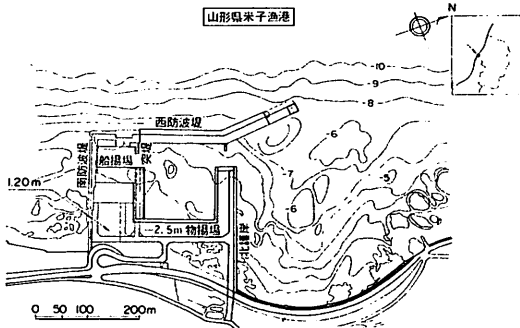


図-6.38 山形県 米子漁港

e) 由良漁港 (山形県海岸線南部 図-6.37)

津波は防波堤を越波せず、狭い港口から音をたてて侵入した。港内の岸壁で聴取りによる津波遡上高を測量した結果、遡上高は1.19mであった。港内には検潮所が設置されており (写真-6.35), 23:10に津波によると思われる水位上昇+0.4mを記録している。

f) 米子漁港 (山形県海岸線南部 図-6.38) (建設中)

本港は護岸や防波堤など、港湾施設をすべて建設中であり、設置中のコンクリートの方塊などの建設資材に津波が作用した (写真-6.36)。港湾施設建設建設業者に対

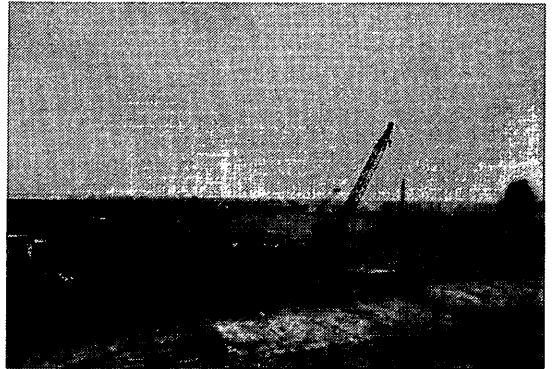


写真-6.36 山形県米子漁港

して聴取り調査を実施した結果、0:30に現場に到着したとき最高水位に達していた。そのときの水位は+1.2mであった。また0.9mの建設中の岸壁を越波していた。津波による水位変動は翌日まで継続し、1.5~2時間に1回大きな津波が来襲した。

g) 鼠カ関漁港・鼠カ関マリーナ (山形県海岸線南部 図-6.39)

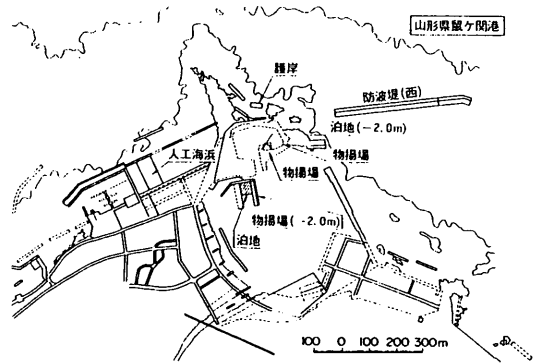


図-6.39 山形県 鼠ヶ関港

港湾施設建設業者によると23:20頃漁港内の水位が低下し始め0.2mまで水位が低下した。23:30に第2波が来襲し、最大遡上0.95mを示した。引き波時は-0.05m水位が低下した。港内の漁船は一部沖へ避難し、その他の船は斜路上に避難した。岸壁に波が越波することはなく、施設への被害は認められなかった。周期が20~30分で±0.5m程度の水位変動は翌日の午前中まで観測された。

鼠カ閘マリナーには23:30頃第1波目が来襲しメイン栈橋すれすれの(D.L.+1.0m)まで遡上した。その後大きな津波は3~4回来襲した。最高に遡上したのは2~3回目で0:00頃であった。その際、和船が防波堤上に打ち上げられた。

6. 2. 5. 新潟県

(1) 津波の概況

新潟県の日本海沿岸の各地点で実施した測量および聴取り調査に基づく津波遡上高及び東北地方各県における遡上高を図-6.40、表-6.7および図-6.41に示す。新潟県は秋田県、山形県に比べて波源域から遠いにも係わらず上記2県よりも高い遡上高を記録している。特に山形県境に近い県北部および粟島、佐渡島北部の弾崎近くで津

波の被害が顕著であり、岸壁上に遡上して小屋や倉庫まで浸水した。また自動車等が海に転落するなどの被害を受けた。県内の聴取り調査の中で最も高い遡上高を示し

表-6.7 調査地点 (新潟県)

	新潟県	調査地点	区分
1	山北町	府屋漁港	第1種漁港
2	山北町	寝屋漁港	第2種漁港
3	山北町	脇川漁港	第1種漁港
4	山北町	桑川漁港	第1種漁港
5	村上市	岩船港	
6	村上市	胎内川河口	
7	新潟市	新潟東港	特定重要港湾
8	新潟市	新潟港	特定重要港湾
9	両津市	両津港	重要港湾
10	両津市	羽吉漁港	第1種漁港
11	両津市	黒姫漁港	第1種漁港
12	両津市	北小浦漁港	第1種漁港
13	両津市	鷲崎漁港	第4種漁港
14	両津市	藻浦地区	
15	相川町	高千漁港	第2種漁港

ていたのが粟島港で3.09mで、最も低い値を示すのは佐渡の脇川漁港で1.15mであった。

以下に各調査地点における津波の作用状況について詳細に述べる。

(2) 各地の状況

a) 府屋漁港 (新潟県北部 図-6.42)

写真-6.37に府屋漁港を示す。港口部より侵入した津波は、写真手前の斜路上および写真右の岸壁にまで遡上した。津波の遡上高は2.4mであった。斜路や岸壁上の施設は冠水したものの施設には被害がなかった。

b) 寝屋漁港 (新潟県北部 図-6.43)

写真-6.38 (1) に寝屋漁港の漁協前の岸壁を示す。山北町漁協職員よれば、津波第1波は23:28に来襲し1.8mまで遡上した。津波が侵入してくる際音は聞こえなかった。港内の漁船は約半分が港外へ避難し、港内の2隻の漁船が転覆した。漁協前の岸壁上に津波が越流し、漁協の建物の下の入り口付近まで遡上した (写真-6.38 (2))。遡上高は日本海中部地震の時よりも高いが、新潟地震よりも低かった。

c) 脇川漁港 (新潟県北部 図-6.44)

本港漁業者によれば港口部から侵入した津波は、港外の岸壁上を越流し、護岸にまで到達した。津波到達時間は23:35頃であった。写真-6.39 (1) (2) ではそれぞれ聴取りによる津波遡上高を指し示している。測量の結果、津波遡上高は2.5mであった。このため岸壁上に置かれた自動車、トラック内に海水が侵入した。また、写真中

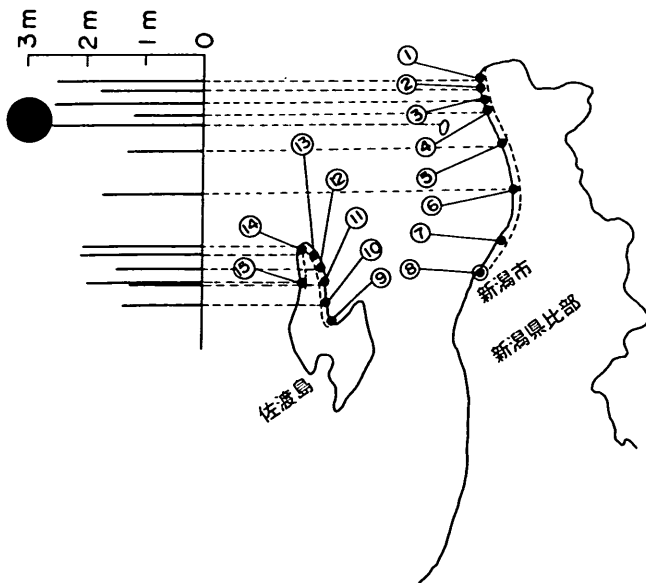


図-6.40 新潟県の津波遡上高

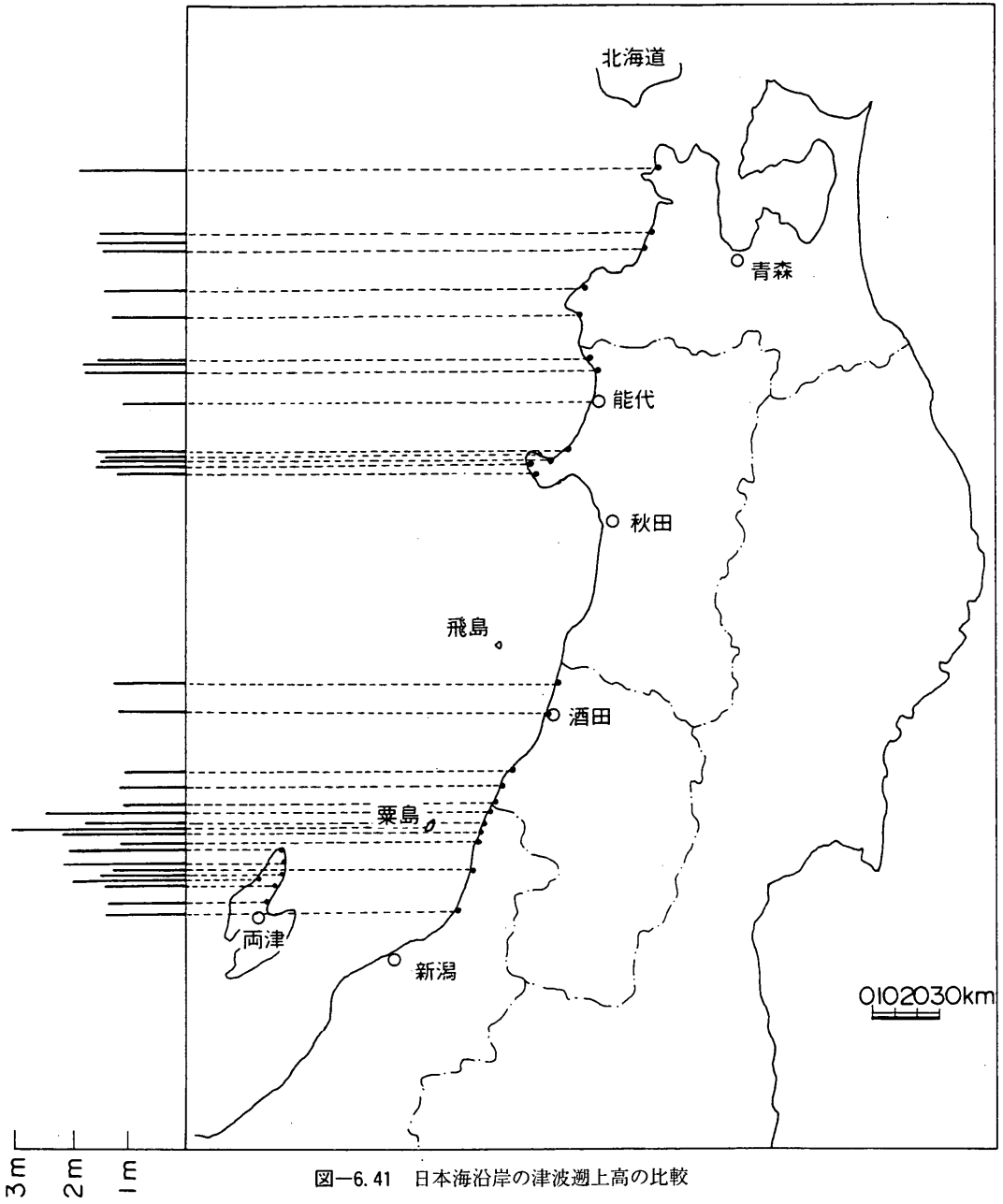


図-6.41 日本海沿岸の津波遡上高の比較

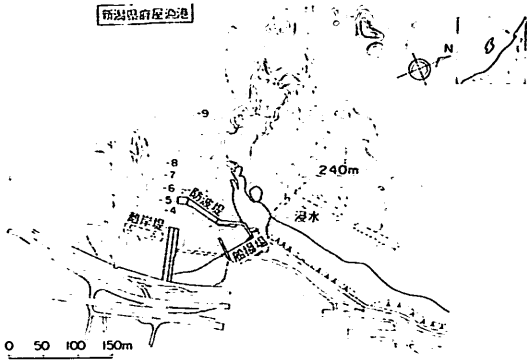


図-6.42 新潟県 府屋漁港



写真-6.38 (1) 新潟県寝屋漁港 (漁組屋上から撮影)



写真-6.37 新潟県府屋漁港
手前斜路，写真右側岸壁上に遡上している



写真-6.38 (2) 新潟県寝屋漁港

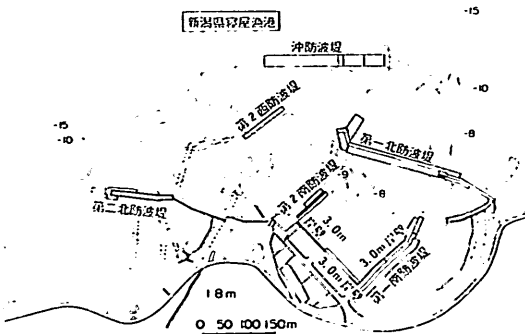


図-6.43 新潟県 寝屋漁港

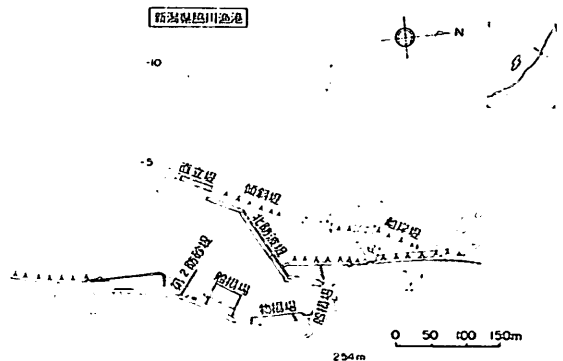


図-6.44 新潟県 鴈川漁港

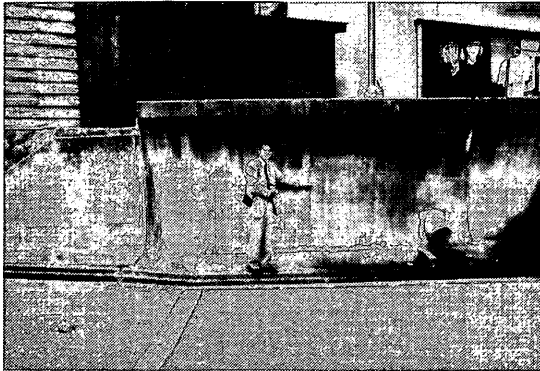


写真-6.39 (1) 新潟県脇川漁港 手の位置まで遡上



写真-6.39 (2) 新潟県脇川漁港 手の位置まで遡上
岸壁上の車・トラックは水をかぶる
倉庫内の計器を破損した

の岸壁上の倉庫も冠水し、倉庫内の計量器等を破損した。

d) 桑川漁港 (新潟県北部 図-6.45)

観光船関係者によると津波は±10cmぐらゐの揺れか

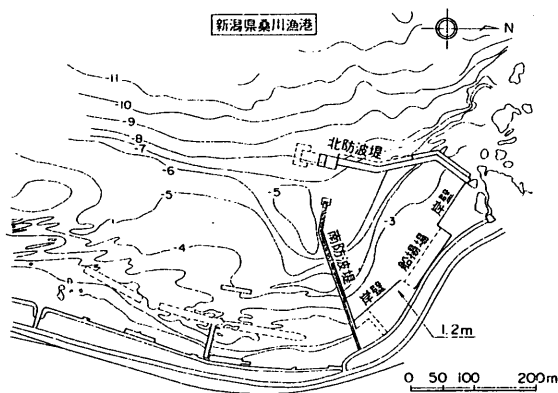


図-6.45 新潟県 桑川漁港

ら次第の大きくなり、23:00頃ゆれの周期が短くなった。23:30頃ゆれの振幅が一気に大きくなり、0:00過ぎ頃最も高く遡上した。その時の遡上高は1.2mで岸壁の天端高さとはほぼ等しくなり岸壁の一部が津波によって濡れた。また、津波は港内の+1.0mの波除堤を越波した。船は岸壁に垂直になるように係留し、一部の船は泊地の中央部まで避難した。港湾施設の被害はなかった。津波の遡上高は日本海中部地震よりも高かったとのことである。

e) 岩船港 (新潟県北部)・粟島港 (図-6.46)

地震発生後、船は沖へ避難し船舶等は被害を受けなかった。岩船港での津波遡上高は1.3mであった。また、粟島港の調査は行わなかったが、県がとりまとめた被害状況によれば津波の遡上高は3.09mであり、岸壁上のバイクと自動車1台が引き波によって港内に転落した。

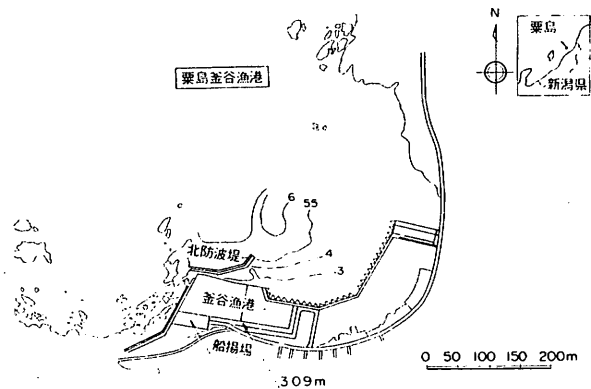


図-6.46 新潟県 粟島 釜谷漁港

f) 胎内川河口 (新潟県北部)

新潟県北部の胎内川河口付近にある小型船舶用の泊地で調査を行った。ここは胎内川右岸に掘込まれた泊地で水際が護岸によって保護されているだけで防波堤等の港湾施設はない。水深は1.5m~2.0mである。中条町消防団本部の職員によれば護岸上まで津波が遡上し、遡上高は1.7mであった。0:35頃に泊地に到着し、その時既に船が5隻転覆していた。

g) 羽吉・黒姫・北小浦漁港 (佐渡島内海府 図-6.47, 図-6.48)

これら3港は佐渡島内海府に属し、津波波源域から遮蔽されている。特に羽吉・黒姫漁港は両津湾内であり、津波遡上高はそれぞれ1.4m, 1.5mであった。羽吉漁港

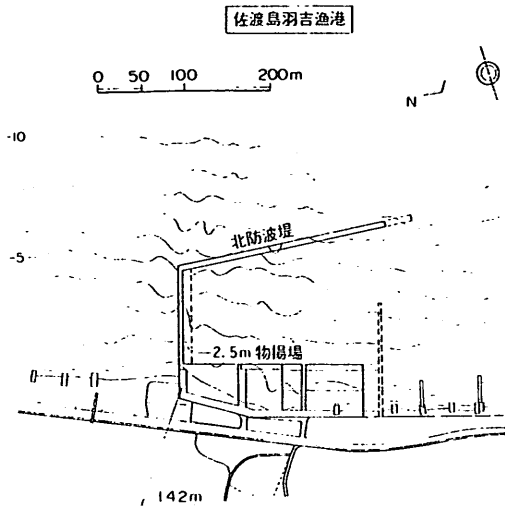


図-6.47 新潟県 佐渡島 羽吉漁港

(写真-6.40 (2)) の漁船が斜路を遡上してきた津波に押し上げられて道路を越えて駐車場付近 (写真-6.40 (1)) まで流された。また、1.12mの岸壁を越え、内海府漁協冷蔵貯水庫内まで冠水した。その内壁に痕跡が認められ、測量の結果、2.07mまで遡上していることが確認された。港内の漁船の一部は沖へ避難したが、その中の一

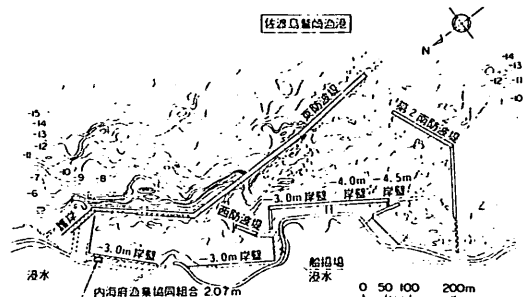


図-6.49 新潟県 佐渡島 鶯崎漁港

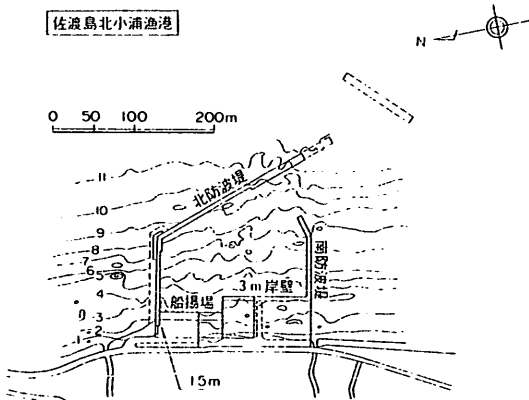


図-6.48 新潟県 佐渡島 北小浦漁港

では岸壁天端を越えることはなく、黒姫漁港では天端高と遡上高が同じであった。北小浦漁港は羽吉・黒姫漁港よりも北に位置し両津湾の外である。ここでは津波遡上高が1.5mであり、羽吉・黒姫漁港よりも遡上高が高い。また、港内の網が流される被害を受けた。

h) 鶯崎漁港 (佐渡島内海府 図-6.49)

鶯崎港は佐渡島北端弾崎近くの内海府に位置しており、津波波源域に直接面している。写真-6.40 (1)、(2) は、港内の斜路および斜路上での聴取り調査の様子を示す。港湾施設建設業者によれば地震発生中コンクリートの打設工事を行っており、一旦工事事務所に戻り津波の情報を知った後、泊地奥の斜路で津波の遡上を目視したとのことである。それによれば23:25頃津波第1波が来襲した。最も高く津波が遡上したとき泊地奥の斜路上



写真-6.40 (1) 佐渡鶯崎漁港 斜路上の船が、道路を越えて真ん中奥の緑色の車のところまで押し上げられ散乱した

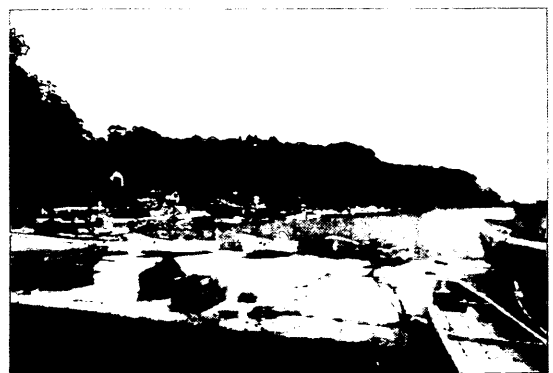


写真-6.40 (2) 佐渡鶯崎漁港

部は、港口で押し波によって2, 3回押し戻された。また、港内の漁船が数隻転覆した。

i) 藻浦漁港 (佐渡島外海府)

藻浦漁港は弾崎に最も近い外海府の漁港である。津波の最高の遡上高さは分からないが、少なくとも漁港斜路上の漁船引き上げ用のウインチまで津波が到達してお

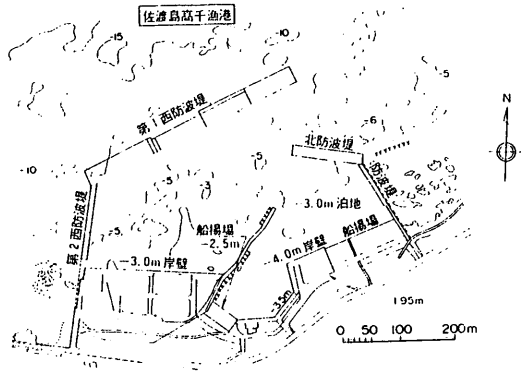


図-6.50 新潟県 佐渡島 高千漁港



写真-6.41 佐渡島高千漁港

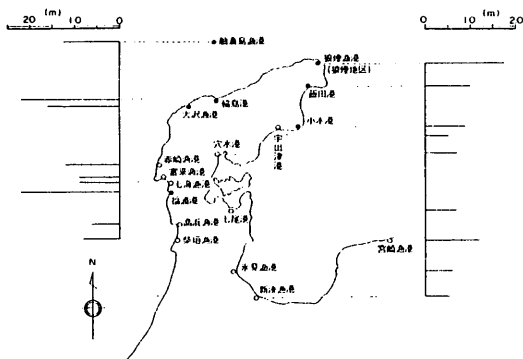


図-6.51 富山県・石川県の津波遡上高

り、水位+1.7m以上の遡上高である。

j) 高千漁港 (佐渡島外海府 図-6.50)

本漁港は佐渡島北側外海府に位置している。漁協関係者によれば漁港で目視した範囲では最初の1波目が最も高く遡上した。その際、津波は斜路上端(写真-6.41)まで遡上し、引き波時は斜路下端まで引いた。漁港内での遡上高は2.0mであった。15トンクラスの漁船は沖へ避難し無事であった。23:00頃から2:00頃まで水位変動が20回ぐらいつづいた。津波の遡上高は日本海中部地震よりも高かった。

6.2.6. 富山県・石川県

(1) 津波の概況

図-6.51は、富山県と石川県の港湾・漁港における津波の最高水位を示したものである。なお、両県では、岸壁や物揚場を越えるような津波の来襲は少なく、しかも津波の来襲が深夜であったために、明確な津波の痕跡がほとんど無かった。また、漁業関係者などに対する聴取り調査の結果、大まかな水位差として記憶している人が多かった。そこで、水位差から当時の潮位を考慮して推定した最高水位も合わせて図示している。図中の○は水位差から推定した最高水位を、●は痕跡高さまたは目視による最高水位を示したものである。富山、石川両県では、富山湾に面した海岸で比較的最高水位が小さく、特に伏木富山港などの湾奥部では最高水位が小さく、津波の影響がそれほど大きくなかった。富山湾内で比較的影響が大きかったのは、富山県と新潟県の県境に近い宮崎漁港であり、最大の水位差で70~80cmほどであった。能登半島では、半島の先端ほど最高水位が大きく、輪島港など日本海に面したところで最高水位がかなり高くなっており、+2.0m以上記録したところもある。

今回の津波の特徴は、水位変動の周期が短かった(5分程度で水位が上下動する)という証言が多くあり、特に日本海中部地震の津波を体験している人にそのような発言が多かった。小さな漁港では、港口の幅が小さいのでかなりの流れが生じたらしく、しかもその流れが比較的短い時間で変動するために、津波が来襲してから待避しようとした船舶は、避難するタイミングやそのときの操船がかなり困難であったとの証言もあった。また、津波の影響は13日朝位までであったようで、比較的長い時間水位変動が観測されていた。津波来襲時の港内の状況は、水面がゆっくりと上下動し、日本海中部地震の時に白波を立てて来襲していた状況とは異なっていた。

津波による被害は、津波の影響をあまり受けていない富山県では人的物的とも全くなかったが、石川県の能登半島北部で船舶に対する被害が多少あった。表-6.10は、

その被害状況をまとめたものである。被害は最高水位の大きかった大沢漁港などの能登半島北部の比較的小さな漁港が中心となっており、合計24隻の船舶に被害が生じた。また、輪島市内を流れる河原田川にも7隻の被害が出ているが、これらは不法保留のプレジャーボートであり、河川を遡上してきた津波によって転覆等の被害が生じたものである。

(2) 富山県

a) 宮崎漁港

宮崎漁港（第1種）は、新潟県との県境に近い富山県北部の第1種漁港である。図-6.52は、宮崎漁港の平面図であり、港口が西に向いている。前面の海底地形は、かなり急勾配であり、最も急なところではほぼ1：1の勾配で水深200mまで深くなっている。この港は、富山県内で津波の影響が最もあったが、最高水位の時でも岸壁の天端を越えておらず、漁船等に対する被害もなかった。

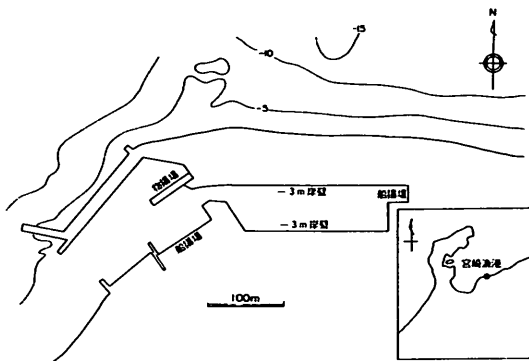


図-6.52 富山県 宮崎漁港

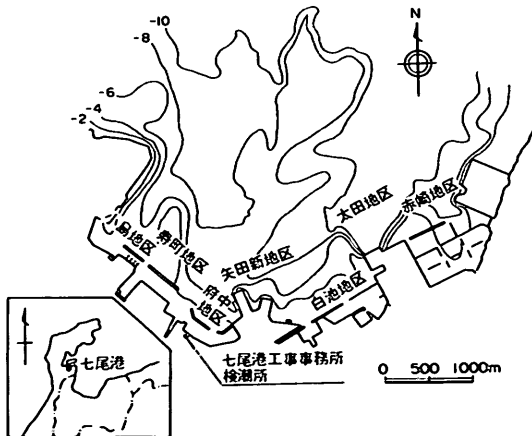


図-6.53 石川県 七尾港

なお、津波来襲時も漁船は港外へ避難していない。

地震発生後、同港では朝日町消防署が港に出てきて、水位の目視観測を行っていた。これによると、13日0時42分に水位差で60~70cmの変動を観測し、1時33分には70~80cmの変動に達している。その後、3時でも40~60cmの水位変動が観測されている。また、水位が変動する周期は、数分程度と比較的短かった。

b) 新湊漁港, 氷見漁港

新湊漁港（第3種）は、伏木富山港の新湊地区と伏木地区に挟まれた場所に位置しており、新湊地区よりの東地区と伏木地区よりの西地区からなっている。津波の影響は小さく、新湊市消防署からの報告によれば、午前2時に両地区とも約30cmの水位差が観測された。

氷見漁港（第3種）は、新湊漁港から北西約10kmに位置している。同港でも津波の影響は小さく、水位差は最高でも約40cmであった。

(3) 石川県

a) 七尾港, 穴水港

七尾港（図-6.53）は、能登半島中央部東側の七尾湾南湾に位置する天然の良港である。同湾の北岸には能登島があり、かなり遮蔽された海域に位置する。石川県七尾土木事務所では、13日0:40より目視観測を行っていた。これによると、水位変動の大きかったのは、2時、4時と6時であったが、水位差で20~30cmと津波の影響が小さかった。また、同港西側に隣接する石崎漁港（第2種）では、漁船は係船したままで、避難したものがなかった。府中地区の府中埠頭背後には第一港湾建局七尾港工事

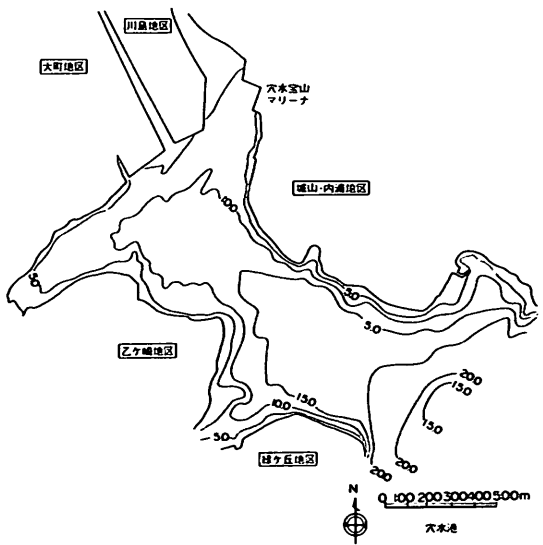


図-6.54 石川県 穴水港

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23:54ごろから始まり、翌朝の7:36あたりでピーク値に達している。なお、検潮井戸は導水管が20m以上と長く、井戸内の水位の応答に問題がある可能性があるために、水位の絶対値自体は実測よりも小さくでている。

穴水港（地方港湾、図-6.54）は、七尾港から北側へ約16km離れた七尾北湾の北岸の入江深く位置する港で

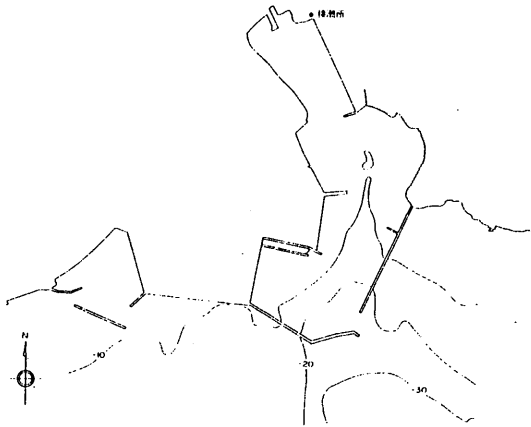


図-6.55 石川県 宇出津港

ある。ここでは、石川県輪島土木事務所によって目視で水位の確認がされており、時刻は不明であるが通常潮位よりも20~30cm上昇していたことが分かっている。

b) 宇出津港, 小木港, 飯田港

宇出津港（地方港湾、図-6.55）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）があり、水位が約5分おきに上下していたのが確認されている。また、検潮データから読みとると、第一波は23時40分であり、最高水位は13日5時30分に+50cm（水位差58cm）であった。ただし、潮時計からの読みは、水位変動に対する測定機自体の応答性の問題があるものと考えられる。

小木港（地方港湾、図-6.56）も宇出津港によく似た入江の港であり、宇出津港よりも約8km東側に位置する。ここでは、穴水港や宇出津港に比べて津波の影響はやや大きかった。石川県珠洲土木事務所では目視観測をしており、水位差で約1mが観測（図中①）され、そのときの最高水位は+0.9m（13日1時55分）であった。また、漁業関係者の話では、港内は波もなく水位が静かに変動するような状況であった。また、水位の上下動は3~5分おきくらいで、比較的短いものであった。

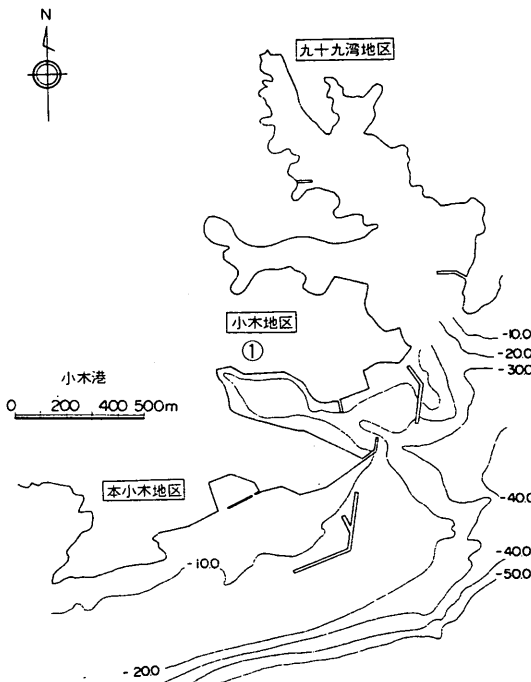


図-6.56 石川県 小木港

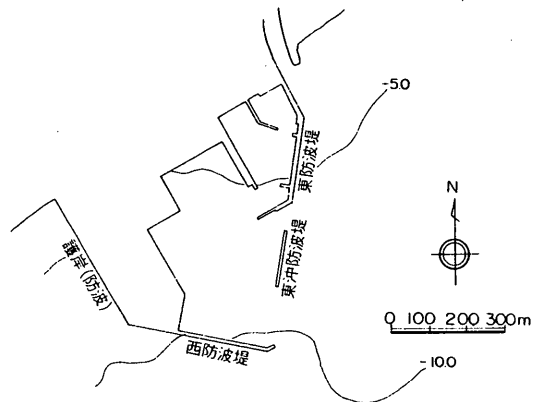


図-6.57 石川県 飯田港

飯田港（地方港湾、図-6:57）は能登半島北端の狼煙から南12kmに位置する港である。ここでは小木港とはほぼ同程度の津波の影響があり、漁業関係者の証言によると水位差で80~100cmあり、最高水位で+0.9~1.0mであった。また、ここでも津波の状況は、港内の水位が比較的ゆっくりと上下動していた。

c) 狼煙漁港（狼煙地区）

狼煙漁港（第4種）は能登半島の北端にある第4種漁

港で、狼煙地区（図-6.58）、折戸地区、高屋地区の3つからなっている。3つの地区のうち、狼煙地区が最も津波の影響が大きく、岸壁（+1.3m）を越えたものもあった。このときの最高潮上高さは、+1.76mであり、漁業組合建て屋前の岸壁（図中①）から約20mほど内陸に津波が潮上した。また、目視観測によると、津波の第一波は23時40分であり、第二波の23時45分に岸壁を越えている。その後も5分から30分おきに水位の上下動が観測されている。港口の状況は、かなり流れが速かった模様であり、漁業関係者の一人は「川のように流れていた。」との証言もあった。

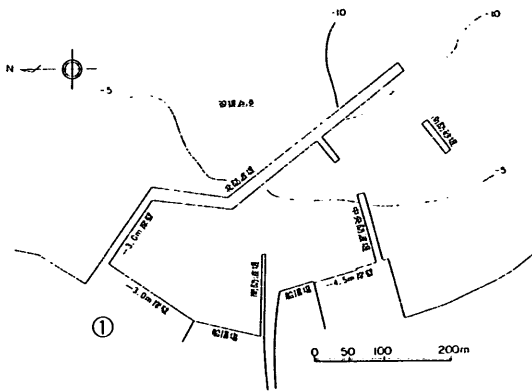


図-6.58 石川県 狼煙漁港

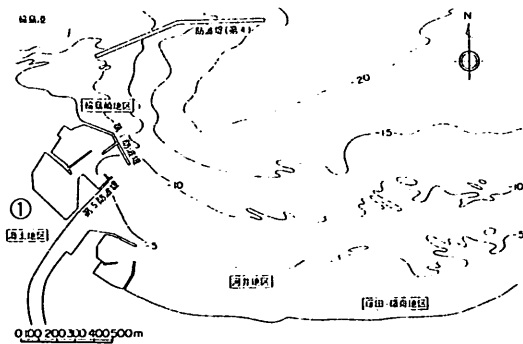


図-6.59 石川県 輪島港

d) 輪島港、舢倉島漁港

輪島港は能登半島北岸に位置する避難港である。図-6.59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。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23:50ごろ第1波による水位変動が始まっている。また、最も水位変動が大きかったのは第二波であり、0

時15分に観測された。このとき津波は、岸壁の天端を越えて潮上しており、図中①の漁業協同組合建て屋前の岸壁（+1.5m）付近の痕跡からは最高潮上高さが+2.2mであった。また、同港での船舶等に対する被害は1隻と少なく、約300隻の漁船が津波が来襲する1時間前に沖出しすることが完了している。漁業関係者らからの聴取り調査の結果、日本海中部地震津波の教訓によって、被害を最小限に抑えることができたのと証言が多かった。

舢倉島は輪島の北約50kmの位置にある周囲4kmの島であり、舢倉島漁港（図-6.51）はこの能登側を向いた海岸線にある第1種漁港である。なお、この漁港では、日本海中部地震津波の時にかなりの被害を受けている。石川県輪島土木事務所の調べでは、今回の津波はそれほど大きくはなく、岸壁の天端を越えておらず、最高水位で+1.3m（漁業関係者からの聴取り調査から）程度であった。ただし、過去の経験からすべての漁船が津波の到達前に避難した模様である。

e) 大沢漁港

大沢漁港（図-6.60）は、能登半島北部で輪島市より約10km西側に位置する第1種漁港である。同港は、能登半島の中では津波の影響が比較的大きく、1回だけ岸壁の天端（+1.2m）を越えている。そのときの最高水位は、近くに住む住民の証言からその推定痕跡位置を測量すると、+1.6mで岸壁よりも0.4mほど水位が高くなった。同港は、図中①の防波堤が混成堤であり、②の防波堤が傾斜堤で透過性の構造となっている。実際に津波来襲時に避難しようとした漁業者の話によると、透過性の防波堤付近の流れが複雑で操船がかなり難しかったよう

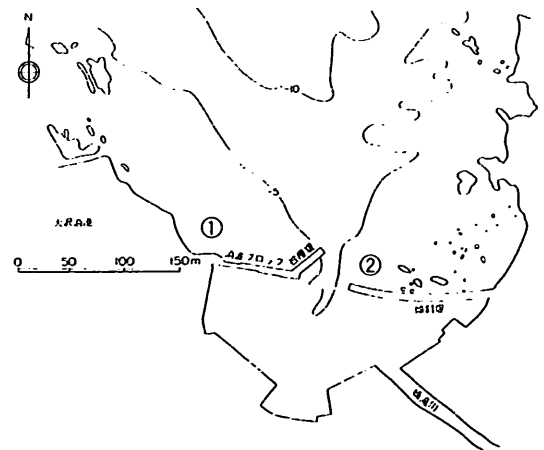


図-6.60 石川県 大沢漁港

である。また、その付近の船溜まりでの転覆が多かったことから、傾斜堤付近での流れの複雑さがわかる。

f) 赤崎漁港、富来漁港、七海漁港

赤崎漁港（第2種漁港）は、図-6.51に示すように能登半島西部に位置している。漁業関係者の証言によると、最も津波の影響が大きかったときに、約160cmの水位差であった。同港では、比較的大きな漁船だけ沖に避難しており、5t未満の小型船舶3隻が転覆するという被害が生じた。

富来漁港（第4種）や七海漁港（第1種）は、赤崎漁港よりやや南側に位置し、岬にやや遮蔽された位置にある。両漁港とも水位差は、100cm程度であり、七海漁港では最高水位で物揚場の天端(+1.2m)にまで達した。水位の上下動は、5分程度おきに生じていた。

g) 福浦漁港

福浦漁港（第一種漁港、図-6.61）は、能登半島西部にあり、大沢漁港よりも約30km南側、七海漁港より約5km南側に位置する入江を利用した港である。ここでは比較的津波の影響が大きく、漁業組合前の岸壁（図中①、+1.5m）を合計3回越えて陸上に遡上している。そのときの最高水位は、+2.2mであった。比較的大きな漁船は避難し無事であったが、1トン未満の漁船が5隻転覆する被害が出ている。また、津波の状況は、他の港と同様に周期がかなり短かった（数分程度）との証言が多かった。

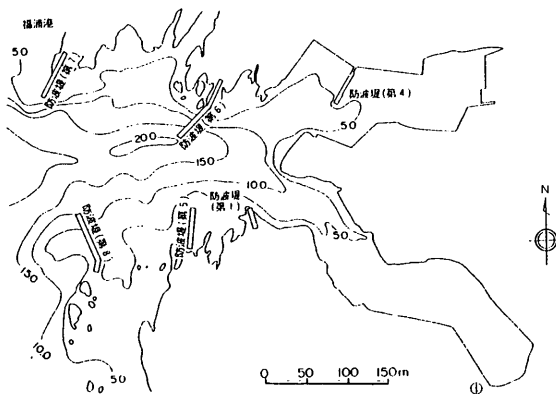


図-6.61 石川県 福浦漁港

h) 高浜漁港、柴垣漁港

高浜漁港（第2種）は、福浦漁港より約10km南側に位置しており、津波の影響は比較的小さかった。漁業関係者の目視によると、水位差は最高で約50cmであった。柴垣漁港（第1種）は、高浜漁港より約8km南

表-6.8 調査地点（富山県）

	富山県	調査地点	区分
1	朝日町	宮崎漁港	第1種漁港
2	新湊町	新湊漁港	第3種漁港
3	氷見町	氷見漁港	第3種漁港

表-6.9 調査地点（石川県）

	石川県	調査地点	区分
1	七尾市	七尾港	
2	七尾市	石崎漁港	第2種漁港
3	穴水町	穴水港	地方港湾
4	能都町	宇出津港	地方港湾
5	内浦町	小木港	地方港湾
6	珠州市	飯田港	地方港湾
7	珠州市	狼煙漁港	第4種漁港
8	輪島市	輪島港	
9	輪島市	舳倉島漁港	第1種漁港
10	輪島市	大沢漁港	第1種漁港
11	富来町	赤崎漁港	第2種漁港
12	富来町	富来漁港	第4種漁港
13	富来町	七海漁港	第1種漁港
14	富来町	福良漁港	第1種漁港
15	志賀町	高浜漁港	第2種漁港
16	羽咋市	柴垣漁港	第1種漁港

表-6.10 石川県内の津波による被害

人的被害	なし
住家被害	なし
非住家被害	なし
船舶被害	合計 24隻、内訳は以下のとおり
	(輪島市) (富来町)
	大沢漁港 3隻 転覆、損傷 赤崎 1隻 転覆
	上大沢 2隻 転覆 津波 2隻 転覆
	輪島港 1隻 転覆 福浦漁港 5隻 転覆
	河原田川 7隻 *プレジャーボート (加賀市)
	(珠州市) 輪島漁港 1隻 転覆
	片岩 2隻 横転、損傷 柴垣漁港

に位置しており、水位差で約80cmであった。

7. 港湾における津波の被害とその特性*

7.1 港湾における被害概況

津波による港湾施設の被害の概略については、6.で述べたとおりである。今回の津波による港湾・漁港の被災については、山本他²⁹⁾にさらに詳しく述べられている。

地震によって発生する港湾や海岸構造物の被害は、地震の揺れや、それに伴って生じた地盤の変化（液状化等）による（時間的には、地震の振動時か、その直後に発生する）どちらかと言えば直接的な被害と、海底の地盤の

*執筆者 鶴谷広一

変動によって生じた津波による（間接的な）被害とが重なっていて、被災の原因を明確に区別できない場合もある。前者の被害の例としては、岸壁及び防波堤ケーソンのせり出し・移動や、地盤の液状化によるエプロン舗装の沈下・亀裂等がある。今回、函館港では津波偏差は0.35mと大きくはなかったが（図-4.7参照）、震度4の強い揺れのため、港町地区泊地分離堤の堤体が沖側へ移動・沈下したり、北埠頭地区でエプロン舗装が沈下・隆起する等港湾施設に多くの被害が生じている。今回の函館港で見られるこれらの被害は、地震による直接的な被害と思われる。

津波の襲った港湾では、通常は地震による直接的な被害と津波によるそれとの複合的な被害が生じているものと考えられるが、今回見られた顕著な被害のうち主として津波によると思われる港湾施設と海岸構造物の被害を分類すると、次のようになる。

- (1) 埠頭エプロン舗装のコンクリートスラブやアスファルトの陥没・剥離・移動
- (2) 遡上した津波の流出経路にある護岸・胸壁等の倒壊
- (3) 津波力による防波堤ケーソンの移動・倒壊
- (4) 防波堤開口部のマウンド部の洗掘によるケーソンの倒壊
- (5) 漂流物の衝突による護岸等の破壊

(1)は、遡上した津波の流れによって舗装下部の土砂が洗い流され、陥没してヒビが入ったり割れた舗装が、第2波、第3波の津波の影響で移動したり運び去られてしまうものと考えられる。青苗漁港のアスファルト舗装の陥没・剥離の例を写真-7.1(1)～(3)に示す。(2)は、陸上に遡上した津波の流出経路にある構造物が、強い流れによって下部の土砂が洗掘されて流れと水圧（あるいは漂流物の衝突）の作用で倒壊に至るものであり、護岸や胸壁が沖側あるいは港外側へ倒れていることで判別できる。写真-6.17(19)～(24)に奥尻港の例を示してあるが、青苗地区でも徳用記念碑東側の護岸が沖側へ大きく移動・倒壊しているのが認められる（写真-7.2）。また、市街地内の旧護岸と思われるコンクリート壁も沖側へ向いて移動・倒壊している（写真-7.3）。(3)は、防波堤ケーソンがともに津波の来襲を受けて津波力によって港内側に移動するものであり、マウンド部から海底へ転倒して破壊することもある。10年前の日本海中部地震津波でも、建設中の能代港外港地区埋立護岸のケーソンがこのタイプの被害を受けている。今回も、奥尻港の防波堤（北）でケーソンが同様の被害を受けている。この被害について

は7.2で改めて述べることにする。(4)の被災は今回の津波で注目されたものであり、やはり奥尻港で生じたものである。図-6.14に示されているように、防波堤（東外）と防波堤（東B）の間の船通しを通して津波が入り出したために、強い流れが生じて防波堤のマウンドが洗掘され、その上のケーソンが転倒したものである。これについては、7.3で検討する。上で述べた分



写真-7.1 (1) アスファルト舗装の剥離，青苗漁港4.0m物揚場背後

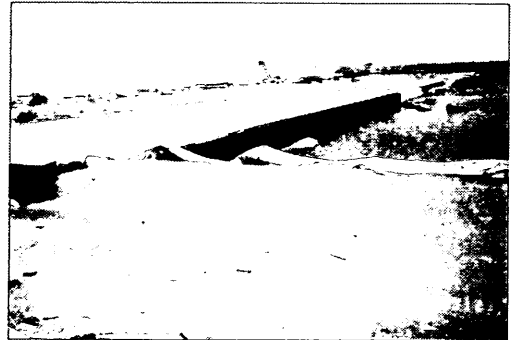


写真-7.1 (2) アスファルト舗装の陥没，青苗漁港東護岸背後



写真-7.1 (3) アスファルト舗装の剥離，青苗漁港東護岸背後

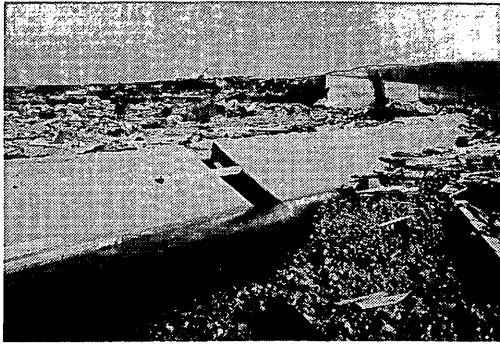


写真-7.2 青苗岬東側の護岸の沖側への転倒

類以外にも、津波力の直接作用としての護岸本体あるいはパラペットの破損や岸側への倒壊、あるいは消波ブロックの散乱等もある。(5)のように、消波ブロック等の重量物が散乱する時に護岸に当たれば、それによる破壊もあり得る。現に、そのようなタイプの被災と見られる例が青苗漁港東護岸胸壁部にもあるが(写真-7.1(2)及び山本他²³⁾参照)、主要な原因を特定しにくいこともあり、ここではとり上げない。北海道開発局開発土木研究所から得た青苗漁港の主要な被災をまとめたのが図-7.1である。埋立地北側の異形ブロック製作・仮置ヤードからは、津波によって異形ブロックが港内へ転落した。写真-7.4は岸壁付近に運ばれたブロックを示したものである。また、港内の防砂堤は図に示すよう

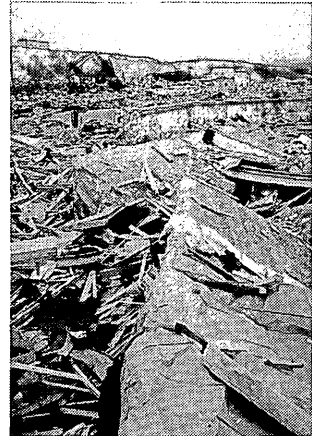


写真-7.3 旧護岸の倒壊
(青苗地区)

に南側へ転倒・流出して写真-6.13でも全く写っていない。また、東防波堤の57mの部分のケーソンは、図-7.2に示すように港内側へ大きく移動している。これらの被害は、すべて津波が青苗岬を回り込んで、北側から青苗港を襲ったことを示すものである。

7.2 防波堤の滑动被害の特徴

滑动被害の典型的な例として、奥尻港防波堤(北)をとり上げる。図-7.3に奥尻港全体の被災状況を示す。

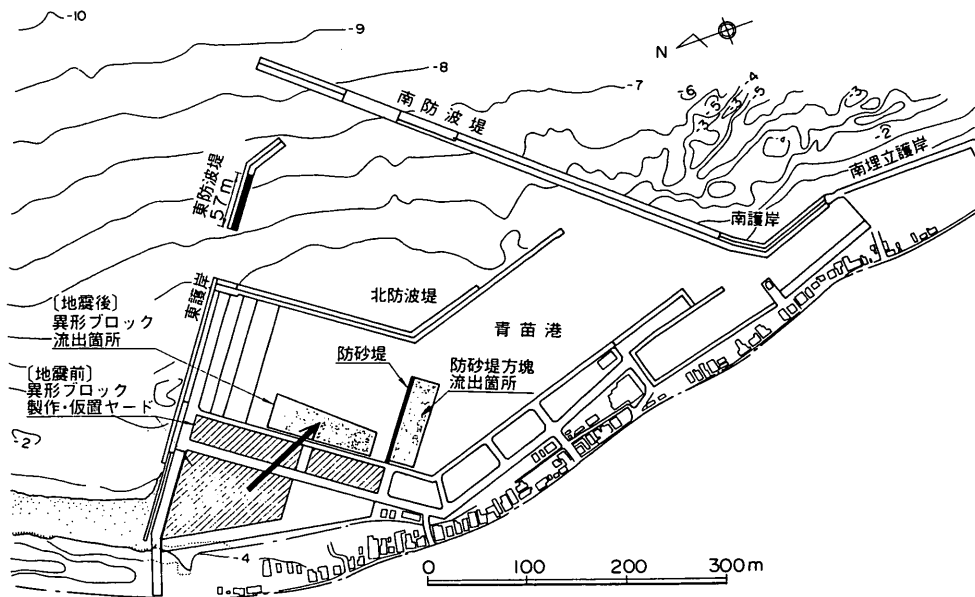


図-7.1 青苗漁港被災図



写真-7.4 青苗漁港岸壁付近に運ばれた異形ブロック

散乱している。これは、まず津波力でケーソンが港内側へ移動し、せき止められていた大量の水塊が一気に港内へ入ったことによる強い流れのために、特にマウンドの港内側が洗掘されたものと考えられる。このような被災は今回が初めてではなく、10年前の日本海中部地震津波でも建設中の能代港外港地区埋立護岸のケーソンが同様に被災している²⁴⁾。このとき被災したのは沖側の護岸で、背後の埋立は行われていなかった。一部、裏込め栗石が施工されていた箇所があるが、調査の結果直立部ケーソンの滑動あるいは倒壊は、裏込め栗石末施工の区間に生じていることが指摘された。このとき来襲した津波は浅海での変形が進み、いわゆる段波津波であったことが証言や水理模型実験で明らかにされ、実験に基づいた段波津波の津波力公式が提案された。この公式を用いて検討した結果、このときの津波高さの程度に対しては、裏込め栗石が施工されていたことがケーソンの滑動を阻止するのに有効であることが明らかとなった。

谷本ら²⁴⁾によって提案された防波堤直立部の滑動限界状態に対する入射津波の高さ a_i は、次式で表される。

図-7.4と写真-7.5に防波堤(北)の被災状況を示すが、ほぼ北側から来襲してきた津波によって防波堤ケーソンが港内側へ移動あるいは転倒した。港外側の2列の根固方塊はほとんど動かなかったが、マウンドの港内側はケーソン下部まで大きく洗掘されている。したがって、港内側の1列の根固方塊と被覆ブロックは大きく

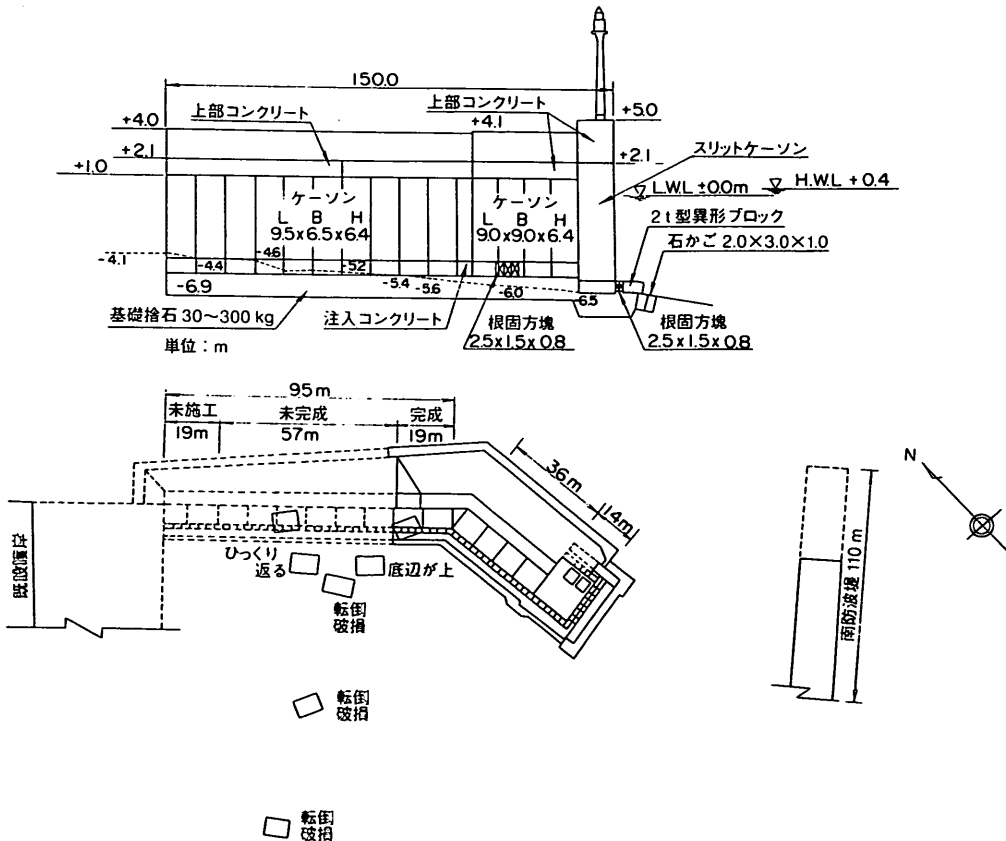


図-7.2 青苗漁港東防波堤の被災状況

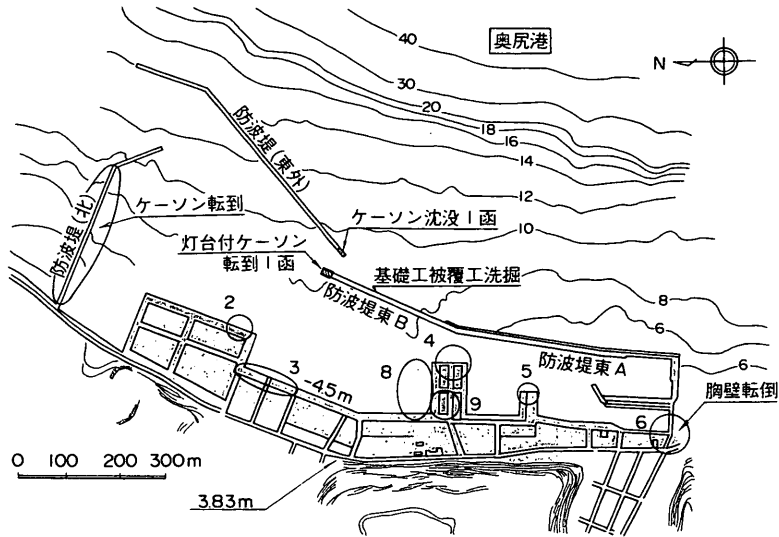


図-7.3 奥尻港被災状況

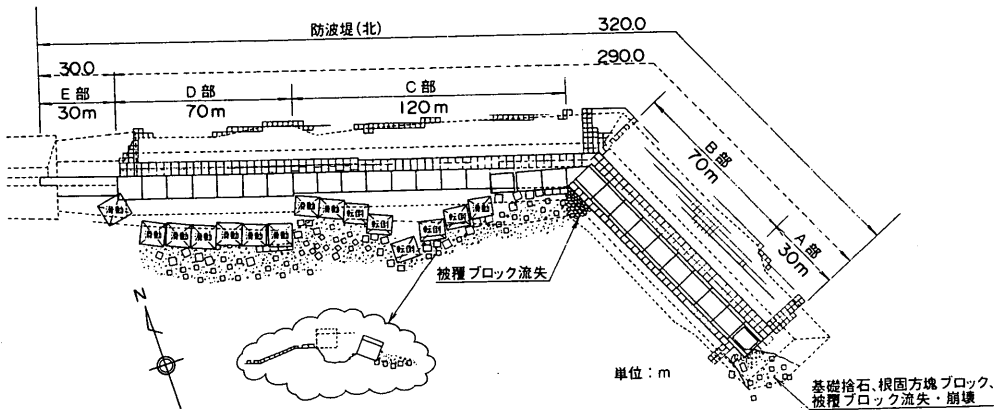


図-7.4 奥尻港防波堤(北)被災状況

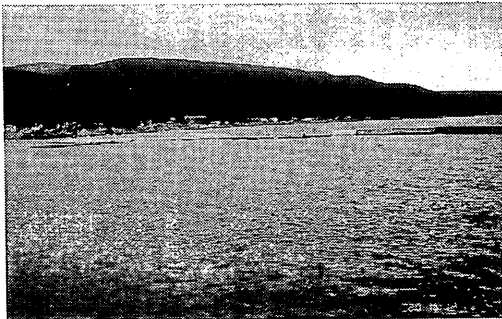


写真-7.5 奥尻港防波堤(北)被災状況

$$a_c = \frac{\mu W_0 + W_0' \tan(\theta + \phi) + 1.1w_0 h_c^2 / B}{\left(1 + \frac{h_c}{h'} + \frac{\mu B}{2 h'}\right) \times 2.2w_0 h'} \quad (7.1)$$

ここに、 $h_c^* = \min\{h_c, 3.0a_c\}$ であり、 μ は直立部と捨石マウンドの間の摩擦係数(=0.6)、 W_0 は直立部の単位長さあたりの水中重量(=tf/m、=9.8kN/m)、 w_0 は海水の単位体積重量(1.03tf/m³、=10.09kN/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 は直立部の幅である。また、 $\min\{a, \beta\}$ は a または β いずれか小の値を示す。

表-7.1 滑動限界津波波高の計算結果 (山本ら (1994) より再掲)

港名	施設	断面	地盤水深 h (m)	h' (m)	h_s (m)	B (m)	W' (t/m)	a_c (m)	被災状況	設計条件		
										H_{max} (m)	T (s)	β (°)
奥尻	北防波堤	A	-11.2~-11.4	8.5	3.1	7.5	117.33	2.33	滑動 0~9cm	4.7	11	9
		B	-8.8~-11.2	7.0	3.1	7.5	105.75	2.36	〃 5~10cm	4.7	11	9
		C	-6.6~-8.8	5.0	3.1	8.0	92.25	2.44	大きく滑動(滑落)	4.9	11	43
		D	-4.7~-6.6	3.5	3.1	9.5	95.27	2.79	—〃—	5.1	11	43
		E	-4.4~-4.5	2.3	3.1	3.5	27.59	1.32	—〃—	3.5	11	65
港	東外防波堤	C	-12.9~-14.2	11.0	3.5	8.5	163.02	2.62	滑動 31~39cm	6.0	9	0
		D	-14.2~-14.4	12.5	3.5	9.0	185.46	2.71	〃 90~104cm	6.2	9	0
		E	-14.0~-14.2	12.0	3.5	9.0	162.58	2.45	〃 80~94cm	6.2	9	30
青苗漁港	東防波堤	B	-5.9~-6.5	5.4	4.1	9.0	96.19	2.27	滑動 11~33cm	5.9	13	26
		C	-5.4~-5.9	5.4	4.0	6.5	70.89	1.84	〃 65~479cm	5.9	13	63
		C'	-4.4~-5.4	5.4	1.0	6.5	50.52	1.61	大きく滑動(施工中)	5.9	13	63
	波南堤防	C	-8.3~-8.6	5.5	5.8	13.0	184.10	3.51	滑動なし	8.8	13	0
瀬棚港	波島堤防	C	-8.9~-12.9	7.0	6.5	14.5	299.90	4.79	滑動なし(洗掘あり)	10.9*	11	0

*) 瀬棚港島防波堤の設計波力は、森平式により算出されている ($H_{1/3}=7.2$ m)。

式 (7.1) の分子第 2 項は裏込め栗石の滑動抵抗力 R を表す。すなわち、

$$R = W_0' \tan(\theta + \phi) \quad (7.2)$$

である。ここに、 W_0' は最上層の被覆層を除いたすべり面より上の割石水中重量 (tf/m), θ はすべり面傾斜角 (度) であり、 ϕ は次式で与えられる。

$$\phi = \tan^{-1} \mu_2 \quad (7.3)$$

ここに、 μ_2 は割石と割石との摩擦係数で、 $\mu_2=0.8$ である。

谷本ら²⁶⁾ は、水理模型実験から津波の第 1 波と第 2 波の波高を求め、能代港の埋立設岸の被災状況を詳細に検討し、第 1 波めは高さ 2.6m 程度の津波が来襲したけれども設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 6m 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している。

今回の津波は夜に来襲したこともあって、津波がどのような状態で構造物に作用したか良くわかっていない。しかし、山本ら²⁷⁾ は潮位を H.W.L.+0.4m と仮定して、式 (7.1) を使って奥尻港防波堤 (北)、(東外) およ

び青苗漁港東防波堤の滑動限界波高を求めた。その結果を表-7.1 に再掲する。これらの防波堤に裏込めはないので、式 (7.2) の R の項は考えないでよい。

表-7.1 によれば、奥尻港防波堤 (北) の滑動限界波高は A 部の 2.33m から D 部の 2.79m と、岸側に向かうにつれて大きくなっている。すなわち、A・B 部より C・D 部の方がやや安定性は高いが、実際には C・D 部のケーソンが大きく活動した。その原因としては防波堤 (北) が岸に接続しているため、北から来襲した津波が岸と防波堤でせき止められ、行き場なくなった津波の反射波と入射波が C・D 部付近で重なって被害を大きくしたことが考えられる。あるいは、もし第 1 波でケーソンが滑動しなかったとしても、能代港のように第 1 波の引きの後に大きな波高の第 2 波が来襲して被災した可能性もあるが、津波の波高に関する情報がほとんどない現状では被災に至った状況を推定するのはむずかしい。今後数値計算や解析等の詳しい検討がなされれば、防波堤 (北) が被災したときの状況が、さらに明らかになるものと期待される。

7.3 マウンドの洗掘による防波堤の倒壊

港湾施設の被害として今回注目されるものは、奥尻港防波堤 (東) 開口部の被覆ブロックの散乱および捨石マ

ウンドの洗掘に伴う堤頭部の沈下と転倒である。

防波堤（東）は、沖側の防波堤（東外）と、陸側の防波堤（東B）の間に、船通しのための開口部が設けられていた（図-7.3参照）。防波堤（東外）と（東B）の標準断面図をそれぞれ図-7.5と図-7.6に示す。

津波来襲時に、構内側と港外側の水位差によって強い流れが生じ、それぞれの防波堤のマウンドの先端部が洗掘されて、開口部の堤頭函1函ずつが沈下・転倒した。

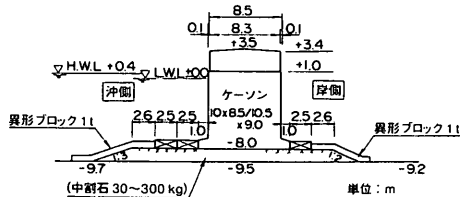


図-7.5 奥尻港防波堤（東外）断面図

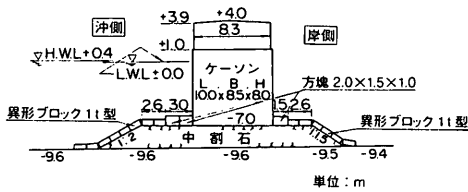


図-7.6 奥尻港防波堤（東B）断面図

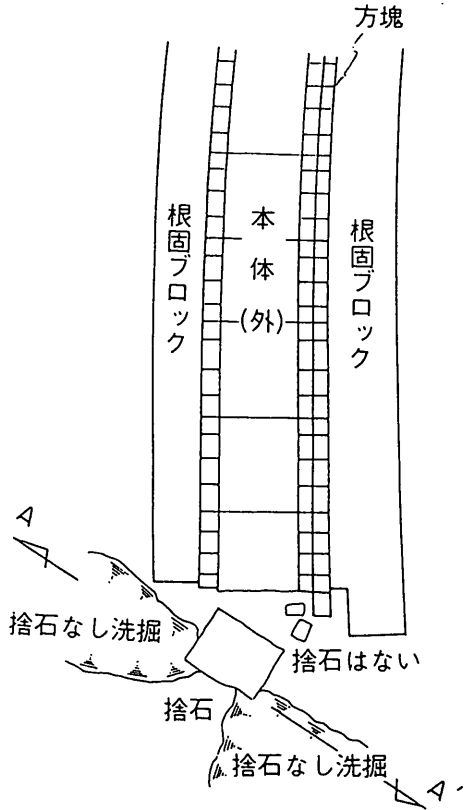


図-7.7 奥尻港防波堤（東外）被災状況平面図

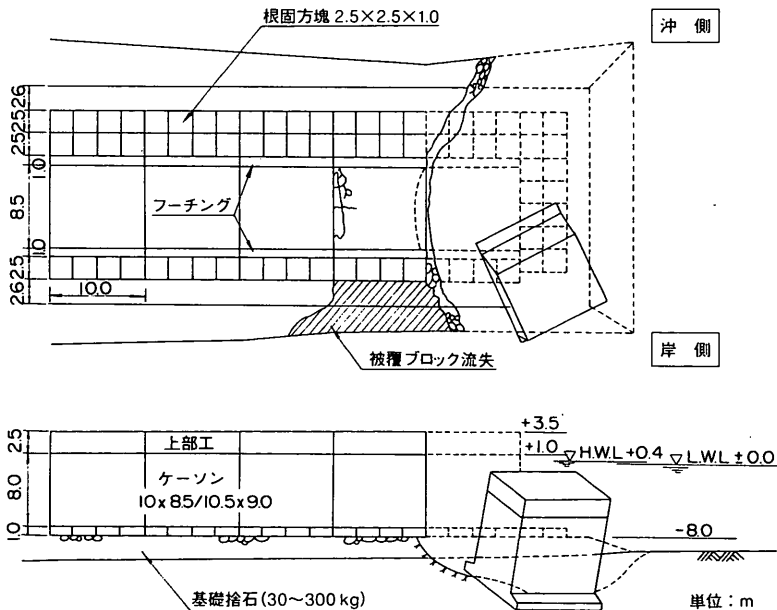


図-7.8 奥尻港防波堤（東外）のマウンド洗掘とケーソンの沈下

図-7.7に、防波堤（東外）の被災状況の平面図を示す。この図からわかることは、沈下した堤頭函から2方向に、海底地盤の洗掘が認められることで、津波によるかなり強い流れが生じていたことがわかる。しかも、それが少なくとも一回ずつの押し波と引き波によって明確に2方向に洗掘されている。

また、図-7.8には、マウンドの洗掘と、ケーソンの沈下の詳しい状態を示す。

図-7.9は防波堤（東B）をスケッチしたものである。この防波堤の港外側は、マウンドが図-7.10のように洗掘されている。また、先端部の被災状況は図-7.11のようであり、防波堤（東外）と違ってケーソンが防波堤の長手方向に横倒しとなり、灯台の置かれていた上部工がケーソンと離れている。この防波堤の標準断面図は図-7.6に示した。この図に示すとおり、マウンド部には1t型の異形ブロックが使用されていた。このブロックが、どの程度の流速で移動するかを検討する。

法面被覆に使用する砕石の必要重量を算定するため

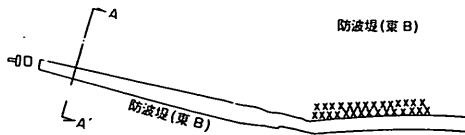


図-7.9 奥尻港防波堤（東B）

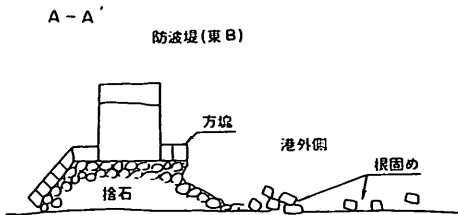


図-7.10 奥尻港防波堤（東B）マウンド部の洗掘

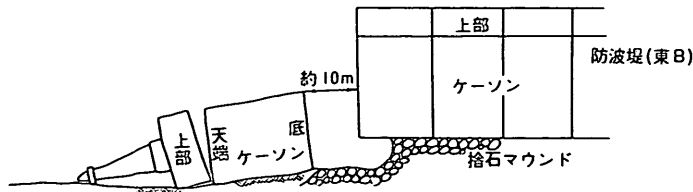


図-7.11 奥尻港防波堤（東B）被災図

の、C.E.R.C.の提案式²⁹⁾を使用する。

$$W = \frac{\pi w_r u_d^6}{48 y^6 g^3 (w_r / w_o - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (7.4)$$

- ここに、 W ：マウンド被覆材の所要重量 (kgf)
 u_d ：マウンド被覆材に作用する流速 (m/s)
 w_o ：流体の単位体積重量 (kgf/m³)
 w_r ：マウンド被覆材の単位体積重量 (kgf/m³)
 g ：重力加速度 (9.8m/s²)
 θ ：マウンド傾斜角 (度)
 y ：マウンド被覆材の安定状況を示す定数

ここに、 y はイシュバッシュ定数と呼ばれ、埋め込み石で1.20、露出石で0.86が提案されている。岩崎他²⁹⁾によれば、マウンド被覆材の2次元安定実験から、天端付近の被覆材の初期移動に対して、 $y=1.08$ が適用できるとしている。また、谷本他³⁰⁾は、釜石港の実験から、 y と被害率の関係を求めている。

式(7.4)を使って、図-7.6の1t型異形ブロックの安定性を考える。流れはマウンド斜面に水平に働くとして $\theta=0$ とし、 $w_r=2,300\text{kgf/m}^3$ 、 $w_o=1,030\text{kgf/m}^3$ 、 $y=1.0$ として、式(7.4)から u_d を求めると、 $u_d=4.8\text{m/s}$ となる。これは、ブロックの近傍の流速であるので、開口部中央ではさらに速い流速になっていたものと考えられる。

ただし、図-7.8に示したように、防波堤（東外）のケーソンが転倒せずそのまま沈下したような状態になっているということは、この部分に作用した流速がかなり速く、1tの異形ブロックが流れで飛散したあと、30～300kgの砕石が急速に失われたことを示している。

このように、船通しのような目的で作られた防波堤の開口部が津波来襲時に大きく洗掘されるということは、これまで余り報告されていなかったことであり、今後の防波堤の建設に際してはこのような被災の可能性について検討すべき場合があることを示唆している。ただし、今回の津波では、上で検討した奥尻港の防波堤（東）の

ような開口部だけでなく、防波堤（北）の先端部や、瀬棚港の東防波堤の北側先端部及び島防波堤の西側先端部のマウンドも洗掘を受けているので、津波の来襲で生じる強い流れによるこれらの被災箇所の洗掘原因の究明とその対策については今後さらに検討する必要がある。

8. 今後の課題*

8. 1 津波波源域の設定

海底地震による津波は、地震によって生じた海底地形の鉛直変化と同じ変化が海面に生じ、その海面の変化が四方に伝わることによって起こる。そのため、津波を精度よく数値計算するためには、海底地形の変化が起きた範囲と海底地形の変化量を正確に推定しなければならない。

海底地形変化が生じた範囲が波源域と呼ばれ、これを推定する方法として逆伝播図を描く方法がある。この方法は、沿岸各地点に津波が到達した時刻が潮位記録等で分かると、沿岸のそれぞれの地点に到達した津波がどのような経路で伝播してきたかを時間を遡って調べ、その地点へ到達した津波の発生地点を定める方法である。このように津波の逆伝播図が定められるのは、津波は周期が長く、長波であるため、伝播速度が \sqrt{gh} で与えられ、水深 h だけで津波の伝わる速度が定まることによっている。それぞれの地点に到達した津波の発生地点が分かると、それらの地点を結べばほぼ波源域の範囲が確定できる。日本海中部地震の時には日本海沿岸沿いに比較的多くの潮位記録が得られたので、津波の波源域を推定することができた³¹⁾。ただし、得られた波源域は日本沿岸に面した領域だけで、反対側の領域はロシア側の潮位記録が得られないと確定することは困難である。これに対して今回の北海道南西沖地震津波の場合、逆伝播図によって波源域を推定することが行われなかった。この理由としては、検潮記録がいくつかの地点で得られているが、波源域を逆伝播図で推定できるほど広い範囲における記録は得られていないことや、さらに、今回の地震津波では、地震震源地が奥尻島に非常に近く、津波の波源域内に奥尻島が含まれている可能性もあったことによっている。津波波源域のすぐ近くあるいは波源域内に奥尻島があると、奥尻島の周辺浅瀬で津波が大きく屈折するため、逆伝播図で波源域を確定することは非常に困難になる。

地震による海底地形変化量については、海底地盤を弾性体と考え、地震の断層諸元から推定するMansinha・

Smylieの計算法³²⁾によって推定する方法が一般的に行われているが、この方法によって推定した海底地形変動と同じ変動を海面が起こすと仮定して、この海面変動を初期条件として、津波シミュレーションを行っても、現地調査で求めた痕跡高と比較してみると、必ずしも一致しない。そのため、痕跡高とよく一致するように補正が施される³³⁾。この場合の補正は、海底地形変動量に一律な補正值を乗じて行われるのが一般的である。しかしながら、地震による断層が1箇所では起きたとは限らず、数箇所でも起きる可能性もある。日本海中部地震（1983）でも2箇所の断層モデルが提案された。今回の北海道南西沖地震で起きた地震断層を1箇所では起きたとすると、北海道南西沿岸での津波の到達時間から図-8.1のように考えなくてはならない。このように考えると、奥尻島では地盤が隆起したことになるが、地震前後の水位を考

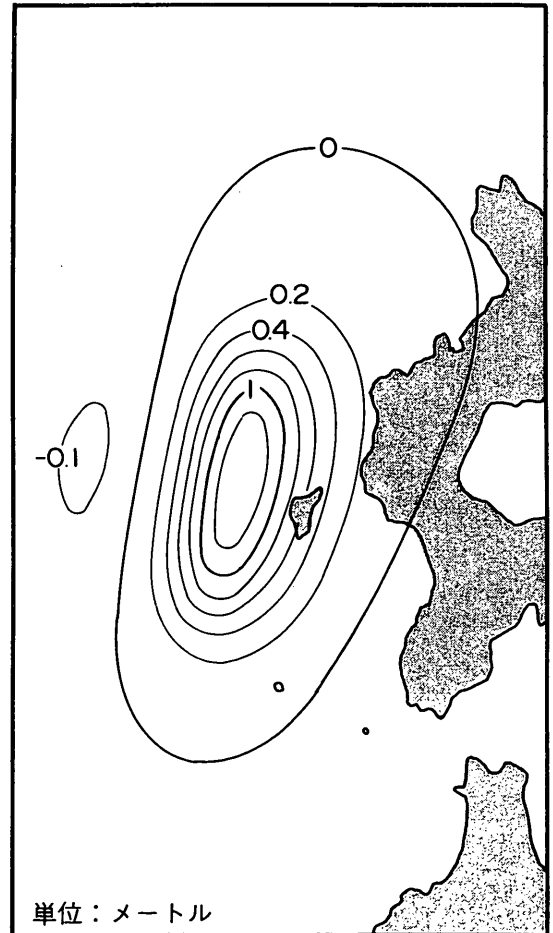


図-8.1 地盤断面図の位置および海底地形変動量 (北海道大学)

*執筆者 高山知司

えると、奥尻島では地盤が沈下したことを裏付ける情報が多く、奥尻島は地盤が60～40cm沈下したと推定せざるを得ない。また、奥尻島が沈下するようにすると、1つの断層モデルでは津波の波源域を奥尻島から離さざるを得ない。そのようにすると、北海道西側海域に到達した津波の時刻が合わなくなる。そこで、現在では図-8.2に示すような2つの断層が起きたと考えられている。2つの断層モデルを仮定して、本報告ではシミュレーションを行っているが、この仮定を検証するためには、現地における水位記録と流速記録による検証が必要となる。

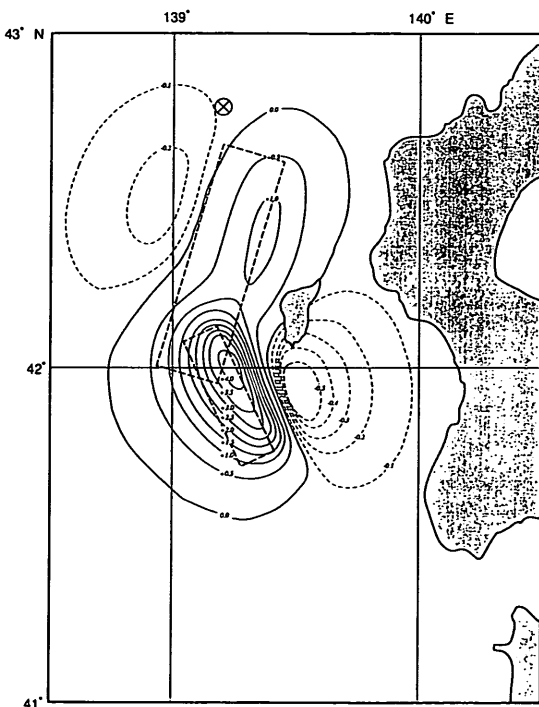


図-8.2 地盤断面図の位置および海底地形変動量 (DCRC-4)

港湾局が所有する波高計でも津波の水位および流速は記録できたけれども、これらのほとんどは偶数時の前後20分間の波形記録である。そのため、津波の到達時間や波形の特性が明確にできなかった。今後は全国港湾海洋波浪観測網 (NOWPHAS) を活用して、津波波形の連続観測ができるようにする必要がある。そして、このような波形や流速の連続観測記録を用いて津波の特性を把握するとともに、観測値を用いて波源域や断層モデルを修正することが考えられる。

以上述べたように、波源域と海底地形変動量を正確に推定することは津波のシミュレーションにとって非常に重要である。特に、数値計算の初期条件を与えることになるので、正確に設定しなければならない。そのためには、波源域の条件をすばやく、また精度よく解明する手法の開発が今後の課題である。これを行うためには、津波の正確な情報を提供するシステムの開発が必要である。

8.2 陸上構造物に与える津波力

今回の北海道南西沖地震では、住宅被害は、全壊67棟、半壊299棟、一部破損2,689棟であり、床上浸水220棟、床下浸水138棟であった。住宅の破損被害のうち津波で被害を受けたものがどの程度の割合になるのかよくわからないが、今回の地震の後、奥尻島の被害調査結果によると、崖崩れによる住宅の被害以外には地震動によって一般の木造住宅は大きな被害を受けたように見受けられなかった。そのため、全壊や半壊になった住宅はほとんどが津波によるものではないと思われる。しかし、遡上した津波が陸上構造物に与える破壊についてはまだ十分な検討がなされていないのが現状である。今後は、陸上構造物に与える津波力について調べ、それによって住宅等の構造物がどのように破壊されるのか解明することが重要である。そのためには、陸上構造物に作用する津波力を実験的に明らかにするとともに、陸上に遡上した津波の水位と流速の算定精度を向上させることが必要である。

陸上構造物に作用する津波力としては、津波による水の増大に伴う浮力と津波の流速によって生じる抗力とに分けられる。外力に対して重量と摩擦力だけで抵抗する重力式構造物では、浮力によって重量が低下し、重量の低下で摩擦抵抗力も減少する。津波水位の増加で浮力が重量以上になると、構造物は浮き上がり、津波流によって流されることになる。このように構造物の重量以上に浮力が增大しなくても、浮力による抵抗力の減少に加え、津波流による抗力で構造物が倒壊する場合も生じる。このような津波力だけによる構造物の破壊に加え、津波によって浮遊した木材や船舶が陸上構造物に衝突して、構造物を破壊する場合もあり、このような浮遊構造物による衝突力についてもその破壊機構を検討しておかなければならない。津波の水位による浮力については、水位がわかれば、浮力を推定することは容易であるが、津波抗力や浮遊物の衝突力については実験的に検討しておかなければならない。そして、どのような状態になると、陸上構造物が倒壊するか、その条件を陸上の代表的構造物

について明らかにしておくことは、今後の津波対策にとって非常に重要である。

津波力や漂流物による構造物の破壊機構が明らかになったとしても、陸上部における津波の水位や流速が精度よく推定できていなくてはならない。現状の津波シミュレーションでは、陸上部における津波の遡上高まで算定することができるようになっており、津波シミュレーション結果は遡上高と比較して、その精度が検討されているので、津波の水位の算定については比較的精度がよく算定されていると評価できる。しかしながら、陸上部における津波の波形や流速については、測定されたデータが皆無であるため、数値計算の精度を評価することができないのが現状である。そのため、今後は水理実験等で陸上部における流速を測定し、計算値と比較するなど、計算精度を明確にすると同時に、算定精度を向上させるための計算法の改良を行うことが必要である。津波による流速の推定精度を向上させるためには、現状の数値計算法とは異なる方法を開発することも必要であろう。

8.3 防波堤開口部におけるマウンドの洗掘

奥尻港の東外防波堤の開口部では、防波堤のマウンドが洗掘されて、図-8.3に示すように堤端部のケーソン1函がそれぞれ倒壊している。この図から堤端部のケーソンが津波によって滑動したというよりマウンドが最初に洗掘され、そのためケーソンが安定性を失って転倒したように思われる。今までの津波災害ではこのよう

な開口部におけるケーソンの転倒の事例はなく、今回が初めての事例である。しかしながら、防波堤の途中に狭い開口部を建設している事例は多く、奥尻港で起きた開口部におけるケーソンの転倒のような災害が将来起きる可能性がある。そのためにも、狭い開口部における津波流速によるマウンドの安定性に関する検討を行っておかなければならない。

防波堤のマウンドは被覆ブロックによって覆われているため、この被覆ブロックが移動しなければ、マウンドの洗掘が生じるとは考えられない。奥尻港の場合、被覆ブロックとして1tのビーハイブが用いられている。そして、この被覆ブロックの下には30~500kgの中割石がマウンド石として用いられていた。被覆ブロックとマウンド石と重量の差を考えると、被覆ブロックが津波流によって移動された結果、マウンド石が露出し、津波流によって急速に洗掘されたことが想像できる。被覆ブロックを移動させた津波流速はどの程度の値であったのか、さらには、被覆ブロックが移動された後、マウンドはどの程度の速度で洗掘され、その上のケーソンはどのような状態で倒壊したのか、その具体的な状況を再現して、その原因を究明しておくことが重要である。これに加えて、開口部において海底が速い津波流速によって洗掘され、この洗掘がマウンドの洗掘に影響したのではないとも考えられる。津波による海底地盤の洗掘、特に流速が速くなる防波堤開口部における海底地盤の洗掘について検討することが重要である。そのためにも、現

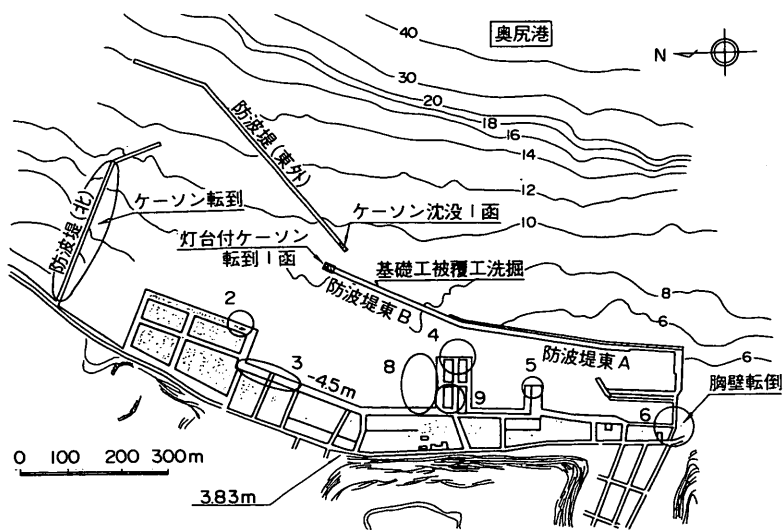


図-8.3 (a) 奥尻港の被災状況

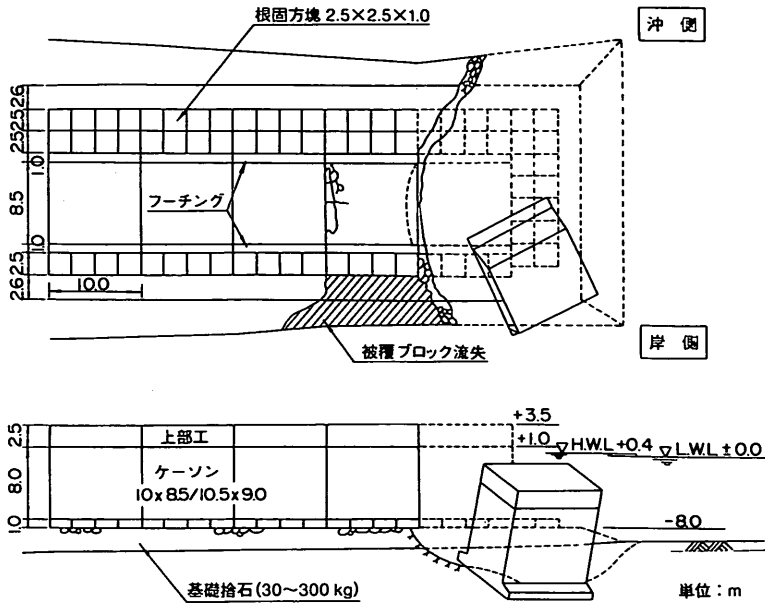


図-8.3 (b) 奥尻港東外防波堤堤頭部（南側）被災状況

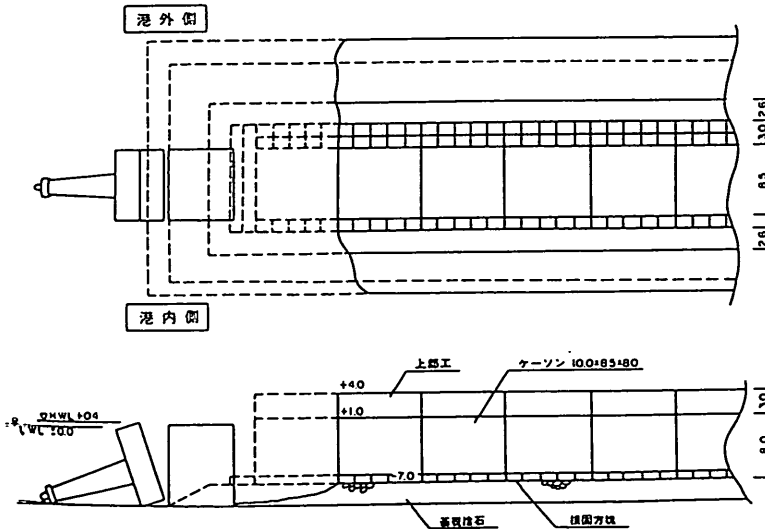


図-8.3 (c) 奥尻港東防波堤堤頭部被災状況

地と同じ条件で模型実験を行い、被覆ブロックが移動する流速を定量的に把握するとともに、実験で現地状況が再現できるかどうかを確認しなければならない。そして、同じような開口部を有する他の港の防波堤に対してどの程度の津波が来襲すると、奥尻港と同じ被災が起きるかを示す必要がある。また、狭窄開口部における局所洗掘の現象を正確に捕らえておくことが重要である。

9. あとがき*

北海道南西沖地震津波に関して現地調査を行ったその結果を中心に述べたが、2章から8章までの内容を簡単にとりまとめると以下のようになる。

*執筆者 高山知司

2. 地震の規模と地震時の海象

巨大な津波を発生させた北海道南西沖地震は東経度、北緯度の地点を震央として、奥尻島のすぐ北側で発生した。その規模はマグニチュード7.8であった。このときの気圧は典型的な夏季の季節配置で、波高は30cm以下と非常に静穏であった。

3. 津波の概況

津波は、2つの地震断層によって起こされたと推定されているが、現状ではまだ津波の断層モデルは確定してはいない。津波は、地震発生後数分で奥尻島に襲撃しており、北海道南西海岸でも約5分後であった。津波による被害は、北海道南西海岸で、特に奥尻島に集中していた。この津波による死者は200名以上、流出家屋は300戸以上に及んだ。津波による港湾施設の被害としては、奥尻港の北防波堤が津波による流圧力によって滑動して、水中に没した。また、奥尻港の東防波堤の狭い開口部両端のケーソンがマウンド洗掘によって倒壊した。10年前の日本海中部地震津波と比較して、被害を与えた地域は狭く、奥尻島と北海道南西海岸に集中している。

4. 観測波形における津波の特徴

本津波に関係する港湾内の検潮記録を収集し、検潮記録による津波の特徴を調べた。それによると、検潮記録は検潮井戸の特性もあって津波高さを小さく測定していた。本津波では、波浪観測のために沖合いに設置している波高計によっても津波の波形と流速を測定することができた。ただし、波浪観測のための計器であることもあって、20分間観測、10分間休止の状態で観測したため、完全な連続観測記録は得られていない。波高計による津波観測によると、検潮記録の波形とは異なり、比較的短周期の波形も含んでいることがわかった。また、来襲初期の津波では、進行長波のように津波の峯では津波の進行方向に流速が生じ、津波の谷では流速が逆になっている。しかし、陸側からの反射波の影響が現れるため、進行長波のような津波の波形と流速との関係が失われ、津波の進行方向がはっきりと推定できなくなることがわかった。

5. 津波の数値シミュレーション

地震の断層モデルは現状では確定していないが、津波の伝播状況を把握するために、津波の数値シミュレーションを行った。数値計算に用いた断層モデルは、奥尻島の西側海域の北と南に位置する2つの断層モデルを仮定したものである。数値シミュレーションでは日本海全域

における津波の伝播状況を解析した。津波の到達時間に関して数値シミュレーションと検潮記録から推定したものとを比較した結果では、津波の到達時間は数値シミュレーションによってよく推定できることがわかった。また、津波が奥尻島の東側を回り込んでくる様子もうまく再現することができた。

6. 津波による被害状況

北海道南西沿岸部における津波の調査は、津波の波源域に面した積丹半島から渡島半島の日本海沿岸および津波の波源域に最も近い奥尻島において実施した。渡島南部および松前半島では一部津波の岸壁上への遡上や住宅地区への侵入は認められるものの壊滅的な被害を受けることはなかった。津波の遡上高は3.5m以下であった。渡島半島北西部および奥尻島では津波の波源域に近く、津波によって海岸に面した家屋や海岸構造物は壊滅的な被害を受けた。渡島半島の北西部では、津波の遡上高は6から8mに達している。

奥尻島においては津波の波源域が西側の海域に位置していたため、南部を除く東側の海岸では他の地区に比較して津波の遡上高さは小さく、大きくても5m程度であった。しかし、奥尻島の南側および北側、西側では非常に大きな津波が襲撃した。これらの地区では津波の遡上高は10m以上にもなり、特に、西側の藻内地区では地形の影響もあって津波は谷間の奥深くまで侵入し、その遡上高は30mにも達した。このような大きな津波の遡上によって非常に多くの人命が失われるとともに、多くの家屋が流出し、壊滅的な打撃を受けた。特に、南側の青苗地区では、1983年の日本海中部地震津波の遡上高に対応して建設した天端高4mの護岸を越えて侵入し、その遡上高は11m近くにも達している。このような大きな津波の襲撃は青苗地区の前面に広がる浅瀬によって津波が屈折、収斂したことによると考えられる。

青森県から新潟県にわたる日本海沿岸部では、津波の遡上高は最大でも3.0m程度で、一部の港湾で岸壁上まで津波が侵入したけれども、大きな被害はほとんどなかった。富山県と石川県では津波は小さく、岸壁を越えるような津波は襲撃しなかった。このように、本州の日本海沿岸部では、新潟県北部を除けば10年前の日本海中部地震津波に比較して津波は小さかった。

7. 港湾における津波の被害とその特性

今回の津波による港湾の被害としては、そのほとんどが奥尻港に集中している。奥尻港における被害は、津波の流体力による北側防波堤の滑動と東側防波堤における

狭い開口部両端のケーソンの倒壊である。奥尻港は奥尻島の東側の海岸に位置しており、その対岸は渡島半島になっている。そのため、北側防波堤の設計波は3m程度と小さい。今回の津波は奥尻島の北側から東側に回り込んで侵入しており、その高さは3m程度考えられ、この津波は設計波にも相当しており、大きな津波力を及ぼして、防波堤を滑動させたと思われる。また、東防波堤の狭い開口部における防波堤の転倒は、この開口部を津波が通過するときの速い流速によって開口部分の地盤の洗掘とマウンドの洗掘によって生じたものと推定されている。この原因については、今後詳細な検討が必要である。

8. 今後の課題

今回の津波による被災の検討によって、今後の技術的な課題として以下のことが考えられる。

1) 津波波源域の設定

今回の津波の断層モデルについては、いくつかのモデルが既に提案されているが、まだ確定していない。津波の波源域を精度よく推定する手法の開発と、波源域を設定するに必要な観測体制の整備が今後必要である。

2) 陸上構造物に与える津波力

今回の津波で多くの家屋が流出したし、いくつかの陸上構造物の倒壊がみられた。このような陸上構造物に与える津波力については十分な解明がなされていない。陸上部における津波力の算定のためには、陸上における津波の流速を正確に推定する数値計算手法の開発も重要である。

3) 狭い開口部における海底とマウンドの洗掘

奥尻港では狭い開口部において両端のケーソンが倒壊した。その原因として、津波による海底地盤とマウンドの洗掘が考えられる。このような狭い開口部は多くの港に存在しているために、この現象を解明し、その対策を検討しておく必要がある。

本報告書は、今回の津波に関して現地調査を中心に、早急にとりまとめたものであるため、十分な検討が行われていない可能性がある。もし記述上の誤りがあれば、お知らせ頂ければ大変ありがたいと思っている。

本報告書を作成するに当たり、現地調査等で多くの関係者の御援助を頂いた。特に、北海道開発局、北海道開発局開発土木研究所、第一港湾建設局、第二港湾建設局、第三港湾建設局、第四港湾建設局、北海道庁、青森県、秋田県、山形県、新潟県、富山県、石川県を始め、市町

村の関係者には心より御礼を申し上げる。

また、東北大学首藤伸夫教授には、断層モデルや津波の遡上高に関する貴重な情報を頂いた。ここに記して、感謝申し上げる次第である。

さらに、海洋水理部堀江毅部長におかれては、津波の現地調査に対する調整や貴重な助言を頂いた。心から御礼申し上げる。本報告書をまとめるに当たり、水工部および海洋水理部の職員の多くから資料の整理を手伝って頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 土木学会編：水理公式集－昭和60年版－ 技報堂出版，1985，625p.
- 2) 災害時地震・津波速報：平成5年（1993年）北海道南西沖地震，気象庁，1993.
- 3) 朝日新聞：1993年7月13日朝刊.
- 4) 読売新聞：1993年7月22日朝刊.
- 5) 首藤伸夫：北海道南西沖地震に伴う津波とその教訓，土木学会誌，1993年8月号，PP.2～17.
- 6) 前出の論文5)
- 7) 朝日新聞：1993年8月23日朝刊.
- 8) 北海道新聞：1993年8月3日朝刊.
- 9) 読売新聞：1993年8月11日朝刊.
- 10) 相田 勇：1983年日本海中部地震津波の波源数値モデル，地震研究所彙報，Vol.59，1984，pp.235-265.
- 11) 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：1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察，港湾技研資料No.470，1983，299p.
- 12) 合田良実編著：海岸・港湾調査法，技報堂出版，1979，251P.
- 13) 前出の文献11)
- 14) 永井紀彦・橋本典明・浅井 正：平成5年北海道南西沖地震津波波形解析速報，港湾技術研究所報告，第32巻，第4号，1993，PP.49-95.
- 15) 前出の文献11)
- 16) 前出の論文1)
- 17) Satake,K., M.Okada and K.Abe : Tide gauge response to tsunamis: Measurements at 40 tide gauge stations in Japan, Jour.Marine Res.,Vol.46,1988, pp.557-571.
- 18) 海上保安庁編：日本沿岸潮汐定数表，書誌第742号，1983，172p.
- 19) Mansinha, L. and D. Smylie: The displacement fields of inlined faults, Bull., Seismol. Soc. Am., Vol.61, 1971,

p.1433.

- 20) Aida, I.: Numerical experiments for tsunamis caused by moving deformation of the sea bottom, *Bull. Earthq. Res. Inst.* Vol.47, 1969, pp.849-862.
- 21) 高橋智幸, M. Ortiz, 高橋武之, 首藤伸夫: 津波を説明するための北海道南西沖地震津波初期波形, 日本地震学会講演予稿集, 1994年度春期大会.
- 22) 山本泰司・竹田義則・木村克俊: 北海道南西沖地震による津波災害について (2) - 港湾・漁港構造物の被災 -, 第37回北海道開発局技術研究発表会講演集, 1994.
- 23) 前出の論文22)
- 24) 前出の論文11)
- 25) 谷本勝利・鶴谷広一・中野 晋: 1983年日本海中部地震津波における津波力と埋立護岸の被災原因の検討, 第31回海岸工学講演会論文集, 1984, pp.257~261.
- 26) 前出の論文11)
- 27) 前出の論文22)
- 28) 谷本勝利・木村克俊・宮崎啓司: 津波防波堤開口部潜堤の安全性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第27巻, 第4号, 1988, pp.93~121.
- 29) 岩崎敏夫・真野 明・中村武弘・堀越伸幸: 潜堤マウンド材およびプレバックド堤に作用する定常流流体力に関する実験的研究, 第31回海岸工学講演会論文集, 1984, pp.527~531.
- 30) 前出の論文28)
- 31) 前出の論文11)
- 32) 前出の論文19)
- 33) 後藤智明・佐藤一央: 三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発, 港湾技術研究所報告, Vol.32, No. 2, 1993, pp.3-44.

付録1 調査員の構成

1-1 第1次調査

(1) 日時 平成5年7月19日～22日

(2) 調査地域 北海道江差町～瀬棚町
奥尻島西部～南部

(3) 構成

高橋重雄 港湾技術研究所水工部耐波研究室長
後藤智明 港湾技術研究所水工部海洋エネルギー利用研究室長
細山田得三 港湾技術研究所水工部主任研究官
笹島隆彦 開発土木研究所水工部港湾研究室副室長
西村忠志 開発土木研究所総務部総務課技官

7月19日(月) 調査員函館空港に集合。江差町役場にて被害状況を聴取。

7月20日(火) 江差港内にて聴取り調査と痕跡高測量。北上し、乙部町、熊石町、大成町にて聴取りおよび津波痕跡高を測量。乙部町、大成町役場で被害状況の説明を受ける。

7月21日(水) 瀬棚港から奥尻島に入る。奥尻港にて遡上高の測量を行う。奥尻町役場にて島全体の被害状況について説明を受ける。島北西部幌内まで車で移動。途中島南端の青苗地区を通過する。幌内地区から南下し、神威脇、藻内、千畳敷、青苗地区にて遡上高の測量を実施する。

7月22日(木) 瀬棚港港湾建設事務所にて被害概要の説明を受ける。瀬棚港港湾施設の被害状況を調査。北桧山町役場にて被害状況の概要説明を受ける。札幌へ移動。

7月23日(金) 開発土木研究所港湾研究室にて打合せと情報交換。
札幌にて調査員解散。

1-2 第2次調査

(1) 日時 平成5年7月26日～30日

(2) 調査地域 北海道松前町～江差町
奥尻島北部～東部～南部

(3) 構成

鈴木康正 港湾技術研究所水工部波浪研究室長

橋本典明 港湾技術研究所海洋水理部主任研究官
長尾 毅 港湾技術研究所計画設計基準部主任研究官

明田定満 開発土木研究所水工部水産土木研究室副室長

佐藤 仁 開発土木研究所水工部水産土木研究室

7月26日(月) 調査員函館空港に集合。松前港湾建設事務所にて概要説明を受ける。

7月27日(火) 松前町役場にて概要説明を受ける。松前から北上し、上ノ国、江差町まで現地調査。途中、上ノ国町役場にて説明を受け、各漁港にて聴取り調査および現地調査を実施する。

7月28日(水) 江差港より奥尻島へ入る。江差港港湾建設事務所奥尻分駐所着。島北部稲穂地区から南下し、各地で聴取り調査および痕跡高測量を実施。島南部初松前まで調査。

7月29日(木) 奥尻港にて被害の状況を調査するとともに、奥尻港から南下し、各地で聴取り調査および痕跡高測量を実施。奥尻港より江差港へ向かう。江差港港湾建設事務所にて打合せ。

7月30日(金) 江差港港湾建設事務所にて打合せと情報交換。北上し大成町宮野地区を視察。札幌へ移動。開発土木研究所にて情報交換。帰途に着く。

1-3 第3次調査

(1) 日時 平成5年8月2日～6日

(2) 調査地域 青森県～新潟県佐渡島

(3) 構成

永井紀彦 港湾技術研究所海洋水理部海象調査研究室長

細山田得三 港湾技術研究所水工部主任研究官

小林雅幸 第二港湾建設局青森港工事事務所工務課第二工務係長(青森港)

石岡 勉 第二港湾建設局青森港工事事務所工事課第二工務係長(深浦港)

佐久間敬昭 第一港湾建設局新潟調査設計事務所調査課長(秋田～新潟)

藤本正治 第一港湾建設局酒田工事事務所工務課長(山形県)

明山竹一 第一港湾建設局新潟調査設計事務所

調査課資料係長（佐渡島）

（青森県）

久保省吾 青森県土木部港湾空港課長
 中村 稔 青森県土木部港湾空港課管理班長
 樋口 隆 青森県土木部港湾空港課主査
 藤田常雄 青森県土木部五所川原土木事務所
 企画調査課長
 上平 豊 青森県鯉ヶ沢土木事務所所長
 棟方健治 青森県鯉ヶ沢土木事務所工事調整監

（秋田県）

伊藤博巳 秋田県土木部港湾課主席課長補佐
 小野 勇 秋田県土木部港湾課港湾担当主査
 芳賀正廣 秋田県能代港湾事務所工務課長
 佐々木一郎 秋田県船川港湾事務所工務課主査
 大高 務 秋田県秋田港湾事務所工務課長

（山形県）

松田充弘 山形県庄内支庁建設部港湾事務所所長
 本間 勝 山形県庄内支庁建設部港湾事務所
 総務課長

細川正昭 山形県庄内支庁建設部港湾事務所
 港湾課技術主査

原田才治 山形県庄内支庁建設部港湾事務所
 漁港課技術主査

（新潟県）

鈴木和夫 新潟県港湾空港局港湾課主任
 山本久男 両津市役所水産課計画係長
 高木保幸 新潟県村上土木事務所港湾課長
 滝沢幸男 新潟県村上土木事務所港湾課港湾係長
 丸山武志 新潟県佐渡港湾空港事務所港湾課長

8月2日（月） 調査員青森駅に集合。市内合浦海岸を調査。県庁にて打ち合わせ。蟹田町を經由して津軽半島北部小泊村から南下。十三湖、市浦村、車力漁港、木造漁港、鯉ヶ沢町、深浦町にて聴取り調査および遡上高の測量を実施。

8月3日（火） 深浦町役場にて聴取り調査およびそ上高の測量を実施。岩崎村での聞き取り後、秋田県入り。岩館漁港より能代を經由して男鹿半島北部まで調査。能代港では聴取り調査および資料収集を行う。

8月4日（水） 男鹿半島北部から戸賀港、船川港、秋田港を調査。船川港では石油備蓄会社にて聴取り調査を行う。秋田港では秋

田県港湾事務所にて資料を収集する。本庄港マリナを調査後、山形県入り。吹浦漁港、酒田北港を調査し、第一港湾建設局酒田港工事事務所にて資料収集を行う。

8月5日（木） 山形県酒田港工事事務所で聴取り調査および遡上高の測量を行う。酒田より南下し加茂、由良、米子、鼠ヶ関にて聴取り調査。新潟県入り。

新潟県北部、府屋、寝屋、脇川、桑川各漁港および岩舟港、胎内川河口にて聴取り調査および遡上高測量を実施。佐渡島入り。両津市の県佐渡港湾空港事務所にて聴取りおよび資料収集を実施。両津から北上し、羽吉、黒姫、北小浦、鷲崎、藻浦漁港にて調査を実施。佐渡海外府地区、高千漁港の漁協にて聴取り等を実施。佐渡より帰途に着く。

1-4 第4次調査

（1）日時 平成5年8月4日～6日

（2）調査地域 富山県～石川県

（3）構成

下迫健一郎 港湾技術研究所水工部耐波研究室
 遠藤仁彦 港湾技術研究所水工部耐波研究室
 梅木 功 第一港湾建設局新潟調査設計事務所
 建設専門官

（富山県）

竹谷倫一 富山県土木部港湾課建設課係長

（石川県）

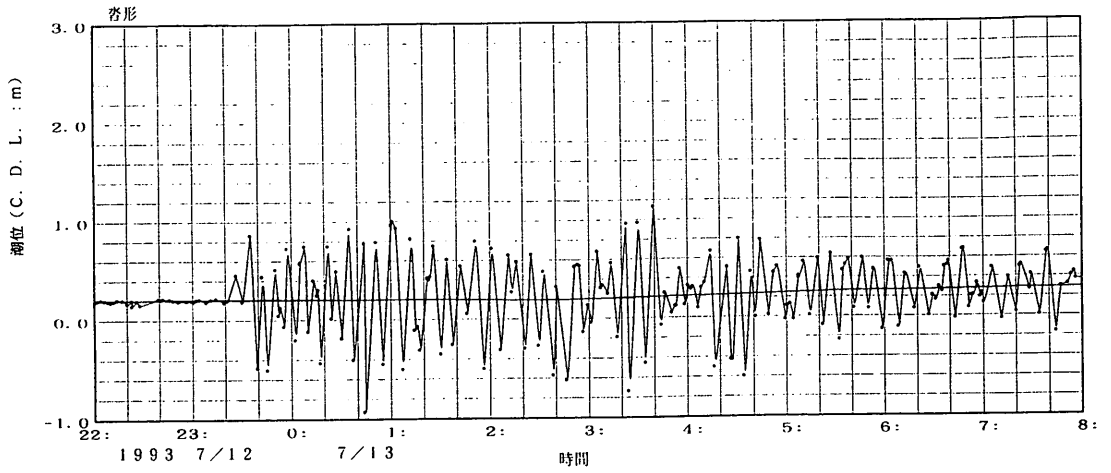
小島啓司 石川県土木部港湾課主査
 高橋 泰 石川県七尾港湾事務所次長
 茨池秀雄 石川県輪島土木事務所次長
 本田和彦 石川県輪島土木事務所宇出津出張所長
 大形重康 輪島市土木課港湾係長

8月4日（水） 伏木富山港工事事務所において富山県の津波被害状況について説明を受ける。富山港を調査し、その後、石川県までの海岸を踏査する。七尾港湾事務所において七尾港の津波の作用状況について説明を受けた後、七尾港の調査を行う。

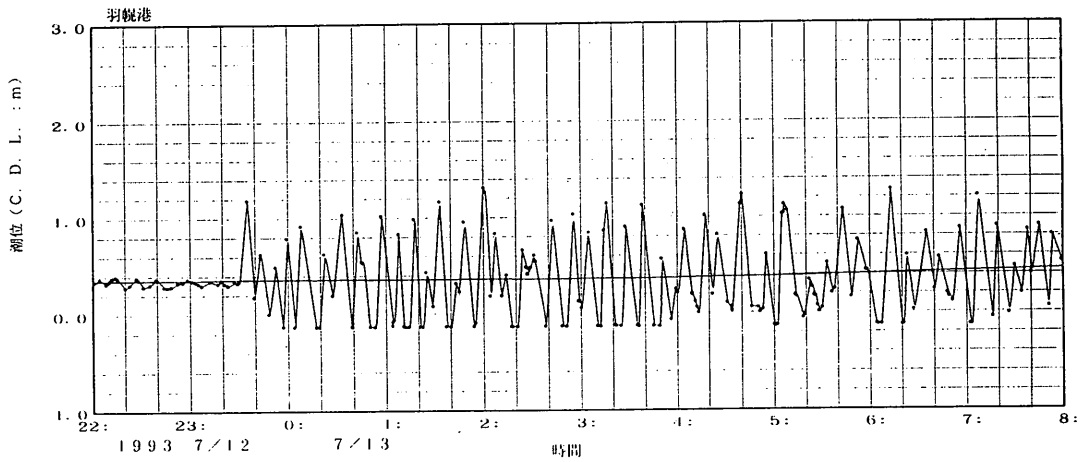
8月5日（木） 穴水港、宇出津港、小木港を調査し、珠州土木事務所において説明を受け

る。午後より、飯田港、狼煙漁港（狼煙地区）を調査する。その後、輪島土木事務所において説明を受けた後、輪島港を調査する。

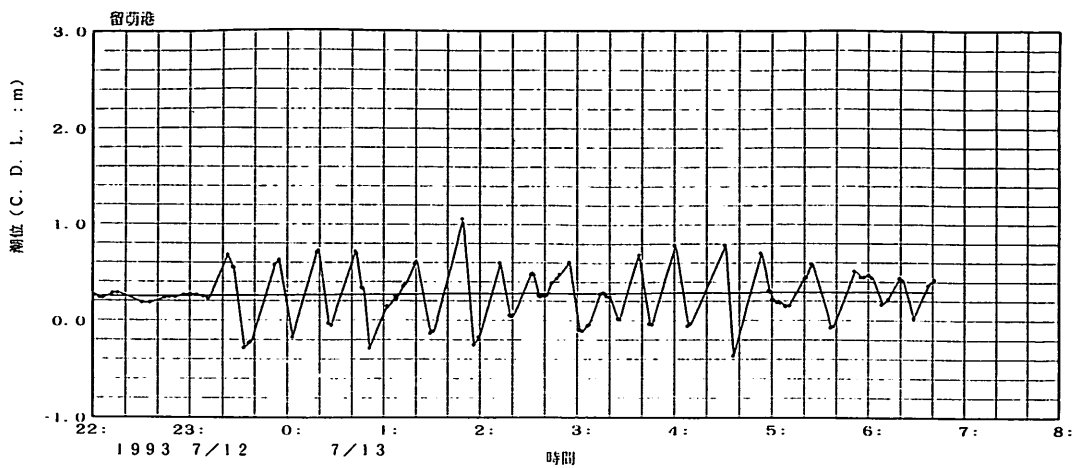
8月6日（金） 大沢漁港、福浦漁港を調査する。羽咋土木事務所において滝港などの説明を受ける。帰途につく。



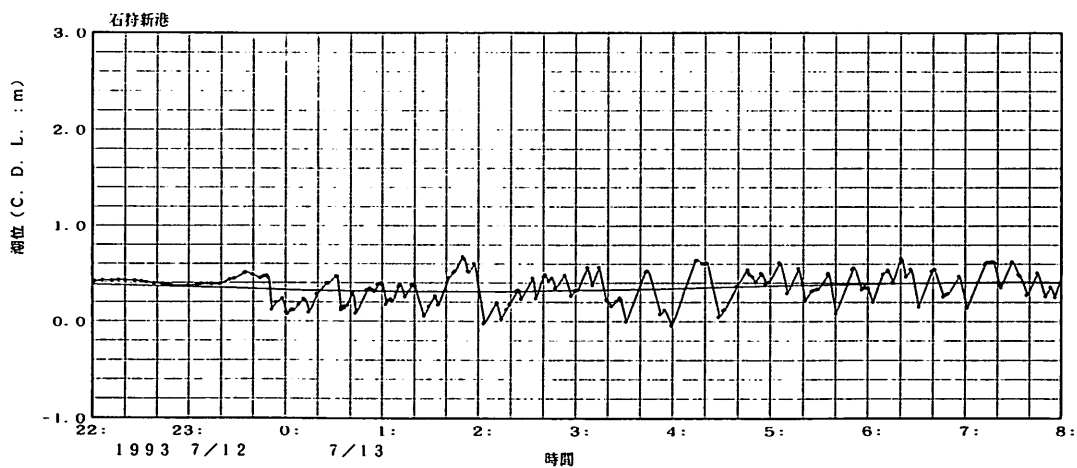
付図-1.1 沓形港検潮記録



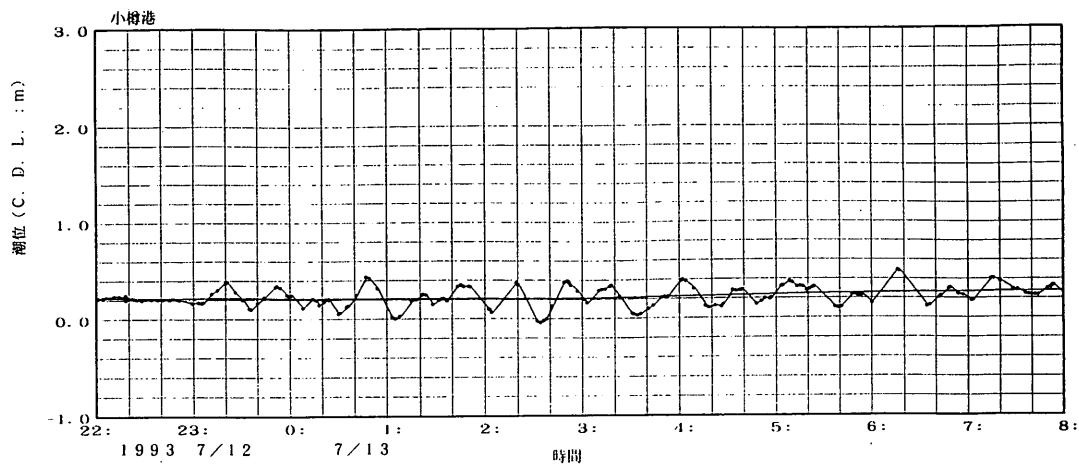
付図-1.2 羽幌港検潮記録



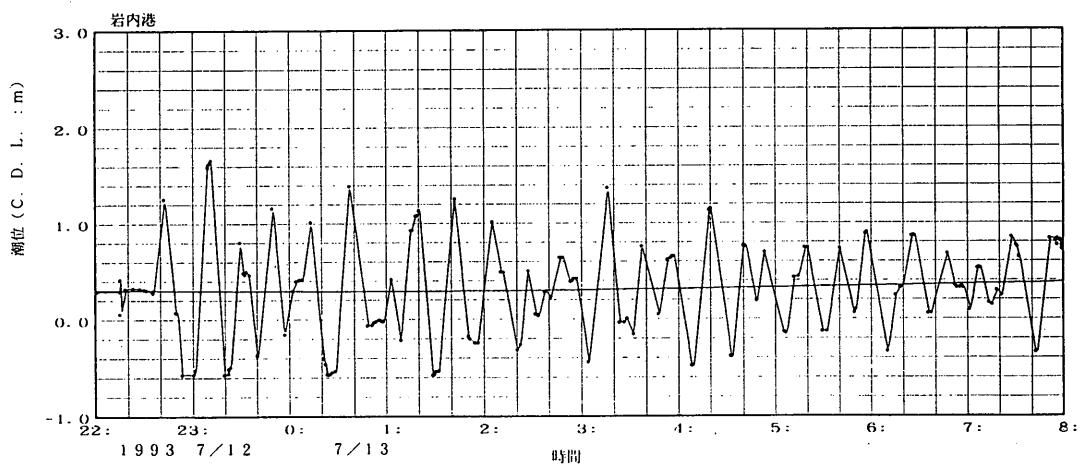
付図-1.3 留萌港検潮記録



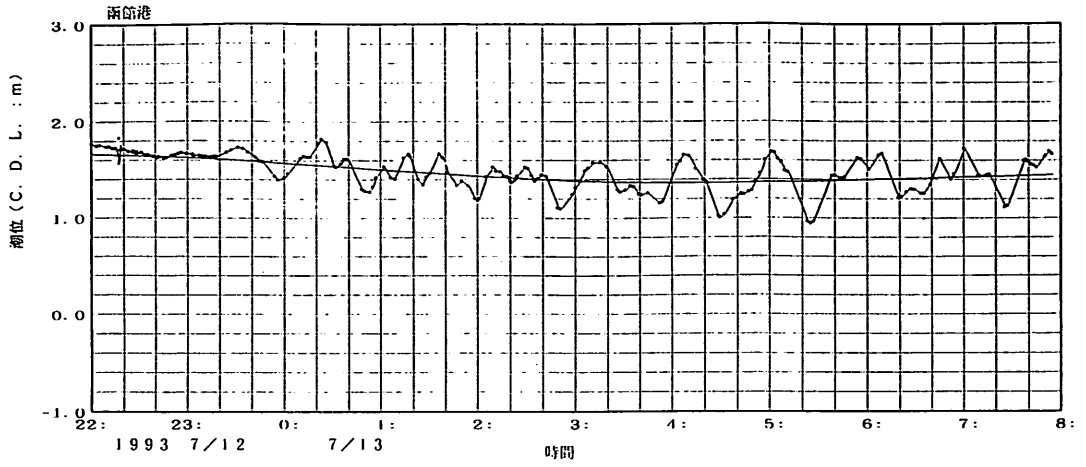
付図-1.4 石狩新港検潮記録



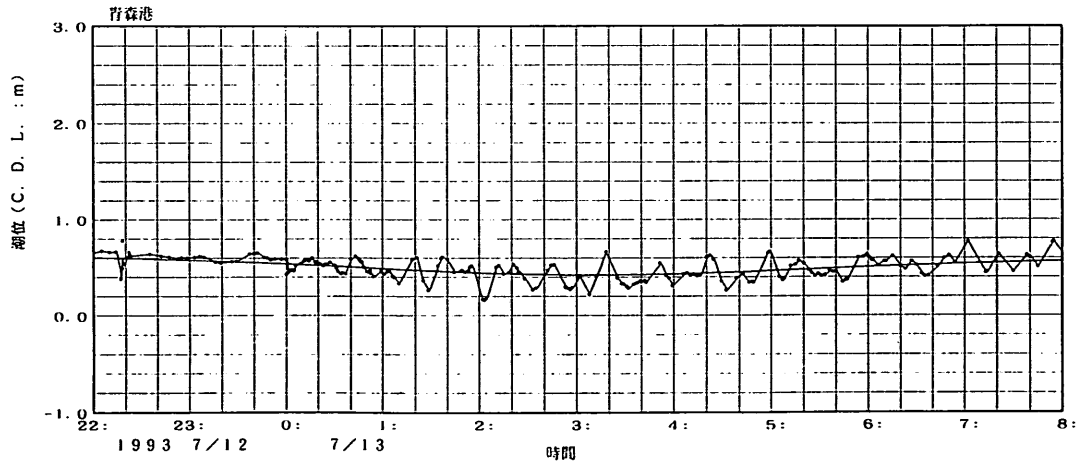
付図-1.5 小樽港検潮記録



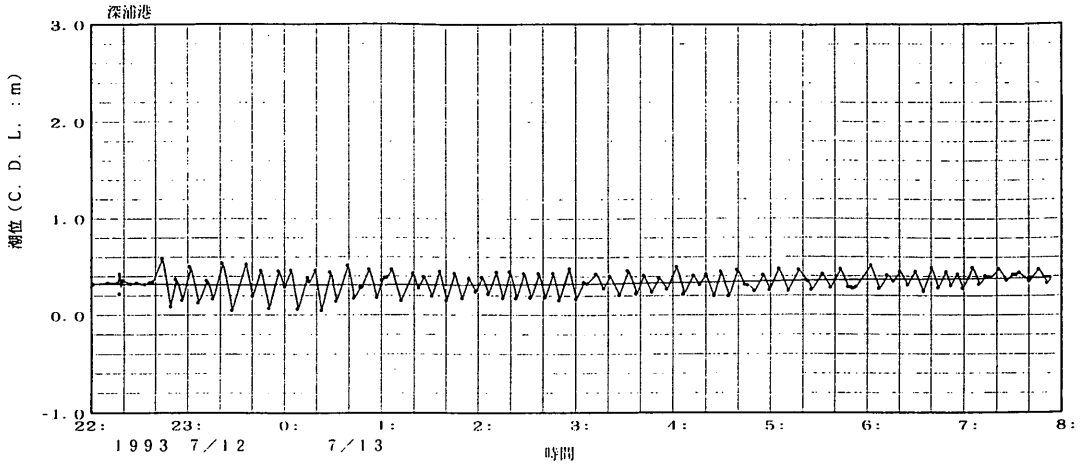
付図-1.6 岩内港検潮記録



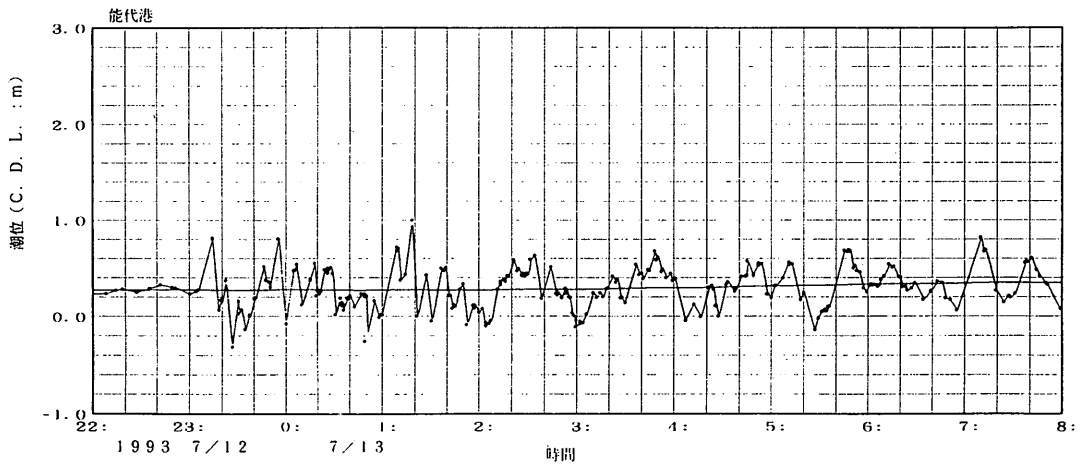
付図-1.7 函館港検潮記録



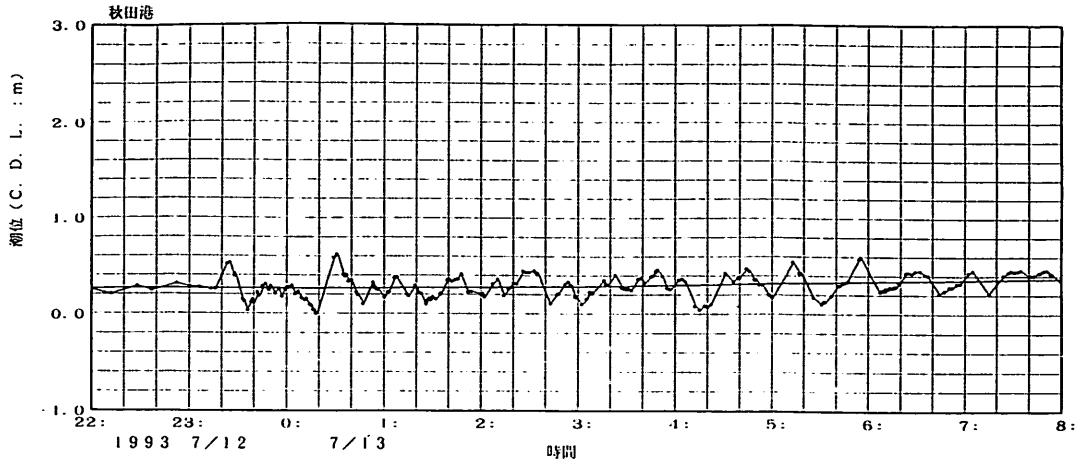
付図-1.8 青森港検潮記録



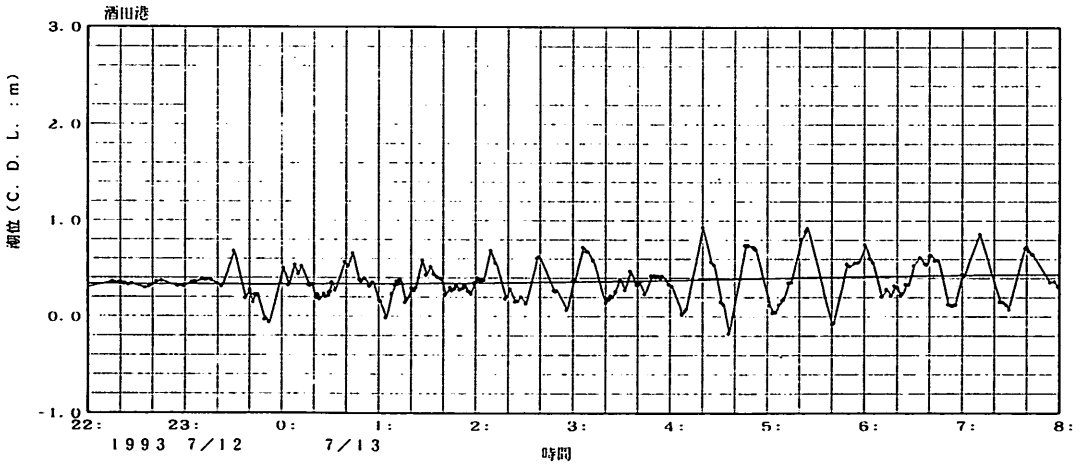
付図-1.9 深浦港検潮記録



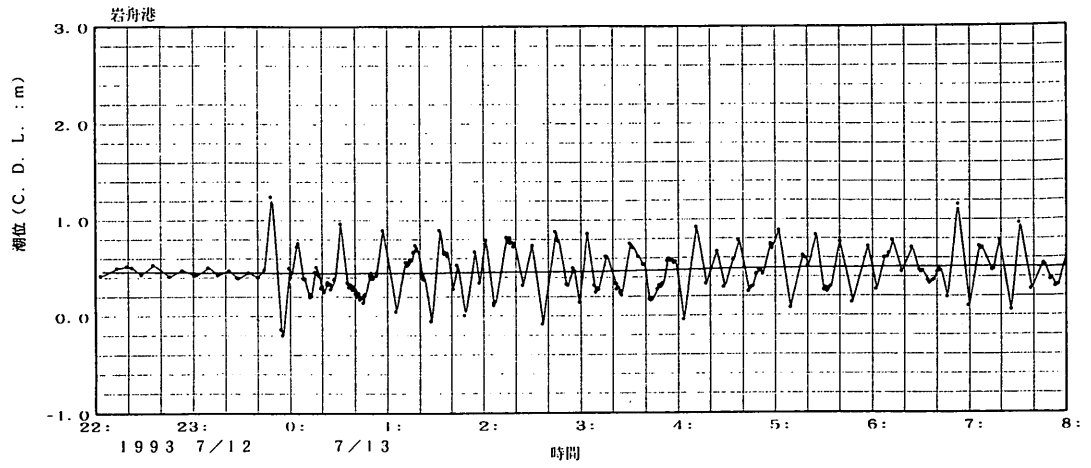
付図-1.10 能代港検潮記録



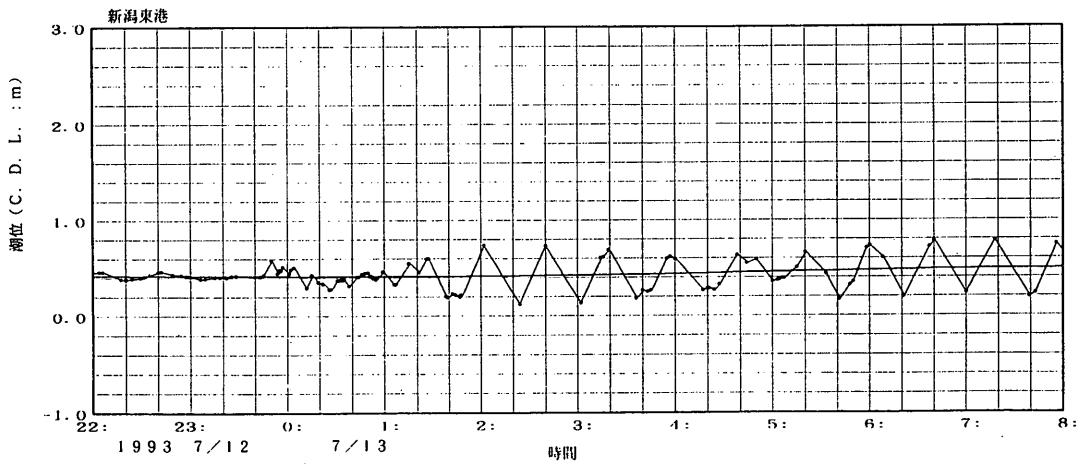
付図-1.11 秋田港検潮記録



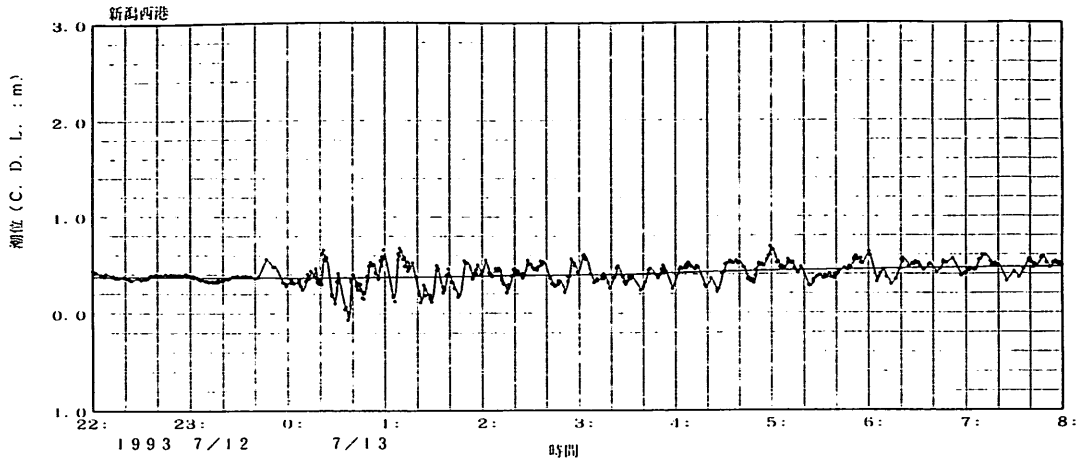
付図-1.12 酒田港検潮記録



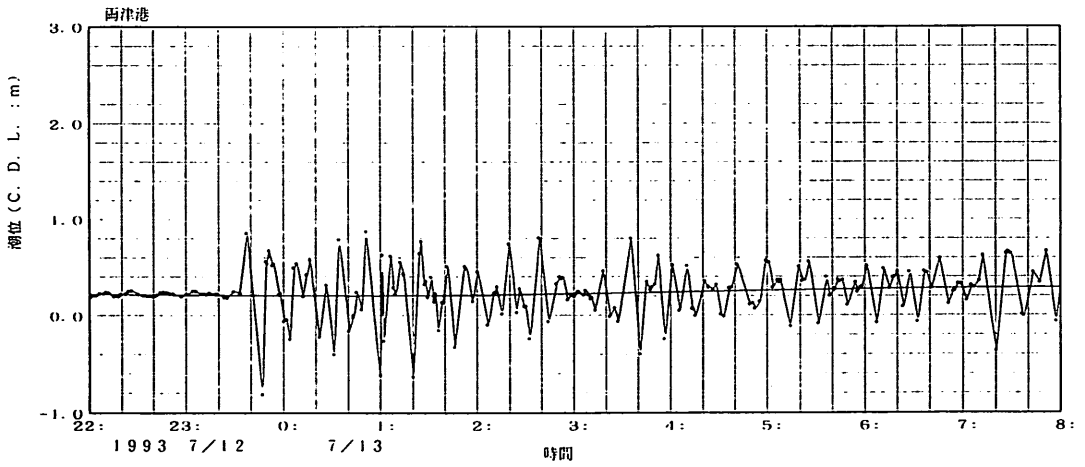
付図-1.13 岩船港検潮記録



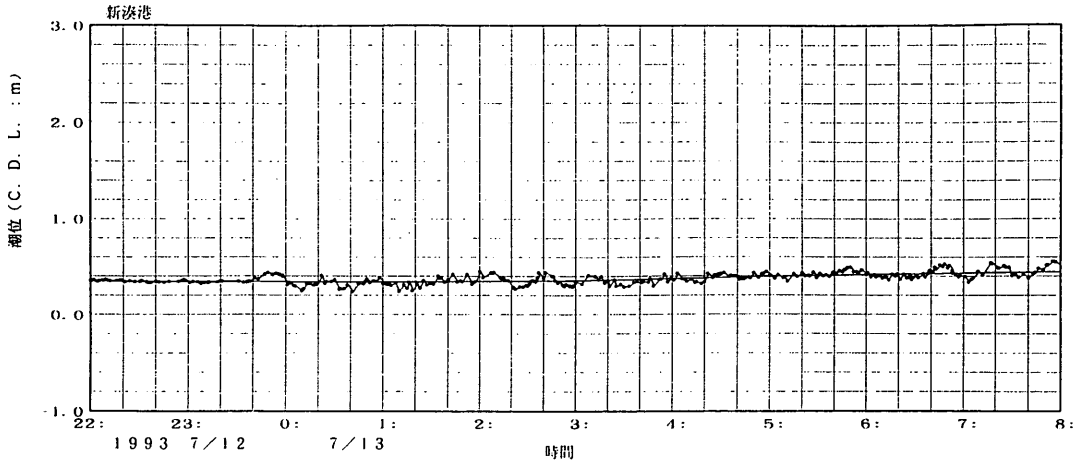
付図-1.14 新潟東港検潮記録



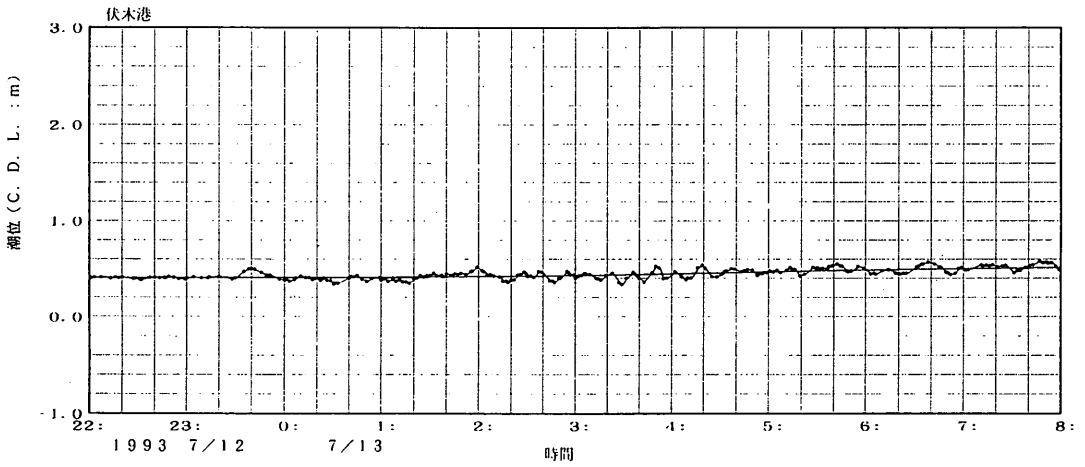
付図-1.15 新潟西港検潮記録



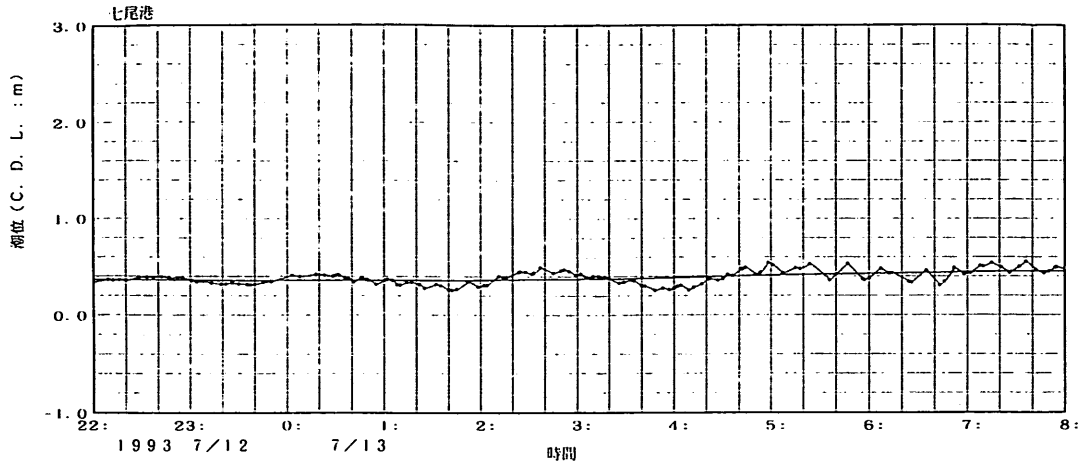
付図-1.16 両津港検潮記録



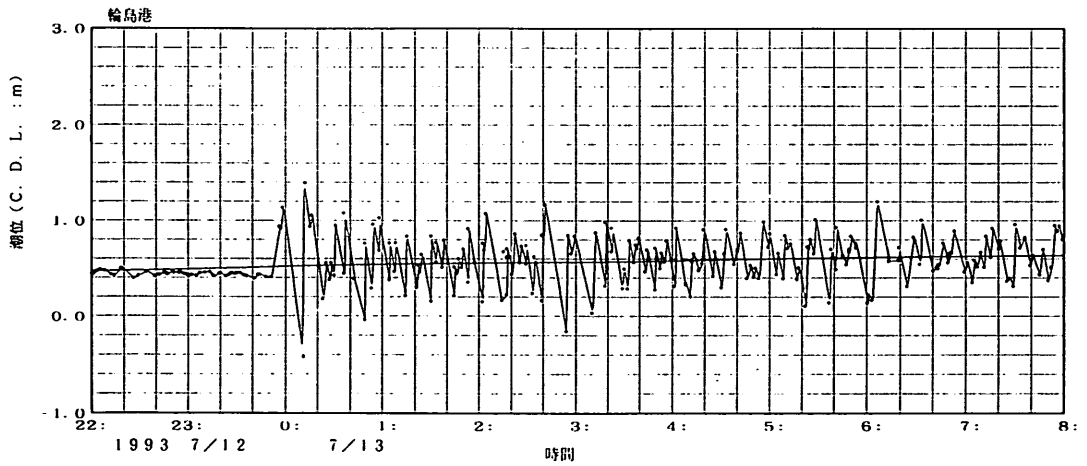
付図-1.17 新湊港検潮記録



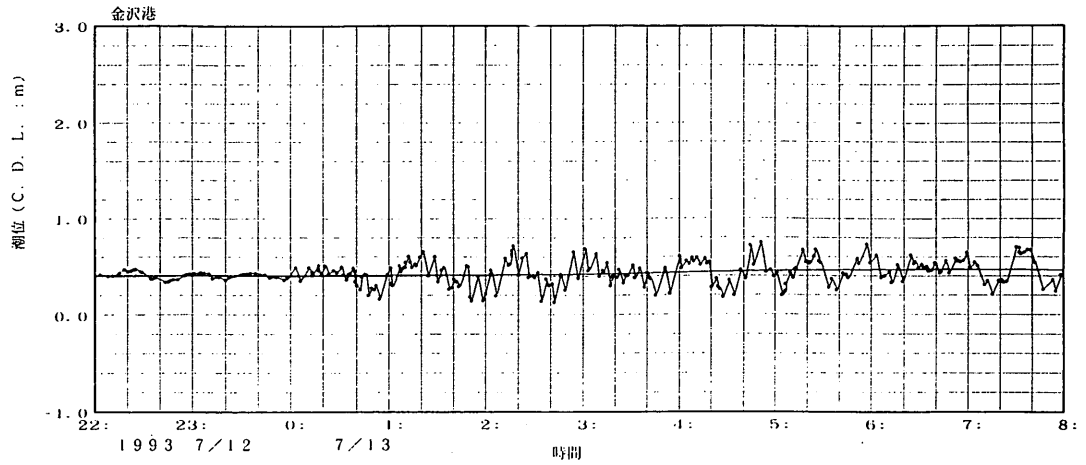
付図-1.18 伏木港検潮記録



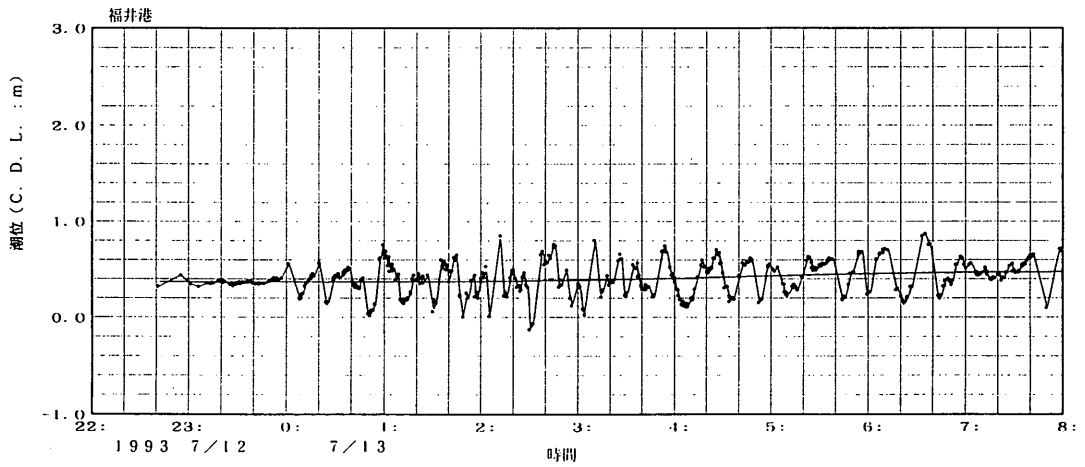
付図-1.19 七尾港検潮記録



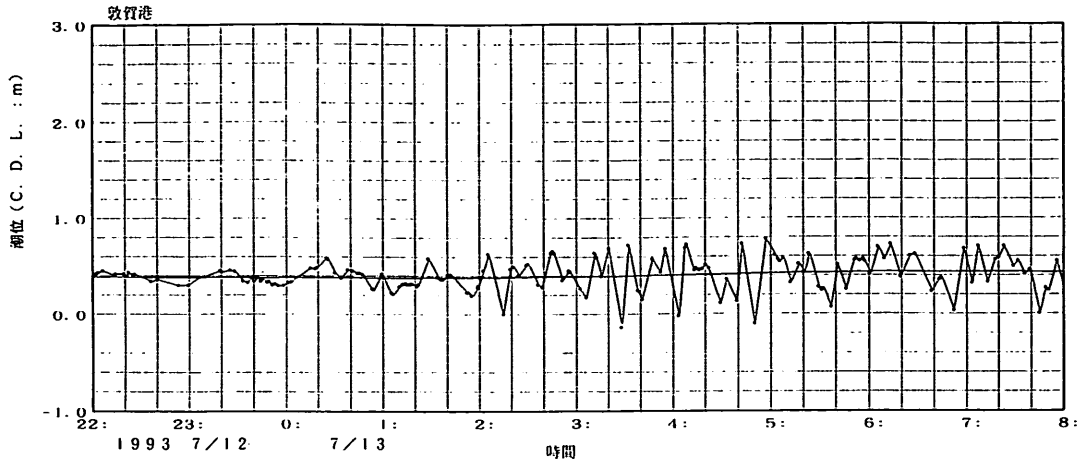
付図-1.20 輪島港検潮記録



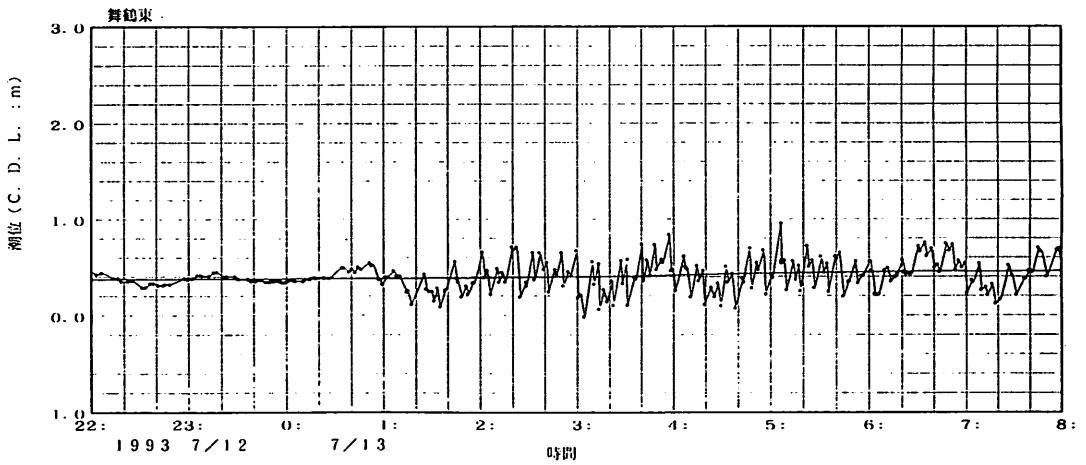
付図-1.21 金沢港検潮記録



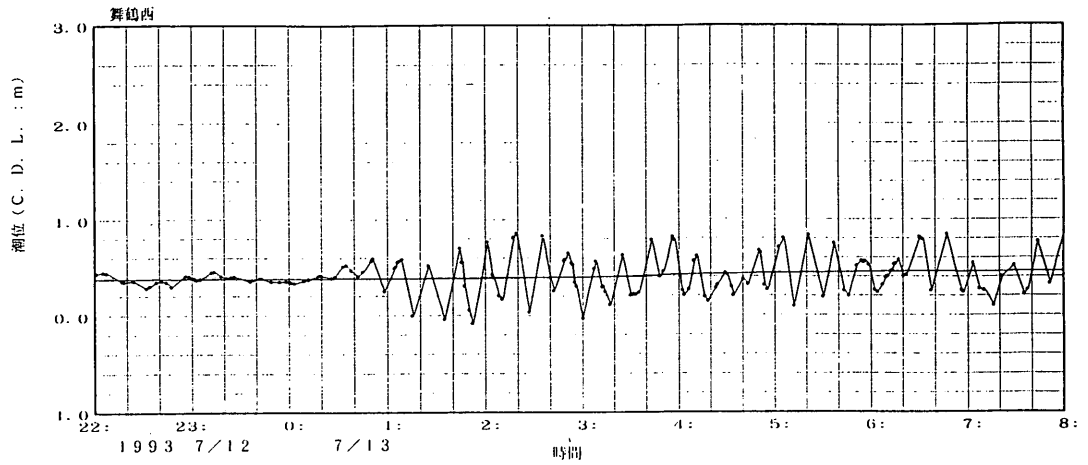
付図-1.22 福井港検潮記録



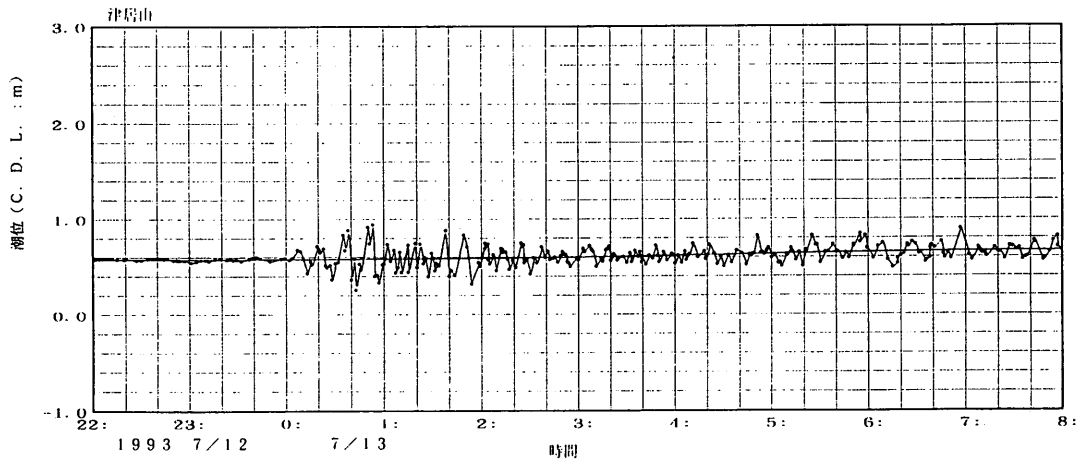
付図-1.23 敦賀港検潮記録



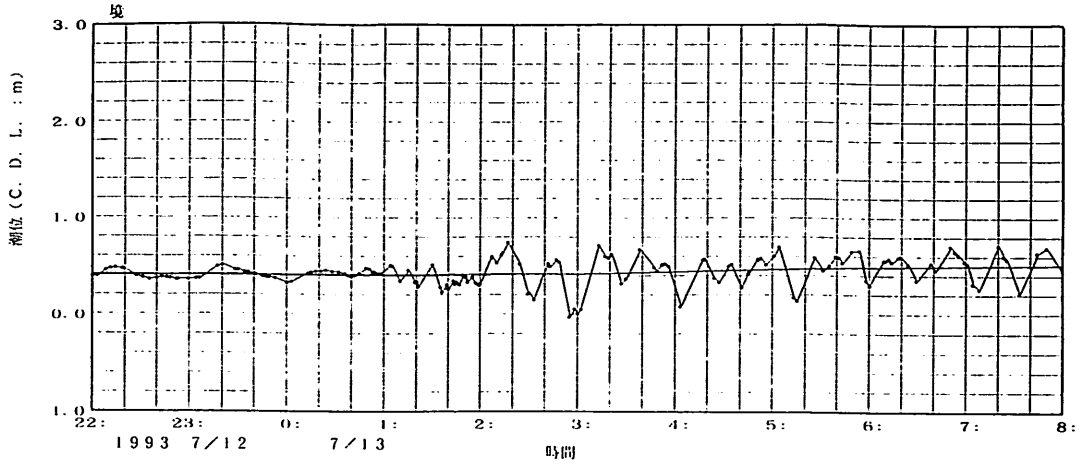
付図-1.24 舞鶴東港検潮記録



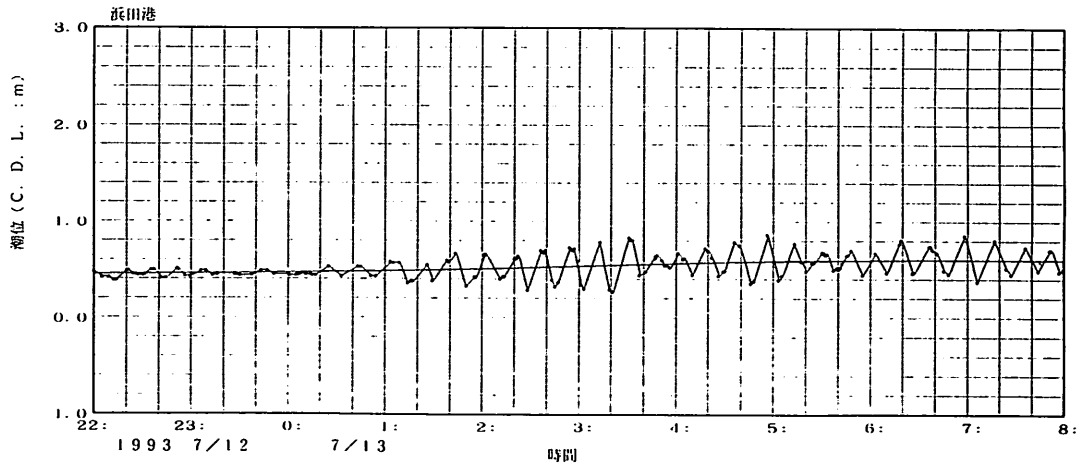
付図-1.25 舞鶴西港検潮記録



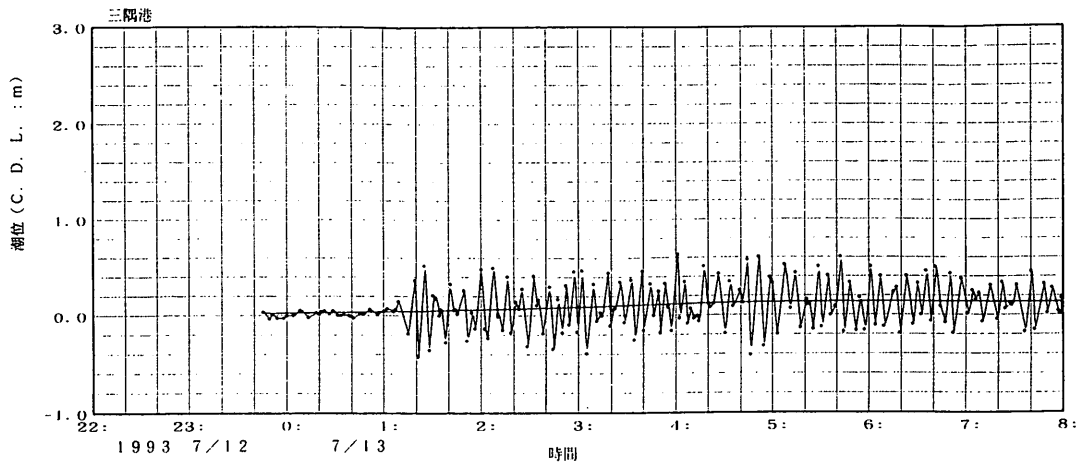
付図-1.26 津居山検潮記録



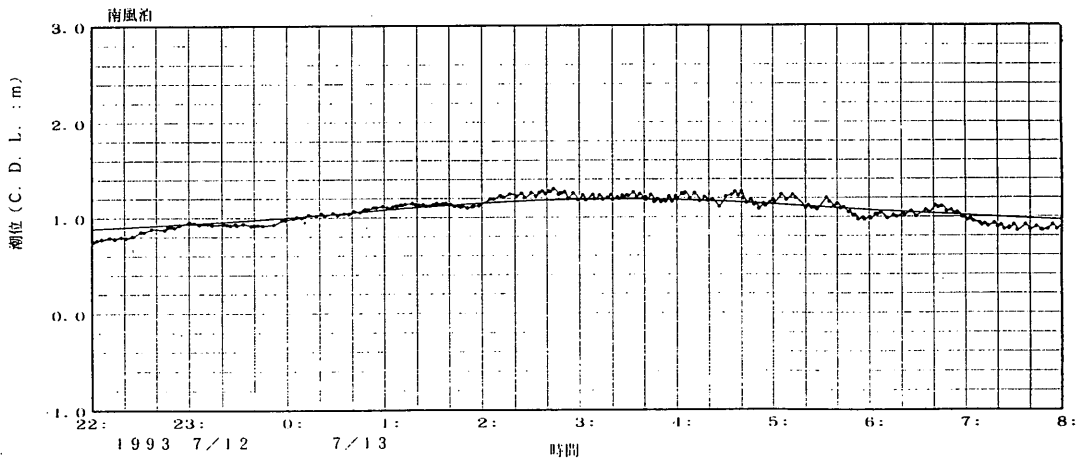
付図-1.27 境港検潮記録



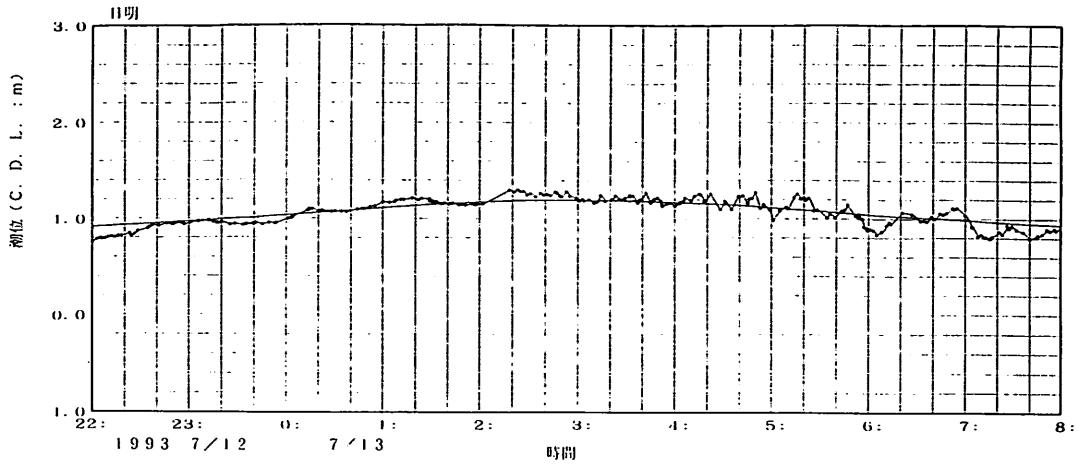
付図-1.28 浜田港検潮記録



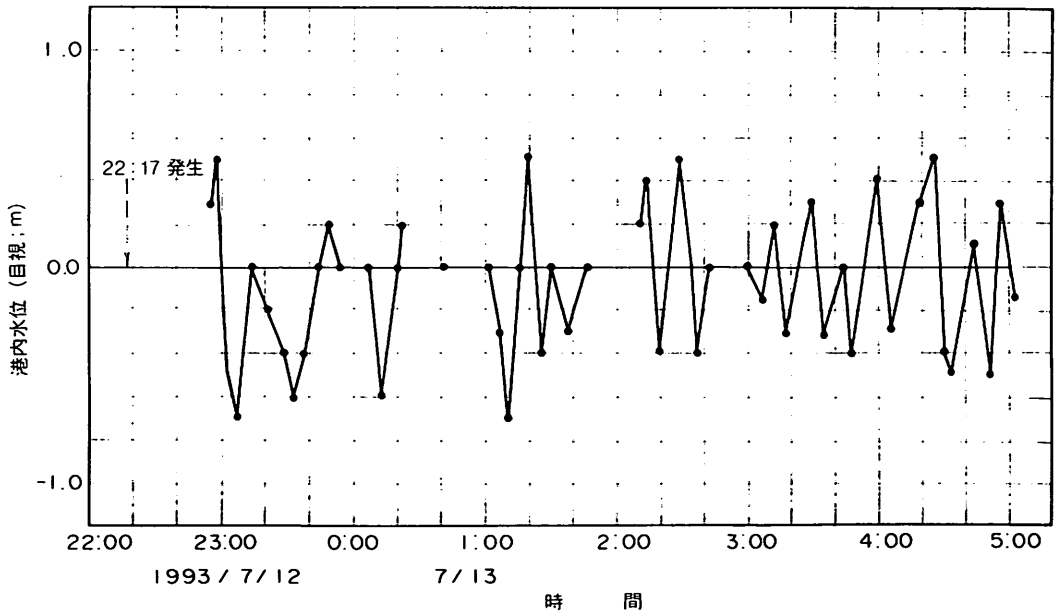
付図-1.29 三隅港検潮記録



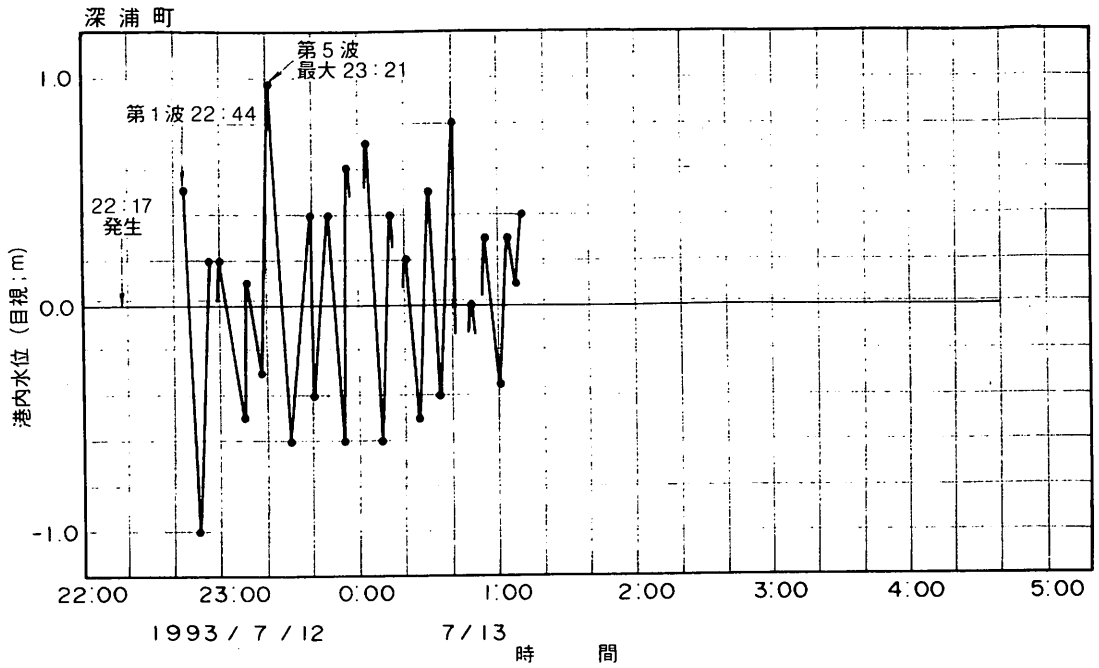
付図-1.30 南風泊検潮記録



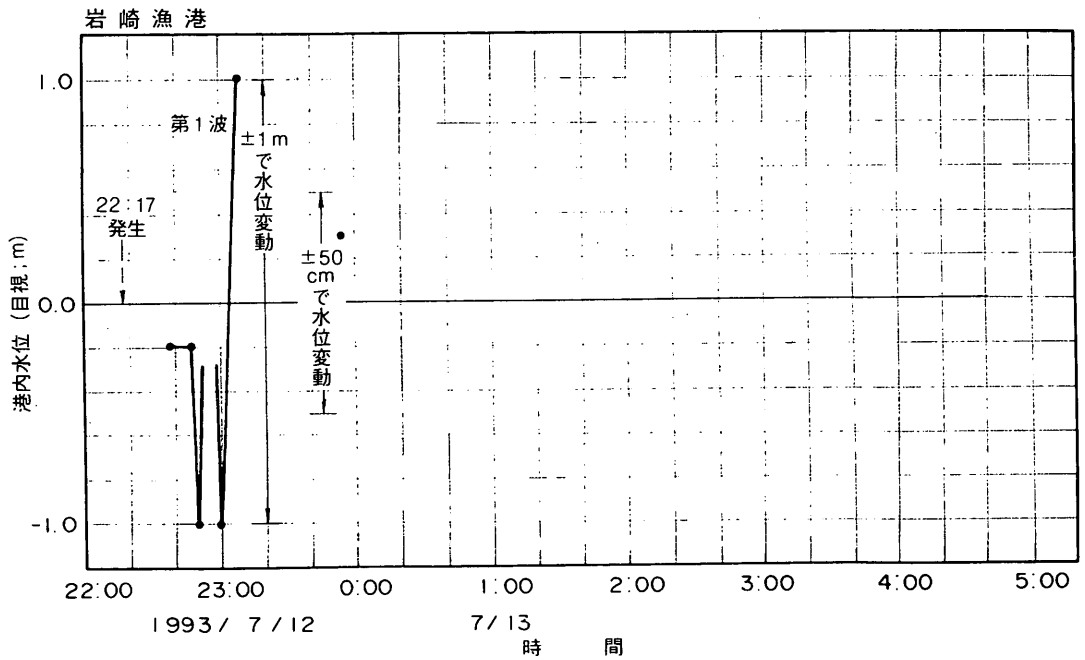
付図-1.31 日明検潮記録



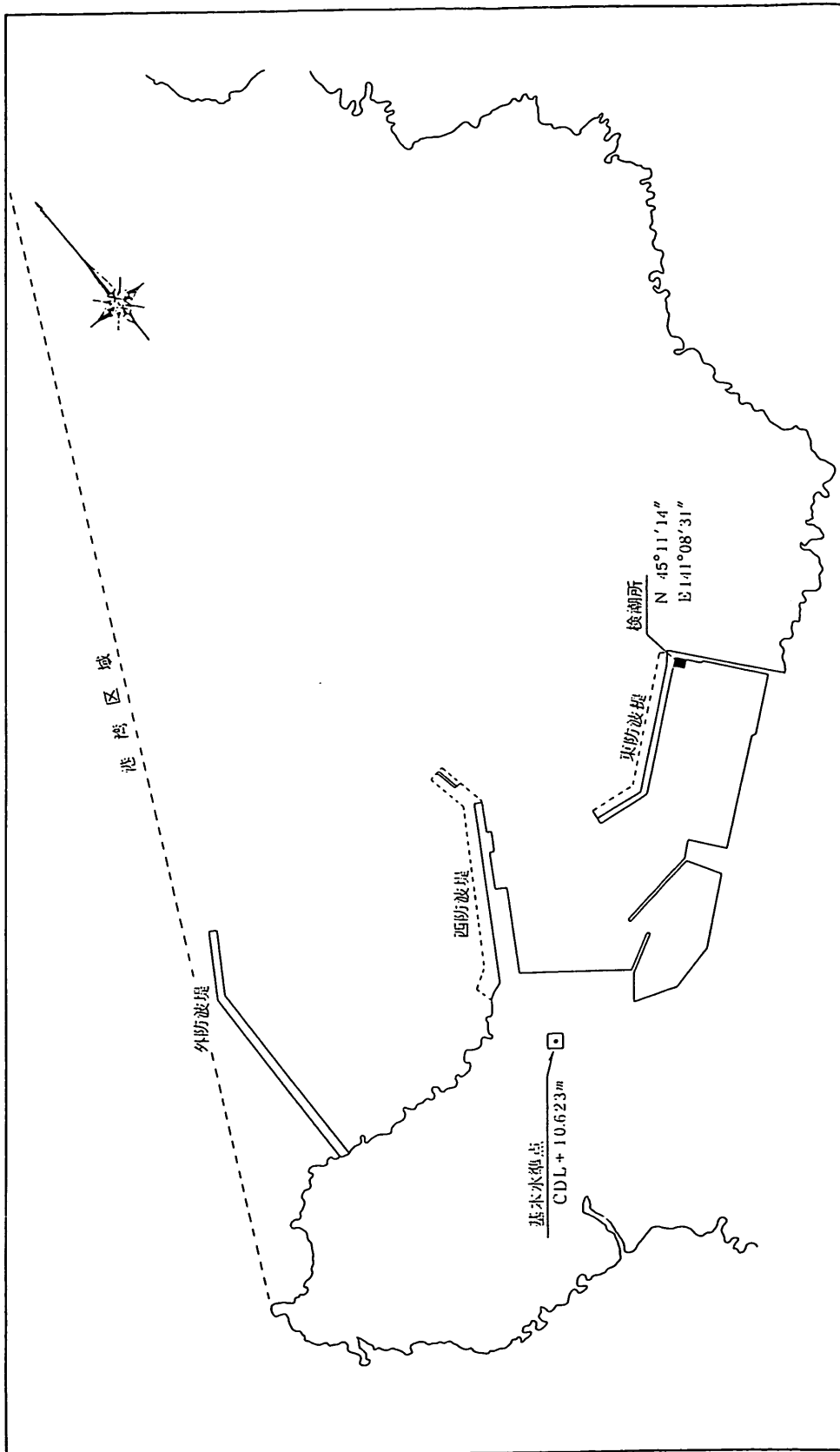
付図-2.1 鯉ヶ沢漁港水位目視記録



付図-2.2 深浦港水位目視記録

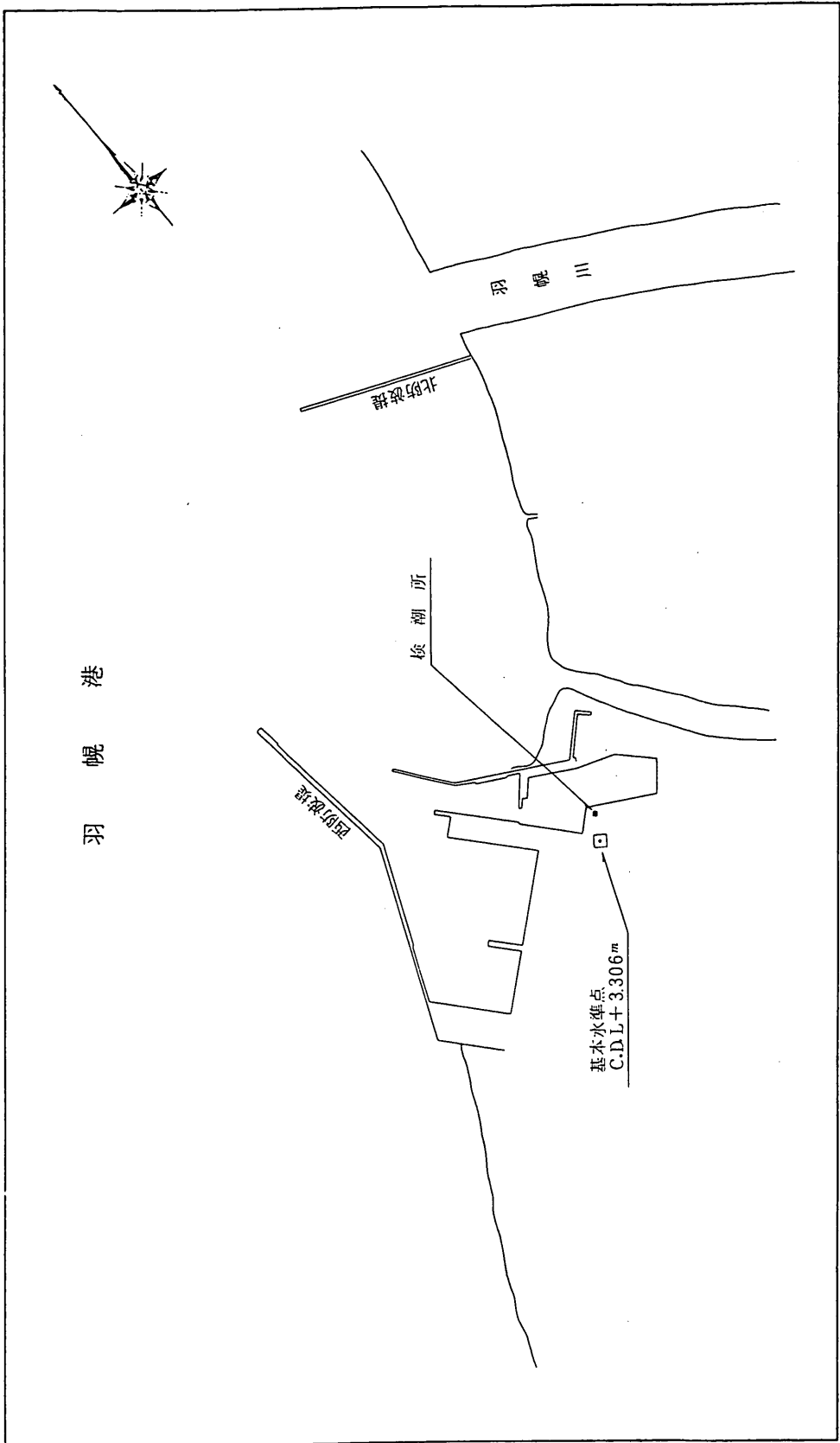


付図-2.3 岩崎漁港水位目視記録

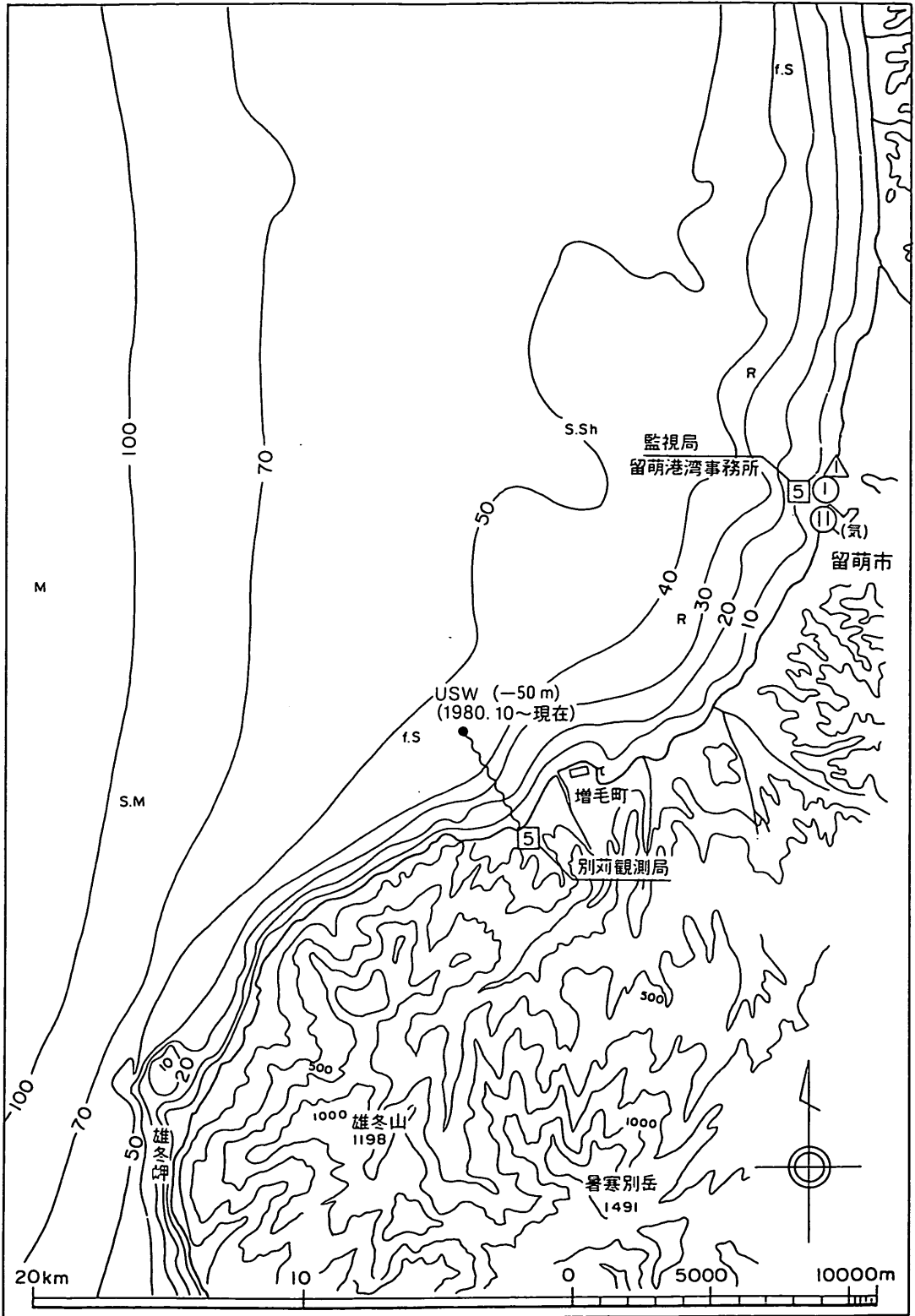


付图-3.1 杏形港验潮所位置图

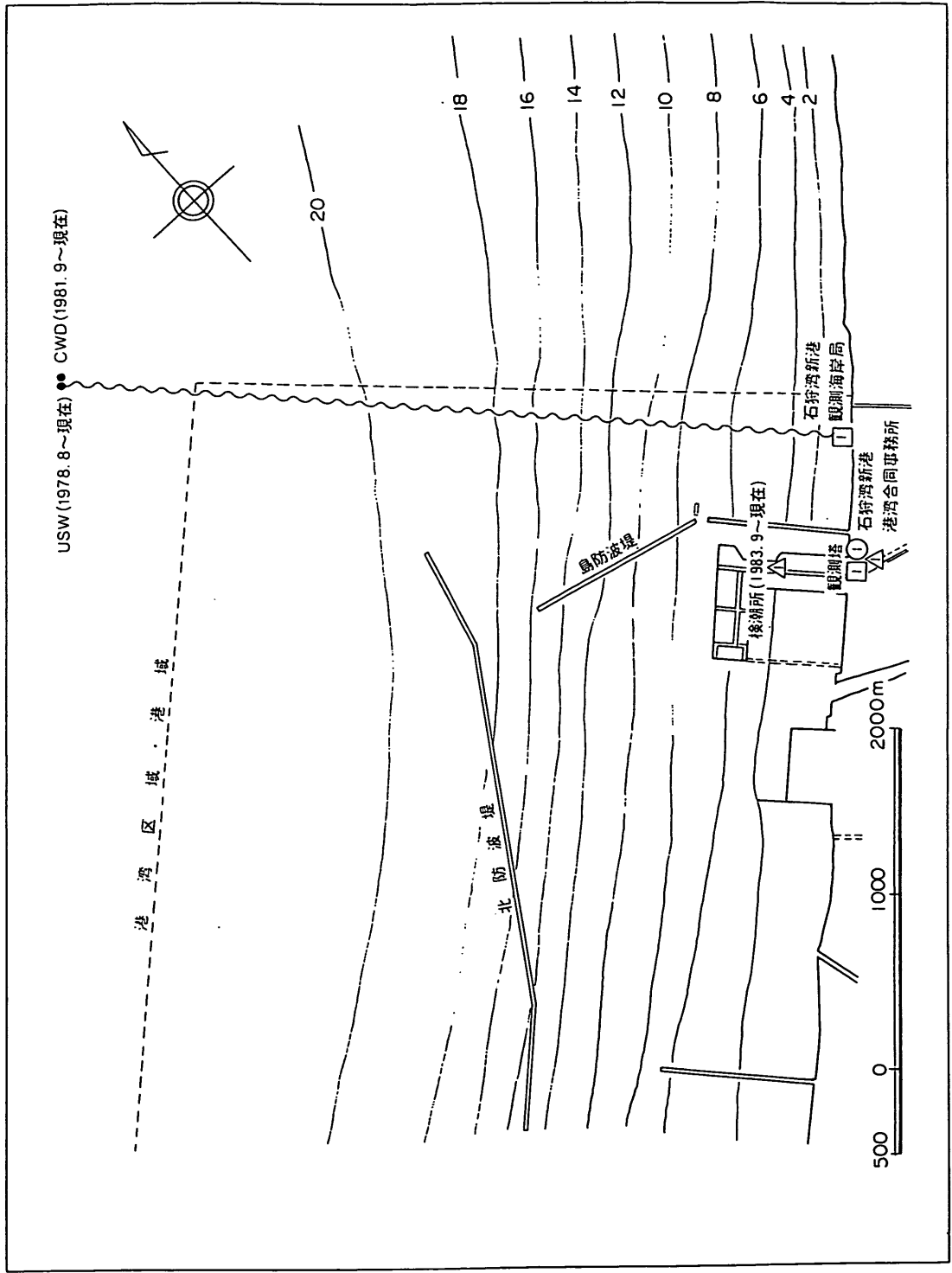
檢潮所位置圖



付圖-3.2 羽幌港檢潮所位置圖

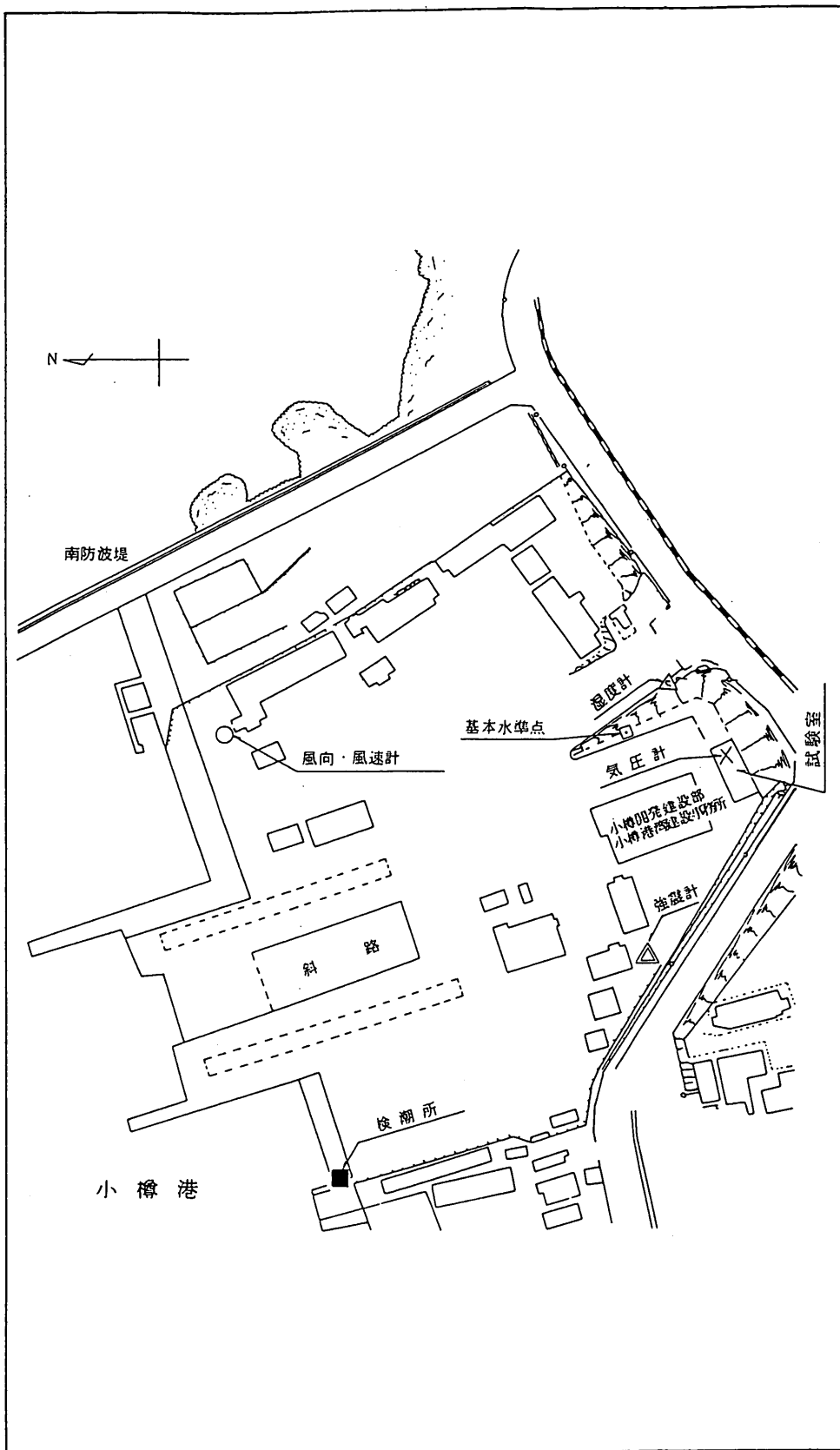


付図-3.3 留萌港検潮所位置図 (その1)



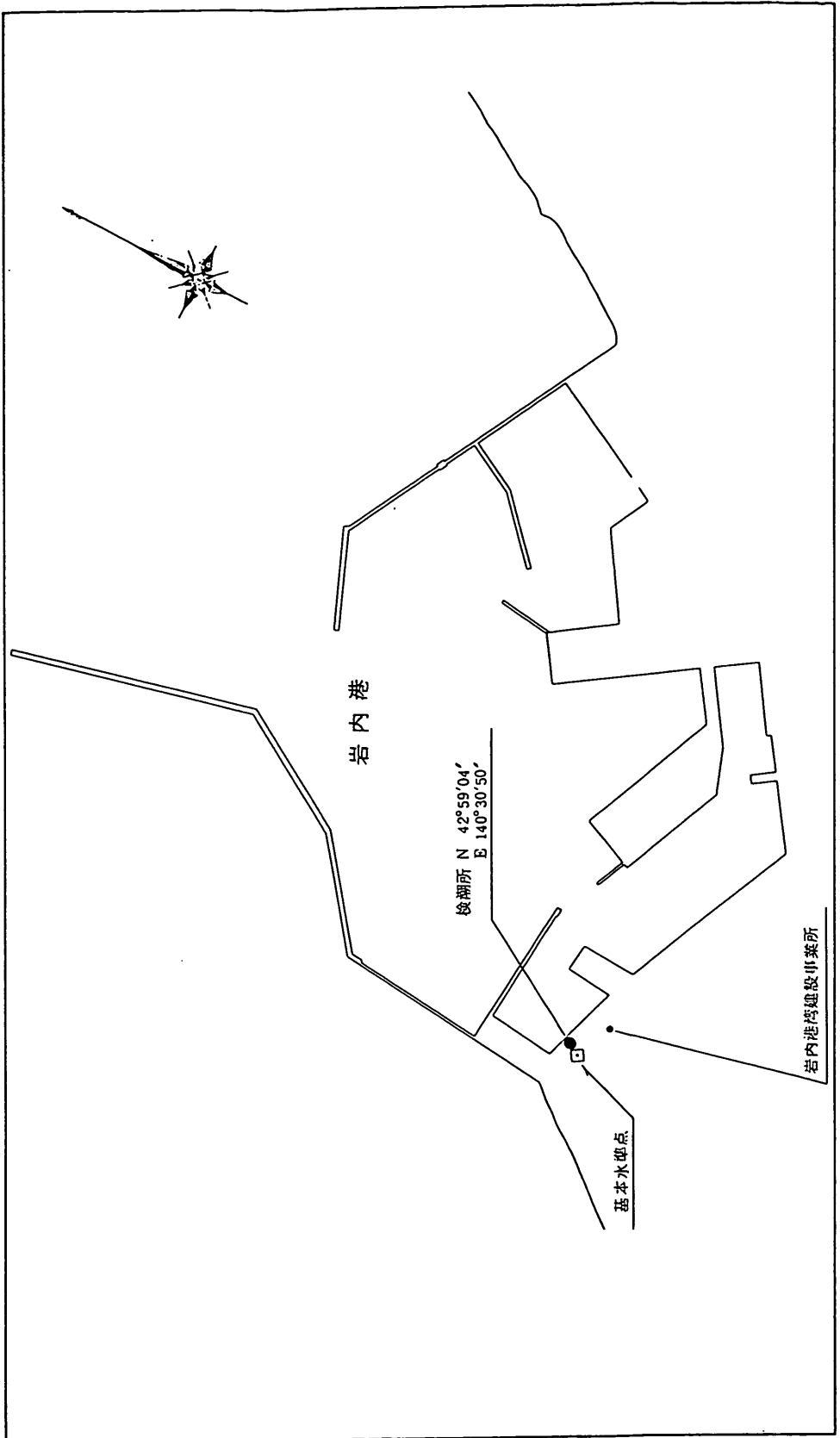
付圖-3.4 石狩新港檢潮所位置圖

圖 置 位 所 潮 檢

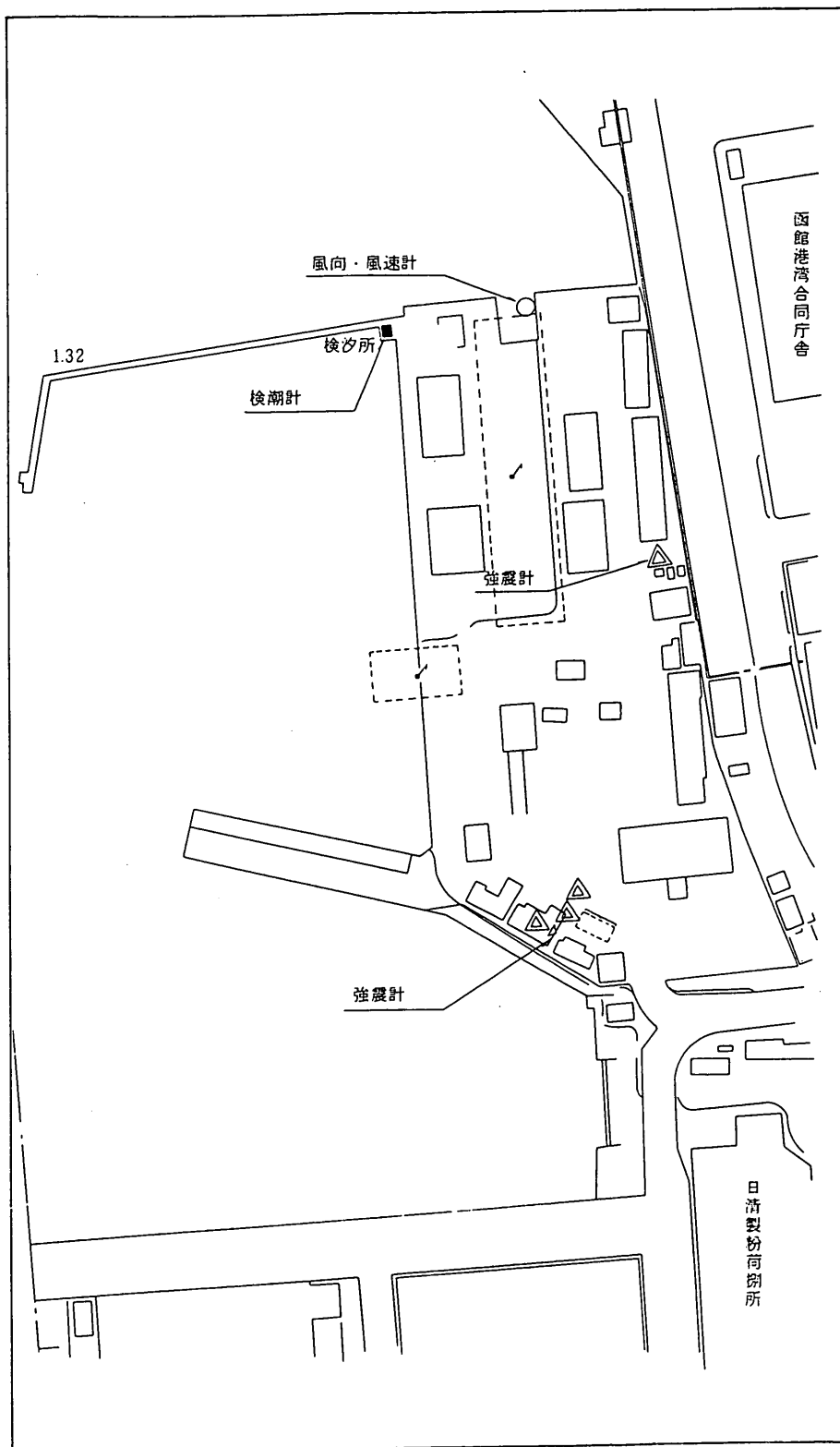


付図-3.5 小樽港検潮所位置図

檢潮所位置圖

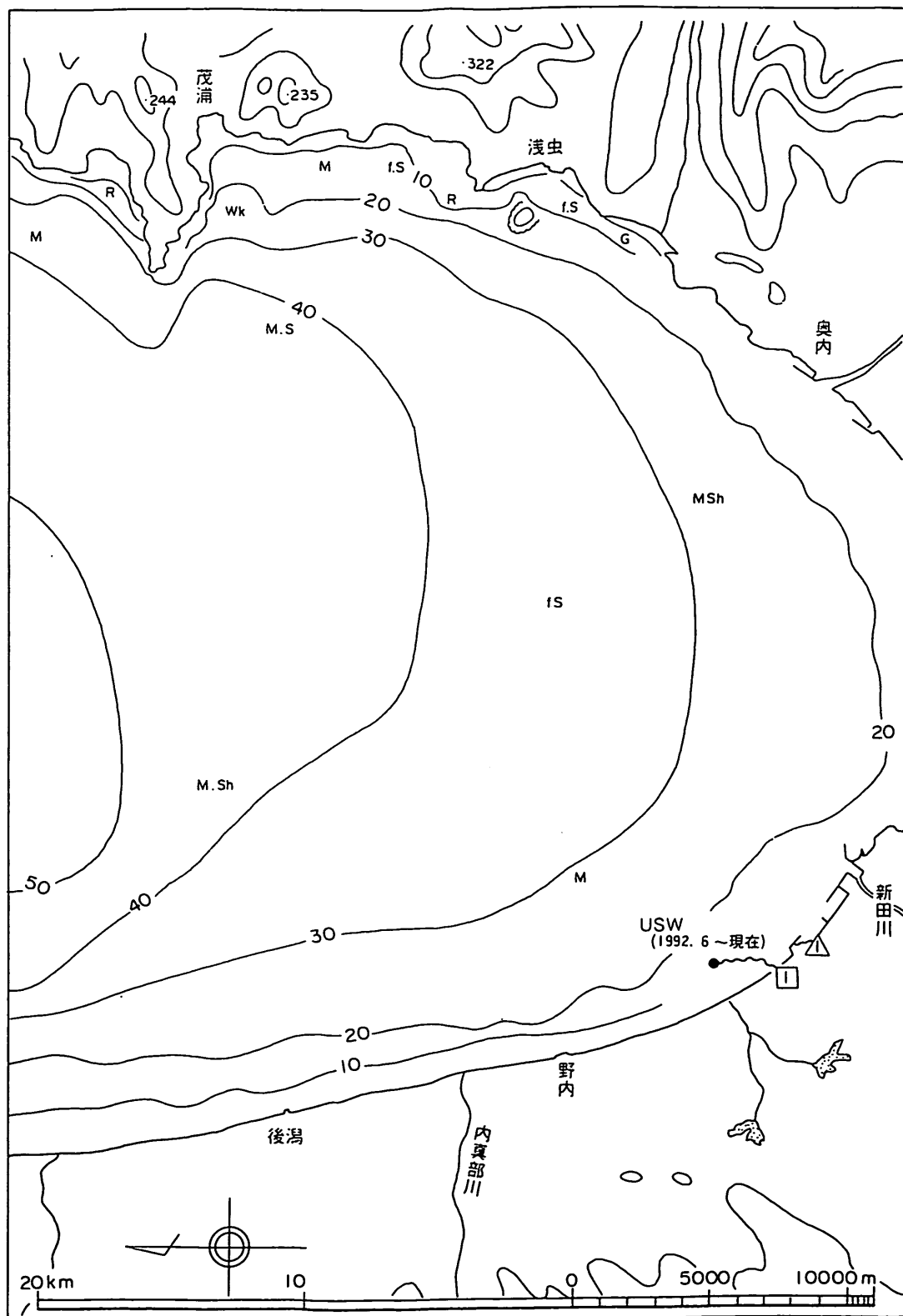


付圖-3.6 岩内港檢潮所位置圖

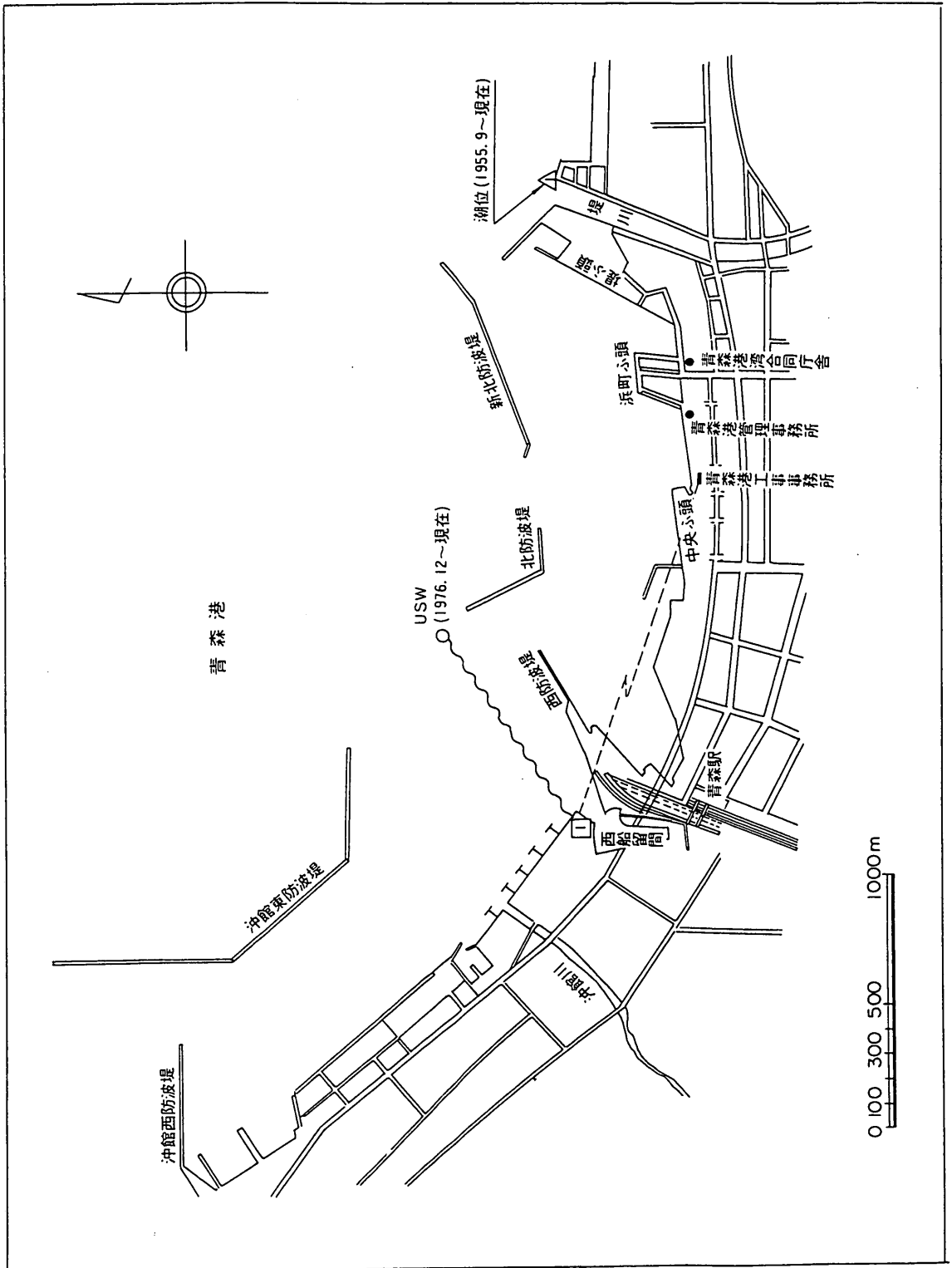


付図-3.7 函館港検潮所位置図

観測港名 施設呼称	青森港	所管所名	青森港工事事務所
--------------	-----	------	----------

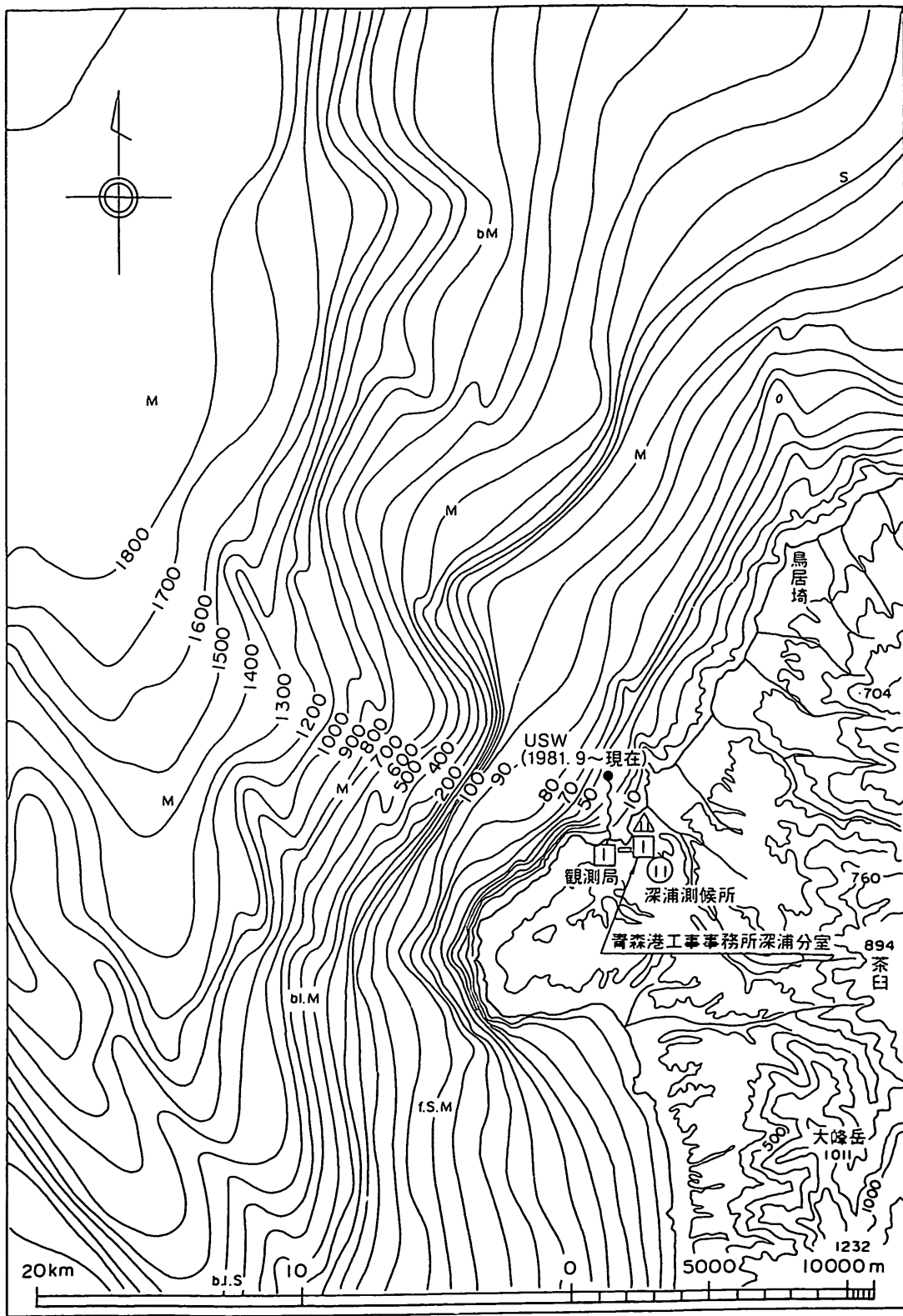


付図-3.8 青森港検潮所位置図 (その1)

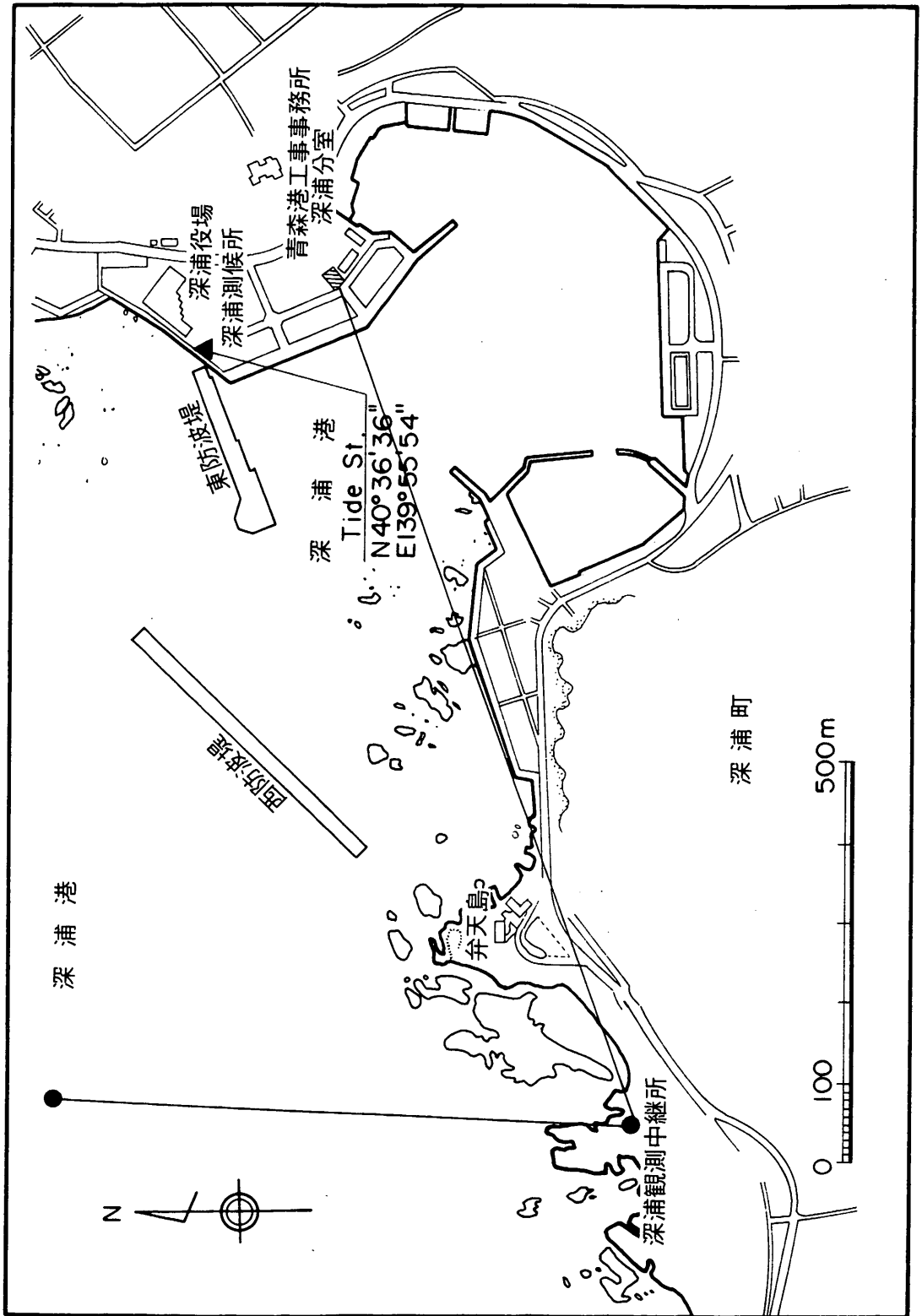


付図-3.8 青森港検潮所位置図 (その2)

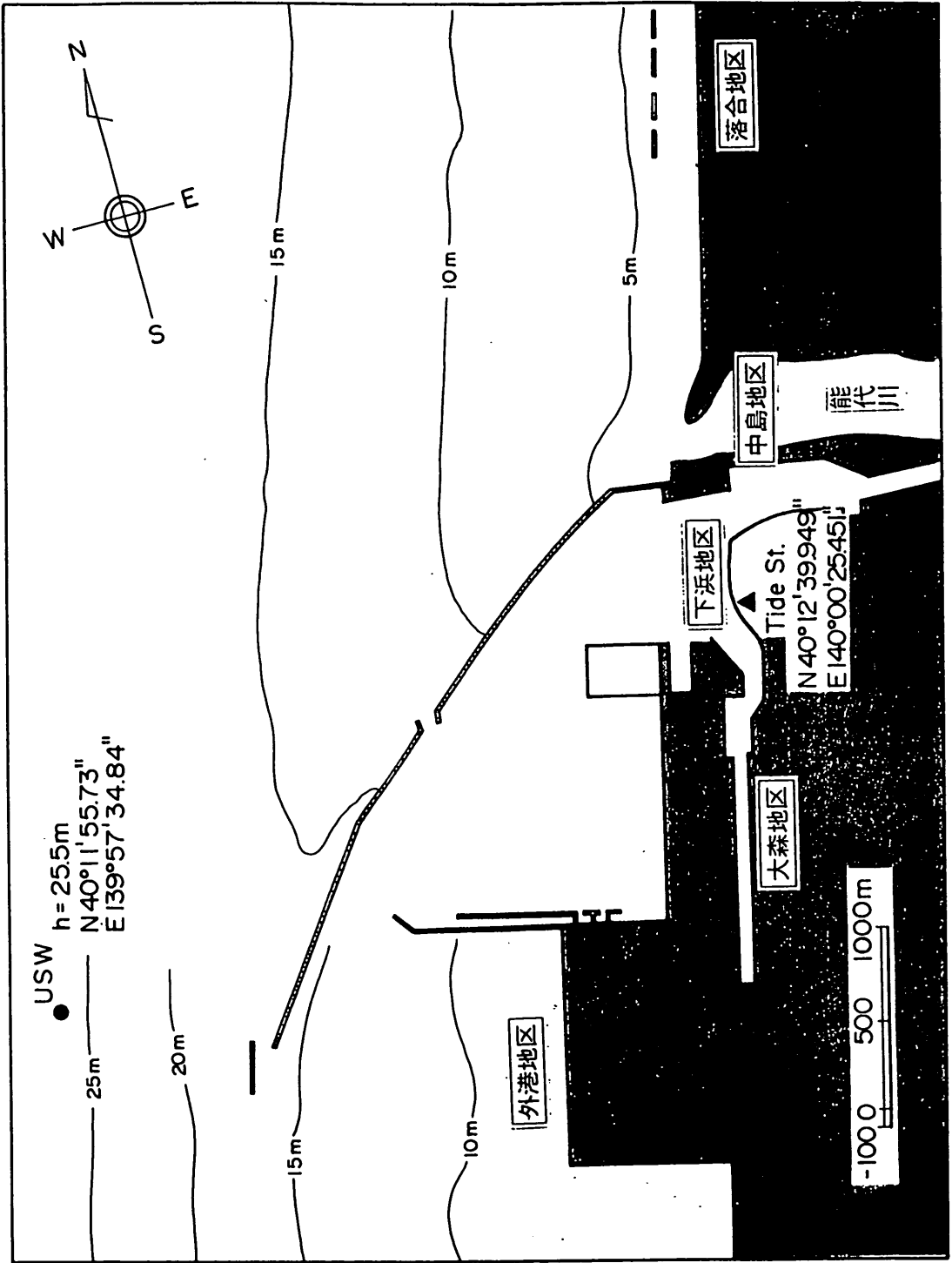
観測施設	深浦港	所管所名	青森港工事事務所
------	-----	------	----------



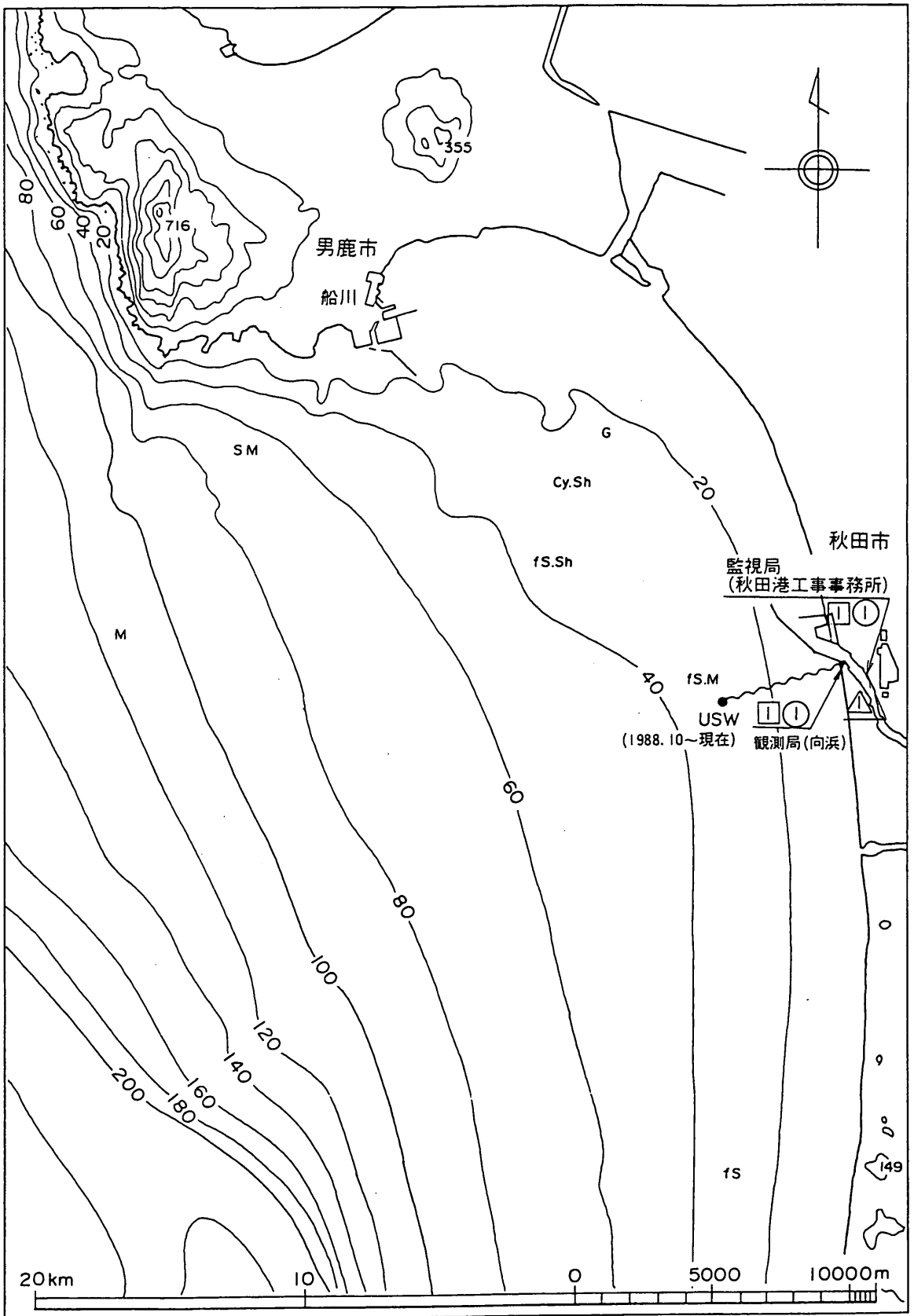
付図-3.9 深浦港検潮所位置図 (その1)



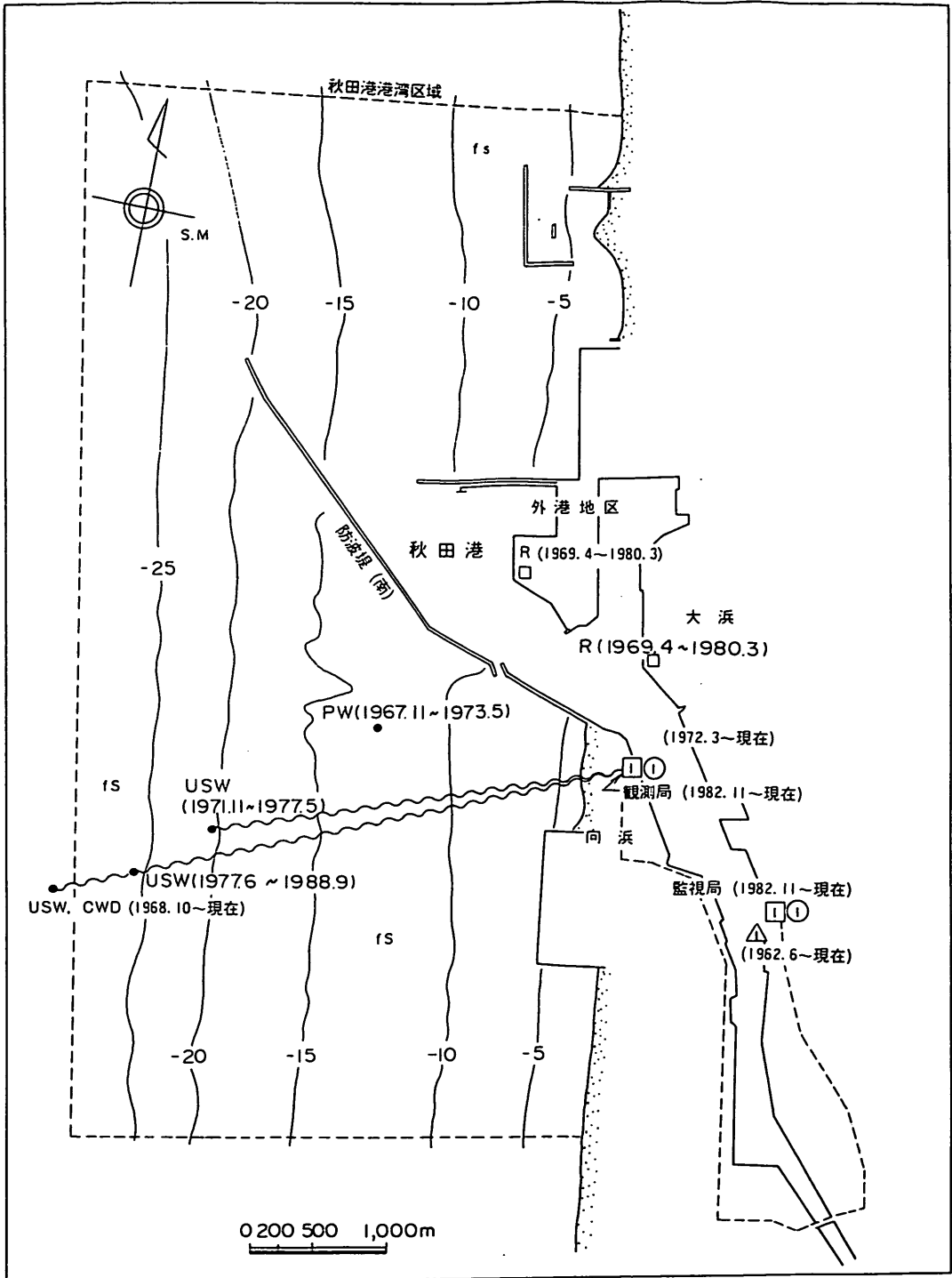
付図-3.9 深浦港検潮所位置図 (その2)



付図-3.10 能代港検潮所位置図

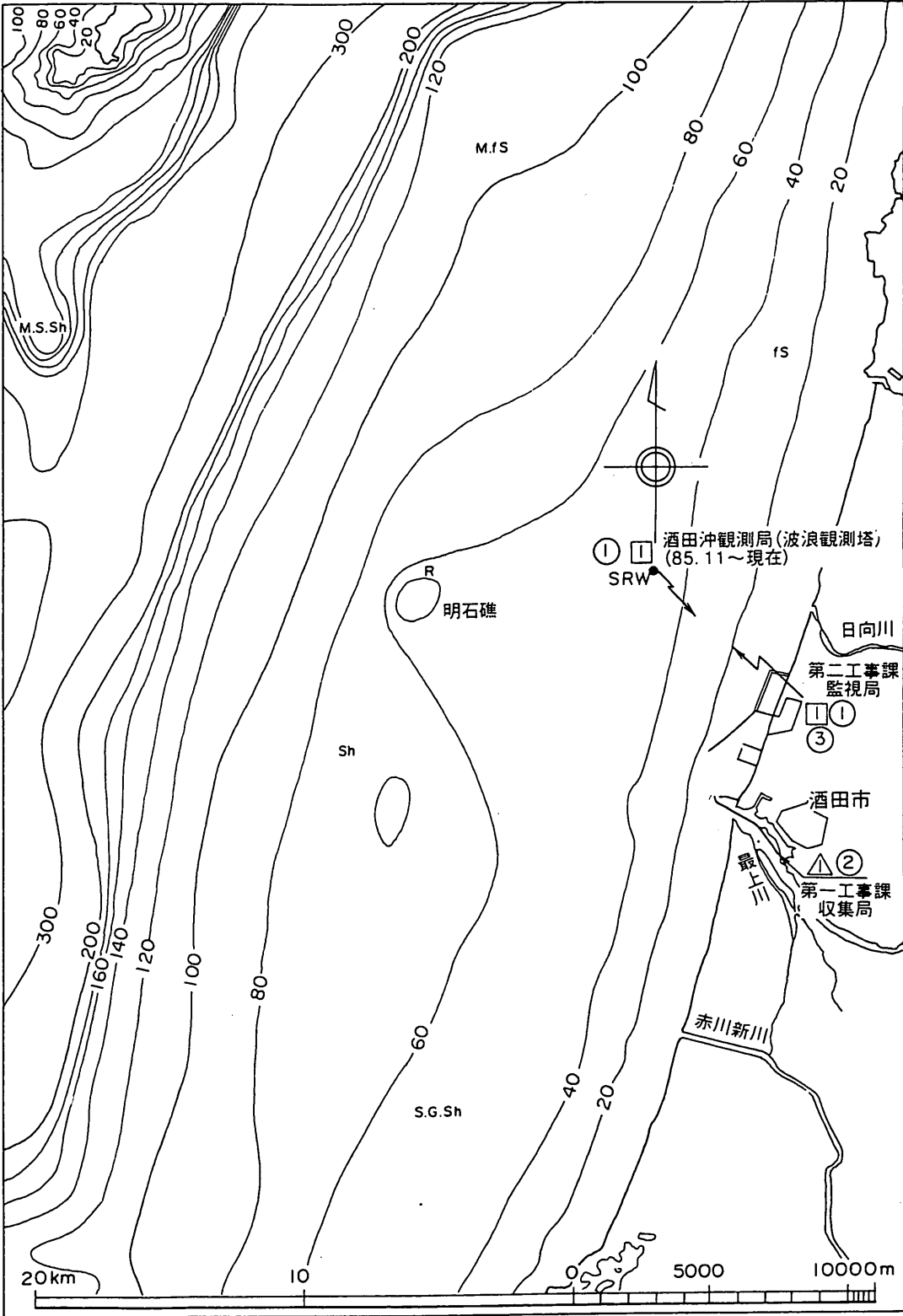


付図-3.11 秋田港検潮所位置図 (その1)

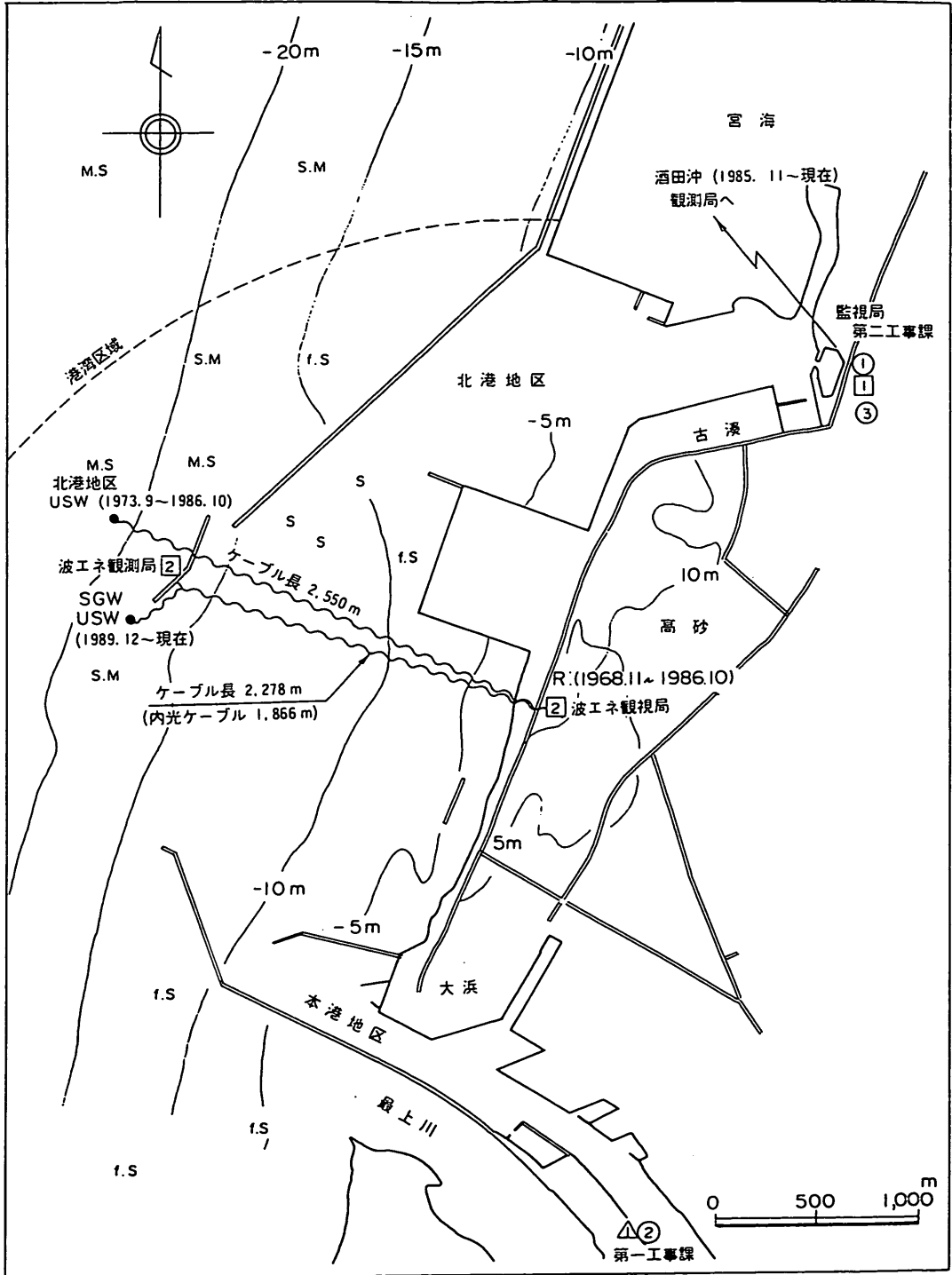


付図-3.11 秋田港検潮所位置図 (その2)

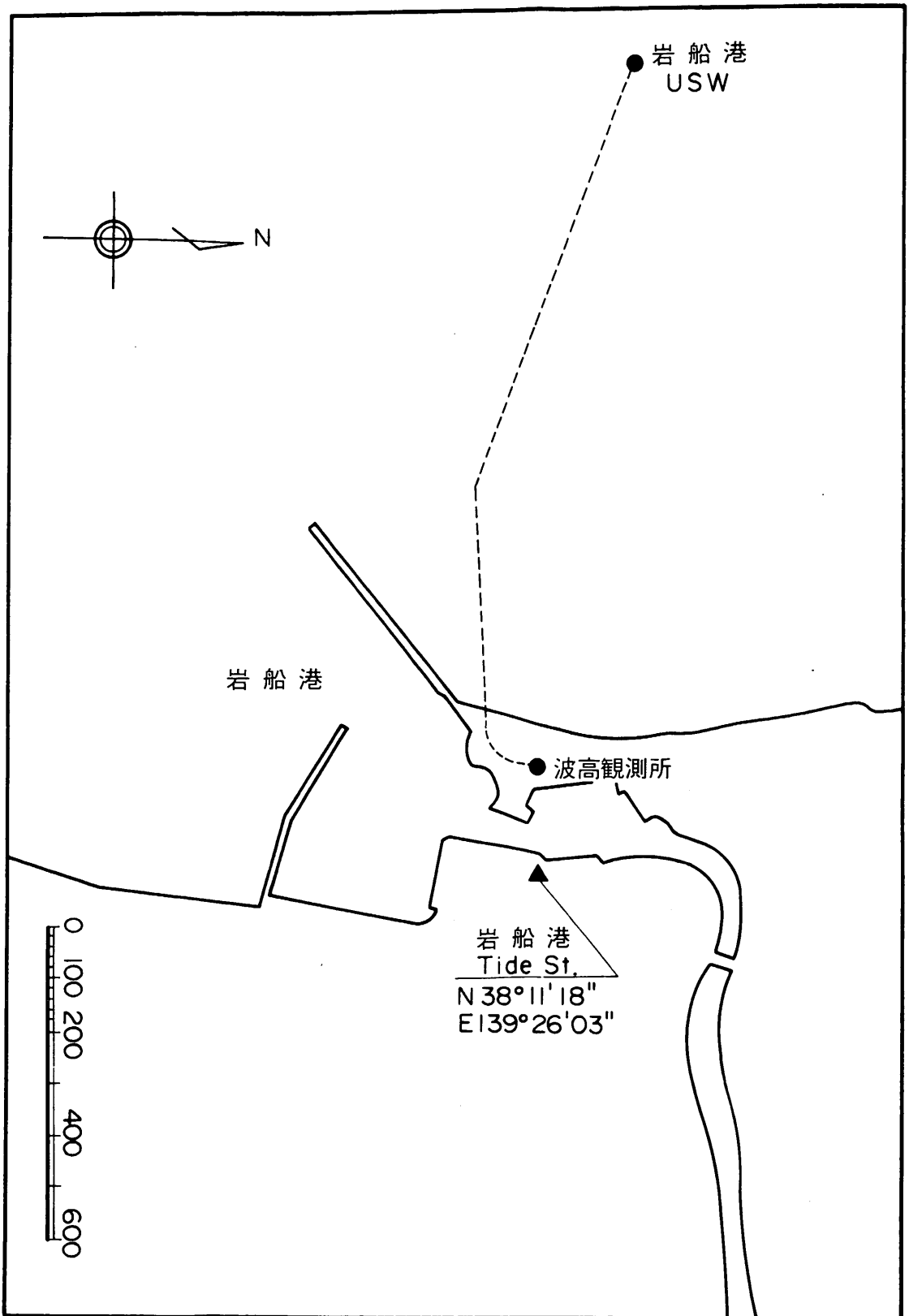
観測港名 施設呼称	酒田港・酒田沖(酒田マフコ)	所管所名	酒田港工事事務所
--------------	----------------	------	----------



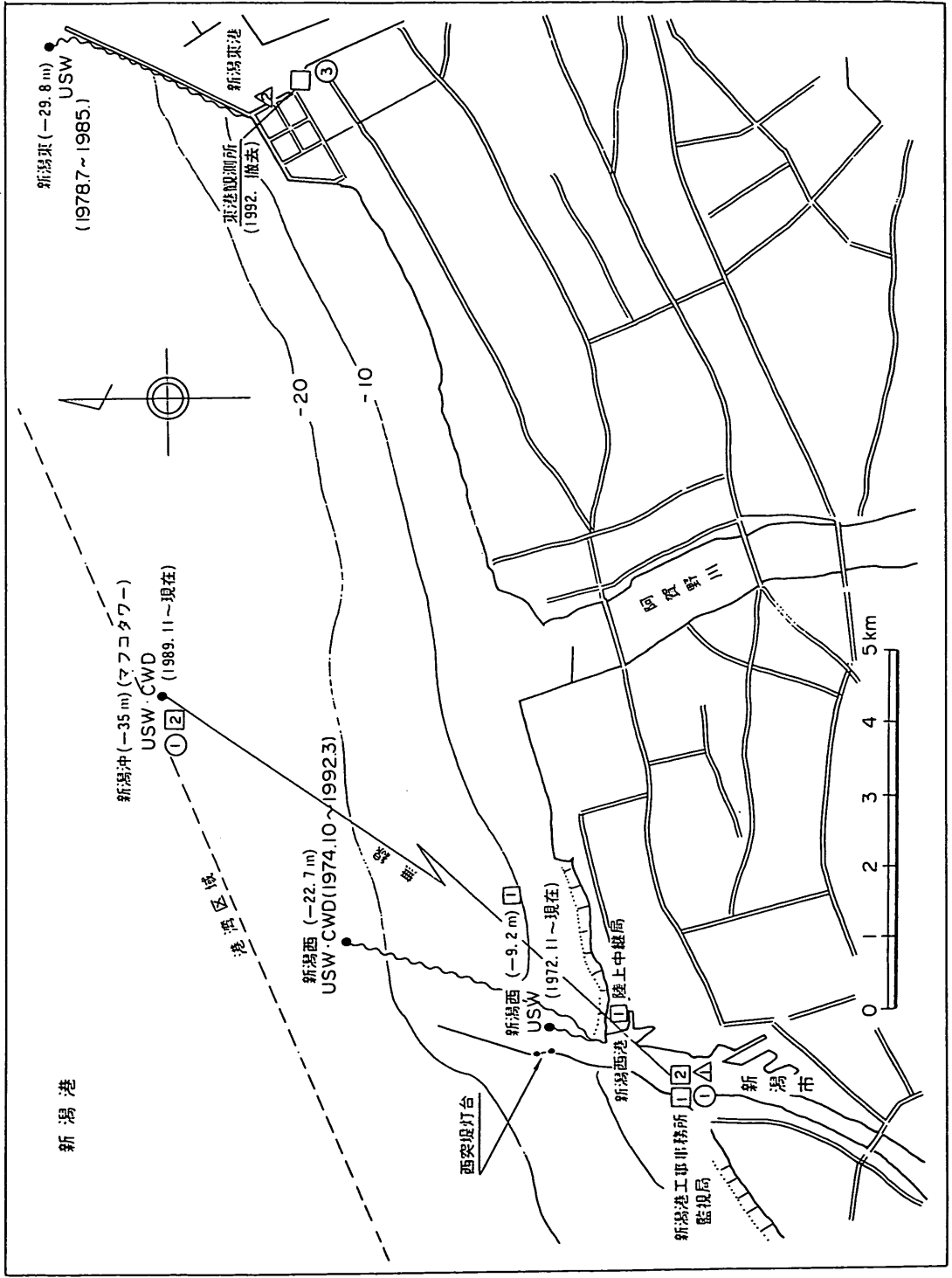
付図-3.12 酒田港検潮所位置図 (その1)



付図-3.12 酒田港検潮所位置図 (その2)

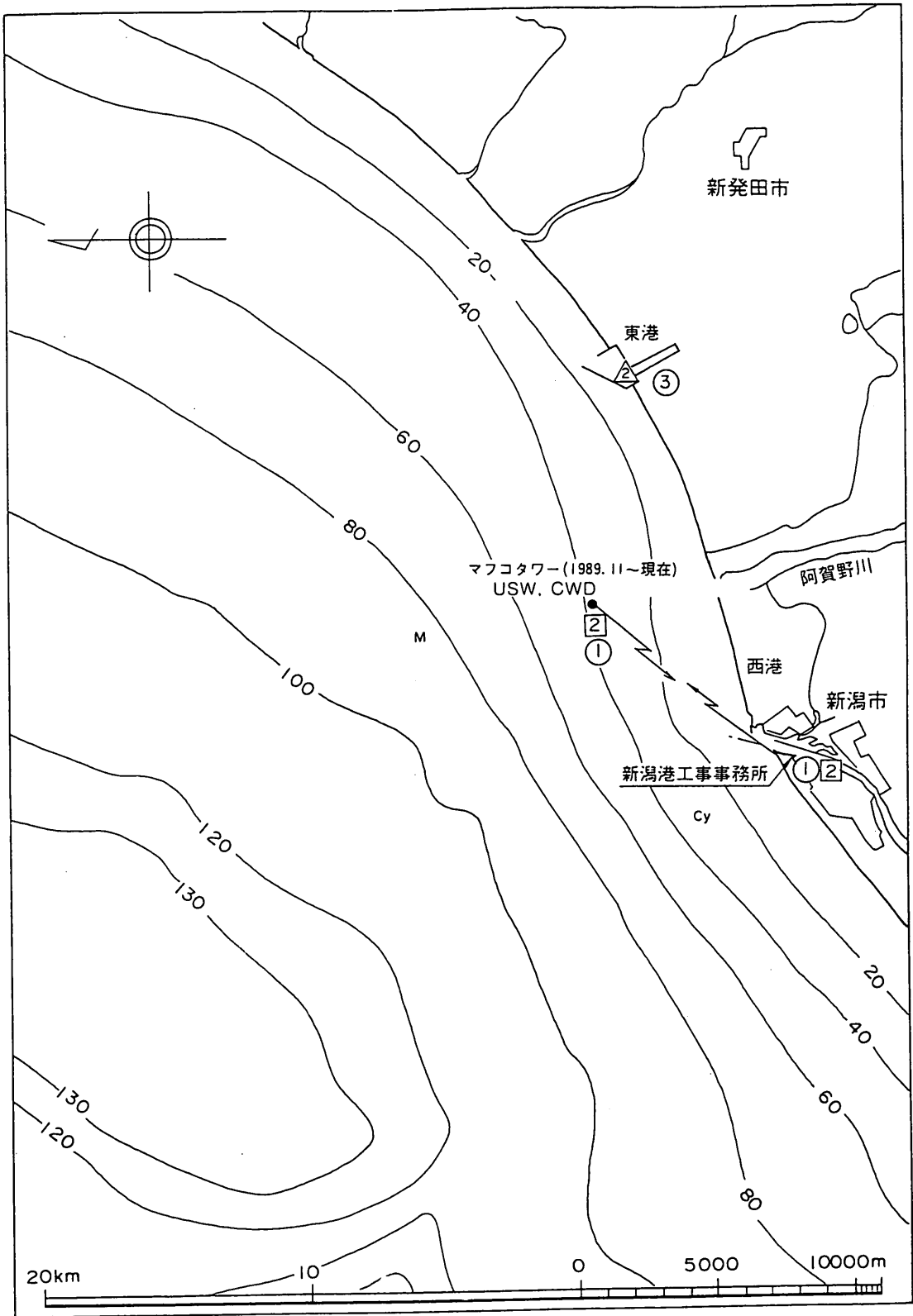


付図-3.13 岩船港検潮所位置図

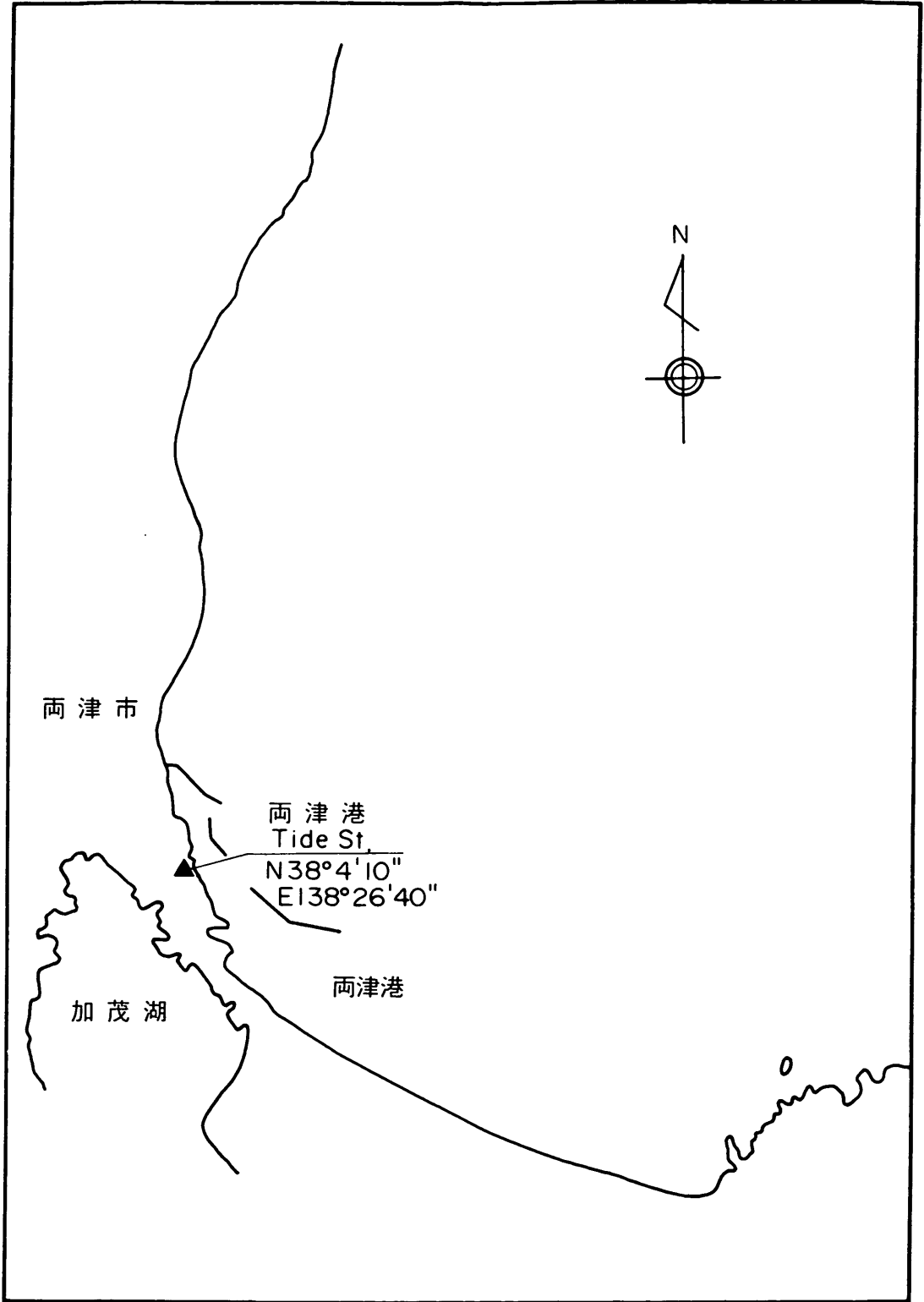


付図-3.14 新潟東・西港検潮所位置図 (その1)

観測港名 施設呼称	新潟港・新潟沖 (マフコ)	所管所名	新潟港工事事務所
--------------	---------------	------	----------

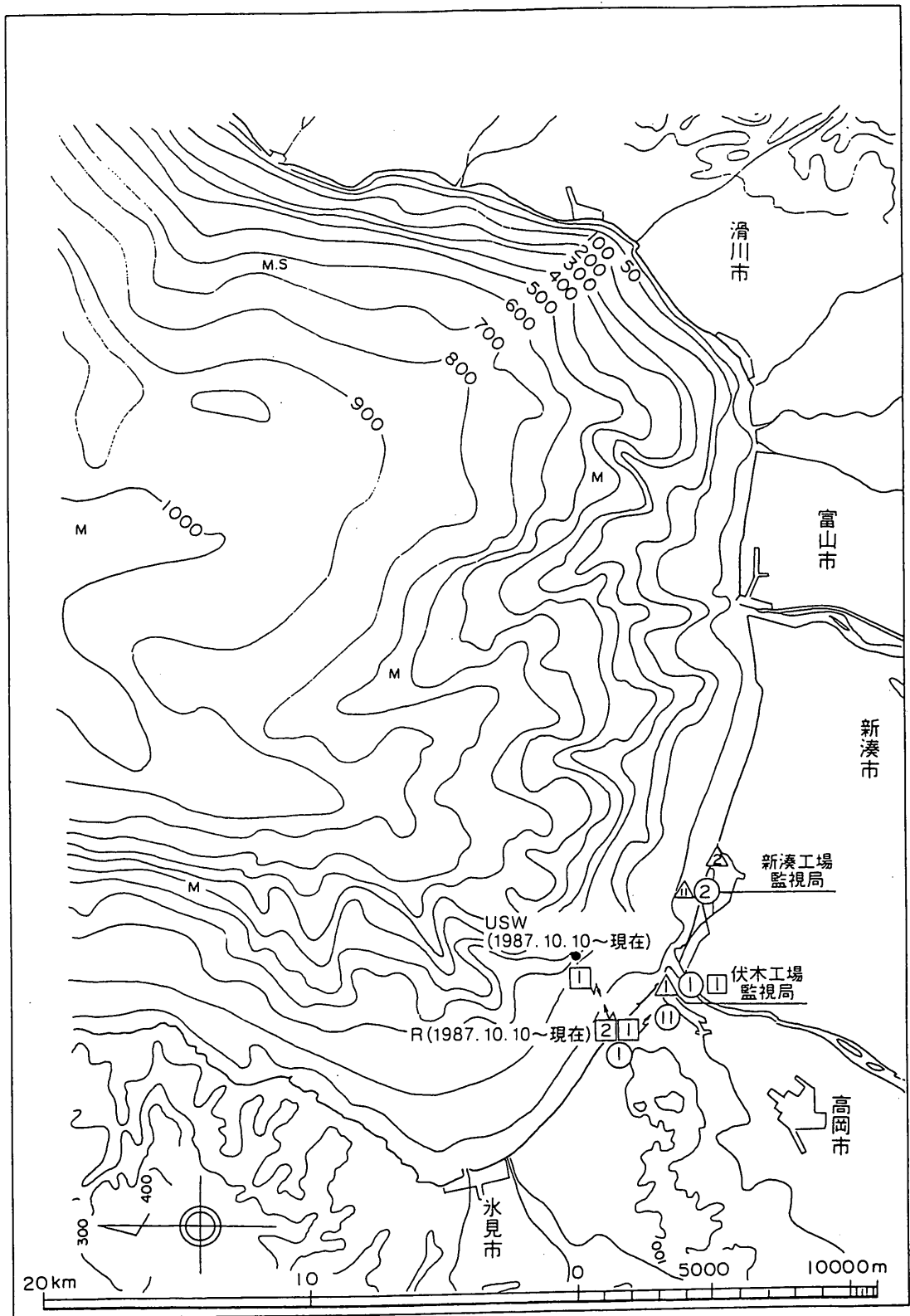


付図-3.15 新潟東・西港検潮所位置図 (その2)

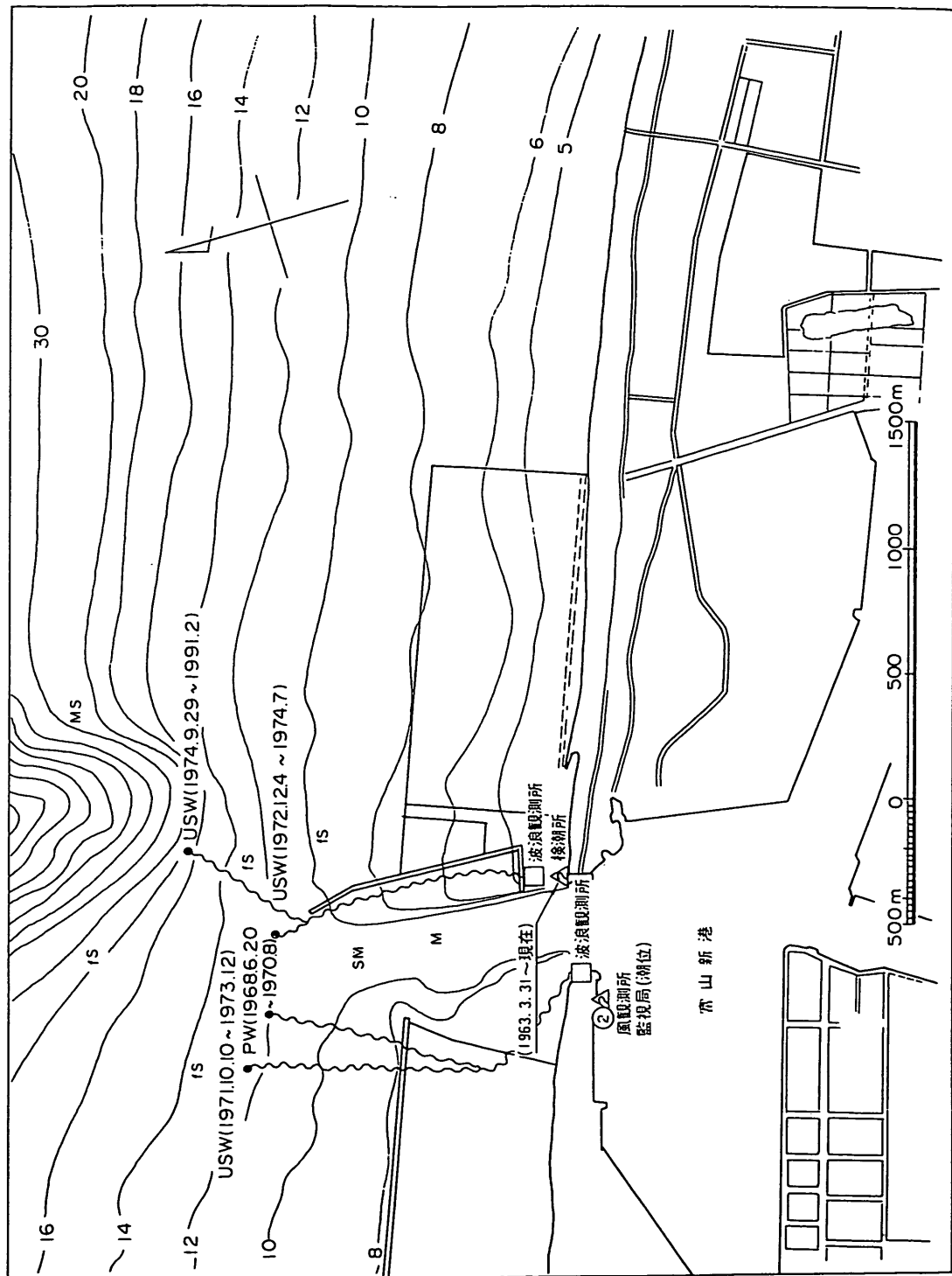


付図-3.16 両津港検潮所位置図

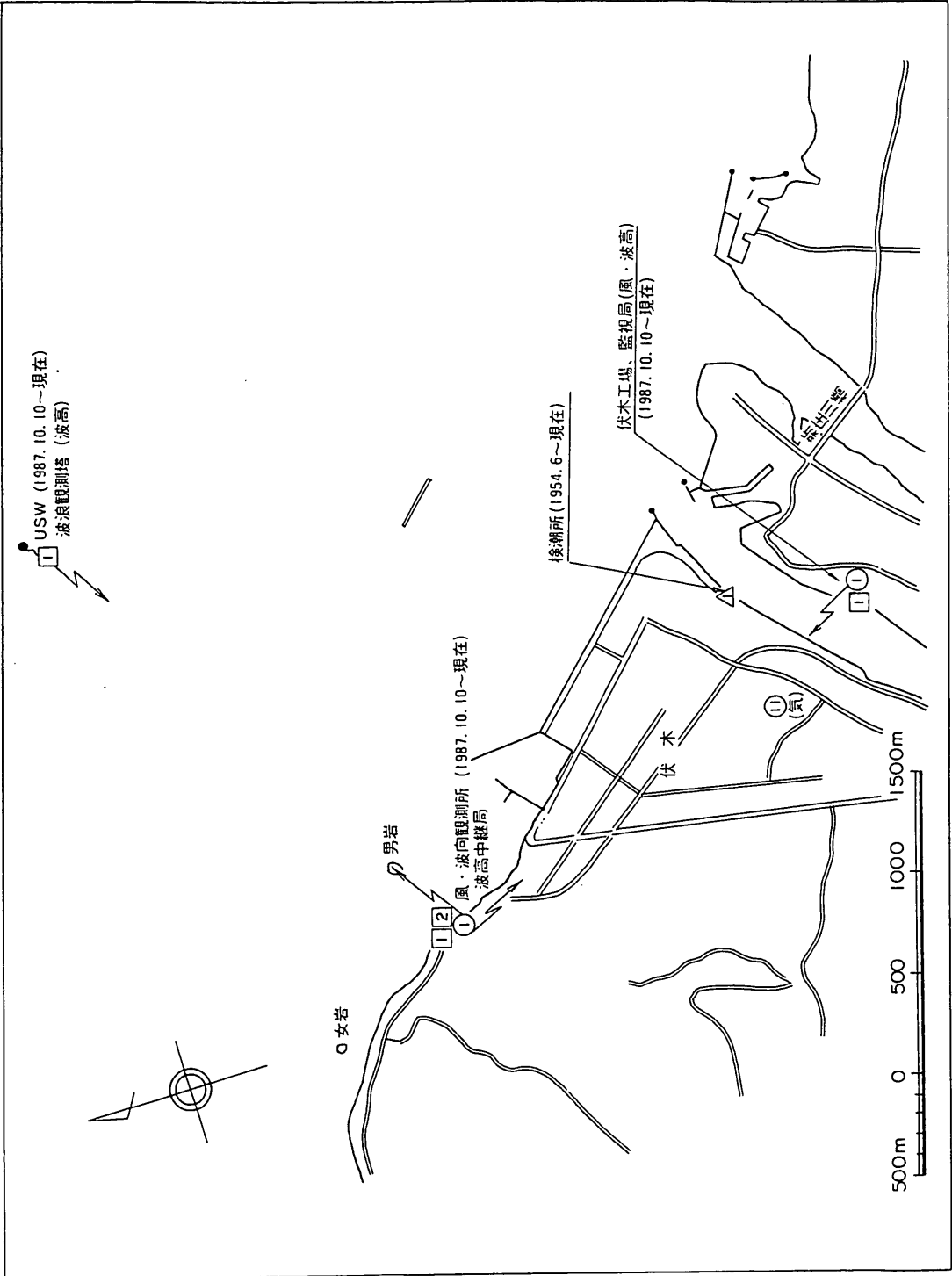
観測港名 施設呼称	伏木富山港・新湊地区(伏木地区)	所管所名	伏木富山港工事事務所
--------------	------------------	------	------------



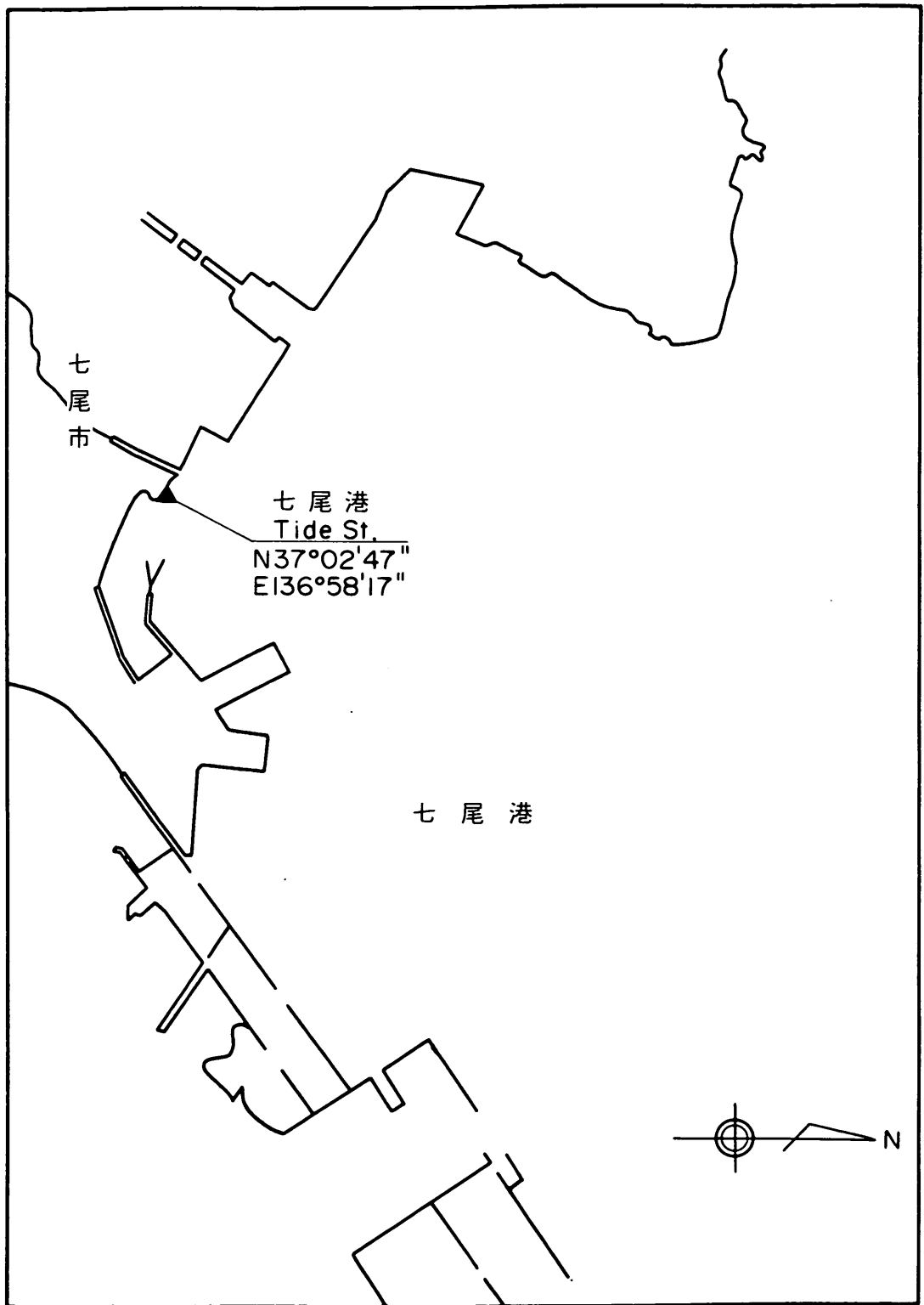
付図-3.17 新湊港検潮所位置図 (その1)



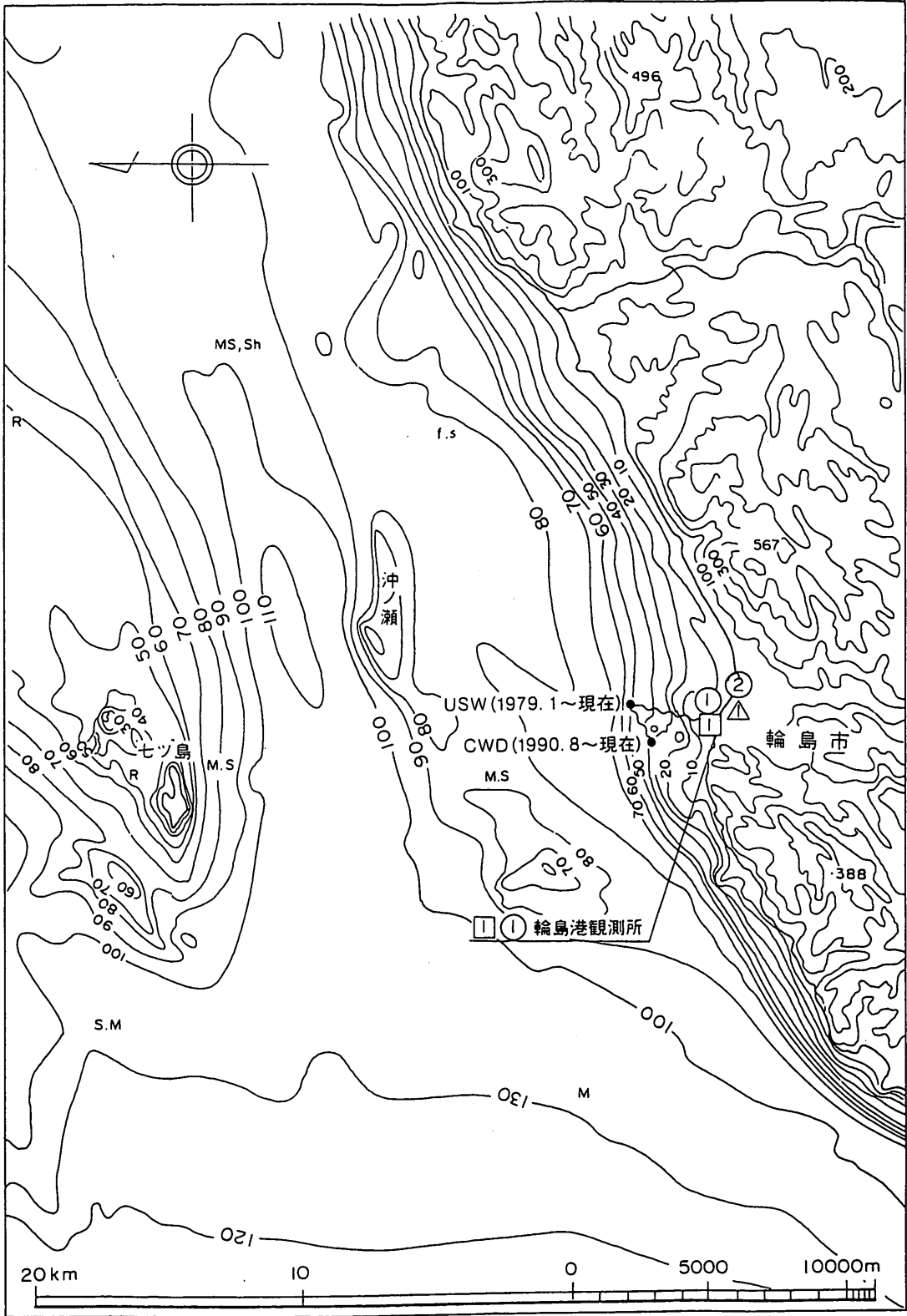
付図-3.17 新湊港検潮所位置図 (その2)



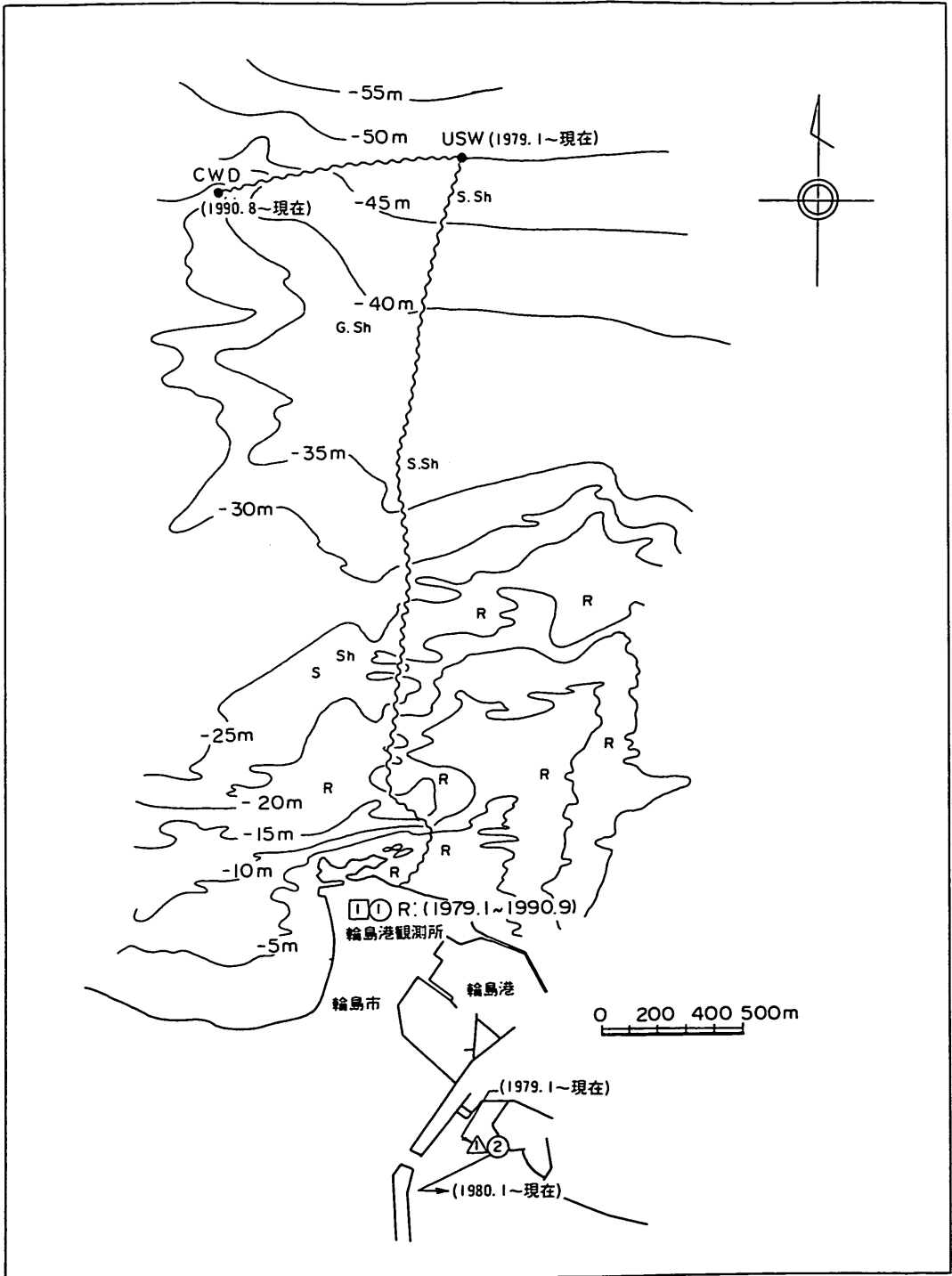
付図-3.18 伏木港検潮所位置図



付図-3.19 七尾港検潮所位置図

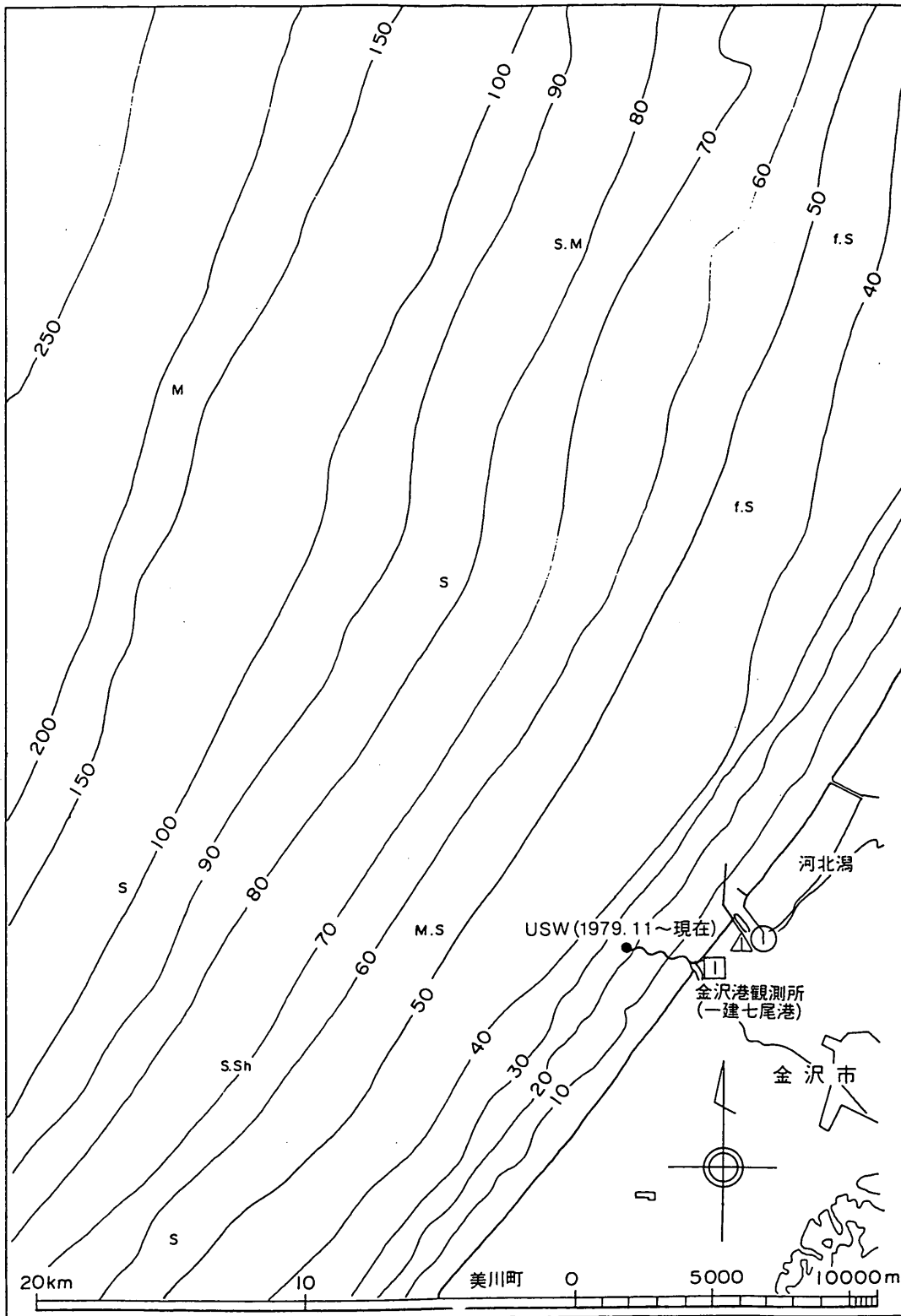


付図-3.20 輪島港検潮所位置図 (その1)

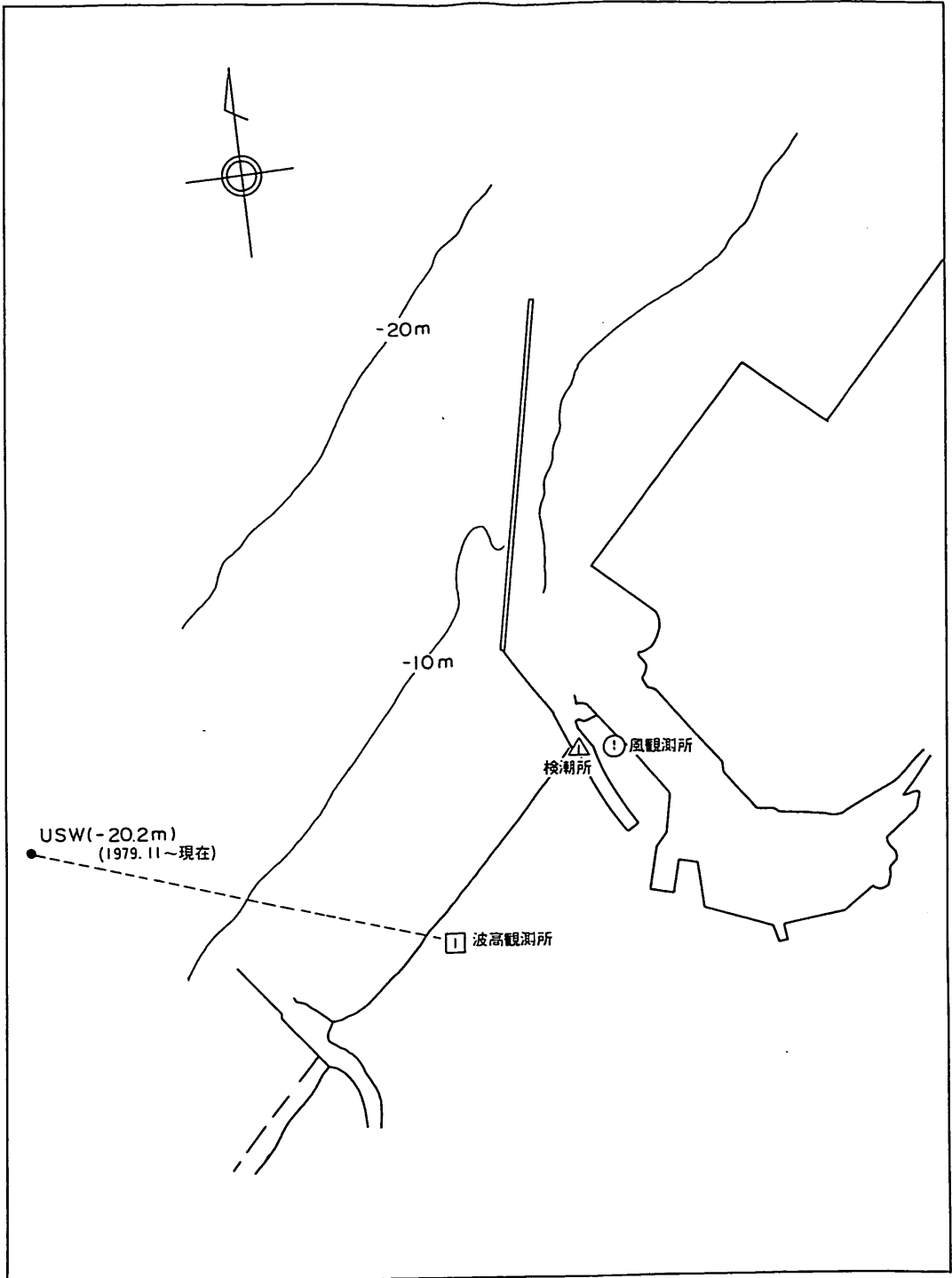


付図-3.20 輪島港検潮所位置図 (その2)

観測港名 施設呼称	金 沢 港	所 管 所 名	金沢港工事事務所
--------------	-------	---------	----------

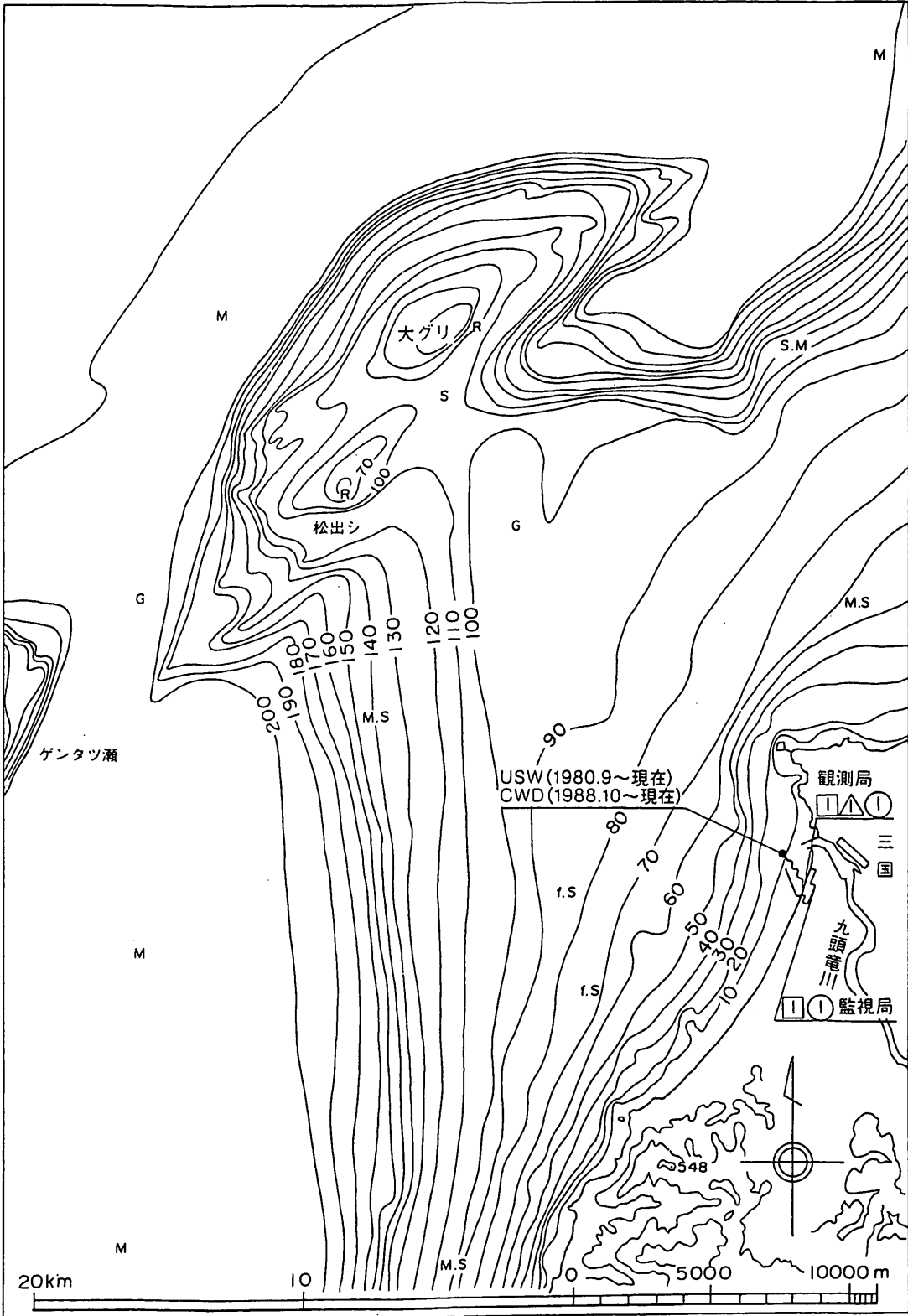


付図-3.21 金沢港検潮所位置図 (その1)

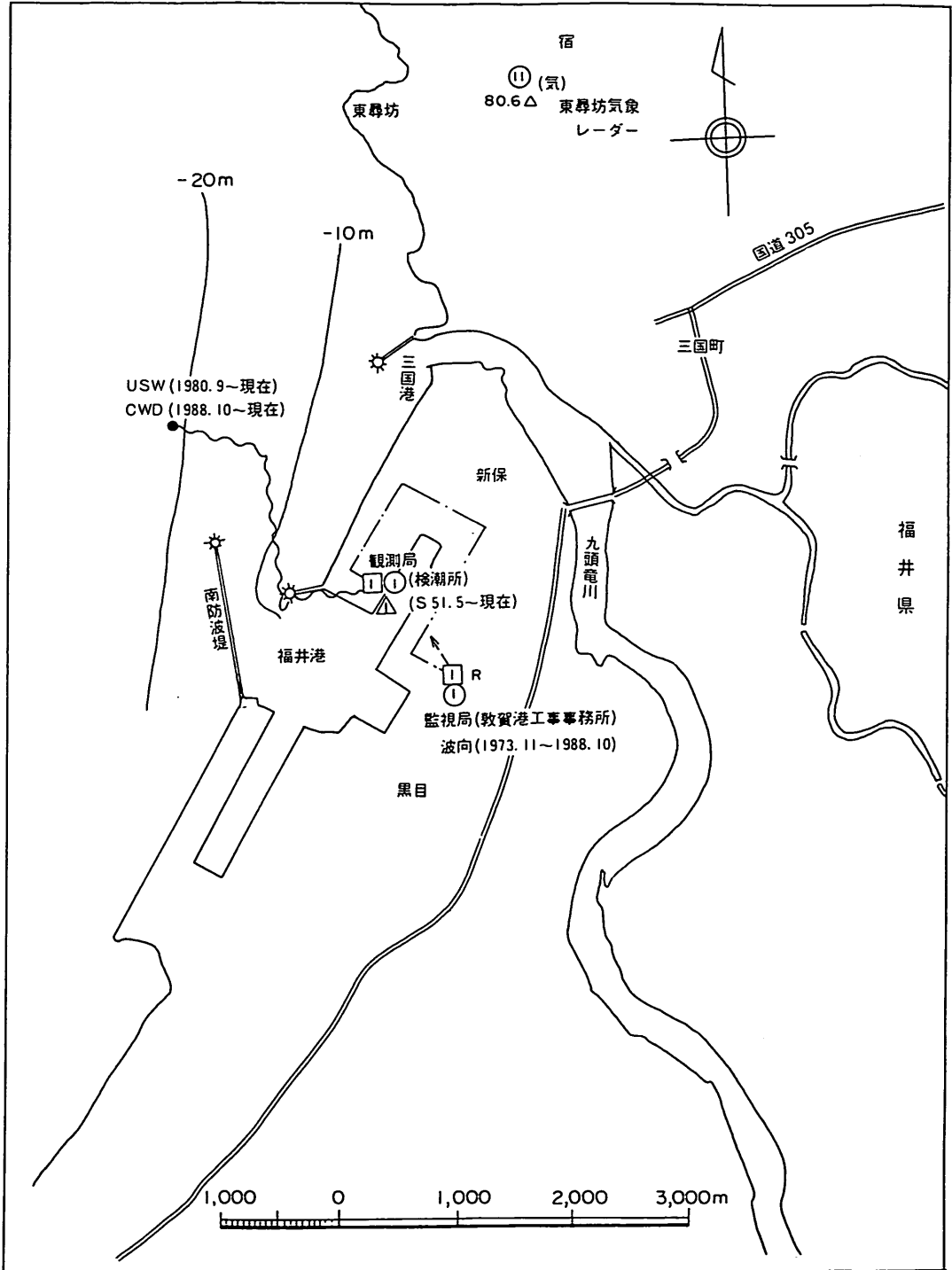


付図-3.21 金沢港検潮所位置図(その2)

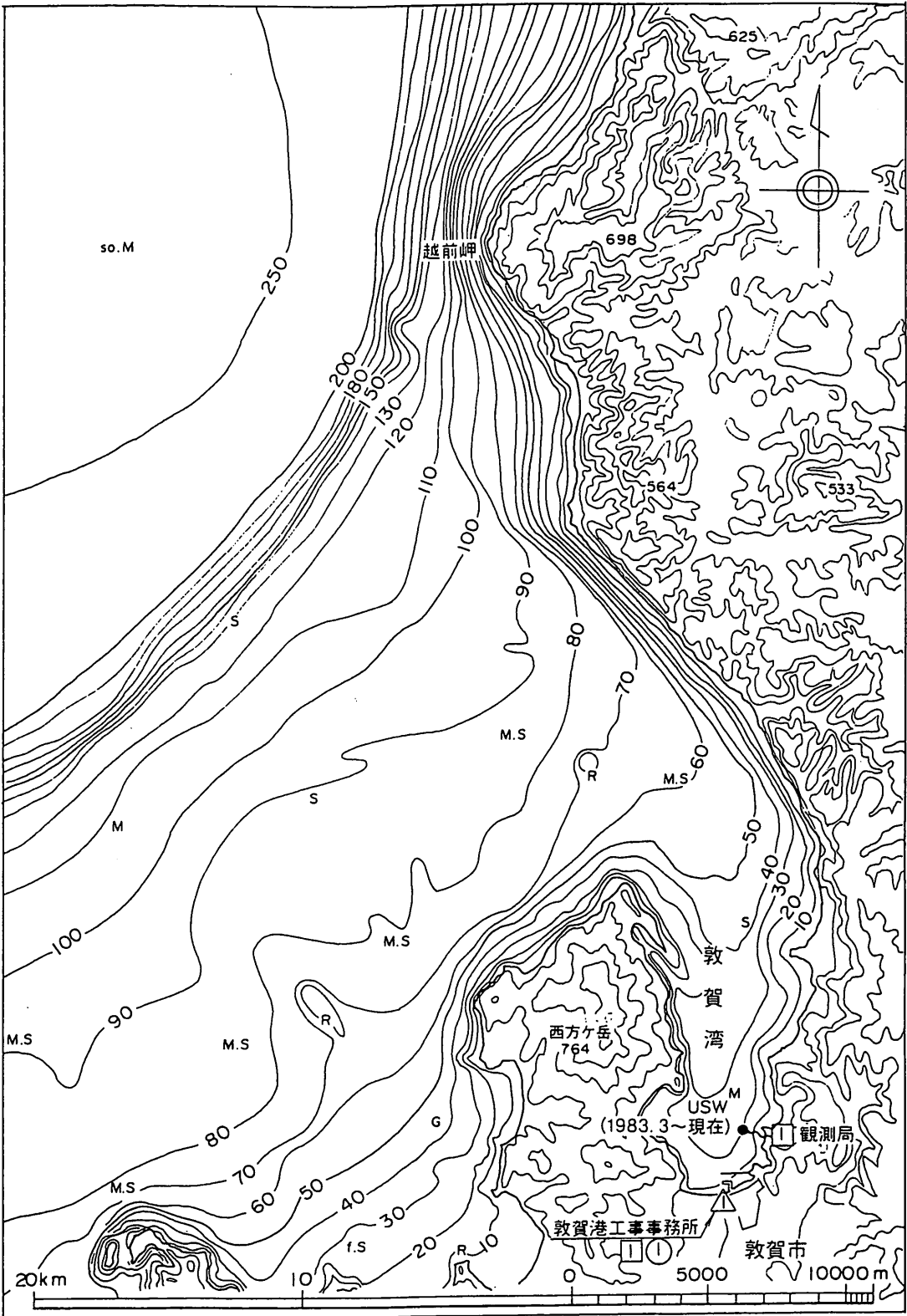
観測港名 施設呼称	福井港	所管所名	敦賀港工事事務所
--------------	-----	------	----------



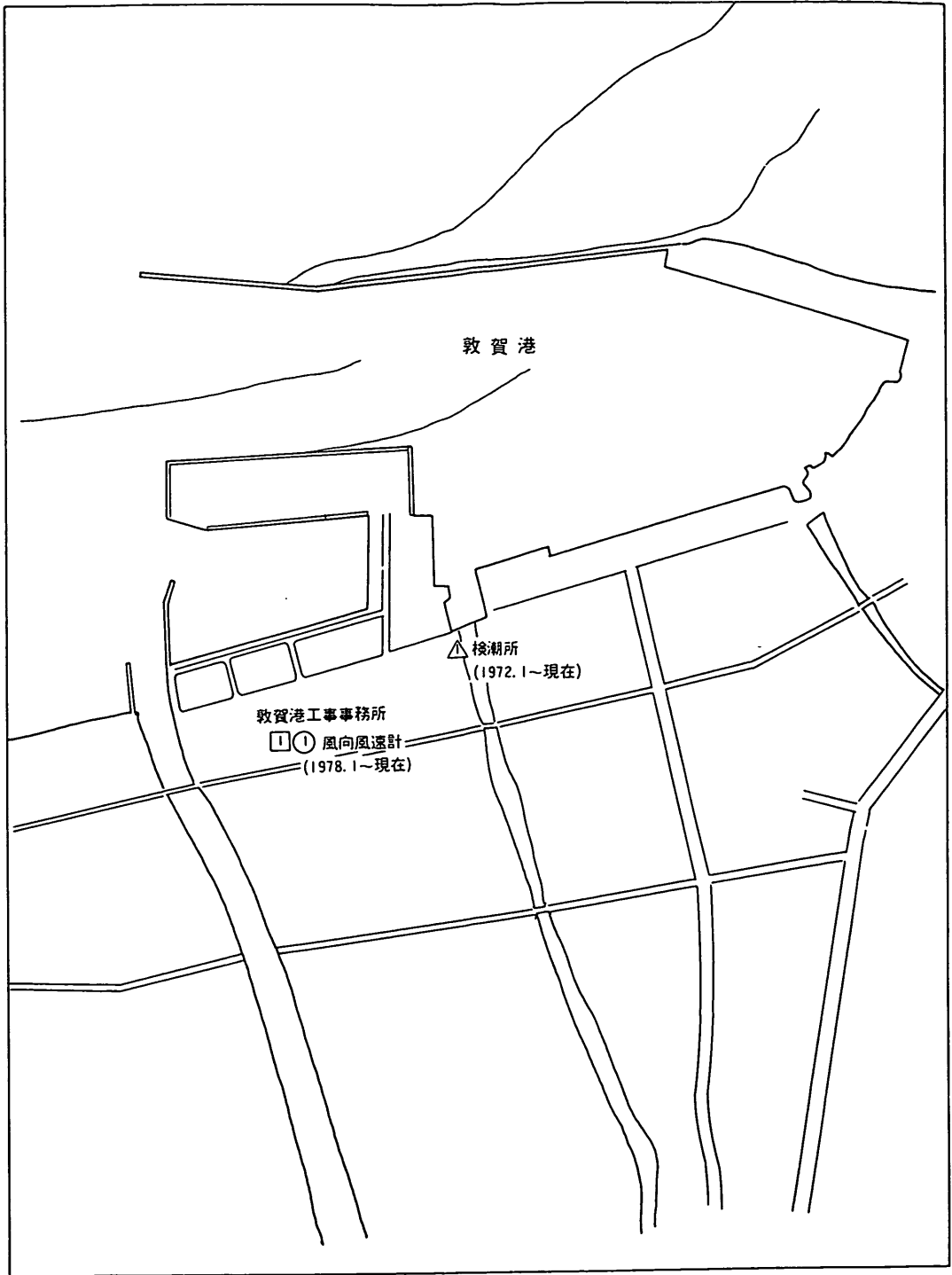
付図-3.22 福井港検潮所位置図 (その1)



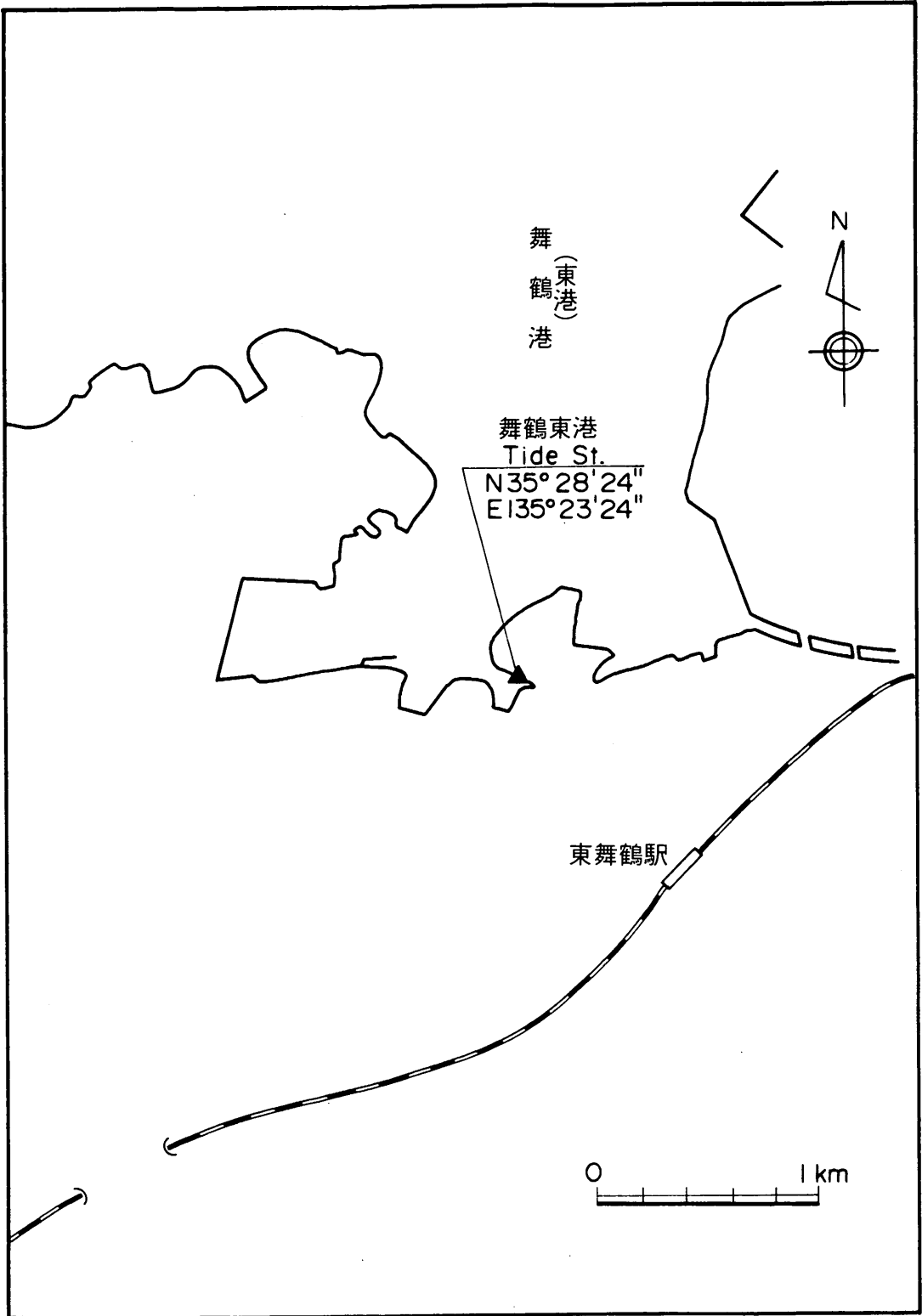
付図-3.22 福井港検潮所位置図 (その2)



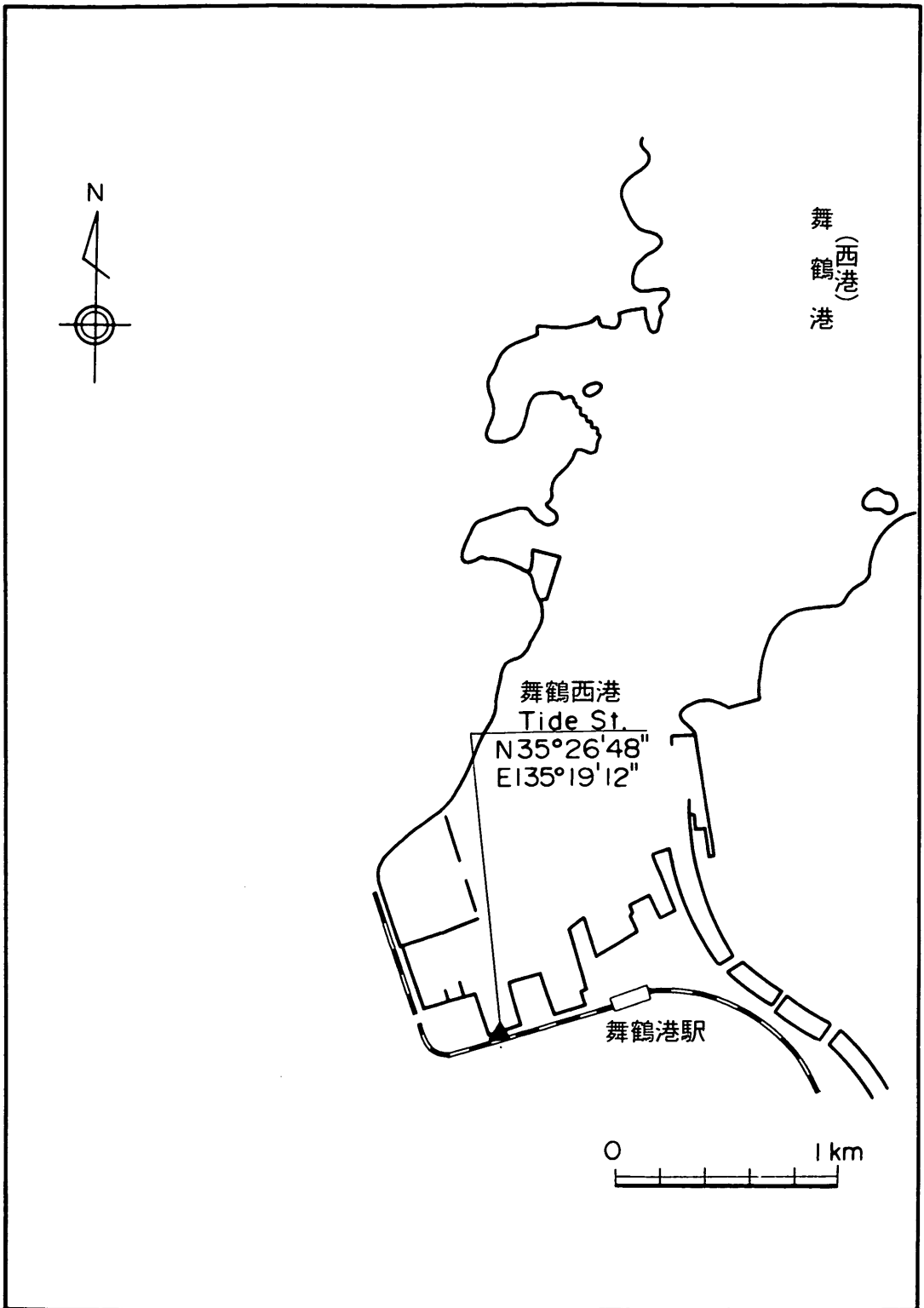
付図-3.23 敦賀港検潮所位置図 (その1)



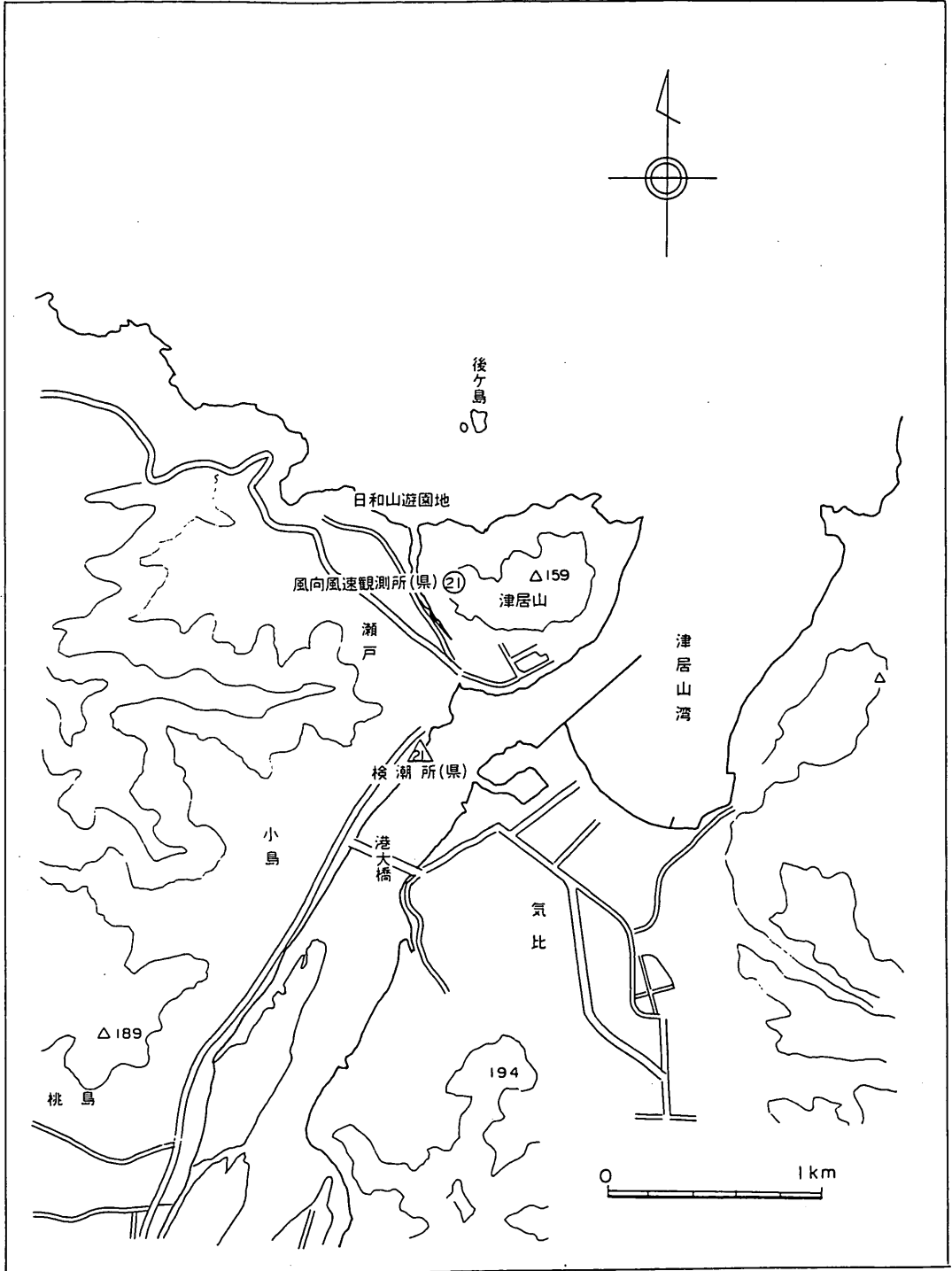
付図-3.23 敦賀港検潮所位置図 (その2)



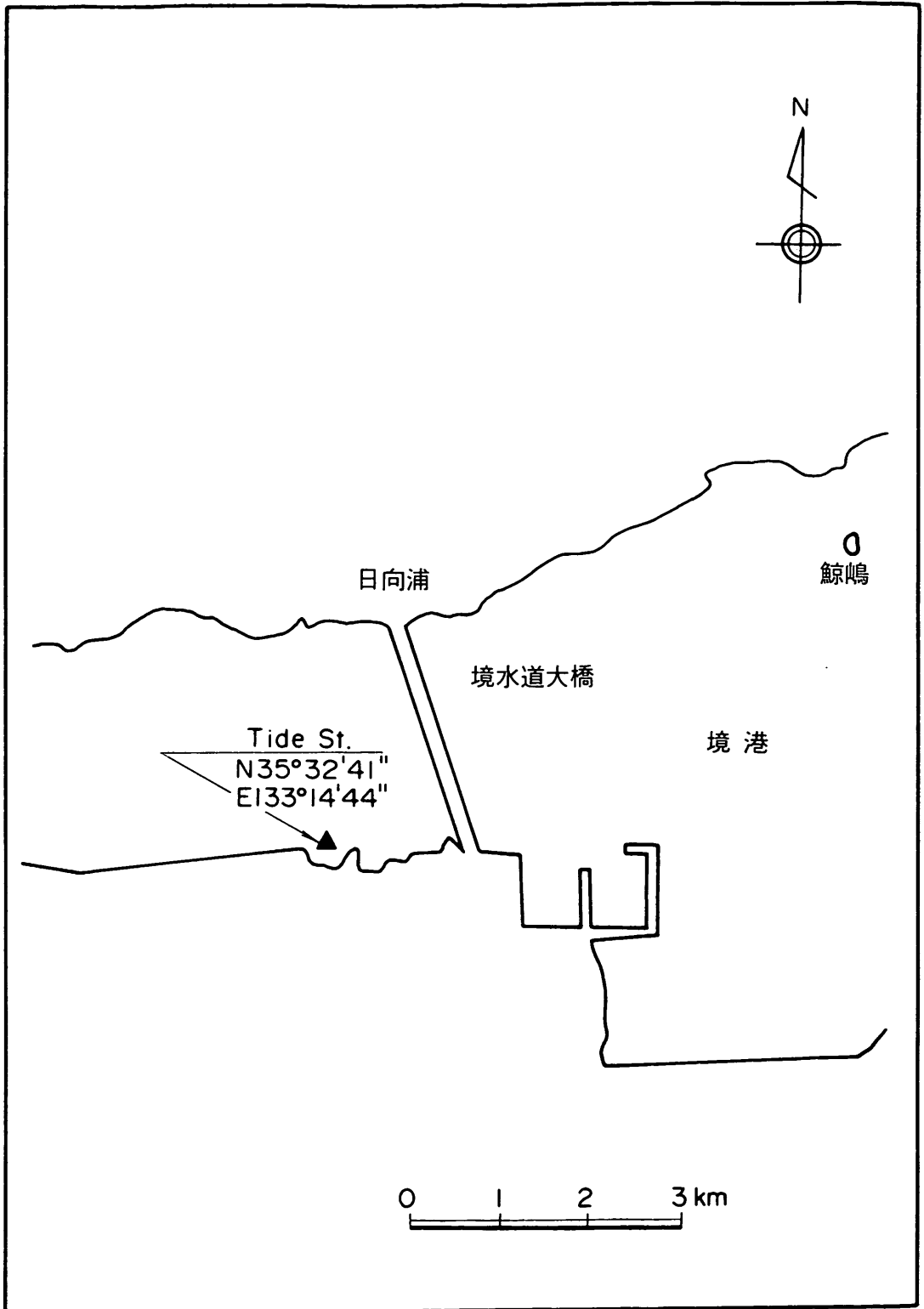
付図-3.24 舞鶴東港検潮所位置図



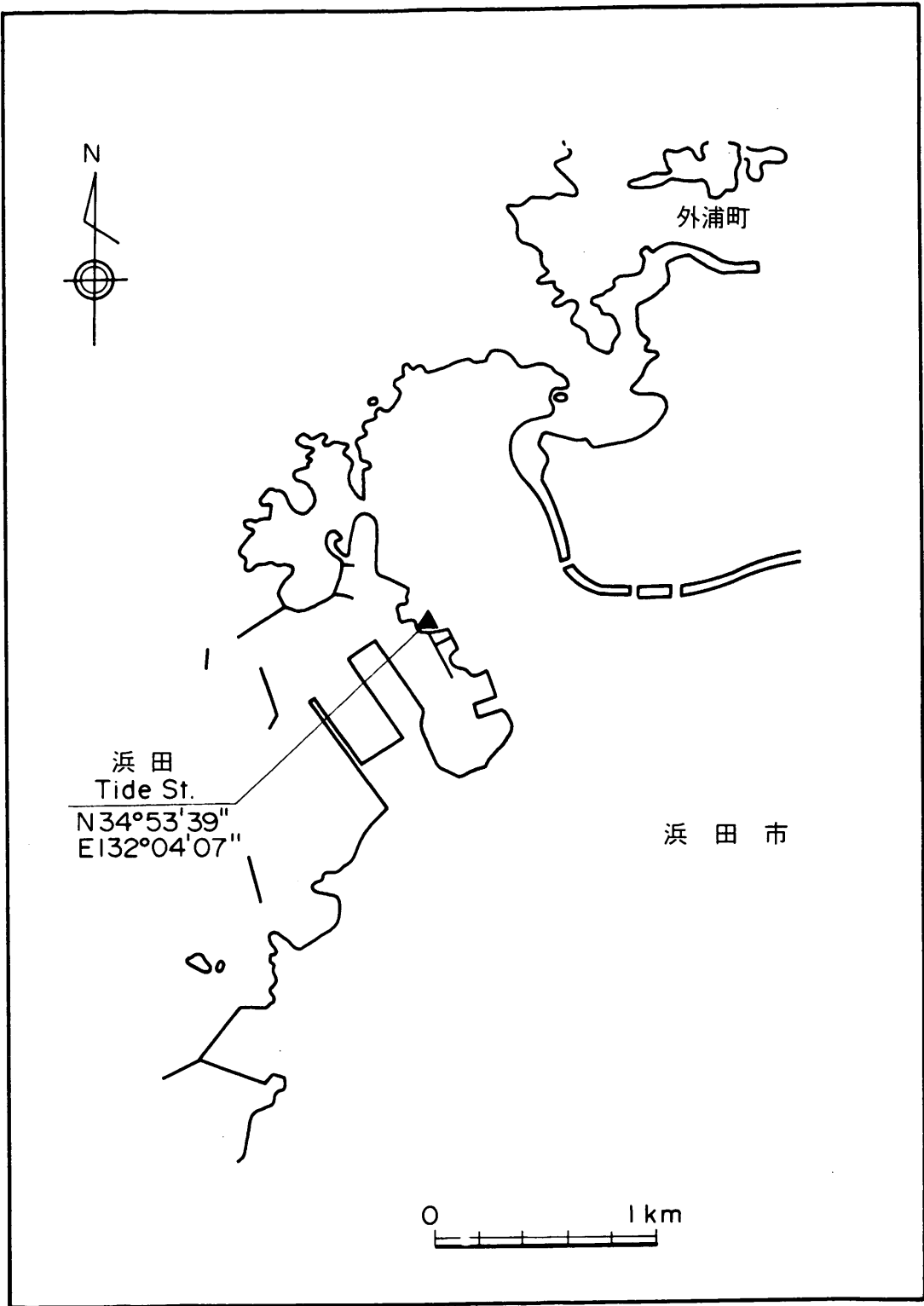
付図-3.25 舞鶴西港検潮所位置図



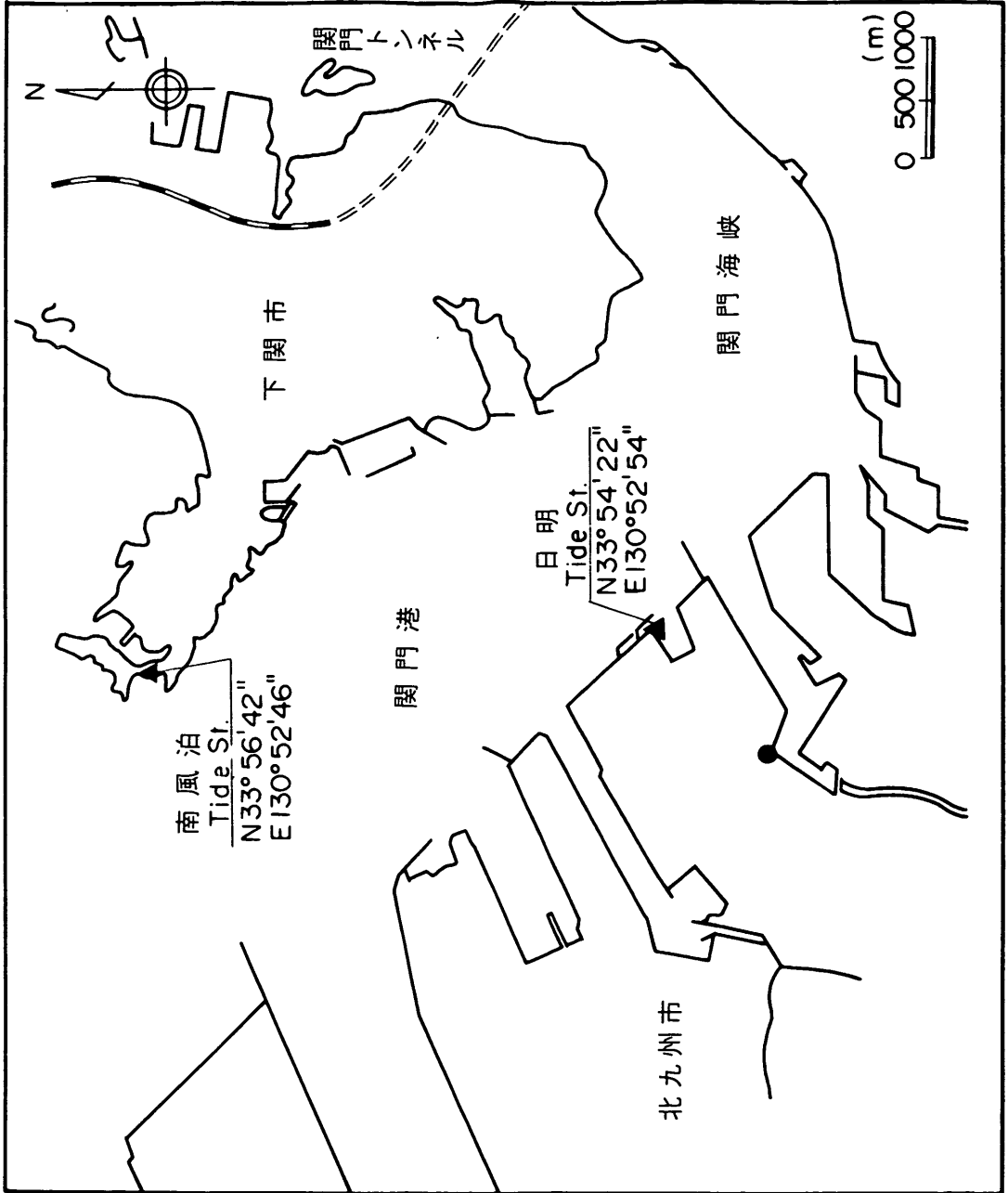
付図-3.26 津居山検潮所位置図



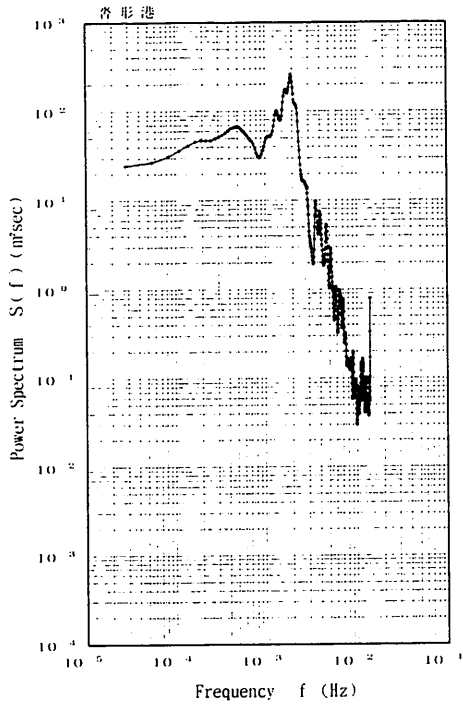
付図-3.27 境港検潮所位置図



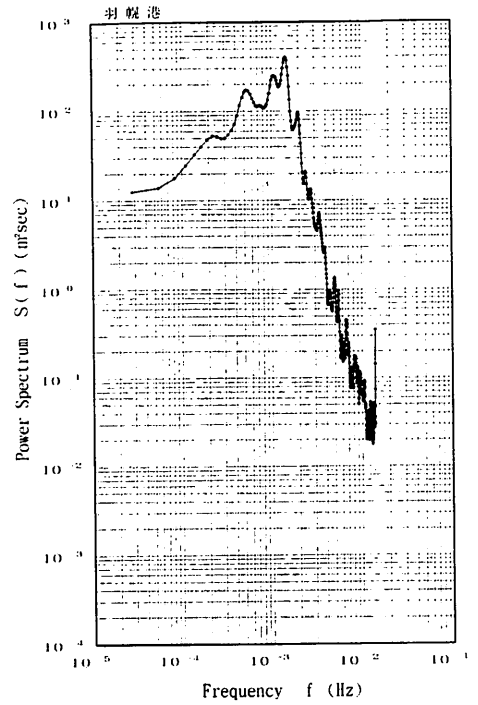
付図-3.28 浜田港検潮所位置図



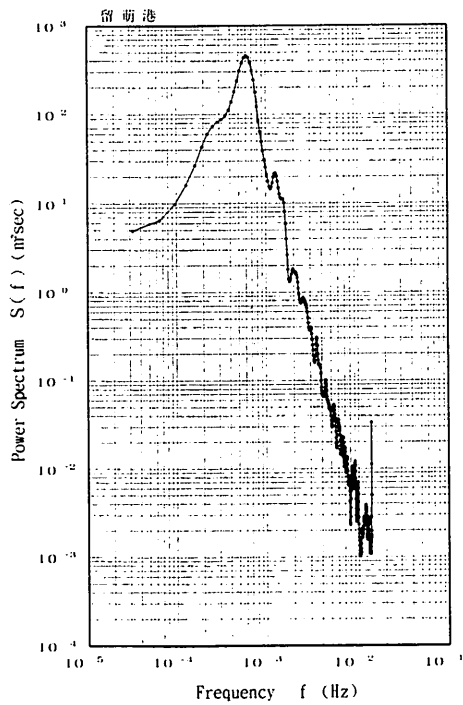
付図-3.30 南風泊・日明検潮所位置図



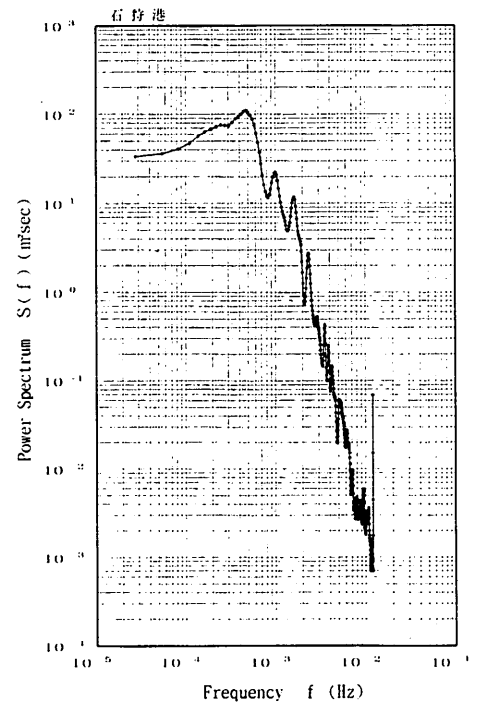
付図-4.1 杓形港の潮位変動の周波数スペクトル



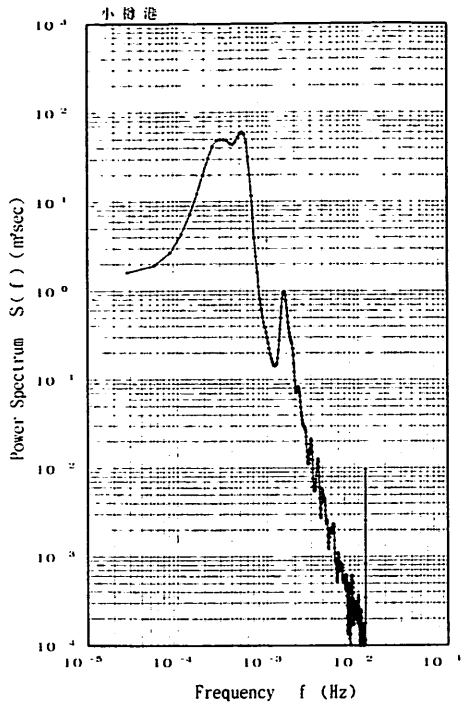
付図-4.2 羽幌港の潮位変動の周波数スペクトル



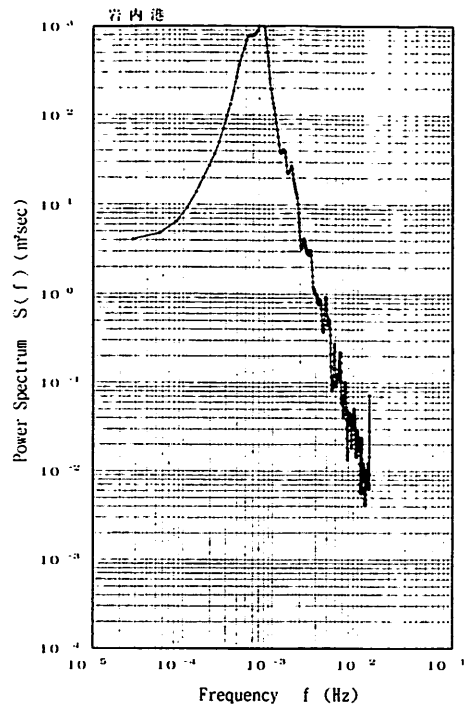
付図-4.3 留萌港の潮位変動の周波数スペクトル



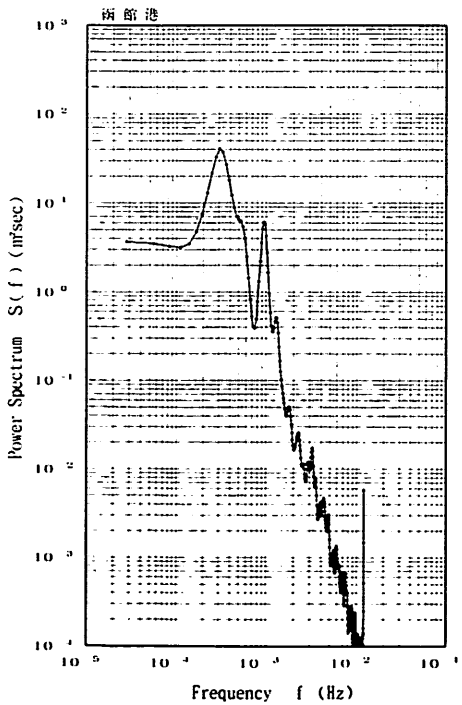
付図-4.4 石狩新港の潮位変動の周波数スペクトル



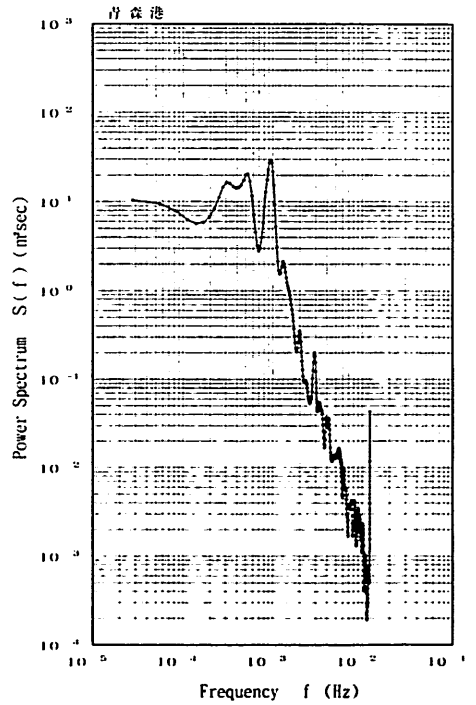
付図-4.5 小樽港の潮位変動の周波数スペクトル



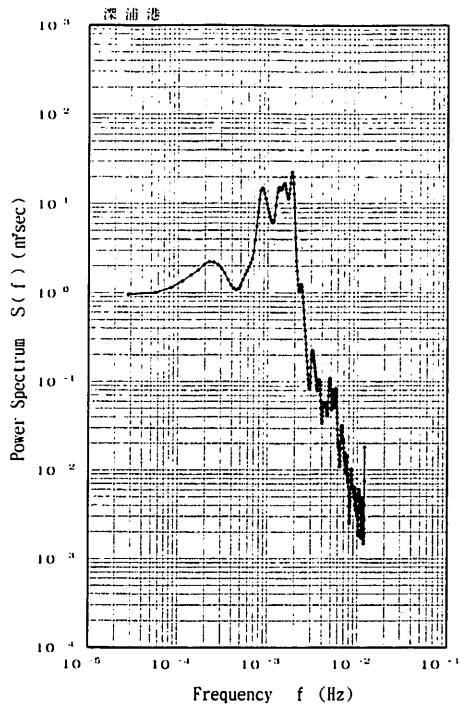
付図-4.6 岩内港の潮位変動の周波数スペクトル



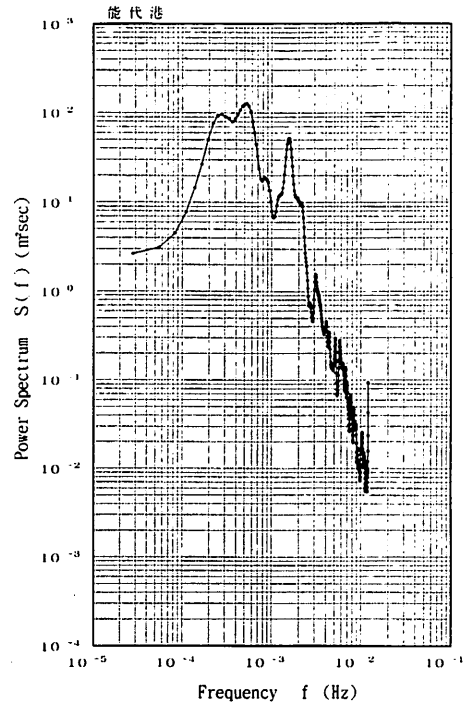
付図-4.7 函館港の潮位変動の周波数スペクトル



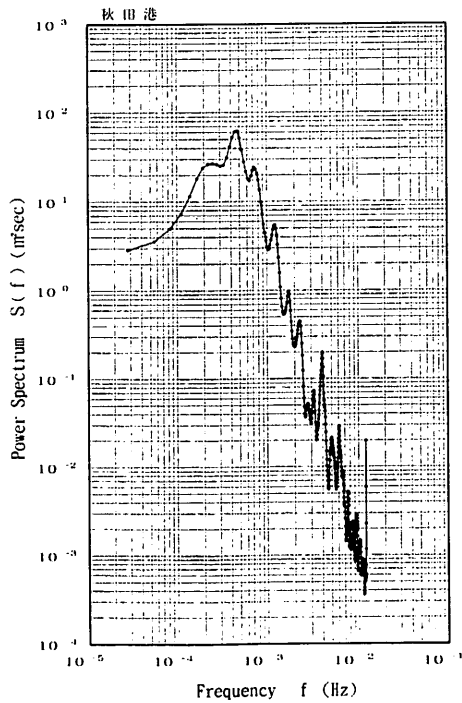
付図-4.8 青森港の潮位変動の周波数スペクトル



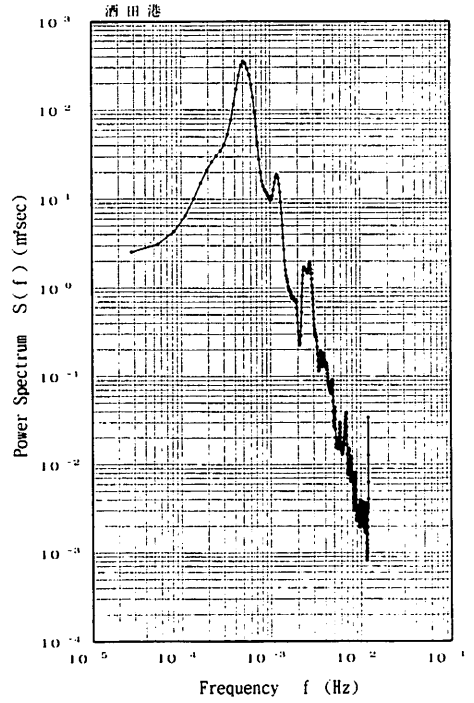
付図-4.9 深浦港の潮位変動の周波数スペクトル



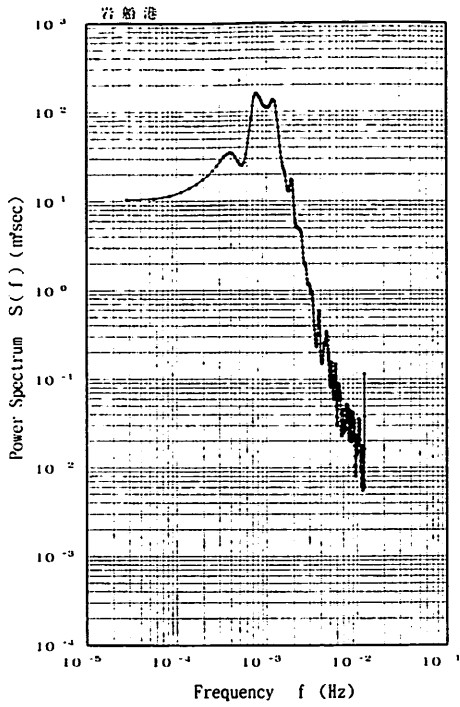
付図-4.10 能代港の潮位変動の周波数スペクトル



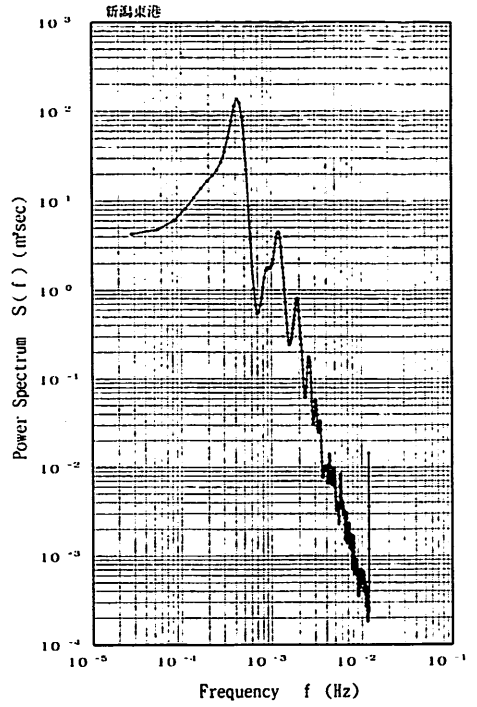
付図-4.11 秋田港の潮位変動の周波数スペクトル



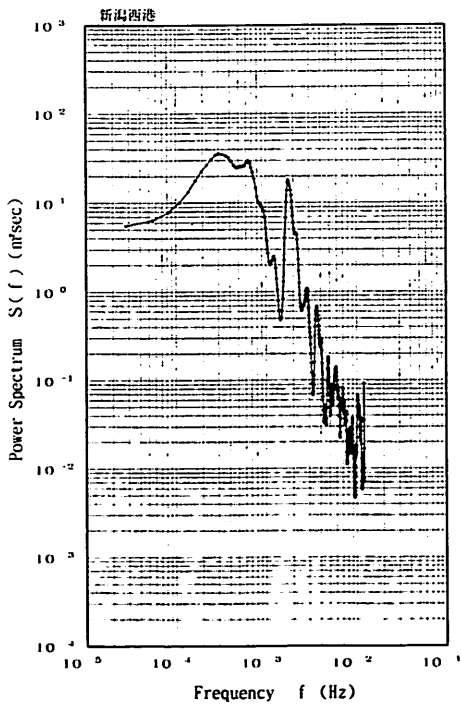
付図-4.12 酒田港の潮位変動の周波数スペクトル



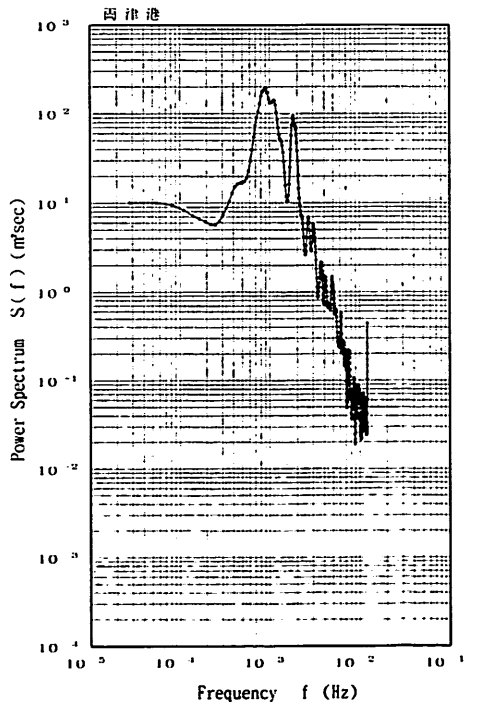
付図-4.13 岩船港の潮位変動の周波数スペクトル



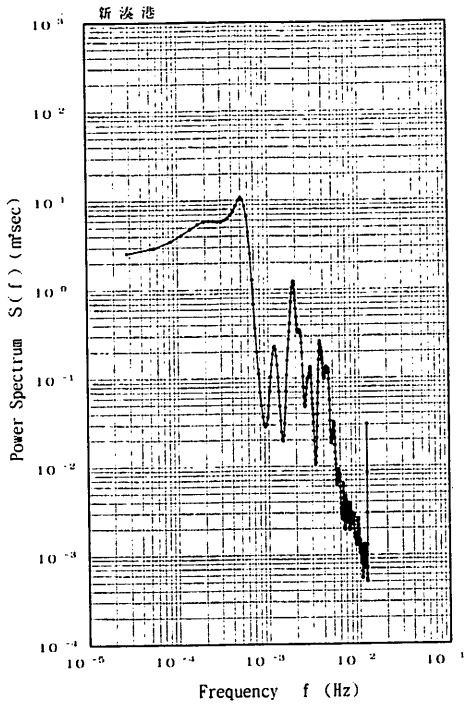
付図-4.14 新潟東港の潮位変動の周波数スペクトル



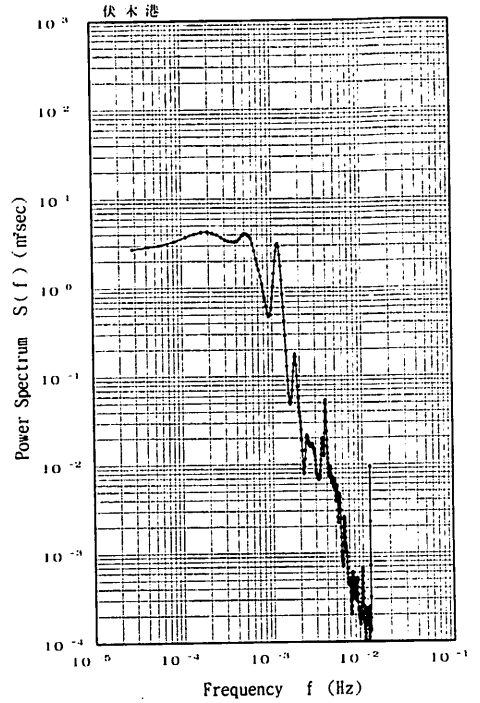
付図-4.15 新潟西港の潮位変動の周波数スペクトル



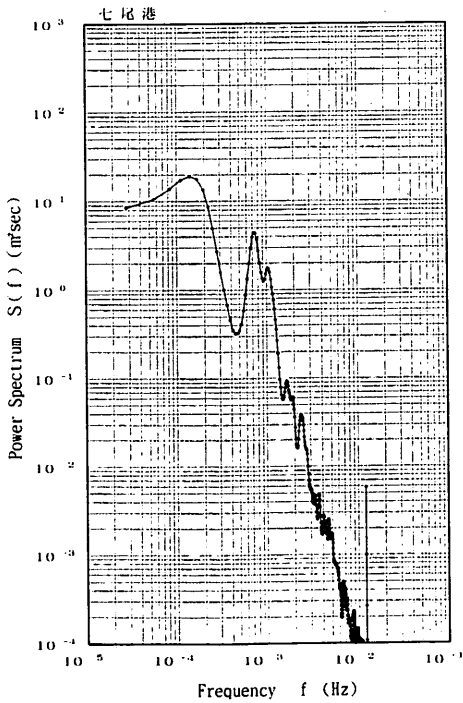
付図-4.16 新潟港の潮位変動の周波数スペクトル



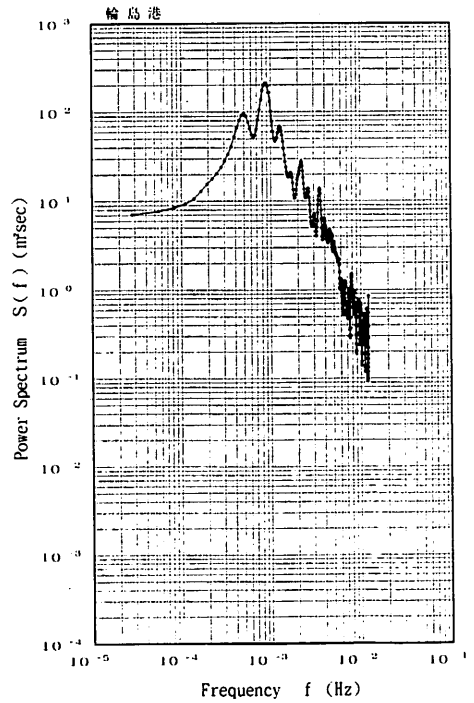
付図-4.17 新湊港の潮位変動の周波数スペクトル



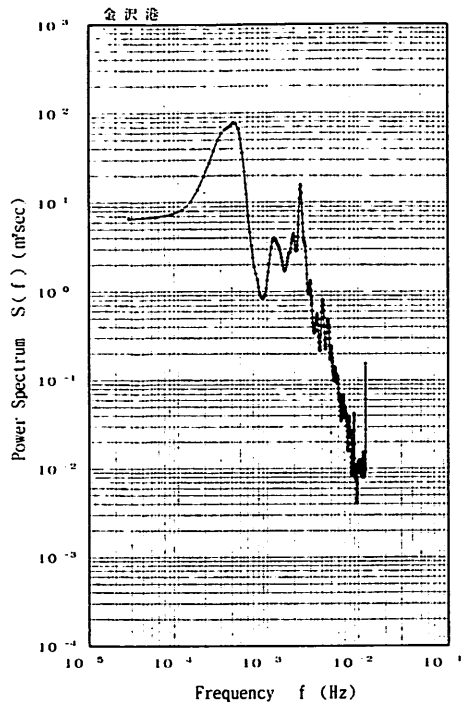
付図-4.18 伏木港の潮位変動の周波数スペクトル



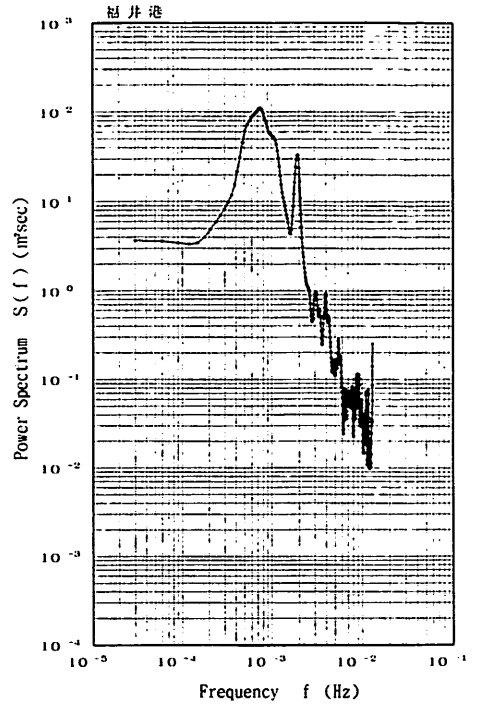
付図-4.19 七尾港の潮位変動の周波数スペクトル



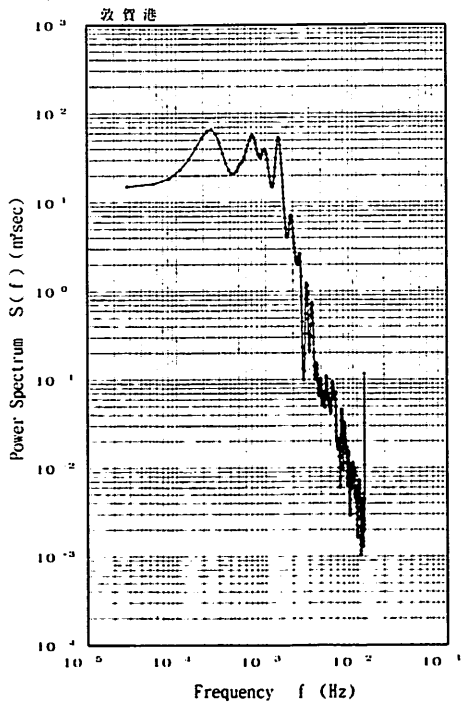
付図-4.20 輪島港の潮位変動の周波数スペクトル



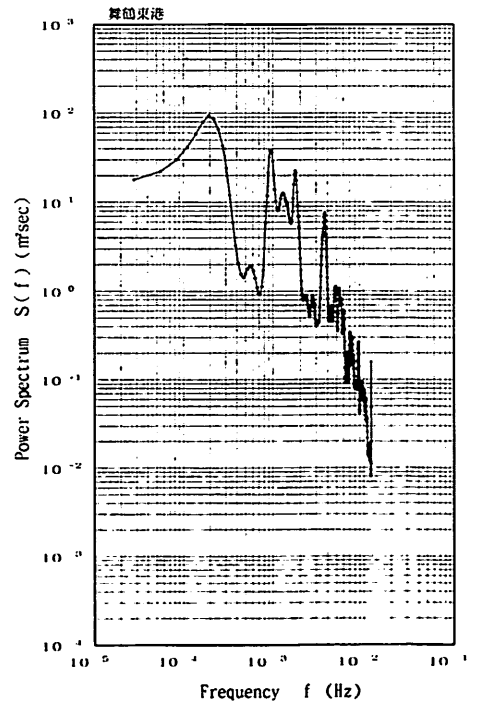
付図-4.21 金沢港の潮位変動の周波数スペクトル



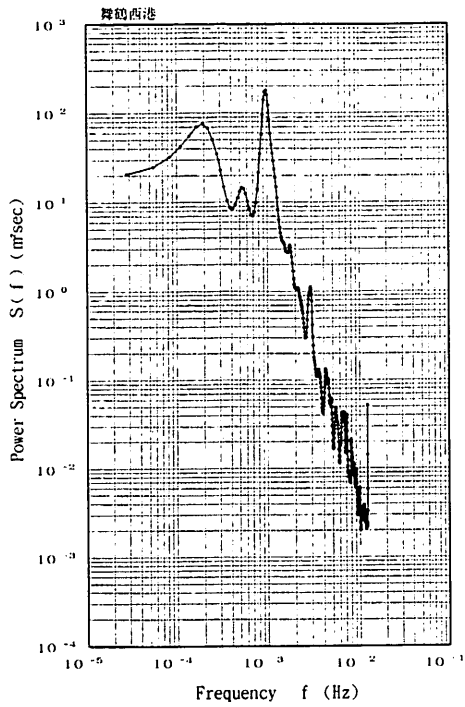
付図-4.22 福井港の潮位変動の周波数スペクトル



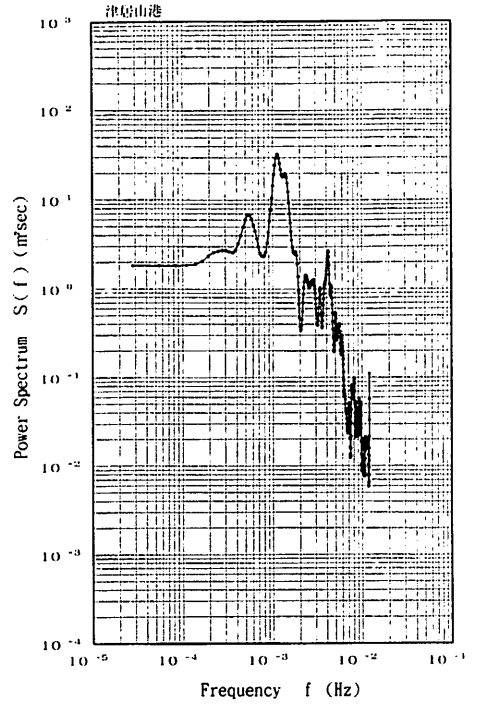
付図-4.23 敦賀港の潮位変動の周波数スペクトル



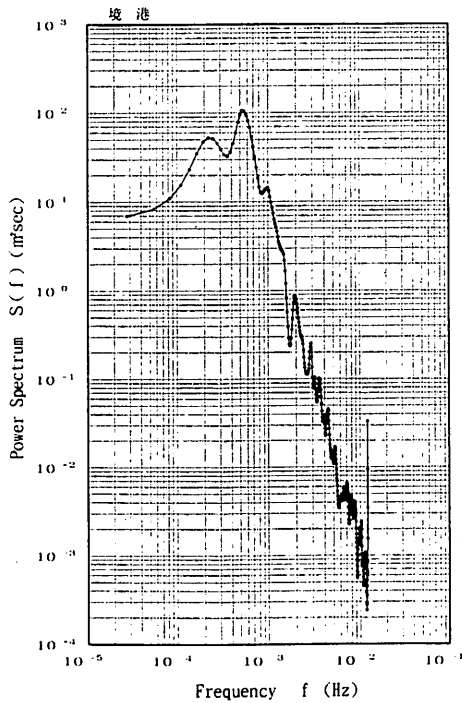
付図-4.24 舞鶴東港の潮位変動の周波数スペクトル



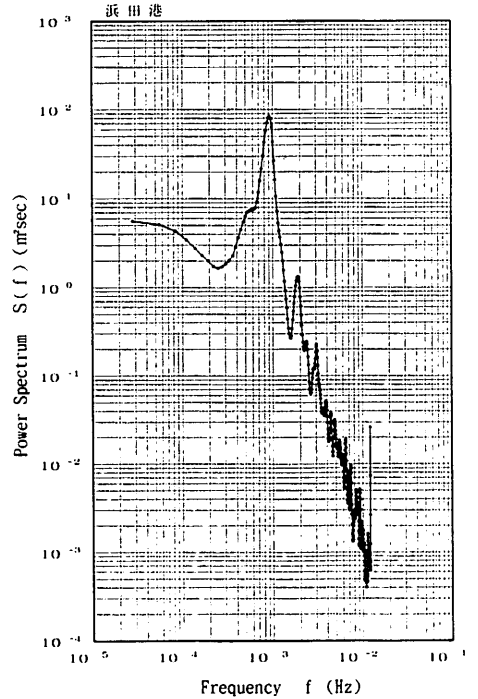
付図-4.25 舞鶴西港の潮位変動の周波数スペクトル



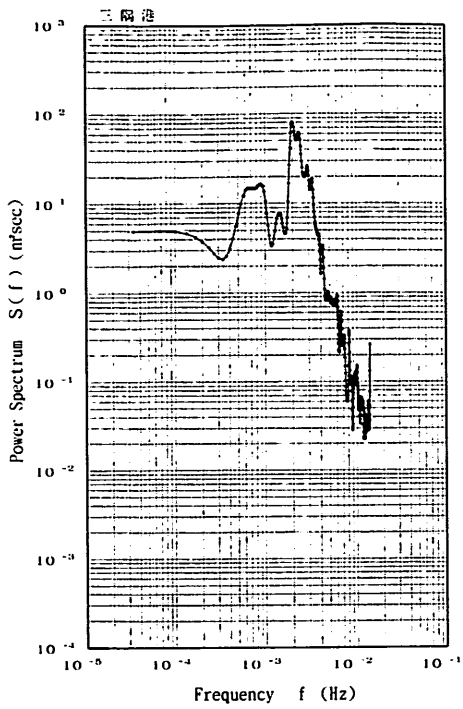
付図-4.26 津居山港の潮位変動の周波数スペクトル



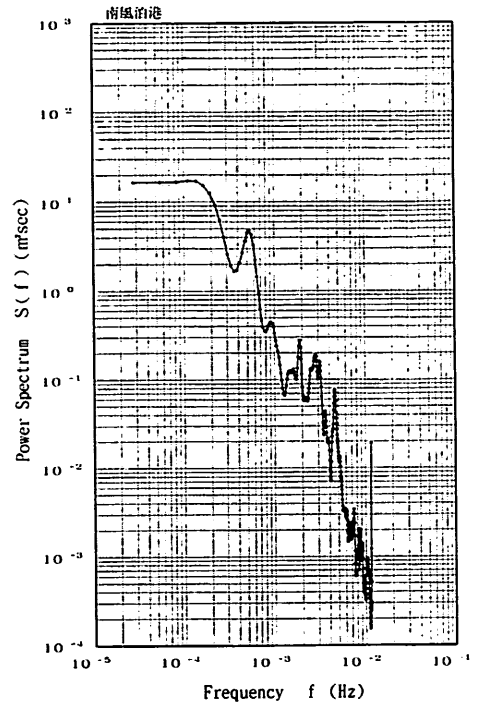
付図-4.27 境港の潮位変動の周波数スペクトル



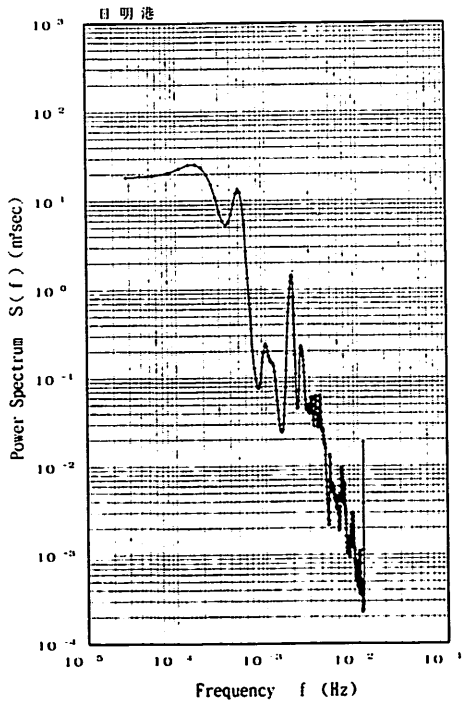
付図-4.28 浜田港の潮位変動の周波数スペクトル



付図-4.29 三隅港の潮位変動の周波数スペクトル



付図-4.30 南風泊港の潮位変動の周波数スペクトル



付図-4.31 日明港の潮位変動の周波数スペクトル

付表-1.1 沓形港検潮所設置条件

観測所名	沓形港			検潮所	観測開始 1981年 1月 日
所在地	利尻郡利尻町沓形字日の出地先				
位置	北緯	45° 11' 14"	東経	141° 08' 31"	
管理者	沓形港湾建設事業所				
機種	フース型(長期巻)		製造業者名		
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	1981年 1月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮 率	1/10	
現存する記録の期間	1980年12月29日 ~ 現 在				
検潮井戸	直径(内径)	100 cm	材 質	鉄筋コンクリート	
	球分体の高さ	C.D.L.+224.2 cm	井戸上縁から底までの深さ	670 cm	
導水管	直 径	15 cm	長 さ	200 cm	
測量の基準となる一等水準点	所 在 地	利尻郡利尻町日の出地先、検潮所傍			
	呼 称				
	高 さ	T.P. +1,062.3 cm			
錘測基点定数	m		現在用いている Z ₀	0.18 m	

付表-1.2 羽幌港検潮所設置条件

観測所名	羽幌港			検潮所	観測開始 1959年 6月 1日
所在地	北海道苫前郡羽幌町港町1丁目17番地				
位置	北緯	44° 22' 01"	東経	141° 42' 14"	
管理者	北海道開発局 留萌開発建設部 羽幌港湾建設事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	1959年 6月 1日	長期巻	1991年 6月20日(更新)	
記録方式	ペン書アナログ		縮 率	1/10	
現存する記録の期間	1959年 6月 1日 ~ 現 在				
検潮井戸	直径(内径)	90 cm	材 質	鉄筋コンクリート管	
	球分体の高さ	T.P. +25030 cm	井戸上縁から底までの深さ	300 cm	
導水管	直 径	内径 12 cm	長 さ	800 cm	
測量の基準となる一等水準点	所 在 地	北海道苫前郡羽幌町			
	呼 称	国土地理院 B.M No.8589			
	高 さ	T.P. +784.59 cm			
錘測基点定数	2.573 m		現在用いている Z ₀	0.18 m	

付表-1.3 留萌港検潮所設置条件

観測所名	留萌港			検潮所	観測開始 1961年12月7日	
所在地	北海道留萌市大町1丁目					
位置	北緯	43° 56' 54"	東経	141° 38' 20"		
管理者	留萌港湾建設事務所					
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)		
観測開始年月日	日巻	1960年11月	日	長期巻	1973年5月22日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10		
現存する記録の期間	1961年12月7日 ~ 現在					
検潮井戸	直径(内径)	120cm×120cm(正方形)		材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 292 cm		井戸上縁から底までの深さ	435 cm	
導水管	直径	15 cm		長さ	400 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	留萌市幸町3丁目				
	呼称	国土地理院 交32号				
	高さ	T.P. + 24,841 cm				
錘測基点定数	3.801 m		現在用いている Z ₀	0.16 m		

付表-1.4 石狩新港検潮所設置条件

観測所名	石狩湾新港			検潮所	観測開始 1983年9月19日	
所在地	北海道石狩町字花畔村526-1					
位置	北緯	43° 12' 48"	東経	141° 18' 40"		
管理者	小樽港湾建設事務所					
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)		
観測開始年月日	日巻	年 月 日	長期巻	1983年9月19日		
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10		
現存する記録の期間	1983年9月19日 ~ 1992年4月1日					
検潮井戸	直径(内径)	150 cm		材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 312.4 cm		井戸上縁から底までの深さ	650 cm	
導水管	直径	15 cm		長さ	1248 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	北海道石狩町				
	呼称	鯨塚三角点				
	高さ	T.P. + 993.4 cm				
錘測基点定数	4.532 m		現在用いている Z ₀	0.16 m		

付表-1.5 小樽港検潮所設置条件

観測所名	小樽港		検潮所	観測開始 1954年 4月 日	
所在地	北海道小樽市築港2番2号				
位置	北緯	43° 10' 51"	東経	141° 02' 14"	
管理者	小樽港湾建設事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻	1954年 4月 日	長期巻	1983年 3月 9日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1930年 6月 日(リチャール型) ~ 現在 1954年 4月 日(フース型)				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm		材質	コンクリート
	球分体の高さ	T.P. +304.5 cm		井戸上縁から底までの深さ	550 cm
導水管	直径	8 cm		長さ	310 cm
測定の基準となる一等水準点	所在地	小樽港湾建設事務所構内			
	呼称	基本水準標石(水路部BM)			
	高さ	T.P. +2,375 cm			
錘測基点定数	3.908 m		現在用いているZ ₀	0.16 m	

付表-1.6 岩内港検潮所設置条件

観測所名	岩内港		検潮所	観測開始 1949年10月10日	
所在地	岩内町大和23の1				
位置	北緯	42° 59' 04"	東経	140° 30' 50"	
管理者	岩内港湾建設事業所				
機種	フース型(長期巻)		製造業者名		
観測開始年月日	日巻	1949年10月 1日	長期巻	(1985年 4月 1日)	
記録方式	アナログ自記記録		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1965年 8月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm		材質	鉄筋コンクリート管
	球分体の高さ	T.P. +180.8 cm		井戸上縁から底までの深さ	260 cm
導水管	直径	15 cm		長さ	920 cm
測定の基準となる一等水準点	所在地				
	呼称	交25			
	高さ	T.P. +21.717 cm			
錘測基点定数	3.937 m		現在用いているZ ₀	0.18 m	

付表-1.7 函館港検潮所設置条件

観測所名	函館港		検潮所	観測開始 1955年 4月 4日	
所在地	北海道函館市海岸町25番地7号				
位置	北緯	41° 4' 45"	東経	140° 43' 42"	
管理者	函館海洋気象台(建物の所有者:函館港湾建設事務所)				
機種	フース型(長期巻)		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻	1955年 4月 4日	長期巻	1965年12月 8日	
記録方式	フース記録紙、テレメータ記録紙、メモリーカード		縮率	1/20 (1977年まで1/10)	
現存する記録の期間	1955年 4月 4日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	80 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 220.21 cm	井戸上縁から底までの深さ	450 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	370 cm	
測量の基準となる一等水準点	所在地	函館市万代町			
	呼称	交17号			
	高さ	T.P. + 140.74 cm			
錘測基点定数	5.088 m	現在用いているZ ₀		0.57 m	

付表-1.8 青森港検潮所設置条件

観測所名	青森港		検潮所	観測開始 1955年 9月 8日	
所在地	青森市港町地先漁港内				
位置	北緯	40° 50' 00"	東経	140° 46' 00"	
管理者	第二港湾建設局 青森港工事事務所				
機種	フース型長期巻(LFT-V)		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻	1955年 9月 8日	長期巻	1985年 3月29日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1983年 4月 1日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm	材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 1.371 cm	井戸上縁から底までの深さ	300 cm	
導水管	直径	16 cm	長さ	250 cm	
測量の基準となる一等水準点	所在地	青森市柳町			
	呼称	交点6.052			
	高さ	D.L. + 2.8612 cm			
錘測基点定数	4.540 m	現在用いているZ ₀		0.370 m	

付表-1.9 深浦港検潮所設置条件

観測所名	深浦		検潮所	観測開始 1972年 4月 1日	
所在地	青森県西津軽郡深浦町深浦字苗代沢地内				
位置	北緯	40° 38' 36"	東経	139° 55' 54"	
管理者	気象庁深浦測候所				
機種	フース型長期巻 (LFT-V)		製造業者名		
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	1981年 5月 日	
記録方式			縮 率		
現存する記録の期間	19 年 月 日 ~ 現 在				
検潮井戸	直径 (内径)	100 cm	材 質		
	球分体の高さ	T.P. +	井戸上縁から底までの深さ	cm	
導水管	直 径	15 cm	長 さ	615 cm	
測量の基準となる一等水準点	所 在 地				
	呼 称				
	高 さ	T.P. + cm			
錘測基点定数	m		現在用いている Z ₀	m	

付表-1.10 能代港検潮所設置条件

観測所名	能代港 大森地区		検潮所	観測開始 1981年12月 日	
所在地	秋田県能代市能代町下浜				
位置	北緯	40° 12' 40"	東経	140° 00' 26"	
管理者	秋田県能代港建設事務所				
機種	フース型長期巻 (LFT-IV)		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	年 月 日	
記録方式			縮 率	1/10	
現存する記録の期間	19 年 月 日 ~ 現 在				
検潮井戸	直径 (内径)	120 cm	材 質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 451.1 cm	井戸上縁から底までの深さ	670 cm	
導水管	直 径	15 cm	長 さ	1,061.5 cm	
測量の基準となる一等水準点	所 在 地				
	呼 称	No.007-330			
	高 さ	T.P. + 932.4 cm			
錘測基点定数	6.666 m		現在用いている Z ₀	m	

付表-1.11 秋田港検潮所設置条件

観測所名	秋田港		検潮所	観測開始 1962年 6月 日	
所在地	秋田市土崎港西1丁目1-49				
位置	北緯	39° 44' 36"	東経	140° 04' 09"	
管理者	第一港湾建設局 秋田港工事事務所				
機種	フース型 (LFT-V)		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	1978年 1月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1962年 6月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径 (内径)	200 cm	材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 142.1 cm	井戸上縁から底までの深さ	350 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	30 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	秋田市土崎港南1丁目10-62			
	呼称	国土地理院1等水準点 (No.5818)			
	高さ	T.P. + 677.1 cm			
錘測基点定数	3.615 m	現在用いている Z ₀		0.19 m	

付表-1.12 酒田港検潮所設置条件

観測所名	酒田港		検潮所	観測開始(検潮所設置年月日) 1964年10月15日	
所在地	山形県酒田市大字宮野浦字家岸 第一工事課				
位置	北緯	38° 54' 53"	東経	139° 49' 37"	
管理者	第一港湾建設局 酒田港工事事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	1970年 1月 1日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1970年 1月 1日 ~ 現在まで				
検潮井戸	直径 (内径)	120 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 292.1 cm	井戸上縁から底までの深さ	466 cm	
導水管	直径	15 cm	長さ	2,400 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	山形県酒田市大字宮野浦字家岸			
	呼称	BM1			
	高さ	T.P. + 273.8 cm			
錘測基点定数	5.133 m	現在用いている Z ₀		0.21 m	

付表-1.13 岩船港検潮所設置条件

観測所名	岩船港 岩船地区		検潮所	観測開始 1985年 4月 日	
所在地	新潟県村上市大字岩船				
位置	北緯	38° 11' 18"	東経	139° 26' 03"	
管理者	新潟県村上市土木事務所				
機種	フース型 (F.T)		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 卷	年 月 日	長期卷	年 月 日	
記録方式			縮率	1/10	
現存する記録の期間	19 年 月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径 (内径)	120 cm	材質	ヒューム型	
	球分体の高さ	T.P. + 350.6 cm	井戸上縁から底までの深さ	580 cm	
導水管	直径	12 cm	長さ	600 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地				
	呼称	一等水準点 No.6488			
	高さ	T.P. + 273.57 cm			
錘測基点定数	4.729 m	現在用いている Z ₀	0.17 m		

付表-1.14 新潟東港検潮所設置条件

観測所名	新潟港 東港地区		検潮所	観測開始 1976年11月 日	
所在地	新潟市太郎代				
位置	北緯	37° 59' 15"	東経	139° 13' 14"	
管理者	第一港湾建設局 新潟港工事事務所				
機種	フース型		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 卷	1976年11月 1日	長期卷	年 月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1976年11月 日 ~ 年 月 日				
検潮井戸	直径 (内径)	120 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 379.8 cm	井戸上縁から底までの深さ	680 cm	
導水管	直径	8.07 cm	長さ	87.5 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	新潟市太郎代			
	呼称	II等 40-1			
	高さ	T.P. + 280.6 cm			
錘測基点定数	6.545 m	現在用いている Z ₀	0.17 m		

付表-1.15 新潟西港検潮所設置条件

観測所名	新潟港 西港地区		検潮所	観測開始 1968年 7月 日	
所在地	新潟市入船町4-3778				
位置	北緯	37° 56' 15"	東経	139° 03' 52"	
管理者	第一港湾建設局 新潟港工事事務所				
機種	フース型		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 卷	年 月 日	長期巻	1991年 8月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1968年 7月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 233.7 cm	井戸上縁から底までの深さ	370 cm	
導水管	直径	15 cm	長さ	800 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	新潟市入船町4-3778			
	呼称	II等 4			
	高さ	T.P. + 140.9 cm			
錘測基点定数	4.30 m	現在用いているZ ₀		0.17 m	

付表-1.16 両津港検潮所設置条件

観測所名	両津港 夷地区		検潮所	観測開始 1979年 4月 日	
所在地	新潟県両津市夷				
位置	北緯	38° 4' 10"	東経	138° 26' 40"	
管理者	新潟県相川土木事務所				
機種	フース型長期巻(LFT-V)		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 卷	年 月 日	長期巻	年 月 日	
記録方式			縮率	1/10、1/20	
現存する記録の期間	19 年 月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	150 cm	材質	コンクリートブロック	
	球分体の高さ	T.P. + cm	井戸上縁から底までの深さ	560 cm	
導水管	直径	7.5 cm	長さ	95 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地				
	呼称				
	高さ	T.P. + cm			
錘測基点定数	m	現在用いているZ ₀		m	

付表-1.17 新湊港検潮所設置条件

観測所名	伏木富山港(新湊地区)		検潮所	観測開始 1963年 3月31日	
所在地	新湊市堀岡神明地先				
位置	北緯	36° 46' 20"	東経	137° 07' 16"	
管理者	第一港湾建設局 伏木富山港工事事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	1978年 3月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1969年 1月 1日 ~ 現在 年 月 日				
検潮井戸	直径(内径)	150 cm	材質	コンクリート、簡易鋼矢板	
	球分体の高さ	T.P. + 171.6 cm	井戸上縁から底までの深さ	300 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	80 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	新湊市大字堀岡字古明神20			
	呼称	2等水準点 No.108			
	高さ	T.P. + 71.21 cm			
錘測基点定数	4.602 m	現在用いている Z ₀	0.20 m		

付表-1.18 伏木港検潮所設置条件

観測所名	伏木富山港(伏木地区)		検潮所	観測開始 1954年 6月 日	
所在地	高岡市伏木錦町地先				
位置	北緯	36° 47' 24"	東経	137° 03' 55"	
管理者	第一港湾建設局 伏木富山港工事事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	1954年 6月 日	長期巻	1978年 3月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1967年 9月 1日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	100 cm	材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 199.5 cm	井戸上縁から底までの深さ	249 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	15 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	高岡市伏木町大字古国府字紺屋下			
	呼称	1等水準点 No.9323			
	高さ	T.P. + 151.4 cm			
錘測基点定数	4.303 m	現在用いている Z ₀	0.20 m		

付表-1.19 七尾港検潮所設置条件

観測所名	七尾港 府中地区			検潮所	観測開始 1985年 3月 日	
所在地	石川県七尾市府中町負外					
位置	北緯	37° 02' 47"		東経	136° 58' 17"	
管理者	第一港湾建設局金沢港工事事務所					
機種	フース型長期巻 (LFT-V)			製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始 年月日	日 巻	年 月 日		長期巻	年 月 日	
記録方式				縮率	1/10	
現存する 記録の期間	19 年 月 日 ~ 現 在					
検潮井戸	直径 (内径)	120 cm		材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 201.0 cm		井戸上縁から 底までの深さ	495 cm	
導水管	直径	8 cm		長さ	87.5 cm	
測定の基準と なる一等水準点	所在地					
	呼称	1等水準点 No.9305-1				
	高さ	T.P. + 733.01 cm				
錘測基点定数	4.504 m		現在用いている Z ₀		0.2 m	

付表-1.20 輪島港検潮所設置条件

観測所名	輪島港			検潮所	観測開始 1980年 1月 日	
所在地	輪島市河井町二部205					
位置	北緯	37° 23' 40"		東経	136° 54' 21"	
管理者	第一港湾建設局 金沢港工事事務所					
機種	フース型長期巻			製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始 年月日	日 巻	年 月 日		長期巻	1980年 1月 日	
記録方式	ペン書アナログ			縮率	1/10	
現存する 記録の期間	年 月 日 ~ 年 月 日					
検潮井戸	直径 (内径)	120 cm		材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 252.5 cm		井戸上縁から 底までの深さ	390 cm	
導水管	直径	13 cm		長さ	1,710 cm	
測定の基準と なる一等水準点	所在地	輪島市輪島崎町				
	呼称	基-17				
	高さ	T.P. + 350.2 cm				
錘測基点定数	4.915 m		現在用いている Z ₀		0.20 m	

付表-1.21 金沢港検潮所設置条件

観測所名	金沢港 大野地区		検潮所	観測開始 1963年 月 日	
所在地	金沢市大野町				
位置	北緯	36° 36' 53"	東経	136° 36' 21"	
管理者	第一港湾建設局 金沢港工事事務所				
機種	フース型		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	年 月 日	長期巻	1988年 3月 28日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	年 月 日 ~ 年 月 日				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm	材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 254.8 cm	井戸上縁から底までの深さ	355 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	600 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	金沢市金石北1丁目			
	呼称	国土地理院' BM (No.43008008)			
	高さ	T.P. + 161.4 cm			
錘測基点定数	4.450 m	現在用いている Z ₀	0.2 m		

付表-1.22 福井港検潮所設置条件

観測所名	福井港		検潮所	観測開始 1976年 4月 日	
所在地	福井県坂井郡三国町新保地先				
位置	北緯	36° 11' 46"	東経	136° 07' 50"	
管理者	第一港湾建設局 敦賀港工事事務所				
機種	フース型日巻、長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	1976年 4月 日	長期巻	1987年 2月 日	
記録方式	ペン書アナログ記録		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1976年 4月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 278 cm	井戸上縁から底までの深さ	487 cm	
導水管	直径	30 cm	長さ	3,400 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	福井県坂井郡三国町大字新保字高山6-4番地			
	呼称	第3244号			
	高さ	T.P. + 935.33 cm			
錘測基点定数	4.290 m	現在用いている Z ₀	0.18 m		

付表-1.23 敦賀港検潮所設置条件

観測所名	敦賀港工事事務所 潮位観測所		検潮所	観測開始 1972年 1月28日	
所在地	敦賀市川崎地先				
位置	北緯	35° 39' 19"	東経	136° 04' 05"	
管理者	第一港湾建設局 敦賀港工事事務所				
機種	フース型週巻、長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻	1972年 1月28日	長期巻	1979年10月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1979年 1月 1日 ~ 1992年 7月31日				
検潮井戸	直径(内径)	200 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. 651 cm	井戸上縁から底までの深さ	3.55 cm	
導水管	直径	20 cm	長さ	145 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	敦賀市三島町			
	呼称	一等水準点 交935			
	高さ	T.P. +224.01 cm			
錘測基点定数	3.750 m	現在用いている Z ₀		0.18 m	

付表-1.24 舞鶴東港検潮所設置条件

観測所名	東舞鶴		検潮所	観測開始 1968年 6月 1日	
所在地	舞鶴市大字浜2010				
位置	北緯	35° 28' 24"	東経	135° 23' 24"	
管理者	舞鶴海洋気象台(海洋課)				
機種	フース型長期巻自記検潮器(LFT-V)		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻	年 月 日	長期巻	1968年 6月 1日	
記録方式	デジタル		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1968年 5月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. +319.93 cm	井戸上縁から底までの深さ	4.50 cm	
導水管	直径	20 cm	長さ	7.70 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	舞鶴市字森本町25番地の20先			
	呼称	一等水準点1362号			
	高さ	T.P. +1,039.34 cm			
錘測基点定数	5.801 m	現在用いている Z ₀		0.19 m	

付表-1.25 舞鶴西港検潮所設置条件

観測所名	西舞鶴		検潮所	観測開始 1981年10月1日	
所在地	舞鶴市字下福井大野辺				
位置	北緯	35° 26' 48"	東経	135° 19' 12"	
管理者	第八管区海上保安本部水路部水路課				
機種	フース型長期巻自動検潮器(LFT-V)		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻		長期巻	1981年10月1日	
記録方式	アナログ記録		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1981年10月1日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	80 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. + 300 cm	井戸上縁から底までの深さ	480 cm	
導水管	直径	15 cm	長さ	360 cm	
測量の基準となる一等水準点	所在地	舞鶴市字下福井910			
	呼称	一等水準点 No.1366			
	高さ	T.P. + 370.21 cm			
錘測基点定数	4.887 m		現在用いている Z ₀	0.19 m	

付表-1.26 津居山検潮所設置条件

観測所名	津居山		検潮所	観測開始 1957年6月1日	
所在地	豊岡市小島字作り4-1地先				
位置	北緯	35° 38' 37部	東経	134° 49' 52"	
管理者	兵庫県豊岡土木事務所				
機種	フース型長期巻自記(LFT-V)		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日巻	1957年6月1日	長期巻	1988年10月8日	
記録方式	アナログ、デジタル記録		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1959年4月日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	cm	材質		
	球分体の高さ	T.P. + 234.4 cm	井戸上縁から底までの深さ	450 cm	
導水管	直径	cm	長さ	cm	
測量の基準となる一等水準点	所在地				
	呼称	一等水準点1212号			
	高さ	T.P. + 363.97 cm			
錘測基点定数	3.557 m		現在用いている Z ₀	0.17 m	

付表-1.27 境港検潮所設置条件

観測所名	境		検潮所	観測開始 1921年12月9日	
所在地	境港市岬町111番地の1地先				
位置	北緯	35° 32' 41"	東経	133° 14' 44"	
管理者	気象庁境測候所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	1921年12月9日	長期巻	1966年12月 日	
記録方式	フース自記紙		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1943年8月15日 ~ 1993年10月31日				
検潮井戸	直径(内径)	99 cm	材質	鋼管製	
	球分体の高さ	T.P. +217.5 cm	井戸上縁から底までの深さ	430 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	350 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	米子市博労町			
	呼称	交1120			
	高さ	T.P. +438.67 cm			
鍾測基点定数	4.595 m	現在用いている Z ₀		0.17 m	

付表-1.28 浜田港検潮所設置条件

観測所名	浜田検潮所		検潮所	観測開始 1889年 月 日	
所在地	浜田市大辻町2787番地先				
位置	北緯	34° 53' 39"	東経	132° 04' 07"	
管理者	気象庁浜田測候所				
機種	フース型長期巻自記検潮器		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始年月日	日 巻	S. H.	年 月 日	長期巻	1968年11月27日
記録方式	アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1923年 ~ 現在まで				
検潮井戸	直径(内径)	100 cm	材質	ヒューム管	
	球分体の高さ	T.P. 233.5 cm	井戸上縁から底までの深さ	500 cm	
導水管	直径	7.5 cm	長さ	150 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	浜田市大辻町2787番地先			
	呼称	気象庁水準標石			
	高さ	T.P. +285.9 cm			
鍾測基点定数	4.797 m	現在用いている Z ₀		0.282 m	

付表-1.29 三隅港検潮所設置条件

観測所名	三隅		検潮所	観測開始 1985年 4月 1日	
所在地	鳥根県那賀郡三隅町大字岡見				
位置	北緯	34° 46' 20"	東経	131° 54' 56"	
管理者	第三港湾建設局境港工事事務所三隅工場				
機種	フース型 (LET-5型)		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 卷	年 月 日	長期卷	1985年 4月 1日	
記録方式	長期自動巻上式		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1985年 4月 1日 ~ 1993年11月 1日				
検潮井戸	直径 (内径)	1.016 cm	材質	鋼製	
	球分体の高さ	T.P. + 378.2 cm	井戸上縁から底までの深さ	230 cm	
導水管	直径	10 cm	長さ	100 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	鳥根県那賀郡三隅町大字岡見字戎山164の2			
	呼称	第3041号			
	高さ	T.P. + 13,317.5 cm			
錘測基点定数	4.263 m	現在用いている Z ₀	0.31 m		

付表-1.30 南風泊検潮所設置条件

観測所名	南風泊		検潮所	観測開始 1909年 3月 日	
所在地	山口県下関市彦島西山町3丁目25番地				
位置	北緯	33° 56' 42"	東経	130° 52' 46"	
管理者	第四港湾建設局 関門航路工事事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工 (株)	
観測開始年月日	日 卷	年 月 日	長期巻	1970年 8月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する記録の期間	1909年 2月 日 ~ 1972年12月 日		1945年12月 日 ~ 1949年12月 日		1952年 4月 日 ~ 1953年12月 日
検潮井戸	直径 (内径)	78 cm	材質	コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 254 cm	井戸上縁から底までの深さ	383 cm	
導水管	直径	15 cm	長さ	700 cm	
測定の基準となる一等水準点	所在地	山口県下関市彦島西山町3丁目25番地			
	呼称	国土地理院水準点 No.1773			
	高さ	T.P. + 1,388 cm			
錘測基点定数	5.15 m	現在用いている Z ₀	0.80 m		

付表-1.31 日明検潮所設置条件

観測所名	日明		検潮所	観測開始 1969年 3月 日	
所在地	福岡県北九州市小倉北区西港町				
位置	北緯	33° 54' 22"	東経	130° 52' 54"	
管理者	第四港湾建設局 関門航路工事事務所				
機種	フース型長期巻		製造業者名	協和商工(株)	
観測開始 年月日	日巻	年月日	長期巻	1969年 3月 日	
記録方式	ペン書アナログ		縮率	1/10	
現存する 記録の期間	1971年 1月 日 ~ 現在				
検潮井戸	直径(内径)	120 cm	材質	鉄筋コンクリート	
	球分体の高さ	T.P. + 253 cm	井戸上縁から 底までの深さ	547 cm	
導水管	直径	15 cm	長さ	360 cm	
測定の基準と なる一等水準点	所在地	福岡県北九州市小倉北区西港町			
	呼称	国土地理院水準点 No.1773			
	高さ	T.P. + 1,392 cm			
錘測基点定数	4.94 m	現在用いている Z ₀		0.80 m	

港湾技研資料 No.775

1994・6

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 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka Japan.

Copyright © (1994) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行なってはならない。