

港 湾 技 研 資 料

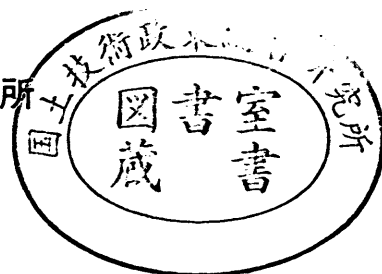
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 802 June. 1995

平成 6 年（1994年）北海道東方沖地震津波の特性

永	井	紀	彦
橋	本	典	明
平	石	哲	也
清	水	勝	義

運輸省港湾技術研究所



目 次

1. はじめに	4
2. 地震の規模と地震時の海象	4
2. 1 地震および津波予報	4
2. 2 気象および海象	4
2. 3 津波の波源域	5
3. 測得された津波記録の概要	5
3. 1 沖合波浪記録および検潮記録の収集・整理方法	5
3. 2 津波の到達時間と第1波の水位の偏差	10
3. 3 最高水位および最高偏差	10
3. 4 津波の周期特性	10
4. 津波波形およびその解析結果	17
4. 1 沖合波浪計・港内検潮記録が捉えた津波波形	17
4. 2 津波波形記録の解析	23
5. 津波に関する現地調査	29
5. 1 調査の概要	29
5. 2 各地の津波の状況と被害	31
6. 津波伝播数値シミュレーションとの比較	38
6. 1 シミュレーションの概要	38
6. 2 シミュレーション結果と実測波形との比較	41
7. まとめ	55
謝辞	56
参考文献	56
付録-1 三陸はるか沖地震津波波形	87
付録-2 兵庫県南部地震津波波形	96

Characteristics of the Hokkaido-East-Off-Earthquake Tsunami

Toshihiko NAGAI*
Noriaki HASHIMOTO**
Tetsuya HIRAISHI***
Katsuyoshi SHIMIZU***

Synopsis

The Hokkaido-East-Off-Earthquake occurred at 22:23 on October 4th in 1994. It was reported that the magnitude of the earthquake was 8.1, and the hypocenter was N 43° 22' in latitude, E 143° 40' in longitude, and 30km in depth. Tsunami caused by the earthquake attacked all coast lines of the northern Pacific coasts of Japan.

This report presents characteristics of the tsunami, using the offshore wave observation data, tide stations' data, field survey, and numerical tsunami transformation simulations, and introduces several interesting results of the tsunami profile shown as follows:

- (1) Relation between offshore tsunami profiles and tide stations' records inside of ports by means of the frequency spectrum analysis
- (2) Relation between water surface fluctuation and seabed horizontal current
- (3) Comparison among the observed tsunami profile data, field run-up heights, and result of the numerical simulations

In addition, as Appendix, the Sanriku-Far-Off Earthquake Tsunami (1994.12.28) profiles and the South-Hyogo-Prefecture Earthquake Tsunami (1995.1.17) profiles, observed at the NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS) offshore wave stations and tide stations in ports are also introduced.

Key Words : NOWPHAS, Tsunami, Long Waves, Hokkaido-East-Off Earthquake

* Chief, Marine Observation Laboratory, Hydraulic Engineering Division

** Chief, Ocean Energy Utilization Laboratory, Hydraulic Engineering Division

***Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

平成6年(1994年)北海道東方沖地震津波の特性

永 井 紀 彦*
橋 本 典 明**
平 石 哲 也***
清水 勝 義***

要 旨

平成6年10月4日22時23分に発生した北海道東方沖地震は、マグニチュードが8.1の超大型地震であり、震源は北緯43度22分、東経147度40分、深さ約30kmと発表されている。この地震に伴う津波は、広く太平洋を伝播し、我国の太平洋北東部沿岸にも来襲した。津波高が最も高く被害が顕著であったのは、北方領土諸島であった。

本報告は、運輸省第二港湾建設局および北海道開発局管内の全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス：NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbour S）波浪計や検潮儀によって測得された津波波形記録をとりまとめ、その結果を、現地調査結果および津波伝播数値シミュレーション結果と比較検討したものであり、1983年日本海中部沖地震津波、および1993年北海道南西沖地震津波の時と同様に、関係各機関の協力を得て行われた港湾技術研究所の調査結果を整理したものである。

あわせて、付録として、その後発生した大地震である三陸はるか沖地震および兵庫県南部地震に関しても、津波波形速報を添付する。

キーワード：津波、津波観測、津波調査、ナウファス

• 水工部海象調査研究室長
** 水工部海洋エネルギー利用研究室長
***水工部主任研究官

1. はじめに

平成6年10月4日22時23分に発生した北海道東方沖地震は、マグニチュードが8.1の超大型地震であり、震源は北緯43度22分、東経147度40分、深さ約30kmと発表されている。この地震に伴う津波は、広く太平洋を伝播し、我国の太平洋北東部沿岸にも来襲した。津波高が最も高く被害が顕著であったのは、北方領土諸島であった。

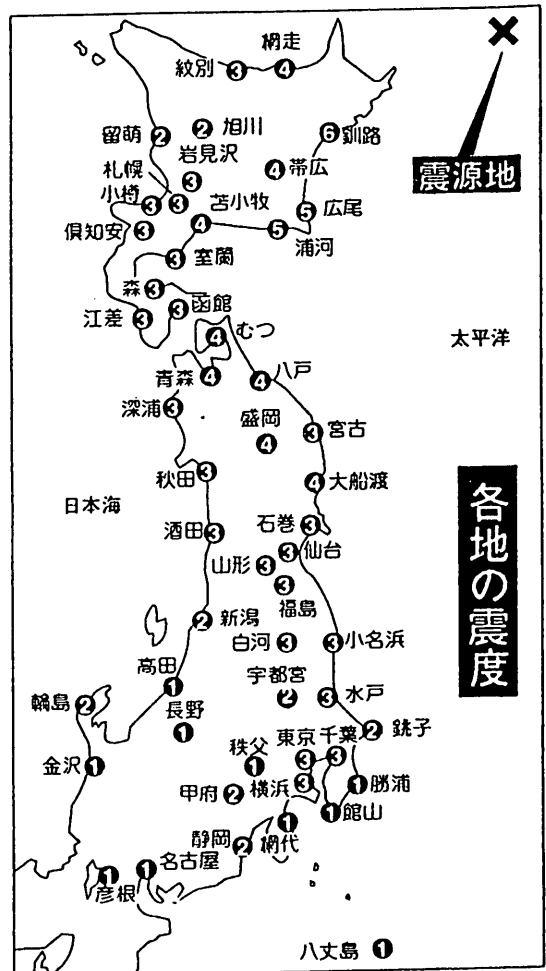
本報告は、運輸省第二港湾建設局および北海道開発局管内の全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス：NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbour S）波高計・流向流速計型波向計や検潮儀によって測得された津波波形記録をとりまとめ、その結果を、現地調査結果（あるいは津波伝播数値シミュレーション結果）と比較検討したものであり、1983年日本海中部沖地震津波¹⁾、および1993年北海道南西沖地震津波^{2),3),4)}の時と同様に、関係各機関の協力を得て行われた港湾技術研究所の調査結果を整理したものである。なお、各波浪・潮位観測地点の設置条件については、必要最小限の資料は本報告中にも示したが、詳細は文献5)を参照されたい。

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6年10月4日22時23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43°22′、東経147°40′の北海道東方沖で、深さ30km、マグニチュードは8.1の大地震であった。この地震による各地の震度は図一2.1⁶⁾に示すとおりで、北海道の釧路で震度6の烈震を、根室、広尾、浦河で震度5の強震を観測したほか、帯広、苫小牧、青森、むつ、八戸、盛岡、大船渡で震度4を観測するなど、北海道から東北・関東地方の広い範囲で有感となった。この地震は太平洋側ではこれまでの観測史上有数の規模で、平成5年1月15日に発生した釧路沖地震（マグニチュード7.8）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28分に札幌管区気象台は北海道の太平洋沿岸と津軽海峡沿岸、東北地方の太平洋沿岸に津波警報、オホーツク海沿岸と関東地方から静岡県沿岸までの太平洋沿岸に津波注意報を発表した⁷⁾。

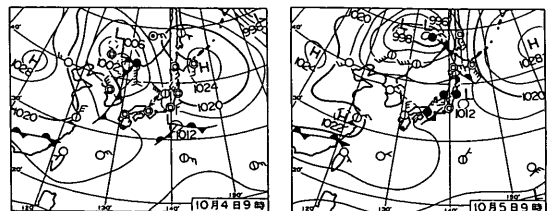


図一2.1 北海道東方沖地震における各地の震度

2.2 気象および海象

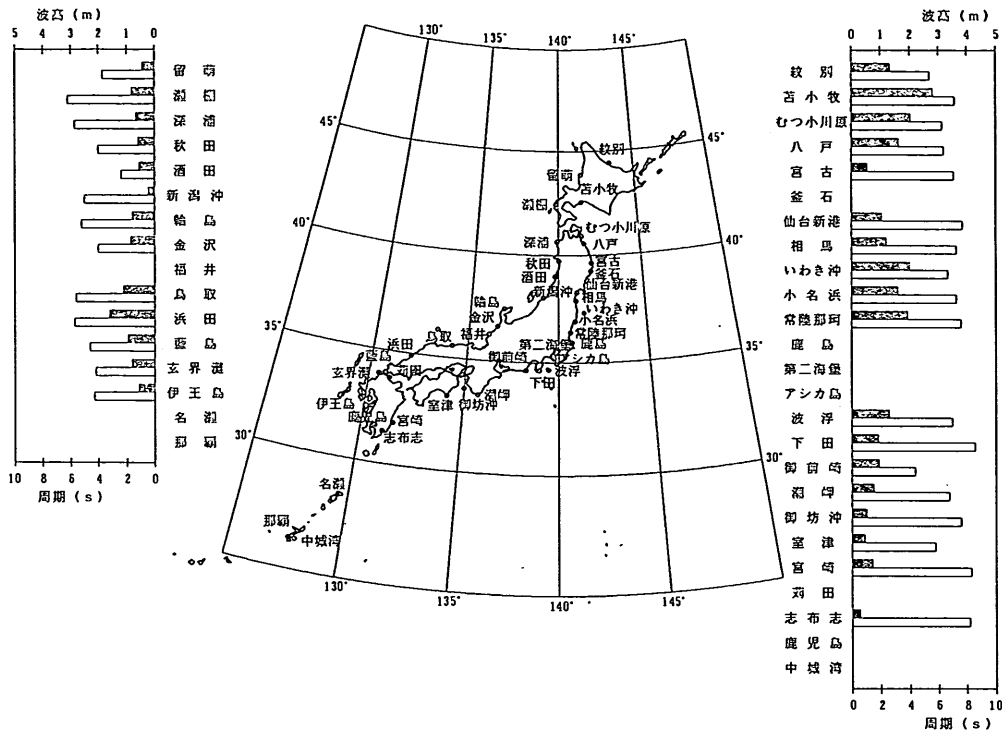
平成6年10月4日21時および5日9時の天気図を図一2.2に示す。

図一2.3は運輸省が実施している全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス：NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbour S）による波浪観測で観測された平成6年10月5日0時での



図一2.2 北海道東方沖地震発生前後の天気図

H6.10.5 0時における沿岸波浪分布



図一2.3 平成6年10月5日0時における沿岸有義波高・有義波周期分布

太平洋沿岸での有義波高 $H_{1/3}$ ・周期 $T_{1/3}$ の分布を示したものである。これは、4日23時50分～5日0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。これによれば苫小牧での有義波高は約3mとなっており、太平洋北東部沿岸海域ではかなり高波となっていたことがわかる。

なお、この夜の潮位変動は、気象庁潮位表⁹⁾によれば、苫小牧では、干潮が4日20時45分満潮が5日03時04分であり、その水位差は100cmとかなり大きい。同様に、八戸でも、干潮が4日20時47分満潮が5日03時06分であり、その水位差はやはり100cmとなっている。10月5日は朔(新月)であり潮位差の大きい海況であった。

こうした、波浪が高く潮位差が大きい海象下においては、津波波形を正しく判別することは困難を伴ったが、後述する3.あるいは4.に示すような適切な数値フィルターや補正を施すことによって、津波波形を明らかにすることができた。

2.3 津波の波源域

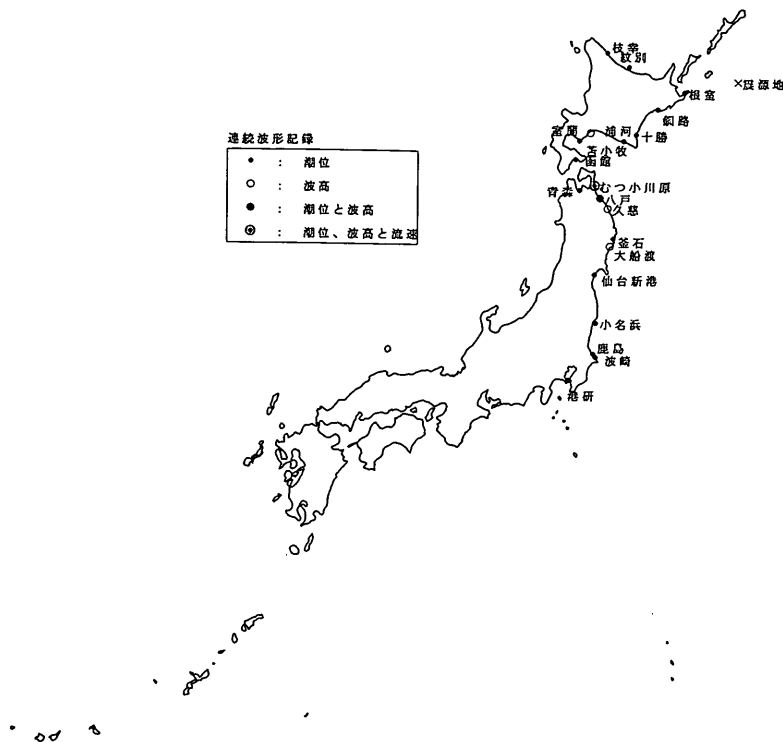
津波の波源域は、各地の検潮所における検潮記録から津波の第1波の到達時間を読みとり、これをもとにして、津波の逆伝播図を描いて求める方法と、各地の地震計の記録や余震分布を解析して求める方法の2つの方法がある。現在では後者の方法が一般に用いられているが、今回の地震津波に対しては、各研究・調査機関で、両者を併用したいくつかの検討がなされている。

後述する図一6.3は東北大学DCRC-3bモデルによる津波初期波形である。6.ではこの波源モデルを用いて津波の伝播計算を行った結果を述べている。

3. 測得された津波記録の概要

3.1 沖合波浪記録および検潮記録の収集・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一3.1に示す。北海道では、オホーツク海沿岸の枝幸から室蘭港まで9地点(苫小牧港沖合波高計遠望観測記録お



よび検潮記録8地点)、本州では青森から神奈川県横須賀市の港研構内まで13地点(むつ小川原港沖合波高計波向計連続観測記録、八戸港沖合波高計連続観測記録、大船渡港港外波高計連続観測記録、波崎海洋観測栈橋先端部波高計連続観測記録、および検潮記録9地点)である。これらの記録は、北海道開発局および運輸省第二港湾建設局からご提供をいただいた。(ただし波崎海洋観測栈橋先端部波高計連続観測記録については当所漂砂研究室からご提供をいただいた。また、港研構内検潮記録は海象調査研究室が観測・データ整理をしているものである。)

これらの波高計と検潮所の設置条件一覧を表一3.1および表一3.2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、ブ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ブーリーに固定されており、水面が昇降するとブーリーが回転し、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。

収集した波高・潮位記録は、すでにデジタル化され

ている北海道開発局苫小牧港沖合波高計記録、第二港湾建設局大船渡港外長周期波記録および港湾技術研究所波崎海洋観測棧橋先端部波高計記録を除いては、長期巻記録紙に記録されたアナログデータをディジター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。

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に示す実線はディ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。また、付図－２は、各観測施設の設置位地と設置条件を示している。付図－３は、各観測地点における波形記録

表-3.1 波高計による津波波形観測地点一覧表

地 点 名	波 浪 計				備 考
	機 種	水深(m)	北 緯	東 経	
苫小牧港沖合	U S W	- 18.5	42° 33' 04"	141° 48' 19"	超音波式波高計
むつ小川原港	U S W	- 49.0	40° 55' 20"	141° 25' 40"	超音波式波高計
八 戸 港	U S W	- 24.0	40° 33' 29"	141° 34' 20"	超音波式波高計
大 船 渡 港	S G W P	- 19.0	39° 00' 42"	141° 45' 30"	水圧式波高計
波崎観測棧橋	U S W	- 4.4	35° 50' 00"	140° 46' 00"	空中発射型超音波式波高計

表-3.2 検潮儀による津波波形観測地点一覧表

検潮所名称	所 在 地	位 置
枝 幸 港	北海道枝幸郡枝幸町幸町	N44° 57' 00" E142° 35' 00"
紋 別 港	北海道紋別市弁天町1丁目	N44° 21' 09" E143° 21' 57"
根 室 港	北海道根室市琴平町	N43° 20' 30" E145° 35' 22"
釧 路 港	北海道釧路市港町4番地	N42° 58' 23" E144° 22' 31"
十 勝 港	北海道広尾町会所前4丁目4番地先	N42° 17' 40" E143° 19' 34"
浦 河 港	北海道浦河郡浦河町	N42° 09' 45" E142° 46' 18"
室 蘭 港	北海道室蘭市祝津町1丁目1番6号	N42° 20' 30" E140° 57' 25"
函 館 港	北海道函館市海岸町2番	N41° 46' 44" E140° 43' 41"
青 森 港	青森県港町地先漁港内	N40° 50' 00" E140° 46' 00"
むつ小川原港	青森県上北郡六ヶ所村大字鷹架字道の下	N40° 55' 25" E141° 23' 30"
八 戸 港	青森県八戸市蕨島	N40° 33' 49" E141° 33' 33"
久 慈 港	岩手県久慈市長内町4番地先	不明
釜 石 港	岩手県釜石市本浜町	N39° 16' 14" E141° 53' 34"
仙 台 新 港	宮城県仙台市港1丁目7番1号ケーソンヤード	N38° 15' 49" E141° 01' 56"
小 名 浜 港	福島県いわき市小名浜高山地先(4号埠頭)	N36° 56' 00" E140° 54' 00"
鹿 島 港	茨城県鹿島郡神栖町大字居切浜字海岸地先	N35° 56' 00" E140° 42' 00"
港 研	神奈川県横須賀市長瀬3丁目1番1号	N35° 13' 28" E139° 43' 27"

の周波数スペクトルを表示したものである。

今回収集した波高・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(CDL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、ならびにゼロアップクロス法で定義した周期の範囲を、図-3.2に示す例に従って整理したものが表-3.3である。津波到達

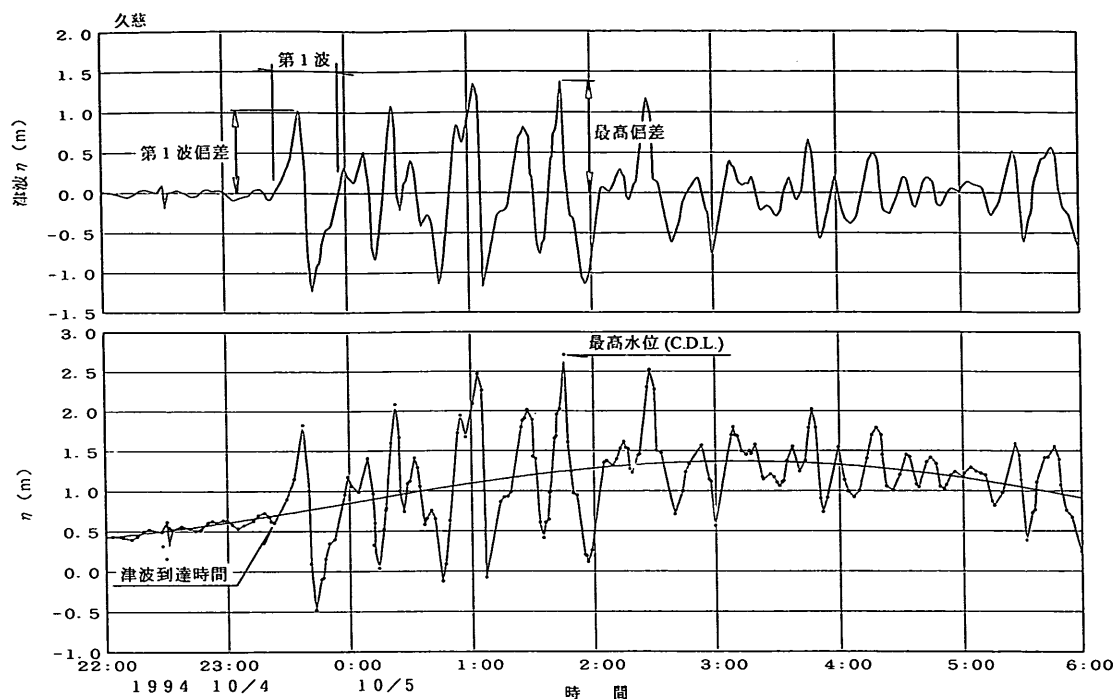
時刻は、潮位記録から120分の移動平均分を差し引き、これを天文潮位と見なして、津波の影と思われる水位変動がこの潮位をクロスした時刻として読み取った。ただし、記録紙に記録された潮位には時刻のズレが認められるものも含まれており、これらについては可能な限り補正したが、なお若干の誤差が含まれている可能性がある。

本解析では津波による水位変動の基準は、原則として

表—3.3 観測津波波形から求めた津波の到達時刻と諸元一覧表

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	
枝 幸	23時31分	+0.00	11	2時26分	+1.00 C D L	6	0時46分	+0.22	4～35分
紋 別	読み取り不可			2時42分	+1.29 C D L		2時42分	+0.31	4～44分
根 室	23時21分	+0.10	7	1時14分	+2.42 C D L	7	1時14分	+1.13	6～38分
釧 路	23時 2分	+0.63	9	3時 5分	+2.37 C D L	9	3時 5分	+0.98	14～49分
十 勝	23時15分	+0.50	9	2時58分	+1.57 C D L	1	23時30分	+0.50	16～47分
浦 河	23時29分	+0.09	7	2時31分	+1.71 C D L	4	1時29分	+0.29	12～56分
苫小牧*	23時37分	+0.16	6	2時56分	+1.64 C D L	4	1時49分	+0.30	13～69分
室 蘭	0時 1分	+0.17	3	2時 5分	+1.77 C D L	7	5時37分	+0.29	43～62分
函 館	23時58分	+0.22	8	4時15分	+1.46 C D L	8	4時15分	+0.55	20～51分
青 森	0時45分	+0.03	5	2時56分	+0.98 C D L	9	4時16分	+0.22	10～51分
むつ小川原*	23時13分	+0.24	4	1時41分	+1.61 C D L	4	1時41分	+0.29	11～61分
むつ小川原	23時19分	+0.43	8	1時43分	+1.85 C D L	8	1時43分	+0.53	7～35分
八 戸*	23時26分	+0.46	4	1時58分	+2.11 C D L	4	1時58分	+0.61	4～62分
八 戸	23時32分	+0.47	7	4時16分	+1.92 C D L	2	0時37分	+0.65	4～59分
久 慈	23時26分	+1.03	7	1時46分	+2.63 C D L	7	1時46分	+1.38	8～31分
釜 石	23時23分	+0.37	7	2時25分	+1.71 C D L	1	23時35分	+0.37	19～38分
大 船 渡*	23時22分	+0.34	7	2時19分	+1.64 C D L	1	23時35分	+0.34	11～47分
仙台新港	0時16分	+0.49	6	3時14分	+2.31 C D L	6	3時14分	+0.67	26～43分
小 名 浜	23時50分	+0.33	7	3時44分	+1.70 C D L	1	0時 2分	+0.33	25～55分
鹿 島	23時59分	+0.20	7	5時10分	+1.82 C D L	3	1時52分	+0.40	29～71分
波 崎*	23時55分	+0.26	8	4時 9分	+1.87 C D L	9	4時48分	+0.28	18～56分
港 研	23時58分	+0.06	6	4時41分	+1.64 C D L	7	5時11分	+0.07	13～71分

*: 沖合波高計記録



図一3.2 津波諸元の読み取り例図

表一3.4 検潮所におけるTPとCDLの関係一覧表

港 名	T. P.	C. D. L.	港 名	T. P.	C. D. L.
枝 幸 港	0.376 m	0.00 m	青 森 港	0.239 m	0.00 m
紋 別 港	0.651	0.00	むつ小川原港	0.871	0.00
根 室 港	0.760	0.00	八 戸 港	0.805	0.00
釧 路 港	0.758	0.00	久 慈 港	不 明	0.00
十 勝 港	0.894	0.00	釜 石 港	0.86	0.00
浦 河 港	0.960	0.00	仙台新港	0.93	0.00
室 蘭 港	0.948	0.00	小 名 浜 港	1.016	0.00
函 館 港	0.528	0.00	鹿 島 港	0.91	0.00
			港 研	0.931	0.00

基本水準面（CDL）を用いてデジタル化している。この基準面は痕跡高を測量時の海面から測った後に、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（TP）を基準としてしているところもある。今回検潮記録を収集した港のCDLとTPの関係は表—3.4に示すとおりである。

3.2 津波の到達時間と第1波の水位の偏差

観測記録から求めた津波の第1波の到達時刻を図—3.3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。釧路には23時頃に第1波が到達しており、その後23時から0時にかけて、ほとんどの観測地点で津波の第1波を観測している。なお、最高水位の起時は、第1波到達からかなり時間がたち1時過ぎとなっている観測地点が大部分であるが、これは、2.2で述べたように、天文潮のためであると考えられる。

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、青森の第1波到達時刻は0時40分をすぎしており、小名浜や鹿島よりも遅くなっている。なお、むつ小川原や八戸では、沖合波浪計による第1波到達時刻は港内検潮記録によるものより3～4分それぞれ早くっており、津波の伝播状況を示しているものと思われる。

検潮記録に現れた津波の初動については、根室などでは弱い引き波から始まっているが、多くの地点では強い押し波から始まっている。

図—3.4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。

3.3 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—3.3に示すとおりである。図—3.5は各地点ごとに最高水位を図示したものである。図—3.6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。

3.4 津波の周期特性

図—3.7は、来襲津波波高の経時的な大小関係を示したものである。各観測地点毎に横軸に時刻を、縦軸にゼロアップクロス法で定義される津波波高をとり、棒グラフで個別波毎の津波波高と周期を示している。

検潮記録から得られた各港の周期特性は表—3.3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—3.8はこれを地点ごとに図示したものである。図—3.8中の横線の範囲が表—3.3に記載した周期の範囲を示し、図中の●、＊、×、＋は、それぞれ、4.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、これらの図表からわかるように概して周期が長く、その平均値は40分程度となっている。このため、10分程度以下の比較的周期が短い水位変動には通常検潮記録は追従できないことが多いにもかかわらず、今回の津波に限って考えれば、検潮記録によっても沖合波浪計と同様に津波の波形が正しく再現されていたものと推測される。

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、スペクトル解析により得られた周期特性とあわせて4.で述べることにする。

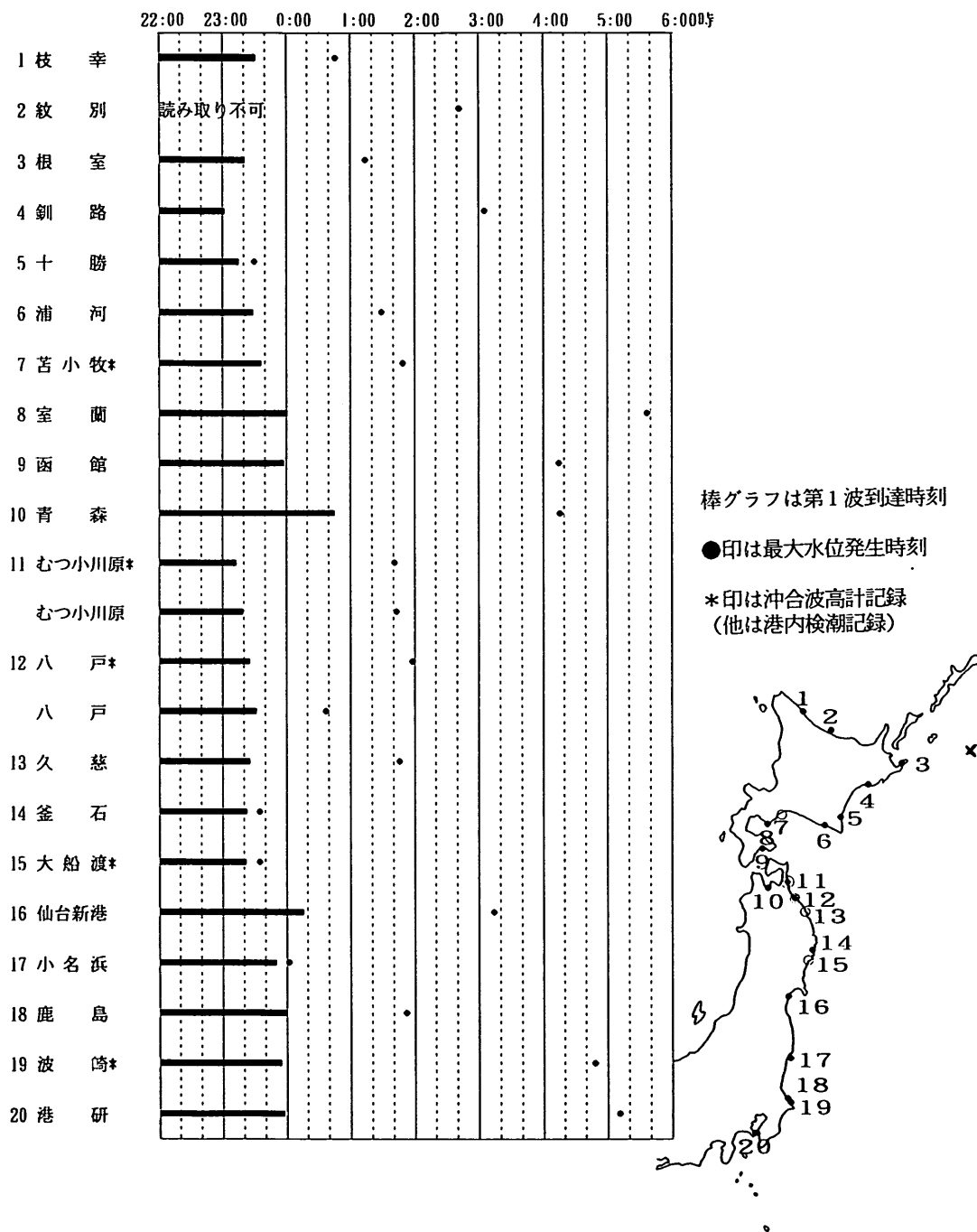
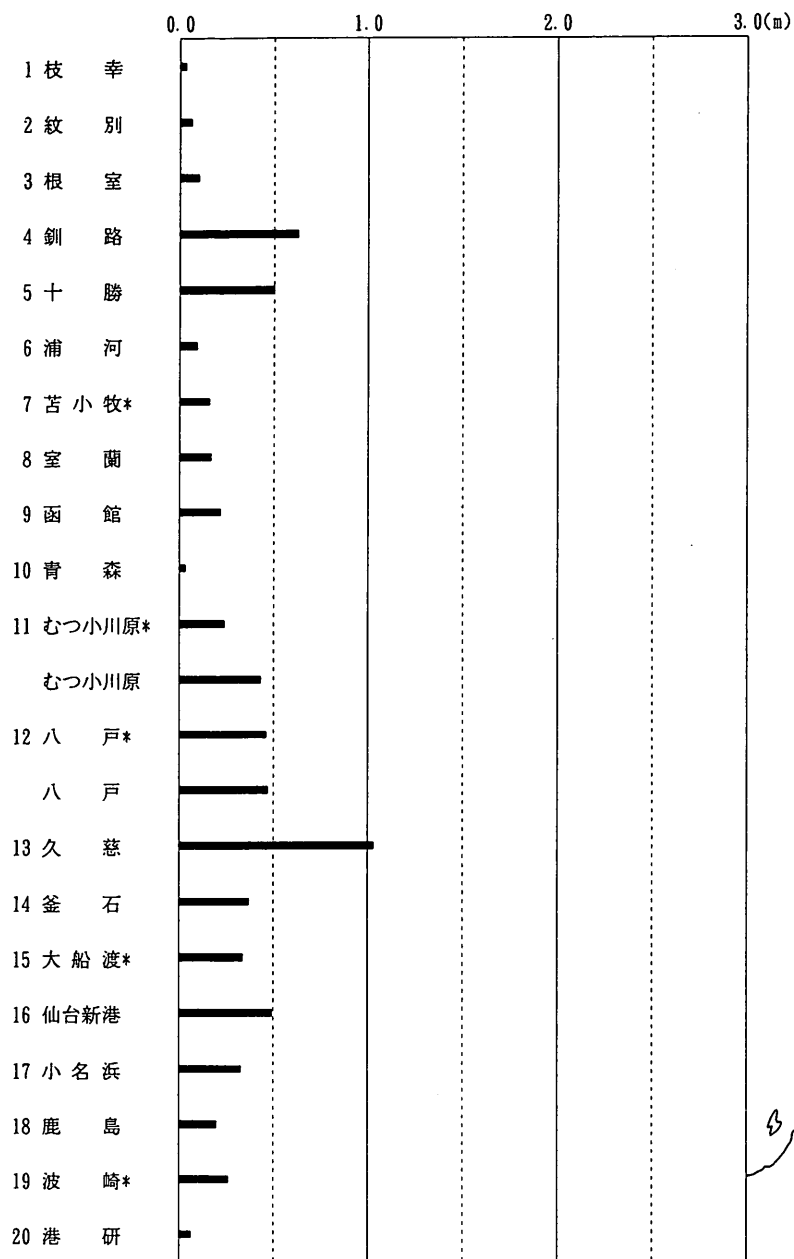
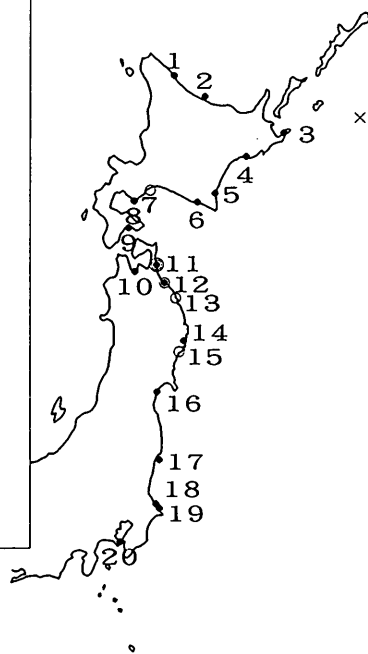


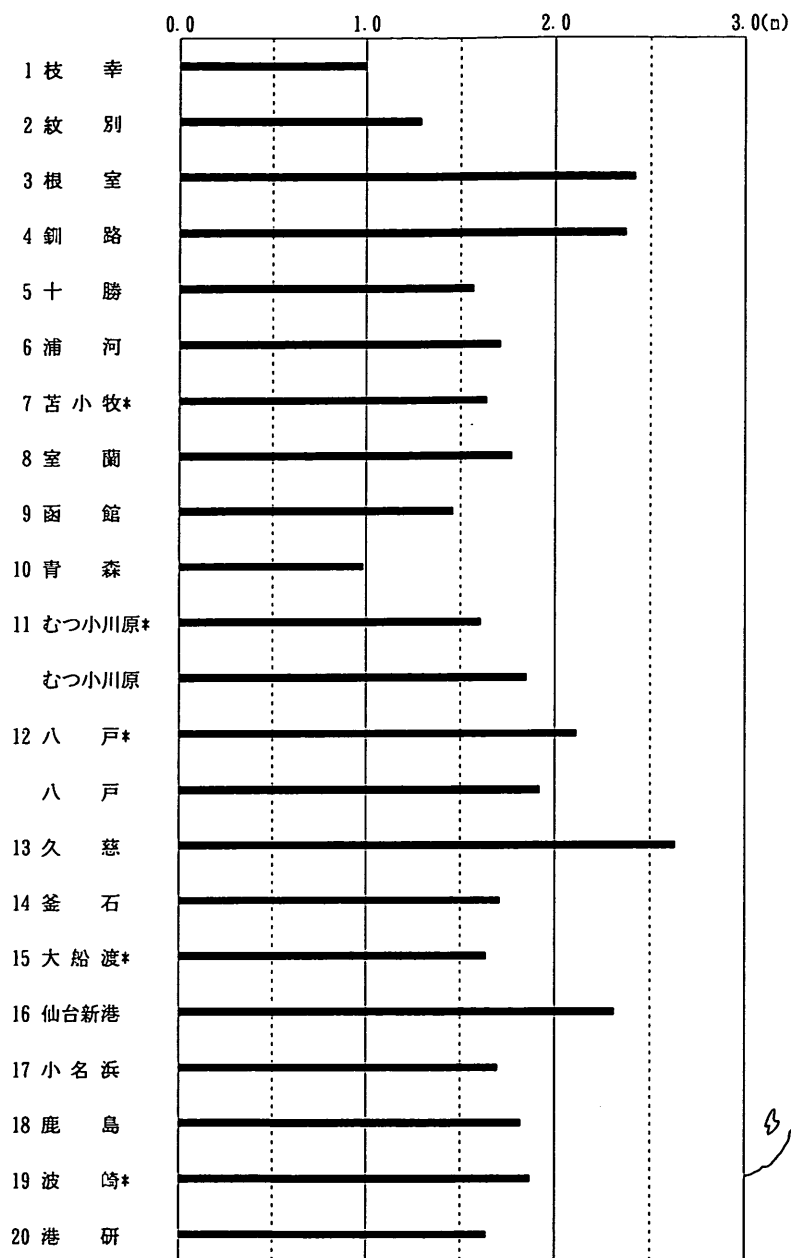
図-3.3 第1波の到達時刻と最高水位記録記録時刻



*印は沖合波高計記録
(他は港内検潮器記録)



図一3.4 第1波の水位偏差



*印は沖合波高計記録
(他は港内検潮記録)

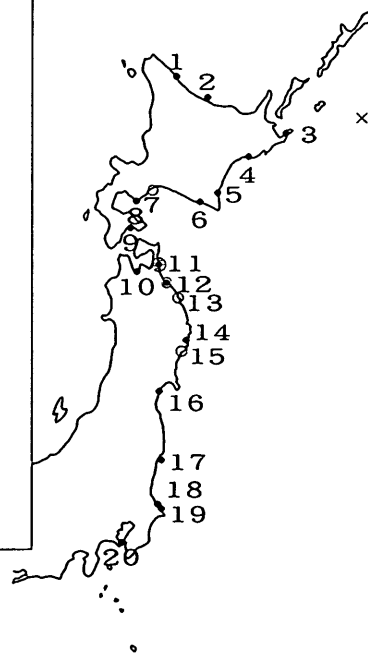
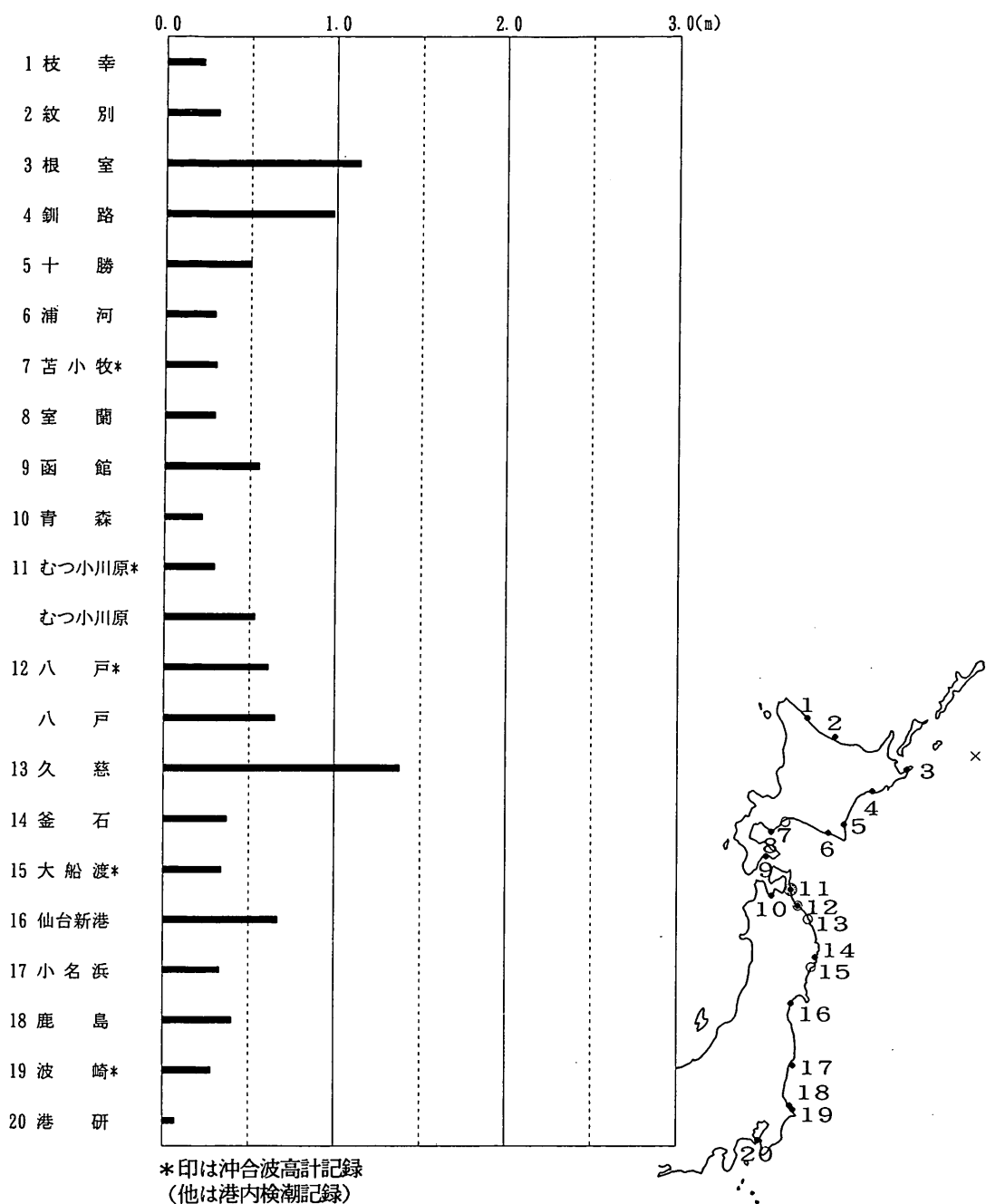
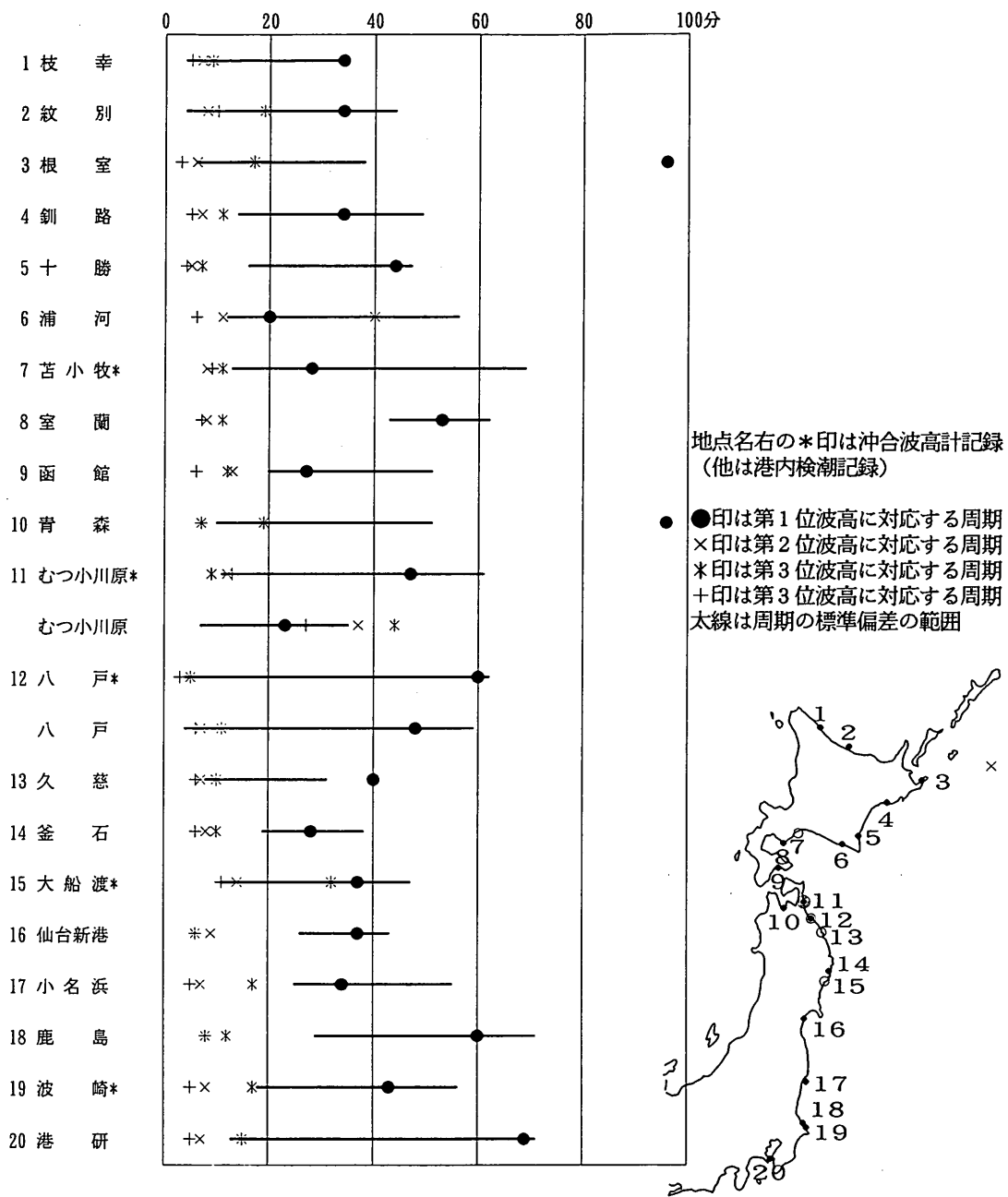


図-3.5 各観測地点毎の最高水位



図一3.6 各観測地点毎の最高偏差



図一3.8 各観測地点毎の津波波形の周期特性

4. 津波波形およびその解析結果

4.1 沖合波浪計・港内検潮記録が捉えた津波波形

(1) 苫小牧港沖合波高記録

図-4.1は、苫小牧港沖合波高計(超音波式：設置水深18m)が捉えた津波波形を示したものである。有義波高3mにもおよぶ周期の比較的短い風波の影響を除去するため、1秒間隔でサンプリングされている水位変動記録に対してプラスマイナス120秒間の三角数値フィルターを与えて作図を行った。また、観測波形中には機器の異常によるものと思われるパルス状の異常水位が数分間程度に1回の割合で出現していたが、こうした異常記録と判断される部分は可能な限り除去に努めた。22時から翌日の6時にかけて長周期水位変動の中心線がゆっくり変化しているのは、潮汐の影響によるものである。図-4.1の上段の図は、こうした潮汐変動分を取り除き、下の図の中心変動線からの偏差を縦軸に示したものであり、津波そのものによる水位変動を示した図であると考えられる。

津波第1波の到達時刻を本波形記録から判断するのは困難であるが、23:40頃の水位上昇(押し)から、津波波形が顕著に現れているようである。津波の高さは夜間を通じてあまり減衰せずに、午前4時頃まで両振幅50cmと

なっている。ゼロアップクロス法で定義される津波の周期は極めて長く、30から60分程度となっているようである。

沖合の波浪観測は2時間毎に20分間水位変動を観測することを標準としており、連続的な観測が行われている地点は少ない中で、このような貴重な記録を得ることができたのは、たまたまこの時期に北海道開発局苫小牧港湾建設事務所によって長周期波浪の観測調査が行われていたためである。

(2) むつ小川原港における波高・流速・潮位記録

図-4.2は、むつ小川原港沖合の波高計(超音波式：設置水深49m)による沖合津波波形記録である。第二港湾建設局では、東北地方の太平洋沿岸における津波を観測するため、全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の一環として位置づけられるむつ小川原港の沖合波高計・流向流速計型波向計の出力にローパスフィルターをかけてアナログ記録紙に連続的に波形を出力させている。アナログ記録紙の紙送り速度は2cm/時間であるため36秒(0.2mm)間隔で記録紙上のデータを数値化し、図-4.1と同じ様式に書き直して図-4.2を作成した。

むつ小川原港沖合における津波第1波の到達時刻は、苫小牧港沖合よりも早く、23:15分頃から水位上昇が始まっている。2時頃までは津波高さの減衰はほとんどなく、波高60cm程度、周期40分程度の津波が繰り返して観

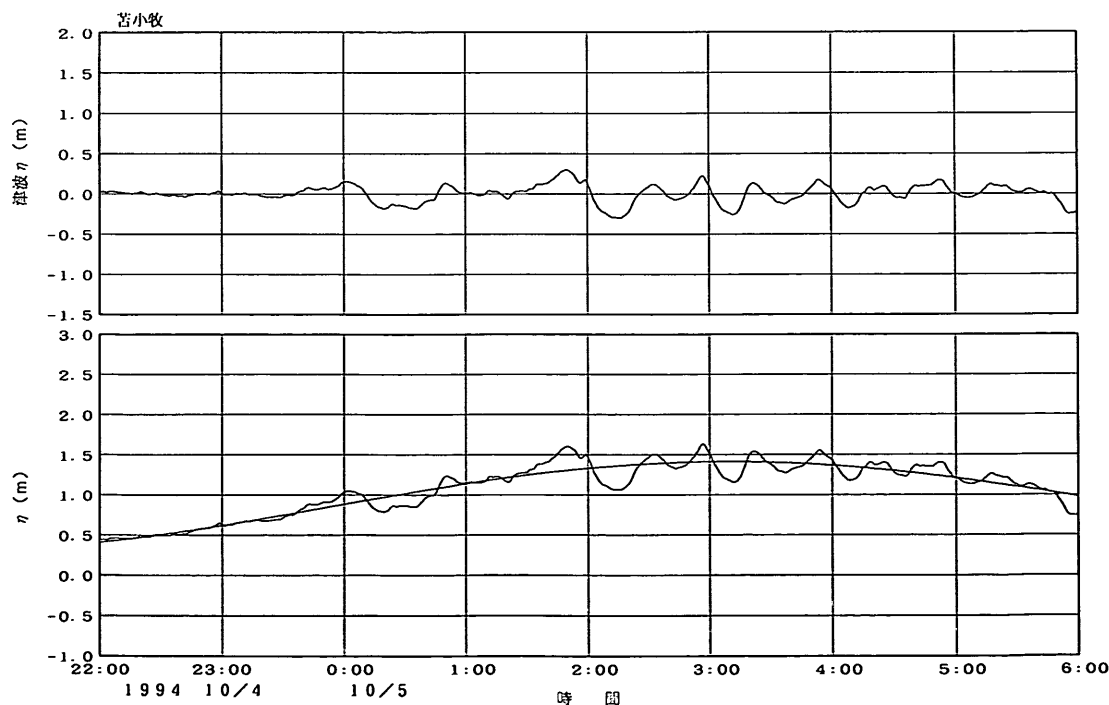
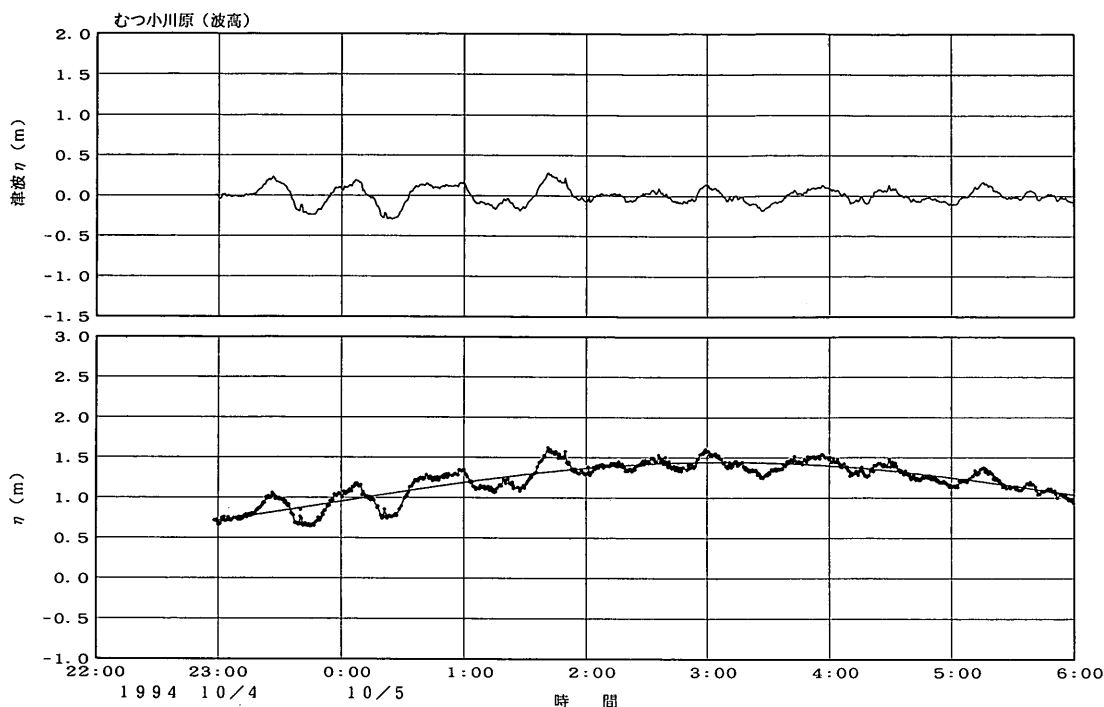


図-4.1 苫小牧東港沖合波高計で測得された津波波形



図一4.2 むつ小川原港沖合波高計で測得された津波波形

測されている。

図一4.3(1)および(2)は、それぞれ、潮流の補正前および後の、むつ小川原港沖合の流向流速計型波向計（超音波式：設置水深27.8m）による流れの記録を、図一4.2と同じ上段の沖合波高計記録とあわせて表示したものである。流れの記録は、上から順に、ベクトル表示（上が北向きの流れ、矢印の長さが流速）、流速の絶対値、流れのむかう方向を表示している。

図一4.3(1)に示される流れの記録の中では、津波によるものとは考えにくい周期が長く変化がゆっくりとした秒速30～40cm程度の成分が顕著に現れている。こうした平均的な流れの影響を取り除き、津波によると考えられる流速を抽出したものが図一4.3(2)である。

図一4.3(2)における23:15頃から23:30頃にかけて、津波による η （水位）の昇が見られる間は、流速 u にも最高18cm/s程度の一つのピークが見られ、その間の流向もSWに安定している。その後、水位が上昇傾向から下降傾向に転じた23:30頃から23:45頃にかけては、流向が逆転し流速 u は最高24cm/s程度の次のピークを示しており、津波によるものと推定される水位変動と流速変動は、少なくとも波形観測初期の30分間程度はよく対応しているようである。震源がむつ小川原波浪観測地点の東北方向に位置していることを考えあわせれば、押し波時と引き

波時の津波による流れの方向変化も、津波が北東から南西に進行していることとよく対応している。0時を過ぎた頃からは、水位変動と流向流速との対応は初期の波形ほどは明確でなくなるが、これは、津波の沿岸における反射による影響であると考えられる。

図一4.4は、むつ小川原港内検潮所で測得された津波波形を示したものである。検潮記録においてもアナログ記録紙の紙送り速度は2cm/時間であるため36秒（0.2mm）間隔で記録紙上のデータを数値化し、図一4.2等と同様にとりまとめを行っている。

図一4.2と図一4.4を比較すると23:15頃から0:00頃にかけての第1波の波形は、押しから始まる形状や40分程度の周期周期においてよく対応していることがわかる。第1波の高さは、沖合波高計より港内検潮記録の方が2倍程度高くなっているが、これは水深が浅くなることによる浅水変形効果（グリーンの定理によれば津波高さは水深の $-1/4$ 乗に比例する）によるものであると思われる。0時以降の波形に関しては、沖合では見られない周期20分程度の比較的周期の短い変動が顕著に港内検潮記録に現れていることが注目される。これは港内副振動や検潮井戸の特性に起因するものであると推測されるが、沖合波形記録におけるローパスフィルター特性が明かではないので、このように断定することは困難である。

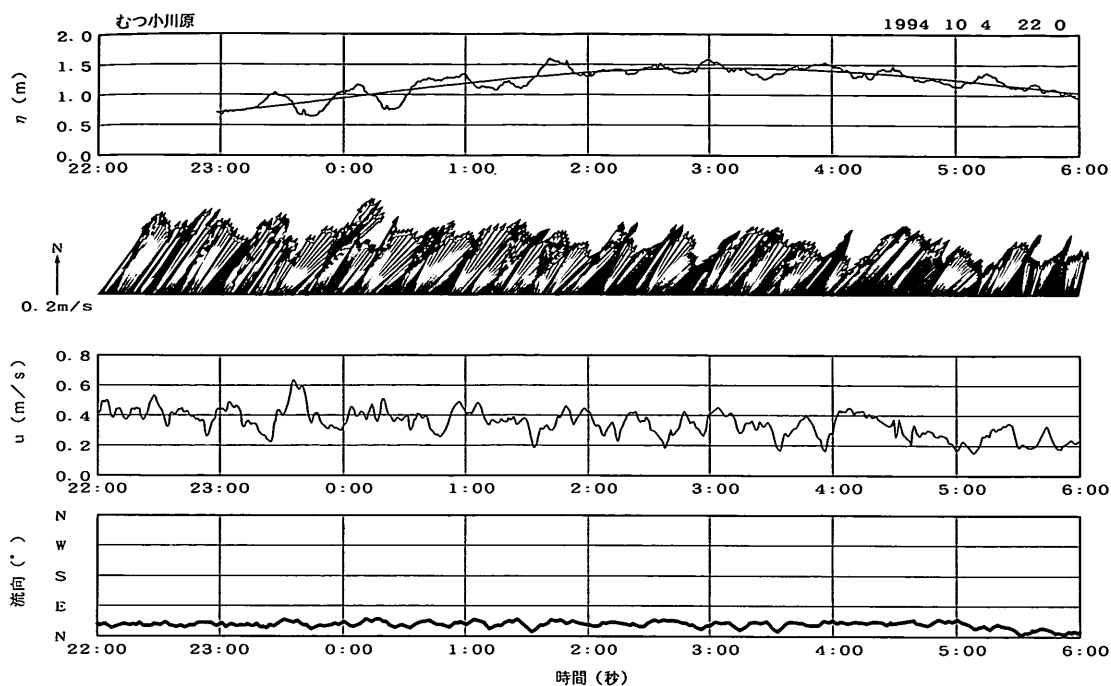


図-4.3(1) むつ小川原港沖合波向計で測得された津波流速記録 (潮流補正前)

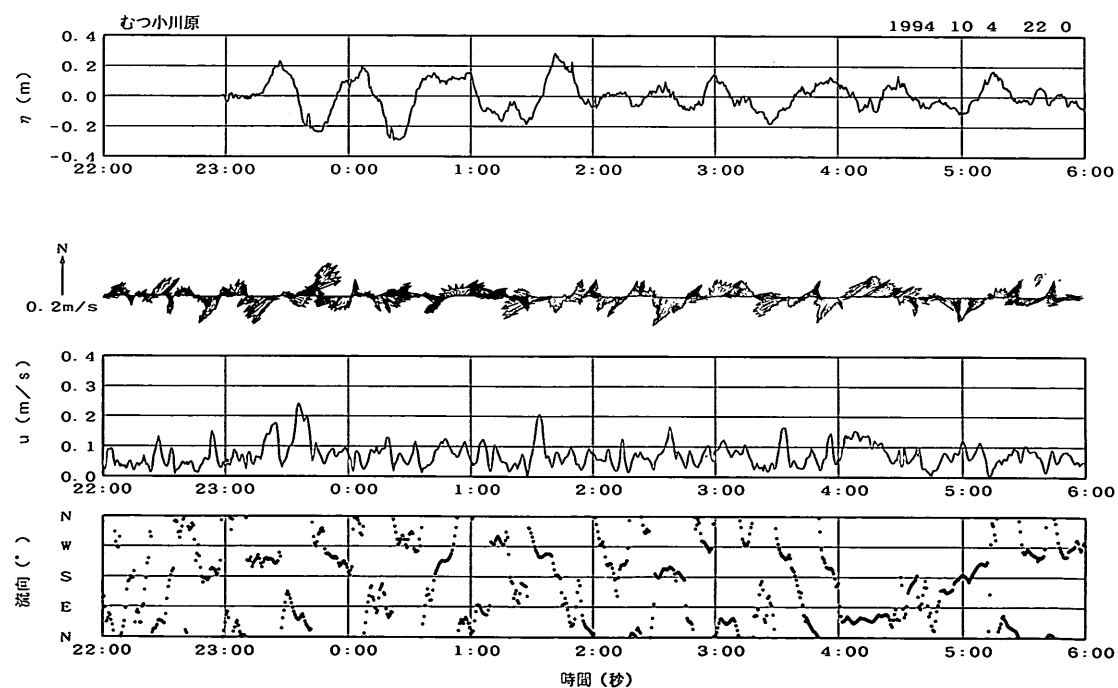


図-4.3(2) むつ小川原港沖合波向計で測得された津波流速記録 (潮流補正後)

(3) 八戸港における波高・潮位記録

第二港湾建設局は、八戸港でもむつ小川原港と同様な津波観測を実施している。図-4.5は八戸港沖合波高計記録(超音波式:設置水深24m)であり、図-4.6は八戸港港内検潮記録である。

図-4.5をむつ小川原における図-4.2と比較すると、第1波が押しから始まっていることは共通しているものの、第1波の到達時刻が八戸では23:26となっており、むつ小川原の23:13より13分程遅れていること、沖合津波高さが八戸ではむつ小川原の2倍程度大きい値を示していること、沖合津波の波形状も若干異なっていることなどの相違点がある。この原因としては、八戸の波高計設置水深がむつ小川原よりも浅くなっていることばかりでなく、周辺の地形の影響による屈折・反射の影響等が考えられる。

一方、図-4.5と図-4.6を比較すると、津波の高さや波形の形状は比較的良好に似ており、むつ小川原のように沖合から港内にかけての津波高さの大幅な増幅は見られない。このことも周辺の海底地形の影響によるものと考えられるので今後のより詳細な津波伝播計算によって検証すべき課題であろう。

(4) 大船渡港における港外波高記録

第二港湾建設局は、大船渡港沖合(水深19m)に水圧式波高計を設置し、津波観測を長年にわたって継続的に行ってきた。図-4.7は、ここで観測された津波波形記録を示したものである。

押し波から始まる第1波は23:20過ぎから観測されており、その周期はゼロアップクロス法で定義すれば40分程度、波高は70cm程度となっており、津波周期は他の沖合波高計による観測値とほぼ一致しているものの、高さは八戸港沖合波高計よりは若干低く、苫小牧港沖合波高計やむつ小川原港沖合波高計よりは若干高い値を示している。

(5) 波崎観測栈橋・鹿島港検潮所における波形記録

図-4.8は波崎観測栈橋先端部(水深4.4m)における空中発射式超音波式波高計が捉えた津波波形であり、0.5秒間隔でサンプリングされた水位変動記録に対してプラスマイナス120秒の三角数値フィルターをかけて波浪成分を除去して表示したものである。津波の第1波は23:55頃からやはり押し波から始まっている。津波周期は40分程度であり第1波の形状は、大船渡港外における観測波形とよく類似している。

一方、図-4.9は、鹿島港港内検潮記録を示したもので

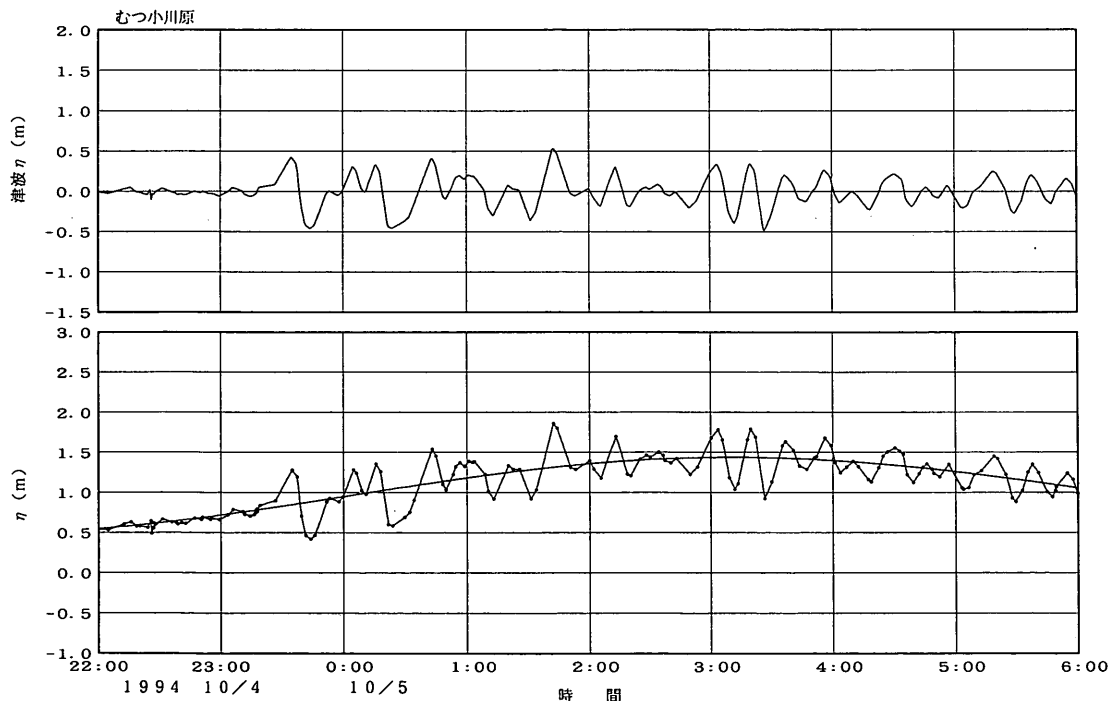


図-4.4 むつ小川原港検潮所で測得された津波波形

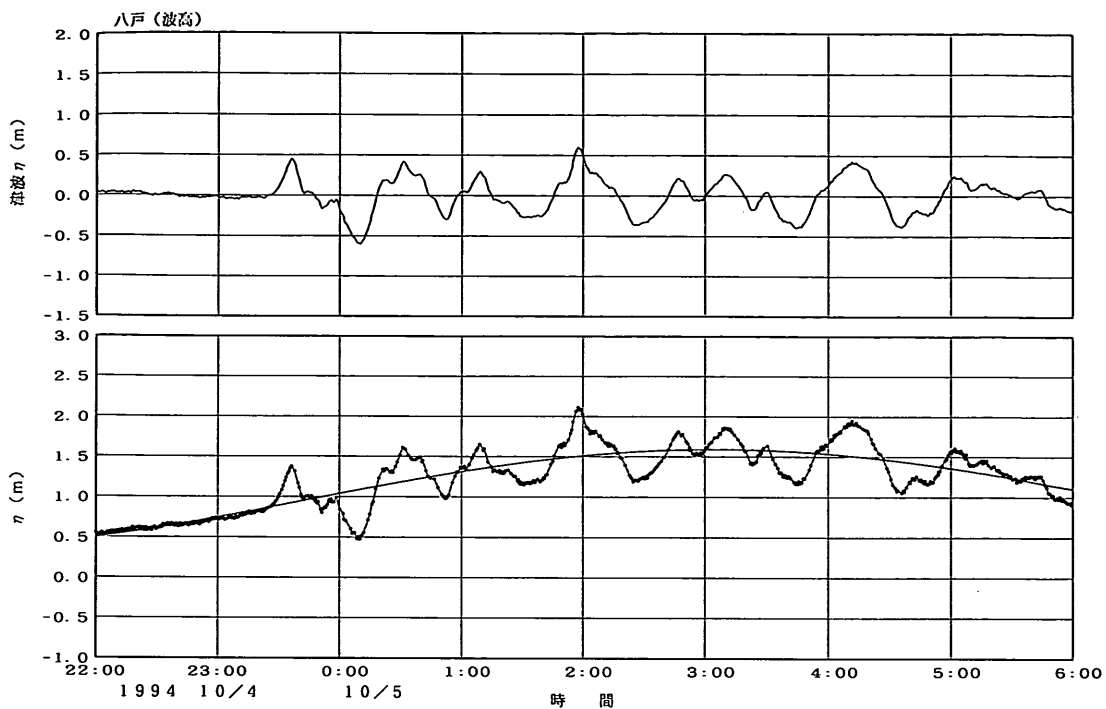


図-4.5 八戸港沖合波高計で測得された津波波形

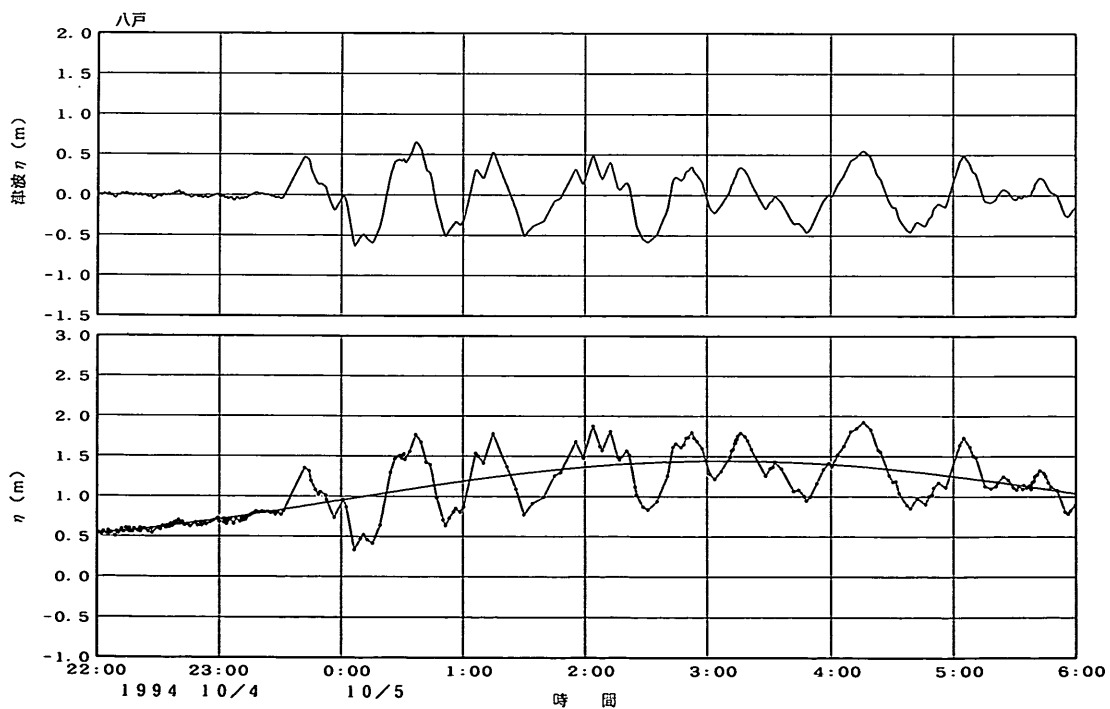
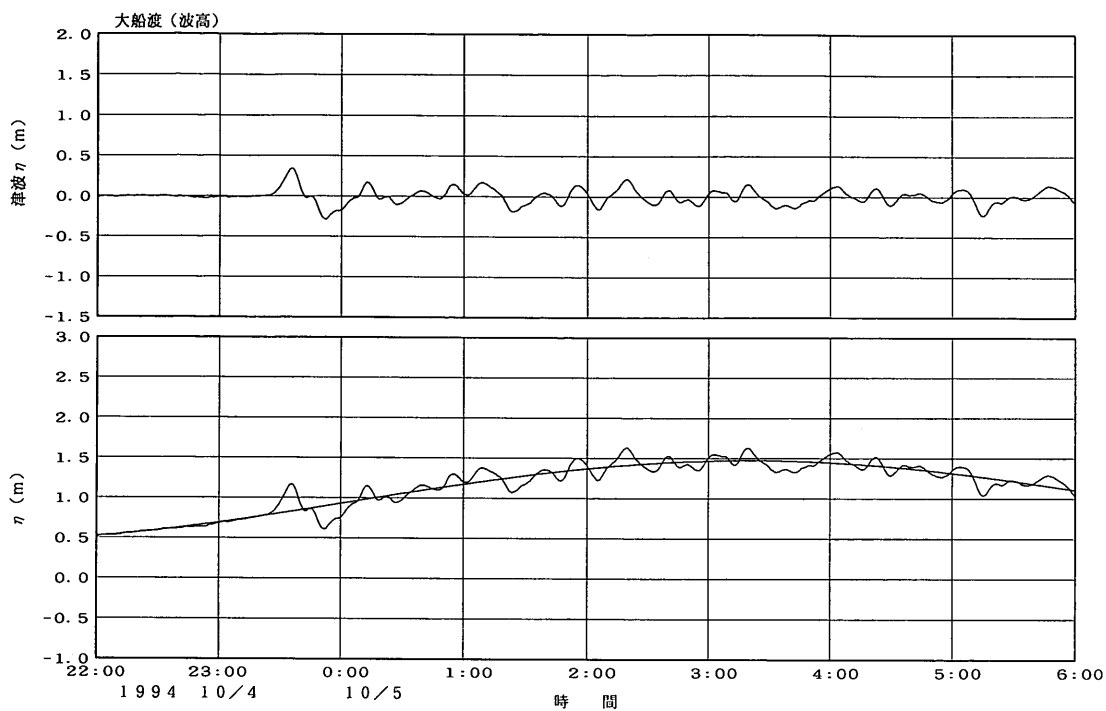
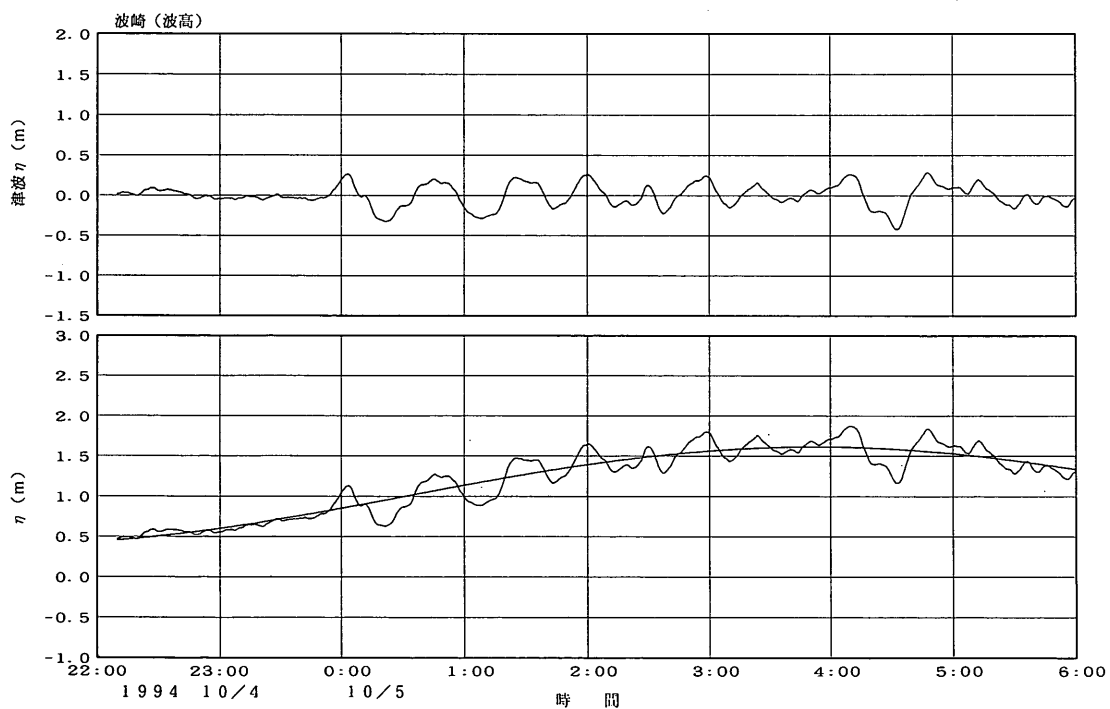


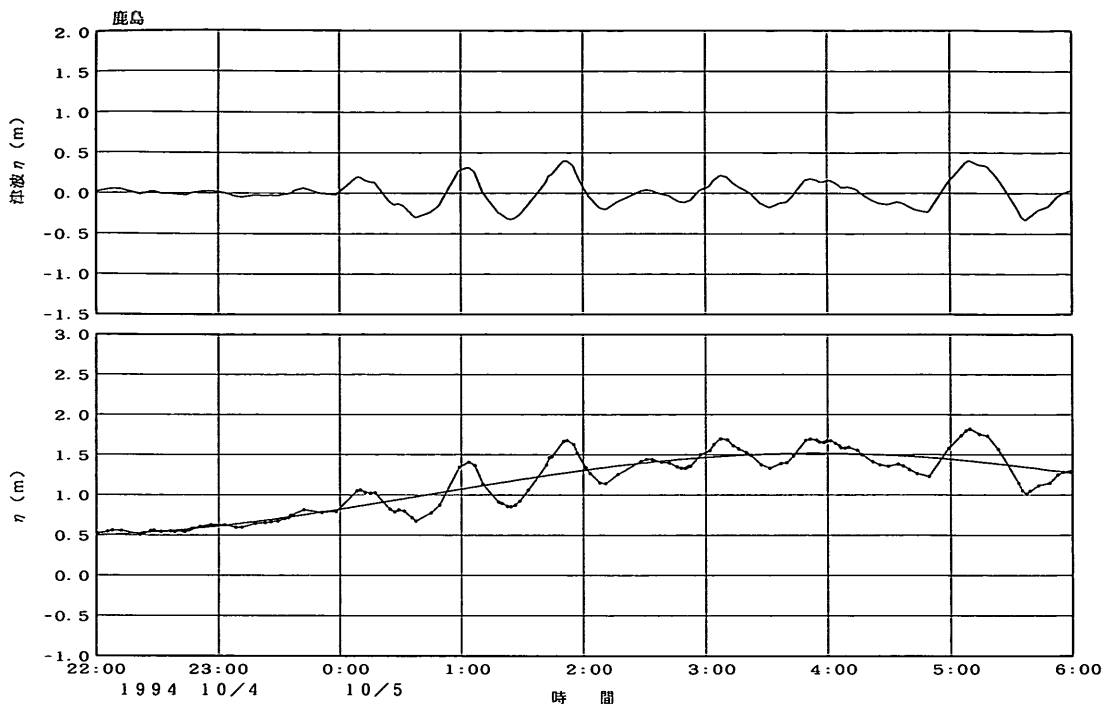
図-4.6 八戸港検潮所で測得された津波波形



図一4.7 大船渡港沖合波高計で測得された津波波形



図一4.8 波崎観測栈橋先端部波高計で測得された津波波形



図—4.9 鹿島港検潮所で測得された津波波形

ある。波崎観測栈橋と鹿島港港内検潮所は10km以上離れており、また鹿島港港内検潮所は、鹿島港防波堤によって遮蔽された港内に位置している。

図—4.8と図—4.9を比較すると、第1波到達時刻が波崎観測栈橋先端部の方が5分程度早くなっていることがわかる。第1波の周期や波形形状は比較的よく類似しているものの、時間の経過とともに両者の相違が顕著になってきている。すなわち、鹿島港内検潮所における津波周期は波崎観測栈橋先端部より長く、周期1時間程度の水位変動が午前4時以降むしろ振幅を増幅させて出現している。この原因は、鹿島港内における副振動、あるいは、検潮井戸の応答特性などが考えられるが、今後の検討課題である。

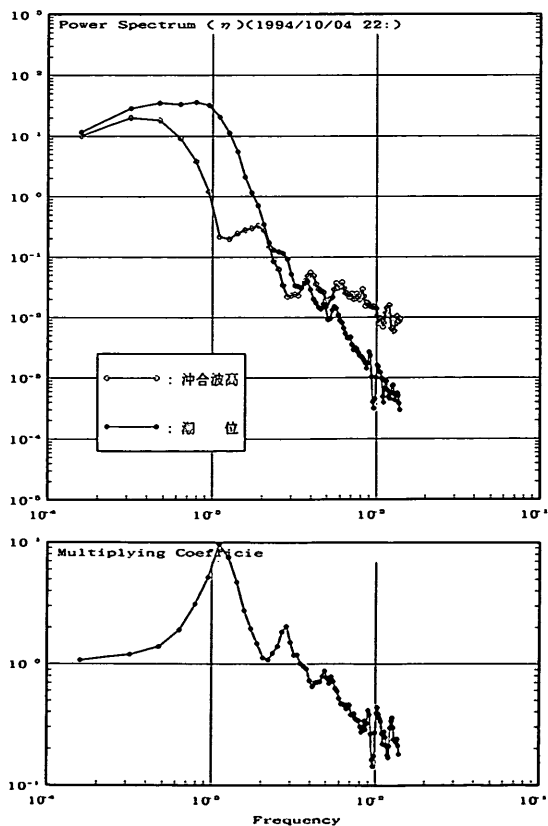
(6) その他各検潮所における津波波形記録

付図—1.1から1.17に、その他の各検潮所における津波波形記録を参考のため掲載する。

4.2 津波波形記録の解析

(1) 周波数スペクトル特性

図—4.10は、むつ小川原港における沖合波高計記録と港内検潮記録の周波数スペクトルを重ねて図化したものである。スペクトルの計算にあたっては、36秒間隔でデジタル化した波形記録を図—4.2あるいは図—4.4に示さ



図—4.10 むつ小川原港沖合波高計と検潮所の周波数スペクトル

れるすべての時間にわたって直接フーリエ変換を行った。これは、スペクトル解析のためのデータ数は8時間のデータの場合800データということになりスペクトル解析にあたっては必ずしもデータ数が多くはないこと、2の整数乗個のデータでなければ計算が困難であるFFT法の採用は必ずしも適切であるとは判断されないこと、等による理由である。上段の図は両者の周波数スペクトルを比較したものであり、下段の図はその比を対数軸上で表示したものである。

沖合波高計では、0.0002Hz(約80分)から0.0006Hz(約25分)の間の周波数帯で、港内検潮所でも0.0002Hz(約80分)から0.0013Hz(約13分)の間の周波数で、それぞれ津波のエネルギーのピークが現れており、ゼロアップクロス法から得られた図-3.8で求められた津波周期とよい対応を示している。スペクトルのピークはなだらかであり、上記の周波数帯に広く津波エネルギーが分布している状況が理解される。

下段の比のグラフを見ると、0.0011Hz(約15分)のところで検潮記録が沖合波高記録に比べて大きく増幅され

るピークが見られる。そして、これより長周期側では両者の比は1.0に漸近する傾向を示し、短周期側では両者の比は減少し、0.003Hz(約5分)より高周波数側では1.0より小さくなっており、検潮記録のローパスフィルター特性が現れている。0.0011Hz(約15分)のピークの他にも0.0025Hz(約7分)でもうひとつのピークが現れているが、これらのピークは港湾内の副振動固有周期と対応している可能性がある。

図-4.11は、むつ小川原港沖合流速計型波向計によって測得された東西方向と南北方向との流速変動の周波数スペクトルを、同様に比較したものである。東西方向と南北方向はよく似たスペクトル形状を示しており、その比も各周波数帯で1.0に近い値となっている。このことは、津波が北東方向から来襲したためであると推測される。スペクトルのピーク周波数はやはり0.0008Hz(約20分)よりも低周波数側に現れており、そのピークはなだらかとなっている。

図-4.12は、八戸港における沖合波高計記録と港内検潮記録の周波数スペクトルの比較である。図-4.10のむ

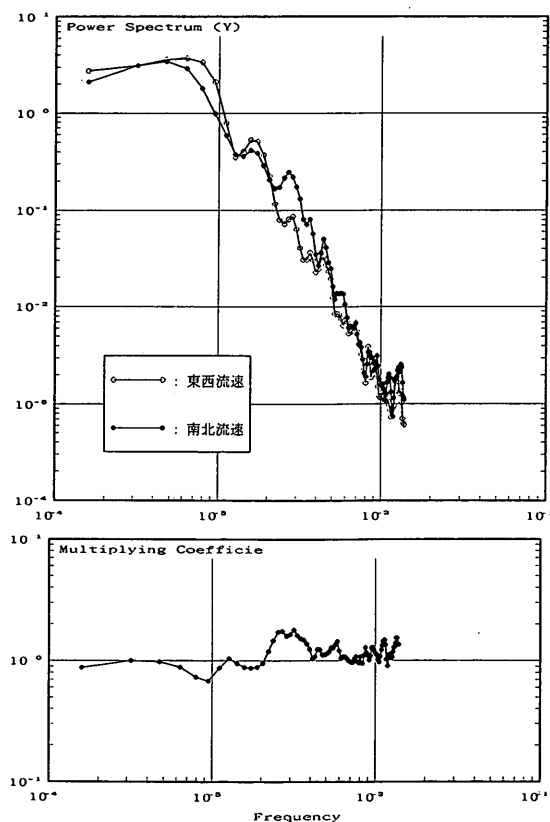


図-4.11 むつ小川原港沖合波向計による流速の周波数スペクトル

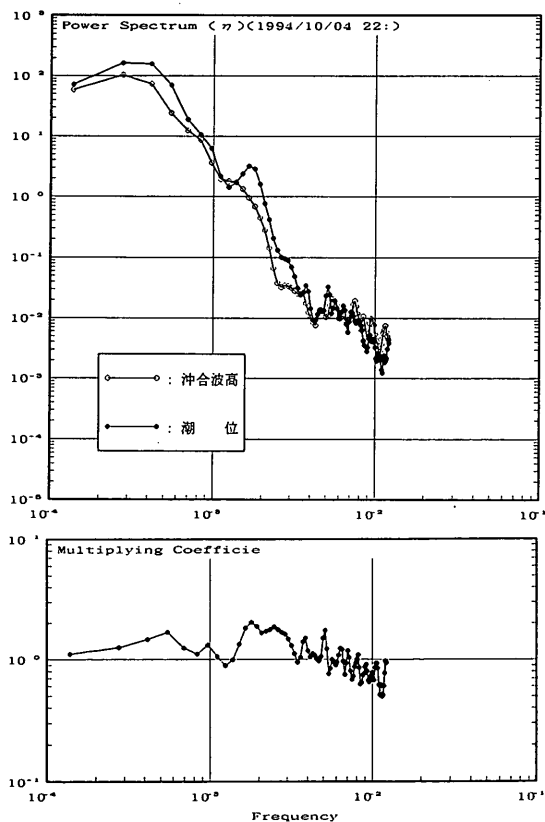


図-4.12 八戸港沖合波高計と検潮所の周波数スペクトル

つ小川原港とは異なり八戸港では両者のスペクトル形状は比較的よく一致している。ピーク周波数帯は、両者とも、 0.00015Hz (約110分) から 0.0006Hz (約28分) にかけての範囲でありやはりピークはなだらかとなっている。むつ小川原港に比べると若干ピークが低周波数側になっているようである。下段の比を見ると、各周波数においてはほぼ1.0に近い値となっているが、 0.0006Hz (約28分) 付近と 0.002Hz (約8分) から 0.003Hz (約5分) にかけての周波数帯で、港内検潮記録は沖合波高計記録に比べて増幅されている状況が理解される。この原因は、八戸港の地形的要因に伴うものであるのか、あるいは、検潮井戸の応答特性に伴うものであるのかは、明かではない。

図-4.13は、波崎海洋観測栈橋先端部の波高計記録と鹿島港港内検潮記録の周波数スペクトルを比較したものである。両者ともに、図-4.12における八戸港における記録と同様に、ピーク周波数帯は、 0.00015Hz (約110分) から 0.0006Hz (約28分) にかけての範囲でありやはりピークはなだらかとなっている。下段のスペクトル比を見ると、 0.0005Hz (約33分) よりも高周波数側では1.0より小さい値を取り、波高計記録の方が大きいエネルギーを示しているのに対して、これより低周波数側では逆に1.0より大きい値を取り検潮記録の方が大きいエネルギーを示している。こうした傾向は、図-4.8と図-4.9の比較とよく対応しており、鹿島港港内検潮記録では非常に周期の長い水位変動が顕著となっている。

以上、沖合波高計記録と港内検潮記録の周波数スペク

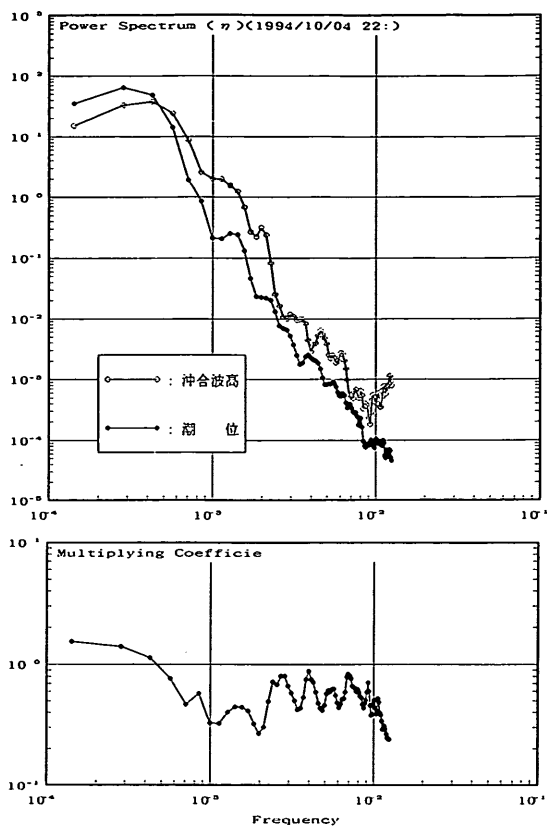


図-4.13 波崎観測栈橋先端部波高計と鹿島港検潮所の周波数スペクトル

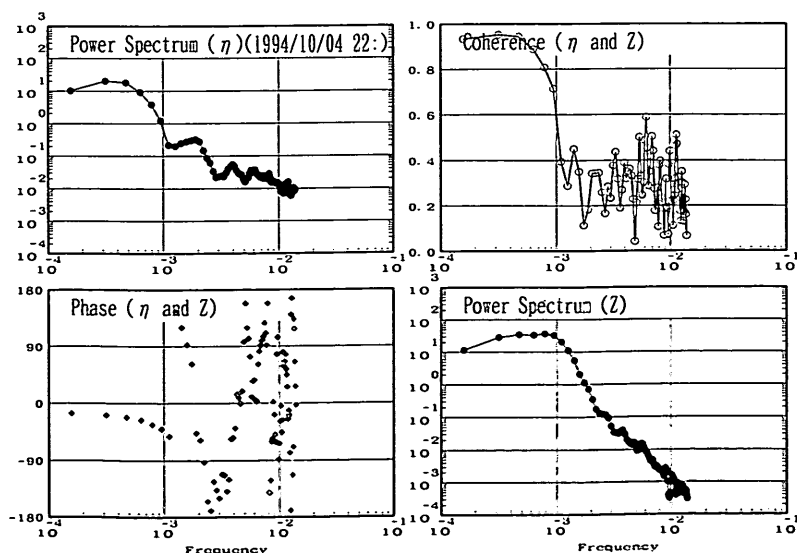


図-4.14 むつ小川原港沖合波高計記録 η と検潮記録 Z のスペクトル相関 (コヒーレンス・フェイズ)

トル特性を両者の比較において考察したが、それ以外の各観測地点における周波数スペクトルも、付図3にすべて掲載している。

(2) スペクトルの相関

図-4.14は、むつ小川原港における沖合波高計記録と港内検潮記録の周波数スペクトルの相関を図化したものである。4枚の図面から構成されているが、左上の図と右下の図は、それぞれの記録の周波数スペクトルであり、図-4.10ですでに示したものである。右上の図は両者のコヒーレンス（相互相関の強さ）を、左下の図は位相角の差を意味している。

コヒーレンスの値は0.001Hz(約17分)よりも高周波数側では0.5以下の比較的小さい値を示し、両者のスペクトルの相関性は低くなっているものの、これより低周波数側では周波数が低くなるほどコヒーレンスの値が大きくなり、0.0006Hz(約28分)より低周波数側では1.0に近い値となり極めて相関性が高くなっていることがわかる。位相角の変化もコヒーレンスに対応しており、0.001Hz(約17分)よりも高周波数側ではわずかな周波数変化に対して大きな変動をしているのに反して、これよりも低周

波数側では、位相角の値は安定しているようである。周波数の減少とともに位相角は0°に漸近している傾向も明かであり、両者の波形が一致するようになることが理解できる。

図-4.15は、同様にしてむつ小川原港沖合における波高計記録と東西・南北両成分流速の周波数スペクトルの相関を図化したものである。水面変動記録と流速記録のコヒーレンスは、東西・南北両方向とも0.0003Hz(約56分)から0.0006Hz(約28分)にかけての周波数帯でピークを示し、ピークの値は、東西方向流速に対して約0.8、南北方向流速に対して約0.5となっている。すなわち東西方向の流れの方が南北方向の流れよりも水面変動と相関性が高くなっている。このことは、むつ小川原港周辺の海岸線や等深線は南北方向に走っていることを考え合わせれば、屈折を受けた効果として理解できる。

東西方向の流速と水面変動の位相角差は、0.001Hz(約17分)より低周波数側ではほぼ90°の一定値となっている。水位変動と水平流速の位相角は、進行波では一致し重複波では90°ずれることになるが、本スペクトル相関解析は前述の通り23:00から6:00にかけてのすべてのデー

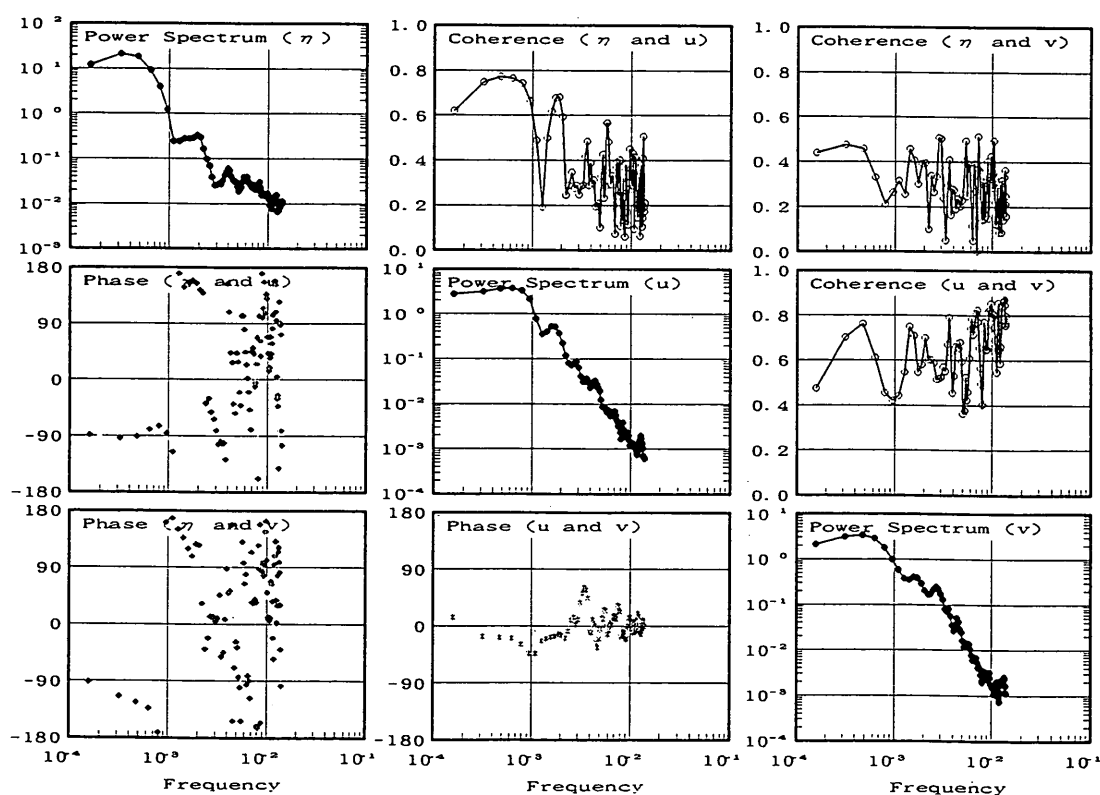


図-4.15 むつ小川原港沖合波高計記録と流速記録のスペクトル相関
(コヒーレンス・フェイズ)

タを用いているため、海岸線からの反射波の影響が現れ重複波を東西方向すなわち海岸線直角方向に形成している時間が大部分であるためと考えられる。

図-4.16は八戸港における沖合波高計記録と港内検潮記録の周波数スペクトルの相関であり、図-4.17は波崎海洋栈橋先端部波高計記録と鹿島港内検潮記録の周波数スペクトルの相関である。八戸港では、0.0004Hz(約42分)よりも低周波数側では両者のコヒーレンスはほぼ1.0となっており、極めて高い相関を示しているが、波崎・鹿島では、両観測地点が空間的に大きく(15km以上)隔たっているためと思われるが、コヒーレンスの値は相対的に低くなっている。

(3) 沖合における水位変動と流速との関係

図-4.18は、津波到達初期におけるむつ小川原港における沖合波高計による水面変動記録 η と、波向計による流向流速 u (ここでは東西方向のみを考え、岸向きすなわち西向きの流れを正としている)との関係を取りまとめたものである。微小振幅波理論によれば進行長波においては、

$$u = \eta(g/h)^{1/2} \quad (4.1)$$

の関係が成立することが知られている。ただし、むつ小川原港沖合の波高計の設置水深は49m、波向計の設置水深は27.8mと異なっている。津波高さはグリーンの式によって水深の1/4乗に反比例することを考えあわせれば、

むつ小川原の波向計の設置水深27.8m地点における水平流速 $u_{27.8}$ は、波高計の設置水深49mにおける η_{49} を用いて、式(4.1)'のように示される。

$$\begin{aligned} u_{27.8} &= (49/27.8)^{3/4} \eta_{49} (g/h)^{1/2} \\ &= 1.53 \eta_{49} (g/h)^{1/2} \end{aligned} \quad (4.1)'$$

となる。ここで g は重力加速度(9.8m/s/s)であり、 h は波高計設置地点の水深(49m)である。図-4.18中の斜め直線は、式(4.1)'を示している。

しかし、津波は海岸線で反射されるため、間もなく重複波としての波形を示すようになる。付図-2.12に示されるように海岸線・波高計・波向計の距離はたかだか3km程度であるが、北海道東方沖地震津波の周期は前述したように極めて長く、津波波長(平均水深20m、周期40分と仮定すると波長は約34kmとなる)に比べれば、この距離は非常に短い。このため、波浪観測地点における重複波の性質は、重複波の腹に近いものとなる。

重複波の腹の位置では、式(4.1)のかわりに式(4.2)が成立する。

$$u = 0 \quad (4.2)$$

このため、津波は当初は、原点から斜め直線上を上昇するものの、間もなく反射波の影響で横軸上に近づくことが予想される。

図-4.18を見ると、以上の説明がよく成り立っており、水位変動と流速との対応を合理的に説明することができる。

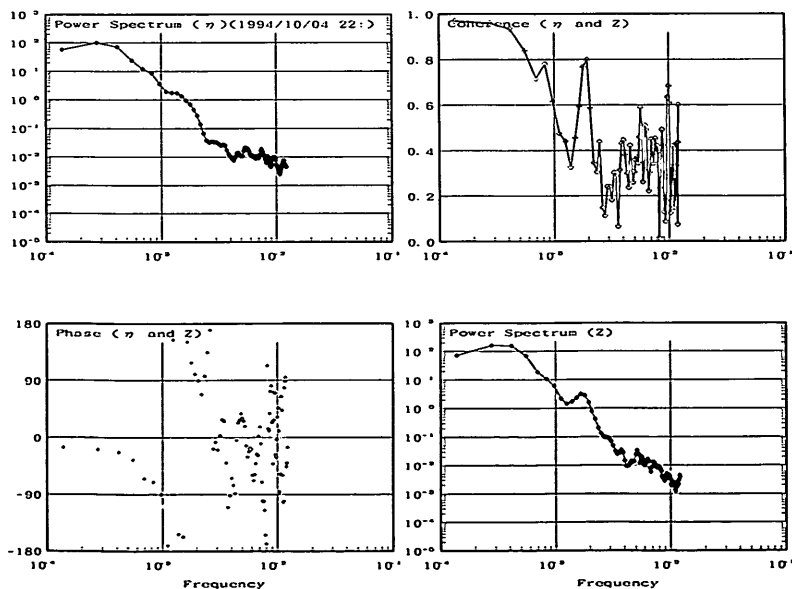


図-4.16 八戸港沖合波高計記録と検潮記録のスペクトル相関
(コヒーレンス・フェイズ)

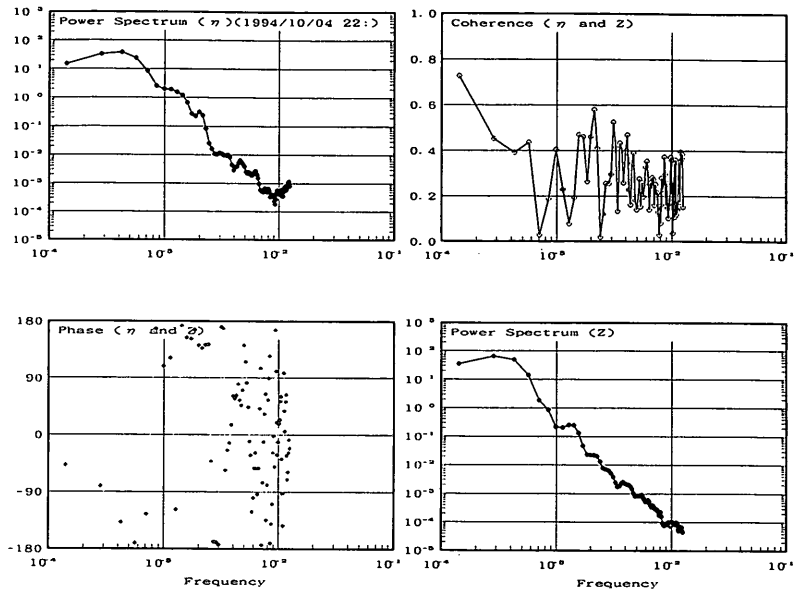


図-4.17 波崎栈橋先端波高計記録と鹿島港検潮記録のスペクトル相関
(コヒーレンス・フェイズ)

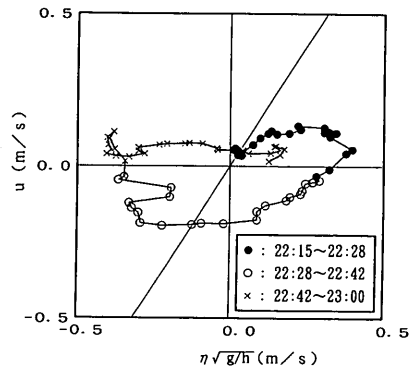


図-4.18 むつ小川原港沖合における η と U の関係

5. 津波に関する現地調査

5.1 調査の概要

(1) 調査行程

1994年10月11日から3日間にわたり八戸～釜石の海岸部について、ヒアリング調査を中心に現地調査を行った。北海道沿岸部については、北海道開発局が調査を行っており、根室港花咲地区で最高3mの陸上遡上高を確認している⁹⁾。本調査の行程を図-5.1に示す。調査は、港湾技

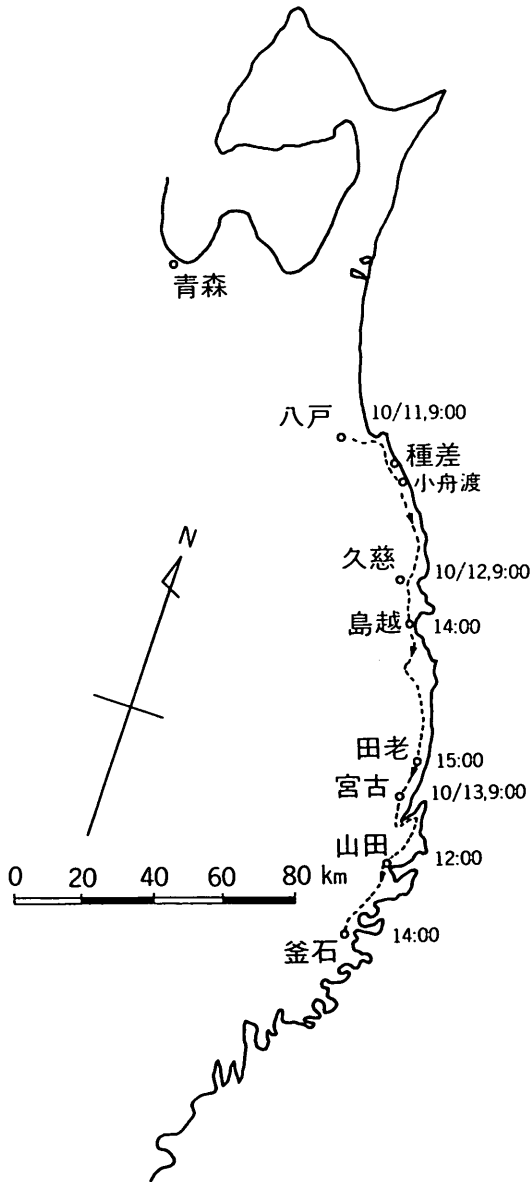


図-5.1 調査の行程

術研究所と第二港湾建設局との合同で行った。各調査日の行程と、調査員の構成を以下に示す：

10月11日

八戸港～大蛇漁港～種差漁港～小舟渡漁港～久慈港
調査員：第二港湾建設局八戸港工事事務所第一工務課、
第一工務課、第二工務課、港湾技術研究所水工部

10月12日

久慈港～島の越漁港～茂師漁港～田老漁港～宮古港
調査員：第二港湾建設局釜石港工事事務所久慈事務所
港湾技術研究所水工部

10月13日

宮古港～山田湾～釜石港
調査員：第二港湾建設局釜石港工事事務所工務課、工
事課、港湾技術研究所水工部

(2) 遡上高の分布

表-5.1は、本調査で取得した各地の痕跡および遡上高さである。表において、最も左端の列に調査場所を示す。左から2列目は、測定値の種別を示す。'ヒア'は、工事事務所の職員による目視観測および現地住民の方々からの聞き取り調査によって判明した最高水位である。'痕跡'は、木材の打ち上げ、水跡線、海砂の付着等の痕跡を発見し、その高さを測ったものである。なお、津波発生後約1週間経過したときの調査であり、明確な痕跡は少ない。また風によるうち上げの可能性があるので、各痕跡については、現地の住民あるいは消防団員の証言で、確認をした。'検潮'は、検潮記録から読みとった最高水位である。

3列目は、測定した痕跡高である。DLは、工事基準面を基に測定した数値である。これは調査痕跡の近辺に天端高が既知の防波堤、設岸がある場合にあたり、その天端を基準として痕跡高さを測量した。調査対象港では工事基準面と海図基準面(C.D.L.)は一致しているので、これらの値はそのままC.D.L.上の高さとなる。調査痕跡の近辺に高さが既知の構造物がない場合には、海面を0として痕跡高を測った。WLは、海面を基準とした痕跡高であることを示す。このときは、5列目に示すように、調査当時の海水面の高さを潮汐表(海上保安庁, 1994)から計算し、その結果を加えて、C.D.L.基準の高さに換算した。

6列目に、換算後の痕跡高を示す。ここでは、津波高R(m)として表示する。ヒアリングおよび痕跡調査に基づく場合には、有効数字を小数1桁までとした。検潮記録の解析結果から求めた最高水位の場合には、有効数字を小数2桁とした。

図-5.2に、津波遡上高Rの分布を示す。本調査対象港

表-5.1 調査痕跡高一覧

地 点	種類*	痕跡(m)**	測定時	測定時潮位	津波高R(m)**
八戸工業港水路奥①	ヒア	DL + 2.4	-----		2.4
八戸工業港水路奥②	ヒア	DL + 2.4	-----		2.4
鮫漁港八戸通船乗り場	ヒア	DL + 1.8	-----		1.8
八戸検潮面最高水位	検潮				1.92
種差漁港	ヒア	WL + 0.5	10/11 16:00	+1.20(八戸)	1.7
小舟渡漁港	ヒア	WL + 0.5	10/11 17:00	+1.28(")	1.8
久慈川河口作業小屋	ヒア	WL + 0.7	10/12 10:00	+1.09(")	1.8
久慈川河口砂州	痕跡	WL + 0.66	10/12 10:00	+1.09(")	1.8
久慈港諏訪下地区	ヒア	DL + 2.35	-----		2.4
久慈港玉の脇地区岸壁	ヒア	WL + 1.40	10/12 11:30	+1.05(")	2.5
久慈港玉の脇地区突堤	ヒア	DL + 2.49	-----		2.5
久慈検潮面最高水位					2.63
島越漁港	ヒア	WL + 1.0	10/12 14:00	+1.01(")	2.0
田老漁港	ヒア	WL + 1.0	10/12 16:00	+1.11(")	2.1
宮古港堀内地区					
①カキ処理作業小屋	痕跡	WL + 1.51	10/13 10:00	+1.01(宮古)	2.5
②倉庫	痕跡	WL + 2.52	"	+1.01(")	3.5
③倉庫	痕跡	WL + 2.26	"	+1.01(")	3.3
宮古港釜ヶ沢地区	痕跡	WL + 1.88	10/13 10:30	+1.05(")	2.9
山田漁港魚市場岸壁	ヒア	WL + 1.24	10/13 11:30	+1.12(")	2.4
山田漁港魚市場事務所	ヒア	WL + 1.20	10/13 11:30	+1.12(")	2.3
山田漁港大沢地区	ヒア	WL + 1.22	10/13 12:00	+1.16(")	2.4
釜石港魚市場	ヒア	DL + 2.5	-----		2.5

* ヒア・・・ヒアリングにより最高潮位を設定したもの

痕跡・・・津波の痕跡を測ったもの

検潮・・・検潮記録より求めた最高水位

** DL・・・基準面からの高さ

WL・・・調査時の海面上の高さ

*** C. D. L. (海図基準面)からの最高水位および遡上高

ヒアリングや痕跡から求めたものは小数1ヶを有効値とする。

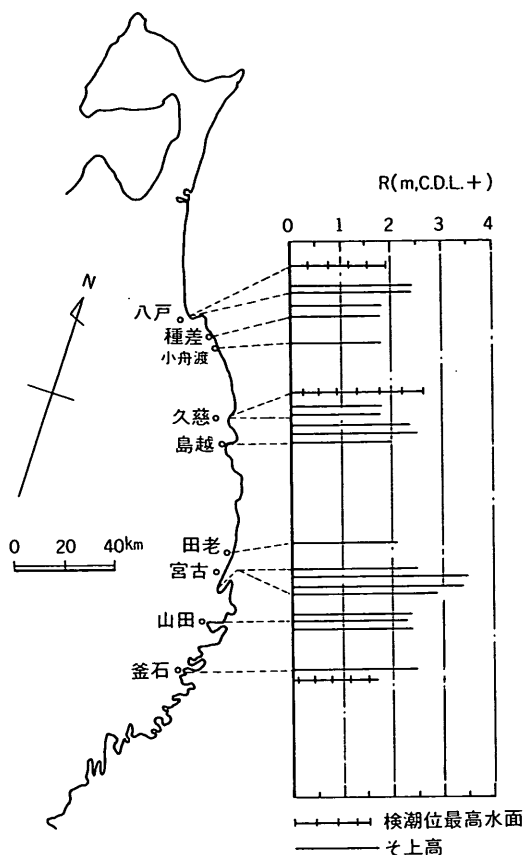
検潮位から求めた最高水位は小数2ヶを有効値とする。

においては、港内の検潮井戸で測定したRと、痕跡調査で得られたRとの間に大きな差はない。日本海中部地震津波の場合には、検潮記録から読みとった最高水位が小さくなり、これは、検潮井戸の応答が短周期の波に対してよくないためであると指摘されたり。今回の津波において、検潮井戸の記録が、周辺の痕跡高とよく一致した原因としては、次の2点が考えられる；

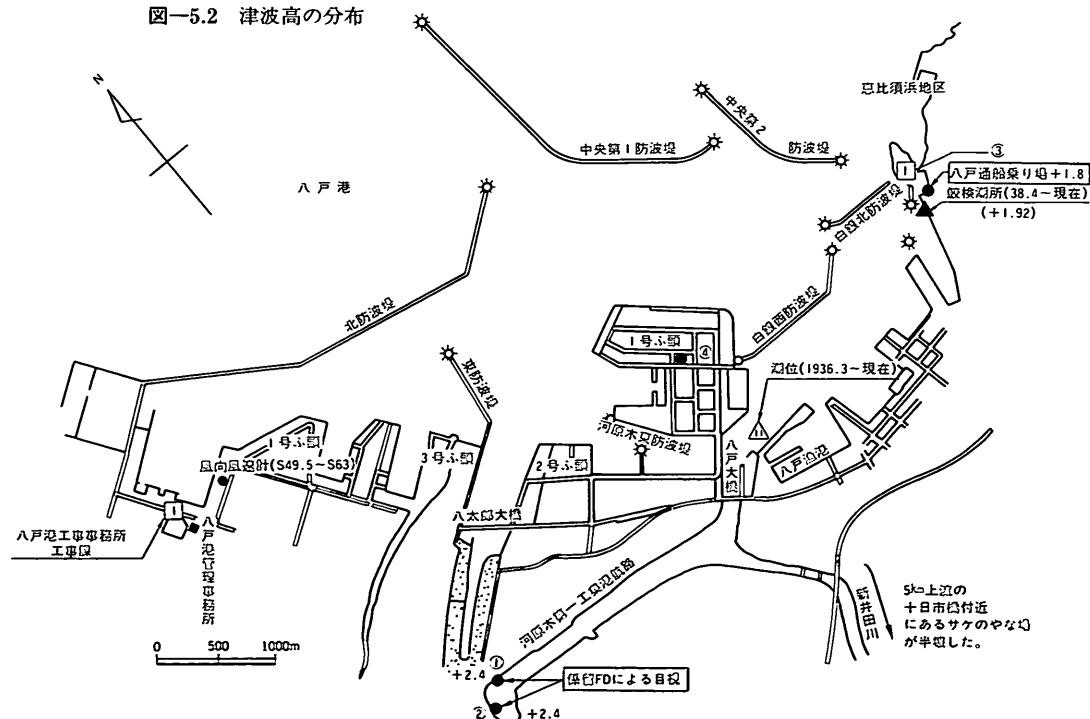
(i)久慈を除いて、津波の周期が40～60分で比較的に長く、応答性に問題が生じなかった。

(ii)久慈港の検潮井戸は、海面上に鋼管を建てたタイプであり、導水管が短く、短周期の津波でも測定できる。

各地の津波高Rを比較すると、八戸～久慈では1.8から2.6mで、平均すると2m程度である。宮古湾内では津波高が大きく、3mを越える場合もある。宮古湾より南では、約2mである。宮古湾内で津波高が最も大きくなった要因としては、宮古湾が北東へ開いており、今回の津波の伝播してくる方向へ湾口が開いているために、容易に津波が侵入したことが挙げられる。



図—5.2 津波高の分布



図—5.3 八戸港調査地点

5.2 各地の津波の状況と被害

(1) 八戸港

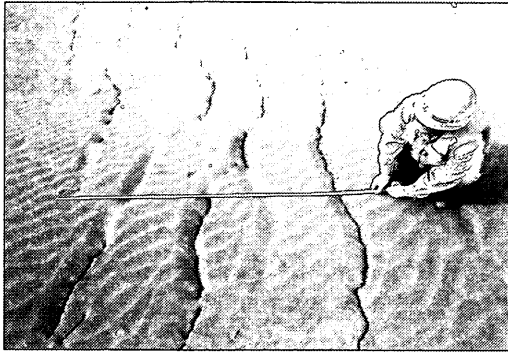
八戸港外の波高記録によると、津波の周期は30～40分で日本海中部地震津波に比較すると長い。港内の検潮記録においても同様な周期が認められ、今回の津波においては、検潮器の記録の信頼性が高い。津波警報は、10月4日23:34に発令され、翌日5:55に解除された。この間、小型漁船は港外へ避難したが、作業船などは港内に留まり、ポンプ浚渫船は作業を続けた。

地震により、造成中のポートアイランドでは、埋め立て地に数本の亀裂が生じたことが確認されている。10月11日の調査時点では、亀裂は飛砂等により埋められていたが、液状化による吹き出し口を数個確認した。吹き出し口の直径は40～50cmである。写真—5.1は、津波来襲時に確認されたポートアイランド埋め立て地の亀裂である。写真—5.2は、液状化によると思われる噴砂現象を示す。

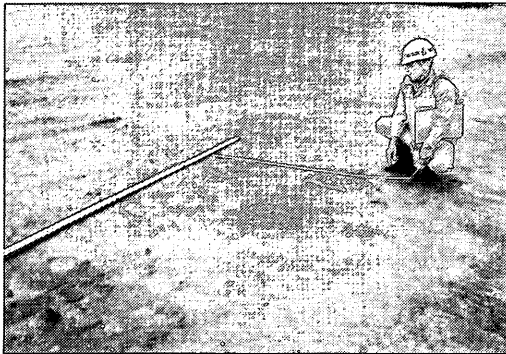
図—5.3は八戸港内における痕跡の位置を示す。図中、痕跡調査地点は、①②および③である。

①②八戸工業港奥

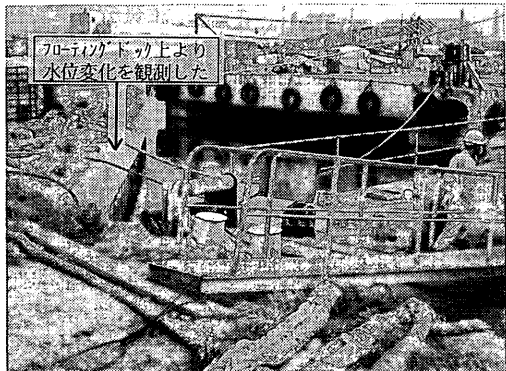
係留中のフローティングドック (FD②) の作業員にヒアリングをしたところ、DL+2.50mの護岸天端より0.15m下方まで水位は上昇したことがわかった。最も下がっ



写真—5.1 八戸港人工島の地割れ
(10月5日八戸港工事事務所撮影)



写真—5.2 八戸港人工島の噴砂現象
(10月11日八戸港工事事務所撮影)



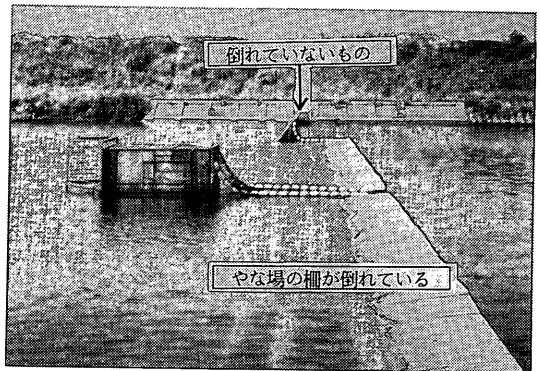
写真—5.3 八戸港内の目視観測位置

た水位面は $DL-0.2m$ であった。工事課が調査したFD”ろっこう”①上の作業員の場合には、護岸天端(+2.5)を基準として、水面は $DL+2.4 \sim DL-0.1m$ であった。①と②の津波高は $C.D.L.+2.4m$ である。写真—5.3は、②の痕跡調査地点を示す。写真手前のFD甲板上より津波水位の目視観測が行われた。

③鮫漁港八戸通船乗り場

通船船長にヒアリングを行う。津波は、6～7回来襲し、防波堤開口部の流速が速く翌日も通行ができなかった。10月5日0:40頃津波の水位が最高になり、その高さは、 $DL+2.0m$ の栈橋天端より20cm程度低かった。津波高は $C.D.L.+1.8m$ である。検潮所は通船乗り場の近傍に位置し、津波高は $1.92m$ であり、ヒアリングによる値より10cm大きい。したがって、検潮井戸の応答性は高く、港内の水位変動をほぼ正確に記録していると思われる。

図—5.3の右下に新井田川がある。新聞(デーリー東北新聞社, 1994)によれば、河口より5km程遡った地点に位置する鮭ふ化場で被害が生じた、と報じられている。そこで、現地の被害調査を行った。写真—5.4はやな場の柵が津波により倒壊した状況を示す。写真手前のパイプ製の柵は強い津波流によって倒壊してものと思われる。河口より5km上流でも、パイプ製の柵を破壊するほど津波の力が強かったことがわかる。ただし、河岸に津波の痕跡は認められなかった。



写真—5.4 新井田川上流のやな場の被災状況

(2) 種差, 大蛇および小舟渡漁港

図—5.4は種差(たねさし), 大蛇(おおへび)および小舟渡(こふなと)漁港の位置関係を示す。図—5.5は種差漁港における調査地点を示す。図中の●で示す種差漁港2mの物揚場で地元民にヒアリングを行う。津波の第1波は0:40頃来襲し、最初は押し波であった。津波は、図の矢印のように港内に侵入したが、港内の砂浜に当たったため反射が生じず大きな渦が生じなかったようである。したがって、津波に対しても、自然海岸はエネルギー吸収効果を持つことが推測できる。津波は港内では10～20分の間隔で静かに上下動を繰り返す程度であった。最高水位は $WL+0.5m$ で、最低水位はそれより $0.7m$ 低かった。津波高は $C.D.L.+1.7m$ である。

大蛇漁港では、全漁船が避難し警報解除まで帰還しな

かったため、ヒアリング調査は行わなかった。津波の痕跡は認められない。

小舟渡漁港では、港湾作業所で状況をヒアリングした。初動は11:40頃で、はじめにわずかに引き波が生じた。最高水位は、WL+0.5m、最低水位は、それより1.5m程度で低かった。津波高は、1.8mである。図-5.6は小舟渡漁港における調査地点を示す。

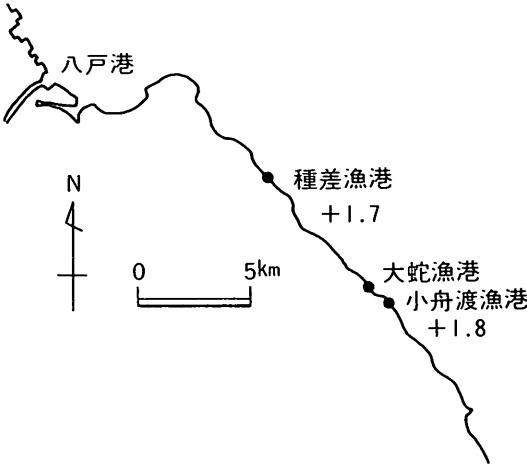


図-5.4 種差、大蛇、小舟渡漁港の位置

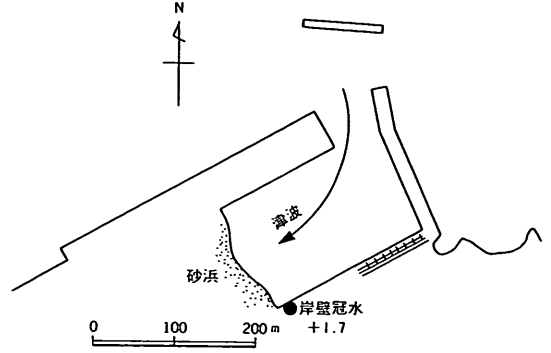


図-5.5 種差漁港調査地点

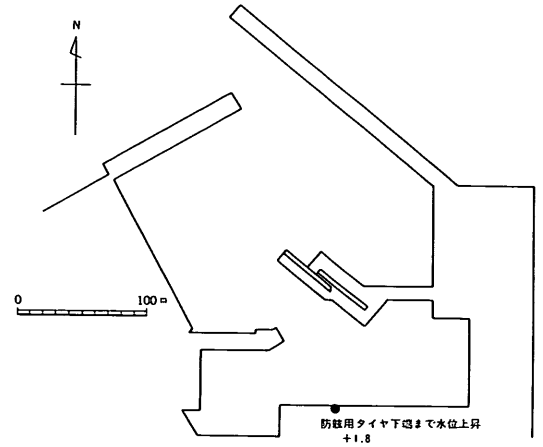


図-5.6 小舟渡漁港調査地点

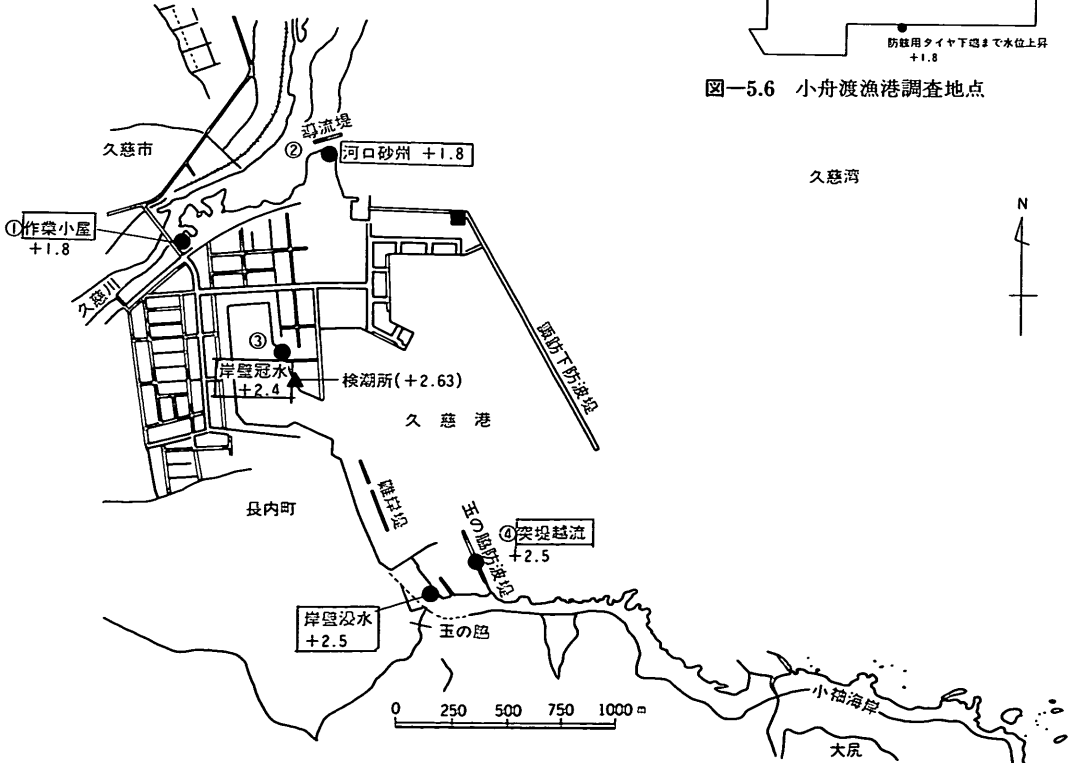


図-5.7 久慈湾調査地点

(3) 久慈港

久慈港の検潮基準面は、工事基準面(DL)と同一で、TP-0.72mである。岩手県が観測している検潮所の基準面もDLと同一である。C.D.L.はDLと同一である。

久慈広域消防本部において、津波来襲時の避難体制を調査した。以下に、ヒアリング調査結果を示す；

津波警報と同時に水門閉鎖を行い、海岸部の道路を通り止めにした。水門は、すべて手動により閉鎖する。水門操作の問題点は、冬期にレールが凍ることである。久慈地区では、岸壁が冠水した程度で、人家の被害はなかった。

図-5.7は久慈港周辺の痕跡調査地点を示す。図中の①～④で痕跡調査を行った。

①②久慈川河口

久慈川河口部のサケ定置網作業所①においてヒアリングを行い、津波により定置網の支持ポールが倒され、網が破損したことを確認した。また、目視によって観測された砂丘上の最高津波水位を測定した。最大水位は2:00頃に生じ、津波高は1.8mであった。

海岸線②には、津波の痕跡と認められる木材の小片が線状に分布していた。付近の作業員のヒアリングにより、この痕跡が通常時の波によって打ち上げられたものでなく、津波によって運ばれたものであることを確認して痕跡高を測定した。写真-5.5は痕跡高調査の様子を示す。津波高は1.8mである。

③久慈港諏訪下地区

八戸港工事事務所久慈港事務所の調査により護岸の車止めの頂部が冠水したことが明らかになっている。写真-5.6は冠水した護岸と車止めの状況を示す。車止めの天端を最高水位として津波高を求めた。津波高は2.4mである。諏訪下地区には久慈港の検潮所が設置されている。写真-5.7は検潮所の設置状況を示す。検潮記録における最高水位は2.63mであり、車止めの天端より高い。すなわち、津波は、車止めの天端が完全に没水する程度まで上昇したと思われる。写真に示すように検潮所は海面から鋼管を建てた構造であり、導水管が鋼管の半径程度しかなく、外部の擾乱を直接感知できるものと思われる。

久慈港内では津波の周期が比較的短く、20分程度であった。これは、港内副振動によるものと考えられるが、同時に検潮井戸の応答性が高く観測水位の減衰が生じなかったためとも思われる。今後、検潮井戸を新たに設置する場合には、久慈港のように海面上に鋼管を打ったタイプが、長周期波の観測には有効であると思われる。

④久慈港玉の脇地区

漁船係船用棧橋を津波が越流したことを漁船乗組員と

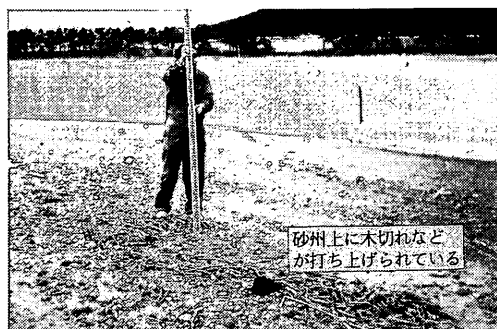


写真-5.5 久慈川河口の砂州上における津波痕跡



写真-5.6 久慈港諏訪下地区の冠水護岸の状況

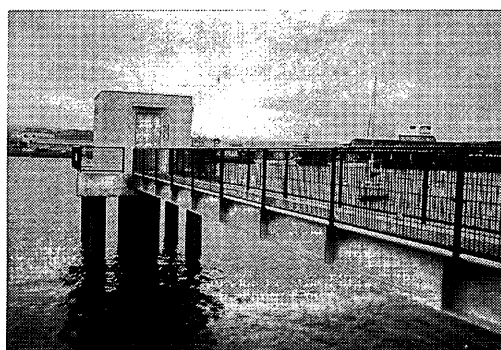


写真-5.7 久慈港検潮所の設置状況

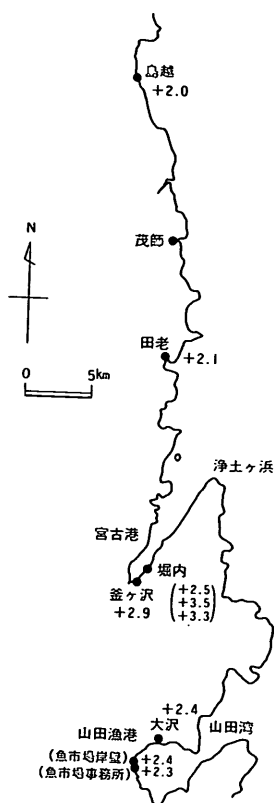


写真-5.8 久慈港玉の脇地区の状況

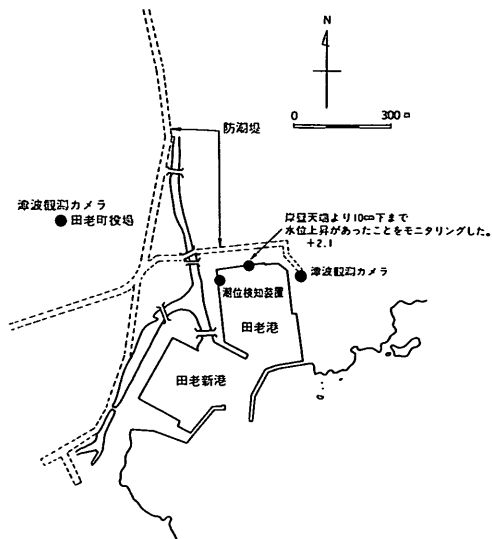
漁協事務所事務員のヒアリングにより確認した。写真—5.8は、津波が越流した防波桟橋の様子を示す。桟橋の先端頂部を津波高とした。津波高は、2.5mである。

(4) 島越、茂師および田老漁港

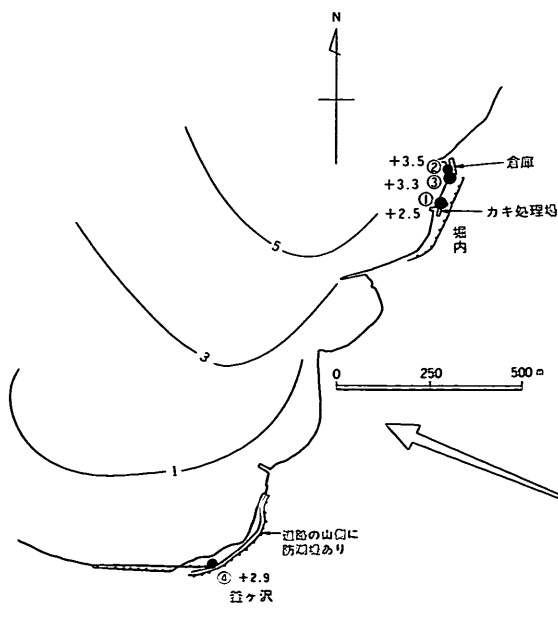
図—5.8は、島越(しまのこし)漁港から山田漁港までの調査地点を示す。島越漁港では、田野畑魚市場事務所ではヒアリングを行った。津波は4回程度繰り返し来襲し、小型漁船はすべて港外へ避難した。ただし、港口部の流れが速く、小型漁船が1隻転覆した。2回目のときには、



図—5.8 島越～山田漁港調査地点



図—5.9 田老漁港調査地点



図—5.10 宮古港調査地点

ザワザワという音がした。津波最高水位は護岸天端から-20cmである。津波高は、+2.0mである。

茂師漁港では、水門閉鎖後無人となったため、ヒアリングは実施しなかった。津波の痕跡は認められない。

図-5.9は田老漁港における調査地点を示す。田老漁港と田老町役場で職員にヒアリングを行った。田老漁港は監視カメラが設置されており、役場内で津波の観測ができる。監視カメラによる観測状況を以下に示す：

23:40 漁港水面で1m程度の引き潮が生じた。

23:50 漁港内で上げ潮50cmを確認。

0:30 漁港水面が上昇し、物揚場すれすれになる。これが最高水位である。

2:35 港の近くで70cmの波を確認した、という連絡が入る。

津波高は、物揚場の天端高とし、2.1mである。

(5) 宮古港

図-5.10は宮古港における調査地点を示す。宮古港では、港湾区域外の宮古湾奥で、かきの養殖施設が被害を受けたことを宮古港工事事務所が確認しており、湾奥部を中心に痕跡調査を行った。図中の①～④が調査地点である。

①②③堀内(ほりない)物揚場

堀内物揚場前面の海域では、カキ・ホタテの養殖が延縄式で行われている。津波により、140基の延縄が流出し、海岸部に団子状に絡まって流れ着いたため、養殖されていた水産物が多大な被害を受けた。写真-5.9は被害を受けた延縄施設を引き上げて海岸に集積している状況である。現場で、修復作業中の消防団長にヒアリングしたところ、深夜から夜明けにかけて5～6波の津波が来襲し、2:00頃最大波になった；最大の津波は、堀内地区の宮古湾口側の岬をまわって、道路に達し、一部は、カキ処理場の作業小屋①の中に侵入したことが判明した。

写真-5.10は津波が侵入した作業小屋の入り口を示す。作業小屋内には写真-5.11に示すように浸水した水跡線があった。この水跡線を痕跡として津波高を求めた。津波高は+2.5mである。

岬直背後の木造倉庫の側壁にも水跡線があった。写真-5.12に作業小屋に残る水跡線を示す。作業小屋背後が岬になっており、岬を回り込んだ津波が早い流れとなって作業小屋の壁面を通過したものと思われる。水跡線の高さは、岬側が高く、写真の手前側が低くなっていた。そこで、最高位②と最低位③を痕跡高として測定した。津波高は②+3.5m、③+3.3mである。

④釜ヶ沢防潮水門

防潮水門の鉄扉上に水跡が認められた。また、海砂粒

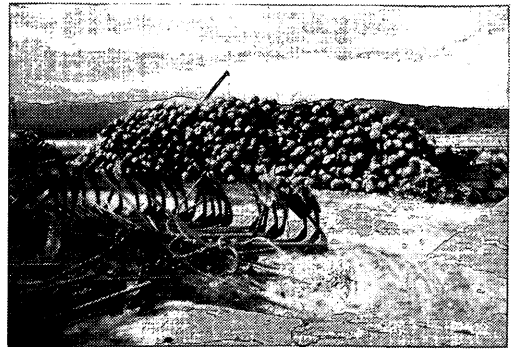


写真-5.9 かき延縄施設の被害状況

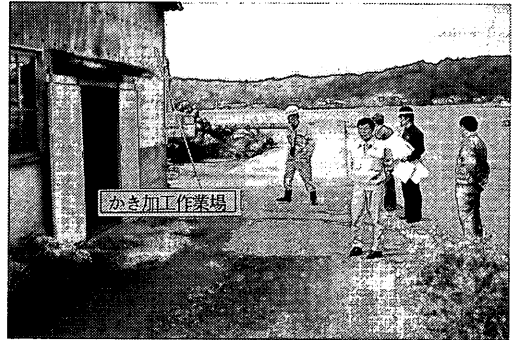


写真-5.10 宮古湾堀内地区の状況

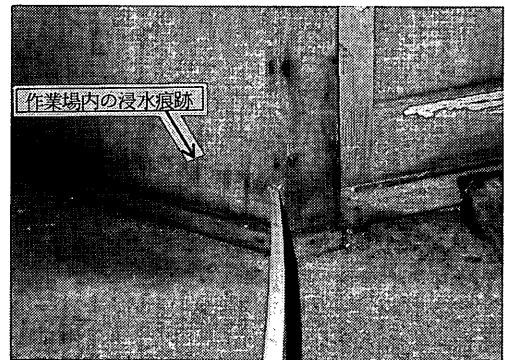


写真-5.11 かき加工作業場内の津波痕跡



写真-5.12 堀内地区作業小屋の痕跡



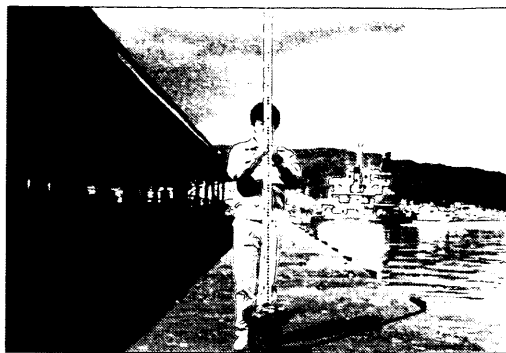
(1) 水跡線の確認



(2) 壁面に付着した海砂
(付着した海砂を指示している)

写真—5.13 防潮水門上の痕跡調査状況

が付着していた。写真—5.13(1)および(2)は、防潮水門の痕跡調査状況を示す。津波高は、+2.9mである。防潮水門は津波警報発令と同時に閉鎖された。水門上の痕跡高は、道路上0.7mであり、防潮水門が閉鎖されなければ背後の家屋に浸水被害が生じたと思われる。津波に対する迅速な対応が被害を最小限に抑えることができ、今後の



写真—5.14 山田漁港の痕跡調査
(ボラードの頂部が冠水した)

防災対策の貴重な資料となる。

(6) 山田漁港

図—5.8に示したように山田漁港では魚市場の岸壁と湾口部の大沢地区で調査を行った。

(i) 山田漁港魚市場

山田漁業協同組合連合会に津波の状況をヒアリングする。ヒアリングによる津波の状況は次のようである；津波は、魚市場岸壁の係船柱(ボラード)の頂部まで上昇し、下降時には防舷材下端より15cm下まで下がる。また、事務所玄関まで冠水した。5日1:30に第1波が来襲した。第3、4波が最大であった。

ヒアリング結果に基づき魚市場事務所の玄関と係船柱の頂部を痕跡高とした。写真—5.14は魚市場岸壁における調査状況である。津波高は以下の通りである。

魚市場事務所前最高水位 +2.3m

魚市場事務所岸壁 +2.4m

漁業協同組合には、津波の状況について記録が残されている。表—5.2に記録された津波の来襲状況を示す。表に示されるように津波は第5波まで来襲し、第3波が最大であったようである。

(ii) 大沢漁業協同組合前道路

津波の来襲により、山田湾の湾口に近い大沢地区、大

表—5.2 山田漁港における津波の来襲状況

10/5	1:35	第1波来襲	岸壁天端まで潮位が上がる。
	2:15	第2波来襲	岸壁天端上30cm程度上昇。
	2:20		潮がひく。
	3:00	第3波来襲	岸壁上30cm程度上昇し、係船柱が水没。
	3:05		潮が引く。
	3:30	第4波来襲	係船柱水没。
	3:37		潮が引く。
	4:10	第5波来襲	水位は比較的低い。
	5:50		警報解除。傾斜を止める。

浦地区では、延縄式養殖施設およびサケ定置網が多く流出し、水産業に大きな被害が生じた。大沢漁業協同組合においてヒアリングすることにより、道路面が冠水したのを確認して痕跡高を測定した。大沢地区における津波高は、+2.4mである。

山田湾内では、津波高が一律で約2.4mであった。湾内の局所的な水位の上昇は見られないが、全体が一律に高くなったことがわかる。この津波により、山田湾内では家屋および漁船の被害は生じなかったが、水産養殖施設が大きな被害を受けた。

(7) 釜石港

釜石港においては、港湾施設の被害は生じなかった。釜石港工事事務所の調査によると、魚市場前の岸壁が冠水し、天端上20cmの水位上昇が生じた。岸壁天端はDL+2.3mなので、津波高はC.D.L.+2.5mである。

以上の現地調査にあたっての、調査員および現地協力者の氏名(判明しているもののみ)を付表に示す。

6. 津波伝播数値シミュレーションとの比較

6.1 シミュレーションの概要

(1) 支配方程式

津波数値計算の支配方程式としては、①波形中の全ての波数成分が長波の波速で伝播するものとし、波高に対しては微小振幅を仮定する線形長波理論、②これに非線形の効果を加えた浅水理論、③成分波毎の伝播速度の違い(波数分散性)を考慮し、伝播距離の長い遠地津波の取り扱いが可能な線形分散波理論¹⁰⁾、④これに非線形の効果を加え、分散波や孤立波的な津波までも扱える非線形分散波理論¹¹⁾等が用いられる。このうち、③、④については陰形式の差分法となるうえに、波長に対する計算格子間隔の比率も小さくしなくてはならず計算にかかる時間、容量とも大きなものになってしまうため、伝播距離の長い遠地津波やソリトン分裂の発生などの特別な事情がない場合は一般に①線形長波あるいは②浅水理論が用いられる。

このように、数値計算に際しては、対象とする津波の特徴、伝播経路上の地形、再現すべき現象などを考慮して適切なモデルを選択する必要があるが、北海道東方沖地震津波の場合、日本の太平洋北東部沿岸を対象とする限り、観測された波高はただか数十cmであることから微小振幅としての取扱いが可能であり、観測周期や波源の位置からみて波数分散の効果は無視できる。したがって、今回の計算には以下に示す線形長波理論式を用いた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (6.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (6.3)$$

ここで、 (x, y) は静水面に採った空間座標、 t は時間、 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である。

式(6.1)は連続式、式(6.2)、(6.3)はそれぞれ x 方向、 y 方向の運動方程式である。

(2) 差分スキーム

水位と流速の計算点を時間的にも空間的にも半メッシュずらして配置したスタッカードリープフロッグ差分法(図-6.1)を用いて、運動の式(6.2)および(6.3)を以下のように差分化する。

$$\eta_{i,j}^{k+1} = \eta_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[M_{i-1/2,j}^{k+1/2} - M_{i+1/2,j}^{k+1/2} + N_{i,j-1/2}^{k+1/2} - N_{i,j+1/2}^{k+1/2} \right] \quad (6.4)$$

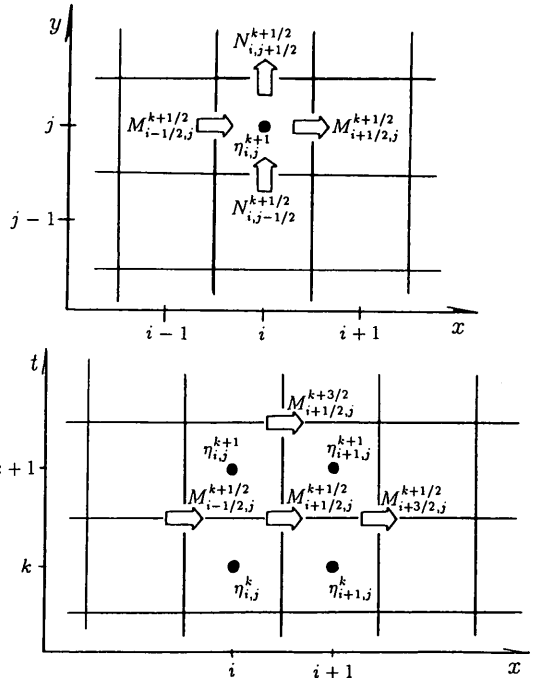


図-6.1 差分スキーム

$$M_{i+1/2}^{k+3/2} = M_{i+1/2}^{k+1/2} - g \frac{(h_{i,j} + \eta_{i,j}^{k+1}) + (h_{i+1,j} + \eta_{i+1,j}^{k+1})}{2} \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(\eta_{i+1,j}^{k+1} - \eta_{i,j}^{k+1} \right) \quad (6.5)$$

$$N_{i,j+1/2}^{k+3/2} = N_{i,j+1/2}^{k+1/2} - g \frac{(h_{i,j} + \eta_{i,j}^{k+1}) + (h_{i,j+1} + \eta_{i,j+1}^{k+1})}{2} \times \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(\eta_{i,j+1}^{k+1} - \eta_{i,j}^{k+1} \right) \quad (6.6)$$

ここで、 Δx 、 Δy はそれぞれ x 方向、 y 方向、 Δt は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、

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} > \sqrt{2gh_{\max}} \quad (6.7)$$

なる関係を計算領域において満たす必要がある。今回の計算領域の最大水深は $h_{\max}=9500\text{m}$ であり、空間格子間隔 $\Delta x=3000\text{m}$ 、時間間隔 $\Delta t=6\text{sec}$ として計算を行った。

(3) 初期条件

波源モデルは東北大学災害制御研究センター発表の北海道東方沖地震津波DCRC-3bモデルを用いた。断層寸法と位置は北海道大学の余震分布を参考に、深さは気象庁、その他のパラメータはハーバードのCMT解を用いて決定されたものである。

これらの断層パラメータを用いて、Mansinha-Smylieの方法により海底地盤変位量を計算し初期波形とした。

断層パラメータを表-6.1に、断層模式図を図-6.2に示す。

津波初期波形を図-6.3に示す。最高隆起量は 1.66m 、最低沈下量は 0.86m である。この水位変動を計算の初期条件として瞬間的に与えた。

表-6.1 断層パラメータ

Origin of Fault	43.210°N, 146.120°E
Length	140km
Width	70km
Strike	52°
Dip Angle	77°
Slip Angle	128°
Depth	30km
Dislocation	7.62m

計算の初期水位変動は実際にはある継続時間をかけて変位するものであるが、数値計算上では瞬時に初期条件を与えても再現精度にはあまり影響を及ぼさないことが確認されている¹²⁾。

(4) 計算条件

津波伝播の計算条件を表-6.2にまとめる。

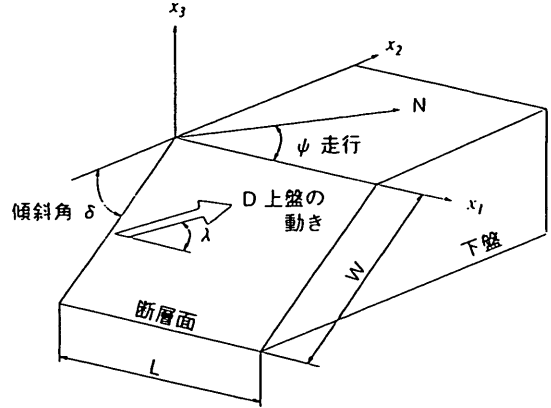


図-6.2 断層模式図

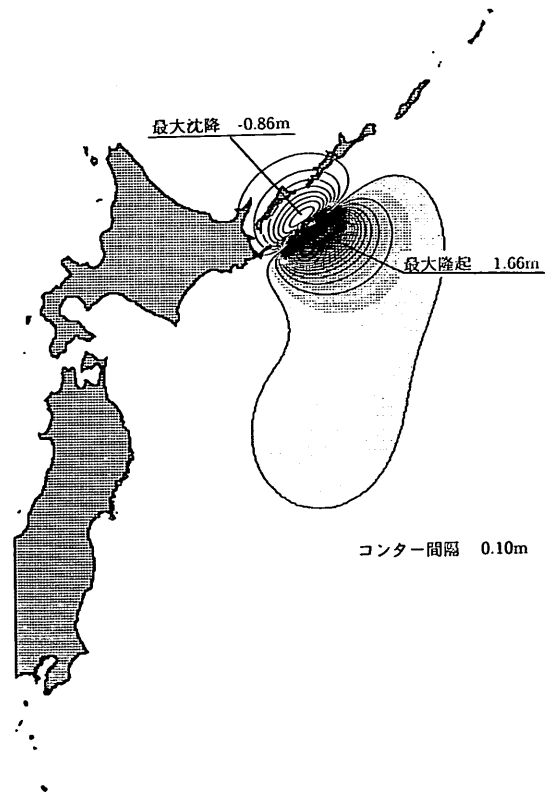
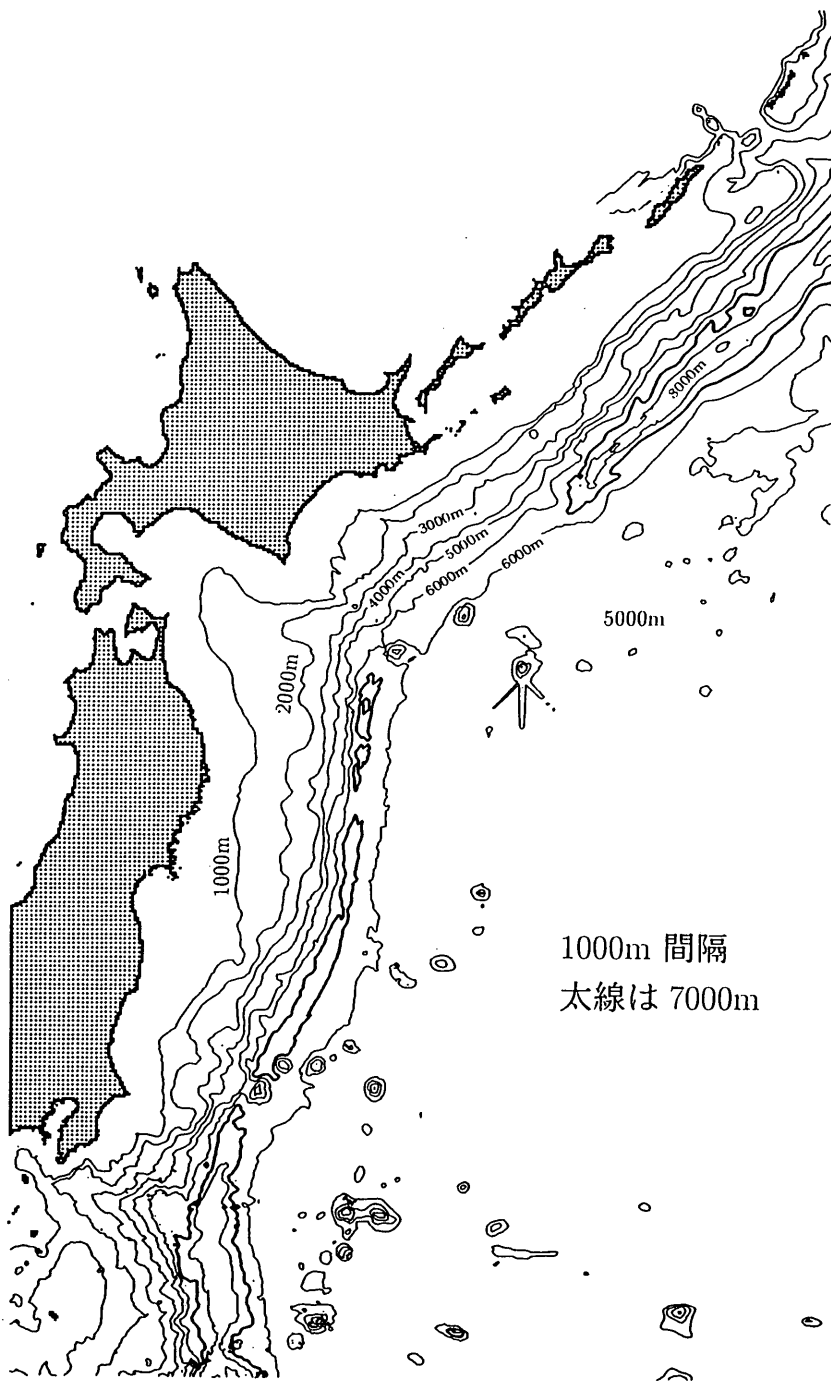


図-6.3 北海道東方沖地震津波初期波形 (東北大学 DCRC-3bによる)



図—6.4 計算領域水深分布図

計算領域の水深分布図を図一6.4に示す。なお、計算結果に影響を及ぼさない知床半島より北西側領域及び津軽海峡より西側領域では、ダミーの水深を与えてある。

地震発生からの3時間(1994年10月4日22時23分から10月5日1時23分)を再現対象時間としたが、これは銚子沖で第2波程度まで計算できる時間である。

6.2 シミュレーション結果と実測波形との比較

(1) 伝播特性

図一6.5に津波発生後の20分毎の水位分布を示す。大きなエネルギーを有する波源断層の短軸方向成分のうち北西へ向かったものは色丹島、国後島、択捉島に到達して多重反射やエネルギーのトラップなどにより波高の増大をもたらす一方、南西へ向かった成分の大半は計算領域外へ抜けている。

北海道南西岸および本州北東岸に到達した津波はエネ

ルギーの比較的小さい波源長軸方向の成分である。北海道南西岸を根室、釧路の順に通過した後、襟裳岬を回り込んで苦小牧へ到達すると同時に北東方向から三陸海岸に至っている。牡鹿半島以南に注目すると、茨城県沿岸域のほうが仙台湾および福島県沿岸域よりも到達時刻が先になっているが、これは茨城県沖の海底地形が宮城県、福島県沖よりもやや急峻となっているためである。

第二波は第一波よりも波高は小さいが、伝播状況はほぼ同じである。第二波到達時には、波源近傍以外にも襟裳岬周辺、三陸海岸北東部および牡鹿半島周辺などに反射の影響と考えられる局所的な波高増大がみられる。

(2) 最大水位分布

図一6.6は最大水位分布を示したものであるが、北方領土への津波エネルギー集中の状況、北海道南西岸、三陸海岸北東部および牡鹿半島周辺での反射波増大の様子などを読み取ることができる。

(3) 津波伝播図

図一6.7は各点の初動時間の分布を示すものであるが、茨城県沿岸域のほうが仙台湾および福島県沿岸域よりも到達時刻が先立っている様子がここからも読み取れる。

(4) 各地点の観測データと計算結果の比較

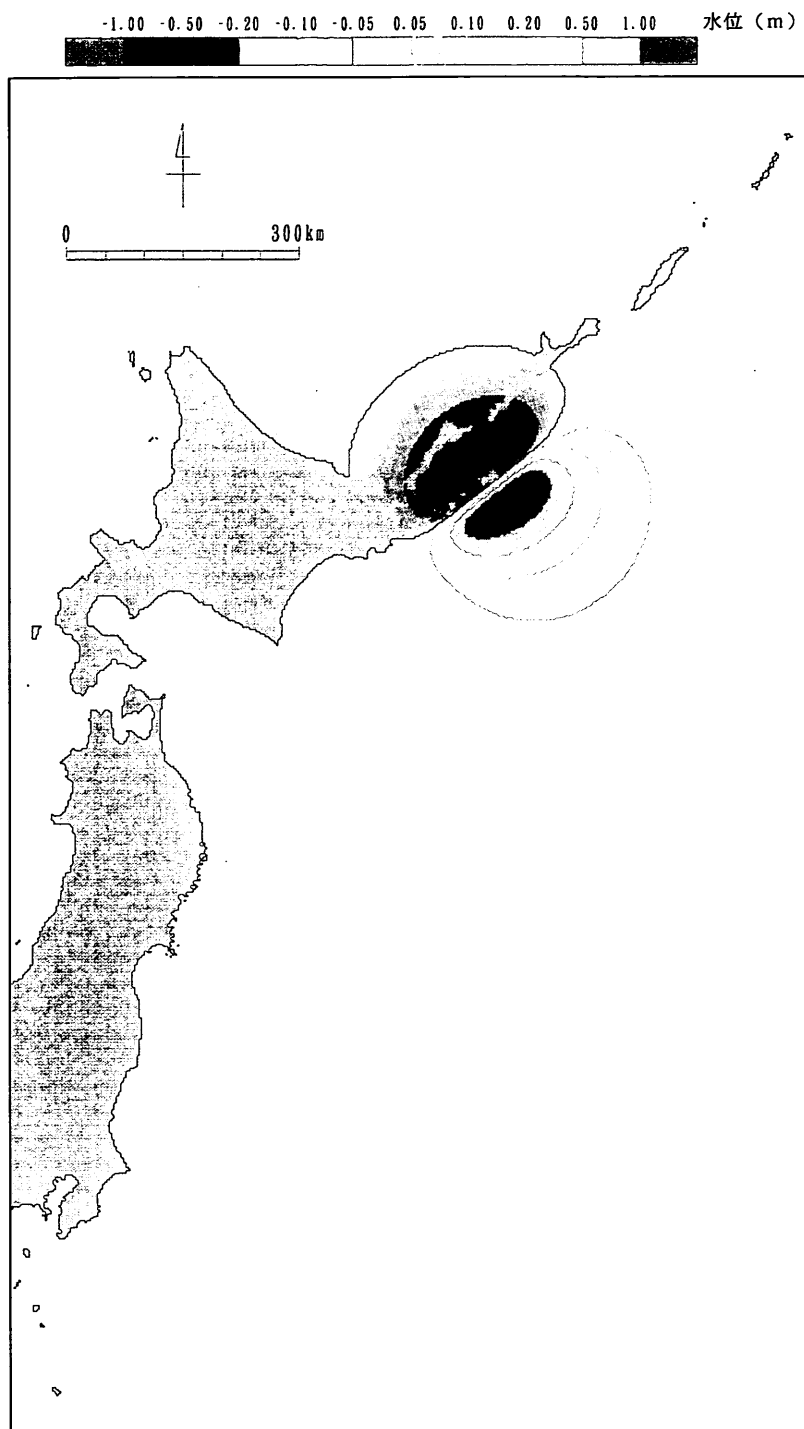
表一6.3は、各観測地点における初動時間、第一波の到達時間および最大水位を計算結果と比較したものである。上段に計算値、下段に実測値を示す。水深については結果出力地点のものを上段に、波高計設置地点のものを下段に示す。実測と計算は概ね良好な一致を示していることがわかるが、以下、水位時系列の再現結果図一6.8に基

表一6.2 計算条件

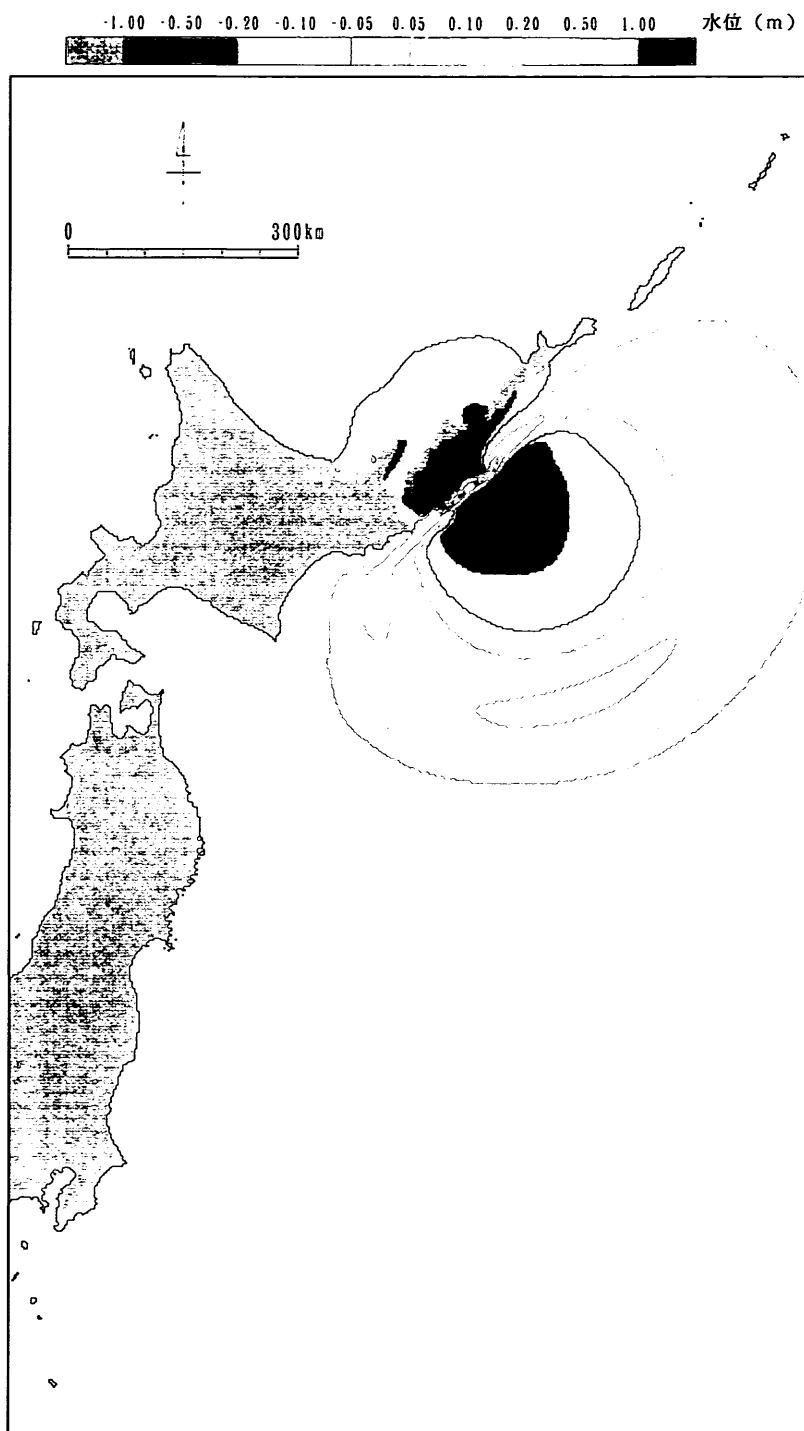
支配方程式	線形長波理論
計算領域	北緯32度30分～北緯48度10分 東経138度45分～東経152度25分
計算メッシュ	600×350
空間格子間隔	3000m
時間ステップ	6sec
計算再現時間	3時間
沖側境界条件	自由透過
岸側境界条件	鉛直壁

表一6.3 津波初動時間、第一波の最高水位記録時間および最大水位の比較

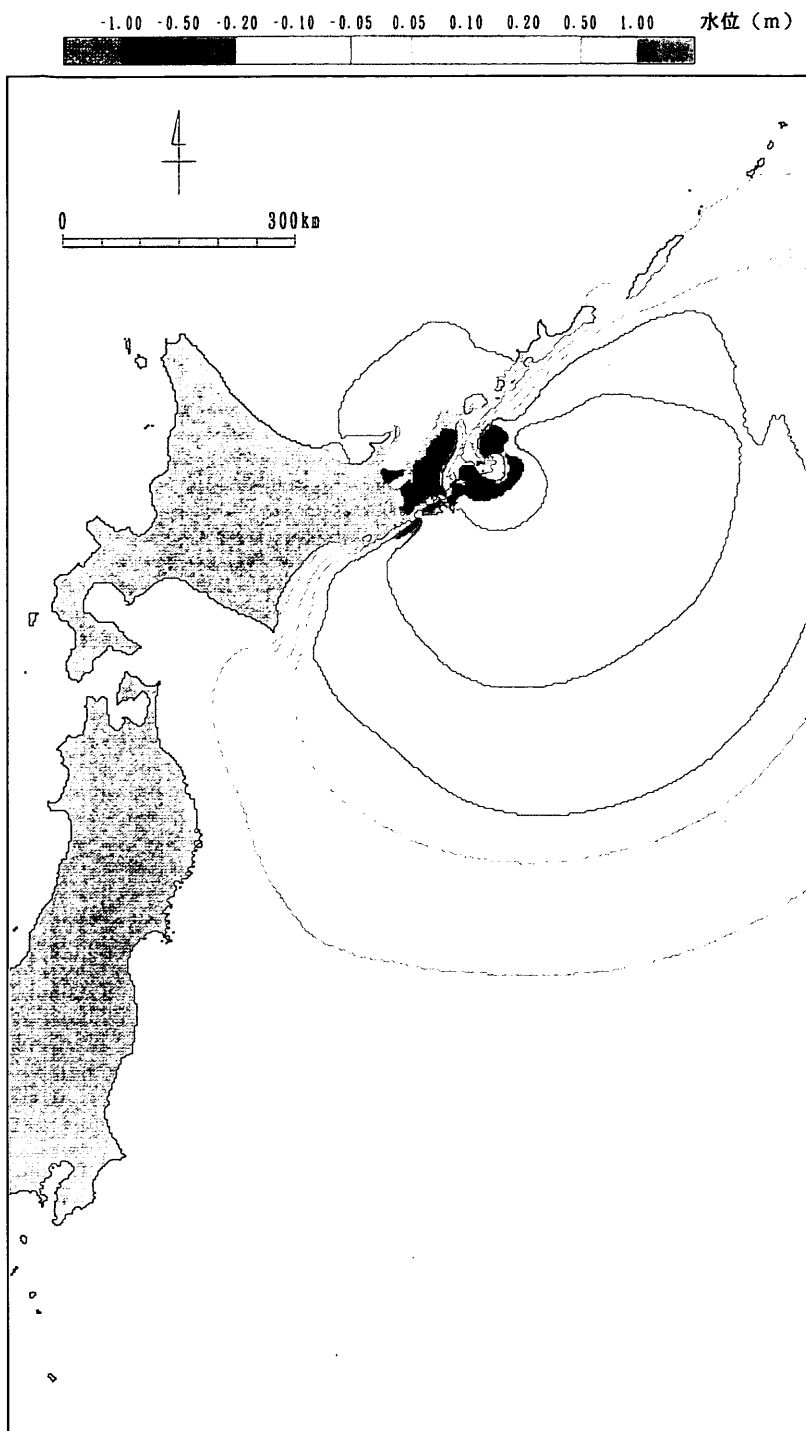
観測地点(計算) (実測)	水深	初動時間	第1波 最高水位	第1波 記録時間	計測器
釧路	14.0m	30min	64cm	47min	検潮儀
		39min	63cm	54min	
苦小牧	13.5m	74min	28cm	88min	沖合波高計
	18.5m	74min	16cm	98min	
むつ小川原	8.0m	55min	42cm	68min	沖合波高計
	49.0m	50min	24cm	63min	
八戸	26.4m	63min	51cm	75min	沖合波高計
	24.0m	63min	46cm	73min	
大船渡	12.2m	66min	61cm	79min	沖合波高計
	19.0m	59min	34cm	72min	
小名浜	3.3m	88min	32cm	102min	検潮儀
		87min	33cm	99min	
鹿島	3.0m	93min	37cm	108min	検潮儀
		96min	20cm	107min	
波崎	1.0m	90min	38cm	105min	超音波波高計
	4.4m	92min	26cm	100min	



図—6.5(1) 津波発生後の水位分布 (0分後)



図—6.5(2) 津波発生後の水位分布 (20分後)



図一6.5(3) 津波発生後の水位分布. (40分後)

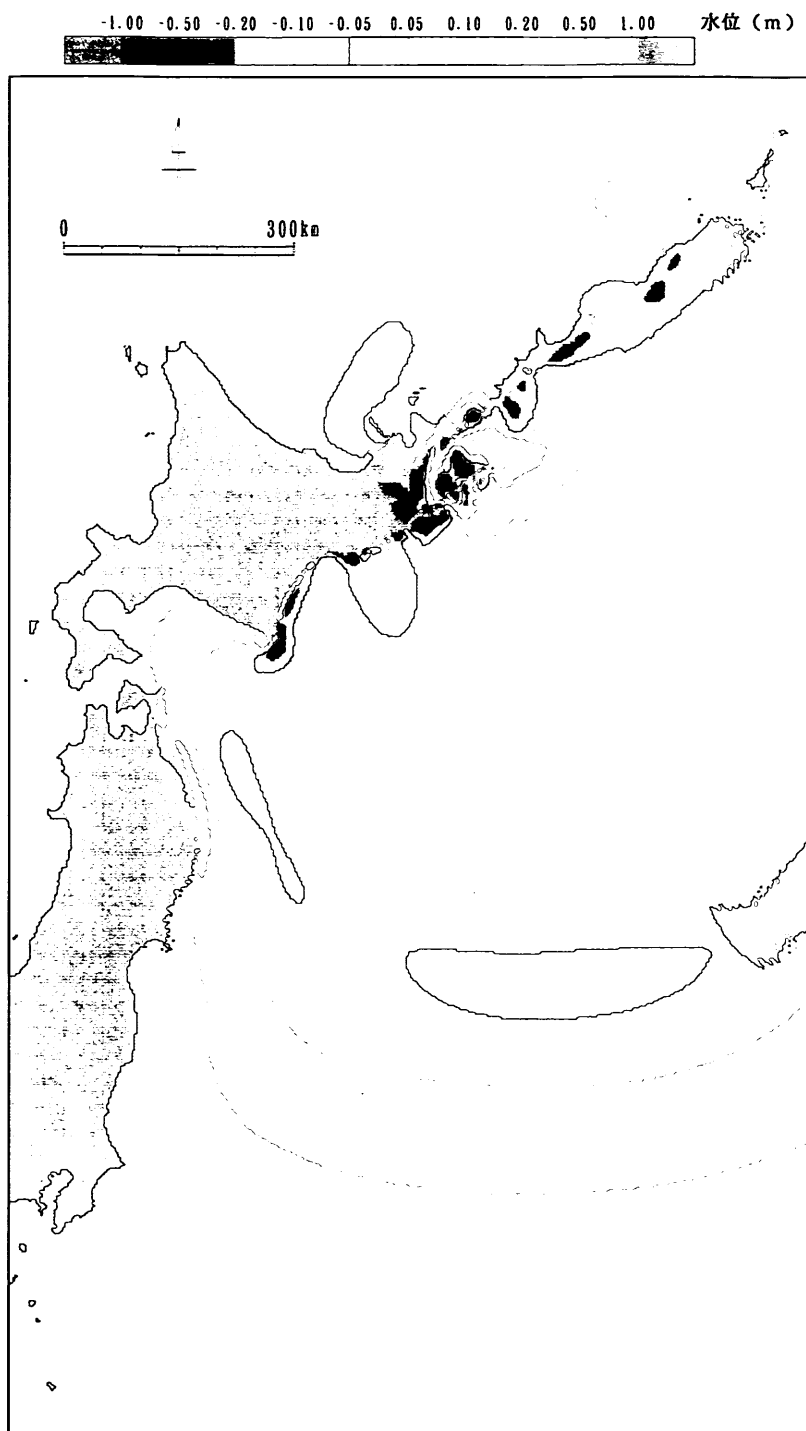
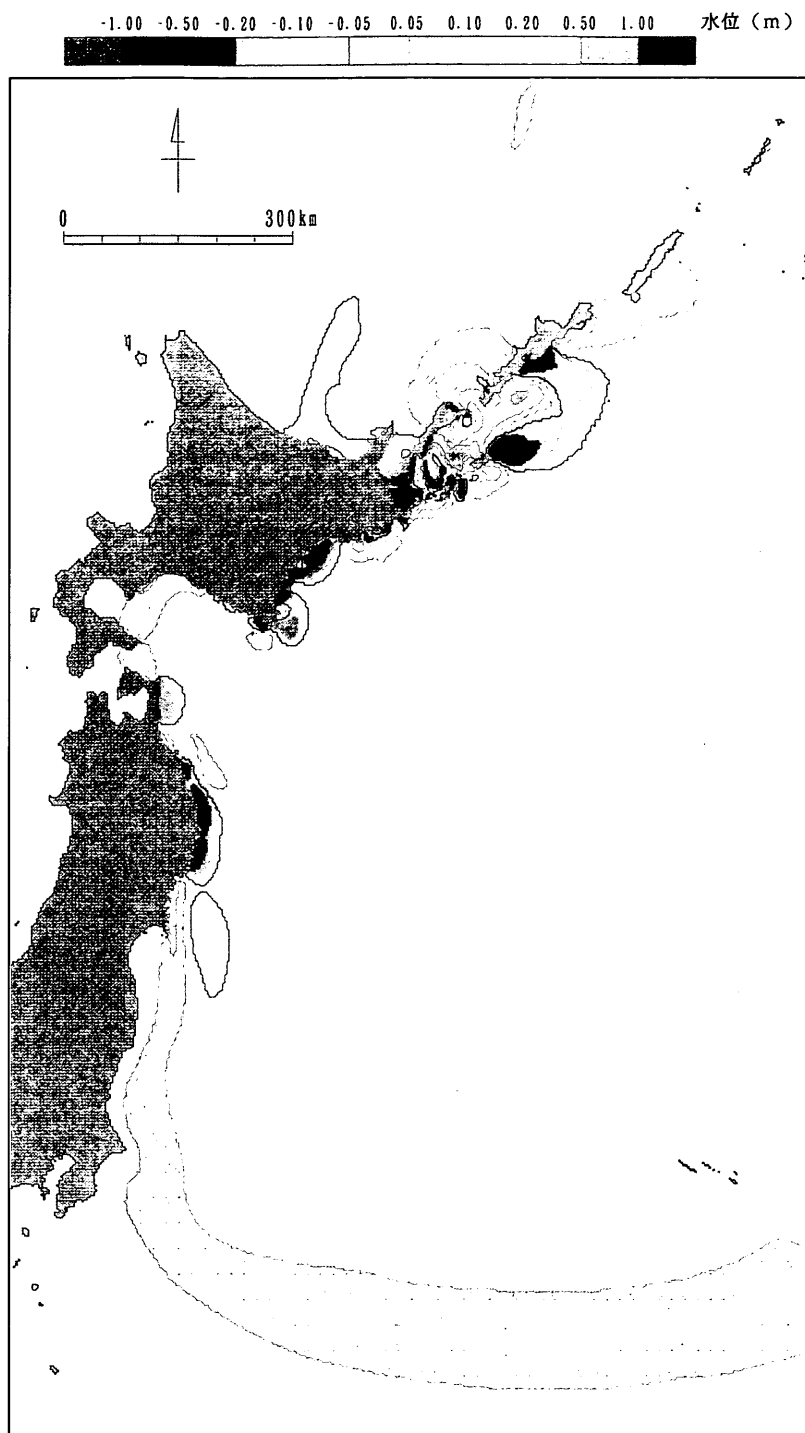


図-6.5(4) 津波発生後の水位分布 (60分後)



図—6.5(5) 津波発生後の水位分布 (80分後)

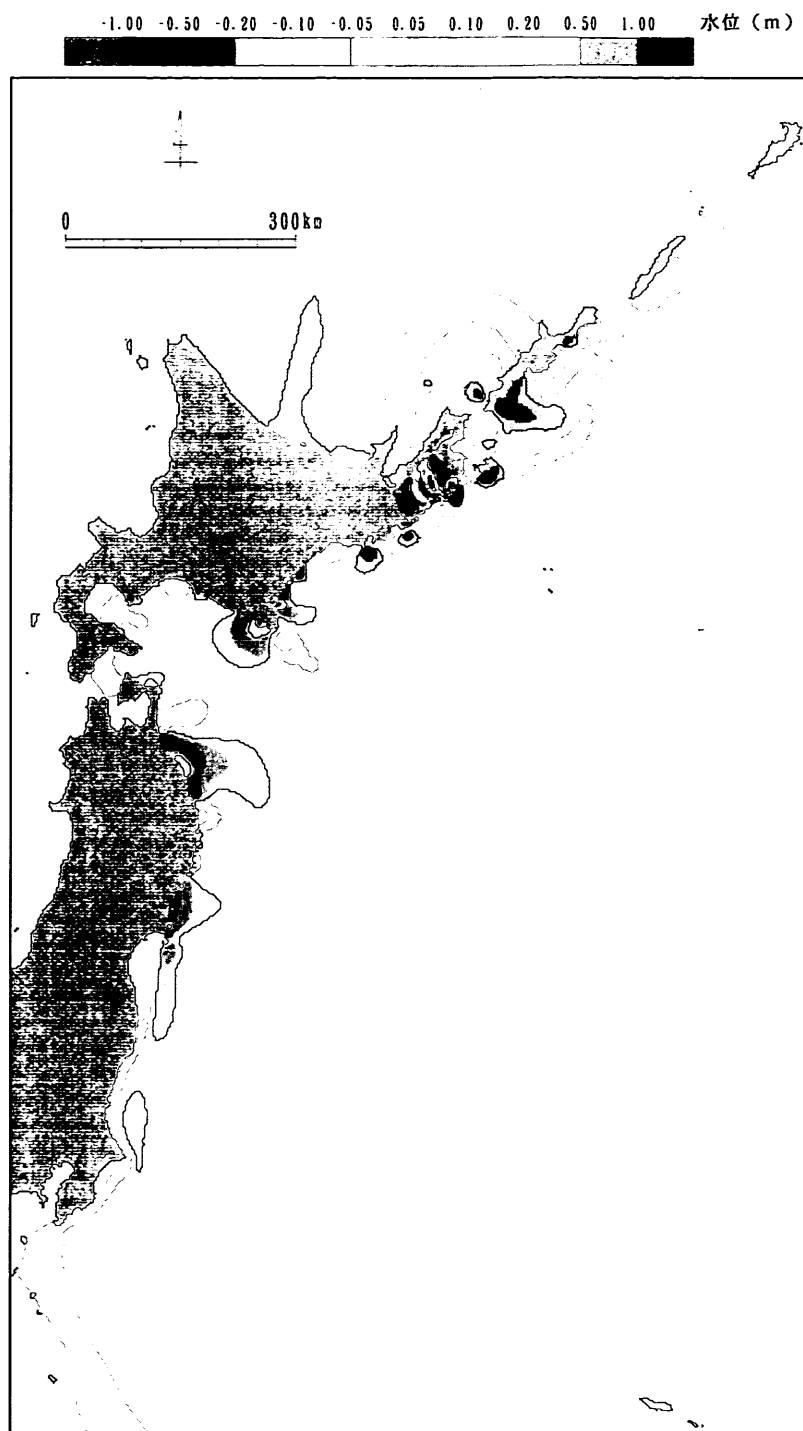
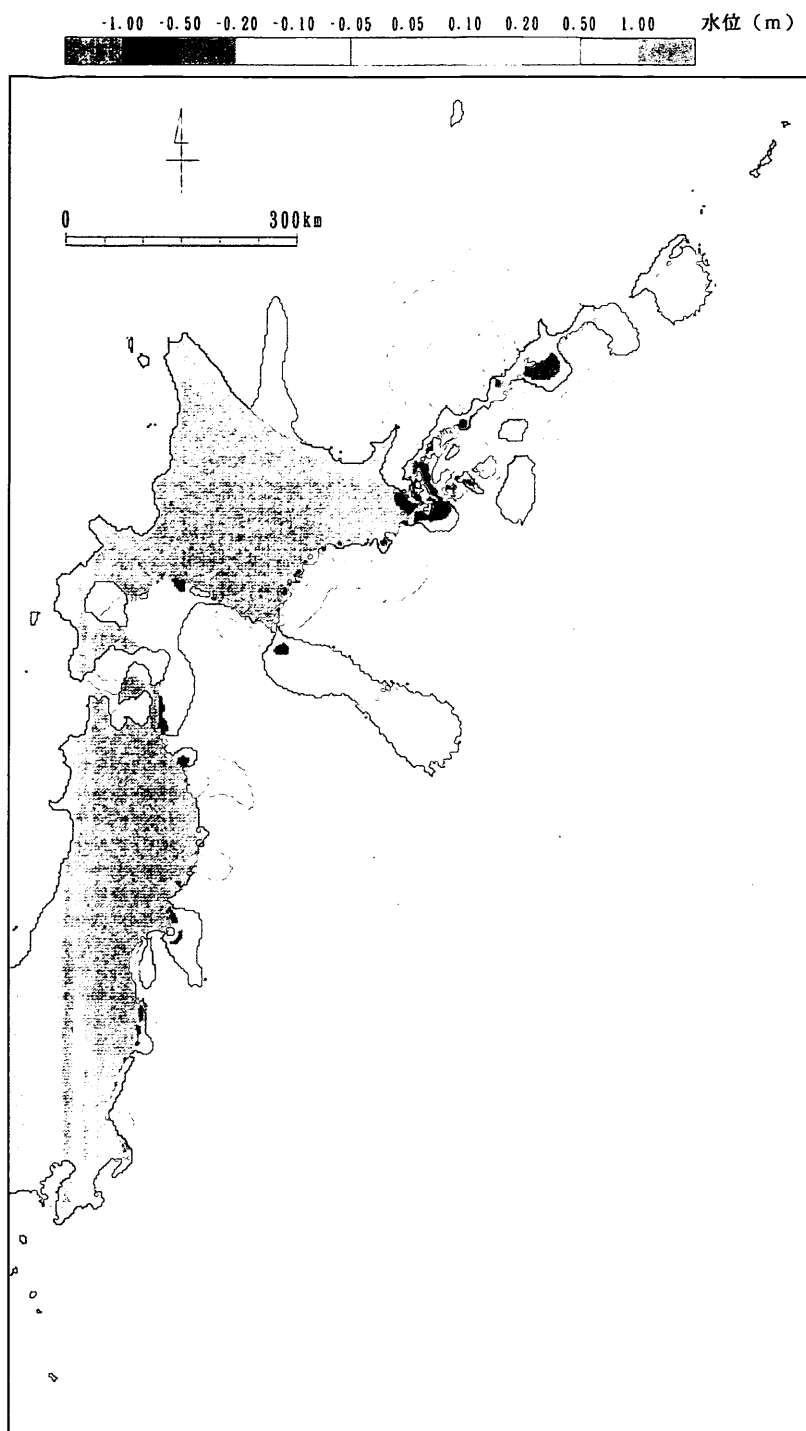
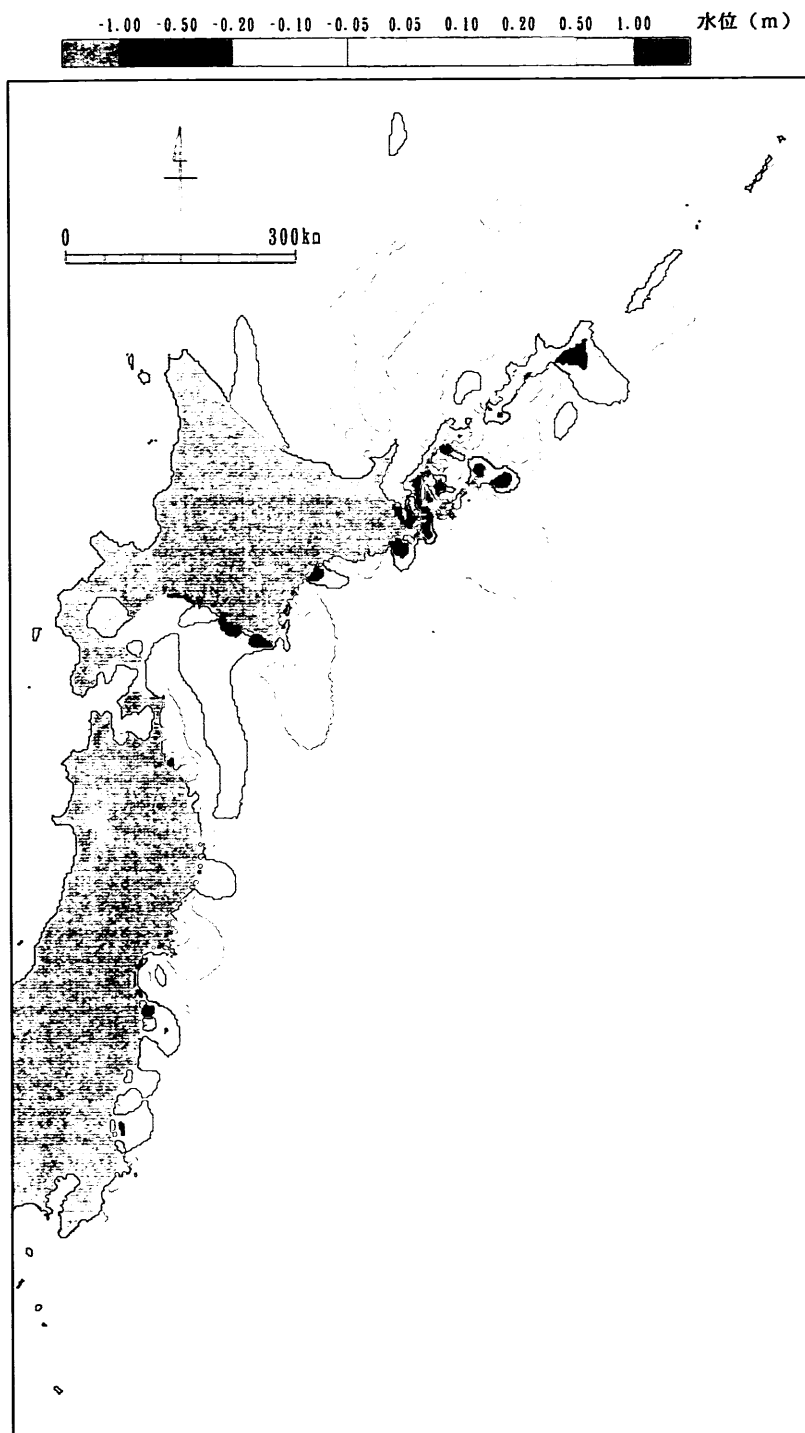


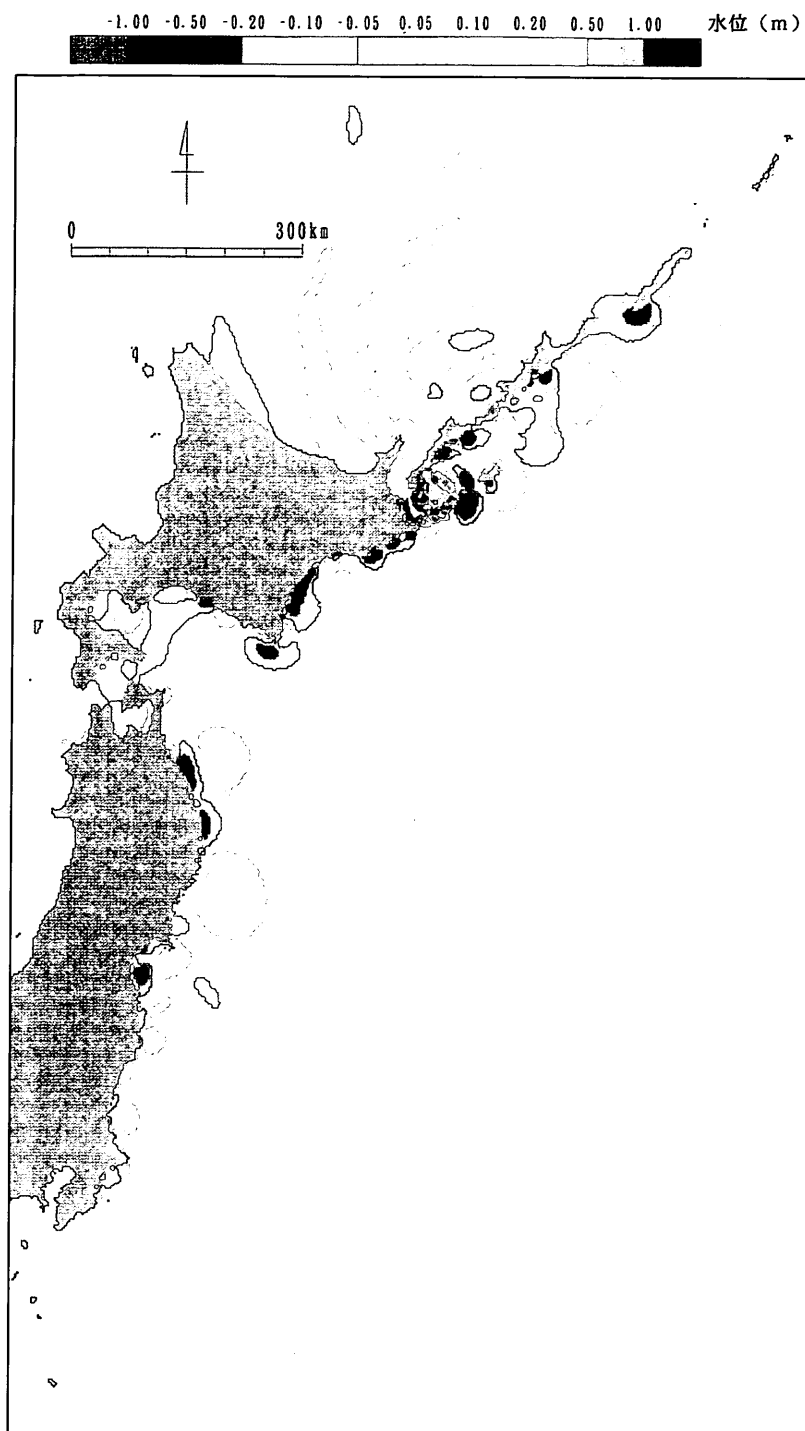
図-6.5(6) 津波発生後の水位分布 (100分後)



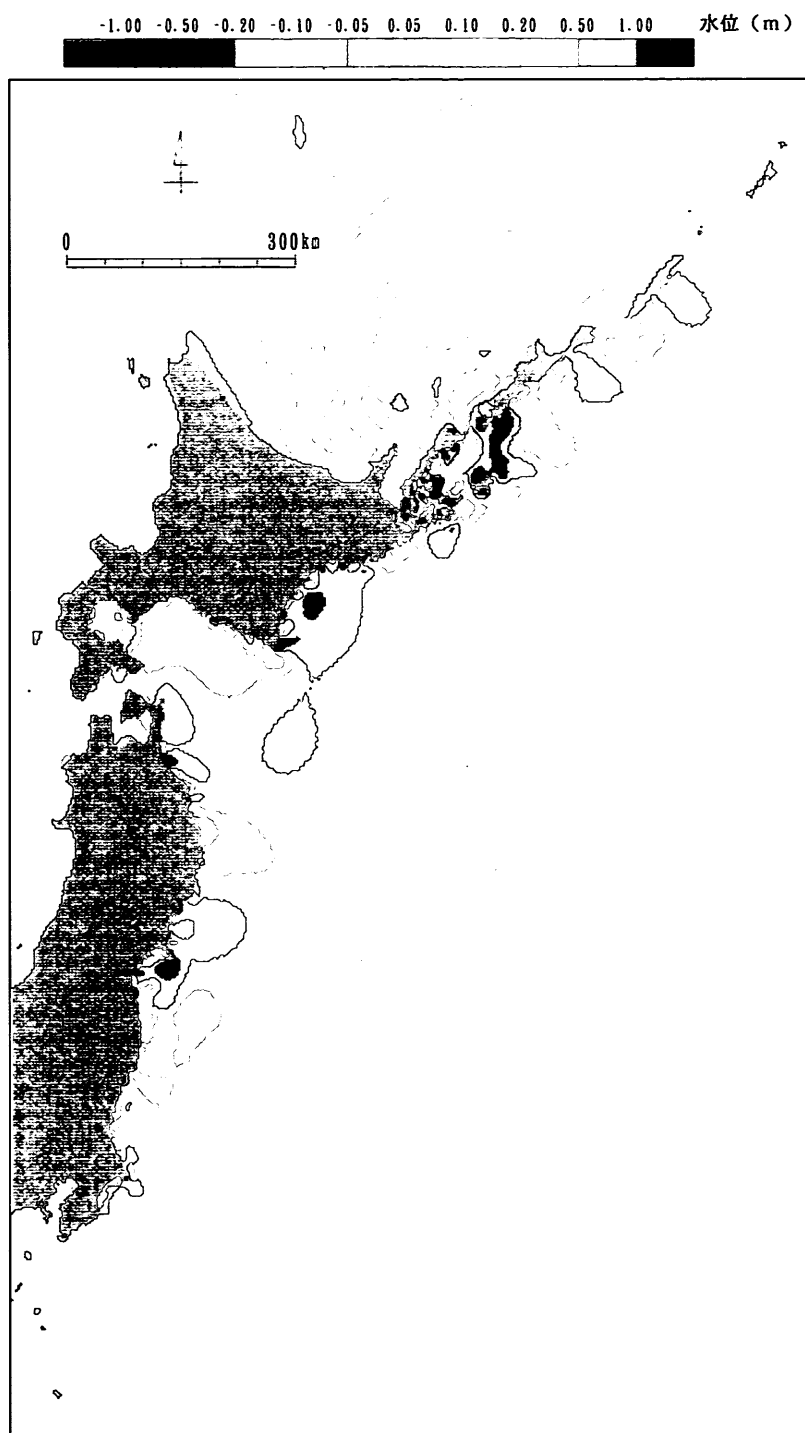
図—6.5(7) 津波発生後の水位分布 (120分後)



図—6.5(8) 津波発生後の水位分布 (140分後)



図—6.5(9) 津波発生後の水位分布 (160分後)



図一6.5(10) 津波発生後の水位分布 (180分後)

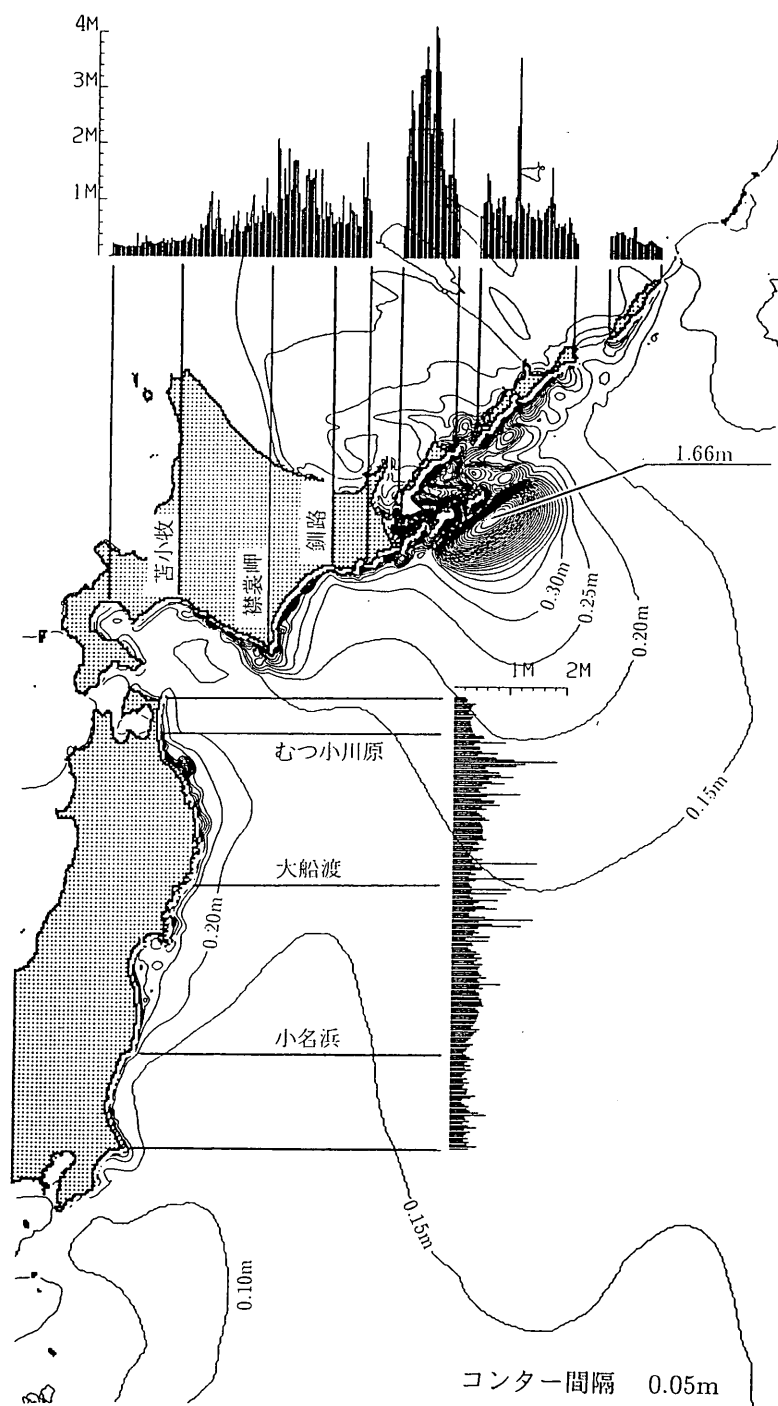
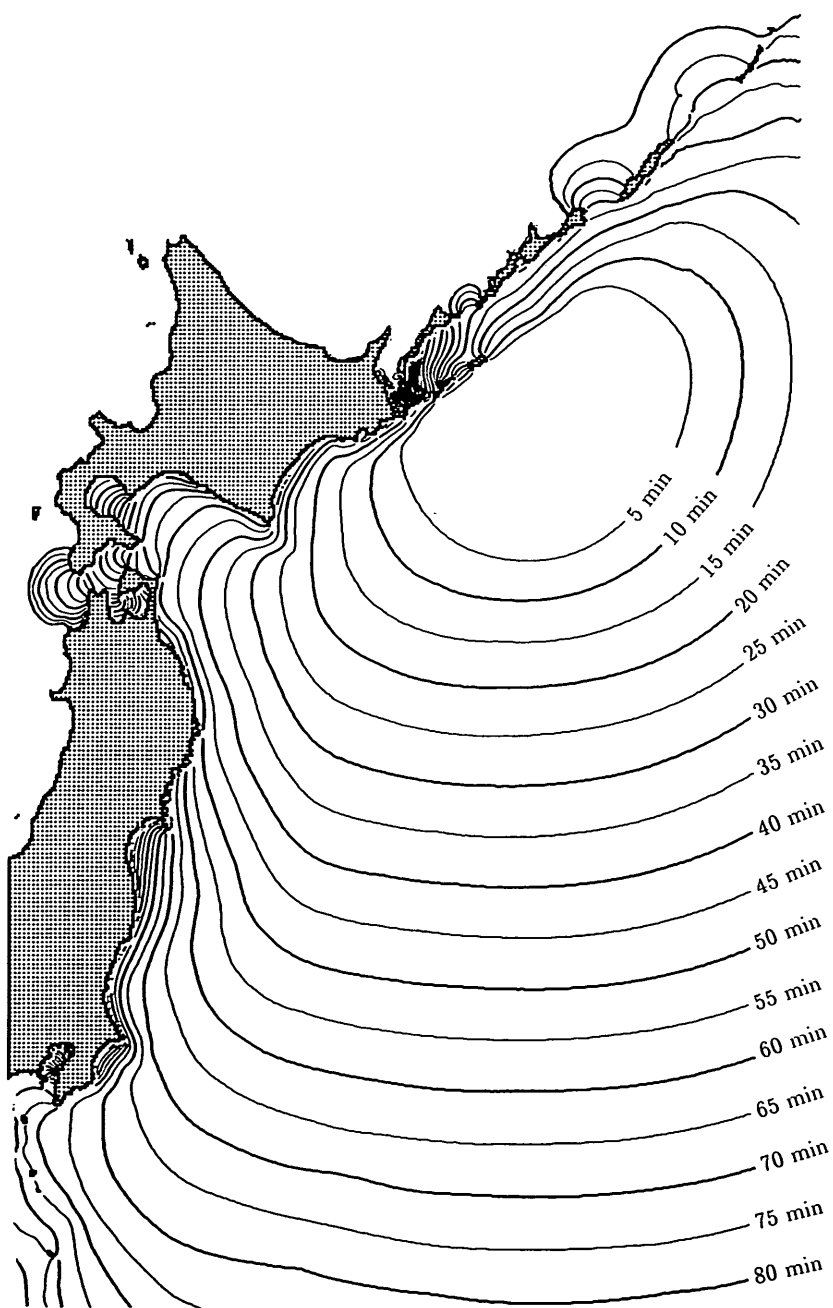
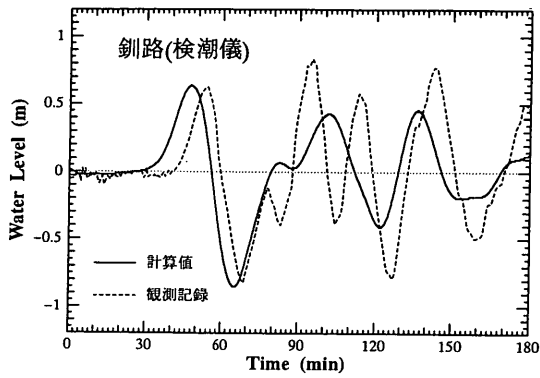


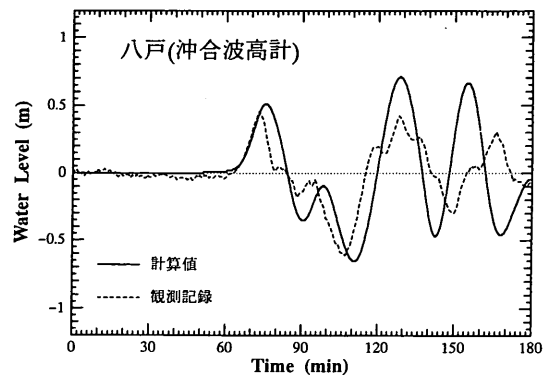
図-6.6 最大水位分布



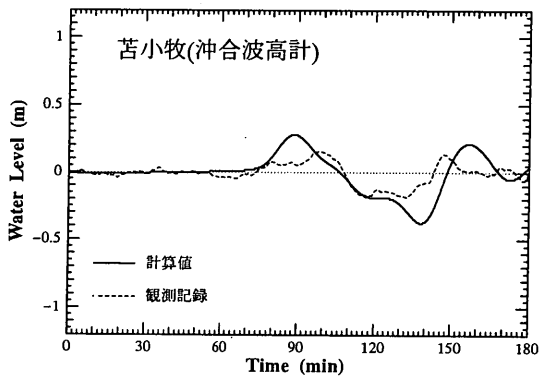
図—6.7 津波初動時間の分布



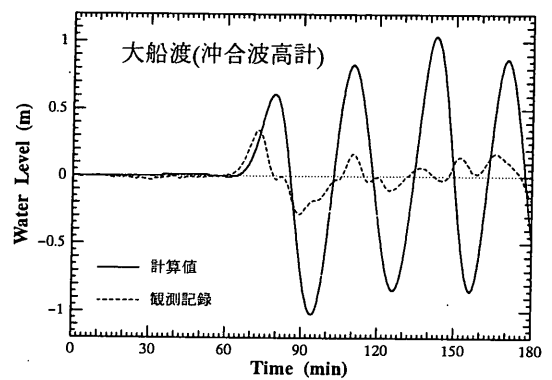
図—6.8(1) 実測および計算津波波形の比較
(釧路港内検潮所)



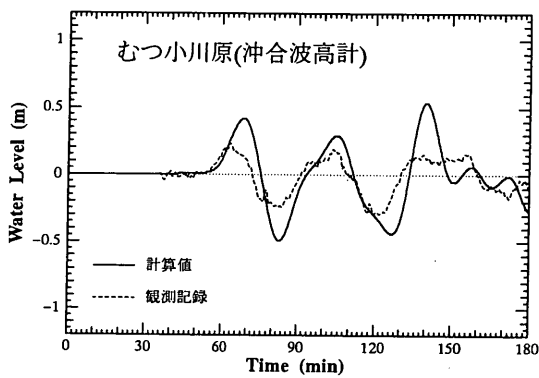
図—6.8(4) 実測および計算津波波形の比較
(八戸港沖合波高計)



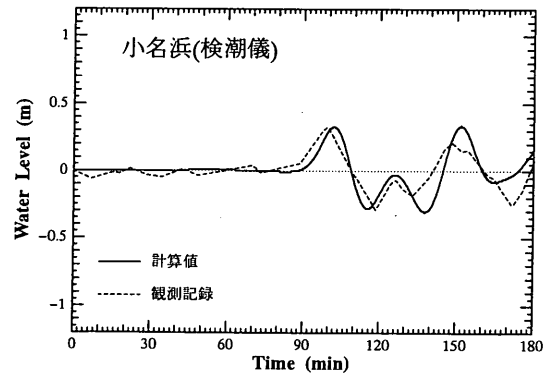
図—6.8(2) 実測および計算津波波形の比較
(苫小牧港沖合波高計)



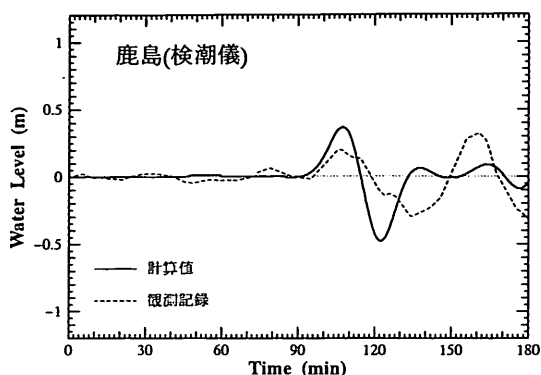
図—6.8(5) 実測および計算津波波形の比較
(大船渡港沖合波高計)



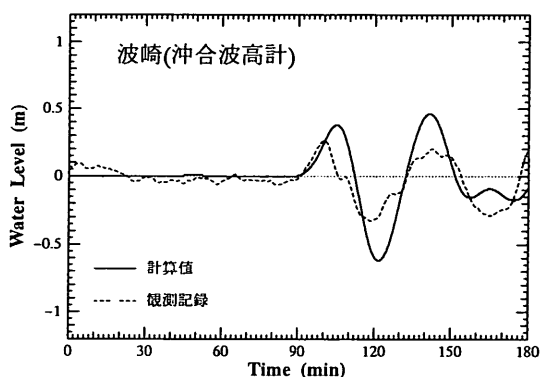
図—6.8(3) 実測および計算津波波形の比較
(むつ小川原港沖合波高計)



図—6.8(6) 実測および計算津波波形の比較
(小名浜港内検潮所)



図—6.8(7) 実測および計算津波波形の比較
(鹿島港内検潮所)



図—6.8(8) 実測および計算津波波形の比較
(波崎観測栈橋先端部波高計)

ついて各地点での状況を整理する。図—6.8において、実線が計算値、破線が実測値である。

a) 釧路

第一波の到達時刻が10分ほど早くなっているが、色丹島、歯舞諸島、さらに根室半島、厚岸湾を伝播する際の複雑な地形が伝播速度に及ぼした影響を十分に評価できていないものと考えられる。しかしながら、水位変動の大きさ自体は最大、最小とも良好な一致を示している。

第二波以降は実測津波のほうが大きくなっている。特に、実測では94分頃と114分頃に現れた2つの水位ピークが計算では102分頃の一つのピークとして現れている点が注目されるが、釧路港内の検潮所においては、港湾内の副振動があらわれている可能性がある。

b) 苫小牧

実測された第一波の波形は双峰のな形となっているが、計算ではこの様子が再現できておらず、最大水位はやや過大となっている。この点を除けば第一波に対する時系列的な整合は得られている。

c) むつ小川原

第一波、第二波とも時系列的にはかなり良好な再現性を示しているが、伝播経路上に複雑な地形が存在しないためと考えられる。波高はやや過大評価気味であるが、この原因は必ずしも明確ではない。

d) 八戸

むつ小川原地点と同様、時系列的な対応は良好であるが水位変動はピーク時にやや過大評価となっている。

e) 大船渡

入り込んだ湾内の観測地点であるが、計算値がかなり過大評価となっている。湾口および周辺域でのエネルギー損失を計算では十分に再現できていないものと考えられる。

f) 小名浜

時系列的な対応、水位変動の大きさともかなり良好な再現性を示している。伝播経路に複雑な地形が存在しないことによるものと推定される。

(5) 計算結果のまとめ

今回の津波は波源モデルが1枚断層と比較的単純であったことに加え、検証データが比較的沖合いで取得されていたこともあり、線形長波理論による、しかも3kmという比較的粗い計算格子でのシミュレーションとしてはかなり良好な再現性を示した。

7. まとめ

以上、北海道東方沖地震津波の特性に関して検討した結果をまとめると、以下の通りとなる。

(1) 津波波形記録の収集整理

図—3.1に示す通り、北海道では苫小牧港沖合波高計連続観測記録および検潮記録8地点、本州ではむつ小川原港沖合波高計波向計連続観測記録、八戸港沖合波高計連続観測記録、大船渡港港外波高計連続観測記録、波崎海洋観測栈橋先端部波高計連続観測記録、および検潮記録9地点の津波波形記録を収集した。

(2) 津波波形記録のとりまとめ

地震発生前後の我国太平洋北東岸の海況は、波浪が高く潮位変動が大きかったため、数値フィルターによって風浪による短周期成分を取り除き、平均補正によって潮位変動成分を取り除く処理を施し津波波形を抽出した。

(3) 津波の波形と波高・周期特性

大部分の観測地点で、津波は押し（水位上昇）から始まっていたことが確認された。ゼロアップクロス法で定義される津波の周期は、観測地点毎に若干異なる値を示したものの、平均値は40分程度となっており、概めて周

期の長い津波であったことが確認された。図—3.7に示すように津波の波高は観測地点によって大きく異なっていたが、沖合波高計記録の最大値は八戸港沖合約1m、港内検潮記録の最大値は久慈港の約2.5mであった。

(4) 津波波形記録のスペクトル解析結果

沖合波高計記録および港内検潮記録のスペクトル解析結果は、ゼロアップクロス法で定義される津波周期とよい対応を示しており、0.00015Hz(約110分)から0.001Hz(約17分)の周波数帯でなだらかなピークが確認された。沖合波高計記録と港内検潮記録のスペクトル相互の相関も各港で妥当な結果が得られており、波崎栈橋と鹿島港内との相関を除いては、周波数が低くなるほどコヒーレンスの値が大きくなり、0.0006Hz(約28分)より低周波数側では1.0に近い値となり極めて相関性が高くなっている。沖合波高計記録と流速記録との相関性も妥当な結果が得られている。

(5) 沖合における水位変動と流速との関係

図—4.18に示す沖合における水位変動と流速との関係は、微小振幅長波理論を仮定した進行波および重複波の考え方から、合理的に説明できることを示した。

(6) 現地調査結果

現地調査においては、検潮記録から求められた津波最高水位と港内の津波高がほぼ等しく、検潮井戸が正確に津波水位を記録できていることが判明した。これは、津波の周期が比較的長かったことと、検潮井戸の導水管が短く応答性が高かったことが原因である。

家屋および船舶の津波による顕著な被害はなかったが、八戸港、山田湾および宮古湾内で水産施設の被害が生じた。特に、宮古湾内の延縄施設はほぼ全壊し、ブイを使った水産養殖施設が津波に対しては脆弱であることが判明した。

(7) 津波伝播数値シミュレーション結果

北海道東方沖地震津波は、波源モデルが1枚断層と比較的単純であったことに加え、検証データが比較的沖合いで取得されていたこともあり、線形長波理論による3kmという比較的粗い計算格子でのシミュレーション結果によっても、観測津波波形を比較的良好に再現することができた。(1995年3月29日受付)

謝辞

北海道東方沖地震津波は、これまでに我国沿岸に襲ったどの津波と比較しても、量的にも質的にも最も充実した津波波形記録の取得に成功した津波である。本報告で紹介した膨大な量の津波波形記録の取得は、北海道開発局および第二港湾建設局の数多くの関係する方々の長

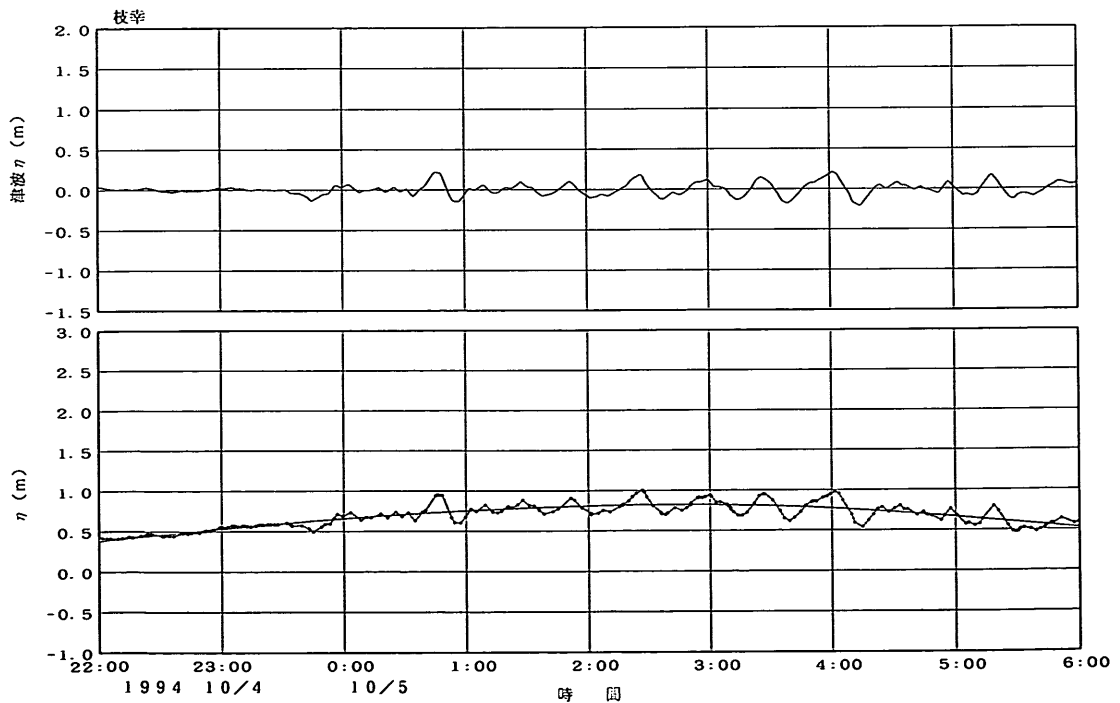
年にわたるご尽力があって、始めて可能になったものと考ええる。また、本報告をこのような短期間のうちにとりまとめることができたのは、運輸省港湾局、各港湾建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局および港湾技術研究所が一体となって運営している全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の中で培われた、波浪データの収集解析システムが、その機能を発揮することができたためである。こうした日々の海象観測に携わっておられる担当の皆様方に改めて謝意を表する。

さらには、津波遡上高現地調査にあたっては、北海道開発局・第二港湾建設局・青森県・岩手県の全面的なご協力をいただいた。また、本調査においては、ヒアリングに快く応じていただいた皆様、貴重な観測記録を提供していただいた皆様など、現地で多くの方々の協力を得た。波崎海洋栈橋における波高観測データは当所水工部漂砂研究室から御提供いただいたものであり、記録の解析にあたっては柳嶋慎一主任研究官のご指導をいただいた。津波の初期波形モデルは、東北大学からご提供いただいた。図表等の作成にあたっては、(財)沿岸開発技術研究センターの北村不二夫主任研究員を筆頭とするナウファスデータ解析チームの皆様、(社)海洋調査協会、(株)エコー、沿岸海洋調査(株)および日本海洋コンサルタント(株)のご助力もいただいた。ここに記し重ねて謝意を表する。

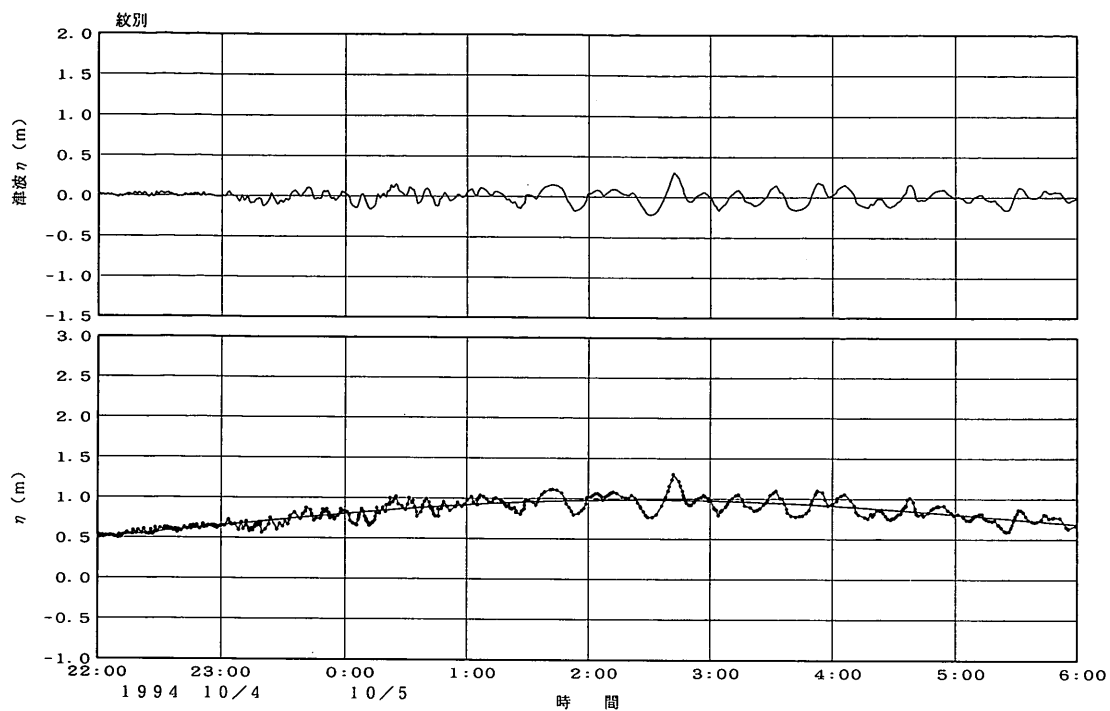
参考文献

- 1) 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：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.470，299P.，1983
- 2) 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，pp.51-97，1993.12
- 3) 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・細山田得三・下迫健一朗・遠藤仁彦・浅井 正：1993北海道南西沖地震津波の特性と被害，港湾技研資料No.771，204P.，1994.6
- 4) 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井正・東山茂・戸田和彦：平成5年北海道南西沖地震の沖合津波波形，海岸工学論文集第41巻，土木学会，pp.221-225，1994.11
- 5) 菅原一晃・永井紀彦・橋本典明・清水勝義：全国港湾海洋波浪観測施設台帳(ナウファス施設台帳)，港湾技研資料No.782，326P.，1994.9

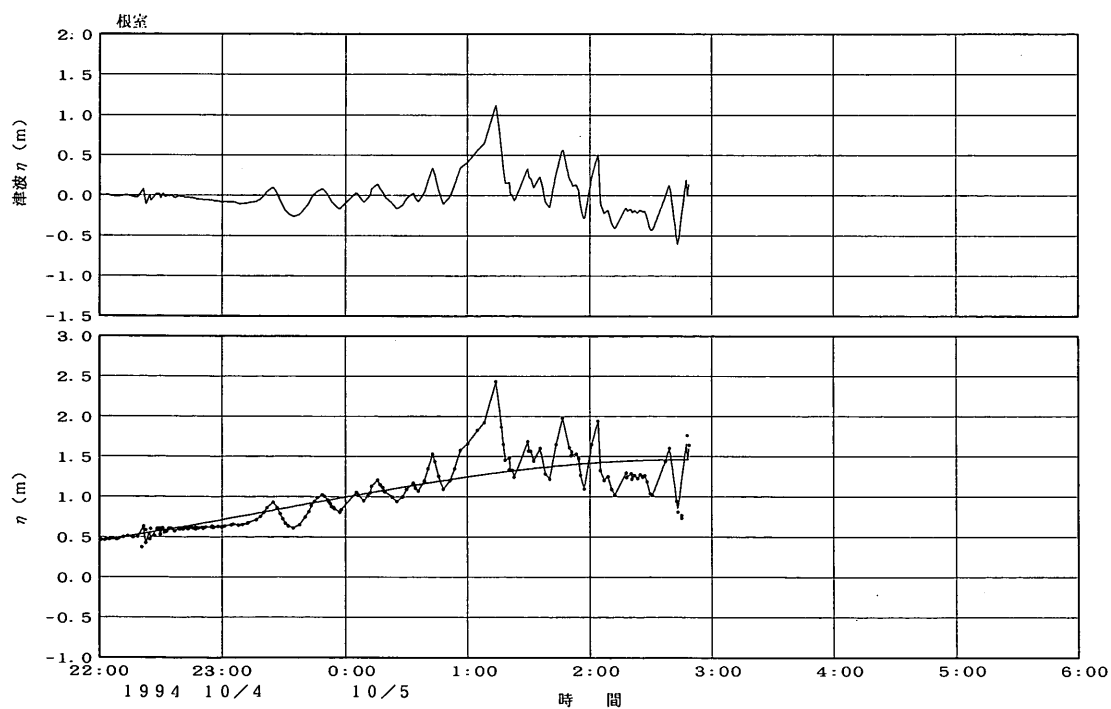
- 6) 毎日新聞：1994.10.5（水）
- 7) 朝日新聞：1994.10.5（水）
- 8) 気象庁：潮位表（平成6年），1993
- 9) 北海道開発局開発土木研究所：1994年北海道東方沖地震被害調査報告，開発土木研究所報告第108号，71 P.，1995.3
- 10) 今村文彦・永野修美・後藤智明・首藤伸夫：1960年チリ地震津波に対する外洋伝播計算，第34回海岸工学講演会論文集，1987，pp.172-176
- 11) Koutitas,C. and M.Gousidou-Koutita(1993)：A Nonlinear Dispersive Wave Model for Tsunami Generation and Propagation in Coastal Waters, Proceedings of IUGG/IOC International Tsunami Symposium, 1993, pp.1-7
- 12) Aida, I: Numerical Experiments for Tsunami Caused by Moving Deformation of the Sea Bottom, Bull. Earthq. Res. Inst. Vol.47, 1962, pp.849-862



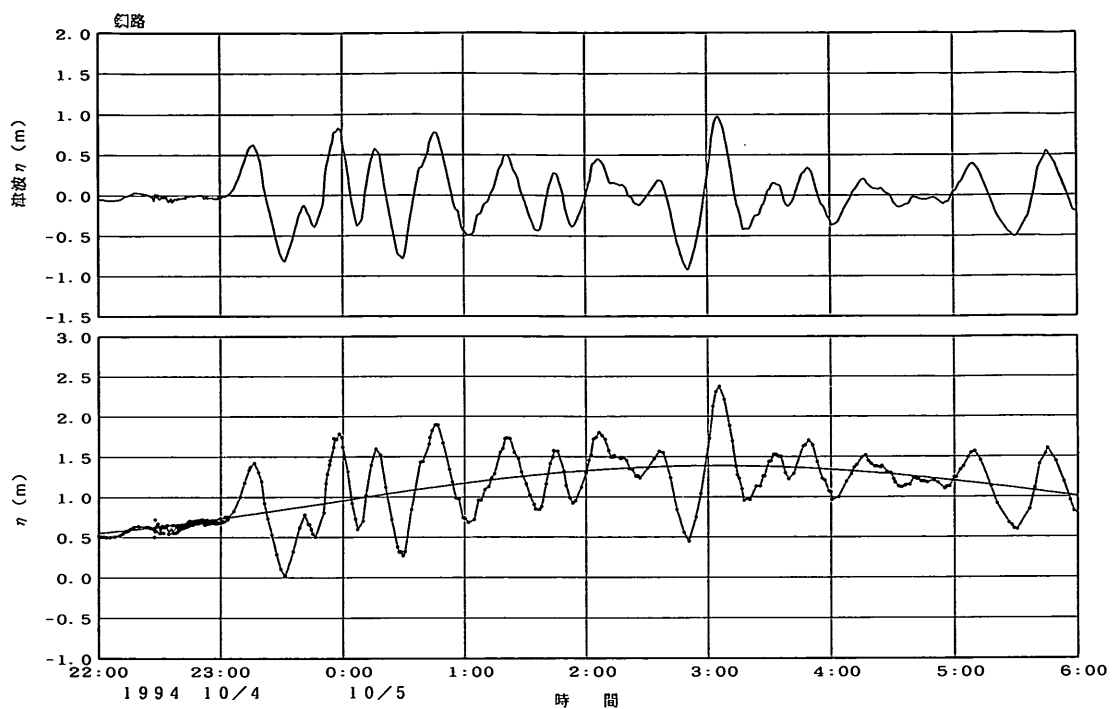
付図一.1 検潮記録から得られた津波波形（枝幸）



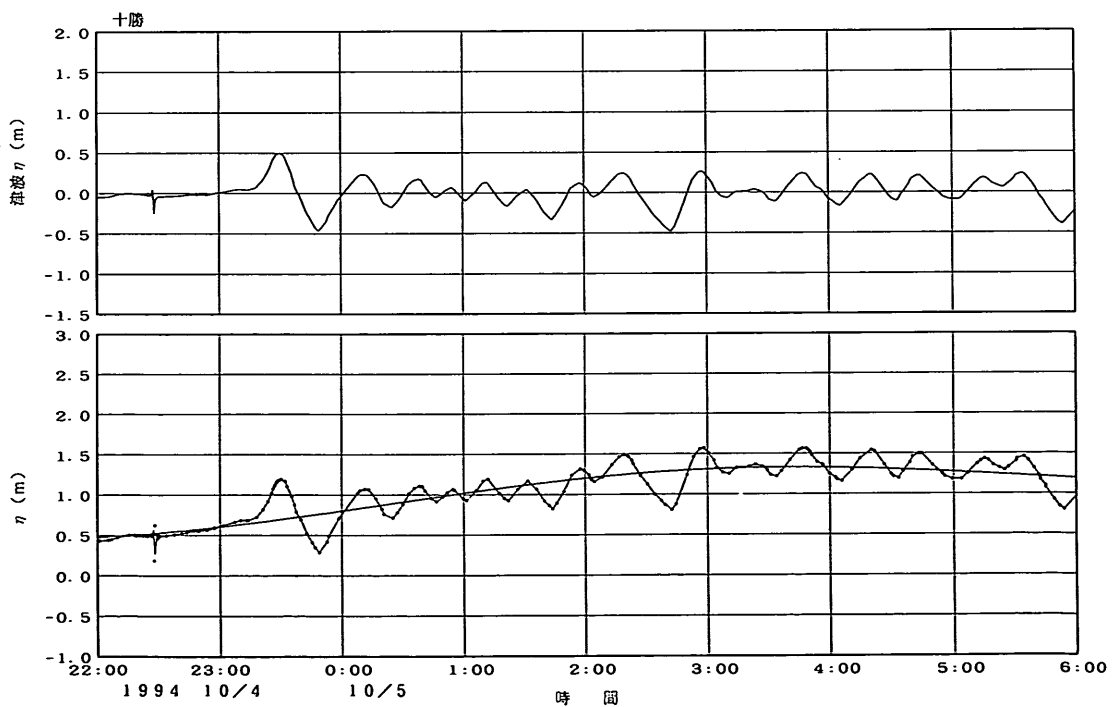
付図一1.2 検潮記録から得られた津波波形（紋別）



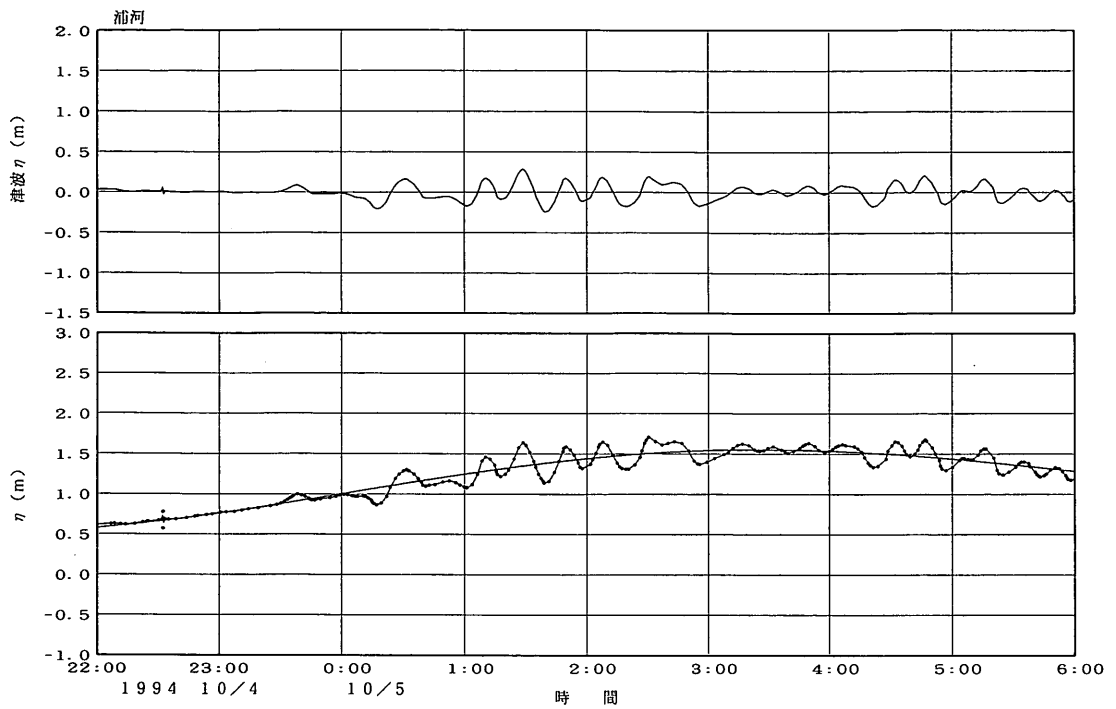
付図一1.3 検潮記録から得られた津波波形（根室）



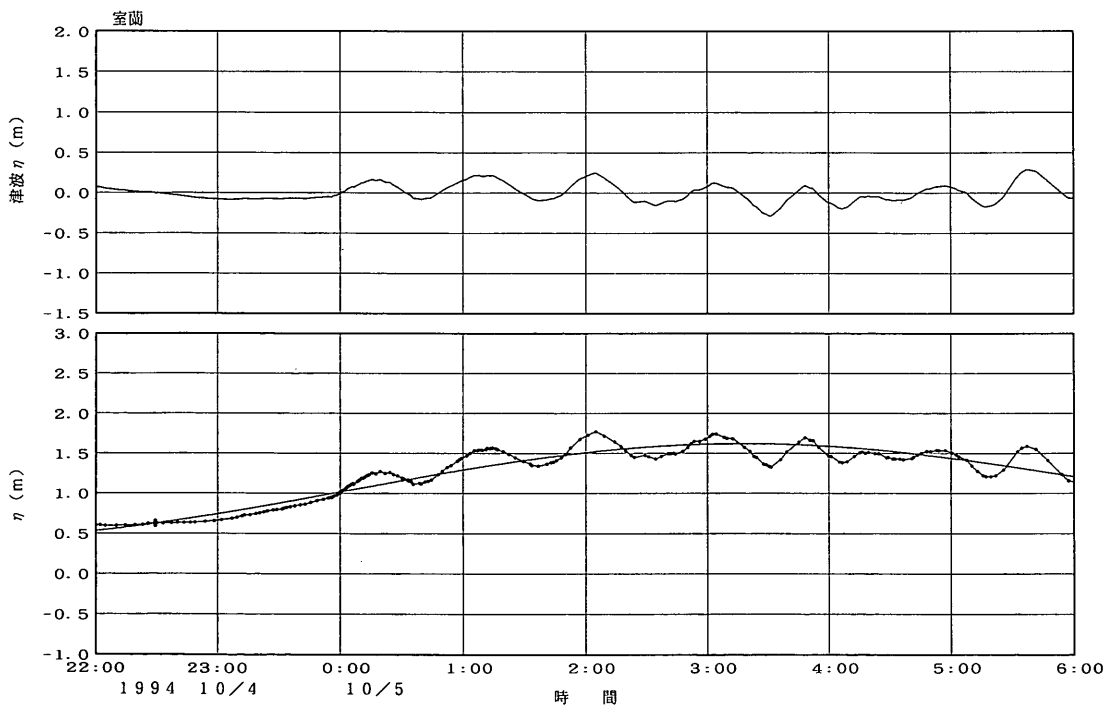
付図一1.4 検潮記録から得られた津波波形（釧路）



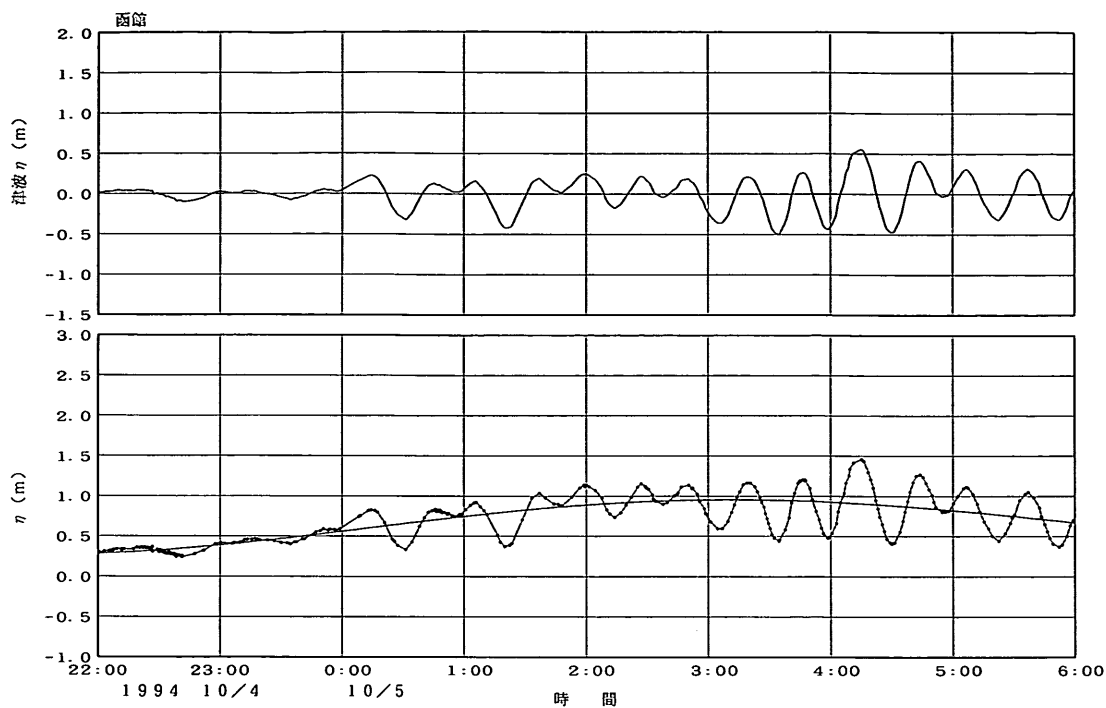
付図一1.5 検潮記録から得られた津波波形（十勝）



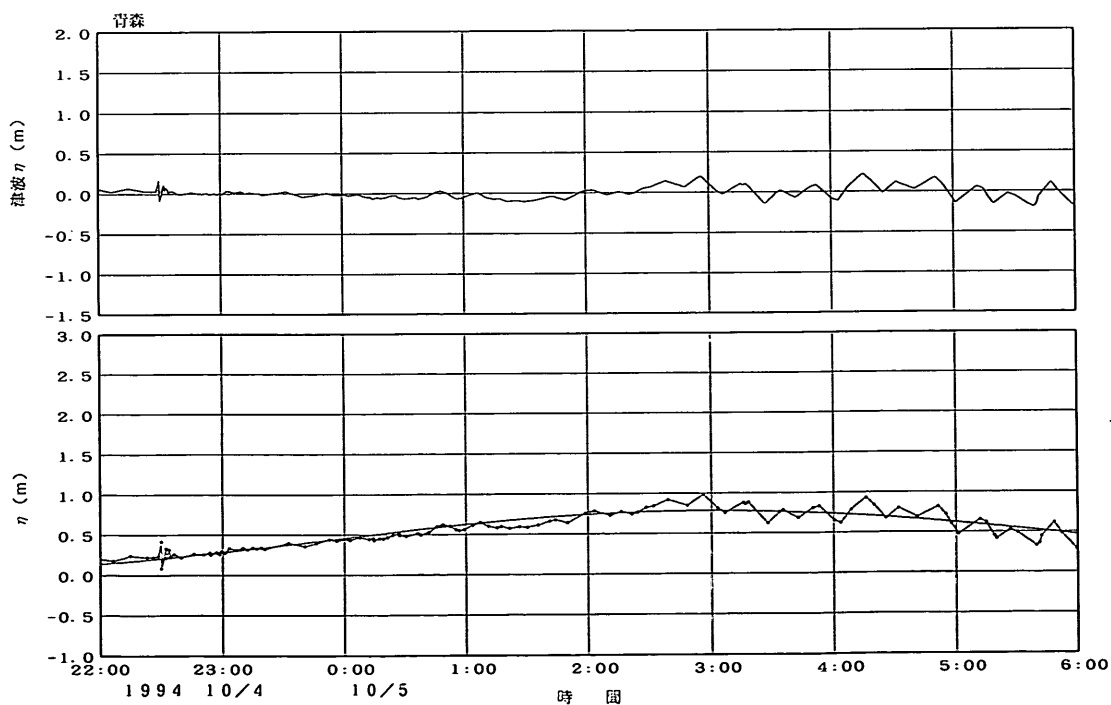
付図—1.6 検潮記録から得られた津波波形（浦河）



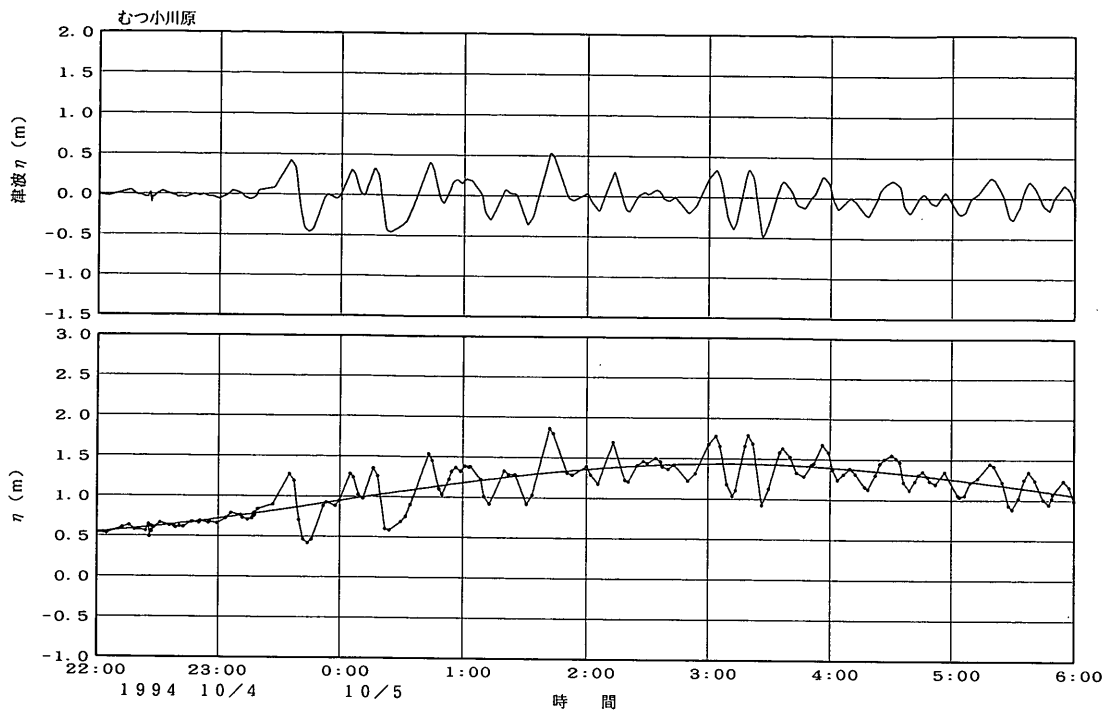
付図—1.7 検潮記録から得られた津波波形（室蘭）



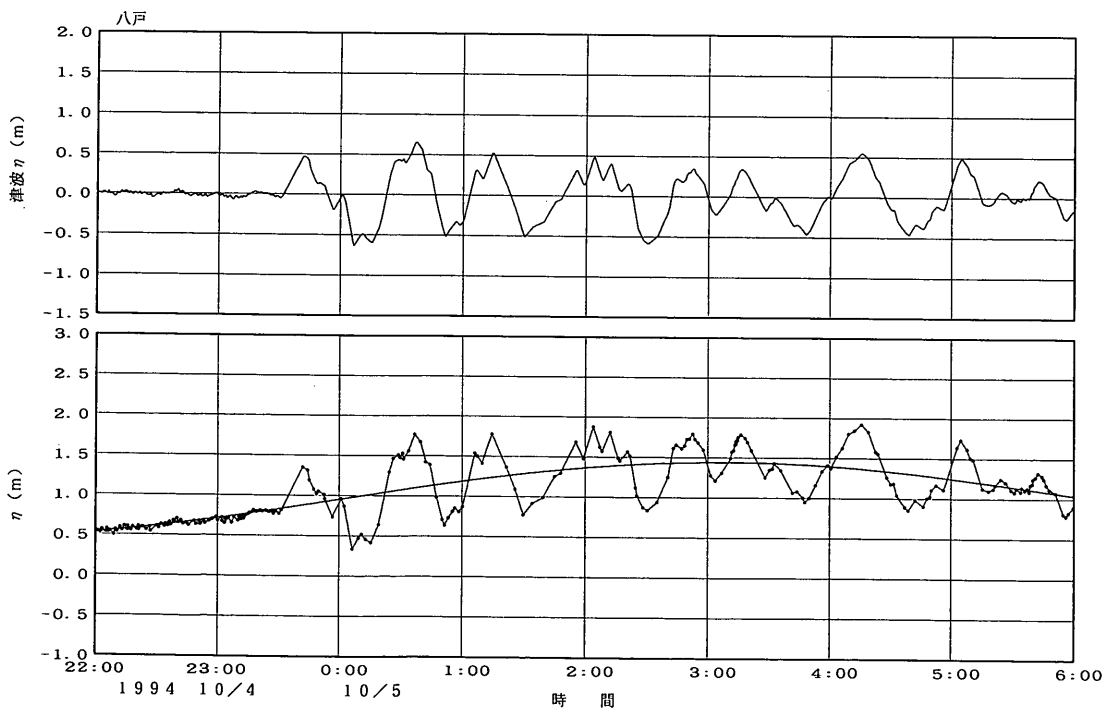
付図一.1.8 検潮記録から得られた津波波形 (函館)



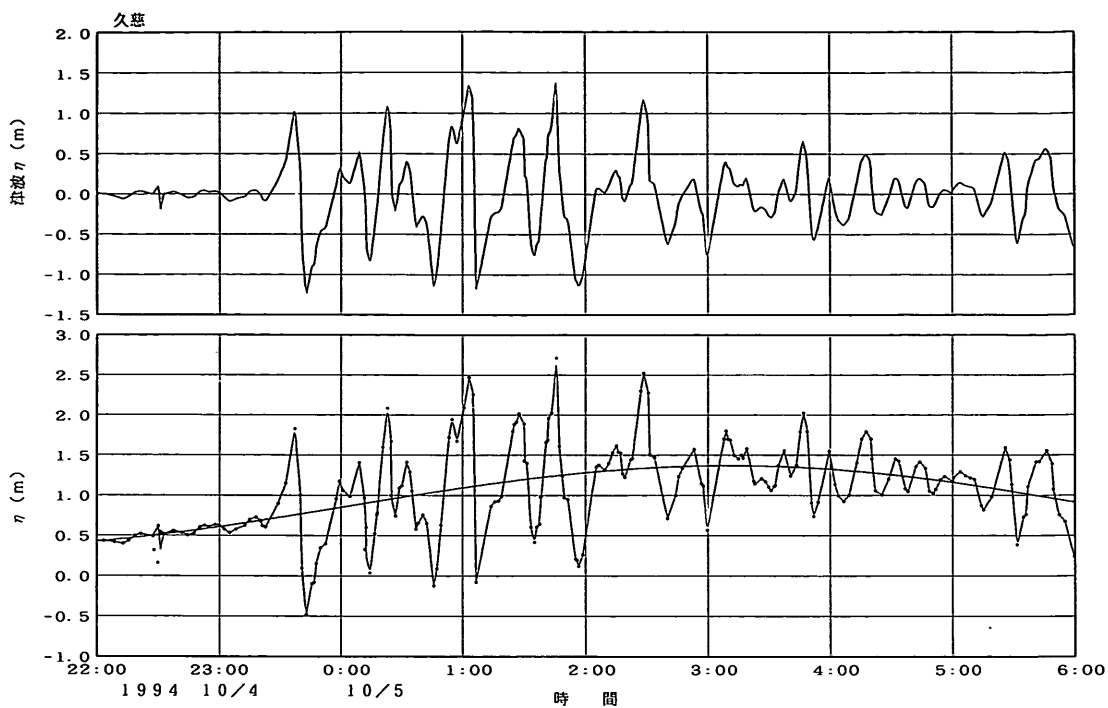
付図一.1.9 検潮記録から得られた津波波形 (青森)



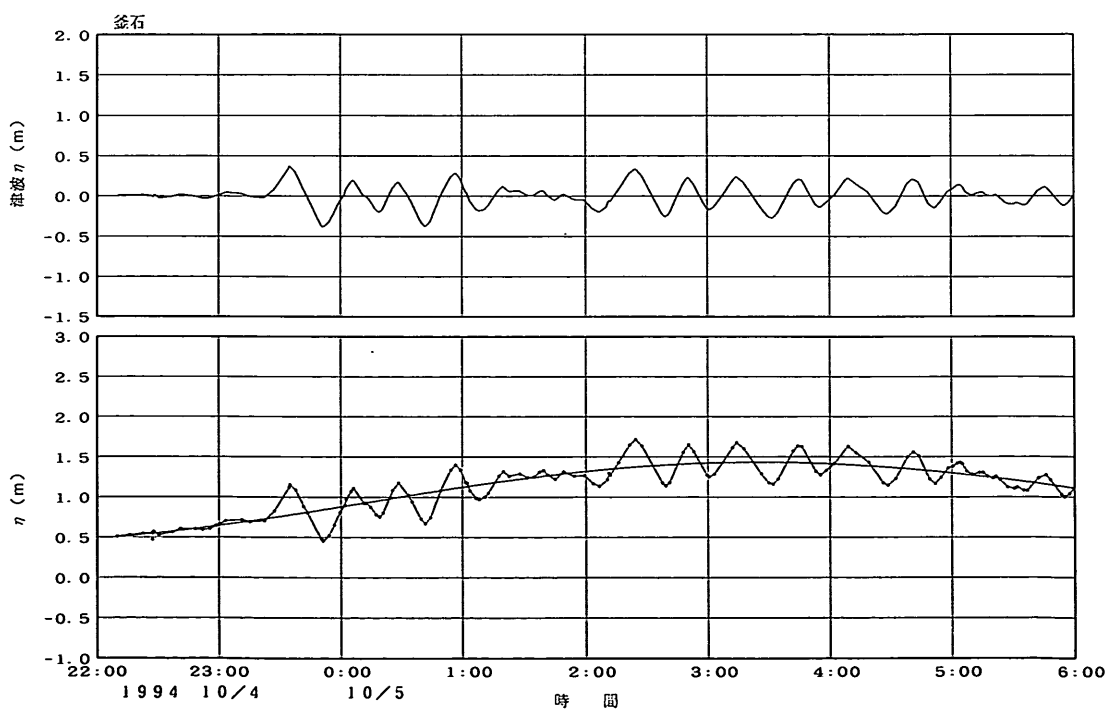
付図一.1.10 検潮記録から得られた津波波形 (むつ小川原)



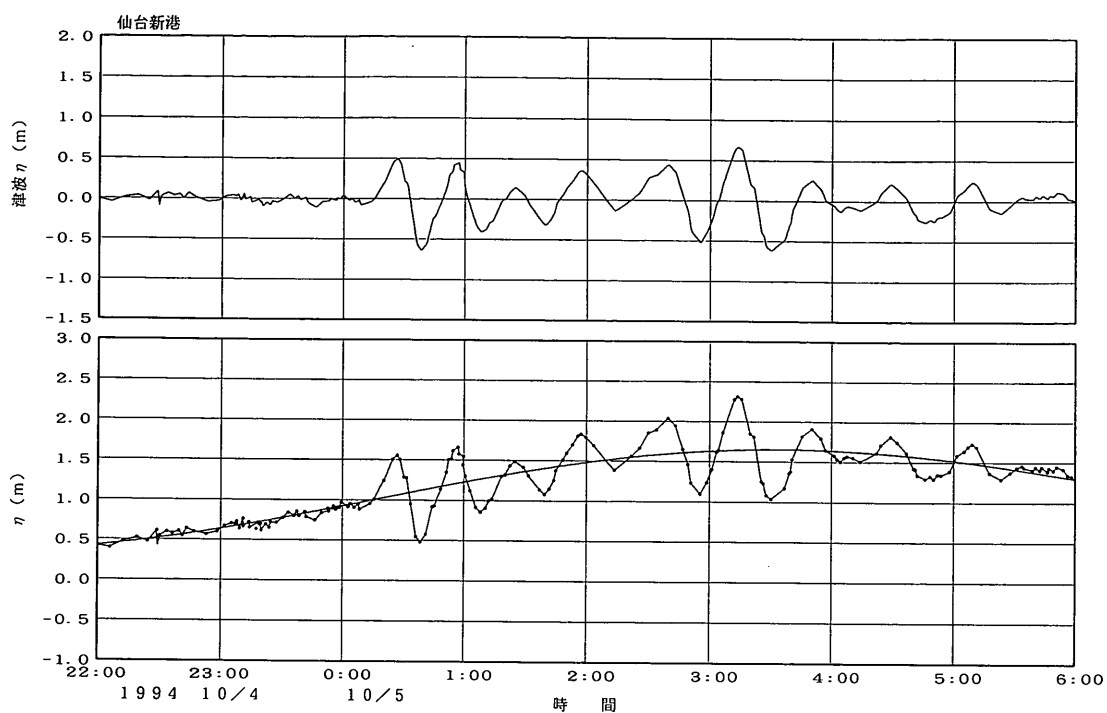
付図一.1.11 検潮記録から得られた津波波形 (八戸)



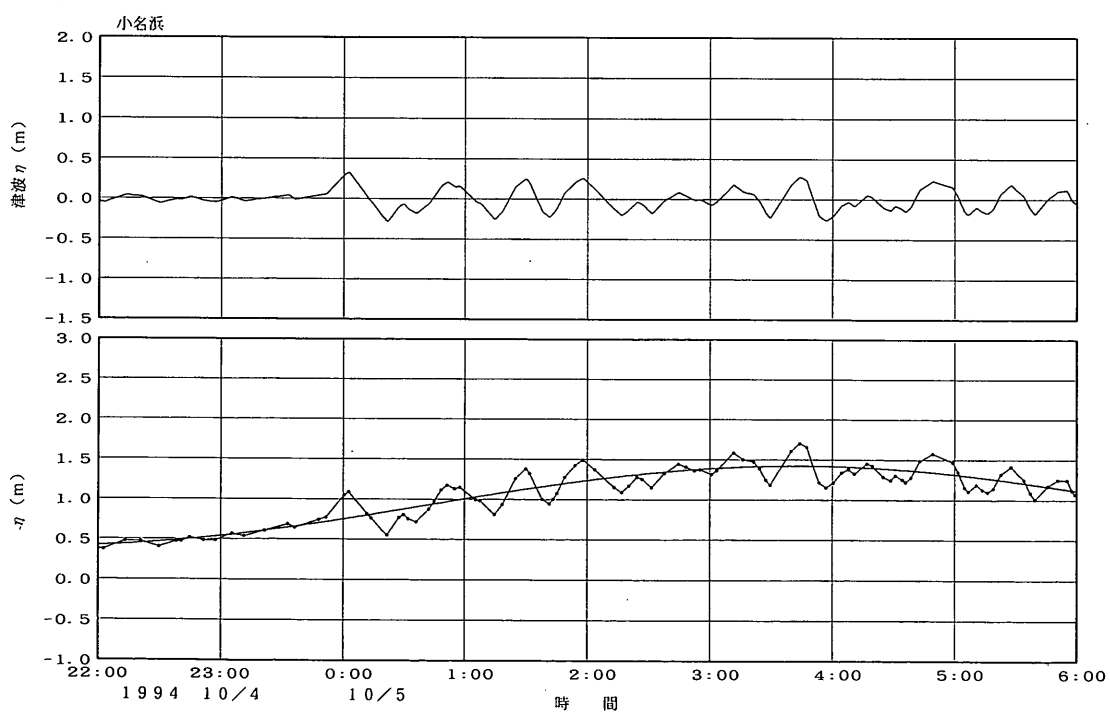
付図—1.12 検潮記録から得られた津波波形（久慈）



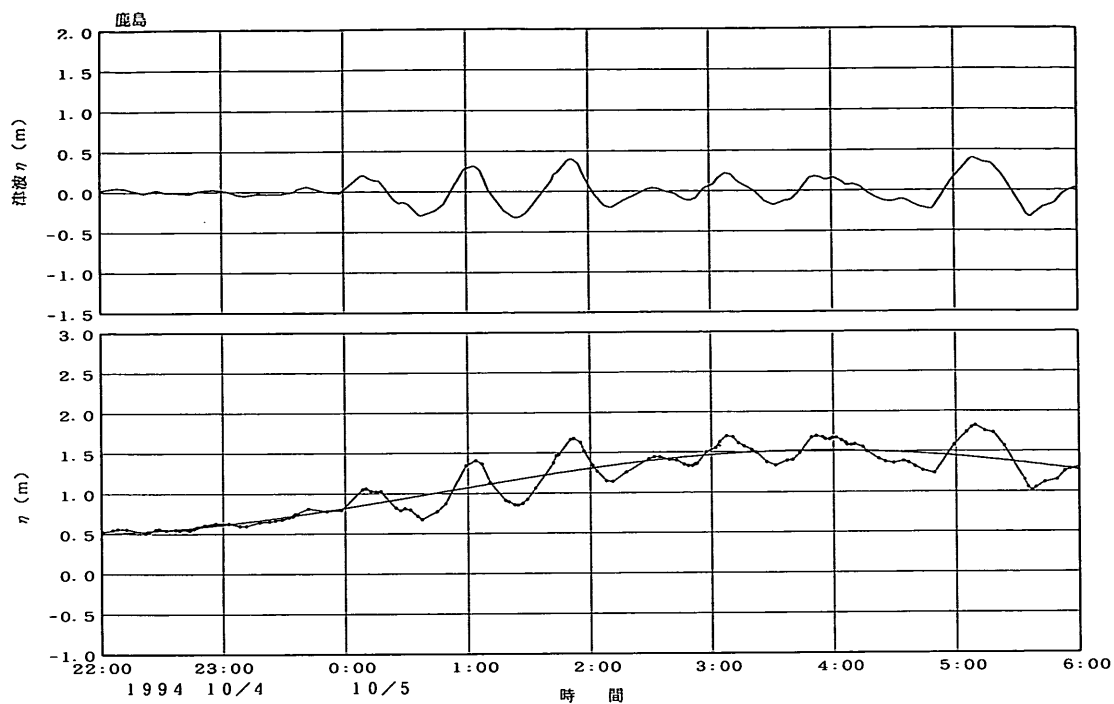
付図—1.13 検潮記録から得られた津波波形（釜石）



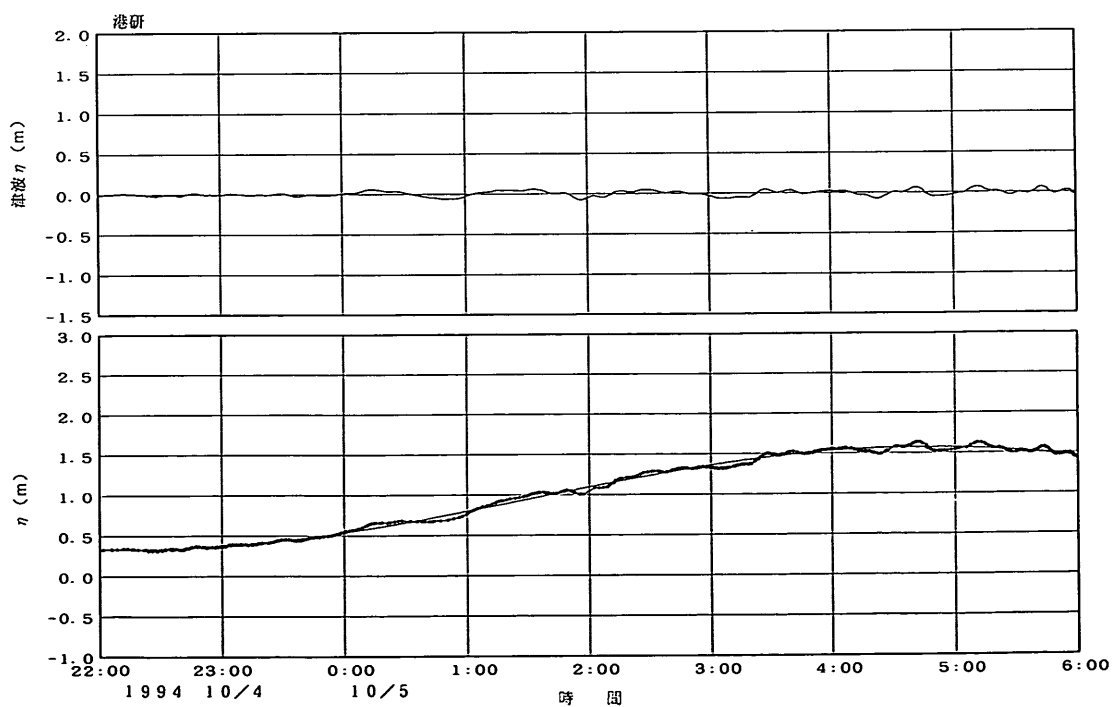
付図—1.14 検潮記録から得られた津波波形 (仙台新港)



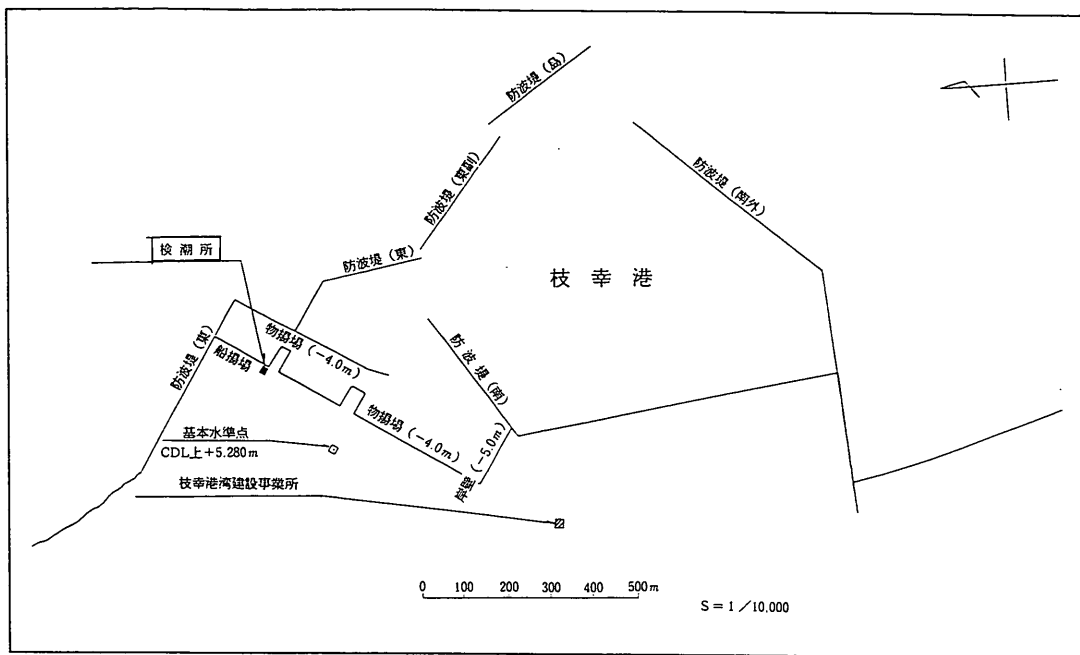
付図—1.15 検潮記録から得られた津波波形 (小名浜)



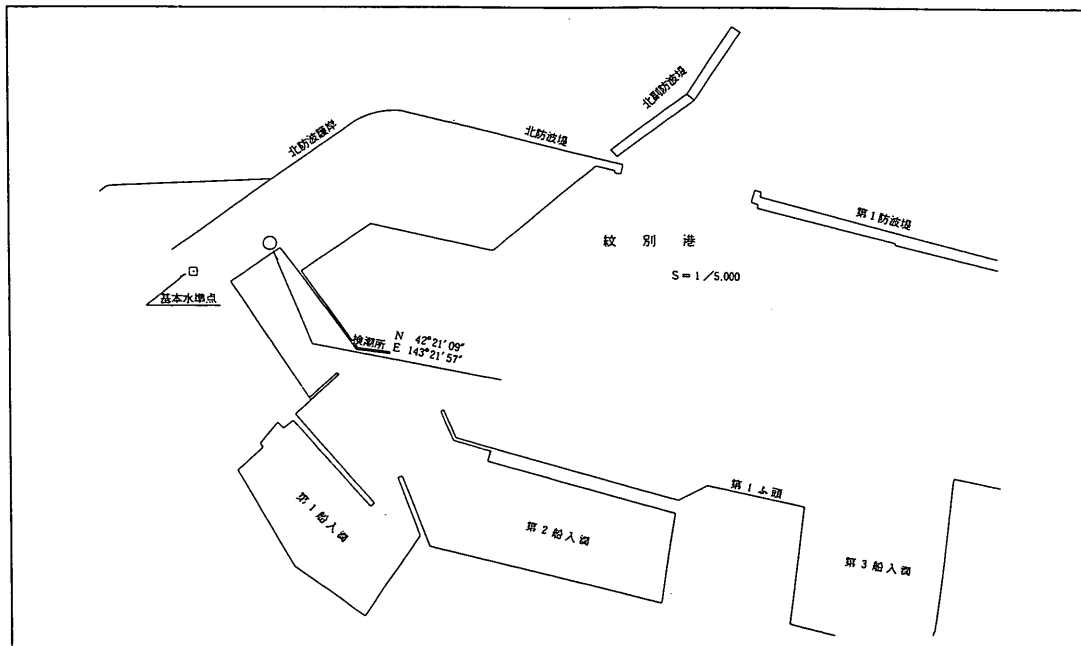
付図一1.16 検潮記録から得られた津波波形（鹿島）



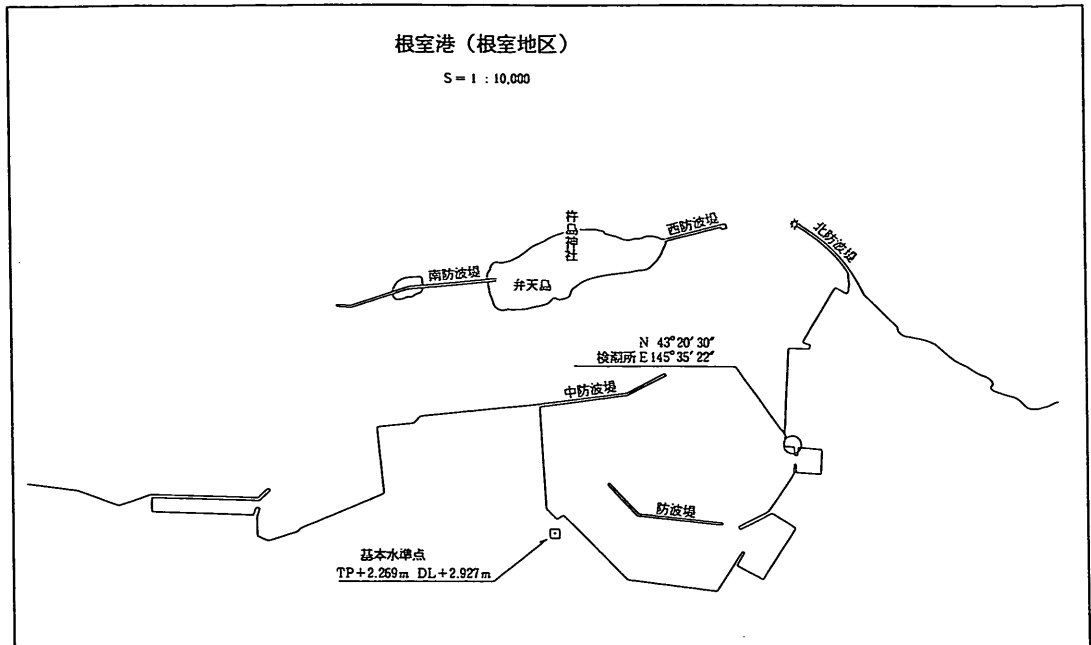
付図一1.17 検潮記録から得られた津波波形（港研構内）



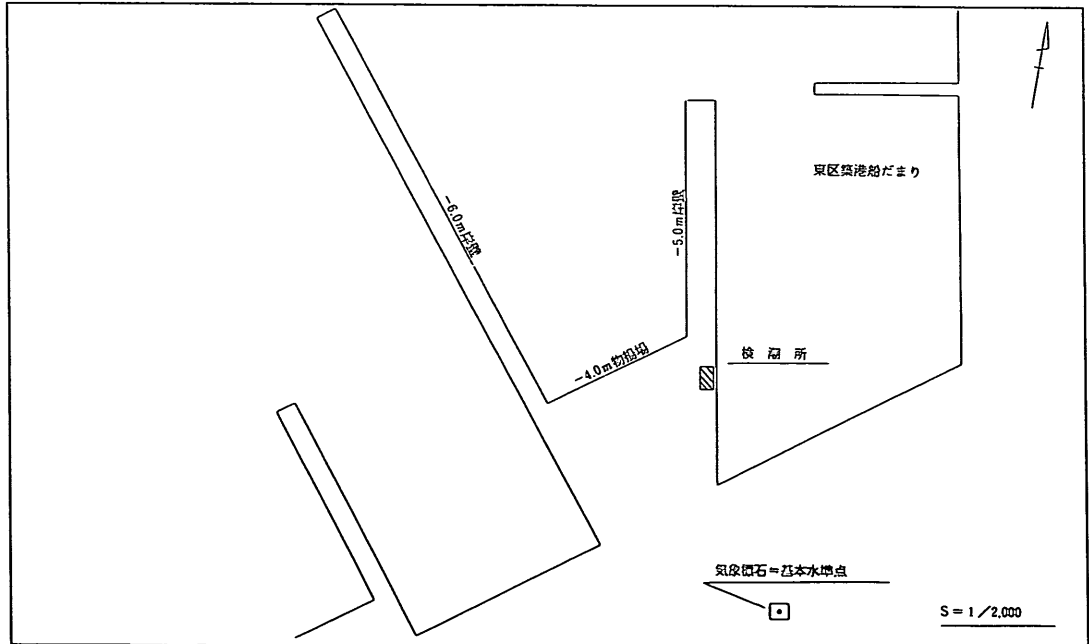
付図—2.1 観測機器設置位置図 (枝幸)



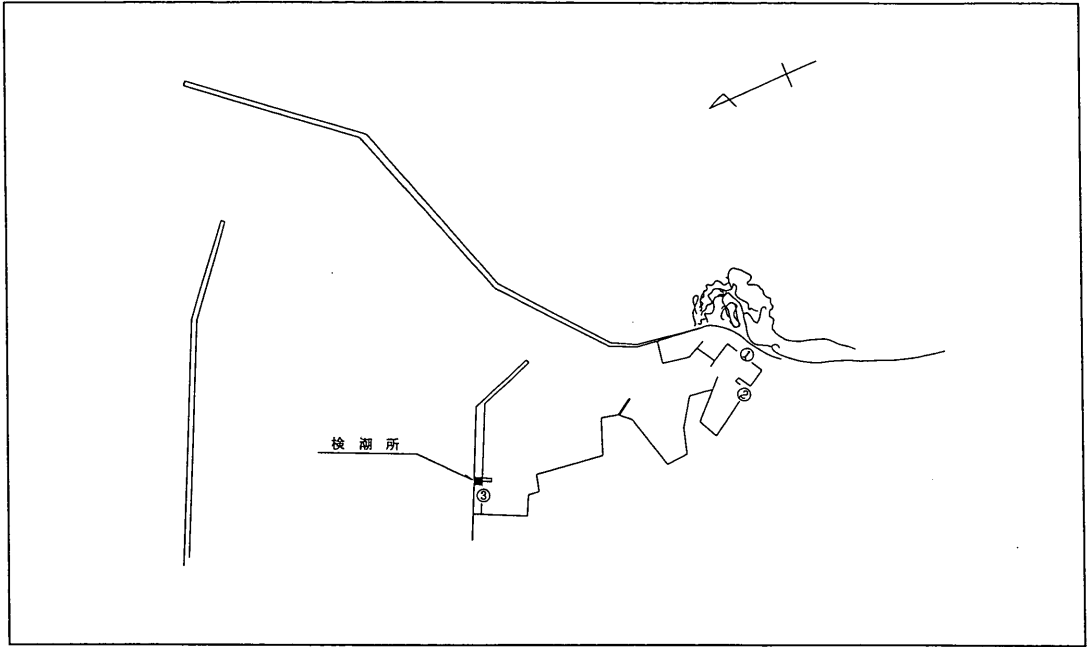
付図—2.2 観測機器設置位置図 (紋別)



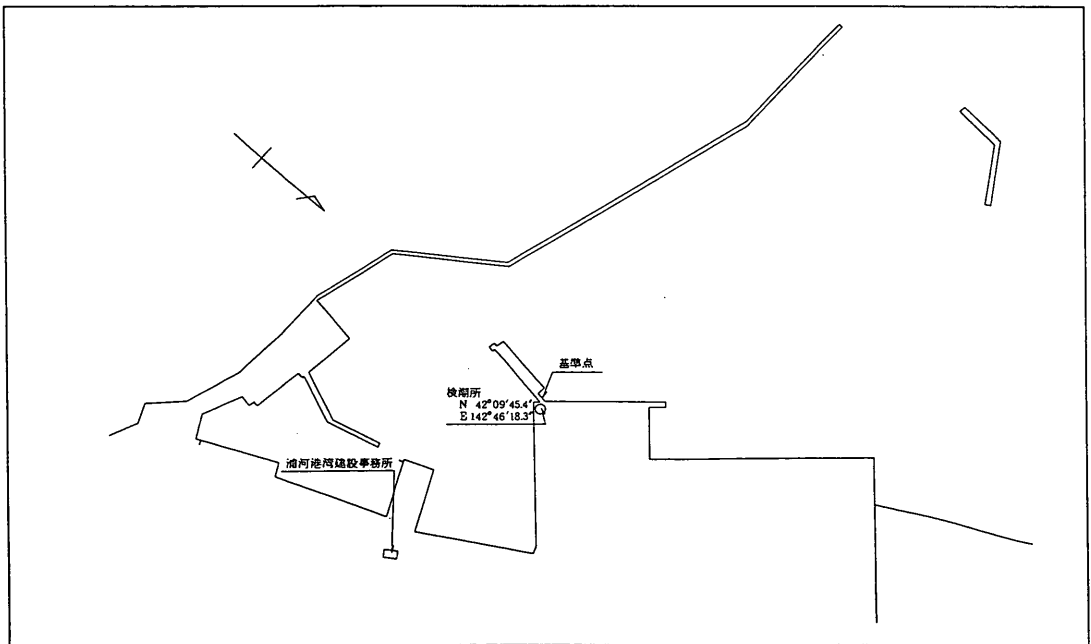
付図—2.3 観測機器設置位置図（根室）



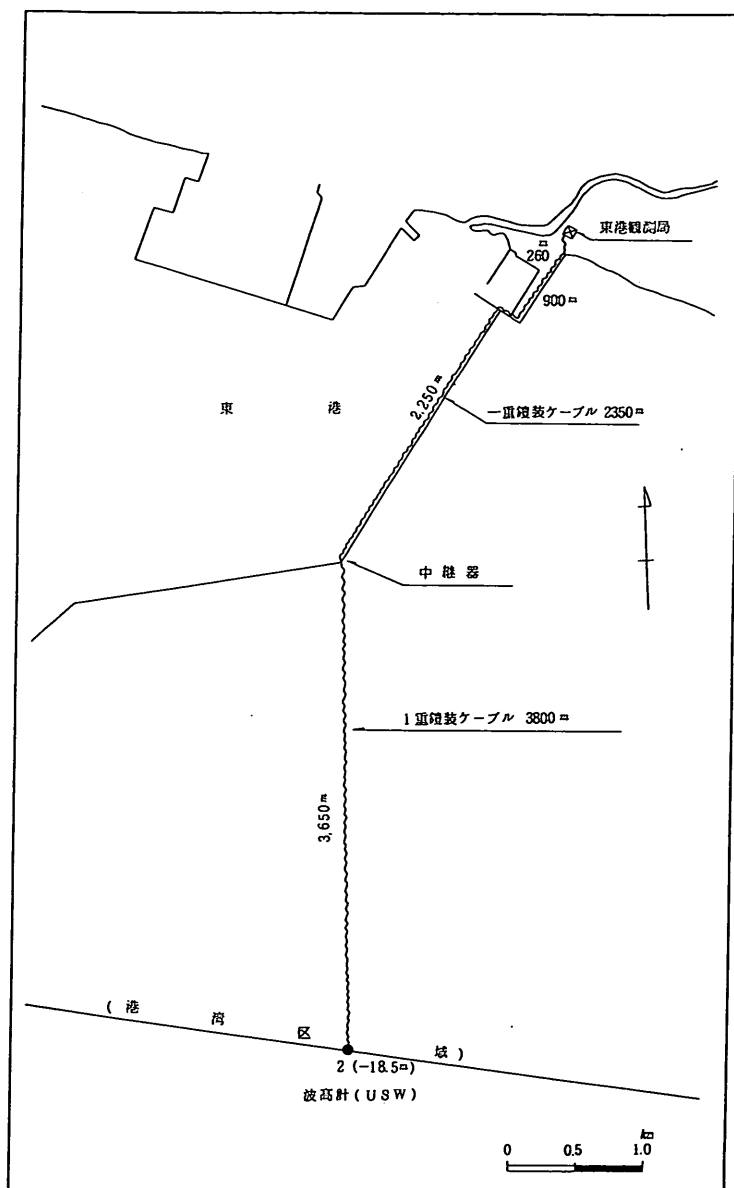
付図—2.4 観測機器設置位置図（釧路）



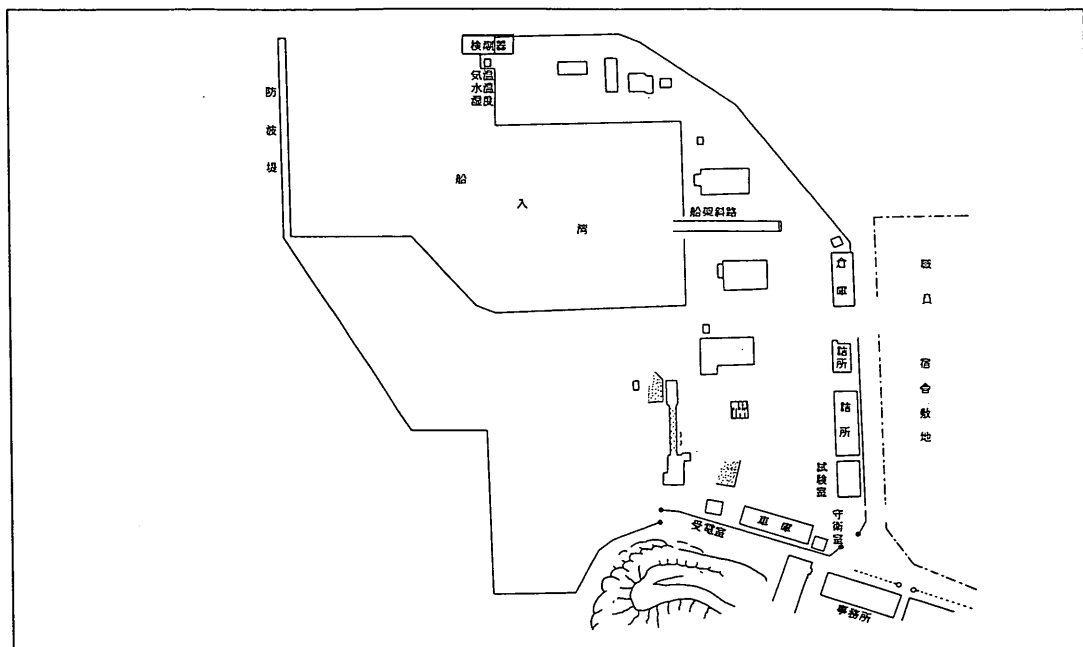
付図—2.5 観測機器設置位置図（十勝）



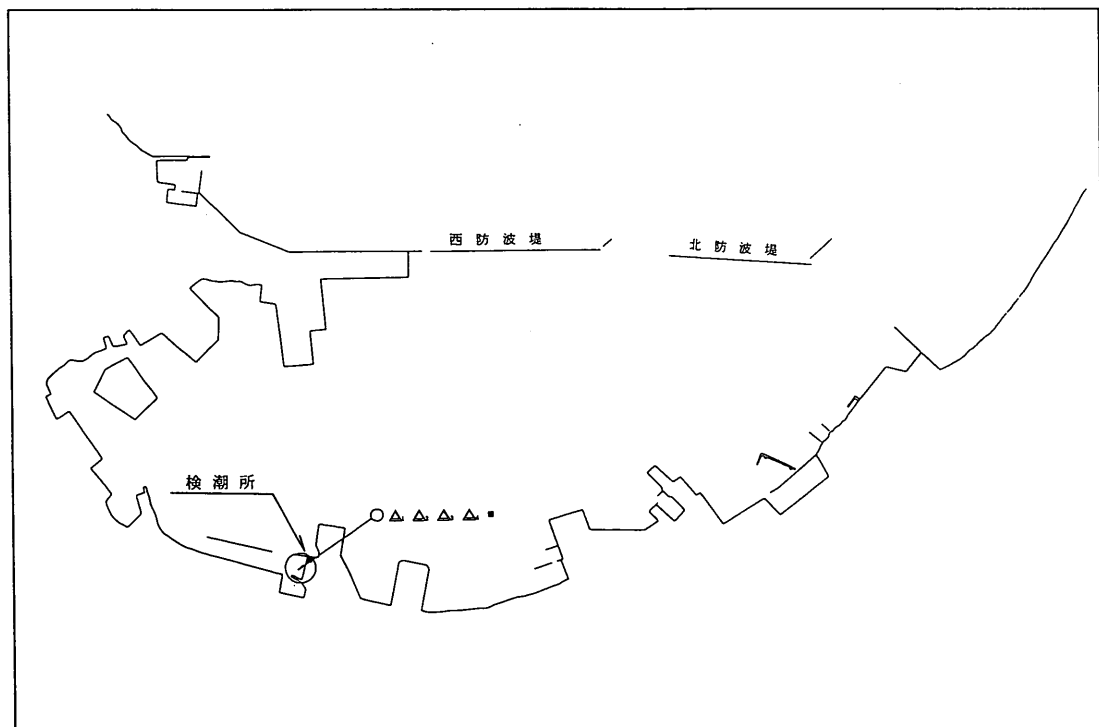
付図—2.6 観測機器設置位置図（浦河）



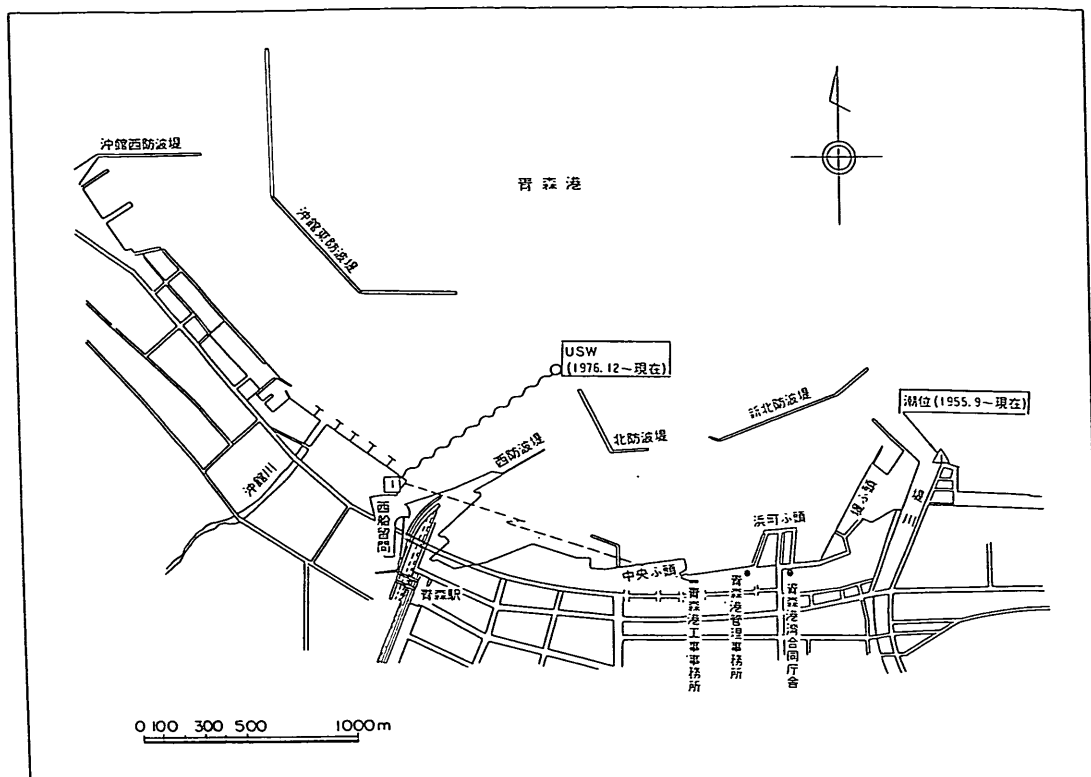
付図-2.7 観測機器設置位置図 (苦小牧港沖合)



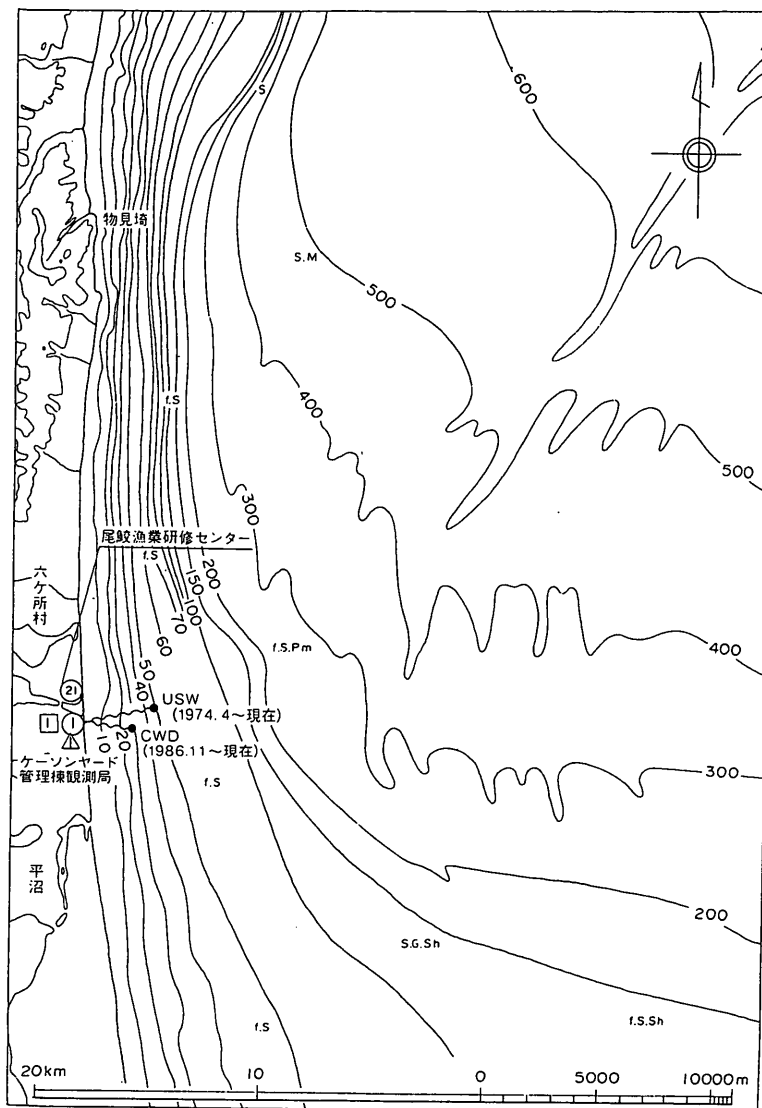
付図—2.8 観測機器設置位置図 (室蘭)



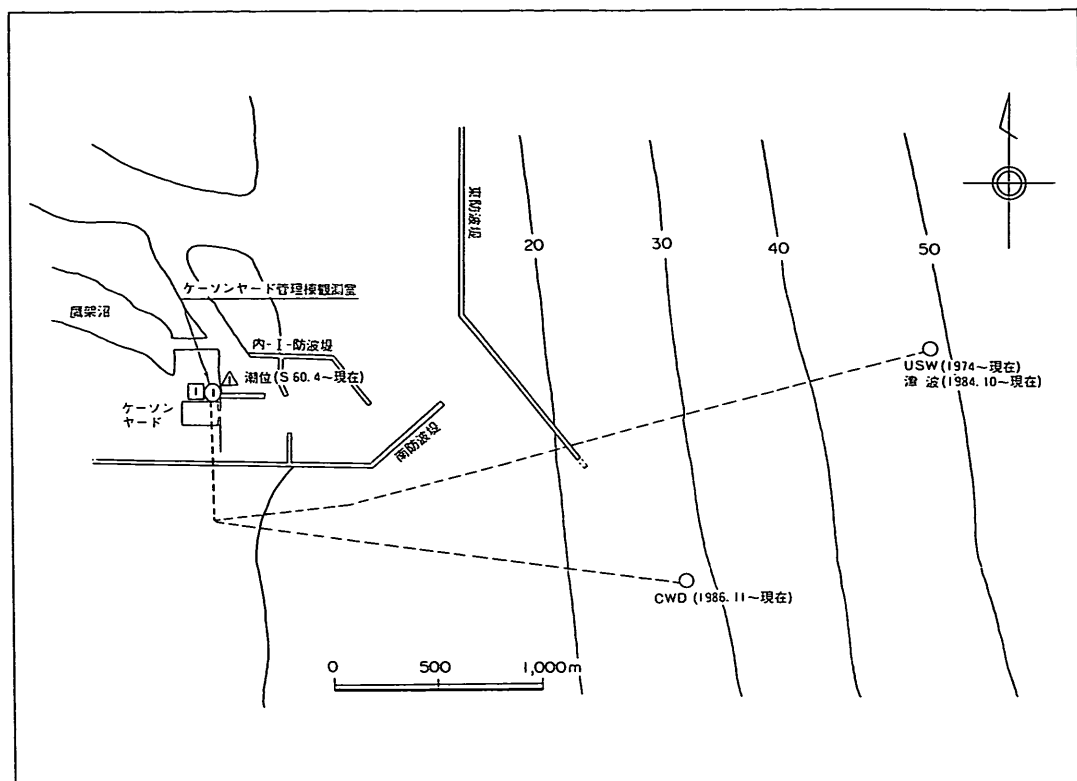
付図—2.9 観測機器設置位置図 (函館)



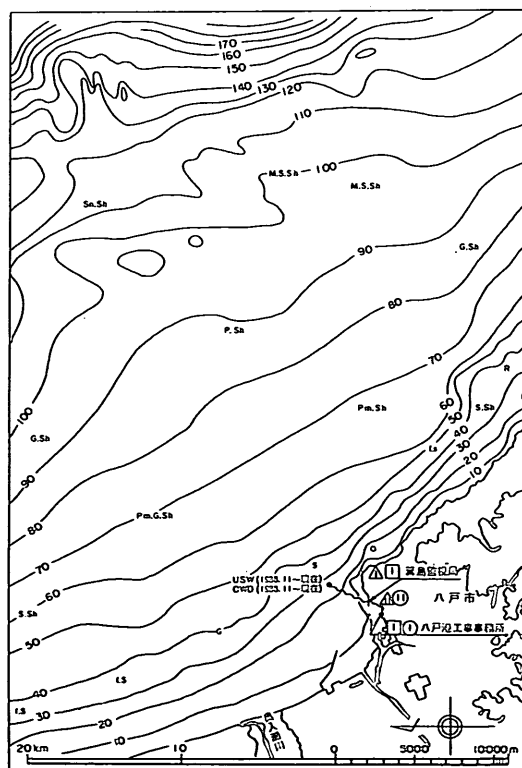
付図-2.10 観測機器設置位置図（青森）



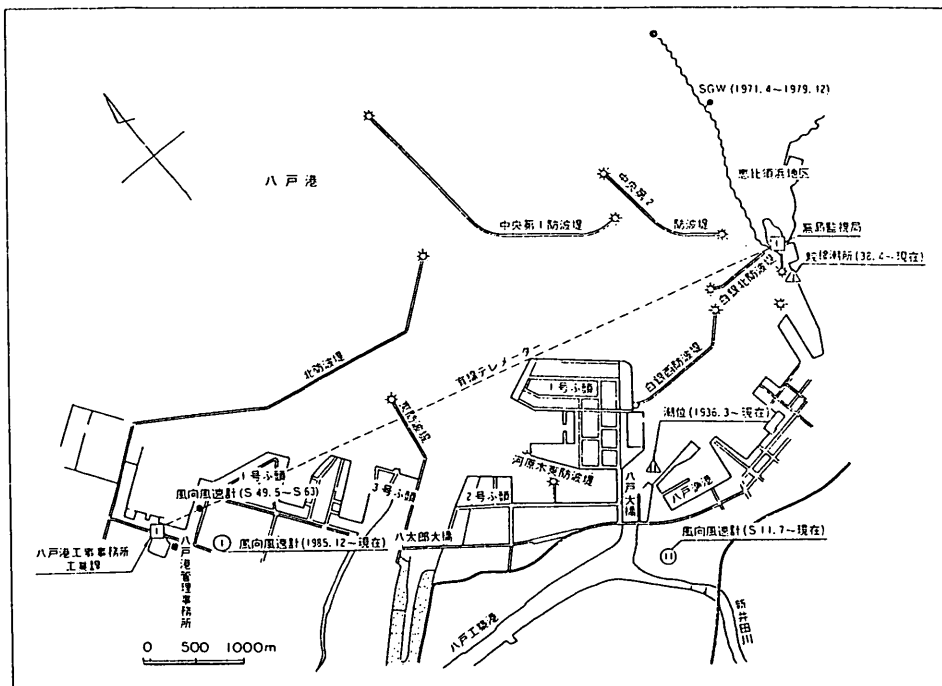
付図—2.11 観測機器設置位置図（むつ小川原港沖合）



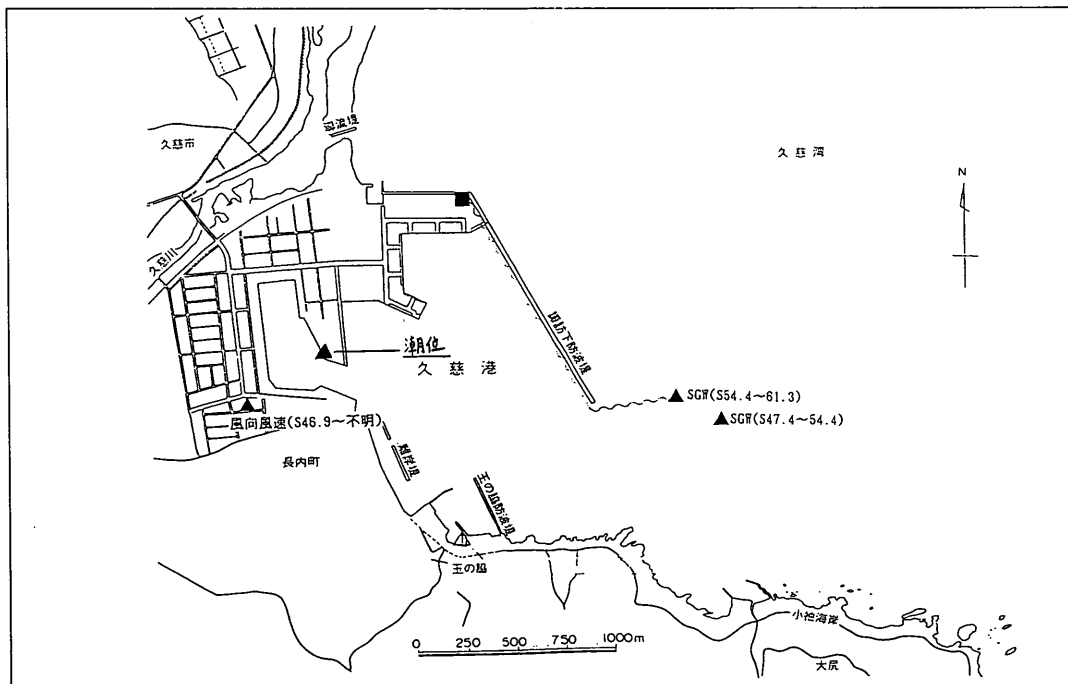
付図—2.12 観測機器設置位置図 (むつ小川原港内)



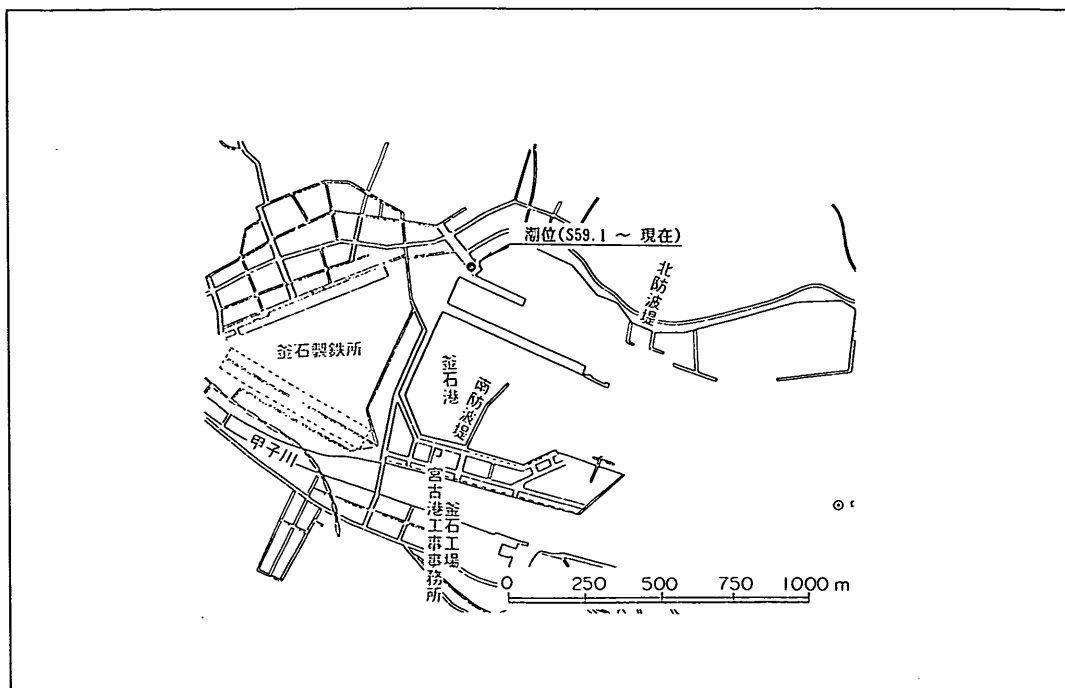
付図—2.13 観測機器設置位置図 (八戸港沖合)



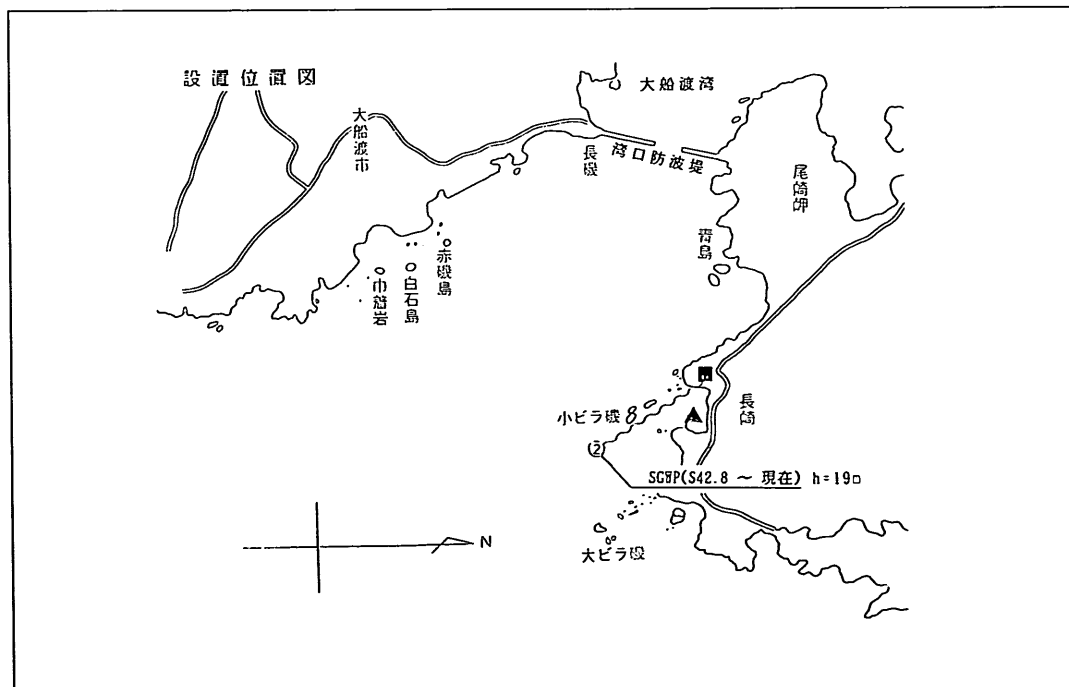
付図-2.14 観測機器設置位置図 (八戸港内)



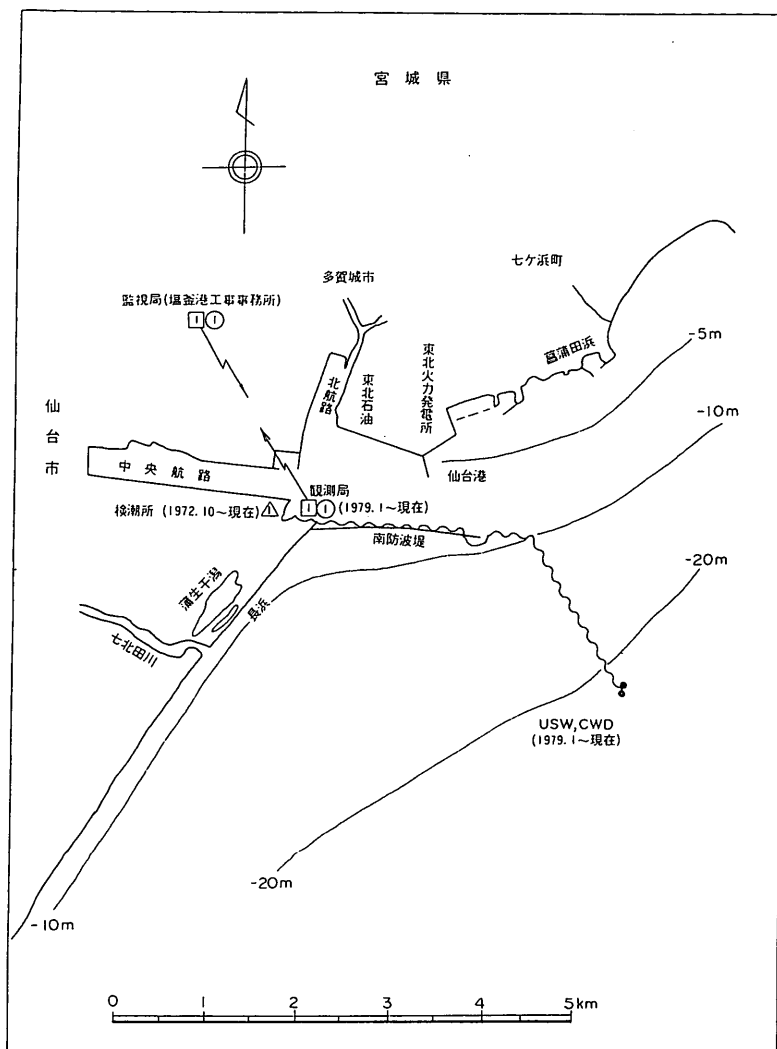
付図-2.15 観測機器設置位置図 (久慈)



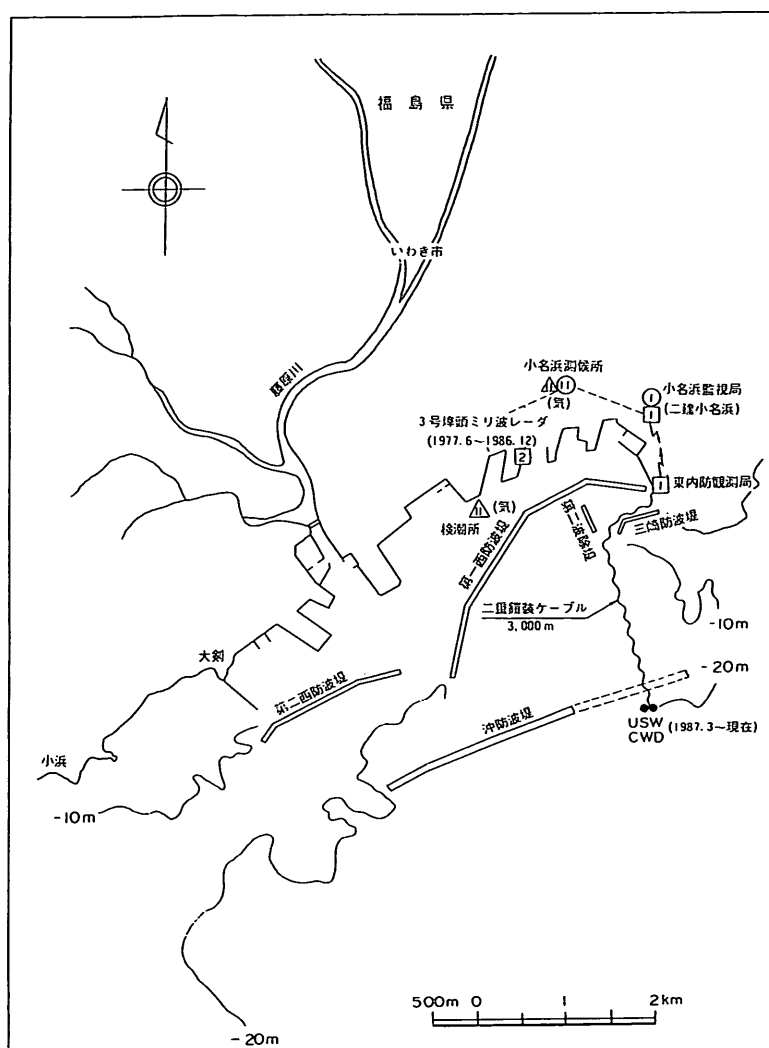
付図—2.16 観測機器設置位置図（釜石）



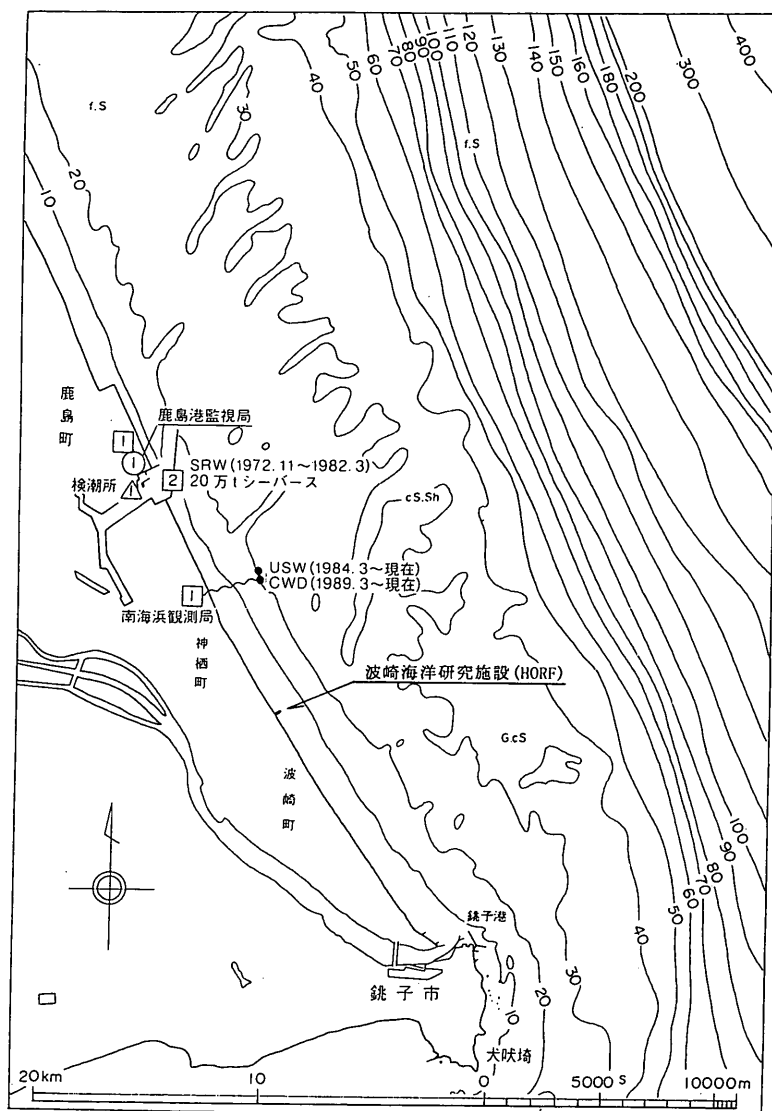
付図—2.17 観測機器設置位置図（大船渡）



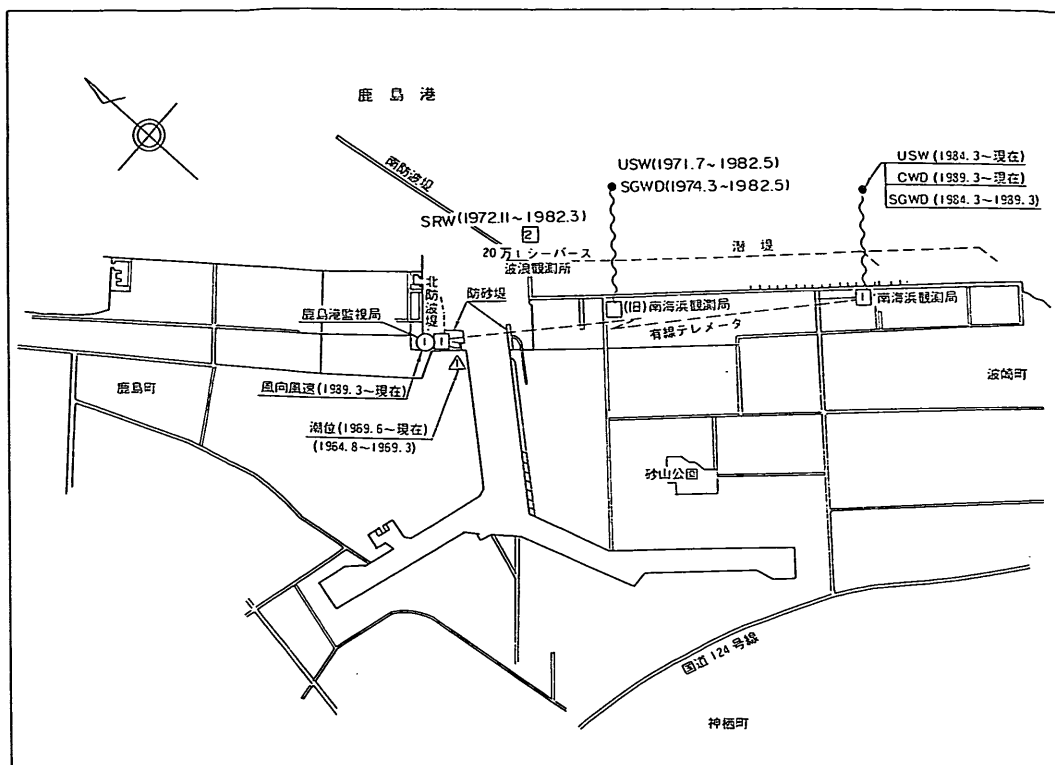
付図-2.18 観測機器設置位置図(仙台新港)



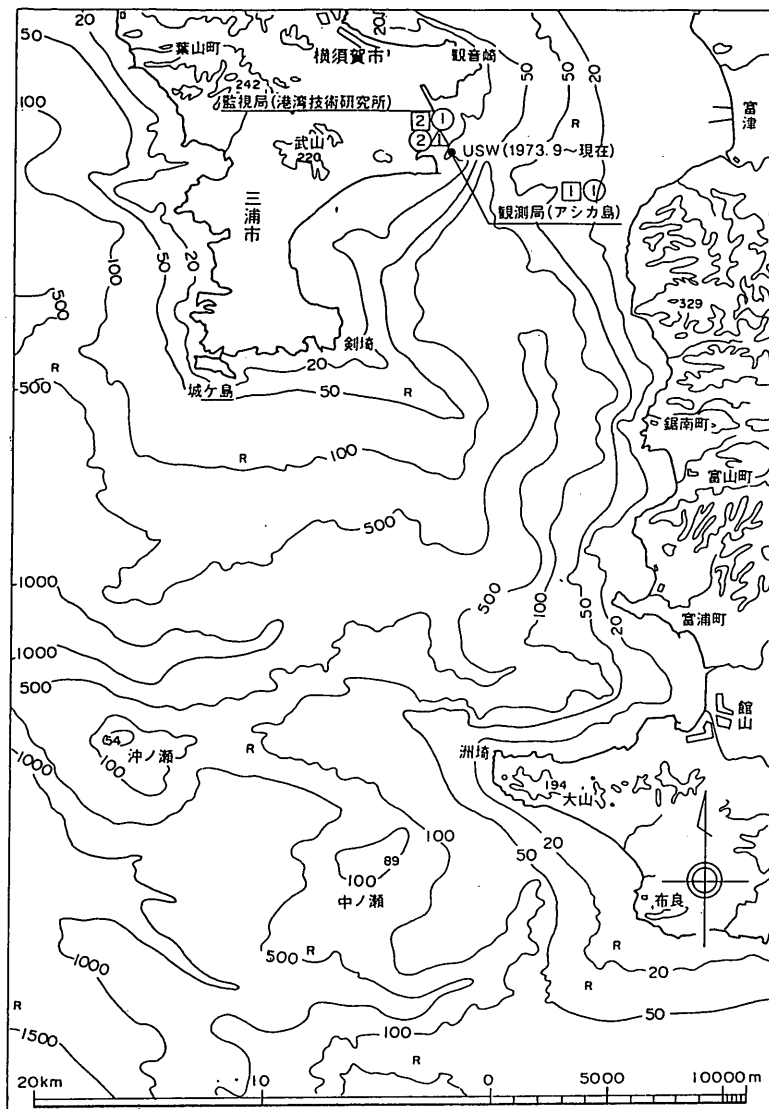
付図一2.19 観測機器設置位置図（小名浜）



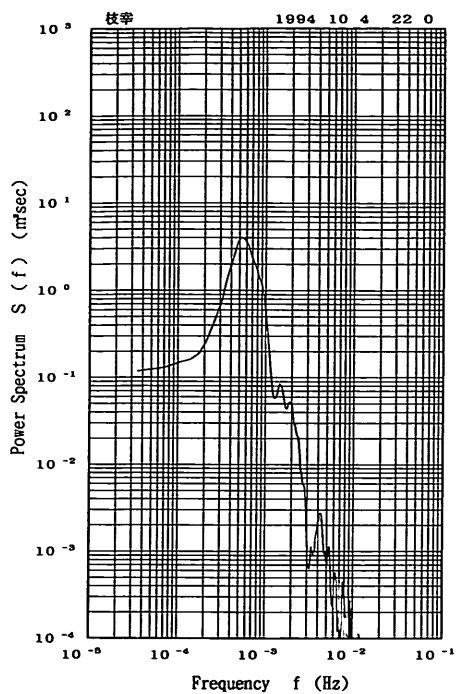
付図—2.20 観測機器設置位置図（鹿島港周辺・波崎）



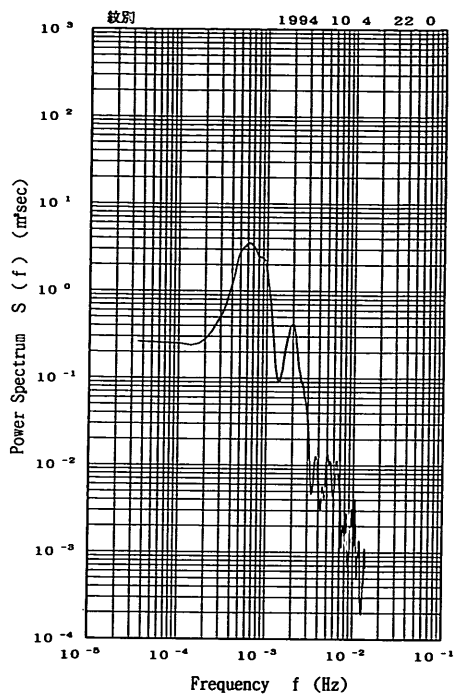
付図一2.21 観測機器設置位置図（鹿島港内）



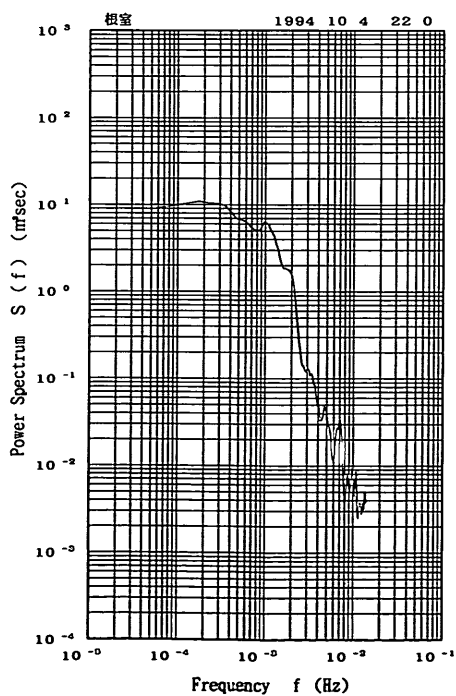
付図—2.22 観測機器設置位置図 (港研構内)



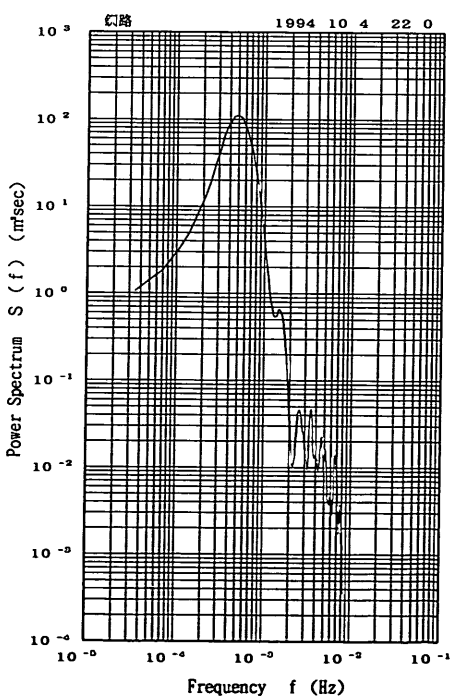
付図—3.1 波形記録の周波数スペクトル
(枝幸検潮所)



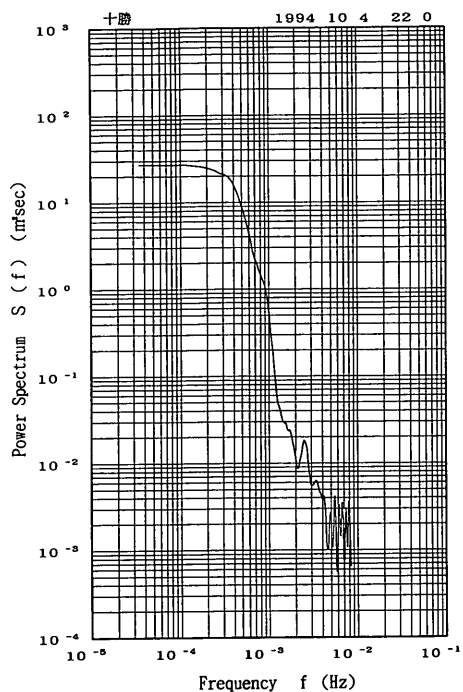
付図—3.2 波形記録の周波数スペクトル
(紋別検潮所)



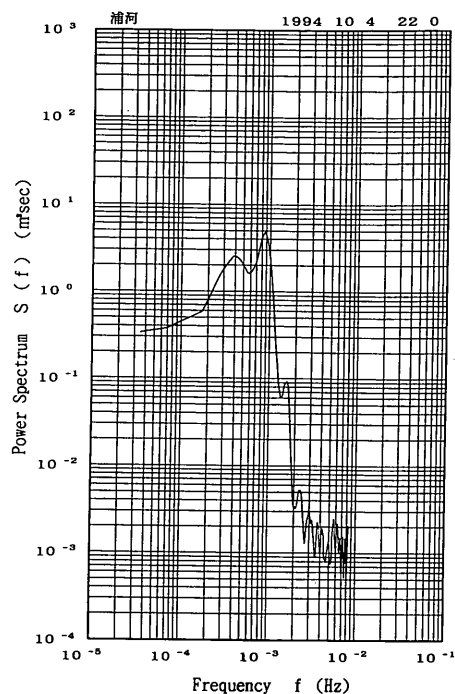
付図—3.3 波形記録の周波数スペクトル
(根室検潮所)



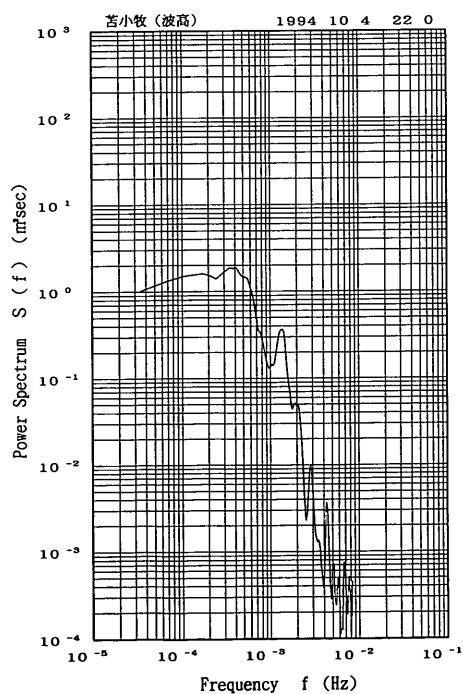
付図—3.4 波形記録の周波数スペクトル
(釧路検潮所)



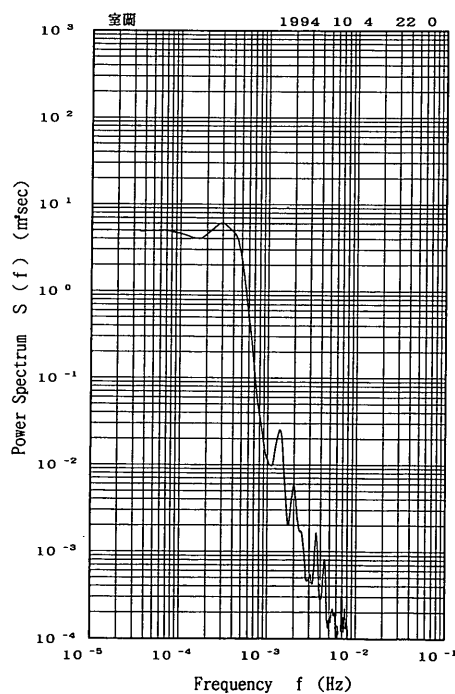
付図—3.5 波形記録の周波数スペクトル
(十勝検潮所)



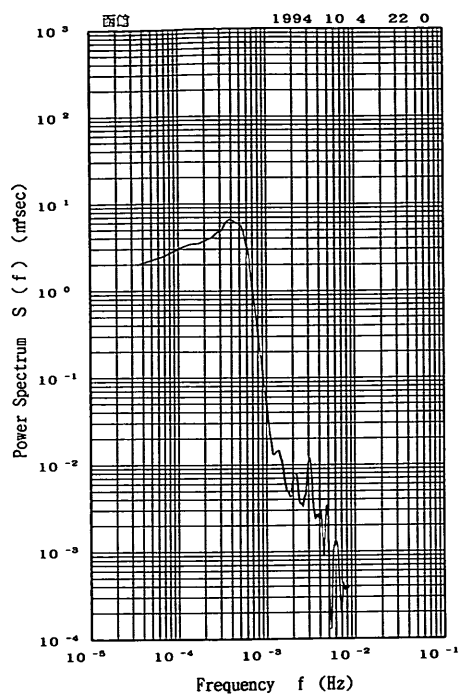
付図—3.6 波形記録の周波数スペクトル
(浦河検潮所)



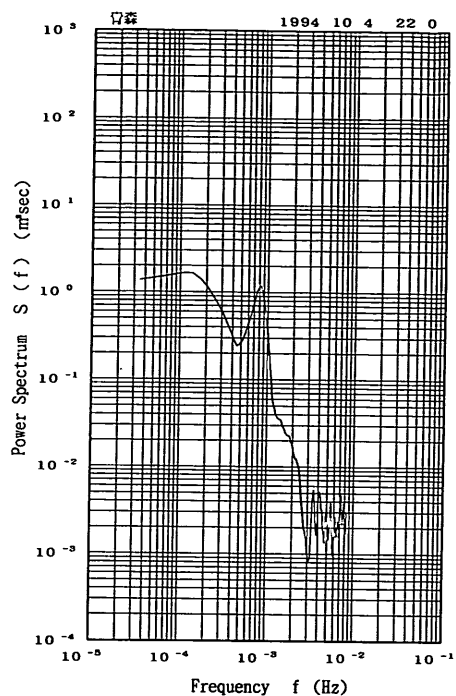
付図—3.7 波形記録の周波数スペクトル
(苫小牧沖合波高計)



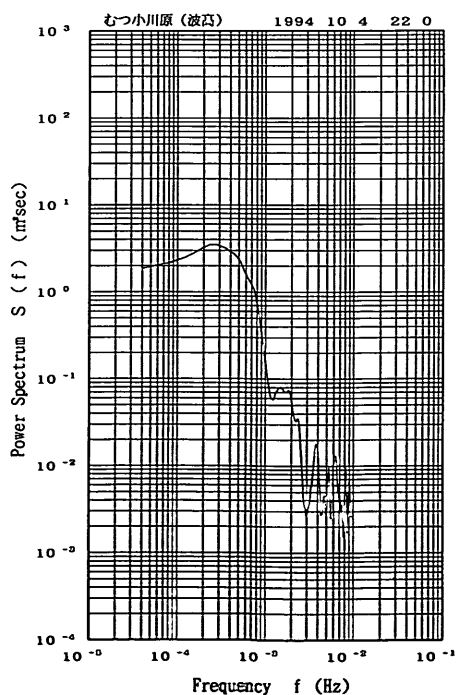
付図—3.8 波形記録の周波数スペクトル
(室蘭検潮所)



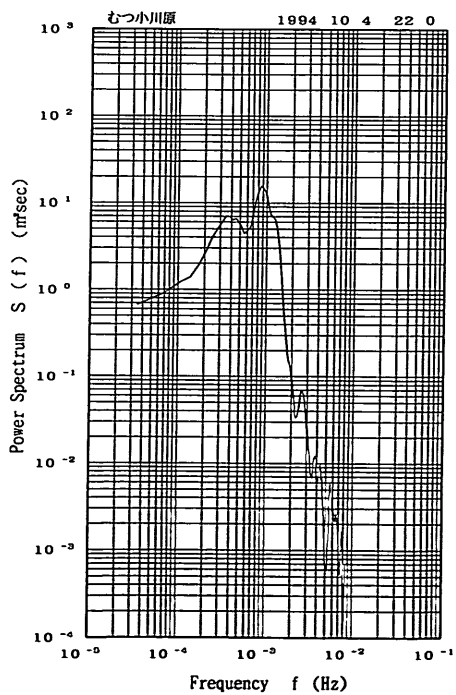
付図—3.9 波形記録の周波数スペクトル
(函館検潮所)



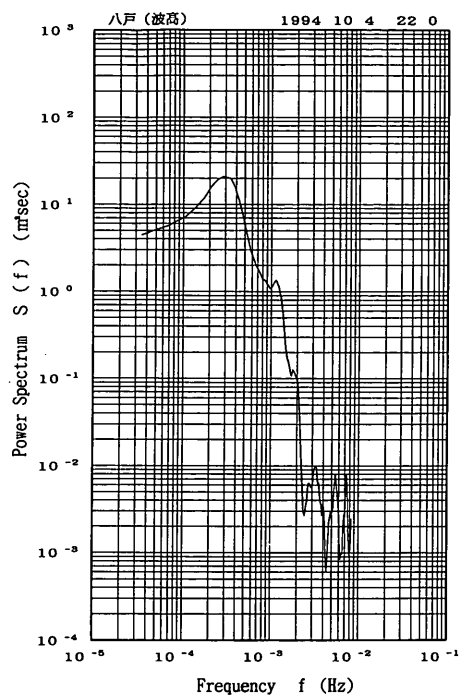
付図—3.10 波形記録の周波数スペクトル
(青森検潮所)



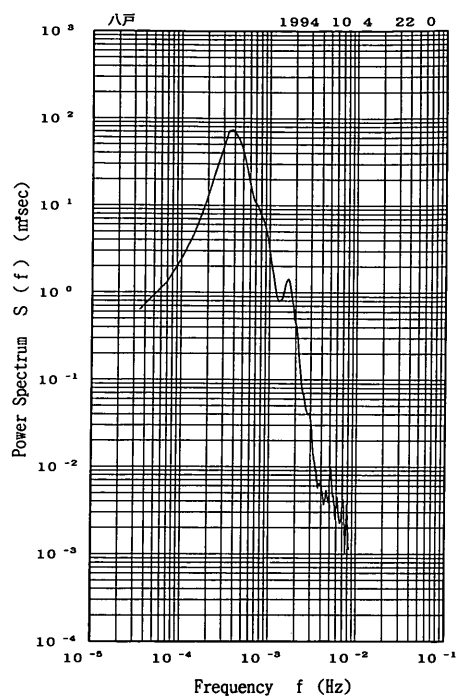
付図—3.11 波形記録の周波数スペクトル
(むつ小川原港沖合波高計)



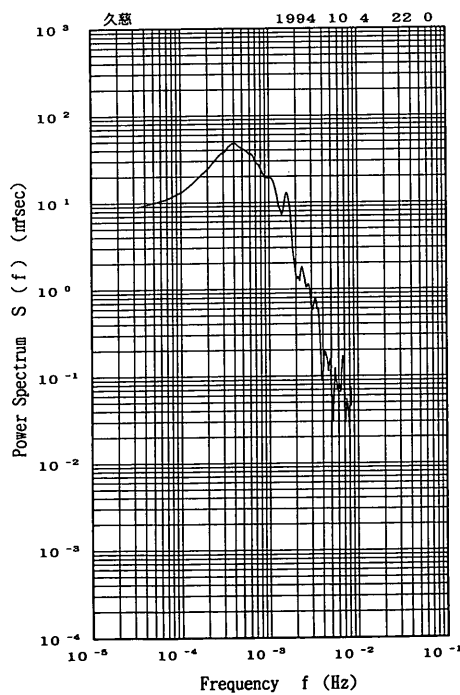
付図—3.12 波形記録の周波数スペクトル
(むつ小川原検潮所)



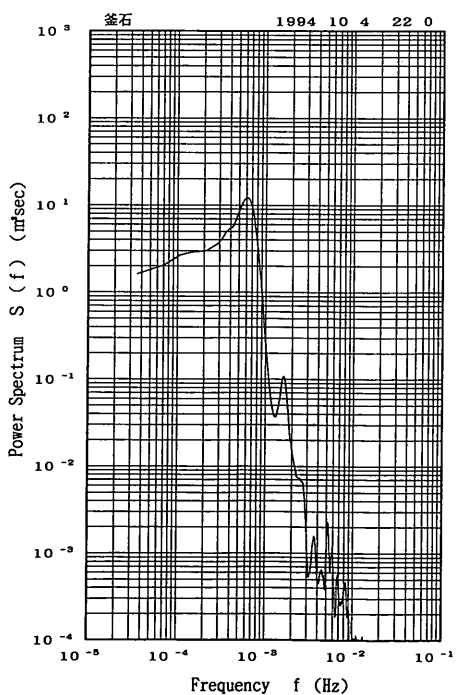
付図—3.13 波形記録の周波数スペクトル
(八戸港沖合波高計)



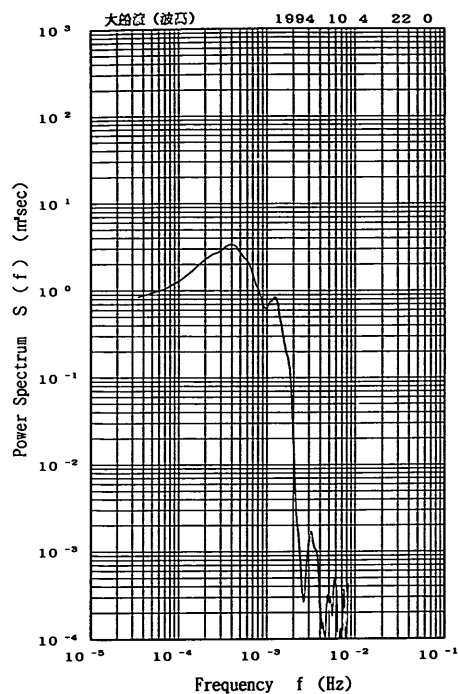
付図—3.14 波形記録の周波数スペクトル
(八戸検潮所)



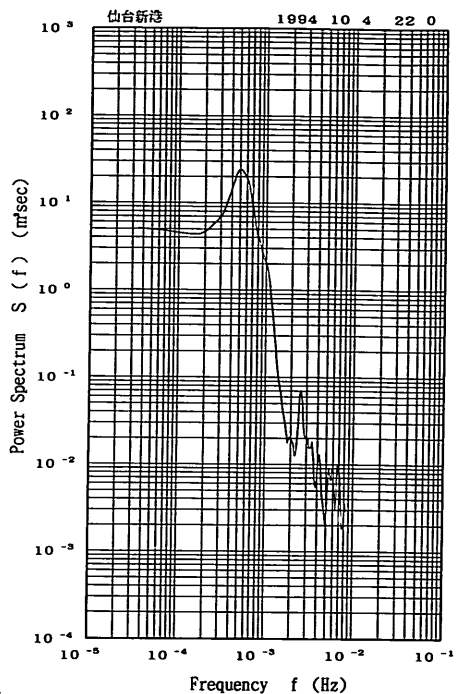
付図—3.15 波形記録の周波数スペクトル
(久慈検潮所)



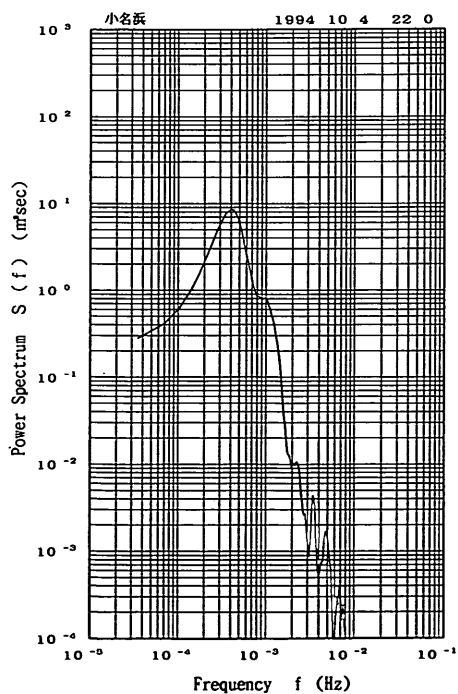
付図—3.16 波形記録の周波数スペクトル
(釜石検潮所)



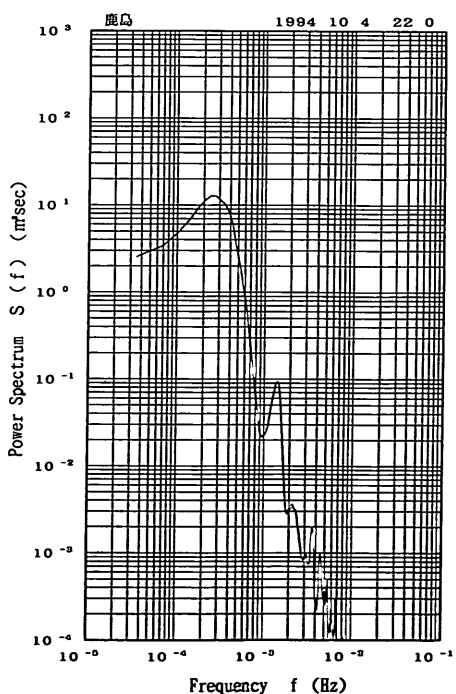
付図—3.17 波形記録の周波数スペクトル
(大船渡港沖合波高計)



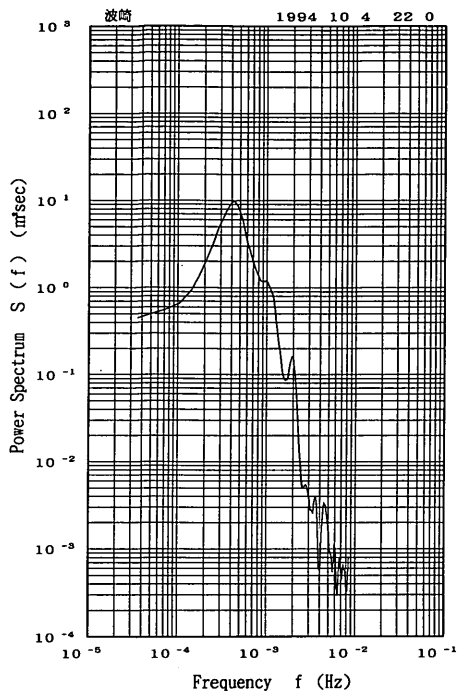
付図—3.18 波形記録の周波数スペクトル
(仙台新港検潮所)



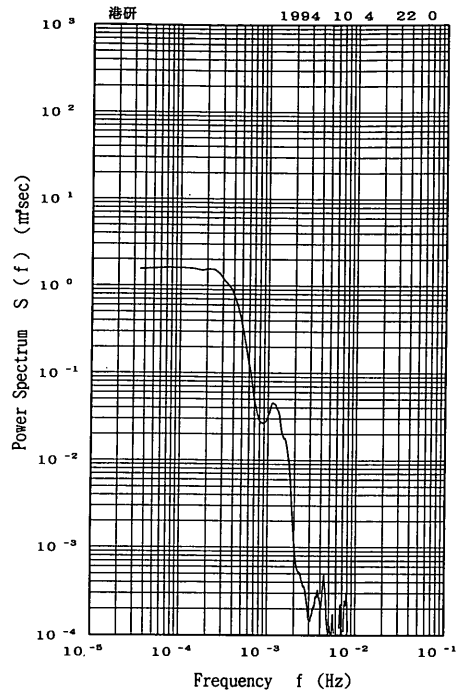
付図—3.19 波形記録の周波数スペクトル
(小名浜検潮所)



付図—3.20 波形記録の周波数スペクトル
(鹿島検潮所)



付図—3.21 波形記録の周波数スペクトル
(波崎棧橋先端波高計)



付図—3.22 波形記録の周波数スペクトル
(港研構内検潮所)

付表 現地調査員および協力者(敬称略)

調 査 員		
全域	平石哲也	港湾技術研究所水工部主任研究官
八戸	坂本國夫	第二港湾建設局八戸港工事事務所第一工務課長
～	原田久志	同上 第一公務課工事専門官
小舟渡	三井道雄	同上 第二工事課長
	松山 治	同上 第一工事課第一工事係長
久慈	岩織富幸	第二港湾建設局釜石港工事事務所建設専門官(久慈分室)
～	小野正明	同上 工務課(久慈分室)
田老	鳴海正二	第二港湾建設局釜石港工事事務所工務課長
宮古	高橋盛男	同上 工務課第一工務係長
～	黒沢忠男	同上 宮古工場工事係長
釜石	吉田静夫	同上 宮古工場工事係
	阿部淑輝	同上 工事課長
現 地 協 力 者		
八戸	吉田弘英	青森県八戸港管理事務所工事第一課長
	菅原光夫	気象庁八戸測候所気象解説官
久慈	三船進一	久慈地区広域行政事務組合久慈消防署長
	津志田真	岩手県久慈土木事務所工務第二課長
田老	佐々木孝一	田老町総務課課長補佐
宮古	山崎俊雄	宮古地区広域行政組合消防本部警防係長
山田	山根 寿	山田漁業協同組合連合会参事
	上沢洋治	大沢漁業協同組合総務課長

付録一 三陸はるか沖地震津波波形

1. はじめに

北海道東方沖地震の2.5か月後、平成6年12月28日21時19分に三陸はるか沖地震が発生した。マグニチュードは7.5、震源は北緯40.4度、東経143.7度、深さはごく浅い地震、と発表されている。三陸はるか沖地震によっても、八戸では震度6、むつ小川原・青森・盛岡では震度5の揺れが記録されている。

ナウファス波高計および北海道開発局と第二港湾建設局の検潮所では、三陸はるか沖地震に伴う津波波形も捉えることができたので、本報告書の付録一として、津波波形記録を掲載する。

2. 三陸はるか沖地震津波の波形記録

付図4.1から4.14に測得された津波波形記録を示す。三陸はるか沖地震津波は、北海道東方沖地震津波に比べて周期は短く、たとえば付図4.9に示される八戸港沖合における波形記録を見ると21:45頃から押し波で津波が始まっていることがわかるが、22:00頃の水位極大値と23:00頃の水位極大値の間に2回の極大値が見られ、津波周期は20分程度となっている。津波の高さも、北海道東方沖地震に比べると、各観測地点とも小さくなっているようである。

付図4.15と4.16は、それぞれ、むつ小川原港と八戸港における、沖合波高計記録と港内検潮記録の周波数スペクトルを比較したものである。これらの図は、それぞれ、北海道東方沖地震における図4.10と図4.12に対応するものである。

付図4.15と4.16に共通して、沖合波高計記録のスペクトルのピークはなだらかであり、0.001Hz(約17分)よりも低周波数側では、ほぼ平坦な形状となっていてピーク周波数の特定が困難である。これを、北海道東方沖地震津波の沖合波高計記録の周波数スペクトルを表示した前出の図4.10や図4.12と比較すると、0.001Hz(約17分)よりも高周波数側では、津波のエネルギーはほぼ同じオーダーとなっているものの、それより低周波数側におけるピークは三陸はるか沖地震津波では存在しておらず、全体としての津波のエネルギーが小さくなっていることがわかる。このことは、三陸はるか沖地震津波のゼロアップクロス法で定義される周期は、北海道東方沖地震津波よりも短くなっていることに対応している。

沖合波高計記録と港内検潮記録を比較した下段の応答

関数を見ると、付図4.15および4.16は、それぞれ図4.10および図4.12と、極めて良い一致を示している。すなわち、むつ小川原港では、0.0011Hz(約15分)で応答関数のピークが見られ、その値は10にも及んでいる。また、0.003Hz(約6分)付近にももうひとつのピークが見られる。一方、八戸港では、このように顕著な応答関数のピークは存在しないものの、0.001Hz(約17分)よりも低周波数側では、1.0よりも若干大きい値を示していること、0.0013Hz(約13分)で極小値1.0を示し、0.002Hz(約8分)から0.004Hz(約4分)の範囲で再びピークが見られること、などは、両津波の応答関数に共通して見られる特徴である。

このように、異なる2つの津波で、沖合波高計と港内検潮記録との応答関数がほぼ一致したことは、スペクトル解析手法の妥当性を検証する事実として重要であると考ええる。そもそも時間的に定常でない津波現象に対して周波数スペクトルを求めることには、無理があり、その妥当性は別途検討されなければならないのであるが、応答関数の一致は、間接的に手法の妥当性を検証しているからである。したがって、本報告書で紹介した各観測地点における津波の周波数スペクトル特性解析結果は、妥当なものであると考えることができる。

なお、苫小牧港沖合波高計は、三陸はるか沖地震の時点でも連続観測を続けていたものの、ノイズが波形記録中に多く存在しており、津波波形を抽出することは困難であった。むつ小川原港沖合波向計は正常に機能していたものの、津波に伴う流れは弱かったため、北海道東方沖地震津波のような解析を行うことはできなかった。また、大船渡港港外水圧式波高計は、この時点ですでに観測が中止となっていた。

3. まとめ

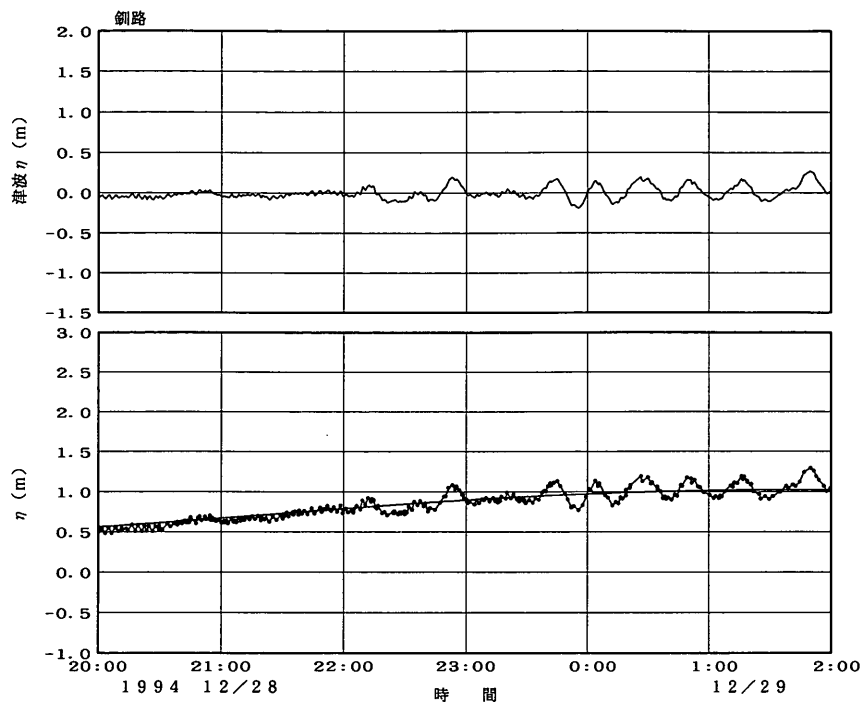
以上の解析から明らかにされた三陸はるか沖地震津波の特性を以下にまとめる。

(1) 三陸はるか沖地震津波においても、北海道東方沖地震津波と同様に、押し波から波形が観測された。

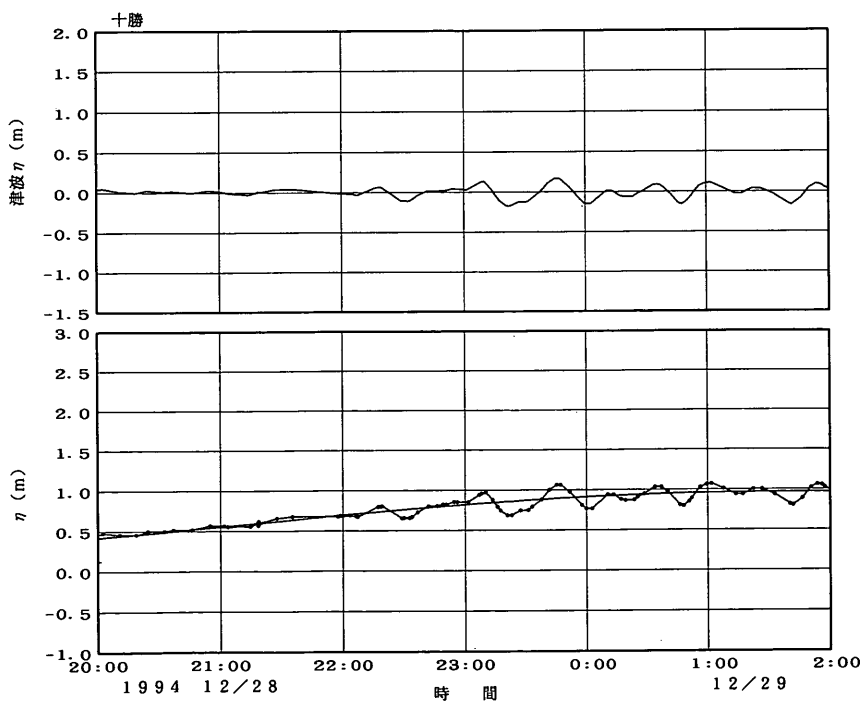
(2) 三陸はるか沖地震津波の周期は20分程度であり、北海道東方沖地震津波に比較すれば、周期は半分以下の短いものであった。津波の高さも各観測地点で比較的低く、むつ小川原港沖合波向計記録からも津波に伴う流れを検出することは困難であった。

(3) むつ小川原港および八戸港における沖合波高計記録と港内検潮記録との応答スペクトル特性は、北海道東方沖地震津波から得られたものと、比較的良好な一致を

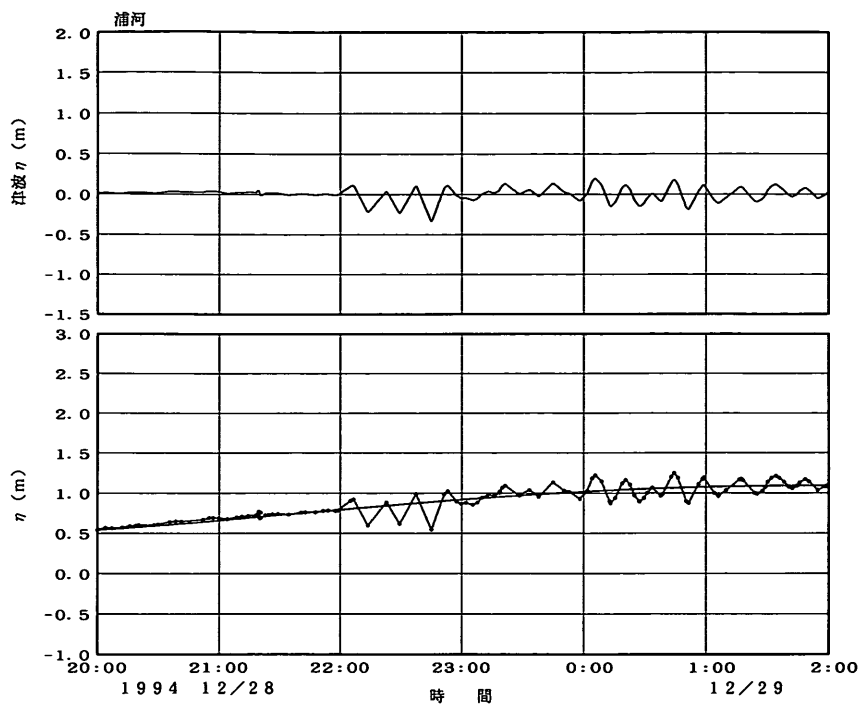
示した。このことは、スペクトル解析結果そのものの妥当性を間接的に検証している。



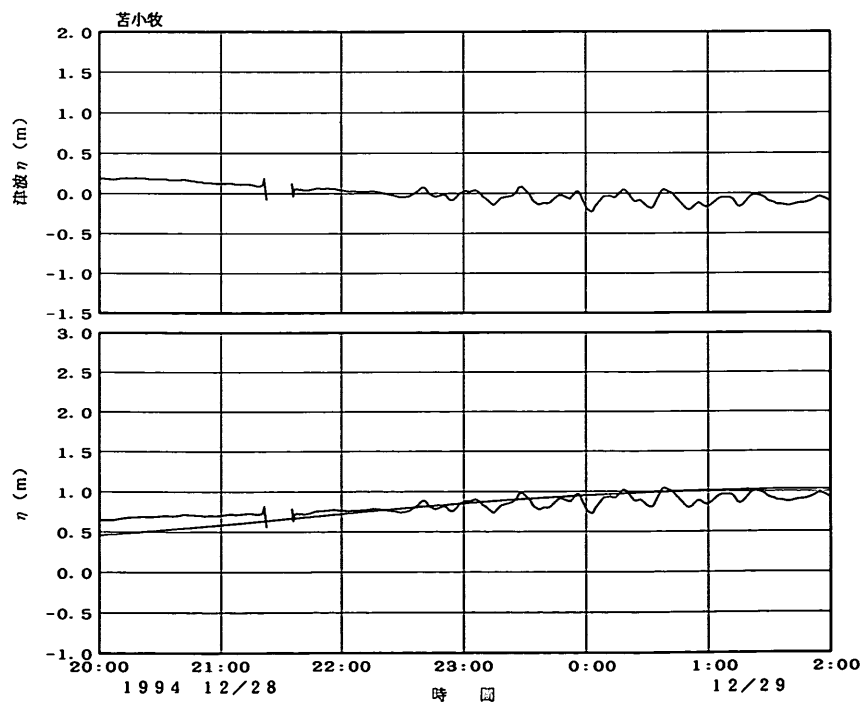
付図-4.1 三陸はるか沖地震津波波形記録（釧路検潮所）



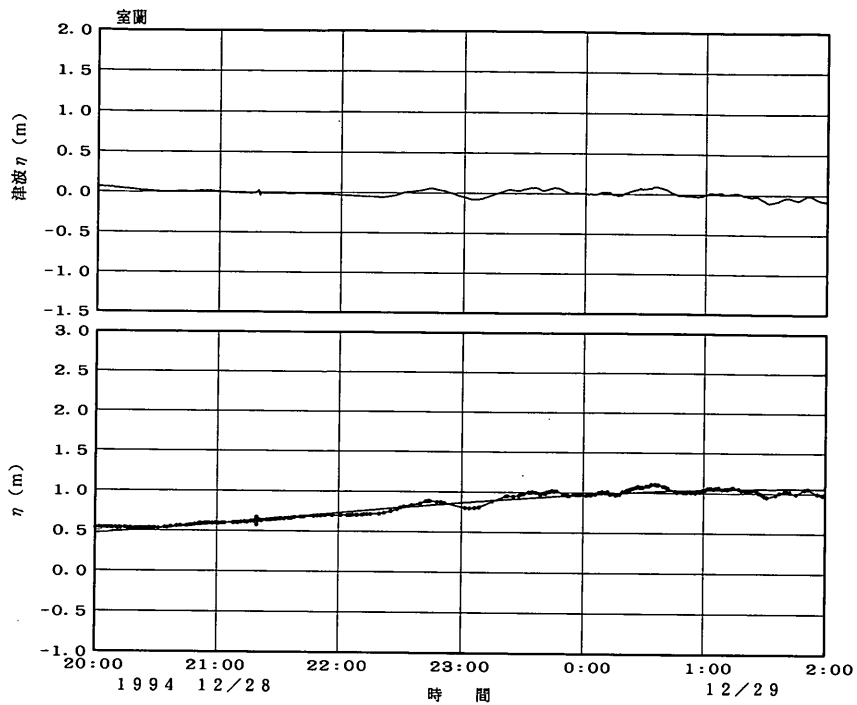
付図-4.2 三陸はるか沖地震津波波形記録（十勝検潮所）



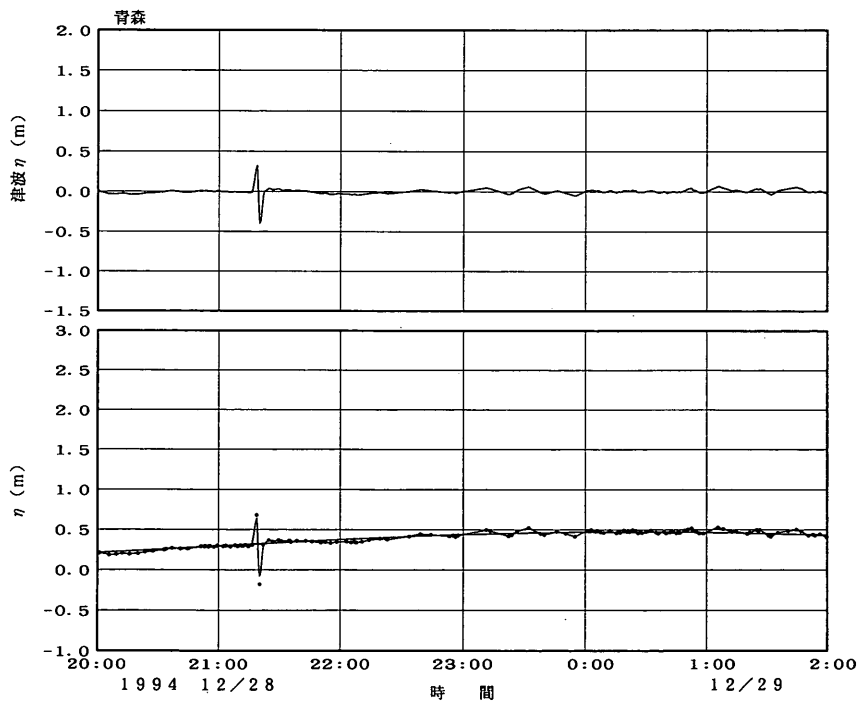
付図一4.3 三陸はるか沖地震津波波形記録（浦河検潮所）



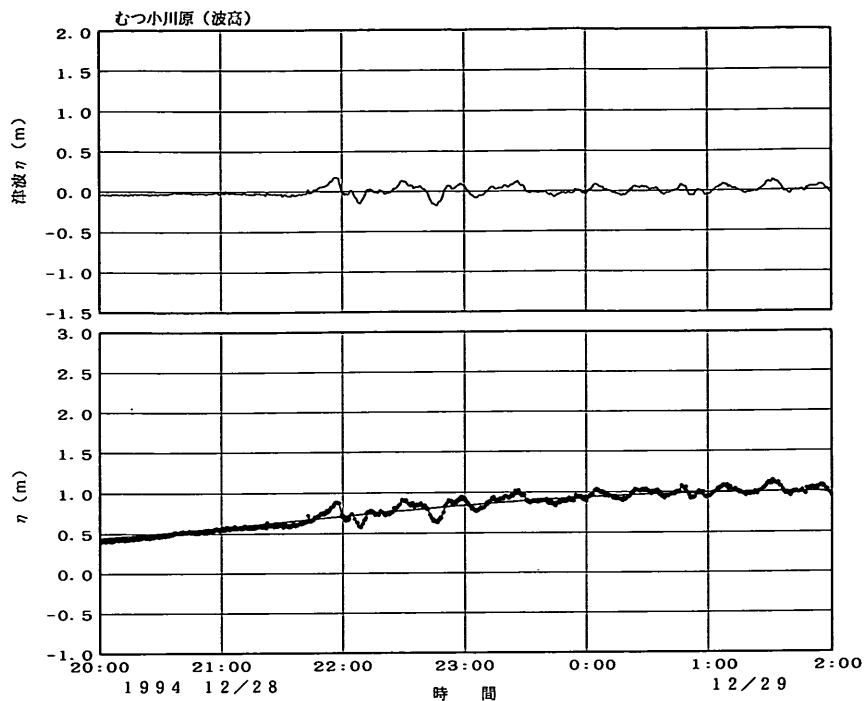
付図一4.4 三陸はるか沖地震津波波形記録（苫小牧検潮所）



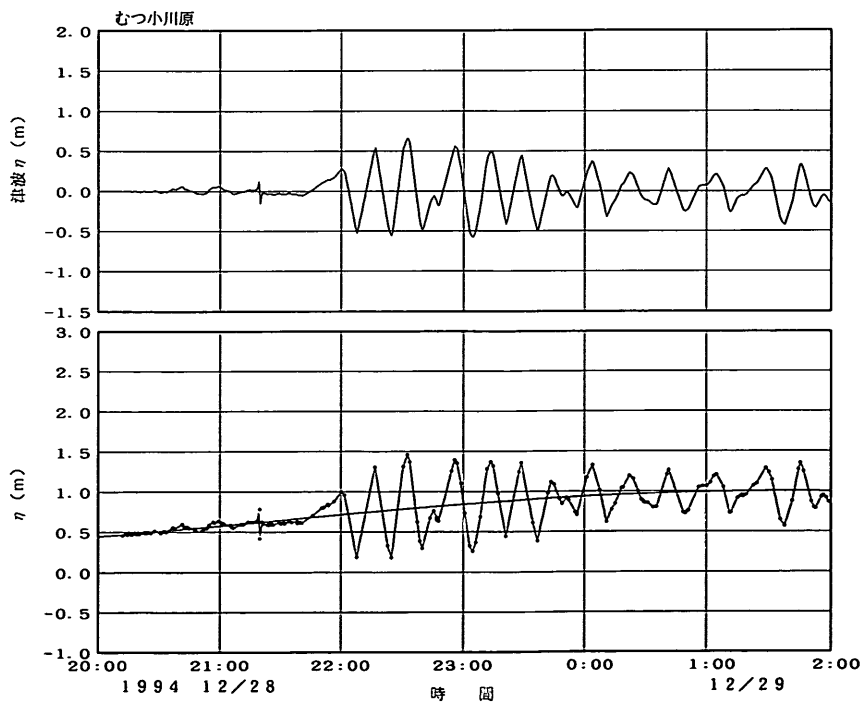
付図-4.5 三陸はるか沖地震津波波形記録 (室蘭検潮所)



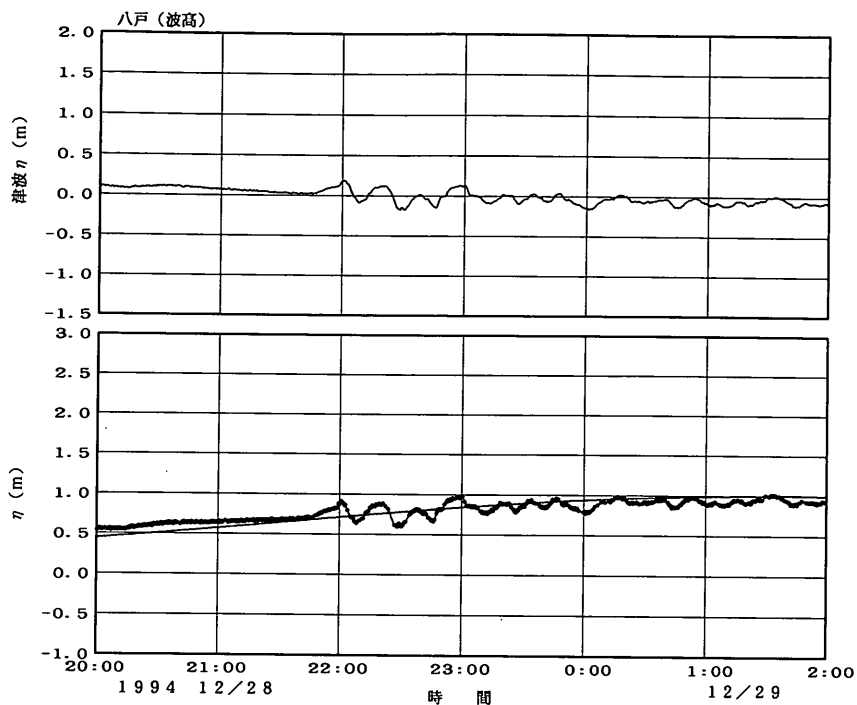
付図-4.6 三陸はるか沖地震津波波形記録 (青森検潮所)



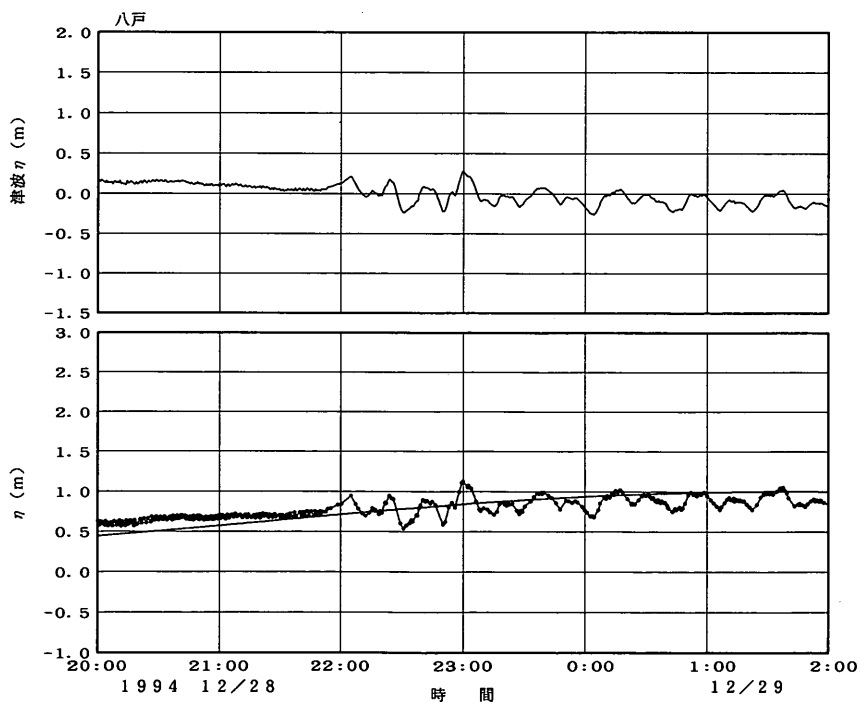
付図—4.7 三陸はるか沖地震津波波高記録 (むつ小川原沖合波高計)



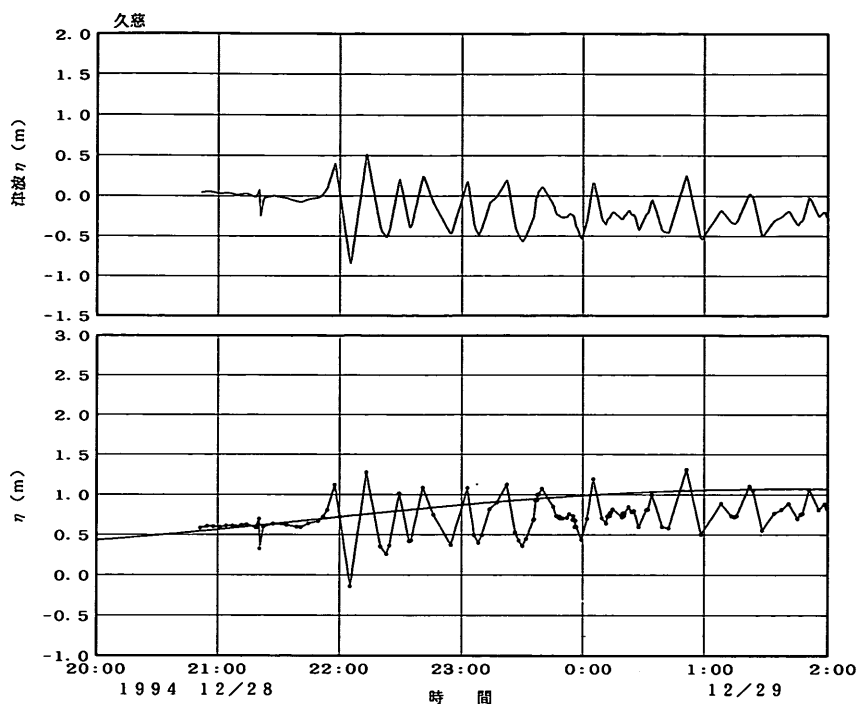
付図—4.8 三陸はるか沖地震津波波高記録 (むつ小川原検潮所)



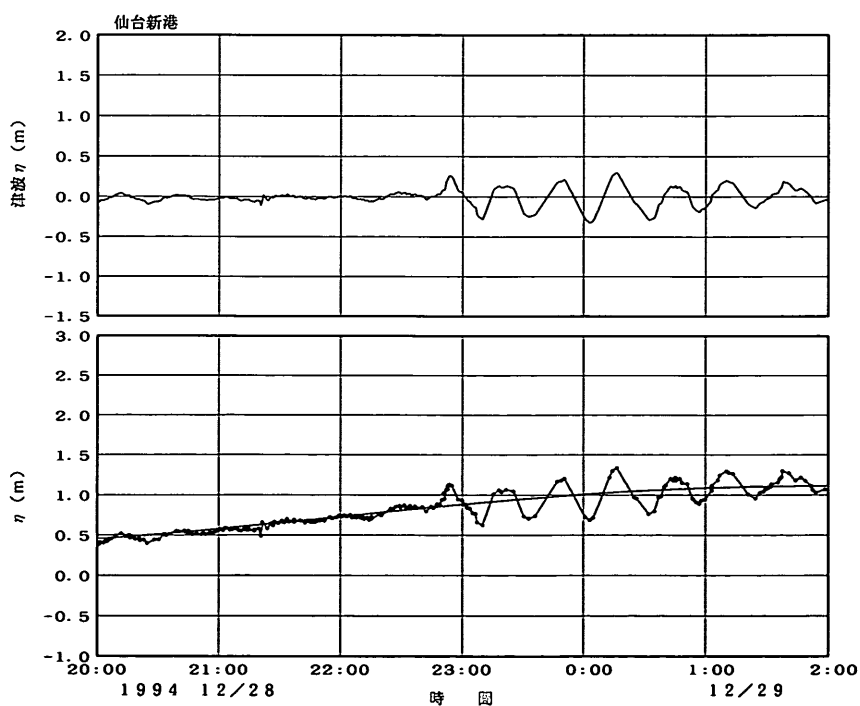
付図—4.9 三陸はるか沖地震津波波形記録 (八戸沖合波高計)



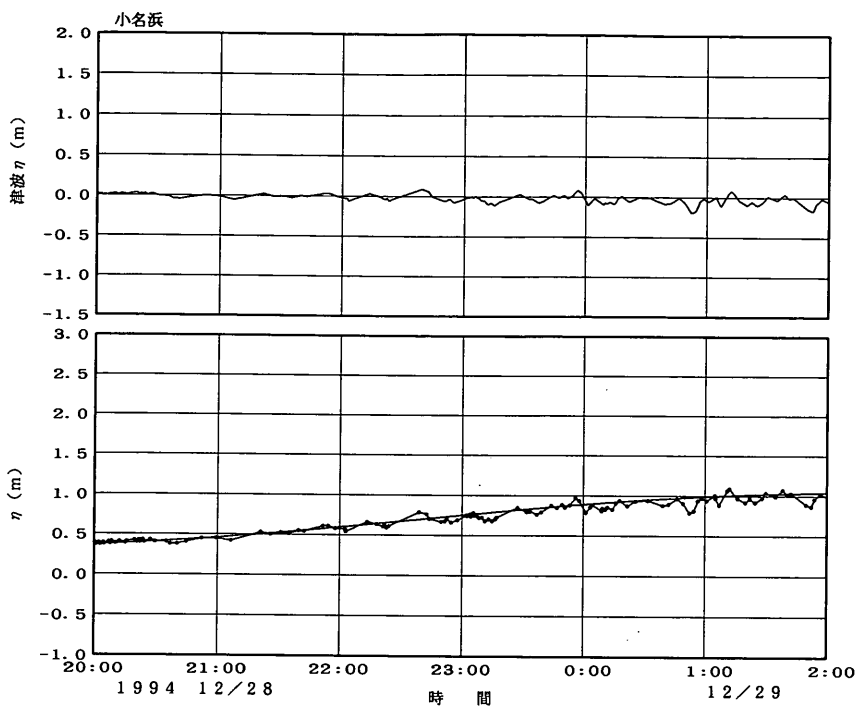
付図—4.10 三陸はるか沖地震津波波形記録 (八戸検潮所)



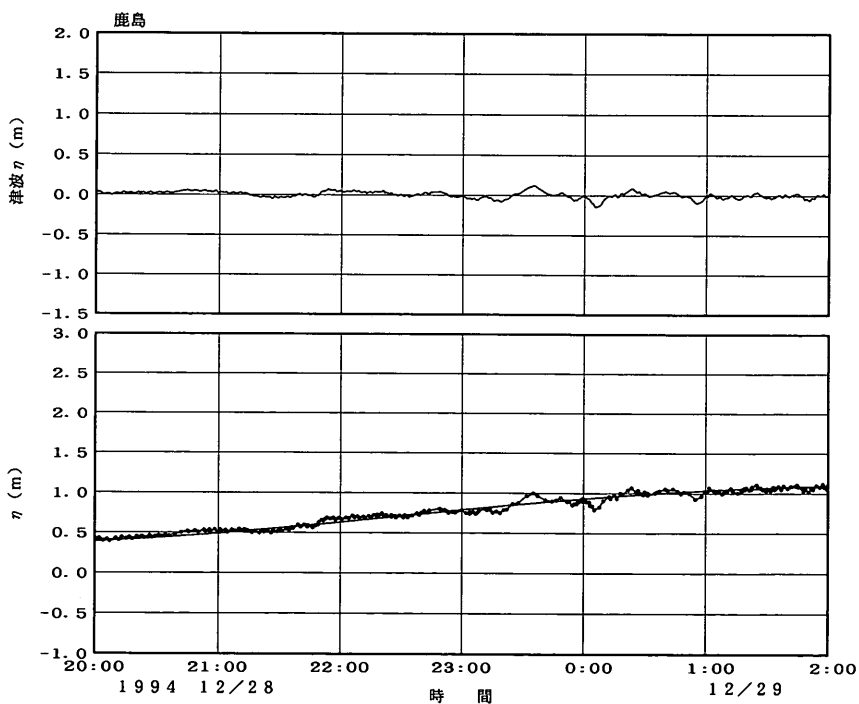
付図—4.11 三陸はるか沖地震津波波形記録 (久慈検潮所)



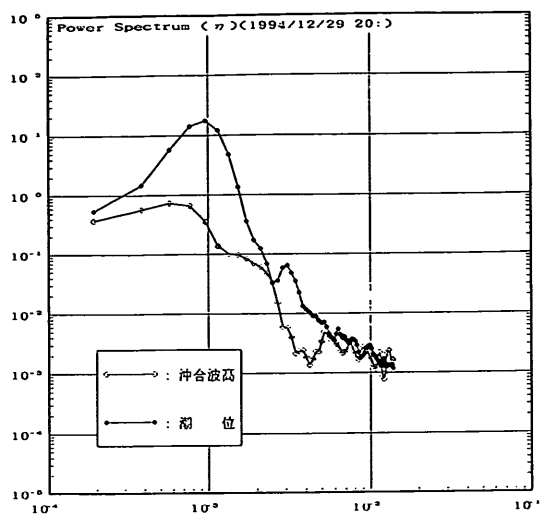
付図—4.12 三陸はるか沖地震津波波形記録 (仙台新港検潮所)



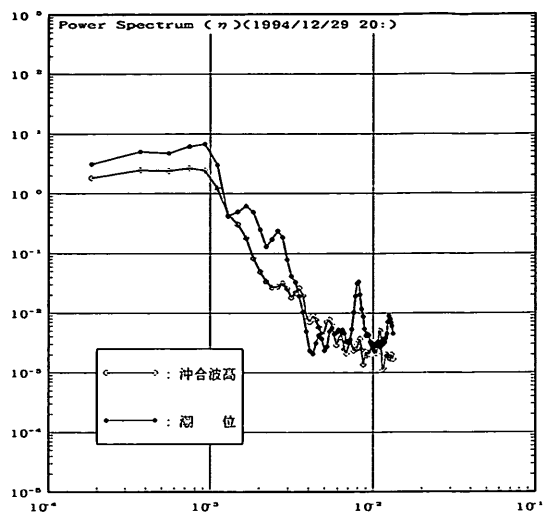
付図—4.13 三陸はるか沖地震津波波形記録 (小名浜検潮所)



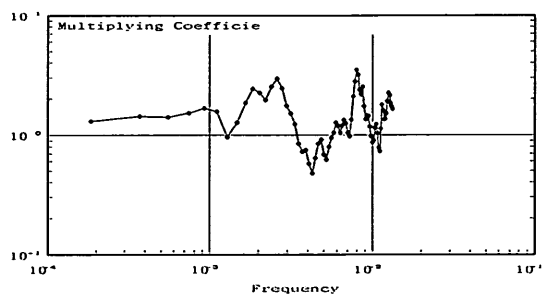
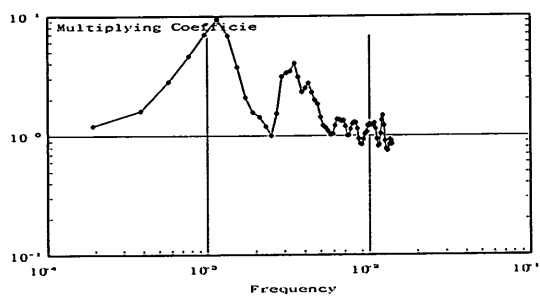
付図—4.14 三陸はるか沖地震津波波形記録 (鹿島検潮所)



付図—4.15 むつ小川原港沖合波高計と検潮所の周波数スペクトル



付図—4.16 八戸港沖合波高計と検潮所の周波数スペクトル



付録—2 兵庫県南部地震津波波形

1. はじめに

平成7年1月17日05時46分に兵庫県南部地震が発生した。この地震は、神戸市等で甚大な人的物的損害をもたらした。地震による死者は5,000人を超えたため、後に阪神大震災（さらに後には阪神・淡路大震災）と名付けられた。マグニチュードは7.2、震源は淡路島北部深さ20km程度と発表されている。神戸市や淡路島北部における震度は7であったと言われ、関西地方に広く揺れが検知されている。この地震の被害は、特に、淡路島北部から兵庫県伊丹市に至る帯状の領域で大きかったが、これは直下型地震に伴う断層の位置に対応しているものと考えられている。

揺れに伴う建物の倒壊や火事に伴う被害があまりにも大きく、それに対して、津波による被害はなかったため、兵庫県南部沖地震の津波波形に関する報告は他からは行われていない。このことは、神戸港検潮記録が地震発生直後から欠測となったことにも起因していると考えられる。

こうした中で、全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の一環として定常沖合波浪観測が行われている運輸省第三港湾建設局の神戸港沖合波高計、および関西空港(株)の海上観測局の検潮記録が、兵庫県南部地震の津波波形を捉えていたので、ここに報告する。

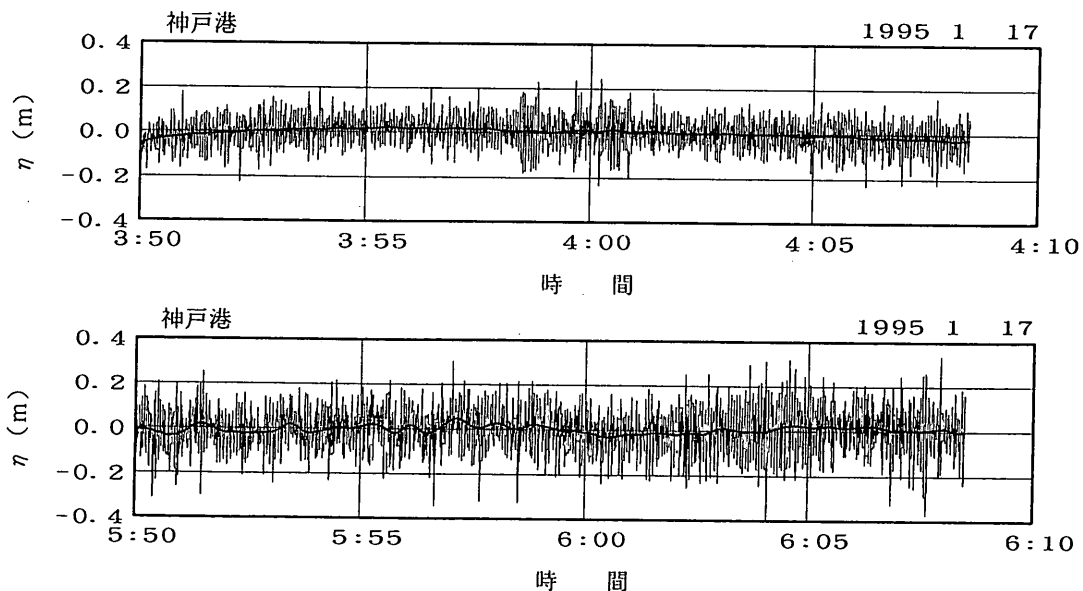
2. 兵庫県南部地震の津波波形

付図—5.1は、神戸港沖合で観測された波形記録を表示したものである。地震発生前(03:50—04:10)の波形記録と、発生直後(05:50—06:10)の波形記録を比較すると、後者には前者よりもはるかに顕著な長周期水位変動があらわれており、津波波形が現れていることが理解される。ただし、津波の周期は数分程度であり、その振幅も5cm程度以下と小さい。なお、運輸省第三港湾建設局神戸港沖合波浪観測は、水深17mの地点に位置する超音波式波高計によって実施されている。

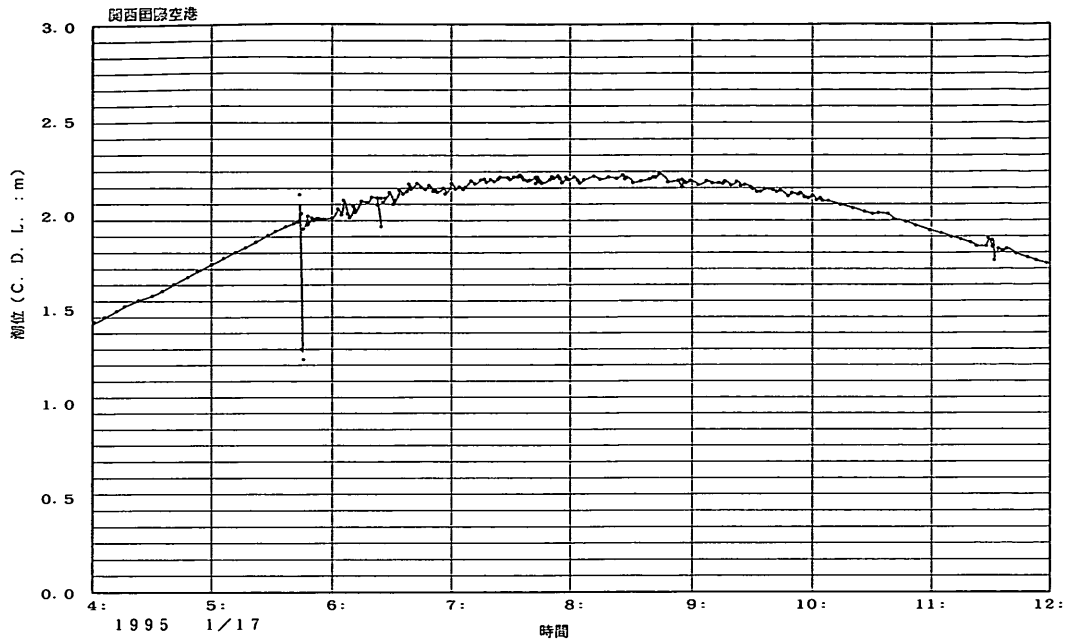
一方、関西空港(株)では、空港の沖合に位置する海上観測局(MT局)で継続的に潮位観測を実施している。付図—5.2は地震発生前後の潮位記録を示したものであるが、ここでも地震発生後の津波が顕著に現れている。ただし、神戸における観測結果と同様に、津波周期は10分より短い数分程度であり、振幅も2cmから3cm程度で小さい。

津波の第一波は、地震発生後約15分で来襲しており、押し波から津波は始まっている。

なお、地震発生前後の潮位波形を比較すると、3cm程度、潮位変動曲線(津波振動の中心線)が下方方向にシフトしており、地震によって海底地盤がわずかに上昇した可能性がある。



付図—5.1 兵庫県南部地震(阪神大震災)津波波形記録(神戸港沖合波高計)



付図—5.2 兵庫県南部地震（阪神大震災）津波波形記録（関西空港沖合検潮所）

3. まとめ

兵庫県南部地震も弱い津波を発生させていたことが、第三港湾建設局神戸港沖合波高計と関西空港沖合検潮所における観測記録から明かにされた。ただし、津波の高さは5cm程度以下であり、周期も数分程度と短かった。

津波はここでも押し波から始まった模様であること、関西空港周辺の海底地盤がわずかに上昇した可能性があることなど、今後の地震特性の解明にあたって非常に有用な興味深いデータであると思われる。

港 湾 技 研 資 料 No. 802

1 9 9 5 . 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 株式会社 昭和工業写真印刷所

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

Copyright © (1995) 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、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。