

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE  
OF  
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1052      June 2003

港湾地域強震観測地点における地震時の卓越周期

深 澤 清 尊  
野 津 厚  
佐 藤 陽 子  
菅 野 高 弘

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan



## 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	4
2. 強震観測地点における地震動の卓越周期 .....	5
2.1 港湾地域強震観測 .....	5
2.2 強震計と記録の処理 .....	5
2.3 記録の選定 .....	7
2.4 卓越周期の読み取り .....	9
2.5 結果 .....	10
3. 表装地盤の伝達関数 .....	41
3.1 伝達関数算定の目的 .....	41
3.2 地盤モデルの作成方法 .....	41
3.3 計算結果 .....	42
3.4 考察 .....	44
4. 結論 .....	45
5. あとがき .....	45
参考文献 .....	46

# Predominant Period of Earthquake Motion at Strong-Motion Observation Sites in Japanese Ports

**Kiyotaka FUKAZAWA\***

**Atsushi NOZU\*\***

**Yoko SATO \*\*\***

**Takahiro SUGANO \*\*\*\***

## Synopsis

It is well known that the predominant period of earthquake ground motion differs from place to place. If the predominant period of earthquake ground motion is known at the site of construction, the engineer can design the structure so that the natural period of the structure do not coincide with the predominant period of earthquake ground motion, thereby mitigating the possible damage to the structure due to earthquakes.

In Japanese ports, earthquake ground motions have been observed since 1960's. The network covers 60 important ports around Japan. Retrieving information on the predominant period of earthquake ground motion will be very beneficial to the future construction in Japanese ports.

Having this in mind, a comprehensive list of the predominant periods of earthquake ground motion at the observation sites at the ground surface in Japanese ports was developed based on the Fourier spectra of the major records. The list is provided as a table within the report, with all of the Fourier spectra studied in the appendix.

To investigate the effects of the shallow soil layers on the predominant period, the transfer function based on PS logging was compared with the predominant period from the ground motion records. It was found that, although the predominant periods shorter than about one second coincide with the peaks of the transfer function, the predominant periods longer than about one second cannot be explained as effects of the shallow soil layers. Therefore, the predominant periods longer than about one second seem to be the effects of deeper soil layers.

**Key Words:** Earthquake Motion, Predominant Period, Accelerogram, Fourier Spectra,  
Transfer Function

---

\* Member of Structural Dynamics Division, Geotechnical and Structural Engineering Department

\*\* Senior Researcher, Geotechnical and Structural Engineering Department

\*\*\* Former Technological Supporting Staff of Priority Research,  
Japan Science and Technology Corporation

\*\*\*\* Head, Structural Dynamics Division, Geotechnical and Structural Engineering Department

3-1-1 Nagase Yokosuka 239-0826, Japan

Phone: +81-46-844-5058 Fax: +81-46-844-0839 E-mail: fukazawa@pari.go.jp

# 港湾地域強震観測地点における地震動の卓越周期

深澤 清尊\*  
野津 厚\*\*  
佐藤 陽子\*\*\*  
菅野 高弘\*\*\*\*

## 要 旨

地震動の卓越周期には地点毎に特徴のあることが従来からよく知られている。構造物を建設しようとする場所で卓越しやすい地震動の周期があらかじめ把握できていれば、設計の段階で構造物の固有周期と地震動の卓越周期が一致しないように工夫することもでき、そのメリットは大きい。

わが国の港湾では1960年代以降、強震観測が実施されてきている。その観測網はわが国の主要な港湾をカバーしているのので、その記録に基づいて港湾毎の地震動の卓越周期を求めておけば、当該港湾において構造物の耐震設計を行なう上で有用な情報となるはずである。

このような考えの下、本研究では、港湾地域強震観測の地表における全ての観測点を対象として、これまでに得られている記録に基づき、地震動の卓越周期を整理した。その結果については、本文中に一覧表を掲載するとともに、検討対象とした全てのフーリエスペクトルを付録CDに収録している。

また、得られた各地点の卓越周期が表層地盤の特性からどの程度説明できるかを検討するため、地盤モデルから求めた表層地盤の伝達関数と、強震記録から求めた卓越周期とを比較した。その結果、概ね1秒を境として、短周期側では地震動の卓越周期は表層地盤の特性から説明できるのに対し、長周期側では地震動の卓越周期は表層地盤の特性からでは説明がつかず、その原因を深層地盤に求める必要のあることがわかった。

キーワード：地震動，卓越周期，強震記録，フーリエスペクトル，周波数伝達関数

---

\* 地盤・構造部 構造振動研究室  
\*\* 地盤・構造部 主任研究官  
\*\*\* 前科学技術庁重点研究支援協力員  
\*\*\*\* 地盤・構造部 構造振動研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所  
Phone:046-844-5058 Fax:046-844-0839 E-mail: fukazawa@pari.go.jp

## 1. まえがき

構造物の耐震設計や、既設構造物の耐震性評価を合理的に実施するためには、まず地震時の地盤の揺れを正確に把握することが重要である。このような観点から、旧運輸省港湾技術研究所は、当時の運輸省港湾局をはじめとする各機関の協力のもとに、港湾地域強震観測網を整備し運営してきた。観測の成果は港湾地域強震観測年報として継続的に刊行されてきている<sup>1)~4)</sup>。2001年の省庁再編後、港湾技術研究所は独立行政法人港湾空港技術研究所と、国土技術政策総合研究所に分けられた。このうち独立行政法人港湾空港技術研究所は電話回線によるデータの収集と保管、計器補正、強震観測年報の刊行などを、旧運輸省港湾技術研究所から引き継いで実施している。本研究は港湾地域強震観測の全ての観測地点を対象として、観測地点の地震動の卓越周期について調べたものである。

なぜ卓越周期を調べるのが重要なのであろうか。一般に構造物はそれぞれ揺れやすい周期（固有周期）を持っている。この固有周期と地震波の卓越周期が一致した場合には構造物は大きく揺れ、場合によっては被害を受けることになる<sup>46,47)</sup>。そこで、卓越しやすい地震動の周期があらかじめわかっているならば、構造物の固有周期がこれと一致しないように設計することによって被害を未然に防ぐことができる。特に最近では、構造形式や材料の選定などにおける自由度が高まってきたので、構造物の固有周期を設計時にコントロールすることは以前よりも容易になってきた。例えば、最近提案されている免震クレーンの多くは、復元力の設定によって、固有周期を調整することができる<sup>48,49)</sup>。このようなことから地震動の卓越周期を明らかにすることの必要性は以前よりも高まっている。

地震動の卓越周期は過去の強震記録より調べることができる。図-1は八戸港と関西国際空港で得られた強震記録のフーリエスペクトルを比較したものである。八戸港では1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の強震記録が得られているが、26年の時を隔てて発生した二つの大地震で、いずれも周期2.5秒（周波数0.4Hz）の成分が卓越している。一方、関西国際空港では1995年兵庫県南部地震と2000年鳥取県西部地震の記録が得られているが、いずれも周期5秒（周波数0.2Hz）の成分が卓越している。このように地震動の卓越周期に場所毎の特徴があることは、昔からよく知られているが、実際に記録のスペクトルを描いてみるとその傾向は顕著である。

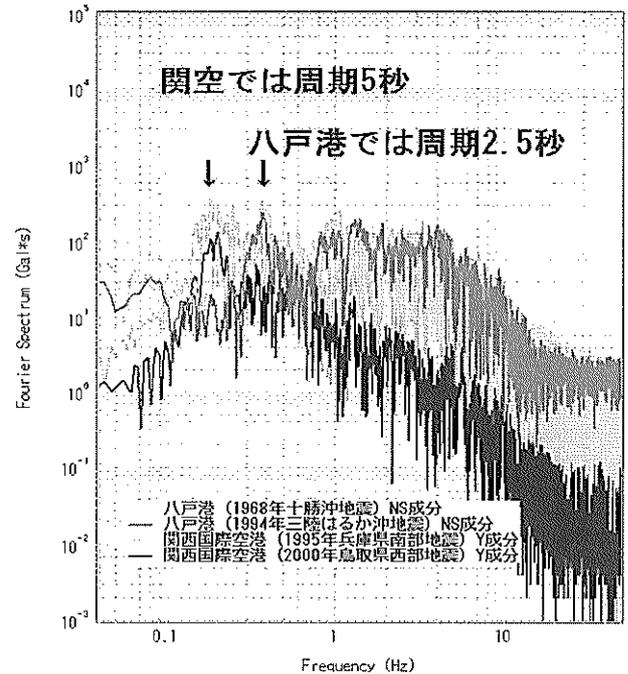


図-1 八戸港と関西国際空港の地震動特性の比較

一般に、地震動のフーリエスペクトルにピークが認められる場合、そのピークは地震の震源特性に起因する場合と、地盤特性に起因する場合がある。このうち震源特性に起因するピークは地震のサイズ等にも依存するので、将来の地震においても繰り返されるとは限らない。しかし、地盤特性に起因するピークは将来の地震においても再現されると考える必要がある。本研究では、地盤特性に起因するフーリエスペクトルのピークに着目する。同一地点で得られた複数の記録のフーリエスペクトルを比較したとき、それらに共通して見られるピークは地盤特性に起因するものであると考えてよいであろう。実際、八戸港の記録のフーリエスペクトルに見られる周期2.5秒のピークや、関西国際空港の記録のフーリエスペクトルに見られる周期5秒のピークは、S波速度3000m/s以上の地震基盤上に横たわる深い堆積層の影響であることが確かめられている<sup>50,51)</sup>。

本研究では、港湾地域強震観測の全ての観測地点を対象として、各地点の地震動の卓越周期を明らかにする。各地点でこれまでに得られている記録の中で、振幅の比較的大きな記録に注目し、そのフーリエスペクトルのピークを読み取る。その際、上に述べた考え方を適用して、複数の記録のフーリエスペクトルに共通して見られるピークのみを抽出する。こうして抽出された地震動の卓越周期は、各観測地点の地盤特性を反映していると考えられるので、将来の大地震においてもそれらの周期成分を多く含む地震動が当該地点において観測される可能性は

極めて高い。

過去には港湾地域強震観測の記録を用いてその周期特性を調べた研究として土田他<sup>52)</sup>の研究がある。この研究は、各観測地点で得られた地震波の応答スペクトルを比較し、その応答スペクトルを地盤の種類毎にグループ分けしたものである。そしてそれらについて平均応答スペクトルを求め、比較検討を行なっている。この研究と本研究との違いは以下のとおりである。

- ① 土田他の研究では地盤の種類毎に分類していたが、本研究では地盤の種類毎に分類するのではなく、観測地点毎に卓越周期を求めている。これは土田他の研究より30年が経過し、強震記録が増えたため、地点毎の検討が可能となったのである。
- ② 土田他の研究では応答スペクトルで検討しているが、本研究ではフーリエスペクトルを使用している。応答スペクトルは横軸に1自由度1質点系の固有周期を、縦軸にその最大応答値をとり、減衰定数をパラメータとして描かれたスペクトルである。ところが最近の研究では、中小地震の応答スペクトルの長周期側は地震動の短周期側の影響を受けていることも指摘されており<sup>53)</sup>、そうであれば中小地震の応答スペクトルは長周期側において、地震動の卓越周期に関する情報を持たない可能性が高い。本研究の対象地震には中小地震を数多く含まれることから、今回はフーリエスペクトルを対象とした。
- ③ 土田他の研究では、37の観測地点で得られた111の強震記録を検討対象にしているのに対し、本研究では、82の観測地点で得られた659の記録を対象としている。

## 2. 強震観測地点における地震動の卓越周期

### 2.1 港湾地域強震観測

本資料で対象とした記録は全て港湾地域強震観測で得られたものである。港湾地域強震観測は当所の前身である運輸省港湾技術研究所が中心となり1962年に開始され、国の機関や地方自治体が参画して実施されてきた。2001年12月の時点では全国60の港に97台の強震計が設置されている。この観測網により、2001年12月までに5978の加速度記録が得られている。

2001年12月の時点では、97の観測地点のうち2地点にSMAC-B2型強震計が、87地点にERS型強震計が、残りの8地点にSMAC-MDU型強震計が設置されている。

観測網には3種類の観測地点がある。1つ目は地表面の加速度を記録するもの、2つ目はボアホールを使用し地中の加速度を記録するもの、3つ目は建造物の地震応答を記

録するものである。建造物の地震応答を記録するための観測点のそばには必ず地盤の加速度を測定するための観測点が設けられている。

港湾地域強震観測で得られた記録は、後に説明するような処理と解析を経た後に、強震観測年報として公表されてきた。まず、1963年から1975年の記録が強震観測年報として公表された<sup>11)</sup>。1963年から1975年の年報には鉛直成分が含まれていなかったため、それらは別冊<sup>12)</sup>として公表された。1976年と1977年の強震観測年報からは新しいデータ処理の方法を取り入れ、計器補正を施した加速度波形とそれを積分した速度波形と変位波形、フーリエスペクトルや応答スペクトルを年報で報告するようになった<sup>13)・33)</sup>。また、被害を伴うような大地震が発生したときには、それらの地震の記録だけを集めた資料を、通常の年報とは別に公表してきた<sup>34)・45)</sup>。

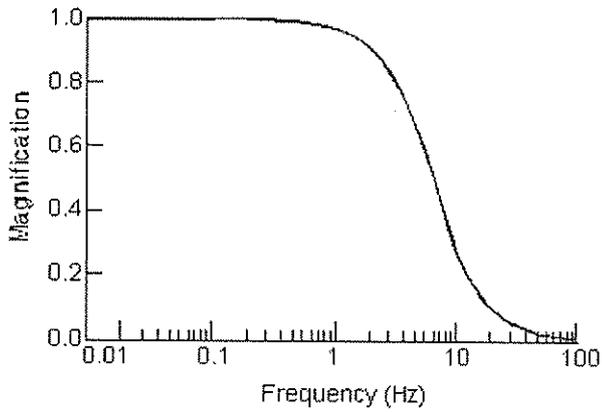
強震観測年報(1999&2000)<sup>32)</sup>および強震観測年報(2001)<sup>33)</sup>では新たな試みとしてCDを採用し、その年に取得された全ての加速度記録をCSV形式で収録している。一方、国土技術政策総合研究所に開設されたウェブサイト(港湾地域強震観測システム: URLアドレス <http://www.eq.ysk.nilim.go.jp>)を通じた強震記録の提供も行っている。

### 2.2 強震計と記録の処理

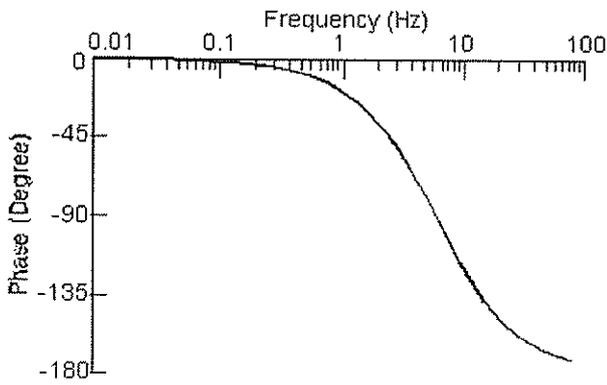
港湾地域強震観測で使用されてきた強震計は現在までに9種類ある。アナログ式のSMAC-B2型強震計、ERS-A、-B、-C、-D型強震計とデジタル式のERS-F、-G/GV型強震計、SMAC-MDU型強震計である。

各々の強震計の詳細については港湾地域強震観測年報(2001)に譲り、ここではその周波数特性のみ図-2~図-6に示す。

取得された記録は、当所において処理された後、3種類の波形、すなわちオリジナル波形、補正波形およびSMAC-B2相当波形として保存される。ここにオリジナル波形とは、アナログ式強震計の場合、デジタル化後に計器特性補正以外の補正を済ませた波形、デジタル式強震計の場合、ゼロ線補正のみを行なった波形のことである。補正波形とは、計器特性に関する補正を行った上で、SN比の十分でない低周波成分をハイパスフィルタにより削除した波形、SMAC-B2相当波形とは、SMAC-B2型強震計による記録と比較可能なように周波数成分を調整した波形である<sup>54)</sup>。

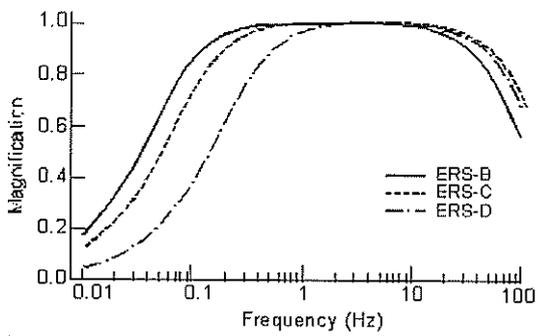


(a) amplitude

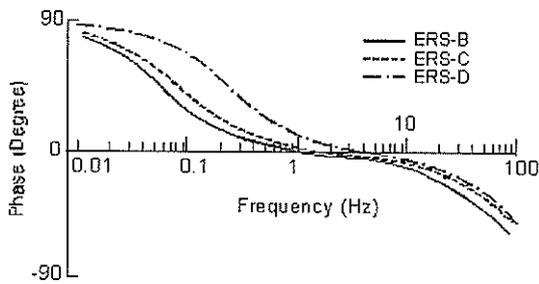


(b) phase

図-2 SMAC-B2 型強震計の周波数特性



(a) amplitude



(b) phase

図-3 ERS-B, C, D 型強震計の周波数特性

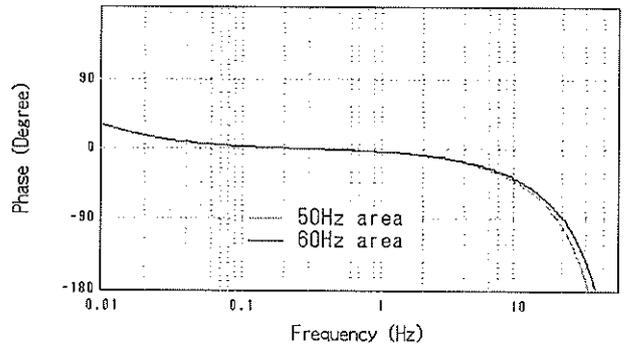
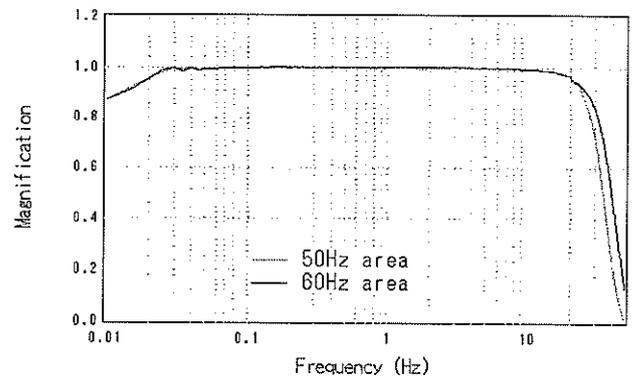


図-4 ERS-F, -G 型強震計の周波数特性

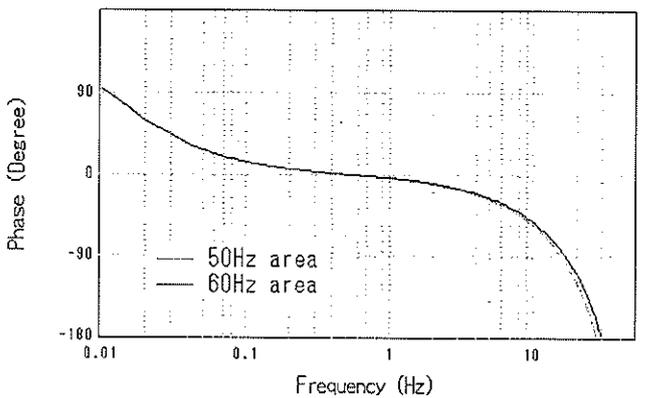
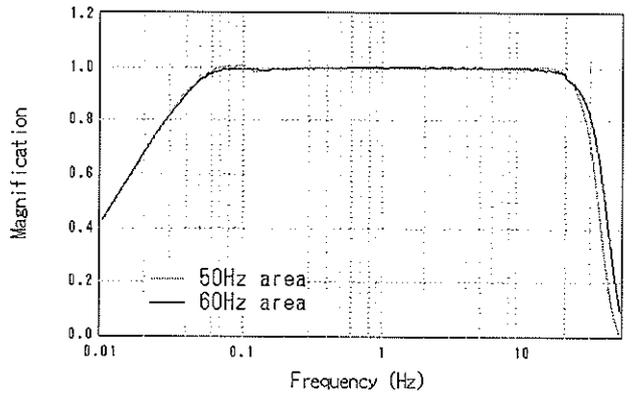


図-5 ERS-GV 型強震計の周波数特性

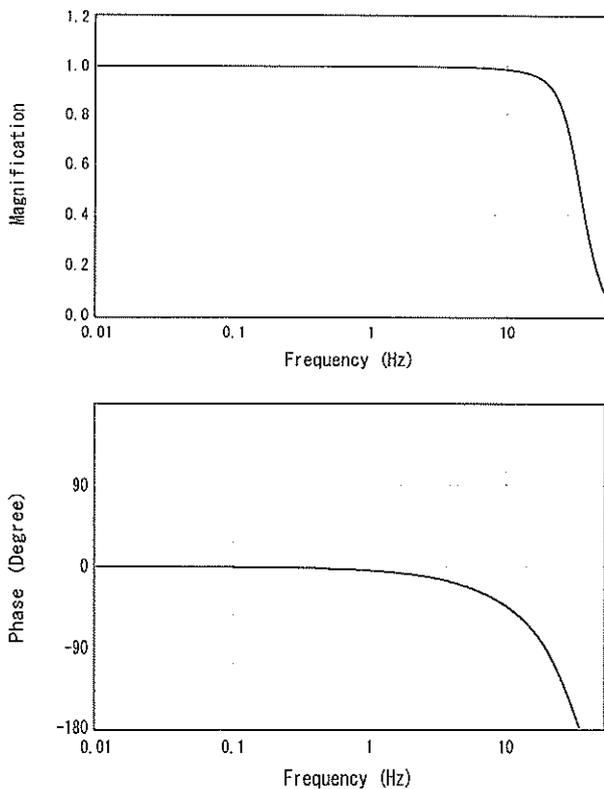


図-6 SMAC-MDU型強震計の周波数特性

### 2.3 記録の選定

本資料で対象とした強震記録は全て港湾地域強震観測により得られたものを利用した。まず、観測開始から2001年末までに得られた全ての記録（ただし、地表で得られたもの）を観測地点毎に分類した。観測地点は同じ港湾の中でも変遷がある<sup>55)・60)</sup>。ここでは港湾内で強震計が移設され、移設前後の地盤条件が同一とみなせない場合は、それらを別な観測地点として取り扱うこととした。一方、移設が行なわれていても事務所の敷地内での小規模な移設などで地盤条件がさほど変わらないと考えられる場合には、移設前後の観測地点を同一のものとして取り扱った。同じ地点で強震計の更新が行なわれた場合には、観測地点名は新しくなるが同一の観測地点とみなす。観測地点についてこのような整理を行なった結果を表-1に示す。表-1において横に並べて示した観測地点は、同一とみなした観測地点であり、縦に並べて示した観測地点は別個としてみなした観測地点である。例として、釧路-Sから釧路事-Sへの移設は、釧路港東地区から西地区への移設であり、移設前後の地盤条件を同一とみなすことはできないので、これらは別個の観測地点としている。一方、釧路事-Sと釧路-Gは、同じ場所での強震計の更新が行なわれただけであるから同一の観測点としている。ま

た、現在までに記録が0または1つの場合には、検討対象外であるのでこの表には掲載していない。

各観測地点の記録の中から、オリジナル波形の水平2成分の最大加速度が大きいほうから10個の記録を選択して用いることとした。ここで、比較的振幅の大きな記録を選択して用いるのは、できるだけ広い周波数帯域でSN比の良好な記録を用いるためである。強震計の周波数特性が異なることによる加速度の違いは多少あるにせよ、全てオリジナル波形の最大加速度を比較して上位の記録から選定をした。

観測地点の中には記録が10個以上採れていないところもある。その場合も、当該観測地点において2個以上記録が採れている場合にはそれらの記録を対象とした。しかし、今回の研究では同一の観測地点で得られた複数の記録のフーリエスペクトルを比較する必要があるため、記録が1個、又は記録が採取されていない観測地点は今回の研究の対象外とした。

表-1 対象観測地点一覧

観測港	観測地点			観測港	観測地点		
小樽	小樽-G			港研	港研-S	港研-M	港研-G
根室	花咲-M	花咲-F		下田	下田-F		
	根室-G			田子の浦	田子の浦-S		
釧路	釧路-S			清水	清水工場-S		
	釧路事-S	釧路-G			興津-S		
十勝	十勝-M	十勝-G			清水三保-S	清水-G	
浦河	浦河-S	浦河-G			清水日の出-U		
苫小牧	苫小牧-S	苫小牧-G		御前崎	御前崎-M	御前崎-G	
室蘭	室蘭-S	室蘭-G		三河	三河-G		
函館	函館-M	函館-G		衣浦	衣浦-S		
	函館-F				衣浦事-S		
青森	青森-S	青森-G		名古屋	名古屋造函-S		
八戸	八戸-S				名古屋空見-G		
	八戸事-S	八戸-G		四日市	四日市事-S		
宮古	宮古-S	宮古-G			四日市千歳-S	四日市-G	
釜石	釜石-M	釜石-G		和歌山	和歌山事-S		
大船渡	大船渡-S				和歌山-S	和歌山-G	
	大船渡防地-S	大船渡防地-G		大阪	大阪事-S	大阪事-G	
仙台塩釜	塩釜工場-S				大阪南-G		
	仙台-M	仙台-G		尼崎西宮芦屋	尼崎-S	尼崎-G	
相馬	相馬-S	相馬-G			西宮-G		
小名浜	小名浜-S			神戸	神戸事-S	神戸-G	
	小名浜事-S	小名浜事-G			六甲-G		
秋田	秋田-S	秋田-G		境港	境港事-S	境港-G	
酒田	酒田-S	酒田-G		広島	広島-S		
新潟	新潟事-S	新潟-G			広島-G		
伏木富山	富山-S	富山-G		徳島小松島	小松島-S	小松島津田-G	
金沢	金沢-S	金沢-G			小松島-G		
敦賀	敦賀-S	敦賀-G		高知	高知-S		
常陸那珂	常陸那珂-F				高知事-S	高知-G	
	常陸那珂-U			松山	松山-S	松山-G	
鹿島	鹿島-S			大分	大分-S		
	鹿島事-S				大分-G		
	鹿島造函-S			細島	細島-S	細島-F	細島-G
	鹿島造函-U			宮崎	宮崎-M	宮崎-G	
千葉	千葉-S	千葉-G		志布志	志布志-S	志布志-G	
東京	品川-S	品川-G		鹿児島	鹿児島-S	鹿児島-G	
川崎	川崎地-M	川崎-F	川崎-G	那覇	那覇造函-S	那覇-G	
横浜	京浜事-S			中城湾	中城-G		
	山下麥-S	山下麥-M		平良	平良-S	平良-G	
	山下-F			石垣	石垣-S	石垣-G	

## 2.4 卓越周期の読み取り

上記の方法で選定した記録の水平2成分についてのオリジナル波形のフーリエスペクトルを計算する。水平2成分のうち1成分が得られていない場合には、得られているほうの1成分を対象とする。

任意の時刻歴波形は様々な周波数の正弦波の重ね合わせで表現することができる。なお、周波数とは周期の逆数である。このとき、各々の周波数の正弦波に重みをつけて足し合わせる必要があるが、このときに付ける重みをフーリエ振幅スペクトルまたはフーリエスペクトルという。

具体的には次のような計算を行なう。まず、フーリエ変換の定義は次の通りとする。

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

ここに  $f(t)$  は任意の時間関数、 $F(\omega)$  はそのフーリエ変換である。 $F(\omega)$  は複素数であるが、その絶対値をフーリエスペクトルと呼ぶ。式 (2) からわかるように、フーリエスペクトルはもとの波形  $f(t)$  に含まれる特定の角周波数成分  $\omega$  の強さを表している。

実際のフーリエスペクトルの計算にはFFT<sup>61)</sup>を用いた。データ数は32768に統一した。実際のデータはこれより短いので、データの後ろに0を付け加えた。

フーリエスペクトルを計算した後、同じ地点で複数の記録に共通して見られるピークを目視で読み取った。ピークを読み取る際、次のような点にも注意を払った。

- ① 加速度波形を対象としていることから、SN比の良好な記録では、フーリエスペクトルは低周波側（長周期側）では地盤の影響が無ければ  $\omega^2$  に比例するはずである。
- ② 今回対象とした記録の中で、比較的大きな記録については、地盤の非線形挙動の影響を受け、卓越周期が低周波側に移動している記録もあるはずである。

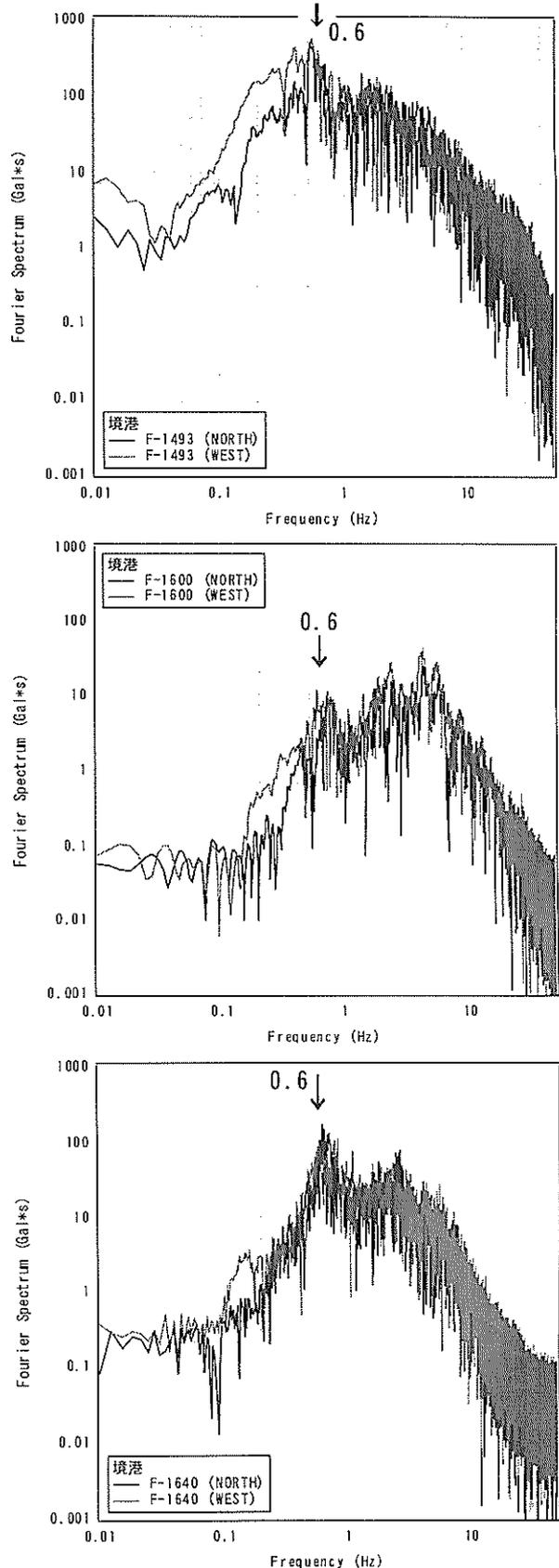


図-7 境港の代表的なフーリエスペクトル

図-7では境港で得られた記録（F-1493, 1600, 1640）のフーリエスペクトルを求め、図化したものを例としてあげている。境港では3つの記録とも周波数0.6Hzの成分が卓越しているのがよくわかる。このように複数の記録に含まれるスペクトルのピークを読み取った。読み取ったピークに対応する周波数を卓越周波数、その逆数を卓越周期と呼ぶ。複数の記録に共通して見えないスペクトルのピークは地盤特性に起因するピークであるとは考えにくいのでここでは対象から外している。全ての記録に対しこのような検討を行った。

## 2.5 結果

以上のようにして読み取った各地点の卓越周波数を一覧にして表-2に示す。表-2で卓越周波数なしと書かれている地点は、複数の記録のフーリエスペクトルに共通する明瞭なピークが読み取れない地点のことである。しかし、これまでに振幅の小さな記録しか得られていない場所では、特に低周波側で記録のSN比がよくないので、ピークが見逃されている可能性がある。また、ある幅を持った周波数帯域において、地震動が一様に増幅しやすい性質を持った観測点では、特性のピークがスペクトルに表れにくいので、卓越周波数なしと判定される場合もある。表-2および以下の記述を読まれる際にはこの点に注意して頂きたい。

表-2 各観測地点の卓越周波数

	観測港	観測地点			卓越周波数 (Hz)					
北海道	小樽	小樽-G			0.6	5				
	根室	花咲-M	花咲-F		0.2-0.3	2				
		根室-G			7					
	釧路	釧路-S			1	3				
		釧路事-S	釧路-G		1	4				
	十勝	十勝-M	十勝-G		3					
	浦河	浦河-S	浦河-G		なし					
	苫小牧	苫小牧-S	苫小牧-G		1					
	室蘭	室蘭-S	室蘭-G		2					
	函館	函館-M	函館-G		なし					
函館-F				0.4	3					
東北地方	青森	青森-S	青森-G		0.3	0.6				
	八戸	八戸-S			0.4	0.9				
		八戸事-S	八戸-G		0.4	0.9				
	宮古	宮古-S	宮古-G		5					
	釜石	釜石-M	釜石-G		なし					
	大船渡	大船渡-S			2	5				
		大船渡防地-S	大船渡防地-G		なし					
	仙台塩釜	塩釜工場-S			1.5	5				
		仙台-M	仙台-G		8					
	相馬	相馬-S	相馬-G		0.7	6				
	小名浜	小名浜-S			なし					
		小名浜事-S	小名浜事-G		5	10				
	秋田	秋田-S	秋田-G		0.1	0.4				
酒田	酒田-S	酒田-G		0.2	2					
北陸地方	新潟	新潟事-S	新潟-G		0.15					
	伏木富山	富山-S	富山-G		0.15	0.7	2.5			
	金沢	金沢-S	金沢-G		0.15	1				
	敦賀	敦賀-S	敦賀-G		1	1.5	5			
関東地方	常陸那珂	常陸那珂-F			0.5	2.5				
		常陸那珂-U			なし					
	鹿島	鹿島-S			なし					
		鹿島事-S			1.5					
		鹿島造函-S			なし					
		鹿島造函-U			なし					
	千葉	千葉-S	千葉-G		0.2	1.5				
	東京	品川-S	品川-G		2	5				
	川崎	川崎地-M	川崎-F	川崎-G	0.9	3				
	横浜	京浜事-S			1.5	3				
		山下変-S	山下変-M		2	4				
		山下-F			2	3				
	港研	港研-S	港研-M	港研-G	1.5	3				

表-2 各観測地点の卓越周波数（続き）

	観測港	観測地点			卓越周波数 (Hz)				
中部地方	下田	下田-F			なし				
	田子の浦	田子の浦-S			0.8	2			
	清水	清水工場-S			0.8	1			
		興津-S			0.7	1.2			
		清水三保-S	清水-G		0.4	1	2		
		清水日の出-U			1.5				
	御前崎	御前崎-M	御前崎-G		1.5	3			
	三河	三河-G			1	5			
	衣浦	衣浦-S			0.5	3			
		衣浦事-S			0.3	1.5	4		
	名古屋	名古屋造函-S			1	2			
		名古屋空見-G			0.25	1	2		
	四日市	四日市事-S			なし				
		四日市千歳-S	四日市-G		1.2				
近畿地方	和歌山	和歌山事-S			4				
		和歌山-S	和歌山-G		0.5	0.7	1.2	2	5
	大阪	大阪事-S	大阪事-G		0.15	0.2	0.5		
		大阪南-G			0.5				
	尼崎西宮	尼崎-S	尼崎-G		1.2	2.5	5		
	芦屋	西宮-G			0.2	0.6			
	神戸	神戸事-S	神戸-G		3	5			
六甲-G				0.5	0.8				
中国地方	境港	境港事-S	境港-G		0.6				
	広島	広島-S			0.7	1.4			
		広島-G			0.8	1.8	3		
四国地方	徳島小松島	小松島-S	小松島津田-G		1.2	2			
		小松島-G			0.8	2	3		
	高知	高知-S			1.5				
		高知事-S	高知-G		1.2	3			
	松山	松山-S	松山-G		1	2			
九州地方	大分	大分-S			0.3	4			
		大分-G			0.3	1.2	3		
	細島	細島-S	細島-F	細島-G	1	2			
	宮崎	宮崎-M	宮崎-G		2.5				
	志布志	志布志-S	志布志-G		0.5	1	2		
	鹿児島	鹿児島-S	鹿児島-G		0.6	1			
沖縄	那覇	那覇造函-S	那覇-G		1.5				
	中城湾	中城-G			2				
	平良	平良-S	平良-G		6	8			
	石垣	石垣-S	石垣-G		1.8	6			

解析対象とした全ての記録のフーリエスペクトルを付録CDに掲載している。以下においては代表的な記録を見ながら、各地点の卓越周期について述べる。

(1) 小樽港

小樽港では1967年に港湾建設事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(小樽-S)が、この機種でのデジタル記録は得られていない。その後1992年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(小樽-G)このとき観測点の移動はわずかであるので、本研究では更新前後の観測点を同一とみなす。小樽-S/小樽-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-8に示す。小樽-S/小樽-Gでは0.6Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

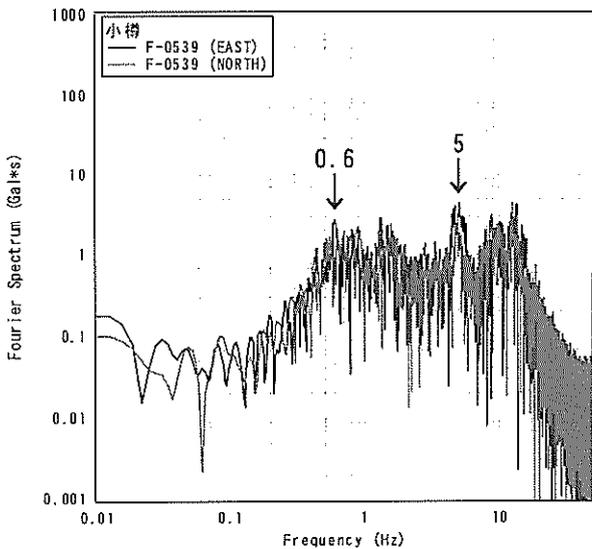


図-8 小樽-S/小樽-Gのフーリエスペクトル (1993年7月12日の地震)

(2) 根室港(花咲港)

当初は1975年に花咲港の現場詰所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された(花咲-M)。その後、1991年にERS-F型強震計に更新が行なわれたが(花咲-F)、このとき観測点の移動はわずかであるので、本研究では更新前後の観測点を同一とみなす。すなわち花咲-Mと花咲-Fは同一地点である。さらに、2000年になり根室港の港湾建設事務所構内にERS-G型強震計を設置した(根室-G)際に、花咲-Fを廃止している。

花咲-M/花咲-Fで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-9および図-10に示す。この図は花咲-Fで得られた1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震のものである。花咲-M/花咲-Fでは0.2-0.3Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。根室-Gで得られた記録のフーリエスペク

トルの代表例を図-11に示す。根室-Gでは、7Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このことから、強震記録にみる卓越周波数は移設前後で大きく変化があると言える。花咲-M/花咲-Fでは比較的長周期成分が卓越しているのに対し、根室-Gは短周期が卓越している。

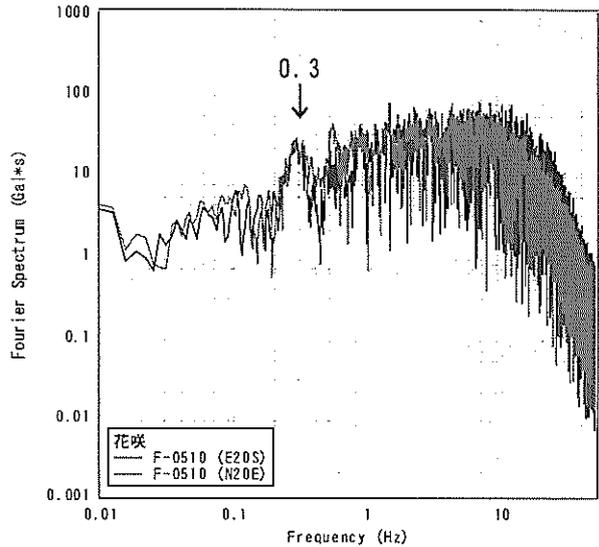


図-9 花咲-M/花咲-Fのフーリエスペクトル (1993年1月15日の地震/1993年釧路沖地震)

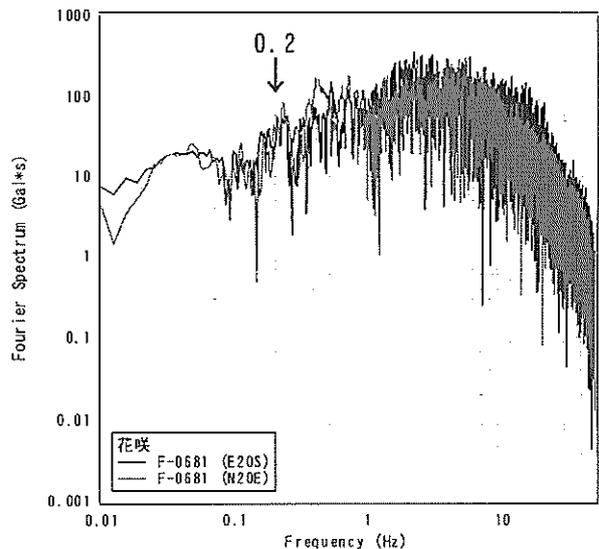


図-10 花咲-M/花咲-Fのフーリエスペクトル (1994年10月4日の地震/1994年北海道東方沖地震)

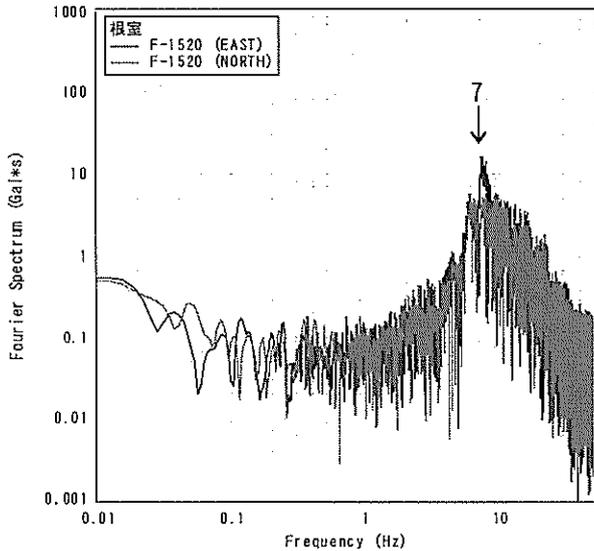


図-11 根室-Gのフーリエスペクトル  
(2000年7月21日の地震)

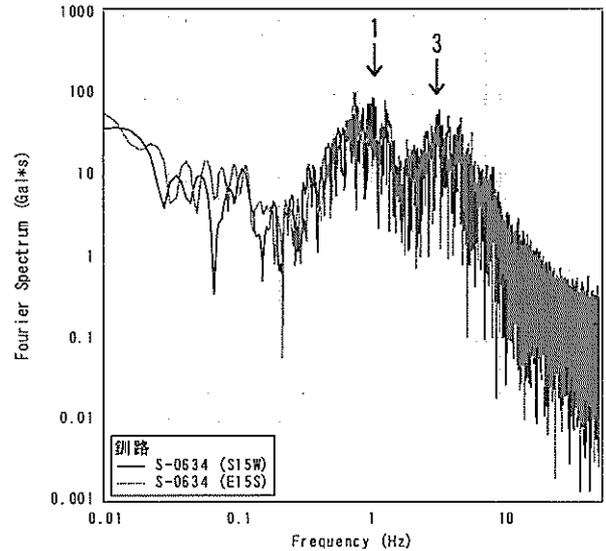


図-12 釧路-Sのフーリエスペクトル  
(1971年8月2日の地震)

### (3) 釧路港

釧路港では1964年に東港地区の中央埠頭においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(釧路-S)。後に西港地区の港湾建設事務所構内への移設が行なわれた(釧路事-S)。その後、1992年にERS-G型強震計へ機種変更が行なわれているが(釧路-G)、このとき観測点は移動していない。すなわち釧路事-Sと釧路-Gは同一地点である。

釧路-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-12に示す。釧路-Sでは1Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。釧路事-S/釧路-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-13に示す。釧路事-S/釧路-Gでは、1Hz付近および4Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このことから、強震記録にみる卓越周波数は移設前後であまり変化がないと言える。また、図-13に示したのは最大加速度のあまり大きくない地震の記録であるが(54gal)、釧路-Gでは1993年釧路沖地震と1994年北海道東方沖地震の記録も得られている。これらの記録のフーリエスペクトルを図-14, 15に示す。これらのフーリエスペクトルのピークは1Hzよりもやや低いところに見られる。これは、表層地盤の非線形挙動に起因するものではないかと考えられる。

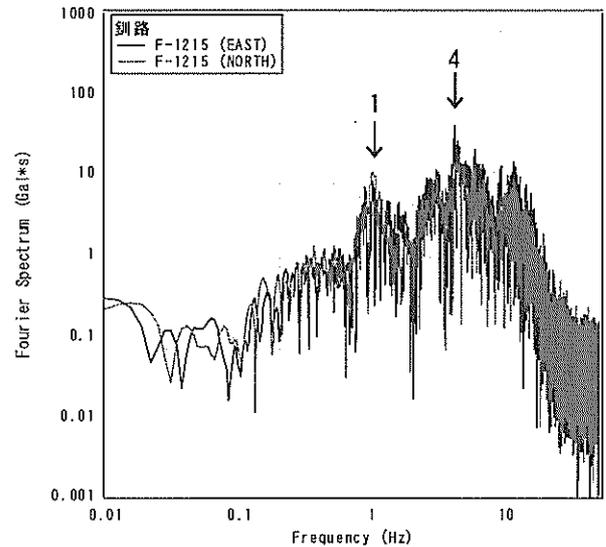


図-13 釧路事-S/釧路-Gのフーリエスペクトル  
(1997年11月15日の地震)

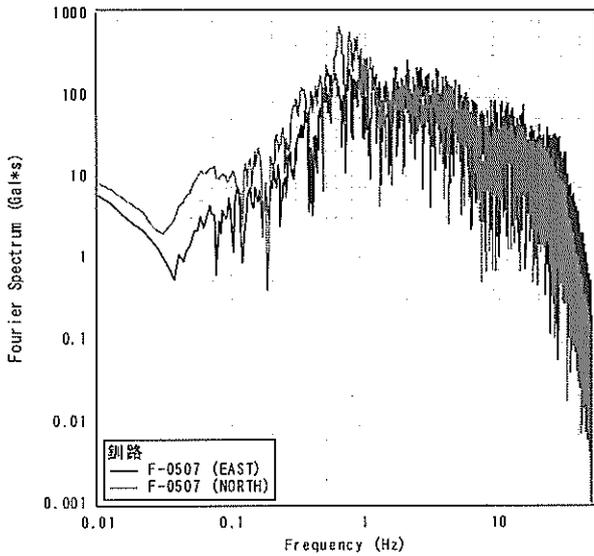


図-14 1993年釧路沖地震の記録のフーリエスペクトル

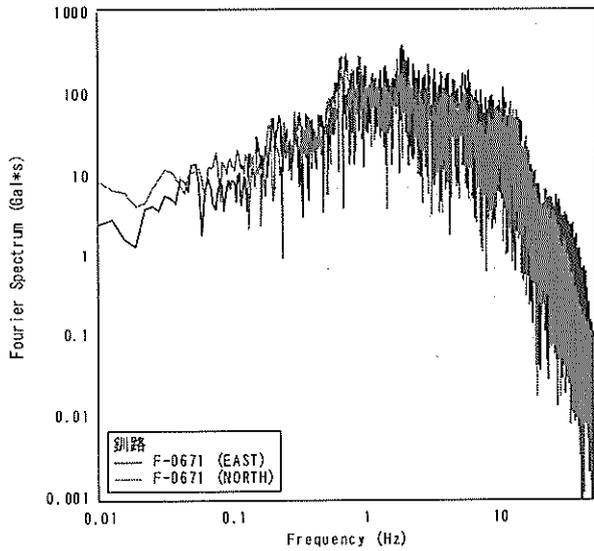


図-15 1994年北海道東方沖地震の記録のフーリエスペクトル

(4) 十勝港

十勝港では1974年に十勝港南埠頭においてERS-C型強震計により観測が開始された(十勝-M)。その後1996年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが(十勝-G)、このとき観測点は移動していない。十勝-M/十勝-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-16に示す。この図は十勝-M/十勝-Gで得られた1994年北海道東方沖地震のものである。十勝-M/十勝-Gでは3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。また、十勝-M/十勝-Gでは1993年釧路沖地震の記録も得られている。この記録のフーリエスペクトルを図-17に示す。この記録のフーリエスペクトルのピークは3Hzよりもやや

低いところに見られる。これは、表層地盤の非線形挙動に起因するものではないかと考えられる。

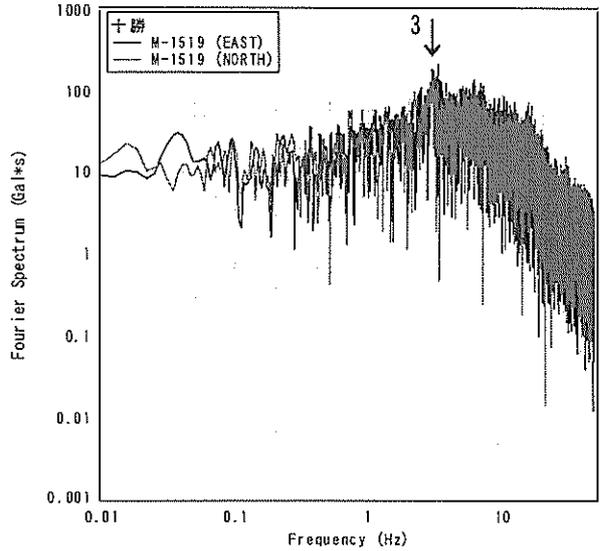


図-16 十勝-M/十勝-Gのフーリエスペクトル(1994年10月4日の地震/1994年北海道東方沖地震)

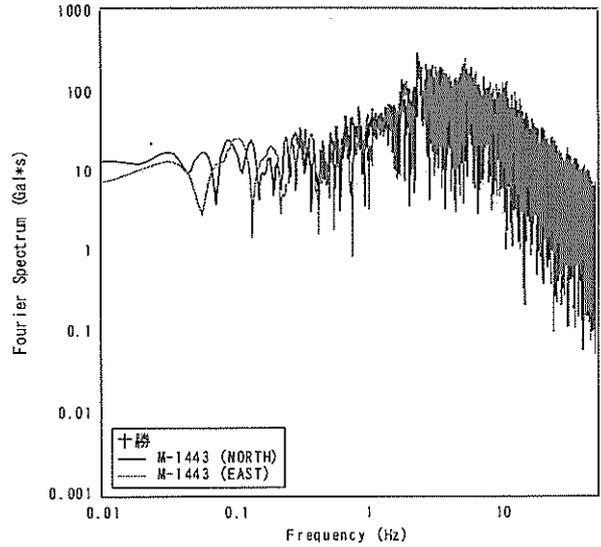


図-17 1993年釧路沖地震の記録のフーリエスペクトル

(5) 浦河港

浦河港では1984年に港湾建設事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(浦河-S)。その後1997年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが(浦河-G)、このとき観測点は移動していない。浦河-S/浦河-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-18に示す。この図は浦河-Sで得られた1993年釧路沖地震のものである。浦河-S/浦河-Gでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。

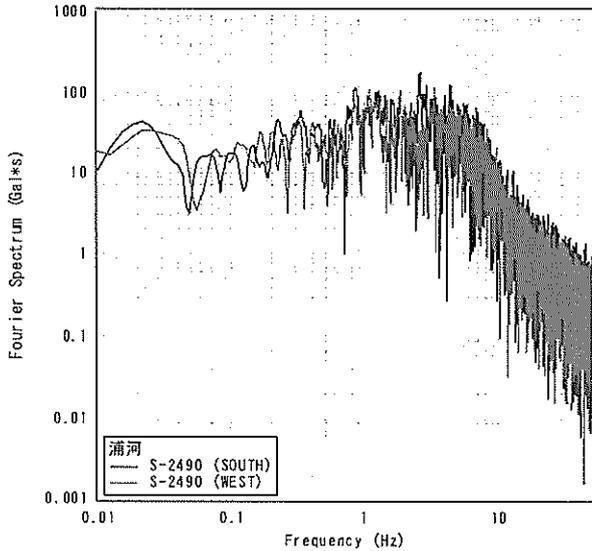


図-18 浦河-S/浦河-Gのフーリエスペクトル  
(1993年1月15日の地震/1993年釧路沖地震)

(6) 苫小牧港

苫小牧港では1970年に港湾建設事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(苫小牧-S)。その後1995年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが(苫小牧-G)、このとき観測点は移動していない。苫小牧-S/苫小牧-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-19に示す。この図は苫小牧-Sで得られた1982年浦河沖地震のものである。苫小牧-S/苫小牧-Gでは1Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

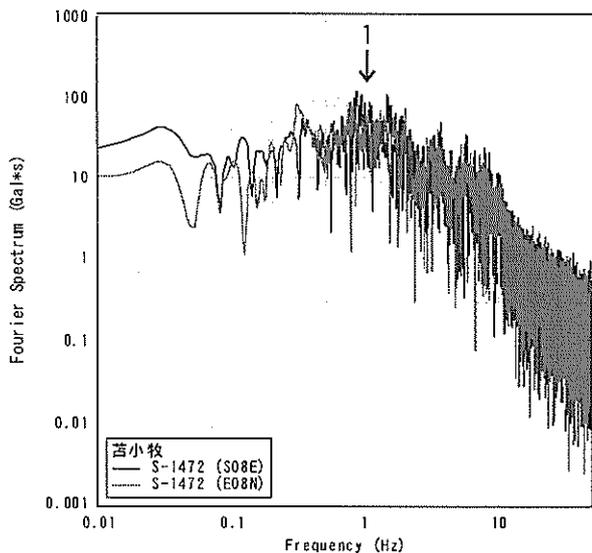


図-19 苫小牧-S/苫小牧-Gのフーリエスペクトル  
(1982年3月21日の地震/1982年浦河沖地震)

(7) 室蘭港

室蘭港では1964年に港湾建設事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(室蘭-S)。その後1992年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(室蘭-G)このとき観測点は移動していない。室蘭-S/室蘭-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-20に示す。この図は室蘭-Gで得られた1994年三陸はるか沖地震のものである。室蘭-S/室蘭-Gでは2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

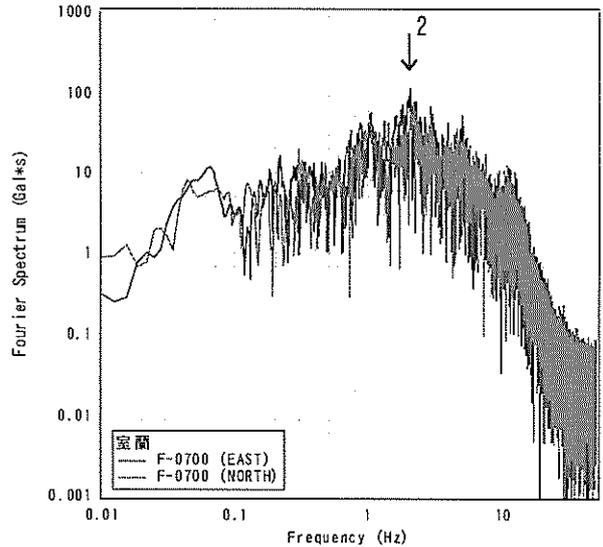


図-20 室蘭-S/室蘭-Gのフーリエスペクトル  
(1994年12月28日の地震/1994年三陸はるか沖地震)

(8) 函館港

函館港では1974年に港湾建設事務所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された(函館-M)。1977年に事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1986年に同じく港湾建設事務所構内にERS-F型強震計を設置して函館-Mと同時観測を開始した(函館-F)。その後、1997年にERS-C型強震計からERS-G型強震計への機種変更が行なわれているが(函館-G)、このとき観測点は移動していない。すなわち函館-Mと函館-Gは同一地点である。

函館-M/函館-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-21に示す。函館-M/函館-Gでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。この図は函館-M/函館-Gで得られた1993年北海道南西沖地震のものである。函館-Fで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-22に示す。函館-Fでは、0.4Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

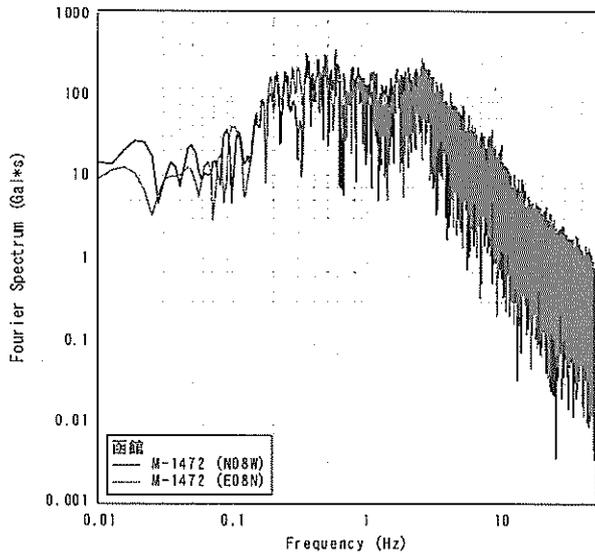


図-21 函館-M/函館-Gのフーリエスペクトル  
(1993年7月12日の地震/1993年北海道南西沖地震)

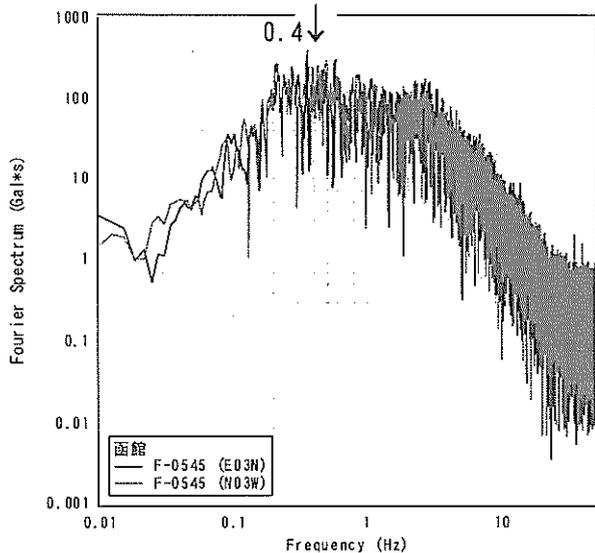


図-22 函館-Fのフーリエスペクトル  
(1993年7月12日の地震/1993年北海道南西沖地震)

#### (9) 青森港

青森港では1967年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(青森-S)。その後1971年と1973年に工事事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1994年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(青森-G)、このとき観測点の移動はわずかであるので、本研究では更新前後の観測点を同一とみなす。青森-S/青森-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-23に示す。この図は青森-Gで得られた1994年北海道東方沖地震のものである。青森-S/青森-Gでは0.3Hz付近および0.6Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通し

て認められる。

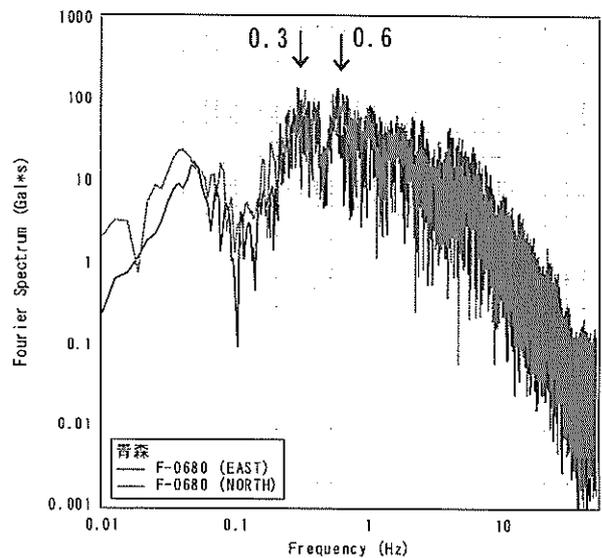


図-23 青森-S/青森-Gのフーリエスペクトル  
(1994年10月4日の地震/1994年北海道東方沖地震)

#### (10) 八戸港

八戸港では1965年に八戸工場構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(八戸-S)。1986年に工事事務所構内への移設が行なわれた(八戸事-S)。その後、1996年にERS-G型強震計へ機種変更が行なわれているが(八戸-G)、このとき観測点は移動していない。すなわち八戸事-Sと八戸-Gは同一地点である。

八戸-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-24に示す。この図は八戸-Sで得られた1968年十勝沖地震のものである。八戸-Sでは0.4Hz付近および0.9Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。八戸事-S/八戸-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-25に示す。この図は八戸事-Sで得られた1994年三陸はるか沖地震のものである。八戸事-S/八戸-Gでは、0.4Hz付近および0.9Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このことから、強震記録にみる卓越周波数は移設前後で変化がないと言える。

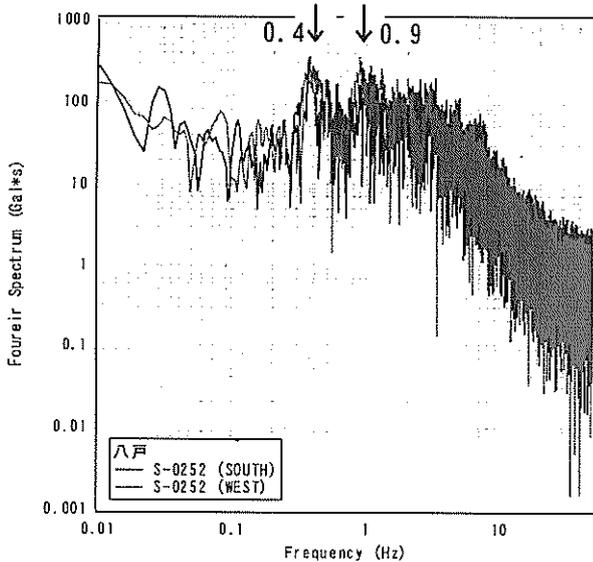


図-24 八戸-Sのフーリエスペクトル  
(1968年5月16日の地震/1968年十勝沖地震)

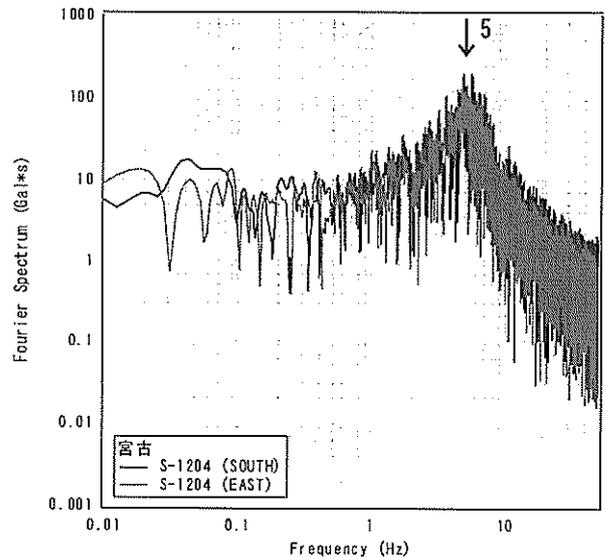


図-26 宮古-S/宮古-Gのフーリエスペクトル  
(1978年6月12日の地震/1978年宮城県沖地震)

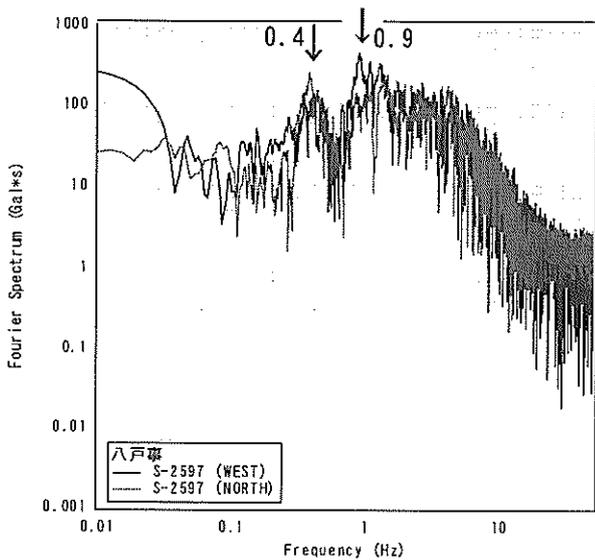


図-25 八戸事-S/八戸-Gのフーリエスペクトル  
(1994年12月28日の地震/1994年三陸はるか沖地震)

#### (11) 宮古港

宮古港では1966年に宮古港ケーソンヤード構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(宮古-S)。その後1983年にケーソンヤード構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1992年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(宮古-G)、このとき観測点は移動していない。宮古-S/宮古-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-26に示す。この図は宮古-Sで得られた1978年宮城県沖地震のものである。宮古-S/宮古-Gでは5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

#### (12) 釜石港

釜石港では1980年に釜石漁港監督員詰所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された(釜石-M)。その後2000年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(釜石-G)このとき観測点は移動していない。釜石-M/釜石-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-27に示す。この図は釜石-Mで得られた1994年北海道東方沖地震のものである。釜石-M/釜石-Gでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。

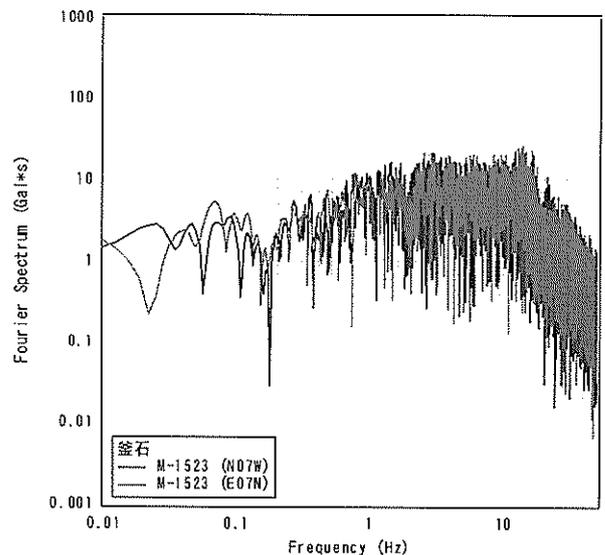


図-27 釜石-M/釜石-Gのフーリエスペクトル  
(1994年10月4日の地震/1994年北海道東方沖地震)

#### (13) 大船渡港

大船渡港では1965年に大船渡港の岸壁背後地におい

てSMAC-B2型強震計により観測が開始された（大船渡-S）。1968年に湾口防波堤長磯側の地盤上に移設が行なわれた（大船渡防地-S）。その後、1997年にERS-G型強震計へ機種変更が行なわれているが（大船渡防地-G）、このとき観測点は移動していない。すなわち大船渡防地-Sと大船渡防地-Gは同一地点である。

大船渡-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-28に示す。大船渡-Sでは2Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。大船渡防地-S/大船渡防地-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-29に示す。この図は大船渡防地-Sで得られた1978年宮城県沖地震のものである。大船渡防地-S/大船渡防地-Gでは、複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。

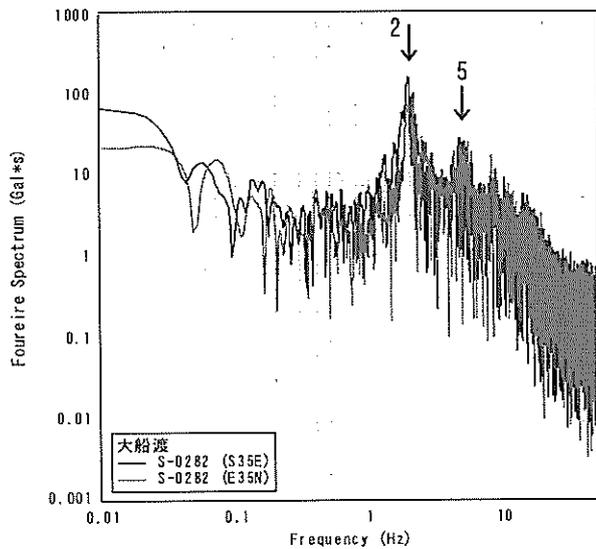


図-28 大船渡-Sのフーリエスペクトル  
(1968年5月18日の地震)

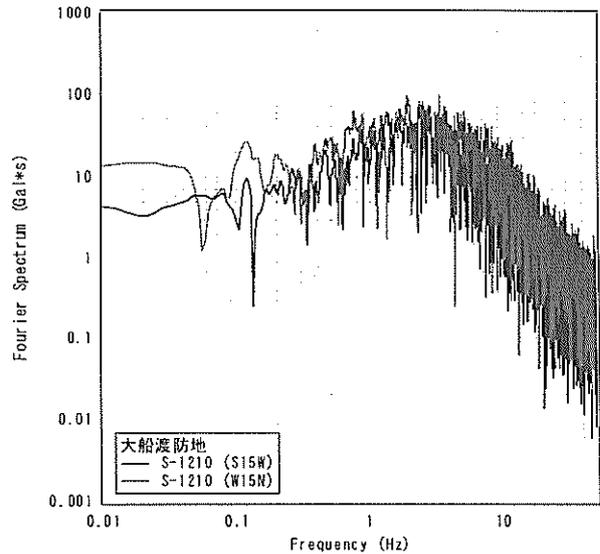


図-29 大船渡防地-S/大船渡防地-Gの  
フーリエスペクトル

(1978年6月12日の地震/1978年宮城県沖地震)

(14) 仙台塩釜港

仙台塩釜港では1964年に塩釜工場構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された（塩釜-S）。この観測点ではデジタル記録が1つしか得られていないので検討対象から外している。その後、1968年に事務所の移転に伴い強震計の移設を行なっている（塩釜工場-S）。1971年には事務所構内での移設が行なわれているが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1979年には仙台港の工事事務所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された（仙台-M）。1996年に塩釜工場-Sは観測を終了した。2000年にはERS-C型強震計からERS-G型強震計への更新が行なわれたが（仙台-G）、このときの観測点は移動していない。すなわち仙台-Mと仙台-Gは同一地点である。

塩釜工場-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-30に示す。塩釜工場-Sでは1.5Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。また、図-30に示したのは最大加速度のあまり大きくない地震の記録であるが（56gal）、塩釜工場-Sでは1978年宮城県沖地震の記録も得られている。この記録のフーリエスペクトルを図-31に示す。このフーリエスペクトルのピークは1.5Hzよりもやや低い1Hz付近に見られる。これは、表層地盤の非線形挙動に起因するものではないかと考えられる。仙台-M/仙台-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-32に示す。仙台-M/仙台-Gでは、8Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このことから、強震記録にみる卓越周波数は両観測点で大きく違いがあると言える。

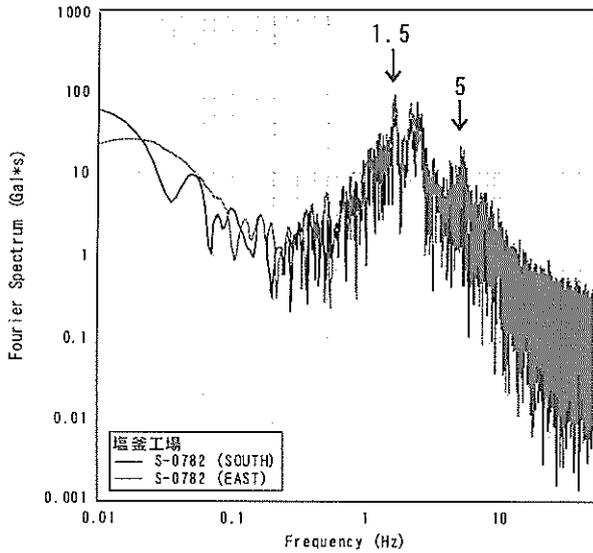


図-30 塩釜工場-Sのフーリエスペクトル  
(1973年11月19日の地震)

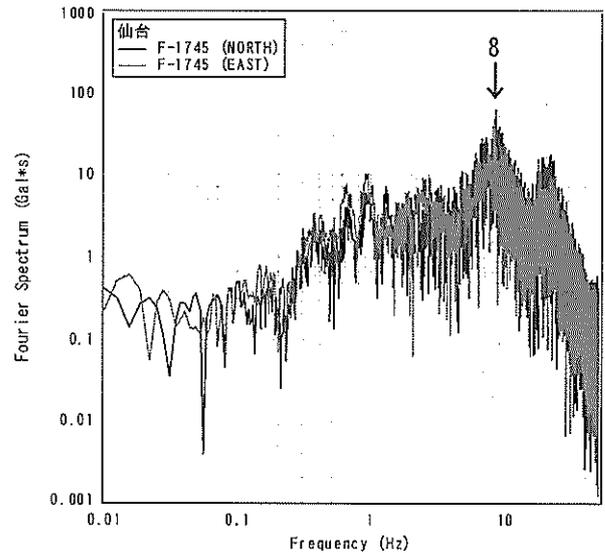


図-32 仙台-M/仙台-Gのフーリエスペクトル  
(2001年12月2日の地震)

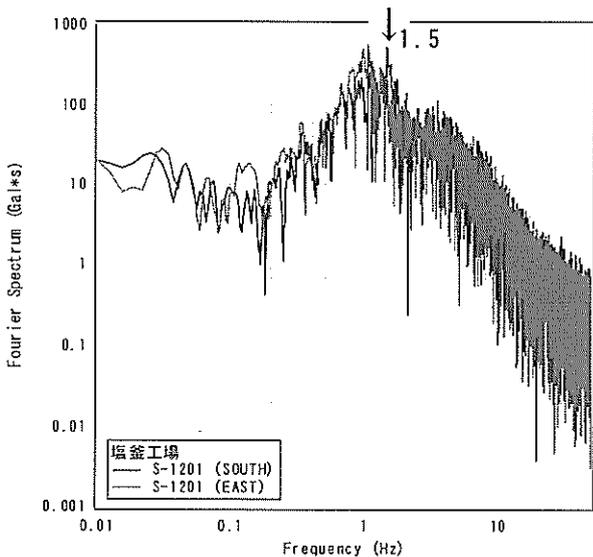


図-31 1978年宮城県沖地震の記録の  
フーリエスペクトル

(15) 相馬港

相馬港では1984年に相馬工場構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(相馬-S)。その後2000年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(相馬-G)このとき観測点は移動していない。相馬-S/相馬-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-33に示す。相馬-S/相馬-Gでは0.7Hz付近および6Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

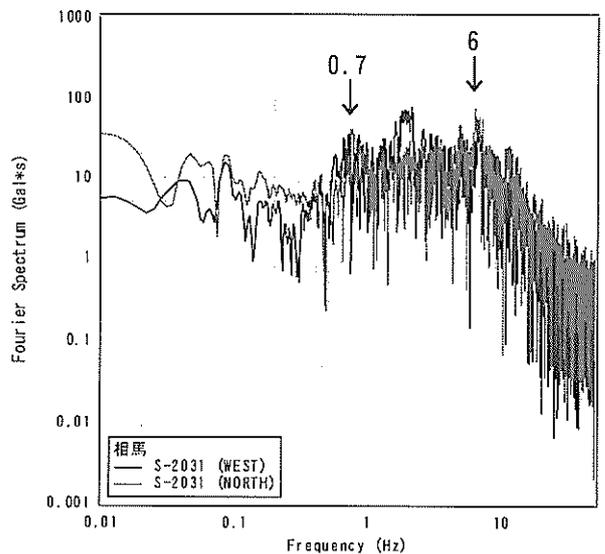


図-33 相馬-Sのフーリエスペクトル  
(1987年4月7日の地震)

(16) 小名浜港

小名浜港では1966年に第二埠頭においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(小名浜-S)。1979年に工

事事務所構内への移設が行なわれた（小名浜事・S）。その後、1995年にERS-G型強震計へ機種変更が行なわれているが（小名浜事・G）、このとき観測点は移動していない。すなわち小名浜事・Sと小名浜事・Gは同一地点である。

小名浜・Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-34に示す。小名浜・Sでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。小名浜事・S/小名浜事・Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-35に示す。小名浜事・S/小名浜事・Gでは、5Hz付近および10Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

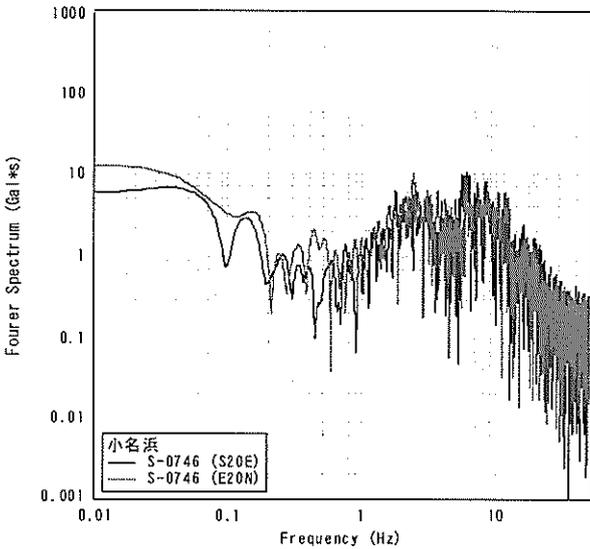


図-34 小名浜・Sのフーリエスペクトル  
(1973年7月20日の地震)

(17) 秋田港

秋田港では1965年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された（秋田・S）。1980年に事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。その後1994年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが（秋田・G）、このとき観測点は移動していない。秋田・S/秋田・Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-36に示す。この図は秋田・Sで得られた1983年日本海中部地震のものである。秋田・S/秋田・Gでは0.1Hz付近および0.4Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

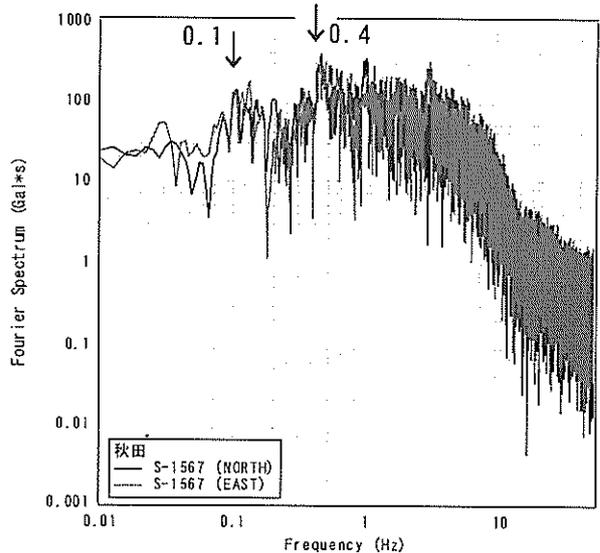


図-36 秋田・S/秋田・Sのフーリエスペクトル  
(1983年5月26日の地震/1983年日本海中部地震)

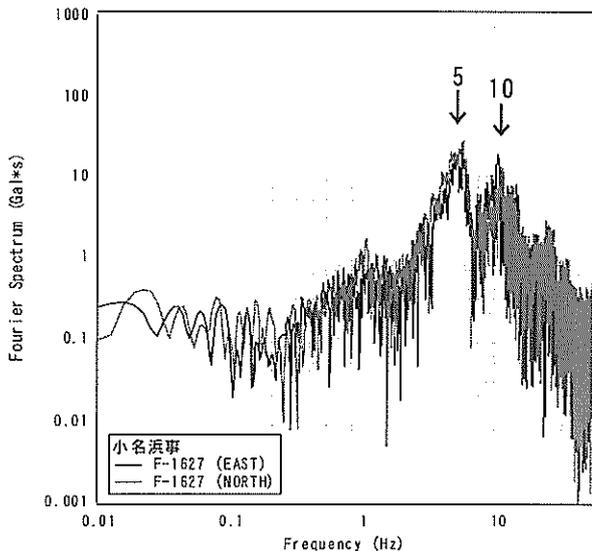


図-35 小名浜事・S/小名浜事・Gのフーリエスペクトル  
(2001年3月6日の地震)

(18) 酒田港

酒田港では1965年に光が丘第二宿舍構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された（酒田・S）。その後1996年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが（酒田・G）、このとき観測点は移動していない。2001年に工事事務所構内への移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。酒田・S/酒田・Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-37に示す。酒田・S/酒田・Gでは0.2Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

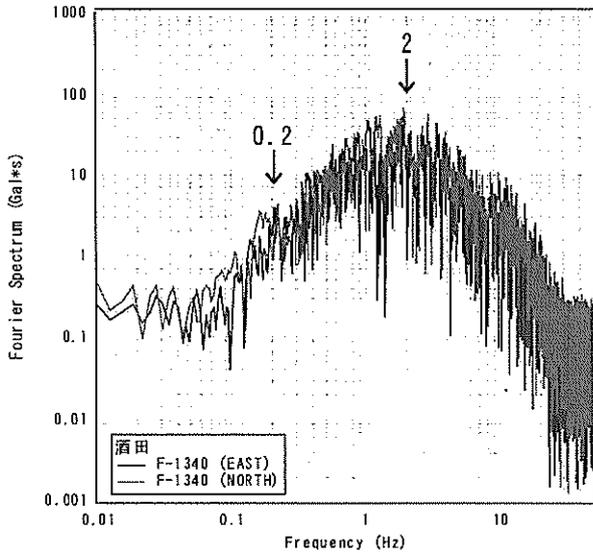


図-37 酒田-S/酒田-Gのフーリエスペクトル  
(1999年2月26日の地震)

(19) 新潟港

新潟港では1965年に工事事務所構内付近においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(新潟-S)。この地点でのデジタル記録は1つしか得られていないので、今回の検討対象から外している。1975年に工事事務所構内への移設が行なわれた(新潟事-S)。その後1992年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(新潟-G)このとき観測点は移動していない。すなわち新潟事-Sと新潟-Gは同一地点である。新潟事-S/新潟-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-38に示す。新潟事-S/新潟-Gでは0.15Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

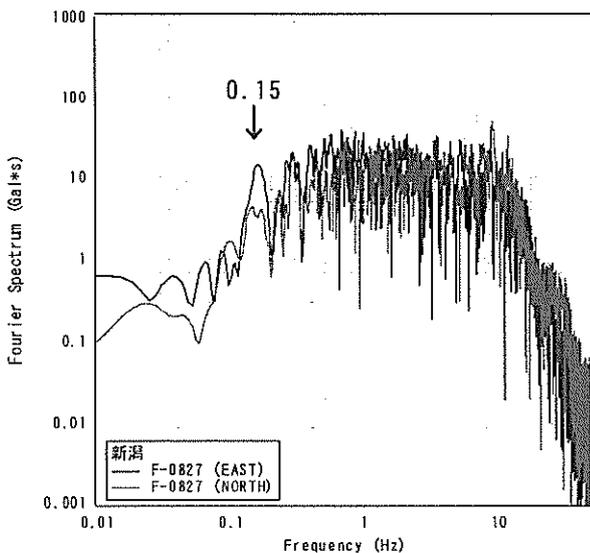


図-38 新潟事-S/新潟-Gのフーリエスペクトル  
(1995年4月1日の地震)

(20) 伏木富山港

伏木富山港では1965年に富山新港の新湊工場構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(富山-S)。その後1993年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(富山-G)、このとき観測点の移動はわずかであるので、本研究では更新前後の観測点を同一とみなす。富山-S/富山-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-39に示す。富山-S/富山-Gでは0.15Hz付近、0.7Hz付近および2.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

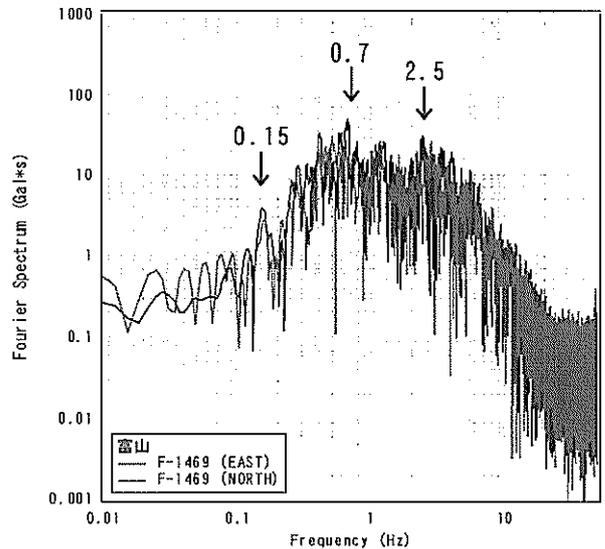


図-39 富山-S/富山-Gのフーリエスペクトル  
(2000年6月7日の地震)

(21) 金沢港

金沢港では1969年に工事事務所構内付近においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(金沢-S)。1988年に工事事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。その後1993年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(金沢-G)このとき観測点は移動していない。金沢-S/金沢-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-40に示す。この図は金沢-Gで得られた1995年兵庫県南部地震のものである。金沢-S/金沢-Gでは0.15Hz付近および1Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

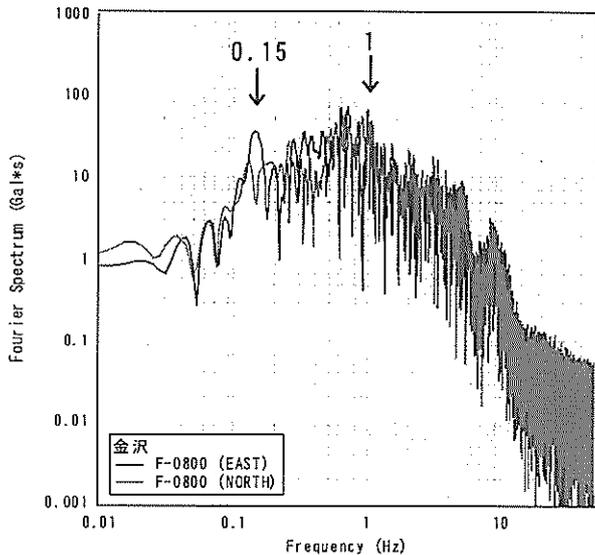


図-40 金沢-S/金沢-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月17日の地震/1995年兵庫県南部地震)

(22) 敦賀港

敦賀港では1965年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(敦賀-S)。その後1993年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(敦賀-G)、このとき観測点は移動していない。敦賀-S/敦賀-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-41に示す。敦賀-S/敦賀-Gでは1Hz付近、1.5Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

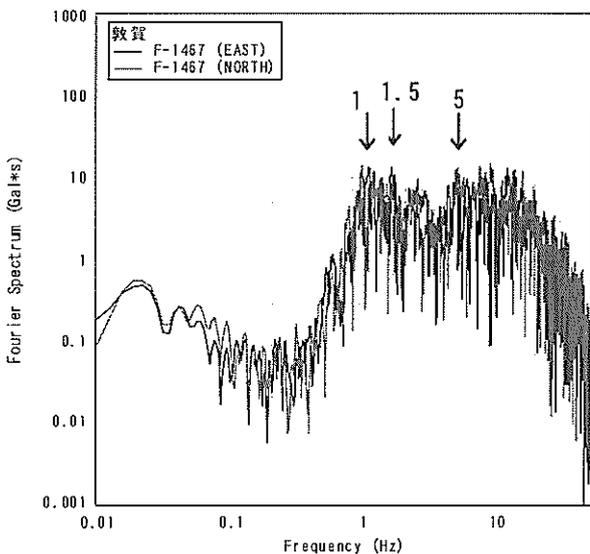


図-41 敦賀-S/敦賀-Gのフーリエスペクトル  
(2000年6月5日の地震)

(23) 常陸那珂港

常陸那珂港では1986年にケーソンヤード背後地においてERS-F型強震計により観測が開始された(常陸那珂-F)。その後2001年には、SMAC-MDU型強震計への更新が行なわれるとともに移設が行なわれている(常陸那珂-U)。常陸那珂-Fで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-42に示す。常陸那珂-Fでは0.5Hz付近および2.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。常陸那珂-Uで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-43に示す。常陸那珂-Uでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。

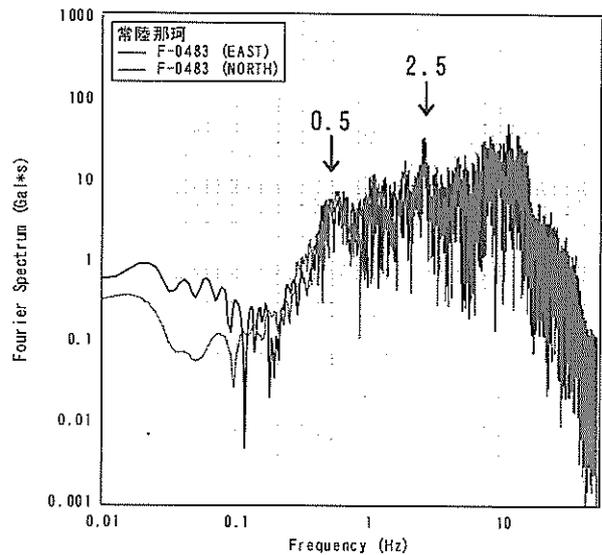


図-42 常陸那珂-Fのフーリエスペクトル  
(1992年5月11日の地震)

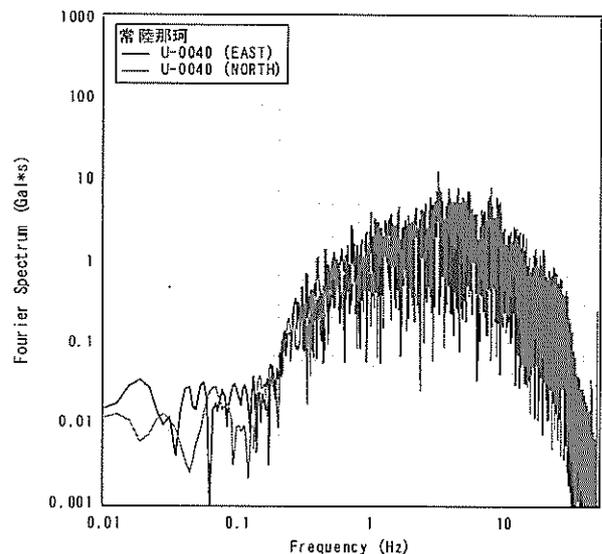


図-43 常陸那珂-Uのフーリエスペクトル  
(2001年9月4日の地震)

(24) 鹿島港

鹿島港では開港前の1966年に防波堤背後地においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(鹿島-S)。その後、1972年には事務所構内に移設が行なわれた(鹿島事-S)。1976年にはケーソンヤード背後地に移設された(鹿島造函-S)。そして、2001年にはSMAC-MDU型強震計への更新が行なわれるとともに移設が行なわれている(鹿島造函-U)。

鹿島-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-44に示す。鹿島-Sでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。鹿島事-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-45に示す。鹿島事-Sでは、1.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。鹿島造函-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-46に示す。この図は鹿島造函-Sで得られた1987年千葉県東方沖地震のものである。鹿島造函-Sでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。鹿島造函-Uで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-47に示す。鹿島造函-Uでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。以上のことから、鹿島港一帯の地盤は特定の周波数の卓越しにくい地盤であると言えるのかもしれない。

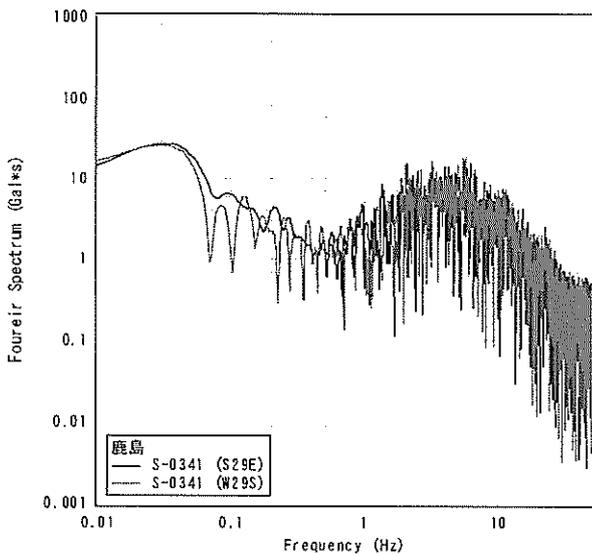


図-44 鹿島-Sのフーリエスペクトル  
(1968年7月1日の地震)

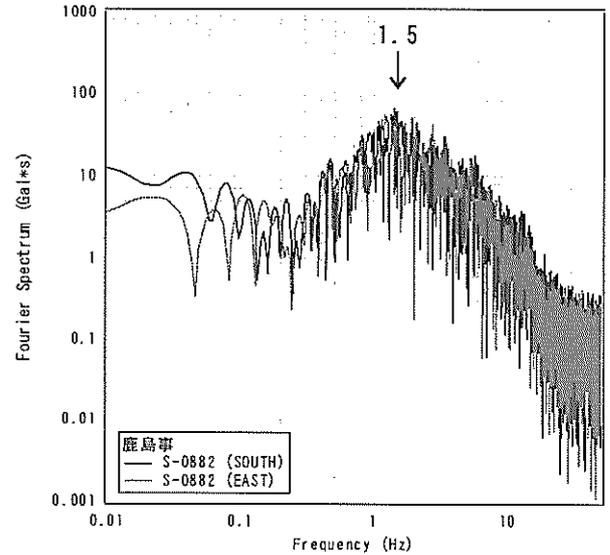


図-45 鹿島事-Sのフーリエスペクトル  
(1974年11月16日の地震)

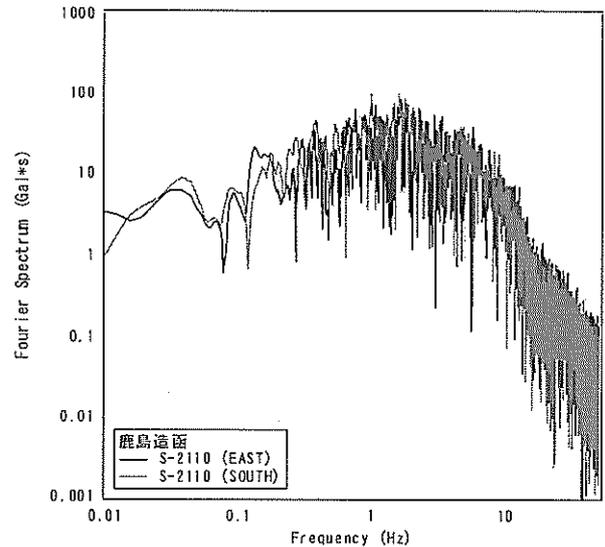


図-46 鹿島造函-Sのフーリエスペクトル  
(1987年12月17日の地震/1987年千葉県東方沖地震)

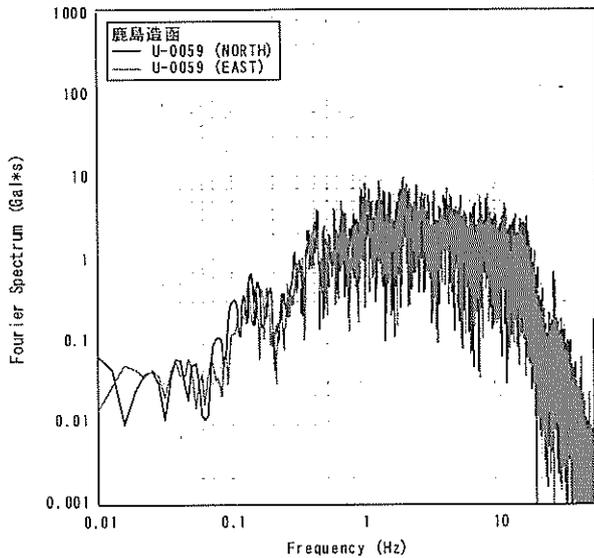


図-47 鹿島造函-Uのフーリエスペクトル  
(2001年12月2日の地震)

(25) 千葉港

千葉港では1968年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(千葉-S)。その後1997年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(千葉-G)、このとき観測点は移動していない。千葉-S/千葉-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-48に示す。千葉-S/千葉-Gでは0.2Hz付近および1.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

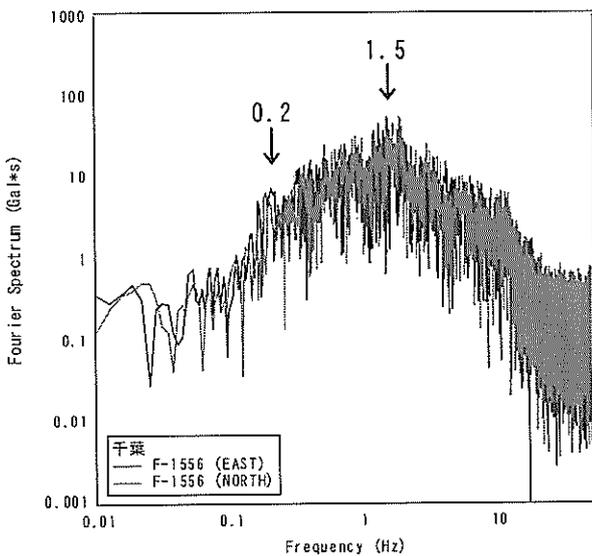


図-48 千葉-S/千葉-Gのフーリエスペクトル  
(2000年6月3日の地震)

(26) 東京港

東京港では1966年に品川埠頭においてSMAC-B2型強

震計により観測が開始された(品川-S)。1968年に埠頭内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。その後1994年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(品川-G)、このとき観測点は移動していない。品川-S/品川-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-49に示す。品川-S/品川-Gでは2Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

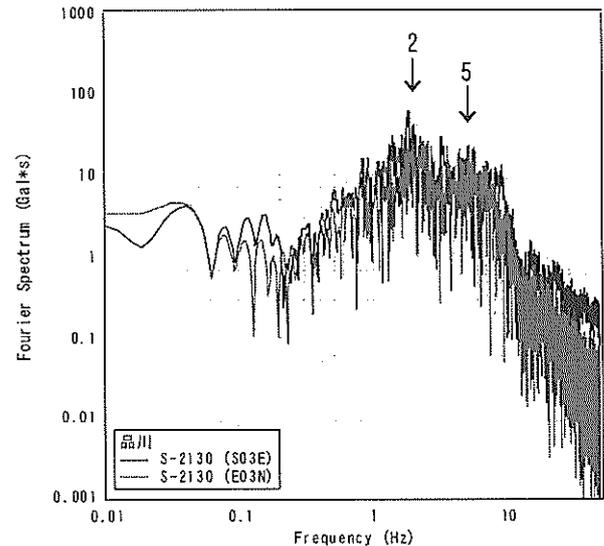


図-49 品川-S/品川-Gのフーリエスペクトル  
(1988年3月18日の地震)

(27) 川崎港

川崎港では1964年に市営埠頭第5バース背後地においてERS-A型強震計により観測が開始された(川崎地-M)。1972年にはERS-B型への改造が行われている。その後、1987年に観測を終了している。同年、同じ場所でERS-F型強震計により観測を再開した(川崎-F)。その後、2000年にERS-G型強震計への更新が行なわれたが(川崎-G)、このとき観測点は移動していない。川崎地-M/川崎-F/川崎-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-50に示す。川崎地-M/川崎-F/川崎-Gでは0.9Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

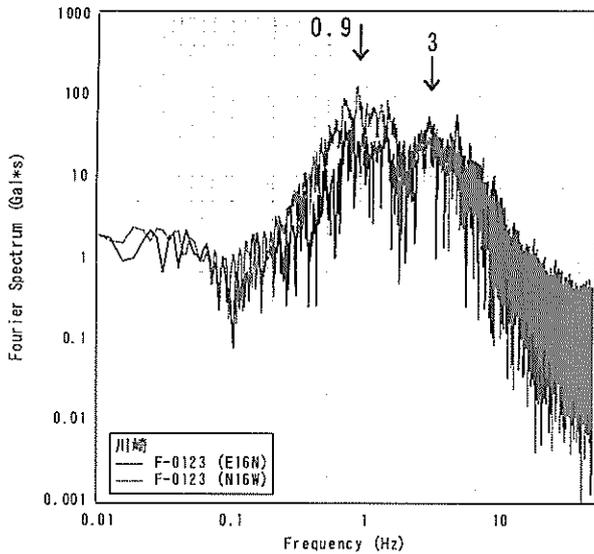


図-50 川崎地-M/川崎-F/川崎-Gのフーリエスペクトル  
(1988年3月18日の地震)

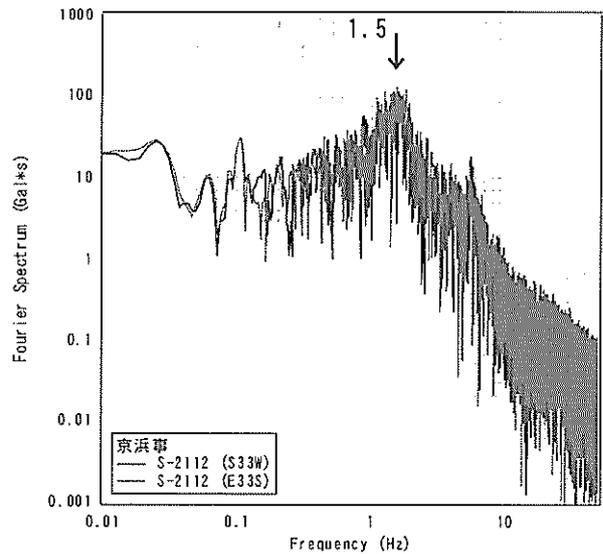


図-51 京浜事-Sのフーリエスペクトル  
(1987年12月17日の地震/1987年千葉県東方沖地震)

(28) 横浜港

横浜港では1963年に京浜港工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(京浜事-S)。同年、山下埠頭変電所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(山下変-S)。その後、1975年に山下埠頭変電所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された(山下変-M)。この2つの変電所構内の観測点は、本研究では同一地点として取り扱う。1987年には山下埠頭第7バースでERS-F型強震計により観測を開始している(山下-F)。1989年には山下変-S、山下変-Mでの観測を終了した。また、1995年には京浜事-Sでの観測を終了している。

京浜事-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-51に示す。京浜事-Sでは1.5Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。山下変-S/山下変-Mで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-52に示す。山下変-S/山下変-Mでは、2Hz付近および4Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。山下-Fで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-53に示す。山下-Fでは2Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。図-51~53は全て1987年千葉県東方沖地震の記録のフーリエスペクトルである。このスペクトルの違いから、強震記録にみる卓越周波数は観測点で多少違いがあると言える。

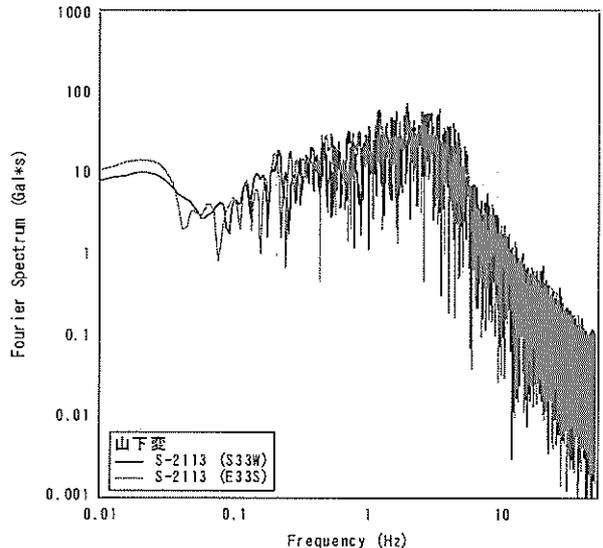


図-52 山下変-S/山下変-Mのフーリエスペクトル  
(1987年12月17日の地震/1987年千葉県東方沖地震)

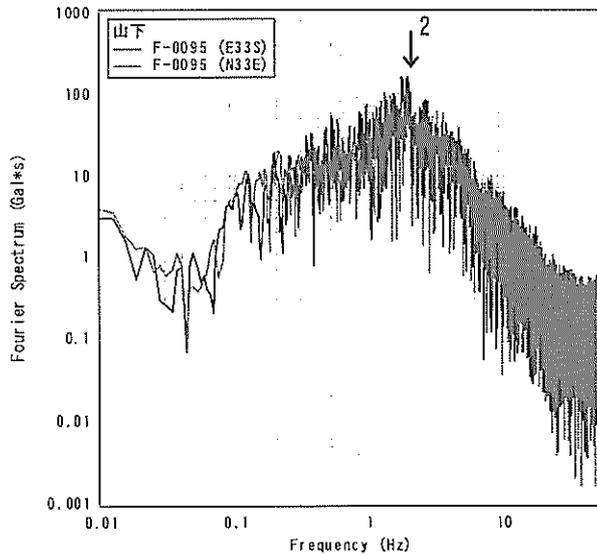


図-53 山下-Fのフーリエスペクトル  
(1987年12月17日の地震/1987年千葉県東方沖地震)

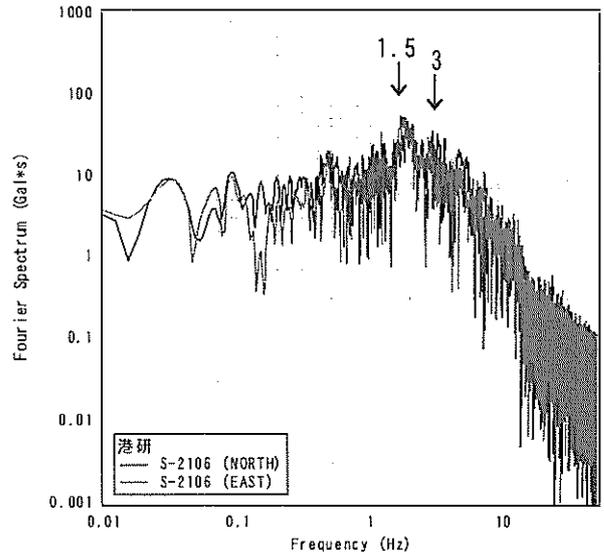


図-54 港研-S/港研-M/港研-G/港研-Uの  
フーリエスペクトル  
(1987年12月17日の地震/1987年千葉県東方沖地震)

#### (29) 横須賀港

ここでは横須賀港としてあるが、港湾空港技術研究所構内の観測点のことである。1963年に旧運輸省港湾技術研究所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(港研-S)。1964年には同地点においてERS-A型強震計により観測が開始された(港研-M)。1966年には研究所構内にて両強震計の移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1972年にはERS-A型強震計をERS-B型強震計に改造した。また、1981年にはERS-B型強震計をERS-C型強震計に改造した。1992年にはERS-C型強震計からERS-G型強震計への更新が行なわれた(港研-G)。2000年には港研-Sが観測を終了している。2001年には同地点にてSMAC-MDU型強震計により観測を開始している(港研-U)。これらの観測点は本研究では全て同一地点であるとみなす。

港研-S/港研-M/港研-G/港研-Uで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-54に示す。この図は港研-Sで得られた1987年千葉県東方沖地震のものである。港研-S/港研-M/港研-G/港研-Uでは1.5Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

#### (30) 下田港

下田港では1988年に下田港事務所構内においてERS-F型強震計により観測が開始された(下田-F)。2001年12月末までに移設や機種変更は行なわれていない。下田-Fで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-55に示す。下田-Fでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。

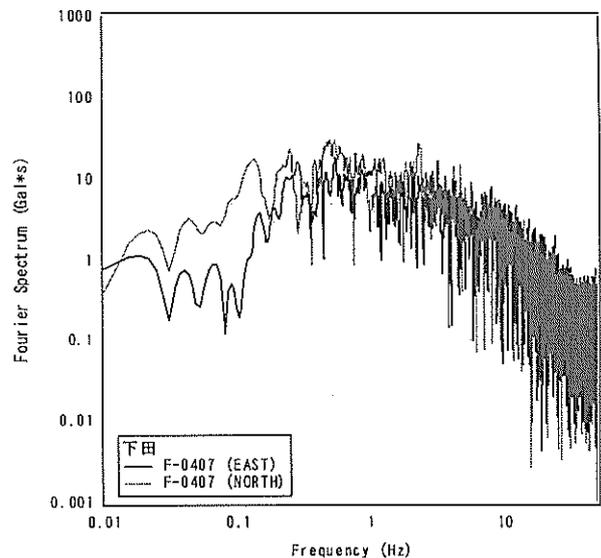


図-55 下田-Fのフーリエスペクトル  
(1990年2月20日の地震)

#### (31) 田子の浦港

田子の浦港では1968年に田子の浦港管理事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(田子

の浦-S). 1995年に事務所の移設に伴い強震計の移設が行なわれたが, 本研究では移設前後の観測点を同一とみなす. 田子の浦-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-56に示す. 田子の浦-Sでは0.8Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる.

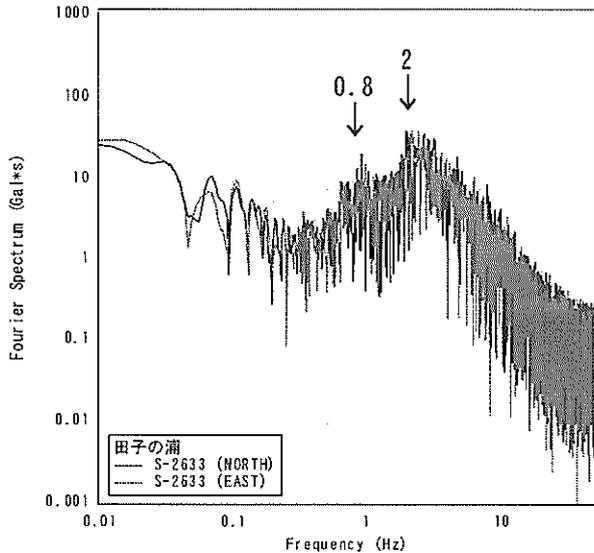


図-56 田子の浦-Sのフーリエスペクトル  
(1995年4月18日の地震)

### (32) 清水港

清水港では1963年に石炭埠頭背後地の清水工場構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(清水工場-S). 1966年には現在の興津清見寺清見潟公園である当時の工事課の敷地内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(興津-S). 1970年には清水工場-Sが100mほど移設されたが, 本研究では移設前後の観測点を同一とみなす. 1971年には興津-Sの工事課構内での移設が行なわれた. 本研究では移設前後の観測点を同一とみなす. 1974年には三保のケーソンヤード構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(清水三保-S). 1977年には再び興津-Sが移設されている. この時点では公園になっているが, その公園内での移設であるので, 本研究では移設前後の観測点を同一とみなす. 1995年になり, 清水工場-Sと興津-Sは観測を終了している. 続く1996年には清水三保-Sも観測を終了している. そして, その同じケーソンヤード構内においてERS-G型強震計により観測を開始している(清水-G). 2001年には工事事務所構内においてSMAC-MDU型強震計により観測が開始された(清水日の出-U).

清水工場-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-57に示す. この図は清水工場-Sで得られた1978

年伊豆大島近海地震のものである. 清水工場-Sでは, 0.8Hz付近および1Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる. 興津-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-58に示す. この図は興津-Sで得られた1978年伊豆大島近海地震のものである. 興津-Sでは, 0.7Hz付近および1.2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる. 清水三保-S/清水-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-59に示す. この図は清水三保-Sで得られた1978年伊豆大島近海地震のものである. 清水三保-S/清水-Gでは, 0.4Hz付近, 1Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる. 清水日の出-Uで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-60に示す. 清水日の出-Uでは, 1.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる. 以上のことから, 強震記録にみる卓越周波数は観測点で変化があると言える. 特に図-57~59はともに1978年伊豆大島近海地震の記録のフーリエスペクトルであることを考えると, 同じ地震でも観測点によって卓越周波数が異なることがわかる.

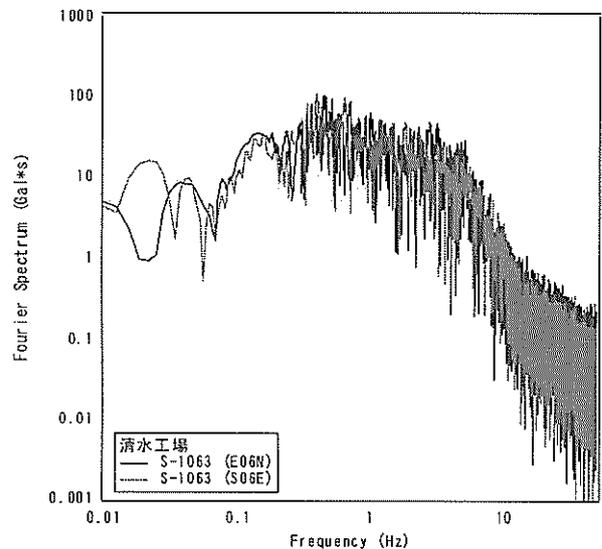


図-57 清水工場-Sのフーリエスペクトル  
(1978年1月14日の地震/1978年伊豆大島近海地震)

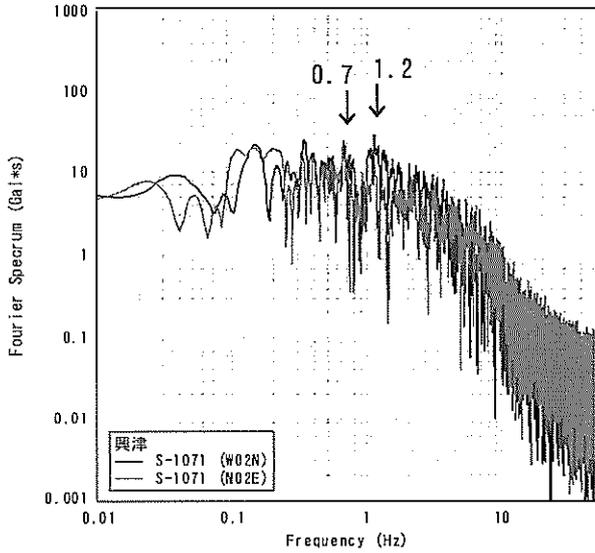


図-58 興津-Sのフーリエスペクトル  
(1978年1月14日の地震/1978年伊豆大島近海地震)

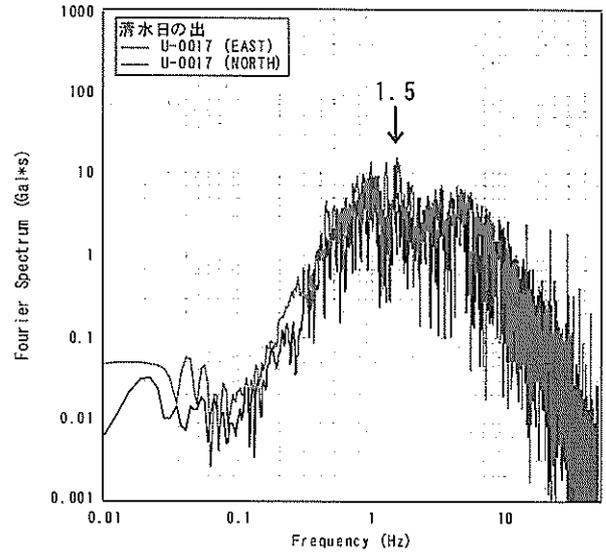


図-60 清水日の出-Uのフーリエスペクトル  
(2001年6月1日の地震)

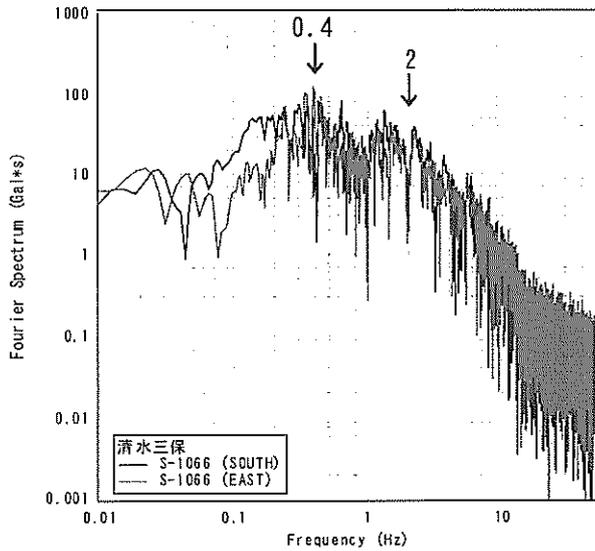


図-59 清水三保-S/清水-Gのフーリエスペクトル  
(1978年1月14日の地震/1978年伊豆大島近海地震)

### (33) 御前崎港

御前崎港では1978年に御前崎港事務所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された(御前崎-M)。1979年に事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。その後2000年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(御前崎-G)、このとき観測点は移動していない。御前崎-M/御前崎-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-61に示す。御前崎-M/御前崎-Gでは1.5Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

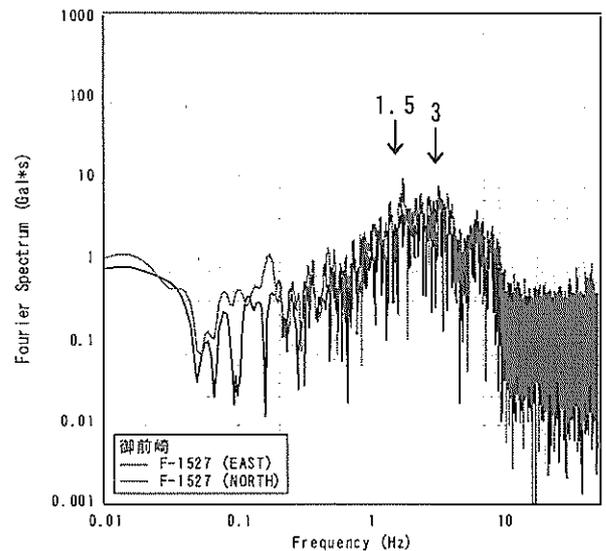


図-61 御前崎-M/御前崎-Gのフーリエスペクトル  
(2000年9月11日の地震)

(34) 三河港

三河港では1993年に工事事務所構内においてERS-G型強震計により観測が開始された(三河-G)。2001年12月末までに移設や機種変更は行なわれていない。三河-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-62に示す。三河-Gでは1Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

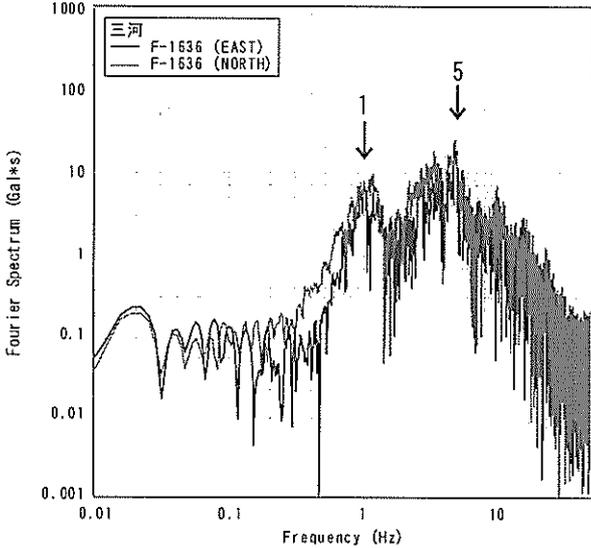


図-62 三河-Gのフーリエスペクトル  
(2001年2月23日の地震)

(35) 衣浦港

衣浦港では1968年に衣浦港事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(衣浦-S)。1976年には事務所の移転に伴い強震計の移設が行なわれた(衣浦事-S)。衣浦-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-63に示す。衣浦-Sでは0.5Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。衣浦事-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-64に示す。衣浦事-Sでは0.3Hz付近、1.5Hz付近および4Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このスペクトルの違いから、強震記録にみる卓越周波数は移設前後で変化があると言える。

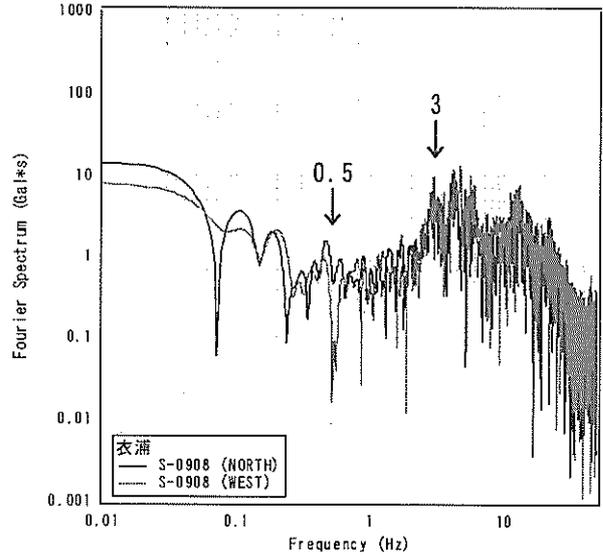


図-63 衣浦-Sのフーリエスペクトル  
(1975年3月14日の地震)

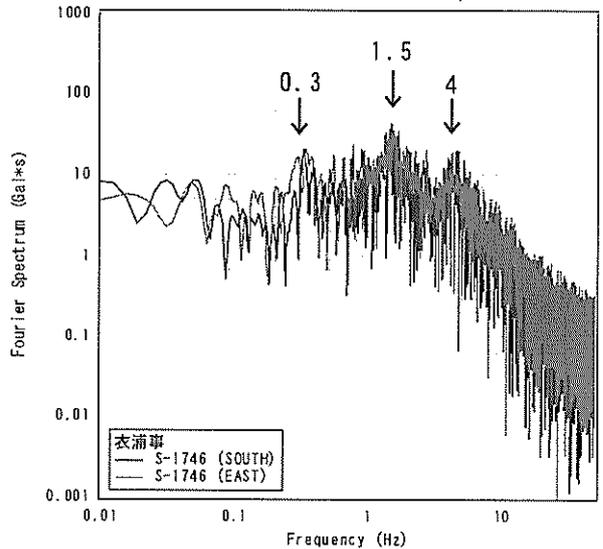


図-64 衣浦事-Sのフーリエスペクトル  
(1984年9月14日の地震)

(36) 名古屋港

名古屋港では1968年に稲永第二埠頭背後地の造函工場構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(名古屋造函-S)。1969年には第二修築事務所構内への移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1995年には名古屋造函-Sの観測が終了した。同年、金城埠頭分室構内においてERS-G型強震計により観測を開始した(名古屋空見-G)。

名古屋造函-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-65に示す。名古屋造函-Sでは1Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。名古屋空見-Gで得られた記録のフーリエ

ベクトルの代表例を図-66に示す。名古屋空見-Gでは0.25Hz付近、1Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

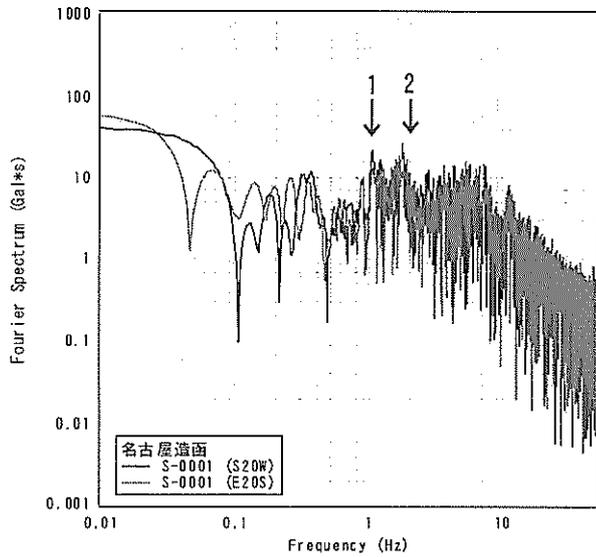


図-65 名古屋造函-Sのフーリエスペクトル  
(1963年3月27日の地震)

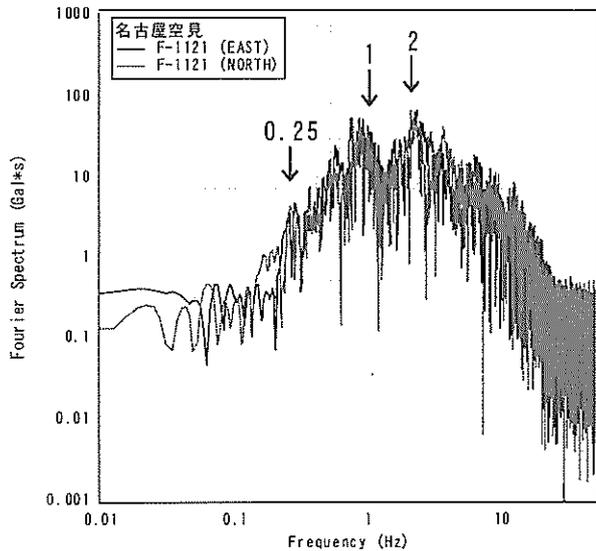


図-66 名古屋空見-Gのフーリエスペクトル  
(1997年3月16日の地震)

表例を図-67に示す。四日市市事-Sでは複数の記録のスペクトルに共通して認められるピークが無い。四日市千歳-S/四日市-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-68に示す。四日市千歳-S/四日市-Gでは1.2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

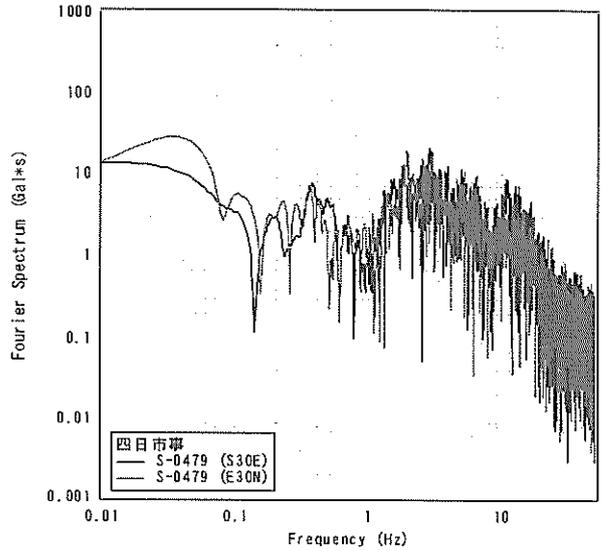


図-67 四日市市事-Sのフーリエスペクトル  
(1969年9月9日の地震)

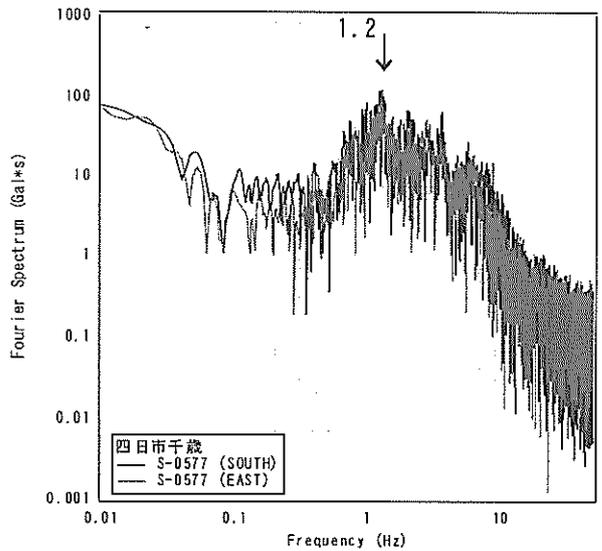


図-68 四日市千歳-S/四日市-Gのフーリエスペクトル  
(1971年1月5日の地震)

(37) 四日市港

四日市港では1964年に大浜町にあった当時の工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(四日市市事-S)。その後、1969年には事務所の移転に伴い強震計の移設を行なった(四日市千歳-S)。1997年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(四日市-G)、このとき観測点の移動はわずかである。本研究では四日市千歳-Sと四日市-Gは同一地点であるとみなす。

四日市市事-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代

(38) 和歌山港

和歌山港では1965年に当時の工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(和歌山市事-S)。その後、1975年には事務所の移転に伴い強震計の移設を行なった(和歌山-S)。1992年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(和歌山-G)、このとき観測点は移動していない。すなわち和歌山-Sと和歌山-Gは同一地点

である。

和歌山事-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-69に示す。和歌山事-Sでは4Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。和歌山-S/和歌山-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-70に示す。この図は和歌山-S/和歌山-Gで得られた1995年兵庫県南部地震のものである。和歌山-S/和歌山-Gでは0.5Hz付近、0.7Hz付近、1.2Hz付近、2Hz付近及び5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このスペクトルの違いから、強震記録にみる卓越周波数は移設前後で変化があると言える。

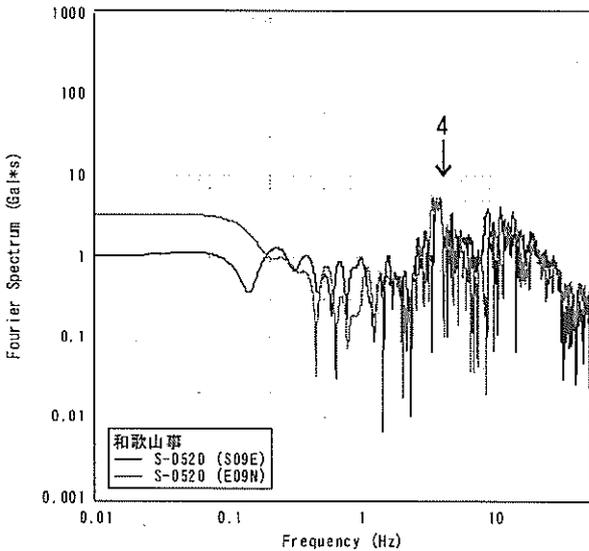


図-69 和歌山事-Sのフーリエスペクトル  
(1969年7月9日の地震)

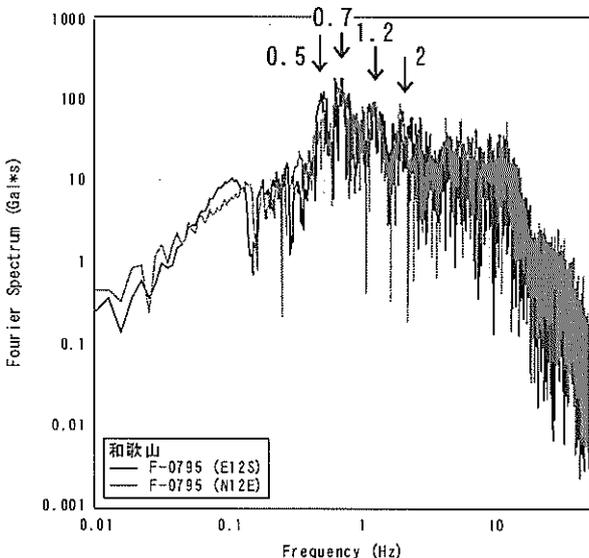


図-70 和歌山-S/和歌山-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月17日の地震/1995年兵庫県南部地震)

(39) 大阪港

大阪港では1965年に第一突堤現場事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(大阪事-S)。1973年に施設保全事務所構内への移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1991年にはかもめ臨海緑地内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(大阪南-S)。この観測点ではデジタル記録は得られていない。その後1995年には両観測点ともERS-G型強震計への更新が行なわれたが、(大阪事-G)、(大阪南-G)このとき観測点は移動していない。

大阪事-S/大阪事-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-71に示す。この図は大阪事-S/大阪事-Gで得られた1995年兵庫県南部地震のものである。大阪事-S/大阪事-Gでは0.15Hz付近、0.2Hz付近および0.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。大阪南-S/大阪南-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-72に示す。大阪南-S/大阪南-Gでは0.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

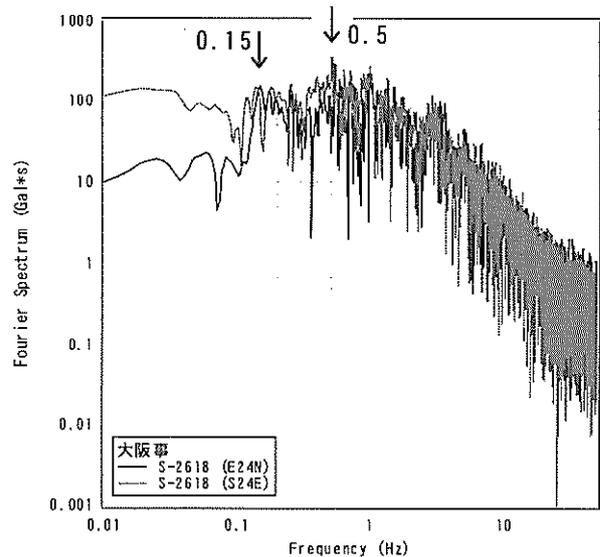


図-71 大阪事-S/大阪事-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月17日の地震/1995年兵庫県南部地震)

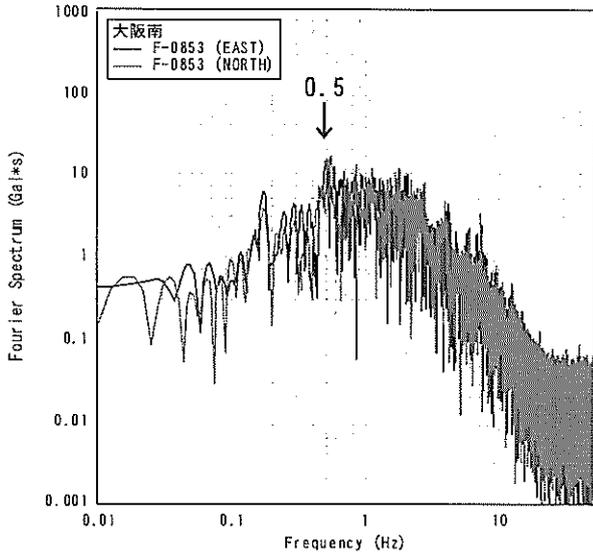


図-72 大阪南-S/大阪南-Gのフーリエスペクトル  
(1995年4月6日の地震)

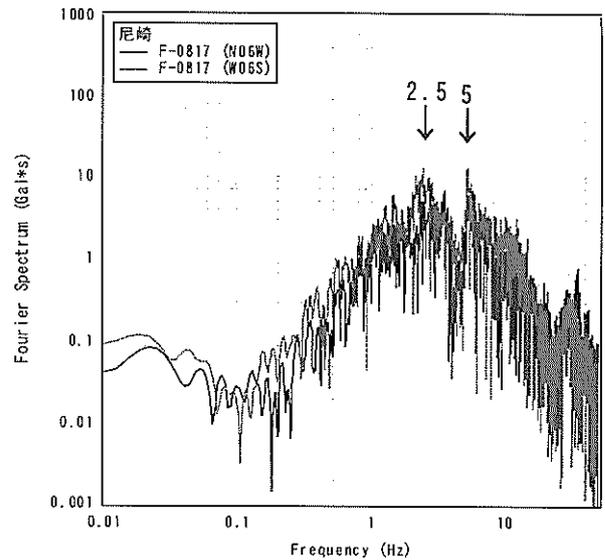


図-73 尼崎-S/尼崎-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月23日の地震)

#### (40) 尼崎西宮芦屋港

尼崎西宮芦屋港では1972年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(尼崎-S)。その後、1993年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(尼崎-G)、このとき観測点は移動していない。1998年には西宮市甲子園浜地区緑地へ強震計の移設を行なった(西宮-G)。

尼崎-S/尼崎-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-73に示す。尼崎-S/尼崎-Gでは1.2Hz付近、2.5Hz付近および5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。西宮-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-74に示す。この図は西宮-Gで得られた2000年鳥取県西部地震のものである。西宮-Gでは0.2Hz付近および0.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。このスペクトルの違いから、強震記録にみる卓越周波数は移設前後で変化があると言える。

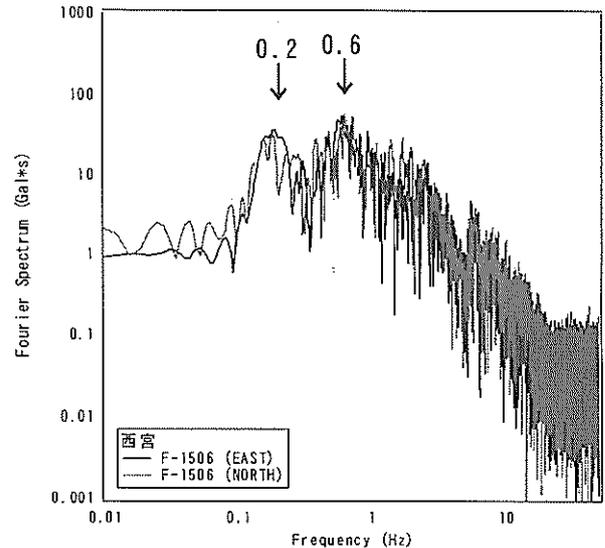


図-74 西宮-Gのフーリエスペクトル  
(2000年10月6日の地震/2000年鳥取県西部地震)

#### (41) 神戸港

神戸港では1963年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(神戸事-S)。1996年には工事事務所構内においてERS-G型強震計を設置して観測を開始している(神戸-G)。また、同年六甲アイランドの野鳥観察園内においてERS-G型強震計を設置して観測を開始している(六甲-G)。神戸事-Sは1998年に観測を終了している。神戸事-Sと神戸-Gは設置箇所がほぼ同じであるので地盤状況も同じと判断して、ここでは同一地点として取り扱っている。

神戸事-S/神戸-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-75に示す。神戸事-S/神戸-Gでは3Hz付近お

よび5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。六甲-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-76に示す。この図は六甲-Gで得られた2001年芸予地震のものである。六甲-Gでは0.5Hz付近および0.8Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。また、神戸事-Sでは1995年兵庫県南部地震の記録も得られている。この記録のフーリエスペクトルを図-77に示す。この記録のフーリエスペクトルのピークは1Hzより低いところに見られ、他のフーリエスペクトルとは大きく異なる。

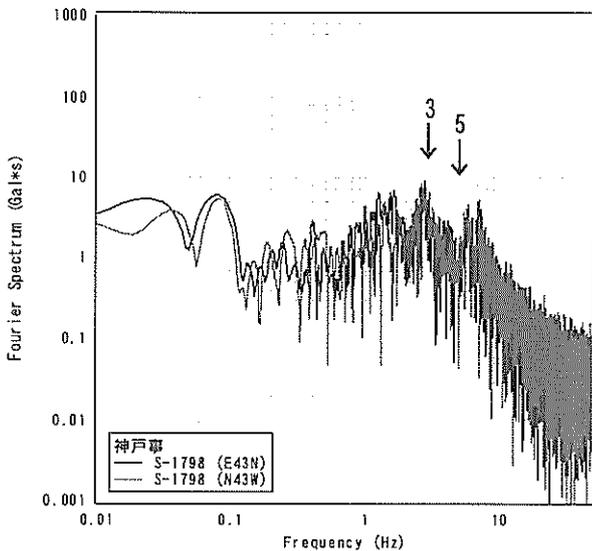


図-75 神戸事-S/神戸-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月23日の地震)

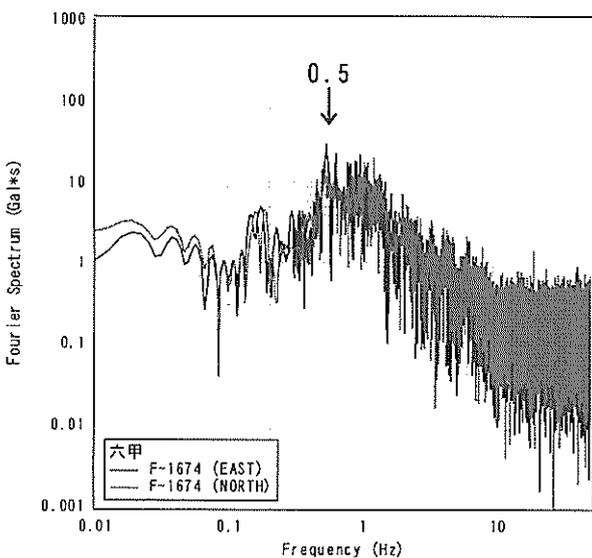


図-76 六甲-Gのフーリエスペクトル  
(2001年3月24日の地震/2001年芸予地震)

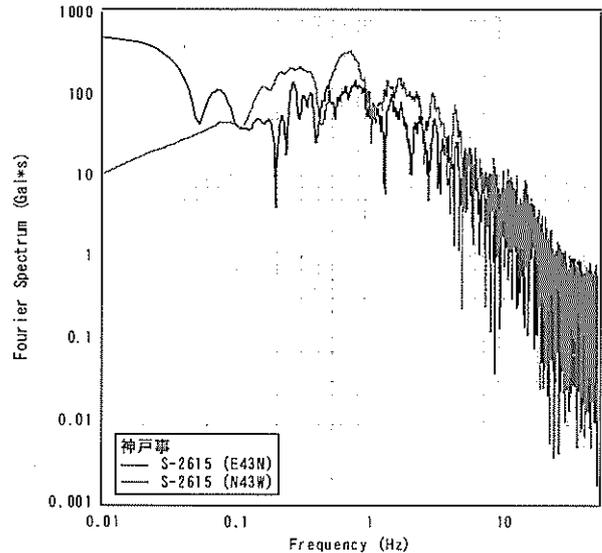


図-77 1995年兵庫県南部地震の記録のフーリエスペクトル

#### (42) 境港

境港では1966年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(境港-S)。境港-Sはデジタル記録が得られていないので今回の検討の対象から外している。1976年には事務所の移転とともに強震計が移設された(境港事-S)。その後、1993年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(境港-G)、このとき観測点は移動していない。すなわち境港事-Sと境港-Gは同一地点である。

境港事-Sと境港-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-78および図-79に示す。図-78は境港-Gで得られた2000年鳥取県西部地震のものであり、図-79は境港-Gで得られた2001年芸予地震のものである。境港事-Sと境港-Gでは0.6Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

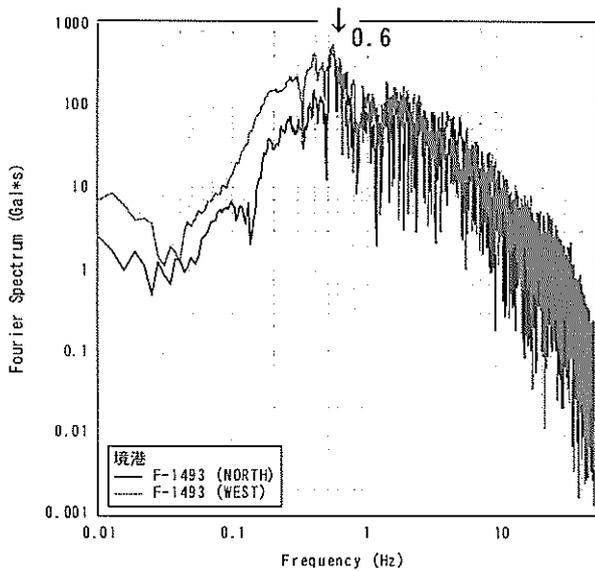


図-78 境港事-S/境港-Gのフーリエスペクトル  
(2000年10月6日の地震/2000年鳥取県西部地震)

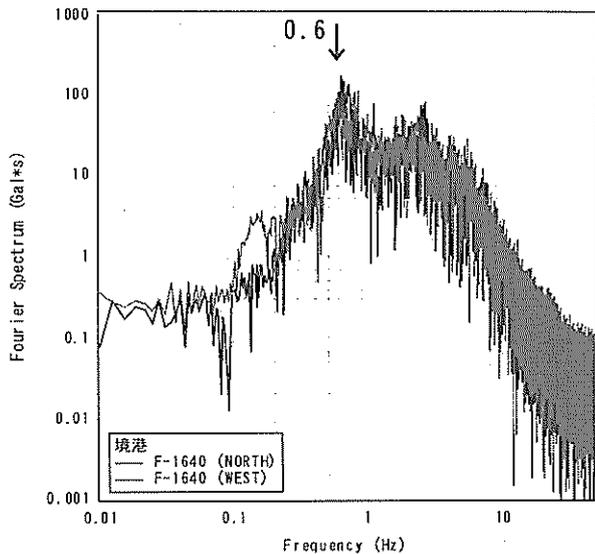


図-79 境港事-S/境港-Gのフーリエスペクトル  
(2001年3月24日の地震/2001年芸予地震)

付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

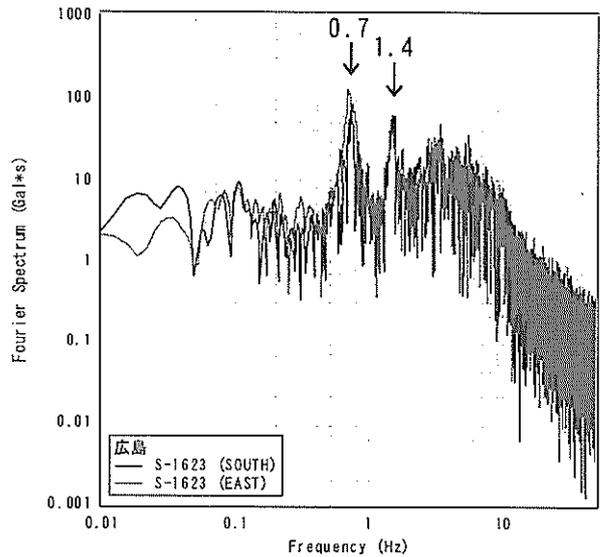


図-80 広島-Sのフーリエスペクトル  
(1983年8月26日の地震)

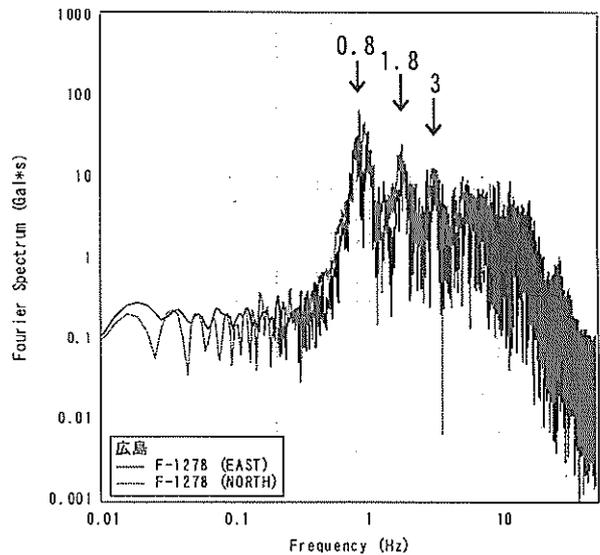


図-81 広島-Gのフーリエスペクトル  
(1998年5月23日の地震)

#### (43) 広島港

広島港では1965年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(広島-S)。1993年には事務所の移転とともに強震計が移設され、その際に強震計はERS-G型強震計への更新も行なわれた(広島-G)。

広島-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-80に示す。広島-Sでは0.7Hz付近および1.4Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。広島-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-81および図-82に示す。図-82は広島-Gで得られた2001年芸予地震のものである。広島-Gでは0.8Hz付近、1.8Hz

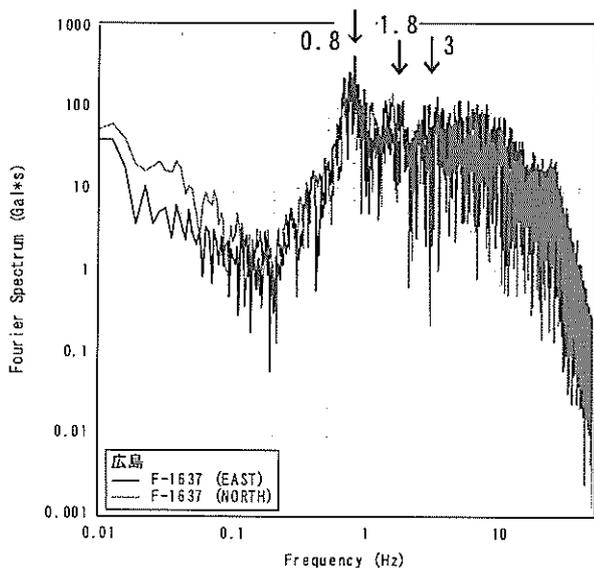


図-82 広島-Gのフーリエスペクトル  
(2001年3月24日の地震/2001年芸予地震)

(44) 徳島小松島港

徳島小松島港では1968年に津田町の工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(小松島-S)。1992年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(小松島津田-G)、このとき観測点は移動していない。その後、1995年には市営グラウンドに移設が行なわれている(小松島-G)。すなわち小松島-Sと小松島津田-Gは同一地点である。

小松島-S/小松島津田-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-83に示す。この図は小松島津田-Gで得られた1995年兵庫県南部地震のものである。小松島-S/小松島津田-Gでは0.9Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。小松島-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-84に示す。この図は小松島-Gで得られた2000年鳥取県西部地震のものである。小松島-Gでは3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

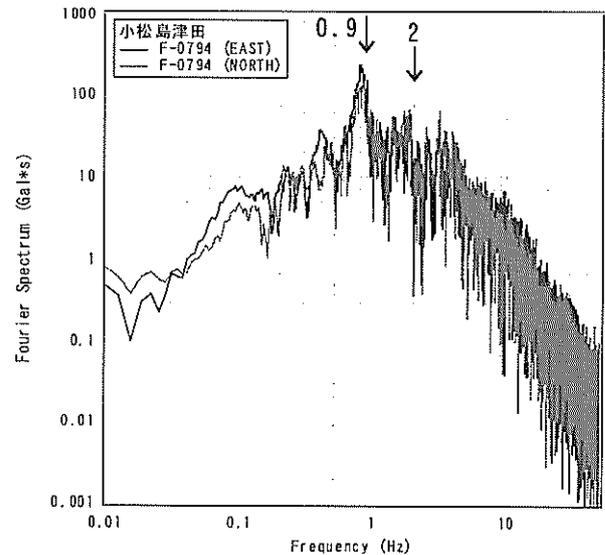


図-83 小松島-S/小松島津田-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月17日の地震/1995年兵庫県南部地震)

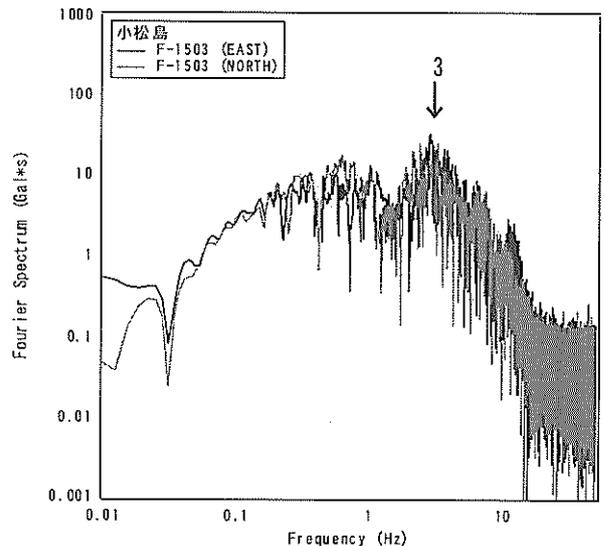


図-84 小松島-Gのフーリエスペクトル  
(2000年10月6日の地震/2000年鳥取県西部地震)

(45) 高知港

高知港では1964年に当時栈橋通りにあった工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(高知-S)。1978年には種崎にある現工事事務所の構内に移設している(高知事-S)。1992年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(高知-G)、このとき観測点は移動していない。すなわち高知事-Sと高知-Gは同一地点である。

高知-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-85に示す。高知-Sでは1.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。高知事-S/高知-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図

-86に示す。この図は高知事-S/高知-Gで得られた2000年鳥取県西部地震のものである。高知事-S/高知-Gでは1.2Hzおよび3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

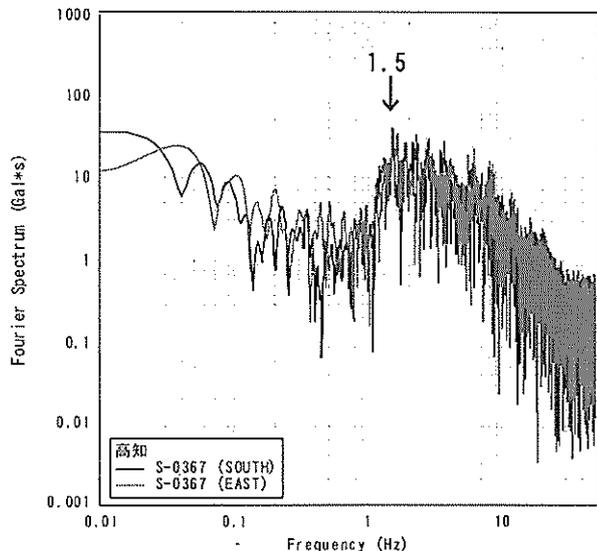


図-85 高知-Sのフーリエスペクトル  
(1968年8月6日の地震)

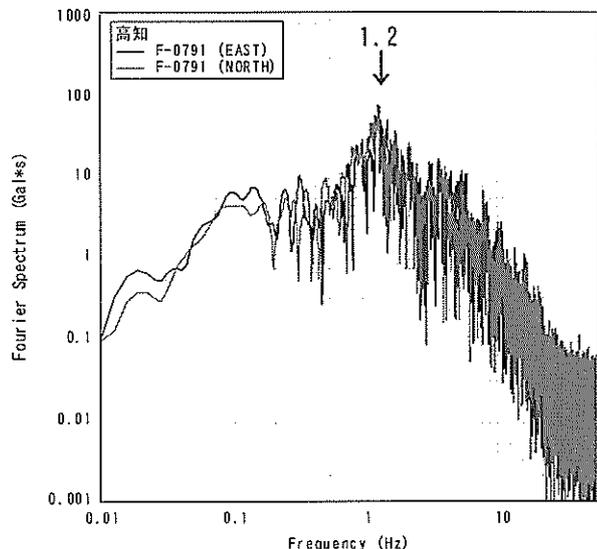


図-86 高知事-S/高知-Gのフーリエスペクトル  
(1995年1月17日の地震/1995年兵庫県南部地震)

(46) 松山港

松山港では1972年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(松山-S)。1992年にはERS-G型強震計への更新が行なわれたが(松山-G)、このとき観測点は移動していない。

松山-S/松山-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-87に示す。松山-S/松山-Gでは1Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して

認められる。また、松山-Gでは2001年芸予地震の記録も得られている。この記録のフーリエスペクトルを図-88に示す。このときのフーリエスペクトルのピークは1Hzよりやや低いところに見られる。これは表層地盤の非線形挙動に起因するものではないかと思われる。

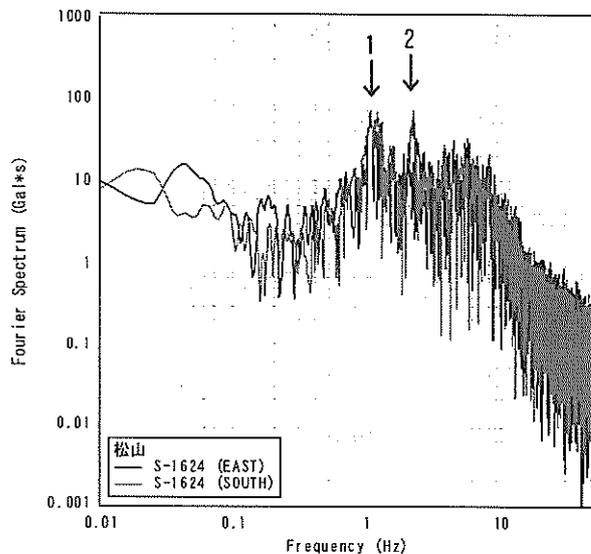


図-87 松山-S/松山-Gのフーリエスペクトル  
(1983年8月26日の地震)

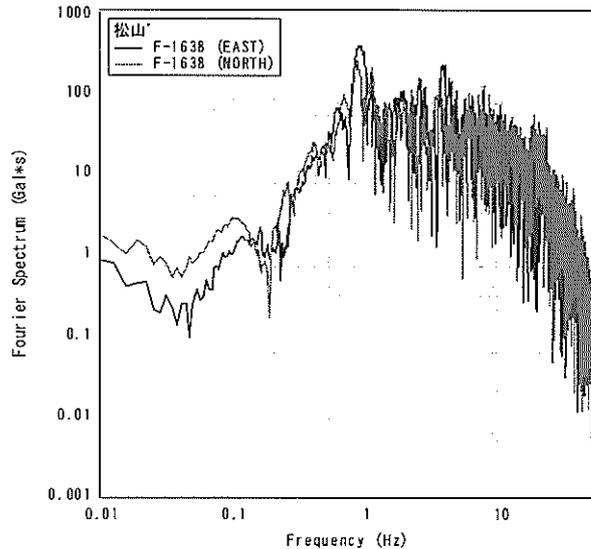


図-88 2001年芸予地震の記録のフーリエスペクトル

(47) 大分港

大分港では1972年に大分市政所にある宿舍用地においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(大分-S)。1992年には工事事務所の構内に移設した際に、ERS-G型強震計への更新を行なった(大分-G)。

大分-Sで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-89に示す。この図は大分-Sで得られた1984年日向灘地震のものである。大分-Sでは0.3Hz付近および4Hz付近

のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。大分-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-90に示す。大分-Gでは0.3Hz付近、1.2Hz付近および3Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

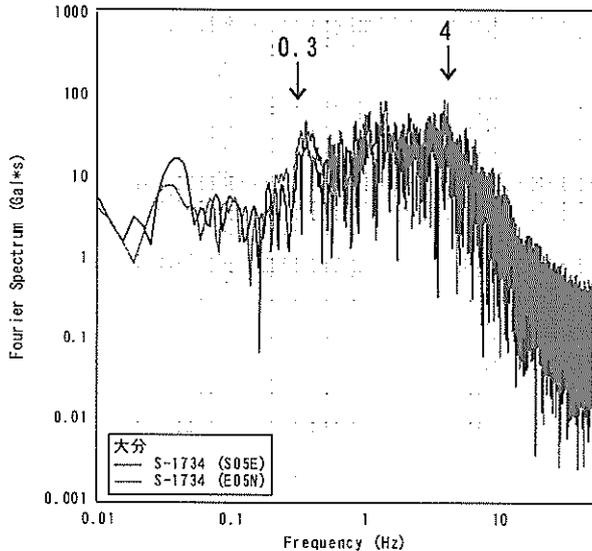


図-89 大分-Sのフーリエスペクトル  
(1984年8月7日の地震/1984年日向灘地震)

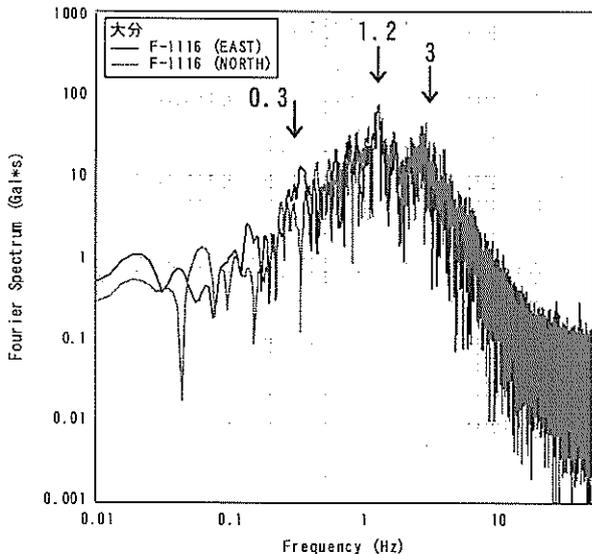


図-90 大分-Gのフーリエスペクトル  
(1996年12月3日の地震)

(48) 細島港

細島港では1965年に港湾事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(細島-S)。1977年には事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1990年にはERS-F型強震計への更新を行なったが(細島-F)、このとき観測点は移動していない。さらに1998年にはERS-G型

強震計への更新を行なったが(細島-G)、このときも観測点は移動していない。

細島-S/細島-F/細島-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-91に示す。細島-S/細島-F/細島-Gでは1Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

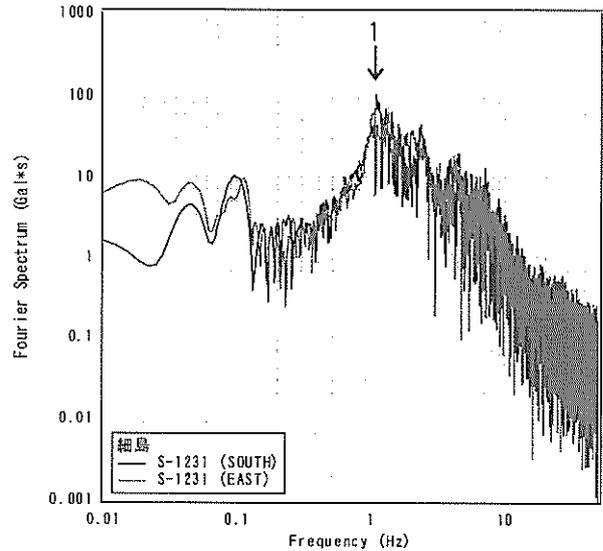


図-91 細島-S/細島-F/細島-Gのフーリエスペクトル  
(1978年7月8日の地震)

(49) 宮崎港

宮崎港では1975年に港湾事務所構内においてERS-C型強震計により観測が開始された(宮崎-M)。1994年にはERS-G型強震計への更新を行なったが(宮崎-G)、このとき観測点は移動していない。

宮崎-M/宮崎-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-92に示す。宮崎-M/宮崎-Gでは2.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

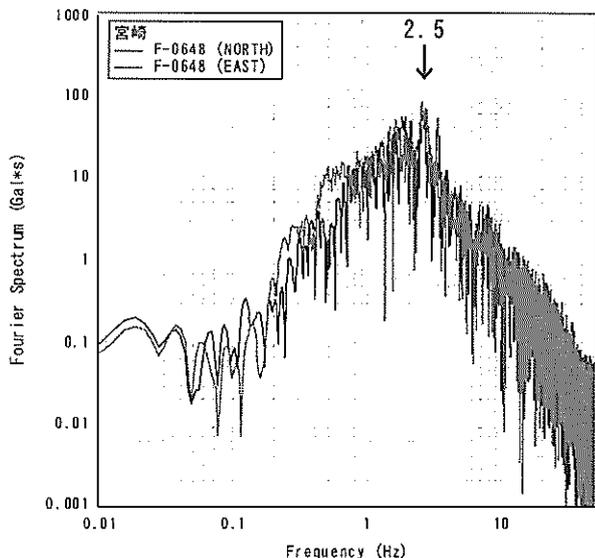


図-92 宮崎-M/宮崎-Gのフーリエスペクトル  
(1994年4月30日の地震)

(50) 志布志港

志布志港では1981年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(志布志-S)。1993年にはERS-G型強震計への更新を行なったが(志布志-G)、このとき観測点は移動していない。

志布志-S/志布志-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-93に示す。志布志-S/志布志-Gでは0.5Hz付近、1Hz付近および2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

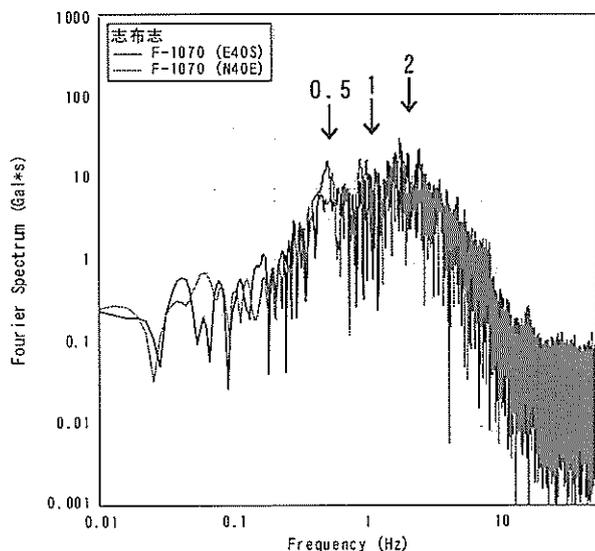


図-93 志布志-S/志布志-Gのフーリエスペクトル  
(1996年12月3日の地震)

(51) 鹿児島港

鹿児島港では1962年に工事事務所構内において

SMAC-B2型強震計により観測が開始された(鹿児島-S)。1976年には事務所構内での移設が行なわれたが、本研究では移設前後の観測点を同一とみなす。1992年にはERS-G型強震計への更新を行なったが(鹿児島-G)、このとき観測点は移動していない。

鹿児島-S/鹿児島-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-94に示す。鹿児島-S/鹿児島-Gでは0.6Hz付近および1Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

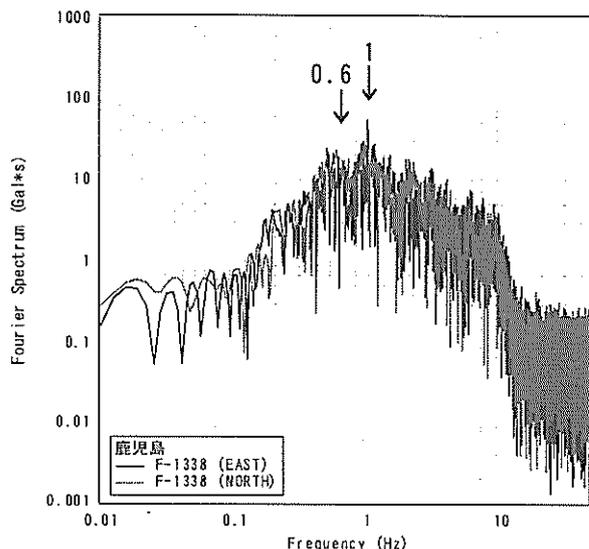


図-94 鹿児島-S/鹿児島-Gのフーリエスペクトル  
(1999年1月24日の地震)

(52) 那覇港

那覇港では1973年に浦添埠頭においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(那覇-S)。しかしこの観測点ではデジタル記録が得られていないので、今回の検討の対象外としている。1976年には那覇港ケーソンヤード構内への移設が行なわれた(那覇造函-S)。1993年にはERS-G型強震計への更新を行なったが(那覇-G)、このとき観測点は移動していない。

那覇造函-S/那覇-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-95に示す。那覇造函-S/那覇-Gでは1.5Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

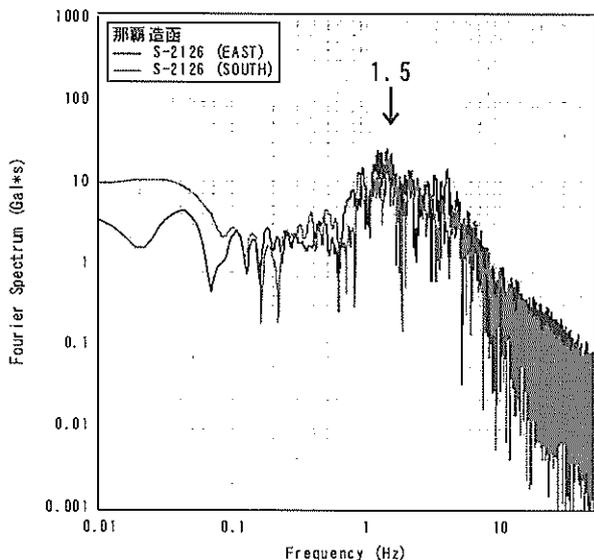


図-95 那覇造函-S/那覇-Gのフーリエスペクトル  
(1988年1月24日の地震)

(53) 中城湾港

中城湾港では1993年に中城港出張所構内においてERS-G型強震計により観測が開始された(中城-G)。以来、移設や機種変更等は行なわれていない。

中城-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-96に示す。中城-Gでは2Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

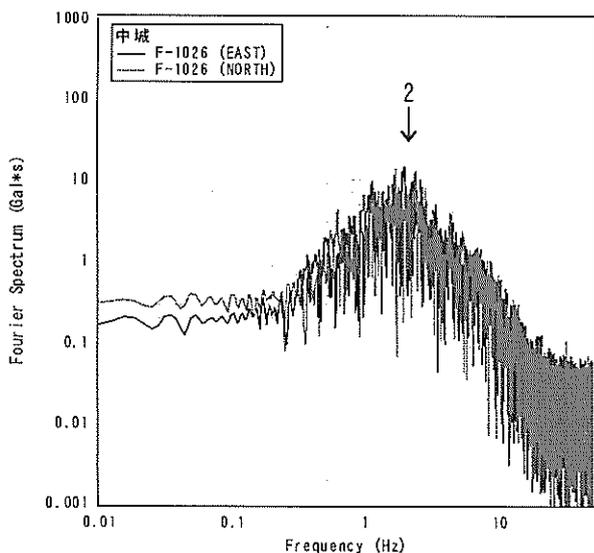


図-96 中城-Gのフーリエスペクトル  
(1996年6月2日の地震)

(54) 平良港

平良港では1973年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(平良-S)。1992年にはERS-G型強震計への更新を行なったが(平良

-G)、このとき観測点は移動していない。

平良-S/平良-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-97に示す。平良-S/平良-Gでは6Hz付近および8Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

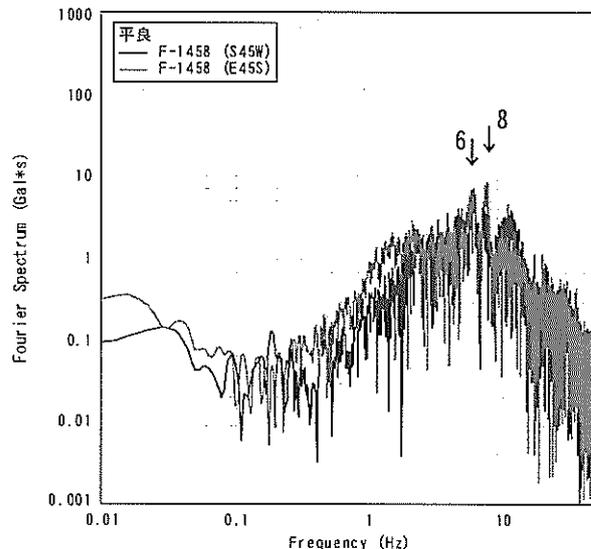


図-97 平良-S/平良-Gのフーリエスペクトル  
(2000年5月9日の地震)

(55) 石垣港

石垣港では1973年に工事事務所構内においてSMAC-B2型強震計により観測が開始された(石垣-S)。1992年にはERS-G型強震計への更新を行なったが(石垣-G)、このとき観測点は移動していない。

石垣-S/石垣-Gで得られた記録のフーリエスペクトルの代表例を図-98に示す。石垣-S/石垣-Gでは1.8Hz付近および6Hz付近のピークが複数の記録のスペクトルに共通して認められる。

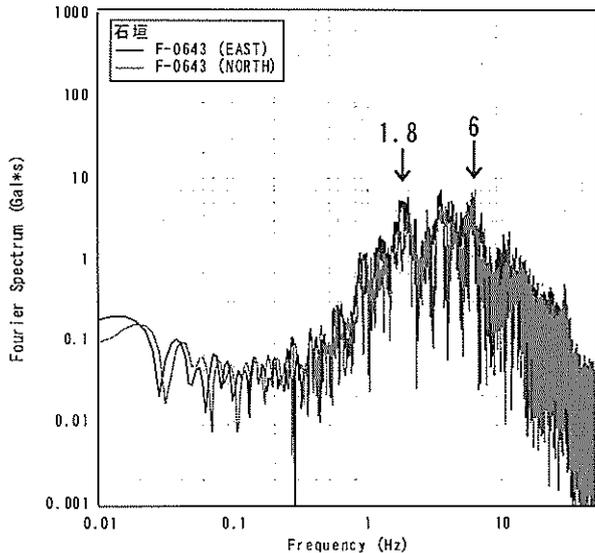


図-98 石垣-S/石垣-Gのフーリエスペクトル  
(1994年2月2日の地震)

### 3. 表層地盤の伝達関数

#### 3.1 伝達関数算定の目的

ここでは強震観測地点の土質データに基づいて伝達関数を計算し、2.で求めた地震動の卓越周期との比較を行なう。ここでの比較の目的は次の通りである。

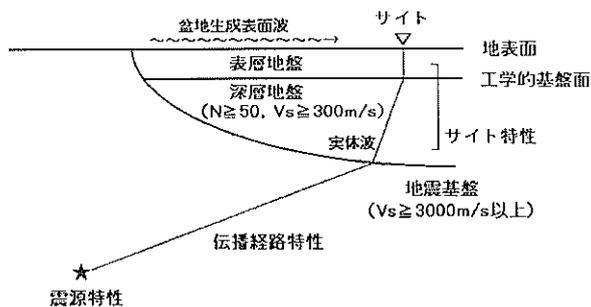


図-99 地下構造

図-99に示すように、震源で発生した地震波は、S波速度が3000m/s以上の地震基盤を伝播する間に減衰し、観測地点（サイトと言う）付近で地盤に入射してからは地盤の影響を受けてサイトで観測される。すなわち、サイトで観測される地震波は、震源特性・伝播経路特性・サイト特性の3者の影響によって決まると言える。

ところで、サイト付近の地盤は一般には、工学基盤面を境に表層地盤と深層地盤に分けることができる。ここで言う深層地盤とは、大まかにはN値が50以上、S波速度が300m/s以上の地盤である。地震波は、サイトに到着するまでに、深層地盤と表層地盤の両方の影響を受ける。通常、港湾の地盤のうち、表層地盤についてはボーリン

グ調査等でよく調べられているが、深層地盤については不明点が多い。そこで、2.で調べたような地震動の卓越周期が、表層地盤の特性のみからどの程度説明ができるのかを把握しておくことは重要であると考えられる。

そこで、ここでは表層地盤の物性に基づいて伝達関数を計算し、そのピークを2.で求めた卓越周期と比較することにした。

#### 3.2 地盤モデルの作成方法

観測地点の地盤データは全て港湾地域強震観測年報(2001)<sup>33)</sup>の地点情報を参照した。この地点情報から各観測地点のN値、S波速度、密度のデータを解析に使用した。

ボーリングを行っていないため地盤データがない観測地点は対象から除外した。また、S波速度が得られていず、かつN値も連続的に得られていない地点についても検討の対象外とした。

S波速度と密度が共に揃っている観測地点の地盤についてはそれらの値に基づいて地盤モデルを作成した。

密度が計測されていない地点においては埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)<sup>62)</sup>に掲載されている土の単位体積重量の標準的な値を使用した。このとき土の種類については港湾地域強震観測年報(2001)<sup>33)</sup>の地点情報の土質柱状図を参照して判断した。

このほか、N値のみが得られていて、S波速度が得られていない地点では、N値からS波速度を推定した。

今井他<sup>63)</sup>はN値とS波速度の測定結果より次式を提案している。

$$V_s = 89.8N^{0.341} \quad (3)$$

道路橋示方書・同解説<sup>64)</sup>では粘性土層と砂質土層のそれぞれについて以下の式を示している。

粘性土層の場合

$$V_s = 100N^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

砂質土層の場合

$$V_s = 80N^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

これらの式を比較したものが図-100である。同図に示すように、今井他の式と道路橋示方書の式は、以下の検討において有意となるほどの差は認められないので、ここでは土の種類に関係なく今井他の式を用いることとした。

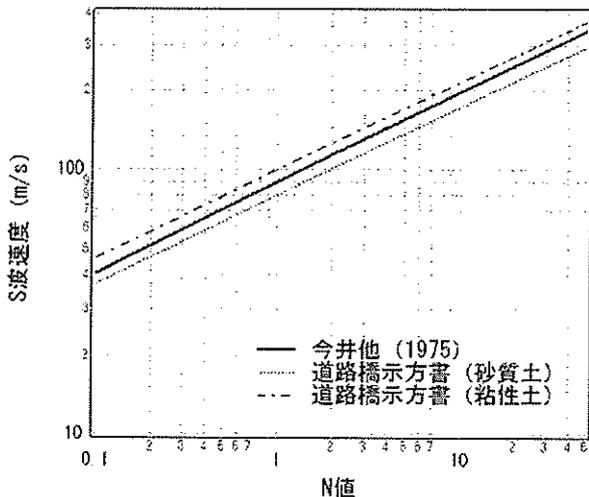


図-100 関係式の比較

以上の方法で、各観測地点の地盤モデルを作成した。

### 3.3 計算結果

3.2で設定された表層地盤のモデルに対し周波数伝達関数を計算した。計算の方法は、S波の重複反射理論<sup>65)</sup>に基づくものである。

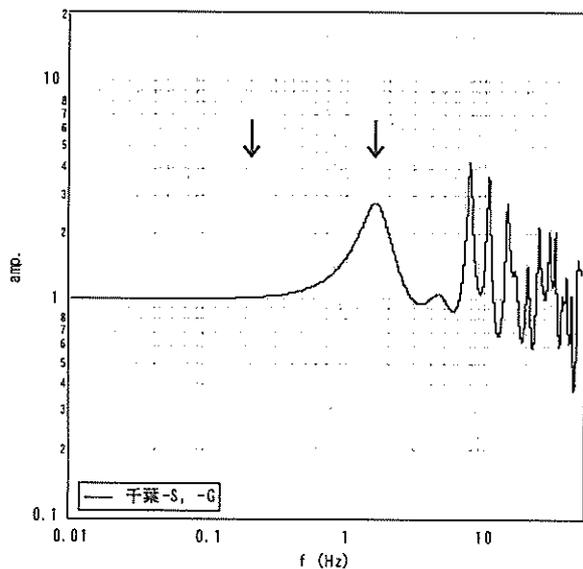


図-101 周波数伝達関数の例

計算結果は、図-101に示すように縦軸にamplification（増幅率）、横軸にfrequency（周波数）をとって示すことにした。

一般に増幅率は低周波側では1に漸近し、高周波側にいくつかのピークを有する特性がある。

また、伝達関数の図に示されている矢印（↓）は、2.で求めた強震記録の卓越周波数のピークを表しているも

のである。

#### (1) S波速度の情報のある地点

図-102～104はS波速度が測定されている観測地点の周波数伝達関数の一例である。

図-102は根室-Gの周波数伝達関数である。根室-Gでは7Hz付近に卓越周波数があることが強震記録からわかっているが、これは伝達関数のピーク（8Hz付近）とよく一致している。すなわち、根室-Gにおける地震動の卓越周波数は、表層地盤の増幅特性によって説明される。

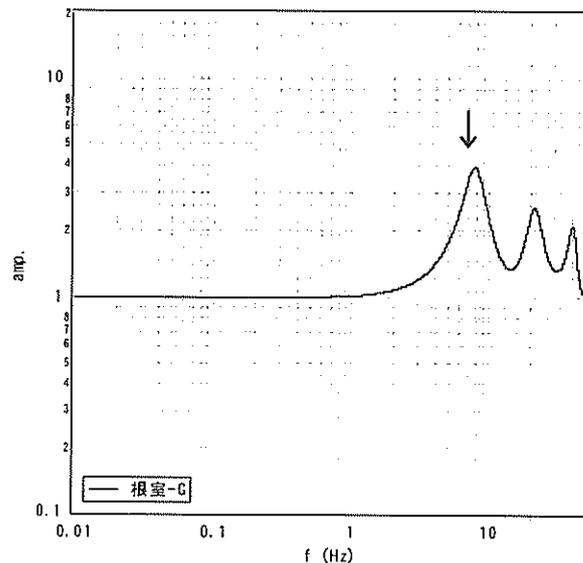


図-102 根室-Gの周波数伝達関数

図-103は塩釜工場-Sの周波数伝達関数である。塩釜工場-Sでは1.5Hz付近および5Hz付近に卓越周波数があることが強震記録からわかっているが、これは伝達関数のピーク（1.5Hz付近、4.5Hz付近）とよく一致している。すなわち、塩釜工場-Sにおける地震動の卓越周波数は、表層地盤の増幅特性によって説明される。

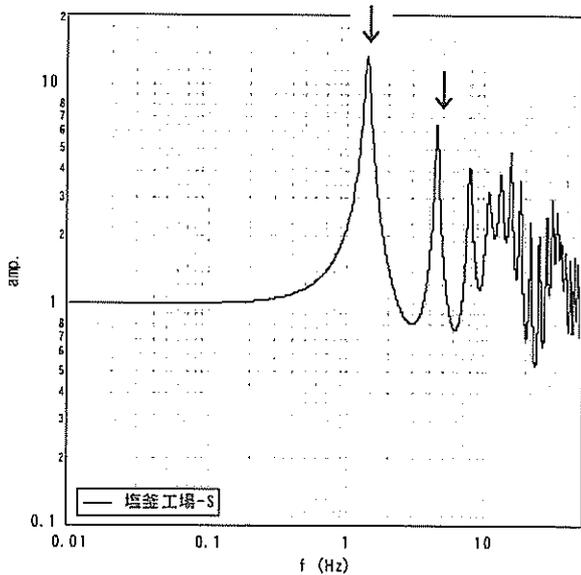


図-103 塩釜工場-Sの周波数伝達関数

図-104は品川-S/品川-Gの周波数伝達関数である。品川-S/品川-Gでは2Hz付近および5Hz付近に卓越周波数があることが強震記録からわかっているが、これは伝達関数のピーク（2Hz付近、5Hz付近）とよく一致している。すなわち、品川-S/品川-Gにおける地震動の卓越周波数は、表層地盤の増幅特性によって説明される。

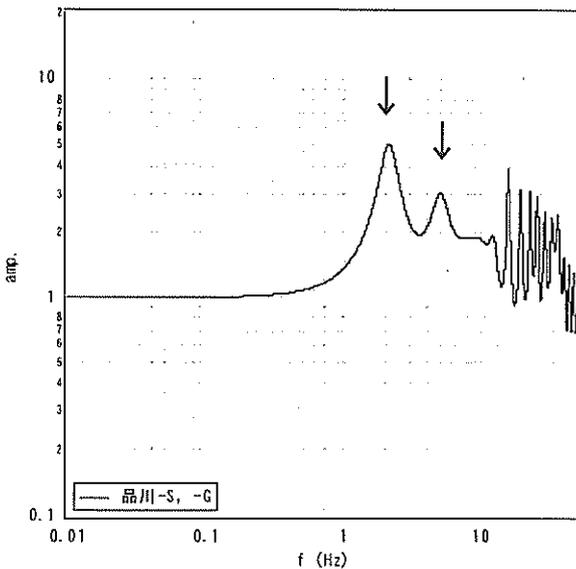


図-104 品川-S/品川-Gの周波数伝達関数

図-105は富山-S/富山-Gの周波数伝達関数である。富山-S/富山-Gでは0.15Hz付近、0.7Hz付近および2.5Hz付近に卓越周波数があることが強震記録からわかっている。これは伝達関数のピーク（1Hz付近、2.5Hz付近）と高周波側ではよく一致しているが、低周波側では伝達関数に

対応するピークが見られない。

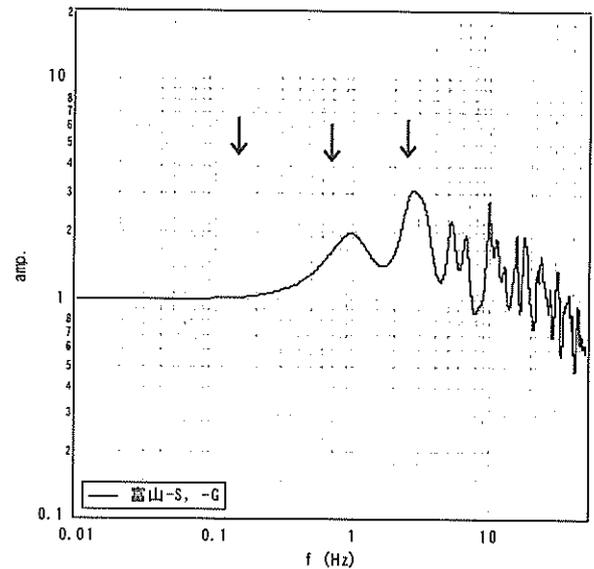


図-105 富山-S/富山-Gの周波数伝達関数

図-106は千葉-S/千葉-Gの周波数伝達関数である。千葉-S/千葉-Gでは0.2Hz付近および1.5Hz付近に卓越周波数があることが強震記録からわかっている。これは伝達関数のピーク（1.5Hz付近）と高周波側ではよく一致しているが、低周波側では伝達関数に対応するピークが見られない。

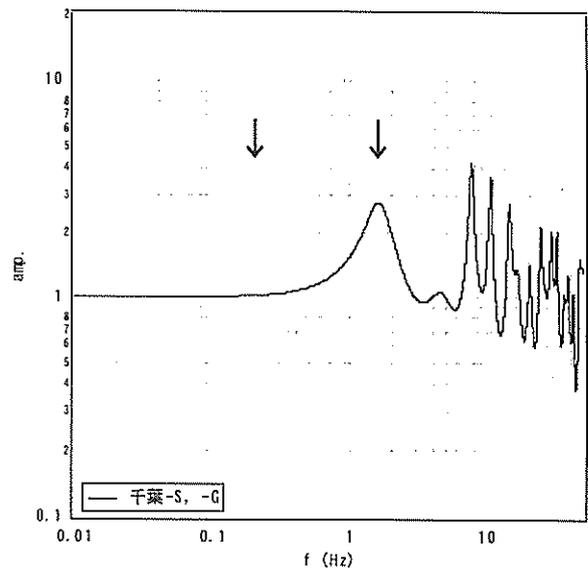


図-106 千葉-S/千葉-Gの周波数伝達関数

図-107は衣浦事-Sの周波数伝達関数である。衣浦事-Sでは0.3Hz付近、1.5Hz付近および4Hz付近に卓越周波数があることが強震記録からわかっている。これは伝達関数のピーク（1.5Hz付近、4Hz付近）と高周波側ではよく

一致しているが、低周波側では伝達関数に対応するピークが見られない。

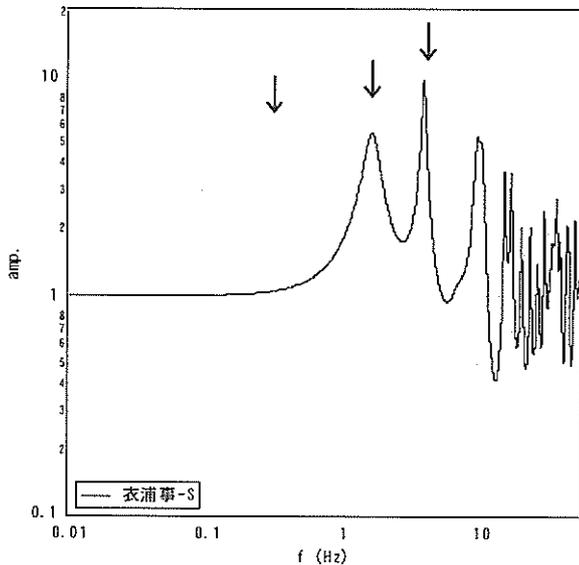


図-107 衣浦事-Sの周波数伝達関数

このように表層地盤のS波速度が既知である観測地点での一般的傾向として、強震記録から求めた卓越周波数のうち、比較的高周波側にあるものについては伝達関数のピークとよく一致するが、比較的低周波側にあるものには伝達関数のピークと対応しない傾向にある。これは低周波側の卓越周波数が表層地盤の特性でなく深層地盤の特性によって決まっているためであると考えられる。

(2) S波速度をN値から推定した地点

S波速度をN値から推定した場合の例を図-108に示す。この例では石垣-S/石垣-Gの周波数伝達関数である。この地点のフーリエスペクトルは、卓越周波数が1.8Hzと6Hzであることを示している。しかしながら、周波数伝達関数は10Hz付近に小さなピークがあるだけである。

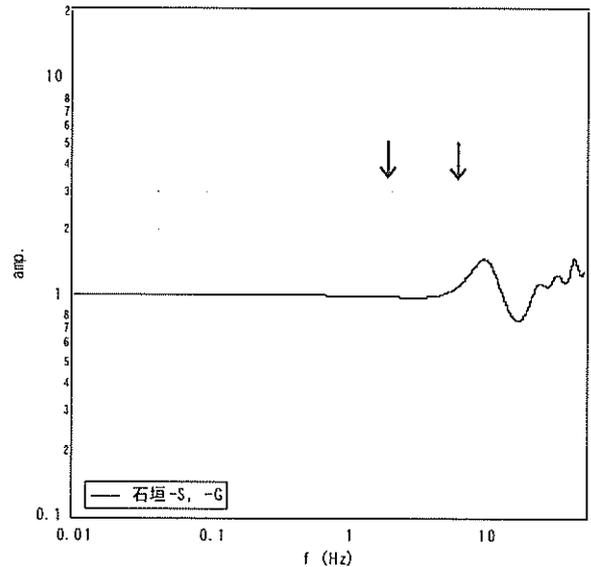


図-108 石垣-S/石垣-Gの周波数伝達関数

表層地盤の伝達関数を計算するには、本来S波速度が必要であるが、この例ではS波速度の情報が得られていなかったため、N値からS波速度を推定した。このため、伝達関数の計算結果に誤差が持ち込まれている可能性がある。従ってS波速度をN値から推定した地点では、観測される地震動の卓越周波数と、表層地盤の伝達関数との関係を議論できるほど、十分な精度で表層地盤の伝達関数が計算されていない可能性がある。なお、表層地盤のモデルを作成する際に、密度の情報のない地点については密度を推定しているが、密度はもともとあまりばらつきが大きな量ではないので、このことの影響はさほど大きく無いものと判断される。

3.4 考察

震源で発生した地震波は、S波速度が3000m/s以上の地震基盤を伝播する間に減衰し、観測地点（サイトと言う）付近で地盤に入射してからは地盤の影響を受けてサイトで観測される。すなわち、サイトで観測される地震波は、震源特性・伝播経路特性・サイト特性の3者の影響によって決まると言える。

本章では、2. で調べた地震動の卓越周期が表層地盤の特性のみからどの程度説明できるかについて検討を行ってきた。その結果わかったことは次の通りである。

まず、表層地盤の伝達関数の一般的傾向として、ピークが見られるのはおおむね1Hz以上であり、1Hz以下の比較的低周波数帯域においては、伝達関数はおおむねフラットである。

一方、2. で求めた地震動の卓越周波数は、1Hzを境とし

て低周波側にも高周波側にも見られる。このうち高周波側にあるものは伝達関数のピークとよく一致するが、低周波側にあるものは伝達関数のピークと対応しない傾向にある。

つまり、おおむね1秒を境として、短周期側では地震動の卓越周期は表層地盤の特性から説明できるのに対し、長周期側では地震動の卓越周期は表層地盤の特性からでは説明がつかず、その原因を深層地盤に求める必要がある。

先に1.において、八戸港および関西国際空港で観測された地震波の卓越周期は深層地盤の影響であることを述べたが、このことは上で考察した内容とも整合する。

#### 4. 結論

地震動の卓越周期には地点毎に特徴のあることが従来からよく知られている。構造物を建設しようとする場所で卓越しやすい地震動の周期があらかじめ把握できていれば、設計の段階で構造物の固有周期と地震動の卓越周期が一致しないように工夫することもでき、そのメリットは大きい。わが国の港湾では1960年代以降、強震観測が実施されてきている。その観測網はわが国の主要な港湾をカバーしているので、その記録に基づいて港湾毎の地震動の卓越周期を求めておけば、当該港湾において構造物の耐震設計を行なう上で有用な情報となるはずである。このような考えの下、本研究では、港湾地域強震観測の地表における全ての観測点を対象として、これまでに得られている記録に基づき、地震動の卓越周期を整理した。その際、現在も観測を継続中の地点ばかりでなく、すでに観測の終了した地点も検討の対象とした。

一般に、強震記録の卓越周期は地盤特性に起因する場合と、震源特性に起因する場合とが考えられる。しかし、同一地点で得られた複数の記録に共通して見られる卓越周期は地盤特性に起因するものであり、従って、将来の地震においても繰り返される卓越周期であると考えてよいであろう。そこで、各地点でこれまでに得られている振幅の比較的大きな記録のフーリエスペクトルを求め、複数の記録に共通するピークを読み取った。その結果については、本文中に一覧表を掲載するとともに、検討対象とした全てのフーリエスペクトルを付録CDに収録している。

こうして得られた各地点の卓越周期が表層地盤の特性からどの程度説明できるかを検討するため、地盤モデルから求めた表層地盤の伝達関数と、強震記録から求めた卓越周期とを比較した。その結果、概ね1秒を境として、

短周期側では地震動の卓越周期は表層地盤の特性から説明できるのに対し、長周期側では地震動の卓越周期は表層地盤の特性からでは説明がつかず、その原因を深層地盤に求める必要があることがわかった。

#### 5. あとがき

本資料では強震観測地点における地震動の卓越周期を求めて一覧表にして掲載している。強震観測を行なっている港湾で構造物を建設しようとする時には、本資料を耐震設計の参考にして頂きたいと考えている。本資料の卓越周期の一覧表を見れば、設計をする段階で、構造物の固有周期が地震動の卓越周期と一致しないように工夫することも可能であり、そうすることにより構造物の地震時の被害を軽減することができるはずである。

本資料の中で地震動の卓越周期を求めた際に、広い帯域で満遍なく増幅しやすい地盤の場合にはピークがうまく読めていない場合も考えられる。また、本研究で得られているものは他の周期と比較して相対的に増幅しやすい周期だけであって、増幅の絶対値までは明らかにされていない。以上のことから今後はスペクトルインバージョン<sup>66)</sup>等、さらに詳しい解析を行い、強震観測地点の卓越周期をさらに詳しく調べる必要があるものと考えられる。そのような詳しい解析を行なう際にも本資料の結果は参考になるものと考えられる。

(2003年2月14日受付)

## 参考文献

- 1) 土田肇・山田通一郎・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測年報（1963・1964），港湾技研資料 No.55，1968年9月。
- 2) 土田肇・山田通一郎・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測年報（1965・1966），港湾技研資料 No.62，1968年12月。
- 3) 土田肇・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測年報（1967），港湾技研資料 No.64，1969年3月。
- 4) 土田肇・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測年報（1968），港湾技研資料 No.98，1970年3月。
- 5) 土田肇・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測年報（1969），港湾技研資料 No.100，1970年6月。
- 6) 土田肇・倉田栄一・須藤克子：港湾地域強震観測年報（1970），港湾技研資料 No.116，1971年3月。
- 7) 倉田栄一・石坂徳三・土田肇：港湾地域強震観測年報（1971），港湾技研資料 No.136，1972年3月。
- 8) 倉田栄一・石坂徳三・土田肇：港湾地域強震観測年報（1972），港湾技研資料 No.160，1973年3月。
- 9) 倉田栄一・石坂徳三・土田肇：港湾地域強震観測年報（1973），港湾技研資料 No.181，1974年3月。
- 10) 倉田栄一・石坂徳三・土田肇：港湾地域強震観測年報（1974），港湾技研資料 No.202，1975年3月。
- 11) 倉田栄一・井合進・土田肇：港湾地域強震観測年報（1975），港湾技研資料 No.236，1976年3月。
- 12) 倉田栄一・井合進・土田肇：港湾地域強震観測年報，補遺（1963~1975，上下動成分），港湾技研資料 No.250，1976年12月。
- 13) 倉田栄一・井合進・土田肇：港湾地域強震観測年報（1976・1977），港湾技研資料 No.287，1978年3月。
- 14) 倉田栄一・井合進・横山淑子・土田肇：港湾地域強震観測年報（1978・1979），港湾技研資料 No.338，1980年6月。
- 15) 倉田栄一・井合進・横山淑子・野田節男：港湾地域強震観測年報（1980），港湾技研資料 No.374，1981年6月。
- 16) 倉田栄一・野田節男：港湾地域強震観測年報（1981），港湾技研資料 No.426，1982年6月。
- 17) 倉田栄一・福原哲夫・野田節男：港湾地域強震観測年報（1982），港湾技研資料 No.446，1983年6月。
- 18) 倉田栄一・福原哲夫・野田節男：港湾地域強震観測年報（1983），港湾技研資料 No.487，1984年6月。
- 19) 倉田栄一・福原哲夫・野田節男：港湾地域強震観測年報（1984），港湾技研資料 No.519，1985年6月。
- 20) 倉田栄一・福原哲夫・野田節男：港湾地域強震観測年報（1985），港湾技研資料 No.547，1986年6月。
- 21) 倉田栄一・井合進・野田節男：港湾地域強震観測年報（1986），港湾技研資料 No.588，1987年6月。
- 22) 倉田栄一・野田節男・樋口豊志：港湾地域強震観測年報（1987），港湾技研資料 No.618，1988年6月。
- 23) 倉田栄一・井合進：港湾地域強震観測年報（1988），港湾技研資料 No.649，1989年6月。
- 24) 倉田栄一・井合進：港湾地域強震観測年報（1989），港湾技研資料 No.676，1990年6月。
- 25) 倉田栄一・井合進：港湾地域強震観測年報（1990），港湾技研資料 No.705，1991年6月。
- 26) 倉田栄一・井合進：港湾地域強震観測年報（1991），港湾技研資料 No.727，1992年6月。
- 27) 松永康男・桜井博孝・森田年一・井合進：港湾地域強震観測年報（1992&1993），港湾技研資料 No.776，1994年6月。
- 28) 宮田正史・佐藤幸博・一井康二・森田年一・井合進：港湾地域強震観測年報（1994），港湾技研資料 No.840，1996年6月。
- 29) 佐藤幸博・一井康二・井合進・星野裕子・佐藤陽子・宮田正史・森田年一：港湾地域強震観測年報（1995&1996），港湾技研資料 No.909，1998年9月。
- 30) 佐藤幸博・一井康二・井合進・星野裕子・佐藤陽子：港湾地域強震観測年報（1997），港湾技研資料 No.936，1999年6月。
- 31) 佐藤幸博・一井康二・星野裕子・佐藤陽子・井合進・長尾毅：港湾地域強震観測年報（1998），港湾技研資料 No.942，1999年9月。
- 32) 野津厚・深澤清尊・佐藤陽子・玉井伸昌・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（1999&2000），港湾技研資料 No.1016，2002年3月。
- 33) 深澤清尊・佐藤陽子・野津厚・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（2001），港湾技研資料 No.1019，2002年6月。
- 34) 土田肇・倉田栄一・須藤克子：1968年十勝沖地震とその余震の港湾地域における強震記録，港湾技研資料 No.80，1969年6月。
- 35) 倉田栄一・井合進・土田肇：1978年伊豆大島近海の地震の港湾地域における強震記録，港湾技研資料 No.317，1979年3月。
- 36) 倉田栄一・井合進・横山淑子・土田肇：1978年宮城県沖地震の港湾地域における強震記録，港湾技研資料

- No.319, 1979年6月.
- 37) 倉田栄一・野田節男:昭和57年(1982年)浦河沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.442, 1983年3月.
- 38) 倉田栄一・福原哲夫・野田節男:昭和58年(1983年)日本海中部地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.458, 1983年9月.
- 39) 倉田栄一・福原哲夫・野田節男:昭和59年(1984年)8月7日日向灘地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.503, 1984年12月.
- 40) 倉田栄一・野田節男・樋口豊志:昭和62年(1987年)12月17日千葉県東方沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.619, 1988年6月.
- 41) 松永康男・桜井博孝・森田年一・井合進:1993年釧路沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.777, 1994年6月.
- 42) 松永康男・桜井博孝・森田年一・井合進:1993年北海道南西沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.778, 1994年6月.
- 43) 佐藤幸博・宮田正史・一井康二・森田年一・井合進:1994年北海道東方沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.853, 1996年12月.
- 44) 佐藤幸博・一井康二・宮田正史・森田年一・井合進:1994年三陸はるか沖地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.892, 1997年12月.
- 45) 佐藤幸博・一井康二・星野裕子・佐藤陽子・宮田正史・森田年一・井合進:1995年兵庫県南部地震の港湾地域における強震記録, 港湾技研資料 No.907, 1998年6月.
- 46) 金井清:地震工学, 共立出版, 1969年, pp.126-149.
- 47) 大崎順彦:地震と建築, 岩波書店, 1983年, pp.102-107.
- 48) 江頭隆喜, 山本俊介, 田邊俊郎, 菅野高弘, 柏崎昭宏, 田中剛, 巽裕一郎:遙脚式コンテナクレーンの大規模地震時の挙動に関する模型実験, 港湾技研資料 No.959, 2000年6月.
- 49) 中山義紀, 菅野高弘, 田邊俊郎, 佐藤栄治, 山本俊介, 田中剛:免震式コンテナクレーンの大規模地震時の挙動に関する模型実験, 港湾技研資料 No.981, 2001年3月.
- 50) 工藤一嘉:強震動予測を中心とした地震工学研究のあゆみ, 地震2, 46, 1993年, pp.151-159.
- 51) 野津厚, 井合進:経験的サイト増幅特性に基づくシナリオ地震の地震動の試算, 港湾技研資料 No.991, 2001年6月.
- 52) 土田肇, 倉田栄一, 石坂徳三, 林 聡:各種地盤における平均応答スペクトル, 港湾技研報告, 第12巻, 第4号, 1973年12月, pp.171-199.
- 53) 佐藤智美, 佐藤俊明, 川瀬博, 植竹富一:地震観測記録の応答スペクトルとフーリエスペクトルの回帰係数の違いとその解釈, 日本建築学会構造系論文集, 第506号, 1998年4月, pp.83-92.
- 54) 井合進・倉田栄一・土田肇:強震記録のデジタル化と補正, 港湾技研資料 No.286, 1978年3月.
- 55) 土田肇・山田通一郎・倉田栄一:港湾地域強震観測地点資料(その1), 港湾技研資料 No.34, 1967年11月.
- 56) 倉田栄一・土田肇・須藤克子:港湾地域強震観測地点資料(その2), 港湾技研資料 No.107, 1970年12月.
- 57) 倉田栄一・石坂徳三:港湾地域強震観測地点資料(その3), 港湾技研資料 No.156, 1973年3月.
- 58) 横山淑子・倉田栄一:港湾地域強震観測地点資料(その4), 港湾技研資料 No.298, 1978年6月.
- 59) 横山淑子・倉田栄一:港湾地域強震観測地点資料(その5), 港湾技研資料 No.351, 1980年9月.
- 60) 一井康二・佐藤幸博・佐藤陽子・星野裕子・井合進:港湾地域強震観測地点資料(その6), 港湾技研資料 No.935, 1999年6月.
- 61) 大崎順彦:新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1994年, pp.54-60.
- 62) 財団法人沿岸開発技術センター:埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 1997年, pp.97.
- 63) 今井常雄, 麓秀夫, 横田耕一郎:日本の地盤における弾性波速度と力学的性質, 第4回日本地震工学シンポジウム講演集, 1975年, pp.89-96.
- 64) 社団法人日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2002年, pp.25-26.
- 65) 大崎順彦:新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1994年, pp.182-188.
- 66) 岩田知孝, 入倉孝次郎:観測された地震波から震源特性, 伝播経路特性および観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震2, 39, 1986年, pp.579-593.

港湾空港技術研究所資料 No.1052

2003. 6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL.046(844)5040 URL.<http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社東京プリント

Copyright © (2003) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この技術資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事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。