

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1223

December 2010

港湾地域強震観測年報（2009）

野津 厚
若井 淳

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. はじめに	4
2. 観測網と観測機器	6
2.1 観測網	6
2.2 強震計の維持管理	6
2.3 観測地点	6
2.4 強震計	7
2.5 強震計の基礎と観測小屋	10
3. 記録の整理	11
4. 補正と積分	11
4.1 フィルタリングと積分の方法	12
4.2 計器特性補正等のためのフィルタ	12
4.3 SMAC-B2相当フィルタ	12
4.4 積分用のハイパスフィルタ	13
4.5 解析のアウトプット	14
5. 2009年8月11日駿河湾の地震 (M6.5) の記録からわかること	14
6. まとめ	20
謝辞	20
参考文献	20
強震観測担当者 (2009年1月～12月)	23

Annual Report on Strong-Motion Earthquake Records in Japanese Ports (2009)

Atsushi NOZU*

Atsushi WAKAI**

Synopsis

Since 1962, strong ground motions and earthquake responses of structures have been observed in the major ports in Japan. By the end of December 2009, 9115 accelerograms had been accumulated and analyzed at the Port and Airport Research Institute.

The strong-motion earthquake observation network in Japanese ports consists of 119 strong-motion accelerographs installed at 61 ports as of December 2009. Sixty-nine accelerographs out of 119 are installed on ground surface, 36 accelerographs are in ground by using bore-hole and the rest 14 are on structures such as quay walls. Currently two types of accelerographs are used in the network, namely, the ERS accelerograph and the SMAC-MDU accelerograph, both of which are of an electrical type equipped with a digital recorder.

This report presents the results of observation and preliminary analysis of records obtained in 2009. ASCII data of the reproduced accelerograms for all the records in 2009 are available on the attached CD in the user-friendly CSV format. Also, computer plots of reproduced accelerograms are available on the CD for the records with peak accelerations exceeding 20 Gal. For the records with peak accelerations exceeding 50 Gal, computer plots of reproduced accelerograms, integrated velocities and displacements, Fourier spectra and response spectra are available on the CD.

Key Words: earthquake, port, strong-motion earthquake observation, digitized acceleration record,
Fourier spectra

* Head of Engineering Seismology Division, Geotechnical and Structural Engineering Department

** Postdoctoral Fellow, Engineering Seismology 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: nozu@pari.go.jp

港湾地域強震観測年報（2009）

野津 厚*・若井 淳**

要 旨

1962年より実施されている港湾地域強震観測においては、2009年末現在、9115の強震記録が蓄積されるに至っている。このうち2009年には488の強震記録が得られている。強震計の台数としては、2009年末現在、119台の強震計が61港に設置されており、設置状況としては、69台が地表に、36台が地中に、14台が構造物上に設置されている。観測網を構成する強震計はERS-F,-G,-GV型強震計とSMAC-MDU型強震計の2種類であり、いずれも電気式デジタル記録方式である。

本資料は2009年に港湾地域強震観測網で得られた記録について報告するものである。得られた記録は港湾毎に分類され、地震諸元・記録番号・最大加速度等とともに付録CDの強震観測表にまとめられている。強震観測表の地震諸元は気象庁の地震・火山月報（カタログ編）に基づいている。また、強震記録の記録番号は各観測地点から記録が送られてきた順番に付けられており、記録の分類として、頭文字「F」で始まる記録はERS-F,-G,-GV型強震計で得られた記録、頭文字「U」で始まる記録はSMAC-MDU型強震計で得られた記録をそれぞれ示している。強震観測表にまとめられているすべての記録のデジタルデータを付録CDにCSV形式で収録している。最大加速度が20Galを越える記録については加速度波形を画像ファイルの形で付録CDに収録している。また、最大加速度が50Galを越える比較的大きな記録については、加速度波形に加え、速度波形、変位波形、フーリエスペクトル、応答スペクトルも画像ファイルの形で付録CDに収録している。

2009年の観測は次に示す諸機関の協力の下に実施された。

国土交通省港湾局 国土交通省地方整備局 国土交通省北海道開発局 内閣府沖縄総合事務局
東京都港湾局 静岡県港湾総室 大阪市港湾局 宮崎県港湾課 国土技術政策総合研究所

強震観測は、各観測地点での強震観測担当者の努力に負うところが非常に大きい。担当者各位に敬意と謝意を表すとともに、各観測地点で実際に観測に携わった方々の氏名を巻末に掲載する。

キーワード：地震，港湾地域強震観測，数値化加速度記録，フーリエスペクトル

* 地盤・構造部 地震防災研究領域 地震動研究チームリーダー
** 地盤・構造部 地震防災研究領域 地震動研究チーム 特別研究員
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5058 Fax：046-844-0839 e-mail: nozu@pari.go.jp

1. はじめに

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。観測網は年々拡大し、2009 年末の時点では全国 61 の港に 119 台の強震計が設置されている (図-1)。この観測網により、2009 年末までに 9115 の加速度記録が得られている。このうち 2009 年には 488 の記録が得られている。参考までに、2001 年以降の強震計台数と記録数の推移を表-1 に示す。なお、図-1 では、ERS-F 型強震計の設置されている地点を濃い緑で、SMAC-MDU 型強震計の設置されている地点を薄い緑で示している。強震計の機種については 2. を参照されたい。

港湾地域強震観測の目的は極めて多岐にわたるが、ここでは代表的な三つの目的を説明する。

(1) 強震観測の第一の目的は、港湾に被害をもたらすような大地震が発生した場合に、その揺れを記録して、これを被害メカニズムの解明や適切な復旧工法の選定に利用することである。1995 年兵庫県南部地震で被災した神戸港のケーソン式岸壁の被害メカニズム解明には、神戸港で取得された強震記録が必須の資料として活用された¹⁾、²⁾。また、地震直後における行政組織としての様々な判断にも、強震記録が活用されている。

(2) 強震観測の第二の目的は、地点毎に異なる地震動の特性を解明することである。図-2 で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ている。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、場所により地震動の特性が異なるのは、地震基盤上に存在する堆積層の地震動への影響 (サイト特性) が場所毎に異なるためである。平成 19 年 4 月に改訂された新しい港湾の施設の技術上の基準では、設計用入力地震動の評価を行う際、対象施設設置位置もしくはその周辺における地震動の実測値に基づいてサイト特性の評価を行うことが求められるようになった。従って、設計実務において強震観測の果たす役割の重要性は今後一層高まるものと予想される。このことに関連して、全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性の評価結果をとりまとめた資料が刊行されているので、参考にしていただければ幸いである

³⁾、⁴⁾。強震観測により地震動の卓越周期の解明が進めば、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可能になるので、地震による被害の軽減に資するものと期待される。

(3) 強震観測の第三の目的は、良質な (SN 比の高い) 中小地震の記録を取得して、将来の大地震の揺れの予測に活用することである。上述のように地震動の性質は地点毎に異なるのであるから、構造物の耐震設計には地点毎の特性を反映した入力地震動を用いることが望ましい。各港湾で得られた中小地震の記録には、港湾毎の地下構造の情報が含まれており、この情報を生かすことにより、将来の大地震による揺れの予測に役立てることができる。その一例として、2000 年鳥取県西部地震の余震の際に境港とその周辺の複数の地点 (図-3) で取得された記録を経験的グリーン関数法と呼ばれる方法で多数重ね合わせることにより、鳥取県西部地震の本震地動をシミュレーションした結果を図-4 に示すが、各地点の地震動の振幅、周期、継続時間などの特徴をかなり良好に再現できていることがわかる。ここで用いた手法の詳細については文献 5) を参照していただきたい。

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⁶⁾~¹⁶⁾。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¹⁷⁾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¹⁸⁾~⁴⁵⁾。また、通常年報とは別に、被害地震の記録だけを集めた資料も刊行されている⁴⁶⁾~⁵⁷⁾。強震観測年報の変遷を表-2 に示す。

昨今のように公的機関の組織再編が進む中では、強震記録のデジタルデータを研究室内で保管することが最も確実な保管方法であるとはもはや言えなくなっている。デジタルデータを保管する場所としてはウェブ・サーバも考えられるが、ウェブ・サーバのサービスが停止すれば、それと同時にデータが失われる可能性がある。しかるべき出版物に電子媒体を添付して、その中にデジタルデータを収めておくことが、強震記録のデジタルデータを後世に残すための最も確実な手段であろう。電子媒体にも種々のものがあるが、容量・価格・普及の度合いなどから CD が最適と判断される。このような考えから 1999 年以降の強震観測年報³⁷⁾~⁴⁵⁾には、デジタルデータを収録した CD を添付している。

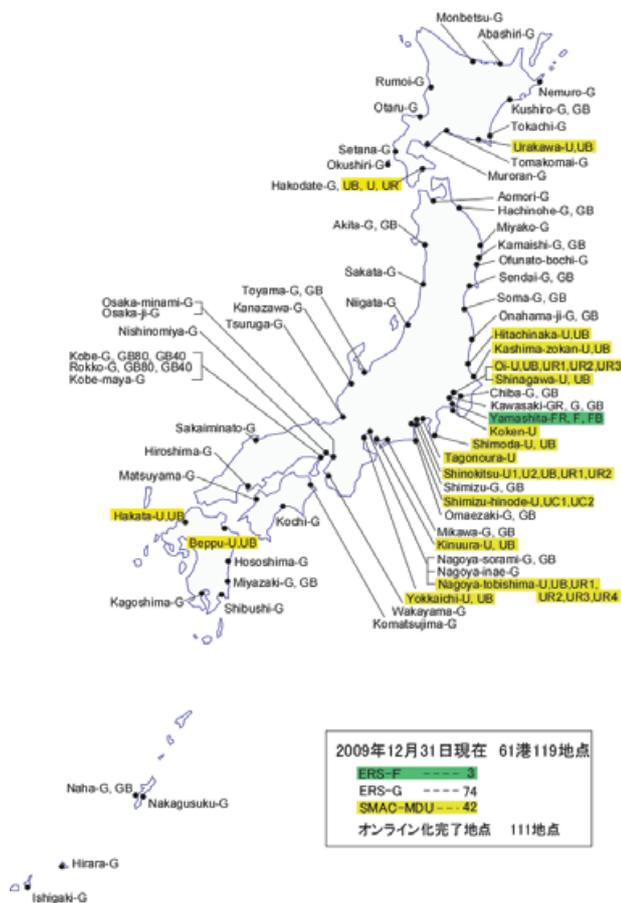


図-1 港湾地域強震観測網

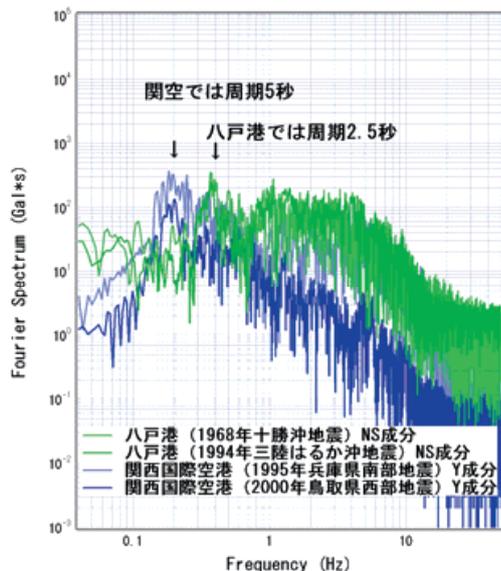


図-2 八戸港と関西国際空港の地震動特性の比較



図-3 境港およびその周辺の強震観測地点

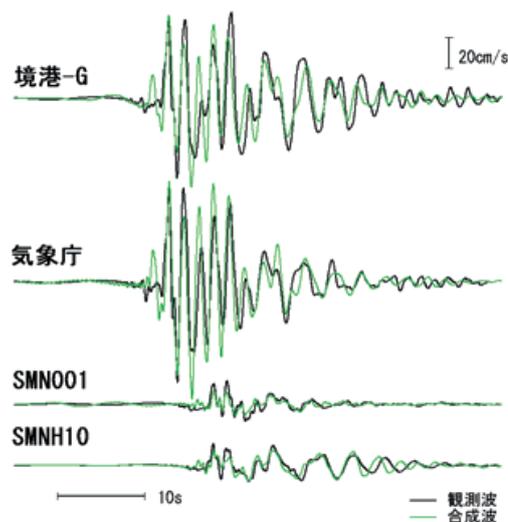


図-4 経験的グリーン関数法による 2000 年鳥取県西部地震の本震地動の再現⁵⁾

表-1 強震計台数と記録数の推移 (台数は年末の数字)

年	港湾数	強震計台数	地震数	記録数
2001	60	97	67	207
2002	60	98	50	140
2003	60	104	109	394
2004	60	110	113	468
2005	60	111	98	434
2006	61	113	88	276
2007	61	119	173	520
2008	61	119	96	417
2009	61	119	131	488

表-2 強震観測年報の変遷

年	強震観測年報の内容	CD
1963~1975	加速度波形, フーリエスペクトル, 応答スペクトル. 鉛直成分は別冊として公表.	無
1976~1998	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, 応答スペクトル.	無
1999~本資料	同上	有

本資料の付録 CD には、2008 年に取得されたすべての加速度記録のデジタルデータが CSV 形式で収められている。また、20Gal を越える記録については、加速度記録を図化したものが収められている。さらに、50Gal を越える記録については、加速度記録と、これを積分して得た速度波形、変位波形、フーリエスペクトル、さらに応答スペクトルを図化したものが収められている。

2. 観測網と観測機器

2.1 観測網

港湾地域強震観測網は日本全国の海岸線をカバーしており、2009 年末の時点では 119 の強震計が 61 の港に設置されている。2009 年末の時点で強震計の設置されている港湾は図-1 および付録 CD の地図に示すとおりである。付録 CD の地図上の港名をクリックすれば、強震計の機種と設置条件が表示される。観測地点の土質柱状図等も付録 CD に収められており、地図からたどることができる。観測地点のさらなる詳細情報については観測地点資料⁵⁸⁾⁻⁶³⁾を参照されたい。2009 年末の時点では、119 の観測地点のうち 77 地点に ERS 型強震計が、残りの 42 地点に SMAC-MDU 型強震計が設置されている。これらはいずれもデジタル式の強震計である。以前に主力であったアナログ式の SMAC-B2 型強震計は姿を消している。

2.2 強震計の維持管理

強震計の維持管理は当所と港湾地域強震観測の他の参画機関との緊密な協力の下に実地されている。現在、ERS-G/GV 型強震計と SMAC-MDU 型強震計のほとんどは電話回線に接続され、観測点と当所の間でオンラインデータ転送が可能な状況となっている。このオンラインシステムは2009年末の時点では119の強震観測地点のうち111地点に設置されている。オンラインシステムは、データ収集だけでなく強震計の健全度把握にも用いられており、強震計の点検等に係る現場の負担を軽減することに寄与している。2001年12月には初の試みとして携帯電話を利用した強震計のオンライン化が大船渡港で実現した。これにより、これまで電話線を引くことができないためにオンライン化が難しかった埠頭上のような場所でも、強震計のオンライン化が進むようになってきた。

2.3 観測地点

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 つ目は構造物の地震応

答を記録するものである。構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。

各観測地点では、原則として、強震計の水平成分の一つは真北を向いている。ただし、例外として、構造物の応答を記録する観測点と、これに付随して地盤加速度を記録する観測点では、強震計が構造物と平行に設置されている場合もある。岸壁や栈橋など多くの港湾構造物は 2 次元的な形状をしており、構造物の法線方向に垂直な成分と平行な成分を計測する方が解析上便利であるため、そのようにしている。強震計の 2 つの水平成分が真の南北方向と東西方向に一致しない場合には、方向成分を表すために偏角（単位は度）が使用される。例えば N10E は真北から東に 10°回転した方向を意味する。

観測網のそれぞれの観測地点には観測地点名が付けられている。観測地点名は位置と強震計の型と設置条件の組み合わせである（図-5）。例えば北海道の釧路港の観測地点は「釧路-G」および「釧路-GB」と名付けられている。

「釧路」は観測地点の場所を意味している。港湾工事事務所に設置されている観測点では「小名浜事」のように「事」という文字をつけている。添え字の「G」は強震計の型を表しており釧路港には ERS-G 型強震計が設置されていることを意味している。SMAC-B2 型強震計には添え字「S」が、ERS-B, C, D 型の強震計には添え字「M」が、ERS-F 型強震計には添え字「F」が、ERS-G/GV 型強震計には添え字「G」が、SMAC-MDU 型強震計には添え字「U」がそれぞれ対応する。「釧路-GB」で添え字「G」の後ろの「B」は設置条件を示し、ボアホールを使用して地中に強震計を設置していることを意味している。例えば「釧路-G」のように設置条件を表す添え字がない場合は、その強震計が地表に設置されていることを意味している。添え字「R」がついている場合は強震計が構造物上に設置されていることを意味する。「神戸」と「六

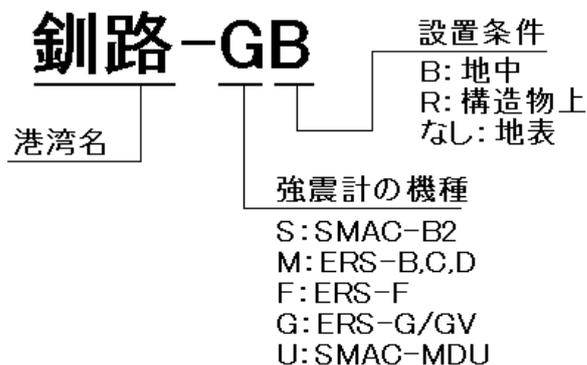


図-5 観測地点名のルール

甲」の観測点は地中の異なる深さに強震計が設置されている。この場合、添え字「B」の後ろに強震計の深度を表す「40」等の数字をつけている（単位 m）。また、「清水日の出-UC1」と「清水日の出-UC2」の「C」は、強震計が CDM 改良地盤に設置されていることを示している。

2.4 強震計

(1) ERS-F 型強震計

ERS-F 型強震計は不揮発性磁気バブルメモリを備えたデジタルタイプの強震計である。記録システムのメインユニットは図-6 に示されており、1MB の不揮発性磁気バブルメモリが 4 つと制御装置からなり、その寸法は 240×240×35mm、質量は約 1kg である。記録システムには 2 つのユニットが設置できる。時間信号はこのバブルメモリの 1 つのチャンネルに記録され、加速度 3 成分に時間信号を加えた 4 チャンネルの記録時間はユニットが 2 つの場合には約 40 分である。

ERS-F 型強震計にはさまざまな型式がある。標準的な型式として図-7 に示すような一体型のものがあり、換振器と磁気バブルメモリを含む記録器を 1 つの箱に収納している。その他の形式として、換振器と記録器が分かれた分離タイプがある。図-8 に示されているものは、ボアホールを使用して地中に設置し、地中ないし基盤における地震動を観測するための換振器である。図-9 に示す換振器は構造物に取り付けるタイプのものである。磁気バブルメモリを含む ERS-F 型強震計の記録器を前から見た様子を図-10 に示している。2009 年末現在、稼働中の ERS-F 型強震計は 3 台である。

ERS-F 型強震計のブロックダイアグラムを図-11 に示す。ERS-F 型強震計の仕様を表-3 に示す。換振器の周波数特性を図-12 に示す。収録時間は最短 1 分で、加速度

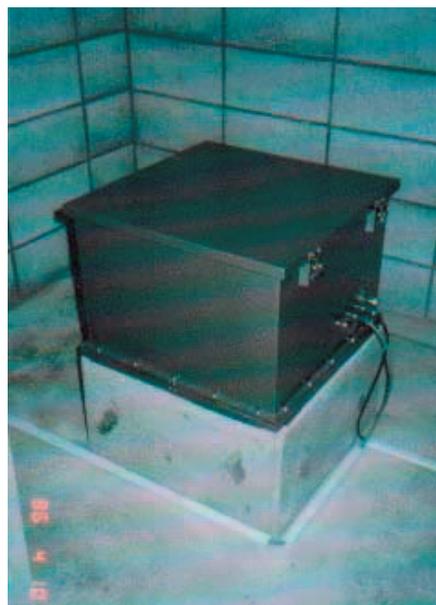


図-7 一体型の ERS-F 型強震計



図-8 ERS-F, G, GV 型強震計の地中設置用換振器

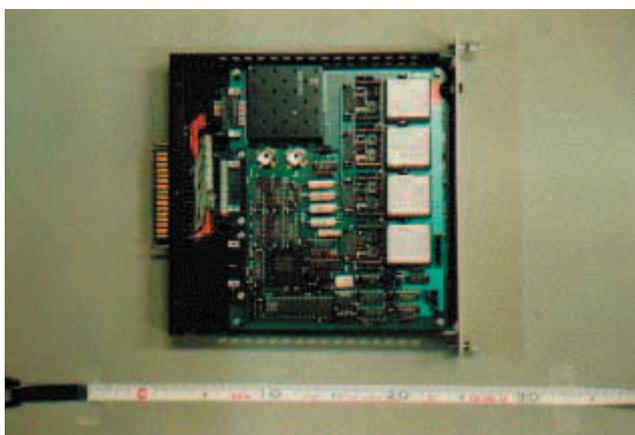


図-6 ERS-F 型強震計の記録システム



図-9 ERS-F, G, GV 型強震計の構造物取り付け用換振器

表-3 ERS-F, G, GV 型強震計の仕様

総合特性	
計測可能加速度	(-F)2G (-G, -GV)0.008G~2G の範囲で設定可能
周波数範囲	0.01Hz-35Hz
ダイナミックレンジ	86dB over
換振器	
成分	水平 2 成分と上下成分
計測可能加速度	(-F) 2G (-G, -GV)0.008G~2G の範囲で設定可能
感度	10 ⁻⁵
形式	(-F and -G)フォースバランス (-GV)速度帰還型
フィルタ	
ハイパスフィルタ	0.007Hz -6dB/octave
ローパスフィルタ	35Hz -18dB/octave
A/D 変換	
解像度	16bit
変換速度	100Hz
遅延メモリ : 10s	
時計: 内蔵時計の精度は 1/100s, 1 時間毎にラジオの時報により校正	
スタータ: トリガーレベルは計測可能加速度の 0.5, 1 または 2%	
記録器	
チャンネル数	(-F) 4-10 チャンネル (うち 1 チャンネルは時刻) (-G, -GV)3-12 チャンネル
メモリサイズ	(-F) バブルメモリ: 1 Mbytes×2 (-G, -GV) IC カードメモリ: 2 Mbytes
収録時間	1 記録あたり 1-10min
最大記録時間	(-F) 40 min/4ch (-G, -GV) 52 min/3ch 加速度が大きいものを優先的に保存
関連情報	観測地点, 記録数, 記録開始時刻, 各成分の最大値
校正: 総合的な校正が可能	
バックアップ電源: 充電後 2 時間	
容器: アルミニウム箱, 防水	
サイズ: (-F) 54(L)×54(W)×38(H)cm (-G, -GV) 54(L)×54(W)×33(H)cm	



図-10 ERS-F 型強震計記録システムの外観

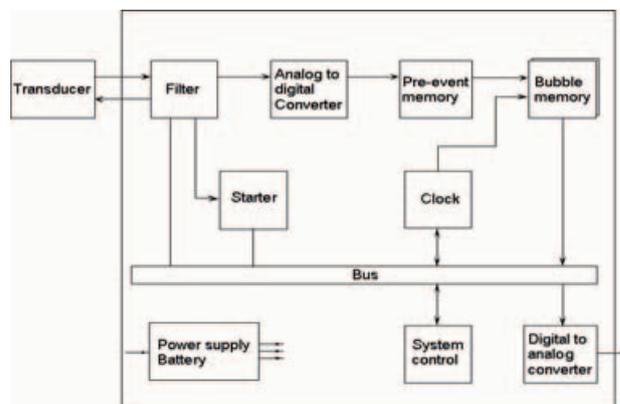


図-11 ERS-F 型強震計のブロックダイアグラム

レベルのモニタリングにより 1 分刻みで最高 10 分まで延長することができる。トリガーの 40 秒後、もしくは収録を延長した時刻の 40 秒後における加速度レベルがトリガーレベルよりも高い場合に記録時間が延長される。記録システムのメインユニットは最大で 3 成分 60 秒の地震動を 20 個記録することができる。連続して地震が発生し、記録器の記憶容量を越えそうになった場合、最大加速度の大きな記録が残っている。しかし、例外として、180 秒を越える記録は最初のものを優先する。

(2) ERS-G/GV 型強震計

ERS-G/GV 型強震計は ERS-F 型強震計を改良したものである。強震計の換振器は ERS-F 型強震計のものと同様である。ERS-G/GV 型強震計では図-13 に示すような IC カードが記録に用いられ、また、制御システムもやや改良されている。IC カードのメモリサイズは 2MB である。加速度 3 成分の記録時間は 1 つのカードで約 52 分である。加速度のトリガーレベルは様々な段階に設定

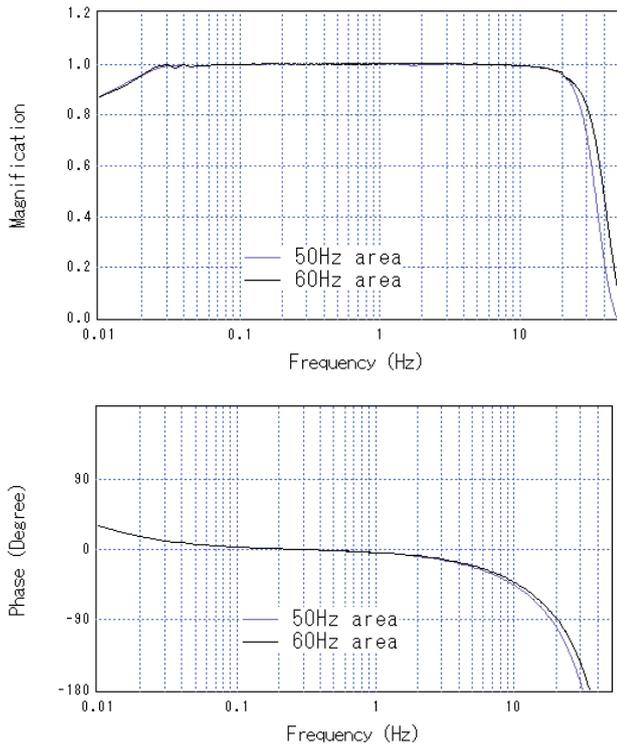


図-12 ERS-F, G 型強震計の周波数特性

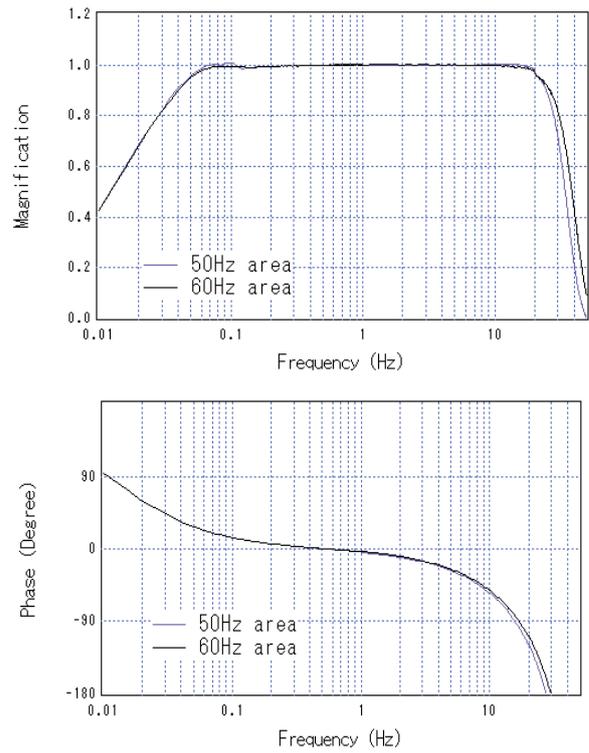


図-14 ERS-GV 型強震計の周波数特性



図-13 ERS-G/GV 型強震計の IC カードメモリ

できる。強震計の計測可能最大加速度は 2G で最大加速度のレベル（感度）は 0.008G から 2G の間で適切な値に設定できる。2009 年末の時点で ERS-G/GV 型強震計の総数は 74 である。

ERS-G/GV 型強震計の仕様を表-3 に ERS-F 型と共に示す。ERS-G 型の換振器はフォースバランス式であり、ERS-GV 型の換振器は速度帰還型である。ERS-GV 型強震計は、雷に対する安全性から、地中観測点と、これに付随する地表観測点（例えば「釧路-GB」と「釧路-G」）で用いられるようになった。ERS-G 型強震計の周波数特

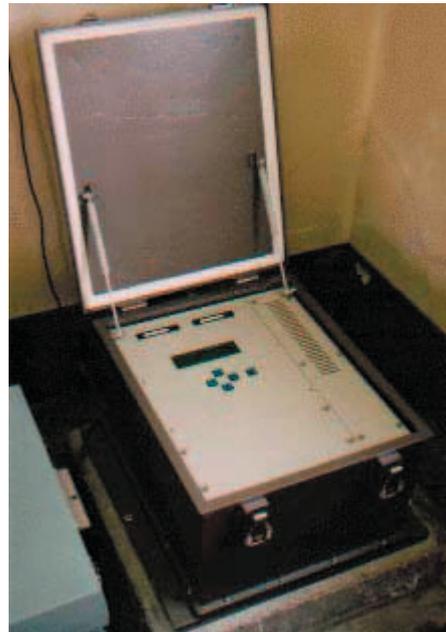


図-15 ERS-G/GV 型強震計の外観

性は ERS-F 型強震計と同じであり、図-12 に示すとおりである。ERS-GV 型強震計の周波数特性は ERS-F, G 型と異なっており、これを図-14 に示す。換振器と記録器を 1 つの箱に収納した標準的な ERS-G/GV 型強震計の外観を図-15 に示す。

非オンライン化地点の場合、地震を記録後、記録シス

表-4 SMAC-MDU 型強震計の仕様
(港湾地域強震観測での設定)

計測	
計測範囲	±2097Gal
振動数範囲	DC～30Hz
ダイナミックレンジ	114dB
A/D 変換	
解像度	24bit
サンプリング周波数	100Hz
換振器	
成分	水平 2 成分と上下成分
感度	3V/G
形式	フォースバランス
フィルタ	
ハイパスフィルタ	0.02Hz
ローパスフィルタ	30Hz
時計	
水晶精度	誤差±0.5ppm 以下
時刻修正	GPS による時刻修正
記録	
起動条件	指定 3 成分の論理演算組み合わせ
記録開始	正秒記録開始
記録停止	停止設定レベルを下回って設定時間後に自動停止
最大記録時間	600 s/3ch 加速度が大きいものを優先的に保存
メモリ	IC カードメモリ: 10Mbyte
記録内容	加速度波形データ, 起動時刻設定値, 機器状態, 最大加速度値 SI 値, 計測震度値
電源	
使用電源	AC100V 50/60Hz
内蔵充電電池	DC12V バックアップ: 3 時間以上
外形寸法・質量	
サイズ(据置型)	398W×418D×210Hmm, 約 24kg

テムのメインユニット(メモリ)が取り出され、次の地震を記録するため、他のメモリに置き換えられる。取り出されたメインユニット(つまり、ERS-F 型の場合には



図-16 SMAC-MDU 型強震計の外観

コネクタ部分にエリミネータを取り付けたバブルメモリ、ERS-G/GV 型の場合には IC カード)はケースに入れて港湾空港技術研究所に郵送される。この記録媒体はコンピュータに接続された再生器にセットされ、地震動の加速度時刻歴が再生される。トリガー時の絶対時刻もまた強震計内蔵の時計の記録から得られる。表-3 に示すように記録システムは 10 秒のデジタル遅延メモリを有する。もしも地震の初期微動の前に記録が始まっている場合には、初期微動に先行する記録の一部が削除される。

(3) SMAC-MDU 型強震計

SMAC-MDU 型強震計は 2001 年から導入されたデジタルタイプの強震計である。表-4 に SMAC-MDU 型強震計の仕様を示す。強震計の外観と理論的な周波数特性をそれぞれ図-16 と図-17 に示す。SMAC-MDU 型強震計は 2009 年末の時点で全国の港湾に 42 台設置されている。これらはすべて当所と電話回線で接続されており、強震計の健全度把握とデータ収集はオンラインで実施される。このことは、強震計の点検等に係る現場の負担を軽減することに寄与している。何らかの事情でオンラインでのデータ収集が不可能となった場合には、データを収録した媒体を郵送する。

2.5 強震計の基礎と観測小屋

港湾地域強震観測で強震計を地表に設置する場合、強震観測小屋に設置する場合とハンドホール内に設置する場合がある。このうち強震観測小屋に設置する場合、図-18 に示すような鉄筋コンクリート製の簡単な基礎を使

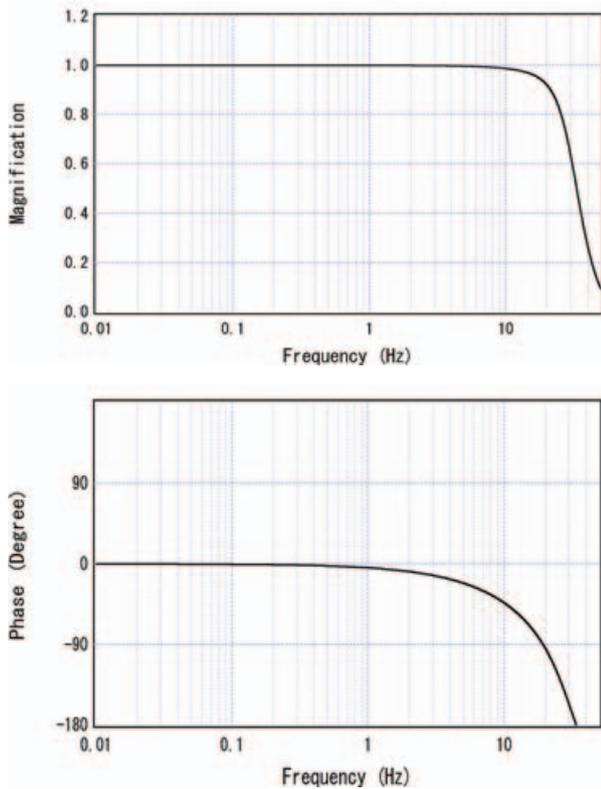


図-17 SMAC-MDU 型強震計の周波数特性

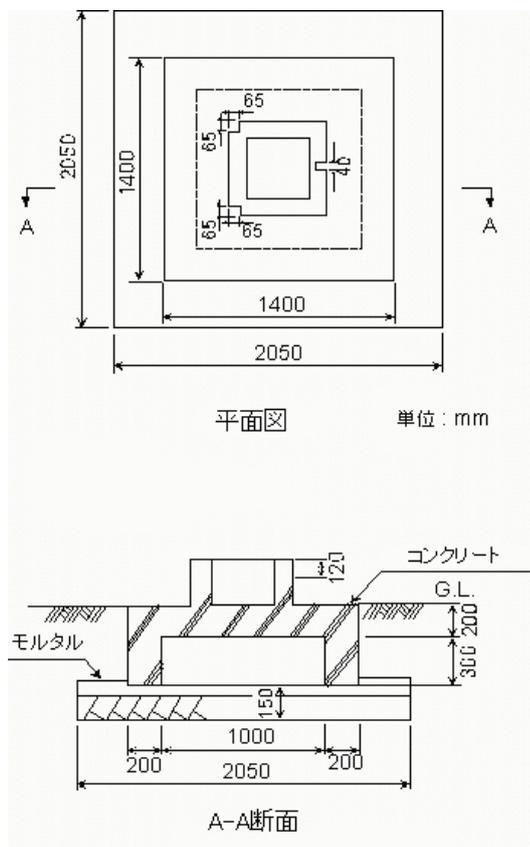


図-18 強震計基礎の一例



図-19 観測小屋の一例(小名浜事-G,GB)

用することが標準となっている。図-18 に示される厚さ 300mm の空洞は、基礎のみかけの密度を周囲の土の密度と等しくすることにより、基礎が存在することによる記録への影響を最小限とするために設けられている。基礎は強震計を収納する小屋とは構造的に離れている必要がある。通常、強震計の基礎を支持するのに杭は使用されない。しかし、観測地点の地盤が非常に軟弱な粘土地盤やゆるい砂地盤である場合には、コンクリートや木製の杭が使用されることもある。例えば新潟港の観測点では基礎を杭で支持している。強震観測小屋そのものの構造には特に制限はないが、耐震性に優れたものである必要がある。強震観測小屋の一例として、小名浜港の強震観測小屋を図-19 に示す。

3. 記録の整理

当所に到着したすべての強震記録は以下に述べる手順で整理・保管される。まず、各々の強震記録は、研究室に到着した順に番号がつけられる。ERS-F,G,GV 型強震計の記録には「F」で始まる番号、SMAC-MDU 型強震計の記録には「U」で始まる番号が付けられる。次に、各々の強震記録に対応する地震を確認する。記録に対応する地震の震源情報としては、気象庁地震・火山月報（防災編）⁶⁴⁾ のものを仮に採用しておき、強震観測年報の刊行までには気象庁地震・火山月報（カタログ編）⁶⁵⁾ のものに置き換える。付録 CD の強震記録一覧のマグニチュードは気象庁マグニチュードである。

4. 補正と積分

得られた記録に対して、まずゼロ線補正が行われる。次に、定められた方法^{66), 67)}に従い、計器特性補正のた

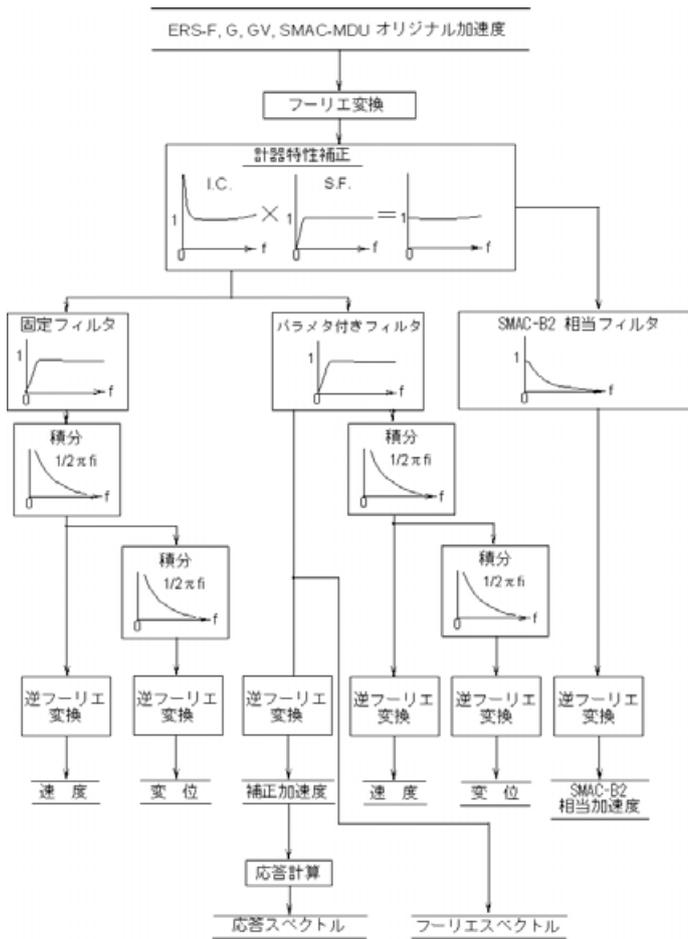


図-20 補正と積分の手順

めのフィルタリング、高周波成分と低周波成分の補正のためのフィルタリング、積分、応答スペクトルとフーリエスペクトルの計算などを実施する。処理の手順を図-20に示す。この手順は1976年以降の記録に適用されてきている。図-20においてオリジナル加速度波形とはゼロ線補正のみを行った波形、補正加速度波形とは、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相当加速度波形とは、港湾地域強震観測で長く用いられてきた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のことである。

4.1 フィルタリングと積分の方法

フィルタリングと積分は周波数領域で実施する。リンク効果を避けるため、ゼロ線補正後の加速度波形（オリジナル加速度波形）の外側にゼロを付けたものに対してFFTを適用する。ゼロ部分の長さ $L(s)$ は次式により定める。

$$L > \max [2 / 3T, 10.0] \quad (1)$$

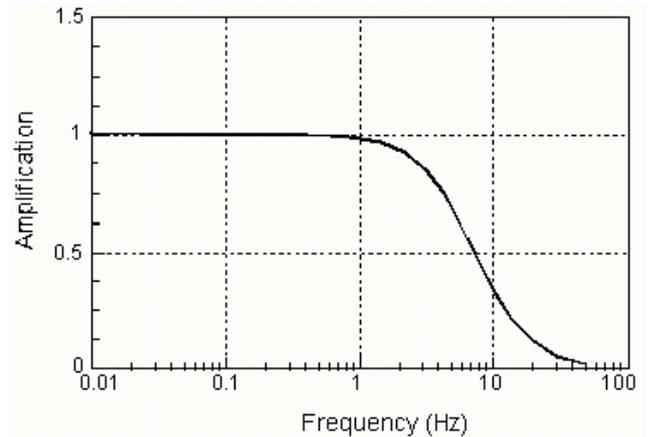


図-21 SMAC-B2 相当フィルタ

ここに $T(s)$ はオリジナル加速度波形の長さである。この条件は、後述する積分用のハイパスフィルタのインパルス応答を考慮して定めたものである。

4.2 計器特性補正等のためのフィルタ

計器特性補正としては、図-12、図-14 および図-17 の下段に示す位相特性に関する補正を行う。振幅特性に関しては、高周波成分を次式に示すフィルタにより取り除く。

$$A_f(f) = \begin{cases} 1 & |f| \leq f_1 \\ \frac{1}{2} [\cos(\pi(f-f_1)/(f_2-f_1)) + 1] & f_1 \leq |f| \leq f_2 \\ 0 & f_2 \leq |f| \end{cases} \quad (2)$$

ここに $f_1=25\text{Hz}$, $f_2=40\text{Hz}$ である。

4.3 SMAC-B2 相当フィルタ

港湾地域強震観測で長く用いられてきた SMAC-B2 型強震計の周波数特性は ERS 型強震計及び SMAC-MDU 型強震計とは異なるので、これらの互いに異なる機種別の強震計による記録の相互比較を可能にするため、ERS 型強震計及び SMAC-MDU 型強震計の記録に対しては次式に示すフィルタを適用する。

$$S(f) = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_s}\right)^2 + 2h_s \left(\frac{f}{f_s}\right) i} \quad (3)$$

ここに $f_s=1/0.14=7.1\text{Hz}$, $h_s=1.0$ である。

このフィルタは図-21に示されるとおり、SMAC-B2 型強震計と同じ周波数特性を有する。このフィルタは、ERS 型強震計及び SMAC-MDU 型強震計の記録に計器特性補正のためのフィルタを適用した後に適用する。このフィルタを作用させることによって得られた加速度は「SMAC-B2 相当加速度」と呼ばれる。ここで得られる

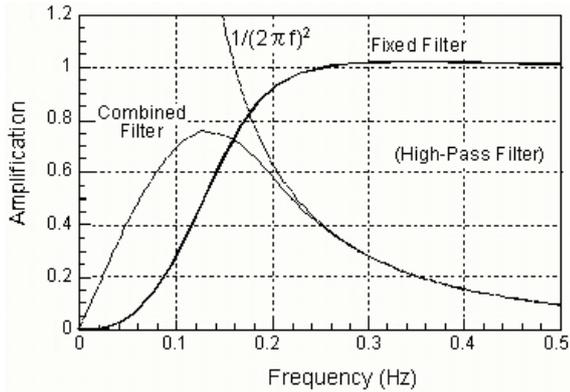


図-22 固定フィルタと二回積分の合成

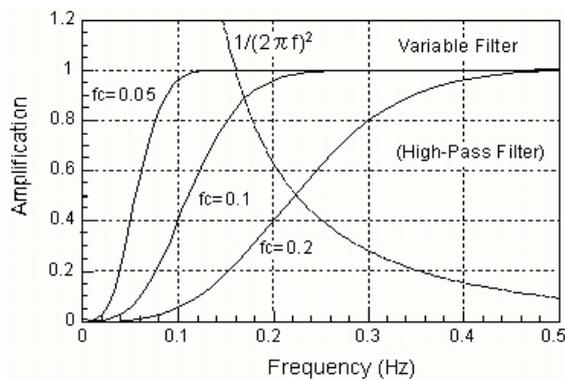


図-23 パラメタ付きフィルタと二回積分

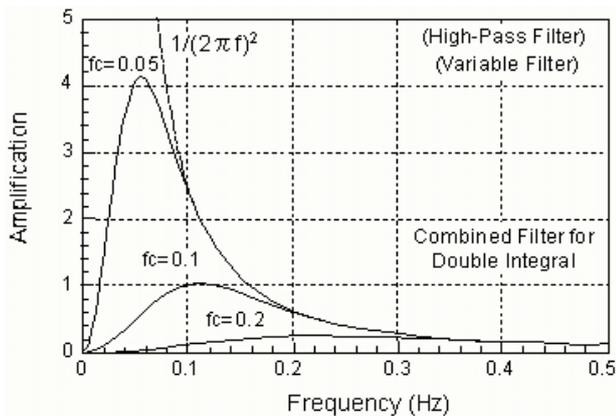


図-24 パラメタ付きフィルタと二回積分の合成

加速度は強震計で測定しようとしている地盤や構造物の本来の加速度とは異なっており、その最大値は本来の加速度よりも小さいが、この処理を施して得られる加速度はすべて互いに比較可能である。

4.4 積分用のハイパスフィルタ

すべての周波数に対して SN 比を一定以上に保つと同時に物理的に意味のある信号はできるだけ消さないよう

にするという観点からは、積分用のハイパスフィルタの遮断周波数が加速度波形の周波数特性に応じて変化することが望ましい。一方、積分後に得られる速度波形や変位波形を異なる記録について相互に比較するという観点からは、遮断周波数が一定値であるほうが都合がよい。強震記録が様々な立場で応用されることを考慮し、ここでは、速度波形や変位波形を得るための積分方法として二通りの方法を用いる。一つは固定フィルタを用いる方法であり、もう一つはパラメタ付きフィルタを用いる方法である。

(1) 固定フィルタ

固定フィルタは次式により定義される。

$$H_1(f) = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 - 2h\left(\frac{f_0}{f}\right)i} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_1}{f}\right)^2}} \quad (4)$$

ここに $f_0=1/6(\text{Hz})$, $h=0.552$, $f_1=0.1(\text{Hz})$ である。

このフィルタは、得られる変位波形が気象庁の 1 倍強震計 ($T=6$ 秒, $h=0.552$) の変位波形と比較できるように設定されたものである。フィルタの遮断周波数(3 dB down)は 0.154Hz である。なお、ここで言う「フィルタの遮断周波数(3 dB down)」とは、フィルタの値がフラット部の $1/10^{0.3}$ 倍まで低下する周波数のことである。固定フィルタを図-22 に示す。

(2) パラメタ付きフィルタ

このフィルタは次式により定義される。

$$H_2(f) = \left\{ 1 - \exp\left(-\left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right) \right\}^2 \quad (5)$$

このフィルタの遮断周波数は $1.36f_c$ (3 dB down) である。パラメタ付きフィルタを図-23 および図-24 に示す。パラメタ f_c は、低周波側での SN 比が良好な記録に対しては小さな値、そうでない記録に対しては大きな値とする。具体的には、以下に述べる σ と E が等しくなるように f_c を設定する。まず、 σ は次式により定義される。

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 \{1 - \exp(-fT)\}^4 \{1 - H_2(f)\}^2 df \quad (6)$$

ここに T はオリジナル加速度波形の長さ、 $X(f)$ はオリジナル加速度波形のフーリエ変換である。式(6)は、図-25 に示すように、オリジナル加速度波形から計算したフーリエスペクトルの自乗を $1/T \sim f_c$ の範囲で積分した値を示している。これが所定の値 (E^2) となるように f_c が設定されるので、低周波成分の振幅が大きい記録、すなわち低周波側での SN 比が良好な記録に対しては小さめの f_c が設定され、そうでない記録に対しては大きめの f_c が

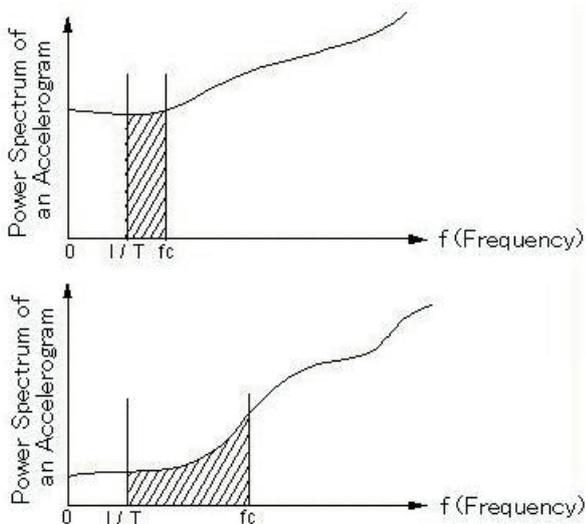


図-25 式(6)の意味するもの

設定される。1/T以下の周波数成分については、 f_c の決定の際には考慮に入れない。

なお、 E は以下に示す値である。

ERS-F,G型強震計

$$E = (p \times 0.001) \times 0.02236 \text{ (Gal)}$$

ここに p は ERS-F,G型強震計の感度(Gal/2¹⁵)

ERS-GV型強震計

$$E = (p \times 0.001) \times 0.07071 \text{ (Gal)}$$

ここに p は ERS-GV型強震計の感度(Gal/2¹⁵)

SMAC-MDU型強震計

$$E = (p \times 0.001) \times 0.00707 \text{ (Gal)}$$

ここに p は SMAC-MDU型強震計の感度(Gal/2²³)

ERS-F,G,GV型強震計及びSMAC-MDU型強震計の E 値は、非地震時に取得した記録のノイズレベルを調べて定めたものである。ERS-F,G型(フォースフィードバック)とERS-GV型(速度帰還型)の低周波側のノイズレベルには差が認められたので、両者の E 値は異なる値としている。

ここで用いる二つのハイパスフィルタはいずれもなだらかな周波数特性を持っており、遮断周波数の前後の成分が時間領域に変換したときに不自然な形をとって現れるのを防ぐことができる。

4.5 解析のアウトプット

(1) 加速度, 速度, 変位

各種の加速度波形と速度波形, 変位波形が付録CDに収められている。先に述べたように、オリジナル加速度波形とはゼロ線補正のみを行った波形, 補正加速度波形とは、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相当加速度波形とは、港湾地域強震観測で長く用いられてきた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のことである。速度と変位は、固定フィルタによるものとパラメタ付きフィルタによるものの双方を提示している。

(2) フーリエスペクトル

フーリエスペクトルは補正加速度からFFTにより計算される。

(3) 応答スペクトル

応答スペクトルは補正加速度から計算される。絶対加速度比, 絶対加速度, 相対速度, 相対変位の4種類の応答が0%, 1%, 5%の3種類の1自由度系に対して計算される。

5. 2009年8月11日駿河湾の地震(M6.5)の記録からわかること

2009年の一年間に観測された主な地震として、表-5にはマグニチュード6.5を越える5つの地震を示している。表-5には、各地震の際に港湾地域強震観測網で取得された記録の数と、最も大きい最大加速度を記録した地点(ただし構造物上の観測点は除く)、および、最大加速度を示している。表-5によれば、最も大きい最大加速度を示したのは8月11日に発生した駿河湾の地震(M6.5)であり、また、最も多くの記録が得られたのもこの地震である。そこで、2009年の一年間に得られた代表的な記録として、ここではこの地震による記録を紹介する。この地震の震央を、強震記録の取得された港湾とともに図-26に示す。この地震は沈み込むフィリピン海プレートの内部で発生したいわゆるスラブ内地震である⁶⁴⁾。

この地震では関東地方から近畿地方にかけて13の港湾で42の強震記録が得られた(図-26)。このうち東京港, 清水港, 名古屋港では複数の地区で記録が得られている。得られた加速度波形の例を図-27~32に示す。ここでは駿河湾周辺の4つの港湾で得られた加速度波形のうち地表で得られた6つを示している。図の右上に示された「下田-U」などの文字は観測地点名を示している。新興津-U2, 清水-G, 清水日の出-Uの3地点はいずれも清水港の観測地点であり、それらの位置を図-33に示す。各港湾における最大加速度は、下田港は約158Gal, 清水港は地点により約76~186Gal, 御前崎港は約501Galとなっており、御前崎港の最大加速度が大きいことが注目される。ただし、地震動の継続時間を見ると、図-27~32からわかるように、御前崎港における継続時間は比較的短い。

表-5 2009年に観測された主な地震

発生年月日	時分	震央位置	M	記録数	最も大きな最大加速度を記録した地点	最大加速度(Gal)
2009/8/5	9:17	宮古島近海	6.5	2	平良-G	27.9
2009/8/9	19:55	東海道南方沖	6.8	31	小名浜事-G	34.0
2009/8/11	5:07	駿河湾	6.5	42	御前崎-G	501.5
2009/8/13	7:48	八丈島東方沖	6.6	12	港研-U	3.9
2009/8/17	9:05	石垣島近海	6.7	1	石垣-G	26.1

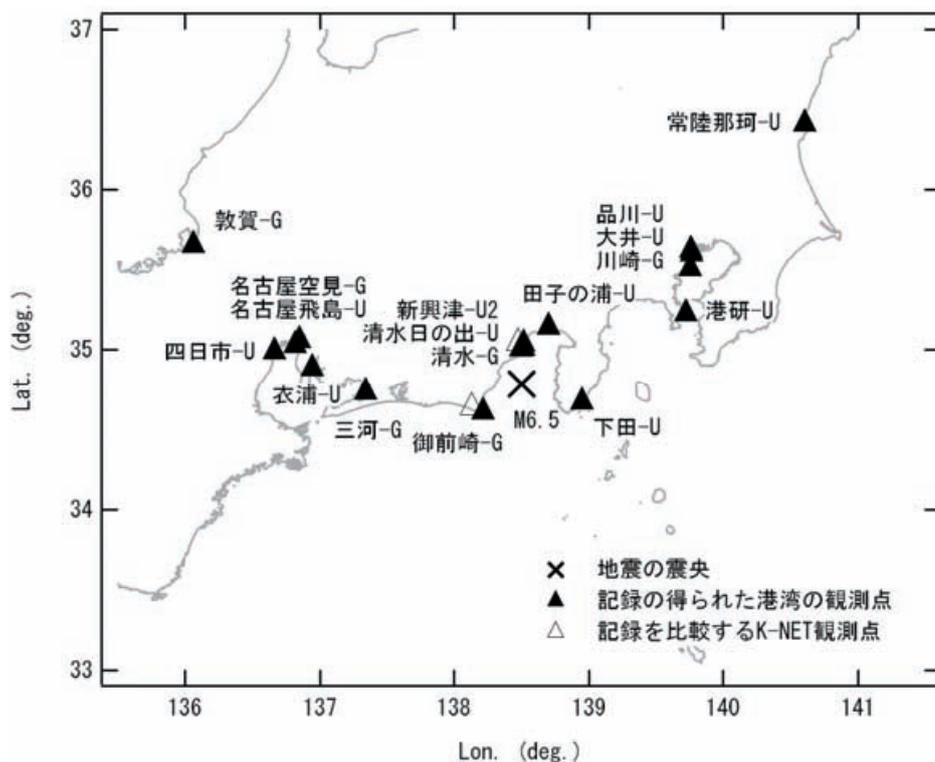


図-26 2009年8月11日駿河湾の地震(M6.5)の震央(X)と記録の得られた港湾の位置(▲)

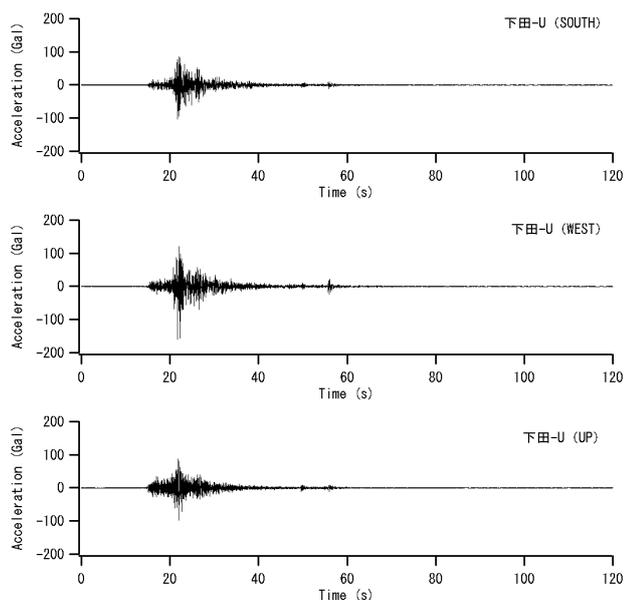


図-27 下田-Uにおけるオリジナル加速度波形

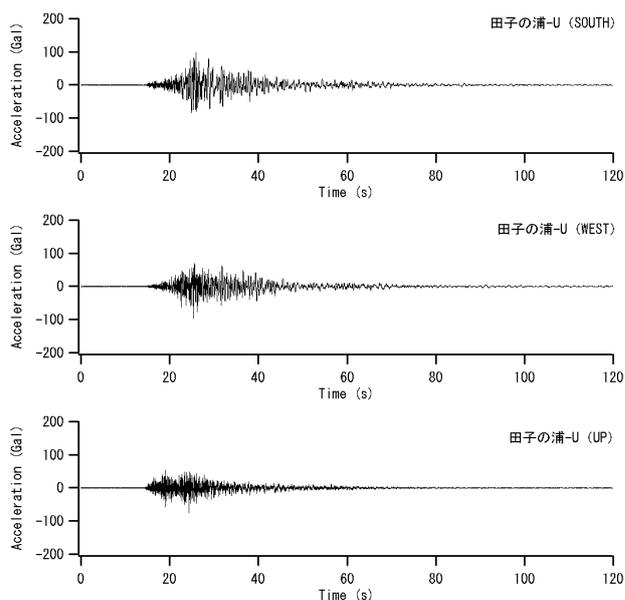


図-28 田子の浦-Uにおけるオリジナル加速度波形

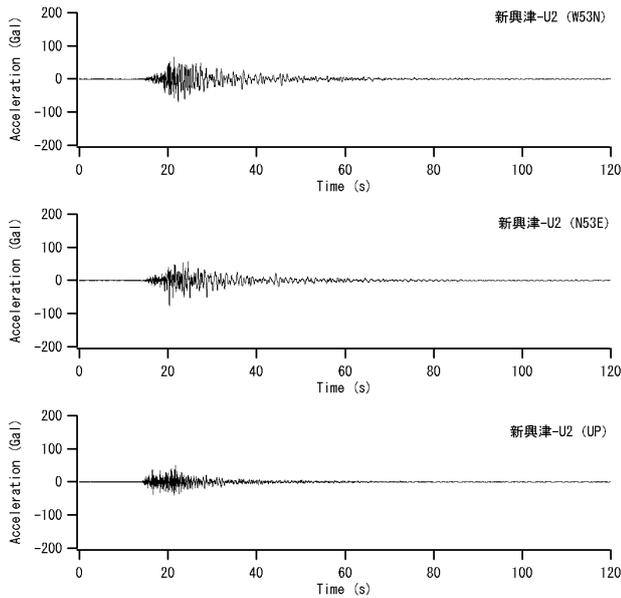


図-29 新興津-U2 におけるオリジナル加速度波形

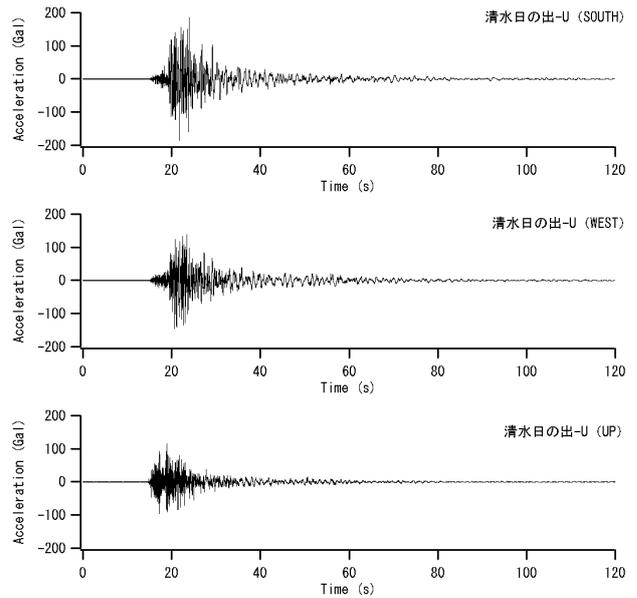


図-31 清水日の出-U におけるオリジナル加速度波形

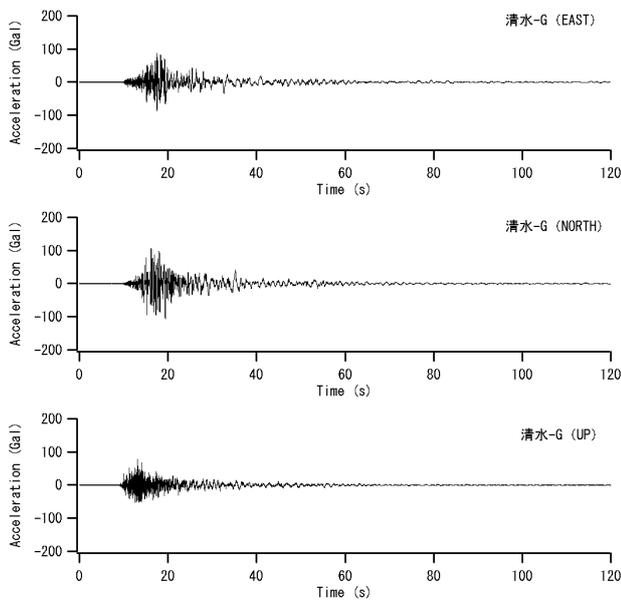


図-30 清水-G におけるオリジナル加速度波形

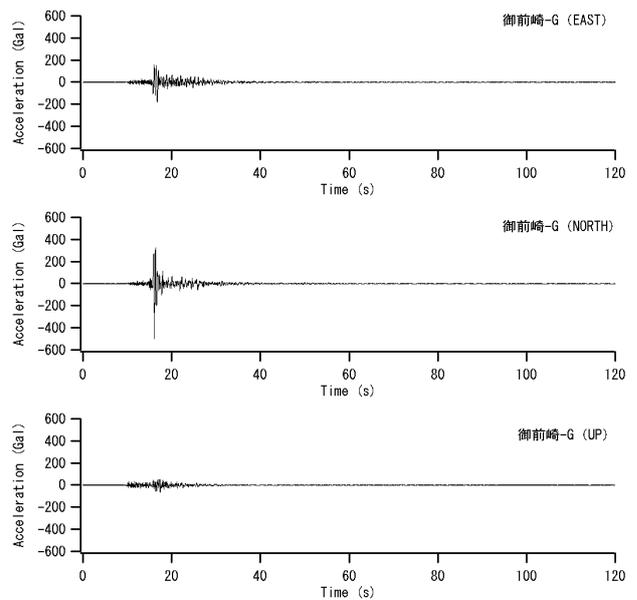


図-32 御前崎-G におけるオリジナル加速度波形

次に、特に揺れの大きかった清水港と御前崎港について、やや詳しく記録を分析する。

まず、図-34 は新興津-U2 で得られた記録（地表）のフーリエスペクトルを、最寄りの K-NET⁽⁶⁸⁾ 観測点である K-NET 清水 (SZO013；清水市庵原；位置を図-33 に示す) における記録（地表）のフーリエスペクトルと比較したものである。ここで、フーリエスペクトルはいずれも水平 2 成分のベクトル和をとりバンド幅 0.05Hz のパーセンウィンドウ⁽⁶⁹⁾を適用したものである（以下、本稿で示すフーリエスペクトルはいずれも同様）。この図から、新興津-U2 の記録は約 0.8Hz より低周波側では K-NET 清水と同じかやや

大きい程度であるが、約 0.8Hz より高周波側では K-NET 清水より大幅に小さいことがわかる。このような傾向が過去の地震にも表れているか検討するために、図-35～図-36 では 2004 年 9 月 5 日紀伊半島南東沖の地震 (M7.4) および 2005 年 8 月 16 日宮城県東方沖の地震 (M7.2) による K-NET 清水と新興津-U2 の記録の比較を行っているが、同様の傾向が表れている。今回の地震を含む 3 つの地震に対して、K-NET 清水に対する新興津-U2 のフーリエスペクトルの比を求めると図-37 のようになり、やはり約 0.8Hz より高周波側で新興津-U2 の振幅が小さい傾向が表れている。この傾向が地震を問わず表れていることから、これは K-N



図-33 清水港における強震観測点の位置。K-NET 清水 (SZ0013) の位置を併記している。

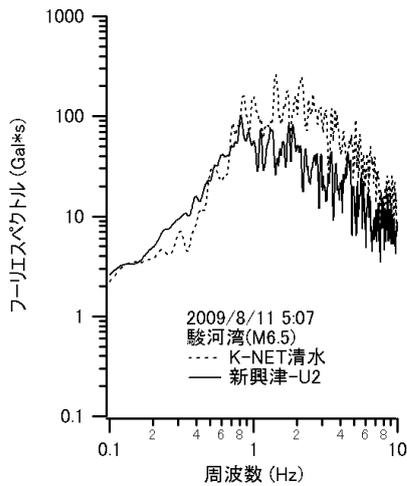


図-34 今回の地震における K-NET 清水と新興津-U2 のフーリエスペクトル

ET 清水と新興津-U2 におけるサイト特性 (堆積層の存在が地震動に及ぼす影響) の相違によるものと考えられる。

図-38 は清水-G で得られた記録 (地表) のフーリエスペクトルを、K-NET 清水における記録 (地表) のフーリエスペクトルと比較したものである。この図から、清水-G の記録は約 0.8Hz より低周波側では K-NET 清水よりも大幅に大きく、約 0.8Hz より高周波側では K-NET 清水よりも小さい傾向にあることがわかる。このような傾向が過去の地震にも表れているか検討するために、図-39～図-40 では 2004 年 9 月 5 日紀伊半島南東沖の地震 (M7.4) および 2005 年 8

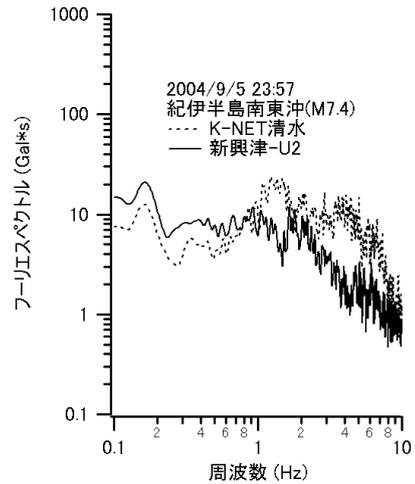


図-35 2004 年 9 月 5 日紀伊半島南東沖の地震における K-NET 清水と新興津-U2 のフーリエスペクトル

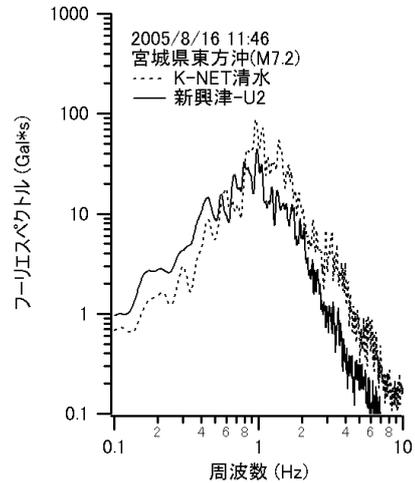


図-36 2005 年 8 月 16 日宮城県東方沖の地震における K-NET 清水と新興津-U2 のフーリエスペクトル

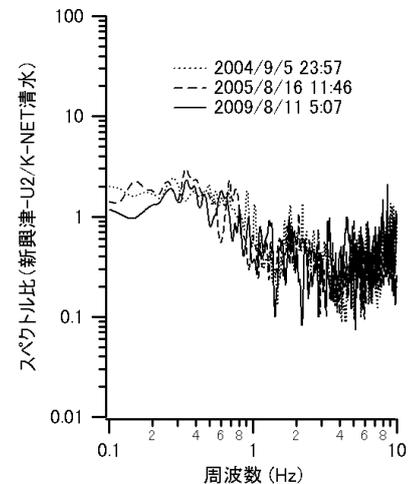


図-37 K-NET 清水に対する新興津-U2 のフーリエスペクトルの比

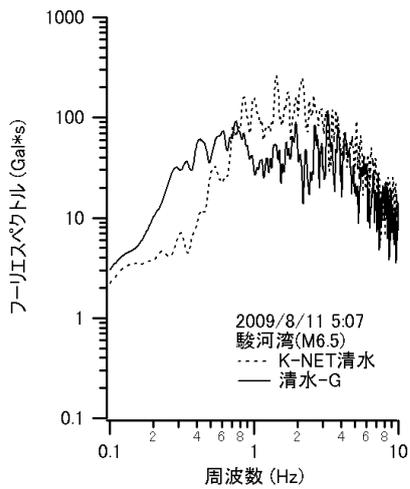


図-38 今回の地震におけるK-NET清水と清水-Gのフーリエスペクトル

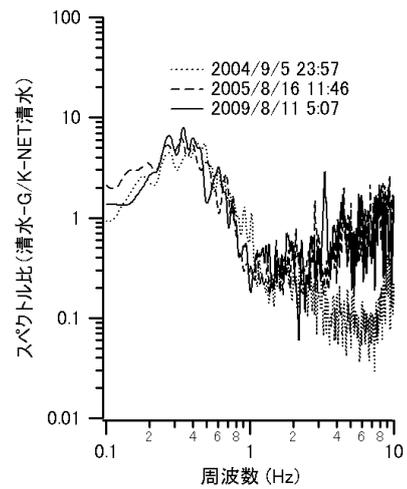


図-41 K-NET清水に対する清水-Gのフーリエスペクトルの比

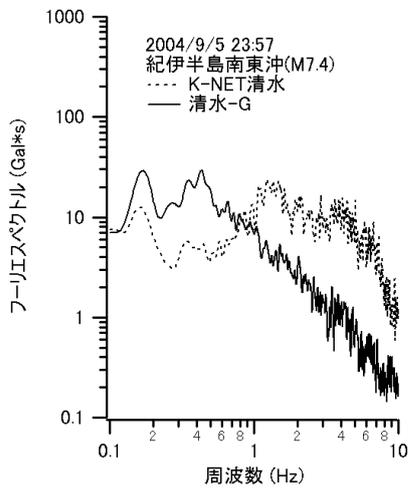


図-39 2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震におけるK-NET清水と清水-Gのフーリエスペクトル

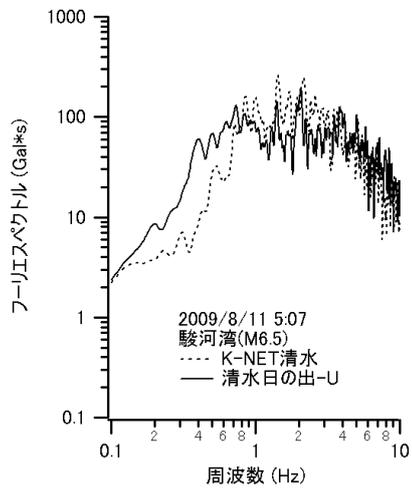


図-42 今回の地震におけるK-NET清水と清水日の出-Uのフーリエスペクトル

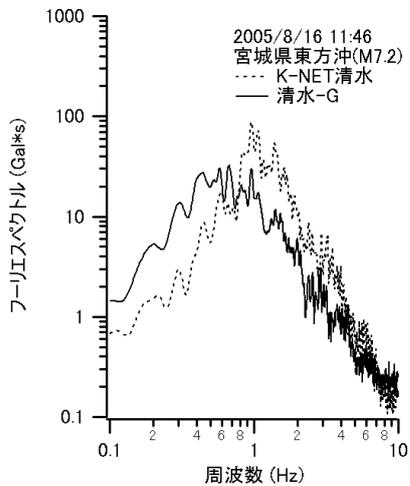


図-40 2005年8月16日宮城県東方沖の地震におけるK-NET清水と清水-Gのフーリエスペクトル

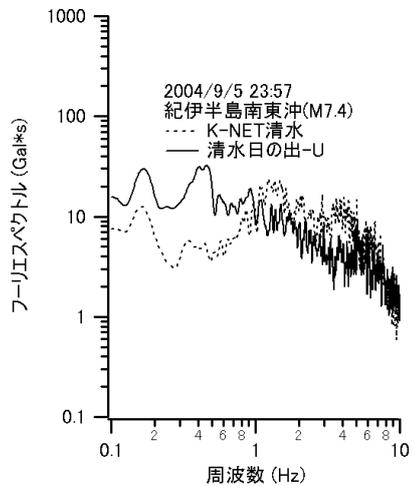


図-43 2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震におけるK-NET清水と清水日の出-Uのフーリエスペクトル

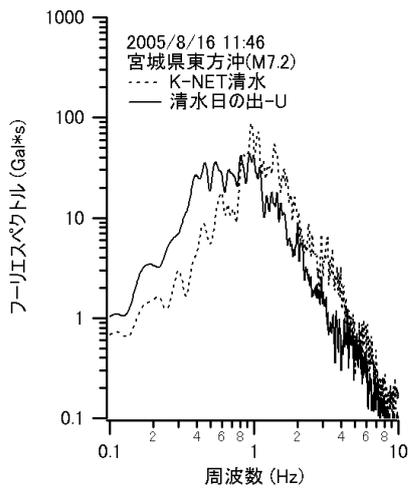


図-44 2005年8月16日宮城県東方沖の地震におけるK-NET清水と清水日の出-Uのフーリエスペクトル

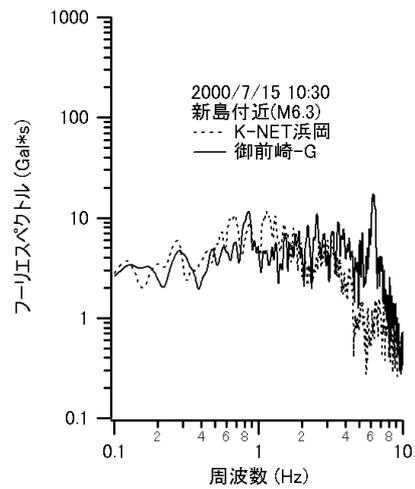


図-47 2000年7月15日新島付近の地震におけるK-NET浜岡と御前崎-Gのフーリエスペクトル

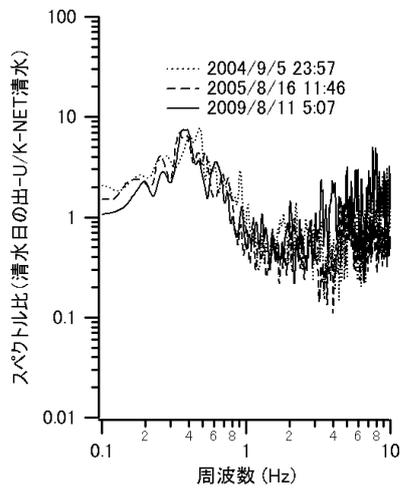


図-45 K-NET清水に対する清水日の出-Uのフーリエスペクトルの比

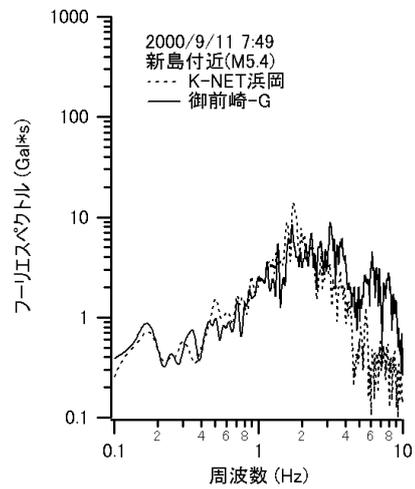


図-48 2000年9月11日新島付近の地震におけるK-NET浜岡と御前崎-Gのフーリエスペクトル

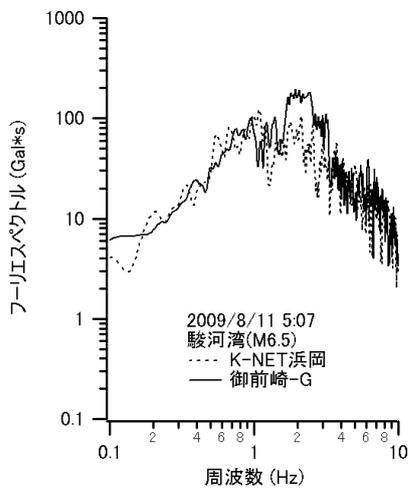


図-46 今回の地震におけるK-NET浜岡と御前崎-Gのフーリエスペクトル

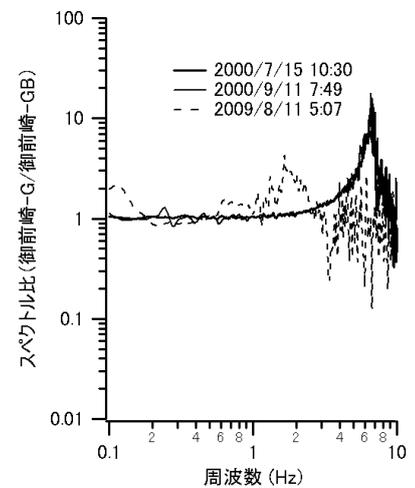


図-49 地表と地中のスペクトル比(御前崎-G/御前崎-GB)

月 16 日宮城県東方沖の地震 (M7.2) による K-NET 清水と清水-G の記録の比較を行っているが、同様の傾向が表れている。今回の地震を含む 3 つの地震に対して、K-NET 清水に対する清水-G のフーリエスペクトルの比を求めると図-41 のようになり、やはり約 0.8Hz より低周波側では清水-G の振幅の方が大幅に大きい傾向が表れている。この傾向が地震を問わず表れていることから、これは K-NET 清水と清水-G におけるサイト特性 (堆積層の存在が地震動に及ぼす影響) の相違によるものと考えられる。これとほぼ同様のことが K-NET 清水と清水日の出-U の記録を比較した場合にも言える (図-42~図-45)。

最後に、図-46 は御前崎-G で得られた記録 (地表) のフーリエスペクトルを、最寄りの K-NET 観測点である K-NET 浜岡における記録 (地表) のフーリエスペクトルと比較したものである。この図から、御前崎-G のフーリエスペクトルは全体として K-NET 浜岡のフーリエスペクトルに近いが、約 2Hz 付近では御前崎-G の方がフーリエスペクトルの値が大きくなっていることがわかる。このような傾向が過去の地震にも表れているか検討するために、図-47~図-48 では 2000 年 7 月 15 日新島付近の地震 (M6.3) および 2000 年 9 月 11 日新島付近の地震 (M5.4) による K-NET 浜岡と御前崎-G の記録の比較を行っている。これらの地震の場合も、御前崎-G のフーリエスペクトルは全体として K-NET 浜岡のフーリエスペクトルに近く、高周波側で一部御前崎-G の方がフーリエスペクトルの値が大きくなっているという点も今回の地震と共通であるが、これらの地震ではフーリエスペクトルに差の生じている周波数は約 5Hz 以上であり、この点が今回の地震とは異なっている。こうした違いが生じた原因として考えられるのは、御前崎-G の表層地盤で非線形挙動が生じたことである。そこで、この点について、地表と地中のスペクトル比を利用してさらに検討する。

図-49 は 2000 年 7 月 15 日新島付近の地震 (M6.3)、2000 年 9 月 11 日新島付近の地震 (M5.4)、および今回の地震に対して、御前崎港における地表 (御前崎-G) と地中 (御前崎-GB) のフーリエスペクトルの比を求めたものである。この図から、2000 年に発生した 2 つの地震に対してはスペクトル比のピークが 7Hz 付近にあるのに対し、今回の地震に対してはスペクトル比のピークが 1.7Hz 付近まで移動しており、表層地盤で著しい非線形挙動が生じていたことがわかる。スペクトル比のピーク周波数は、地表と地中の観測点に挟まれた部分の平均的な S 波速度に比例するので、今回の地震では、この部分の S 波速度が線形時の 24%程度まで低下したと推定できる。さらに地盤のせん断剛性は S 波速度の自乗に比例するので、今回の地震では、この部分

のせん断剛性が線形時の 6%程度にまで低下したと推定できる。このような非線形挙動が生じたために、K-NET 浜岡に対する御前崎-G のフーリエスペクトルのピークも低周波側に移動したと考えられる (図-46~図-48)。

同様の方法を、地表と地中で同時に記録が得られているすべての地点 (常陸那珂-U、品川-U、大井-U、川崎-G、下田-U、新興津-U2、清水-G、三河-G、衣浦-U、名古屋空見-G、名古屋飛島-U、四日市-U) に適用し、非線形挙動の有無について検討したところ、下田-U、新興津-U2、清水-G の 3 地点については若干の非線形挙動が認められたが、それ以外の地点については非線形挙動は認められなかった。これらの観測結果は、今後、地盤の地震応答計算プログラムの検証を行っていく上で有用であると考えられる。

6. まとめ

本資料は、1962 年より実施されている港湾地域強震観測の記録のうち、2009 年に得られた記録について報告するものである。得られた記録は地点毎に分類され、地震諸元、記録番号、最大加速度等とともに付録 CD の強震観測表にまとめられている。強震観測表の地震諸元は、気象庁の地震・火山月報 (カタログ編) に基づいている。強震観測表にまとめられている記録の中で、最大加速度が 20Gal を越える記録については加速度波形を示している。また、最大加速度が 50Gal を越える比較的大きな記録については、加速度波形に加え、速度波形、変位波形、フーリエスペクトル、応答スペクトルも併せて示している。

(2010年8月13日受付)

謝辞

港湾地域強震観測は、当所の他、国土交通省港湾局、東北地方整備局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局、北海道開発局、内閣府沖縄総合事務局、東京都港湾局、静岡県港湾総室、大阪市港湾局、宮崎県港湾課および国土技術政策総合研究所の各機関の協力の下に実施されています。地震動研究チームの林公美さん、宮田さよ子さんには記録の処理などで大きく貢献していただいています。2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震の記録を紹介した章では、比較のため、防災科学技術研究所の K-NET の記録を利用しました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 菅野高弘・三籐正明・及川研：兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察 (その 8) ケーソン式岸壁の被災に関

- する模型振動実験, 港湾技研資料, No.813, 1995年9月, pp.207-252.
- 2) 一井康二・井合進・森田年一: 兵庫県南部地震におけるケーソン式岸壁の挙動の有効応力解析, 港湾技研報告, 第36巻, 第2号, 1997年6月, pp.41-86.
 - 3) 野津厚・長尾毅: スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料 No. 1112, 2005年12月.
 - 4) 野津厚・菅野高弘: スペクトルインバージョンに基づく道北の強震観測地点におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料 No. 1214, 2010年6月.
 - 5) 野津厚・盛川仁: 表層地盤の多重非線形効果を考慮した経験的グリーン関数法, 地震2, 第55巻, 2003年3月, pp.361-374.
 - 6) 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.
 - 7) 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.
 - 8) 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.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) 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.
 - 12) 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.
 - 13) 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.
 - 14) 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.
 - 15) 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.
 - 16) 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.
 - 17) 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.
 - 18) 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.
 - 19) 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.
 - 20) 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.
 - 21) 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.
 - 22) 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.
 - 23) 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.
 - 24) 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.
 - 25) 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.
 - 26) 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.
 - 27) 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.
 - 28) 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.
 - 29) 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.
 - 30) 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.
 - 31) 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.
 - 32) 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.
 - 33) 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.
 - 34) 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.
 - 35) 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.
 - 36) 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.
 - 37) 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), 港湾空港技術研究所資料 No.1016, 2002年3月.
 - 38) 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), 港湾空港技術研究所資料 No.1019, 2002年6月.
- 39) 野津厚・佐藤陽子・深澤清尊・佐藤泰子・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2002), 港湾空港技術研究所資料 No.1054, 2003年9月.
- 40) 野津厚・鈴木嘉秀・早田泰子・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2003), 港湾空港技術研究所資料 No.1084, 2004年9月.
- 41) 野津厚・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2004), 港湾空港技術研究所資料 No.1109, 2005年9月.
- 42) 野津厚・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2005), 港湾空港技術研究所資料 No.1136, 2006年9月.
- 43) 野津厚・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2006), 港湾空港技術研究所資料 No.1164, 2007年9月.
- 44) 野津厚・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2007), 港湾空港技術研究所資料 No.1184, 2008年9月.
- 45) 野津厚・菅野高弘: 港湾地域強震観測年報 (2008), 港湾空港技術研究所資料 No.1207, 2010年3月.
- 46) 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.
- 47) 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.
- 48) 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.
- 49) 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.
- 50) 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.
- 51) 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.
- 52) 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.
- 53) 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.
- 54) 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.
- 55) 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.
- 56) 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.
- 57) 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.
- 58) 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.
- 59) 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.
- 60) 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.
- 61) 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.
- 62) 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.
- 63) 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.
- 64) 気象庁: 地震・火山月報(防災編), 2009年.
- 65) 気象庁: 地震・火山月報(カタログ編), 平成21年12月, 2010年.
- 66) 井合 進・倉田栄一・土田 肇: 強震記録の数字化と補正, 港湾技研資料 No.286, 1978年3月.
- 67) Susumu Iai and Eiichi Kurata: Integration of strong-motion accelerograms, Proceedings of the 5th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1978, pp.225-232.
- 68) Kinoshita, S.: Kyoshin Net (K-net), *Seim. Res. Lett.*, Vol.69, 1998, pp.309-332.
- 69) 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5月.

強震観測担当者（2009年1月～12月）

東北地方整備局

青森港湾事務所		村山 善一	小山内 聡	玉山 具夫
		斉藤 雅志		
八戸港湾・空港整備事務所		滝沢 洋一		
釜石港湾事務所		鈴木 真司	里見 茂	福田 良介
		桜庭 貞昭		
釜石港湾事務所	宮古港事務所	菅原 将徳		
塩釜港湾・空港整備事務所		末永 清和	桜庭 貞昭	瀬川 哲
		外久保 裕一	原茂 雅光	
小名浜港湾事務所		根本 俊彦		
小名浜港湾事務所	相馬港事務所	菊池 睦	箭子 英雄	
秋田港湾事務所		齋藤 信之		
酒田港湾事務所		須田 国男		

北陸地方整備局

新潟港湾・空港整備事務所		佐藤 栄治		
伏木富山港湾事務所	新湊出張所	内生蔵 一樹		
金沢港湾・空港整備事務所		山寄 一雄	村崎 清武	
敦賀港湾事務所		木原 寿明		

関東地方整備局

鹿島港湾・空港整備事務所		川住 武之	笹森 秀一郎	
鹿島港湾・空港整備事務所	常陸那珂港事務所	児玉 道久		
千葉港湾事務所		満山 堅太郎	石岡 勉	佐藤 達也
		石澤 武紘		
京浜港湾事務所		石田 崇		

中部地方整備局

清水港湾事務所		吉田 明俊		
清水港湾事務所	下田港事務所	日比 智也		
清水港湾事務所	御前崎港事務所	白崎 正浩	富本 正	
三河港湾事務所		長瀬 和光		
三河港湾事務所	衣浦港事務所	松永 洋明	梅田 至人	
名古屋港湾事務所		森 健作	久保田 靖子	
名古屋港湾空港技術調査事務所		木全 啓介		
四日市港湾事務所		奥山 健司		

近畿地方整備局

和歌山港湾事務所		福本 直樹	森田 正樹	
神戸港湾事務所		岩崎 直晃	玉利 俊瑛	渡慶次 賀則

中国地方整備局

境港湾・空港整備事務所 西丸 剛史
広島港湾・空港整備事務所 庄司 彰 石橋 伸司

四国地方整備局

松山港湾・空港整備事務所 田村 剛
小松島港湾・空港整備事務所 正田 武史 斉藤 祐一
高知港湾・空港整備事務所 芝 清久 真砂 澄男

九州地方整備局

博多港湾・空港整備事務所 坂本 光信 井町 信義 的野 一郎
松尾 博文
別府港湾・空港整備事務所 小野 章 富安 真一郎
宮崎港湾・空港整備事務所 森満 賢治
志布志港湾事務所 大村 普 野田 巧
鹿児島港湾・空港整備事務所 井上 光輝

北海道開発局

釧路開発建設部 釧路港湾事務所 丸山 修治 山内 弘明
釧路開発建設部 根室港湾事務所 菊地 聡一
帯広開発建設部 十勝港湾事業所 八柳 敦
室蘭開発建設部 浦河港湾事務所 伊東 公人
室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 渡邊 毅人 池田 公嘉
室蘭開発建設部 室蘭港湾事務所 鈴木 孝信 大沢 佳宏
小樽開発建設部 小樽港湾事務所 蜷川 浩一 須藤 賢哉 杉山 盛行
松本 隆一
函館開発建設部 函館港湾事務所 長嶺 謙弘
函館開発建設部 江差港湾事務所 川西 健孔
留萌開発建設部 留萌港湾事務所 佐々木 智之 沖 享尚
網走開発建設部 網走港湾事務所 林 誉命 香川 智章
網走開発建設部 紋別港湾事務所 下阪 郁 鈴木 慶律

沖縄総合事務局

那覇港湾・空港整備事務所 佐々木 暢彦
那覇港湾・空港整備事務所 中城湾港出張所 国場 幸恒 伊良波 憲
平良港湾事務所 嵩原 務仁 国場 幸恒
石垣港湾事務所 親泊 忠 田港 朝之

都道府県

東京都港湾局 小林 哲人 下拂 章一
大阪市港湾局 富田 太朗 鈴木 健司
静岡県田子の浦港管理事務所 藤牧 義久 深津 幸宏 佐野 光政
宮崎県土木部北部港湾事務所 内田 隆一 甲斐 誠士 橋口 公進
佐藤 博昭

港湾空港技術研究所資料 No.1223

2010.12

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 シーケン

Copyright © (2010) 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。



古紙配合率70%再生紙を使用しています