

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1207 March 2010

強震観測年報（2008）

野津 厚

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. 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. 2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震 (M6.8) の記録	14
6. まとめ	19
謝辞	20
参考文献	20
強震観測担当者 (2008年1月～12月)	23

Annual Report on Strong-Motion Earthquake Records in Japanese Ports (2008)

Atsushi NOZU*

Takahiro SUGANO**

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 2008, 8627 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 2008. 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 2008. ASCII data of the reproduced accelerograms for all the records in 2008 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

* Senior Researcher, Geotechnical and Structural Engineering Department

** Director, Earthquake Disaster Prevention Engineering 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

強震観測年報 (2008)

野津 厚*・菅野 高弘**

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、2008年末現在、8627の強震記録が蓄積されるに至っている。このうち2008年には417の強震記録が得られている。強震計の台数としては、2008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2008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。

2008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・構造部主任研究官

** 地盤・構造部地震防災研究領域長

〒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、2008 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、2008 年末までに 8627 の加速度記録が得られている。このうち 2008 年には 417 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

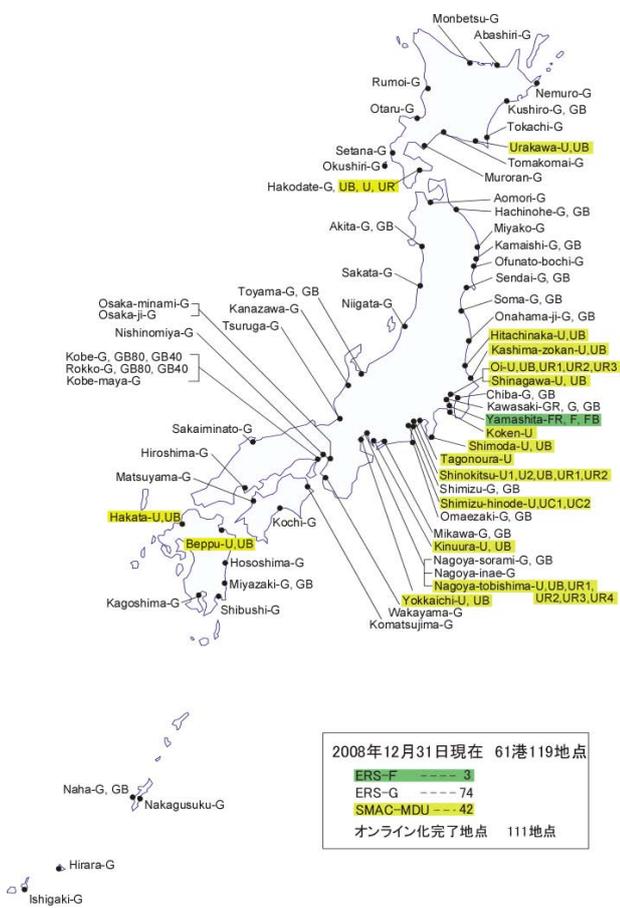


図-1 港湾地域強震観測網

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

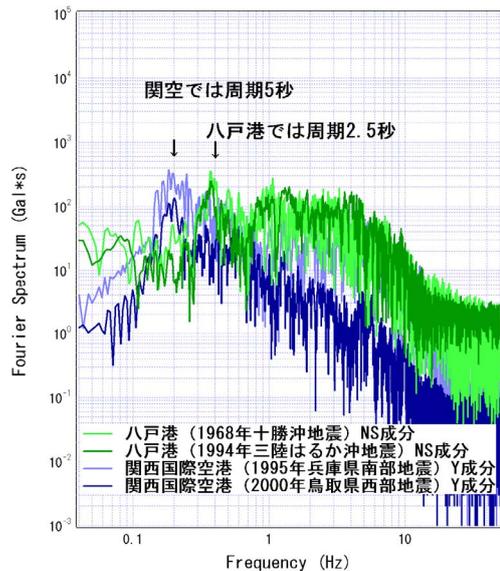


図-2 八戸港と関西国際空港の地震動特性の比較

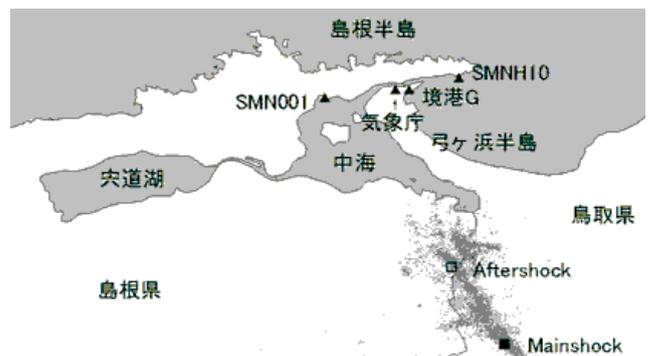


図-3 境港およびその周辺の強震観測地点

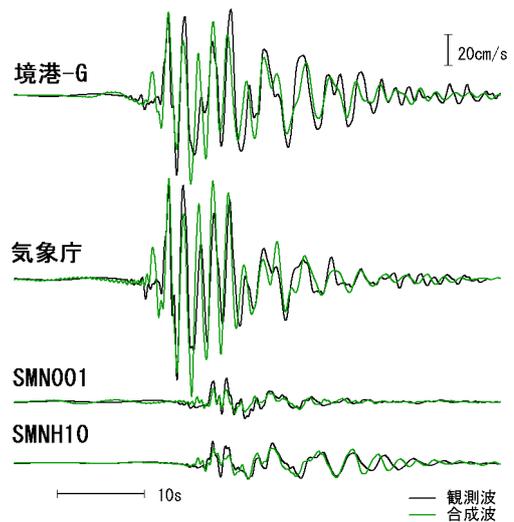


図-4 経験的グリーン関数法による 2000 年鳥取県西部地震の本震地動の再現⁴⁾

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

緑で, SMA C-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⁾. 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で, 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 4) 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⁵⁾⁻¹⁵⁾. 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もので, それらは別冊¹⁶⁾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¹⁷⁾⁻⁴³⁾. また, 通常の年報とは別に, 被害地震の記録だけを集めた資料も刊行されている⁴⁴⁾⁻⁵⁵⁾. 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³⁶⁾⁻⁴³⁾には, デジタルデータを収録した CD を添付している.

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、2008 年末の時点では 119 の強震計が 61 の港に設置されている。2008 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⁵⁶⁾⁻⁶¹⁾を参照されたい。2008 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。2008 年の 1 年間における主な動きとしては、四日市港の強震計の SMAC-MDU 型への更新を挙げることができる。

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、観測点と当所と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 2008 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。岸壁や棧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

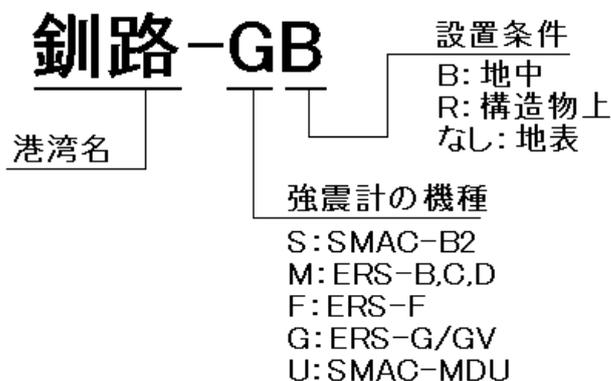


図-5 観測地点名のルール

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。2008 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

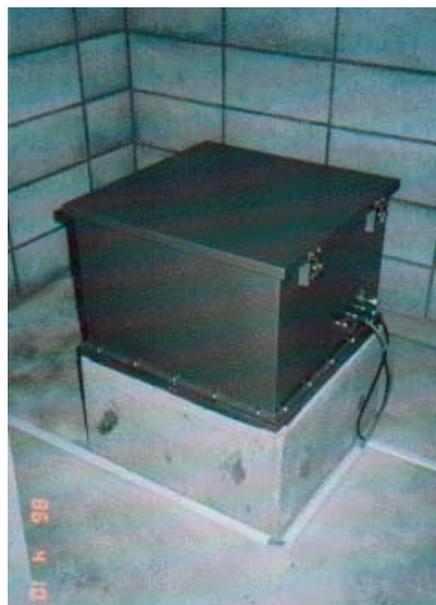


図-7 一体型の ERS-F 型強震計



図-8 ERS-F, G, GV 型強震計の地中設置用換振器

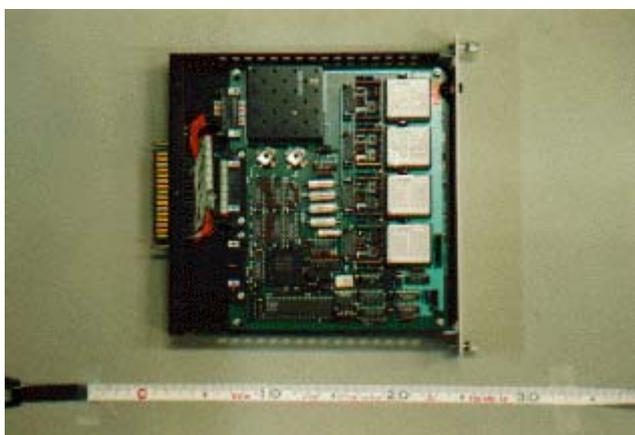


図-6 ERS-F 型強震計の記録システム



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

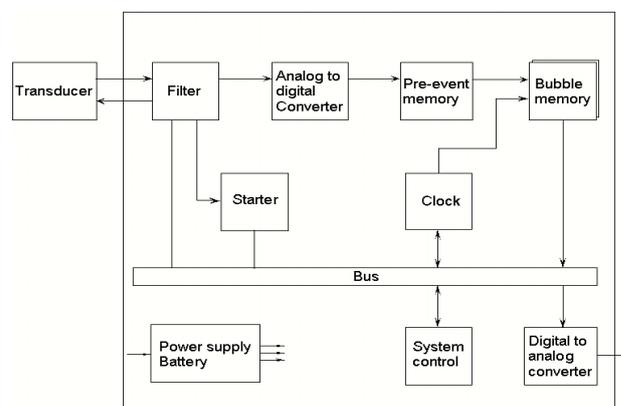


図-11 ERS-F 型強震計のブロックダイアグラム

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るようになっている。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

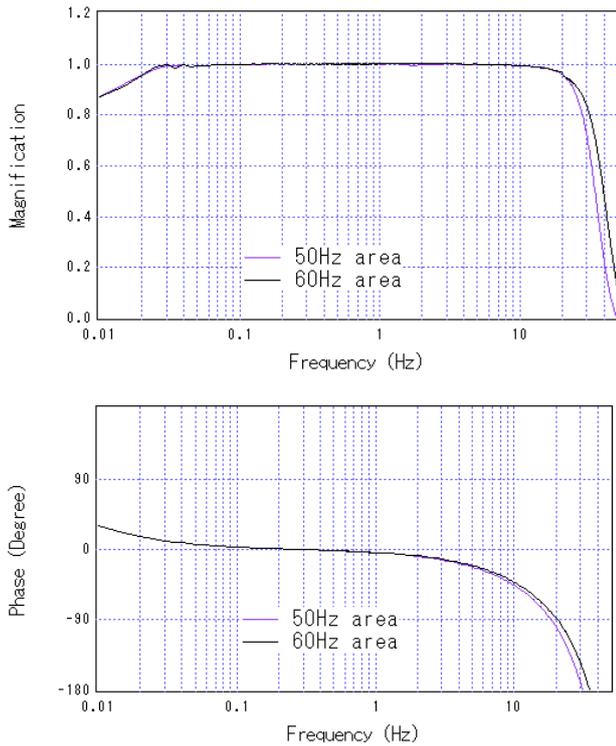


図-12 ERS-F, G 型強震計の周波数特性

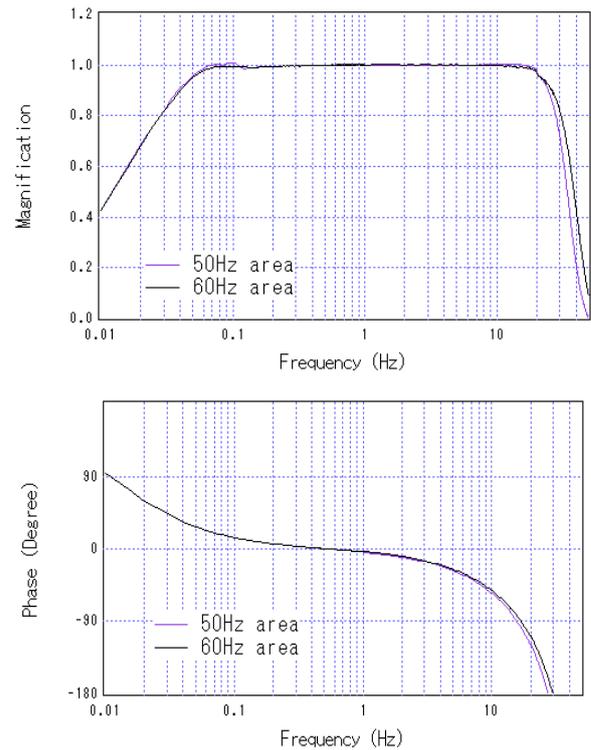


図-14 ERS-GV 型強震計の周波数特性



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。2008 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

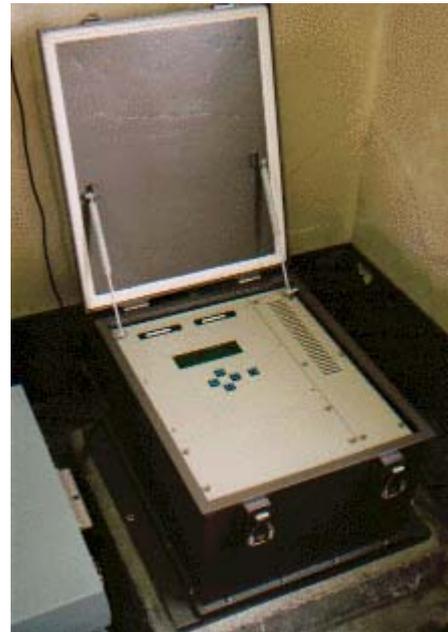


図-15 ERS-G/GV 型強震計の外観

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 型の場合にはコ



図-16 SMAC-MDU 型強震計の外観

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 2008 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用す

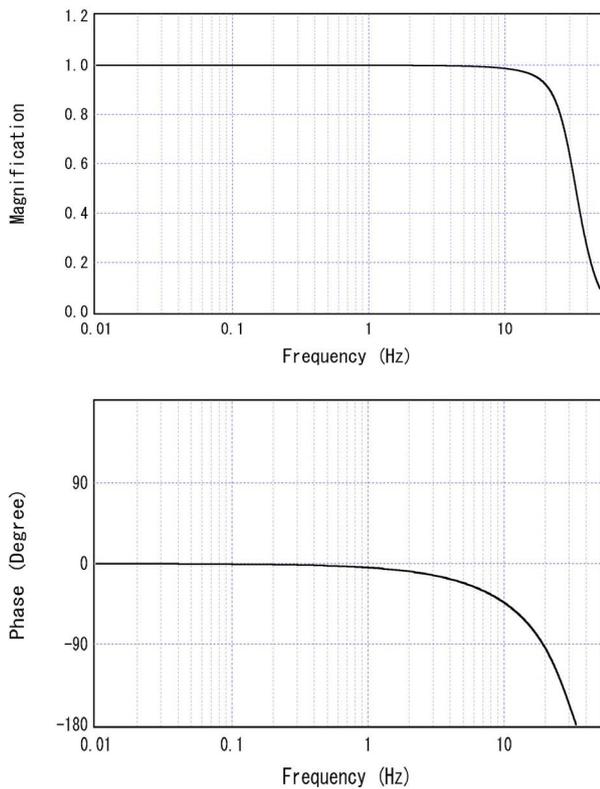


図-17 SMAC-MDU型強震計の周波数特性

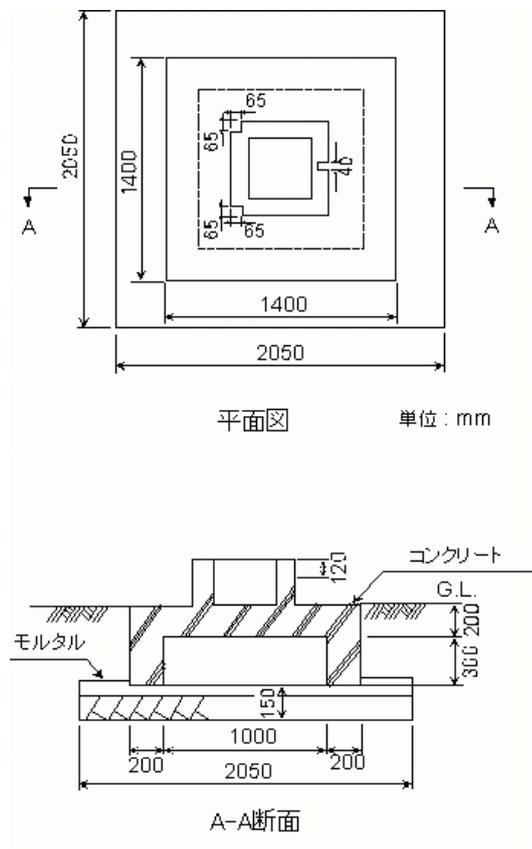


図-18 強震計基礎の一例



図-19 観測小屋の一例(小名浜事-G,GB)

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)⁶²⁾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)⁶³⁾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^{64), 65)}に従い、計器特性補正のた

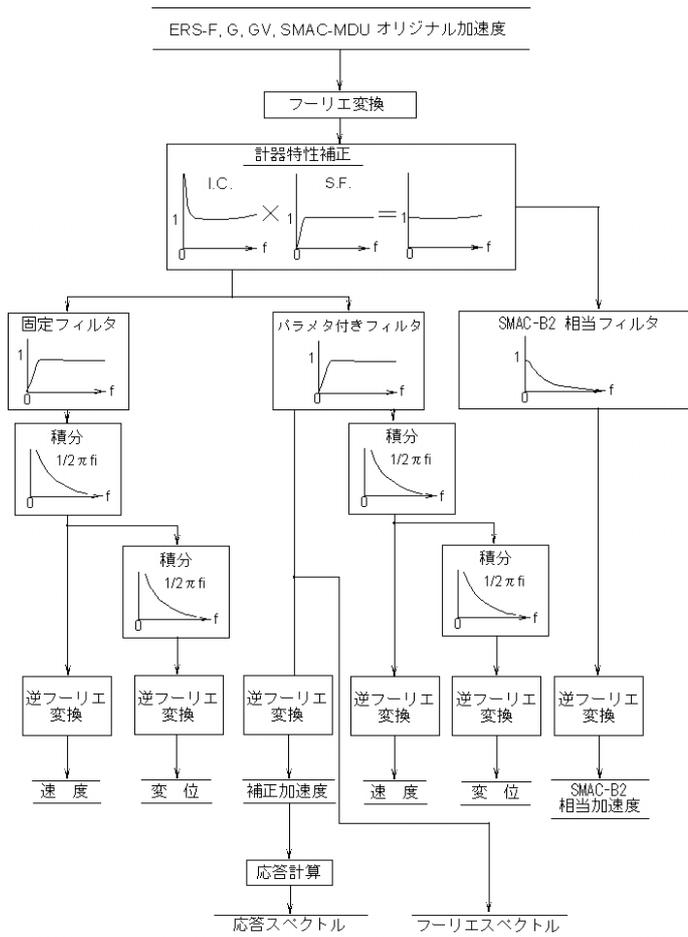


図-20 補正と積分の手順

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。

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

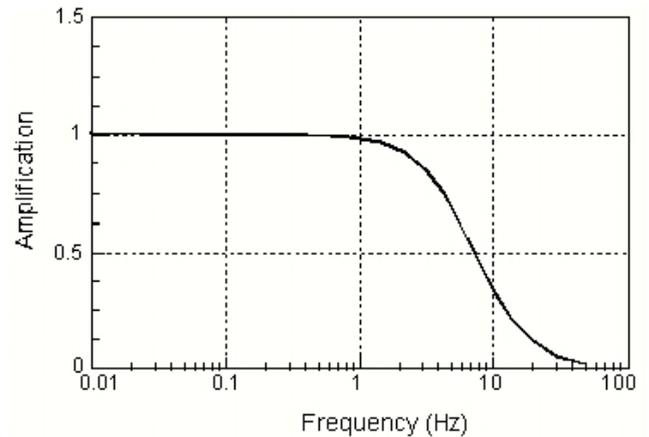


図-21 SMAC-B2 相当フィルタ

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(b)、図-14(b)および図-17(b)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の高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

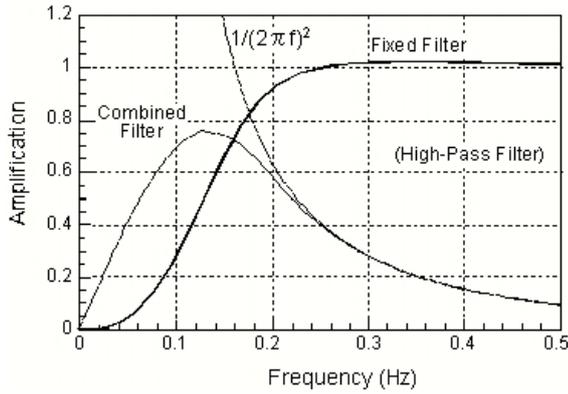


図-22 固定フィルタと二回積分の合成

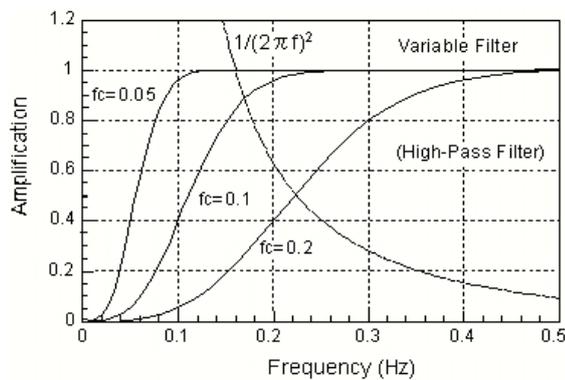


図-23 パラメタ付きフィルタと二回積分

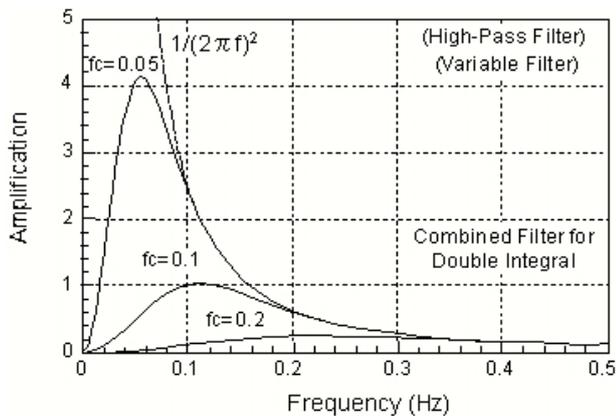


図-24 パラメタ付きフィルタと二回積分の合成

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。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、 σ と E が等しくなるように定められる。ここに σ は次式により定義される。

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

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。

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 (Gal/2¹⁵) は ERS-F,G 型強震計の感度

ERS-GV 型強震計

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

ここに p (Gal/2¹⁵) は ERS-GV 型強震計の感度

SMAC-MDU 型強震計

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

ここに p (Gal/2²³) は SMAC-MDU 型強震計の感度

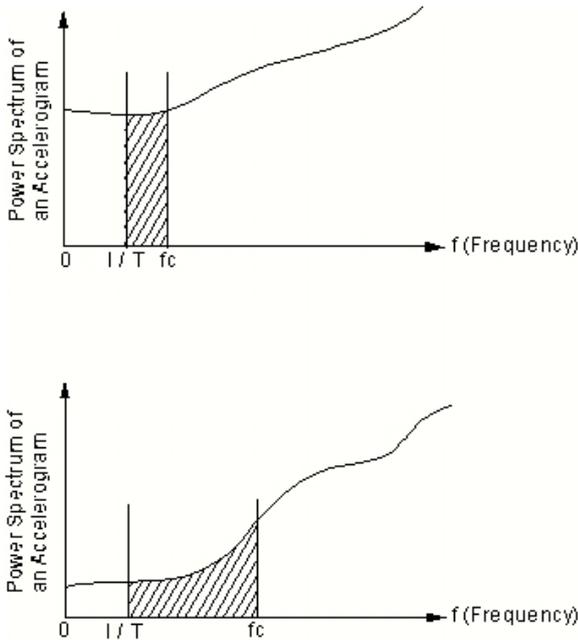


図-25 f_c の決定手順

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。

f_c の決定手順は図-25 に示す通りである。 f_c は、本質的には加速度波形の低周波成分（ただし $1/T$ よりも高周波側）を一定の大きさだけ削除するように定められる。加速度波形の低周波成分が大きいほど f_c は小さな値となる。なぜなら、低周波成分の振幅が大きいほど低周波成分の SN 比は大きいからである。 $1/T$ 以下の周波数成分について、 f_c の決定の際には考慮に入れない。

ここで用いる二つのハイパスフィルタはいずれもま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. 2008 年 7 月 24 日岩手県沿岸北部の地震 (M6.8) の記録

2008 年の一年間に得られた代表的な記録として、ここでは 7 月 24 日に発生した岩手県沿岸北部の地震 (M6.8) 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太平洋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⁶²⁾。

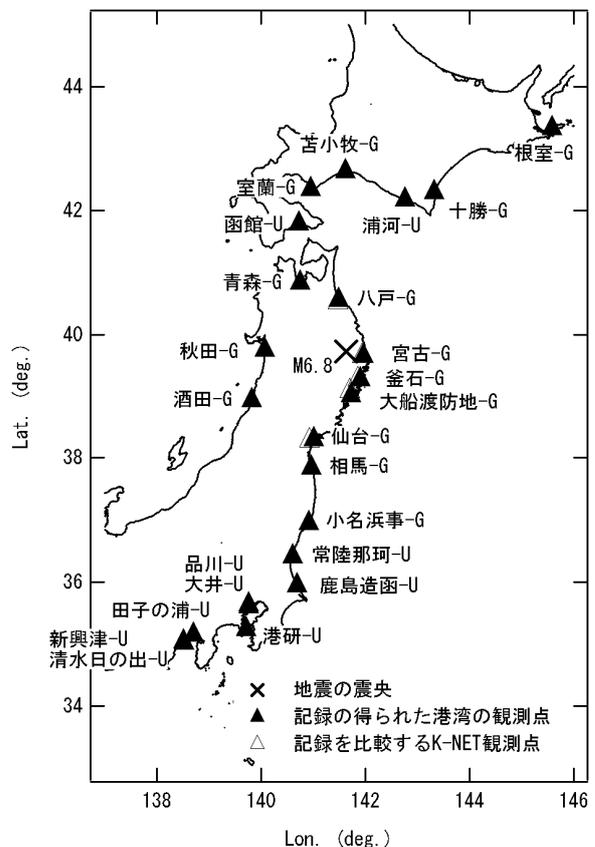


図-26 2008 年 7 月 24 日岩手県沿岸北部の地震 (M6.8) の震央 (×) と記録の得られた港湾の位置 (▲)

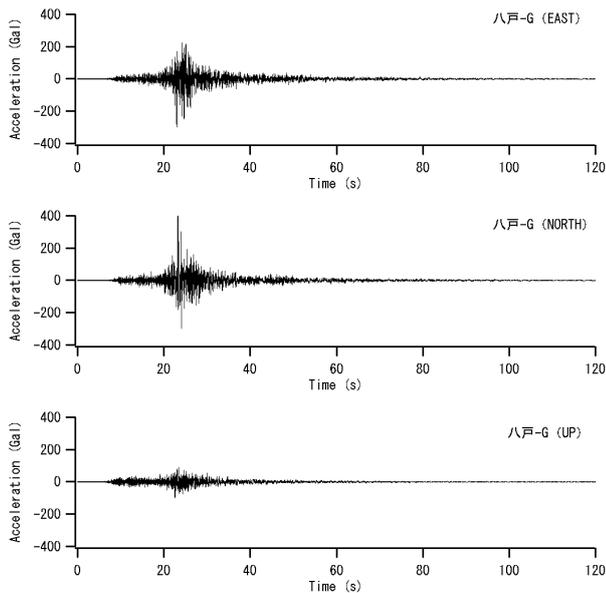


図-27 八戸-Gにおけるオリジナル加速度波形

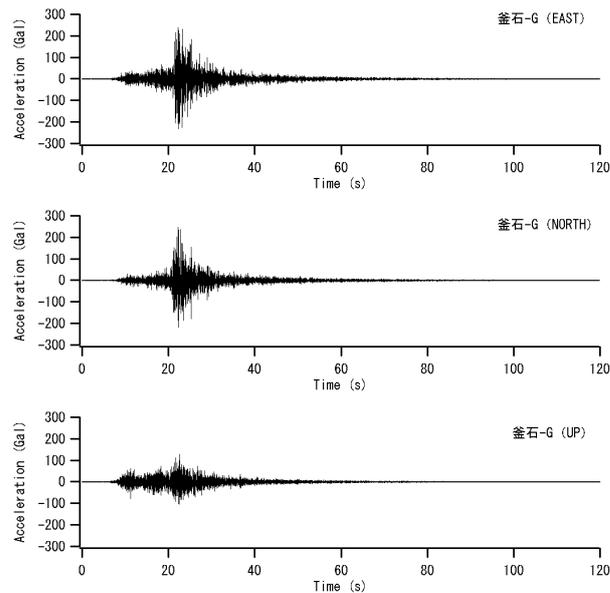


図-29 釜石-Gにおけるオリジナル加速度波形

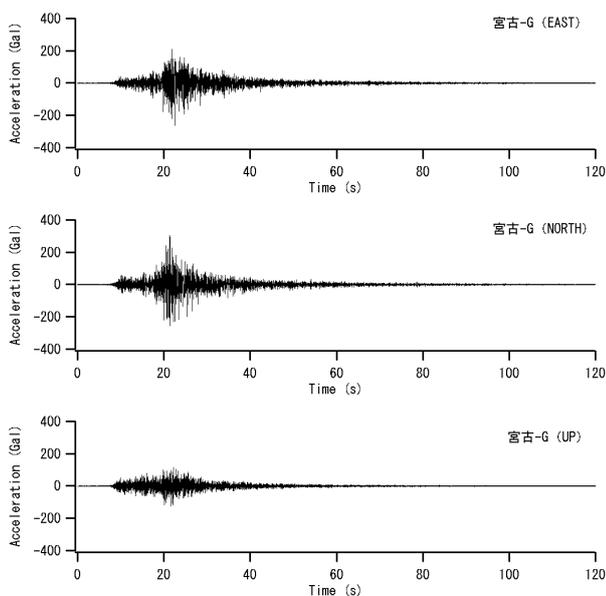


図-28 宮古-Gにおけるオリジナル加速度波形

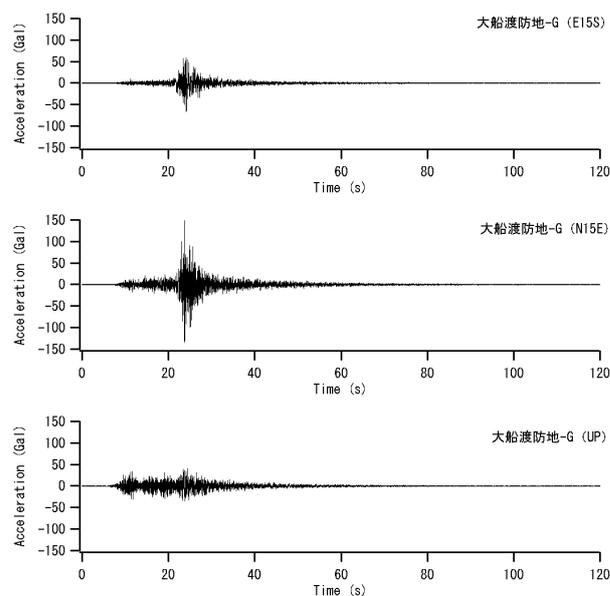


図-30 大船渡防地-Gにおけるオリジナル加速度波形

この地震では北海道から中部地方にかけて 22 の港湾で強震記録が得られた (図-26)。このうち東京港と清水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-27~31 に示す。ここでは 100Gal 以上の加速度が観測された 5 つの港湾について地表の加速度波形を示す。

もっとも大きい加速度が観測された八戸港では、過去に 1968 年十勝沖地震 (M7.9) と 1994 年三陸はるか沖地震 (M7.6) の記録も得られているので、ここではそれらの記録のフーリエスペクトルの比較を行った。1968 年十勝沖地震と 1994 年三陸はるか沖地震の記録はいずれも

SMAC-B2 型強震計で得られているので、ここでは今回得られた記録をもとに、SMAC-B2 型強震計による記録と直接比較可能な「SMAC-B2 相当波形」を求め、そのフーリエスペクトル (水平 2 成分のベクトル和をとりバンド幅 0.05Hz の Parzen ウィンドウを適用したもの) を計算し、1968 年および 1994 年の記録と比較した。図-32 に結果を示す。また、比較を行う上で参考になる事柄を表-5 に示す。図-32 からわかるように、1968 年十勝沖地震および 1994 年三陸はるか沖地震の記録に認められた 0.4Hz 付近 (周期 2.5 秒付近) のピークは今回の記録にも認められる。しかし、今回の記録のフーリエスペクトル

表-5 八戸港における記録の比較

地震	M	震源深さ km	震央距離 km	地震タイプ	観測地点	SMAC相当最大加速度	主な被害 ^{68),69)}
						Gal	
1968年十勝沖地震	7.9	0.0	177.7	プレート境界	八戸-S	232.7	火力発電所護岸1号(PC矢板)で法線のほらみ出し最大127cm
1994年三陸はるか沖地震	7.6	0.0	191.4	プレート境界	八戸事-S	517.8	八太郎地区P岸壁(ケーソン)で岸壁背後に最大85cmの段差
2008年7月24日岩手県沿岸北部の地震	6.8	108.1	92.6	スラブ内	八戸-G	251.5	顕著な被害なし

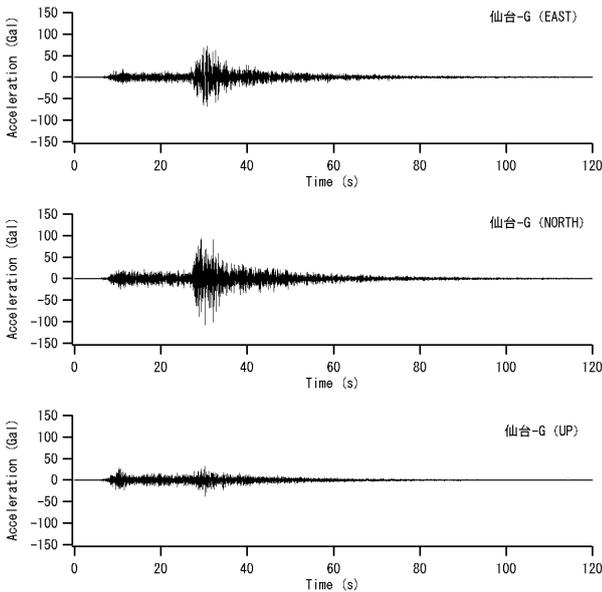


図-31 仙台-Gにおけるオリジナル加速度波形

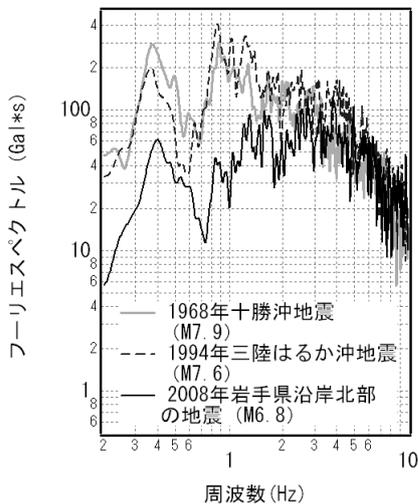


図-32 1968年十勝沖地震, 1994年三陸はるか沖地震, および今回の地震による八戸港における記録のフーリエスペクトルの比較

のレベルは約 3Hz より低周波側では全体に 1968 年や 1994 年の記録よりも小さい。この主な要因としては、今回の地震の規模 (M6.8) が 1968 年の地震 (M7.9) や 1994 年の地震 (M7.6) と比較して小さかったことを挙げることができ

る。震源スペクトルに関する標準的なモデルである ω^{-2} モデル^{66),67)}によると、大小の地震による震源スペクトルの違いは低周波側でより顕著である。従って、マグニチュードが小さい地震の場合、観測されるスペクトルは特に低周波側で小さくなりやすい。一方、約 3Hz より高周波側では、今回の記録のフーリエスペクトルのレベルは 1968 年および 1994 年の記録と同程度である。この要因としては、1968 年や 1994 年の地震と比較して今回の地震の震源距離が若干小さかったこと、今回の地震がスラブ内地震であったため震源において高周波成分の励起が強かったことなどが挙げられる可能性がある。今回の記録の最大加速度はオリジナル加速度波形で 399.9Gal (NS 成分) と大きかったが、八戸港において顕著な被害は報告されていない。これは、一般的な港湾構造物に対して影響を及ぼしやすい 2Hz 以下の成分が今回の八戸港の揺れにはあまり含まれていなかったことが原因であろう。それに対して 1968 年および 1994 年の地震ではそれぞれ表-5 に示すような被害が報告されている^{68),69)}。なお、1968 年の記録が得られた八戸-S は、今回の記録が得られた八戸-G とは 250m ばかり隔たっている^{56),61)}。記録の比較を行う上で注意を要する点であるが、両地点で観測された地震波の卓越周波数に違いが認められないことから⁷⁰⁾、両地点における記録は直接比較可能である可能性が高い。なお、1994 年三陸はるか沖地震の記録が得られた八戸事-S は、今回の記録が得られた八戸-G と同一地点である。

次に、比較的大きい加速度が観測された 5 つの港湾について、港湾の地表における記録のフーリエスペクトルと、最寄りの K-NET⁷¹⁾ 観測点 (地表) における記録のフーリエスペクトルとの比較を行った。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を適用したものである。図-33~37 に結果を示す。八戸-G の記録は AOM012 (K-NET 八戸; 八戸市内丸) の記録と比較したが、AOM012 の記録には 0.4Hz 程度の成分の卓越は認められず、0.4Hz を中心とする帯域で両者のフーリエスペクトルには大きな違いがある。宮古-G の記録は IWT005 (K-NET 宮古; 宮古市五月町) の記録と比較した。IWT005 の記録には 1Hz 程度の成分の卓越が認められるのに対し、宮古-G の記録にはそれが認めら

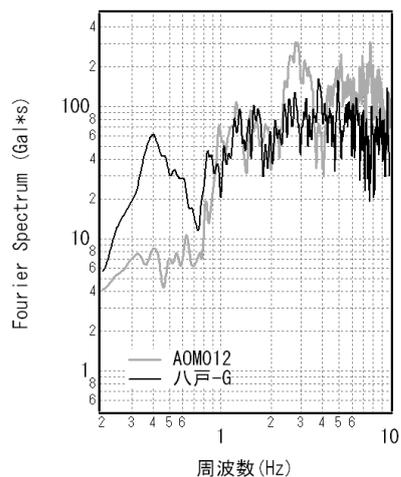


図-33 八戸-Gにおけるフーリエスペクトル (AOM012におけるフーリエスペクトルを併記)

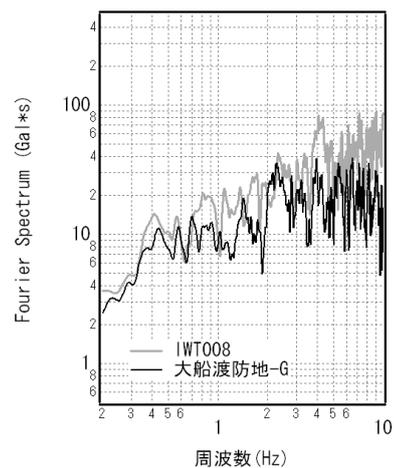


図-36 大船渡防地-Gにおけるフーリエスペクトル (IWT008におけるフーリエスペクトルを併記)

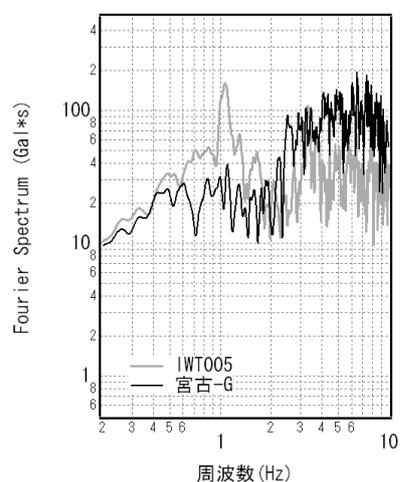


図-34 宮古-Gにおけるフーリエスペクトル (IWT005におけるフーリエスペクトルを併記)

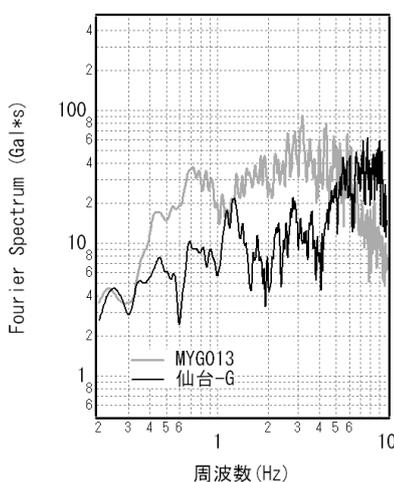


図-37 仙台-Gにおけるフーリエスペクトル (MYG013におけるフーリエスペクトルを併記)

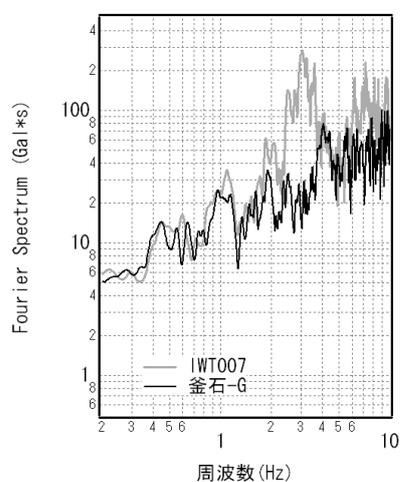


図-35 釜石-Gにおけるフーリエスペクトル (IWT007におけるフーリエスペクトルを併記)

れないので、1Hz付近を中心として両者のフーリエスペクトルには大きな開きがある。釜石-Gの記録はIWT007 (K-NET釜石;釜石市中妻町)の記録と比較した。IWT007の記録には3Hz程度の成分の卓越が認められるのに対し、釜石-Gの記録にはそれが認められないので、3Hz付近を中心として両者のフーリエスペクトルには大きな開きがある。大船渡防地-Gの記録はIWT008 (K-NET大船渡;大船渡市盛町)の記録と比較したが、ここでは両者のフーリエスペクトルには大きな差は認められない。仙台-Gの記録はMYG013 (K-NET仙台;仙台市宮城野区苦竹)の記録と比較した。両者のフーリエスペクトルには0.7Hz付近および3Hz付近を中心として大きな開きがある。

さて、ここで記録を比較している港湾とK-NETの観測点は図-26に示すように震源から見た場合の方位も震央距離

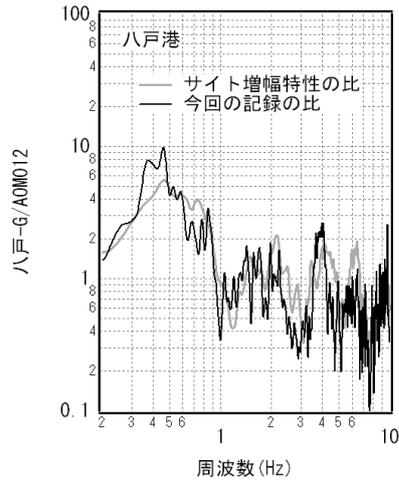


図-38 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比 (八戸-G/AOM012)

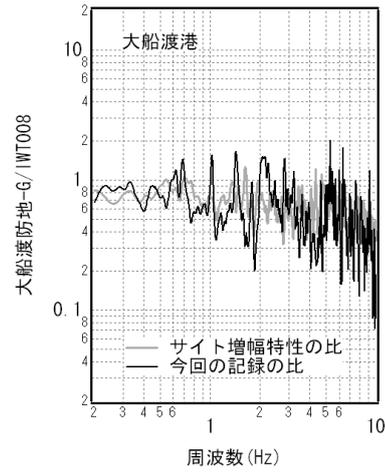


図-41 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比 (大船渡防地-G/IWT008)

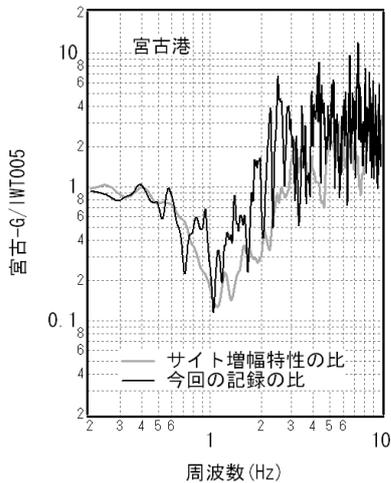


図-39 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比 (宮古-G/IWT005)

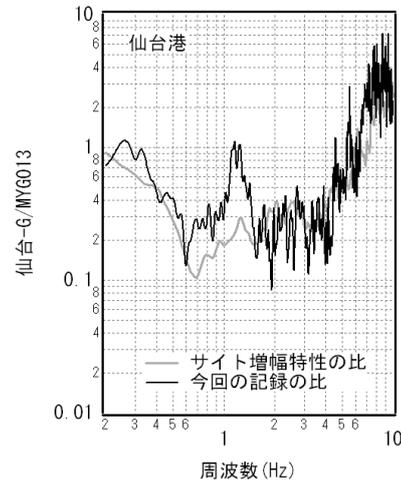


図-42 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比 (仙台-G/MYG013)

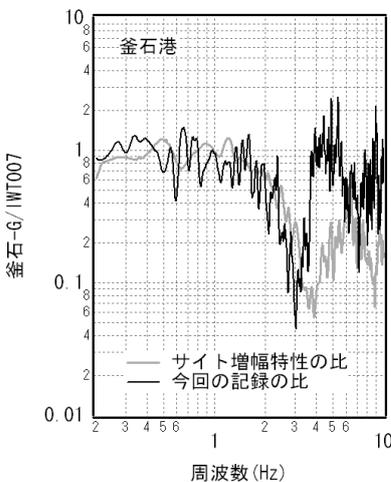


図-40 中小地震記録によるサイト増幅特性の比と今回の記録のスペクトル比 (釜石-G/IWT007)

もほぼ等しい。従って、これらの記録に対しては震源特性と伝播経路特性は共通と考えることができ、2点間のフーリエスペクトルの比はサイト増幅特性の比を表していると考えられる。そこで、今回の記録から計算されるフーリエスペクトルの比と、既往の研究で中小地震記録に基づいて評価されているサイト増幅特性の比との比較を行った。ここで既往のサイト増幅特性は原則として文献3)に依ったが、釜石-Gについては、文献3)の解析で用いられた記録の数が1個と少なく、そこで評価されているサイト増幅特性は信頼性に乏しいので、国土技術政策総合研究所において中小地震記録に基づいて再評価されたサイト増幅特性 (www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html) を用いた。また、大船渡防地-Gについては文献3)でサイト増幅特性の評価が行われていないので、文献72)で評価された

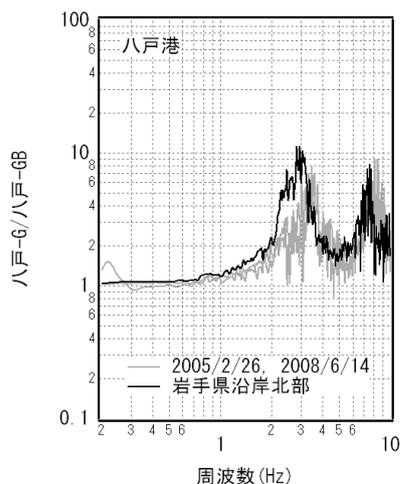


図-43 地表と地中のスペクトル比（八戸-G/八戸-GB）

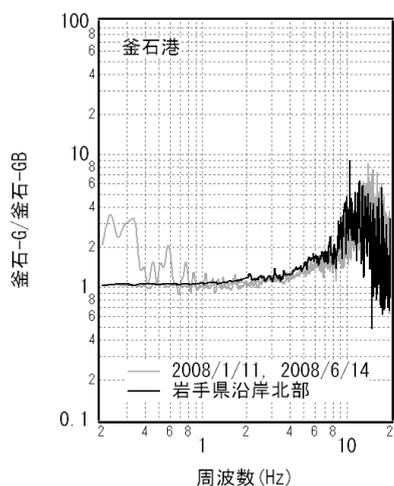


図-44 地表と地中のスペクトル比（釜石-G/釜石-GB）

サイト増幅特性を用いた。結果を図-38～42に示す。これらの図から、今回の記録から計算されたフーリエスペクトルの比と、既往の研究で中小地震記録に基づいて評価されたサイト増幅特性の比は全体によく整合していることがわかる。従って、今回の地震における港湾の観測点とK-NET観測点における揺れの違いはサイト増幅特性の違いとして説明することができる。また、その違いはフーリエスペクトルという指標で見た場合、特定の周波数では10倍あるいは1/10倍に達する場合もあり、非常に大きいと言える。以上の結果からも、比較的狭い範囲において、サイト増幅特性（従って地震動も）は著しく変化しているものと考えられる。各港湾で得られた記録はあくまでも観測点での揺れを表すものとするべきであり、これが観測点を中心とするどの範囲の揺れを表しているかについては、微動観測等を活用した慎重な検討が必要であろう。

最後に、地表と地中で同時に観測を行っている観測点について、地表で得られた記録と地中で得られた記録のスペクトル比を紹介する。今回比較的大きな振幅の記録が得られた八戸港と釜石港の記録について、地表と地中のフーリエスペクトル（水平2成分のベクトル和をとりバンド幅0.05Hzのパーセンウインドウを適用したもの）の比を求め、図-43および図-44に示す。八戸港の結果（図-43）には参考のため2005年2月26日青森県東方沖の地震（M5.7）と2008年6月14日岩手・宮城内陸地震（M7.2）によるスペクトル比を併記した。これらの地震によるスペクトル比は約3.5Hzにピークを有するのに対し、岩手県沿岸北部の地震ではスペクトル比のピークは約3Hzまで移動しており、表層地盤の若干の非線形挙動の影響が認められる。岩手・宮城内陸地震は内陸部に著しい被害を与えた地震であるが、八戸港では表層地盤に非線形挙動を生じるほどの強い揺れではなかったと言える。同じように釜石港の結果（図-44）には2008年1月11日岩手県東方沖の地震（M4.7）と2008年6月14日岩手・宮城内陸地震（M7.2）によるスペクトル比を併記している。釜石港でも、岩手県沿岸北部の地震ではスペクトル比の低周波側への移動が認められ、表層地盤には若干の非線形挙動が生じていたと考えられる。これらの観測結果は地盤の地震応答計算プログラムの検証などに有効であると考えられる。

6. まとめ

1962年より実施されている港湾地域強震観測においては、2008年末現在、8627の強震記録が蓄積されるに至っている。このうち、2008年には417の強震記録が得られている。強震計の台数としては、2008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、2008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。本観測網で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。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、「U」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。

(2009年11月12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。耐震構造研究チームの林公美さんには記録の収集・整理などで大きな貢献をしていただいています。2008年7月24日岩手県沿岸北部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

- 菅野高弘・三籾正明・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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 31) 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.
- 32) 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.
- 33) 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.
- 34) 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.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) 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.
- 38) 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.
- 39) 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.
- 40) 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.
- 41) 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.
- 42) 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.
- 43) 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.
- 44) 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.
- 45) 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.
- 46) 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.
- 47) 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.
- 48) 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.
- 49) 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.
- 50) 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.
- 51) 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.
- 52) 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.
- 53) 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.
- 54) 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.
- 55) 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.
- 56) 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.
- 57) 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.
- 58) 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.
- 59) 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.
- 60) 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.
- 61) 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.
- 62) 気象庁: 地震・火山月報(防災編), 2008年.
- 63) 気象庁: 地震・火山月報(カタログ編), 平成20年12月, 2009年.
- 64) 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.

- 65) Susumu Iai and Eiichi Kurata: Integration of strong-motion accelerograms, Proceedings of the 5th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1978, pp.225-232.
- 66) Aki, K. : Scaling law of seismic spectrum, J. Geophys. Res., Vol.72, 1967, pp.1217-1231.
- 67) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007年9月.
- 68) 片山猛男・中野拓治・蓮見 隆・山口孝市：1968年十勝沖地震などの被災例による現行設計法の検討, 港湾技研資料 No.93, 1969年12月.
- 69) 運輸省第二港湾建設局・運輸省港湾技術研究所：三陸はるか沖地震現地調査報告書－港湾施設編－, 1995年1月.
- 70) 深澤清尊・野津 厚・佐藤陽子・菅野高弘：港湾地域強震観測地点における地震動の卓越周期, 港湾空港技術研究所資料 No.1052, 2003年6月.
- 71) Kinoshita, S. : Kyoshin Net (K-net), *Seim. Res. Lett.*, Vol.69, 1998, pp.309-332.
- 72) 野津 厚・菅野高弘：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法－因果性と多重非線形効果に着目した改良, 港湾空港技術研究所資料 No.1173, 2008年3月.

強震観測担当者（2008年1月～12月）

東北地方整備局

青森港湾事務所		川島 秀美智	木村 政幸	大下 正義
		村山 善一	小山内 聡	
八戸港湾・空港整備事務所		滝沢 洋一		
釜石港湾事務所		菅原 豊明	里見 茂	鈴木 真司
釜石港湾事務所	宮古港事務所	猪股 勉	菅原 将徳	
塩釜港湾・空港整備事務所		末永 清和	盛田 貴仁	瀬川 哲
		桜庭 貞昭		
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		
秋田港湾事務所		齋藤 良章	齋藤 信之	
酒田港湾事務所		須藤 浩	須田 国男	

北陸地方整備局

新潟港湾・空港整備事務所		木原 寿明	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		山嵜 一雄	村崎 清武	
敦賀港湾事務所		佐藤 由浩	清水 雄太	木原 寿明

関東地方整備局

鹿島港湾・空港整備事務所		白木 聡	川住 武之	
鹿島港湾・空港整備事務所	常陸那珂港事務所	五月女 誠	児玉 道久	
千葉港湾事務所		満山 聖太郎		
京浜港湾事務所		石田 崇		

中部地方整備局

清水港湾事務所		京田 潤一	吉田 明俊	
清水港湾事務所	下田港事務所	杉浦 貴介	日比 智也	
清水港湾事務所	御前崎港事務所	白崎 正浩		
三河港湾事務所		久野 賢二	長瀬 和光	
三河港湾事務所	衣浦港事務所	松永 洋明		
名古屋港湾事務所		森 健作		
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		
神戸港湾事務所		中川 勝寛	高島 翠	岩崎 直晃
		玉利 俊瑛		

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		

四国地方整備局

松山港湾・空港整備事務所	真鍋 尊年	田村 剛
小松島港湾・空港整備事務所	濱田 貢次	正田 武史
高知港湾・空港整備事務所	岡林 英幸	芝 清久

九州地方整備局

博多港湾・空港整備事務所	坂本 光信	大串 哲哉	井町 信義
別府港湾・空港整備事務所	久保 龍造	富安 真一郎	小野 章
宮崎港湾・空港整備事務所	松下 憲司	森満 賢治	
志布志港湾事務所	大村 普		
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		
釧路開発建設部 根室港湾事務所	松田 斉久	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	高橋 哲美	坂下 勲	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		
小樽開発建設部 小樽港湾事務所	蜷川 浩一	上久保 勝美	須藤 賢哉
函館開発建設部 函館港湾事務所	長嶺 鎌弘	植野 英睦	
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	佐藤 亘	沖 享尚	佐々木 智之
網走開発建設部 網走港湾事務所	林 誉命		
網走開発建設部 紋別港湾事務所	下阪 郁		

沖縄総合事務局

那覇港湾・空港整備事務所	嵩原 務仁	内間 和秀	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		
平良港湾事務所	島袋 和男	嵩原 務仁	
石垣港湾事務所	親泊 忠		

都道府県

東京都港湾局	小林 哲人		
大阪市港湾局	富田 太朗	棚橋 清誠	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	
宮崎県土木部北部港湾事務所	内田 隆一	甲斐 誠士	

港湾空港技術研究所資料 No. 1207

2010. 3

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 昭和情報プロセス株式会社

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。