

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1417 June 2024

港湾地域強震観測年報（2021）

長坂 陽介，野津 厚，福永 勇介

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, 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	7
3. 記録の整理	7
4. 補正と積分	8
5. 2021年に取得された代表的な記録について	8
6. まとめ	9
謝辞	9
参考文献	10
強震観測担当者（2021年1月～12月）	15

Annual Report on Strong-Motion Earthquake Records in Japanese Ports (2021)

Yosuke NAGASAKA *

Atsushi NOZU **

Yusuke FUKUNAGA***

Synopsis

Since 1962, strong ground motions and earthquake responses of structures have been observed in the major ports in Japan. In 2021, 3077 accelerograms were obtained and analyzed at the Port and Airport Research Institute.

The strong-motion earthquake observation network in Japanese ports consisted of 160 strong-motion seismometers installed at 61 ports as of December 2021. Seventy-eight seismometers out of 160 are installed on ground surface, 62 seismometers are in ground by using bore-holes and the rest 20 are on structures such as quay walls. Nine types of seismographs were used in the network in 2021, namely, the ERS, the SMAC-MDU, the Omni, the Basalt, the CV-374, the SAMTAC (SA-355), the SAMTAC (VSE-355JE), the SM-28 (LS-13DX), and the Obsidian seismographs, all of which were negative feedback seismographs equipped with a digital recorder.

This report presents the results of observation and preliminary analysis of records obtained in 2021. ASCII data of the recorded accelerations for all the records in 2021 are available on the DVD in the user-friendly CSV format. Also, computer plots of recorded accelerations are available on the DVD for the records with peak accelerations exceeding 20 Gal. For the records with peak accelerations exceeding 50 Gal, computer plots of recorded accelerations, integrated velocities and displacements, Fourier spectra and response spectra are available on the DVD.

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

* Senior Researcher, Engineering Seismology Group, Earthquake Disaster Prevention Engineering Department

** Director of Earthquake Disaster Prevention Engineering Department

*** Head of Engineering Seismology Group, Earthquake Disaster Prevention Engineering Department

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

Phone : +81-46-844-5085 Fax : +81-46-844-0839 e-mail:nagasaka-y@p.mpat.go.jp

港湾地域強震観測年報（2021）

長坂 陽介*・野津 厚**・福永 勇介***

要 旨

1962 年より実施されている港湾地域強震観測により、2021 年には 3077 の強震記録が得られた。強震計の台数としては、2021 年末現在、160 台の強震計が 61 港に設置されており、設置状況としては、78 台が地表に、62 台が地中に、20 台が構造物上に設置されている。2021 年の観測に使用された強震計は ERS 型強震計、SMAC-MDU 型強震計、Omni 型強震計、Basalt 型強震計、CV-374 型強震計、SANTAC (SA-355)型強震計、SANTAC (VSE-355JE)型強震計、SM-28 型強震計、Obsidian 型強震計の 9 種類であり、いずれもサーボ型地震計である。

本資料は 2021 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の表にまとめられている。付録の表の地震諸元は気象庁の地震月報（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 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、頭文字「O」で始まる記録は Omni 型強震計で得られた記録、頭文字「B」で始まる記録は Basalt 型強震計で得られた記録、頭文字「C」で始まる記録は CV-374 型強震計で得られた記録、頭文字「A」で始まる記録は SANTAC (SA-355)型強震計で得られた記録、頭文字「V」で始まる記録は SANTAC (VSE-355JE)型強震計で得られた記録、頭文字「L」で始まる記録は SM-28 型強震計で得られた記録、頭文字「K」で始まる記録は Obsidian 型強震計で得られた記録をそれぞれ示している。付録の表にまとめているすべての記録のデジタルデータを付録に 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に収録している。

2021 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 静岡県港湾局 大阪港湾局 神戸市港湾局 神戸市都市局 宮崎県港湾課

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、加速度記録、フーリエスペクトル

* 地震防災研究領域 地震動研究グループ 主任研究官
** 地震防災研究領域長
*** 地震防災研究領域 地震動研究グループ長
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5085 Fax：046-844-0839 e-mail: nagasaka-y@p.mpat.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。2021 年末の時点では全国 61 の港に 160 台の強震計が設置されている(図-1)。

図-1 には強震計の機種も示しているが、これについては 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岸壁の被害原因の解明には、神戸港で取得された強震記録が活用された^{1), 2)}。また、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に取得された強震記録も、防波堤等の被害原因の解明に活用されている。

(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。港湾の施設の技術上の基準では、平成 19 年 4 月の改訂以降、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^{3), 4), 5)}、参考にしていただければ幸いである。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ため、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 6) 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⁷⁾⁻¹⁷⁾。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¹⁸⁾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¹⁹⁾⁻⁵⁸⁾。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⁵⁹⁾⁻⁷⁰⁾。強震観測年報の変遷を表-1 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 または DVD 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³⁸⁾⁻⁵⁵⁾には、デジタルデータを収録した CD または DVD を添付した。

2018 年の強震観測年報以降⁵⁶⁾⁻⁵⁸⁾では、本文と付録が一つの DVD に収められており、2021 年を対象とした本資料も同様である。付録には、2021 年に取得されたすべての加速度記録のデジタルデータを CSV 形式で収めている。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を付録に収めている。さらに、50Gal

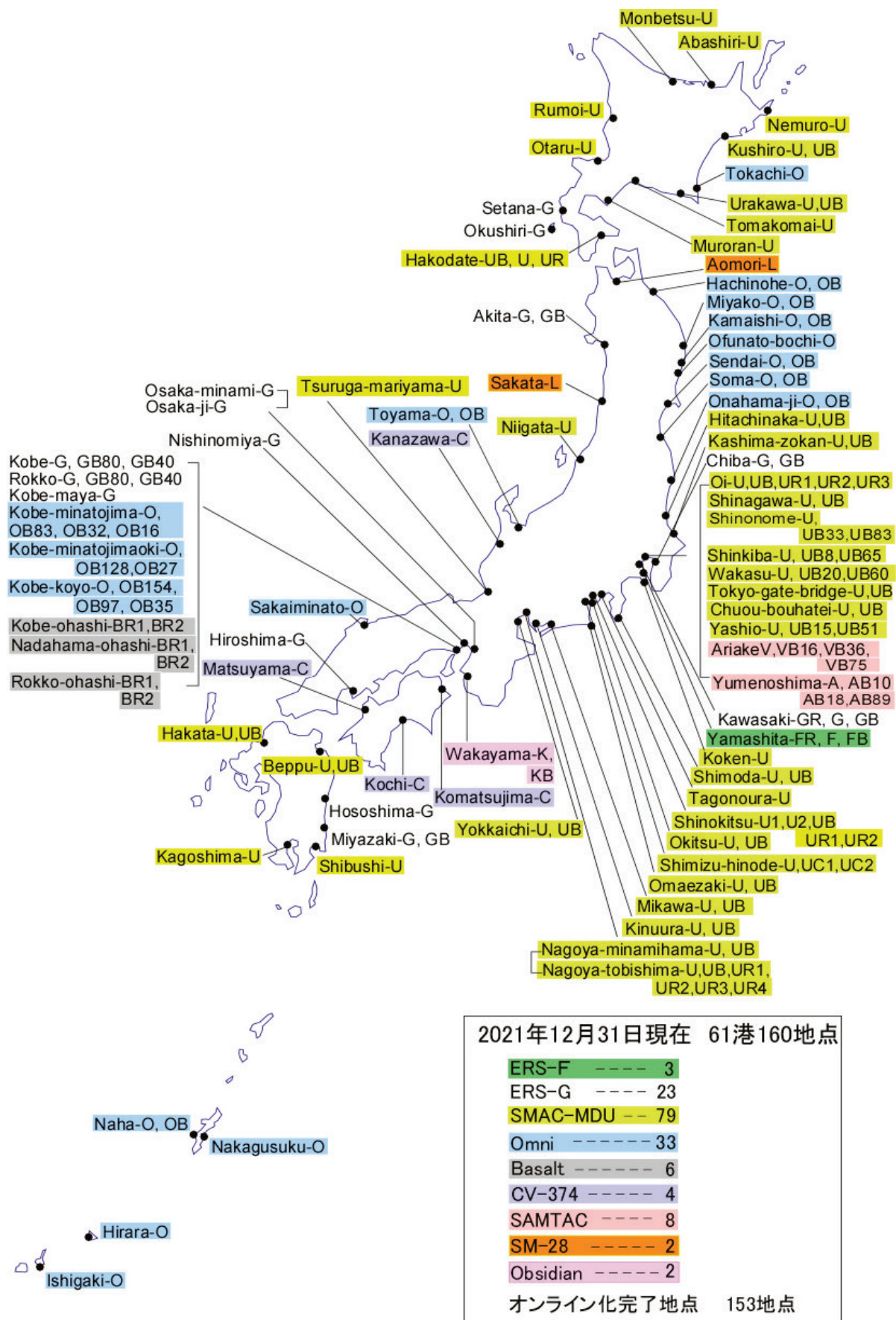


図-1 港湾地域強震観測網

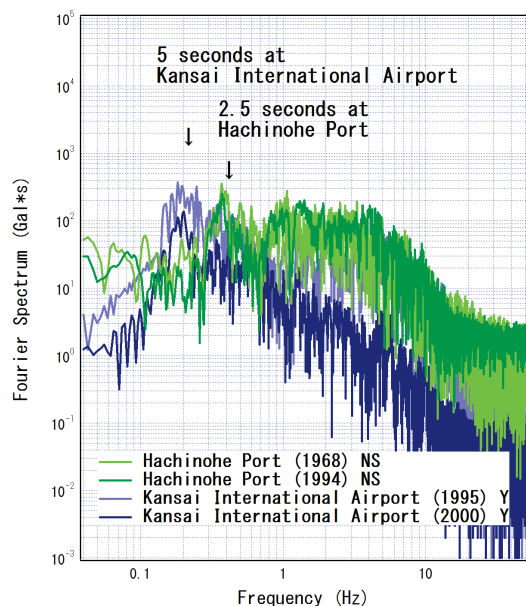


図-2 八戸港と関西国際空港の地震動特性の比較。縦軸：フーリエスペクトル，横軸：周波数。

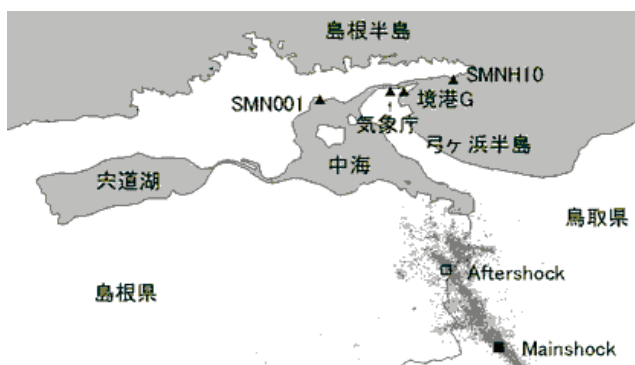


図-3 境港およびその周辺の強震観測地点

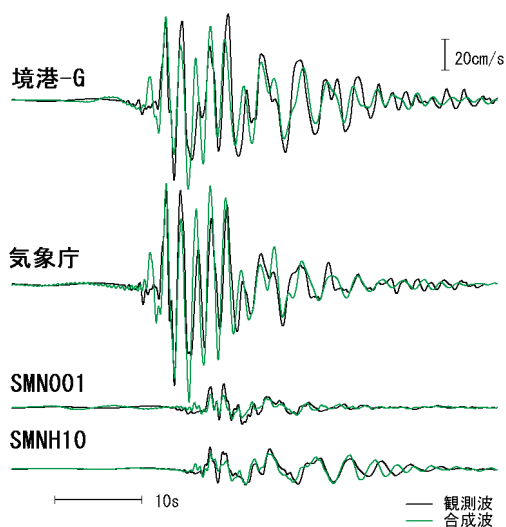


図-4 経験的グリーン関数法による 2000 年鳥取県西部地震の本震地動の再現⁶⁾

表-1 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

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を付録に収めている。

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，2021 年末の時点では 160 の強震計が 61 の港に設置されている。2021 年末の時点で強震計の設置されている港湾は図-1 および付録の地図に示すとおりである。付録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⁷¹⁾⁻⁷⁶⁾を参照されたい。2021 年末の時点では，160 の観測地点のうち 26 地点に ERS 型強震計が，79 地点に SMAC-MDU 型強震計が，33 地点に Omni 型強震計が，6 地点に Basalt 型強震計が，4 地点に CV-374 型強震計が，4 地点に SAMTAC 型収録装置と SA-355 型加速度計の組み合わせ（本資料では「SAMTAC (SA-355) 型強震計」と称する）が，4 地点に SAMTAC 型収録装置と VSE-355JE 型速度計の組み合わせ（本資料では「SAMTAC (VSE-355JE) 型強震計」と称する）が，2 地点に SM-28 型強震計が，2 地点に Obsidian 型強震計が設置されている。これらはいずれもサーボ型地震計（フォースバランス型または速度帰還型）⁷⁷⁾である。各強震計の仕様については付録を参照していただきたい。

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，観測網を構成する強震計の大半は通信機能を有しており，観測点から当所へのデータ転送が可能な状況となっている。オンラインによるデータ転送が可能な地点は，2021 年末の時点では，160 の強震観測地点のうち 153 地点である。

強震計の通信機能は、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いる。いつ発生するかわからない大地震に備えて、強震計を常に健全な状態に保つことが極めて重要である。そのためには、強震計に不具合が発生した場合、それを早期に発見することが必要である。強震計の通信機能を活用し、当所の職員が強震計の健全度把握を行うことが、観測網の維持に大きく寄与していると考えられる。

なお、通信方式については、従来はダイヤルアップ方式であったが、地震直後に強震計から当所サーバまで波形データを自動で転送できる新しいシステム（地震動情報即時伝達システム）が 2011 年に開発され、2021 年末の時点では 140 地点に導入されている。この新しいシステムの詳細については文献 78）を参照していただきたい。

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点は「釧路-U」および「釧路-UB」と名付けられている。「釧路」は観測地点の位置を表している。港湾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場合がある。添え字の「U」は強震計の型を表しており、釧路港には SMAC-MDU 型強震計が設置されていることを意味する。添え字には「F」「G」「U」「O」「B」「C」「A」「V」「L」「K」があり、それらと強震計の機種との対応は図-5 に示すとおりである。「釧路-UB」で添え字「U」の後ろの「B」は設置条件を示し、ボアホールを使用

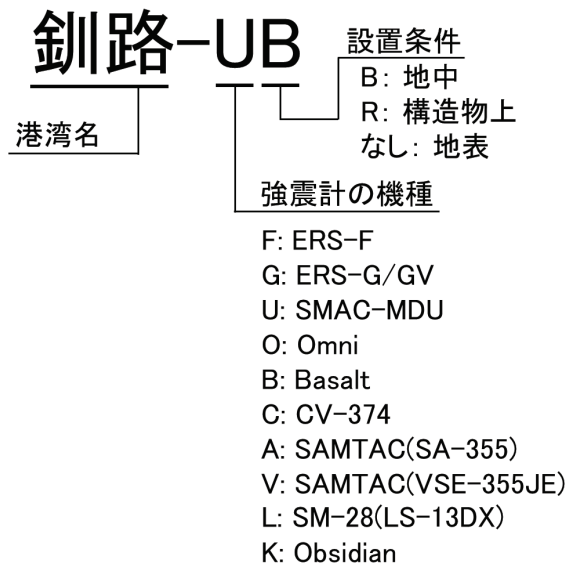


図-5 観測地点名のルール

して地中に強震計を設置していることを意味する。例えば「釧路-U」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する。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」等のように地中の異なる深さに強震計が設置されている場合は、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。

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。設置方法の詳細については付録を参照していただきたい。

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、Omni 型強震計の記録には「O」で始まる番号、Basalt 型強震計の記録には「B」で始まる番号、CV-374 型強震計の記録には「C」で始まる番号、SAMTAC (SA-355)型強震計の記録には「A」で始まる番号、SAMTAC (VSE-355JE)型強震計の記録には「V」で始まる番号、SM-28 型強震計の記録には「L」で始まる番号、Obsidian 型強震計の記録には「K」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）⁷⁹⁾ 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月報（カタログ編）⁸⁰⁾ のものに置き換える。このようにして整理された記録を付録に収録している。なお、付録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(M_J)である。

4. 補正と積分

得られた記録に対して、まず基線補正が行われる。次に、定められた方法^{81),82)}に従い、計器特性補正のた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-6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-6においてオリジナル加速度波形とは基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。補正と積分の詳細については付録を参照していただきたい。

5. 2021年に取得された代表的な記録について

2021年1月から12月に港湾地域強震観測により3077の記録が得られた。図-7に港湾地域強震観測における記録数の推移を示す。2011年の東北地方太平洋沖地震の発生以後は、それ以前と比較して格段に多くの記録が得られるようになった。これは、東北地方太平洋沖地震の余震活動がまだ続いていることに加え、強震計の更新により、より小さな振幅の地震動まで記録できるようになったことによる。気象庁の震度データベース⁸³⁾によると、東北地方太平洋岸の地震の発生数は2011年に急増して以降落ち着きつつあるが、2011年以前と比べると未だにやや多い傾向にある。また、東北地方太平洋岸の強震計は東北地方太平洋沖地震を機に更新され、より低いトリガーレベルを設定できるようになっている。2021年は過去最大の記録数であったが、これは2021年2月13日に発生した福島県沖の地震(M_J 7.3)、2021年3月20日に発生した宮城県沖の地震(M_J 6.9)、2021年5月1日に発生した宮城県沖の地震(M_J 6.8)等の地震の余震が多く発生したことが理由の1つである。2020年は441地震から記録が得られたが、2021年は643地震となり記録

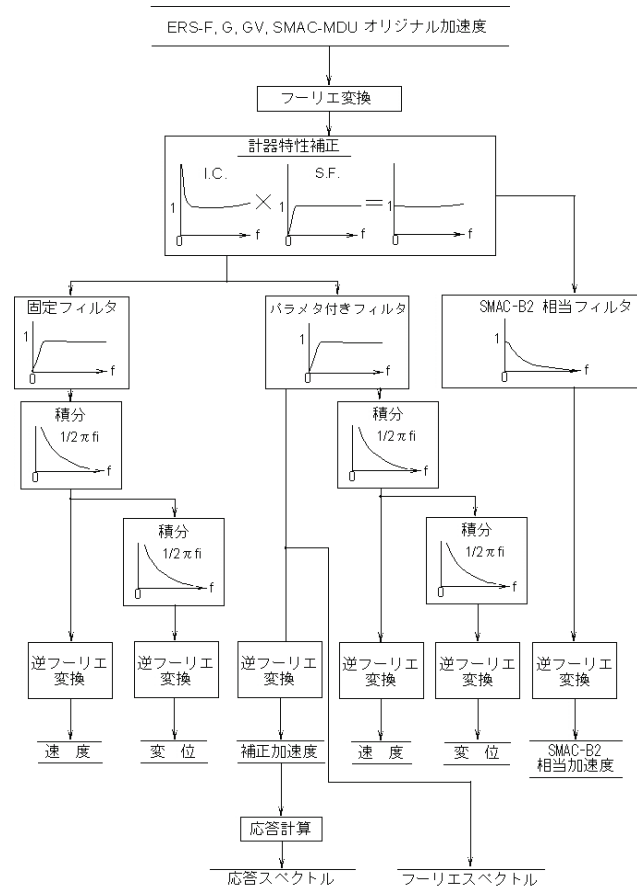


図-6 補正と積分の手順

数の増加は主に地震数の増加によるものと考えられる。2021年に港湾地域強震観測により得られた記録の中で最大加速度が20 Gal以上のものは210記録、50 Gal以上は60記録、100 Gal以上は17記録であった。

2021年に港湾地域強震観測により記録が得られた地震の震央位置を図-8に示す。東北地方から関東地方にかけての太平洋側で地震が多く発生したことが分かる。また、千葉県北西部から駿河湾にかけて、大阪湾や和歌山県北部、先島諸島等でも地震が発生している。

2021年1月から12月に港湾地域強震観測で得られた主な記録を表-3に示す。日本周辺で発生した最大の地震は2月13日23時7分ごろに発生した福島県沖の地震(M_J 7.3)である。この地震は深さ約55 kmであり太平洋プレート内で発生した地震とされる⁸⁴⁾。本地震により港湾地域強震観測では北海道から神戸までの広い範囲で揺れが観測されたが、とりわけ仙台-Oでは最大加速度328 Gal、PSI値30.5、相馬-Oでは最大加速度486 Gal、PSI値31.7といった大きな揺れが観測されている。本地震により仙台塩釜港、相馬港でそれぞれケーソン背後の沈下等の被害が報告されている。本地震の震央と近隣の強震観測点、その他地震の震央を含む地図を図-9に示す。2月13日の地震はほぼ相馬港の

表-3 2021 年に得られた主な記録

日	時刻	深さ (km)	M	震源位置	観測地点	震央距離 (km)	最大加速度 (Gal)	PSI 値 ($\text{cm/s}^{0.5}$)
2021/02/13	23:07	55.3	7.3	福島県沖	仙台-O	85.8	328.7	30.5
					相馬-O	65.9	486.7	31.7
					小名浜事-O	111.4	159.4	10.3
2021/03/20	18:09	59.4	6.9	宮城県沖	仙台-O	58.6	161.1	17.7
					相馬-O	91.7	253.9	10.6
2021/05/01	10:27	51.4	6.8	宮城県沖	仙台-O	65.3	145.7	11.9
					相馬-O	78.2	185.1	8.3

沖で発生している。本地震により得られた仙台-O, 相馬-O, 小名浜事-O での加速度波形, 速度波形(0.2-2 Hz), 加速度フーリエスペクトルを図-10 に示す。

図-9 に示すように, 3月20日と5月1日にそれぞれ M_j 6.9, M_j 6.8 の地震が宮城県沖で発生した。これらは太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震とされる⁸⁴⁾。2月13日の福島県沖の地震と比べると観測された地震動は全体的に小さめであるが, それぞれの地震について仙台-O では PSI 値 10 を超える揺れが観測されている。これらの地震により得られた仙台-O, 相馬-O での加速度波形, 速度波形(0.2-2 Hz), 加速度フーリエスペクトルを図-11, 図-12 に示す。

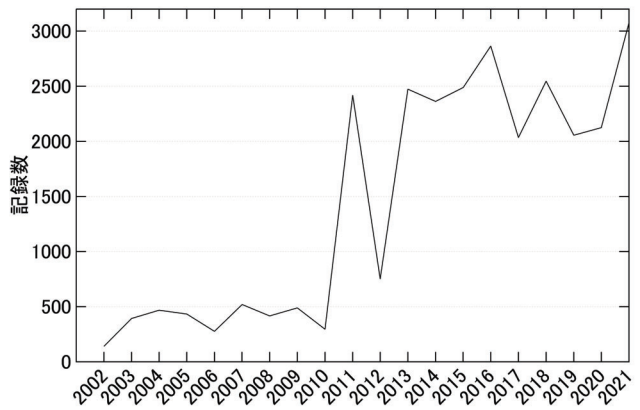


図-7 記録数の推移

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, 2021 年に得られた記録について報告するものである。得られた記録を地点毎に分類し, 地震諸元, 記録番号, 最大加速度等とともに付録の表にまとめている。表の地震諸元は気象庁の地震月報 (カタログ編) に基づいている。得られた記録の中で, 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。

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, 静岡県港湾局, 大阪港湾局, 神戸市港湾局, 神戸市都市局および宮崎県港湾課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,

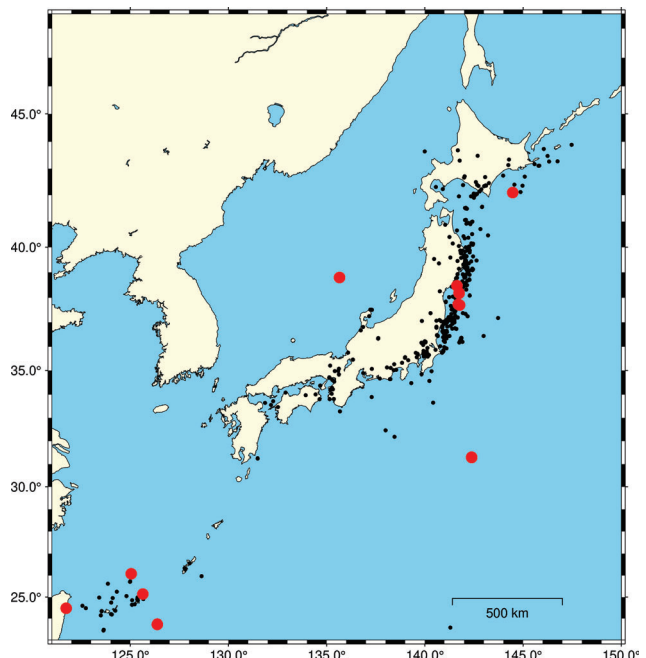


図-8 記録が得られた全地震分布 (黒).
赤点は M_j 6.0 以上の地震

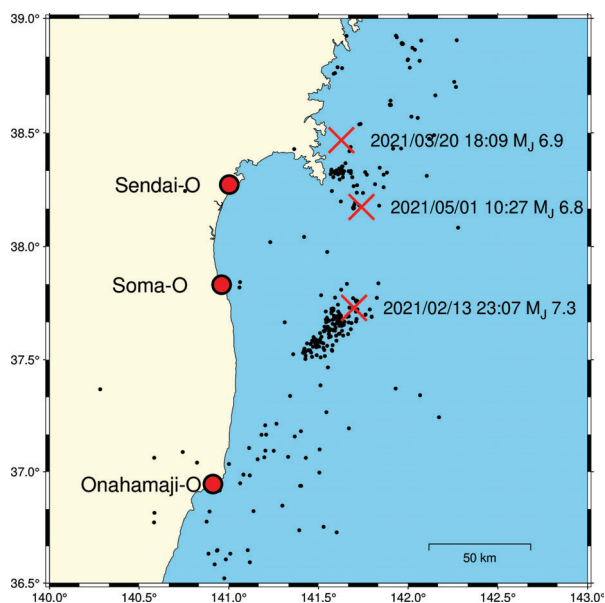
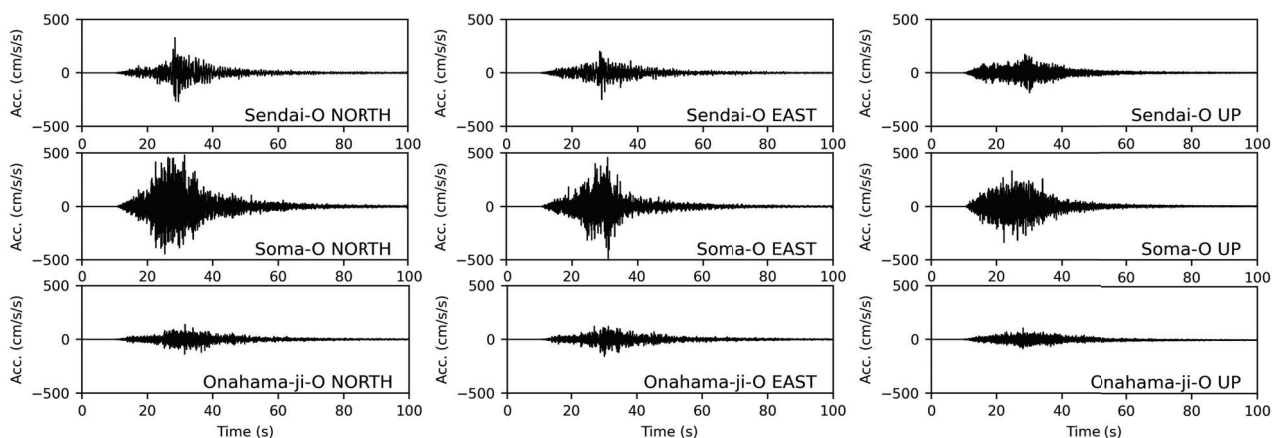


図-9 福島県沖の地震、宮城県沖の地震と周辺観測点

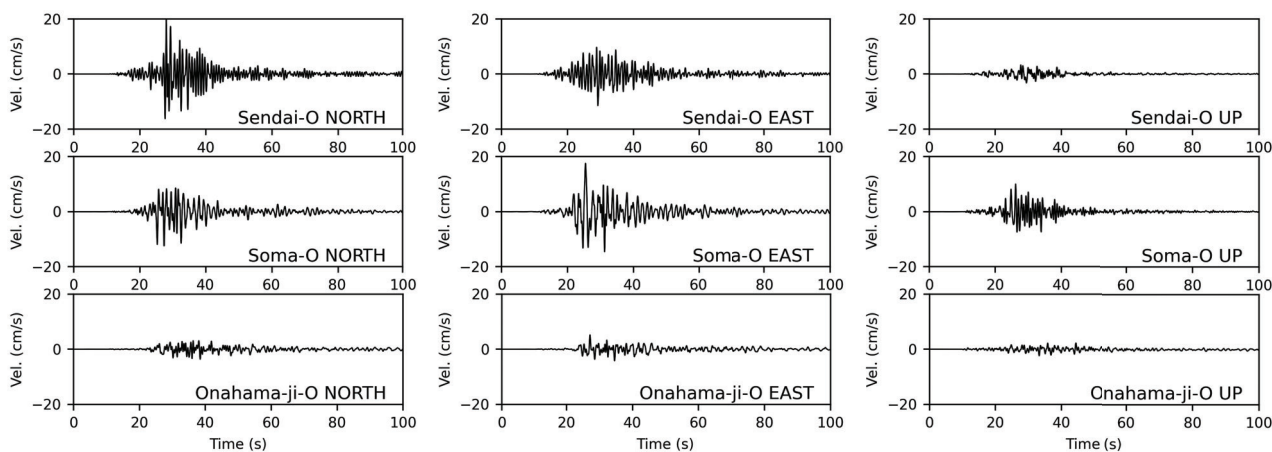
吉田さよ子さんには記録の処理などで大きく貢献していただいています。

参考文献

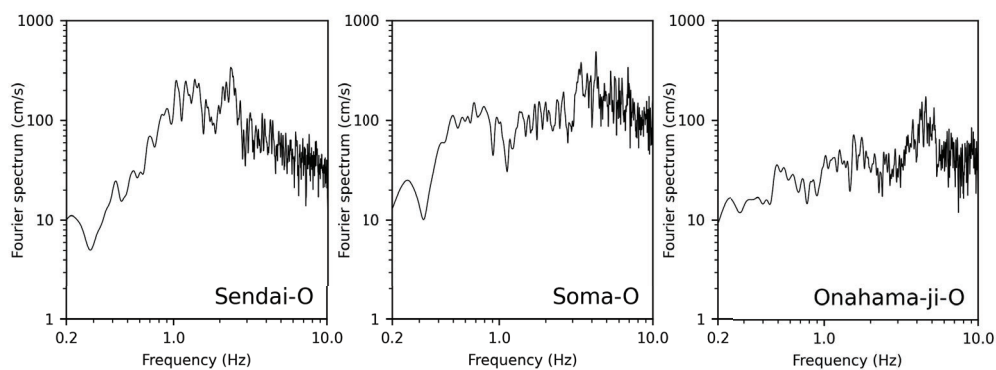
- 1) 菅野高弘・三篠正明・及川研：兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察（その 8）ケーソン式岸壁の被災に関する模型振動実験，港湾技研資料，No.813，1995 年 9 月，pp.207-252.
- 2) 一井康二・井合進・森田年一：兵庫県南部地震におけるケーソン式岸壁の挙動の有効応力解析，港湾技研報告，第 36 巻，第 2 号，1997 年 6 月，pp.41-86.
- 3) 野津厚・長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料 No.1112，2005 年 12 月.
- 4) 野津厚・菅野高弘：スペクトルインバージョンに基づく南西諸島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.1149，2007 年 3 月.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 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（1963・1964），港湾技研資料 No.55，1968 年 9 月.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 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.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) 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.



(a) 加速度波形



(b) 速度波形(0.2-2 Hz)



(c) 加速度フーリエスペクトル

図-10 2021年2月13日23時7分福島県沖の地震(M_J 7.3)による仙台-O, 相馬-O, 小名浜事-Oの記録

29) 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。

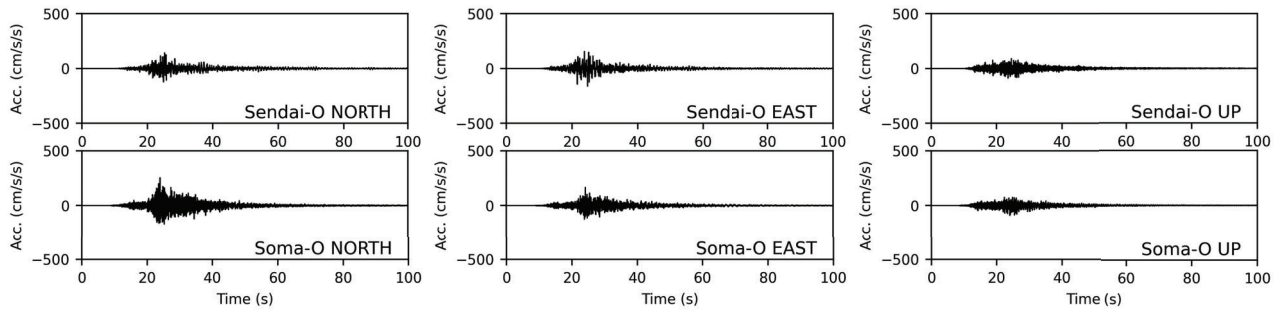
30) 倉田栄一・井合 進：港湾地域強震観測年報（1989），
港湾技研資料 No.676，1990年6月。

31) 倉田栄一・井合 進：港湾地域強震観測年報（1990），

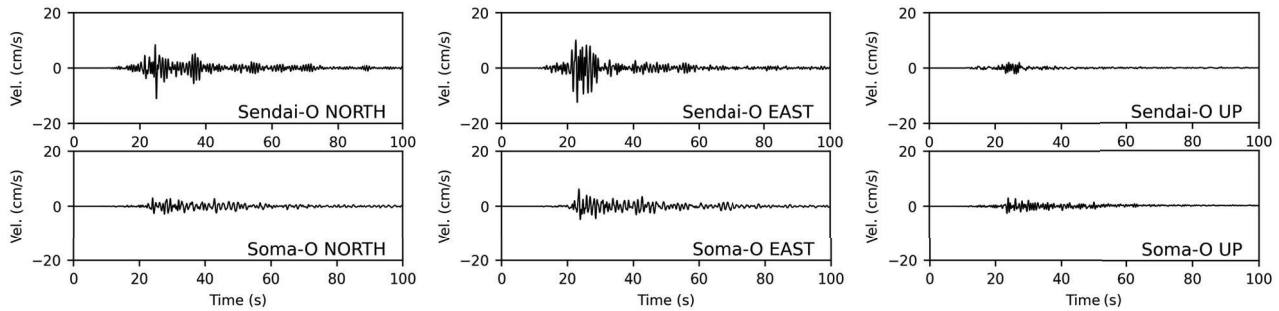
港湾技研資料 No.705，1991年6月。

32) 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。

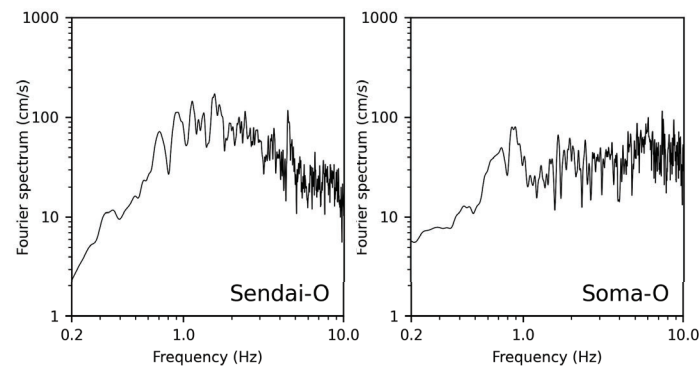
33) 松永康男・桜井博孝・森田年一・井合 進：港湾地域
強震観測年報（1992&1993），港湾技研資料 No.776，1994



(a) 加速度波形



(b) 速度波形(0.2-2 Hz)



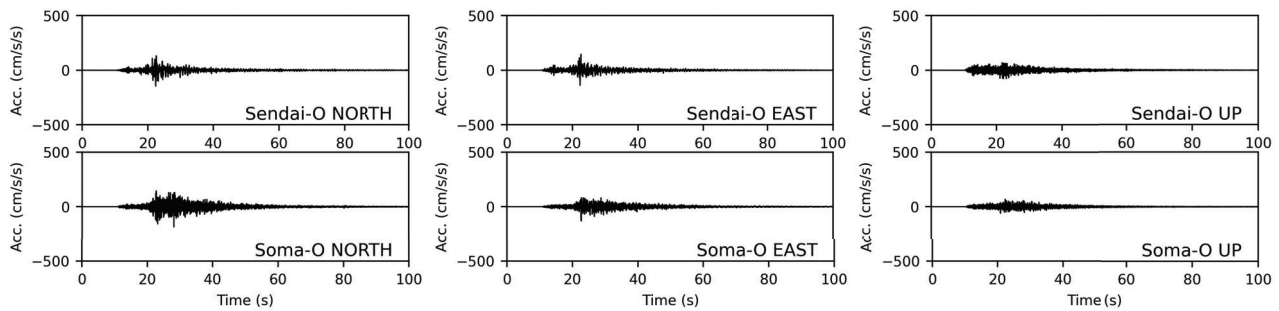
(c) 加速度フーリエスペクトル

図-11 2021/03/20 18:09 宮城県沖の地震(Mj 6.9)による仙台-O, 相馬-O の記録

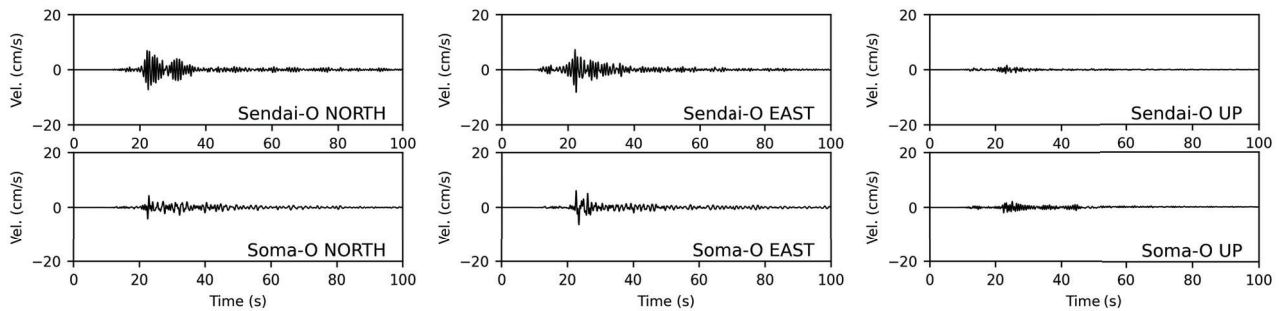
年 6 月.

- 34) 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.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) 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.

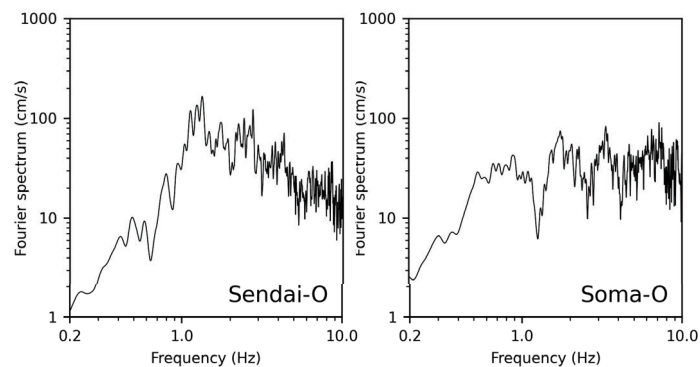
- 38) 野津 厚・深澤清尊・佐藤陽子・玉井伸昌・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（1999&2000），港湾空港技術研究所資料 No.1016，2002 年 3 月.
- 39) 深澤清尊・佐藤陽子・野津厚・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（2001），港湾空港技術研究所資料 No.1019，2002 年 6 月.
- 40) 野津 厚・佐藤陽子・深澤清尊・佐藤泰子・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（2002），港湾空港技術研究所資料 No.1054，2003 年 9 月.
- 41) 野津 厚・鈴木嘉秀・早田泰子・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（2003），港湾空港技術研究所資料 No.1084，2004 年 9 月.
- 42) 野津 厚・菅野高弘：港湾地域強震観測年報（2004），



(a) 加速度波形



(b) 速度波形(0.2-2 Hz)



(c) 加速度フーリエスペクトル

図-12 2021/05/01 10:27 宮城県沖の地震(Mj 6.8)による仙台-O, 相馬-O の記録

- 港湾空港技術研究所資料 No.1109, 2005 年 9 月.
- 43) 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.
- 44) 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.
- 45) 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.
- 46) 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.
- 47) 野津 厚・若井 淳: 港湾地域強震観測年報 (2009), 港湾空港技術研究所資料 No.1223, 2010 年 12 月.
- 48) 野津 厚・若井 淳: 港湾地域強震観測年報 (2010), 港湾空港技術研究所資料 No.1243, 2011 年 12 月.

- 49) 野津 厚・若井 淳: 港湾地域強震観測年報 (2011), 港湾空港技術研究所資料 No.1266, 2013 年 3 月.
- 50) 野津 厚・若井 淳・長坂陽介: 港湾地域強震観測年報 (2012), 港湾空港技術研究所資料 No.1283, 2014 年 3 月.
- 51) 野津 厚・長坂陽介: 港湾地域強震観測年報 (2013), 港湾空港技術研究所資料 No.1302, 2015 年 3 月.
- 52) 野津 厚・長坂陽介: 港湾地域強震観測年報 (2014), 港湾空港技術研究所資料 No.1322, 2016 年 6 月.
- 53) 野津 厚・長坂陽介: 港湾地域強震観測年報 (2015), 港湾空港技術研究所資料 No.1331, 2017 年 3 月.
- 54) 野津 厚・長坂陽介: 港湾地域強震観測年報 (2016), 港湾空港技術研究所資料 No.1347, 2018 年 9 月.

- 55) 長坂陽介・野津 厚：港湾地域強震観測年報（2017），
港湾空港技術研究所資料 No.1356，2019 年 8 月。
- 56) 長坂陽介・野津 厚：港湾地域強震観測年報（2018），
港湾空港技術研究所資料 No.1386，2021 年 6 月。
- 57) 長坂陽介・野津 厚：港湾地域強震観測年報（2019），
港湾空港技術研究所資料 No.1386，2021 年 12 月。
- 58) 長坂陽介・野津 厚：港湾地域強震観測年報（2020），
港湾空港技術研究所資料 No.1409，2023 年 6 月。
- 59) 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。
- 60) 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。
- 61) 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。
- 62) 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。
- 63) 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。
- 64) 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。
- 65) 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。
- 66) 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。
- 67) 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。
- 68) 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。
- 69) 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。
- 70) 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。
- 71) 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。
- 72) 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。
- 73) 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。
- 74) 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。
- 75) 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。
- 76) 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。
- 77) 木下繁夫：サーボ型地震計，地震2，第50巻，1998年3
月，pp.471-483。
- 78) 若井 淳，野津 厚，菅野高弘，長坂陽介：港湾地域
強震観測におけるデータ伝送方法の改良—地震動情報
即時伝達システムの開発—，港湾空港技術研究所資料
No.1310，2015 年 9 月。
- 79) 気象庁：地震・火山月報（防災編），2021 年。
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/>
- 80) 気象庁：地震月報（カタログ編），
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/>
- 81) 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。
- 82) Susumu Iai and Eiichi Kurata: Integration of strong-motion
accelerograms, Proceedings of the 5th Japan Earthquake
Engineering Symposium, 1978, pp.225-232.
- 83) 気象庁：震度データベース検索，
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>
- 84) 2021 年（令和 3 年）の東北地方の主な地震活動，
[https://www.jma-net.go.jp/sendai/data/earthquake_doc/j-mont
h/thk_year2021.pdf](https://www.jma-net.go.jp/sendai/data/earthquake_doc/j-mont-h/thk_year2021.pdf)

強震観測担当者（2021年1月～12月）

（敬称略）

東北地方整備局

青森港湾事務所		佐々木 正一	畠山 大	工藤 巧
		川上 哲治	佐藤 悌人	
八戸港湾・空港整備事務所		鈴木 孟徳	村上 博文	
釜石港湾事務所		大山 幹友		
釜石港湾事務所	宮古港出張所	引屋敷 英人	小野 秀則	
塩釜港湾・空港整備事務所		高木 聡洋	原茂 雅光	
小名浜港湾事務所		太田 充		
小名浜港湾事務所	相馬港出張所	佐藤 匡	林 秀幸	西澤 友明
		渡部 大寛		
秋田港湾事務所		鮎貝 基和	伊藤 遼太郎	櫻井 博孝
		佐藤 裕司		
酒田港湾事務所		伊藤 尚斗	鈴木 孟徳	

北陸地方整備局

新潟港湾・空港整備事務所		山川 一美	笠原 俊亮	武内 良太
伏木富山港湾事務所		間野 豊春	澤崎 守道	後藤 佑介
金沢港湾・空港整備事務所		玉木 基夫		
敦賀港湾事務所		高野 剛光		

関東地方整備局

鹿島港湾・空港整備事務所		一戸 秀久	打越 光一	狭間 松博
鹿島港湾・空港整備事務所	常陸那珂港事務所	一戸 秀久	打越 光一	狭間 松博
千葉港湾事務所		中村 浩明	笹森 秀一郎	
横浜港湾空港技術調査事務所		森永 真朗	渡部 昌治	竹高 麗子
京浜港湾事務所		西守 男雄	深澤 清尊	中川 勝栄

中部地方整備局

清水港湾事務所		大平 勝司		
清水港湾事務所	下田港事務所	渋谷 和之	浅井 茂樹	西尾 賢二
清水港湾事務所	御前崎港事務所	村松 佳春	渡邊 典幸	櫻井 日出伸
三河港湾事務所		澤田 隆志	岡田 達彦	
三河港湾事務所	衣浦港事務所	下牧 尚平	富田 和希	
名古屋港湾事務所		福田 真人		
名古屋港湾空港技術調査事務所		杉本 達重	中出 浩靖	吉村 藤謙
		淵ノ上 篤史		
四日市港湾事務所		本多 宗隆		

近畿地方整備局

和歌山港湾事務所		松下 清幸	中川 元気	宮田 康平
神戸港湾事務所		山下 雄生	大前 剛	前田 大輔

中国地方整備局

境港湾・空港整備事務所		山上 雄大	槇坪 誉統	
広島港湾・空港整備事務所		守田 悠究		

四国地方整備局

松山港湾・空港整備事務所	伊藤 陽二	渡邊 辰也	小笠原 勇一
小松島港湾・空港整備事務所	上野 尚洋	島崎 有	山本 順一
	岡 智哉		
高知港湾・空港整備事務所	谷定 大輔	佐々木 啓文	

九州地方整備局

博多港湾・空港整備事務所	田浦 康雄	右田 宏文	吉仲 大輔
	渡辺 祐二		
別府港湾・空港整備事務所	石原 由佳理		
宮崎港湾・空港整備事務所	緒方 友法		
志布志港湾事務所	貞弘 行雄		
鹿児島港湾・空港整備事務所	高坂 誠	吉田 潤	

北海道開発局

釧路開発建設部	釧路港湾事務所	山本 也実		
釧路開発建設部	根室港湾事務所	吉川 真史	松谷 明典	
室蘭開発建設部	浦河港湾事務所	松谷 明典	今 卓也	
室蘭開発建設部	苫小牧港湾事務所	片山 勝		
室蘭開発建設部	室蘭港湾事務所	川上 徹也	大西 弘芳	
小樽開発建設部	小樽港湾事務所	廣部 俊夫	藤田 一夫	浅見 能章
		杉森 信博		
函館開発建設部	函館港湾事務所	高橋 望	佐藤 亘	
函館開発建設部	江差港湾事務所	渡部 壮史	熊田 靖	
留萌開発建設部	留萌港湾事務所	宮武 真人		
網走開発建設部	網走港湾事務所	上平 大介		
網走開発建設部	紋別港湾事務所	上杉 智	土野 泰嗣	

沖縄総合事務局

那覇港湾・空港整備事務所	石垣 里彦	富田 和之	國場 幸恒
	上原 和晃		
那覇港湾・空港整備事務所	中城湾港出張所	名嘉 康之	濱川 允典
平良港湾事務所		右田 宏文	井上 俊也
石垣港湾事務所		前里 尚	鈴木 啓介
			大城 祥慎

都道府県

東京都港湾局	佐藤 諒英	南川 浩輝	川村 信一
大阪市港湾局	細見 茂佳	大年 信彦	黒田 剛
	岡 崇	河崎 雅昭	
神戸市港湾局	高橋 悠	木村 俊平	峯浦 亮
神戸市都市局	杉本 強		
静岡県田子の浦港管理事務所	多賀 和人		
宮崎県北部港湾事務所	中川 高幸	橋倉 誉典	海野 正一
	横田 哲也		

港湾空港技術研究所資料 No.1417

2024. 6

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 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. <https://www.pari.go.jp/>

Copyright © (2024) by MPAT

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

この資料は、海上・港湾・航空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、複写は海上・港湾・航空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。