

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1310 September 2015

港湾地域地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—

若井 淳
野津 厚
菅野 高弘
長坂 陽介

国立研究開発法人 港湾空港技術研究所

National Research and Development Agency,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 地震動情報即時伝達システムの概要	4
3. 強震計の波形データが情報収集・処理サーバに送られるまで	8
3.1 地震検知情報が出力されるシリアル接続の強震計の場合	9
3.2 地震検知情報が出力されないシリアル接続の強震計の場合	10
3.3 LAN接続の強震計の場合	11
4. 情報収集・処理サーバの機能	11
5. 利用者が受信できる情報	13
5.1 地震情報	13
5.2 PSI値と計測震度相当値	13
5.3 波形とフーリエスペクトル	16
6. その他の機能	16
6.1 通信状況確認機能	16
6.2 遠隔操作機能	17
6.3 ルータ再起動機能	17
7. まとめと今後の課題	17
謝辞	18
参考文献	18

Development of Immediate Transmission System of Strong Ground Motion Data in Japanese Ports

Atsushi WAKAI*

Atsushi NOZU**

Takahiro SUGANO***

Yosuke NAGASAKA****

Synopsis

This article describes the outline of a newly developed system to quickly retrieve data from Strong-Motion Earthquake Observation in Japanese Ports and to provide strong motion data to the Regional Development Bureaus of the Japanese government, etc. The system is mainly composed of three elements, namely, (1) the devices including a small-sized PC and a router located in the strong motion stations, (2) the software on the PC and (3) the software on a server located in our research institute. Once the seismometer is triggered, the software on the PC retrieves the record and transmits it to the server in our research institute. Then the software on the server calculates such ground motion indices as the peak ground acceleration, the JMA seismic intensity and the PSI value and sends them to the Regional Development Bureaus, etc. via email. The information appearing on the email is carefully designed so that they can contribute to the post-earthquake actions of the bureaus.

Compared to the conventional data transmission system based on a dial-up approach, the new system is advantageous in a sense that it can distribute strong motion data even at night when the members of the research institute is not present at the office. In addition, after the 2011 Tohoku earthquake, it is important to retrieve strong motion data as quickly as possible after a great earthquake before the tsunami hit the strong motion station. The newly developed system is also appropriate for this purpose because it can transmit strong motion data from the port to our research institute in approximately ten minutes as long as all the elements of the system perform just as intended.

The system has already been installed at 80 out of 136 strong motion observation sites, partly because the system is applicable to all kinds of seismometers currently used in the observation and it is easy to install the system.

There are, however, many issues remaining associated with the system and the authors will focus on those issues in the future work.

Key Words: strong ground motion, Strong-Motion Earthquake Observation in Japanese Ports, transmission system, PSI value, tsunami

* Former Postdoctoral Fellow, Engineering Seismology Group, Earthquake Disaster Prevention Engineering Division

** Director, Earthquake Disaster Prevention Engineering Division

*** Director for Special Research

**** Research Engineer, Engineering Seismology Group, Earthquake Disaster Prevention Engineering Division

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

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

港湾地域強震観測におけるデータ伝送方式の改良

—地震動情報即時伝達システムの開発—

若井 淳*・野津 厚**・菅野高弘***・長坂 陽介****

要 旨

本稿では、港湾地域強震観測のデータをより迅速に回収し、地方整備局等への地震動情報の提供をより迅速に行うために新たに開発したシステム（地震動情報即時伝達システム）の紹介を行った。開発したシステムは、現地の強震観測小屋に設置された周辺機器（小型 PC、ルータ等）と、小型 PC 上で稼働するソフトウェア、および、当所に設置されたサーバ上で稼働するソフトウェアからなる。強震計が地震を検知すると、小型 PC 上のソフトウェアが強震計から波形データを吸い上げ、当所サーバに転送する。当所サーバでは、受信した記録から最大加速度、計測震度相当値、PSI 値等の値を読みとり、メールで配信する。メールの文面の作成にあたっては、利用者が受信した情報を活用しやすくなるよう、細心の注意を払っている。

従来用いられてきたデータ回収方法であるダイアルアップ方式と比較すると、当所の職員が出勤していない夜間等であっても、地方整備局等へ地震動情報を迅速に届けられるメリットがある。また、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえ、津波を伴うような大地震の発生が予想される地域においては、地震動の終了から津波の到達までの短い時間に記録の回収を行うことが重要な課題であるが、今回開発したシステムでは、システムの各要素が期待通りに機能すれば、地震後おおむね 10 分程度の間には強震計の波形ファイルのコピーが当所サーバ内に作成されることになるため、記録の回収がより確実になると期待できる。

本システムは、港湾地域強震観測で使用されている既存の強震計のうち、通信機能を有するもの全てに対応しており、また、現地の強震観測小屋に周辺機器を設置しソフトウェアをインストールするだけで比較的簡単に導入できることもあり、2011 年の最初の導入以降着実に普及しており、2014 年末の時点では 136 地点中 80 地点に導入されている。

ただし本システムに関しては残された課題も数多く存在しており、引き続きそれらの解決に取り組んでいきたいと考えている。

キーワード：地震動、港湾地域強震観測、伝達システム、PSI 値、津波

* 前 地震防災研究領域 地震動研究チーム 特別研究員

** 地震防災研究領域長

*** 特別研究員

**** 地震防災研究領域 地震動研究チーム 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

港湾地域強震観測網¹⁾は全国 61 港湾の 136 地点に設置された強震計からなる強震観測網である(数字は 2014 年末現在, 図-1). 当所は観測網の運用開始当初から観測データの一元的な管理を行ってきた。図-1 には観測網を構成する強震計の機種も示されているが, これについては文献 1) で詳しく述べられている。

この観測の最大の目的は, 文献 1) でも述べられているように, 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。そのためには, 大地震時の記録を確実に回収することが最も重要である。ただし, 近年では, 取得された記録を災害対応に活用する観点から, 記録回収の確実性のみならず, 迅速性についても, 従来以上に求められるようになってきている。本稿では, 記録回収の確実性と迅速性の双方の向上を目指して新たに開発したデータ伝送方式について紹介を行う。

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通信回線を通じたデータ転送が可能となっている。通信回線によるデータ転送が可能な地点は, 2014 年末の時点では, 136 の強震観測地点のうち 129 地点である。ただし, 従来用いられてきた通信方式はダイヤルアップ方式, すなわち, 当所の職員がパソコンから現地の強震計に電話をかけ, 通信を行う方式であり, 近年の情報通信技術の進歩からすれば, やや陳腐な方法であることは否めなかった。

ダイヤルアップ方式の不都合な点は, 当所の職員が電話をかけない限り通信ができないという点である。その結果, 当所の職員が出勤していない夜間や休日に大地震が起これば, 観測データの収集と地方整備局等への情報提供に時間を要してしまう恐れがある。大地震発生時には, 当所の担当職員はマニュアルに従って非常参集を行うが, それでも, 情報提供が遅れる可能性は否定できない。多くの既往研究(例えば 2))で示されているように, 港湾とその背後ではサイト特性の影響で地震動の特性が大幅に異なる場合がある。従って, 近年大きく進展した情報通信技術を活用し, 港湾での地震動情報をより迅速に収集し提供することは重要な課題である。

一方, 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生は, ダイヤルアップ方式の別の問題点を浮き彫りにした。強震観測年報(2011)²⁾で報告しているように, この地震では宮古港と相馬港で強震計と観測小屋が津波により流失し, 記録の回収ができなかった。今後発生が懸念される津波を伴うような大地震においても, 確実に記録の回収を行うためには,

地震動の終了から津波の到達までの短い時間(地震によっても異なるが東北地方太平洋沖地震の場合短いところでも 30 分程度)に記録の回収を行う必要があることをこの事例は示している。ダイヤルアップ方式はこうした目的には不向きである。すなわち, ダイヤルアップ方式は記録回収の確実性と迅速性の双方において課題を抱えている。

そこで, 当所においては, 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し, さらに地方整備局等へのメールによる情報提供を自動で行うための新しいシステム(地震動情報即時伝達システム)の開発を行った。

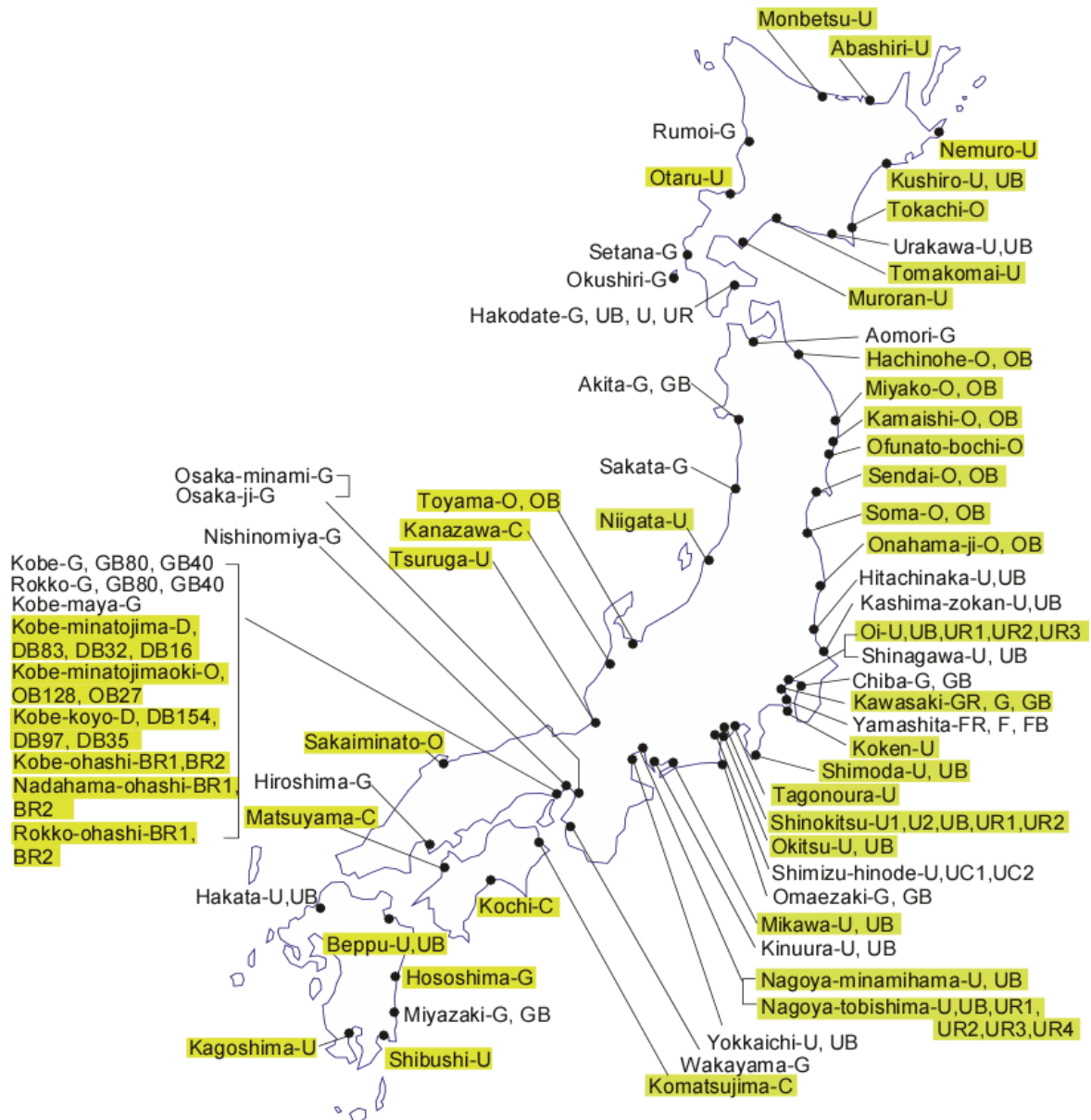
新たに開発したシステムは, 港湾地域強震観測で使用されている既存の強震計のうち, 通信機能を有するもの全てに対応しているため, 現地の強震観測小屋に周辺機器(小型 PC, ルータ, データ通信端末, および無停電電源装置)を設置しソフトウェアをインストールするだけで比較的簡単に導入することができる。本システムは, 2011 年の最初の導入以降, 着実に普及しており, 2014 年末の時点では 136 地点中 80 地点に導入されている(図-1)。

本システムの最初の導入以降, 当所では, 細かな問題に対処するための改良を断続的に行ってきたが, 現時点では本システムは一定の完成度に達していると考えられるため, 開発したシステムに関する詳細な報告を本稿において行う次第である。

以下, 第 2 章では開発したシステムの概要について述べる。第 3 章では強震計から情報収集・処理サーバへの波形データの転送について述べ, 第 4 章では情報収集・処理サーバの機能について述べる。さらに第 5 章では利用者が受信できる情報について説明し, 第 6 章ではその他の機能について述べる。最後に第 7 章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 地震動情報即時伝達システムの概要

地震動情報即時伝達システム(図-2)は, 現地の強震観測小屋に設置された周辺機器(小型 PC, ルータ, データ通信端末, および無停電電源装置)と, 小型 PC 上で稼働するソフトウェア, および, 当所に設置された情報収集・処理サーバ上で稼働するソフトウェアからなる。強震計が地震を検知すると, 小型 PC 上のソフトウェアが強震計から波形データを吸い上げ, ルータとデータ通信端末を介して情報収集・処理サーバに転送する。情報収集・処理サーバでは, 受信した記録と気象庁震源情報との紐付けを行うとともに, 受信した記録から最大加速度, 計測震度相当値³⁾, PSI 値⁴⁾等の値を読みとり, それらの値をあらかじめ登録しておいたメールアドレスに送信する。計測震度相当値や



2014年12月31日現在 61港136地点		
ERS-F	----	3
ERS-G	----	35
SMAC-MDU	--	60
DATOL-100	--	8
OMNI	-----	20
BASALT	----	6
CV-374	-----	4
オンライン化完了地点 129地点		
地震動情報即時伝達システム導入地点 80地点		

図-1 港湾地域強震観測網

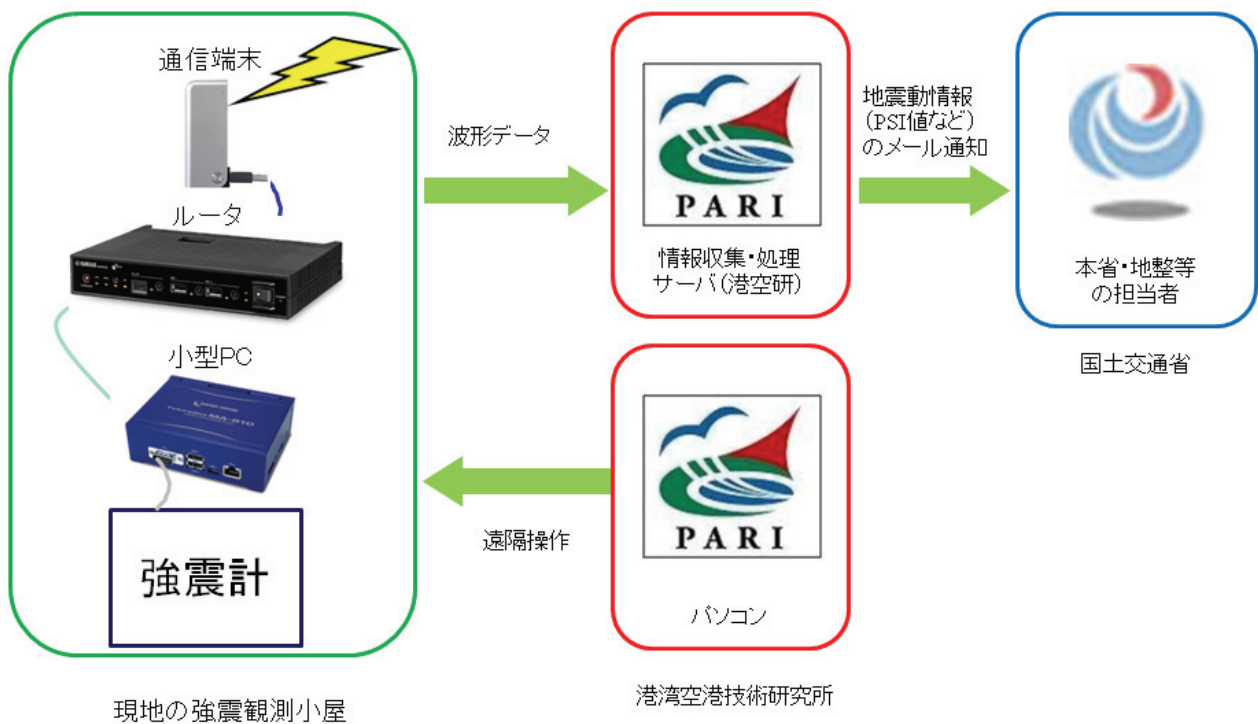


図-2 地震動情報即時伝達システムの概要

表-1 地震動情報即時伝達システムに接続可能な強震計

通信方式	機種
シリアル接続	ERS-G SMAC-MDU Datol-100
LAN 接続	Omni BASALT CV-374 JU210

表-2 地震動情報即時伝達システムに用いられる強震計の周辺機器の仕様

機器名称	仕様
小型 PC	CPU : 400MHz 以上 メモリ : 128MB 以上 Flash ROM : 32MB 以上 OS : Linux (Kernel 2.6.23) 相当
ルータ	LAN ポート : 1 ポート以上 USB ポート : 1 ポート以上
無停電電源装置	小型 PC およびルータの機能を 30 分以上維持できること

PSI 値の意義を含め、利用者が受信できる情報については第 5 章で詳述する。

なお、図-2 では、データ通信端末を利用し、携帯電話会社の提供するパケット通信サービスを利用することを前提にフローが描かれているが、固定回線を利用する方法でも本システムの動作は可能である。ただし、大地震発生直後

の時間帯においては、パケット通信サービスを利用することにより、より確実にデータの転送が可能になると考えられるため、極力、データ通信端末を利用した図-2 のハードウェア構成とすることが望ましい。また、図-2 には当所のパソコンから強震計を遠隔操作する機能についても示しているが、これについては第 6 章で述べる。

地震動情報即時伝達システムは、現在、表-1 に示す強震計に対応している。表-1 に示す「通信方式」とは強震計と小型 PC の間の通信方式のことで、シリアル接続 (RS-232C ケーブルによる接続) と LAN 接続がある。通信方式の違いにより、強震計と小型 PC の間でのデータのやりとりのタイミング等が異なってくるが、この点については第 3 章で詳述する。

地震動情報即時伝達システムに用いられる強震計の周辺機器の仕様を表-2 に示す。一般に大地震発生時には停電が予想されるため、強震計は停電後も 3 時間以上全機能を維持できる内蔵バッテリー (ときに外付けバッテリー) を備えていることが普通である。しかし、仮に大地震時に停電が発生し、その後、津波の到達までの間にサーバへのデータ転送を行うためには、停電時に周辺機器の機能も維持されなければならない。従って、表-2 に示すように、無停電電源装置により周辺機器の機能を 30 分以上維持することとしている。

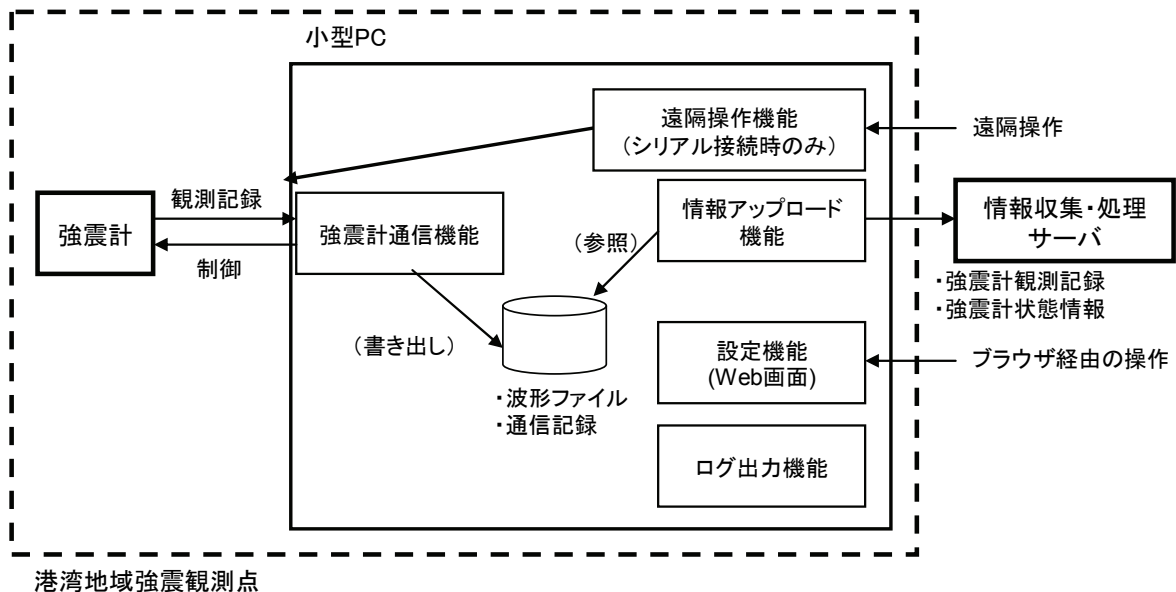


図-3 小型 PC アプリケーション機能関連図

表-3 地震動情報即時伝達システムに接続可能な強震計の詳細情報

	通信方式	地震検知情報の出力	データ収録	データ形式	設定変更
ERS-G	シリアル接続	あり	コマンドによるやりとり	独自の記録形式で出力	シリアル接続でコマンドを送信して変更する
SMAC-MDU	シリアル接続	あり	コマンドによるやりとり	独自の記録形式で出力	シリアル接続でコマンドを送信して変更する
Datol-100	シリアル接続	なし	コマンドによるやりとり	独自の記録形式で出力	シリアル接続でコマンドを送信して変更する
Omni	LAN 接続	あるが、本システムでは使用せず	強震計が FTP サーバ、小型 PC が FTP クライアントとなりデータをダウンロード	/home/omniuser/date/events/yyMM/に保存される。 ヘッダファイル：***.head データファイル：***.ccc (ccc はチャンネル No.) WIN フォーマット。	設定ファイルを ftp でアップロード。その後、telnet でログインしてリスタート。各種設定ファイルが別ファイルになっている。
BASALT	LAN 接続	なし	強震計が FTP サーバ、小型 PC が FTP クライアントとなりデータをダウンロード	/data/events に***.win として保存される。 WIN ファイル。	Web 画面から行う
CV-374	LAN 接続	なし	強震計が FTP サーバ、小型 PC が FTP クライアントとなりデータをダウンロード	/mnt/wave に保存される。 1024byte のヘッダの後に WIN32 の波形データが続く。	パラメータ設定ソフトを使う
JU210	LAN 接続	なし	強震計が FTP サーバ、小型 PC が FTP クライアントとなりデータをダウンロード	/Data/SHORT/yyMMdd/yyMMddHH/yyMMddHH.mm 1分毎の WIN ファイルとして保存される。	XML ファイルを設定し ftp でアップロード。その後 telnet でログインしてリスタート。

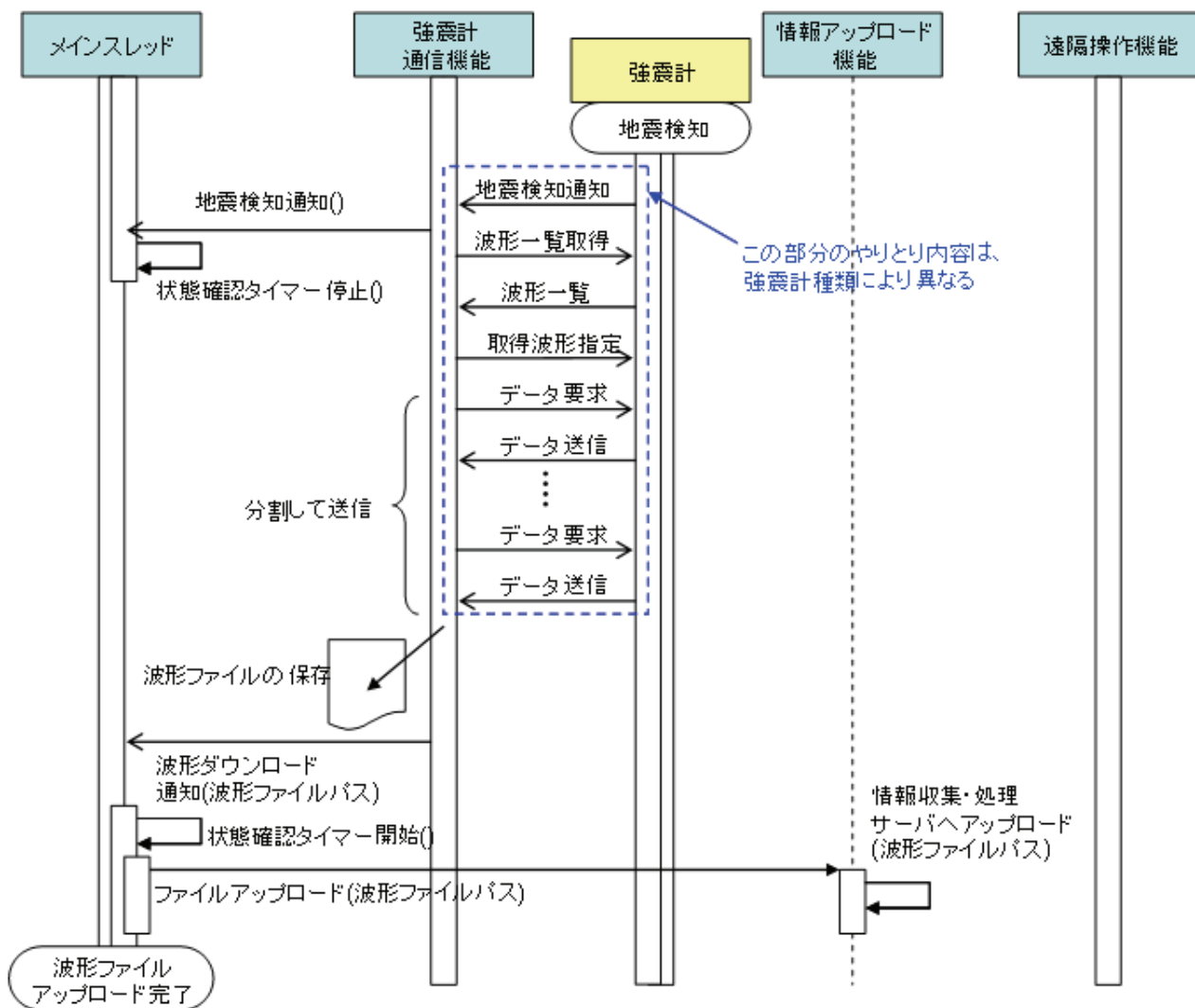


図-4 地震検知時における小型 PC アプリケーションのシーケンス
(地震検知情報が出力されるシリアル接続の強震計の場合)

3. 強震計の波形データが情報収集・処理サーバに送られるまで

本章では、地震動情報即時伝達システムの機能のうち、強震計から情報収集・処理サーバへの波形データの転送について述べる。

表-3 に示すように強震計にはシリアル接続 (RS-232C ケーブルによる接続) と LAN 接続のものがあ、さらに、シリアル接続の強震計には、地震検知情報をシリアルケーブルを通じて強震計の外部に出力する機能をもともと有するものと、そうでないものがある。こうした強震計の種類に応じて小型 PC 上で稼働するアプリケーションの動作が異なるため、以下においては強震計の種類に応じた説明を行う。

図-3 は小型 PC 上で稼働するアプリケーションの機能を示したものである。小型 PC 上のアプリケーションは互いに独立に実行されるいくつかの実行単位(スレッドという)からなっており、アプリケーションの起動と同時に起動される「メインスレッド」の他に、図-3 に示すように、「強震計通信機能」「情報アップロード機能」「遠隔操作機能」「ログ出力機能」の各スレッドがある。これらのうち、強震計から情報収集・処理サーバへの波形データの転送に主に関与するのは「メインスレッド」「強震計通信機能」「情報アップロード機能」であるため、本章では主にこれらの動作について述べる。

なお、「遠隔操作機能」はシリアル接続の強震計を当所のパソコンから遠隔操作するために必要となる機能であり、これについては第 6 章で述べる。

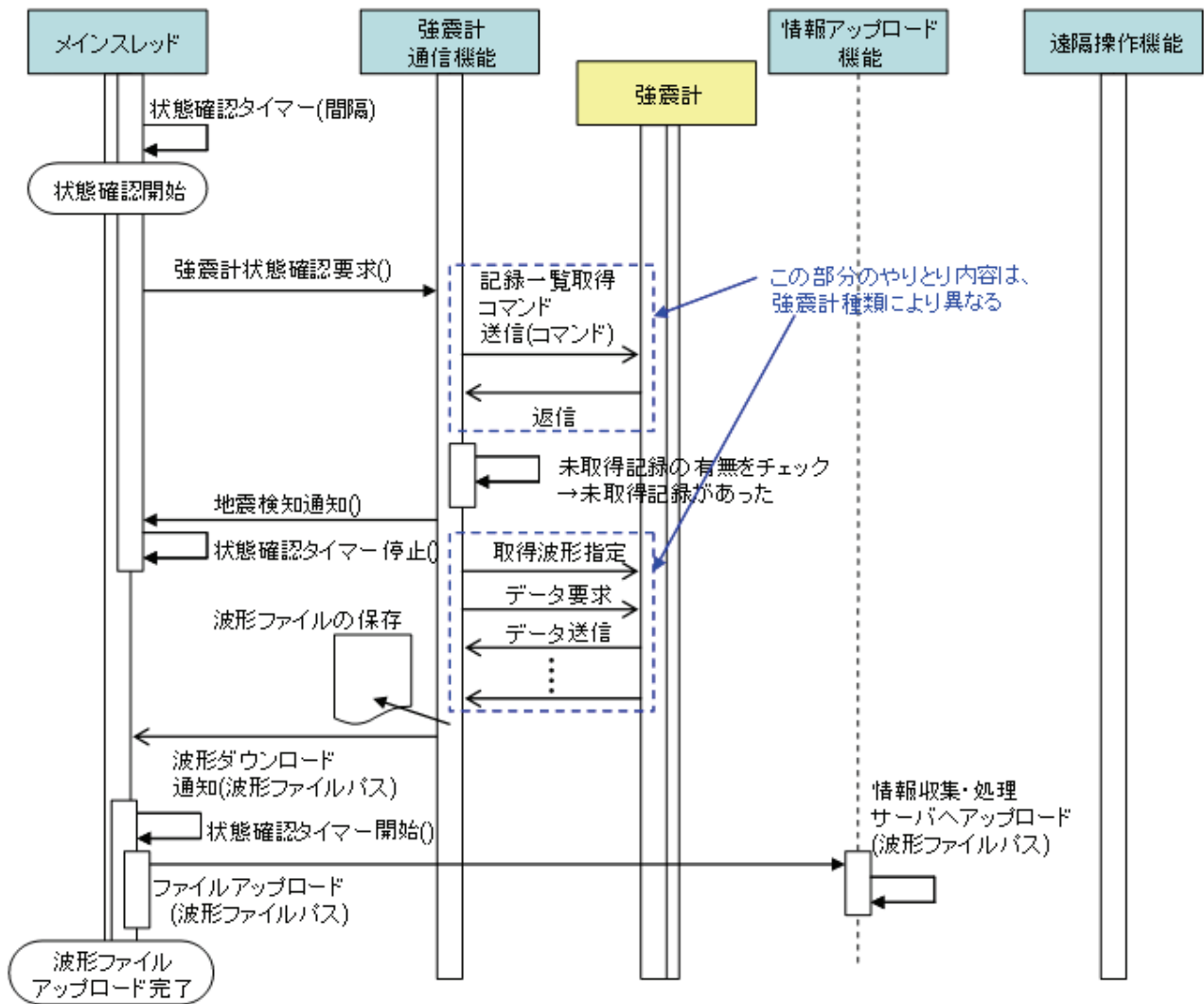


図-5 地震検知時における小型 PC アプリケーションのシーケンス
(地震検知情報が出力されないシリアル接続の強震計の場合)

3.1 地震検知情報が出力されるシリアル接続の強震計の場合

地震検知情報が出力されるシリアル接続の強震計 (ERS-G, SMAC-MDU) の場合、地震検知情報をトリガーとして波形データの取得とサーバへのアップロードが開始される。小型 PC アプリケーションが起動中で、強震計から地震検知情報を受信した時の一連の動作（以下、シーケンスという）は以下の通りである（図-4）。

①初期状態：メインスレッドでは状態確認タイマーが動作中である。遠隔操作機能は遠隔操作ユーザからの接続要求を待ち受ける状態である（遠隔モードではない）。強震計通信機能は強震計とのシリアル接続が保持された状態である。

- ②シリアル接続されている強震計が地震を検知すると、強震計から地震検知通知が送信される。
- ③強震計から地震検知通知を受信した強震計通信機能は、地震検知通知をメインスレッドに送る。
- ④メインスレッドでは状態確認タイマーを停止する。
- ⑤強震計通信機能は強震計から波形データを受信してファイルに保存する。
- ⑥強震計通信機能はメインスレッドに対して波形ファイルのダウンロードが終了したことを通知する。
- ⑦メインスレッドは状態確認タイマーを再開させる。
- ⑧メインスレッドは情報アップロード機能に対して情報収集・処理サーバへ波形ファイルをアップロードするよう命令する。

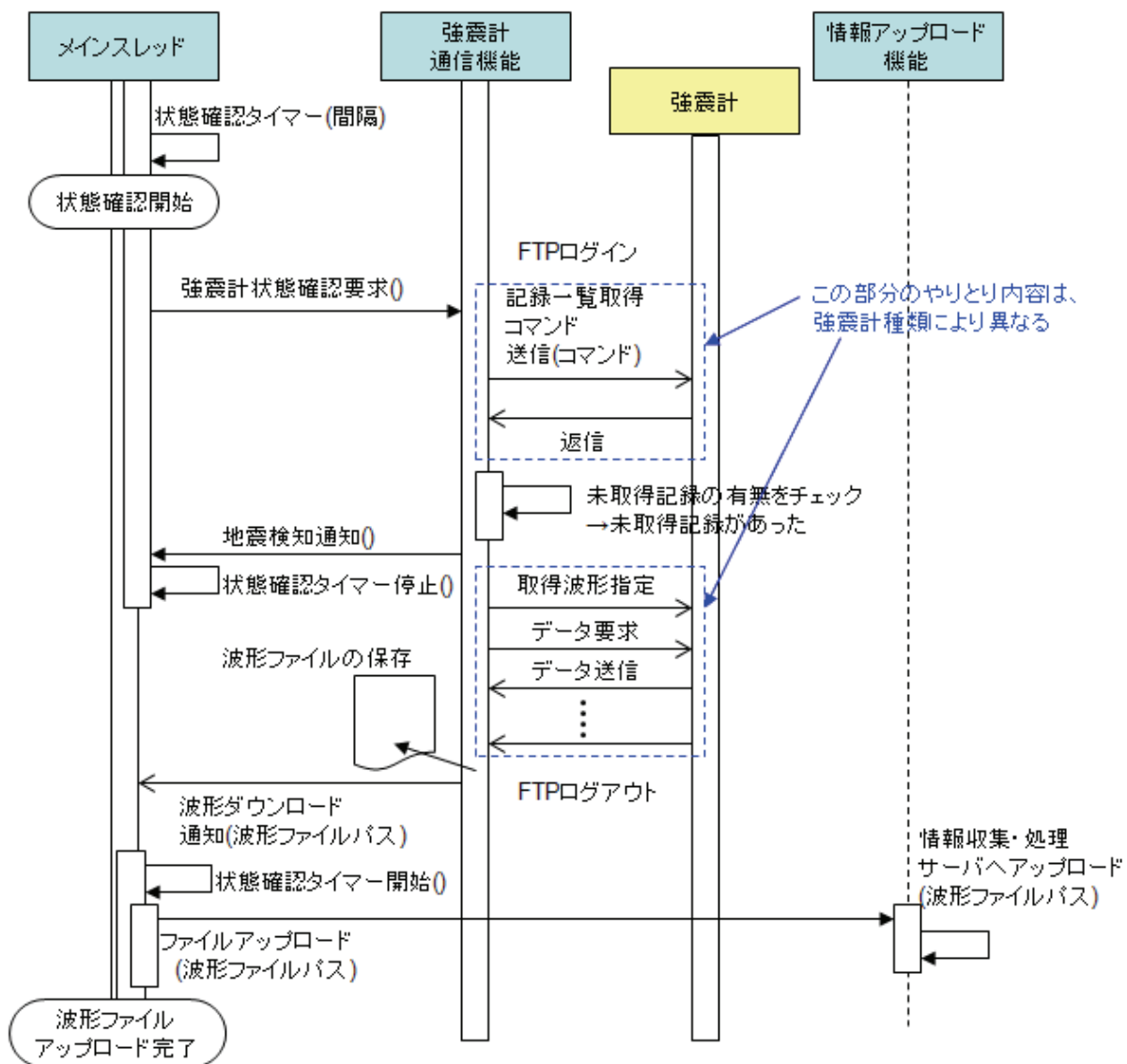


図-6 地震検知時における小型 PC アプリケーションのシーケンス (LAN 接続の強震計の場合)

⑨情報アップロード機能は波形ファイルを情報収集・処理サーバへアップロードする。

3.2 地震検知情報が出力されないシリアル接続の強震計の場合

地震検知情報が出力されないシリアル接続の強震計 (Datol-100) の場合、3.1 で述べた「地震検知情報が出力されるシリアル接続の強震計」の場合と異なり、小型 PC が強震計に定期的にコマンドを送り、新しい記録の有無をチェックする。小型 PC アプリケーションが起動中で、状態確認タイマーをトリガーとして強震計にコマンドを送り、新しい記録を発見した時のシーケンスは以下の通りである

(図-5)。

- ①初期状態：メインスレッドでは状態確認タイマーが動作中である。遠隔操作機能は遠隔操作ユーザからの接続要求を待ち受ける状態である (遠隔モードではない)。強震計通信機能は強震計とのシリアル接続が保持された状態である。
- ②状態確認タイマーは指定した間隔 (現時点の設定では原則 300 秒) ごとに状態確認を開始する。
- ③メインスレッドから強震計通信機能に対して状態確認要求をする。
- ④強震計通信機能はシリアル接続されている強震計に対して記録一覧取得コマンドを送信し、強震計からの応答を

受信する。強震計と強震計通信機能の間で送受信するコマンド・応答は強震計の種類により異なる。

- ⑤強震計通信機能は小型 PC が既に取得している記録のリストと強震計から取得した記録一覧を照合し、未収集記録の有無をチェックする（以下では未収集記録が存在したとする）。
- ⑥強震計通信機能は地震検知通知をメインスレッドに送る。
- ⑦メインスレッドでは状態確認タイマーを停止する。
- ⑧強震計通信機能は強震計から波形データを受信してファイルに保存する。
- ⑨強震計通信機能はメインスレッドに対して波形ファイルのダウンロードが終了したことを通知する。
- ⑩メインスレッドは状態確認タイマーを再開させる。
- ⑪メインスレッドは情報アップロード機能に対して情報収集・処理サーバへ波形ファイルをアップロードするよう命令する。
- ⑫情報アップロード機能は波形ファイルを情報収集・処理サーバへアップロードする。

3.3 LAN 接続の強震計の場合

LAN 接続の強震計 (Omni, BASALT, CV-374, JU210) の場合、小型 PC アプリケーションの動作は 3.2 で述べた「地震検知情報が出力されないシリアル接続の強震計」の場合と似ているが、小型 PC が FTP クライアントになり、強震計に定期的アクセスして、新しいファイルが作られたかどうかチェックする点が異なる。小型 PC アプリケーションが起動中で、状態確認タイマーをトリガーとして強震計にアクセスし、新しい記録を発見した時のシーケンスは以下の通りである (図-6)。

- ①初期状態：メインスレッドでは状態確認タイマーが動作中である。強震計通信機能は起動した状態である。
- ②状態確認タイマーは指定した間隔（現時点の設定では原則 300 秒）ごとに状態確認を開始する。
- ③メインスレッドから強震計通信機能に対して状態確認要求をする。
- ④強震計通信機能は LAN 接続されている強震計に対して FTP でログインし、記録一覧取得コマンドを送信し、強震計からの応答を受信する。記録の保存場所、ディレクトリ構造は強震計の種類により異なる (表-3)。
- ⑤強震計通信機能は小型 PC が既に取得している記録のリストと強震計から取得した記録一覧を照合し、未収集記録の有無をチェックする（以下では未収録記録が存在したとする）。
- ⑥強震計通信機能は地震検知通知をメインスレッドに送る。
- ⑦メインスレッドでは状態確認タイマーを停止する。

⑧強震計通信機能は強震計から波形データを受信してファイルに保存する。

- ⑨強震計通信機能はメインスレッドに対して波形ファイルのダウンロードが終了したことを通知する。
- ⑩メインスレッドは状態確認タイマーを再開させる。
- ⑪メインスレッドは情報アップロード機能に対して情報収集・処理サーバへ波形ファイルをアップロードするよう命令する。
- ⑫情報アップロード機能は波形ファイルを情報収集・処理サーバへアップロードする。

4. 情報収集・処理サーバの機能

第 3 章では強震計から情報収集・処理サーバへの波形データの転送について説明した。続いて本章では情報収集・処理サーバの機能について述べる。

情報収集・処理サーバ上のソフトウェアは互いに独立に実行されるいくつかの実行単位（スレッドという）からなっている。それらは「記録処理機能」「メール送信機能」「地震情報取得機能」の三者である (図-7)。以下、観測記録受信時における情報収集・処理サーバ上のソフトウェアのシーケンスを図-7 に即して説明する。

まず、小型 PC からの観測記録の受信と同時に記録処理機能が起動する。記録処理機能は「地震情報取得機能」を起動する（すでに起動中なら起動しない）。

地震情報取得機能は、起動後、2 分間隔で 6 回、気象庁地震情報を取得する。このとき取得する地震情報は地震の発生時刻と震源の東経・北緯・深さ、それにマグニチュードである。そして、取得した地震情報をサーバ内のデータベースに登録する。なお、ここで取得の対象とする地震情報は、地震情報取得機能を起動した観測記録のトリガー時刻の 10 分前よりも後に発生した地震の情報である（トリガー時刻よりも後に発生した地震の情報も取得の対象となり得る）。

一方、記録処理機能は、記録 ID の発行を行うとともに、波形データのフォーマット変換を行い、統一フォーマットとしたものを所定のフォルダに保存する。また、計器特性に関する補正¹⁾を行い、その結果を所定のフォルダに保存する。つづいてフーリエ解析を行い、フーリエスペクトルの算定を行うとともに、計測震度相当値³⁾、PSI 値⁴⁾の算定も行う。また加速度波形とフーリエスペクトルについては作図を行い所定のフォルダに保存する。計測震度相当値と PSI 値については第 5 章で説明を行う。

次に、記録処理機能はメール送信予約を行う。これは、後に第 5 章で説明するようなメールを送信するための準備

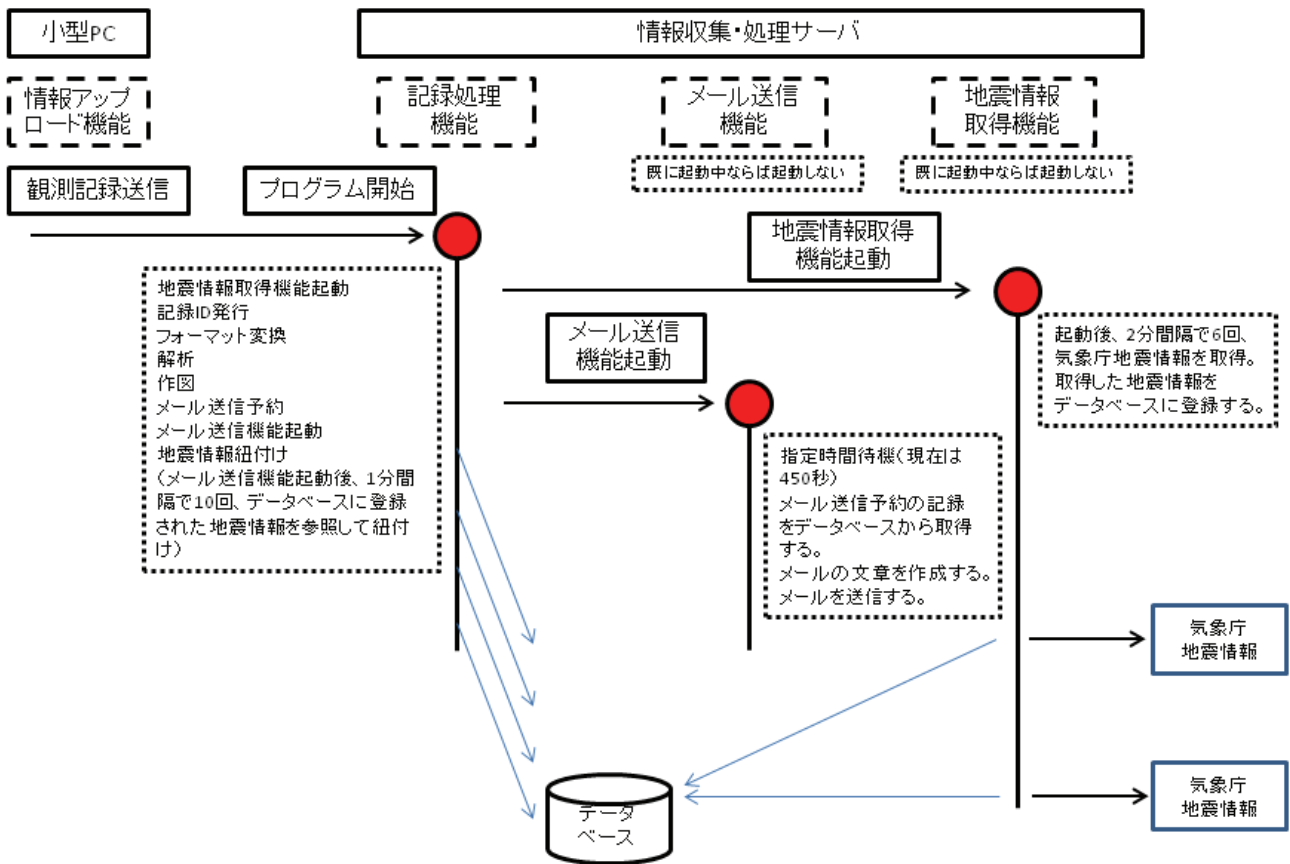


図-7 観測記録受信時における情報収集・処理サーバ上のソフトウェアのシーケンス

として、最大加速度、計測震度相当値、PSI 値の情報を記録 ID とともにデータベースに登録する作業である。このとき、計測震度相当値がある閾値を超えた記録だけを送信すべき記録として登録する機能があり、この閾値は利用者のグループ毎に設定できる。

次いで、記録処理機能は「メール送信機能」を起動する（すでに起動中なら起動しない）。メール送信機能は起動後、指定時間だけ待機する（現時点での設定は 450 秒）。これは、以下に述べる紐付け作業の進展を待つ意味合いがある。

一方、記録処理機能は地震情報の紐付けを行う。紐付けは、メール送信機能の起動後、1 分間隔で 10 回、サーバ内のデータベースに登録された地震情報を参照して行う。このとき、次の二つの条件を満足する地震を紐付けの対象とする。

- ①観測記録のトリガー時刻の 10 分前からトリガー時刻までの間に発生した地震であること。
- ②当該地震の震源情報から算出した観測地点の地表面での推計震度と実際に観測した計測震度相当値との誤差が次式の範囲であること。

地上の観測地点では

$$-2.0 \leq (\text{計測震度相当値}) - (\text{推計震度}) \leq 2.0$$

地中の観測地点では

$$-3.0 \leq (\text{計測震度相当値}) - (\text{推計震度}) \leq 2.0$$

一般にはこれらの条件を満足する地震が複数存在する場合があります。その場合は、発生時刻がより新しい地震と紐付けを行う。

紐付けの結果は、上述のメール送信待ち情報（記録 ID、最大加速度、計測震度相当値、PSI 値）に書き加えられる。

メール送信機能は、指定時間（現時点での設定は 450 秒）の待機後、メールの文章を作成し、実際にメールを送信する。送信されるメールの内容については第 5 章で説明する。なお、複数の観測情報がメール送信待ちとなっている場合、現状のシステムでは、それらをまとめて一つのメールとして送信する。その際、現状のシステムでは、先頭の観測情報に紐付けられた地震情報がメールの文章の作成に利用される。

複数の記録が相次いで到着した場合、複数の「記録処理機能」が立ち上がる。しかし、その場合でも、「地震情報取得機能」と「メール送信機能」は複数は立ち上がらない。

5. 利用者が受信できる情報

地震動情報即時伝達システムは、取得された記録から最大加速度、計測震度相当値、PSI 値等の値を読みとり、それらの値をあらかじめ登録しておいたメールアドレスに送信する機能を有している。本章では、メール配信サービスの利用者が受信できる情報について説明する。

港湾における地震動情報の伝達にあたっては、利用者が受信した情報を被害の概略的な推定に活用できることが重要である。そこで、メールの配信にあたっては、港湾構造物の被害程度と相関の良い地震動指標である PSI 値を含めるなどの工夫を行っている。また、送信された情報についての理解を助けるための補足的な情報をメールの中に含めている。これらについても以下に説明する。

図-8～図-11 に利用者が実際に受信できる情報の例を示す。ここでは、2013年2月25日16時23分頃に栃木県北部で発生した M6.2 の地震による小名浜港での記録の例を示している。以下、この例に則して説明する。

5.1 地震情報

まず、メール(図-8)の先頭には

「2013年2月25日16時23分頃地震がありました。震源地は栃木県北部(北緯 36.900 度、東経 139.400 度)で震源の深さは約 10km、地震の規模(マグニチュード)は 6.2 と推定されています」

と記載されている。このように、記録と地震情報との紐付けがなされた場合は、気象庁の地震情報をもとに、発生時刻、震源の東経、北緯、深さ、マグニチュードに関する情報が提示される。なお、記録と震源情報との紐付けがなされなかった場合は、この部分の記述は

「2013年2月25日16時23分頃地震がありました。震源情報は取得中です」
となる。

5.2 PSI 値と計測震度相当値

図-8 の例では、地震情報につづいて、小名浜港の地中観測点(小名浜事-OB)と地表観測点(小名浜事-O)における PSI 値、計測震度相当値、最大加速度が記載されている。

このうち PSI 値は、速度波形の二乗積分値の平方根として定義される量で、港湾構造物の被害程度と良い相関を示すことが確認されている⁴⁾。

図-12 は文献 4)の解析結果のうち重要なものを再掲したものである。文献 4)では、有限要素法プログラム FLIP⁵⁾を用いて、種々の地震波に対するモデル岸壁(前面水深-14m、設計震度 0.15)の水平変位を計算している。解析には我が

国や米国・台湾などの当時の主要な強震記録から 31 波を選択して用いている。そして、得られた水平変位と、入力した地震波の地震動指標との相関を調べたところ、背後地盤および基礎地盤で過剰間隙水圧の発生を許すケース(図-12 の With Liquefaction)と許さないケース(図-12 の Without Liquefaction)のいずれにおいても、水平変位と最大加速度の相関係数は 0.3 程度と低かった。一方、水平変位と PSI 値との相関係数はいずれのケースにおいても 0.9 程度と比較的高かった。

この結果から、もしも本システムが配信するメールにおいて最大加速度の値のみが提示され、それに基づいて港湾構造物の被害程度の推定が行われたならば、その推定結果はミスリーディングなものとなる恐れがある。そこで本システムが配信するメールでは、他の地震動指標と併せて、被害との相関がよいと考えられる PSI 値を示している。

また、以上の事情について利用者の理解を促すため、メールの中に以下の注釈を加えている(図-8)。

「PSI 値は速度波形の二乗積分値の平方根として定義される量で、湾構造物の被害程度と良い相関を示します」

「最大加速度は港湾施設の被害の大小と結びつかない場合が多いので御注意下さい」

さらに、新たに観測された地震動の PSI 値が送信されるだけでは、その地震動が港湾構造物にどの程度の被害をもたらし得るものか、利用者が理解しづらいと考えられる。そこで、過去に港湾構造物に大きな被害をもたらした地震として知られている 1983 年日本海中部地震と 1995 年兵庫県南部地震の際に港湾で観測された地震動の PSI 値を必ず併記し、新たに得られた地震動がどの程度の被害をもたらし得るものか、利用者がイメージしやすいように配慮している。具体的にはメールの中に次のような記載を行っている(図-8)。

「参考までに、1995 年兵庫県南部地震の際、神戸港工事事務所では $PSI=99\text{cm/s}^{0.5}$ 、1983 年日本海中部地震の際、秋田港工事事務所では $PSI=61\text{cm/s}^{0.5}$ です」

さて、メール配信される情報には最大加速度と PSI 値以外に計測震度相当値がある。計測震度相当値は、気象庁の発表する震度のもとになる計測震度³⁾と同一の計算式で計算を行っており、また、一般に港湾地域強震観測で使用されている強震計は十分なスペックを有しているため、メール配信される計測震度相当値は気象庁の計測震度と(場所が違うことを除けば)同等のものと考えて良い。従って計

※本メールは港湾地域強震観測網から(独)港湾空港技術研究所経由で自動配信されています。

2013年2月25日 16時23分頃地震がありました。

震源地は栃木県北部(北緯36.900度、東経139.400度)で震源の深さは約10km、地震の規模(マグニチュード)は6.2と推定されています。

小名浜事-OB

PSI値: 1.7 cm/s^{0.5}
計測震度相当値: 1.3
最大加速度: 2 Gal

小名浜事-O

PSI値: 1.6 cm/s^{0.5}
計測震度相当値: 1.6
最大加速度: 5 Gal

注:PSI値は速度波形の二乗積分値の平方根として定義される量で、港湾構造物の被害程度と良い相関を示します。参考までに1995年兵庫県南部地震の際、神戸港工事事務所ではPSI=99cm/s^{0.5}、1983年日本海中部地震の際、秋田港工事事務所ではPSI=61cm/s^{0.5}です。

注:計測震度相当値を公表される際には「計測震度相当値」という名称で公表して下さい。

注:最大加速度は港湾施設の被害の大小と結びつかない場合が多いので御注意下さい。

詳細は以下のページを参照して下さい。

小名浜事-OB http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=6243

小名浜事-O http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=6244

選択すると個別地点での情報が表示される

過去の地震動記録については以下のリンク先をご覧ください。

<http://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm>

本メールに関するお問い合わせは、以下までお願い致します。

(独)港湾空港技術研究所 地震防災領域 地震動研究チーム 野津 厚

E-mail : nozu@pari.go.jp

図-8 利用者が受信できる情報の例 (メールの文面)

記録表示

小名浜事-OB

PSI値: 1.7 cm/s^{0.5}
計測震度相当値: 1.3
最大加速度: 2 Gal

表示選択画面

[波形 \(GL-11mN-S\)](#)
[波形 \(GL-11mE-W\)](#)
[波形 \(GL-11mU-D\)](#)
[フーリエスペクトル \(GL-11mN-S\)](#)
[フーリエスペクトル \(GL-11mE-W\)](#)

選択すると各種図が表示される

注:PSI値は速度波形の二乗積分値の平方根として定義される量で、港湾構造物の被害程度と良い相関を示します。

参考までに1995年兵庫県南部地震の際、神戸港工事事務所ではPSI=99cm/s^{0.5}、1983年日本海中部地震の際、秋田港工事事務所ではPSI=61cm/s^{0.5}です。

注:計測震度相当値を公表される際には「計測震度相当値」という名称で公表して下さい。

注:最大加速度は港湾施設の被害の大小と結びつかない場合が多いので御注意下さい。

図-9 利用者が受信できる情報の例 (個別地点の情報)

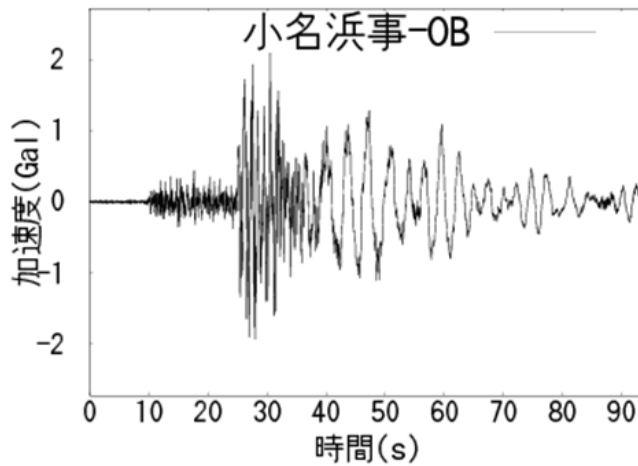
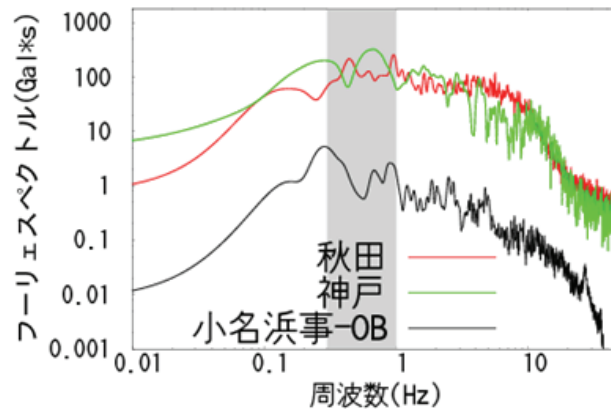


図-10 利用者が受信できる情報の例（加速度波形）

フーリエスペクトル

小名浜事-OB
フーリエスペクトル (GL-11mN-S)



注1: グレーの網掛け部分は、一般的な港湾建造物に対して特に影響が大きい周波数帯域(0.3-1Hz)を示しています。
注2: 凡例で表示されている「秋田」「神戸」の記録は、正確には以下のものです。

- 秋田: 1983年日本海中部地震の秋田港工事事務所
- 神戸: 1995年兵庫県南部地震の神戸港工事事務所

戻る

図-11 利用者が受信できる情報の例（フーリエスペクトル）

測震度相当値を四捨五入すれば気象庁の震度に相当するものとなる（四捨五入にあたり 4.5～4.9 は 5 弱, 5.0～5.4 は 5 強, 5.5～5.9 は 6 弱, 6.0～6.5 は 6 強とする）。しかしながら、公式には、気象庁の検定を受けた地震計で計測を行っていない場合は「震度」の表現を用いないこととなって

いるため、公表する場合は「計測震度相当値」と表現する必要がある。このことについてもメールの中で注釈を加えている（図-8）。

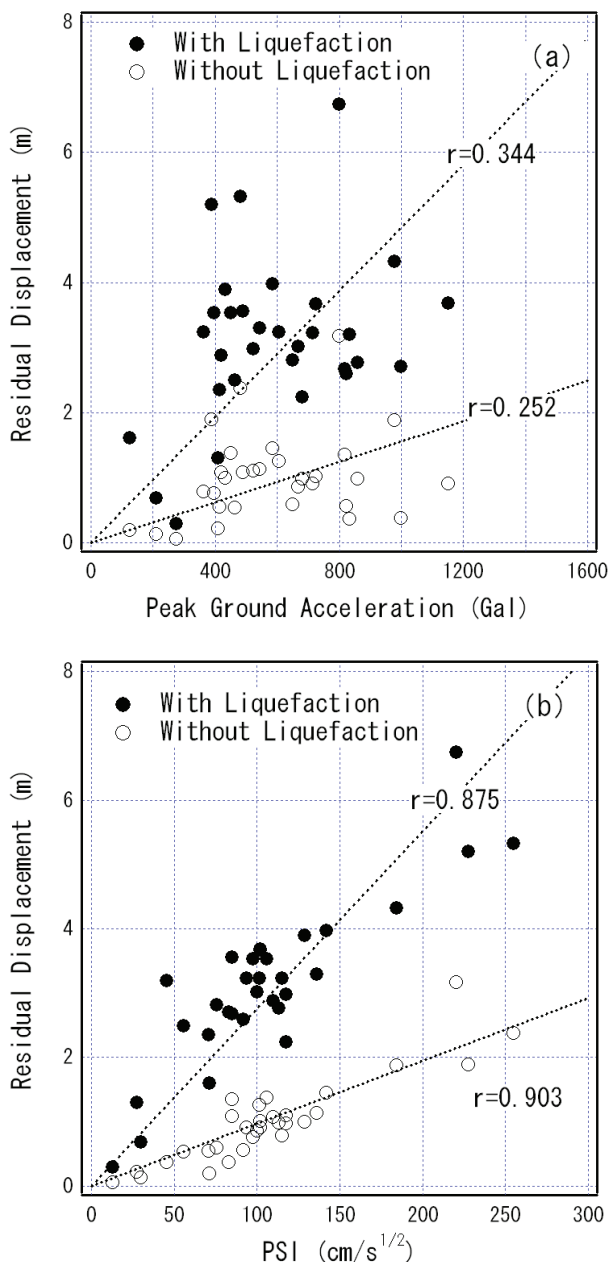


図-12 岸壁の地震時水平変位と入力地震動の最大加速度 (a) および PSI 値 (b) との関係 (FLIP による解析結果)⁴⁾。縦軸：岸壁の地震時水平変位。横軸：(a) 最大加速度，(b) PSI 値。

5.3 波形とフーリエスペクトル

図-8 に示したメールの文面では赤枠の箇所に URL アドレスが記載されており、これをクリックすると個別地点の情報が表示される (図-9)。さらに、図-9 の赤枠の箇所において、「波形」または「フーリエスペクトル」をクリックすると、加速度波形 (図-10) またはフーリエスペクトル (図-11) がそれぞれ表示される。

フーリエスペクトルは、地震動による港湾構造物の被災

程度を推定する上で有用な情報であるが、新たに観測された地震動のフーリエスペクトルが提示されるだけでは、その地震動が港湾構造物にどの程度の被害をもたらす得るものか、利用者が理解しづらいと考えられる。そこで、過去に港湾構造物に大きな被害をもたらした地震として知られている 1983 年日本海中部地震と 1995 年兵庫県南部地震の際に港湾で観測された地震動のフーリエスペクトルをプロットし、新たに得られた地震動のフーリエスペクトルを重ね書きすることにより、新たに得られた地震動がどの程度の被害をもたらす得るものか、利用者がイメージしやすいように配慮している (図-11)。その際、地震動に含まれる種々の周波数成分は、港湾構造物に対して同じように影響を及ぼすものではないため、一般的な港湾建造物に対して特に影響が大きいと考えられる周波数帯域 (0.3-1Hz) をグレーの網掛けで示している。これにより、メール配信サービスの利用者は、この帯域でのフーリエスペクトルの大小をもとに、港湾構造物の被害の大小を推定することができるものと考えられる。

6. その他の機能

本章では地震動情報即時伝達システムが有するその他の機能について説明する。

6.1 通信状況確認機能

強震計の種類 (シリアル接続, LAN 接続) に関わらず、小型 PC (図-2) 上で稼働するアプリケーションは、強震計に対して指定した間隔 (現時点の設定では原則 300 秒) ごとに接続を行っている。接続に成功した場合、その情報はルータ (図-2) を介して当所の情報収集・処理サーバ (図-2) へ送られる。従って、小型 PC と強震計との間の通信が正常であれば、その情報が定期的に当所サーバにアップされることになる。

逆に、小型 PC と強震計との間の通信に不具合がある場合、または、小型 PC から当所サーバまでの通信経路のいずれかの区間に不具合がある場合 (小型 PC やルータそのものの不具合を含む) は、「正常」の情報が長時間にわたってサーバに送られないことになる。

従って、「正常」の情報がサーバに最後に送られてきた時刻をモニタリングすることで、強震計、小型 PC、ルータ等の不具合の早期発見の一助とすることができる。

ただし、この機能によって発見できる強震計の不具合は、強震計に生じる不具合のごく一部にすぎないという点に注意する必要がある。

6.2 遠隔操作機能

地震動情報即時伝達システムの開発以前には、強震計の管理は、当所の PC から電話回線を通じて強震計に直接コマンドを送ることにより行われていた。地震動情報即時伝達システムの導入以降も、外部から強震計に直接コマンドを送る機能を残す必要があった。そこで、地震動情報即時伝達システムでは、図-2 に示すように、当所の PC から強震計に直接アクセスしてコマンドを送る機能を保持することとした。

LAN 接続の強震計に対しては、通常の TCP/IP の機能により、当所の PC からルータにアクセスし、次いで強震計にアクセスすることで、強震計にコマンドを送ることができるため、特段のソフトウェア開発は行っていない。

シリアル接続の強震計に対しては新たに「遠隔操作機能」の開発を行った。この「遠隔操作機能」が当所 PC からの接続要求を受け付けた場合、小型 PC は遠隔モードに入り、当所 PC と強震計との間で直接データのやりとりが行われ、間に介在する小型 PC はそのやりとりに影響を与えないようにソフトウェアが設計されている。

6.3 ルータ再起動機能

地震動情報即時伝達システムの運用の中では、何らかの原因によりルータ（図-2）がダウンし、通信に不具合の生じる事例がいくつかの港湾で見られた。一旦この不具合が発生すると、外部からルータおよび小型 PC にアクセスすることはできなくなるため、対処方法としては現地事務所にルータの再起動を御願するしか無く、現地事務所への負担が生じていた。

そこで、小型 PC（図-2）上のアプリケーションの機能により定期的にルータを再起動するように改良を行った。この改良によりルータのダウンによる障害は大幅に軽減された。

7. まとめと今後の課題

本稿では、港湾地域強震観測のデータをより迅速に回収し、地方整備局等への地震動情報の提供をより迅速に行うために新たに開発したシステム（地震動情報即時伝達システム）の紹介を行った。開発したシステムは、現地の強震観測小屋に設置された周辺機器（小型 PC、ルータ等）と、小型 PC 上で稼働するソフトウェア、および、当所に設置されたサーバ上で稼働するソフトウェアからなる。強震計が地震を検知すると、小型 PC 上のソフトウェアが強震計から波形データを吸い上げ、当所サーバに転送する。当所サーバでは、受信した記録から最大加速度、計測震度相当

値、PSI 値等の値を読みとり、メールで配信する。メールの文面の作成にあたっては、利用者が受信した情報を活用しやすくなるよう、細心の注意を払っている。

従来用いられてきたデータ回収方法であるダイアルアップ方式と比較すると、当所の職員が出勤していない夜間等であっても、地方整備局等へ地震動情報を迅速に届けられるメリットがある。また、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえ、津波を伴うような大地震の発生が予想される地域においては、地震動の終了から津波の到達までの短い時間に記録の回収を行うことが重要な課題であるが、今回開発したシステムでは、システムの各要素が期待通りに機能すれば、地震後おおむね 10 分程度の間に強震計の波形ファイルのコピーが当所サーバ内に作成されることになるため、記録の回収がより確実になると期待できる。

本システムは、港湾地域強震観測で使用されている既存の強震計のうち、通信機能を有するもの全てに対応しており、また、現地の強震観測小屋に周辺機器を設置しソフトウェアをインストールするだけで比較的簡単に導入できることもあり、2011 年の最初の導入以降着実に普及しており、2014 年末の時点では 136 地点中 80 地点に導入されている。

ただし、本システムに関しては、残された課題も数多く存在している。ここではそれらの代表的なものについて述べる。

第一に、本システムを適切に運用していくためには、通信状態を常に良好に保つことなどが必要であり、当所と地方整備局との間において、従来よりも一層緊密な連携が必要となってきている。この面での努力は従来以上に必要である。

第二に、本システムは、システムの構成要素が全て期待通りに機能した場合にはたいへん有効な情報伝達手段であるが、実際に大地震が発生した場合の本システムの各要素およびシステム全体としての挙動は未検証である。大地震発生時に生起しうる事象とそれへの対応を今後も継続的に検討していく必要がある。例えば次のような点の検証が現状では不十分であると考えられる。①大地震発生時の通信条件の下でどの程度記録の回収ができるか。②本震発生後、余震が断続的に発生するような場合に、小型 PC が強震計の記録を回収できない恐れはないか。③当所の情報収集・処理サーバ自体が被災した場合の対応はどうあるべきか。

第三に、強震観測は息の長い作業であり、ある場所に強震計を設置してから 15 年～20 年経ってようやく大地震の記録が得られるという場合も少なくない。それに対して、通信関連技術の変化は早い。このギャップが様々な問題を生んでいる。例えば、データ通信端末や小型 PC など、本システム開発時に利用していたハードウェアが次々と製造

中止になり、新しいものへと移行している。従って、新たなハードウェア上での動作確認や、場合によってはソフトの改修などを、常に繰り返すことが必要になっている。通信サービスの変化（mova→FOMA→Xi）についても同様である。よって、長期間継続利用できるようなハードウェア、通信サービスを選択していくことが重要である。

以上のような課題の解決に今後も継続的に取り組んでいく必要がある。

(2015年5月1日受付)

謝辞

地震動情報即時伝達システムの開発と導入にあたっては国土交通省港湾局および各地方整備局からの多大なる御支援をいただきました。(株)かなめ技術開発の浅原裕さん、松本英明さんには本システムに係る具体的なソフトウェア開発を担当していただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 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) 気象庁監修：震度を知る－基礎知識とその活用－，ぎょうせい，1996年。
- 4) 野津厚・井合 進：岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察，第28回関東支部技術研究発表会講演概要集，土木学会関東支部，2001年，pp.18-19。
- 5) 井合 進・松永康男・亀岡知弘：ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル，港湾技術研究所報告，Vol.29，No.4，1990年，pp.27-56。

港湾空港技術研究所資料 No.1310

2015.9

編集兼発行人 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所

発行所 国立研究開発法人 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 © (2015) 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