

大大特：紀伊半島における自然地震観測 ～観測システムとデータ処理の概要～

西村和浩・中尾節郎・辰己賢一・三浦勉・平野憲雄・山崎友也
富阪和秀・福嶋麻沙代・吉田義則・細善信・松浦秀起
澁谷拓郎・伊藤 潔・大見士朗・廣瀬一聖・森下可奈子

要 旨

2002(平成14)年度から文部科学省の「新世紀重点研究創生プラン～RR2000～」の防災分野における都市再生プログラムとして「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」(大大特)が開始された。このプロジェクトのもとで京都大学防災研究所では近畿圏における地下構造調査を実施している。自然地震観測によって、地下構造の調査を行い、制御震源による構造調査と相補的に構造の精査を行い、強震動予測の高度化を図ろうとするものである。2004年度までに紀伊半島において、13点の単独高感度観測点を設置し良好な記録を得ている、また、周辺の高感度観測点を含めてデータの収録処理を開始した。

キーワード: 大大特, 自然地震観測, 地下構造調査, 強震動予測, フィリピン海プレート

1. はじめに

大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)において実施されている地下構造調査の目的は、大都市圏に大きな被害をもたらすと予想される大地震の強震動予測を高度化するため、震源断層の深部構造と地震波の伝播経路の構造を推定することである。京都大学防災研究所が担当する近畿圏での地下構造調査では和歌山県新宮市から京都府舞鶴市まで南南東-北北西に近畿圏を縦断する測線における制御震源(伊藤ら, 2005)と自然地震観測による構造調査が実施されている。これらの調査の主眼は発生が30～50年以内に迫ってきたと考えられている東南海・南海地震とその地震波の大阪方面への伝播経路にあたる紀伊半島の地下構造、および近畿圏北部に数多く存在する活断層の深部、震源断層の形状を調査することにある。

この調査では、制御震源による構造調査では明らかにできない地殻深部の地震波速度構造やフィリピン海プレートと近畿地方を形成するプレートとの境界近傍の構造を明らかにするために、自然地震観測による構造調査も同時に実施されている。本報告では、臨時自然地震観測点の観測システムおよびデー

タ処理などの概要について述べる。

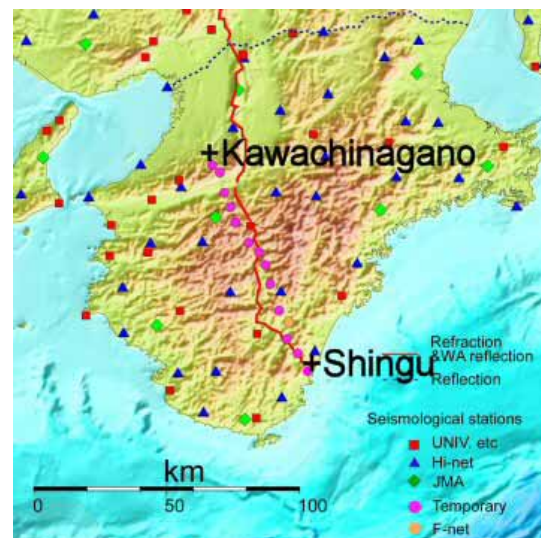


Fig.1 Observation stations

2. 地震観測点

2.1 臨時観測点の配置

本自然地震観測では、紀伊半島下に沈み込むフィリピン海プレートを高解像度でイメージングするために、Fig.1 に示すように制御震源による構造調査の



(a) on outcrop



(b) on bank of a dam



(c) on concrete floor

Photo.1 Examples of observation sites

測線沿いに新たに臨時観測点を設置した。この臨時観測点(Fig.1 の●)は、紀伊半島の和歌山県新宮市と大阪府河内長野市を結ぶ測線上に設置され、それぞれ河内長野側から SK01～SK13 と名付けられた。各観測点での地震計のパラメータを Table 1 にまとめて示す。ただし緯度、経度は世界測地系である。また、

測線付近の、防災科学技術研究所の Hi-net (Fig.1 の▲)、気象庁(Fig.1 の○)および東京大学地震研究所(Fig.1 の■)による定常観測点のデータも併せて利用できるように配置した。臨時観測点は、電源、通信線の制約を受けず、観測条件の良い場所を選べるようにネットワーク接続のないオフライン観測とした。オフライン観測の長所として、AC 電源が要らないため、観測に適した場所である静かな場所、しっかりした岩盤上に設置することができ、地震の波形が精度よく観測されること、移動がしやすく機動性に富むことがあげられる。短所としては、定期的にデータ回収に回らなければならないこと、システム異常による欠測にすばやく対応できないことである。後者の欠点は、1～2 ヶ月間安定に動作するシステムを構築することによって克服できる。

2.2 設置場所の選定

地震計の設置場所の選定には、地面の雑微動を出来るだけ小さくするため、地面が硬いこと(大きな岩盤・大きな堰堤など)、周りに大きな町が無いこと(人工的なノイズが少ない)、周りに高圧線が無いこと(電磁誘導によるノイズが少ない)、海から遠い距離にあること(波浪のノイズが少ない)などの地理的要因が重要である。

トンネルやボアホールに設置できれば、これらのノイズは軽減できるが、一般的に困難である。したがって、地震計は、主に Photo.1-(a)のような大きな岩盤を探してその上に設置した。適当な岩盤が見つからない場所では、Photo.1-(b)のような大きな岩盤に張り付いた堰堤上、または Photo.1-(c)のようなコンクリート床上に設置した。なお、堰堤上に設置するときには水が地面をたたくノイズが少ない、つまり流量が出来る限り少ない堰堤を選択した。コンクリート床上では、周りのノイズが少ないことを確認した上で地震計を設置した。

3. 観測システム

3.1 観測機材

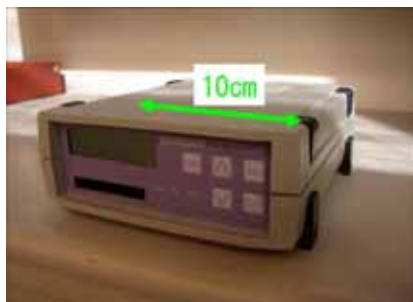
各観測点に置かれている観測システムは、地震計(Sercel社製L4C-3D、固有周期1s、3成分、Photo.2a)、データロガ(白山工業社製LT7000XT、Photo.2b)、ソーラーパネル(昭和ソーラエネジー社製GT234、Photo.2c)、バッテリー(Photo.2d)などからなり、Fig.2のように接続されコンテナに入れて、各観測点に設置されている。Photo.3に一例として観測点SK05における設置状態を示す。

Table.1 List of station parameters

Code	Latitude	Longitude	Height m	Component	Natural frequency Hz	Effective sensitivity V/(m/s)	Damping constant
SK01	34°23'59.77"	135°34'33.31"	300	UD	0.98	184.2	0.700
				NS	0.98	188.3	0.699
				EW	1.00	177.6	0.702
SK02	34°22'33.66"	135°36'27.62"	380	UD	1.00	174.5	0.703
				NS	0.97	190.0	0.702
				EW	1.01	178.3	0.702
SK03	34°18'24.03"	135°37'31.75"	250	UD	1.00	184.2	0.699
				NS	0.97	171.0	0.701
				EW	0.99	183.6	0.698
SK04	34°15'27.32"	135°38'59.44"	300	UD	0.99	168.0	0.692
				NS	0.98	175.4	0.706
				EW	1.01	181.7	0.696
SK05	34°12'22.22"	135°40'20.59"	695	UD	1.00	181.8	0.697
				NS	1.00	184.2	0.698
				EW	0.99	182.6	0.705
SK06	34°08'13.82"	135°43'30.40"	400	UD	0.99	183.1	0.699
				NS	0.97	192.2	0.703
				EW	0.99	178.5	0.701
SK07	34°06'18.04"	135°46'02.29"	360	UD	0.96	188.1	0.699
				NS	0.97	189.0	0.700
				EW	0.99	185.4	0.701
SK08	34°03'39.71"	135°47'41.99"	250	UD	1.00	180.6	0.701
				NS	0.98	174.5	0.700
				EW	1.00	180.3	0.700
SK09	33°59'43.07"	135°48'51.30"	450	UD	0.97	188.1	0.697
				NS	1.01	180.2	0.699
				EW	1.01	166.7	0.704
SK10	33°54'20.56"	135°51'01.19"	330	UD	0.98	187.7	0.703
				NS	0.96	188.6	0.700
				EW	0.98	181.6	0.700
SK11	33°48'32.21"	135°52'56.67"	107	UD	0.98	188.6	0.704
				NS	1.00	181.0	0.700
				EW	1.00	173.9	0.700
SK12	33°45'34.25"	135°55'37.06"	80	UD	0.98	167.5	0.702
				NS	0.96	188.6	0.700
				EW	1.00	170.4	0.703
SK13	33°41'48.35"	135°58'42.40"	100	UD	0.97	185.5	0.701
				NS	1.00	184.8	0.697
				EW	1.00	181.8	0.703



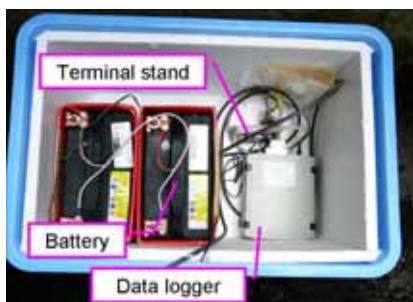
(a) Seismometer



(b) Data logger



(c) solar panel



(d) assemblage in a container



(e) compact flasah card

Photo.2 Equipments of observation system

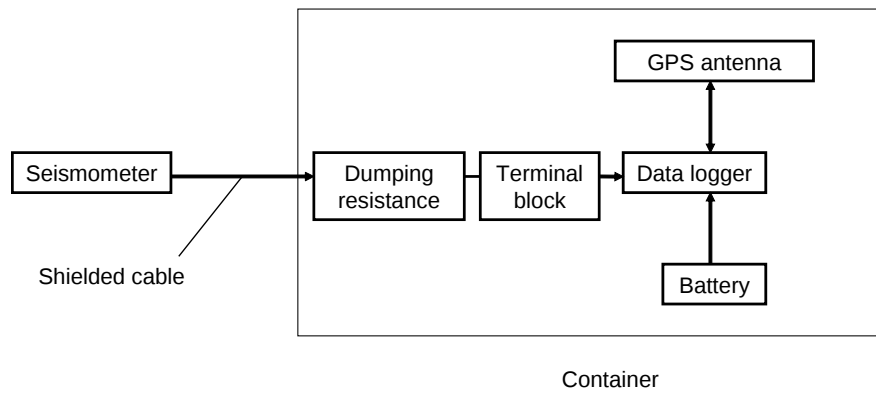


Photo.3 A total set of our seismic observation system

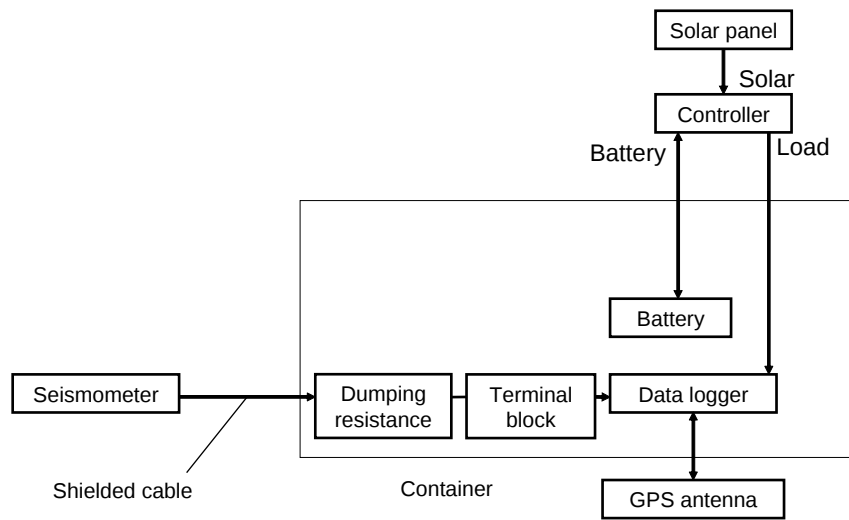
ソーラーパネルとバッテリーからの電力をコントローラーにより制御しデータログに供給する。地震計からの信号は、シャント抵抗(減衰抵抗)を経てデータログに送られ CF カード(2GB, Photo.2e)に連続記録される。データログ(LS7000XT)は 100Hz サンプリングで用いているが、GPS 受信装置を内蔵し 1ms の精度で他の機器との時刻同期がとれるようになっている。データ回収は 1 ヶ月に 1 回 CF カードを交換することにより行っている。バッテリーは 12V36AH のもの 2~3 個を用い、ソーラパネル(26W)を併用しているが、バッテリーの電力消費の大きいものはカード交換の際に同時に取り替えている。

3.2 観測機材の接続方法

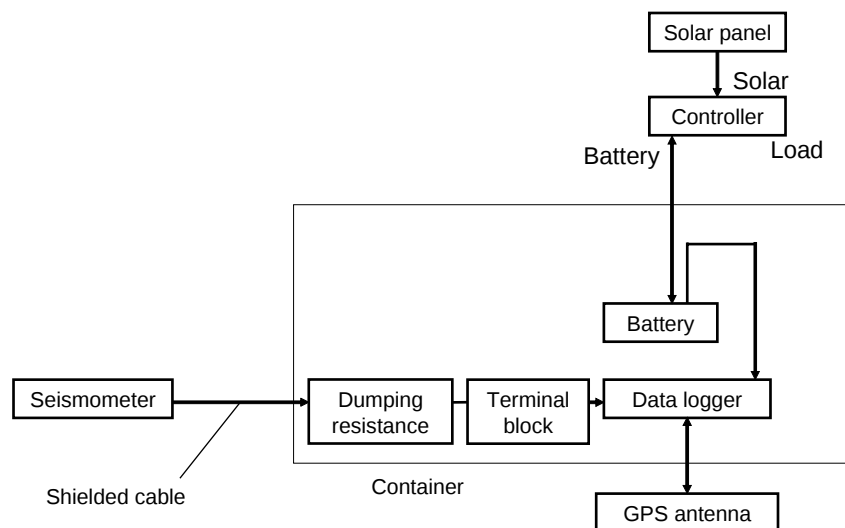
観測場所の条件によってFig.2に示す3通りの接続方法を用いているが、これらは電力の供給方法の違いによる。Fig.2a においてはデータログへの電力供給はバッテリーのみであり、2~3個のバッテリーを並列接続している。Fig.2b ではソーラーパネルとバッテリーからの電力をコントローラーにより制御し、データログに供給する。コントローラーにはSOLAR, BATTERY, LOADの3つの端子があり、それぞれソーラーパネル、バッテリー、データログをつないでいる。基本的に日中はソーラーパネルからバッテリーとデータログに電力を供給し、バッテリーを充電しながらデータログを駆動する。夜間や天候が悪く日光の少ない時などは、ソーラーパネルを切断しバッテリーからデータログに電力供給がなされる仕組みとなっている。Fig.2c ではソーラーパネルからの電力をコントローラーが制御し、並列接続されたバッテリーとデータログに電力供給される。この場合コントローラーは、ソーラーパネルにおける起電圧が高い時にバッテリーとデータログに過電流が流れることを防止することと、ソーラーパネルの起電圧が低下した際にバッテリーからソーラーパネルに電流が逆流することを防ぐ役割を果たしている。



(a) connection 1 with batteries only



(b) connection 2 with batteries and solar panels



(c) connection 3 with batteries and solar panels

Fig.2 Schematic diagram showing the connection of observation system.

3.3. バッテリーの接続方法

観測を開始した当初はFig.2a の接続方法を用いた。1ヶ月に1回バッテリーの交換を行った。暖かいころはバッテリーの温度特性がよいほうに働き、バッテリーは2個で1ヶ月間(バッテリー1個だと20日間)はデータロガの駆動ができたが、晩秋以降の寒い季節はバッテリー2個で1ヶ月間はデータロガの駆動ができず、3個を並列接続して用いた。しかしながら、毎回3個のバッテリー交換を行うことになると、データ回収の際に全体で3個×12ヶ所の計36個のバッテリーが必要になる。バッテリー交換の作業効率を上げるために各観測点でのバッテリーの数を減らす必要があった。そこでソーラーパネルから電力供給しバッテリーの数を減らすためにFig.2b のようなシステムに変更した。日照度が高くソーラーパネルが十分な役割を果たしている臨時観測点ではバッテリー1個をほとんど交換することなく使用することで、システムが十分に稼働している。

しかしながら、観測点は山中にあることが多く日照条件が悪い場所が多いので、大抵の場所ではバッテリーを2個用いている。更に日照条件の悪い観測点では、バッテリーを3個用いてもデータロガが停止している場所があった。これは、バッテリーが11.5V以下になるとバッテリーの保護のためにコントローラーがデータロガへの電力供給を遮断し、バッテリーのみに電力供給をするためである。そこでバッテリーがデータロガの作動しなくなる電圧(7V)までデータロガへ電力供給するようにするため、Fig.2bの接続方法より長い間データロガに電力供給できるFig.2c の接続方法を用いた。この接続方法によりかなりの観測点において、2個以内のバッテリーでデータロガを長時間停止せずに観測できるようになった。

4. データ処理

臨時観測点より回収した連続波形データは、気象庁の地震リストから作成したトリガーリストを用いて、観測点ごとに地震部分の波形データを切り出した。これらの波形データを、定常観測点でトリガー記録された同時刻の地震波形データと結合して統合データセットを作成した(マージ作業)。また、遠地地震については、気象庁の地震リストにある M5 以上の日本付近の地震、米国地質調査所(USGS)の地震リストにある M6 以上の遠地地震について、同様の切り出しを行った、これらの地震については定常観測網のデータについても切り出しを行い、統合データセットを作成した。

最終的にデータセットは下記のような地震について作成した。すなわち、気象庁の地震リストにある近畿圏の地震、気象庁の地震リストにある M5 以上の日本付近の地震、米国地質調査所(USGS)の地震リストにある M6 以上の遠地地震より作成している。こうして得られた統合データセットに対して、WIN システム(卜部・東田, 1992)を用いた地震波形の読み取りや震源決定等の処理を行うことができる。

次に実際のマージ作業の流れについて述べる。臨時観測点でのデータは連続した波形の1分間のファイルとして回収される。これら1分ファイルは1時間ごとのディレクトリに保存され、更にそのディレクトリは1日ごとのディレクトリに保存されるという階層構造になっている。この1分ファイルをすべて1か月ごとのディレクトリに格納する。この1分ファイル群より地震の起こっている範囲の波形を切り出す。切り出しには WIN システムの events コマンドを用い、地震発生時間のリストであるトリガーリストファイルに従い波形の切り出しを行う。トリガーリストには、切り出しのはじめの時刻と切り出す

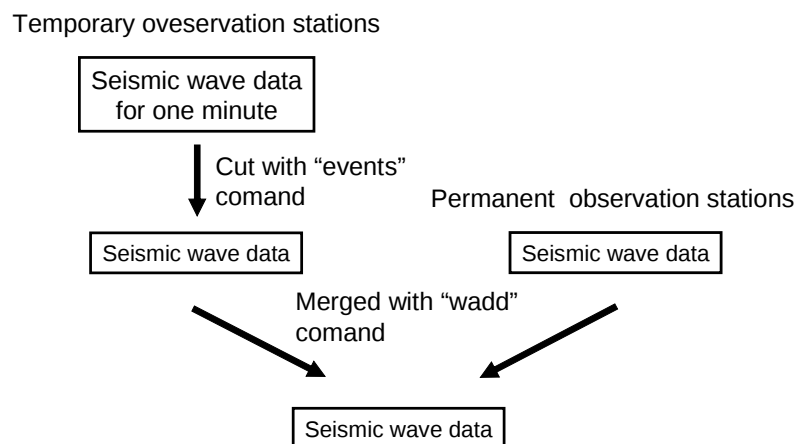


Fig.3 Flow of merging process

切り出された臨時観測点の波形データと定常観測点の波形データは wadd コマンドにより結合される。結合されたファイルの波形を WIN システムで表示

これら一連の操作を、段階ごとにシェルスクリプトにしてマージ作業を円滑に行った。この作業で2004年5月1日から2005年1月31日までに14,300個の地震の統合データセットが得られた。マージ作業して得られた地震波形の例を Fig.4a,b に示す。

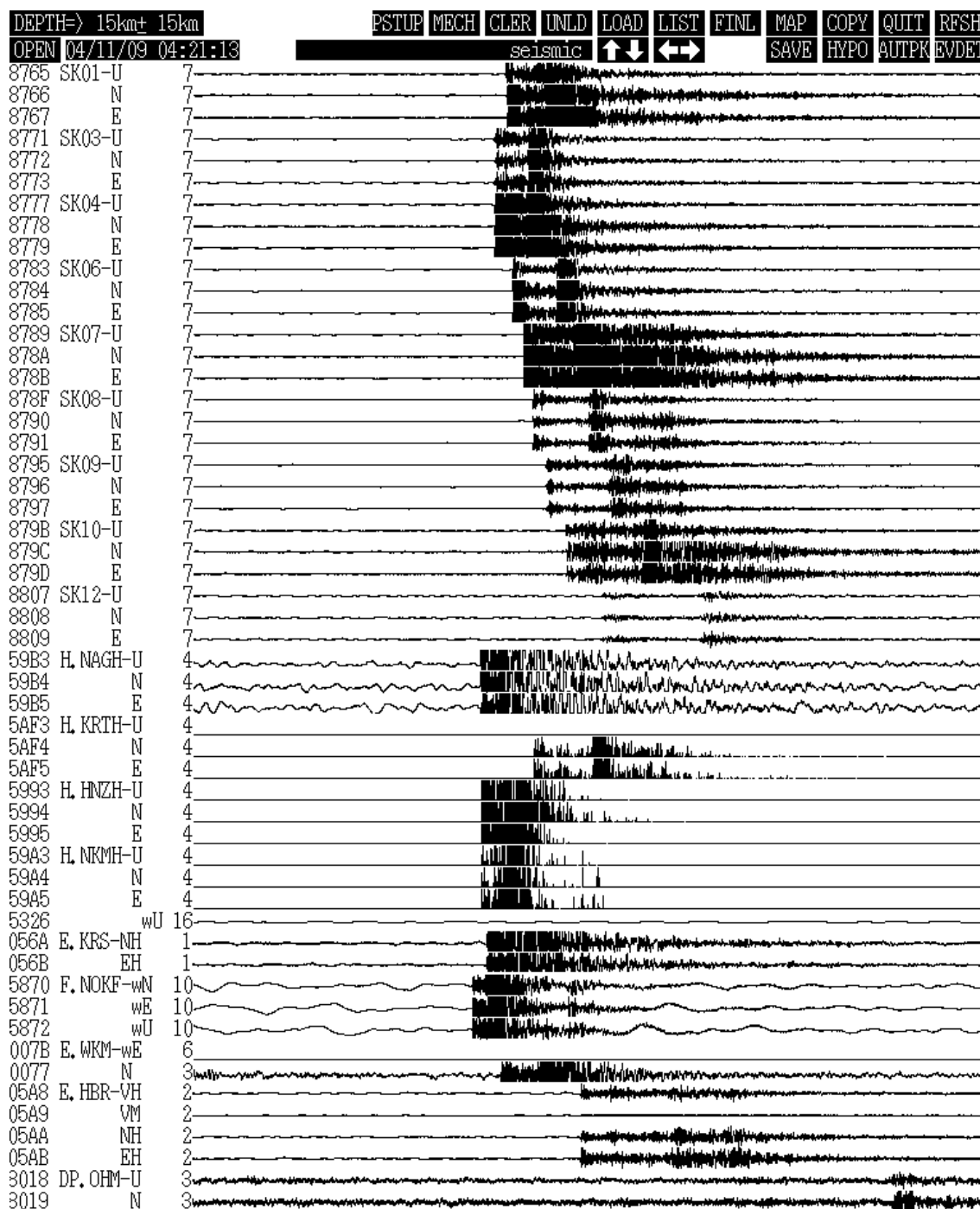


Fig.4a Merged waveforms from an event at northern Wakayama Prefecture (Nov.7, 2004, 04h21m, 34°12'45", 135°26'08", depth 6km, M1.7)

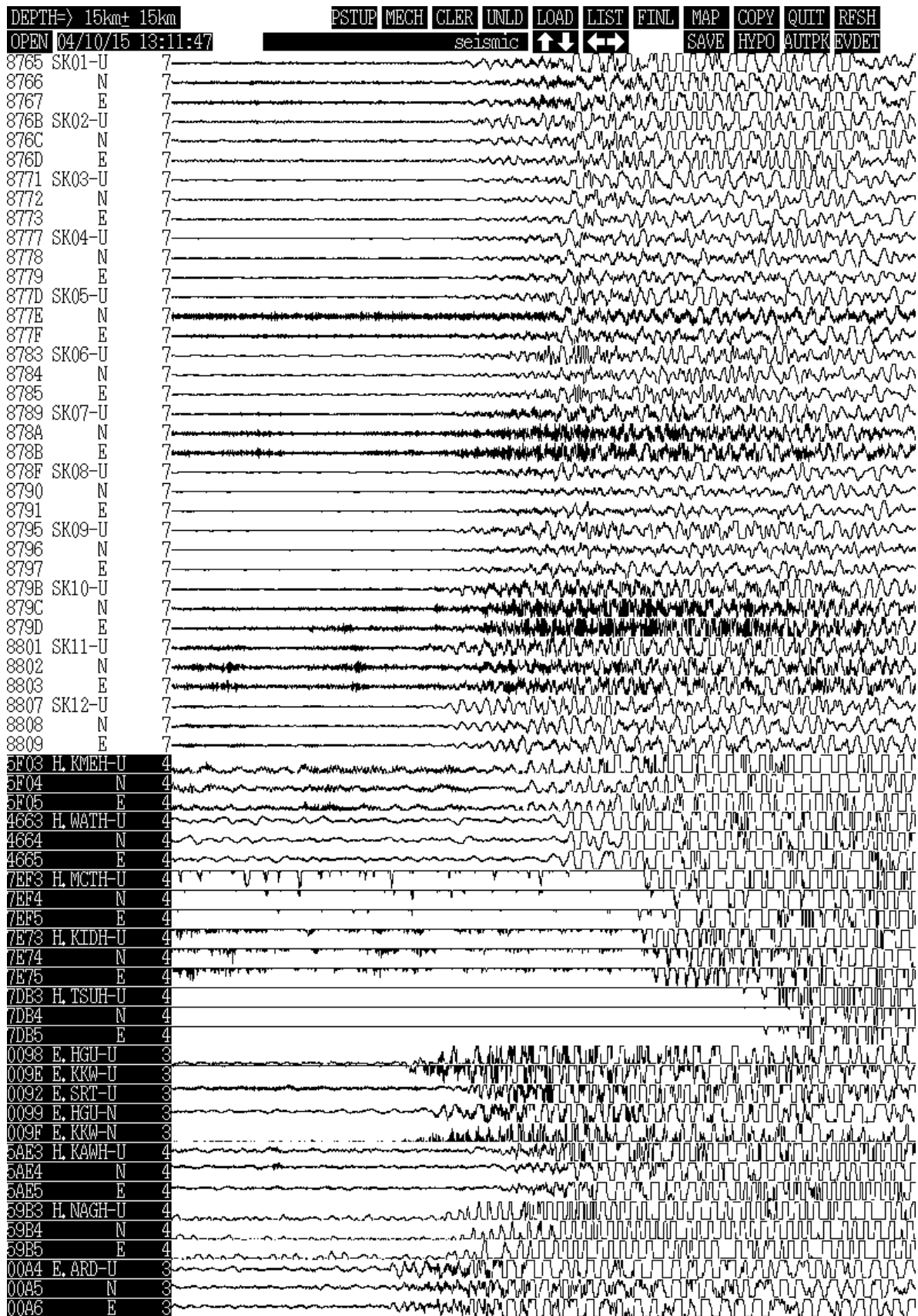


Fig.4b Merged waveforms from an event at Near Yonaguni Island (Oct. 15, 2004, 13h09m, 24°36'N, 122°48'Edepth=90km M6.6)

5. おわりに

計13ヶ所のオフライン臨時自然観測点を設置し、データ回収・保守管理・データ処理を行っている。オフライン個別観測点で観測を実施することにより、雑音レベルの低い、高感度地震観測を実施することが出来る。

ソーラーパネルを導入し置き場所などの工夫をすることにより保守管理の効率化・データの欠測の減少などの成果を得た。

オフライン観測でも連続観測を実施することによって、定常観測点のデータを補い効率よく地震データの収集が出来る。特に構造調査のためには、比較的大きい地震を高密度の点で観測するので、定常観測のトリガーリストを利用することによって、効率的なデータ取得が可能である。

しかし、現観測システムはバッテリーの制限から1ヶ月に1回、観測点の保守に現地に出かけている。2GBのフラッシュメモリーを用いているので、バッテリーの工夫によって、1ヶ月半くらいの連続観測が可能である。今後、メモリーの増加、太陽電池の効率的な運用によって、より長期間安定して稼働する装

置の開発が必要である。さらに、長期間の安定な稼働のために、携帯電話を利用することによって、システムの稼働状態のチェックを行い、トリガー信号をロガーに送ることによって、必要なデータのための転送を行うシステムも有用である。これらの機器の開発も行っている。

謝 辞

本観測において、快く観測システムを設置させていただき、ご協力いただいた地主の皆様、観測点付近の地元住民の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

伊藤 潔・佐藤比呂志・梅田康弘・松村一男・澁谷拓郎・廣瀬一生・上野友岳・森下可奈子・伊藤谷生・平田 直・川中 卓・黒田 徹・阿部 進・須田茂幸・佐藤秀雄・井川 猛(2005): 近畿圏における大大特プロジェクトの地下構造調査, 京都大学防災研究所年報, 第48号B
ト部 卓・束田進也(1992): WIN - 微小地震観測波形験測支援のためのワークステーション・プログラム(強化版), 地震学会講演予稿集, NO. 2, 331

Observation of Earthquakes in Kii Peninsula under Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas

~ Outline of observation system and data processing ~

Kazuhiro NISHIMURA, Setsuro NAKAO, Kenichi TATSUMI, Tsutomu MIURA, Norio HIRANO, Tomoya YAMAZAKI, Kazuhide TOMISAKA, Masayo FUKUSHIMA, Yoshinori YOSHIDA, Yoshinobu HOSO, Hideki MATSUURA, Takuo SHIBUTANI, Kiyoshi ITO, Shiro OHMI, Issei HIROSE, Kanako MORISHITA

Synopsis

Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University has conducted surveys of underground structure in the Kinki district under the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas since 2002. We carried out observations of earthquakes in Kii Peninsula since 2004 deploying 13 offline stations along a control-sourced seismic survey line from Shingu City, Wakayama Prefecture to Kawachinagano City, Osaka Prefecture. At each station we set a three-component short period seismometer and a data logger to which power is supplied by solar panels and batteries. This observation system well worked for obtaining high quality earthquake records with high sensitivity. In this report we describe the observation and the data processing system.

Keywords: Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas, earthquake observation, underground structure survey, estimation of strong motion, Philippine Sea plate