

D会場 | 一般セッション：S02. 地震計測・処理システム

■ 2019年9月16日(月) 16:00 ~ 17:15 | 会場 D会場 時計台国際交流ホール

[S02]PM-3

座長:岩瀬 良一(国立研究開発法人海洋研究開発機構)、大竹 和生(気象庁気象大学校)

16:00 ~ 16:15

[S02-05] WIN ネットワークを用いた映像伝送システムの作成

\*大竹 和生<sup>1</sup> (1. 気象大学校)

---

16:15 ~ 16:30

[S02-06] 微弱な信号を検出するための2点地震観測法の提案

\*堀内 茂木<sup>1</sup>、加藤 愛太郎<sup>2</sup> (1. 株式会社 ホームサイズモメータ、2. 東京大学)

---

16:30 ~ 16:45

[S02-07] 海底の傾斜がエアガンの観測波形による海底加速度計の設置方位及び海底表層地震波速度推定に及ぼす影響について

\*岩瀬 良一<sup>1</sup> (1. 海洋研究開発機構)

---

16:45 ~ 17:00

[S02-08] 被災度判定計を用いた防災ネットワークシステムの徳島県における実証実験 その2  
計測入力データとその利活用について

梶川久光<sup>1</sup>、\*白井 亮太郎<sup>2</sup>、岡田 由佳<sup>3</sup>、小川 春彦<sup>4</sup>、三津橋 歩<sup>4</sup> (1. 明治大学理工学部、2. 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 修士課程、3. ミサワホーム株式会社、4. 株式会社ミサワホーム総合研究所)

---

17:00 ~ 17:15

[S02-09] 被災度判定計を用いた防災ネットワークシステムの徳島県における実証実験 その3  
Sa-Sd曲線に関する検討

梶川久光<sup>1</sup>、\*岡田 由佳<sup>3</sup>、白井 亮太郎<sup>2</sup>、小川 春彦<sup>4</sup>、三津橋 歩<sup>4</sup> (1. 明治大学理工学部、2. 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 修士課程、3. ミサワホーム株式会社、4. 株式会社ミサワホーム総合研究所)

# WIN ネットワークを用いた映像伝送システムの作成

## Video Transmission System using WIN networks

\*大竹 和生<sup>1</sup>

\*Kazuo Ohtake<sup>1</sup>

1. 気象大学校

1. Meteorological college

### 概要

大久保(2018)はWIN パケットに波形ではなく任意のzip ファイルを埋め込んでWIN ネットワークに送信できることを示した。また、大竹(2018)はその応用としてWIN ネットワークを用いたファイル配信システムのプロトタイプを作成した。

本発表では、観測点の監視を念頭に置いた、WIN システムをデータ流通基盤として用いる、安価で実用的な映像伝送システムを作成したことを報告する。

### システムの概要

システムの構築にあたっては、既存のWIN ネットワークを活用できることに加え、安価に構築できること、シンプルな構成であることを目指した。

Web カメラにはドン・キホーテの「スマモッチャー」IP001-WH (4298 円) を利用する。また、WIN フォーマットへの変換はRaspberry Pi 3 Model B+ 上で動作するプログラムを記述した。受信側ではffmpeg を用いて動画ファイルをHLS (HTTP Live Streaming) 形式に変換し、Apache ウェブサーバから配信する。なお、このWeb カメラは本来はクラウドでの利用を想定しているものであり、本システムの用途に合うように <https://github.com/ant-thomas/zsgx1hacks> で公開されているプログラムを導入しておくものとする。

### プログラム

Web カメラからの動画はrtsp 形式で取得できる。WIN 3.0.2 をベースとして、この動画をWIN パケット形式にして共有メモリに書き込むプログラムを作成した。ただし通常の設定ではビットレートが不足するので、4 ビット無圧縮 (サンプルサイズ情報5)、4095Hz サンプリングで複数チャンネルを束ねてデータを送出することにした (リンク集約)。受信側はrecvt の書き込む共有メモリ領域を走査し、ffmpeg コマンドによるフォーマット変換を経て、Apache からHLS 形式で配信する。

本システムを構築したLAN 内の試験環境では、10 秒程度の遅延で正しく配信されることを確認している。

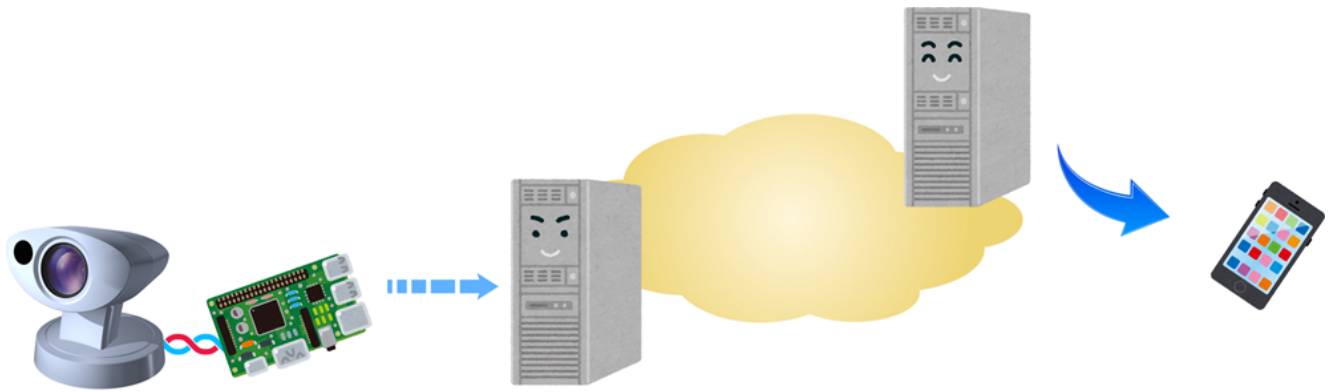
### 今後の課題

現在のところリンク集約にかかる調整は手作業で行なっている。これを自動で最適な状態にする仕組みを作る必要がある。また、動画は必要な通信帯域が大きくなりがちであるため、解像度の削減やフレームレートの間引きなどを手軽に実施できるインターフェースも必要であろう。このWeb カメラは本来リモートからレンズの方向を変えるなどのコントロールが可能であるが、本システムでは対応していない。

### 参考文献

大久保(2018): WIN format を利用した地震動波形以外の格納, データ流通ワークショップ発表要旨集.

大竹(2018): WIN ネットワーク上でのファイル交換, 日本地震学会2018 年度秋季大会予稿集, S02-06.



図：本システムの概念図

## 微弱な信号を検出するための2点地震観測法の提案

### Proposal of two-point seismic observation for detecting weak signal

\*堀内 茂木<sup>1</sup>、加藤 愛太郎<sup>2</sup>

\*Shigeki Horiuchi<sup>1</sup>, Aitaro Kato<sup>2</sup>

1. 株式会社 ホームサイスマメータ、2. 東京大学

1. Home Seismometer Corporation, 2. Univ.Tokyo

**1. はじめに** 地震計を地表に設置した場合と、地下深部に設置した場合の違いは、ノイズの発生源から離れているか否かである。地震計を地表に設置すると、観測される波形に、風雨や人工的ノイズの混入が避けられない。しかし、センサー近傍で発生するノイズを除去することができれば、地表設置のセンサーでも、地下深部に設置した地震計と同程度に高精度の観測データが得られる可能性がある。本発表では、数mから数10m離れた2地点にセンサーを設置し、2点の観測波形のconvolutionを連続的に計算（以下convolution波形と呼ぶ）すると、convolution波形には、センサー近傍で発生するノイズがほぼ含まれなくなり、到着時刻の読み取りや、地下構造推定に適した記録が得られることについて述べる。

**2. Convolution波形の計算法** 数mから数10m離れたA点、B点の2カ所に地震計が設置されているとする。A点の地震計では、A点の近傍に発生源を持つノイズの振幅は大きい。しかし、両者の設置位置が離れていることから、B点の近傍で発生するノイズの振幅は小さい。B点でも、同様である。また、ノイズの発生源が異なることから、両者の波形の相関は低いと考えられる。一方、地震は、地下深部で発生することから、両観測点での波形は、到着時刻の僅かな差はあっても、相関は高いと思われる。

A点、B点の地震計で観測されるとノイズ波形と、地震波形を分離して  $Ua(t)=Na(t)+Sa(t)$ 、 $Ub(t)=Nb(t)+Sb(t)$  と表す。ここに、 $Na(t)$ 、 $Nb(t)$ は、A点、B点でのノイズ波形  $Sa(t)$ 、 $Sb(t)$ は、地震波形である。 $Ua(t)$ と $Ub(t)$ との区間長  $w$  のconvolutionは、因果律を満足するよう積分範囲を変更して表すと、

$$f(t,p)=\int_{t-w}^t ua(T)Ub(T-p)dT \quad (1)$$

と表せる。地震によるP波がA点に到着する時刻と、B点に到着する時刻との差の最大値を  $\Delta t$  とすると、 $p$  を  $-\Delta t$  から  $\Delta t$  まで変動させた場合の  $f(t,p)$  の最大値は、

$$G(t)=\max\{f(t,p)\}, \quad -\Delta t < p < \Delta t \quad (2)$$

と表される。本報告のconvolution波形とは、 $G(t)$  のことである。簡単のため、A点、B点でのノイズとノイズ、地震波とノイズの相関は0、地震波の相関は1であると仮定すると

$$G(t)=\int_{t-w}^t Sa(T)^2 dT \quad (3)$$

と表される。(3)式は、ノイズとノイズとの相関、地震波とノイズとの相関が低ければ、convolution波形は、センサーの近傍で発生するノイズを含まないことを示している。

**3. 結果** 加藤(2018)による熊本での1000点のアレイ観測データを用いて、convolution波形の有効性について調べた。図1に熊本でのアレイ観測のconvolution波形と生波形との比較が示す。Convolution波形は、S/Nが極めて高く、到着時刻の読み取りに適している。また、convolution波形は、コヒーレントな位相が到来すると、振幅が大きくなる性質があることから、反射法探査の解析にも利用できるものと期待される。

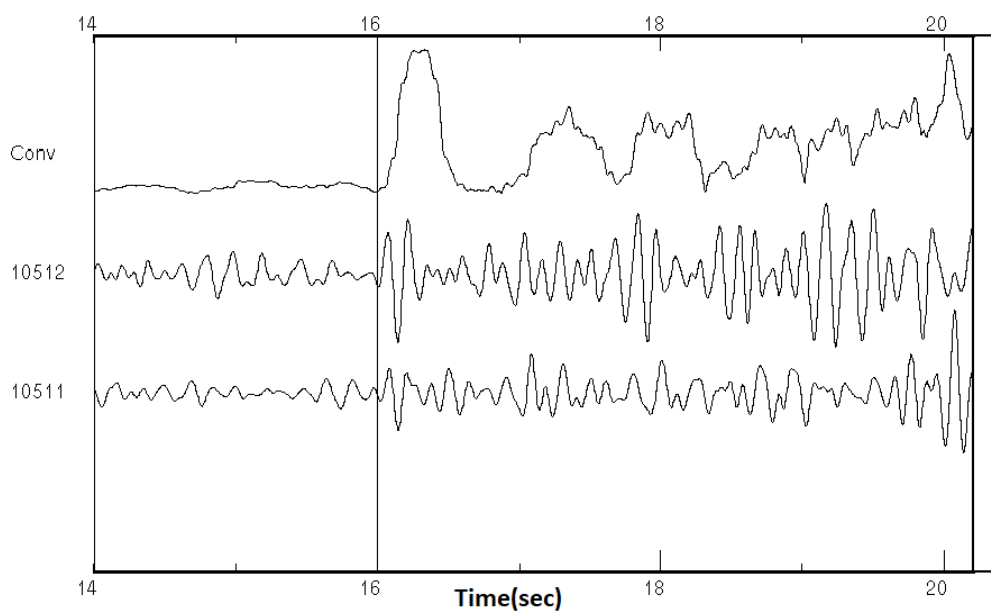


図1. 隣接する2観測点(10511,10512)で記録された地震のP波部分の波形と、そのConvolution波形

# 海底の傾斜がエアガンの観測波形による海底加速度計の設置方位及び海底表層地震波速度推定に及ぼす影響について

## Effect of seafloor inclination on the estimation of OBS installation direction and seismic wave velocity from observed waveform of air gun

\*岩瀬 良一<sup>1</sup>

\*Ryoichi Iwase<sup>1</sup>

1. 海洋研究開発機構

1. JAMSTEC

筆者は、地殻構造探査の測線が観測点近傍を通過した防災科学技術研究所の「日本海溝海底地震津波観測網」(S-net)の一部の観測点について、いずれもwebで公開されている連続波形データにおけるエアガン観測波形の初動部分の3次元パーティクル・モーション、及び地殻構造探査の航跡データを用いて、地震計(加速度計)の設置方位及び各観測点における海底表層の地震波速度、即ちP波及びS波速度の推定を行った(岩瀬, 2019)。その際、航跡データから求めたエアガン音源の方位とパーティクル・モーションから推定されるエアガン信号の入射方位について、音源が観測点に近づくと、両者の間にずれが生じることが確認された。この現象は、東京大学地震研究所の「三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム」を対象として、同様の解析手法を用いた地震計設置方位と地震波速度の現場推定でも確認されており(Iwase, 2016のFig. 3)、方位角のずれは最大で9度となっている。当該文献ではその原因を機器特性の影響と推定している。設置方位推定を行ったS-net観測点のうち一部の観測点については、近傍の海山の影響と推定される不規則なずれも確認されている。しかしながら、大半の観測点で系統的なずれが見られることから、観測点周辺海底の傾斜の影響が推定された。

そこで今回は、観測点周辺海底の傾斜が、エアガンの観測波形による加速度計の設置方位及び海底表層地震波速度推定に及ぼす影響について、その発生原因を考察した。

地震波形から得られるパーティクル・モーションは、水中を伝搬してきた水中音波そのものを描き出しているわけではなく、水中音波が海底面に入射して海底下に透過した地動を表している。そしてその地動は、入射臨界角内では疎密波(P波)と変換された横波(SV波)の合成波である。そのため、パーティクル・モーションの鉛直成分の角度は、水中音波の海底面への入射角ではなく、P-SV合成波による透過波の見かけの出射角に対応する。水中音波の入射角は航跡から推定できるので、Iwase(2016)及び岩瀬(2019)では、この特徴を利用して、この透過波の見かけの出射角に関して、平面波の流体-固体境界入射を仮定した際のZoeppritz方程式に基づく理論値との比較を行い、地震波速度を推定している。

音源の入射方位についても、同様のことが考えられる。即ち、海底に傾斜がある場合、透過波(P-SV合成波)の振動方向は、入射した水中音波の音線を含み傾斜した海底面と垂直な平面内に存在するが、それは必ずしも鉛直平面内にあるわけではない。一方、加速度計では、重力の方向から鉛直軸の向きを求めており、これは傾斜した海底面法線方向とは異なる。

以上の考察を元に、比較的簡単なケースとして、海底の傾斜面(傾斜角10度と仮定)の走向上の入射臨界角(60度と仮定)に対応する位置の音源からの入射音波に対し、加速度計のパーティクル・モーションから得られる「見かけの」音源方位の入射方位からのずれを求めたところ、6度程度と見積もられた。

両者の関係式には、海底の傾斜角、音波の入射方位及び入射角、透過波の見かけの出射角といったパラメータを含むことになる。岩瀬(2019)以降に実施したS-net観測点の設置方位及び海底表層地震波速度推定結果を含め、観測データと比較した結果を報告する。

謝辞

本研究の実施にあたり、防災科学技術研究所が公開している地震波形データ、及びJAMSTECが公開している各調査航海のデータを利用しました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

R.Iwase, Jpn. Jour. App. Phys, 55, 07KG01, 2016.

岩瀬, JpGU2019, STT43-P04, 2019.

# 被災度判定計を用いた防災ネットワークシステムの徳島県における実証実験 その2 計測入力データとその利活用について

## Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 2

梶川 久光<sup>1</sup>、\*白井 亮太郎<sup>2</sup>、岡田 由佳<sup>3</sup>、小川 春彦<sup>4</sup>、三津橋 歩<sup>4</sup>

Hisamitsu Kajikawa<sup>1</sup>, \*Ryotaro Shirai<sup>2</sup>, Yuka Okada<sup>3</sup>, Haruhiko Ogawa<sup>4</sup>, Ayumu Mitsuhashi<sup>4</sup>

1. 明治大学理工学部、2. 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 修士課程、3. ミサワホーム株式会社、4. 株式会社ミサワホーム総合研究所

1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.,

### 1.はじめに

本報は2018年度に発表したその1の続報である。その1では、徳島県における実証実験の概要と被災度判定計の設置について述べた。本報は、この実証実験で計測したデータ（以下、計測入力データという）とその利活用についての報告を行う。計測入力データについては、計測震度と入力加速度軌跡図に関する検証を行う。

### 2.計測入力データについて

本実証実験は、徳島県（徳島市、阿南市、美馬市）で行い、我々の研究グループが管理しているデータベースに計測入力データを現在も集積し続けている。本報で扱う計測入力データの期間は、2017年10月～2019年6月とする。この期間に、気象庁の発表で徳島県内に震度1以上の観測があった場合が56件あった。このうち実証実験の対象建物で計測があったものが31件であり、37棟のうち20棟以上で計測があったものに絞り、阿南市の結果を表1に示す。また、併せて同市内にある防災科学研究所強震観測網（K-NET）にて計測されたデータを示す。

#### 2.1.計測震度に関する検討

計測震度の分布状況は、県内広域に渡っていることから最大で2.5のばらつきが確認された。また、同市内のK-NETで計測していなくても被災度判定計で計測している場合もあれば、その逆の場合もあった。また、表1に示す阿南市の場合、同一市内でも0.5～1.9のばらつきがあった。ばらつき具合には、建物、震源の方向や規模等に関連している様子はなく、建物ごと地震ごとに大きくなったり小さくなったりしていることが分かった。

#### 2.2.入力加速度軌跡図に関する検討

図1に表1の地震No.11における建物No.25～29及び同市内K-NETの加速度軌跡図（3面）を示す。加速度軌跡図は三軸合成の最大加速度を記録した時刻までを黒色の実線、それ以降を灰色の実線で描いている。図中の最外円はその平面での最大加速度を半径とした円であり、NSEW面の円上にある×印はたたえ物から見た水平の震源方向を示している。基準化はNSEW平面の二軸合成の最大加速度を1としたものである。同一市内であっても軌跡の形状は建物ごとに大きく異なっている。また、NSEW面における最大加速度ベクトルの最大値は約6倍の差がある。建物ごと地震ごとに性状が異なっていると考えられる。

### 3.情報開示ツール

計測入力データの利活用の1つとして情報開示のツールとして防災一括管理システム、スマートフォンによる防災アプリ、防災情報モニターの開発を行った。また実証実験では関係者および協力していただいた市民により模擬データを用いた防災訓練を行った。そのうえで、アンケート調査を実施し、意見をまとめ分析した。

### 4.まとめ及び今後の課題

本報では、計測入力データとその利活用の1例として情報開示ツールについて示した。計測入力データについては、計測震度の分布状況と入力加速度軌跡図を示し、建物ごと地震ごとに大きくなったり小さくなったり性状が異なっていることを示した。また、計測入力データの利活用の1つである防災一括管理システム、スマートフォンによる防災アプリ、防災情報モニターによる防災訓練を実施したアンケート結果を示し有効性を示した。今後の課題としては、計測入力データの計測震度及び入力加速度軌跡図に関する検討については、今後さらにビッグデータを集積し、この性状に関して統計的に分析することで、建物の入力（揺れやすさ）についての傾向を明らかとする可能性があると考えられる。情報開示ツールについては、改善や行政の防災対応へ導入及び運用の検討を行う必要がある。

謝辞：本報の内容に一部は総務省平成28年度補正予算IoTサービス創出支援事業によるものである。また、関係者の方々には多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

表 1 計測入力データ (計測震度)

地震 No.	地震の発生日時		震央地名	深さ	マグニチュード	最大震度	建物No.										K-NET	
							阿南市										阿南市	
							24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		34
1	2018/4/9	1:32:31	島根県西部	12	6.1	5強	0.6	1.9	0.6	1.3	1.5	0.8	1.5	1.5	1.4	1.4	0.6	0.9
2	2018/5/30	6:10:08	徳島県南部	11	3.8	2	1.4	1.3	-	1.4	1.3	1.6	1.1	0.9	1.3	0.9	1.5	1.1
3	2018/6/16	18:13:07	紀伊水道	43	3.8	2	1.1	1.2	0.7	1.6	1.4	1.6	1.3	1.0	1.6	1.0	1.6	1.6
4	2018/6/18	7:58:34	大阪府北部	13	6.1	6弱	1.6	2.4	1.6	2.1	2.2	1.7	2.4	2.4	2.4	2.2	1.4	1.7
5	2018/11/2	16:53:54	紀伊水道	44	5.4	4	2.8	3.2	2.4	3.5	2.9	3.5	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	3.3
6	2018/11/5	8:19:17	紀伊水道	45	4.6	3	1.7	1.9	1.1	2.0	1.5	1.8	1.9	1.6	1.7	1.9	1.6	2.1
7	2018/11/21	4:09:50	種子島近海	123	5.2	3	-	-	-	0.5	-	-	-	-	0.6	0.5	-	1.1
8	2018/11/25	18:19:04	徳島県南部	42	4.1	3	2.0	1.9	1.8	1.8	1.5	2.0	2.0	1.4	1.4	2.2	2.3	2.6
9	2018/12/3	17:08:23	和歌山県北部	48	4	3	1.2	1.0	0.6	1.2	1.1	1.8	1.2	1.0	1.8	0.9	1.6	1.3
10	2019/1/29	3:22:57	徳島県北部	37	3.9	2	-	0.6	-	0.9	0.9	0.8	0.6	-	0.9	-	1.1	0.9
11	2019/3/13	13:48:49	紀伊水道	43	5.3	4	-	3.5	2.2	3.5	3.3	4.1	3.2	3.4	3.6	3.3	2.8	3.1

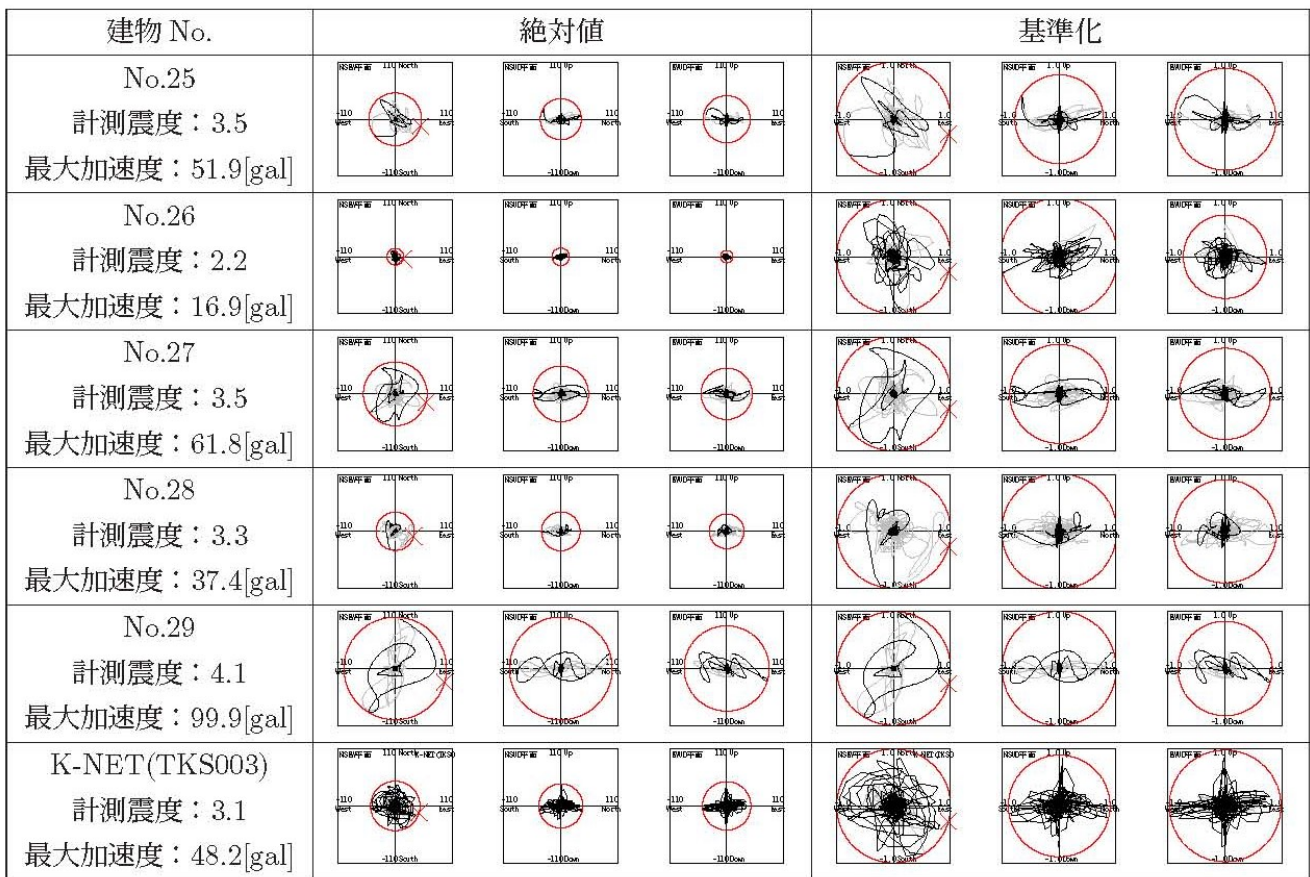


図 1 2019/3/13 13:48 発生地震における阿南市内の建物と K-NET(TKS003) の加速度入力軌跡図

# 被災度判定計を用いた防災ネットワークシステムの徳島県における実証実験 その3 Sa-Sd曲線に関する検討

## Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 3

梶川 久光<sup>1</sup>、\*岡田 由佳<sup>3</sup>、白井 亮太郎<sup>2</sup>、小川 春彦<sup>4</sup>、三津橋 歩<sup>4</sup>

Hisamitsu Kajikawa<sup>1</sup>, \*Yuka Okada<sup>3</sup>, Ryotaro Shirai<sup>2</sup>, Haruhiko Ogawa<sup>4</sup>, Ayumu Mitsuhashi<sup>4</sup>

1. 明治大学理工学部、2. 明治大学大学院理工学研究科建築・都市学専攻 修士課程、3. ミサワホーム株式会社、4. 株式会社ミサワホーム総合研究所

1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.

### 1.はじめに

筆者らは、被災度判定計で計測したデータ（以下、計測入力データという）の利活用方法の1つとして巨大地震時被災度予測法の研究開発を行っている<sup>1)</sup>。この巨大地震時被災度予測手法には、地震応答スペクトルを用いている。本報では、この地震応答スペクトルを用いたSa-Sd曲線の形状や応答値について検証を行う。なお、本報はその1：実証実験の概要と被災度判定計の設置（2018年度発表）、その2：計測入力データとその利活用（2019年度発表）の続報である。

### 2.計測入力データについて

本実証実験は、徳島県（徳島市、阿南市、美馬市）で行い、我々の研究グループが管理しているデータベースに計測入力データを現在も集積し続けている。本報で扱う計測入力データの期間は、その2と同様に、2017年10月～2019年6月とする。この期間に、気象庁の発表で徳島県内に震度1以上の観測があった場合が56件あった。このうち実証実験の対象建物で計測があったものが31件であり、対象建物37棟のうち20棟以上で計測があった地震は11件であった。また、併せて同市内にある防災科学研究所強震観測網（K-NET）にて計測されたデータとも比較検証を行う。

### 3.Sa-Sd曲線に関する検討

2.計測入力データで述べた地震11件のうち、計測震度が最も大きかった2019年3月13日震央地名：紀伊水道の地震（被災度判定計の最大計測震度4.1）における阿南市建物No.25～29の建物と同市内のK-NETにおけるSa-Sd曲線を図1に示す。図1の左側は絶対値、右側は設計用応答スペクトルに基準がしたSa-Sd曲線である。Sa-Sd曲線作成方法は、参考文献2）をもとに変位応答スペクトル（Sd）と加速度応答スペクトル（Sa）を算出し、x軸にSd、y軸にSaをプロットすることで作成する。

絶対値のSa-Sd曲線を比較してみると、建物ごとに形状や応答変位、応答加速度の大きさが大きく異なることがわかる。No.26とNo.29の建物の応答変位を比較すると約3倍以上、応答加速度を比較すると約5倍以上である。次に基準化した場合、応答加速度は概ね一致しているが、No.25、26、28の建物においては最大応答変位が7.5cmを超えている。また、絶対値と同様に形状についても建物ごとに大きく異なっていることがわかる。同一市内の建物であっても、建物ごとにSa-Sd曲線の性状が大きく異なることが確認された。

### 4.まとめ及び今後の課題

本報では、計測入力データの利活用の1例として巨大地震時被災度予測手法に用いる地震応答スペクトルで作成したSa-Sd曲線について検証を行った。その結果、建物ごとにSa-Sd曲線の形状も、最大応答変位、最大応答加速度も大きく異なることが確認された。今後は、ビッグデータを集積し、地盤の揺れやすさ及びその建物のSa-Sd曲線の形状の特徴を統計的に分析することで、建物の入力（揺れやすさ）についての傾向が明らかとなる可能性がある。また、現在の建物の設計法は1方向のみを考慮したスペクトルを用いているが、建物の設計

にはXY方向やNSEW方向など2方向を考慮した設計を行う必要があると考えられる。

謝辞：本報の内容の一部は総務省平成28年度補正予算IoTサービス創出支援事業によるものである。また、関係者の方々には多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

1) 梶川久光,その他：建築物の被災度判定計による防災ネットワークの研究開発 その13,日本建築学会大会梗概集,2018年

2) 柴田明德：最新耐震構造解析,森北出版株式会社,2009

謝辞：本報の内容の一部は総務省平成28年度補正予算IoTサービス創出支援事業によるものである。また、関係者の方々には多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

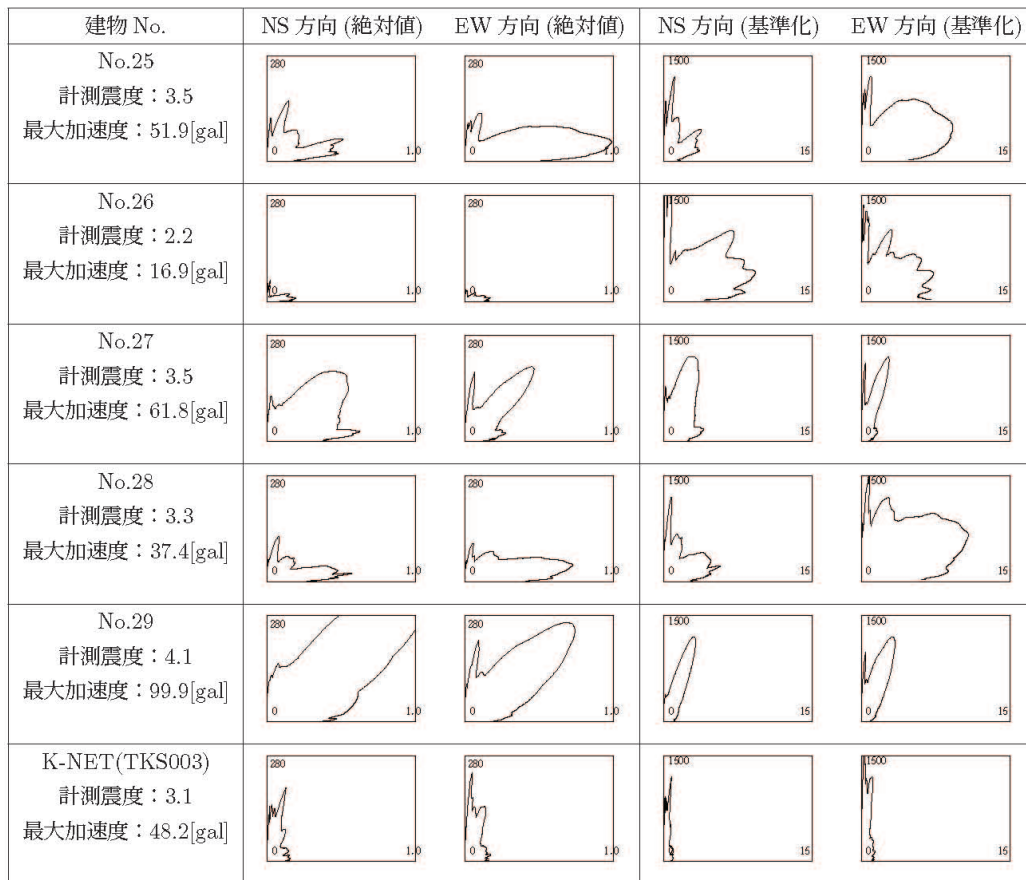


図 1 2019/3/13 13:48 発生の地震における阿南市内の建物と K-NET(TKS003) の Sa-Sd 曲線