

## ウェーブレットによる地震解析

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 島津 優  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○久保井公彦  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 友利 方彦

### 1. はじめに

ウェーブレット解析は 1980 年代から普及した信号解析技術である。この解析方法は信号の中に過渡的に出現する振幅の強弱を、周期情報と併せて時系列に捕捉できる。本稿ではウェーブレット解析による地震動の周期特性の検出、地震計のサイト特性の比較、ウェーブレット解析と速度振幅の相間について報告する。

### 2. ウェーブレットによる地震解析

連続ウェーブレットのひとつであるガボールウェーブレット解析は、非定常な時系列信号に含まれる振幅・周期帯の可視化などに利用される。解析の基本となるフィルタ関数をマザーウェーブレットとよび、時刻  $t$  に対してガウス関数と複素正弦波の積として  $\psi(t)$  で表される。

$$\psi(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{t^2}{\sigma^2}\right) \exp(-it)$$

この関数  $\psi(t)$  に対して、時間方向に波形を拡大・縮小するためのパラメタ  $a$  と、時間方向にガウス窓をシフトするためのパラメタ  $b$  を導入した関数を、

$$\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

として、下式のように地震の時刻歴波形  $x(t)$  に対するウェーブレット変換がなされる。

$$G_w(b, a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(-\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt$$

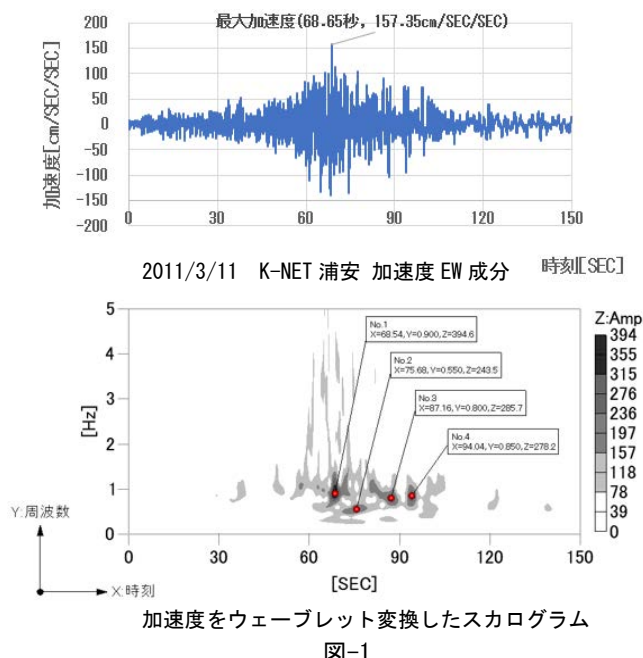
### 3. 観測地震波に対するウェーブレット解析の適用

以下では東北地方太平洋沖地震における K-NET 浦安の EW 成分加速度にウェーブレット解析を適用し、フーリエ解析結果との比較により周期特性検出の妥当性を確認する。また K-NET 浦安から海側に約 1km 離れた JR 新浦安の地震計で計測された同地震のウェーブレット解析データとの比較から、地震計設置サイトの揺れやすさを比較する。

#### (1) K-NET 浦安の観測データ

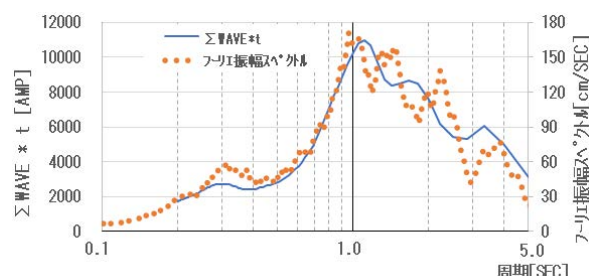
図-1 上段は東北地方太平洋沖地震の際に K-NET 浦安で観測された加速度 EW 成分の主要な 150 秒間を切

出した時刻歴波形である。下段はこれをウェーブレット変換したグラフ(以下スカログラムと記す)である。



最大加速度に到達する 68.65 秒より前にスカログラムが最大振幅 394 を 0.9Hz 付近で記録し、その後 0.55-0.85Hz で 240 以上の振幅を 3 波受けている。この振幅は後述する地震波の速度振幅と関連する指標である。

図-2 は図-1 のスカログラムの振幅を時間累計した値(以下  $\Sigma \text{WAVE} * t$  と記す)の周期分布であり、縦軸のスケールを変えて描画したフーリエ振幅スペクトルと類似した形状となる。いずれも卓越周期は 1.1 秒付近にみられる。



#### (2) JR 新浦安地震計と K-NET 浦安の比較

図-3 は JR 新浦安の地震計と K-NET 浦安の設置位置である。2 つの地震計の距離は 1.1km である。図-4 は JR 新浦安で観測された東北地方太平洋沖地震の主要

な 150 秒間の EW 加速度波形とスカログラムである。

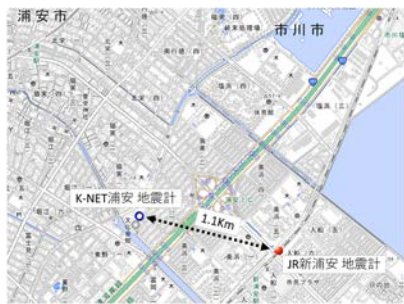


図-3 JR 新浦安と K-NET 浦安の観測点

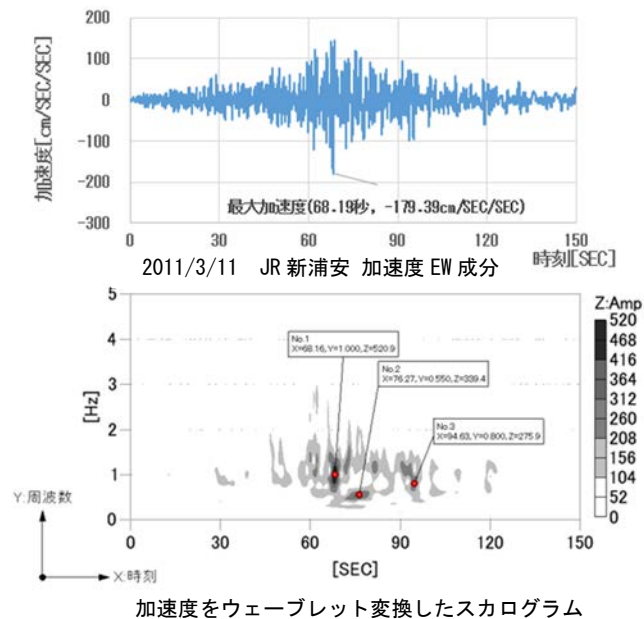


図-4

最大加速度は 179cm/SEC/SEC と、K-NET 浦安の 157cm/SEC/SEC(図-1)より大きい。スカログラムの最大振幅 520 は 1.0Hz 付近で発生しており、K-NET 浦安の 394(0.9Hz)より大きく、その後、振幅 339 の第 2 波(0.55Hz)と振幅 276 の第 3 波(0.8Hz)が到達している。

図-5 は JR 新浦安と K-NET 浦安の EW 成分における  $\Sigma \text{WAVE} * t$  の比較である。

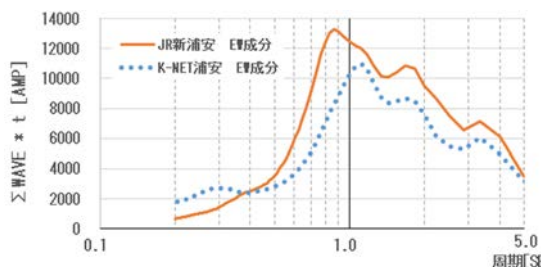


図-5 2011/3/11 発生地震 JR 新浦安と K-NET 浦安の比較

卓越周期は K-NET 浦安の 1.1 秒付近に対して、JR 新浦安は 0.9 秒付近とやや短周期側にあるが、0.4 秒以上の周期帯ではいずれも K-NET 浦安の値を超過しており、JR 新浦安が K-NET 浦安よりも揺れやすいサイト特性であることがわかる。

#### 4. 構造物損傷時の周辺観測地震波

表-1 は当社の橋りょう等の構造物が地震で損傷した際、当該構造物の 10km 以内にある社外の観測点で記録された地震動の卓越周期である。

表-1 構造物損傷時の周辺観測点と卓越周期

番号	地震発生日	地震名称	損傷した線区	観測点	卓越周期(秒)
1	2004/10/23	新潟県中越地震	上越新幹線ほか	川口町EW	1.25
2	2011/3/11	東北地方太平洋沖地震	常磐線	KiK-net浪江EW	1.67
3	2021/2/13	2021福島県沖地震	東北新幹線	K-NET福島EW	1.05
4	2022/3/16	2022福島県沖地震	東北新幹線	K-NET白石EW	1.11

これらの観測点の加速度に対するウェーブレット変換後の最大値と、速度振幅の最大値のプロットを図-6 に示す。なおこの図には、表-1 とは異なる観測点で記録された 1.0 秒前後の卓越周期を有する地震波について、構造物が損傷しなかったときのデータを併せてプロットしている。サンプル数は少ないがウェーブレット変換後の振幅の最大値と最大速度に高い相関がみられる。

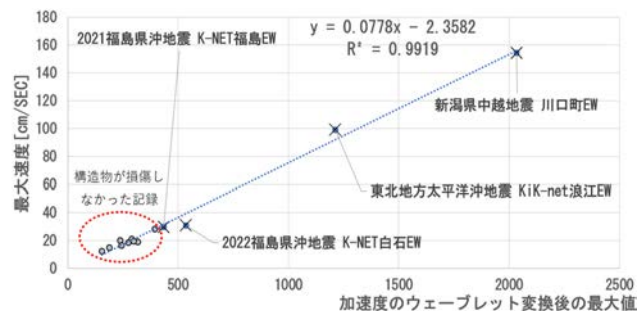


図-6 ウェーブレットと最大速度の相関

#### 5. おわりに

ウェーブレット解析による地震動の周期特性の検出精度について、フーリエ解析との比較から一定の妥当性を確認し、異なる地震計設置サイトの揺れやすさを比較した。また概ね 1.0 秒以上の卓越周期を有する地震加速度をウェーブレット変換した最大値と、時刻歴最大速度には高い相関がみられた。

本稿では科学技術庁・防災科学技術研究所の K-NET の記録を使用させていただきました。

#### 参考文献

- 1) 島津ほか：Gabor Waveletによる損傷構造物周辺の地震波解析，SED，第58号，東日本旅客鉄道㈱，2021.11.
- 2) 立命館大学理工学部都市工学科防災システム研究室：<http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/izuno/software.html>，(参照2021-02-09).
- 3) 電気学会編：ウェーブレット解析の産業応用，朝倉書店，2005.
- 4) 野澤ほか：東北地方太平洋沖地震における鉄道の被災状況およびその復旧について，地盤工学ジャーナル，Vol.7, No.1, 127-137
- 5) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，1994.