

走時変化の精密計測のためのHi-netのサンプリングクロックの精度評価とデータ補正法

The accuracy evaluation of sampling clock of Hi-net and data correction for precise measurement of travel time

國友 孝洋^{1*}

Takahiro Kunitomo^{1*}

¹ 名古屋大学

¹ Nagoya Univ.

1. はじめに

防災科学技術研究所のHi-netのデータは、通常の地震観測以外にも様々な研究目的で広く用いられるようになってきている。例えば、アクロス、地震干渉法、相似地震などを用いて地殻の微小な地震波速度変化(地震波の走時変化)を検出する試みもなされており、東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日、M=9.0)の後には、ミリ秒から数十ミリ秒オーダーの走時遅れが生じたことが報告されている。こうした走時変化の精密計測には、人工震源-観測点間あるいは収録装置間でサンプリングクロックが同期している必要があるが、Hi-netのサンプリングクロックの信頼性については必ずしも検討されてこなかった。

2. 使用したデータと手法

Hi-netのサンプリングクロックの評価および補正には、センサーチェック信号を用いた。センサーチェック信号は、地震計のキャリブレーションコイルに5秒間の矩形波電圧を印加して得られる応答波形である。矩形波電圧は、GPS時計の1PPSによってメカニカルリレーを駆動させて直流電圧をON/OFFすることで得られる。そのタイミングは、サンプリングクロックとは独立であることから、センサーチェック信号を基準としてGPS時刻に対するサンプリングクロックの変化を検出できると考えられる。問題となるのはメカニカルリレーの安定性と地震計の位相特性の変化である。

24のHi-net観測点について、2004年から2012年まで8年間のセンサーチェック信号をクロススペクトル解析により遅延量の変化を調べた。その結果、メカニカルリレーがOFFのタイミングがいずれの観測点でも安定しており、地震計の固有周波数である1Hzから離れた高周波数帯域では位相特性の時間変化がほとんどないことが分かった。午前9時5秒から2.5秒間のセンサーチェック信号データのうち10-20Hzの周波数についてクロススペクトル解析により基準波形からの遅延量を計算した。基準は、2012年10月の一ヶ月間のスタッキング波形とした。遅延量の計算において収録装置の周波数特性は補正している。

3. 結果と議論

2004年4月から2012年10月までの遅延量の推移を調べると、タイプ1からタイプ3までの全ての収録装置で、ミリ秒オーダーのステップ状の飛びが見られた。特にタイプ3でステップ状の変化が頻発している。遅延量は階段関数状に変化しており、その上にデータのノイズレベルに応じたランダムな変化が重畳している。また、データの欠測との関係について調べたところ、ステップ状の飛びは、収録装置の再起動によると見られる欠測の後に発生していることが分かった。

これらの結果をHi-net八百津観測点(11.3km)や鳳来観測点(56.9km)で観測されたアクロス信号の走時変化に適用したところ、地震発生時以外にはステップ状の走時変化は見られなくなり、年周変化と経年変化とがより明瞭に認識できるようになった。そして、大きなステップ状の走時変化は地震時のみに発生していることが明らかとなった。

なお、収録装置が更新された場合は、メカニカルリレーのタイミングが異なると考えられるため、サンプリングクロックの厳密な補正はできない。より詳細なサンプリングクロックの精度の検討には、収録装置に直接GPS時計に同期した信号を入力して調べる必要があるだろう。時計の精度は現代科学技術の根幹の一つであり、地震計測が現代科学であるためには、最低限サンプリングクロックの精度の明示が是非とも必要である。今後、Hi-netのサンプリングクロックの精度がより詳しく検証され、補正情報の取得とユーザーへの発信が行われること、そして、補正の必要のない収録装置が開発されることを望みたい。

(謝辞) 防災科学技術研究所のHi-netのデータを使わせて頂きました。また、原子力機構東濃地科学センターの方には、土岐送信所の稼働にご尽力を頂きました。また、株式会社計測技研にはメカニカルリレーに関する情報を頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 地震波速度変化, センサーチェック信号, クロススペクトル, 弾性波アクロス

Keywords: seismic velocity change, sensor check signal, cross-spectrum, seismic ACROSS