

搬送波位相を用いた高精度速度計測の地震波・揺れ検知への応用 Utilization of GNSS Velocity for Earthquake Detection.

小森健史, 指導教員 久保信明 教授
Takeshi Komori, Nobuaki Kubo

東京海洋大学 海洋工学部

Tokyo University of Marine Science and Technology, Faculty of Marine Technology.
Keywords: Seismic wave, Carrier-phase, GNSS-Velocity, TDCP, Reference Station

1. 背景

日本はプレートの境界付近に位置しており、また多くの活断層が存在するため地震が頻繁に発生する。過去10年間の震度1以上の地震発生件数は1000件を超す(気象庁地震データベース)。現在地震の観測は主に気象庁の強震観測網(加速度計)によって行われている。

先行研究では、受信機で測定したドップラー周波数の代わりに搬送波位相の時間差分を用いて速度を算出することによりGNSS速度計の精度をcm/sからmm/sに向上させていた。私はmm/s精度を実現できるならば、電子基準点といったGNSS観測網を地震観測網として活用できないかと考えた。

2. 研究目的

この研究ではGNSS基準点での速度データを用いた地震波・揺れの検出がどの程度可能であるか検証する。

3. 方法・条件

本研究では2021年2月13日23時08分(JST)頃に発生した東北地方太平洋沖地震の余震を本学越中島キャンパス実験棟屋上に設置されているGNSS基準アンテナを用いて分析した。この地震の大学所在地における震度は4であった。使用したアンテナはTRM57971.00、受信機はu-blox ZED-F9Pである。このアンテナ・受信機は本研究室でGNSS基準局として利用されており、常時1Hzで測位・記録が行われている。

地震発生時刻付近の23時00分~23時25分における観測データに含まれている搬送波位相の時間差分を利用して対地速度を算出し、地震発生時刻において揺れ(有意な速度)が発生しているか確かめる。

図1に屋上に固定されているGNSS基準アンテナを示す。



図1:GNSS基準アンテナ(TRM57971.00)

以下に実際の観測データ(RINEX)を示す。3行目に記載されているのが各衛星の搬送波位相である。

> 2021 2 13 14 0	0.9990000 0.35		
G 2	25604686.056	111119822.595	1444.764
G 3	21145381.678	116432028.902	-2981.902
G 6	22156275.616	123301398.639	1100.371
G22	23463461.251		-3820.666
			24.000
			46.000
			43.000
			41.000

搬送波位相の時間差分(Time Differenced Carrier Phases)とは各エポック毎の搬送波位相の差分をとったものであり、

式(i)で表される。Cpは搬送波位相で、右下の添え字はそれが何epoch前のものであるかを示す。TDCPをドップラー周波数の代わりに最小二乗法の計算に用いて速度を算出する。算出した速度は式(i)より0.5epoch前のものとなる。

$$TDCP_{0.5} = (Cp_1 - Cp_0)/2 \dots(i)$$

4. 結果

図2にNetR9およびF9P受信機で観測した搬送波位相の時間差分を用いて算出した23:00~23:25の基準アンテナの速度を示す。Ve,Vn,VuはECEF座標系の速度をENU系に変換したものである。

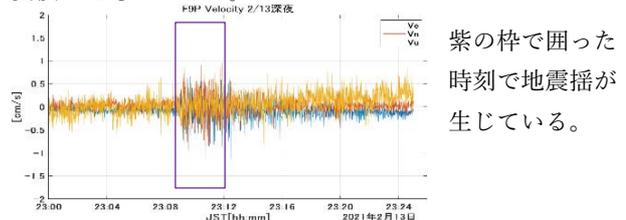


図2:搬送波位相で算出した地震発生時刻付近での速度表1に地震発生時刻の速度の絶対値(速さ)の平均と標準偏差を示す。速さVは次の方法で計算した。

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad V_x, V_y, V_z: ECEF \text{ 座標系の速度}$$

表1:GNSS基準アンテナ速さの平均と標準偏差

		F9P V(速さ)
地震発生していない時刻	速さ平均[cm/s]	0.2724
	標準偏差	0.1416
地震発生時刻	速さ平均[cm/s]	0.4831
	標準偏差	0.2340

表1より地震発生時刻における速さは地震が発生していない時刻の速さよりも値が大きく、ばらつきも大きいことがわかる。

5. 考察

結果より地震発生時刻において、地震の揺れによりアンテナに有意な対地速度が生じていると考えられる。震度4程度なら地震の揺れがGNSSアンテナで検出可能であると結論付けられる。

6. 今後の展望

結果より地震が発生していない時刻でも約2.7mm/sの大きさの速度が出力されてしまっている。今後はより正確に地震揺を捉えられるように、時間差分をとる間隔を調整するなどして、この誤差を低減する方法を模索していきたい。