

Detection of Ground Displacement by Kinematic GPS and its Application to Tsunami Forecast

GPS による高速地殻変動検出と津波予測への応用

Geographical Survey Institute, Japan

国土地理院

The Geographical Survey Institute suggests constructing a continuous GPS network with high-rate sampling is an effective and important component for a precise tsunami warning system dealing with not only usual earthquake but also “tsunami earthquake”.

国土地理院では、津波地震に対応した早期津波予測の高精度化にむけて、高サンプリング GPS 観測網が有効であると考えています。

Fault Slip and Tsunami Earthquake

断層運動と津波地震

The cause of tsunami is crustal deformation due to fault slip of earthquakes in the sea. Though the crustal deformation can be usually estimated from data analyses of seismic waves, slow slip on faults makes it difficult to estimate the deformation precisely because it radiates small seismic waves. Slow slip on faults which makes large tsunamis and small seismic waves is called as “Tsunami earthquake”. A typical example is an earthquake which killed 22000 people by tsunamis in the Sanriku coast, northern Japan in 1896.

In case of the M9.0 Sumatra-Andaman islands earthquake which occurred on December 26, 2004, some researchers pointed

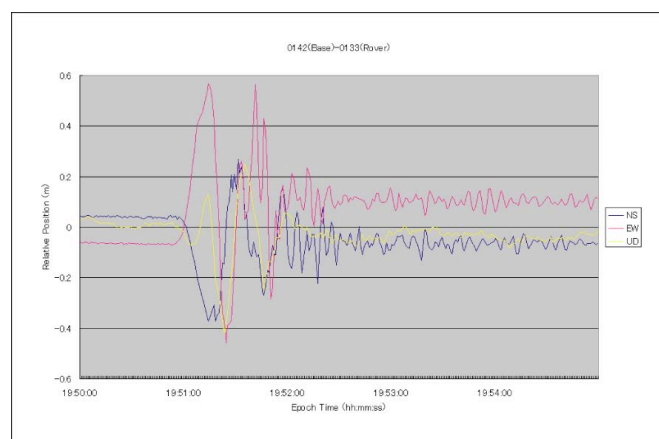


Figure 1. Ground displacement of the 2003 M8.0 Tokachi-Oki earthquake on September 26, 2003 observed by kinematic GPS with 1Hz sampling. It clearly shows static crustal displacements (offsets between 19:50 and 19:52) as well as long-period seismic waves.

図1 1Hz サンプリングのGPSによって得られた十勝沖地震(2003年9月26日、マグニチュード8.0)の変位記録。長周期の地震動とともに地殻変動(19:50と19:52以降の間のオフセット)が捉られていることがわかる。

out that slow slip in the northern part of the faults resulted in large tsunami. (cf. Yagi, 2004; <http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Sumatra2004/Sumatra2004.html>)

Tsunamis by tsunami earthquakes may cause serious damages in coastal regions because the people are not aware of an earthquake and a subsequent tsunami owing to small ground motions. It, therefore, is very important for mitigation of tsunami disasters to estimate fault slips of earthquakes precisely and to detect tsunami earthquakes.

津波の原因となるのは、地震による断層運動によっておこる海底での地殻変動です。海底での地殻変動は、通常地震波などの解析結果から推定することができますが。断層のすべりが比較的ゆっくりとしていると、地震波はそれほど励起せずとも海底に地殻変動をもたらすため、正確に推定することが難しくなります。このようなゆっくりとした断層すべりの地震は、地震動に比べて津波が大きく、「津波地震」と呼ばれています。日本では、1896年に三陸海岸で22,000人の死者を出した地震が津波地震の典型例として、知られています。

2004年12月、インド洋沿岸に大きな津波を引き起こしたスマトラ沖地震においても、断層の北側ではゆっくりとしたすべりが発生し、大きな津波の原因となったと考えられています。(例えば Yagi, 2004, <http://iisee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Sumatra2004/Sumatra2004.html>)

「津波地震」による津波は、地震動が小さく住民の備えが不十分になるため、大きな被害をもたらす可能性があります。そのため、地震の断層運動を正確に把握検知し、「津波地震」の発生を検知することは、防災上特に重要であると考えられます。

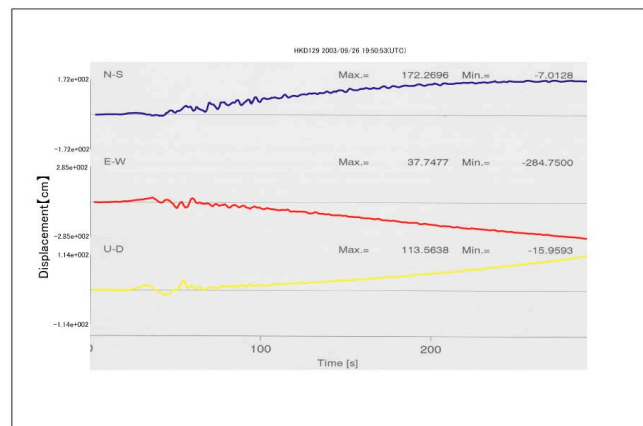


Figure 2. Ground displacement of the 2003 M8.0 Tokachi-Oki earthquake on September 26, 2003 observed by strong motion accelerometers (K-net, data by the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) with numerical integration. Small sensitivity for long-period components causes unreal drift in the data and makes it difficult to detect static crustal displacements.

図2 強震計(K-net)記録を積分することによって得られた十勝沖地震の変位記録。地震計では長周期成分の感度が小さくなるため、見かけ上のドリフトとなっており、直流成分である地殻変動を捉えることは難しい。

Real-time Monitoring of Ground Movement by Kinematic GPS and its Contribution to Tsunami Forecast

リアルタイム高速地殻変動監視と津波予測への貢献

Seismometers and accelerometers measure ground velocity and acceleration, respectively. They are very sensitive to short-period seismic waves but less sensitive to longer-period ones. Contrast to them, GPS measures ground displacement in short- and long-period components, even in DC one. GPS is never saturated and measures the displacement in wide frequencies and dynamic ranges. The larger earthquakes occurred, the longer period seismic waves are radiated. Large events should demonstrate advantages of kinematic GPS as a sensor monitoring the ground motion.

The Geographical Survey Institute (GSI) is operating the GEONET consisting of 1200 continuous GPS stations in Japan. GEONET GPS data with 1 second sampling are transmitting to the analysis center of the GSI in real time. Moreover, the GSI constructed a system to analyze the transmitted data and to monitor the ground displacement in real time. Figure 1 shows ground movements of the M8.0 interplate earthquake in the subduction zone off the Tokachi region, Hokkaido, northern Japan on September 26, 2003 (The 2003 Tokachi-Oki earthquake). It clearly shows the DC offset as well as seismic waves. It demonstrates that kinematic GPS can measure long-period components of the ground motion precisely, although the displacement measured by accelerometers (K-net) with numerical integration (Figure 2) is unstable in long-period components.

At the present, the GSI estimates fault models of earthquakes from displacement obtained by static GPS analyses. The estimated models are published in public, as shown in Figure 3. Using kinematic GPS for estimation of fault models will be in practice in a few years.

Constructing continuous GPS networks with high-rate sampling enable us to monitor ground movements in real time and to estimate fault models of earthquakes including tsunami earthquakes and slow slip events. It can

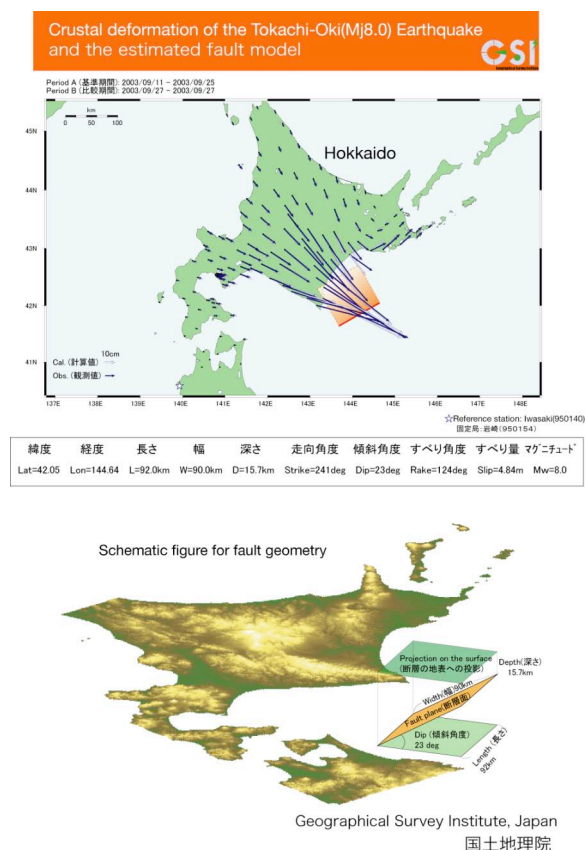


Figure 3. Crustal deformation of the 2003 M8.0 Tokachi-Oki earthquake, northern Japan observed by the GEONET (continuous GPS network of Japan) and the estimated fault model.

図3 2003年十勝沖地震の地殻変動と推定された断層モデル

contribute to a tsunami warning system by forecasting tsunamis due to tsunami earthquakes precisely.

一般に地震計は速度や加速度を計測し、短周期の地震動は大変よく捉えられますが、長周期の地震動になるほど感度が低下します。一方、GPSは、変位を直接計測し、長周期成分や直流成分まで捉えることができます。また、地震計のように振り切れてしまうことがなく、広帯域で高ダイナミックレンジに地面の動きを捉えることができます。地震が巨大になればなるほど、震幅が大きく長周期の地震動や地殻変動が励起されるため、GPSによる高速地殻変動監視の優位性が大きくなると考えられます。

日本国内では、国土地理院が全国1200点のGPS観測網(GEONET)を展開しており、ほとんどの点で1秒サンプリングのデータをリアルタイムに転送しています。また、転送されたデータを瞬時に解析し、リアルタイムで地殻変動を監視するシステムを構築しています。図1は、2003年9月26日に十勝沖で発生したマグニチュード8.0の海溝型地震(2003年十勝沖地震)による地面の変位を、GPSで捉えたものです。地震波動とともに直流成分(オフセット)が観測されており、強震計(K-net)記録を積分したもの(図2)に比べて特に長周期成分が正確に捉えられていることがわかります。また、国土地理院では、観測された地殻変動から地震の断層運動を推定し(図3)、一般に公開しています。

高サンプリングのGPS連続観測網を構築することによって、地殻変動をリアルタイムに監視し、通常の地震から津波地震、ゆっくり地震までに対応した地震の断層運動を推定することができますので、高サンプリングのGPS連続観測網は、津波地震に対応した津波予測の高精度化に貢献すると考えられます。