

GPS による新潟県中部の地殻変動観測

若杉忠雄*・中尾 茂**

Observation of Crustal Deformation in Central Niigata Prefecture by GPS System

Tadao WAKASUGI* and Shigeru NAKAO**

はじめに

弥彦地殻変動観測所周辺地域における地殻活動調査の一環として、岩室村(間瀬)・長岡市・刈羽村の3地点に基準点を設置し、1992年から年1~2回のGPS観測を行ってきた。日本海東縁のプレート境界においては、新潟地震(1964)や日本海中部地震(1983)・北海道南西沖地震(1993)など巨大地震が発生し地殻活動が進行しつつある。また、新潟県中部の信濃川流域は関原地震(1927)・長岡地震(1961)など幾多の被害地震に見舞われてきた地域であり(若杉・柳沢, 1985), 最近の研究から地震活動の空白域としても注目されている(石川, 1994)。本観測はこのような地域での地殻変動を検出することを目的として開始した。ここでは、観測の概要を説明し、観測結果について述べる。

観測点

観測点は弥彦地殻変動観測所(岩室村間瀬)を基点とし、新潟県中部地域を取り囲むように長岡市、刈羽村に設置した。観測点配置図を図1に示す。弥彦観測所では屋上に塩ビ管コンクリート柱を、他の2点ではヒューム管コンクリート柱を設置した。GPS観測に限らず測量においては基準点が地殻の変動を反映するようにしっかりと地面に固定されていることが重要である。そのため、観測所屋上においては屋上とコンクリート柱に鉄管を通し、他の2点では80cm程度地面にコンクリート柱を埋め込むことにより基準点の固定を行った。刈羽・長岡観測点については観

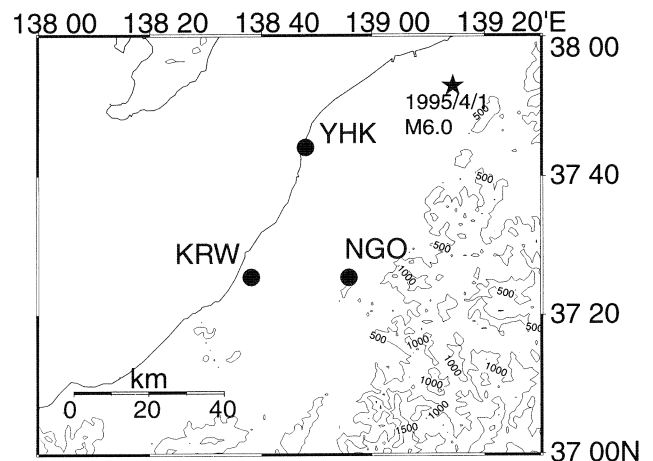


図1. GPS観測点配置図。丸印はGPS観測点を、星印は1995年4月1日に発生したM6.0の地震の震央の位置(気象庁, 1995)を示す。

測していないときには蓋をし、鍵をかけておくこととした。図2にアンテナ固定柱の図を示す。以下に各観測点について説明する。各観測点の緯度経度を表1に示す。

1) 弥彦観測点(YHK)

弥彦山塊の西麓、日本海に面した海岸より約300mの場所に弥彦地殻変動観測所庁舎がある。敷地は東側半分は傾斜地を削り、西側半分は整地のための盛り土である。そのため、東側は凝灰岩地層をくりぬき基礎ベースを打ち、西側は盛り土に基礎を打った2階建て庁舎の屋上に塩ビ管コンクリート柱の固定点を設置した(図3)。

2) 長岡観測点(NGO)

長岡駅東方の成願寺温泉を經由して森立峠から右に入り、約3kmの所にいこいの森・八方台休暇センターがある。その敷地内の三角点の南約1.5mにヒューム管コンクリート柱を設置した(図4)。

1999年4月23日受付, 1999年11月5日受理。

* 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター弥彦地殻変動観測所。

** 地震地殻変動観測センター。

* Yahiko Observatory,

** Observation Center of Earthquake, Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

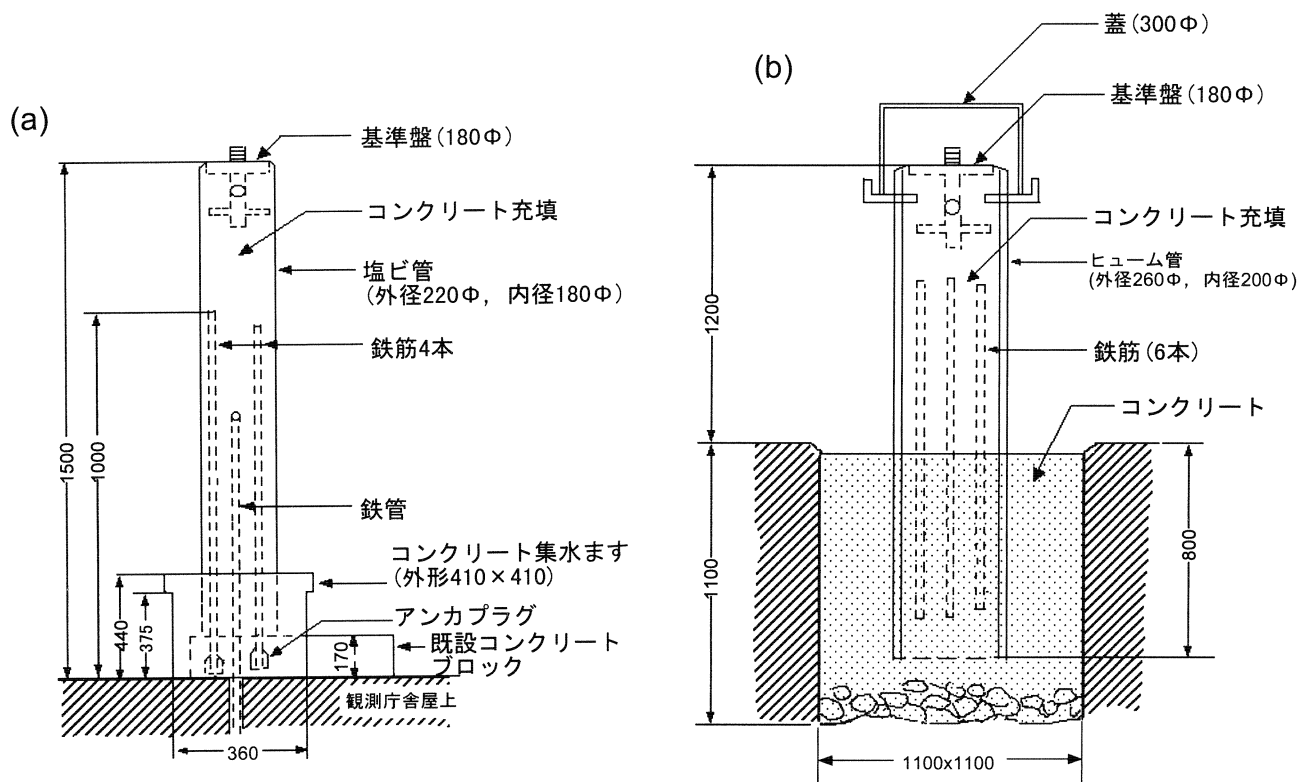


図 2. GSP アンテナ固定柱実測図

(a) 弥彦観測所に設置した塩ビ管コンクリート柱, (b) 刈羽, 長岡観測点に設置したヒューム管コンクリート柱.

表 1. 観測点の緯度経度 (WGS84) および所在地

	所在地	緯度(度分秒)	経度(度分秒)	標高(m)
弥彦(YHK)	新潟県西蒲原郡岩室村大字間瀬	37 44 7	138 47 57	30
長岡 (NGO)	長岡市成願寺 2066 番地	37 25 26	138 55 46	567
刈羽(KRW)	刈羽郡刈羽村西谷の畑	37 25 28	138 38 9	25.5



図 3. 弥彦地殻変動観測所庁舎屋上のアンテナ固定柱

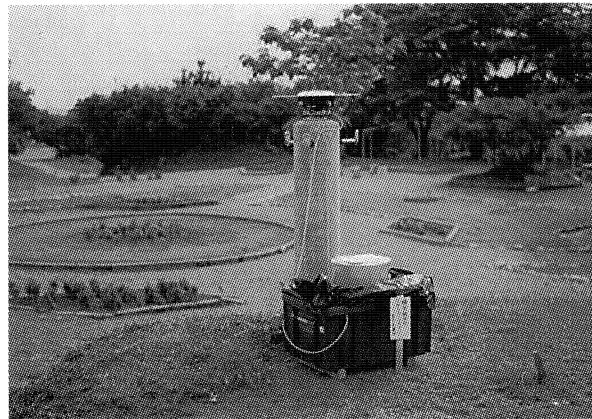


図 4. 長岡観測点のアンテナ固定柱. 緑色のコンテナには GSP 受信機, バッテリーが入っている.



図 5. 刈羽観測点のアンテナ固定柱

3) 刈羽観測点 (KRW)

東京電力柏崎・刈羽原子力発電所の東方約 3.5 km の場所である。国道 116 号線から 1.5 km の東頸城丘陵北部に位置し、刈羽郡刈羽村西谷の畑地内にある三角点の西約 10 m にヒューム管コンクリート柱を設置した (図 5)。

G P S 観 測

観測は 3 台の GPS 受信機を用いて 3 観測点同時に行った。弥彦観測所以外ではバッテリーを電源として使用した。GPS 受信機とバッテリーはコンテナに入れて観測を行った (図 4, 5)。データはパソコンを現場に持ち込み収録した。表 2 に使用した受信機を示す。本観測の開始時に弥彦観測所では、Trimble 4000 SD による連続観測が行われ

ていた。本観測でもそのまま連続観測に用いられている受信機を使用した。

1993 年の観測では Trimble 4000 SST 2 台のうち 1 台が不調であったため、他の 1 台を順に刈羽・長岡観測点に設置した。そのため弥彦観測点を基点に刈羽・長岡の 2 測線による観測となった。したがって、この年の刈羽—長岡測線は欠測である。1995 年 4 月の観測は、同じ年の 4 月 1 日に発生した新潟県北部地震の影響を調査するために臨時に観測を行ったものである。

観測時間は初期においては 1 日 7 時間から 12 時間の観測を行っていたが、1995 年からは 12 時間のセッションを 1 日 2 回観測し、ほぼ 24 時間観測を行うようになった。表 3 に各年の観測時間を示す。

解析および基線長変化

解析は観測終了後直ちに弥彦観測所において行った。1992, 1993 年は Trimble 社の基線解析ソフトウェア Trimvec を、1994 年以降は同社の GPSurvey を用いた。解析には放送暦を使用し、大気伝播遅延量は推定せず標準大気を仮定した。

各年の観測の基線長についての平均値を図 6 に示す。エラーバーは標準偏差を示している。初期の 1992 年, 1993 年については 5~10 mm と大きい。1994 年以降は 1 mm 以下であり、良好な観測結果といえる。1992 年, 1993 年は Trimble 4000 SD が弥彦観測所において使用された。この機種は Trimble 4000 SST や Trimble 4000 SSE とは異なり、搬送波 L2 を 1 波長でカウントせずに、2 分の 1 波長でカウントする (コードレス受信機)。このデータ取得の違

表 2. 観測に用いた受信機

	弥彦(YHK)	長岡(NGO)	刈羽(KRW)
1992 年 7 月 11~14 日	Trimble 4000SD	Trimble 4000SST	Trimble 4000SST
1993 年 7 月 4~8 日	Trimble 4000SD	Trimble 4000SST	Trimble 4000SST
1994 年 6 月 21 日~7 月 1 日	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE
1995 年 4 月 17~19 日	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE
1995 年 6 月 28 日~7 月 1 日	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE
1996 年 6 月 23~26 日	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE
1997 年 6 月 20~26 日	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE	Trimble 4000SSE

表 3. 各観測時期のセッション長

	セッション長
1992 年 7 月 11~14 日	1 日 7 時間 (1 日毎に 4 分ずつ開始時を早めた*)
1993 年 7 月 4~8 日	1 日 12 時間 (1 日毎に 4 分ずつ開始時を早めた*)
1994 年 6 月 21 日~7 月 1 日	1 日 12 時間 (1 日毎に 4 分ずつ開始時を早めた*)
1995 年 4 月 17~19 日	1 日 11 時間 59 分のセッションを 2 回観測した。
1995 年 6 月 28 日~7 月 1 日	1 日 11 時間 59 分と 10 時間 59 分のセッションを組んだ。
1996 年 6 月 23~26 日	1 日 11 時間 59 分のセッションを 2 回観測した。
1997 年 6 月 20~26 日	1 日 11 時間 59 分のセッションを 2 回観測した。

*同じ観測時期のセッション毎の衛星配置が同じになるように観測時間をずらした。

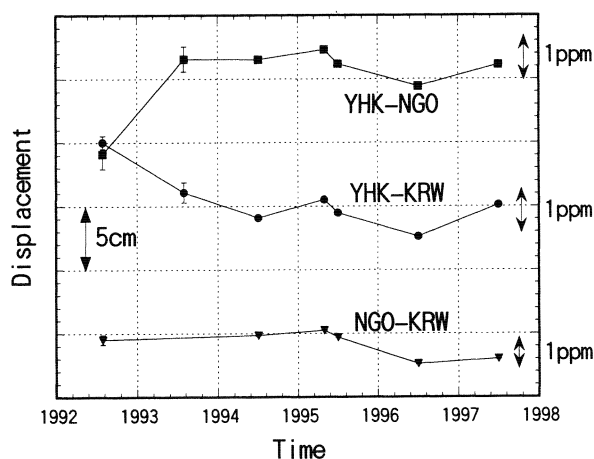


図 6. 1992 年から 1997 年までの各基線の基線長変化

いを一緒に解析したことが原因である可能性が大きい。

1995 年 4 月 1 日に M6.0 の地震が発生し、人や家屋などに被害があった(若杉, 1996)。酒井ほか(1995)はこの地震の余震観測を行い、精密な余震分布を求めた。それによると余震は沖積層の底部に発生し、北北西に向かって浅くなっている。気象庁地震予知情報課(1995)が求めたメカニズム解を使用し、地震時の各 GPS 観測点における変位を Okada(1985)の解析解を用いて計算した。それによると各 GPS 観測点とも変位は 1mm 以下であった。地震発生前の観測が約 10 ヶ月前なので経年変化と地震に伴う地殻変動の分離ができないが、地震に伴う地殻変動は数 mm かそれ以下であり、計算値と矛盾しない。

3 観測点において同一機種を使用した 1994 年以降のデータについてみると、弥彦-長岡、弥彦-刈羽基線は 1996 年に縮みの変化が観測されているが、1997 年には 1995 年の状態まで戻っている。それに対し、長岡-刈羽基線では 1997 年は 1995 年の状態までは回復せず以前(1994

年)に比べると縮んでいる状態である。1996 年頃に地震活動の変化は認められない。1994 年と 1997 年のデータを使って主歪を求めると $E1=5.1 \times 10^{-7}$, $E2=-7.1 \times 10^{-7}$, $E1$ の方向は $N11.5^\circ W$ であった。現在、国土地理院のホームページで公開されている最近 10 年間の本観測地域の地殻水平歪によると、同地域は全体として縮み場であることがわかる。本観測によって求めた歪場と比べると主軸の方向はほぼ東西南北を向き、東西方向が縮んでいることと面積歪が縮みであることは一致している。

ま と め

新潟県中部地域において 3 点の GPS 観測点を 1992 年に設置し、年 1~2 回観測を実施した。はじめの 2 回は異機種が混在していたため、その後と比べると解析結果の精度は悪いが、1994 年以降は 1mm 程度の短期再現性が得られた。主歪の解析から、東西圧縮、南北伸長であり、圧縮が卓越していることがわかった。

謝 辞: 加藤照之助教授には観測点設置から解析にいたるまでご指導いただきました。記して感謝いたします。

文 献

- 石川有三, 1994, 残された空白域, 月刊海洋, 号外 No. 7, 102-107.
- 気象庁地震予知情報課, 1995, 新潟県北部の地震(1995 年 4 月 1 日, M6.0), 地震予知連絡会会報, 54, 111-117.
- Okada, Y., 1985, Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull Seism. Soc. Am.*, 75, 1135-1154.
- 酒井慎一・橋本信一・小林 勝・酒井 要・羽田敏夫・ト部 卓・東田進也, 1995, 1995 年新潟県北部地震の余震分布, 月刊地球, 17, 779-783.
- 若杉忠雄・柳沢道夫, 1985, 間瀬・弥彦地殻変動観測所とその周辺における観測(1952 年~1983 年)—観測データ種目と永年傾斜変化—, 地震研究所彙報, 60, 105-134.
- 若杉忠雄, 1996, 1995 年新潟県北部地震の被害調査, 技術研究報告, 1, 72-77.