

ILC 北上候補サイト周辺の高感度地震観測網 Hi-net に併設された高感度加速度計による地盤変動の把握について

A STUDY OF UNDERGROUND BEHAVIOR AROUND THE KITAKAMI CANDIDATE SITE FOR THE ILC WITH GROUND TILT DATA AT THE HIGH SENSITIVITY SEISMOGRAPH NETWORK (HI-NET) STATIONS

吉岡正和 ^{A)}, 山下了 ^{B)}, 佐貫智行 ^{A)}, 汐見勝彦 ^{C)}, 関根一郎^{#D)}

Masakazu Yoshioka ^{A)}, Satoru Yamashita ^{B)}, Tomoyuki Sanuki ^{A)}, Katsuhiko Shiomi ^{C)}, Ichiro Sekine ^{#D)}

^{A)} Department of Physics, Tohoku University

^{B)} International Center for Elementary Particle Physics, the University of Tokyo

^{C)} National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

^{D)} Toda Corporation

Abstract

It is important to study the nature of underground deformations due to seismic forces in order to do the civil engineering of the ILC accelerator tunnel and detector hall. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) has installed a network of high sensitivity seismographs (Hi-net), consisting of 800 stations in a 20km mesh spacing covering the Japan Islands. At each station, a tiltmeter is installed in a borehole at a depth of at least 100 m. We can derive the tilting effect on ground motion from the data. By using these Hi-net tilt data, we studied the underground deformation centered on the Kitakami candidate site during three month period before and after the Tohoku Earthquake (on the Pacific coast) in March 11, 2011. We have confirmed that the data were highly accurate in monitoring the normal earth tidal movements and we were able to study transient and permanent deformations due to the earthquake.

1. はじめに

国際リニアコライダー (International Linear Collider; 以後 ILC と書く) の施設を計画するに当たり、地下の地盤変動がどの程度かを把握することが重要である。地上の変位は、国土地理院による GNSS の観測データがあり、東北地方太平洋沖地震前後のデータが整備されているが、地下の地盤変動がどのようになっているかについては、データが極めて乏しい状況にある。

防災科学技術研究所は、高感度地震観測網 (Hi-net) を全国約 800 箇所に 20km メッシュで整備した。北上サイト候補地周辺にも Figure 1 に示すように観測点があり、そこには地下 100m に地震計を設置している。地震計には傾斜データを得られる高感度加速度計が併設されており^[1]、そのデータから東北地方太平洋沖地震前と後の 3 か月間の地盤変動を調べた。その結果、地球潮汐を反映した精度の高いデータが得られ、地下の地盤変動について短期間ながら傾向が把握できたので報告する。

2. 北上サイト周辺の Hi-net 観測点

Figure 1 に北上サイト周辺の Hi-net の観測点の分布を示す。図中の赤線は ILC サイト候補地の概略の計画位置を示している。図に赤丸で示した観測点の概要を Table 1 に示す。東和観測点は人首花崗岩体、藤沢観測点は千厩花崗岩体に位置しており、いずれ

の観測点も地下約 100m に地震計を設置している。Figure 2 に地下に設置された地震計の構造を示す^[1]。高感度加速度計は観測装置の最底部に位置する。この高感度加速度計は、地中に設置される地震計の設置傾斜角を把握するために併設された装置であるが、地盤の傾斜を計測することも可能である。本発表では、高感度加速度計で得られた傾斜データについて前記 4 観測点を対象に分析した。

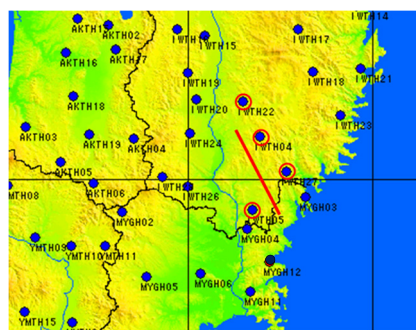


Figure 1: Location of the Hi-net stations. (Red line shows location of Kitakami ILC site.)

Table 1: Specification of the Hi-net Stations

| サイト候補地 | 観測点名 | 観測点番号 | 地表面標高 (m) | 地下地震計設置深度 (GL-m) | 設置深度の岩質 |
|--------|------|--------|-----------|------------------|---------|
| 北上サイト | 東和 | IWTH22 | 260 | 103 | 花崗岩 |
| | 住田 | IWTH04 | 620 | 109 | 安山岩 |
| | 藤沢 | IWTH05 | 120 | 103 | 花崗岩 |
| | 陸前高田 | IWTH27 | 80 | 103 | 凝灰岩 |

[#] ichiro.sekine@toda.co.jp

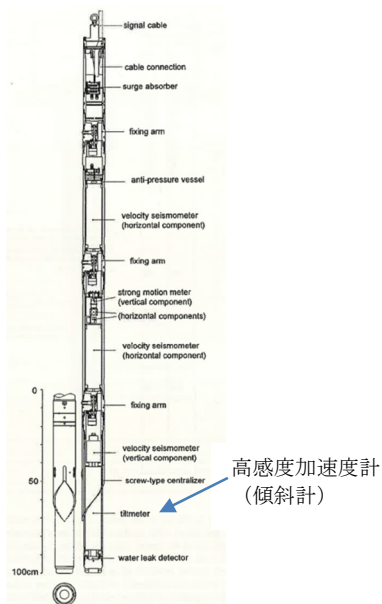


Figure 2: Sensor unit of Hi-net^[1]. Tiltmeter is installed at the bottom of the unit.

3. 高感度加速度計による傾斜データ

1) 東北地方太平洋沖地震前 (2010.12~2011.2)

東北地方太平洋沖地震前の3か月間の傾斜データを Figure 3 に示す。各観測点の傾斜角の差が大きく、変化はほとんど認められない。なお、図中、3日目と22日目に異常値が認められるのは停電の影響である。Figure 4 に南北、東西方向の座標において傾斜角の変化を示したが、このスケールでは変化は観察できない。

Hi-net 観測点の内、千厩花崗岩体に位置する藤沢観測点の地下100mに設置された高感度加速度計による傾斜角度変化を Figure 5 に示す。縦軸を拡大して表示すると地球潮汐を反映した傾斜の周期的な変化が確認できた。

Figure 6 は Figure 5 に示された3か月間の傾斜角変化を東西・南北座標に表示したもので、4観測点の結果を示した。人首花崗岩体に位置する(d)東和観測点の東西方向の変化が大きい。Figure 7 は東和観測点の傾斜角度の3か月間の経時変化を示したものである。東西方向には長期的な変動傾向が認められ、23日目までは東方向の傾斜が増大する傾向、23日目以降はその傾きが緩和する傾向にある。Figure 8 に示すように東和観測点の近傍にはダム湖(田瀬ダム)が存在しており、最も近接している個所で約500mしか離れていない。国土交通省の水文水質データベースによる同期間の田瀬ダムの貯水位変化を Figure 9 に示す。ダムの貯水位は分析対象とした3か月間で12m変化しており、貯水位と東西方向の傾斜変化は相関があることがわかる。したがって、東和観測点の傾斜変動はダム湖の水位変動の影響を考慮して考察しなければならない。

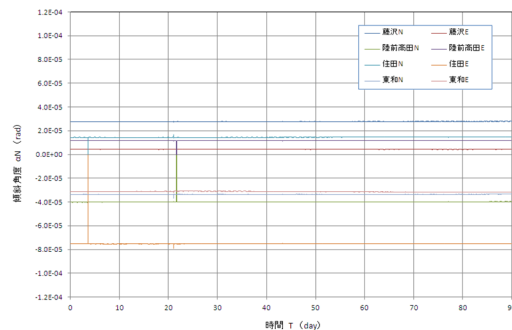


Figure 3: Time-dependent change of tilt at 4 sites during 3 month (December, 2010~February, 2011).

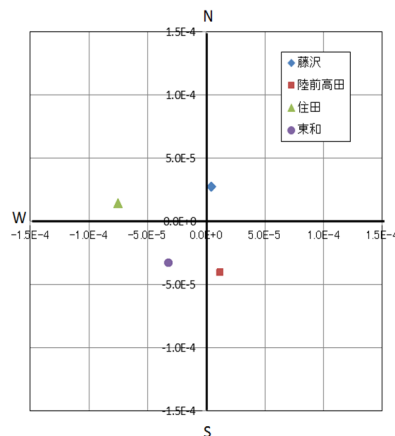
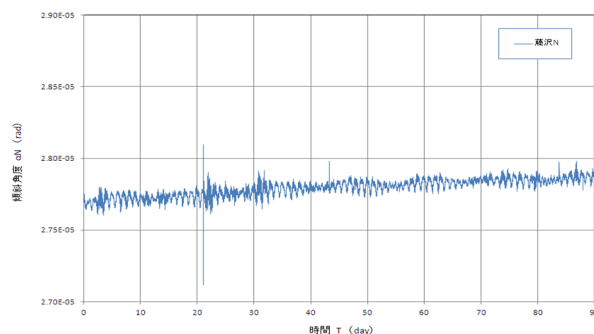
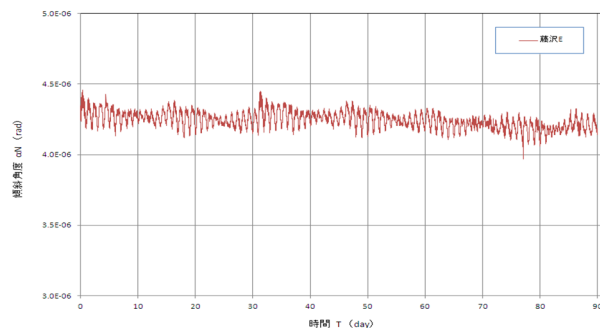


Figure 4: Vector diagram of tilt data at 4 sites during 3 month (December, 2010~February, 2011).

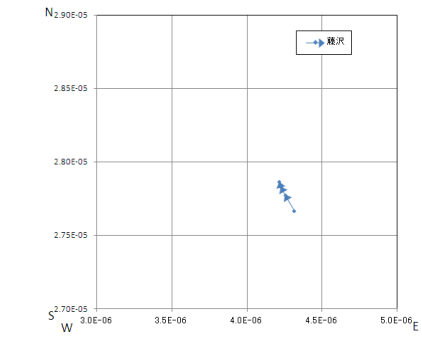


(a) North-South

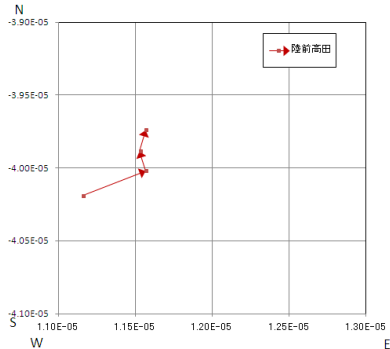


(b) East-West

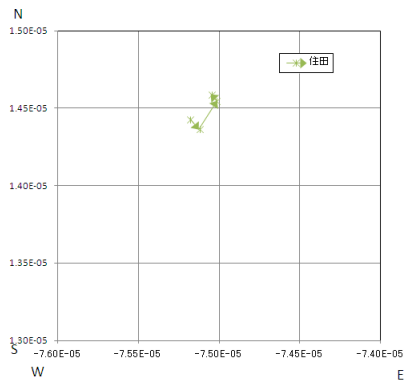
Figure 5: Tilt data at Fujisawa station (December, 2010~February, 2011).



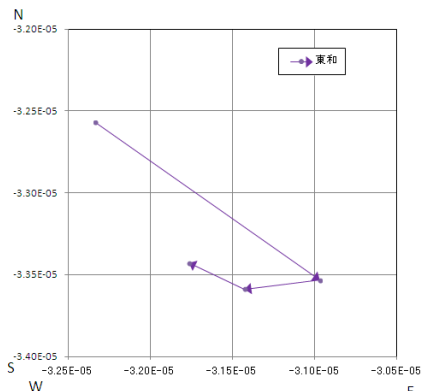
(a) Fujisawa station



(b) Rikuzentakata station

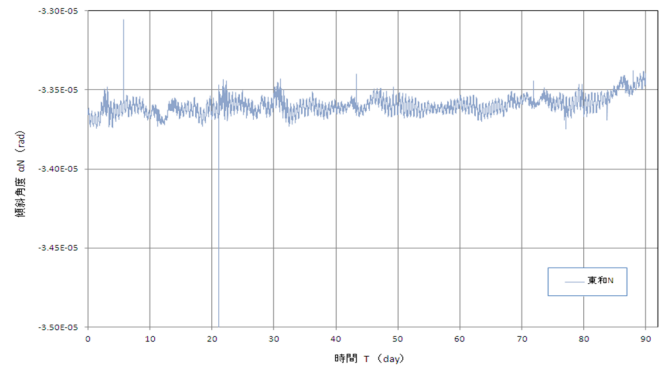


(c) Sumita station

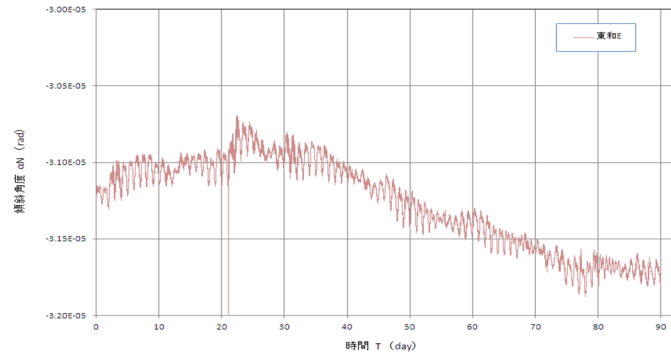


(d) Towa station

Figure 6 : Vector diagram of tilt data (December, 2010 ~ February, 2011).



(a) North-South



(b) East-West

Figure 7: Tilt data at Towa station (December, 2010~February, 2011).



Figure 8 Location of Towa station.

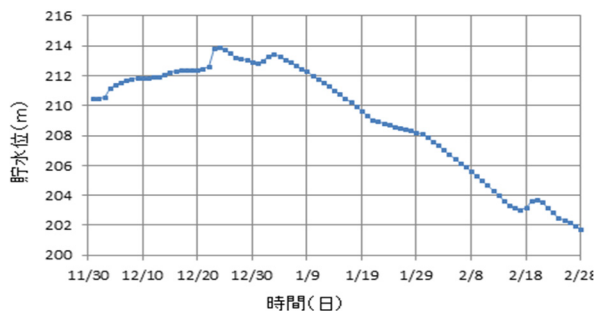


Figure 9: Pondage of Tase dam (December, 2010 ~ February, 2011. Water Information System by MLIT).

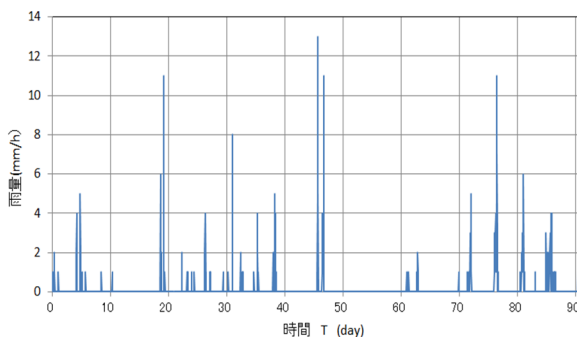
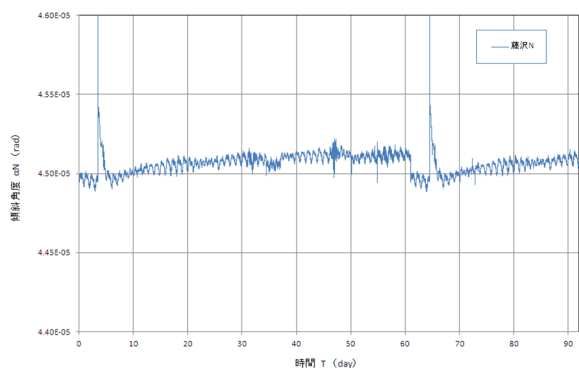


Figure 11: Rainfall per hour at Oohara rain-gauge station (Water Information System by MLIT).

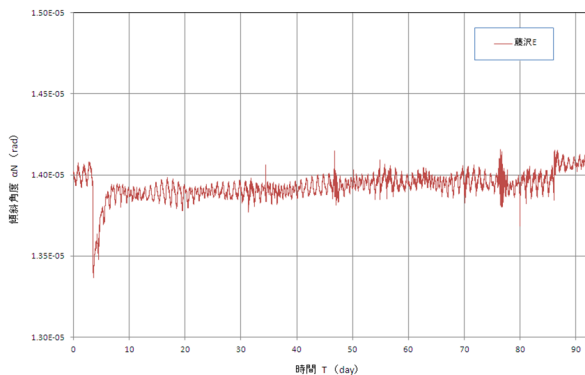
2) 東北地方太平洋沖地震後 (2013.8~2013.10)

東北地方太平洋沖地震後の3か月間の傾斜データの一例を Figure 10 に示す。図中4日目、65日目に大きく振れているのは地震の影響である。高感度加速度計の特性上、地震時の短周期かつ大振幅の揺れを適切に記録することは出来ず、装置が再び安定するまで時間を要するので、地震時およびその後数日間のデータは参考にしない。47日目、77日目には顕著な傾斜変化が認められるがこれは Figure 11 の雨量データとの比較から、激しい降雨の影響と考察される。

今回対象にした4観測点の3か月間の傾斜変化を Figure 12 に示した。各観測点の傾斜変動量は、東和観測点を除外すると、陸前高田観測点が比較的大きく北方向に傾斜変動しているのに対し、住田観測点、藤沢観測点は比較的小さな傾斜角動に収まっており、変動の方向も一定しないという結果が得られた。さらに長期的にデータを分析し、季節変動の影響などを調べる必要があると考えられる。

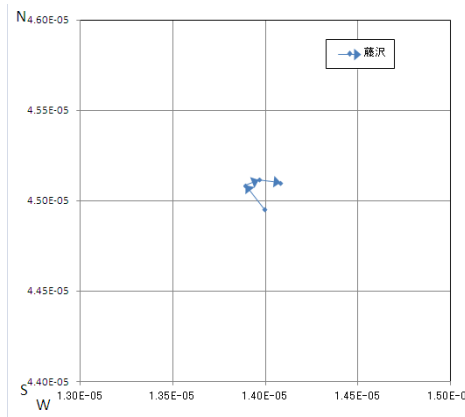


(a) North-South

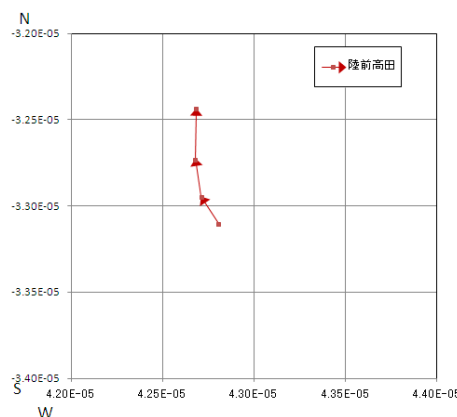


(b) East-West

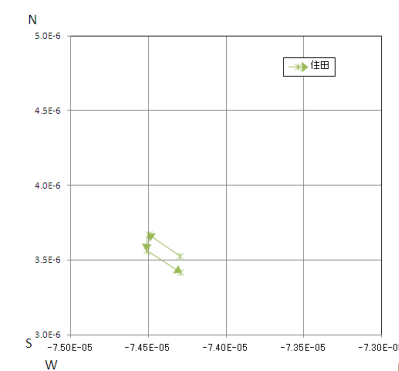
Figure 10: Tilt data at Fujisawa station (August, 2013~October, 2013).



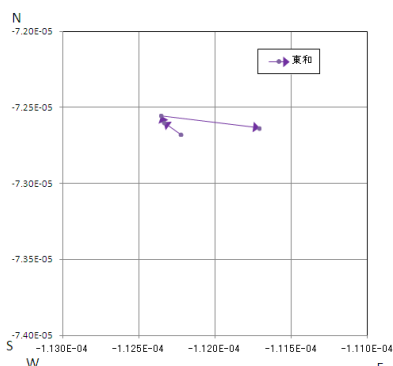
(a) Fujisawa station



(b) Rikuzentakata station



(c) Sumita station



(d) Towa station

Figure 12: Vector diagram of tilt data (August, 2013~October, 2013).

4. GNSS データによる地表変位との比較

Table 2 に 4 観測点の東北地方太平洋沖地震前後の 3 か月間の傾斜角度の最大変化量を示した。最大の傾斜角は 3 か月あたり 6.67×10^{-7} rad で、この角度変化は深度 100m のボーリング孔に対して孔口で 0.066 mm 水平に動く量に相当する。国土地理院の GNSS による同時期の地表移動量は Figure 13 に一例を示すように 3 か月あたり約 30mm であり、それに比較して十分小さい量であると言える。

Table 2: Maximum ground tilt during three months before and after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

| 期間 | 傾斜方向 | 最大傾斜角 (rad) | | | |
|--------------------|------|-------------|----------|----------|----------|
| | | 藤沢 | 陸前高田 | 住田 | 東和 |
| 2010.12 ~2011.2 | N 方向 | 1.95E-7 | 4.51E-7 | 1.59E-7 | 2.68E-7 |
| | E 方向 | -9.73E-8 | 4.06E-7 | 1.33E-7 | -5.76E-7 |
| 2013.8 ~2013.10 | N 方向 | 1.48E-7 | 6.67E-7 | -1.10E-7 | 3.82E-8 |
| | E 方向 | 8.52E-8 | -1.24E-7 | 7.15E-9 | 5.13E-7 |

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震前の 3 か月及び地震から約 2 年半経過後の 2013 年 8~10 月の北上サイト周辺の傾斜観測データを取りまとめた結果、以下のことが

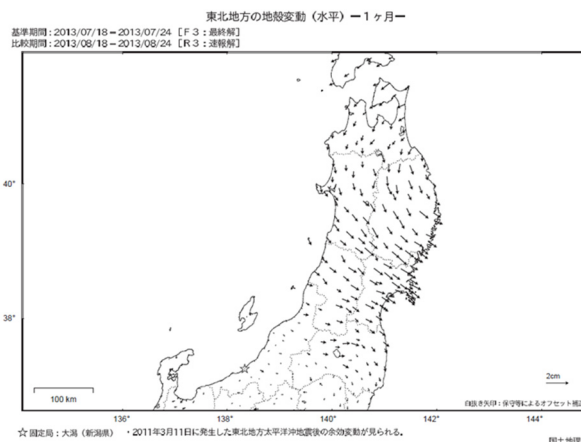


Figure 13: Surface deformation observed at GNSS stations (by GSI).

明らかになった。

- ① Hi-net 観測点における傾斜データは、地球潮汐の影響を反映している他、台風などによる風雨による地盤の振動なども捉えており、精度のよい長期観測データと言える。
- ② 東和観測点の東西方向の傾斜変動は、近傍ダム湖の貯水量の影響を受ける。このデータを除外すると、傾斜角変動量は陸前高田が比較的大きく、北方向に変動している。藤沢観測点、住田観測点の傾斜角変動量は比較的小さく、この傾向は東北地方太平洋沖地震前後の 3 か月で大きな違いはない。
- ③ 東北地方太平洋沖地震前の 3 か月あたりの最大の傾斜角変化量は 4.507×10^{-7} rad、地震後の 2013 年 8~10 月の最大の傾斜角は 3 か月あたり 6.67×10^{-7} rad であった。この角度変化は国土地理院の GNSS による同時期の地表移動量に比較して十分小さい量である。
- ④ 傾斜データは季節変動があることも考えられる。さらに長期の分析を行うことによって、サイト周辺の長期的な地盤変動を明らかにできると考えられる。

Hi-net は阪神・淡路大震災の後整備され、長期的な維持管理、データの収録が行われている。ILC 候補サイト周辺の地盤変動の基礎的なデータとして活用することが期待される。

参考文献

- [1] Kazushige Obara, Keiji Kasahara, Sadaki Hori, and Yoshimitsu Okada: A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Review of Scientific Instruments 76, 021301, 2005.