

弥彦地殻変動観測所の歴史と変遷

芹澤正人*†・増田正孝*・新谷昌人**

History and Transition of Yahiko Crustal Movement Observatory

Masato SERIZAWA*†, Masataka MASUDA* and Akito ARAYA**

はじめに

弥彦地殻変動観測所(図1)は日本海に面した新潟県新潟市西蒲区間瀬地区の高台、弥彦山の麓にあり、横穴の観測坑を持つ地殻変動観測を主目的とした観測所である(図2および図3。国土地理院ウェブサイトより加工して使用)。以前は2階建ての庁舎があったが2017年に取り壊され、本稿執筆時(2020年11月)は観測坑およびその前部に建屋を残すだけとなっている。これらの施設についても2020年度を目途に撤収・解体し、半世紀を超える歴史に幕を下ろすこととなった。本文では観測所の歴史および弥彦で観測された地殻変動について報告する。



図 1. 観測坑方向から観測所庁舎を望む

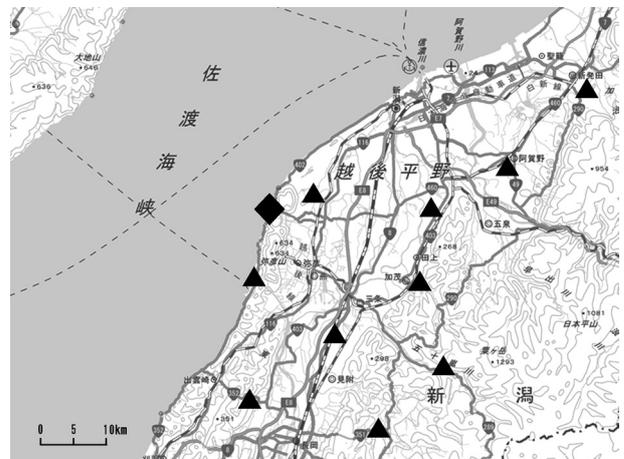


図 2. 観測所広域地図(◆: 弥彦地殻変動観測所, ▲: 国土地理院電子基準点)



図 3. 観測所周辺拡大図(▲: 観測所庁舎, ★: 観測坑, ◆: 間瀬観測所跡)

2020年12月8日受付, 2021年1月7日受理.

† serizawa@eri.u-tokyo.ac.jp

* 東京大学地震研究所技術部総合観測室

** 東京大学地震研究所観測開発基盤センター

* Technical Supporting Section for Observational Research, Technical Division, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

** Center for Geophysical Observation and Instrumentation, Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

略 歴

観測所の前身は1952年に採石坑跡を利用して開設された間瀬地殻変動観測所で、1964年6月16日に発生した新潟地震(M7.5)では貴重なデータを得られた模様である。この成果などを元に第1次地震予知(研究)計画の一環として1967年5月、現在の地に開設された。なお間瀬地殻変動観測所は1971年に廃止されている(若杉・柳沢, 1985)。

観測所には若杉忠雄氏(退官時助手)が常勤していたが、1999年に退官して以降は無人観測所となった。それ以降も若杉氏は施設の保守と読み取り型水管傾斜計の観測を行っていた。

観測坑概要

観測坑(図4)は坑口(北緯37度44分15秒, 東経138度46分45.12秒)から南東の方向に約88m伸びており、そこから北東に37mの横坑とそれを結ぶ三角状の坑で構成されている。

観測坑平面および地質分布図を図5に示す(恒石(1967)を元に製図)。地質は主として玄武岩質凝灰角礫岩で、奥の一部では玄武岩岩脈に貫かれている。地盤は非常に安定しており、半世紀経った現在も坑壁に吹き付けられたモルタルにひび割れは見られず、漏水もほとんどない。

約100m離れた庁舎と観測坑は信号ケーブルで結ばれ、坑内で観測した地殻変動データは庁舎に設置した収録



図4. 観測坑前建屋

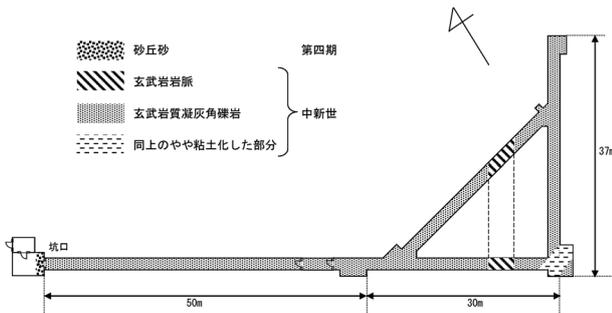


図5. 観測坑平面および地質分布図

装置に送られるようになっていたが、庁舎取り壊し後は観測坑前建屋内に収録装置を移設している(図6)。

観測内容

坑内の観測計器配置図は図7のとおりである。傾斜計は1967年の開所当時はN28EとN118E方向に設置した目視



図6. 観測坑前建屋計測室。庁舎解体後は左のラック内にテレメータ装置, 中央机上にロガーおよび通信モデムを並べた。

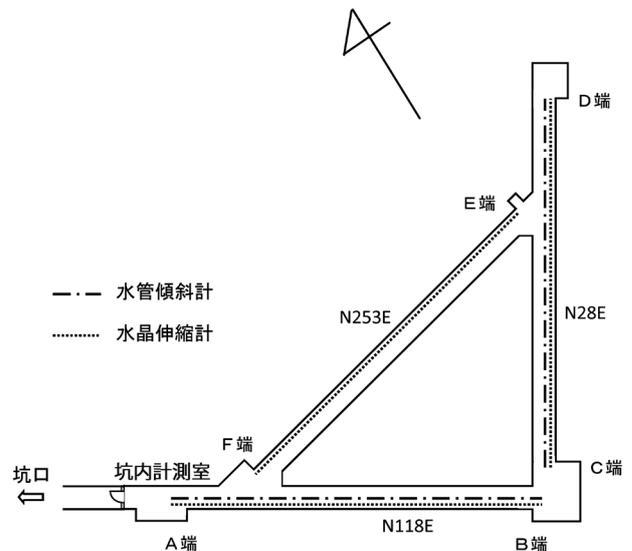


図7. 坑内観測計器配置図

による読み取り型水管傾斜計だけであったが、1976年には磁気センサーを使ったフロート型との並行観測が開始された(図8)。1990年3月からは渦電流センサーを使った震研90型も稼働を開始している。このほかに1972年6月頃までボアホール型の傾斜計も試験運用されていた。

伸縮計の変位センサーについては1973年3月までは差動トランス、それ以降は磁気センサーを用いており、1991年7月からは渦電流センサーに変更されている。

2013年時点での自動計測を行っていた観測と感度は表1のとおりである。

なお1983年までの観測内容については若杉・柳沢(1985)も参照されたい。

観測データについては2014年10月6日より全国地震観測データ流通ネットワーク(JDXnet)経由でリアルタイムに北海道大学の地殻変動データベースシステム(山口ほか, 2010)に送られるようになり、国内外の研究者に提供されている。

付随する観測として坑外で気圧・雨量も計測している。地殻変動以外では坑内に地震計が設置され、常設の微小地震観測点として利用されていた。

弥彦で観測された地殻変動データ

傾斜計が示す長期変動については読み取り型水管傾斜計による傾斜が最も安定していた。これはフロート型や90型水管傾斜計ではある程度、調整や故障による保守等が必要でデータの欠測期間があるのに対し、読み取り型水管傾斜計が最もシンプルな構造であるためあまり保守を必要としていなかったためと思われる。

図9に1967年6月から2019年12月までの読み取り型水管傾斜計による傾斜(月平均)を示す。N118E成分は顕著な変動が見られるため、指数関数でフィットしたところ、時定数は7.7年と求められた。N118E成分は観測坑の長穴の方向なので、掘削後の応力開放による傾斜を反映してい



図8. 坑内計測室を坑口方向から撮影。中央の台には手前が読み取り式水管傾斜計、奥のガラス容器が磁気センサーを使用した水管傾斜計、右手前の台上には渦電流センサーを使った震研90型水管傾斜計の観測用ポッドが載っており並行観測している。伸縮計は外気の影響を避けるため発泡スチロールで覆われている。

ると考えられ、その影響が30年以上続いたことがわかる。

図10では傾斜の移動平均値に基づく傾斜ベクトル図を示した。観測当初より1990年頃まで掘削方向である北西方向への傾斜が続き1991年頃から傾斜方向が変化し掘削方向への小さな揺らぎを伴いながら北方向への傾斜となった。

図11に表示期間を拡大したベクトル傾斜図を示した。図中のドットがある月の12か月移動平均値を示している。年のラベルはその年の1月の値を示している。2004年10月23日には弥彦観測所より南方約50kmの地点を震源と

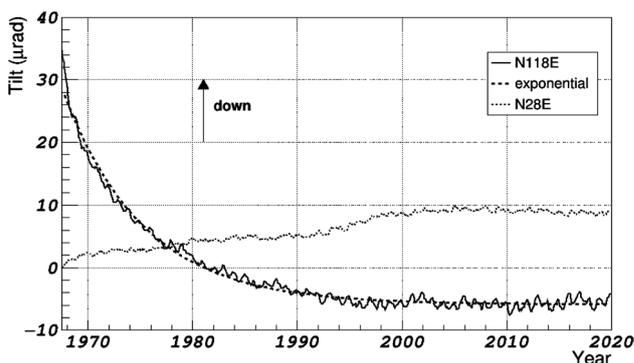


図9. 弥彦観測坑の読み取り型水管傾斜計による累積変化。N118E, N28Eの2成分について1967年6月から2019年12月までの月平均値を示している。2成分ともに各方位のダウンで値が正となる。また、N118E成分を指数関数でフィットした曲線も図示した。

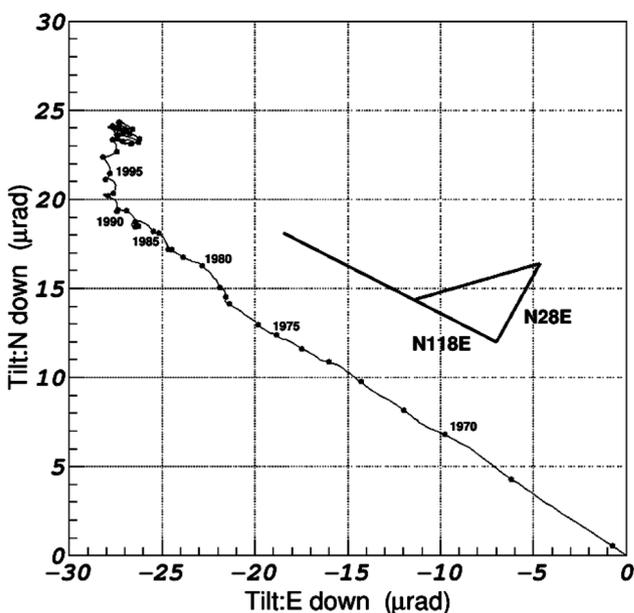
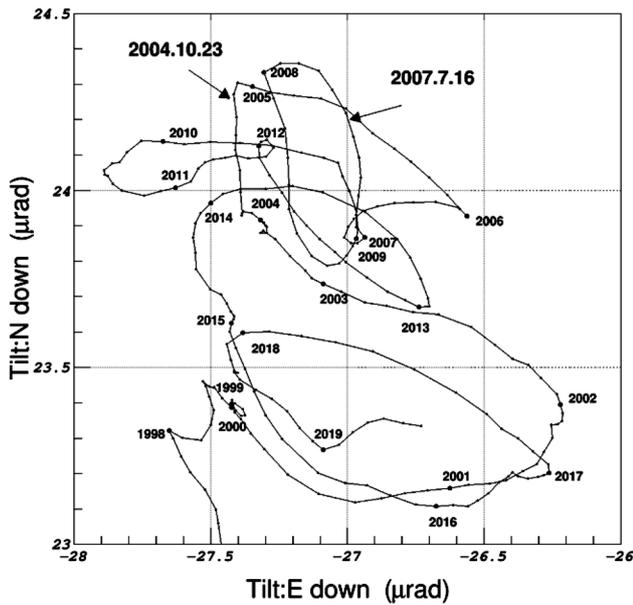


図10. 弥彦観測坑における傾斜ベクトル。1967年から2019年までの12か月移動平均値(前年の7月からその年の6月までの平均値)を示した。例えば1970と記された点は、1969年7月から1970年6月までの平均値を示している。横軸は東がダウンで正、縦軸は北がダウンで正となる。また弥彦観測坑の水管傾斜計の方位も示した。N118Eが観測坑の長穴(92.65m)の方位となり、N28Eがそれに直行する穴(38.0m)の方位となる。図中の点は1年ごとの値を示している。



する新潟県中越地震，2007年7月16日には弥彦観測所から南西約27kmの地点を震源とする新潟県中越沖地震が発生しており，その時点を矢印で示した．傾斜の変化と地震の関係は定かではない．

むすびに代えて（弥彦観測所閉所に際して）

第1次地震予知（研究）計画においては，本施設のような前兆的な地殻変動現象を捉えることを目的とした地殻変動観測網が全国的に展開された．だが弥彦からも比較的

図 11. 弥彦観測坑における傾斜ベクトル拡大図．1998年から2019年までの12か月移動平均値を月ごとに示した．横軸は東がダウンで正，縦軸は北がダウンで正となる．図中の点はひと月ごとの値（中央値）を示している．また，西暦を示すラベルはその年の1月の値を示した．また，中越地震（2004年10月23日）および中越沖地震（2007年7月16日）を矢印で示した．

表 1. 2013年時点での自動計測および感度一覧．センサー種別の eddy は渦電流センサーを，Mg は磁気センサーを表す．感度は2013年2月に検定した値．

成分	感度	センサー種別・観測長
ロガー1(白山工業製LS-3300PtV)		
伸縮計AB	1701 mV/ μ str	eddy・30m
伸縮計CD	1715 mV/ μ str	''
伸縮計EF	1071 mV/ μ str	''
水管傾斜計(N28E)	5441 mV/ μ rad	Mg・30m
水管傾斜計(N118E)	5592 mV/ μ rad	''
気圧	79.612 hPa/V	
伸縮計AB	395 mV/ μ rad	eddy・28m
伸縮計EF	1802 mV/ μ rad	eddy・29m
ロガー2(白山工業製LS-3300PtV)		
水管傾斜計A端	849 mV/ μ rad	eddy・30m
水管傾斜計B端	799 mV/ μ rad	''
水管傾斜計C端	861 mV/ μ rad	''
水管傾斜計D端	803 mV/ μ rad	''
水管傾斜計A-B	1648 mV/ μ rad	''
水管傾斜計C-D	1664 mV/ μ rad	''
ロガー3(白山工業製LS-2000R)		
伸縮計AB	3402 mV/ μ str	eddy・30m
伸縮計CD	3429 mV/ μ str	''
伸縮計EF	2142 mV/ μ str	''
水管傾斜計 B-A	10882 mV/ μ rad	Mg・30m
水管傾斜計 D-C	11184 mV/ μ rad	''
気圧	79.612 hPa/V	
ロガー4(白山工業製LF-2000R)		
水管傾斜計A端	1698 mV/ μ rad	eddy・30m
水管傾斜計B端	1598 mV/ μ rad	''
水管傾斜計C端	1722 mV/ μ rad	''
水管傾斜計D端	1606 mV/ μ rad	''
水管傾斜計A-B	6592 mV/ μ rad	''
水管傾斜計C-D	6656 mV/ μ rad	''

い地域で発生した2004年新潟県中越地震(M6.8, 震央は弥彦の南約50km)や2007年新潟県中越沖地震(M6.8, 震央は弥彦の南西約27km)では, 前兆的な地殻変動と呼べる現象は捉えることが出来なかった。その一方で, 1983年の日本海中部地震の際には津波による地殻変動が水管傾斜計および水晶管伸縮計で明瞭にとらえられており, その際, セイシュと呼ばれる海面の共鳴が通常と異なった周期で励起されたことが観測されるなど(柳沢・若杉, 1984), 発震後の変動は比較的鋭敏に捉えられている。

しかしながら近年はGNSSやSARなど宇宙測地技術が発達し, 多数のデータを用いて面的に解析する手法に地殻変動観測の主流が移りつつある。他の地域においては従来の物理的観測も活躍する場面はあると考えているが, 弥彦観測所については一定の役割は果たしたとの結論が出され, 観測を終了するので本稿を遺すこととした。

謝 辞: 本稿執筆にあたっては若杉忠雄元助手の地震研究所談話会発表原稿および地震研究所彙報第60巻に掲載された「間瀬・弥彦地殻変動観測所とその周辺における観測(1952~1983年)」を参考に1990年代から現在にかけての観測を加えて構成しました。若杉氏には50年以上に渡

り弥彦の地殻変動観測を続けられ, 貴重なデータをご提供いただきました。富士川地殻変動観測所元職員の渡辺茂氏には在職中から観測データの解析とグラフ化にご協力いただきました。また技術研究報告編集委員会には有益なご指摘を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

文 献

- 国土地理院ウェブサイト, <https://maps.gsi.go.jp/>, (参照2020-11-28).
- 恒石幸正, 1967, 弥彦地殻変動観測所観測坑地質図(1967.2.22調査).
- 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター, 2016, 弥彦地殻変動観測所における傾斜観測(1967-2015), 地震予知連絡会会報96巻, 282-284.
- 東京大学地震研究所地震地殻変動観測センター, 2017, 弥彦地殻変動観測所における傾斜観測(1967-2016), 地震予知連絡会会報98巻, 284.
- 山口照寛・笠原 稔・高橋浩晃・岡山宗夫・高田真秀・一柳昌義, 2010, 測地学会誌, 地殻変動データベースシステムの開発, 第56巻, 47-57頁.
- 柳沢道夫・若杉忠雄, 1984, 弥彦において観測された日本海中部地震津波による地殻の傾斜・伸縮, 測地学会誌, 30巻, 204-212.
- 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(1952~1983年): 観測データ種目と永年傾斜変化, 東京大学地震研究所彙報第60巻, 105-134.