

## 相馬験潮場の再建 Reconstruction of Soma tide station, Fukushima Prefecture, Japan

測地観測センター 佐藤雄大・田邊壽男・中野博美  
Geodetic Observation Center  
Yudai SATO, Toshio TANABE and Hiromi NAKANO

### 要旨

福島県相馬港に昭和48年(1973)に開設された相馬験潮場は、長期にわたり潮位の連続観測を行ってきたことで、土地の高さの基準を与える役割を果たすとともに、その潮位データは防災、研究等の分野にも用いられてきた。しかし、相馬港は「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」により大きな被害を受け、特に襲来した巨大津波によって相馬験潮場は潮位観測設備を含む建屋全てが流失した。その後、国土地理院では潮位観測を速やかに再開すべく福島県相馬港検潮所において潮位観測装置を設置し、臨時的な潮位観測を開始した。その一方で相馬験潮場を再建するための準備を進め、平成26年11月に建屋が完成し、翌12月から試験観測を開始した。新しい相馬験潮場は、従前と比べ装置、電源及び通信が強化されており、災害時においても安定した観測及びデータ通信を行うことができる。

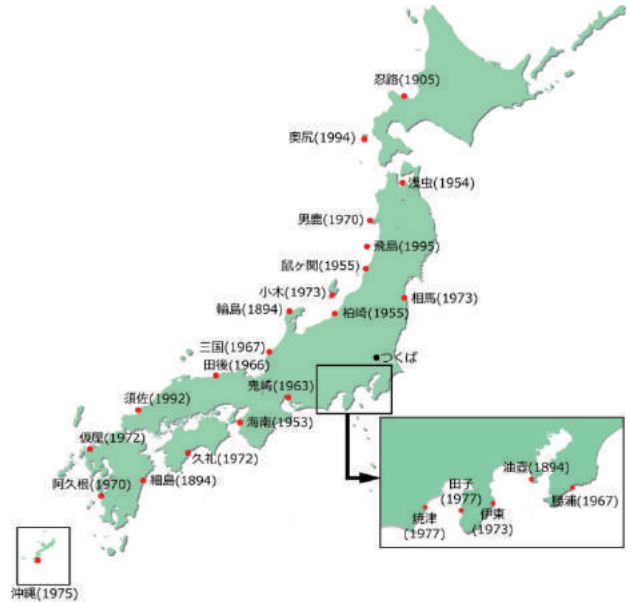


図-1 全国の験潮場位置図(括弧内は開設年)

### 1. はじめに

国土地理院の験潮場(以下「験潮場」という.)は、明治24年(1891)に最初の験潮場が建設されてから現在に至るまで25箇所に設置され、長期にわたって各地の潮位を記録し続けてきた(図-1)。現在、国土地理院が潮位観測を行っている験潮場の中には、北海道の忍路験潮場、神奈川県油壺験潮場、石川県の輪島験潮場、宮崎県の細島験潮場といった100年を超える観測の歴史を有するものもある。験潮場は、これまで高さの基準を与えるためや地殻変動を監視するために重要な役割を果たしてきたほか、近年では津波観測等の防災に関する情報(図-2)や津波、海水面変動等の研究(佐竹ほか, 2010; Sasaki et al., 2014; 津村, 1963)のためのデータ等を提供するといった役割も担っている。

相馬験潮場は、昭和48年(1973)に開設され、東北地方太平洋側の唯一の験潮場として約40年間潮位を観測し、水準測量に高さの基準を与えとともに地殻変動を監視するための日本周囲の海水面変動の監視に用いられてきた。しかし、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」(以下「東北地方太平洋沖地震」という。)に伴い発生した巨大津波により、験潮場の基盤であった堤防が破壊され、それとともに建屋及び潮位観測設備の全てが流失した。国土地理院

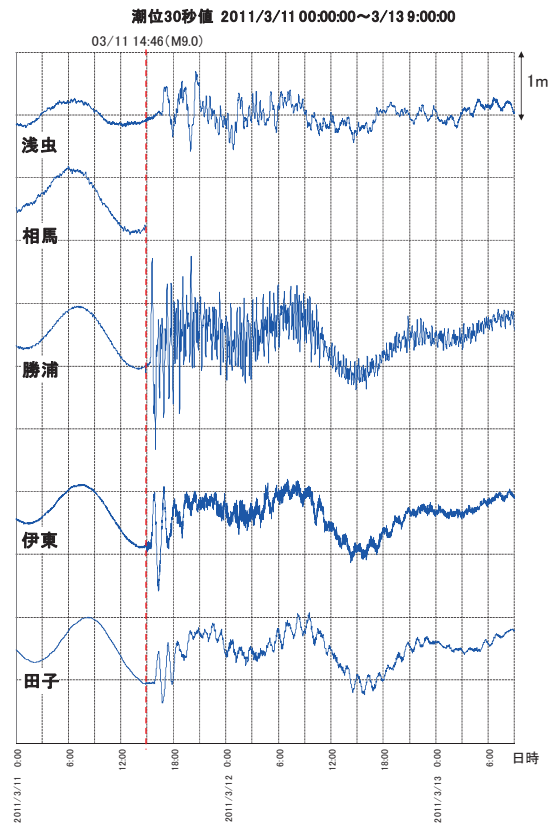


図-2 東北地方太平洋沖地震に伴う潮位データ

理院は相馬験潮場の再建を進めるとともに、再建までの間、福島県相馬港検潮所に観測機器を設置して臨時の潮位観測を実施している。本報告では、相馬験潮場のこれまでと再建された験潮場、そして今後の潮位観測について報告する。

2. 全国の験潮場と相馬験潮場

験潮場は、全国にバランスよく配置され、土地の高さの基準を与えることと地殻変動を監視することを目的として水準網を規正する役割を担ってきた。そのため、験潮場における潮位観測は、海面の上下変動を直接観測するのではなく、験潮場建屋内に地下水が流入しない井戸を設置し、導水管により海水を流入させることで、一旦井戸内に高周波成分を除去した海水面を生成し、その海水面の上下変動を観測している(図-3)。さらに、精度確保のために浮標を用いた潮位観測方式を採用しており、ミリメートル単位での観測を行っている。図-4は、験潮場とその最寄りに設置された防災を目的とした気象庁の検潮所の潮位観測結果の比較である。験潮場では高周波成分を除去した観測ができていることがわかる。また一方で、潮位観測のデータ処理についても高度化が進められ、平成7年(1995)には、全ての験潮場で潮位を1秒毎に測定し、リアルタイムで茨城県つくば市の国土地理院へ観測データを送信できるよう「験潮自動化集中管理システム」を改良した。さらに、験潮自動化集中管理システムでは、収集した1秒潮位データを30秒潮位、毎時潮位、満干潮位等の各種データに編集し、国土地理院のホームページ(<http://tide.gsi.go.jp/>)で提供している(大瀧ほか, 2000)。

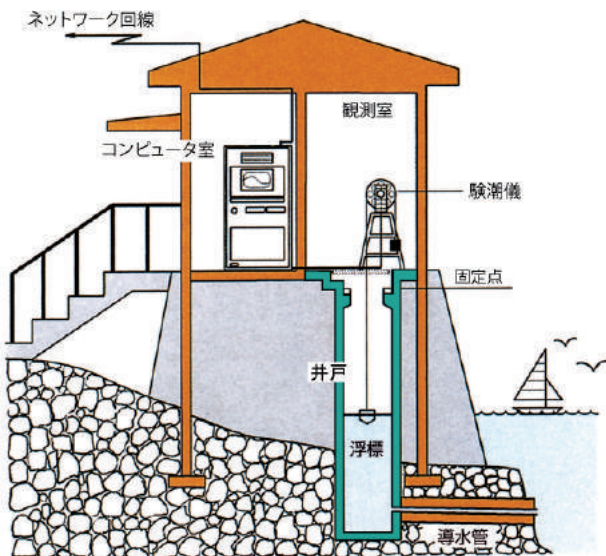


図-3 験潮場の構造図

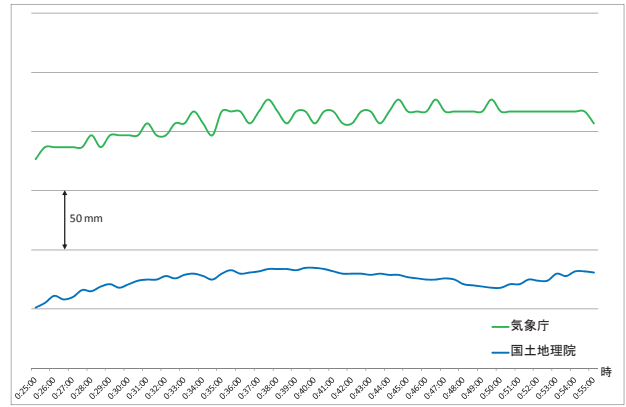


図-4 観測手法による潮位の違い

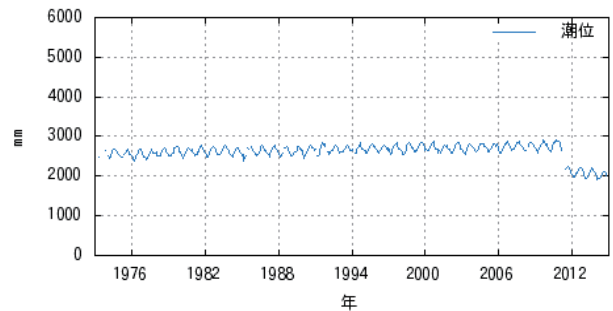


図-5 相馬験潮場の月平均潮位(2011年のずれは東北地方太平洋沖地震以降の臨時観測値)

相馬験潮場は、昭和48年(1973)に福島県相馬港に設置され、潮位観測が開始された。それから東北地方太平洋沖地震で被災するまでの約40年間、大きな欠測も無く潮位データを蓄積してきた(図-5)。この間における相馬験潮場で観測された最高潮位及び最低潮位はそれぞれ標高に換算して1.32 m及び-1.24 mを記録している。この最高潮位は平成18年(2006)10月7日の低気圧の到来により記録されたものとなっている(気象庁, 2014)。他の験潮場における最大・最低潮位の記録は表-1のとおりであり、全国で最大潮位を記録しているのは阿久根験潮場で、平成24年(2012)9月17日の台風16号により2.12 mの潮位が観測された。

また、国土地理院では高さの監視として、験潮場の設置以降、一等水準点と験潮場固定点との間の水準測量を実施してきており、東京湾平均海面との相関関係の確認を行っている。流失した相馬験潮場では固定点の標高が水準測量により2.261 mと決定された(平成14年4月1日時点)。それにより、潮位の標高換算が可能となり、各験潮場の平均海面を比較することができる。表-2は各験潮場の平均潮位を示しており、例えば油壺験潮場と相馬験潮場の平均潮位(海面)には9.1 cmの差があることが計算できる。

表-1 各験潮場の過去の最大・最低潮位

験潮場	過去最高潮位		過去最低潮位	
	標高換算 (cm)	年月日	標高換算 (cm)	年月日
忍路	107	1936年10月4日	-46	1964年4月8日
奥尻	89	2004年9月8日	-41	2006年2月28日
浅虫	101	1954年9月27日	-60	1979年1月29日
相馬	132	2006年10月7日	-124	2006年2月27日
男鹿	205	2004年8月20日	-44	1985年3月16日
鼠ヶ関	102	2004年8月20日	-58	1955年3月27日
飛島	60	1999年10月28日	-56	2006年2月28日
勝浦	129	1979年10月19日	-128	1990年12月3日
油壺	129	2006年10月8日	-145	1943年12月28日
伊東	104	2006年10月8日	-178	2000年1月21日
田子	133	2012年9月30日	-127	1990年12月4日
焼津	138	1990年8月10日	-125	1990年12月4日
鬼崎	192	2012年9月30日	-184	1990年12月4日
柏崎	105	2004年8月20日	-43	2006年2月28日
小木	68	1975年8月23日	-58	2006年2月28日
輪島	108	1976年10月29日	-44	1985年3月16日
三国	98	2005年12月6日	-46	1985年4月13日
海南	157	2004年8月30日	-156	2000年1月22日
田後	100	2012年9月18日	-56	1979年1月29日
久礼	184	2014年8月10日	-173	1988年1月20日
須佐	117	2004年8月19日	-70	1979年1月30日
仮屋	175	2010年8月11日	-188	1984年2月18日
細島	178	1954年9月13日	-168	1990年12月4日
阿久根	212	2012年9月17日	-218	1990年12月4日
沖縄	180	2014年10月11日	-161	1992年1月20日

表-2 各験潮場の平均潮位（年平均潮位より算出）

験潮場	標高換算 (m)	統計期間
忍路	0.173	1906年-2013年
奥尻	0.162	1995年-2013年
浅虫	0.161	1955年-2013年
相馬	0.074	1974年-2013年
男鹿	0.212	1970年-2013年
鼠ヶ関	0.247	1955年-2013年
飛島	0.028	1996年-2013年
勝浦	-0.017	1968年-2013年
油壺	-0.017	1924年-2013年
伊東	-0.217	1974年-2013年
田子	0.110	1978年-2013年
焼津	0.193	1978年-2013年
鬼崎	0.005	1963年-2013年
柏崎	0.226	1956年-2013年
小木	0.042	1974年-2013年
輪島	0.227	1895年-2013年
三国	0.206	1968年-2013年
海南	0.046	1954年-2013年
田後	0.167	1966年-2013年
久礼	-0.077	1973年-2013年
須佐	0.114	1971年-2013年
仮屋	0.055	1972年-2013年
細島	-0.035	1894年-2013年
阿久根	0.028	1971年-2013年
沖縄	-0.025	1976年-2013年

### 3. 東北地方太平洋沖地震の影響と対策

相馬験潮場において約 40 年もの間蓄積されてきた連続潮位観測データは、東北地方太平洋沖地震の発生により途絶えることとなった。図-2 に示すとおり、相馬験潮場の潮位データは地震の発生と同時に欠測している。これは、地震による震度 6 弱の激しい揺れによる通信ケーブルの断裂、機器の破損等が原因だと考えられる。その後、襲来した 9 m を超える巨大津波により、相馬験潮場は設置された堤防ごと破壊され流失することとなった。図-6 の下図は被災後の相馬験潮場の跡地であり、験潮場が設置されていた基盤は大きく崩れている。一方で、近隣に設置されていた福島県相馬港検潮所は建屋全体が津波により浸水し、全ての機器が使用不可能になったものの、建屋の大きな損壊は免れた。相馬験潮場の流失により津波や高潮の監視に支障がでていたことから、福島県の協力を得て福島県相馬検潮所に国土地理院の潮位観測機器を設置し、平成 23 年 6 月 15 日から臨時に潮位観測を再開した。この検潮所での潮位観測は暫定のものであること及び周辺のインフラの復旧には時間を要することから、潮位観測は 1 秒間隔で行うものの、電源はソーラーパネルによって確保し、通信は無線の携帯電話網を用いている。被災の状況及び暫定の潮位観測再開までの詳細については、大島ほか（2011）で報告がなされている。

この震災を受け、平成 24 年度に国土地理院は気象庁の津波観測点として津波警報・津波注意報の防災情報に活用されている 13 箇所の験潮場（相馬験潮場を除く）において、災害時のデータ収集機能を強化するため、有線回線のみだった通信網にケーブル破損時の対応策として携帯電話網を追加する通信の二重化、停電時にも 72 時間の観測を可能とする無停電電源装置の強化、観測機器の防水対策を実施した。

この対策により、例えば平成 26 年（2014）9 月に発生した台風により沖縄験潮場では 2 日半の停電に見舞われたが、無停電電源装置の強化により 1 秒潮位データに欠測が生じることは無かった。また、験潮場のルータ故障による有線回線の通信断の際にも、携帯電話網により観測を継続することができており、災害や想定外の障害に対する潮位観測強化の効果は確実に現れている。継続観測が重要な験潮場では、この観測強化は非常に大きな意味を持っている。

### 4. 相馬験潮場の再建

暫定的に福島県相馬港検潮所で潮位観測を実施するとともに、国土地理院では同時に相馬験潮場の再





図-6 震災前後の相馬験潮場

建を進めるため、福島県との調整の上、旧相馬験潮場から南西に約 100 m の地点で、震災により破壊された堤防が復旧された場所とすることとした(図-7)。建設は、国土交通省東北地方整備局、国土地理院及び福島県との協議の上、平成 26 年 7 月から着手された。本建設は、相馬験潮場の建屋については国土交通省東北地方整備局営繕部が建設を担当し、潮位観測機器一式及び電子基準点設備一式の設置は国土地理院が担当して実施された。新相馬験潮場の導水管は旧験潮場と同様に建屋の基盤の構造上、サイフォン式が採用された。導水管は旧験潮場より約 13 m 長く、管内を真空にして海水を吸い上げるためのポンプが建屋内に設置されている。サイフォン式の導



図-7 新旧相馬験潮場及び福島県相馬港検潮所の位置  
(背景は地理院地図：平成 27 年 1 月 5 日時点)



図-8 新相馬験潮場と電子基準点「P相馬A」

水管は、設置費用では水中に流入口をもつ通常の導水管より安価に設置できる利点があるが、メンテナンスの回数が多くなるといった欠点があるため、新旧相馬験潮場では建屋を設置する基盤の構造上、本方式を採用している。その他の潮位観測の機材は、全て前節で述べた観測の強化が図られた仕様のものを採用している。また、験潮場の建設とともに、測量の基準、地殻変動監視、絶対潮位の観測等のために重要な電子基準点「P相馬A」も6mのピラー型で建屋に隣接して設置された(図-8)。験潮場の建屋の建設が平成26年11月に終了した後、潮位観測設備及び電子基準点の設置作業が同年12月に実施され、それぞれの観測施設で試験観測が開始された。従来よりも観測機能が強化された新相馬験潮場は、電子基準点と連携していること及び東北地方太平洋側唯一の験潮場ということから、一層の潮位の監視業務及び防災、研究等の分野への貢献が期待できる。

再建された相馬験潮場は、一定期間福島県相馬港検潮所での暫定潮位観測と並行観測を行い、観測の継続に問題が見られないと判断でき次第、福島県相馬港検潮所での潮位観測を終了し、新相馬験潮場の観測データを正式な国土地理院の潮位データとして公表する予定である。

電子基準点「P相馬A」については、数ヶ月間変動をモニタリングし、安定を確認次第、測量成果を公表する予定である。

## 5. これからの験潮場

験潮場は、日本水準原点の原点数値の決定から始まり、水準測量網の規制及び地殻変動の監視を目的として全国に設置され潮位観測が続けられてきた。その蓄積されたデータは、験潮場によっては100年を超えるものもあり、観測開始から現在まで連続観測されているデータとして類を見ない貴重な資料となっている。一方、高さの基準を与えるための験潮場の役割については、水準路線の定期改測作業の現状、GNSS技術を用いた上下変動の監視、GNSS水準

測量の実現等により、その意義が設置当時から変化しつつある。このような背景を踏まえ、国土地理院技術協議会基準点体系分科会(V)(2014)では、これからの験潮場の役割及び必要性に応じた潮位観測を行っていくための今後の方針として、①潮位情報の利活用のさらなる推進、②コスト削減のための新技術の検討、③他機関の潮位観測施設との統合や移管の検討、④潮位データを直接的に高さの基準として利用することに向けた研究について、速やかに検討することとしている。

現在、電波式等の験潮儀の導入の可能性についての検討を進めるとともに、2013年より験潮場に隣接するか又は屋上に設置された電子基準点の解析結果から得られる上下変動量を用いて潮位データに補正を加えることで絶対潮位を算出し、その海面変動トレンドについてホームページで公開しており([http://tide.gsi.go.jp/sl\\_trend.html](http://tide.gsi.go.jp/sl_trend.html))、潮位データの利活用の推進を図っている。さらに、国土地理院の験潮に関するデータ(潮位観測データや験潮場についての情報)についても、より幅広い利用者に提供できるよう従来の海岸昇降検知センターに加え、日本海洋データセンター(JODC)等へのデータ登録についても調整を進めているところである。

今後も国土地理院では、験潮に関するデータの提供手法、利用者及びその目的が多様化していく中、それらに対応し、必要とされるデータを安定して提供していくため、基準点体系分科会の方針を踏まえながら潮位の観測に努めていきたい。

## 6. 謝辞

震災後の臨時潮位観測の継続と相馬験潮場の再建は、福島県及び国土交通省東北地方整備局の協力がなければ実現できなかった。この場を借りて御礼申し上げる。

(公開日：平成27年2月23日)

## 参考文献

- 国土地理院技術協議会基準点体系分科会(V)(2014)：スマートでコンパクトな基準点体系に向けて、基準点体系分科会(V)報告。 <http://www.gsi.go.jp/common/000093334.pdf>
- 大島健一、三浦優司、影山勇雄、古屋有希子、矢萩智裕、丸山一司(2011)：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によるGPS観測施設・験潮場の被災状況及び復旧対応、国土地理院時報、No.122, 113-125
- 大瀧茂、宮崎孝人、谷澤勝、金子英樹、吉川忠男、高原正勝(2000)：明治27年験潮場開設以来の潮位観測データベースの完成、国土地理院時報、No.94, 87-91
- 佐竹健治、行谷佑一、藤井雄士郎、岡田正実、阿部邦昭、今井健太郎、上野俊洋、山口和典、三和功喜、山本浩之(2010)：駿河湾沿岸の検潮井戸応答特性調査と2009年駿河湾地震津波波形の補正、地震研究所彙報、vol.85, 1-14
- 津村建四郎(1963)：日本沿岸の平均海面およびその変動の研究(I)―潮位変化の地域分布―、測地学会誌、

vol. 9, no. 2, 49-90

Yoshi N. Sasaki, Shoshiro Minobe, Yuji Miura (2014) : Decadal sea-level variability along the coast of Japan in response to ocean circulation changes, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, 266-275