

— 速 報 —

## 東日本大震災により宮城県七ヶ浜町を襲った津波の 波高計データによる解析\*

筧 茂穂†

### 要 旨

2011年3月11日14時46分、宮城県沖を震源とする巨大地震が発生し、その後まもなく大津波が沿岸域に到達し、広範囲に壊滅的な被害、東日本大震災をもたらした。津波による甚大な被害を受けた宮城県宮城県七ヶ浜町に設置していた波高計を回収することができ、津波による水位変動のデータを得ることができた。10分間隔で測定した観測データであるため、津波のピークを完全にとらえられているわけではないが、平均海面に対する偏差が2mにもなる津波が複数回到達していたことがわかった。最大の津波は地震発生の約74分後の16時に観測され、平均海面に対する偏差で5.00mであり、直前に観測された谷からの波高は6.19mに達した。津波によると考えられる水位変動は、地震発生5日後の3月16日まで認められた。地震後の平均海面水位は0.30m上昇し、地盤沈下が起こったことを示した。

キーワード：津波、東日本大震災、波高計、地盤沈下、七ヶ浜町

### 1. はじめに

2011年3月11日14時46分に宮城県牡鹿半島沖約130kmを震源とする最大震度7、マグニチュード9.0の巨大地震が発生した。巨大地震の直後に発生した大津波が、日本の沿岸域に襲来し、壊滅的な被害をもたらした。この巨大地震と大津波により、多数の尊い人命が失われ

た。警察庁のまとめでは4月10日時点での死者は、12,998人、行方不明者は14,691人であり、16万人が避難生活を余儀なくされている。この巨大地震に伴う一連の災害は東日本大震災と命名された。

甚大なる被害は巨大地震発生後に襲来した大津波によるところが大きい。東京大学地震研究所が行った現地調査では、宮古市田老小堀内で37.9mまで津波が遡上していた（都司ら、2011）。検潮所で観測された津波は、いわき市小名浜で3.3m、石巻市鮎川で7.6m以上、大船渡市で8.0m以上、宮古市で8.5m以上と報告されている（気象庁、2011）。検潮所で測定される連続観測データは、津波による水位変動の実態を明らかにするために不可欠である。またこのような連続データは、数値モデルによる津波シミュレーションの結果を検証する上でも非常に重要なデータである。しかしながら、検潮所も津

\* 2011年4月18日受領；2011年5月11日受理  
著作権：日本海洋学会，2011

† 水産総合研究センター東北水産研究所資源海洋部海洋動態グループ

〒985-0001 宮城県塩釜市新浜町3-27-5  
e-mail: kakehi@affrc.go.jp  
tel: 022-365-9928, fax: 022-367-1250

波の直接被害,あるいはその後の停電での影響を受け,小名浜以外のデータは数分程度の断片的なものであり,連続データが得られている小名浜も14日以降の観測は途絶えている.そのため,この大津波による水位変動の実態について不明な点が多い.

筆者は大震災の発生前から宮城県宮城郡七ヶ浜町に波高計を設置しており,巨大地震の約1ヶ月後にこれを回収し,大津波による水位変動のデータを得ることができた.以下では,観測された大津波による水位の時間変化,最大波高,津波の影響があったと推測される期間,地震に伴う地盤沈下について定量的な報告を行う.

## 2. 波高計について

観測に用いた波高計はアレック電子(現JFEアドバンテック)社製の小型メモリー波高計(AWH-CMP)である.この波高計は,水圧式のセンサーであり,測定範囲は0~25m,分解能は0.5mmである.仙台湾における異常潮位を検出する目的で設置した波高計であるため,測定は,10分間隔のバーストモードで,1バーストあたり0.5秒間隔で20個のデータを取得する設定であった.波高計観測は2010年6月14日より実施し,データ取り込みと電池交換のために回収と再設置を複数回行っているが,本報では2011年1月14日に設置し,4月6

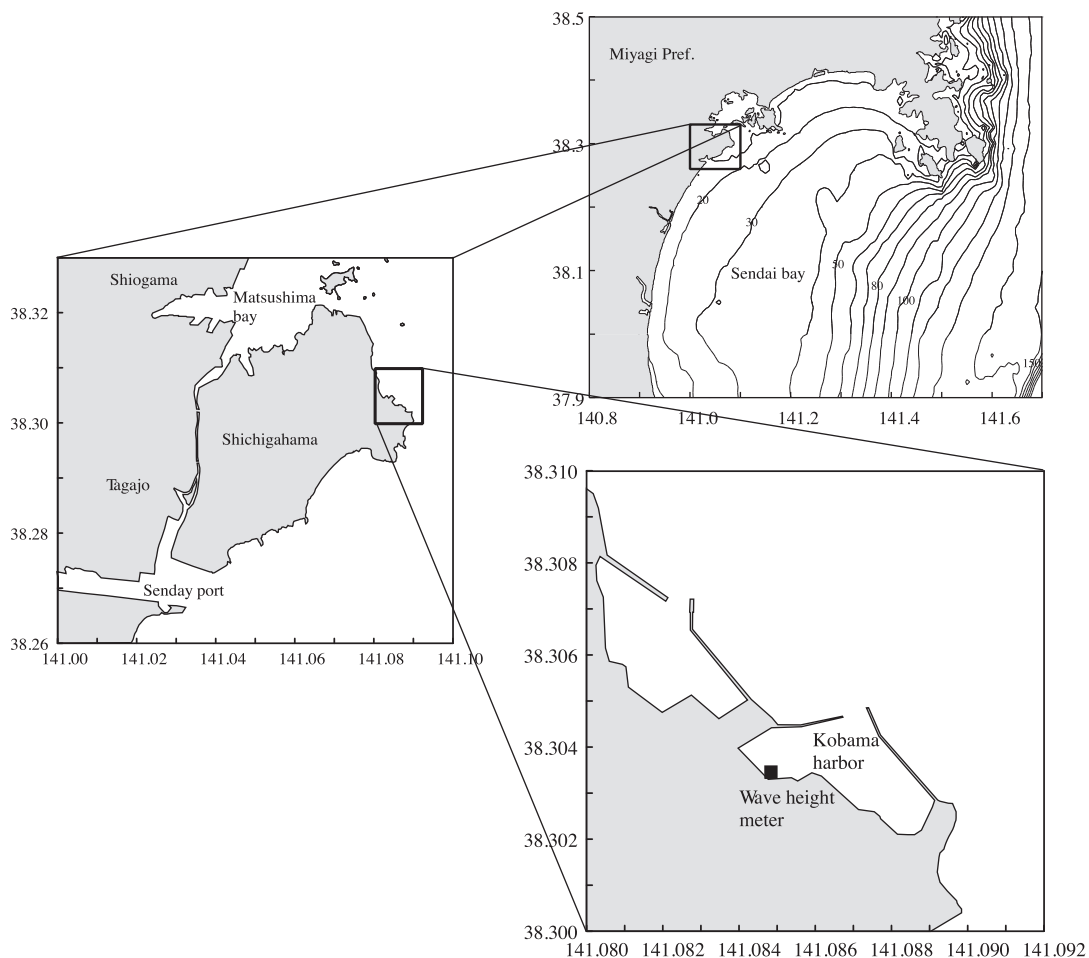


Fig. 1 Location map of the wave height meter station.

日に回収した一連の観測データを解析に用いた。

波高計の設置場所は、宮城県宮城郡七ヶ浜町花淵崎小浜港 (38°18.21'N, 141°5.13'E) の岸壁である (Fig. 1). 岸壁の高さは、岸壁直近の海底から約 3.6 m である。岸壁に固定されたはしご状の構造物に 3.3 m の単管パイプを金具によって固縛し、最下部には鉄くずを入れた約 30kg の土嚢を取り付け固定した。これが支柱用のパイプである。支柱用パイプに波高計を取り付けた測器用単管パイプを金具で固縛した (Fig. 2)。このような設置方式を採用することで、データ回収は測器用パイプのみを取り外すことで実現できるとともに、再設置の前後で波高計の取り付け位置が変化しない。波高計は海底上 0.30 m にセンサー部が位置するように取り付け、春季の大潮干潮時でも 1.3 m 程度水没するように設計されている。

七ヶ浜町では大津波により、町の 4 割程度が水没し、60 名の死亡 (4 月 10 日現在、七ヶ浜町発表) が確認され、家屋の全壊・流出が多数報告されている。波高計を設置した小浜港の岸壁は幅 5 m、長さ数 10 m にわたって崩れ落ちていたが、波高計付近の約 5 m が奇跡的に残存していた (Fig. 3a)。岸壁と波高計を取り付けてい

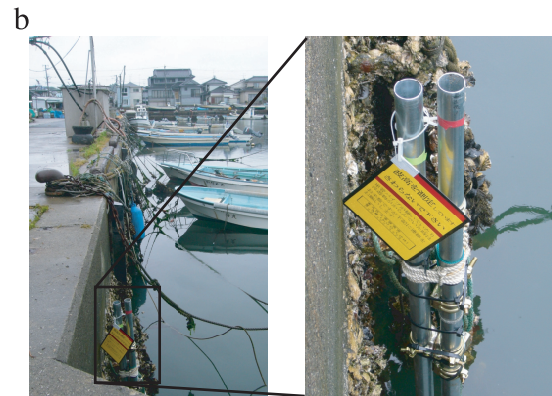
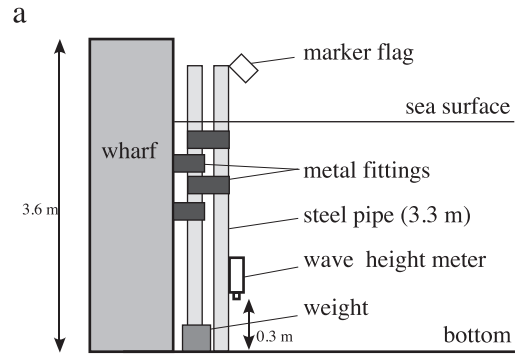


Fig. 2 Schematic view of the monitoring station (a) and photos after installed (b).

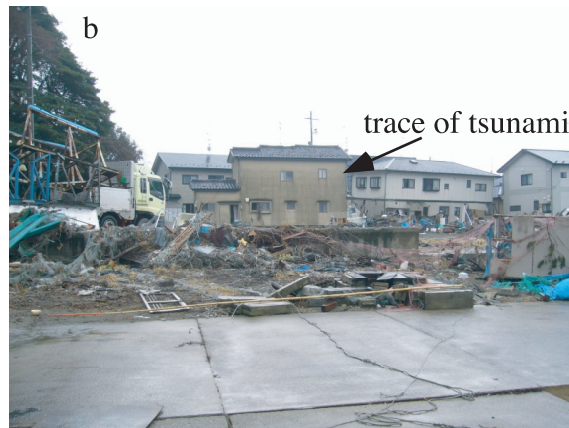


Fig. 3 State of the wharf after the disaster. The wharf fixed the wave height meter was destroyed over tens of meters (a). The trace of tsunami was found near the window of the second floor (b).

たパイプ、およびパイプと波高計の相対位置は震災前と変わらず、パイプや金具にも損傷は認められなかった。岸壁の背後にあった家屋は数 m 陸側に移動し、二階の窓付近（地上高約 4 m）には津波の痕跡と思われる黒い筋が認められた（Fig. 3b）。

### 3. 解析方法

波高計で測定された水位データは次のように解析した。各バーストで測定された 20 個の水位の測定値のうち上位 6 個と下位 6 個を除いた 8 個のデータの平均値を各時刻の水位とした。この値に対して仙台における 10 分ごとの海面気圧を用いて気圧補正を行った。海面気圧と 1 気圧（1013.25hPa）の差を気圧偏差とし、気圧偏差 1.0hPa につき  $-1.0 \times 10^{-2} \text{m}$  で水位の補正を行った。以下では 10 分ごとの気圧補正済み水位を、観測水位と呼ぶ。解析に用いた観測水位は 2011 年 1 月 15 日 0 時 0 分～4 月 6 日 0 時 0 分である。

水位の変動を、観測水位そのものではなく、平均海面水位に対する水位偏差として表現するために、平均海面水位を観測水位と予報潮位の二乗平均誤差が最小となる

ように求めた。ここで、予報潮位は、仙台港の毎時潮位データ（JODC）から次のように計算した。1 年間の潮位データに対し、最小二乗法潮汐調和分解を行い、40 分潮の調和定数を求めた。この調和定数から観測期間における 10 分ごとの潮位を予報した。潮汐調和分解をはじめ、解析全般は MSSP（筧, 2009）を用いた。なお、平均海面水位を計算する際には、1 月 15 日 0 時～巨大地震直前の 3 月 11 日 0 時までのデータを用いた。これは巨大地震後には地盤沈下に伴い平均水位が 0.3 m ほど上昇しているからである。地盤沈下の影響については後述する。

得られた平均海面水位は 2.13 m であった。観測水位から平均海面水位を差し引き、平均海面水位に対する水位偏差を計算した。また、水位偏差から予報潮位を差し引き、残差水位を算出した。

### 4. 結果

3 月 10 日 0 時～3 月 20 日 0 時の水位偏差と予報潮位を示す（Fig. 4）。11 日 15 時までは水位偏差と予報潮位はよく一致していた。15 時 0 分以降、津波の到来に伴

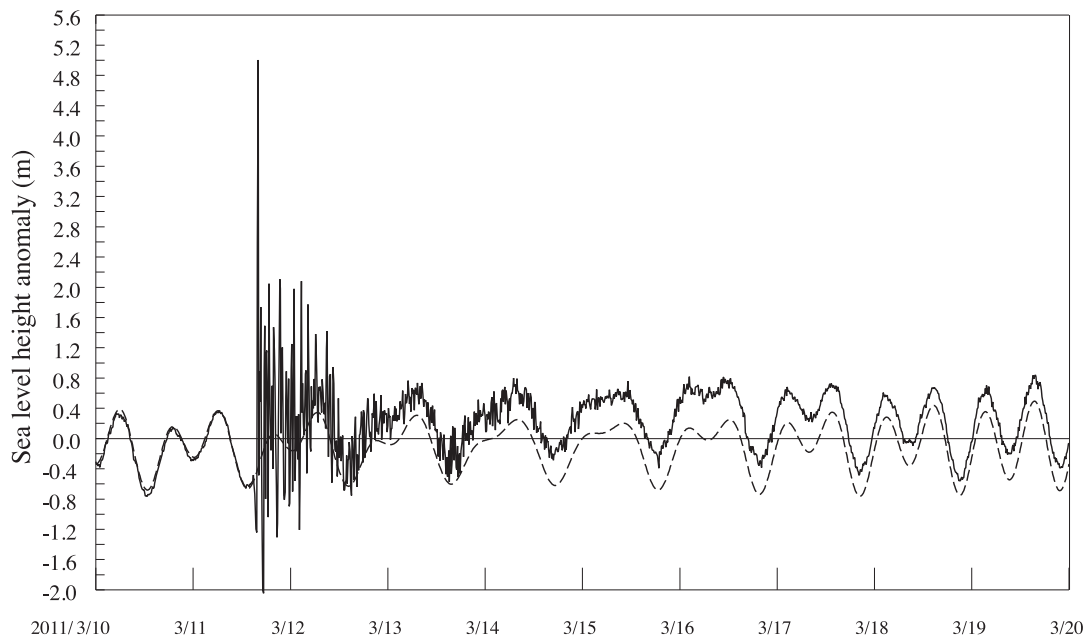


Fig. 4 Observed (solid line) and predicted (broken line) sea level anomaly referred to the mean sea surface from May 10 to 20, 2011.

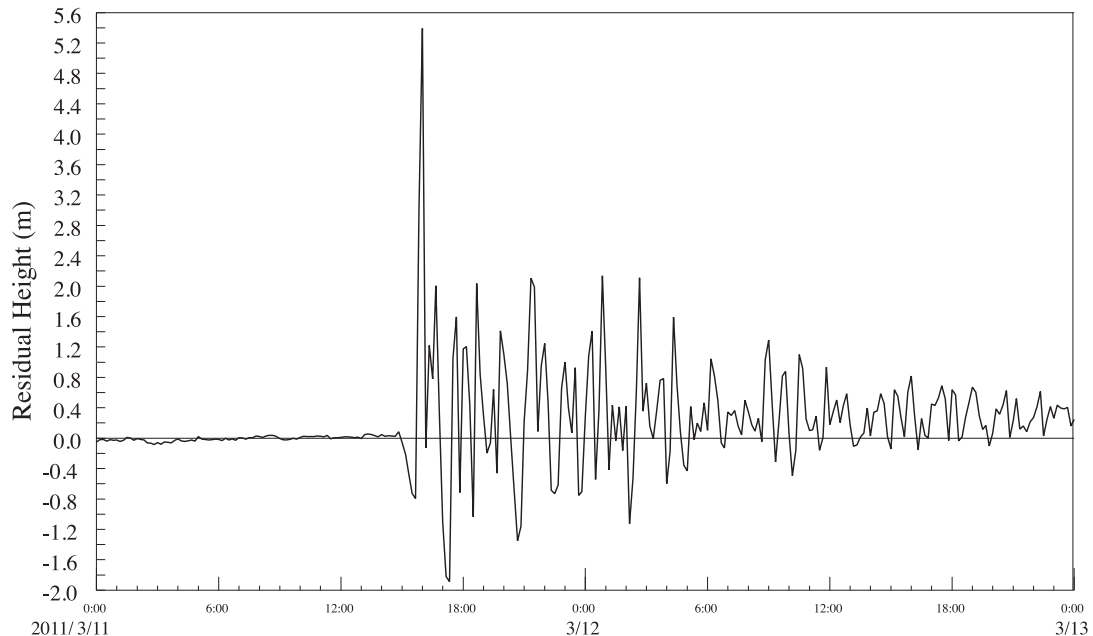


Fig. 5 Residual sea level height variations due to the tsunami.

い水位が激しく変動した。津波によると考えられる水位変動は地震発生5日後の3月16日でも認められた。3月12日午後から水位偏差に潮汐周期変動が見られるが、その変動は平均海面水位より0.3 mほど高い位置で起きていた。

巨大地震発生後の詳細な水位変動として3月11日0時～3月13日0時の残差水位をFig. 5に示す。残差水位は11日14時40分までは0.03 m程度であったが、巨大地震発生直後の14時50分には0.09 mにやや増加した後減少に転じ、15時40分には $-0.80$  mとなった。津波第一波の到来に先立ち、 $-0.02$  m  $\text{min}^{-1}$ の速い水位変化を伴う引き波が発生したことを示している。残差水位は15時50分には3.01 mに急上昇し、その10分後の16時0分には最大値5.39 mとなった。この峰と直前の谷の差は6.19 mであった。16時10分の残差水位は $-0.12$  mであり、すでに峰は通過していることから、15時50分～16時10分の間に波高6.19 m以上の津波が七ヶ浜町に到達したと推察された。その後から12日未明にかけて残差水位で2.00 mを超える津波が5回到達した。この間には残差水位が $-1.00$  m以下となるものが3回あり、大きな引き波も複数回発生していた。11日17時20分の残差水位は $-1.89$  mであり、波高計の

センサー部が干出した。センサー部が干出したのはこのときだけであった。

津波による水位変動の継続期間を次のように推定した。まず残差水位について1日ごとに平均値と標準偏差を計算した。巨大地震以前の標準偏差の最大値は0.070 mであり、巨大地震後においてこの値を上回る標準偏差が認められた日には津波が観測されたとした。この手法で推定した津波の継続期間は5日、つまり、3月16日までであった。

巨大地震発生後の水位変動は、平均海面水位よりも高い位置で起きていた。この高さのずれを定量化するために、津波による水位変動がほぼ無くなった3月17日0時～観測終了日にあたる4月6日0時までの残差水位の平均値を求めた。得られたずれは0.30 mであり、この分だけ地盤沈下したと考えられる。

## 5. 考察

10分間隔のデータであるため、津波のピークを完全にとらえているわけではないが、16時前後に波高6.19 m以上の津波が到達したと考えられる。その高さは平均海面水位から5.00 m高く、岸壁からでも約4 mも高



い。岸壁近くの家屋に残った痕跡は地上約 4 m であり、観測された津波の岸壁からの高さとはほぼ一致する。従って、観測された水位偏差 5.00 m (残差水位で 5.39 m) は、ほぼ津波のピークをとらえたものであり、このときの津波が一連の津波の中で最大のものであったと推察される。

津波は長波の性質を持つため、その速度は  $\sqrt{gH}$  で計算することができる。ここで、 $g$  は重力加速度 ( $9.8 \text{ m s}^{-2}$ )、 $H$  は水深 (m) である。巨大地震の震源地 ( $38^{\circ}6' \text{ N}$ ,  $142^{\circ}51' \text{ E}$ ) と波高計観測点までの直線距離は約 155 km である。この直線上の水深 (ETOPO2) を用いて津波の速度を計算し、津波の到達時間を見積もったところ 80 分となった。つまり 16 時 6 分に波高計観測点に到達したことになる。前述の最大波は 16 時に観測されており、そのピークはこの  $\pm 10$  分以内に通過していると考えられることから、観測された波高 6.19 m 以上の最大波が津波の第一波であり、震源地から直達波として伝搬してきたものと考えられる。

最大波が到達したのは干潮から約 2 時間 40 分後であり、平均海面よりも低い潮位の時であった。またこの日は日潮不等が大きく、19 時 50 分の満潮水位は 0.06 m であったことなど、津波襲来時は比較的潮位が低い時期・時間にあっていた (Fig. 4)。仮に大潮の満潮時に大津波が襲来していれば今回よりも 1.0 m ほど水位が高く、被害はもっと大きくなっていったと考えられる。

地震直後の 11 日 14 時 50 分の残差水位は 0.09 m であったことから、地震直後に 0.3 m もの地盤沈下が起こったわけではない。12 日午後にはずれが明瞭となっていることから、地震発生後の 1 日で地盤沈下が起こったと考えられる。この間は津波による水位変動が非常に大きい。ため、地盤沈下による変動を分離することは困難であり、地震発生後にどのように地盤沈下していったのかは不明である。

## 謝 辞

今回用いた波高計の設置は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「環境変化に対応した砂泥域二枚貝類の増養殖生産システムの開発」の研究推進のために行ったものですが、貴重なデータであるため目的外で

はありますが使用させて頂きました。JODC より仙台港の毎時潮位のデータを提供して頂きました。本稿執筆にあたり有益なご指摘を頂いた齊藤宏明生態系動態グループ長をはじめとする東北区水産研究所資源海洋部の皆様に感謝の意を表します。最後になりましたが、震災対応の激務の中、波高計の回収に多大なるご協力を頂いた東北区水産研究所資源海洋部海洋動態グループの伊藤進一グループ長に深く感謝致します。

## References

- 算茂穂 (2009): Excel VBA を用いた海洋データ処理ライブラリの整備. 第 58 回東北海区海洋調査技術連絡会報, 58, 30-33.  
<http://tnfri.fra.affrc.go.jp/kaigiren/51-60/58/30-33.pdf>
- 気象庁 (2011): 報道発表資料. <http://www.jma.go.jp/jma/menu/houdou.html>.
- 都司嘉宣, 大木聖子, 杉本めぐみ, 泊次郎 (2011): 宮古市田老小堀内漁港での津波遡上高. [http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/2011\\_03\\_tohoku/#koboriuchi](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/2011_03_tohoku/#koboriuchi).

Analysis of the tsunami attacked Shichigahama,  
Miyagi Prefecture, caused by the “Great Eastern Japan Earthquake”  
using wave height measurements

Shigeho Kakehi<sup>†</sup>

**Abstract**

The great earthquake, the epicenter of which was off Miyagi Prefecture, occurred at 14:46 JST, 11 March 2011. Tsunamis triggered by the earthquake reached and induced destructive damage to the coastal area. The sea level variations due to tsunamis were recorded using the wave height meter settled on Shichigahama, Miyagi. Although the true peak of tsunami might not be observed because the measurement was conducted at 10-minute intervals, large tsunamis up to 2 meter referred to the mean sea level were recorded several times. The maximum tsunami with a wave height greater than 6.19 meter was observed at 16 : 00. The sea level variations due to the tsunami continued for at least 5 days. Since the mean sea level after the earthquake ascended at 0.30 meter, the occurrence of land subsidence was indicated.

**Key words:** tsunami, the “Great Eastern Japan Earthquake”, wave height meter, land subsidence, Shichigahama

(Corresponding author’s e-mail address: kakehi@affrc.go.jp)

(Received 18 April 2011; accepted 11 May 2011)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2011)

---

<sup>†</sup> Tohoku National Fisheries Research Institute, 3-27-5, Shinhama, Shiogama, Miyagi 985-0001, Japan