

数値シミュレーションを活用した明治・昭和三陸津波の 岩手県沿岸における痕跡資料の検証

国際航業株式会社* 竹内仁・村嶋陽一
東北大学** 今村文彦
岩手県立大学# 首藤伸夫
岩手県総務部### 吉田健一

Verification of tsunami run-up height records of Meiji Sanriku Tsunami and Showa Sanriku Tsunami on the coast of Iwate Prefecture using numerical simulation

Hitoshi TAKEUCHI, Yoichi MURASHIMA

Kokusai Kogyo Co., Ltd., 3-1-25, Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065 Japan

Fumihiko IMAMURA

Disaster Control Research Center, Tohoku University, Aoba 06, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8579 Japan

Nobuo SHUTO

Faculty of Policy Studies, Iwate Prefectural University, 152-52, Takizawa-aza-sugo, Takizawa, Iwate 020-0193 Japan

Kenichi YOSHIDA

Iwate Prefectural Government, 10-1, Uchimaru, Morioka, Iwate 020-8570 Japan

A lot of tsunami run-up height records of Meiji Sanriku Tsunami and Showa Sanriku Tsunami were reported by several researchers. Those records include inadequate ones, such as unclear value, record on the different standard of height, and inaccurate record. These improper records should be eliminated, but the method to get rid of those records is not known up to the present. In this study, a method of verification of records is presented comparing several run-up height records and calculated tsunami height using numerical simulation.

§ 1. はじめに

現在の津波痕跡調査では、痕跡の確信性・根拠によりその信頼性をランク付けして報告することになっているが、過去の津波痕跡調査においては、そのような情報が無い場合が多い。データの中には、不明確な値や、高さの基準が異なるもの、さらには間違った記載により不適切なものも含まれる。このようなデータは、取り除くべきであるが、現在までその取り除く手法はない。

本研究では、岩手県沿岸を対象として複数の資料による津波痕跡高と数値シミュレーションで得られた計算遡上高を比較し、津波痕跡資料の信頼性を検証したので、その方法と結果を報告する。

§ 2. 検証の対象とした津波痕跡資料

岩手県沿岸では、1896年(明治29年)および1933年(昭和8年)の2回の三陸津波で甚大な被害を受けた。被災後の現地調査、津波痕跡調査が行われ、多くの調査報告がなされている[例えば松尾(1934)]. 鈴木・他(2004)は、これらの文献を収集・整理し、各地の津波痕跡高をデジタルデータ化しているが、ここで整理された文献のうち、原点や根拠が明らかにされている文献における痕跡資料を検証の対象とした。

以下に検証対象とした、津波痕跡記録に関する文献を示す。表3に文献のリストを整理した。また、この後地点ごとの痕跡高と計算遡上高を比較する際にグラフ(図4, 図5)内で用いる文献の略称も表3に示した。

* 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 3-1-25 トゥモロープラザビル 5F

** 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06

〒020-0193 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字菓子 152-52

〒020-8570 岩手県盛岡市内丸 10-1

【明治三陸津波】

伊木(1897), 松尾(1934), 内務大臣官房都市計画課(1934), 岩手県土木課(1936), 首藤・後藤(1985a), 首藤・後藤(1985b), 首藤・他(1987), 今村・渡辺(1990), 羽鳥(1999), 竹田(1987), 卯花・太田(1988), 三好・佐藤(1988), 三好・他(1989)

【昭和三陸津波】

東大地震研究所(1934), 松尾(1934), 内務大臣官房都市計画課(1934), 岩手県土木課(1936), 首藤・後藤(1985a), 首藤・後藤(1985b), 首藤・他(1987), 今村・渡辺(1990), 羽鳥(1999)

§ 3. 痕跡資料の検証手法

津波痕跡資料は、同一地点について複数の文献による痕跡高の記録があるものを検証の対象とした。

痕跡資料は、次の手順でその信頼性を検討した。

- ① 数値シミュレーションにより、岩手県の沿岸各地の津波最大水位を計算する。
- ② 津波痕跡高の得られている地点周辺で最も高い水位が計算されているメッシュの計算値を計算遡上高として整理する。
- ③ 一つの文献で同一地点に複数の津波痕跡高の記録がある地点では、複数の痕跡高のうち最も高い記録をその地点のその文献による津波痕跡高とする。
- ④ 各地点について、次の2つの基準を同時に満たす痕跡高を「信頼性の低い」記録として抽出する。

条件1) 複数の文献による痕跡高の平均値に対し、その0.5倍～1.5倍以内に収まらない。

条件2) 計算遡上高の0.5倍～1.5倍以内に収まらない。

図1が痕跡資料の検証方法の模式図である。地点Cにおいては、いずれの記録も痕跡高の平均値の0.5倍～1.5倍の中に含まれているため、すべて「信頼性はある」ものとする。一方、地点Bにおいては、痕跡高の平均値を算出し、その0.5倍～1.5倍の範囲と比較すると、資料2は高い痕跡高を記録しており、資料3は逆に全体よりも低い痕跡高を記録している。さらに、数値シミュレーションにより算出された計算遡上高の0.5倍～1.5倍の範囲と比較すると、資料3の記録は範囲内に収まるが、資料2の記録は範囲からはずれる。この場合には、資料2の記録は「信頼性が低い」ものとして抽出される。

§ 4. 数値シミュレーションによる津波最大水位計算

数値シミュレーションにより、岩手県の沿岸各地の津波最大水位を計算したが、計算対象領域、波源モデル、シミュレーション手法は、次のとおりとした。

4.1 計算対象領域

岩手県の沿岸域を対象としたが、波源域を含み、北海道での反射、沖合の透過をよく表現できるよう、北海道の太平洋岸から東北地方の海岸を含む範囲を計算対象領域と設定して、数値シミュレーションを実施した。シミュレーションは、広域の大きなサイズのメッシュから順次小さなメッシュに引き継いで計算を行い、研究対象領域である岩手県沿岸は、40mメッシュで計算した。図2に計算領域の配置を示す。

4.2 波源モデル

本研究では、岩手県沿岸域における津波痕跡高と120mメッシュによる計算遡上高を比較し、波源モデルによる再現性を、Aida(1978)の K , κ を用いて検証した上で、40mメッシュを用いた数値シミュレーションに適用して痕跡資料の検証に用いることとした。

波源モデルは、明治三陸津波のものは相田(1977)及びTanioka and Satake(1996)のモデルを対象とした。昭和三陸津波のものは相田(1977)のモデルを対象とした。これらのモデルによる120mメッシュの計算遡上高と痕跡高を比較してAida(1978)の K , κ を計算すると、次のとおりとなった。

表1 波源モデルの検証結果

Table 1 Result of verification of source model

モデル		地点数	K	κ
明治	相田(1977)	184	1.25	1.673
	Tanioka and Satake(1996)	184	1.85	1.557
昭和	相田(1977)	194	0.93	1.463

再現計算に必要とされる精度は、 $0.8 \leq K \leq 1.2$, $\kappa \leq 1.6$ とされている。K値はすべり量を調整することで改善されるので、明治三陸津波に対しては、 κ 値の小さいTanioka and Satake(1996)モデルを適用することとし、そのすべり量を1.85倍に調整したモデルを用い、昭和三陸津波に対しては、相田(1977)モデルを用いることとした。数値シミュレーションに用いた波源パラメータを下表に示す。

表2 数値シミュレーションに用いた波源パラメータ

Table 2 Parameters used for numerical simulation

想定津波	明治三陸	昭和三陸
基準点の緯度 $N[^\circ]$	40.31	40.16
基準点の経度 $E[^\circ]$	144.40	144.50
基準点の深さ $d[\text{km}]$	0	1
長さ $L[\text{km}]$	210	185
幅 $W[\text{km}]$	50	50
走向 $\theta[^\circ]$	190	180
傾斜 $\delta[^\circ]$	20	45
すべり角 $\lambda[^\circ]$	90	270
すべり量 $U[\text{cm}]$	1055	660

4.3 数値シミュレーションの方法

数値シミュレーションは、非線形長波方程式について Staggered 格子と Leap-Frog 差分法を用いた計算によって実施した。

計算のメッシュサイズは、図 2 に示したように、最も沖合の領域で 3,240m とし、順次 3 分の 1 のサイズのメッシュを接続して最小のメッシュは 40m とした。

計算時間間隔は 0.8 秒とし、地震発生から 3 時間後までの計算をおこなった。

§ 5. 痕跡資料の検証結果

以上の痕跡資料、数値シミュレーションの結果に基づき、痕跡資料の信頼性を検証した結果を示す。

図 3 に、明治三陸津波の岩手県沿岸各地における各資料による痕跡高と、数値シミュレーションによる計算遡上高を示す。また、図 4 には同様に昭和三陸津波のものを示す。§ 3 で示した検証手法に基づき、「信頼性が低い」と判断された痕跡記録には、痕跡高のグラフ上に記号「▼」を付した。

すべての記録の検証結果をここで説明することはできないので、事例を数件記述する。

図 3(1)の久慈市小袖では、明治三陸津波の痕跡高が 5 つの資料に記録が示されているが、ほかの 4 資料が 20m 前後の痕跡高を記録しているのに対し、山名宗真による痕跡高は 50m を超えており、条件 1) に相当する記録と判断される。一方、数値シミュレーションによる計算遡上高も 16.2m となって山名による痕跡高は条件 2) も満たすこととなり、「信頼性が低い」記録と判断された。

図 4(1)の岩泉町小本の昭和三陸津波の痕跡高は、5 つの資料で記録が残っているが、資料間でばらつきが大きい。最も痕跡高が低い記録は、内務大臣官房都市計画課(1934)による 2.4m、最も高い記録は岩手県土木課(1936)による 14.3m である。5 資料の平均が 7.9m であり、上記 2 資料の記録を含む 3 資料の記録が、条件 1) を満たしている。一方、数値シミュレーションによる計算遡上高は 17.9m となって、内務大臣官房都市計画課(1934)による痕跡高 2.4m は、条件 2) も満たすこととなり、「信頼性が低い」と判断された。

これまで述べた条件で「信頼性が低い」と判断された記録数は、明治三陸津波では 509 記録のうち 32 記録、昭和三陸津波では 448 記録のうち 8 記録となった。

「信頼性が低い」と判断された痕跡高の記録を除外した場合に、どの程度「信頼性」が向上するかを判断するために、ひとつの指標として Aida(1978)の K 、 κ がどのように変化するかを算出した。明治三陸津波では、すべての痕跡高(一つの文献に複数の痕跡記録がある場合には最大の痕跡高)を用いた場合には、 $K=1.19$ 、 $\kappa=1.552$ となったのに対し、痕跡高の平

均値と計算遡上高から「信頼性が低い」と判断された痕跡記録を除外した場合には、 $K=1.08$ 、 $\kappa=1.478$ となった。一方、昭和三陸津波ではすべての痕跡高を用いた場合には $K=0.93$ 、 $\kappa=1.463$ となったのに対し、痕跡高の平均値と計算遡上高から「信頼性が低い」と判断された痕跡記録を除外した場合には、 $K=0.91$ 、 $\kappa=1.446$ となった。「信頼性が低い」記録を除外することで、記録のばらつきを示す κ 値が小さくなることが示された。

§ 6. むすび

明治三陸津波、昭和三陸津波について、複数の文献による痕跡高の平均値と数値シミュレーションの計算遡上高を用いて、痕跡記録の「信頼性」を検証する方法を示した。しきい値を基準の 0.5 倍～1.5 倍とした場合、明治三陸津波の記録では約 6%、昭和三陸津波の記録では約 2% が「信頼性が低い」と判断された痕跡高として抽出された。この手法を用いれば、痕跡資料の少ない地点においても、数値シミュレーションの結果と比較することで、各資料に記録された痕跡高の信頼性がある程度判断できる。

ただし、この手法によって抽出された「信頼性が低い」痕跡記録については、記録された場所がほかの文献と異なる等の理由によるものもあると考えられ、一概に誤った記載や高さの基準が異なるものという判断はできない。そのため、さらに正確な判断をするためには、個々の記録について可能な限り記載された条件を考慮していく必要がある。

また、本研究で示された評価手法をさらに確かなものにしていくためには、しきい値の設定の仕方による信頼性判断の結果の差異を確認すること、痕跡記録のばらつきや計算遡上高との差異が出やすい地形等の条件を検討することが必要であると考えている。

文献

- 相田勇, 1977, 三陸沖の古い津波のシミュレーション, 東京大学地震研究所彙報, **52**, 71-101.
- Aida, I., 1978, Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, **26**, 57-73.
- 羽鳥徳太郎, 1999, 明治三陸津波(1896 年)の痕跡調査 - 岩手県島ノ越・綾里白浜・合足外口 -, 津波工学研究報告, **16**, 39-43.
- 伊木常誠, 1897, 三陸地方津波実況取調報告, 震災予防調査会報告, **11**, 5-34.
- 今村文彦・渡辺智洋, 1990, 岩手県田老町田老での三陸大津波調査, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, **7**, 123-140.
- 岩手県土木課, 1936, 震浪災害土木史, 24-30.
- 松尾春雄, 1934, 三陸津波調査報告, 土木試験所報告.

- 三好寿・佐藤要, 1988, 明治29年の三陸巨大津波の真の波高研究, 東大海洋研大槌臨海研究センター報告, **14**, 1-6.
- 三好寿・山川健・酒井久治, 1989, 明治29年の三陸巨大津波の真の波高研究(II), 東大海洋研大槌臨海研究センター報告, **15**, 11-14.
- 内務大臣官房都市計画課, 1934, 三陸津波による被害村町の復興計画報告書, 24-28.
- 首藤伸夫・後藤智明, 1985a, 三陸大津波痕跡調査－羅賀・平井賀・島の越(田野畑村)・小本・下小成(岩泉町)－, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, **2**, 39-45.
- 首藤伸夫・後藤智明, 1985b, 三陸大津波痕跡調査報告－越喜来湾(三陸町)－, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, **2**, 46-53.
- 首藤伸夫・佐山順二・藤間功司, 1987, 三陸大津波痕跡調査－大船渡市末崎町－, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, **4**, 101-113.
- 鈴木介・今村文彦・首藤伸夫, 2004, 津波痕跡高資料のデジタル化について－1896年明治三陸・1933年昭和三陸津波を例として－, 第21回歴史地震研究発表会講演要旨集, 13.
- 竹田厚, 1987, 羅賀の津波石－明治29年三陸津波(1896年)の痕跡高測量, 国立防災科学技術センター研究報告, **39**, 163-169.
- Tanioka, Y., K. Satake, 1996, Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1549-1552.
- 東京大学地震研究所, 1934, 津波被害及状況調査報告, 地震研究所彙報別冊第1号.
- 卯花政孝・太田敬夫, 1988, 明治29年6月15日三陸沿岸大海嘯被害調査記録－山奈宗真－, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, **5**, 292-379.

表3 検証の対象とした津波痕跡資料に関する文献
Table 3 Documents used to verify the tsunami run-up height records.

【明治三陸津波】

番号	文献	グラフ内の表示
①	松尾(1934)	松尾
②	東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 津波工学研究報告〔首藤・後藤(1985a)、首藤・後藤(1985b)、首藤・他(1987)、今村・渡辺(1990)、羽鳥(1999)〕	東北大学
③	竹田(1987)	竹田
④	卯花・太田(1988): 明治29年6月15日 三陸沿岸大海嘯被害調査記録－山奈宗真－	山奈宗真
⑤	伊木(1897)	伊木
⑥	内務大臣官房都市計画課(1934)	内務大臣
⑦	岩手県土木課(1936)	岩手県
⑧	三好・佐藤(1988)	三好
⑨	三好・他(1989)	

【昭和三陸津波】

番号	文献	グラフ内の表示
①	東京大学地震研究所(1934)	東大震研
②	松尾(1934)	松尾
③	東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 津波工学研究報告〔首藤・後藤(1985a)、首藤・後藤(1985b)、首藤・他(1987)、今村・渡辺(1990)、羽鳥(1999)〕	東北大学
④	内務大臣官房都市計画課(1934)	内務大臣
⑤	岩手県土木課(1936)	岩手県

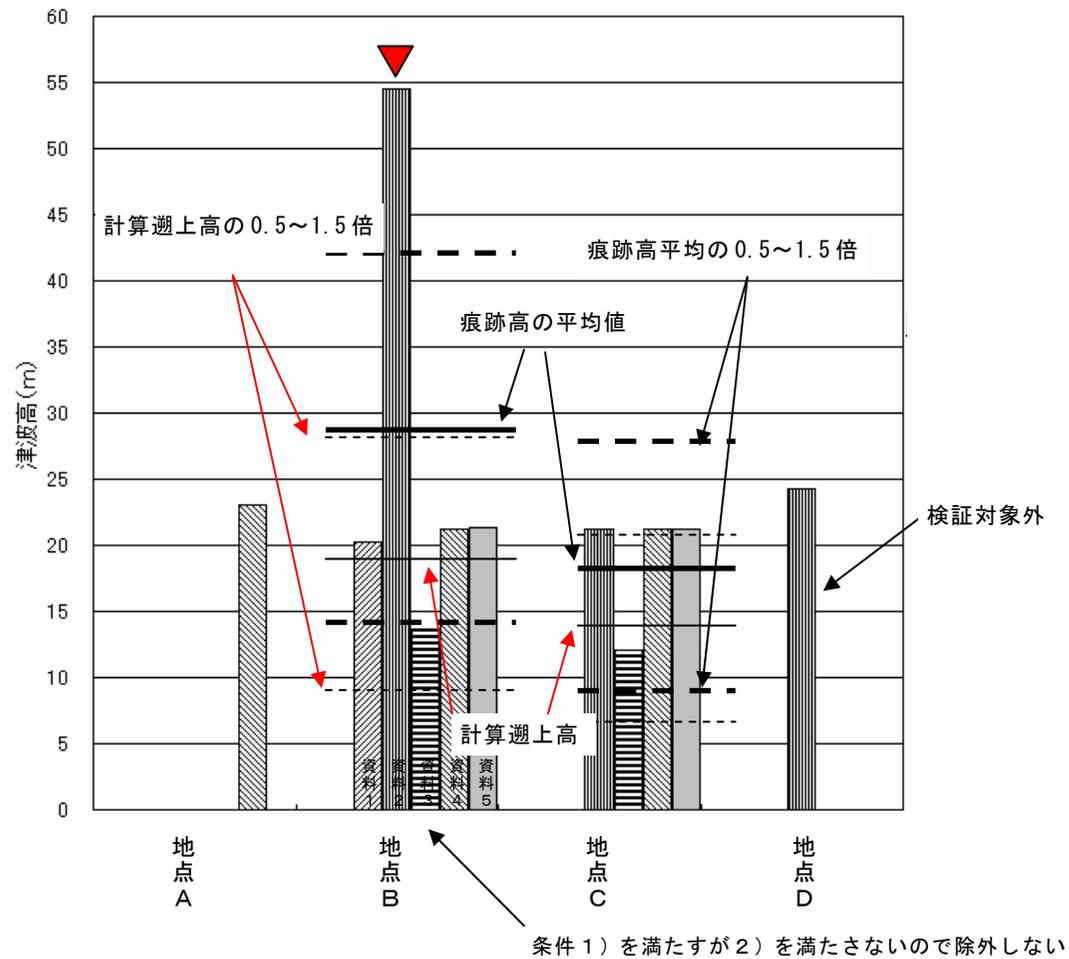


図1 痕跡資料の検証方法
Fig.1 Method to verify records of tsunami run-up height.

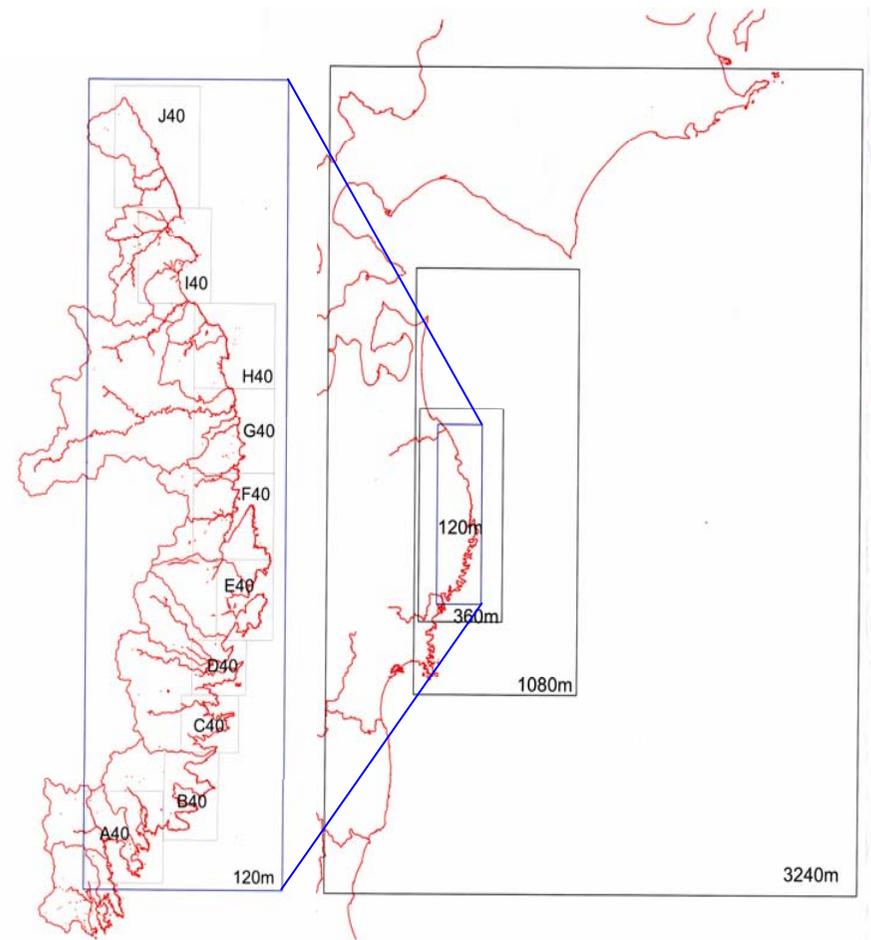


図2 津波シミュレーションの範囲と計算格子の大きさ
Fig.2 Area of numerical simulation and mesh size.

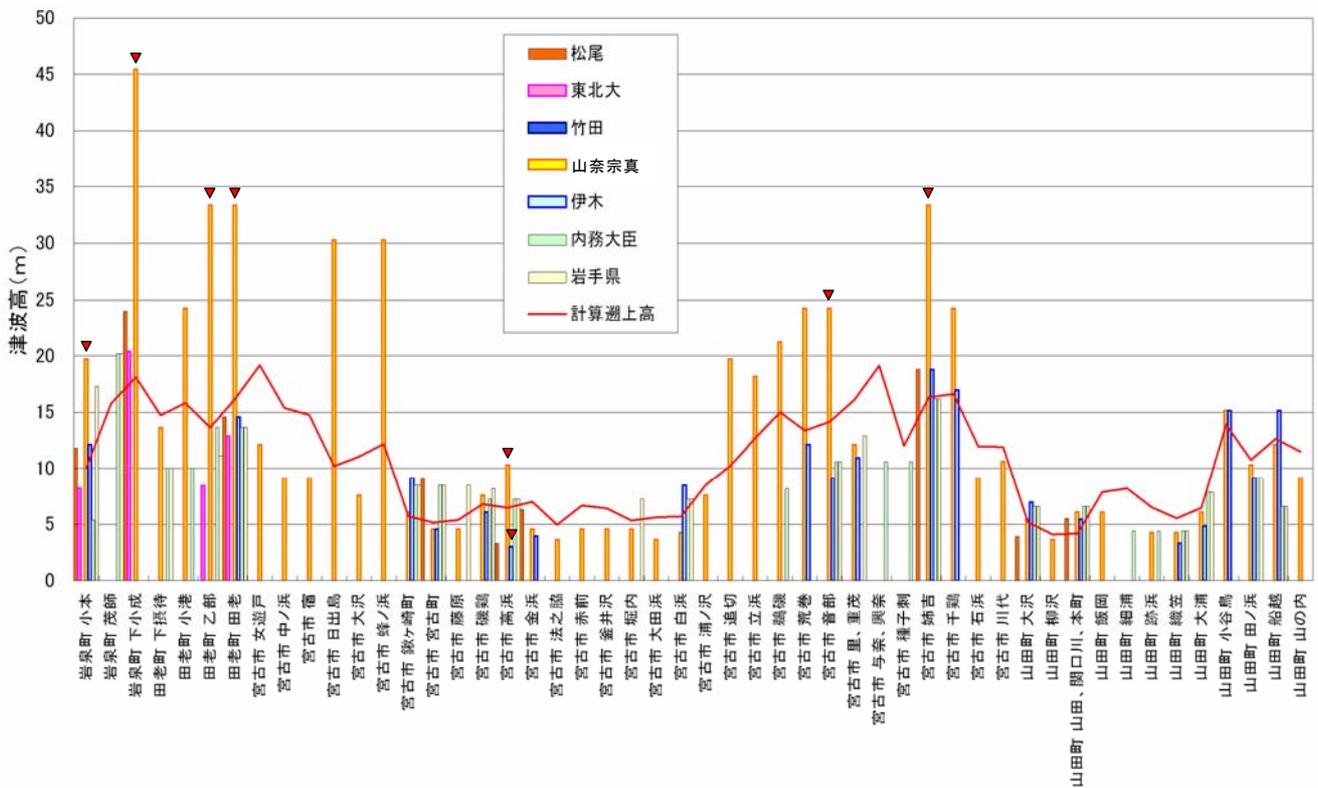
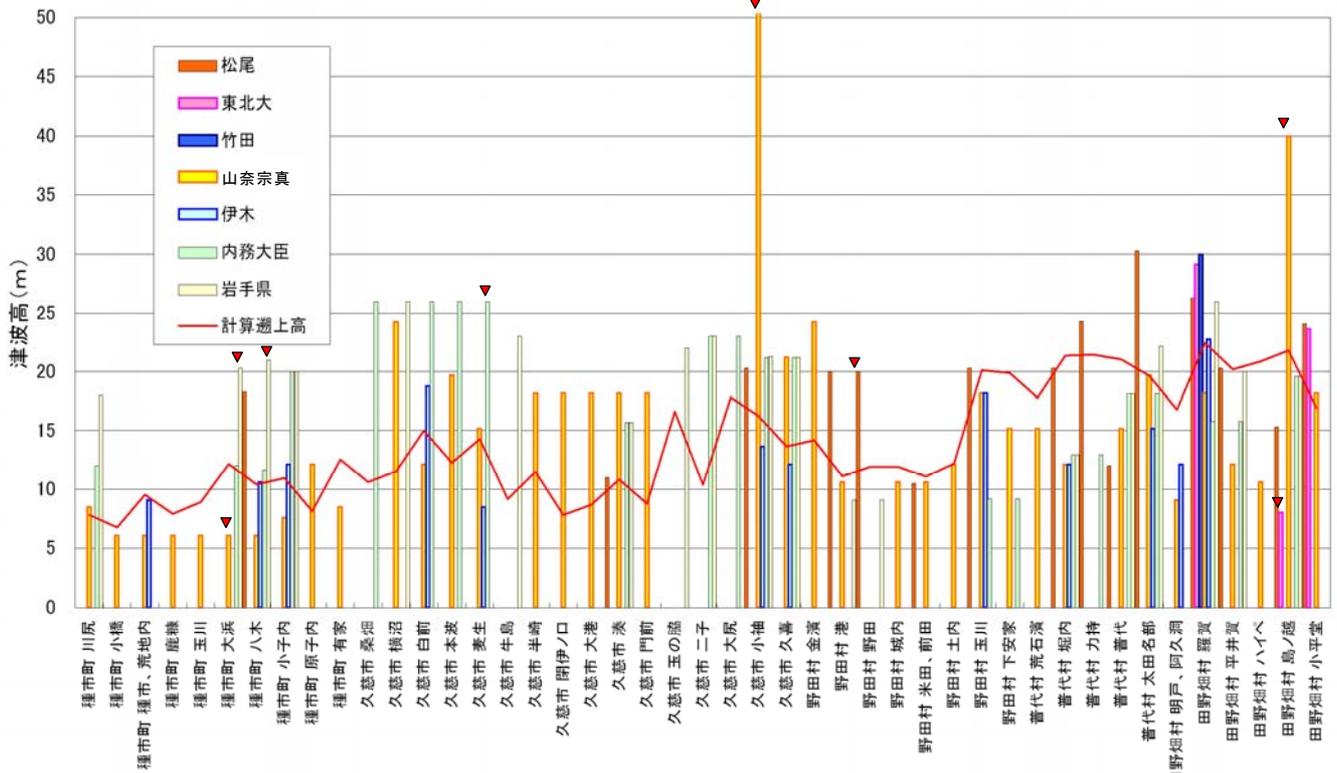


図 3(1) 明治三陸津波の痕跡資料の検証結果(▼:信頼性が低いと判断された痕跡記録)
(種市町～山田町)

Fig.3(1) Result of verification of records of Meiji Sanriku Tsunami.

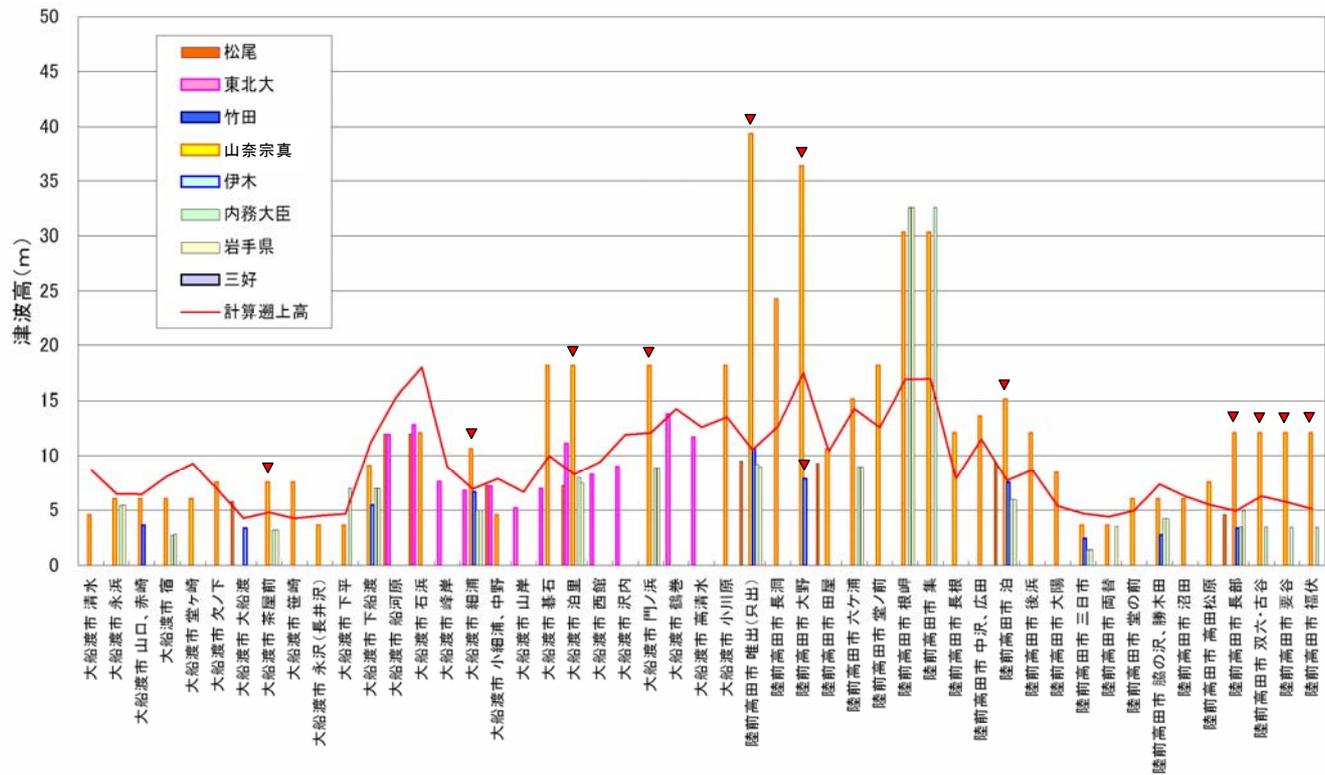
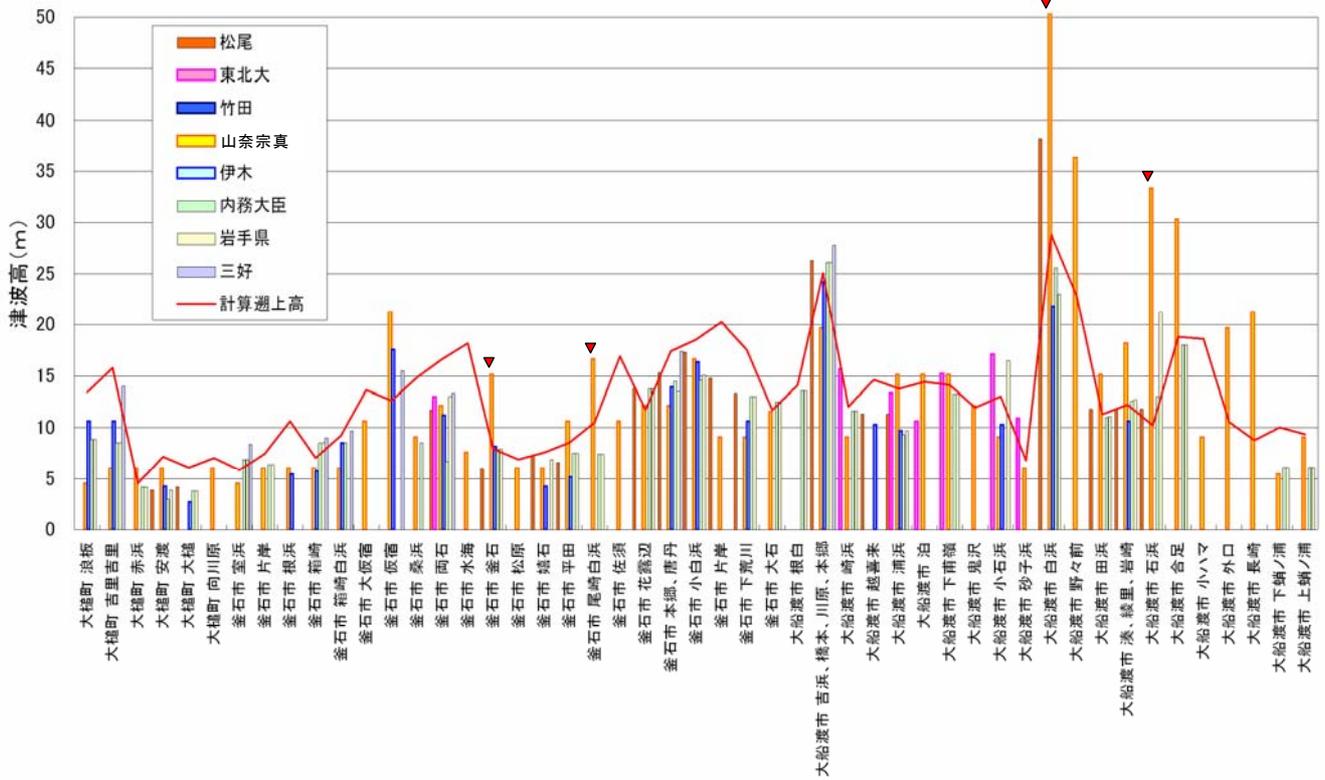


図 3(2) 明治三陸津波の痕跡資料の検証結果(▼:信頼性が低いと判断された痕跡記録)
(大槌町～陸前高田市)

Fig.3(2) Result of verification of records of Meiji Sanriku Tsunami.

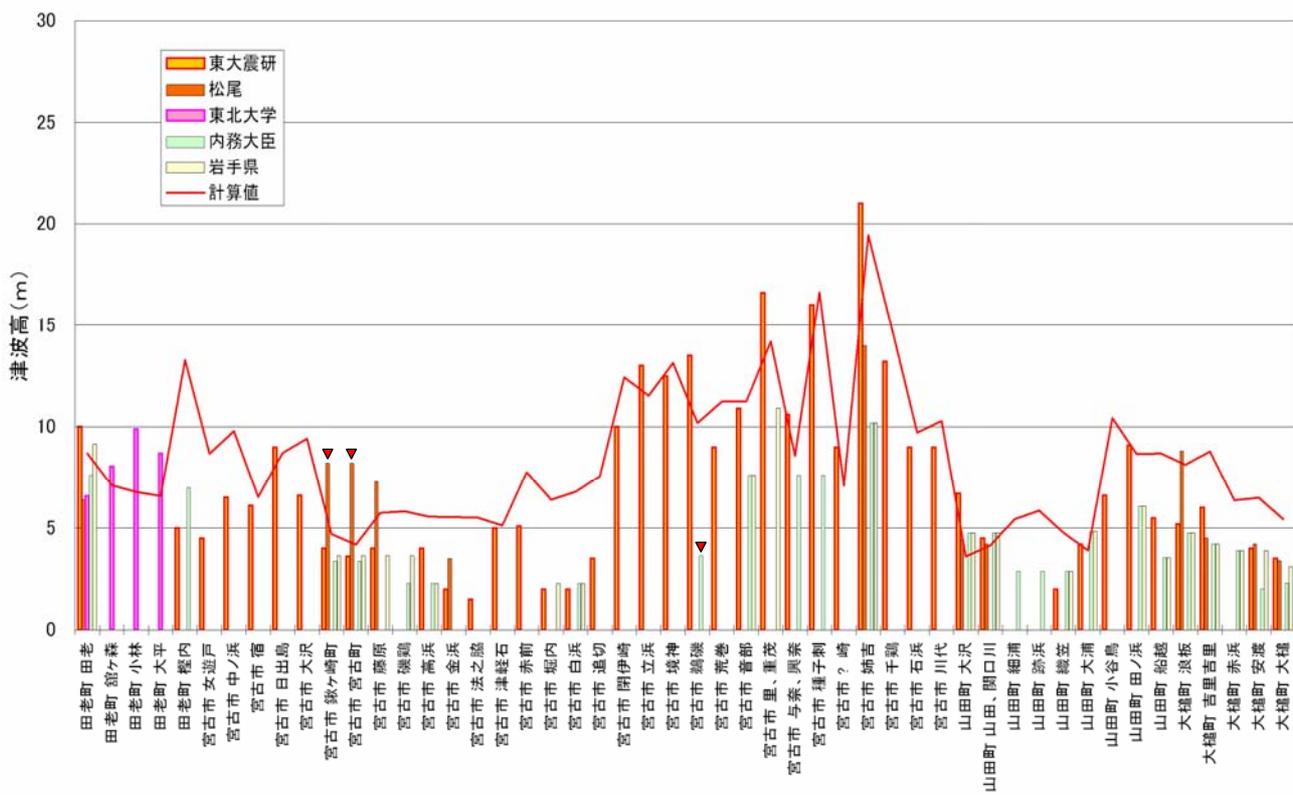
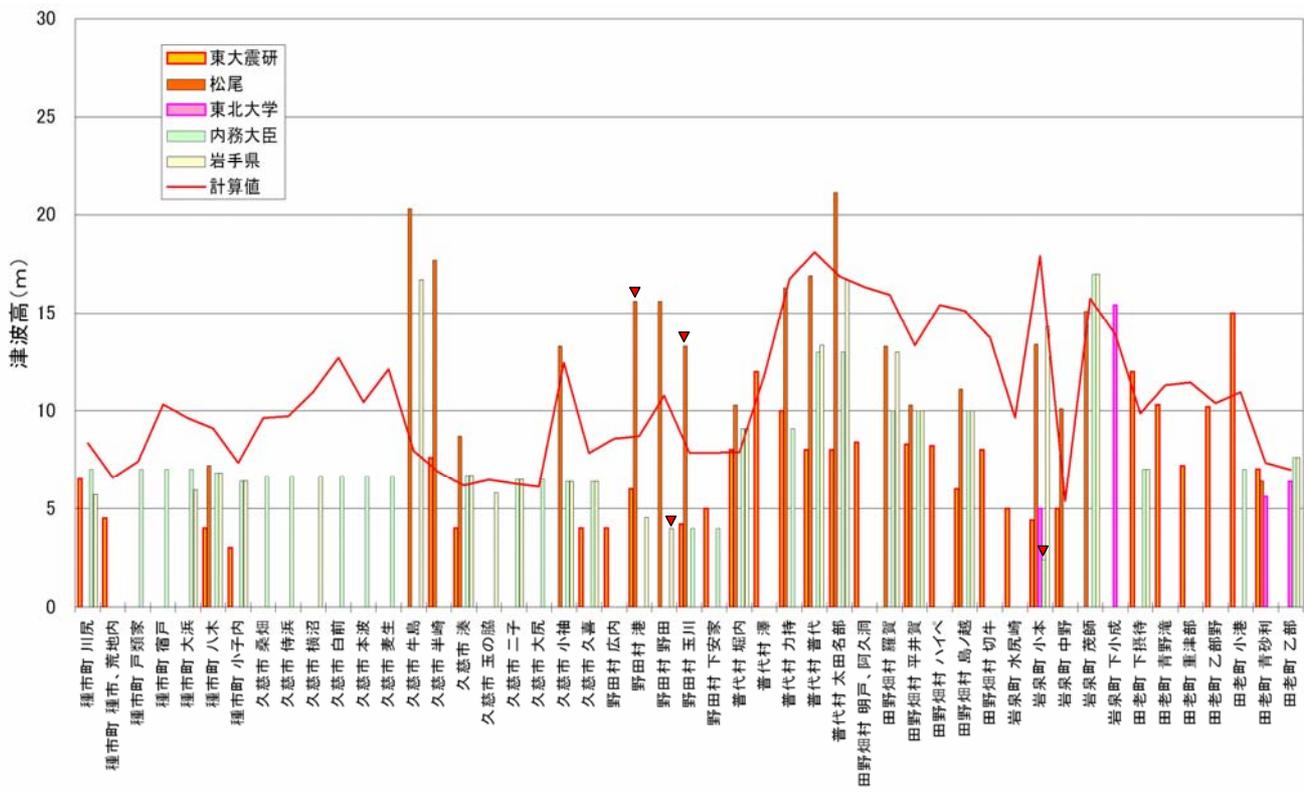


図 4(1) 昭和三陸津波の痕跡資料の検証結果(▼ : 信頼性が低いと判断された痕跡記録)
(種市町～大槌町)

Fig.4(1) Result of verification of records of Showa Sanriku Tsunami.

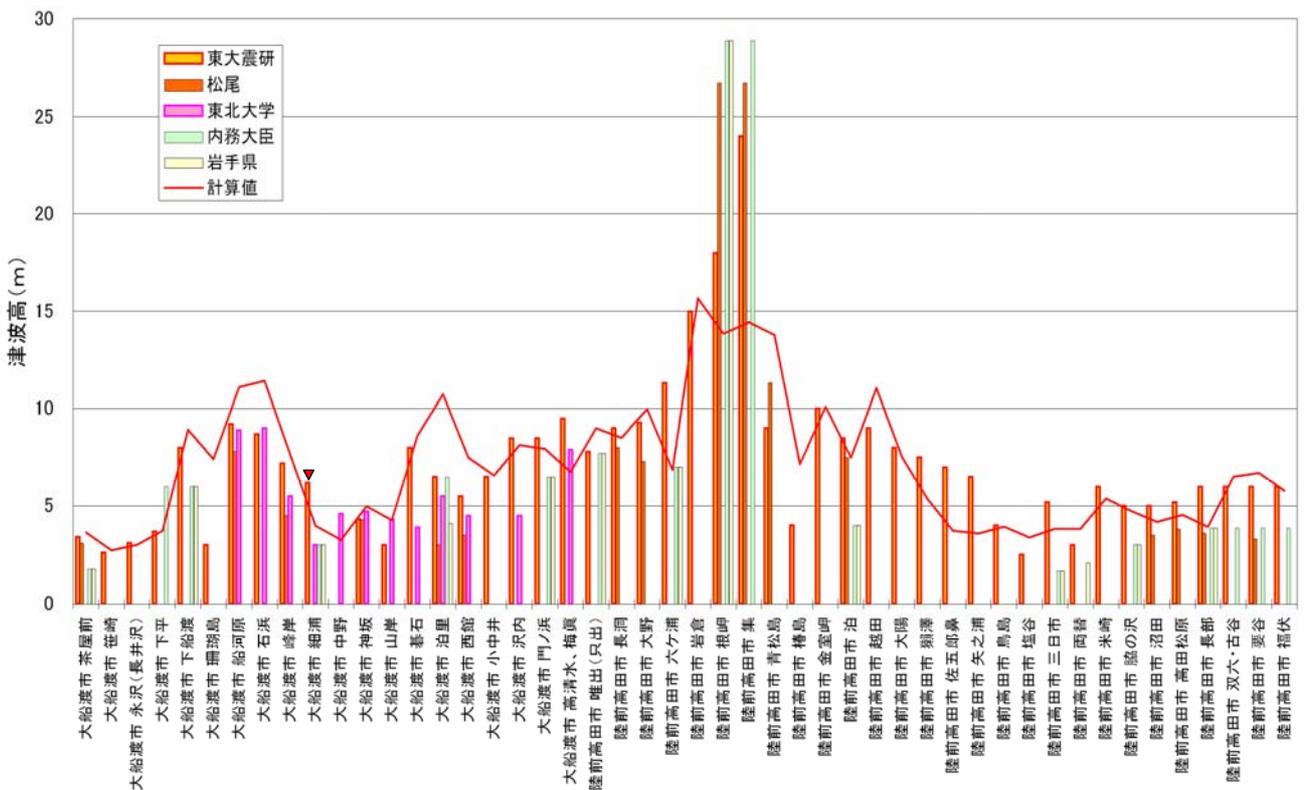
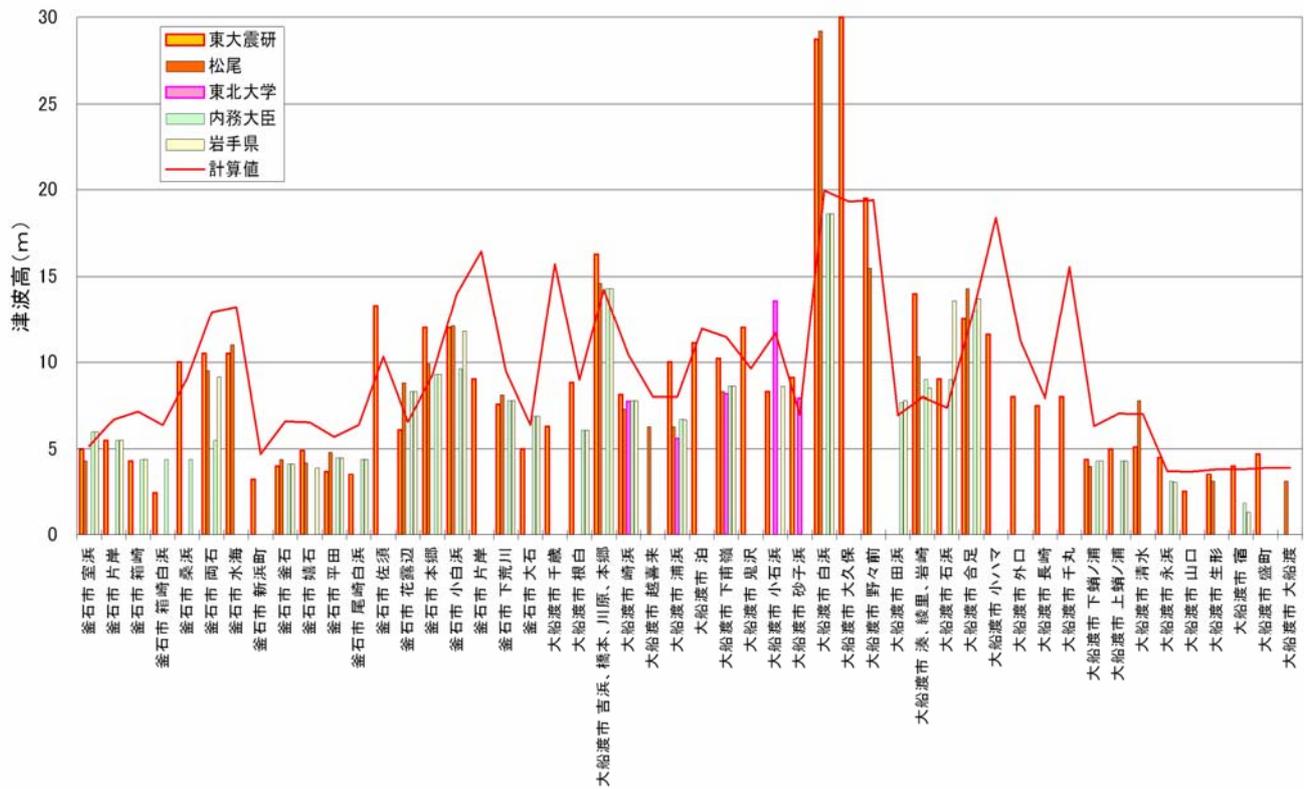


図 4(2) 昭和三陸津波の痕跡資料の検証結果(▼ : 信頼性が低いと判断された痕跡記録)
(釜石市～陸前高田市)

Fig.4(2) Result of verification of records of Showa Sanriku Tsunami.