

東北地方太平洋沖地震津波の調査結果 並びに 津波の生成・伝播の数値解析

柿沼太郎



平成24年度道路防災に関する技術講習会(鹿児島)

2011年3月11日,
津波は、東日本の広大な地域に壊滅的な被害をもたらした。

どのような津波が沿岸を襲ったのか。



志津川

地震の概要

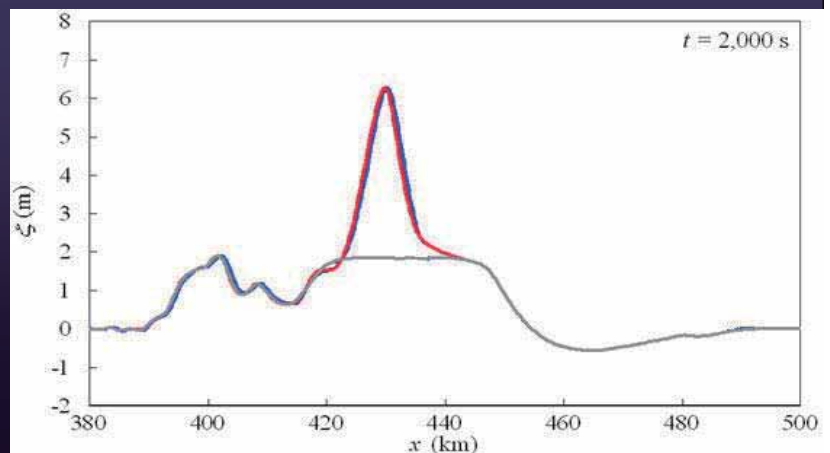
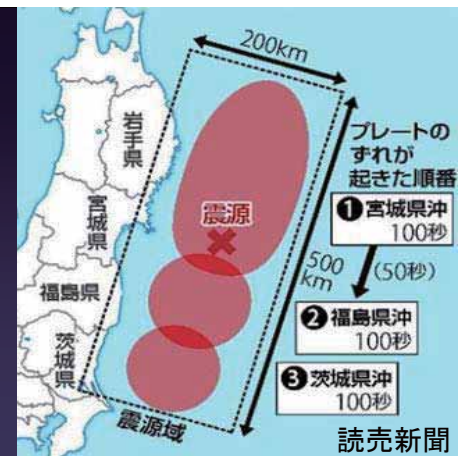
- ・ 発生時刻 → 2011年3月11日14時46分18秒
- ・ 震源 → 三陸沖
- ・ マグニチュード → 9.0
- ・ 最大震度 → 7 (宮城県栗原市)

日本国内観測史上最大
世界第4位の巨大地震



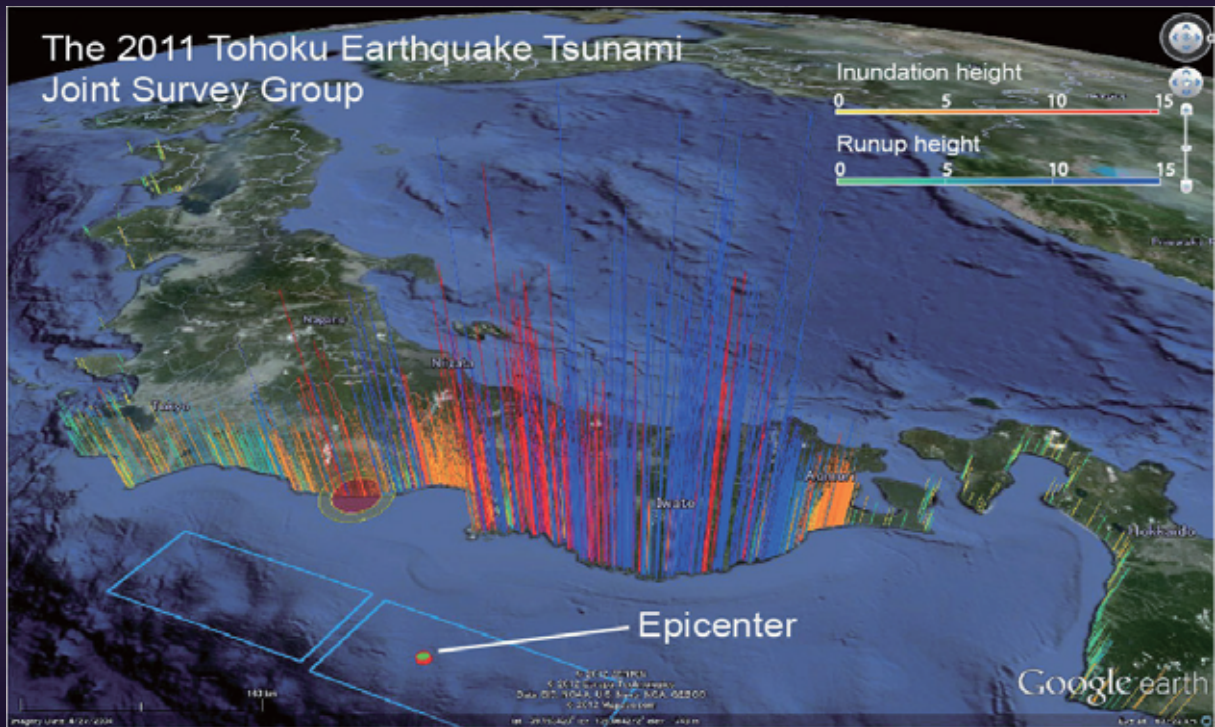
大きな津波被害

- ・ 広大な断層域 (長さ 500 km)
- ・ 巨大な津波の生成 (沖での波高 6.5 m)
- ・ 高さ数 m の津波に加え、4 ~ 5 分間に急激な約 4.7 m もの水位上昇が生じた。



津波の全国的な合同調査

→ 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ

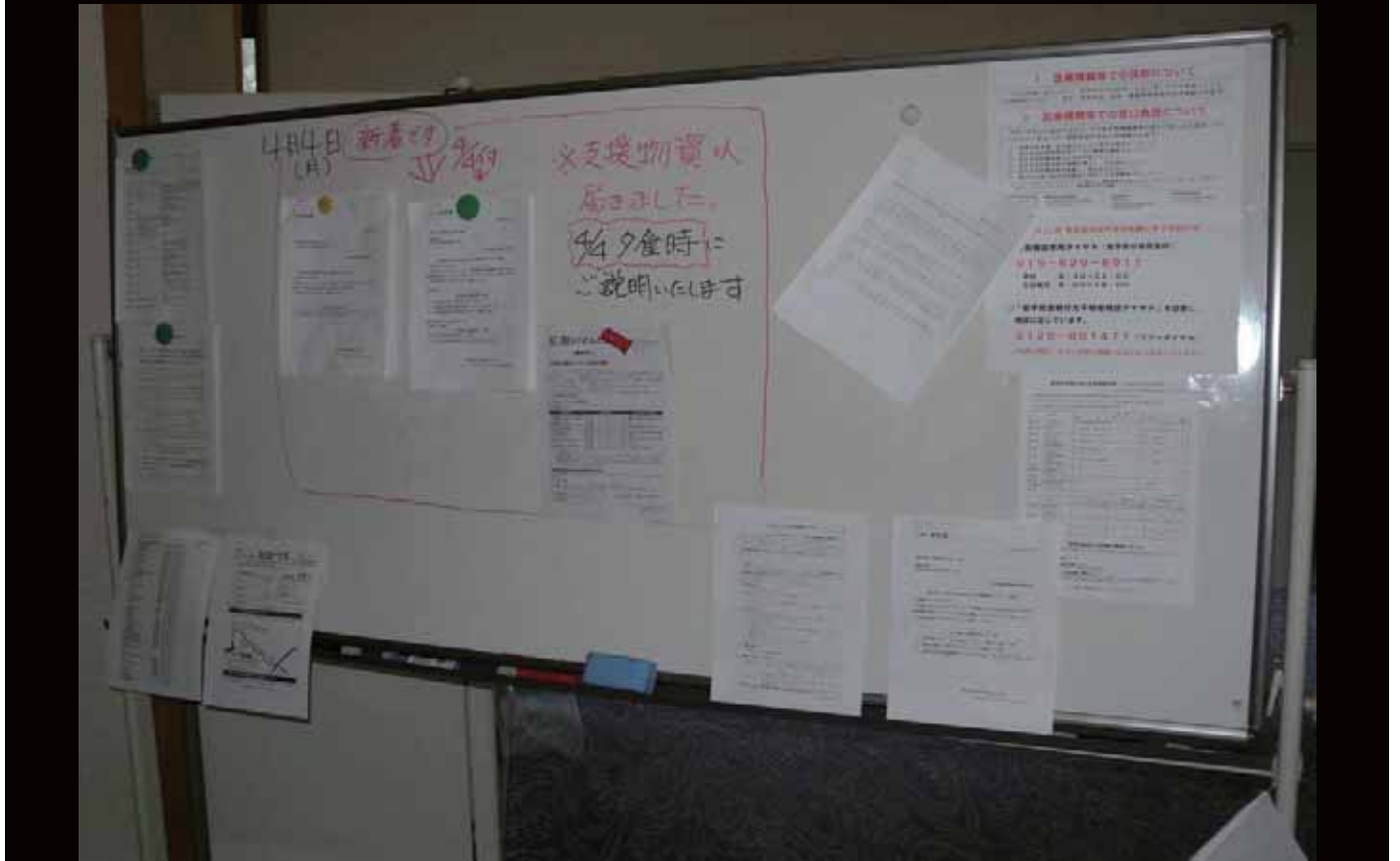


<http://www.coastal.jp/ttjt/>

津波痕跡調査

→ 2011年4月1日～6日





オキライ
岩手県大船渡市三陸町越喜来・越喜来小学校
(登校していた小学生は、全員避難した。津波は、3階までガラスを突き破った。)



宮城県気仙沼市内
(通行のために、瓦礫が路肩に寄せられている。)



気仙沼市内
(海水が引かずに残っている。)



気仙沼港付近
(2階に、乗用車が残されている。)



気仙沼港付近
(住宅に衝突した船の下には、乗用車が見られる。)



気仙沼港付近



ハジカミ オイセハマ
気仙沼市波路上・御伊勢浜
(50 m程流された住宅の2階部分が他の住宅に衝突した.)



津波襲来の前（左図）と後（右図）における御伊勢浜海水浴場の衛星写真（© 2010 Google, © 2011 Cnes/Spot Image, Image © 2011 TerraMetrics）



歌津名足

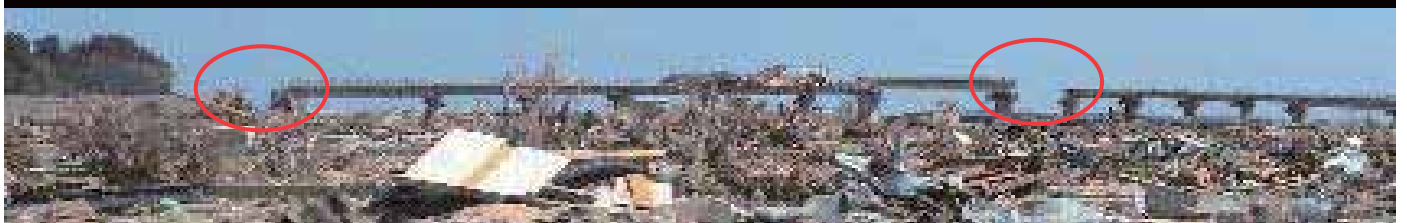


気仙沼市本吉町・大谷海岸
(曲がった電柱の上に、木材が乗っている。)



JR清水浜駅の駅舎と津波の痕跡

気仙沼市本吉町小金沢・小金沢駅
(JR気仙沼線のレベルは、比較的 lowく、津波被害を受けた。)





JR気仙沼線の線路
(線路が落下した。)



仮設道路橋
(住民等が通行できるよう、道路橋が設けられている。)



南三陸町内
(漂流物を含んだ津波の流体は、窓ガラスや壁面を突き破った。)



志津川

津波痕跡調査



津波痕跡調査



津波痕跡調査



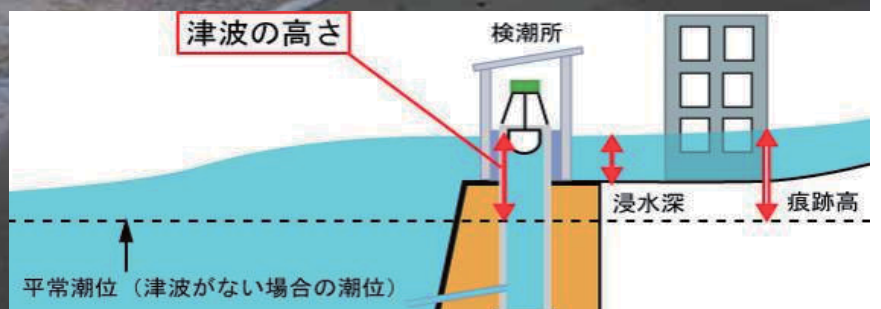
津波痕跡調査



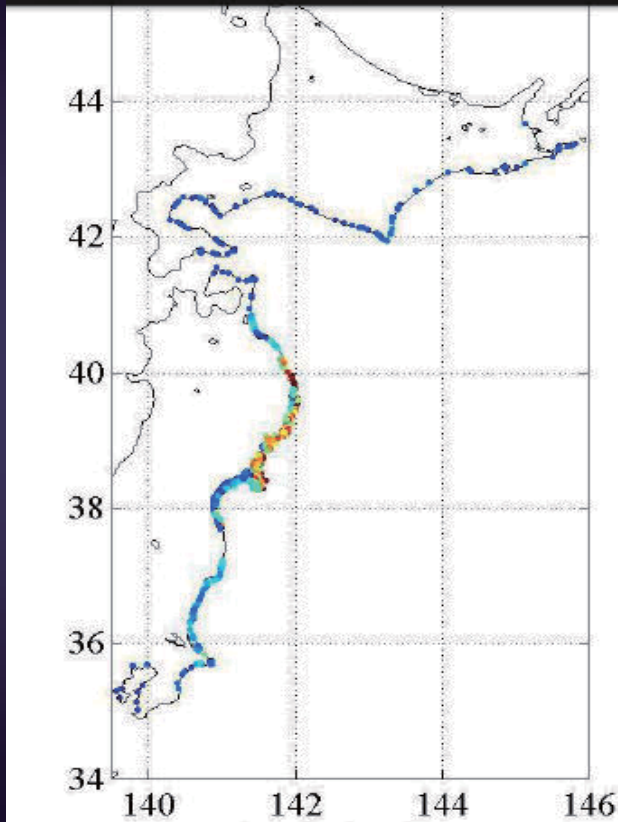
津波痕跡調査



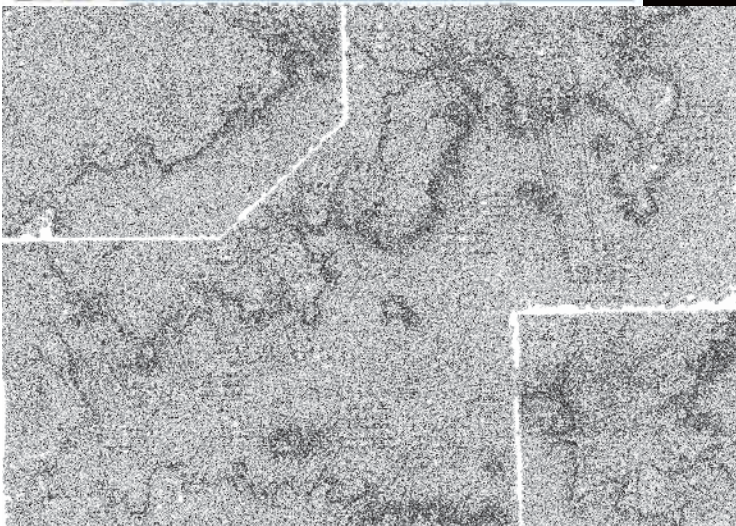
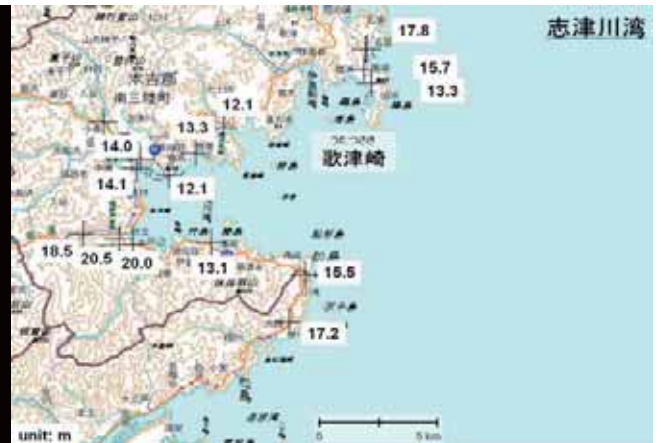
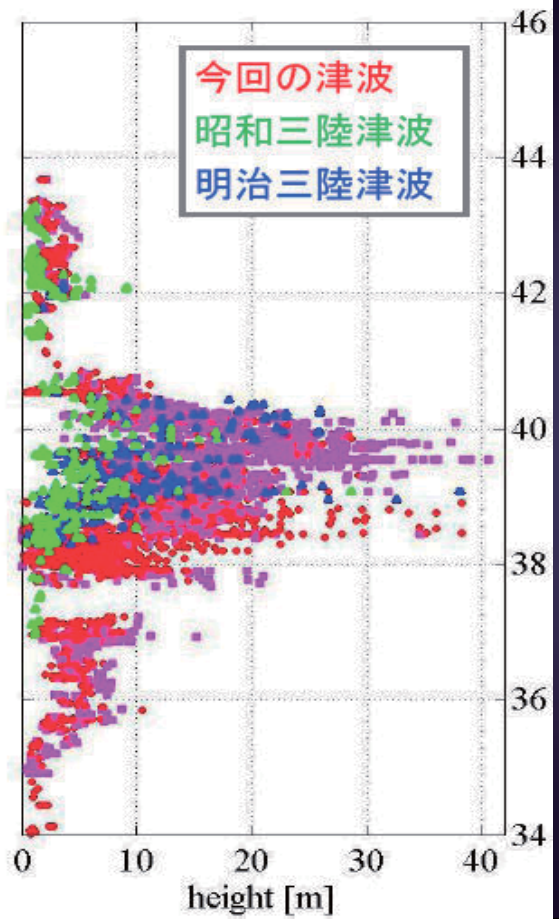
津波痕跡調査



過去のデータとの比較



<http://www.coastal.jp/ttjt/>



昭和三陸津波後に内務省土木試験所の松尾氏が実測した地図(明治三陸津波の値が、括弧書きで記入されている。)



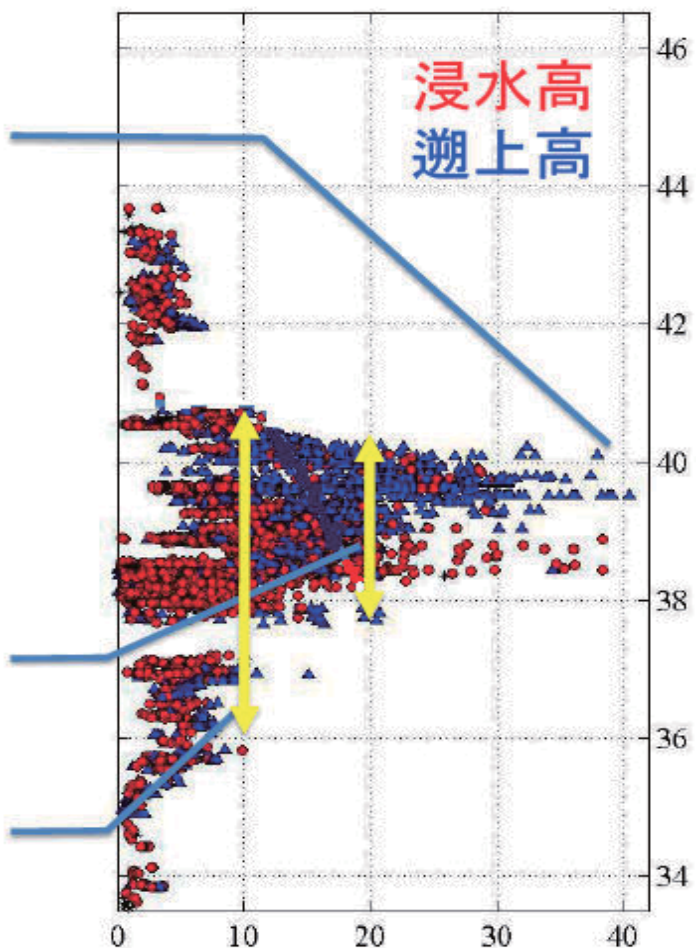
Dr. Sugawara
(Tohoku Univ.)

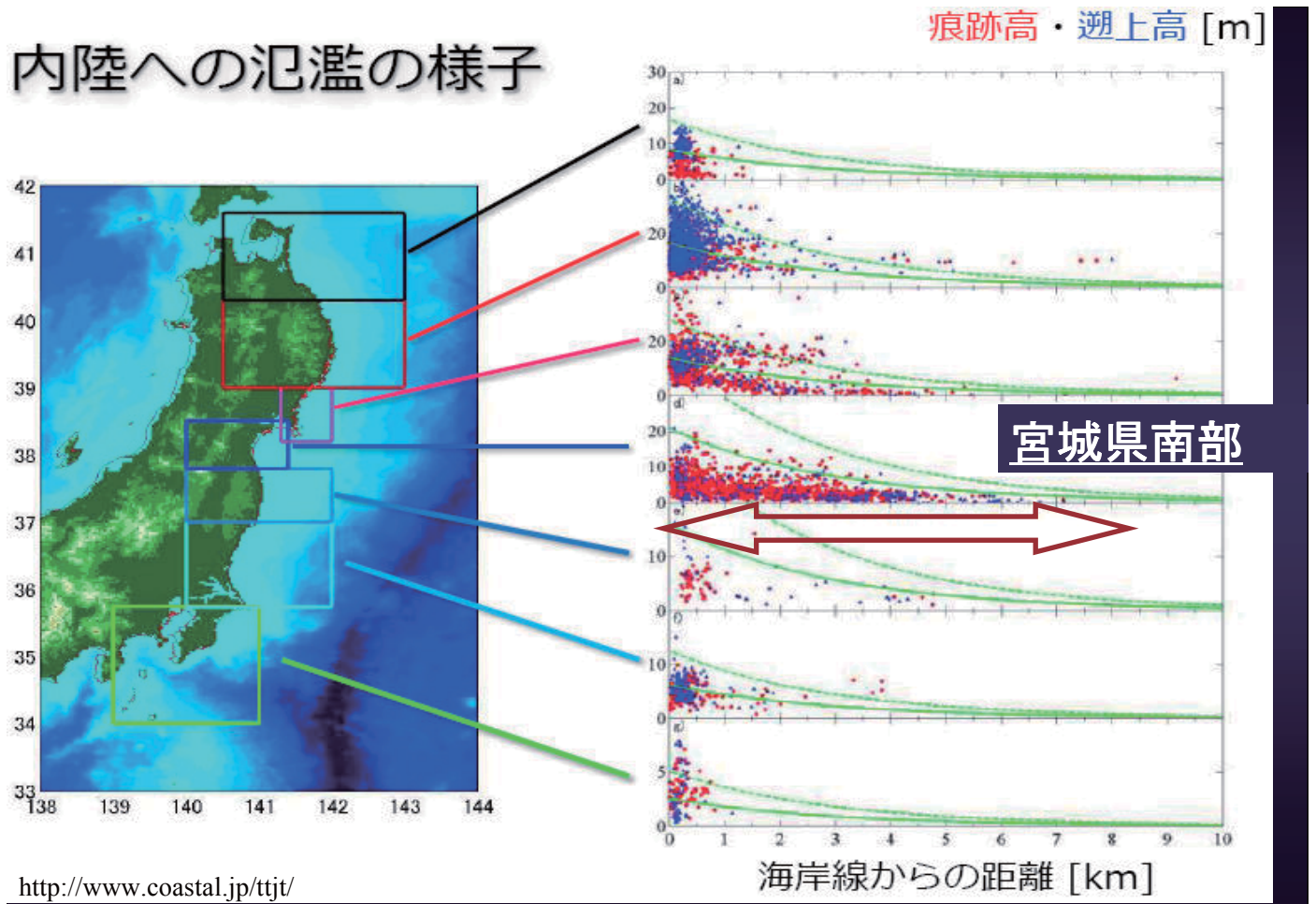


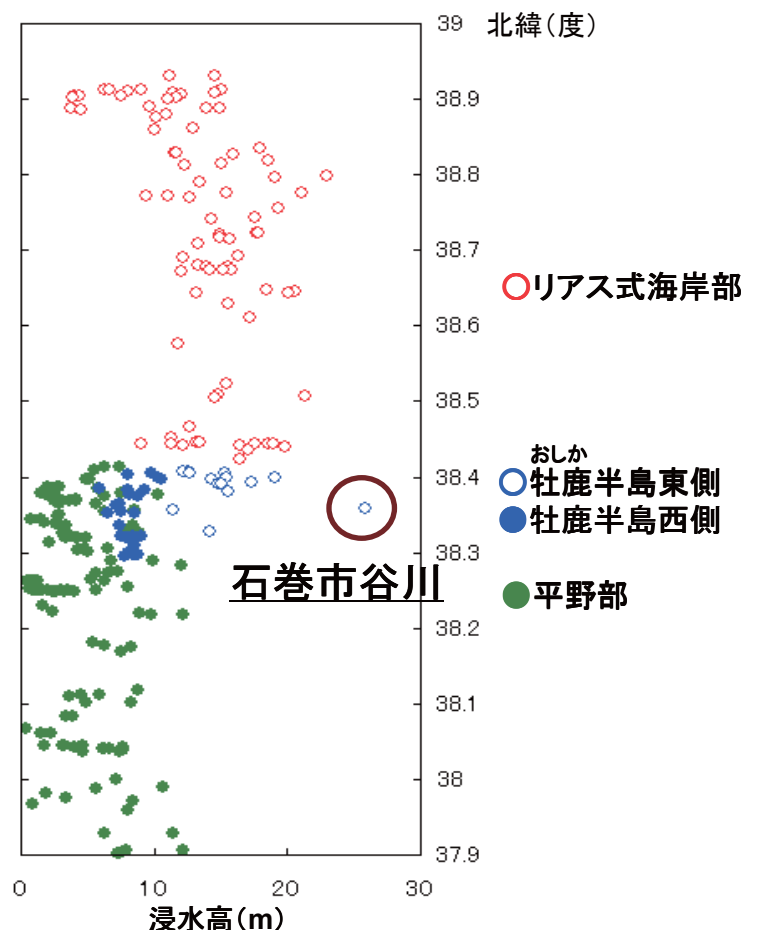
最大遡上高 **40.4m**
これまで : 38.2m

浸水高・遡上高が 20mを超えた範囲
南北 **289.8km**

浸水高・遡上高が 10mを超えた範囲
南北 **425.2km**
<http://www.coastal.jp/tjt/>

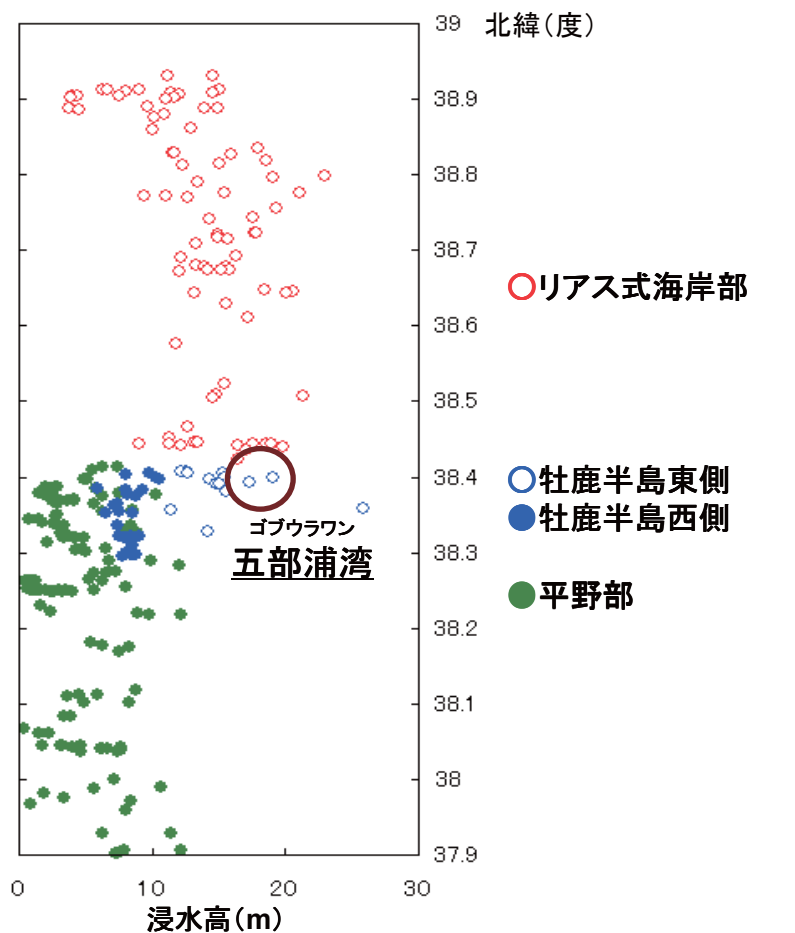
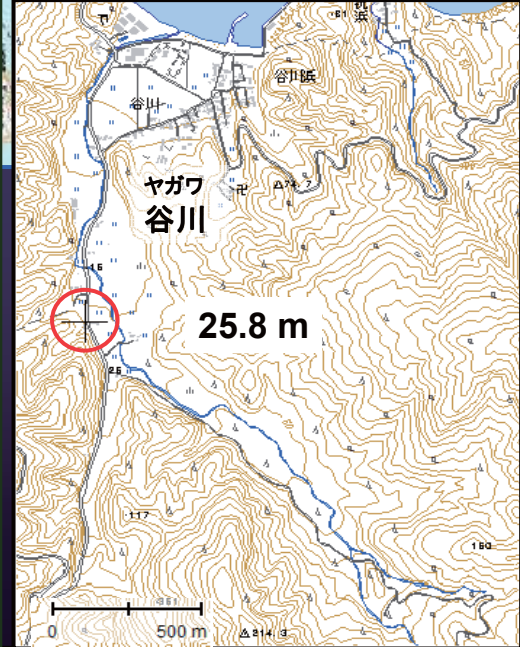
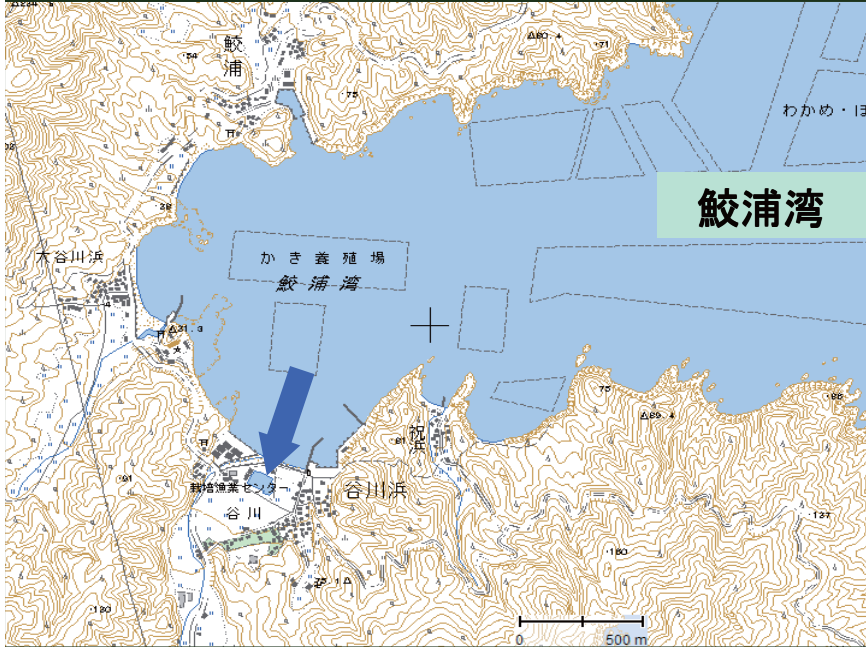






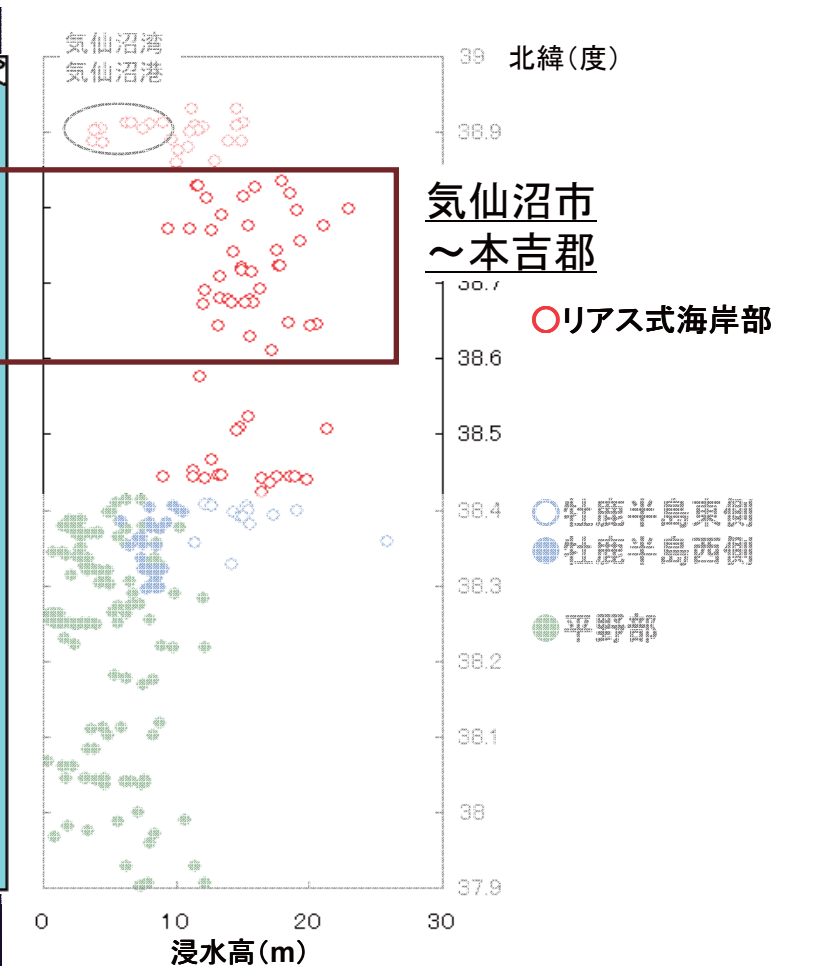
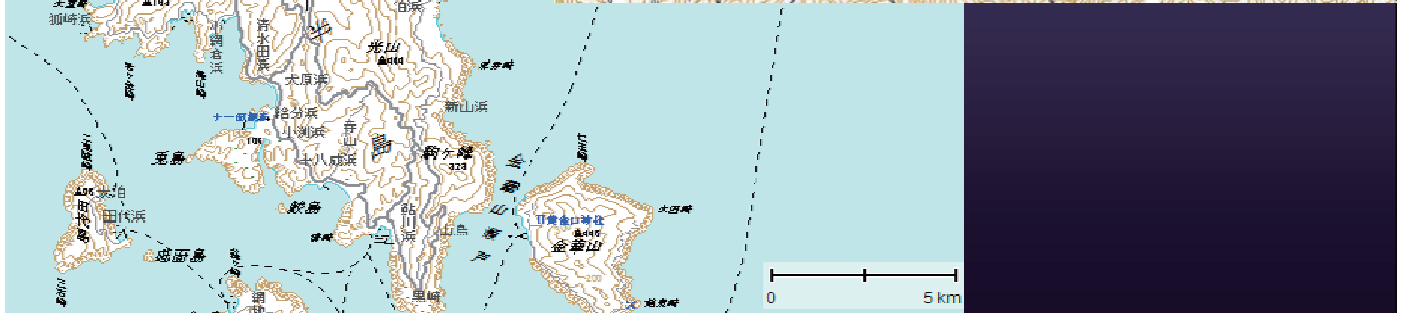
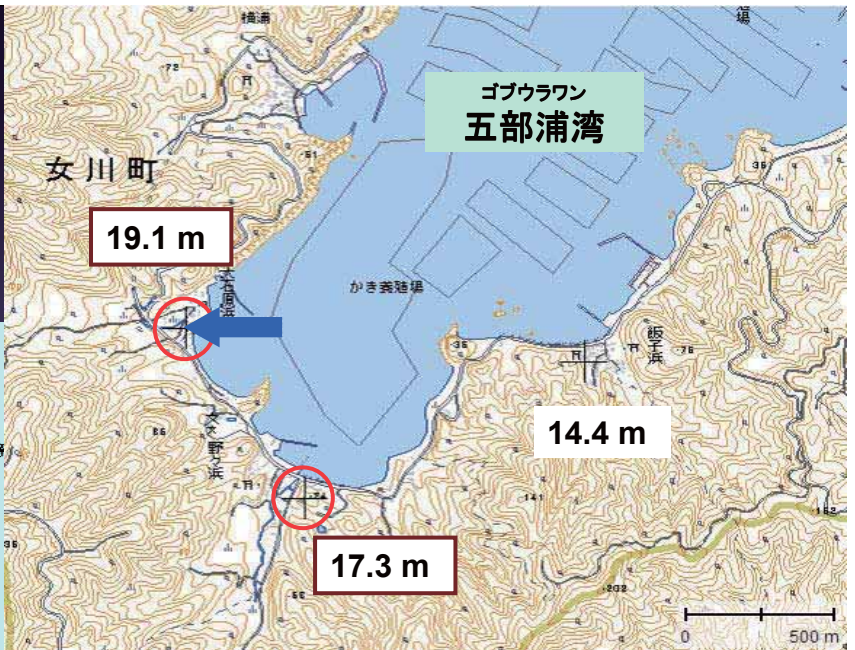
石巻市谷川

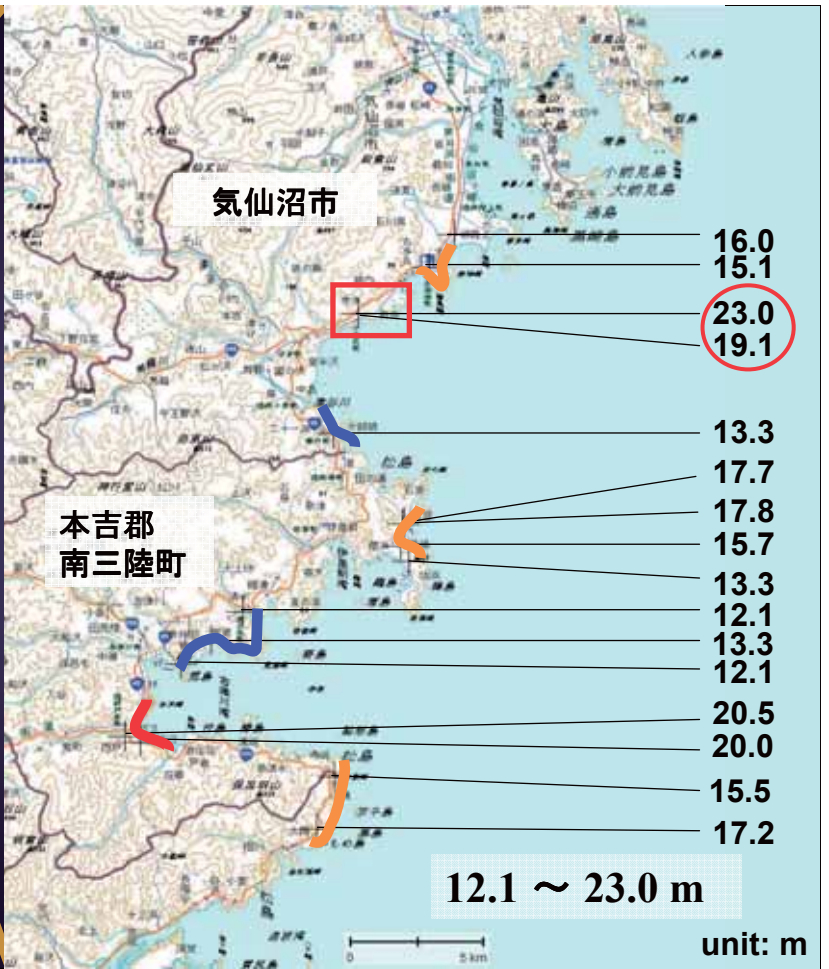
本資料では、電子国土 Web システムの地形図を用いている。



牡鹿郡女川町

大石原浜 > 野々浜 > 飯子浜

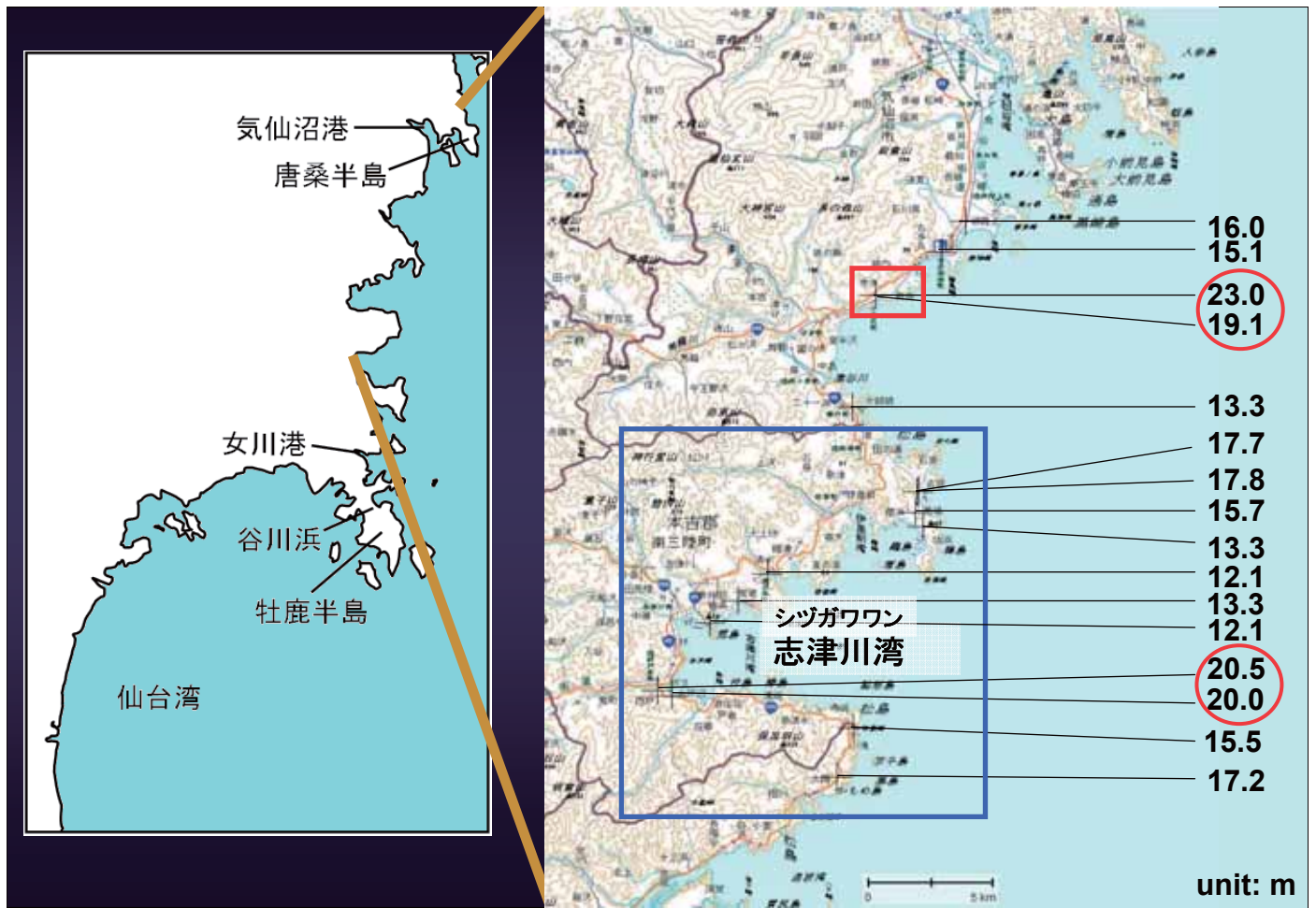




気仙沼市本吉町



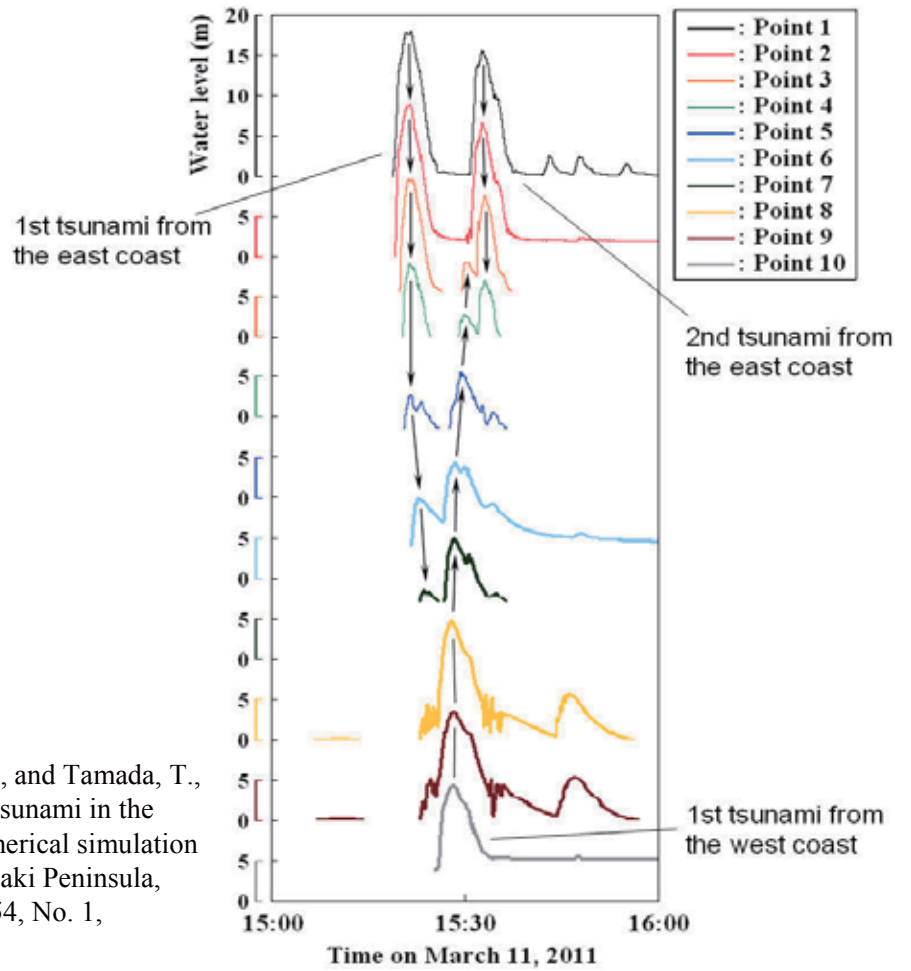
狭まり,
急に高くなる。



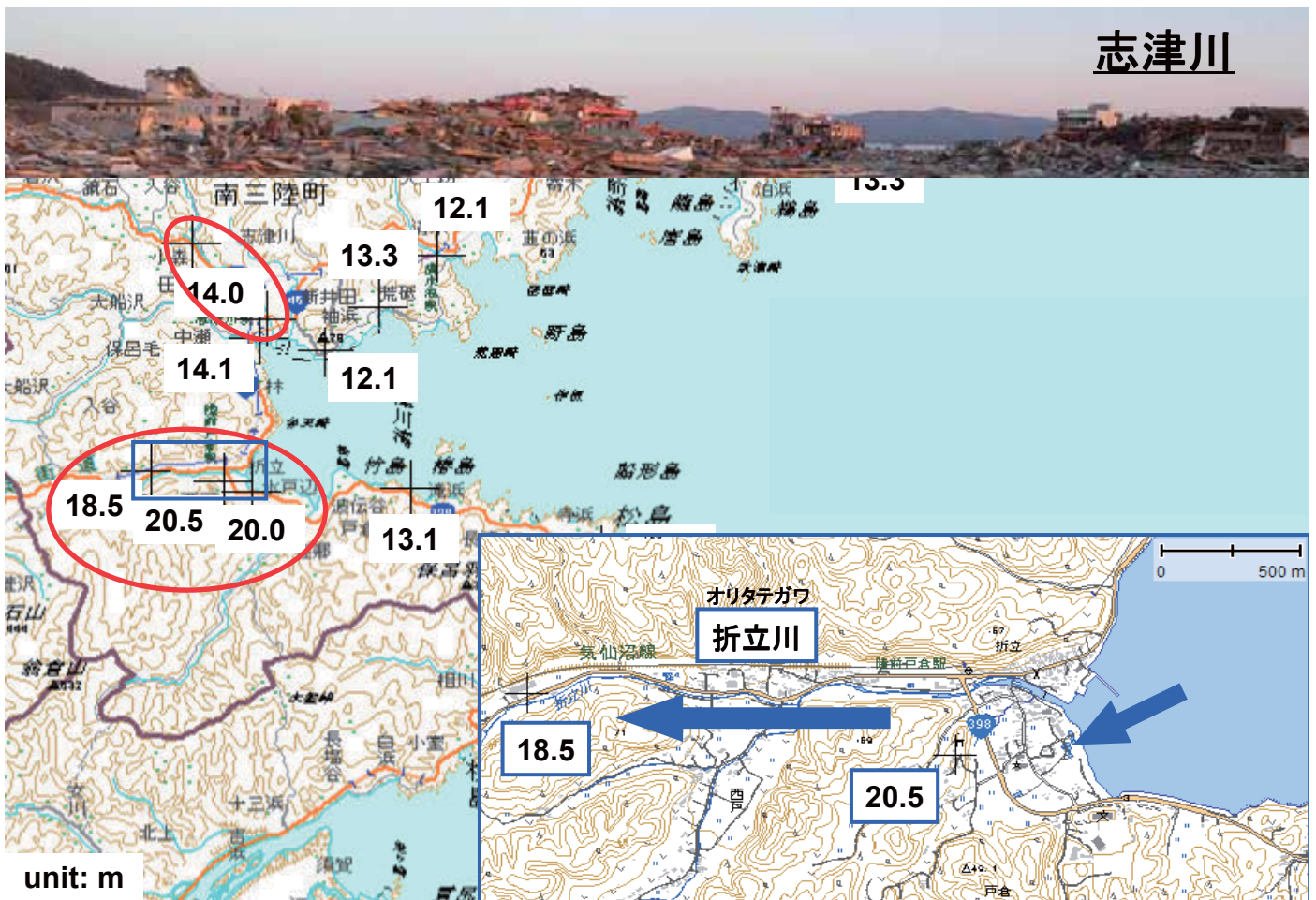
志津川

ウツサキ
歌津崎

[証言]
 半島中央で、海面が高く
 上昇したように見えた。
 半島の東西から伝播した津波が
 衝突して、海面が跳ね上がった。



Kakinuma, T., Tsujimoto, G., Yasuda, T., and Tamada, T., Trace survey of the 2011 Tohoku Tsunami in the north of Miyagi Prefecture and numerical simulation of bidirectional tsunamis in Utatsusaki Peninsula, Coastal Engineering Journal, Vol. 54, No. 1, pp.1250007-1-1250007-28, 2012.





戸倉小学校

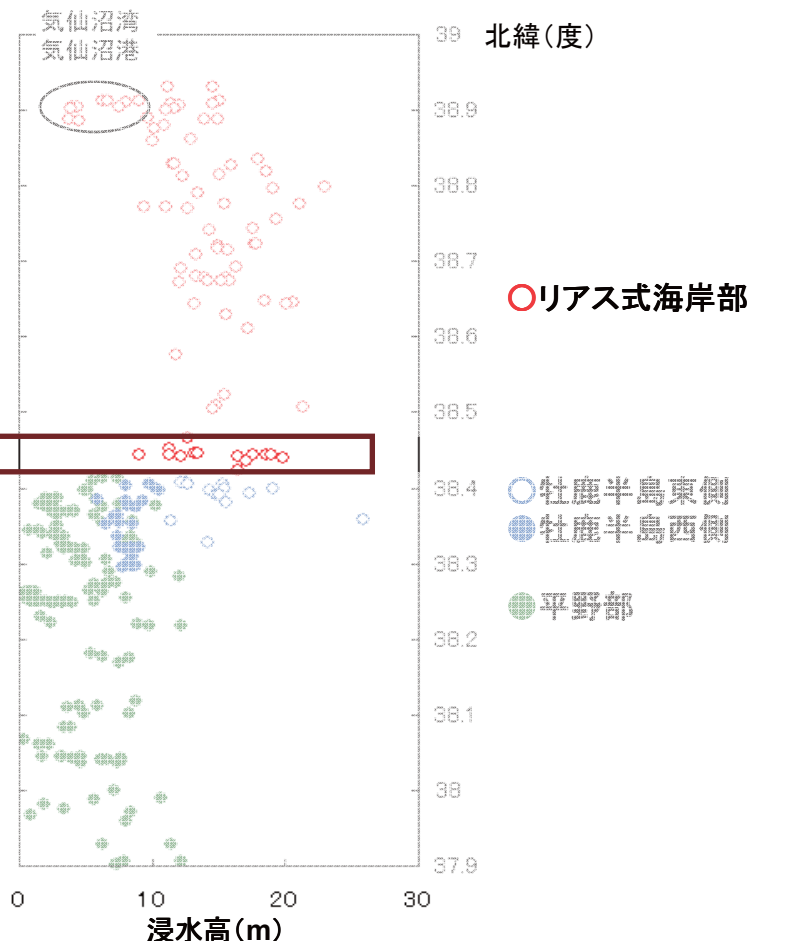
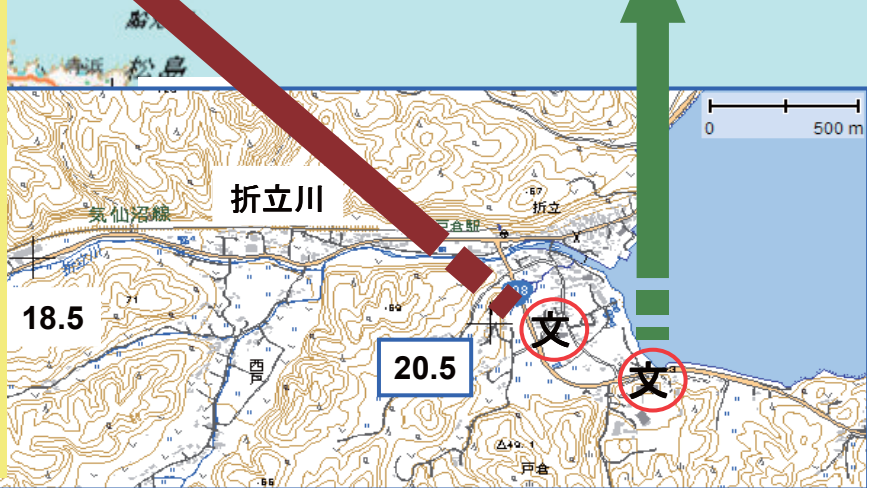


戸倉中学校

チリから贈られたモアイ像

学校は、
高台に建てられていたり、
低地に建てられていたり
と様々である。

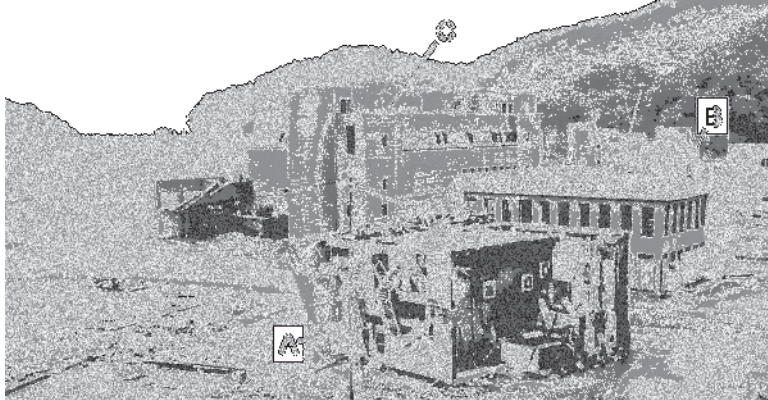
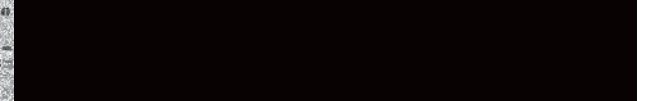
立地をどうすべきであるの
か、今後、検討する必要がある。



女川湾



unit: m



A の基礎裏



マリンパル女川の 流れに対する影響

防波堤効果

マリンパル女川の
2棟間の局所洗掘



牡鹿郡女川町における鉄筋コンクリート建造物の転倒例
津波のくり返し, 土砂の運動, 構造, 老朽化, etc.



コンクリート建造物 → 避難ビルに指定される。

越喜来小学校

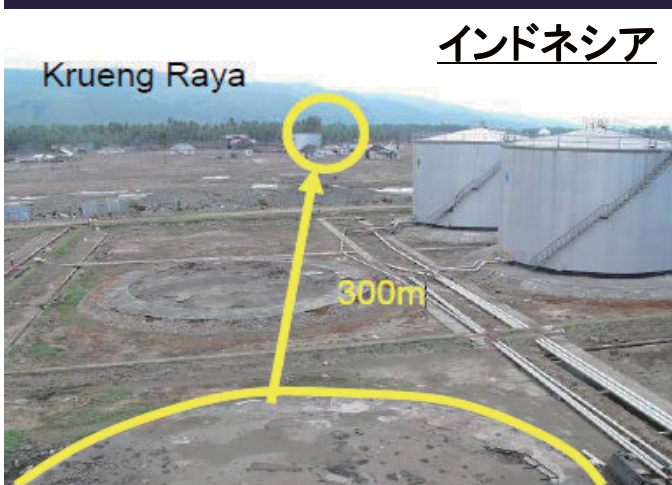


安全な避難経路の確保

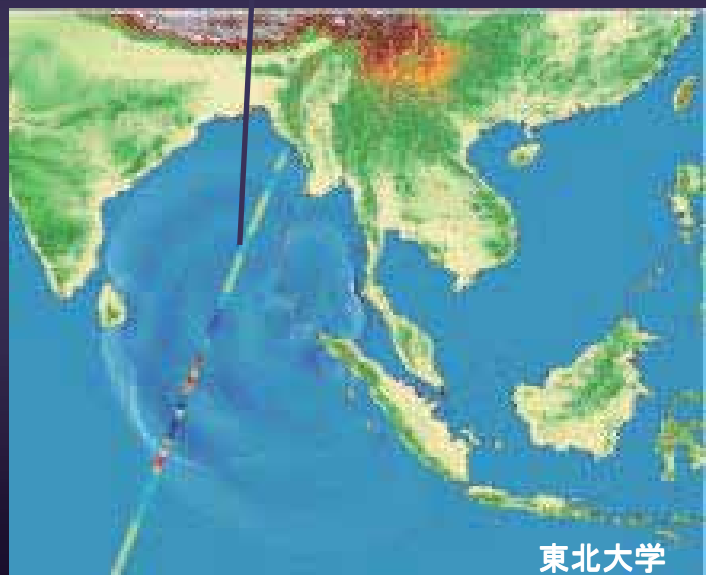


それぞれの県、市や学校が、子どもたちを守るために何が必要なのか考えることが大切である。

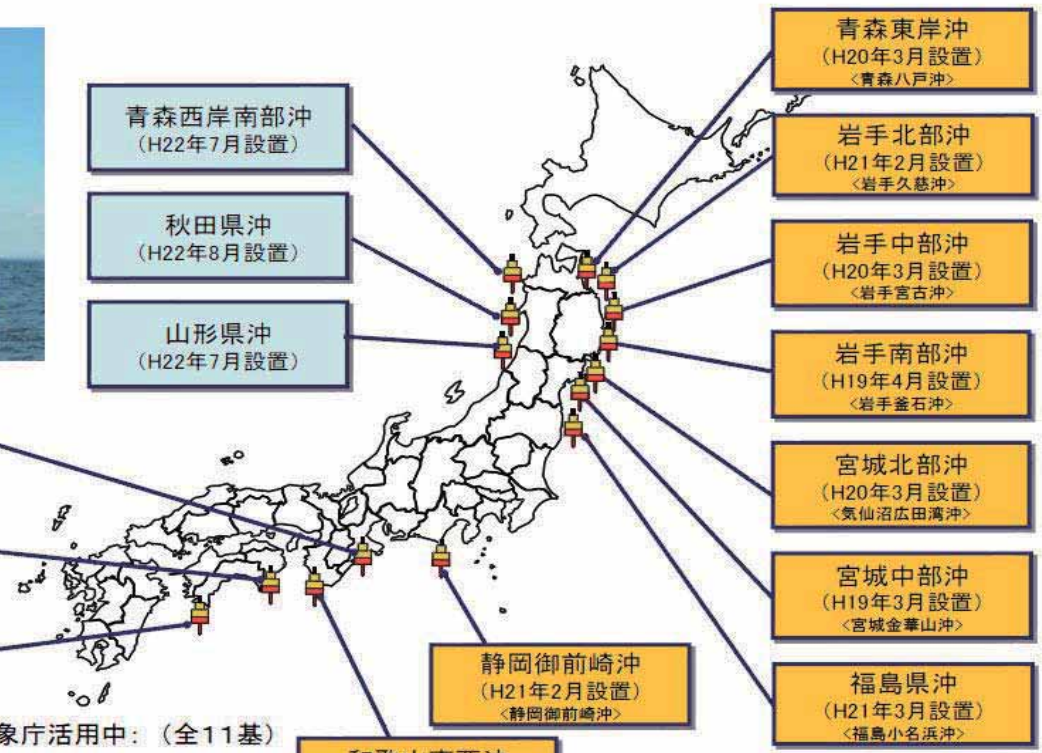
津波の現地観測 インド洋大津波



地震発生より2時間後の津波を捉えた衛星 Jason-1 の軌道



GPS波浪計観測地点一覧



- データ公表済み、気象庁活用中：（全11基）
- データ公表済み、気象庁活用準備中：（1基）
- 初期設定中(仮称)：（全3基）

各地点名称はリアルタイムナウファス*での表示名
 * <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>
 < >内は気象庁発表名称

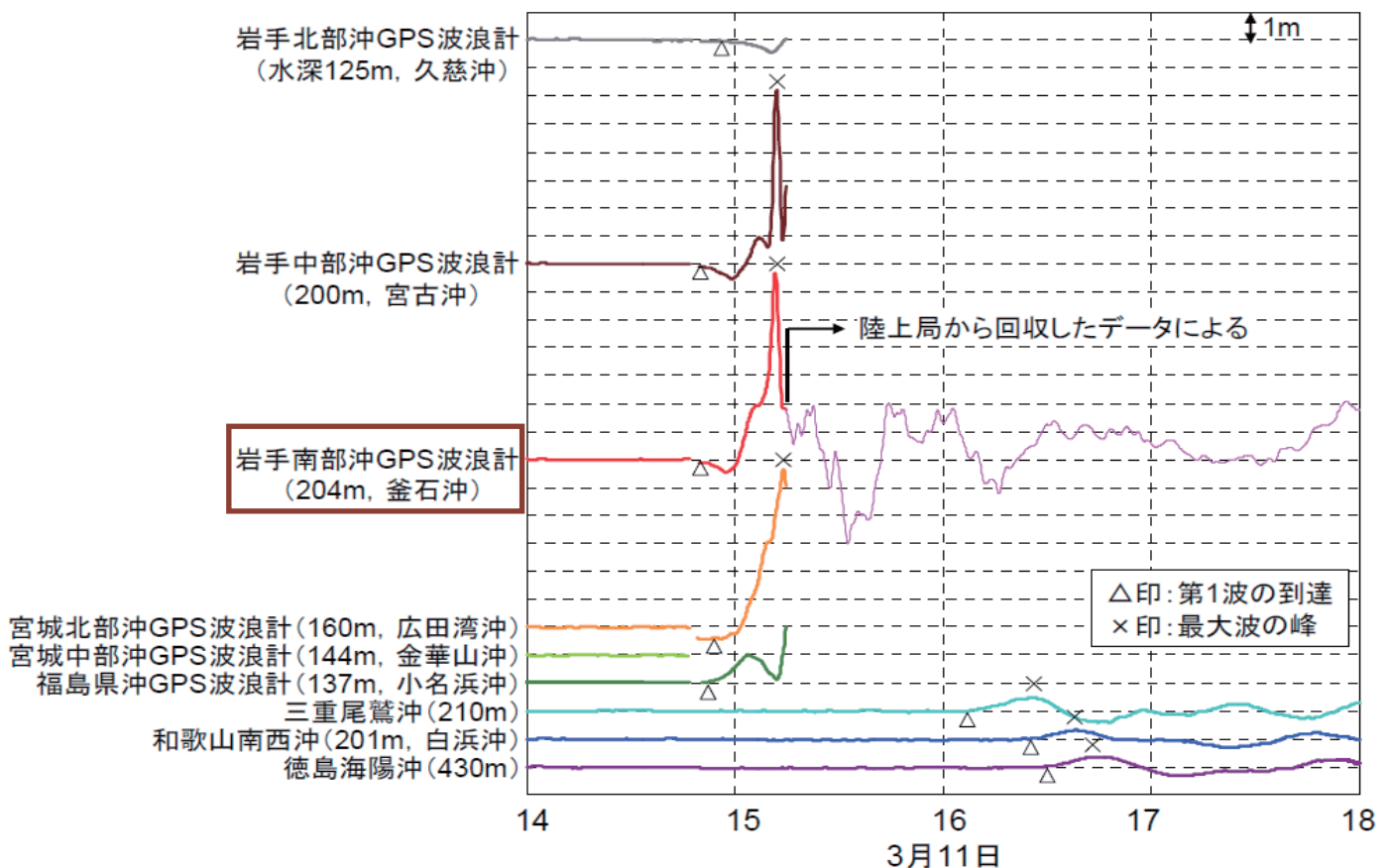
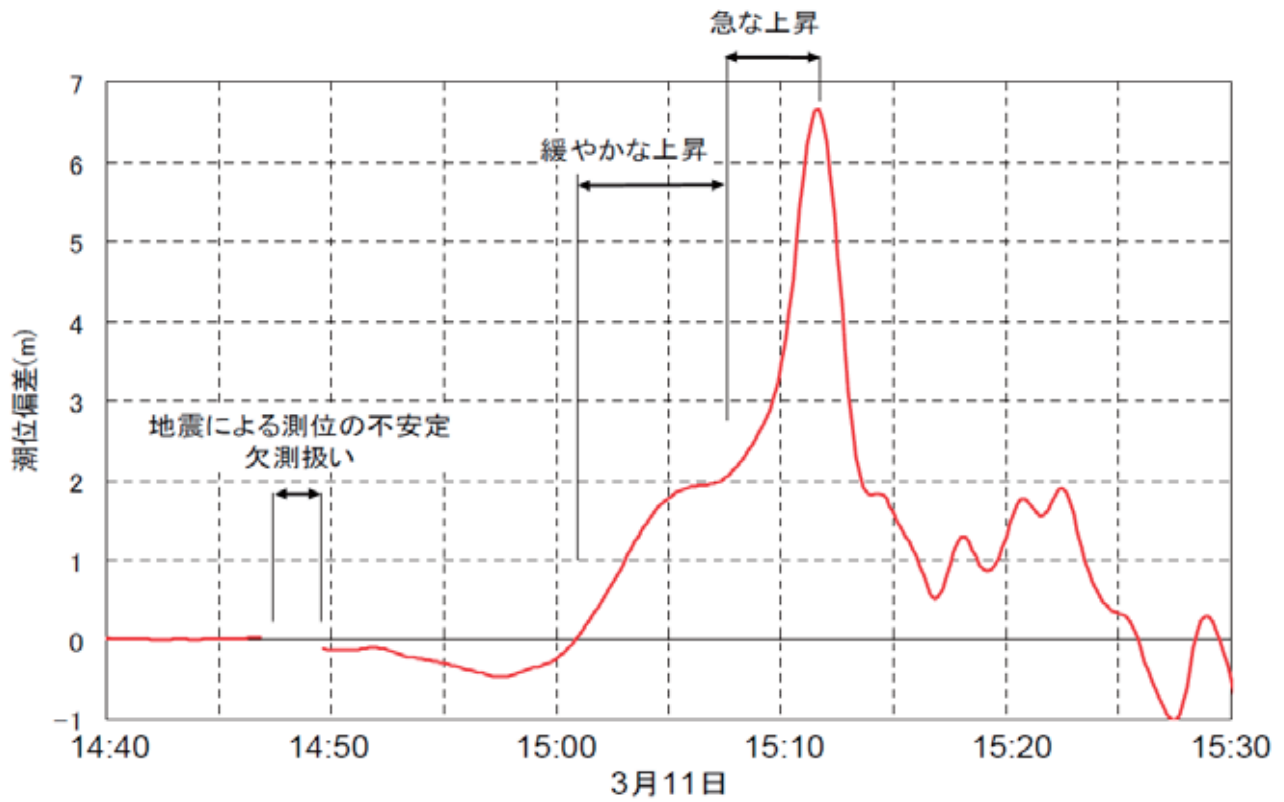


図-1 東北～四国沿岸のGPS波浪計で捉えた津波波形
 (港湾空港技術研究所ホームページ)



岩手南部沖GPS波浪計が捉えた津波の第一波

河合弘泰・佐藤 真・川口浩二・関 克己: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震津波の特性, 港湾空港技術研究所報告, 第50巻, 第4号, pp. 3-63, 2011.

水理実験



鹿児島大学大学院理工学研究科
海洋土木工学専攻 波浪実験棟

津波の生成・伝播・遡上の数値解析

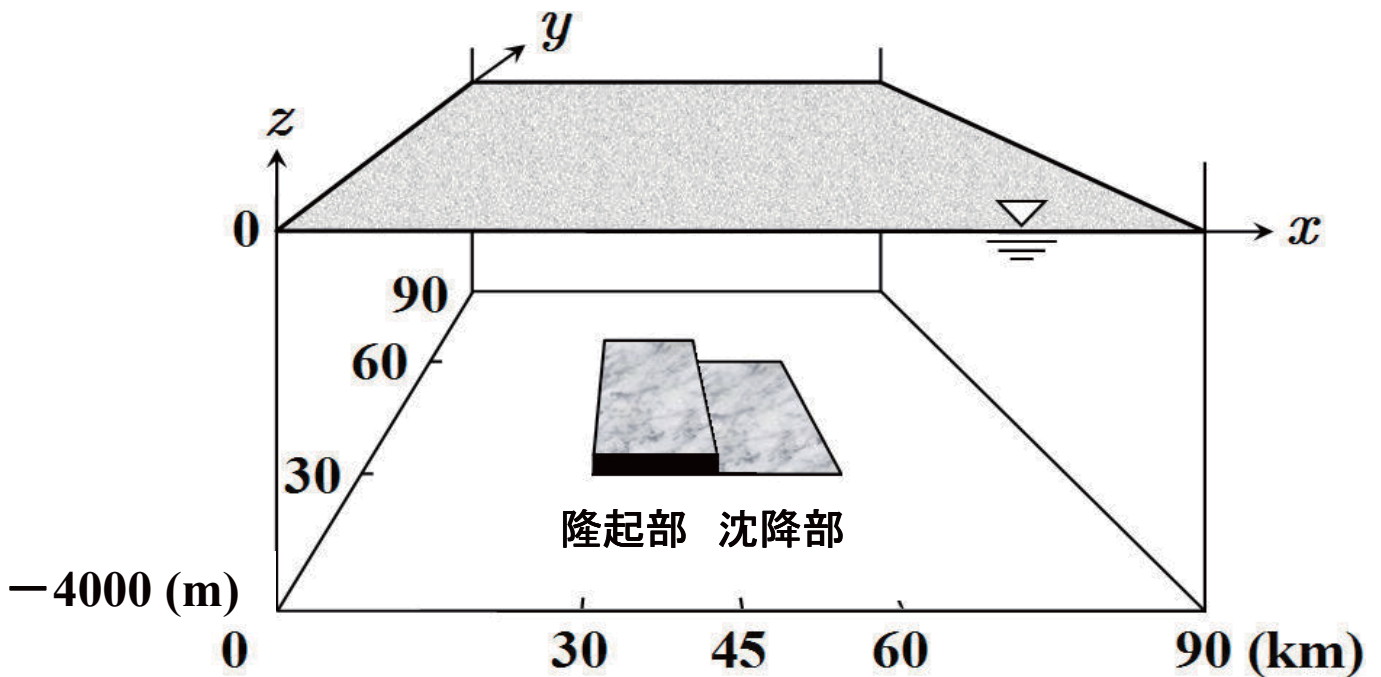
津波の生成

プレートテクトニクスと津波

軽い大陸プレート 重い海洋プレート

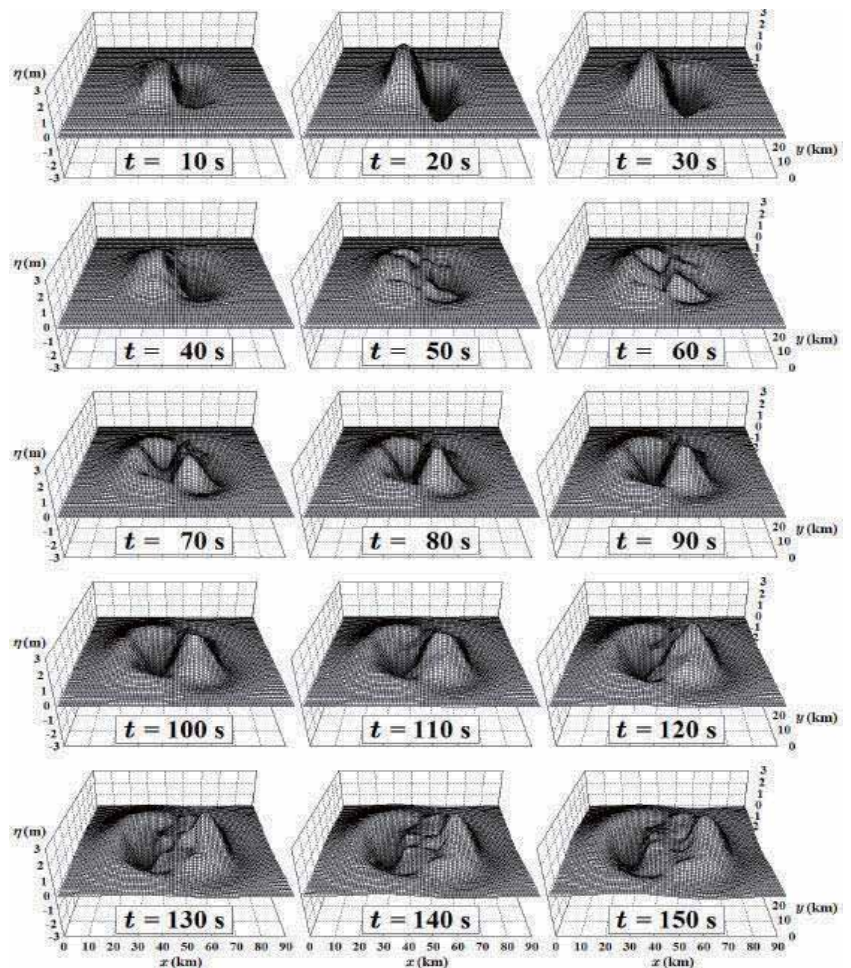


津波生成過程の3次元数値計算



地形変化 → 一定速度, 20 s 間
→ 3 m の永久変位

津波発生過程の水面形



柿沼太郎・秋山 実, 海底地形の変動に伴う津波発生過程の数値解析, 土木学会論文集, Vol. 62, pp.388-405, 2006.

気象庁の津波予測

「量的津波予報」(気象庁) によって、
津波の規模が予測できない。

津波地震には、防災上の大きな問題点がある。

1896年明治三陸地震, 1975年根室沖地震, etc.

↓
震度 1 ~ 3 程度の弱震

⇔ 遡上高さが 20 m 以上にも達する津波

津波地震の流体力学的分類

(I) 流体運動と相互に干渉しない地変

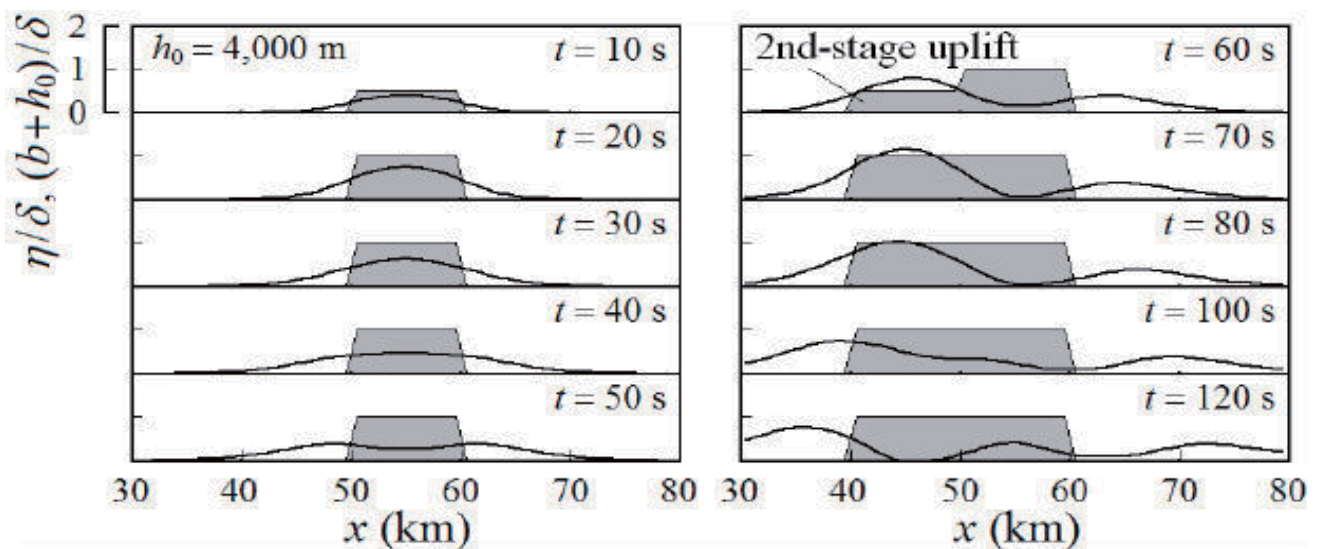
- A 形式: 一定領域における継続時間の長い地変
- B 形式: 場所を変えて起きる地変
- C 形式: 流体運動が周辺の影響を受ける地変
- D 形式: 水中の有意な圧縮波を伴う地変

(II) 流体運動と相互に干渉する地変

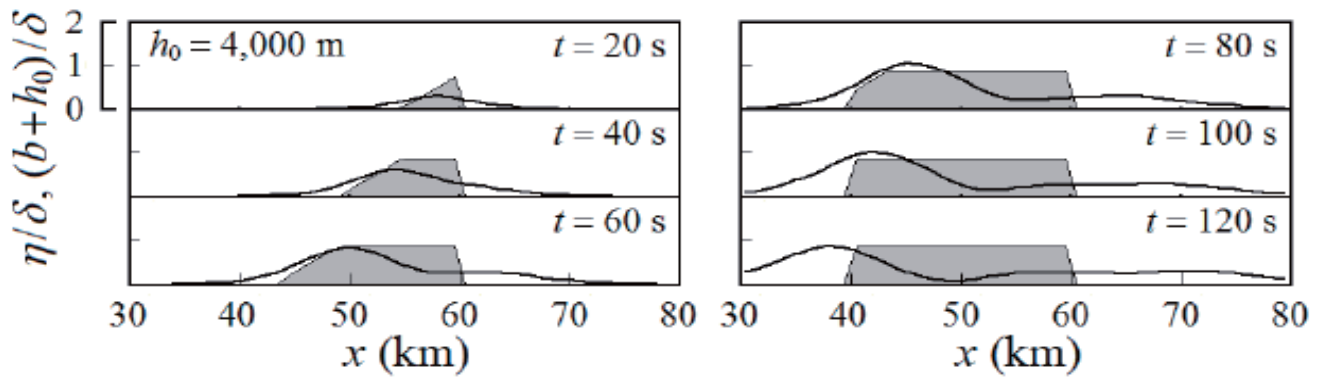
- E 形式: 地滑りによる地変
- F 形式: 非弾性的な地盤挙動による地変
- G 形式: 噴出としての地変

(III) 複合的な形態を示す地変

柿沼太郎, 津波地震によってもたらされるであろう幾つかの地変形態と形成される津波の数値解析, 津波工学研究報告, 第23号, pp.69-86, 2006.



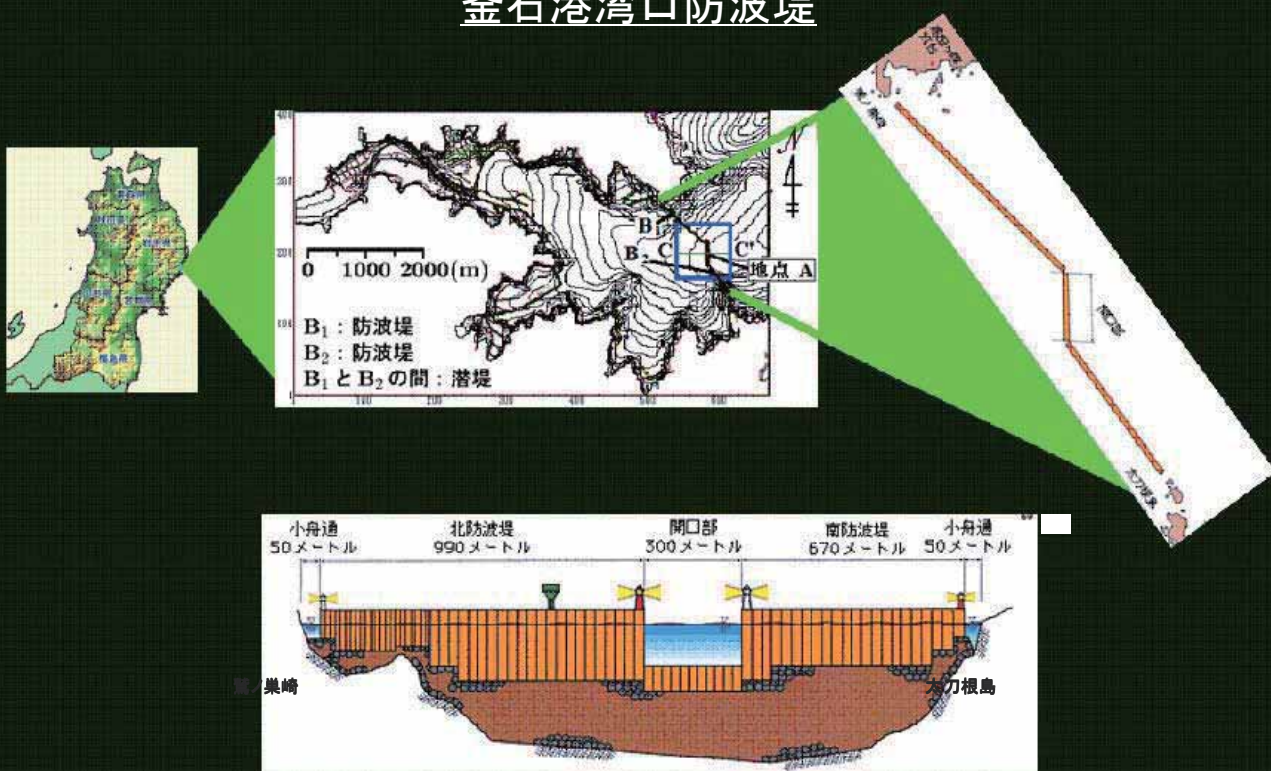
隣接する2段階隆起である (d) の場合の水面形の時間変化 (第2段階の隆起が $t = 50 \sim 70s$ の間に生じたときの結果を示す. 灰色を付した部分は, 初期状態からの底面変位であり, この上面が地変領域の底面形状を表わす.)



底面の隆起域の全幅が $R=20\text{km}$ で地変の進展時間が $\tau=70\text{s}$ の場合の津波形成過程における水面形の時間変化（灰色を付した部分は、初期状態からの底面変位である。）

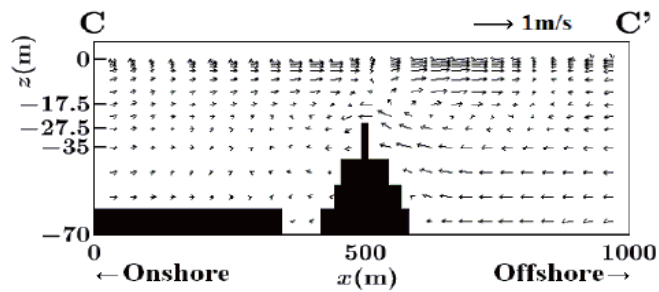
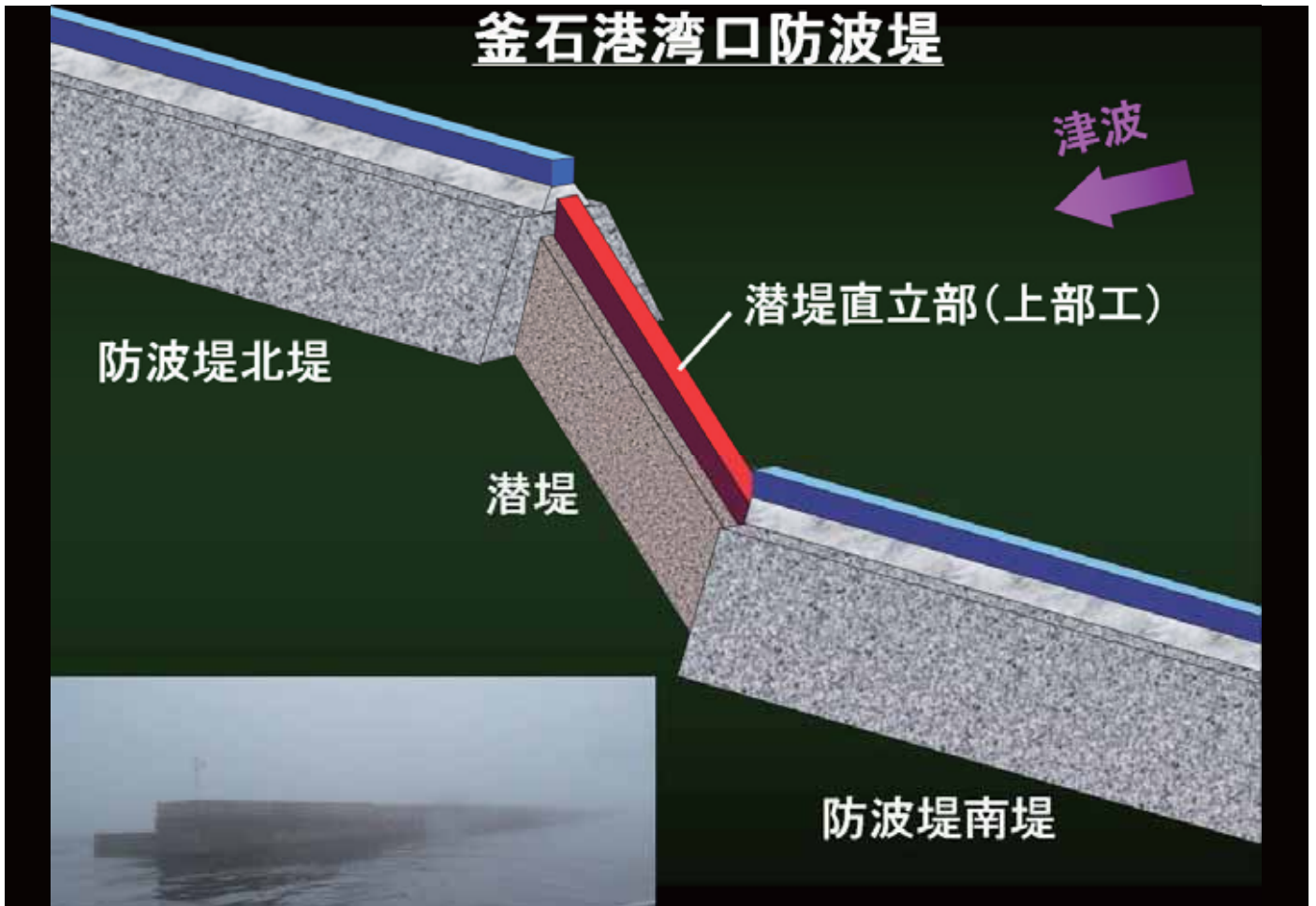
Kakinuma, T. and Akiyama, M., Numerical analysis of tsunami generation due to seabed deformation, Proc. 30th Int. Conf. on Coastal Eng., pp.1490-1502, 2007.

釜石港湾口防波堤

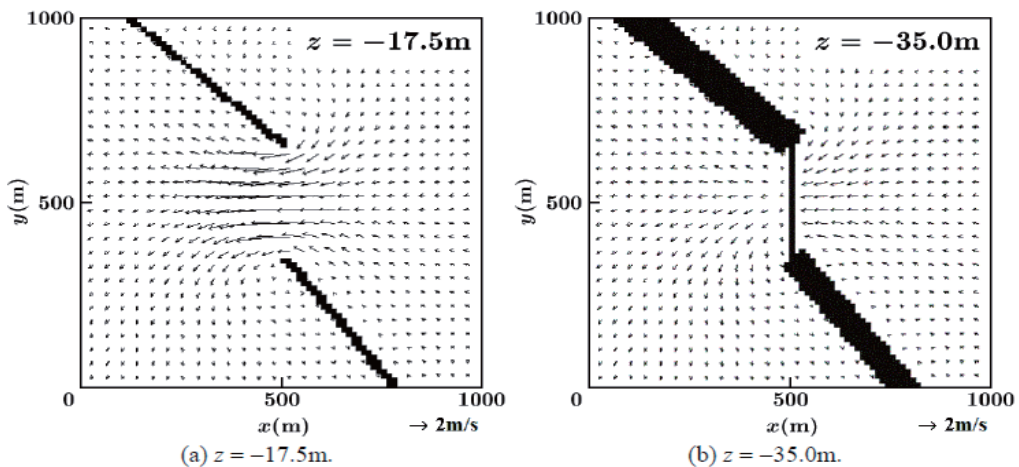


提供者
 地形データ: 国土交通省東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所
 資料: 国土交通省東北地方整備局釜石港湾事務所

釜石港湾口防波堤



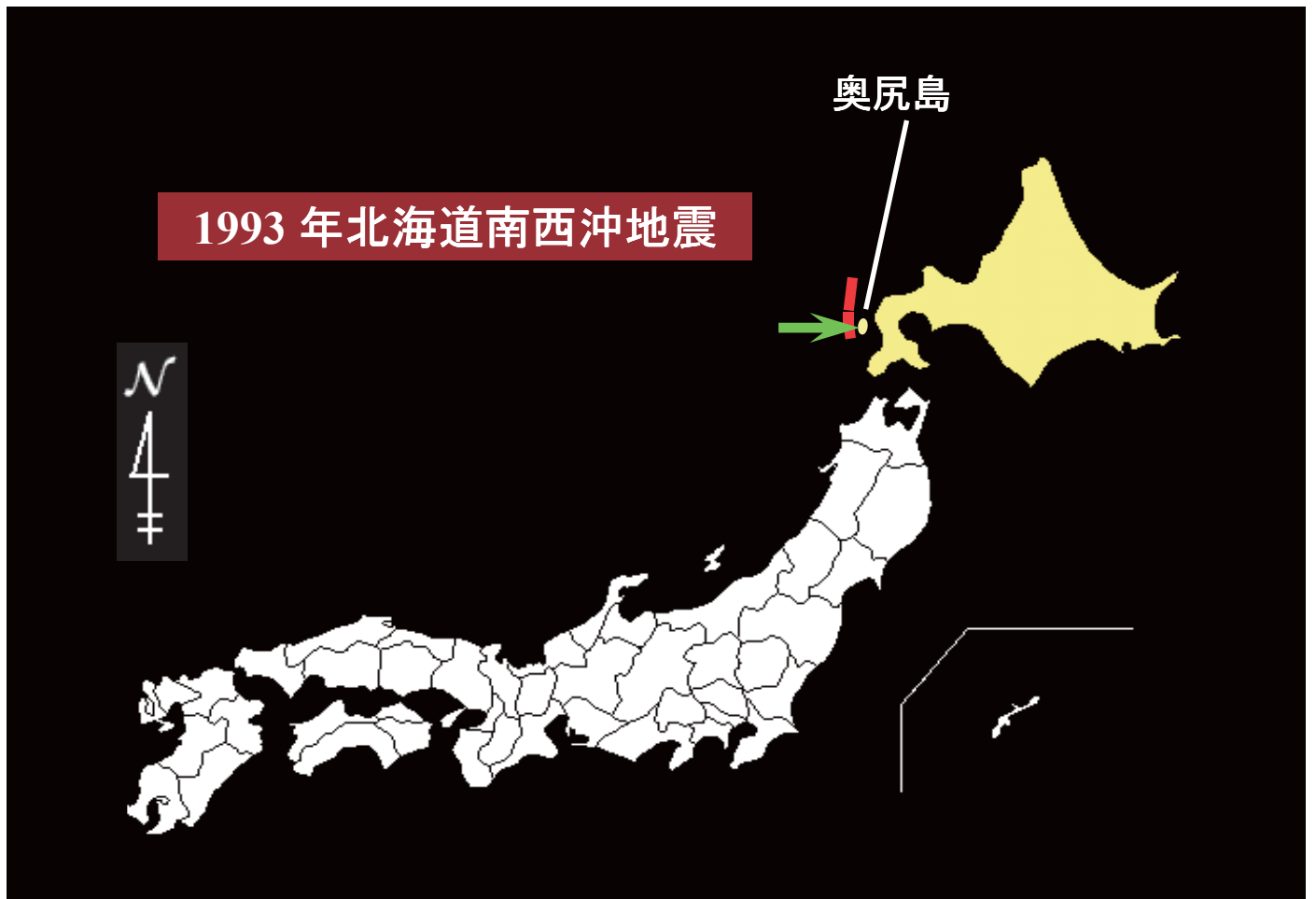
Velocity vectors in C-C' section ($t = 27.0\text{min}$).



Velocity vectors in horizontal sections ($t = 28.7\text{min}$)



2012年3月12日 (Google)



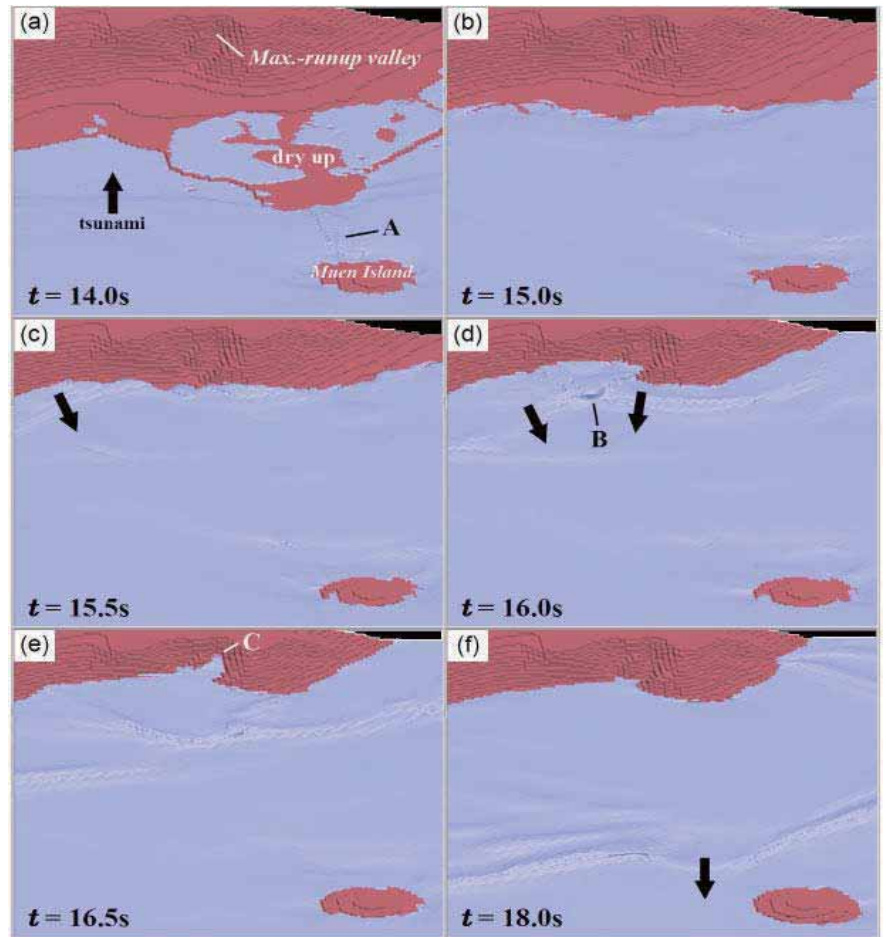
津波からの防護(北海道奥尻島)



奥尻島のV字谷

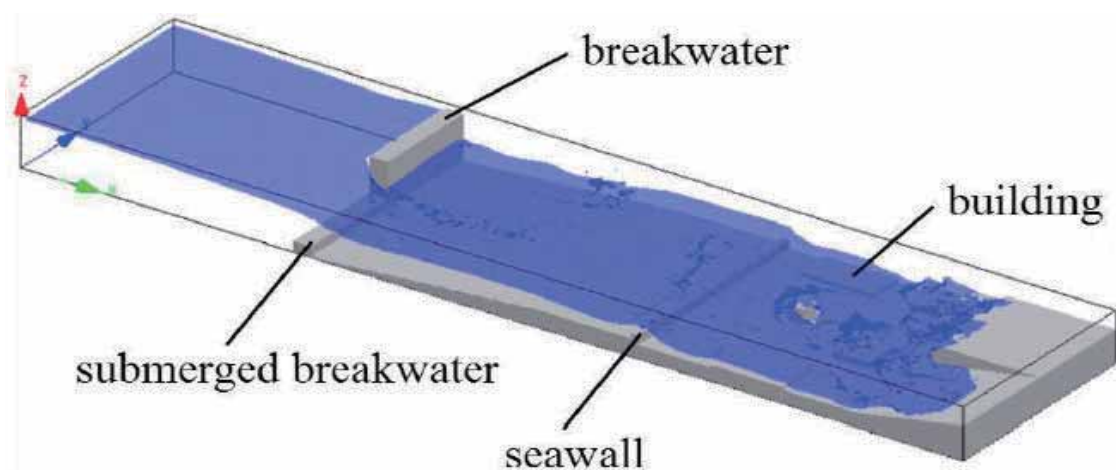


津波遡上の数値解析



Kakinuma, T., 3D numerical simulation of tsunami runup onto a complex beach, Advanced Numerical Models for Simulating Tsunami Waves and Runup (Edited by P. L-F Liu, H. Yeh, and C. Synolakis), World Scientific Publishing Co., pp.255-260, 2009.

3次元数値モデルの適用



富田孝史・柿沼太郎, 海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第44巻, 第2号, pp.83-98, 2005.



排水溝や下水道を逆流してマンホールから溢れ出る海水（河北新報社）



謝 辞

本調査にあたり、被災された住民の方々に、数々の大変貴重な証言をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

参考図書

社団法人土木学会津波研究小委員会
編：津波から生き残る―その時まで
に知ってほしいこと―，丸善株式会社，
176p.，2009.

