



TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学による東日本大震災1年後報告会
2012年3月11日
トラストシティ カンファレンス・仙台

2011年大津波による 海岸堤防の被災の実態とメカニズム

Breaking aspects and mechanism of coastal levees
hit by 2011 gigantic tsunamis

東北大学大学院工学研究科
真野 明・田中 仁・有働恵子



TOHOKU
UNIVERSITY

背景と目的

- 背景
 - 3.11大津波による被害
 - 死者不明2万、家屋破壊30万戸超え、
 - 海岸堤防の被災(小破から大破様々)
 - 国・県による海岸堤防復興方針
 - L1(再現期間100~150年のハザード):越流阻止、生命と財産の保全
 - L2(再現期間150年超え):越流許容、多重防御で生命保全、財産被害軽減
 - 今回の津波に対しても大きくは壊れない堤防の復興(粘り強い堤防)
 - L1以下のハザード(仙台湾沿岸では高潮)に対して海岸保全
- 調査の目的
 - 仙台湾沿岸の海岸堤防の被害の実態、メカニズムを知る
 - 粘り強い堤防作りに役立てる



TOHOKU
UNIVERSITY

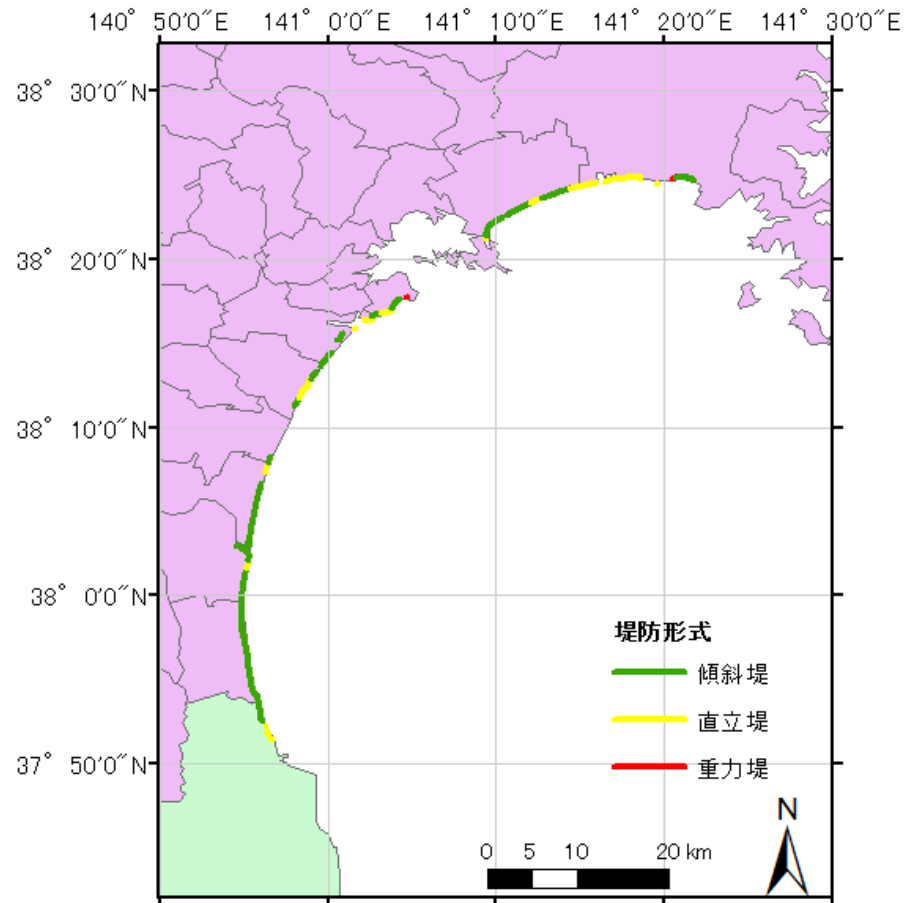
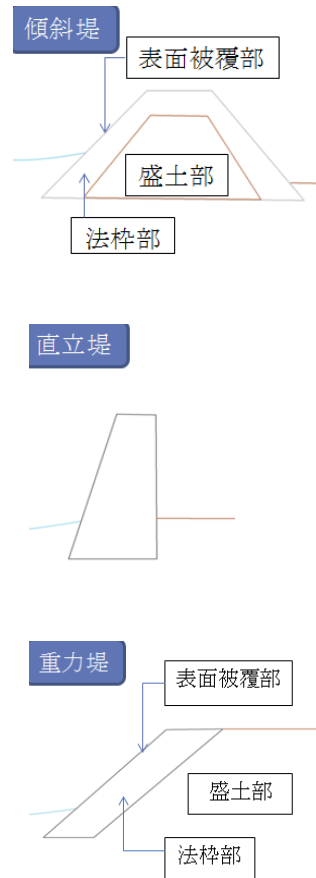
発表内容

- 背景と目的
- 仙台湾沿岸の海岸堤防被災全体像
- 仙台湾沿岸での津波の特徴
- 海岸堤防の被災過程
- 海岸堤防の被災メカニズム
- まとめ



TOHOKU
UNIVERSITY

仙台湾沿岸域の海岸堤防の現状



- 大部分は高潮・高波が主要ハザード
 - 高潮潮位 1.6m (鮎川での観測最大異常潮位 + 朔望平均満潮位)
 - 高波(打ち上げ高) 4.6m (仙台港での実測より、30年確率波)
 - 余裕高 1.0m
 - 計画海岸堤防高 7.2m (1.6+4.6+1.0)
- 牡鹿半島西部は、チリ地震津波の痕跡 + 余裕高 6.0m
- 松島湾は、チリ地震津波の痕跡高 + 余裕高 4.3m
- 七ヶ浜海岸は、明治三陸津波の痕跡高 + 余裕高 5.4~6.8m



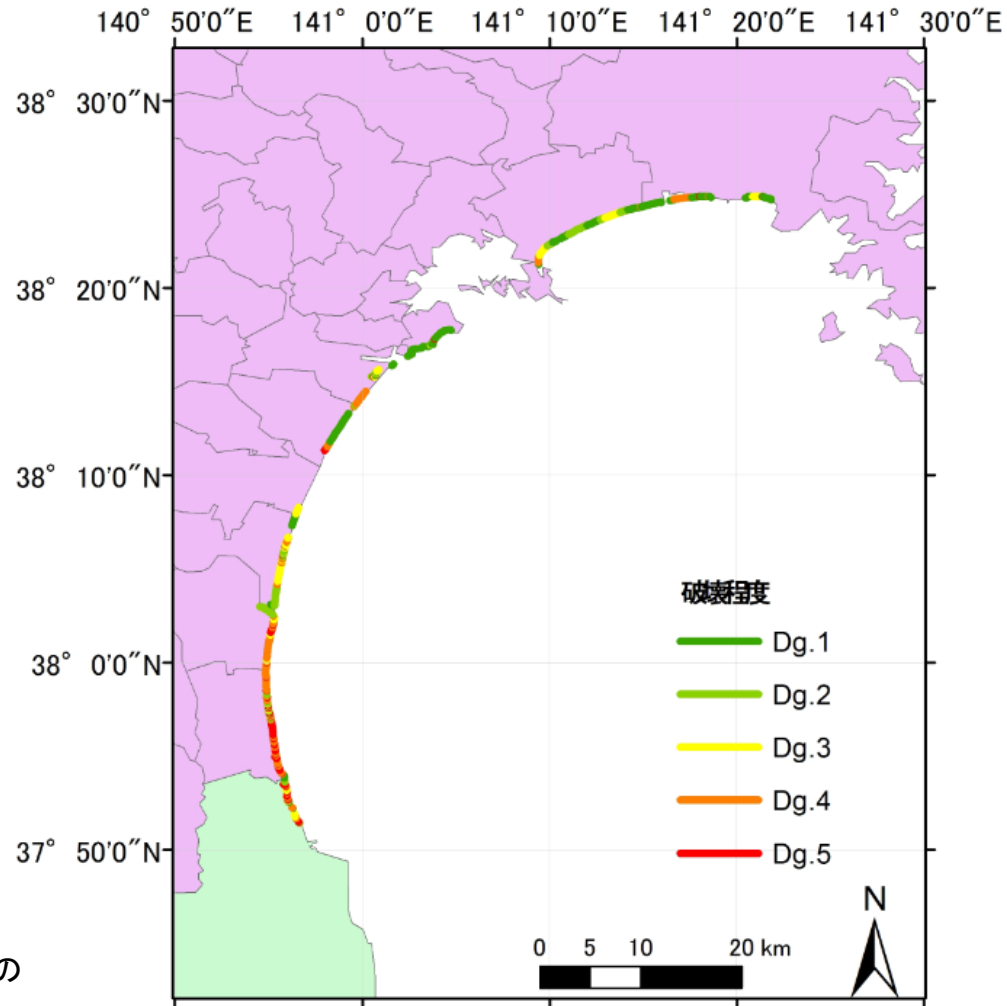
TOHOKU UNIVERSITY

被災の実態：破壊程度の分布

傾斜堤・重力堤	
Dg	基準の破壊箇所
1	被災なし
2	表面被覆部
3	法枠部
4	盛土部
5	破堤

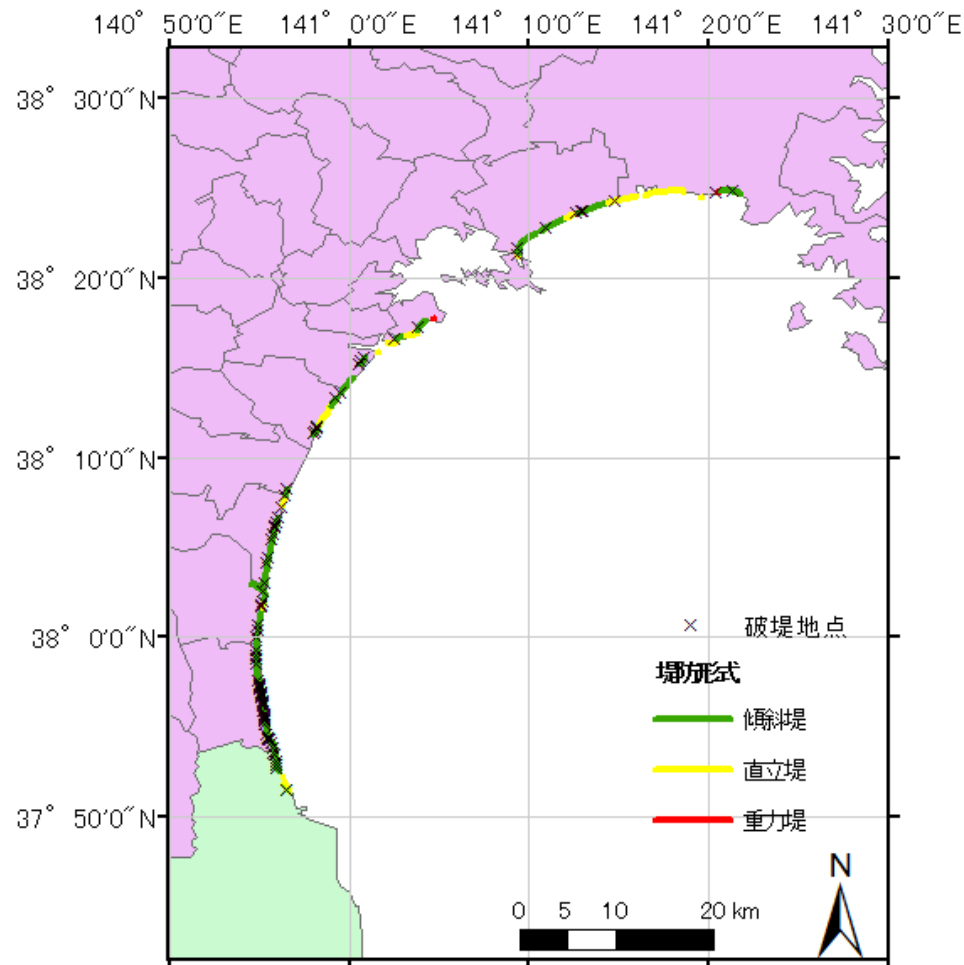
直立堤	
Dg	基準の破壊箇所
1	被災なし
2	
3	上部
4	全体
5	破堤

破堤：
堤体が全て失われたもの



- 岩沼より南の南部仙台海岸で被害大。特に山元海岸で被害甚大
- 石巻湾沿岸では、表面被覆ブロックの被災が顕著

被災の実態：破堤地点と堤防形式



- 破堤は堤体全体が失われたもの
- 仙台湾南部海岸、特に山元海岸での破堤が高密度で顕著
- 破堤は、緩傾斜堤が多い
- 堤防形式の変わり目でも破堤が顕著

山元海岸における堤防被災

(左:2010年3月国土交通省撮影、右:2011年3月19日共同通信社撮影)



津波前の山元海岸。侵食抑制のためヘッドランド。
砂浜の消失、護岸全面の深掘れ->脆弱な海岸



津波で防波堤が寸断され海水が流れ込む宮城県山元町の海岸(3月19日)=共同

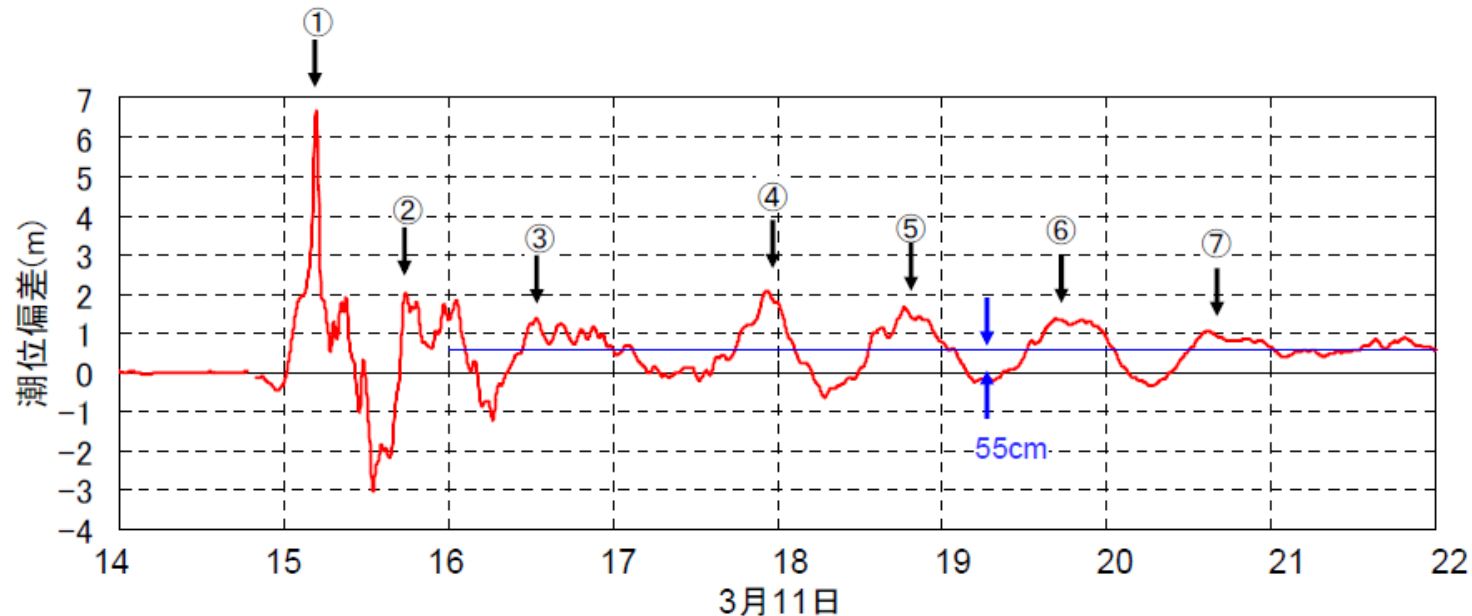
津波後の山元海岸。いたるところで破堤し
海域化している。



TOHOKU
UNIVERSITY

津波外力：波源近くの津波波形

港湾技術研究所(釜石沖水深200m地点)



図一3 岩手南部沖GPS波浪計で捉えた津波の初期の波形

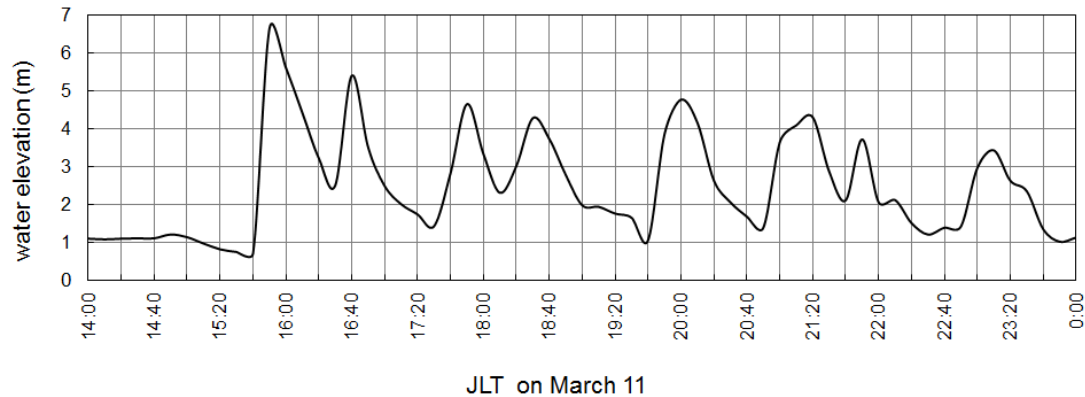
<http://www.pari.go.jp/files/items/3527/File/results.pdf>

- 第1波が最大、約6.5mの振幅、地震発生26分後
- 6つの後続波、約50cmの振幅、周期約50分



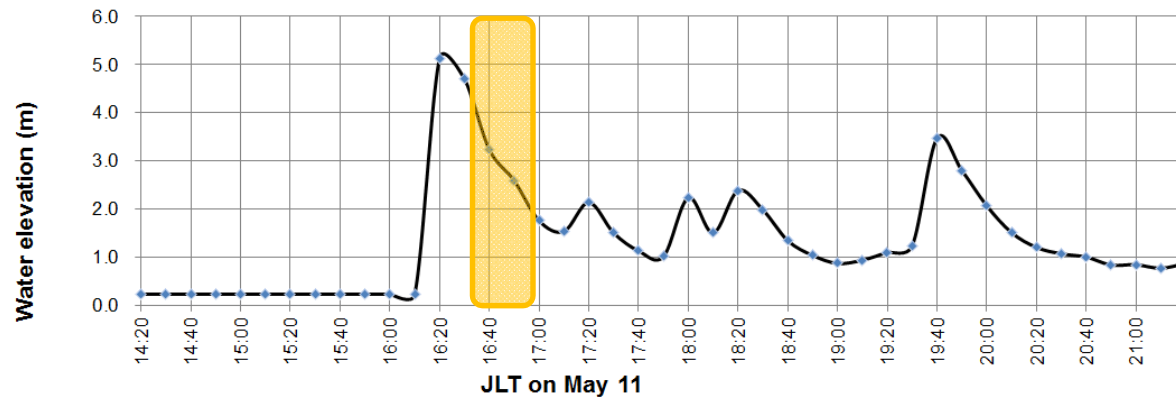
TOHOKU
UNIVERSITY

仙台湾沿岸の津波波形



第1波最大6.8m、ピーク時刻 15:50、
段波状。

野蒜(鳴瀬川河口より 0.5 km上流)

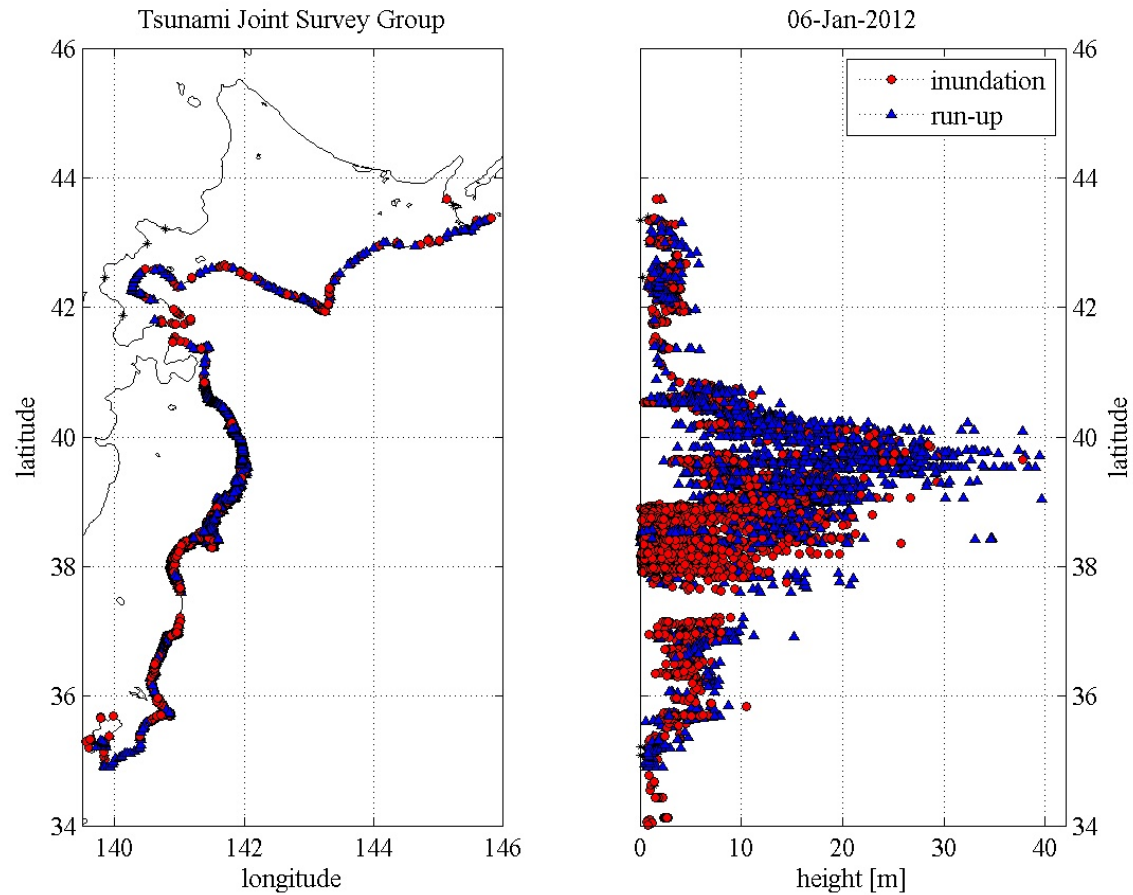


第1波最大5.2m、ピーク時刻16:20、
段波状。河口からの伝播時間約25分。
国土交通省のヘリコプター「みちのく
号」が、16:10-16:35の時間帯仙台市
域から山元海岸までの海域を撮影
(左図のオレンジの位相を撮影、河川
の伝播時間25分を補正)

阿武隈大堰(阿武隈川河口より10km 上流)

津波外力：津波浸水深と遡上高

東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ



仙台湾沿岸域の津波最大遡上高は15m程度

破堤過程1：藤塚地区の破堤地点 「みちのく号」撮影



見渡す限りの分散波列 第1
波後半 名取川河口(16:13)



破堤地点から流れ出る戻り流
れ(16:14)



若林区藤塚地区に押し寄
せる津波波群。
直立堤端部破堤地点より
流れ出る戻り流れ (16:15)

破堤過程2:五間堀川の破堤地点 「みちのく号」撮影 16:23



- 五間堀川末端の閉塞箇所は戻り流れでフラッシュし、波が遡上している。
- 真山堀が陸上に遡上した海水を集め、五間堀川が戻り流れの水路になっている。

破堤過程3:阿武隈川河口右岸海岸堤防 「みちのく号」撮影 16:33



- 阿武隈川河口 「みちのく号」撮影16:33
- 破堤地点から流れ出る濁水と巨大な渦
- 強い流れとその持続性→強い侵食



- 2011年3月国土地理院撮影
- 堤防裏法尻付近にできた侵食溝。
- 戻り流れにより刻まれた砂浜上の4列の侵食痕(破堤地点最大、他は波返しの折損地点)



TOHOKU
UNIVERSITY

破堤過程4：山元町花釜 「みちのく号」撮影16:35

➤堤防背後に沿う流れ、陸域から海岸林を越える流れが、破堤地点で合流。早い流れが形成。侵食増大



破堤過程5:山元海岸 「みちのく号」撮影16:39



- 海岸堤防の多くの天端が欠けており、そこから濁水が海域に流出し広がっている。
- 第1波の押波で海岸堤防の上部が欠損し、そこが戻り流れの戻り口になって、侵食を進行させ破堤に至ったものと考えられる。



TOHOKU
UNIVERSITY

破堤メカニズム

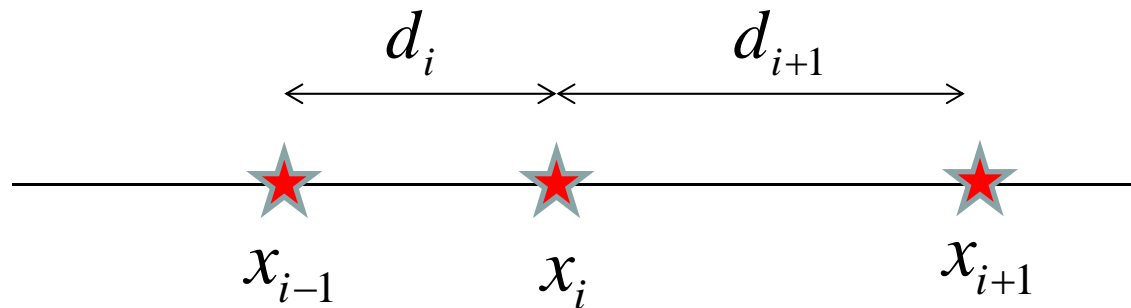
第1波押波で堤防被災が集中する要因

- 津波の大きさ（越流水深）
- 堤防へのアプローチ（砂浜幅）
- 堤防の構造

破堤メカニズム

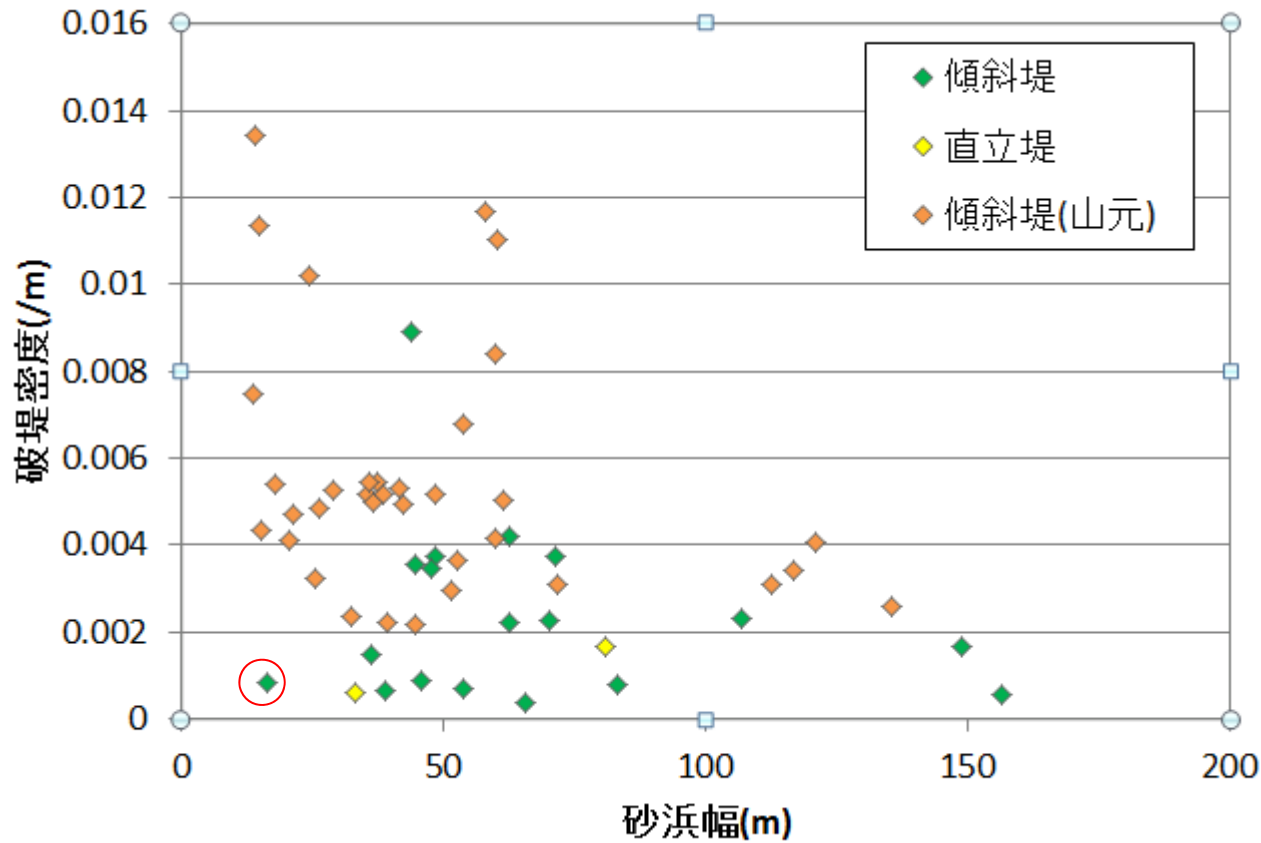
破堤密度
$$D_B = \frac{1}{\frac{d_i + d_{i+1}}{2}}$$

ここで、 d_i は破堤地点 x_i と x_{i-1} との距離





砂浜幅と破堤密度



- 砂浜幅が小さいほど破堤しやすい
- 破堤密度が0.005を超えるのは、砂浜幅が70m以下の所。ほとんどが山元海岸。
- 五間堀川(赤丸)では破堤密度が小さい。周辺は破堤していない。



まとめ

- (1) 第1波押し波の破壊作用による被災
 - 構造的弱点(異なる形式の継ぎ目)
 - 波当たりの強い箇所(砂浜が消失した堤防, 波返しなど)

- (2) 戻り流れによる侵食作用による被災
 - 第1波押し波で被災した箇所
 - 旧河川位置, 低地など
に戻り流れが集中し, 周辺の侵食を拡大。

- (3) 海岸堤防の大破を防ぐためには,
 - (1)の弱点を解消
 - 戻り流れの集中による侵食を抑制、沿岸水路など
 - 砂浜の保全は、高波・高潮対策でも重要