東日本大震災3ヵ月後報告会
2011年6月10日
仙台国際センター

海岸堤防の被災メカニズム

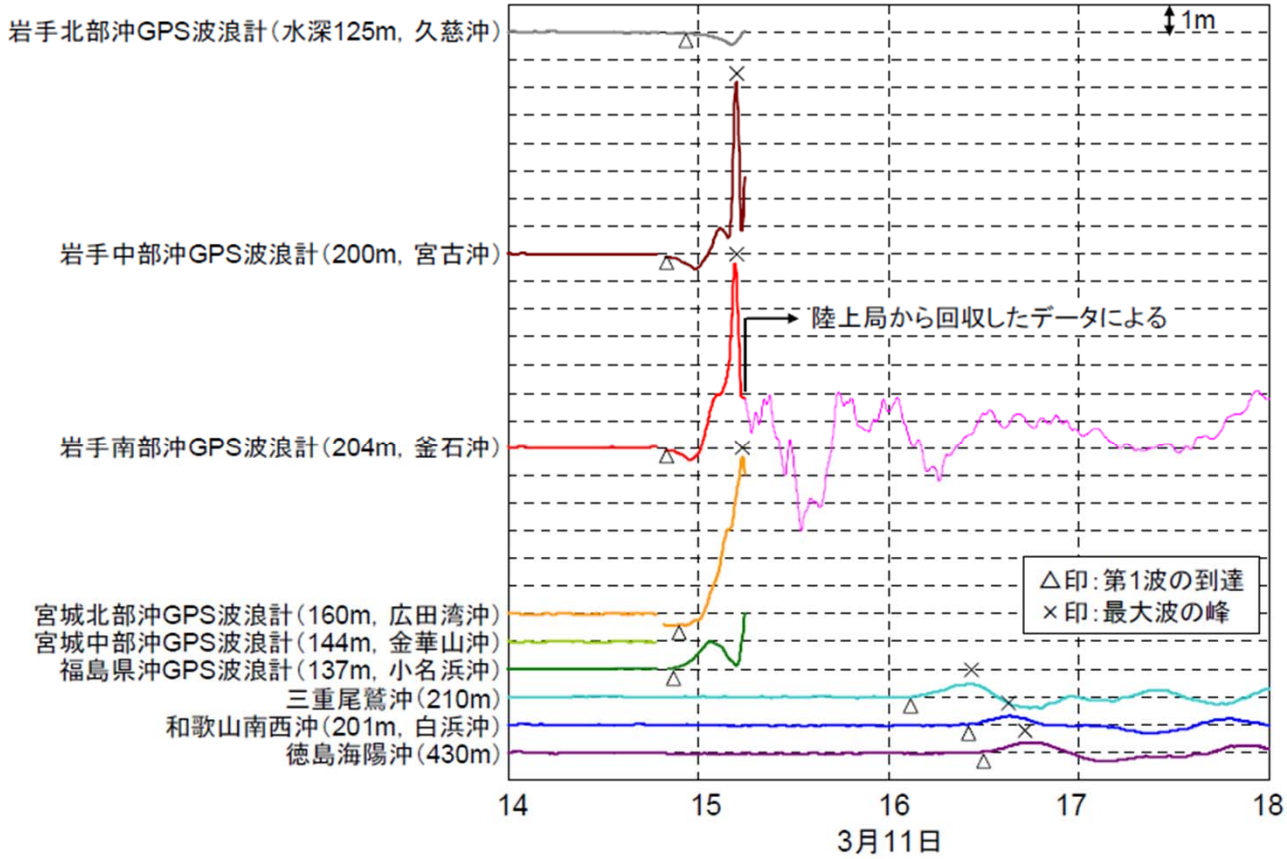
東北大学大学院工学研究科
真野　明・田中　仁・有働恵子

背景と目的

- 背景
  - 仙台湾沿岸の多くの海岸堤防が津波で被災
  - 堤防復興に向けた指針づくり。国、学会
  - 防御水準のバランス。対：高潮、波浪、津波
    - 今回規模の津波に対しては越流を許容した復興？？
    - 後背地の街づくりにも影響
  - 越流しても大きく壊れないような海岸堤防の再構築は可能か？
- 調査の目的
  - 被災の実態把握、主な対象は仙台湾南部海岸
  - 被災メカニズムの解明

ハザードの特徴：津波波形 (1)

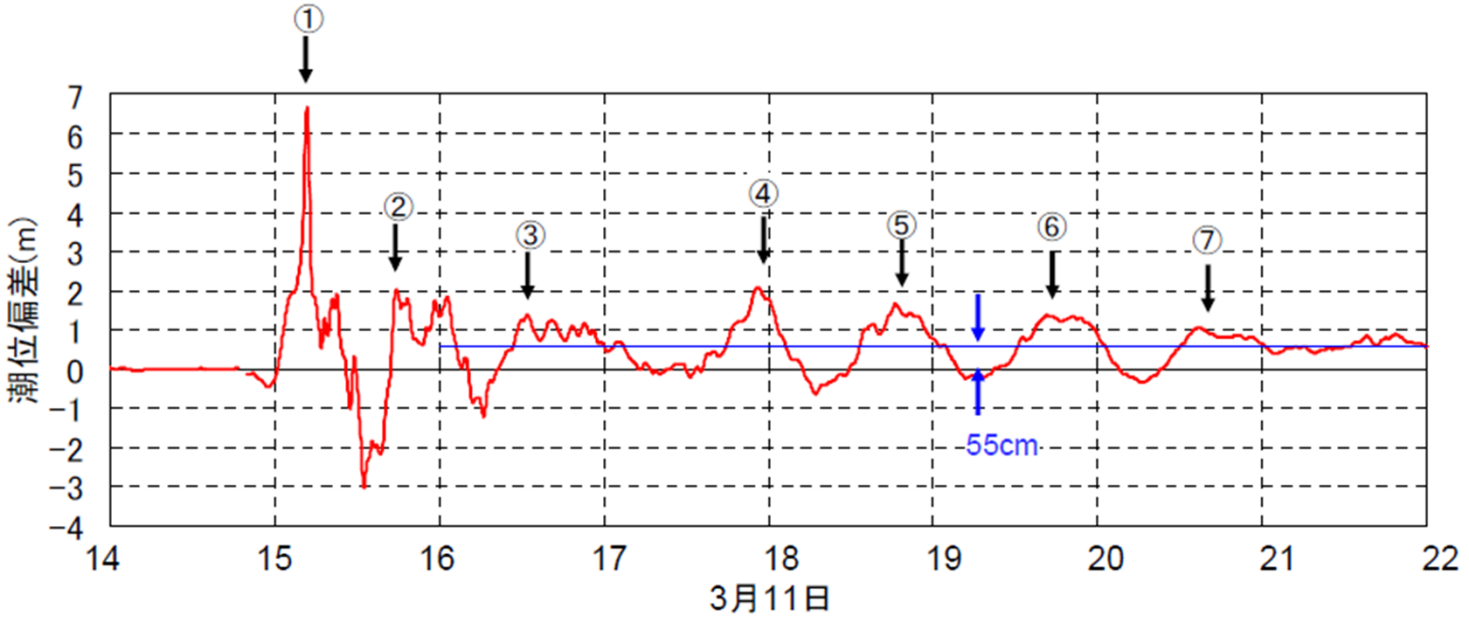
港湾技術研究所：GPS波浪計による津波の観測結果
http://www.pari.go.jp/files/items/3527/File/results.pdf



図－１　東北～四国沿岸のＧＰＳ波浪計で捉えた津波波形

第１波振幅：宮古沖6m、釜石沖6.5m、広田湾沖5.5m

ハザードの特徴：津波波形 (2)



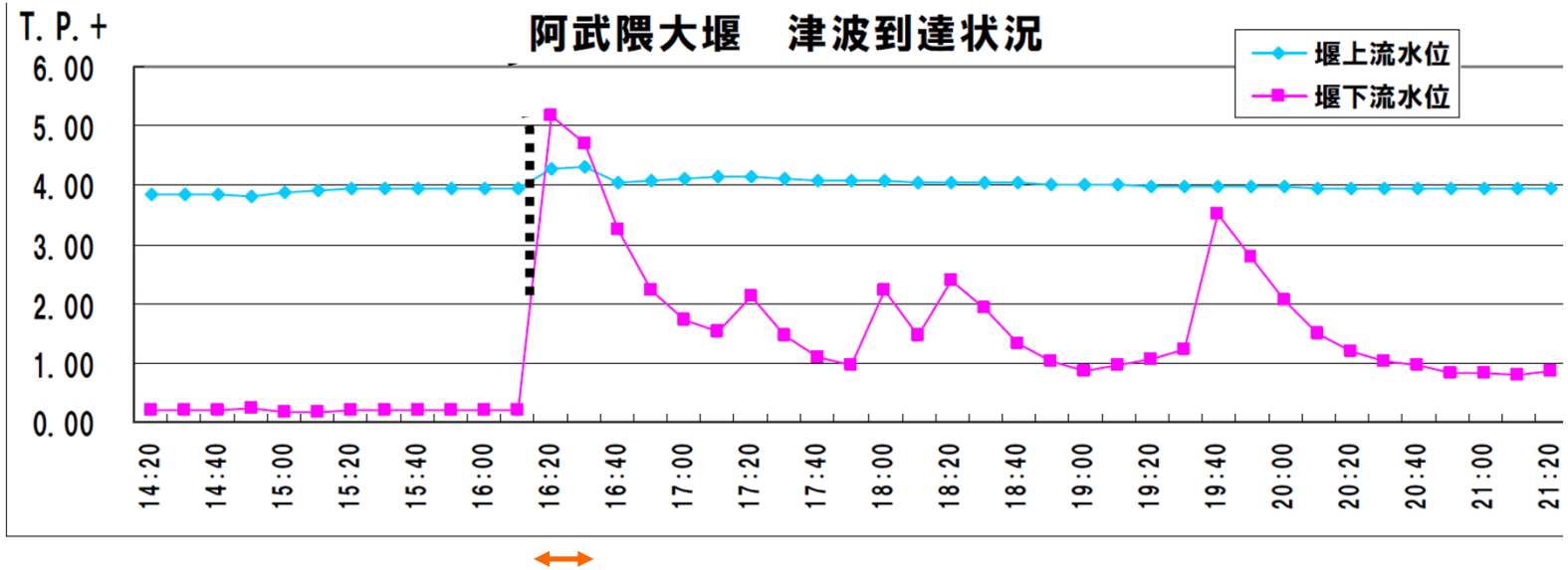
図－２　岩手南部沖ＧＰＳ波浪計で捉えた津波の初期の波形

港湾技術研究所：GPS波浪計による津波の観測結果　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1mの振幅、周期約50分
- 後続波の平均水面上昇

ハザードの特徴：津波波形 (4)

国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所：平成23年（2011年）東日本大震災第12報
http://www.thr.mlit.go.jp/sendai/saigai/jishin_sokuhou_10_20110527.pdf

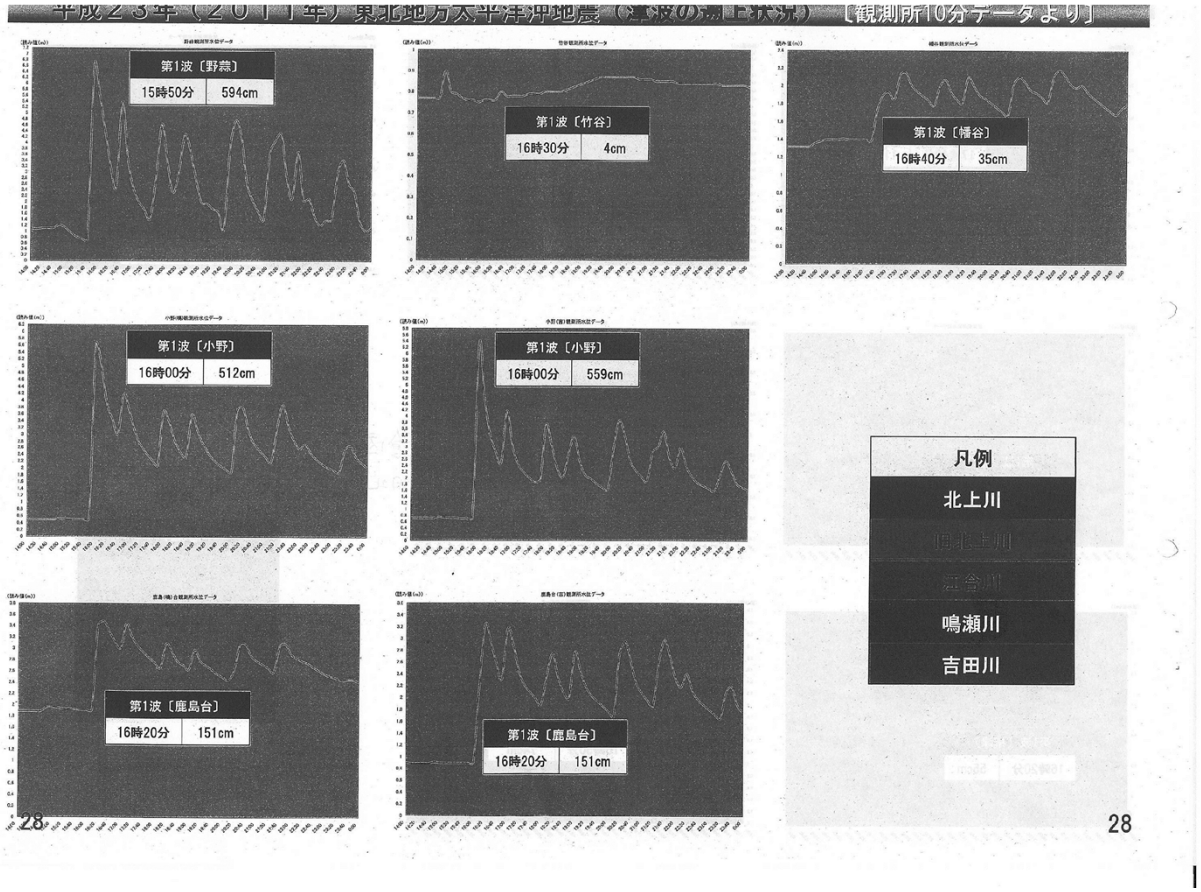


みちのく号南部海岸撮影(16:15-16:36)

第一波最大、振幅約5m、時刻16:20ころ。
河口ピークはそれより約25分前、15:55ころ

ハザードの特徴：津波波形 (5)

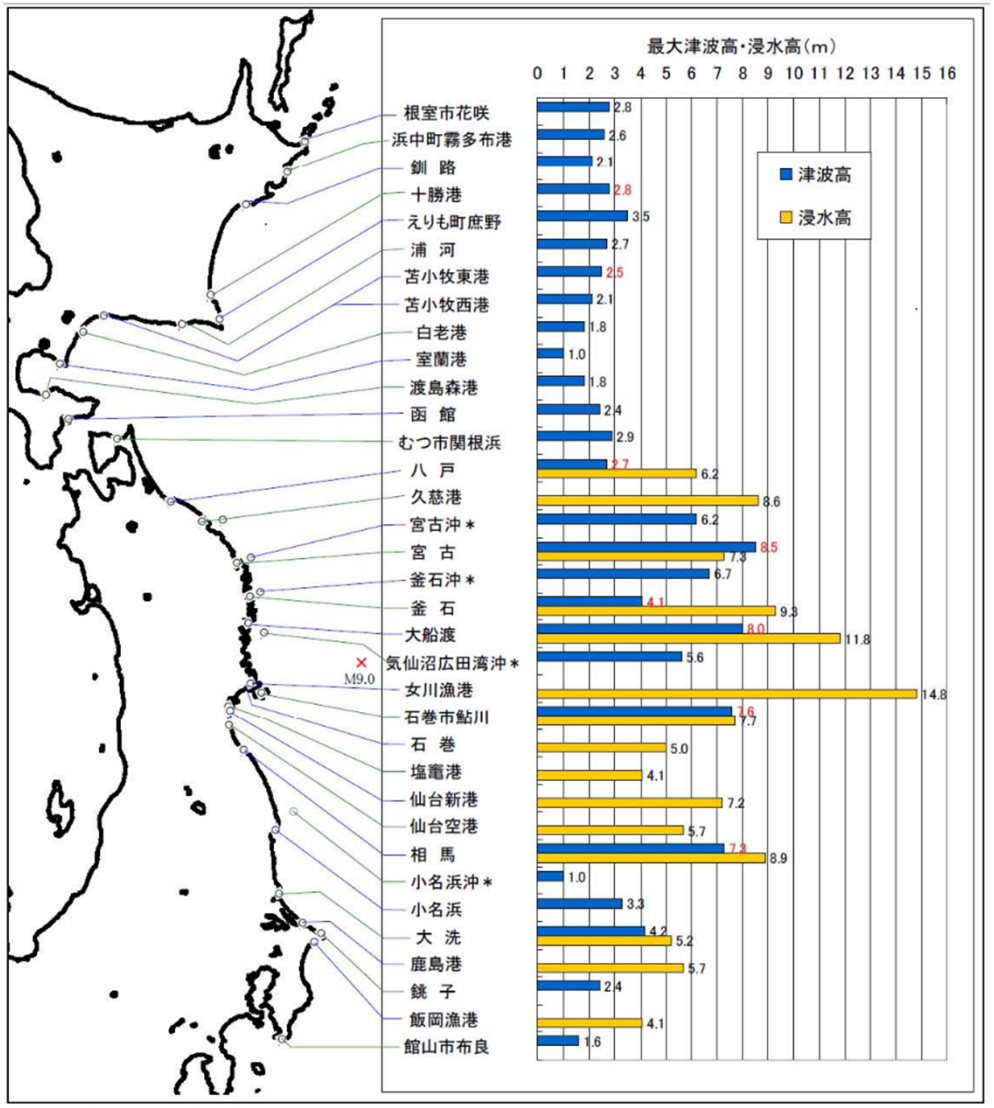
国土交通省東北地方整備局北上川下流事務所



河川を遡上する津波：第１波最大、野蒜(15:50、5.94m),小野(16:00、5.59m)

ハザードの特徴：津波浸水高

国土交通省資料



- 仙台平野の海岸で、7mから9mの津波痕跡高
- 海岸堤防は高潮想定、高さ約TP6m
- 津波第一波は、1m～3m越流

ハザードの特徴：津波波形 (6)

国土交通省東北地方整備局:みちのく号から撮影、キャプチャー

名取川河口(16:13)
第1波後半



- 浅水域で津波は変形し短い波列に分裂。ソリトン分裂
- 見渡す限りの分散波列、…1-10,1-11,1-12….
- 波峰線は海岸にほぼ並行、波の高さも沿岸方向にほぼ一様

ハザードの特徴：津波波形 (7)

みちのく号から撮影、キャプチャー

名取川河口(16:14)



➢分散波は分散過程で増幅し、浅水で砕波、波高を減ずる

ハザードの特徴：津波の挙動 (1)

みちのく号から撮影、キャプチャー

名取川河口左岸、藤塚地区に押し寄せる津波波群(16:15)



直立堤端部破堤地点より流れ出る戻り流れ

海岸堤防被災状況：藤塚地区

3月14日画像



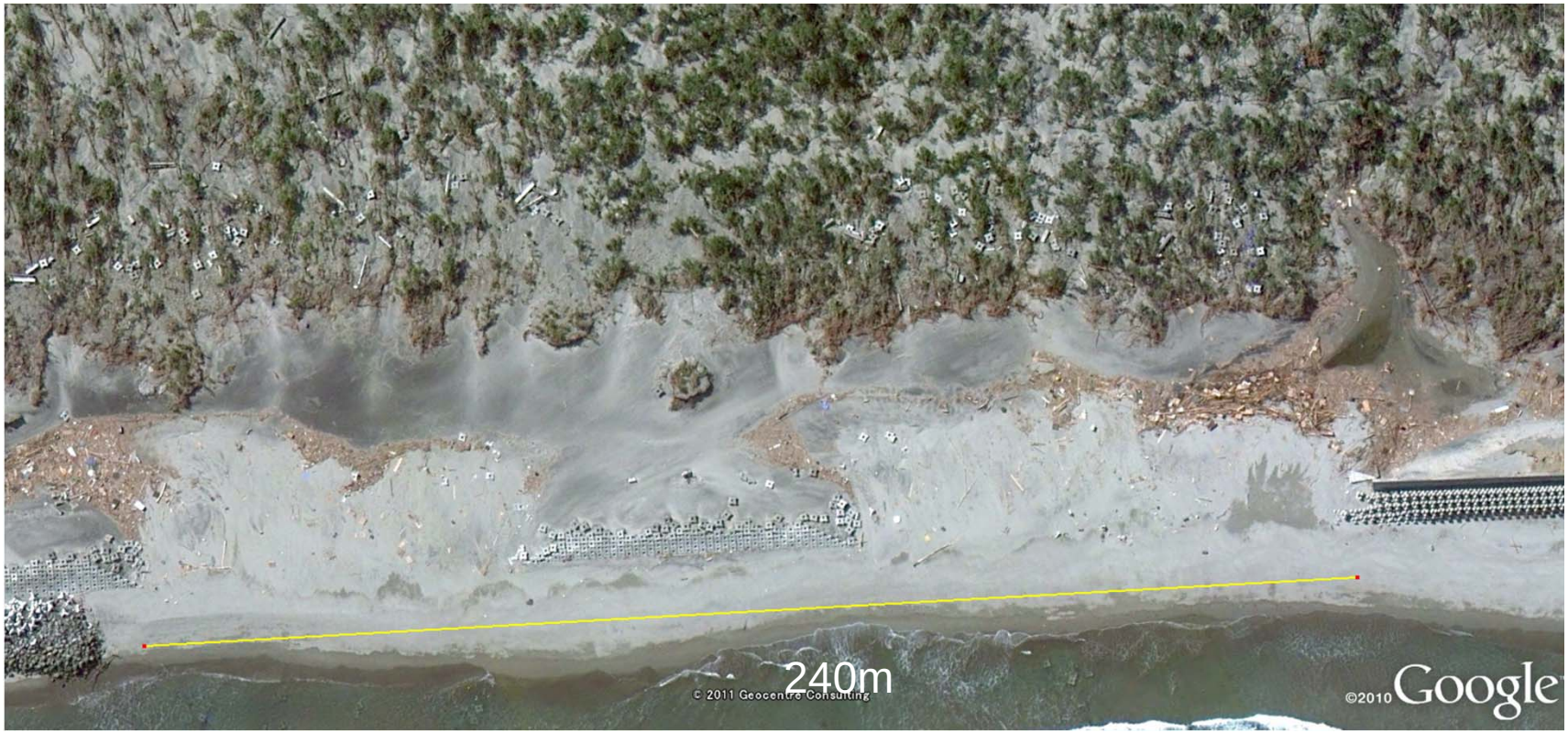
➢第1波押波により、緩傾斜堤の殆どの消波ブロックと被覆ブロックの一部が陸側に移動。海岸林の中に散乱

➢戻り流れが集中した、緩傾斜堤区間端部他一箇所で、緩傾斜堤が根こそぎ洗掘

➢直立堤背後は戻り流れにより洗掘。特に端部で流れが集中・深掘れ。根入部露出、押波で直立堤端部一ブロックが陸側に転倒。

海岸堤防被災状況：藤塚地区

4月6日画像



海岸堤防被災状況：藤塚地区



- 強かった直立堤
- 洗掘された根入れ
- 陸側に倒れた端部の直立堤ブロック



- 破堤地点。異なる堤防形式の境界
- 被災した敷石型緩傾斜堤

貞山堀の役割：藤塚地区



- 貞山堀の両岸に沿って流れた戻り流れの侵食痕
- 大量に陸上に上がった海水を海に戻すのに効果があったものと推測される

海岸堤防被災状況：岩沼市蒲崎海岸



2009年8月14日画像



2011年3月14日画像

- 五間堀川に集まった戻り流れが海岸堤防を破壊
- 破堤地点の制御に利用可？安全弁として活用

ハザードの特徴：津波の挙動 (2)

みちのく号から撮影、キャプチャー、

岩沼市寺島　16:30



- 海岸林の合間に集中する戻り流れ、堤防を越流
- 破堤地点から流れでる濁水

海岸堤防被災状況：岩沼市寺島

４月６日画像







- 被覆の形式により異なる被害
- 構造境界での破堤

津波の挙動 (3)

みちのく号から撮影、キャプチャー

阿武隈川河口　16:33



- 河口右岸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を示している。堤内側では強い侵食。

阿武隈川河口右岸海岸堤防破堤

2011年国土地理院撮影



- 陸側に散乱するパラペット（河川堤防の上部工）と海岸堤防の波返。押波による堤防上部工の被災
- 堤防裏法尻付近にできた侵食溝。押波＋戻り流れ

海岸堤防被災状況：阿武隈川河口右岸



➢洗掘された堤防裏法面
➢川表側の被覆ブロックはほぼ無傷



➢破堤地点。異なる堤防形式の境界
➢被災した海岸堤防
➢戻り流れにより形成した水路

海岸堤防被災の違い
山本海岸vs名取海岸

山元海岸　2011年3月13日



名取海岸　2011年3月24日



海岸堤防および背後地の広範な侵食

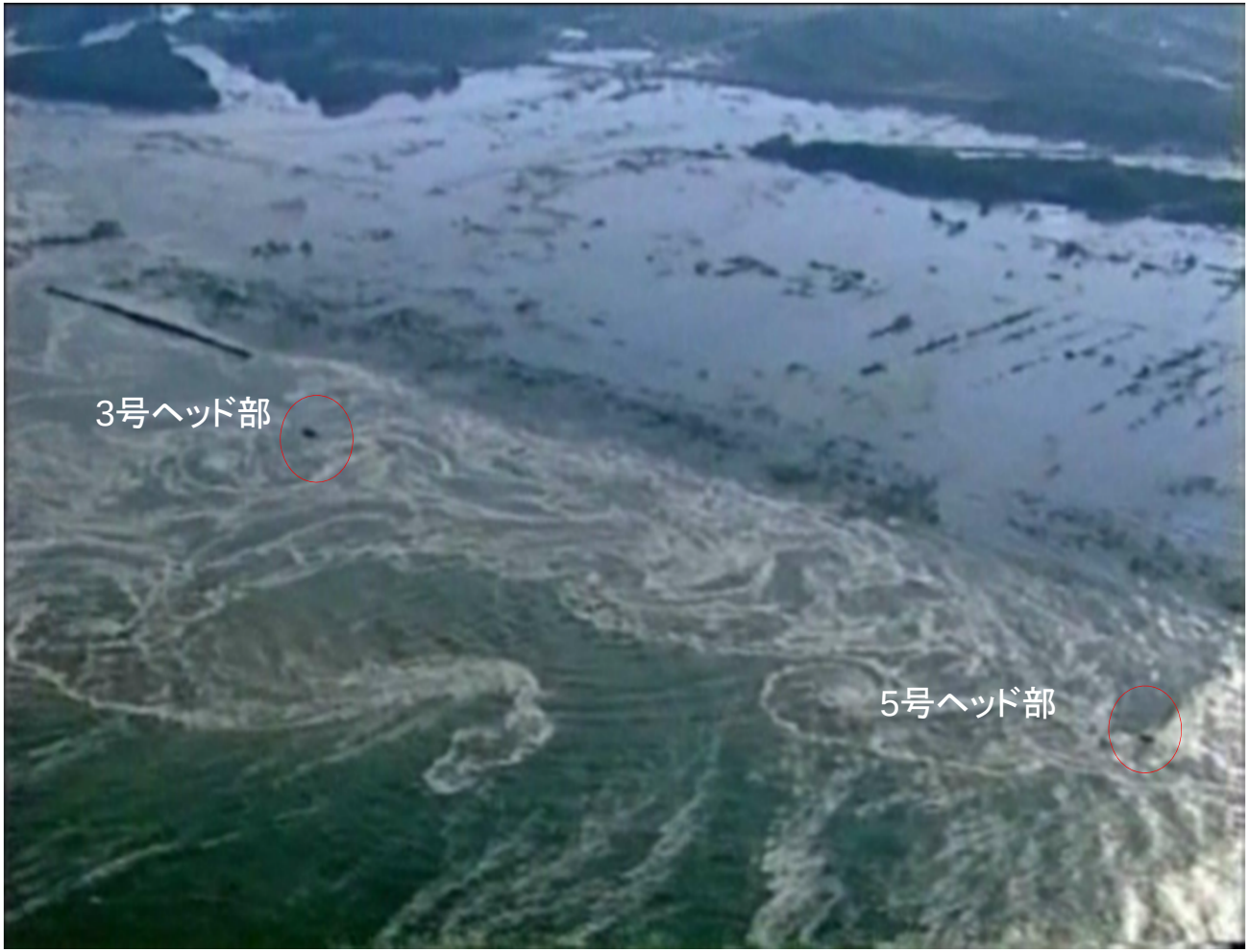
2011年3月13日画像、坂元新浜



津波の挙動 (4)

みちのく号から撮影、キャプチャー

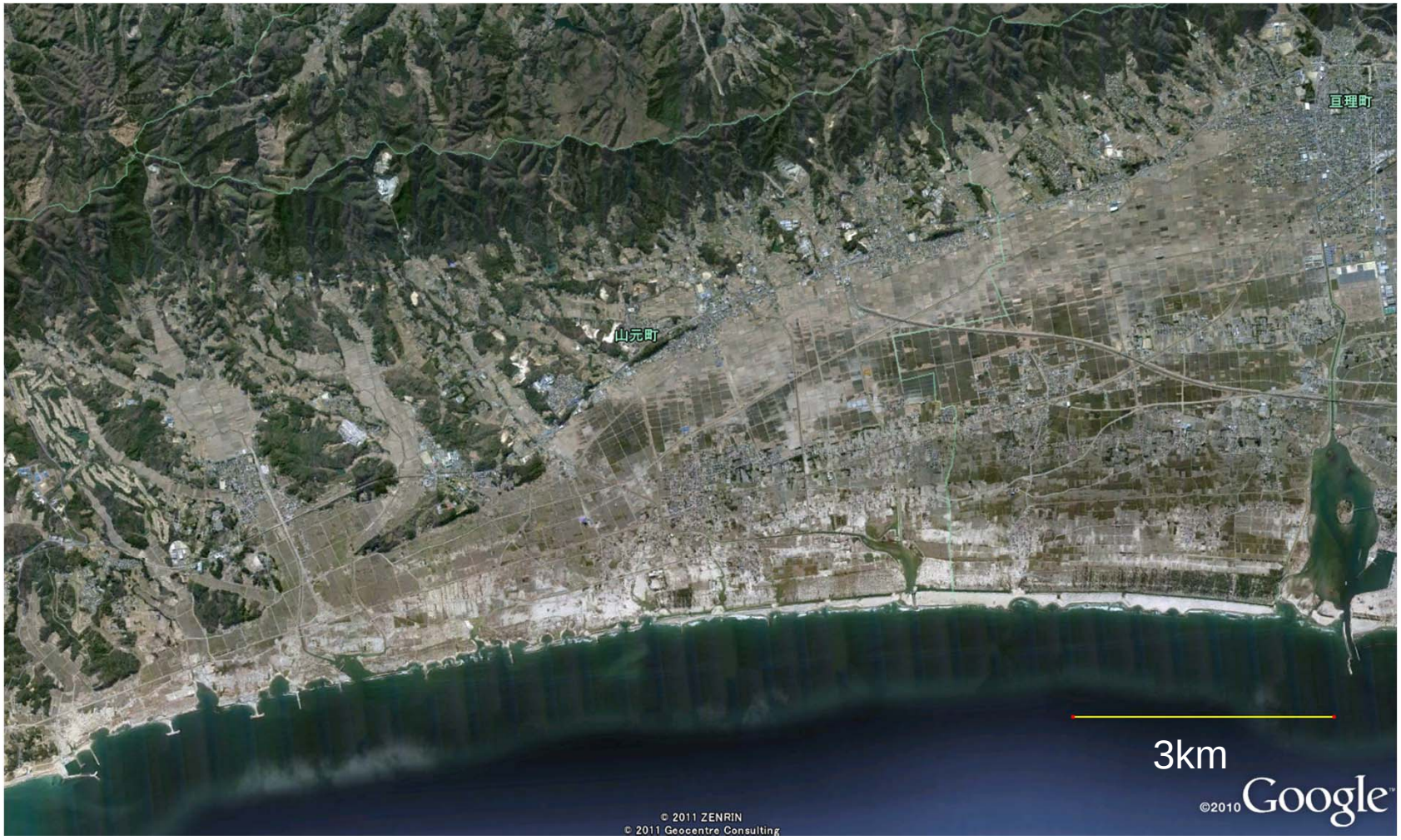
山元町新浜　16:36



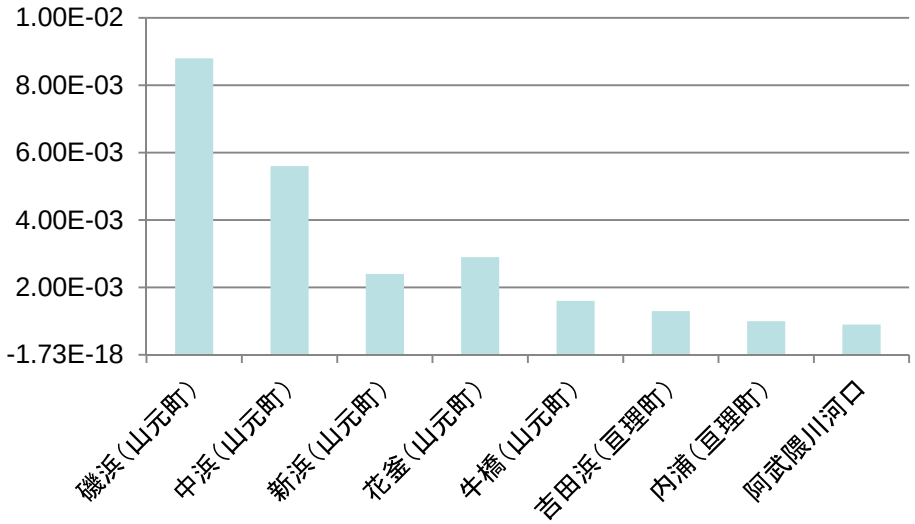
- 2つのヘッドランドに渡って、海域に広がる濁水
- 濁水の境界は堤防背後の侵食部分
- 背後に広がる浸水域

TOHOKU UNIVERSITY

仙台湾南部海岸の後背地形



勾配と流速の関係



後背地の横断勾配

$$v = \frac{1}{n} h^{2/3} I^{1/2}$$

Manningの流速公式

v：流速

n：粗度係数

h：水深

I：勾配

- 山元海岸は後背地の勾配が急、戻り流れの流速が速くなる第一要因
- 海岸林の伐採、陸上の粗度減少。戻り流れを加速

侵食対策

- 海岸林の復活
- 戻り流れを安全に逃がす排水システム。沿岸水路の整備

津波の挙動 (5)

みちのく号から撮影、キャプチャー

亘理町花釜　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

津波の挙動 (6)

みちのく号から撮影、キャプチャー

亘理町花釜　16:35



➢破堤地点から流出する流れが早いため、押波が進行できず重なっている状態

津波の挙動 (7)

みちのく号から撮影、キャプチャー

亘理町花釜　16:36



➢破堤地点の角に集中する早い戻り流れ

海岸堤防被災状況：山元町花釜



➢洗掘された堤防背後。特に破堤地点で侵食顕著
➢川表側の被覆ブロックはほぼ無傷



➢破堤地点。異なる堤防形式の境界・水路の延長
➢被災した噛み合わせ敷石型緩傾斜堤。
➢戻り流れにより形成した水路

まとめ

- 津波第一波押波による被災
  - 堤防上部被災
  - 越流水による堤防背後の侵食
  - 堤防の形式による被災の違い
    - 直立堤、枠埋込みブロック、敷石型ブロック、砕石乱積み
  - 異なる堤防形式の境界での被災、弱点
- 戻り流れによる被災
  - 堤防背後の侵食拡大
  - 戻り流れの集中現象
    - 旧河川、湿地、押波で傷んだ場所

- 対策
  - 押波
    - 海表側・海裏側の被覆、弱点解消
  - 戻り流れ
    - 大量の海水を安全に海に戻す。
    - 広域的な流量制御・流速制御。沿岸水路の整備、安全弁の設置など
    - 耐侵食被覆

目撃談

- **潮が引き、どす黒い川底が見えた／阿羅昭典さん＝宮城県亘理町荒浜隈潟・新聞販売店主**　河北新聞　2011年06月09日木曜日
- 　名取市内にいた時に地震が起き、急いで県道塩釜亘理線を通って車で自宅に向かいました。ラジオで大津波警報を聞きましたが、実感が湧きませんでした。
　阿武隈川に架かる亘理大橋を渡ると、潮が引き、どす黒い川底が見えていました。生まれて初めて見る異様な光景で、これは津波が来ると思いました。自宅に戻ると、妻がリュックを背負って避難しようとしているところでした。
　近くの荒浜小に歩いて避難する途中、阿武隈川の堤防上で写真を撮りました。河口から約1キロの場所です。午後3時50分ごろ、第1波が押し寄せてきました。
　第1波は、堤防の半分ぐらい。第2波は堤防からあふれそうでした。河口の先を見たら、ものすごい高さの第3波が見えました。これは駄目だと恐怖を感じ、荒浜小に駆け込みました。
　3階建て校舎の屋上から、蔵造りで白壁の店舗兼自宅が、波にのまれる瞬間を見ました。全壊でした。とても残念です。生まれ育った荒浜の町を元に戻したい。必ず店を復活させてみせます。





1-1,1-2,1-3波のことか！