

津波被害推定に係る数値計算技術

(独) 港湾空港技術研究所

アジア・太平洋沿岸防災研究センター

富田 孝史

内容

- 通常の津波計算モデルが適用出来ない場合の津波計算
- 構造物の損傷を考慮した津波計算
- 津波漂流物の計算
- リアルタイム津波ハザードマップ

久慈港における津波



- 湾口部（水深、約25m）で約5mの高さの津波
- 久慈湾内では1/200よりも緩い海底勾配
- 湾内で、津波の先端部分に短い周期の波が重畳（ソリトン分裂の発生）

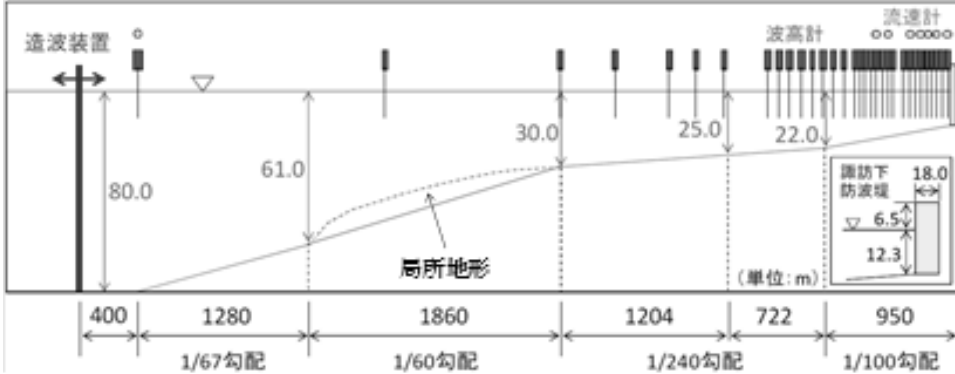


ソリトン分裂を含む津波
通常の津波計算モデルでは計算不可

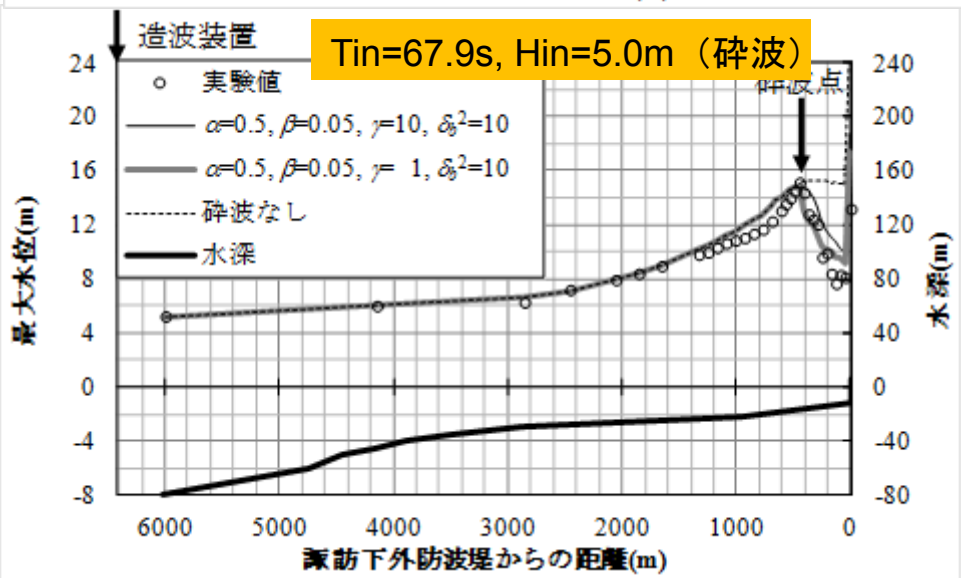
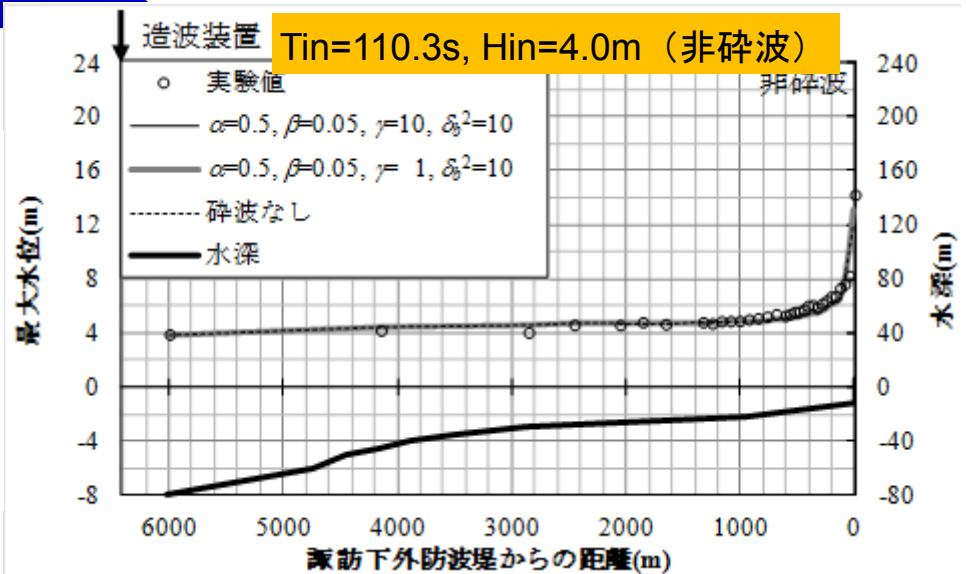
非静水圧モデルの必要性

久慈港の海底地形を使った断面模型実験の結果との比較

加島・平山 (2013) の模型実験 (1/200)



- 数値計算モデル：ソリトン分裂の再現性を検討した富田・高橋 (2012) による砕波を考慮した非静水圧モデルSTOC-IC
- 格子サイズ：水平方向では5m、鉛直方向では最小3mとする15層の不等間格子
- 運動量保存式の対流項のハイブリッド差分スキームの係数：0.2 (0.0で2次精度中心差分, 1.0で1次精度風上差分)
- 砕波モデル中のパラメータ：STOC-ICが多層モデルであることを考慮し, 多層Boussinesqモデルに適用したLynett (2006) に倣い, $\alpha=0.5, \beta=0.05, \gamma=10, \delta\beta^2=10$ を基本



局所地形がある場合における最大水位の空間分布

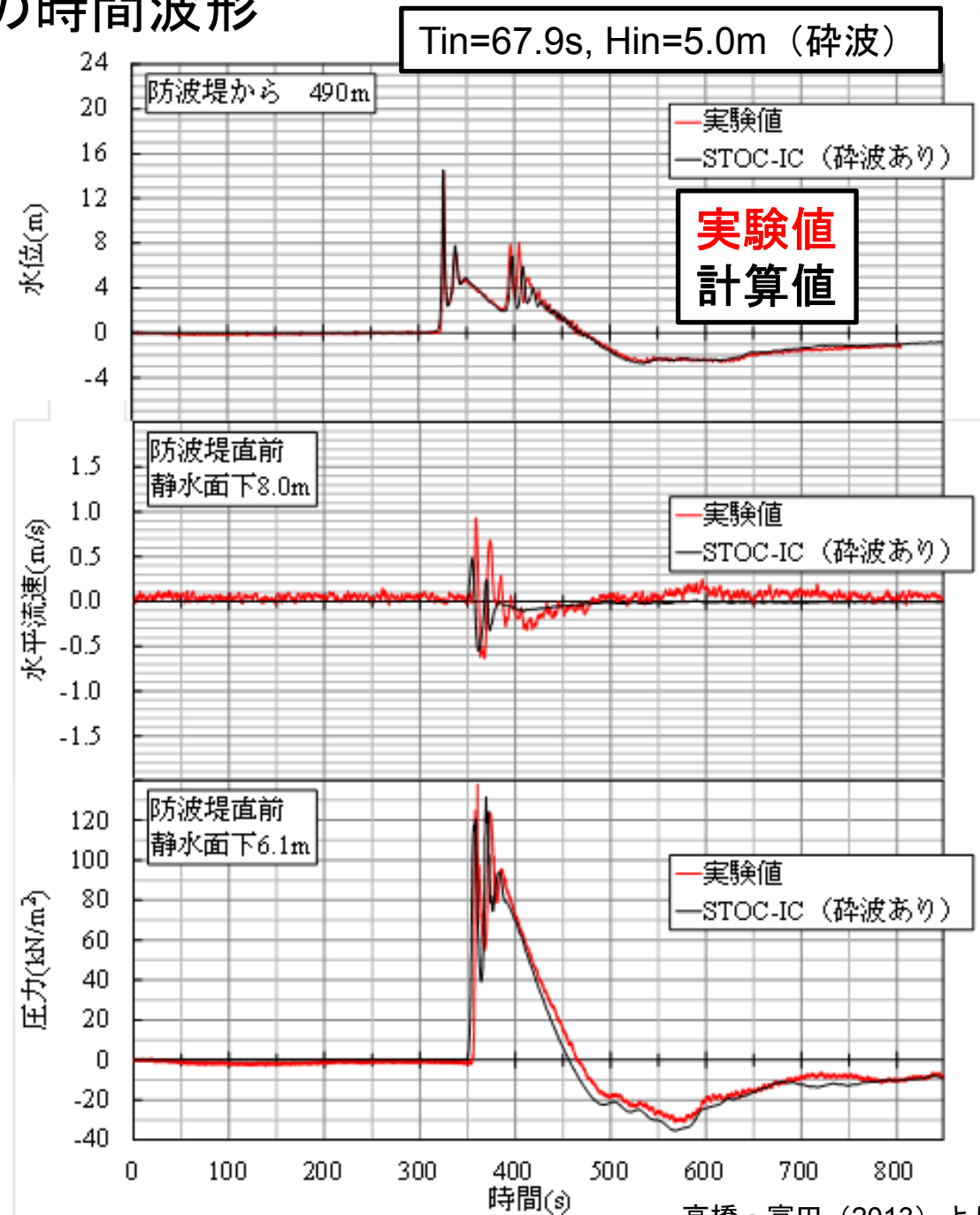
高橋・富田 (2013) より

水位、水平流速、圧力の時間波形

5

結果：

非碎波のケース、碎波のケースともに
水位、流速、圧力（衝撃的な圧力を除く）を
STOC-ICによる計算モデルはよく再現



高橋・富田 (2013) より

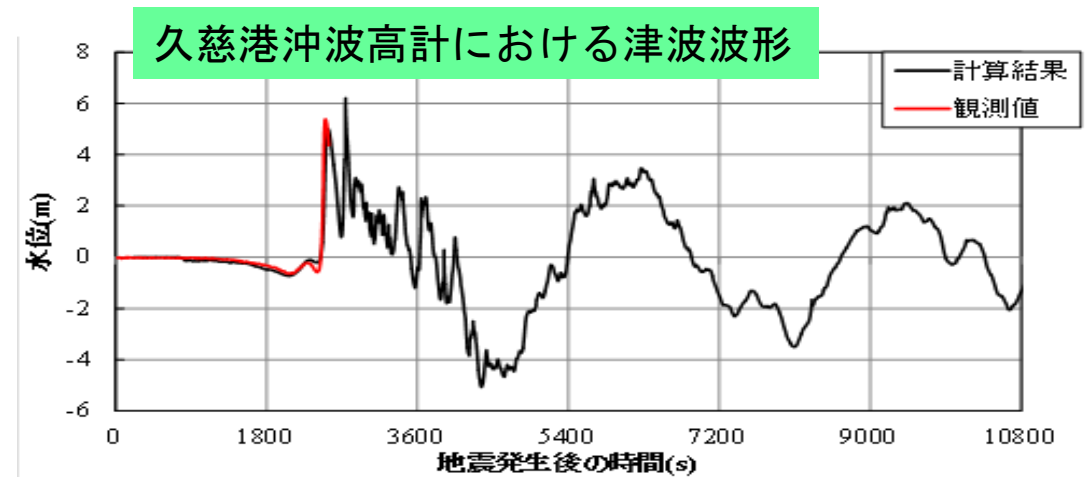
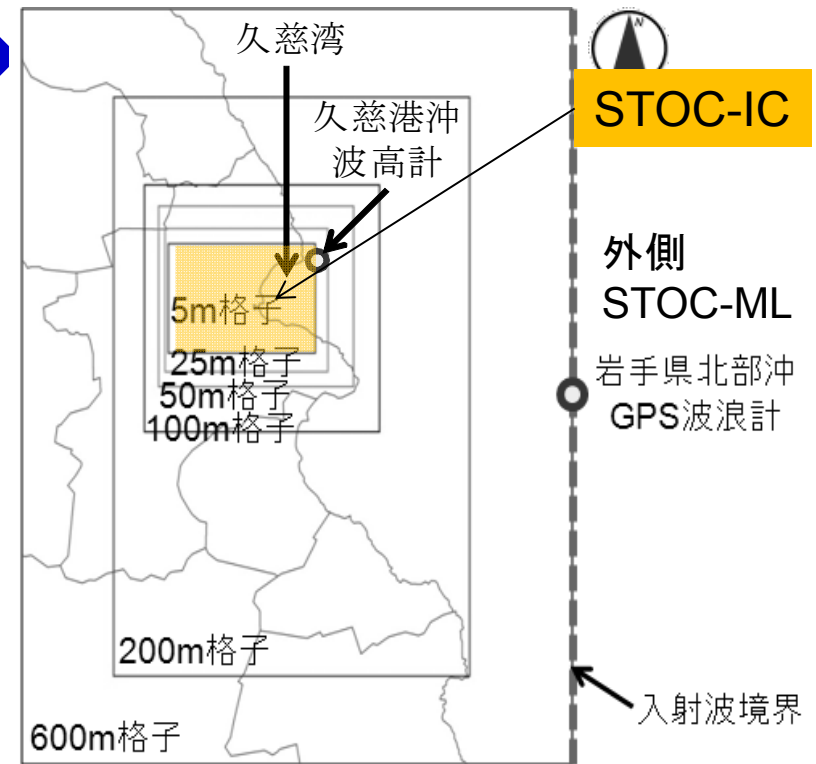
現地計算への適用

津波の条件

- 東側境界から岩手県北部沖GPS波浪計の観測波形を入射
 - Takagawa・Tomita (2012) の波源を使用した場合、久慈湾へ入射する津波高がやや過小となること、水面勾配が実際より緩くなることにより、ソリトン分裂波の発達が弱く砕波が生じにくい。
 - 入射角度について犬飼・永沢 (2012) は縦600格子に対し横5格子として計算した結果、その影響は小さかったので直入射にした。

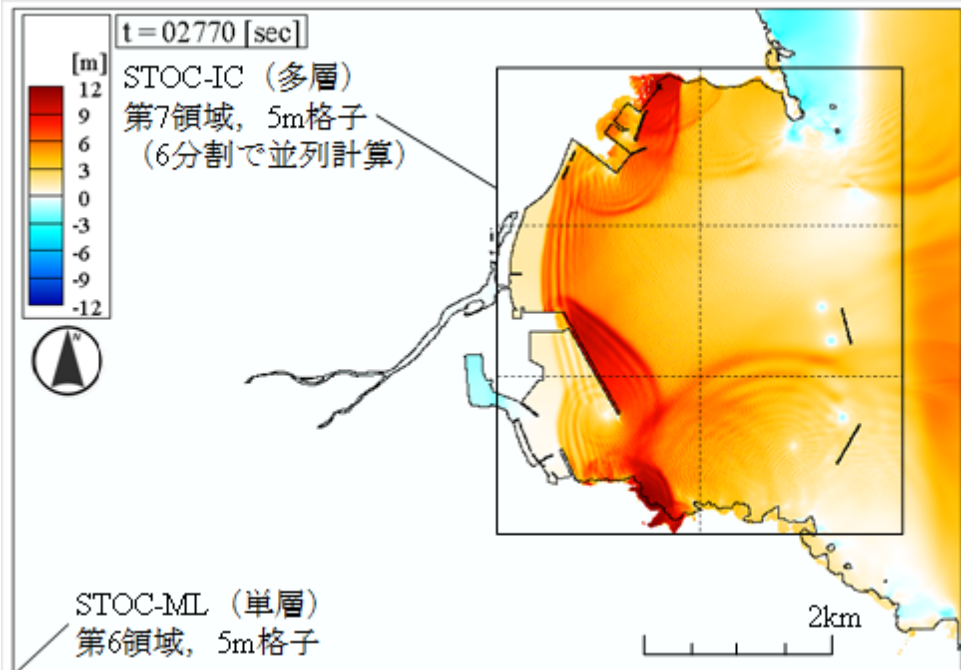
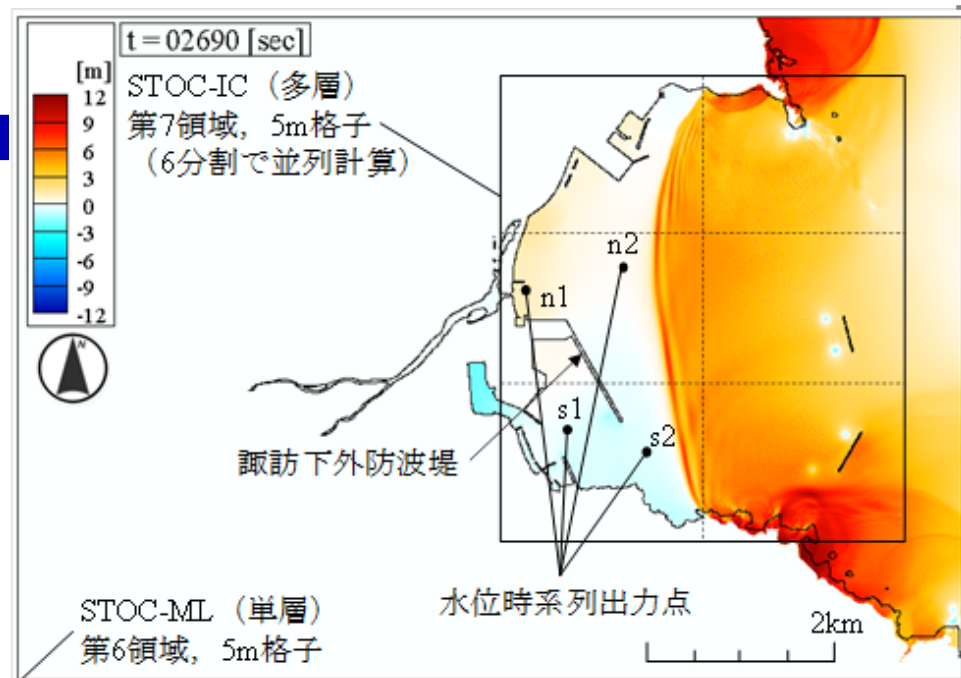
砕波モデル

- 砕波開始条件を決定するパラメータ α を、湾外領域が粗格子であること、湾内が湾口防波堤や局所地形の存在などにより複雑地形であることを考慮し、Chenら(2000)に倣い0.5から0.2に変更した。



高橋・富田 (2013) より

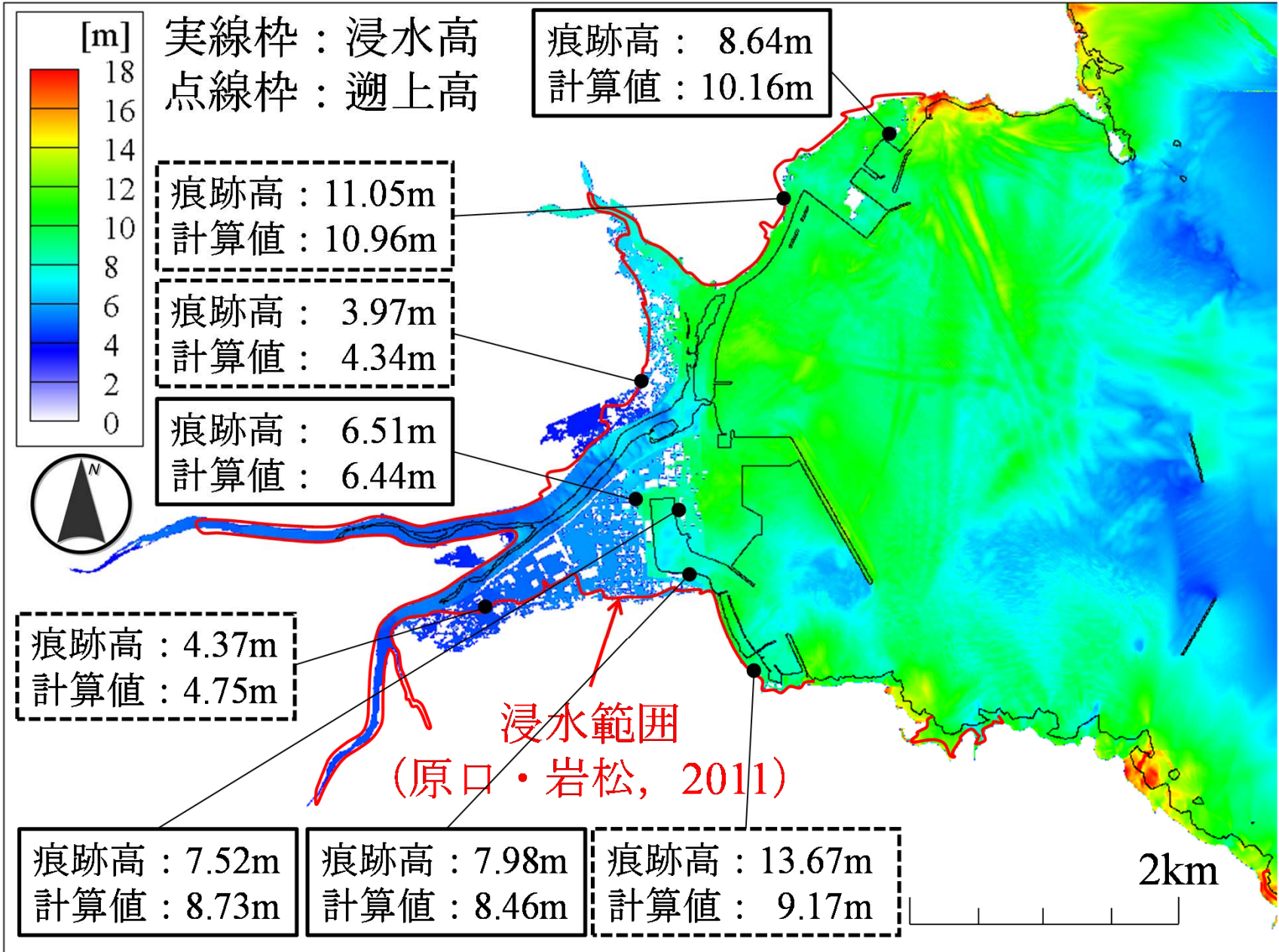
計算結果



3次元モデルSTOC-IC (碎波あり)

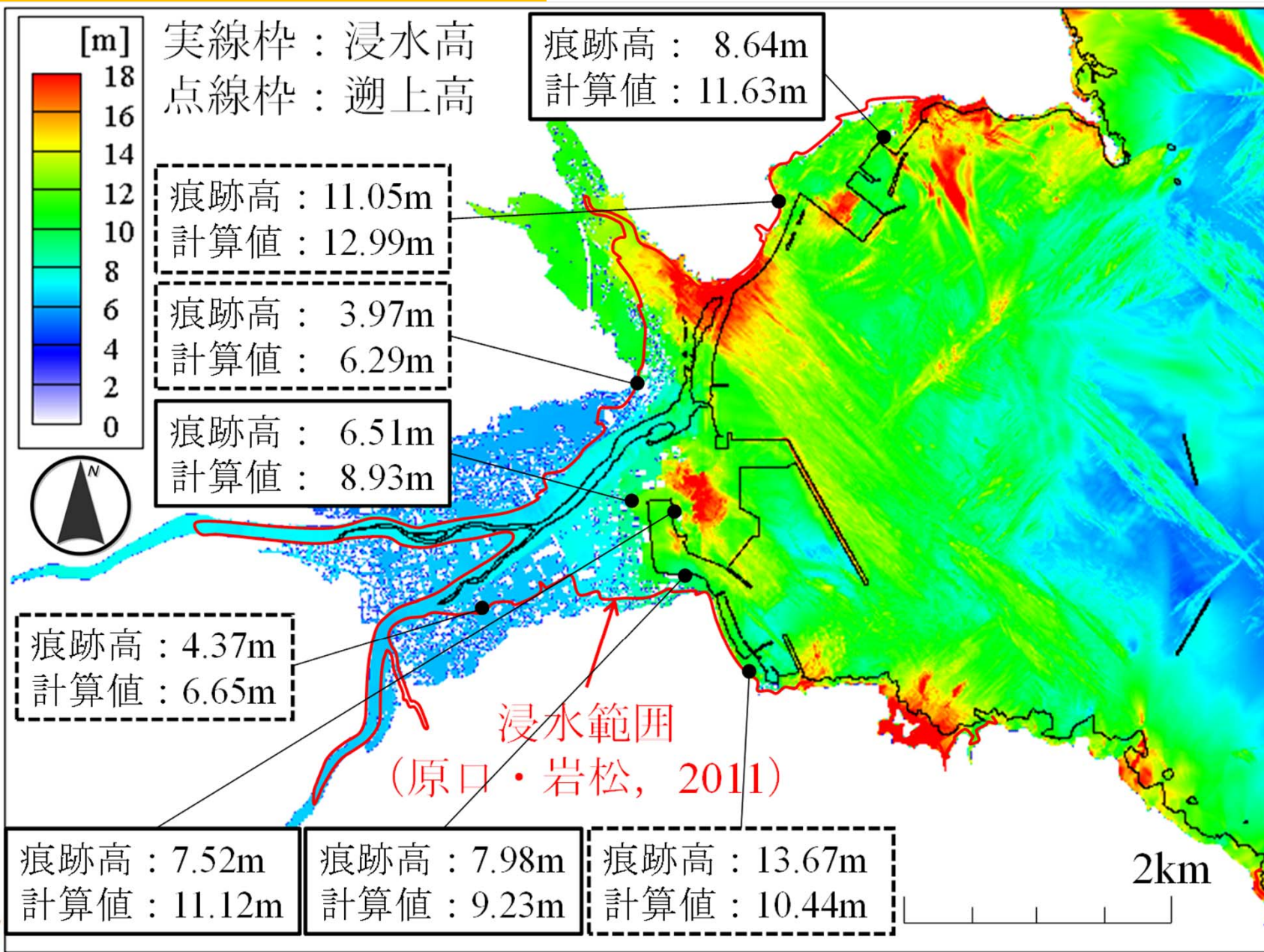
$K=0.98, \kappa=1.15$

Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research / Port and Airport Research Institute



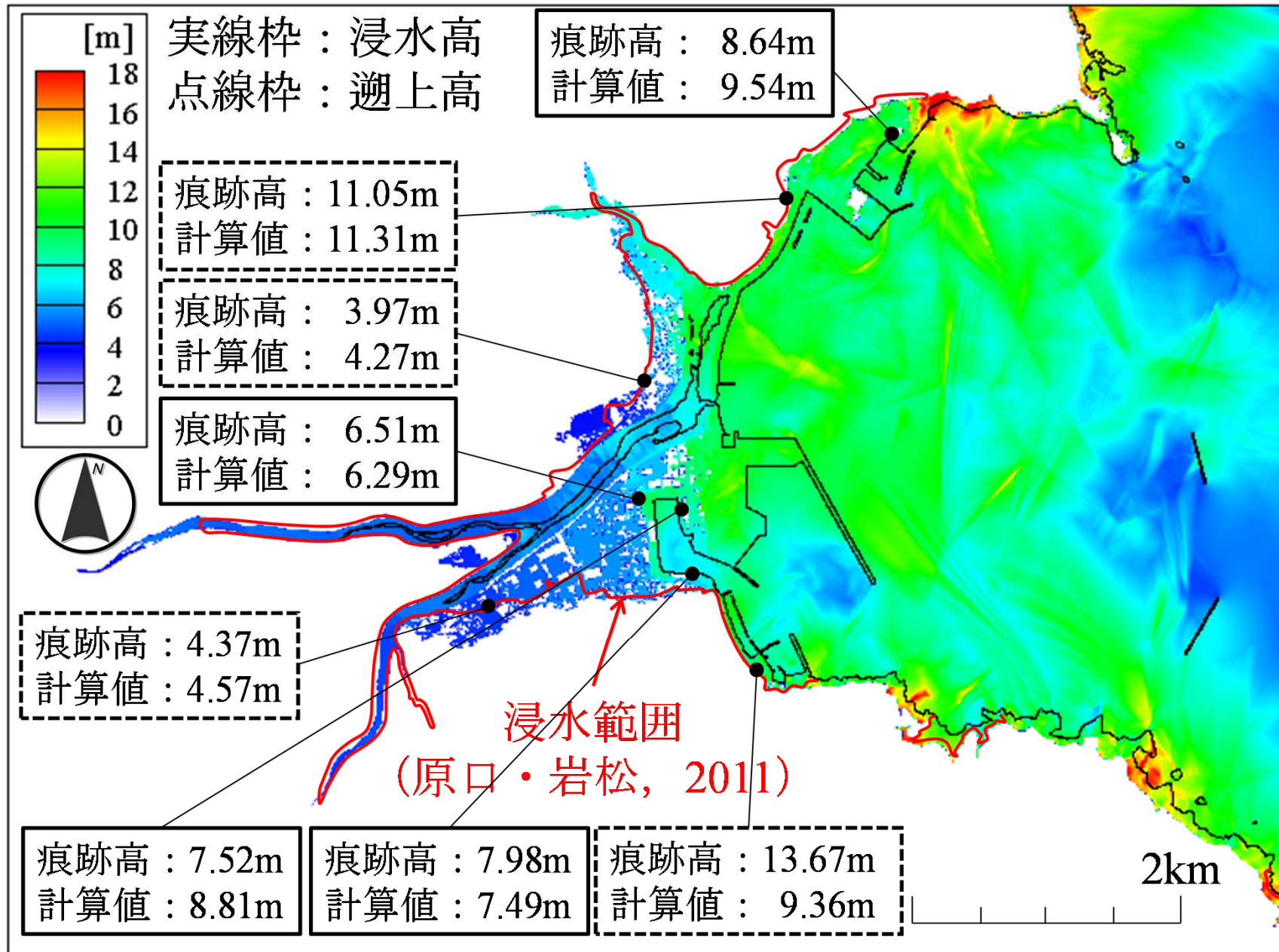
3次元モデルSTOC-IC (碎波なし)

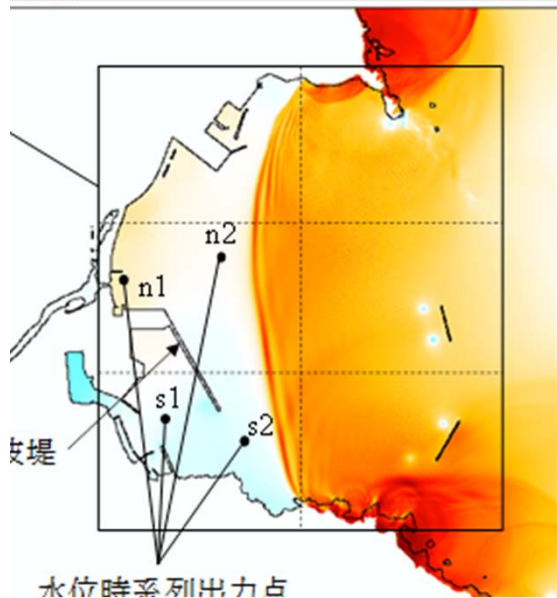
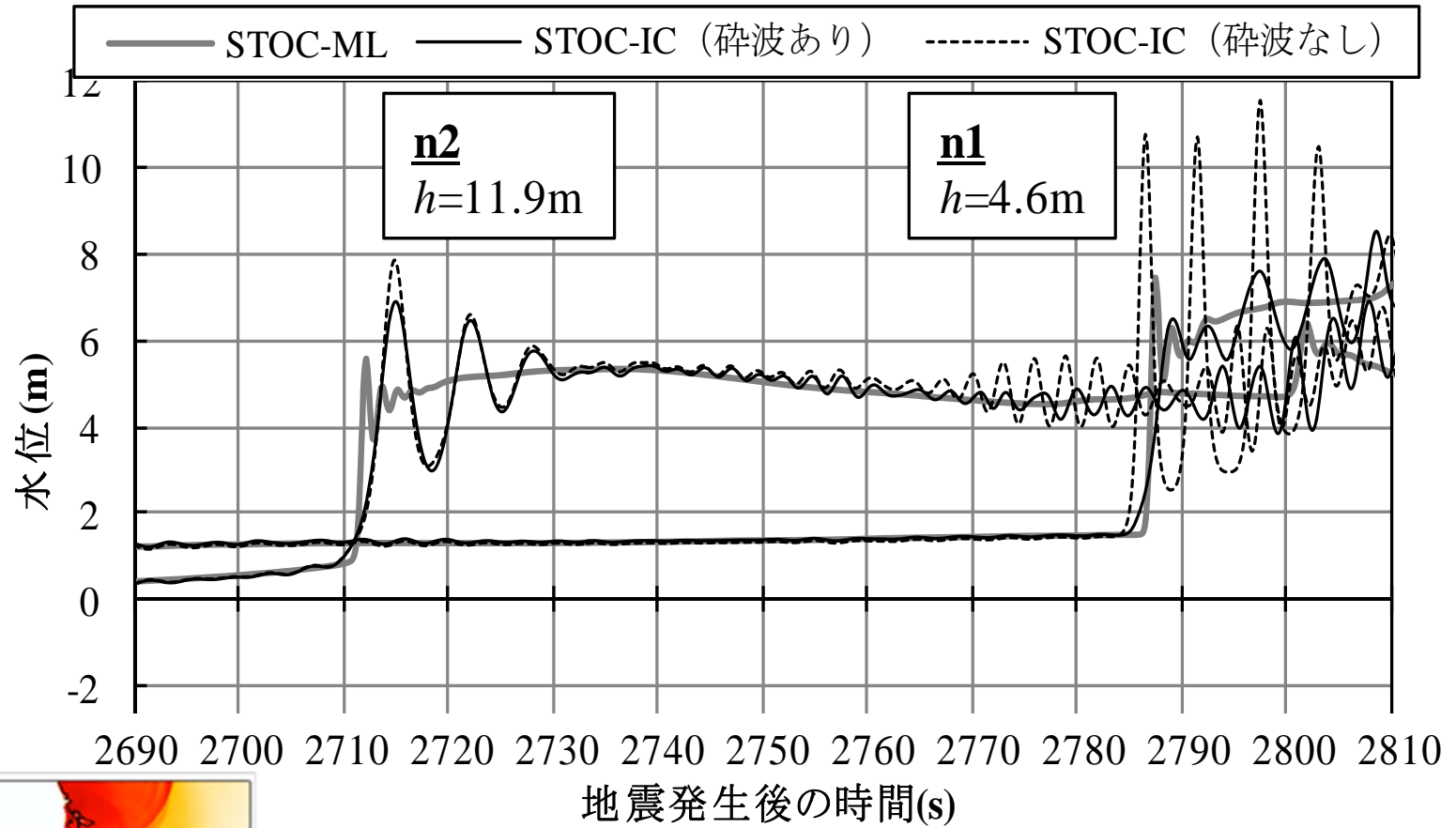
$K=0.79, \kappa=1.25$



2次元モデルSTOC-ML (碎波あり)

$K=0.96, \kappa=1.07$





計算波形の出力点

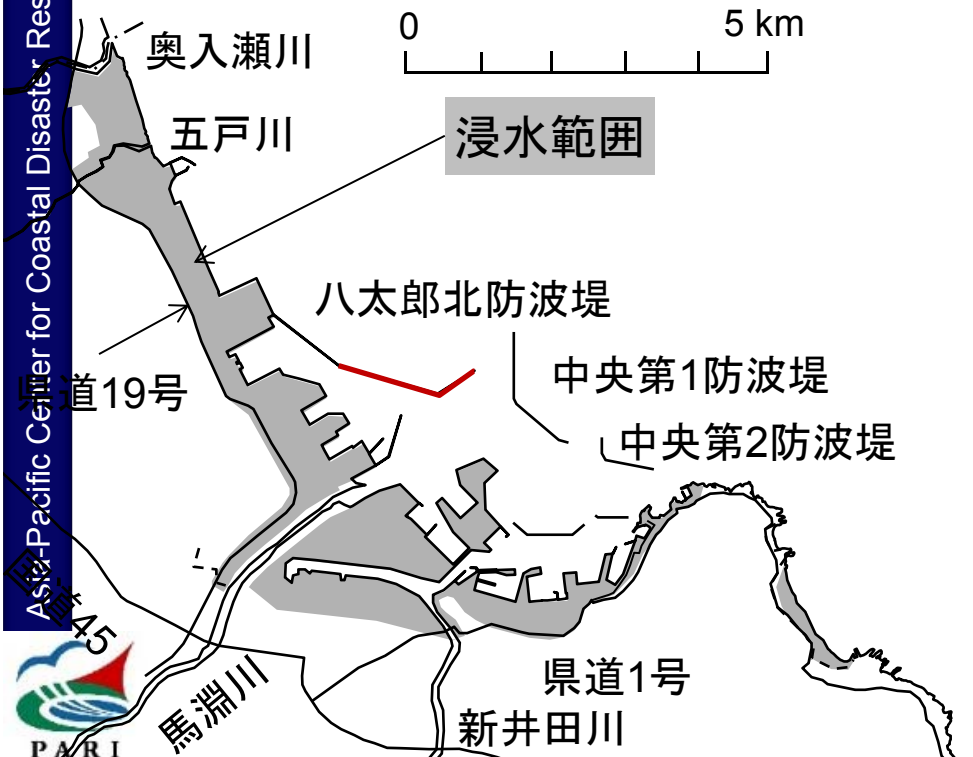
中間まとめ

- ソリトン分裂する津波の場合であっても、浸水域や最大浸水深分布の把握であれば、通常の津波計算モデル（静水圧近似を使用）により推定可能である。
- しかし、防波堤などに作用する水位、流速、波力の算定においては、非静水圧モデルを適用する必要がある。
- ソリトン分裂する津波を計算する際には砕波モデルの導入は不可欠である。

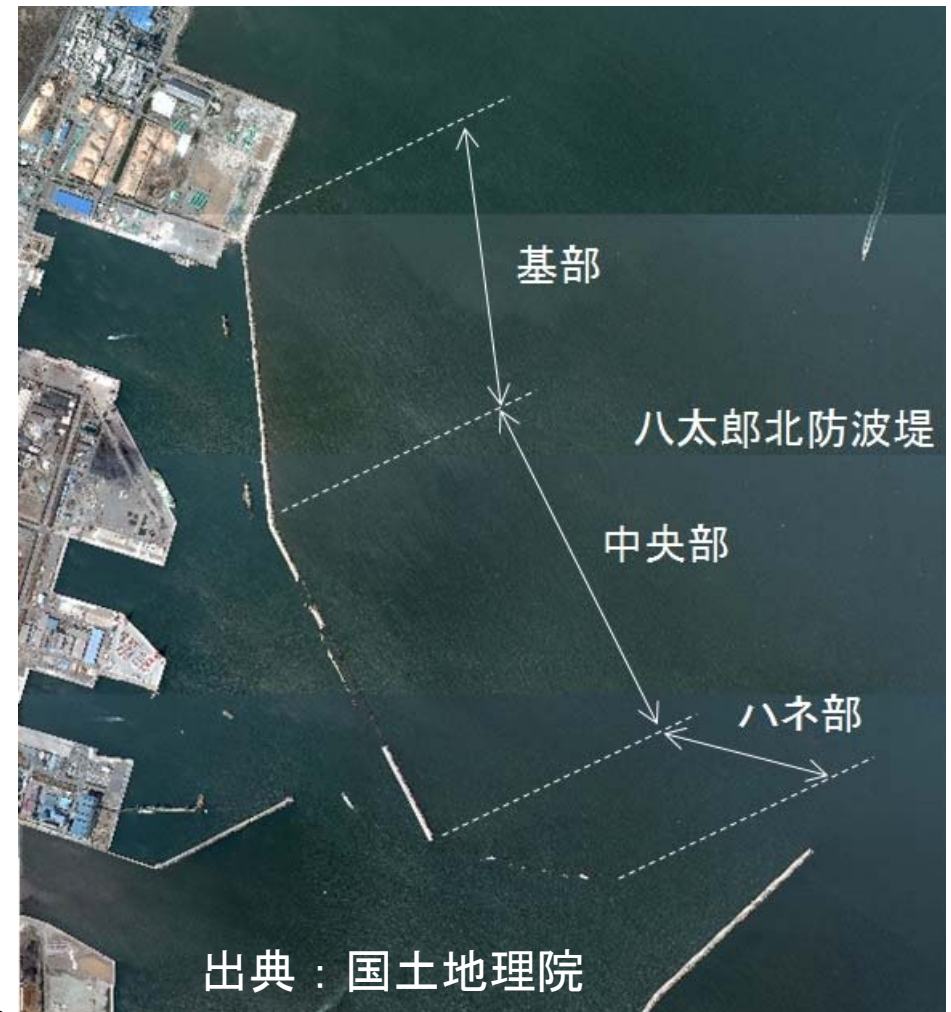
八戸港における津波

八戸市（2013）

- ・犠牲者：死者1名，行方不明者1名
- ・浸水面積：約11km²
- ・津波被害のあった住家：849棟
 - 全壊・流出：28棟
 - 2m以上の浸水：222棟



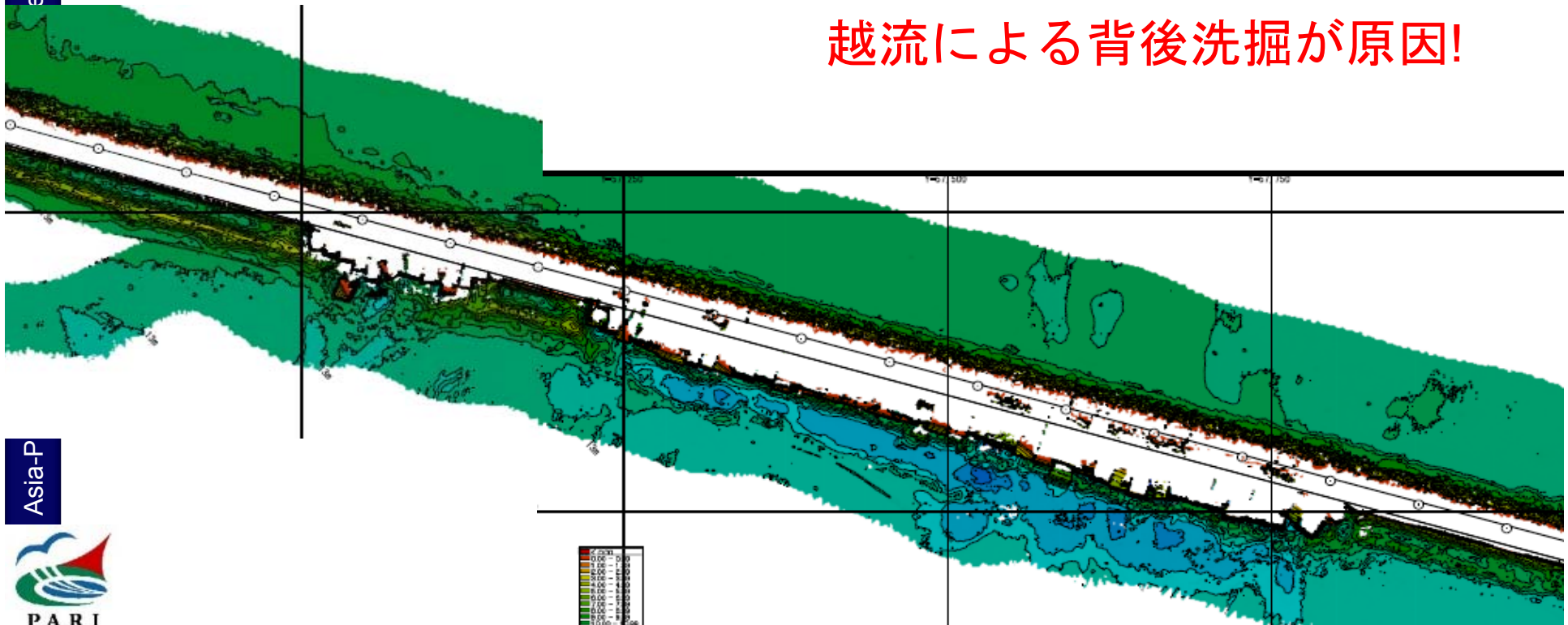
八太郎北防波堤のハネ部・中央部の被災
延長3,504mの内1,437mでケーソンが移動・転倒



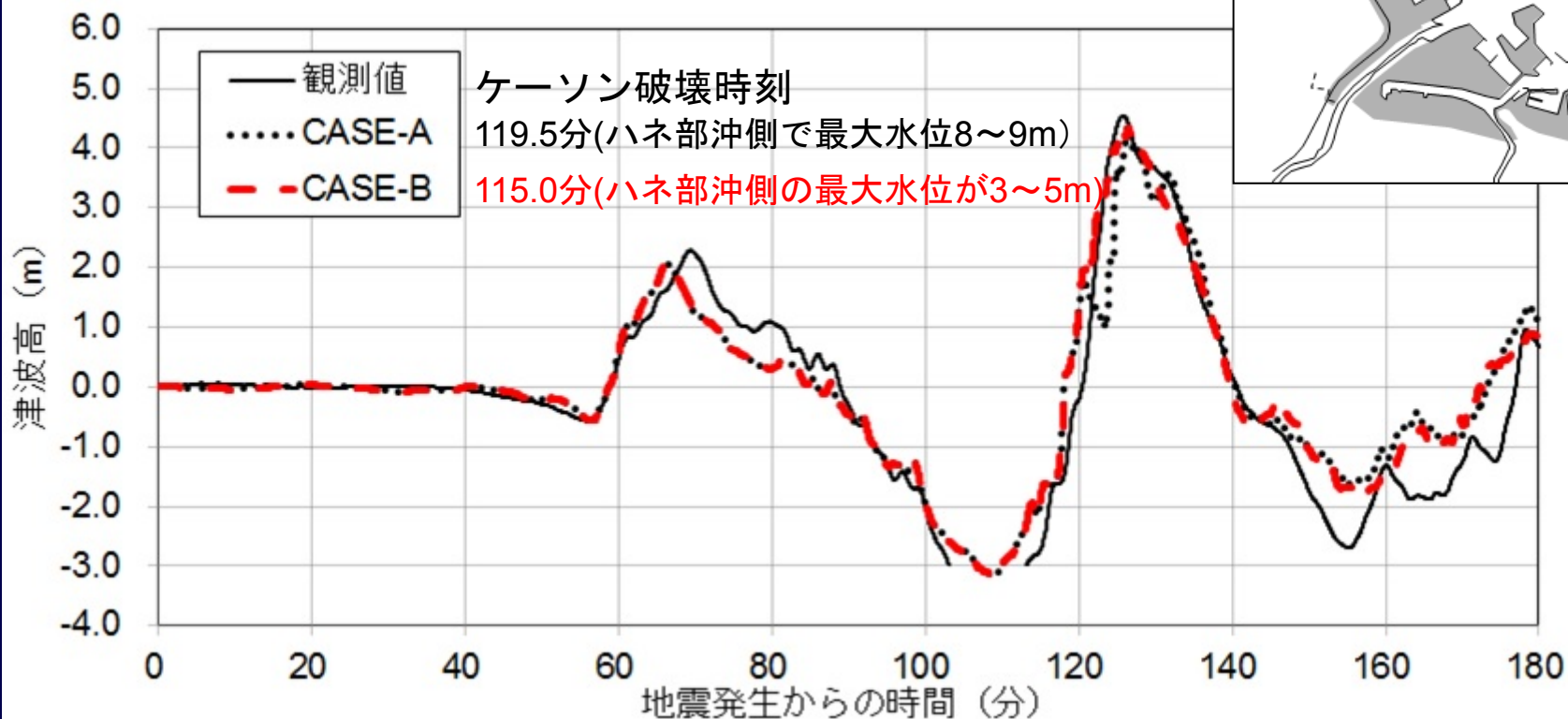
中央部の破壊

- 中央部で被災場所：工区11の半ばから工区13の半ばにかけてであり、工区11と工区12のつなぎ目あたりは残存
- 算出した滑動安全率：中央部の F_s は1.1以上（津波波力のみによってケーソンが滑動するのは困難と推定）
- 被災後のナローマルチビーム測深による防波堤マウンドの洗掘状況では、防波堤を越流した津波による防波堤の背後マウンドの洗掘が発生

越流による背後洗掘が原因!

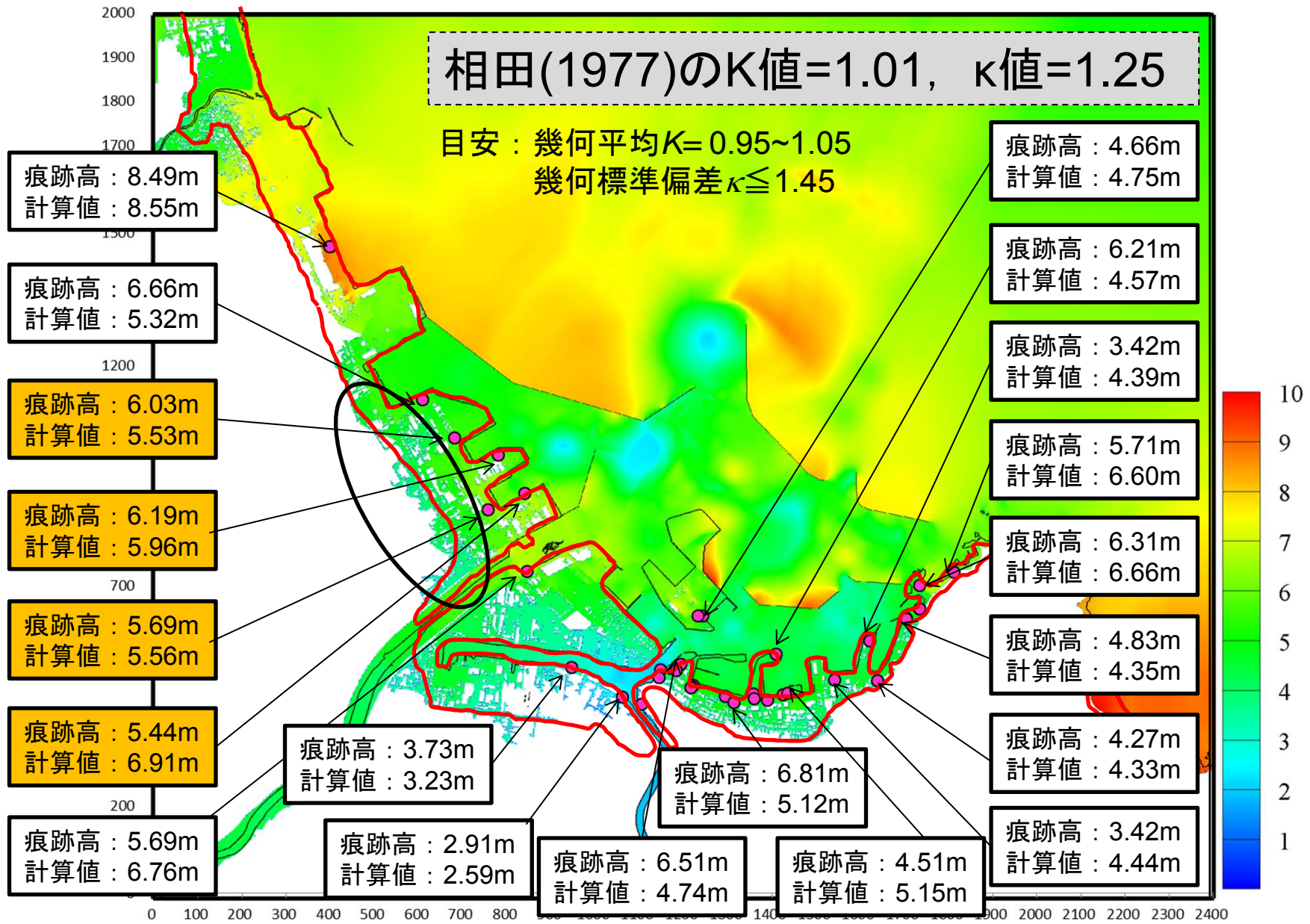


ハネ部破壊の影響



港内検潮所の観測波形との比較

- 検潮所の周波数特性を考慮しても計算波形は変化しないことを確認
- 検潮所の波形に、ハネ部の損傷の影響が現れ始めるのは損傷してから約5分後、中央部の損傷影響は損傷後約18分から現れ始める。中央部沖側で水位が最大なる時刻および越流が終了する時刻はそれぞれ地震後約120分および約125分であったので、中央部の損傷影響が検潮所の波形に現れるのは第2波のピークに続く低水位の頃である。このため、この計算では中央部の損傷は考慮していない。



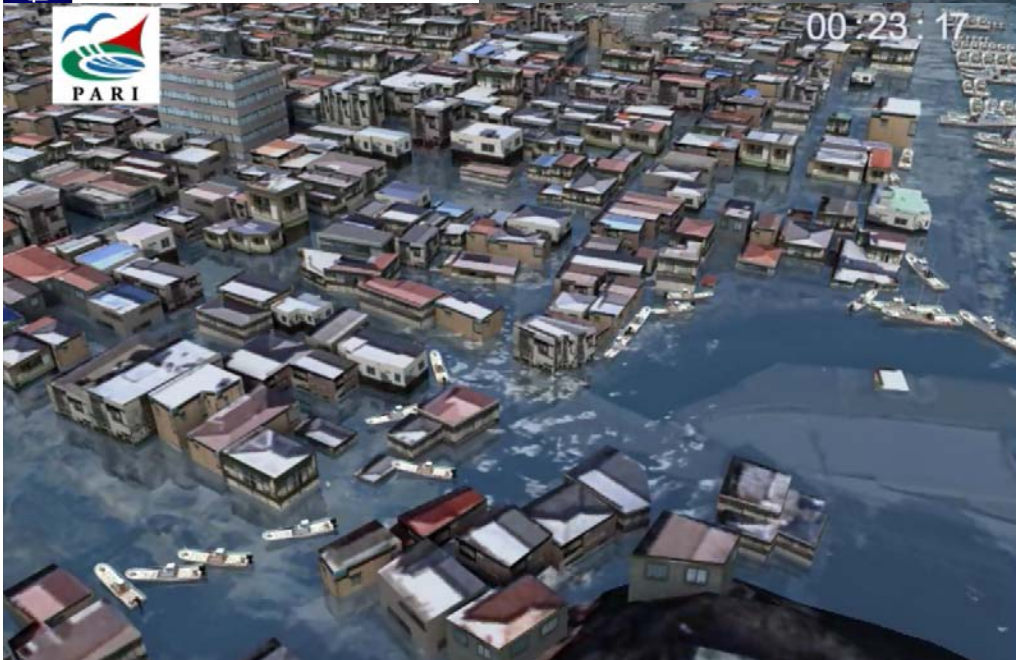
ハネ部の破壊開始＝地震後115分：中央部の破壊開始＝地震後125分（越流終了時刻）
 中央部の破壊（早）中央部背後の浸水増、（遅）中央部背後の浸水ほぼ変化せず

富田・丹羽（2013）より

中間まとめ

- 防波堤など構造物の損傷を考慮することにより浸水域や最大浸水深分布の再現は良好であった。
- 防波堤の損傷が早まることにより浸水被害は増大の傾向を示した。

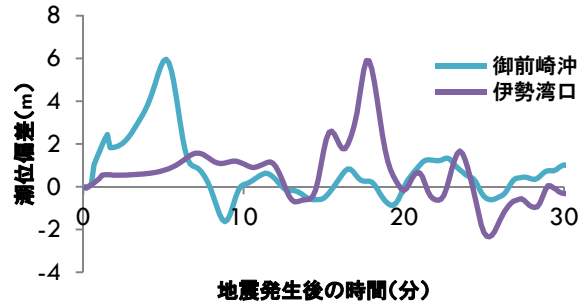
漂流物を含む津波被害推定



リアルタイム津波ハザードマップ

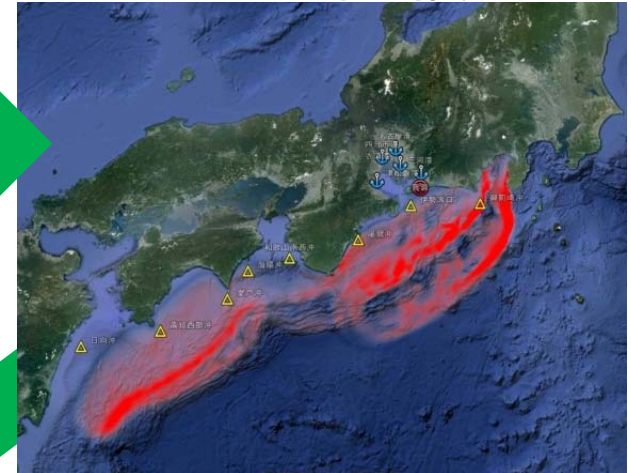
- 沖合で観測された津波のデータを利用して、地震の際に速やかに浸水域を推定する技術

GPS波浪計による沖合の津波観測



5秒程度で波源を解析

津波波源の推定



2時間分の津波を75秒程度で計算

浸水域の推定



画像処理演算装置 (GPU)による高速計算

長所

- 断層を仮定しないので、分岐断層や地すべりなどにも適用可能。
- 埋め立て等地形が変わっても適用可能。

プロトタイプの構築

名古屋港をモデルとしてプロトタイプを作成
南海トラフ巨大地震による津波により検証



地震発生

Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research / Port and Airport Research Institute

0分

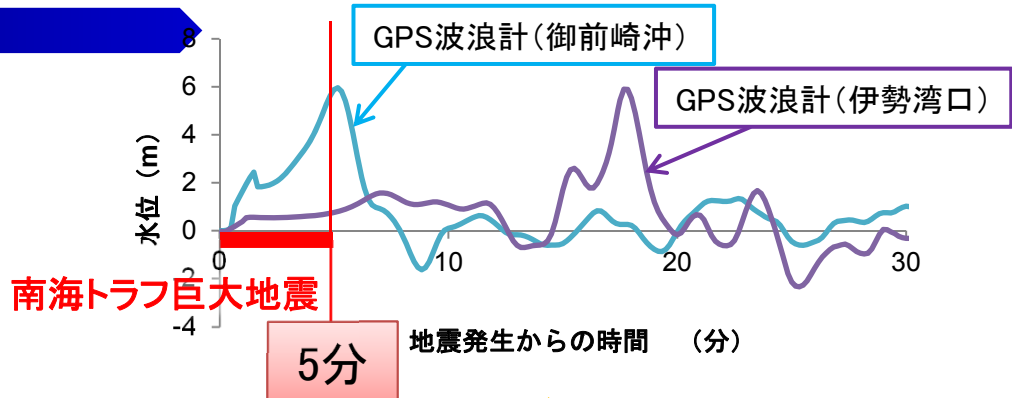
南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分
6分
7分
8分

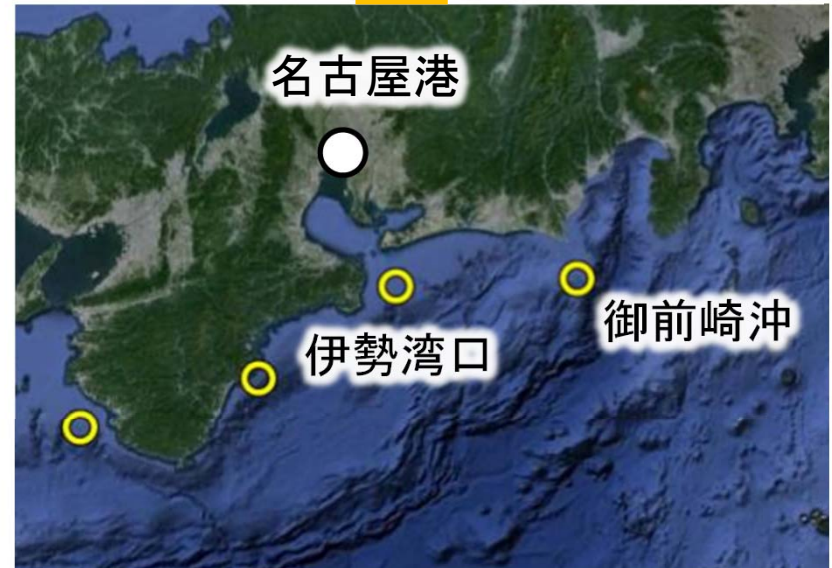
地震の収束

18分
19分
20分

80分 名古屋港に第1波来襲



津波観測データ



第1波ピーク観測

第1波ピーク観測(高さ6m)

Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research / Port and Airport Research Institute

0分

南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分

地震の収束

6分

GPS波浪計(御前崎沖)で第1波ピーク観測

7分

8分

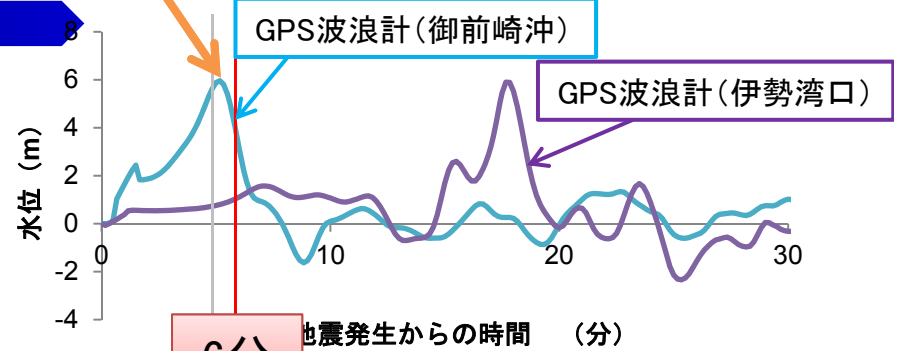
18分

19分

20分

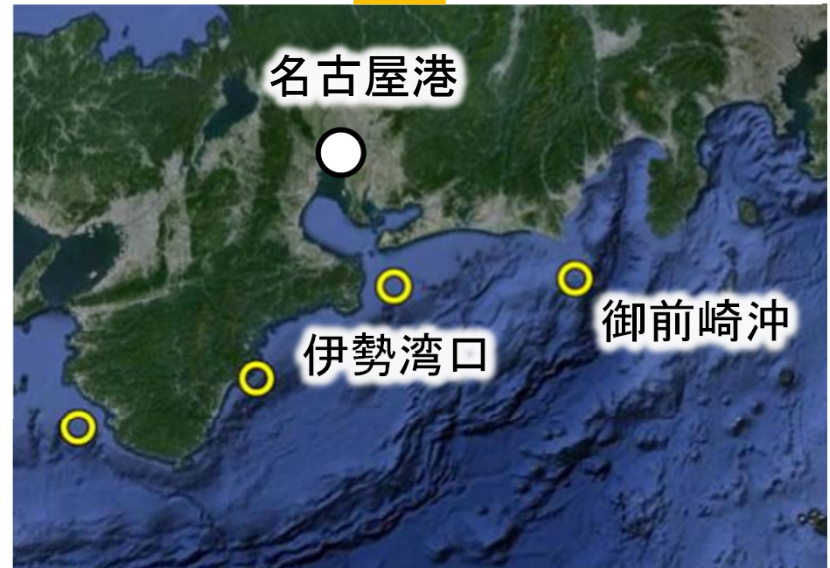
80分

名古屋港に第1波来襲



6分

津波観測データ



津波の発生源の推定

第1波ピーク観測(高さ6m)

Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research / Port and Airport Research Institute

0分

南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分

地震の収束

6分

GPS波浪計(御前崎沖)で第1波ピーク観測

7分

津波波源の推定完了(第1報)

8分

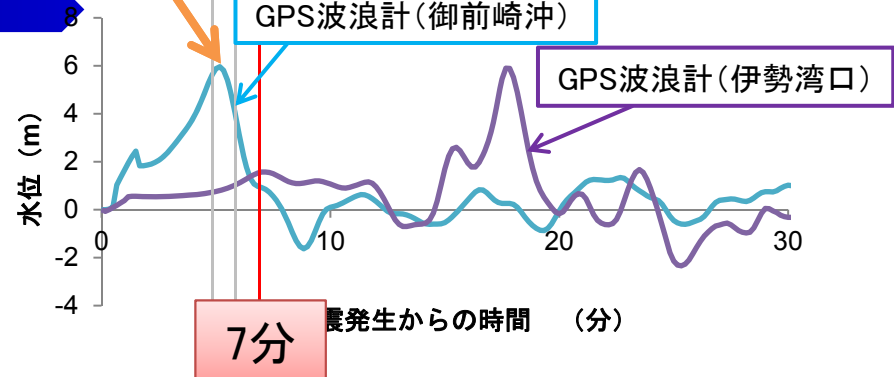
18分

19分

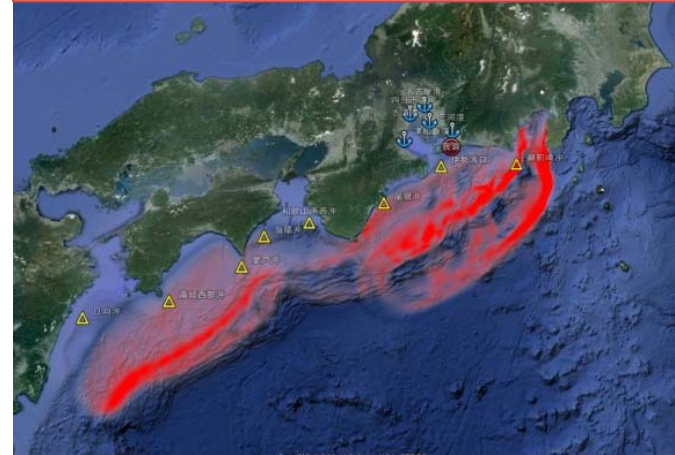
20分

80分

名古屋港に第1波来襲

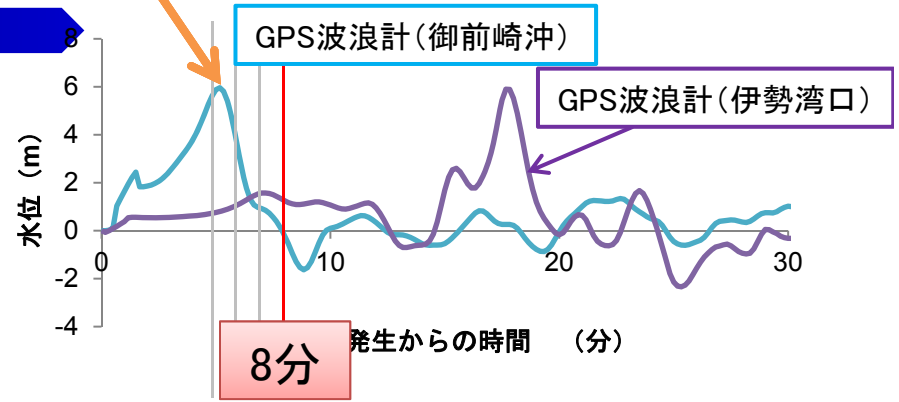


津波の初期状態を推定



浸水域の推定

第1波ピーク観測(高さ6m)



0分

南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分

地震の収束

6分

GPS波浪計(御前崎沖)で第1波ピーク観測

7分

津波波源の推定完了(第1報)

8分

津波浸水予測完了(第1報)

18分

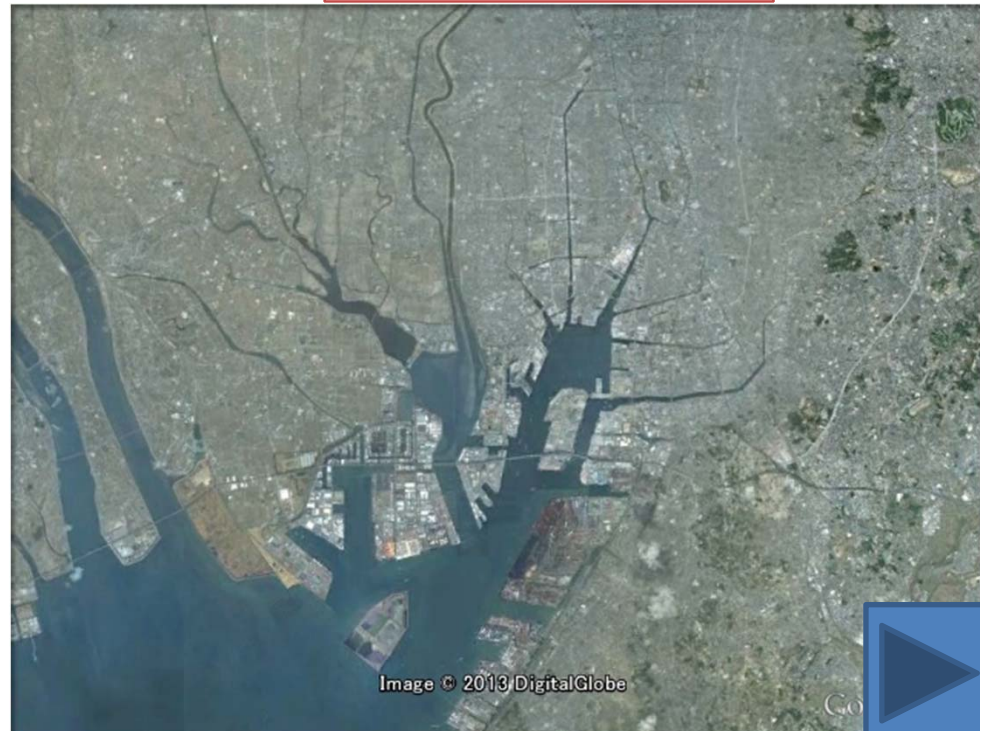
19分

20分

80分

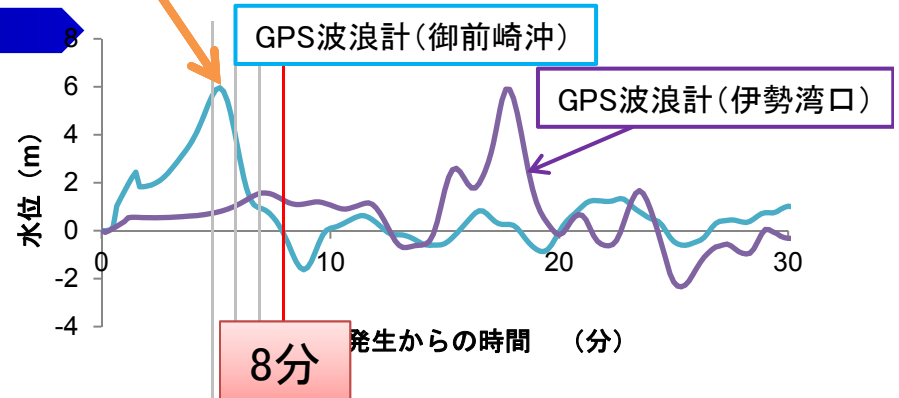
名古屋港に第1波来襲

津波の浸水予測



浸水域の推定

第1波ピーク観測(高さ6m)



0分

南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分

地震の収束

6分

GPS波浪計(御前崎沖)で第1波ピーク観測

7分

津波波源の推定完了(第1報)

8分

津波浸水予測完了(第1報)

18分

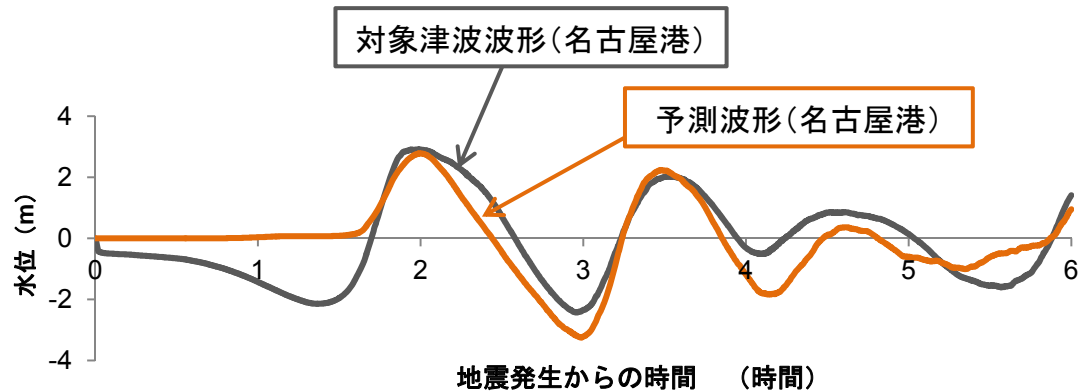
19分

20分

80分

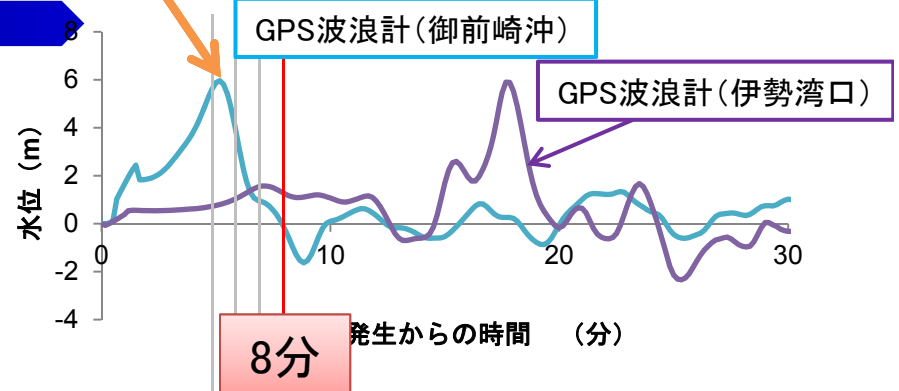
名古屋港に第1波来襲

名古屋港の津波波形予測



浸水域の推定

第1波ピーク観測(高さ6m)



0分

南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分

地震の収束

6分

GPS波浪計(御前崎沖)で第1波ピーク観測

7分

津波波源の推定完了(第1報)

8分

津波浸水予測完了(第1報)

・

・

・

18分

19分

20分

・

・

・

80分

名古屋港に第1波来襲

約70分の
猶予

浸水域(最大浸水高)の予測



推定精度の向上

0分

南海トラフ巨大地震発生
(地震継続時間:5分)

5分

地震の収束

6分

GPS波浪計(御前崎沖)で第1波ピーク観測

7分

津波波源の推定完了(第1報)

8分

津波浸水予測完了(第1報)

18分

GPS波浪計(伊勢湾口)で第1波ピーク観測

19分

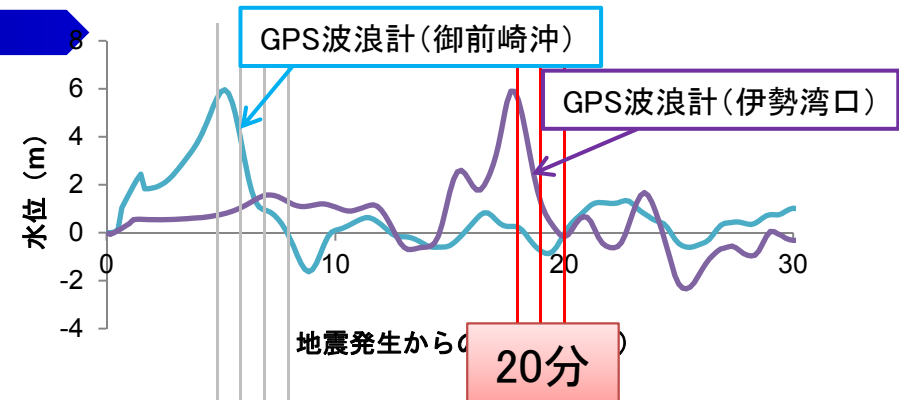
津波波源の推定完了(第2報)

20分

津波浸水予測完了(第2報)

80分

名古屋港に第1波来襲



観測データの蓄積に伴いより精度の高い予測情報を発信する

まとめ

- ソリトン分裂する津波の場合であっても、浸水域や最大浸水深であれば、通常の津波計算モデル（静水圧近似を使用）により推定可能である。
- しかし、防波堤などに作用するソリトン分裂津波の水位、流速、波力の算定においては、非静水圧モデルを適用する必要がある。
- 防波堤など構造物の損傷を考慮することにより浸水域や最大浸水深分布の再現は良好であった。
- 津波漂流物計算などが、起こり得る津波被害のイメージをより具体的にし、対策の検討に役立つ。
- リアルタイム津波ハザードマップにより津波来襲前に浸水域を推定し、減災・救助・早期復旧活動への基礎データを提供できる可能性がある。