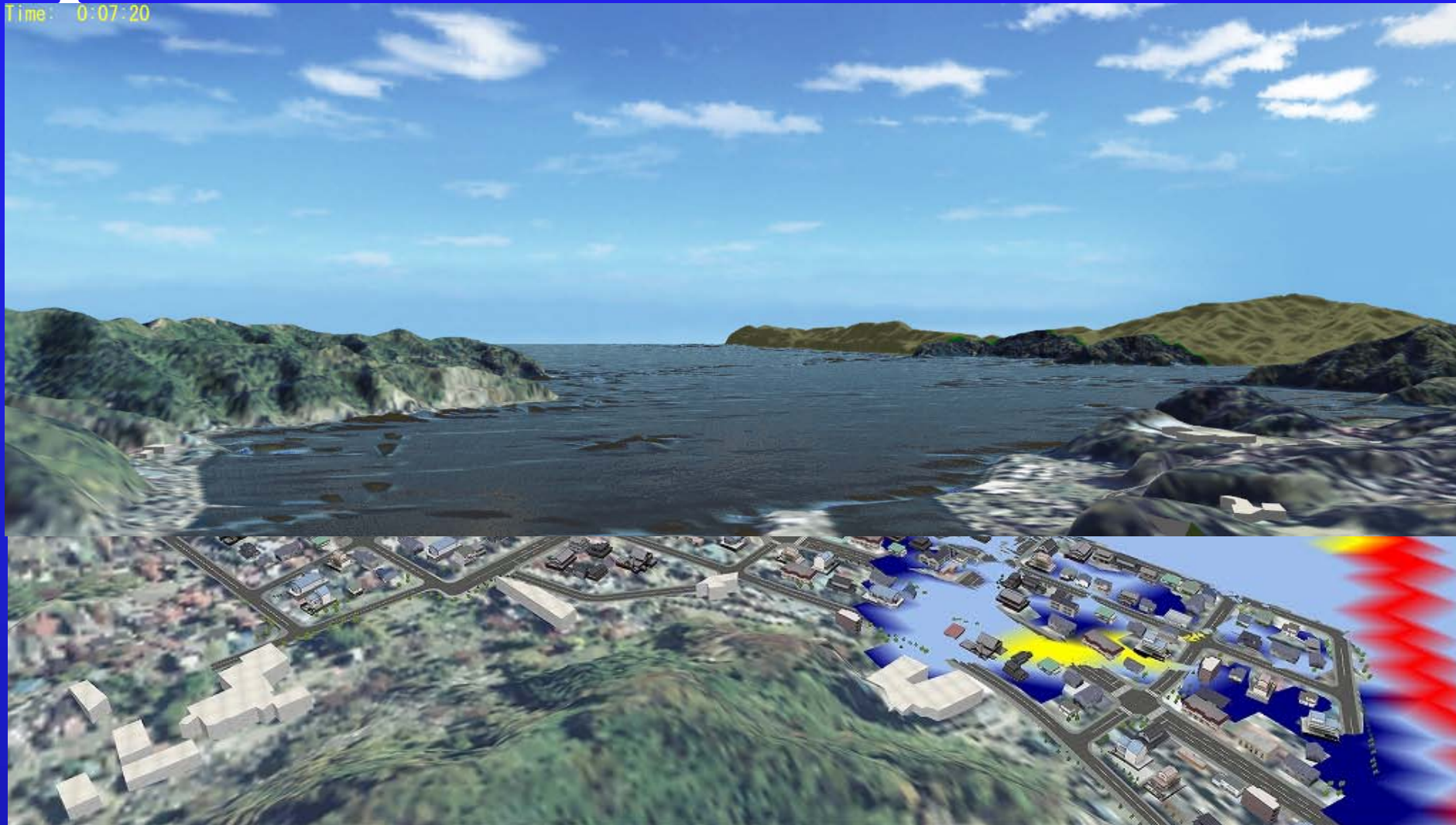


FORUM8 Design Festival 2011

Day-3 5th Design Conference 水工セッション xpswmmユーザー会

xpswmmを用いた津波解析と可視化

Time: 0:07:20



フォーラムエイト UC-1開発第一Group 羽田 誠

リスク認知モデル のコンセプト

1

- 本研究の背景と目的
- リスク認知モデルの構造

数値シミュレーション の実施

2

- xpswmmを用いた津波防波堤の決壊及び家屋の倒壊を顧慮した津波解析
- 規則ベース行動モデルに基づいたマルチエージェントモデルでの津波避難解析

リスク認知及びリスクコ ミュニケーション

3

- 津波解析及び避難解析結果を連携させた三次元バーチャルリアリティ空間の構築
- VR空間の仮想避難訓練としての適用
- 防災計画における合意形成ツールとしてのVR空間の適用

3.11震災から提示される今後の防災計画に活かすべき課題



◆ 想定外の津波規模のみでなく、津波防波堤の決壊等が更なる被害の拡大につながった。

◆ 生存者のコメントから日頃の防災意識や緊急時における避難に対する姿勢が明らかになった。

◆ 技術者の責務として解析を行うのみでなく、如何に実際の減災に繋げていくことができるか？

防波堤の決壊等想定外の事象を考慮して
いな従来の津波ハザードマップ

自分の家までは津波浸水が来る
ことは無いという過信

ハザードマップがかえって安心マップ
として機能し、避難の遅れを誘発

これらを教訓として、今後の減災に向けて津波対策の考えたかはその転換期を迎え、その高度化が急務となる。

様々な事象を考慮した
津波解析

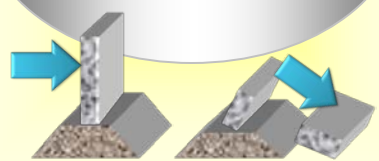
年齢や避難に対する意識を反映させた避難解析

三次元バーチャルリアリティによる可視化

リスク認知モデル

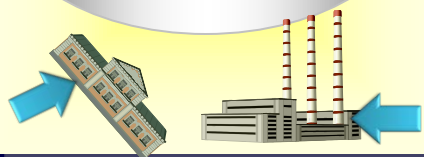
津波防波堤の決壊

押波もしくはマウンドの洗掘によるケーソンのマウンドからの転倒



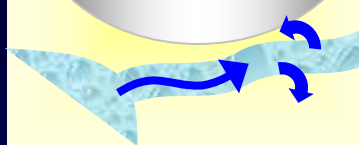
家屋の倒壊

津波押波もしくは引波による低層木造家屋の倒壊



河川遡上

津波の河川遡上による上流部での被害の拡大



次世代津波ハザードマップ

三次元バーチャルリアリティ空間に津波解析結果及び避難解析結果を連携させた構築により、あらゆるリスクを内包したリスク認知空間の構築



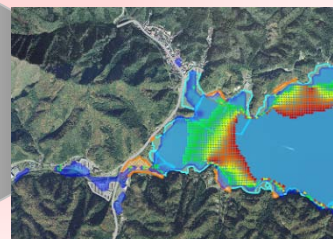
GPS波浪計

地震発生からの海面潮位の経時変化実測値



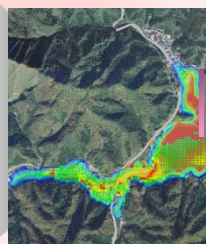
xpswmmによる津波解析

さまざまな要因を考慮した津波解析の実施による津波被災要因の分析



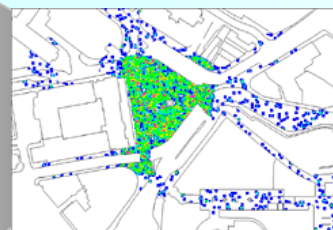
津波浸水挙動

津波解析結果の出力



EXODUSによる避難解析

規則ベース行動モデルに基づいたマルチエージェントモデルによる避難解析の実施による避難状況の再現



仮想避難訓練

この三次元空間内で再現された高齢者目線での避難挙動から、避難における様々な問題点の把握が可能となる。



仮想避難訓練への参加



防災計画マスタープラン

このリスク認知モデルを実際に被災した地域に適用し、津波及び避難の状況を再現を試みる。

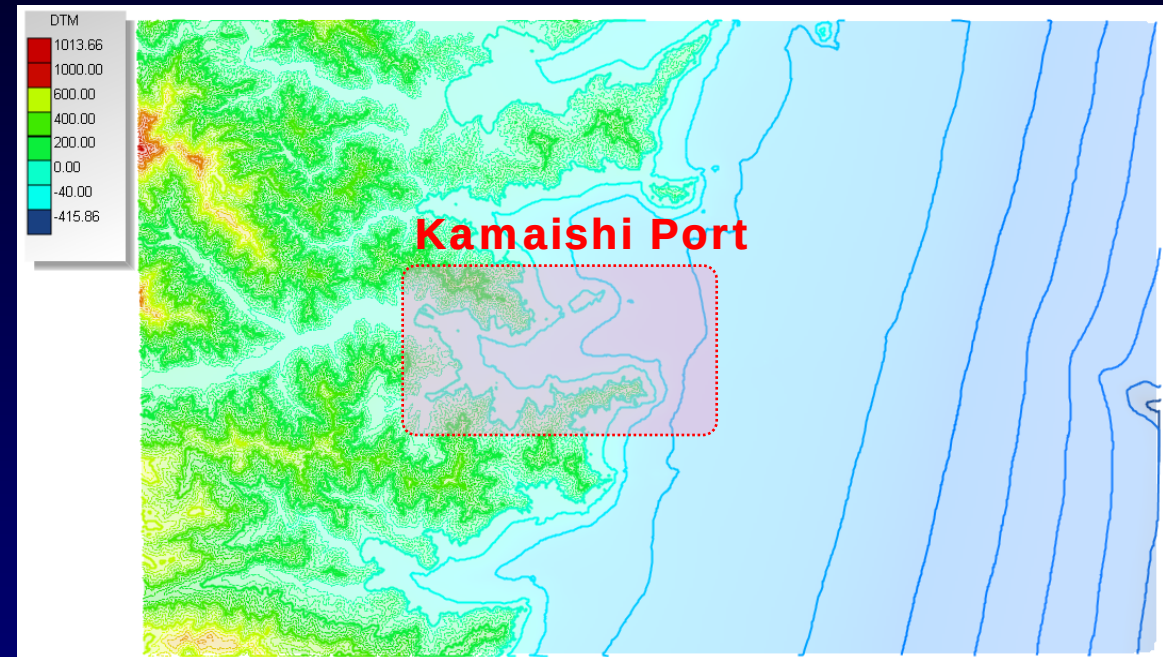
釜石港の概要



釜石港は東北地方岩手県の南東部に位置する有数の漁港、商港であり、過去にも明治29年、昭和8年、昭和35年と3回大きな津波被害を経験している。

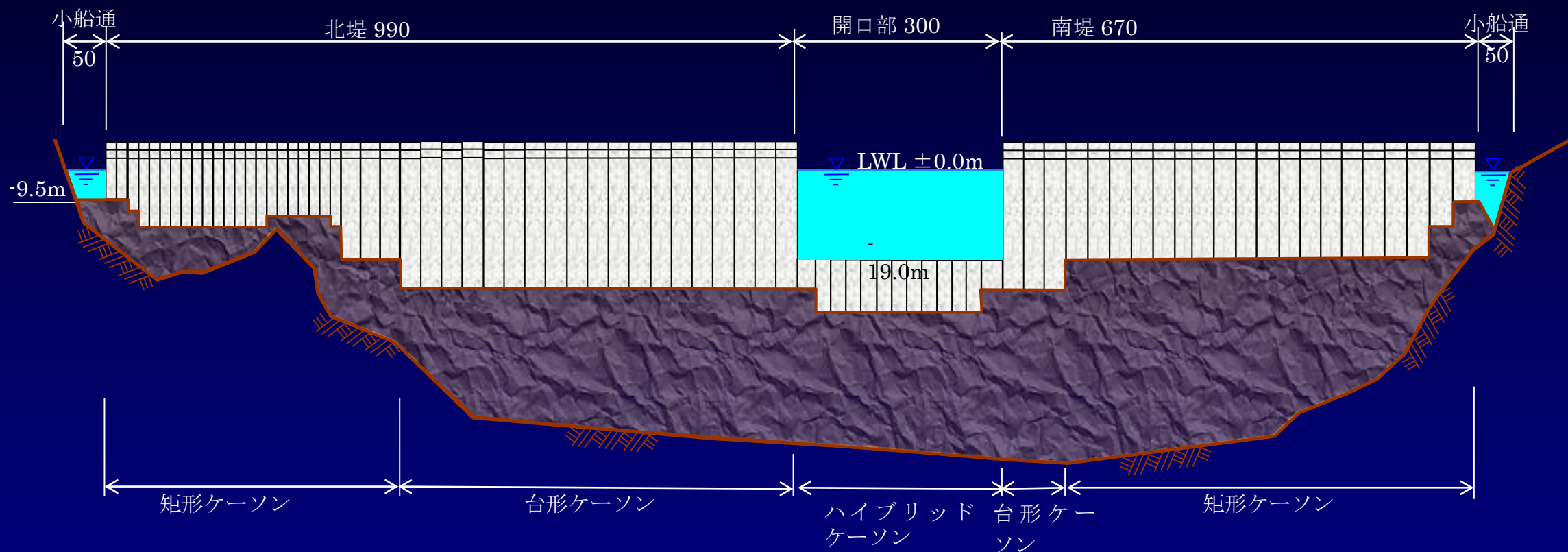
そのため、国の直轄事業として大規模な湾口防波堤の建設が昭和53年から着工し、平成20年に完成している。

地形データ



区分	出展
陸域	国土地理院 基盤地図情報 数値標高モデル 10mメッシュ
海域	(財)日本水路協会 海底地形デジタルデータ M7000シリーズ

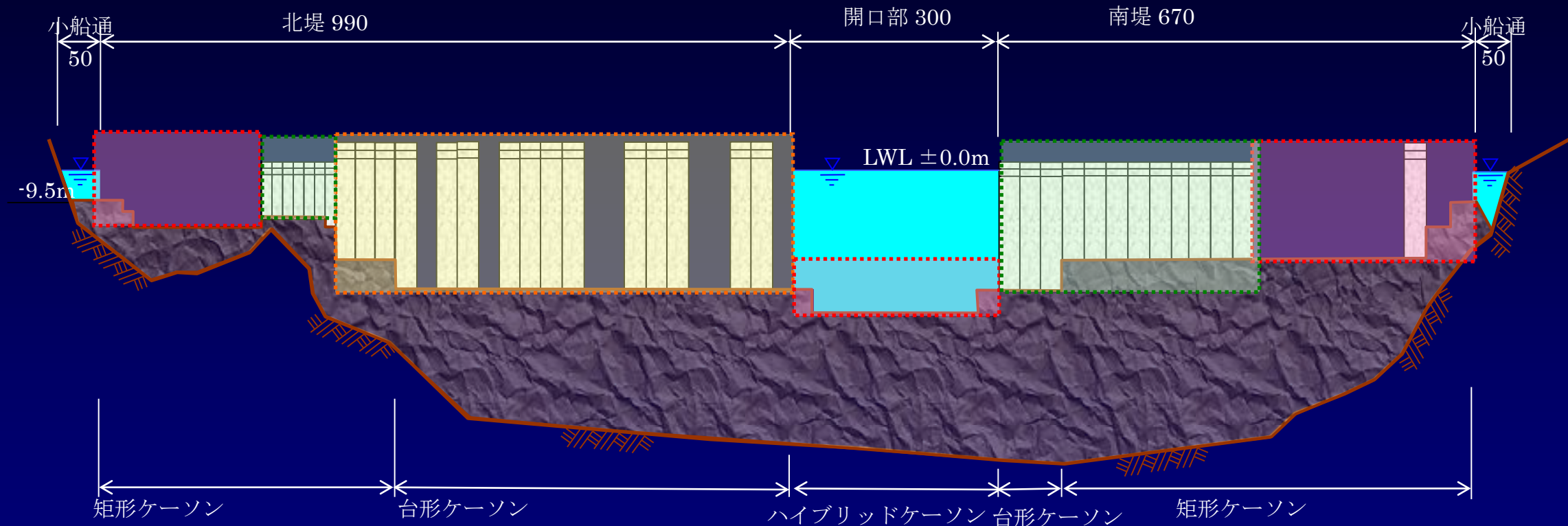
湾口津波防波堤の概要



釜石港湾口防波堤は、平成22年7月27日に「世界最大水深(-63m)の防波堤(Deepest breakwater)」としてギネス世界記録に認定された世界最大規模の防波堤である。

湾口津波防波堤の被災状況

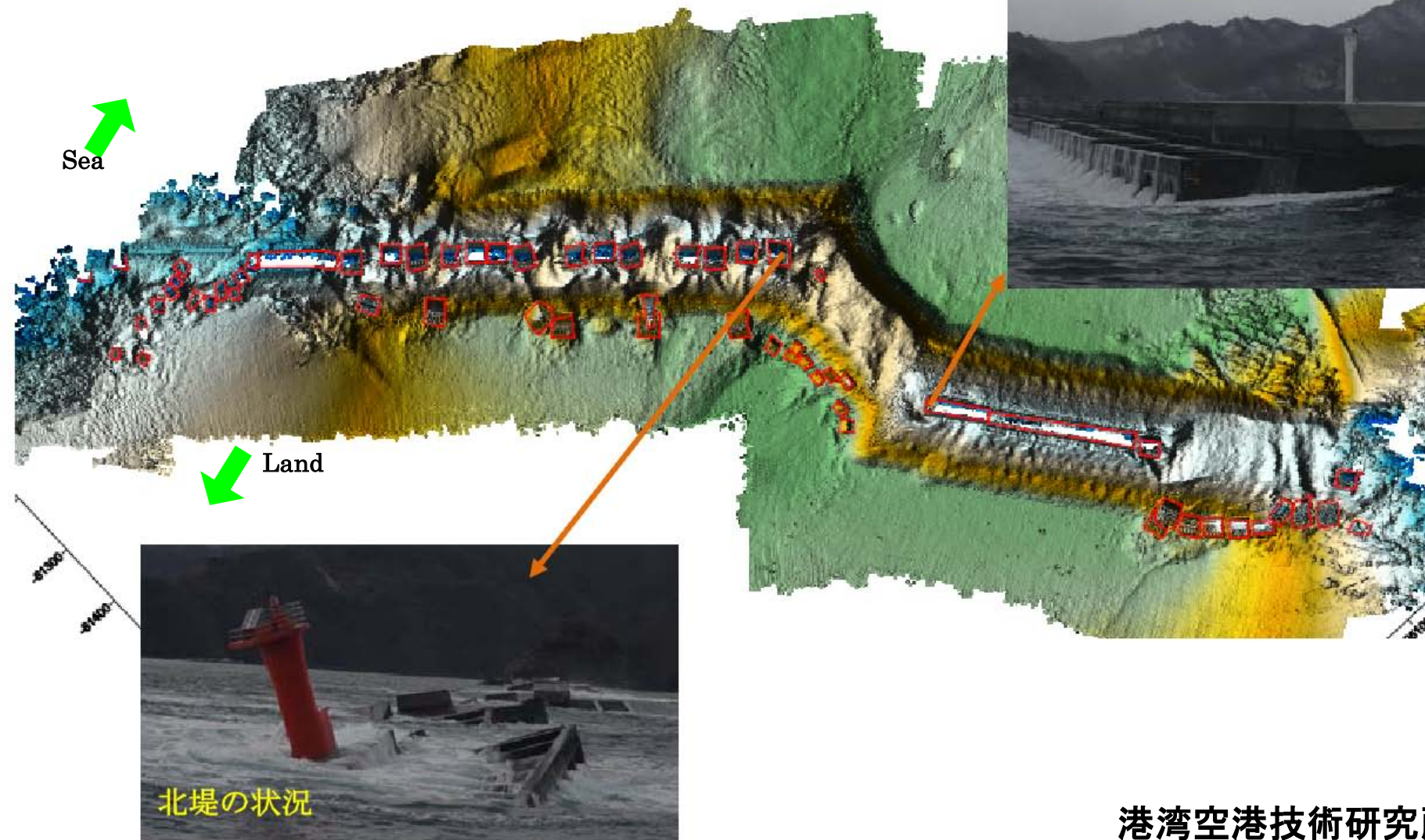
地震発生46 分後 (15:30) : 津波第一波の引き波後の北堤のケーソンが転倒している被災状況



- 地盤沈下はあったもののケーソンは安定が保たれた範囲
- マウンドの洗掘により1/4程度のケーソンが転倒した範囲
- 津波の引き波によりケーソンの大部分がながされた範囲

湾口津波防波堤の被災状況

ナローマルチビーム測量による被災状況調査結果



港湾空港技術研究所より

市街地の被災状況



Google earth より

陸域での津波浸水では、津波の押波または引波により、多くの低層木造家屋が倒壊、流されたことにより、市街地が壊滅的な様相となった。

津波データ

GPS 波浪計



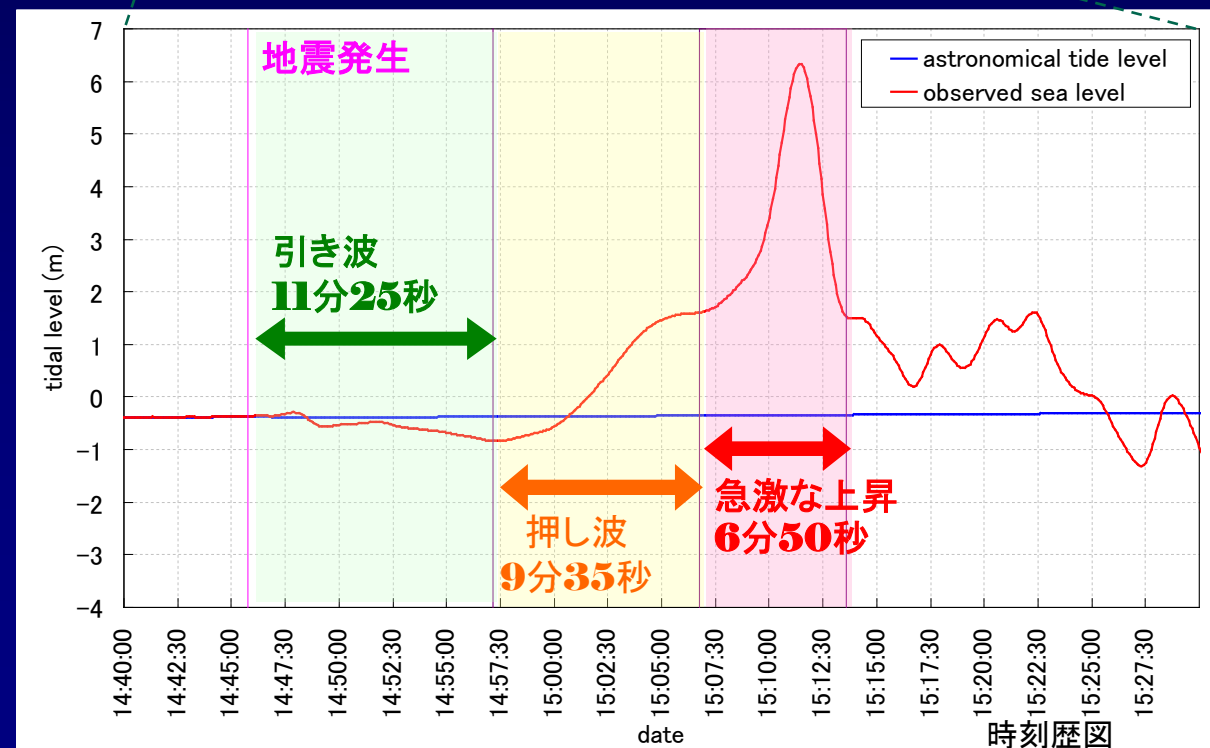
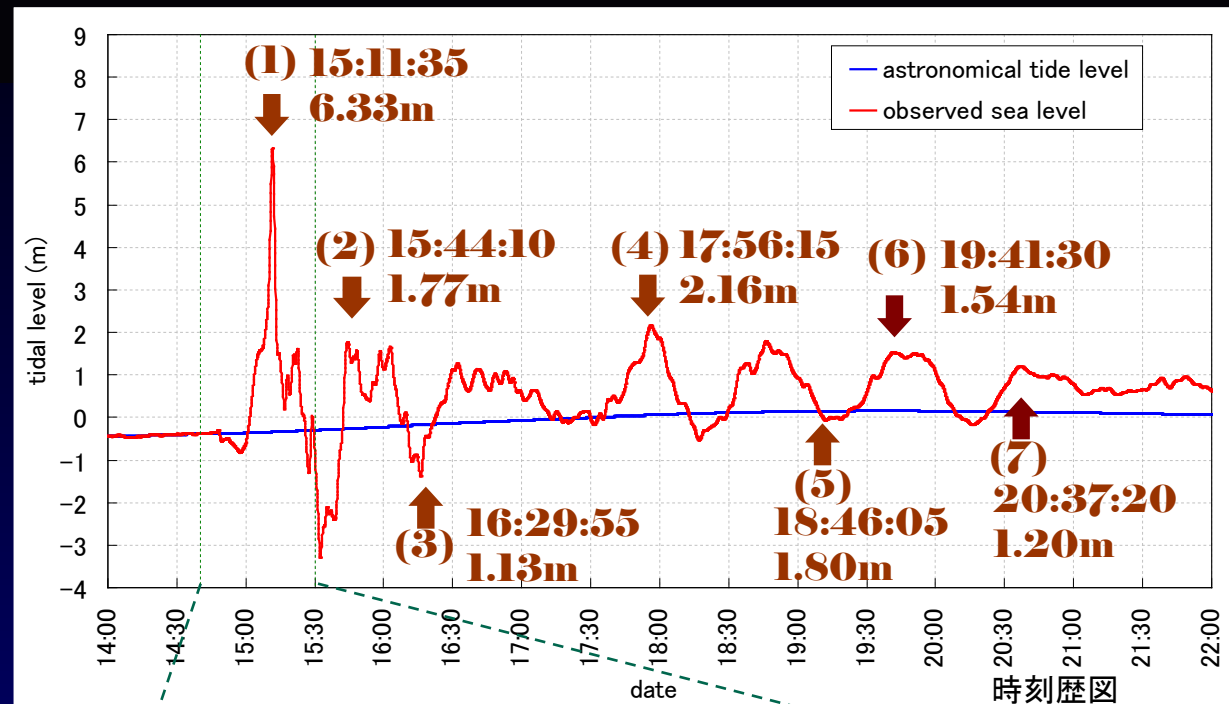
釜石沖
(2007年3月設置)

港湾技術研究所より

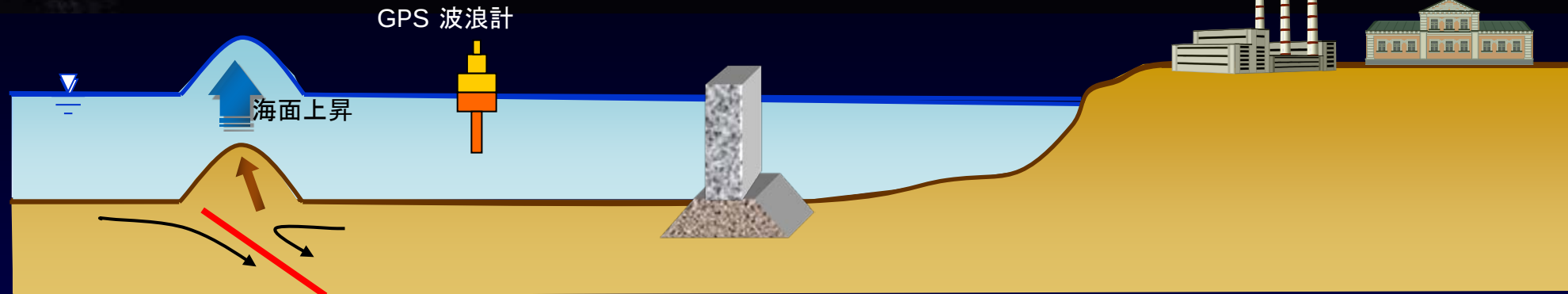
津波解析に用いる津波時刻歴波形は、国土交通省港湾局が2007年に釜石港沖約20kmに設置したGPS波浪計による観測値を採用

3.11地震発生後のGPS波浪計の観測値を境界条件として設定して、津波伝播をシミュレート

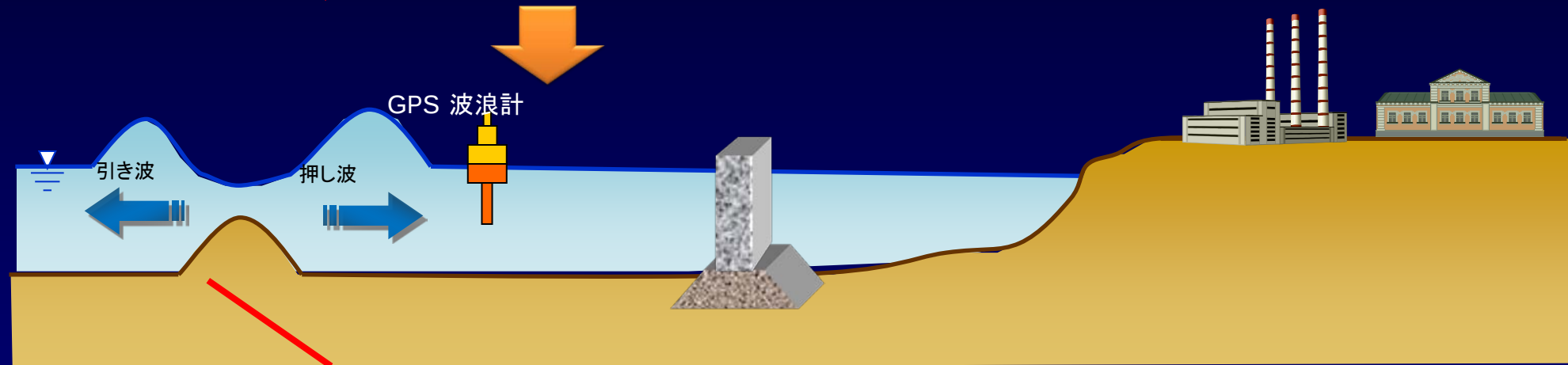
II. Numerical analysis (Tsunami)



(1) 海面上昇過程



(2) 津波伝播過程



(3) 防波堤決壊過程



津波解析モデル

影響因子

- Momentum Equation X-Direction

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \xi}{\partial x} + g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = F_x$$

- Momentum Equation Y-Direction

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - c_f u + g \frac{\partial \xi}{\partial y} + g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = F_y$$

- Continuity Equation

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0$$

コリオリ力を考慮した浅水流方程式

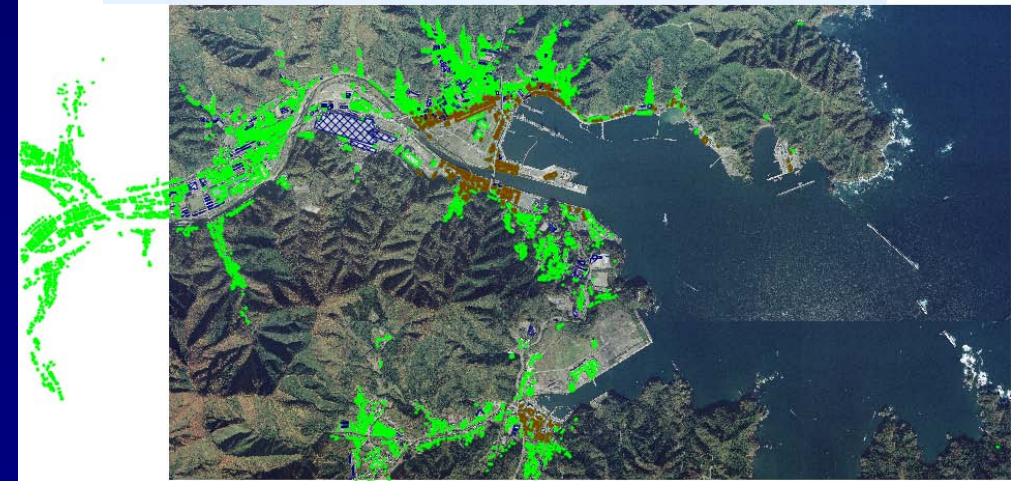
土地利用

河道

II. Numerical analysis (Tsunami)



- 倒壊せず津波が越波もない鉄筋高層構造物
- 倒壊しないが津波越波する低層構造物
- 倒壊した低層構造物



家屋は地震発生39分後及び44分後に倒壊するシナリオ。

実現象



地震発生26分後 (15:12):
津波第一波はケーソン目地から湾内に流入し始める。
この時点では防波堤天端からの越波はしていない。



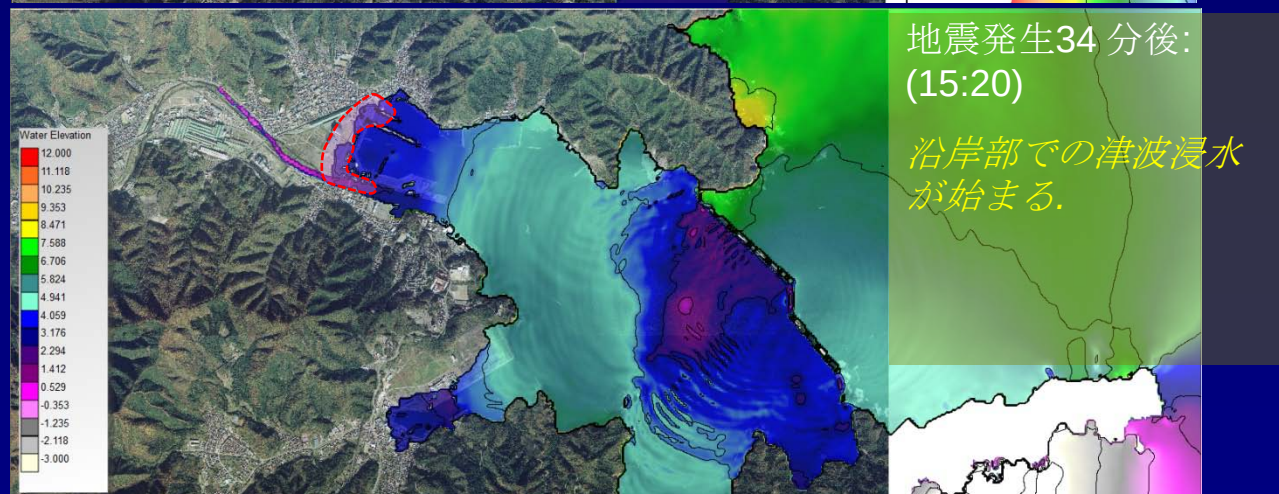
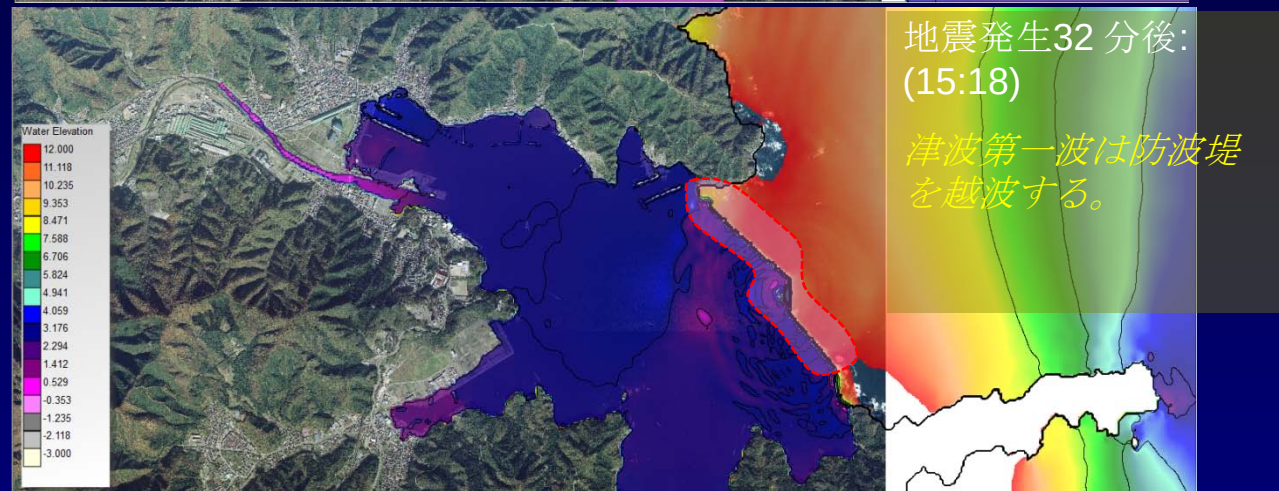
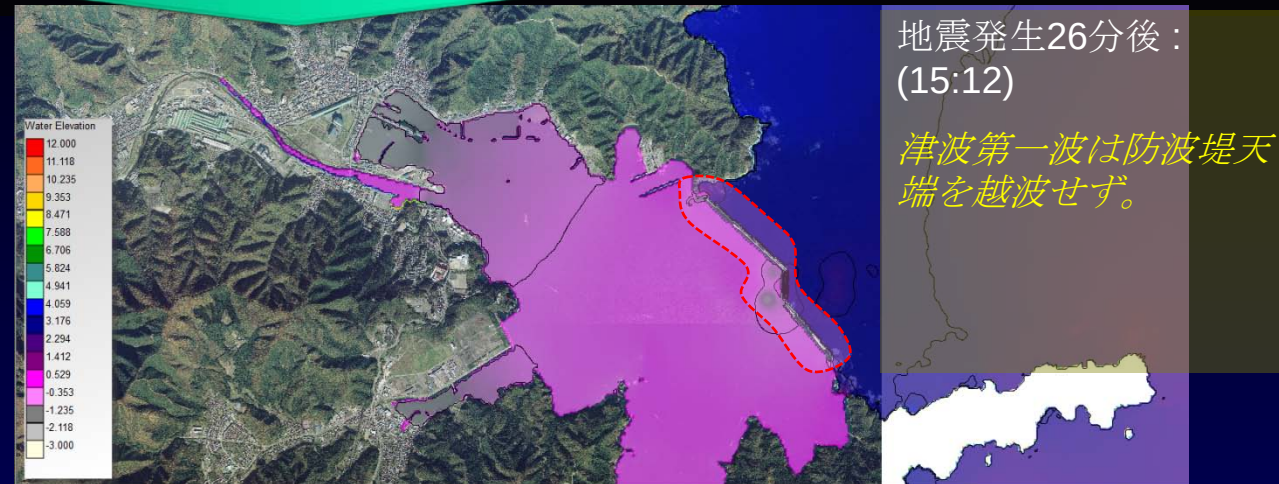
地震発生31分後 (15:17):
津波第一波は北堤を越波し始める。



地震発生34分後 (15:20):
津波第一波は防潮堤を越波する。

国土交通省東北地方建設局釜石港事務所撮影

解析結果



Breakwater Collapse

15:17:00

15:18:00

15:19:00

15:20:00

15:21:00

15:22:00

15:23:00

15:24:00

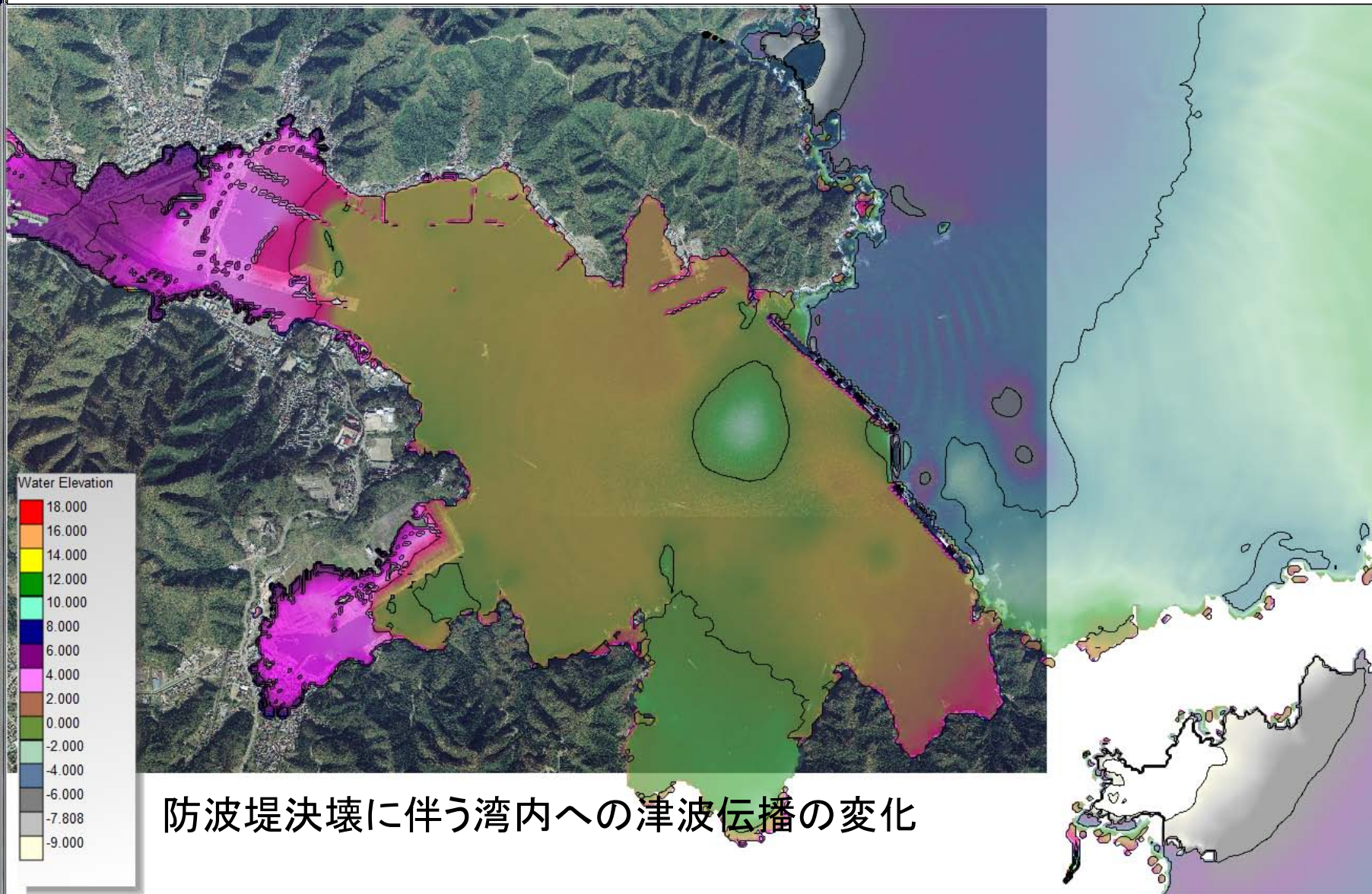
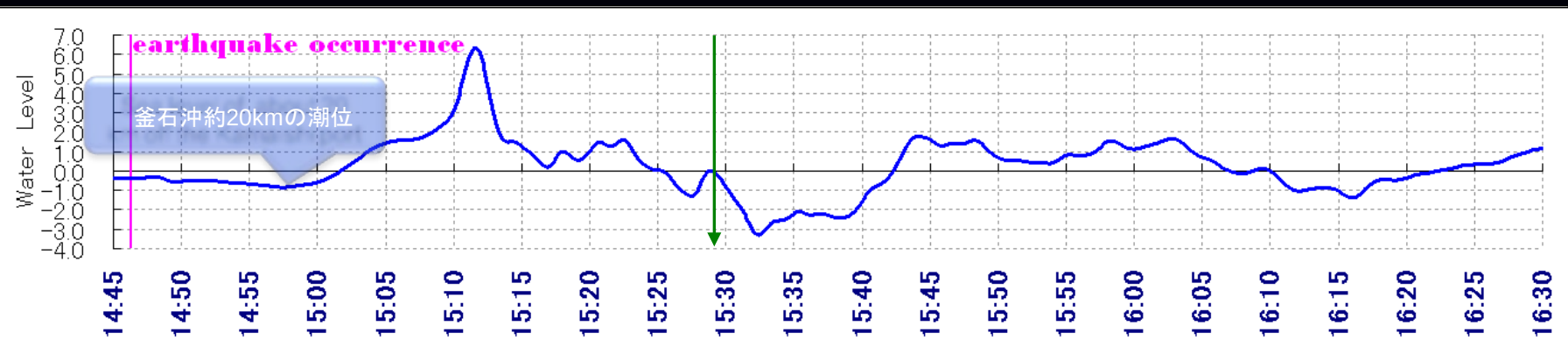
15:25:00

15:26:00

15:27:00

15:28:00

15:29:00



0:00:58:00

Breakwater Collapse

15:30:00

15:31:00

15:32:00

15:33:00

15:34:00

15:35:00

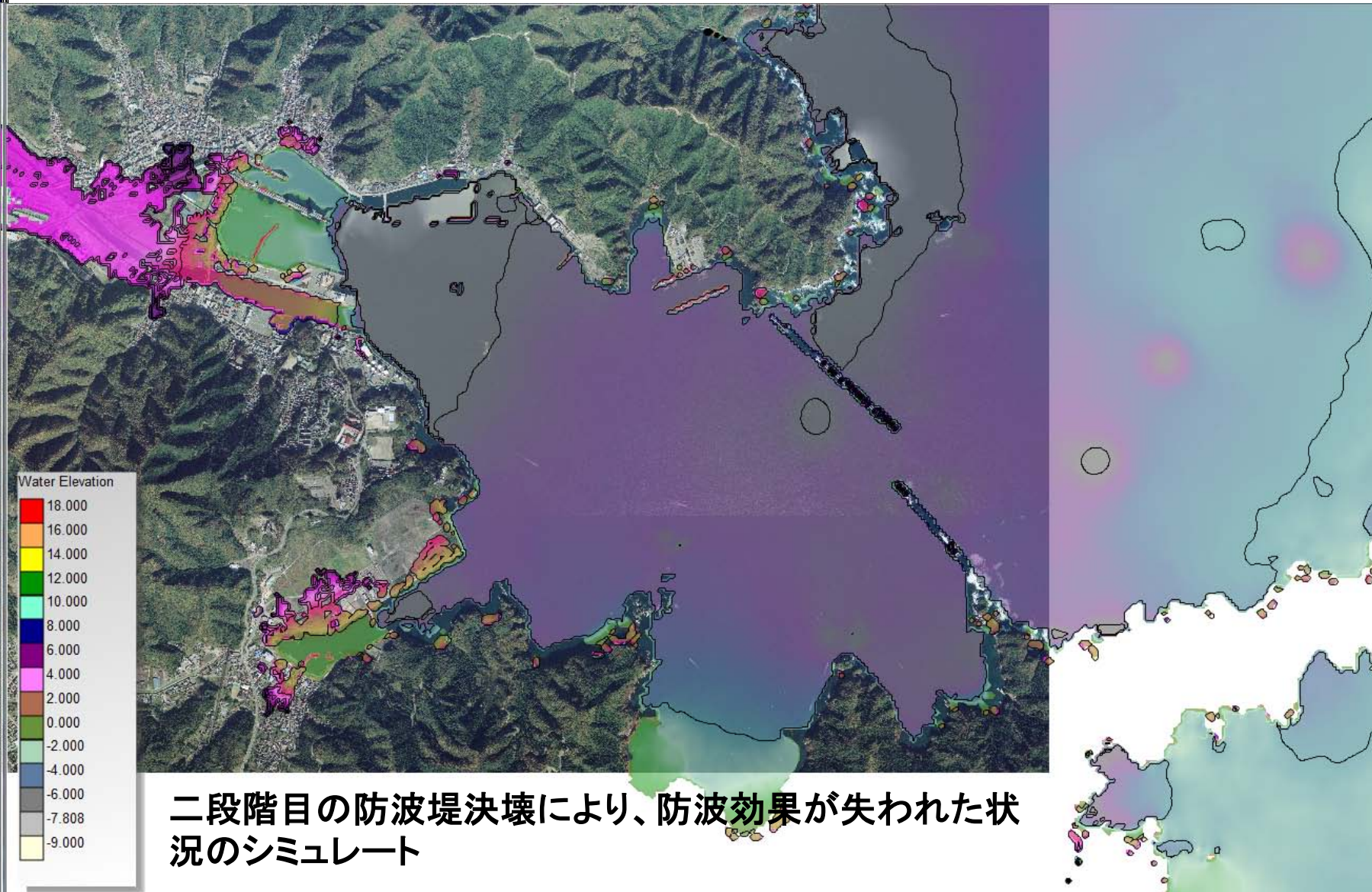
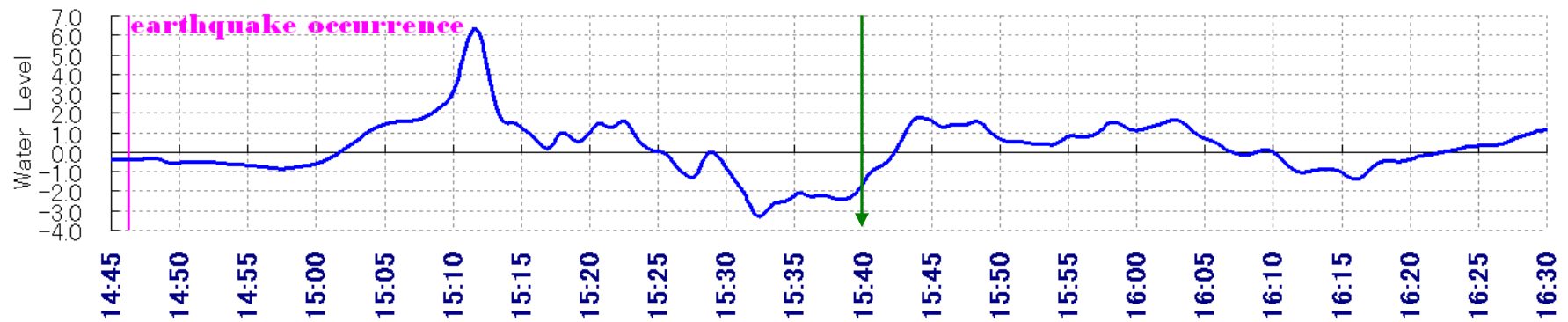
15:36:00

15:37:00

15:38:00

15:39:00

15:40:00



0:01:10:00

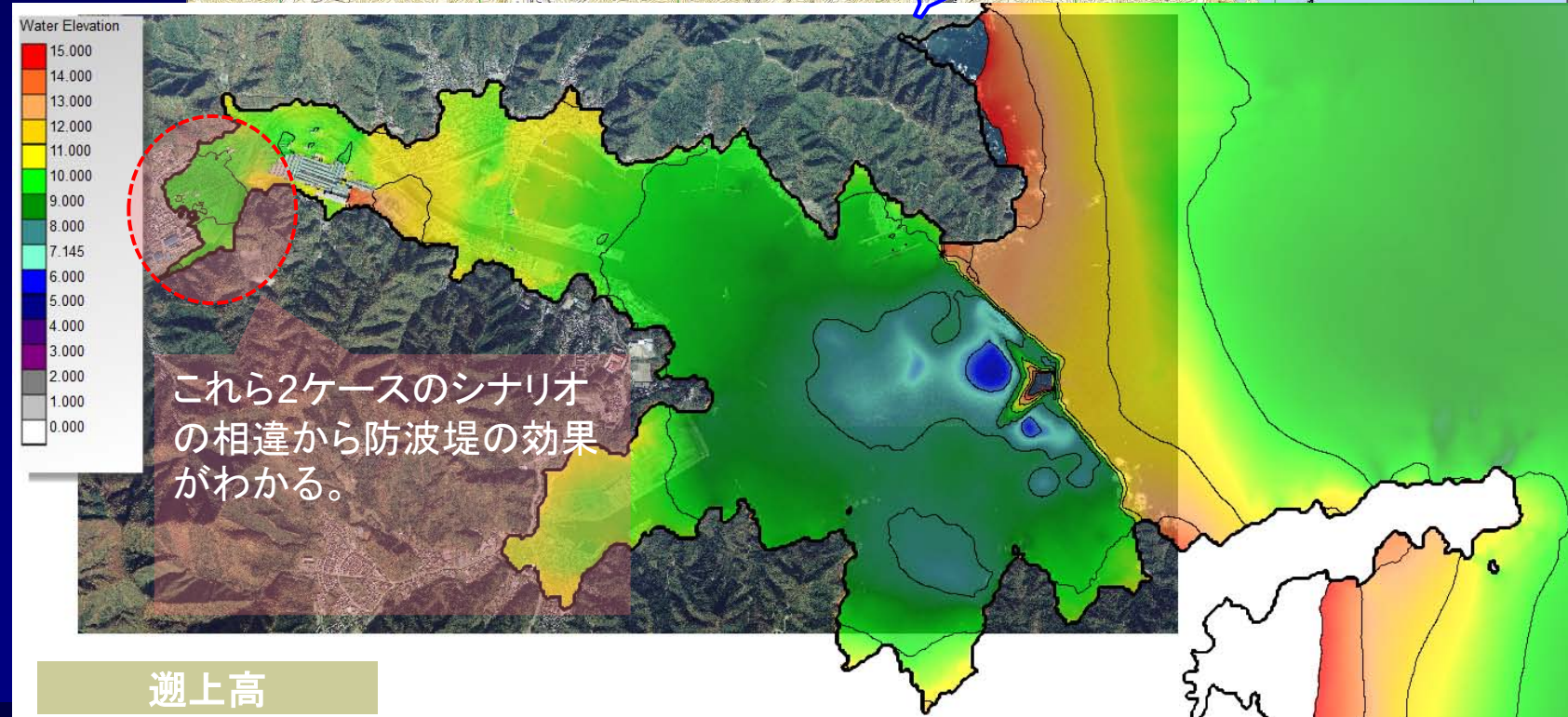
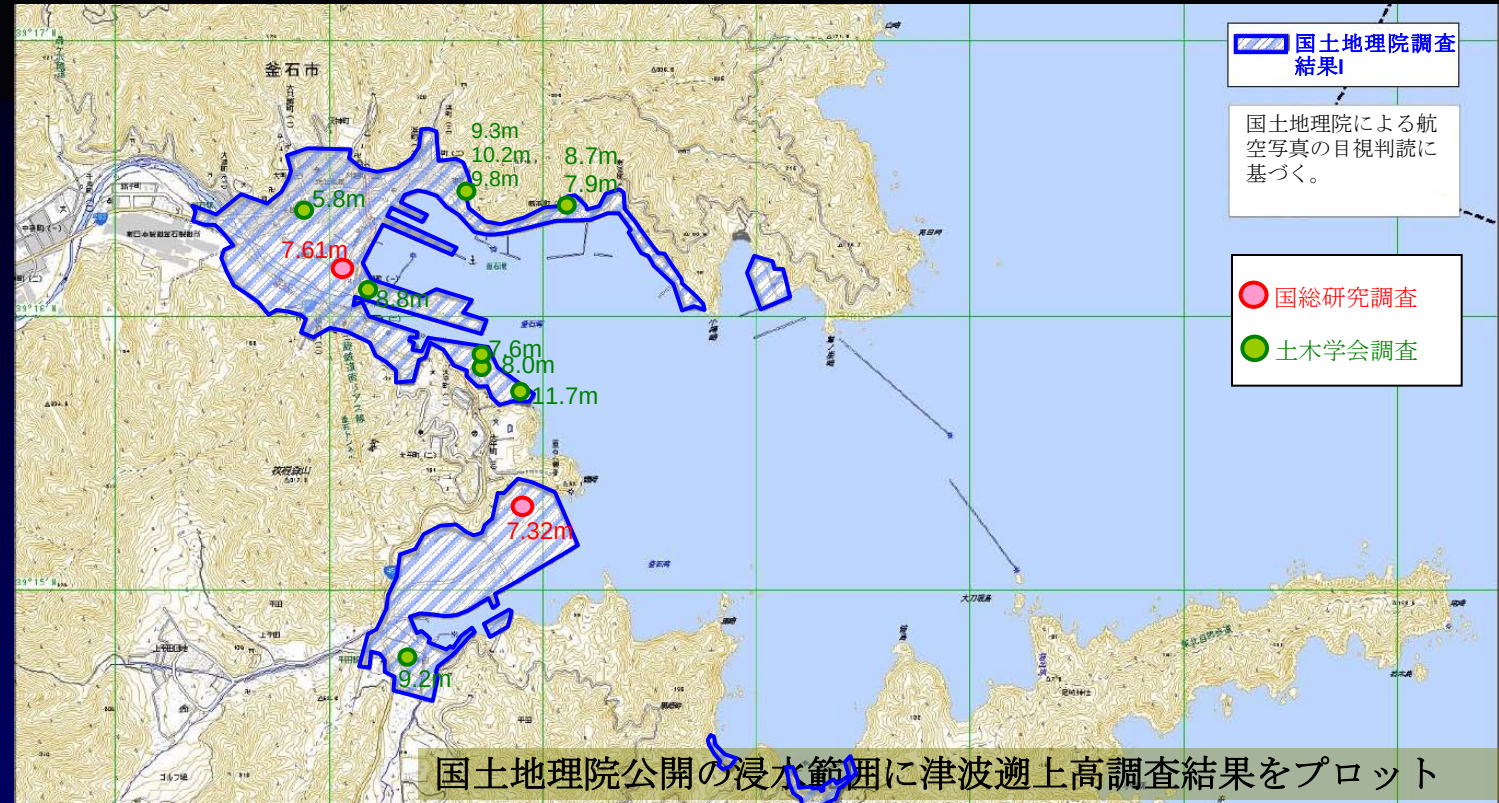
津波浸水範囲目視判読結果

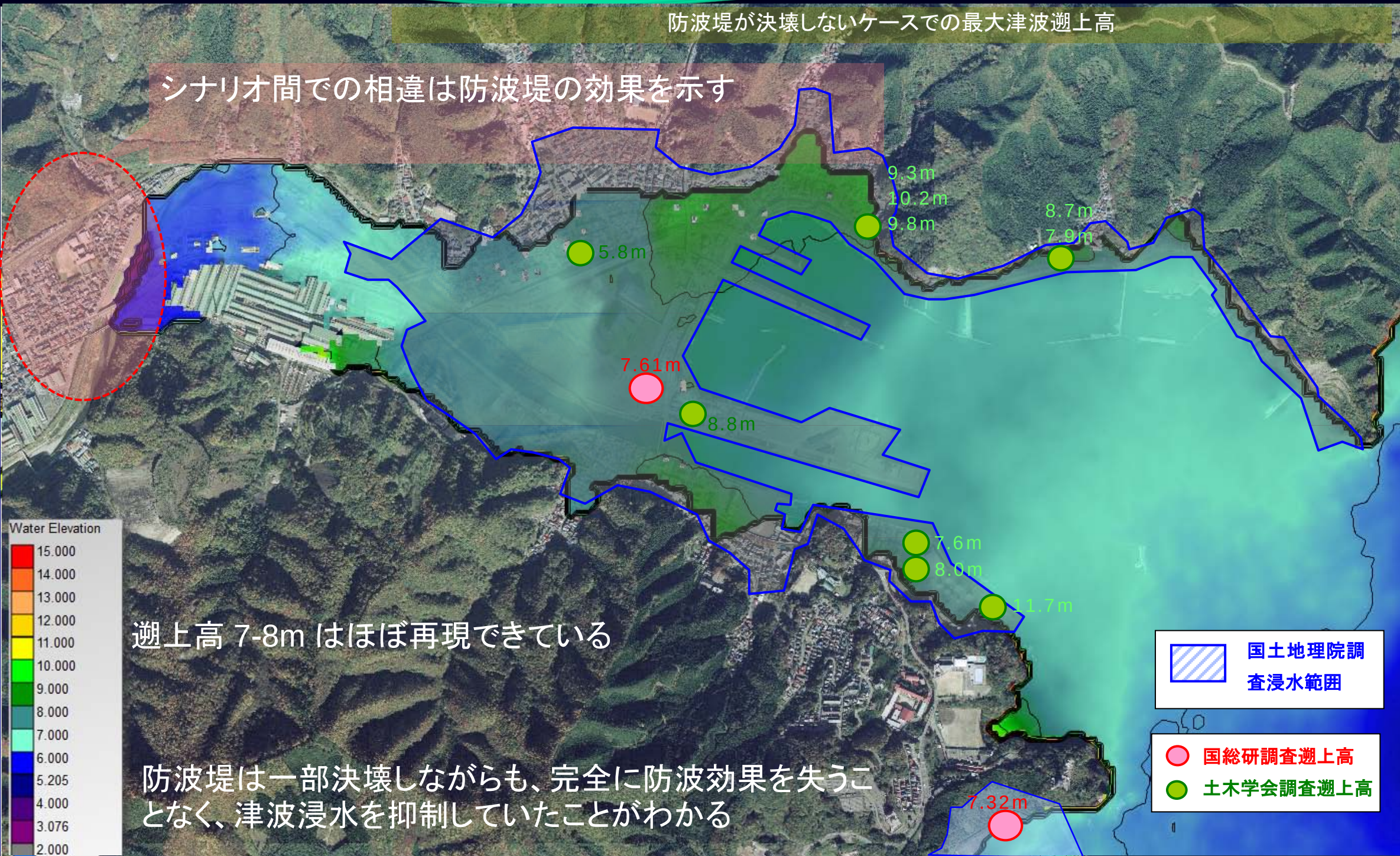
津波遡上高調査結果

津波解析結果

防波堤が決壊しないケー
ス

防波堤を完全に決壊さ
せたケース.







Inundation area

15:23:00

15:23:30

15:24:00

15:24:30

15:25:00

15:25:30

15:26:00

15:26:30

15:27:00

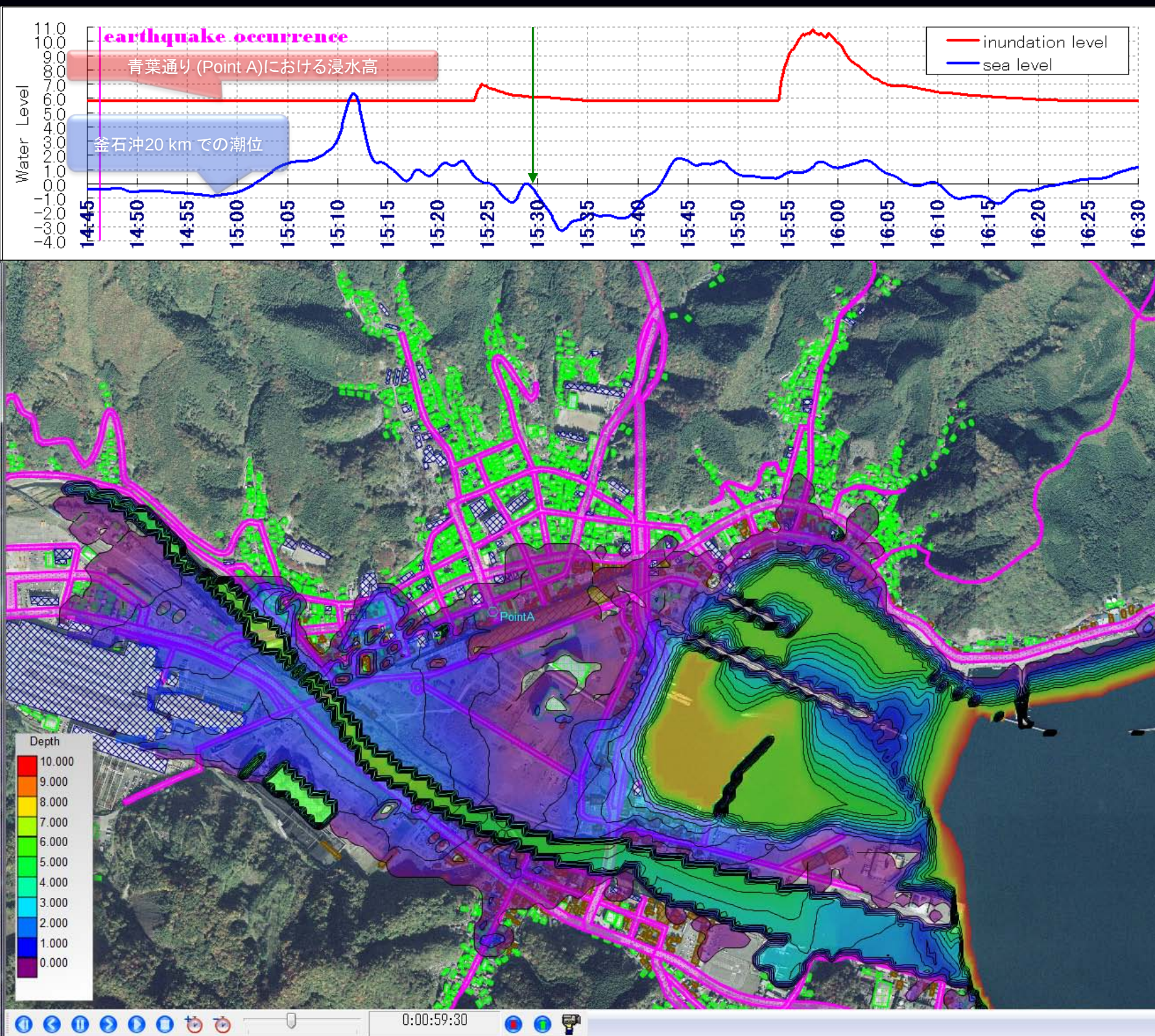
15:27:30

15:28:00

15:28:30

15:29:00

15:29:30



15:55:00

15:55:30

15:56:00

15:56:30

15:57:00

15:57:30

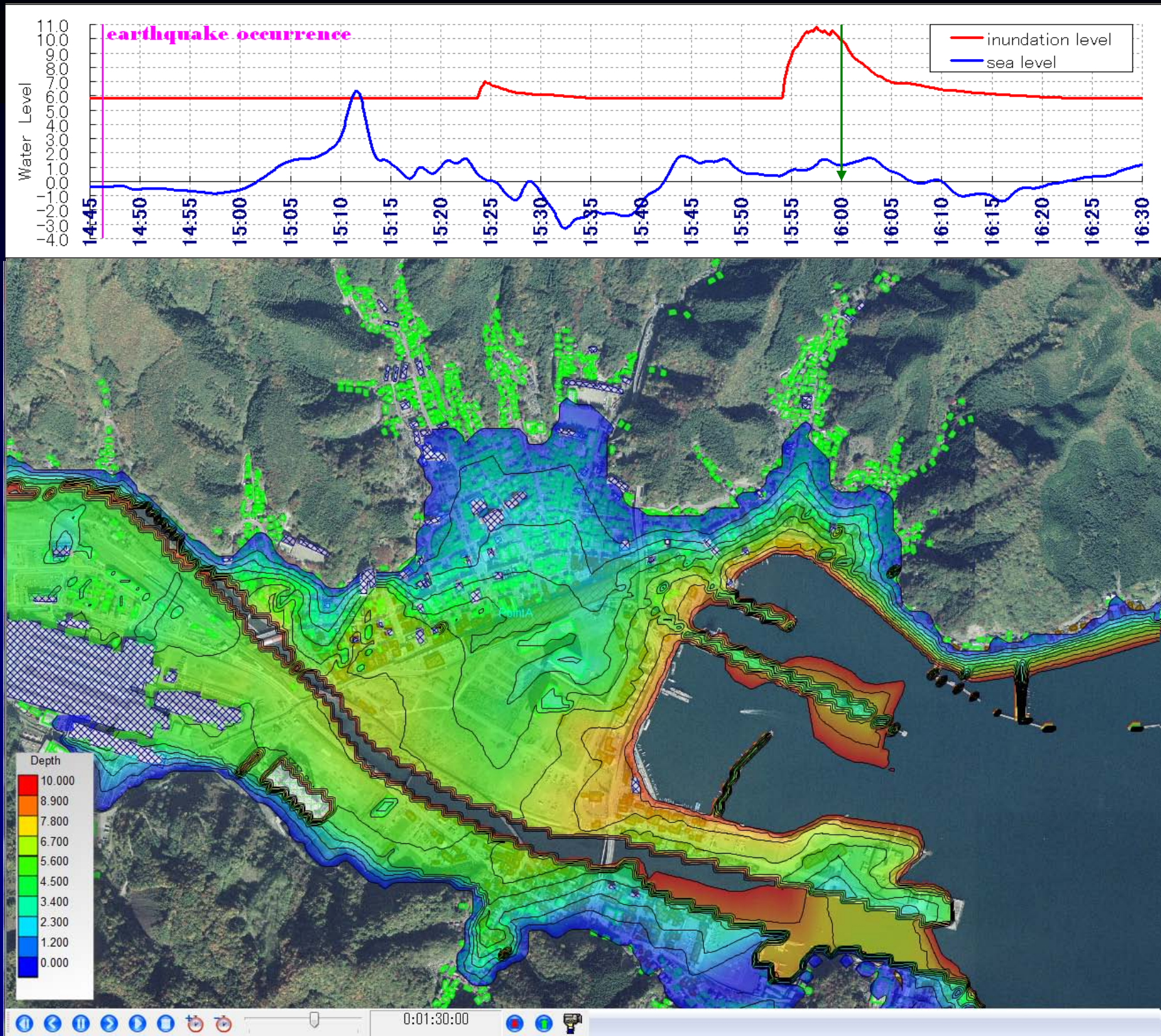
15:58:00

15:58:30

15:59:00

15:59:30

16:00:00



15:23:00

15:23:30

15:24:00

15:24:30

15:25:00

15:25:30

15:26:00

15:26:30

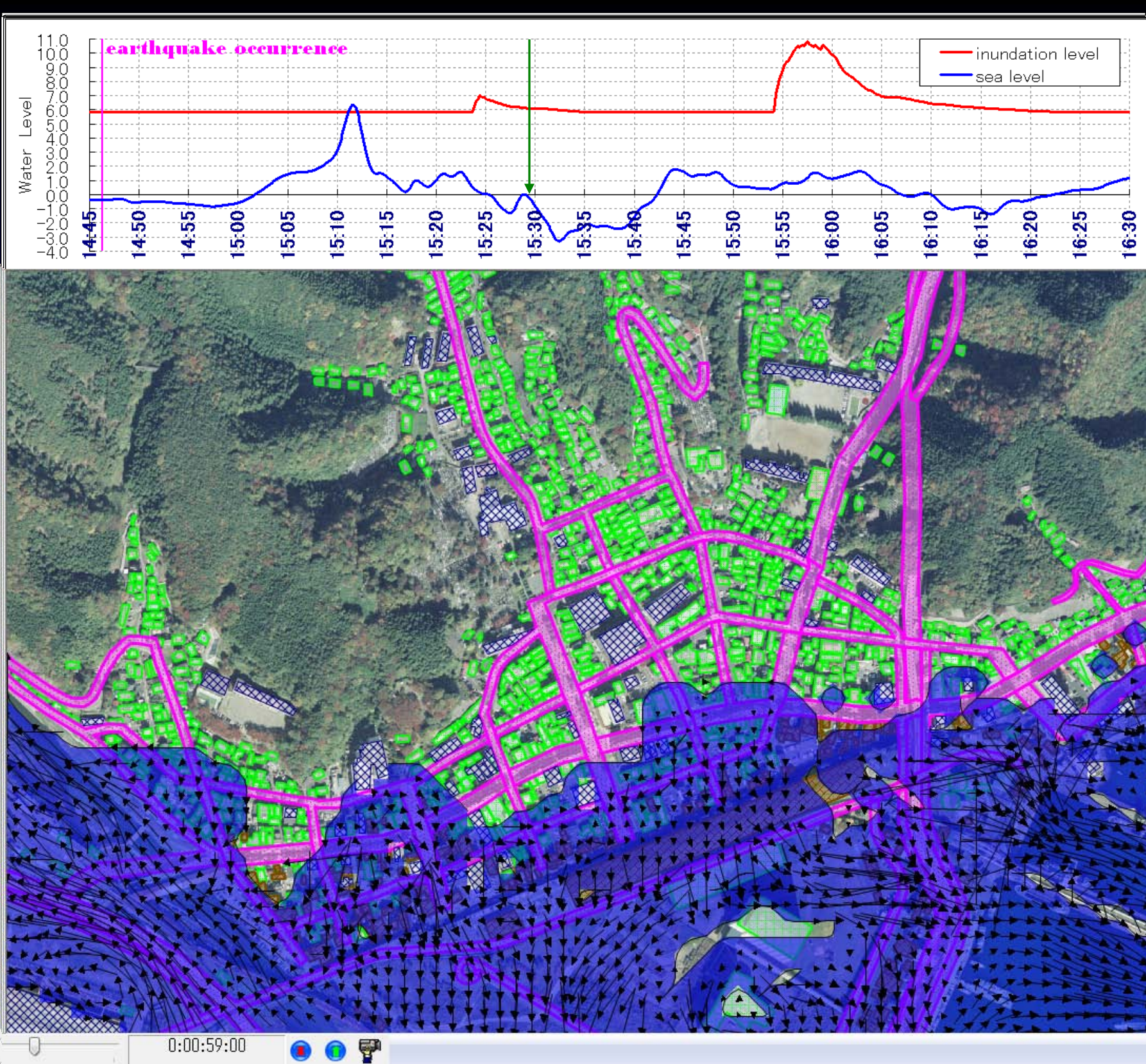
15:27:00

15:27:30

15:28:00

15:28:30

15:29:00



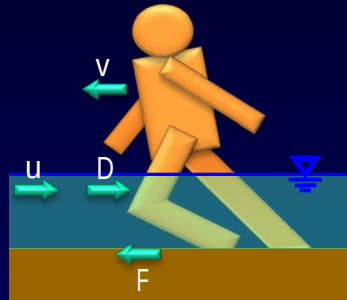
避難解析対象領域

死亡リスクの定義

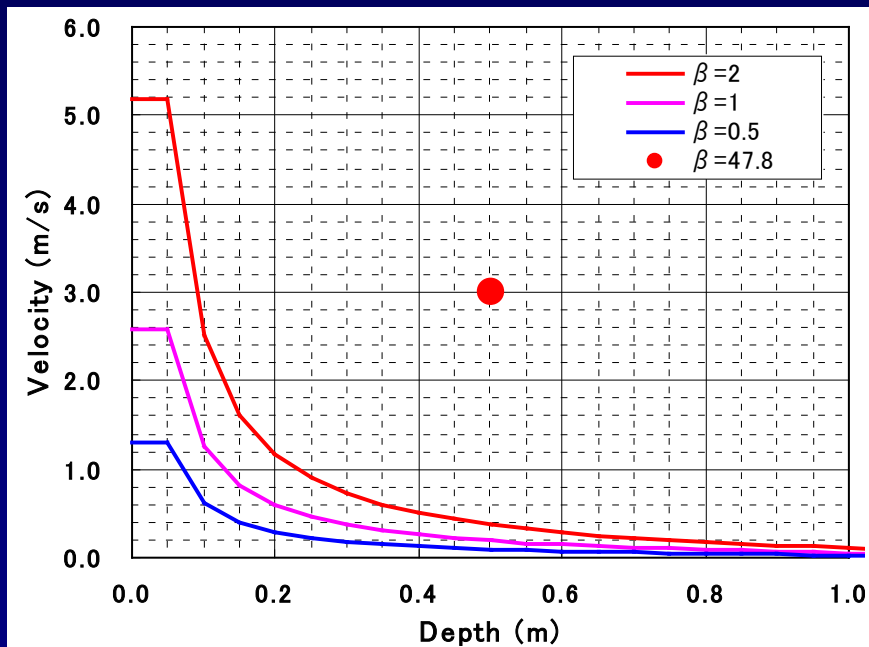
$$D = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot u^2 \cdot A$$

$$F = f \cdot (G_0 - W)$$

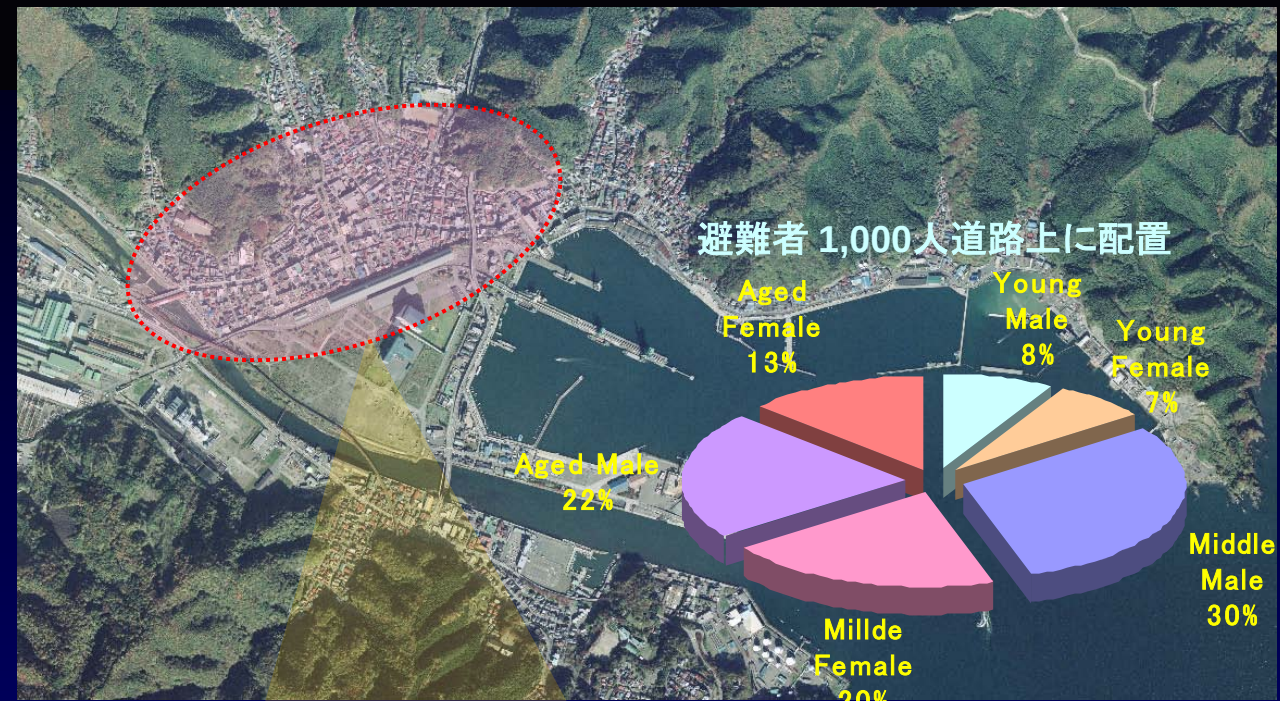
$$\beta \geq \frac{D}{F}$$



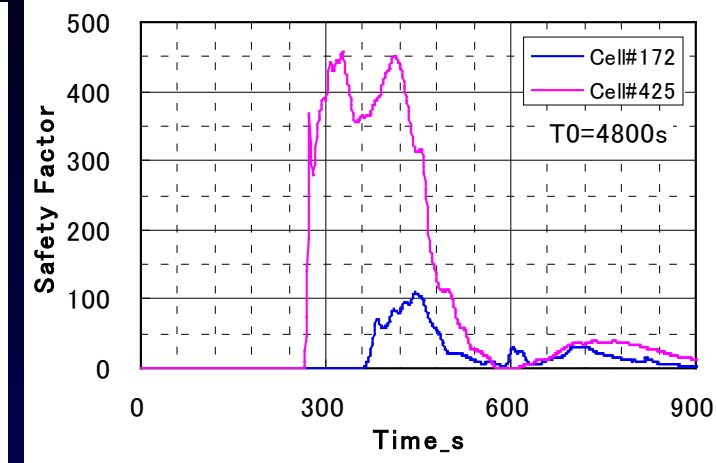
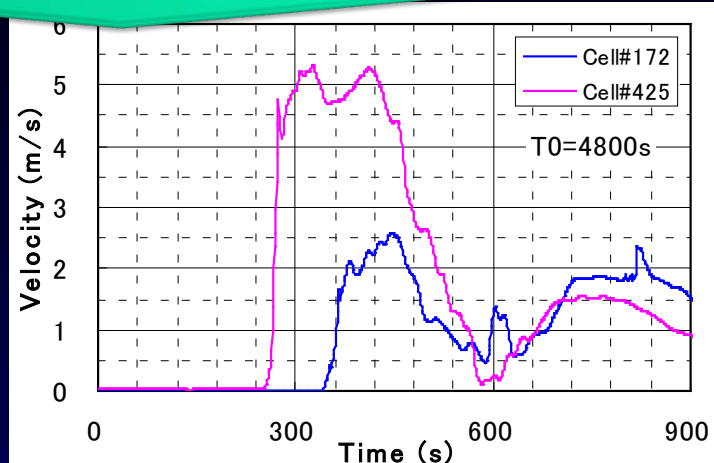
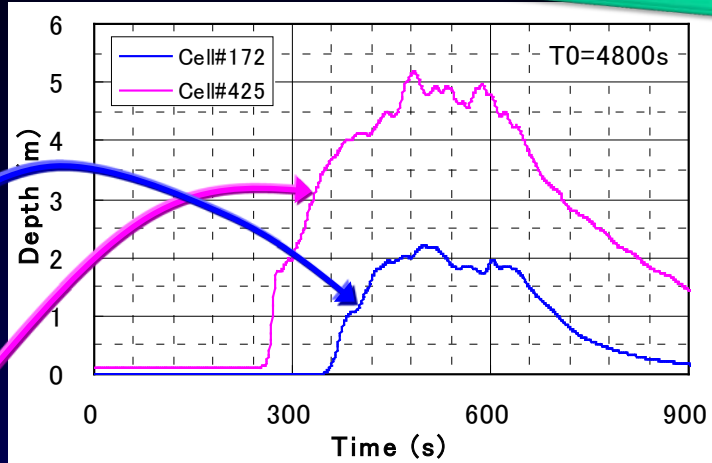
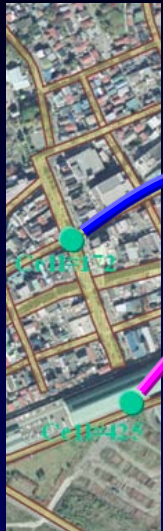
流れの抗力と摩擦抵抗との比を歩行に対する安全率として定義



歩行に対する安全性は、浸水高及び流速との双方により評価

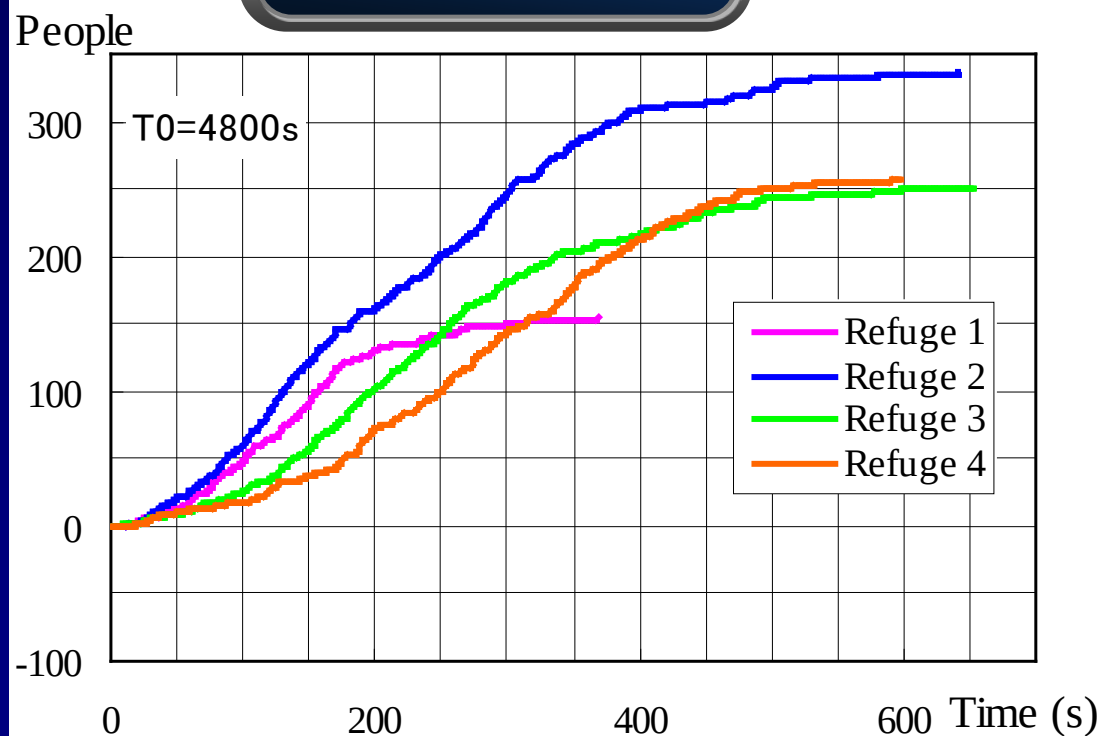


避難経路におけるハザード

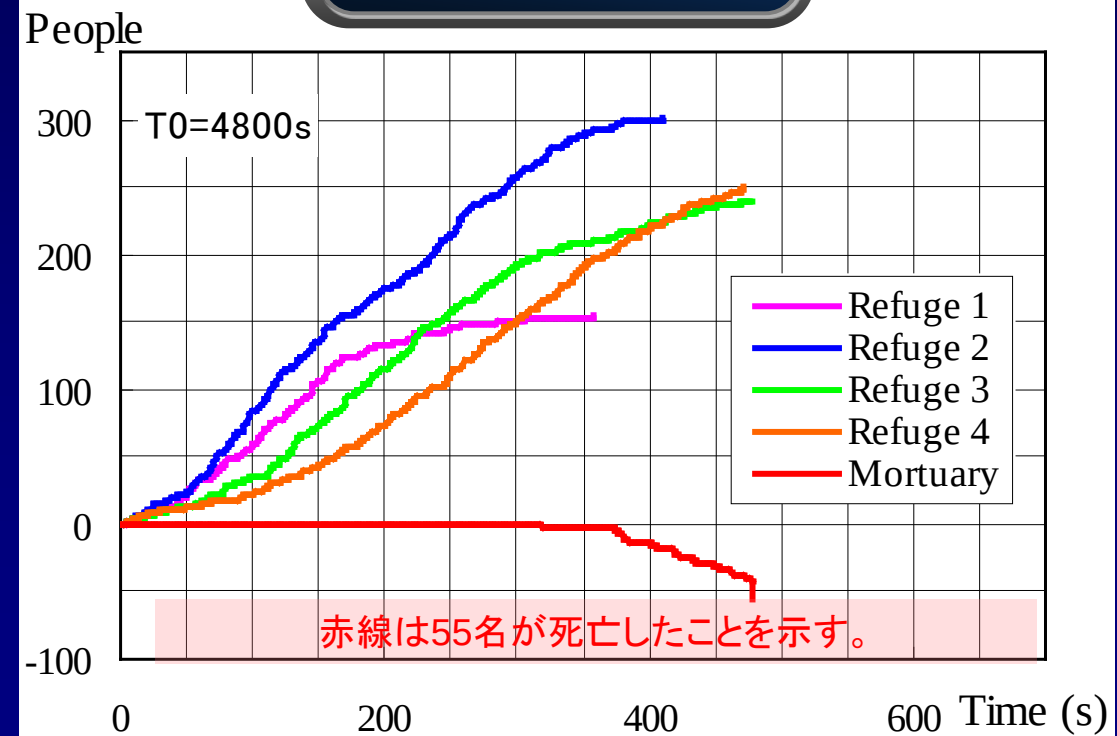


避難高台4地点ごとの避難曲線

ハザードの無いケース



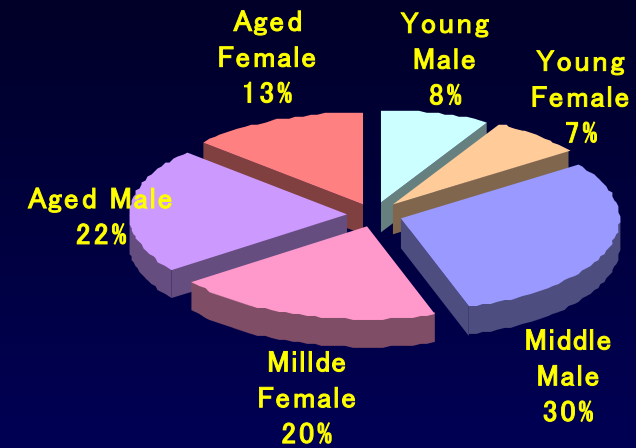
ハザードのあるケース



津波解析結果

Ⅱ. Numerical analysis (Evacuation)

道路上の避難者1,000名の内訳



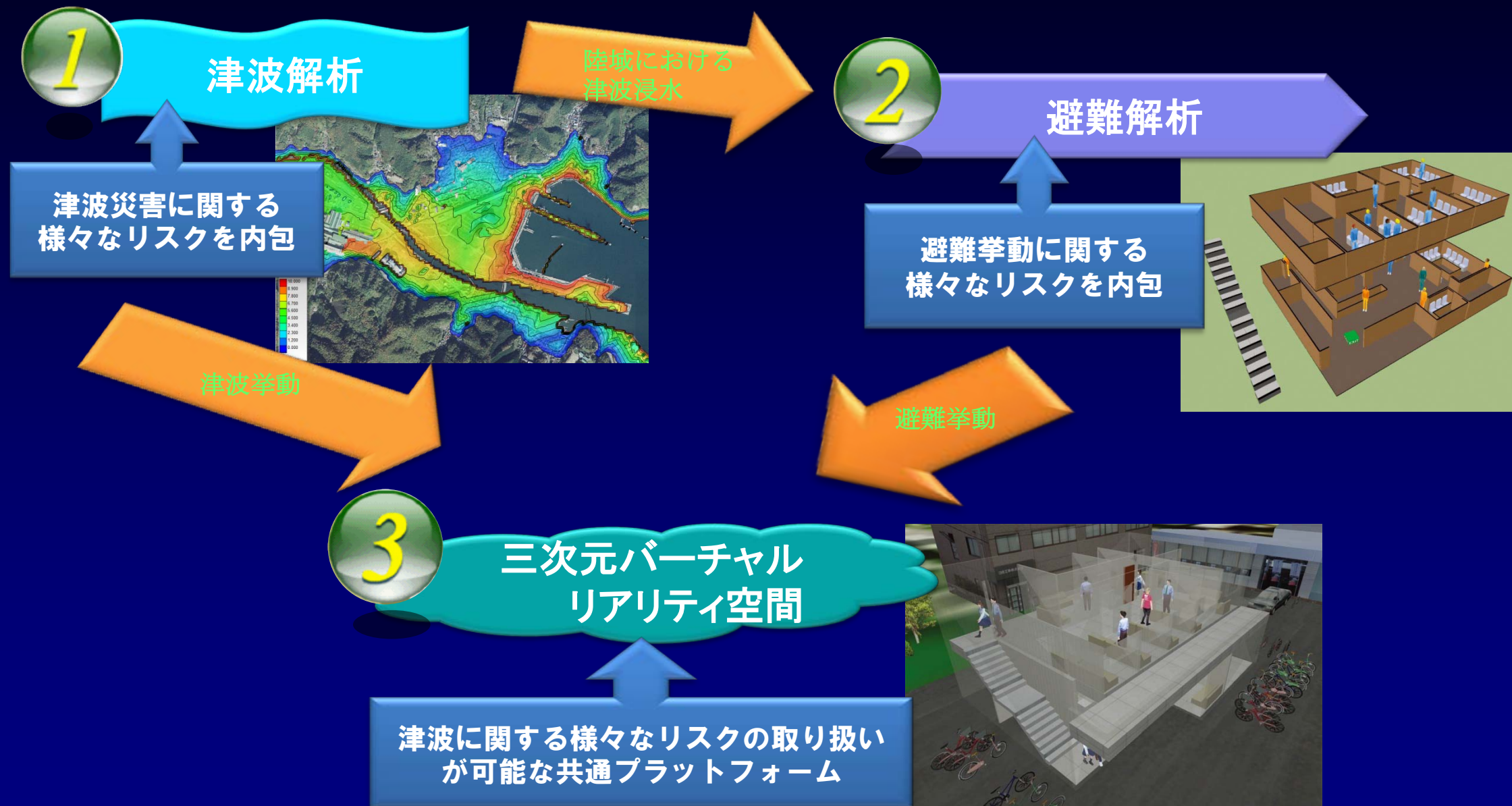
The people who was able to evacuate



The people who was dead

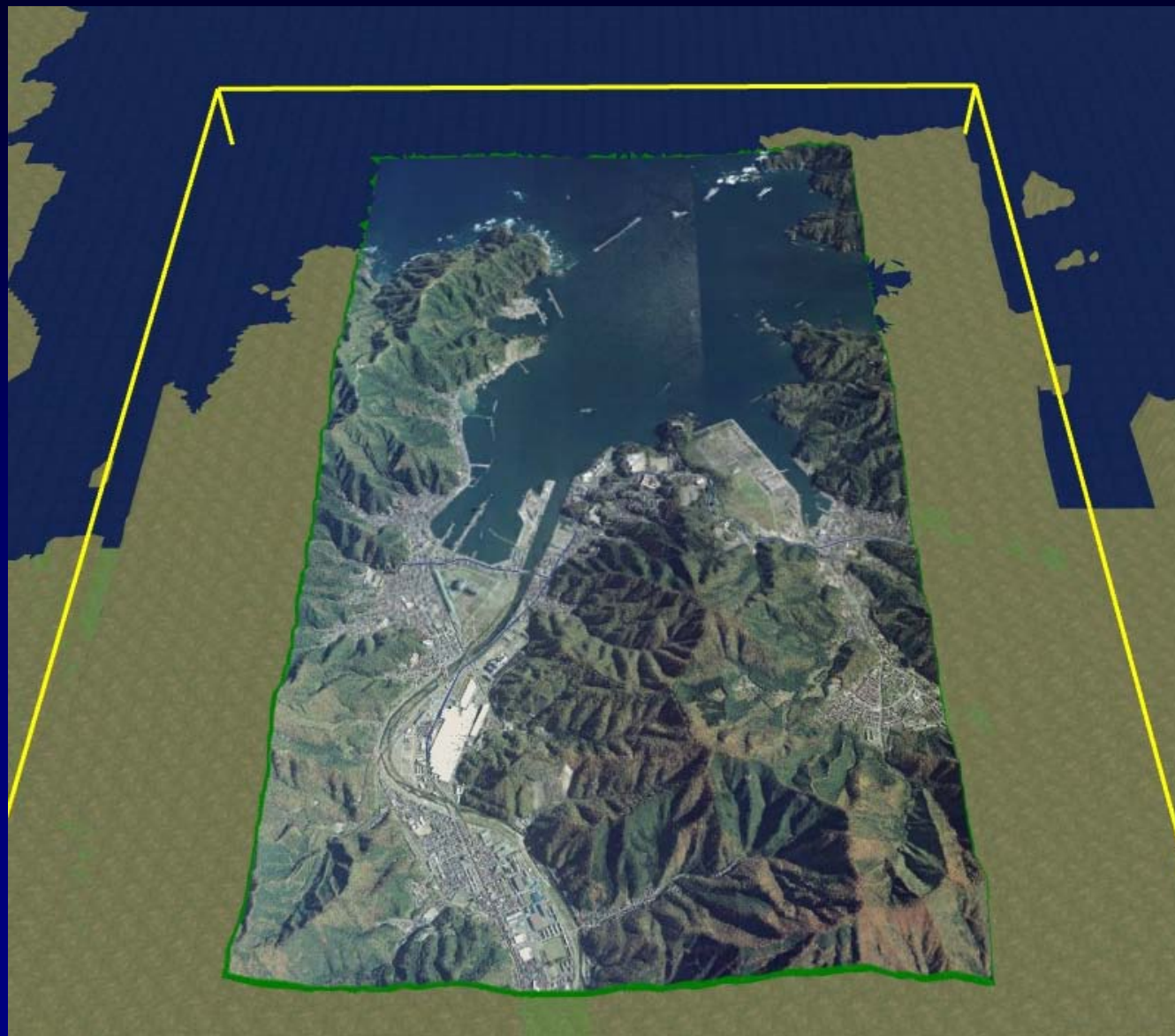
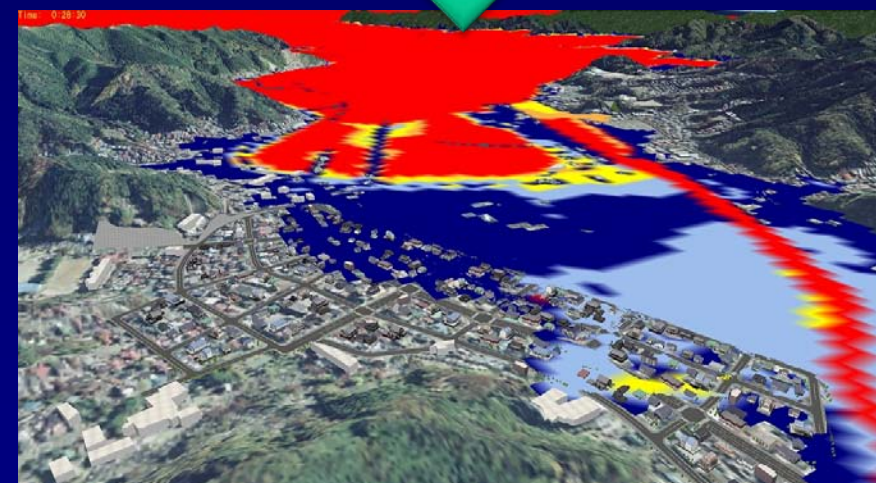


リスク認知モデルのコンセプト



津波解析結果及び解析結果となる津波をハザードとして解析した避難解析との双方を三次元バーチャルリアリティ空間で表現

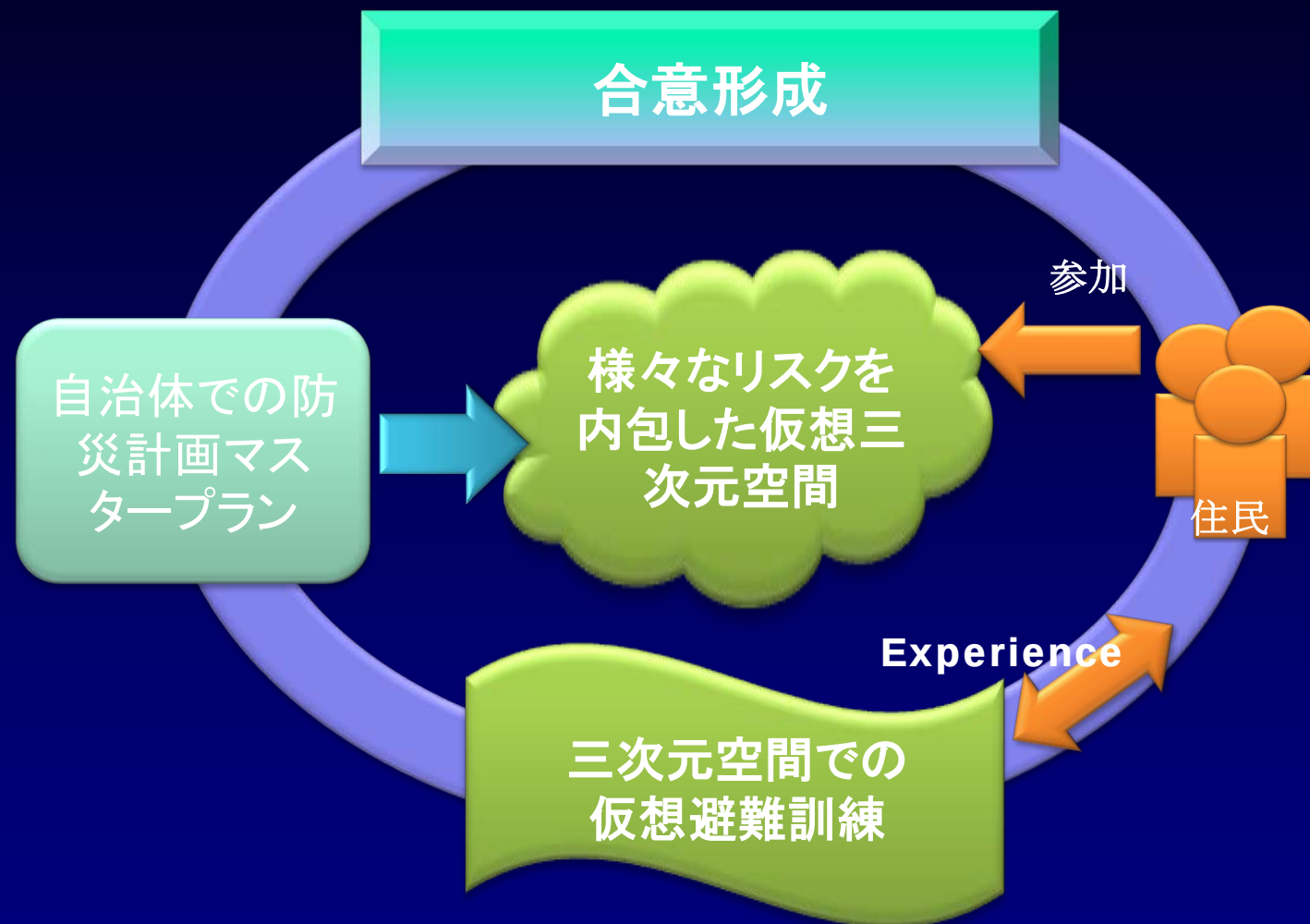
バーチャルリアリティでの可視化

解析結果の三次元空間
へのインポート

これら解析結果を内包した三次元空間では、津波及び住民の被災時の避難を再現しているため、被災時における物的被害や人的被害の要因分析が可能

リスクコミュニケーション手法

近年、公共事業全般にそのあり方の変換期を迎えており、その一つに住民参画が挙げられる。



行政と地域住民との合意形成に際しては、情報の質、量の向上が求められる。

このようなリスク認知及びリスクコミュニケーション手法により、地域に密着したより効果的な防災計画の立案が可能となる。

Ⅲ. Risk awareness & Risk communication

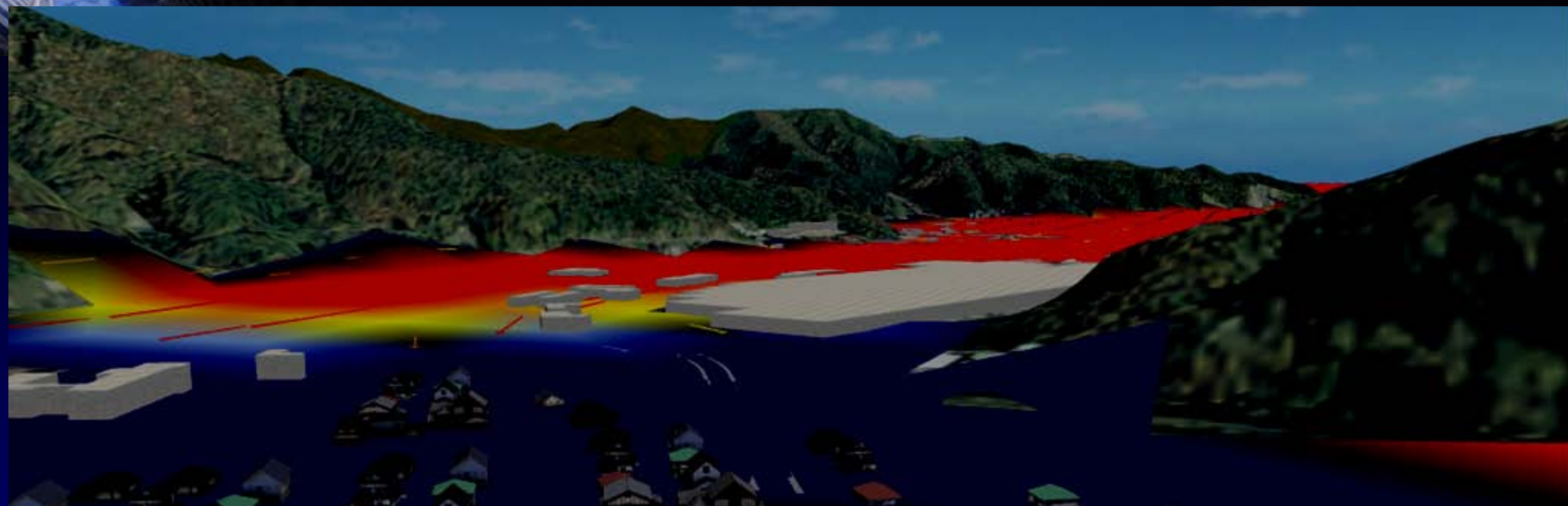


3月11日に発生した東日本大震災での津波による未曾有の被害は、日本国民に防災対策の在り方について、改めて考え直させる機会になった。

土木技術を結集した防波堤や港湾施設が津波により破壊されてった状況から、ハード対策のみでの防災というのは不可能であり、生命の確保には、地域住民の自助意識によるソフト対策が不可欠となる。

本論では、従来考慮していない因子を考慮した津波解析、津波解析と連携した避難解析、それらの可視化によるリスク認知手法の提案を行った。

今後、これらの新たな技術の運用が実用化され、減災に繋がることを期待したい。



ご清聴ありがとうございました。

