

東日本大震災津波解析

NTC コンサルタンツ(株)開発事業部

渡邊博・益永八尋・樋口克宏

1.目的

東日本大震災では、津波により甚大な被害を受けた。特に、多くの防潮堤が津波により損壊し、被害を拡大したが、現地の損壊状態を見ると、堤防内側が洗掘され堤体が不安定化し、さらに引き波の強いエネルギーが作用して倒壊したと見られる。亘理・山元地区では、防潮堤に沿って約 16km の道路が走っているが、ほぼ前線に渡って選掘削され、現在は水路の様相を呈している。一方、離岸堤の背後にある防潮堤や、波返しのある防潮堤の被害は比較的少なく、防潮堤の復旧にあたって、防潮堤に関わる水理特性を把握しておくことが重要である。



写真-1 防潮堤と洗掘された道路

津波による浸水被害を受けたところでも、防潮林や屋敷林、強固な建築物や盛土建造物（仙台東部道路等）が防浪の役割を果たしたところは被害が比較的軽微で済んでいる。また、皮肉ではあるが、多数の住宅が倒壊したところの背後地は、倒壊家屋が津波のエネルギーを吸収して被害を軽減している。今後の土地利用や、防災・減災施設の適正配置を検証するための水理解析の有効性について検討することとした。

- ・ 防潮堤 ; 津波が内陸に入るのを阻止
- ・ 防波堤 ; 海岸に押し寄せる波を低減
- ・ 水門陸閘 ; 河口等からの津波溯上阻止
- ・ 防潮林 ; 津波の勢い、溯上範囲の低減
- ・ 砂丘 ; 防潮堤、防潮林効果を補助
- ・ 二線堤 ; 津波の溯上を阻止
- ・ 河川堤防 ; 河川を溯上する津波の越流阻止
- ・ 防浪ビル ; 背後の津波軽減、避難所

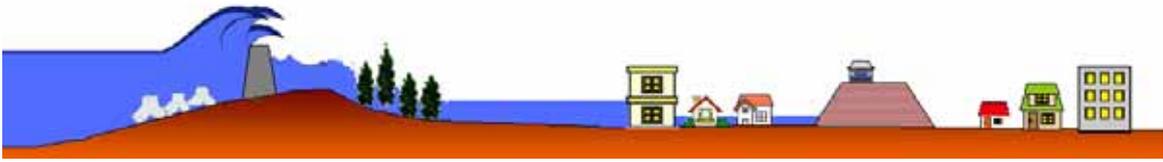


図 1 防浪効果のイメージ



写真-2 仙台東部道路（二線堤の機能を発揮）



写真-3 仙台市荒浜地区
防潮林帯を宅地化した区域は、ほとんどの家屋が流失

2. モデル

(1) 防潮堤の水理モデル

防潮堤地点の水理特性を把握するために、下図に示すよう、堤防前後 500m の縦断を取り、水平に 1090、鉛直に 47 のメッシュを設定した。本モデルは防潮堤の一般的な水理特性を概観するためのもので、現地をモデル化したものではないが、実際の離岸堤、砂丘、その他の構造物の配置、形状を自由に内挿することができる。

計算は水流の跳躍が再現できるように、3次元移動境界モデル（ σ -FLOW）を用いたが、計算を簡便にするために、モデル自体は二次元化している。本モデルを用いれば、必要に応じて三次元のモデルも対応可能である。

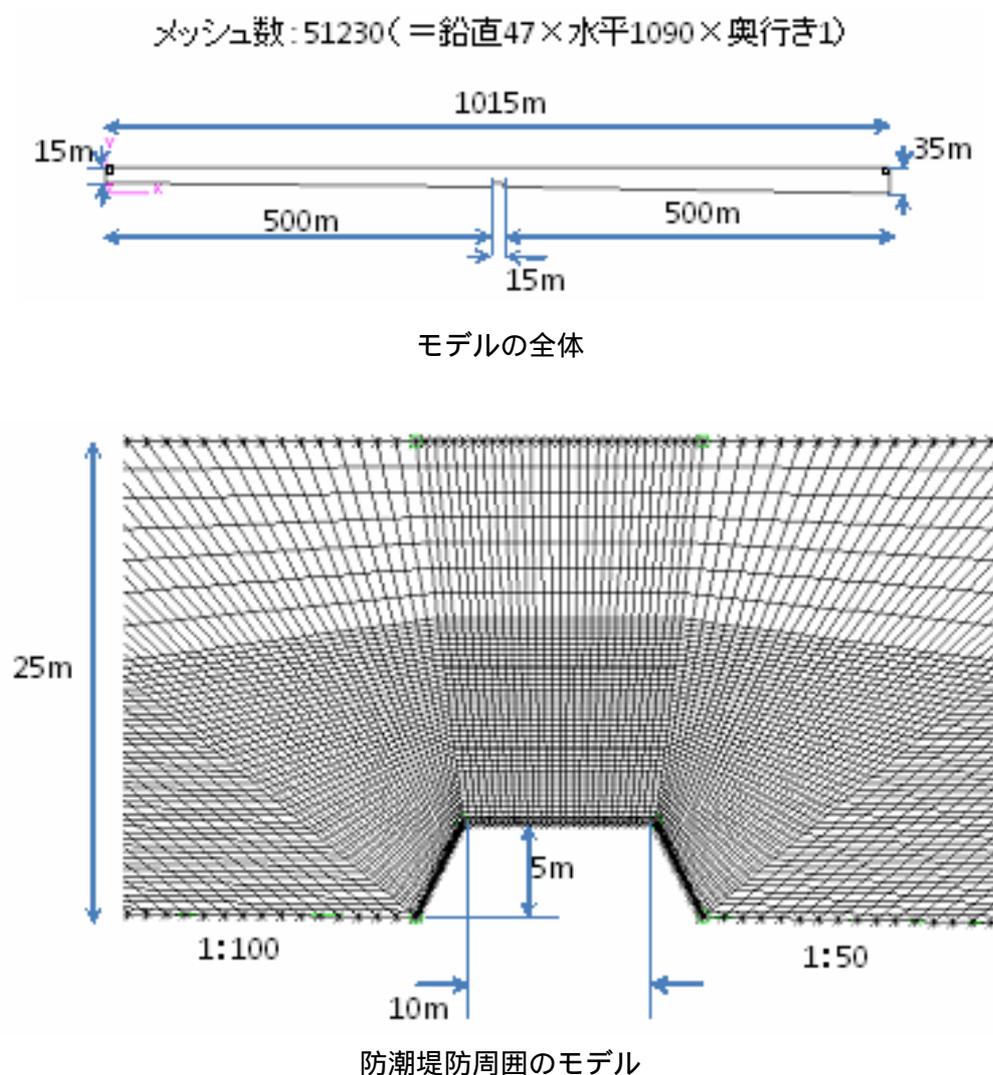


図-2 防潮堤の水理モデル

(2) 津波浸水解析

津波の浸水解析は、二次元平面不定流モデルを用いた。モデルの諸元は以下の通りである。

計算諸元

計算範囲：亶理・山元町 12km×18km(24万メッシュ)

地上標高：国土地理院 10mメッシュ

海底標高：日本海洋データセンター500mメッシュ

土地利用：国交省国土計画局 100mメッシュ (H18)

(3) 津波諸元

津波は国交省港湾局波浪データ(1分単位) 宮城県南部のデータを用いた。

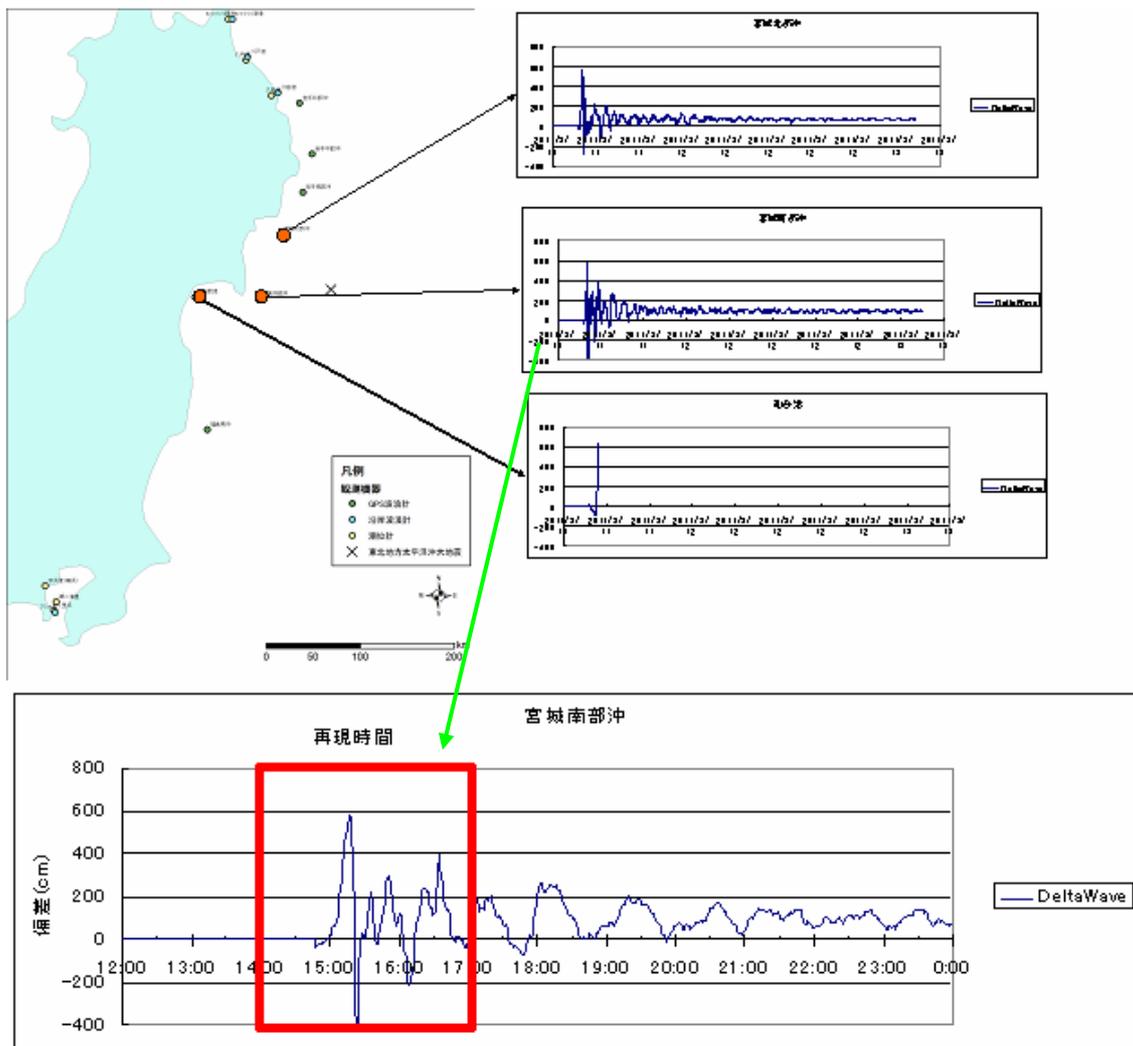


図-3 計算に用いた津波のデータ

3. 防潮堤地点の水理特性

水理解析の結果によると、押浪は防潮堤防を跳躍し、堤防裏側を洗掘するのに十分な勢いで叩きつけるように落下する。その後、堤防は津波に水没するが、このとき大きな浮力が働くので、洗掘によって支持力を弱めた堤防が浮力で不安定な状態になる可能性が高い。その後、内陸部に押し寄せた津波が引き波となって戻ってくるが、引き波は射流状態で高流速となって堤防に衝突するため、不安定になっている堤防の東海を促進すると考えられる。このような状態が数回にわたって繰り返されるため、多くの堤防が倒壊したものと考えられる。

今後は、被害が比較的少なかった離岸堤の効果や、浪返しの効果について検討を加える予定である。

産経新聞 011年6月12日(日)

東日本大震災の巨大津波で沿岸の堤防が壊滅的な被害を受けたのは、強い水流で土台がえぐられる「洗掘(せんくつ)」と呼ばれる現象や「引き波」による強い打撃力など、複合的な要因が影響したことが専門家の現地調査で分かった。堤防の多くが津波を食い止められなかったことが被害の甚大化につながっており、巨大津波の破壊力の実態が明らかになった。

大震災による津波は検潮所で9・3メートル以上(福島県相馬市)、斜面を駆け上がる遡上(そじょう)高で最大40・5メートル(岩手県宮古市)にも達した。沖合の防波堤や海岸の防潮堤は明治三陸地震(明治29年)やチリ地震(昭和35年)の津波被害を教訓に築かれたが、波が堤防を越える想定外の事態に見舞われ、多くが破壊された。

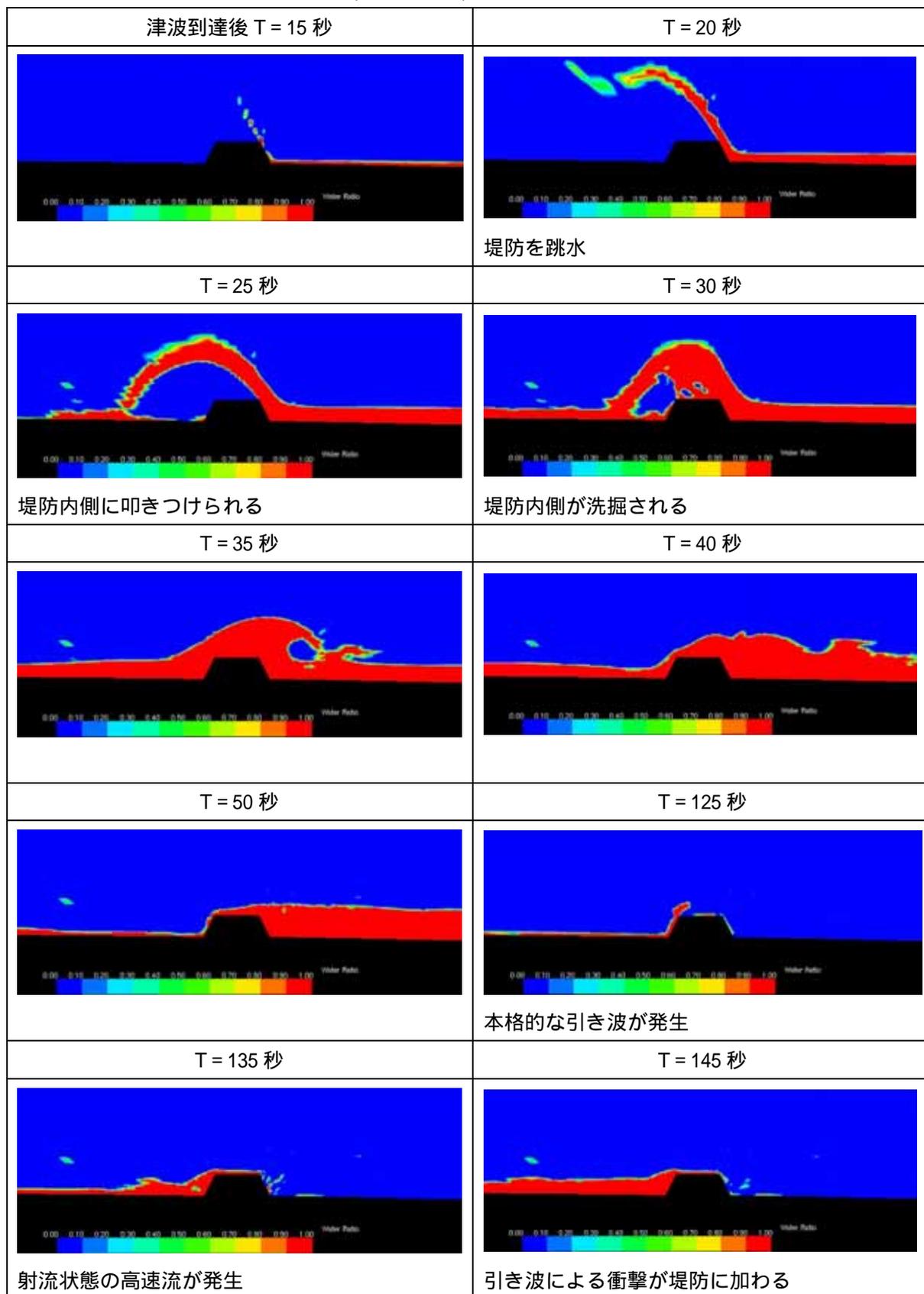
高知大総合研究センター防災部門の原忠(ただし)准教授(地盤工学)によると、被害が目立ったのは堤防を乗り越えた波が壁の背後に回り込み、基礎部分をえぐる「洗掘」という現象だ。

原准教授は「壁を越えた津波は、巨大な水の塊となって加速しながら裏側に落下し、ものすごい勢いで海底や地面にぶつかり、土や石を洗うようにえぐり取った」と説明する。

堤防は洗掘で陸側の土台がえぐられて支えを失ったうえ、水没したことで浮力が働き不安定になった。さらに津波で海面が上昇したことで、堤防の上部が海側から押され、「てこの原理」で力が強まり、容易に転倒したとみている。

内陸へ押し寄せる「押し波」は、やがて海側へ引いていく「引き波」となる。東京大地震研究所の都司嘉宣(つじよしのぶ)准教授(津波工学)は、引き波による被害も大きかったと指摘する。

図-4 防潮堤周りの津波の挙動解析 (堤防 H=5m)

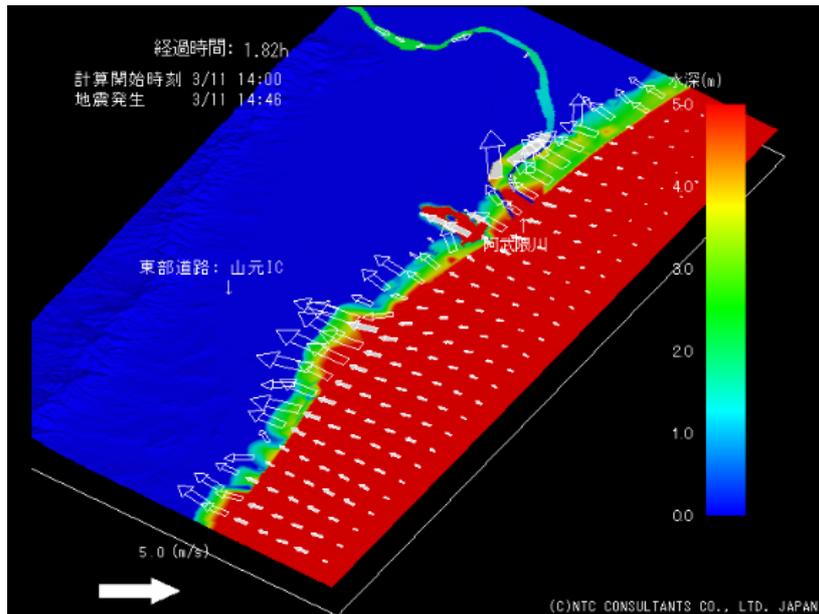


4. 浸水解析結果

(1) 引き波のエネルギー

下図は押し波と引き波の流速ベクトルを表したものであるが、引き波のほうが流速が早く、津波の被害は押し浪だけでなく、引き波による被害は甚大であったと考えられる。押し波と引き波いずれのエネルギーが大きいかは地震の状態によって変わるので一概には言えないが、今回の東日本大震災では引き波が非常に大きいものであったという体験証言が少なく無く、解析結果はこれと一致した結果が得られたものと考えられる。

津波到達時



引き波時

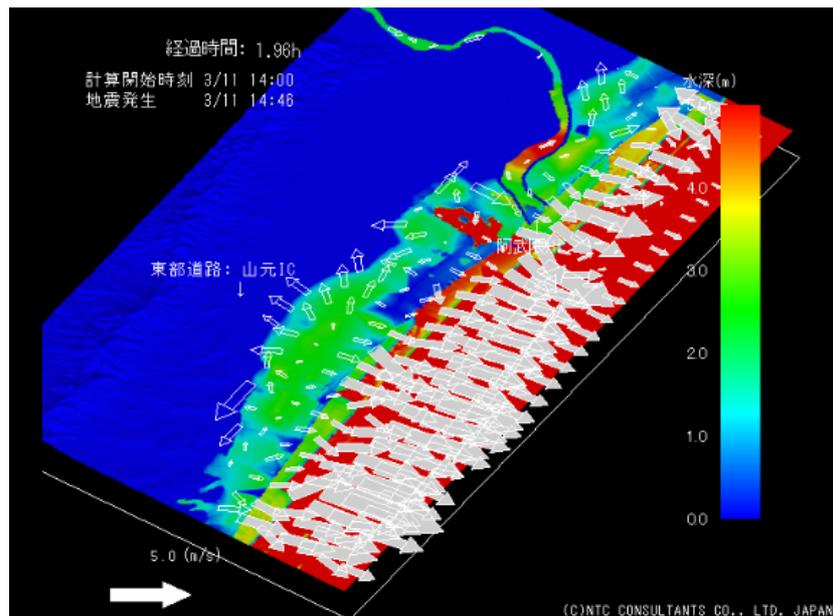


図-5 津波の流速ベクトル

(2)津波の浸水

津波の浸水解析結果は図-7、図-8に示すとおりである。モデルの適合性は、衛星写真から推定された浸水域（アジア航測）によって行った。なお、より精度を上げるためには浸水深による検証も必要であるが、現時点ではデータが不足しており、水深による検証は行っていない。今後、滋養要請を高めるために、現地での浸水痕跡調査などによりチェックを行っていく必要がある。

解析では、仙台東部道路・常磐自動車道が二線堤の機能を発揮し、道路を挟んで浸水深が小さくなっていること、流速が減速していることが結果として得られた。仙台東部道路・常磐自動車道は、ほとんどの区間が7-8mの盛土タイプで造成されており、道路の内陸部側には交差する道路や水路用の開口部（カルバート）からだけ津波が溯上するしかないので、津波のエネルギーは、本道路によって相当減殺されている。

また、防潮堤防が7mの高さに補強され、かつ破壊されず機能を100%確保すると仮定した場合、下図に示すように浸水域は半減する。

このように、津波の解析モデルを用い、防災施設の効果的な配置、形式、規模の検討に供することが可能であると考えられる。

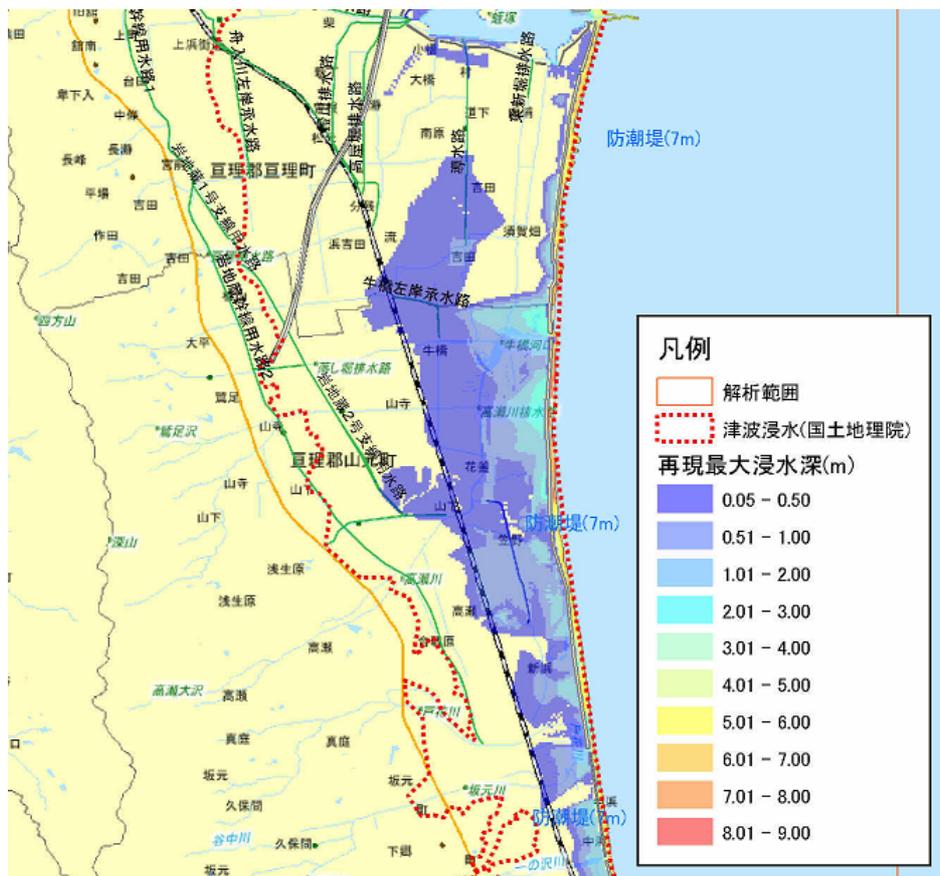


図-6 防潮堤 H=7m としたときの浸水範囲

図-7 巨理・山元町の津波再現-1 (堤防 H=5m)

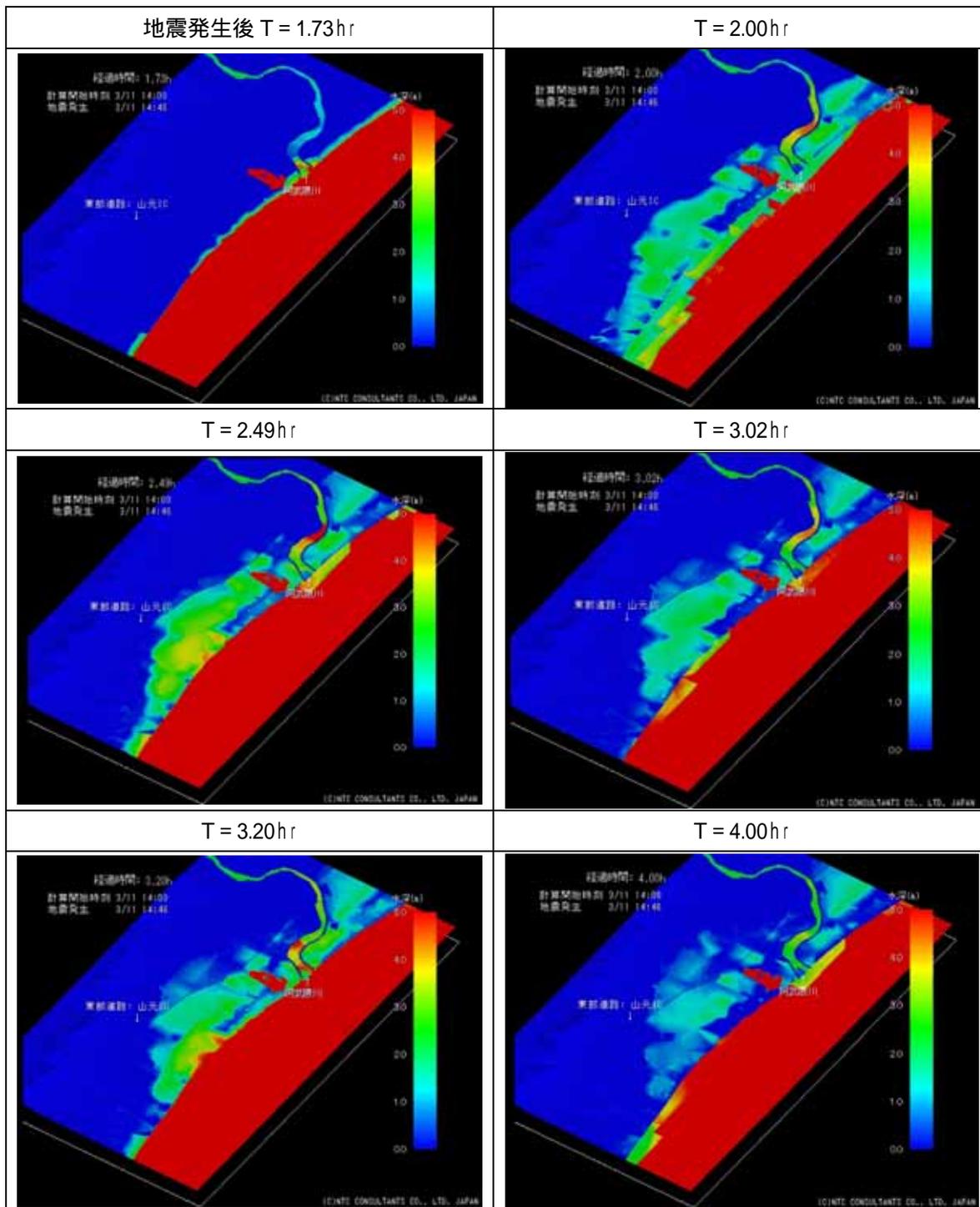
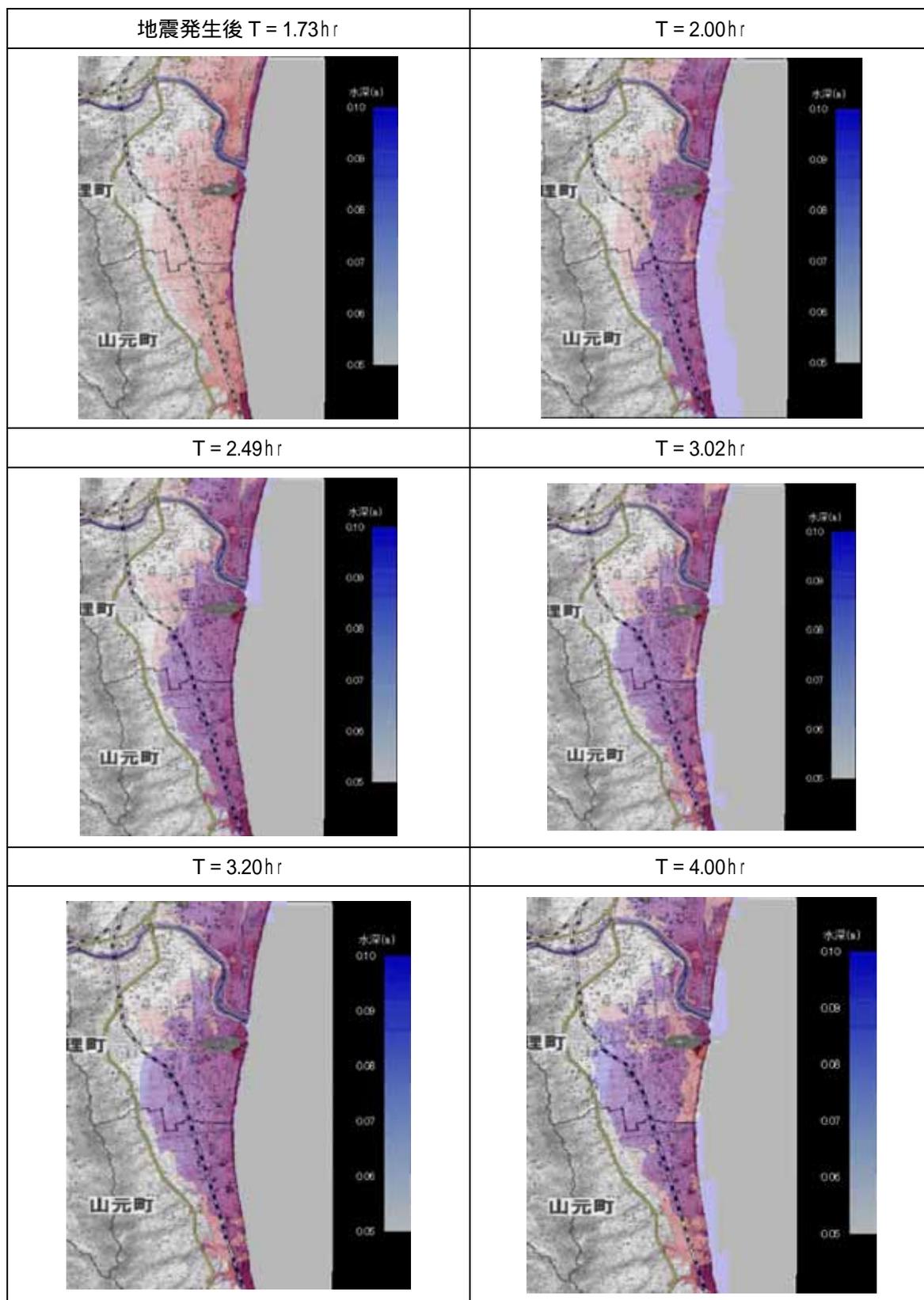


図-8 巨理・山元町の津波再現-2(モデルの適合性検証)

赤の領域は衛星写真による浸水痕跡区域



5. 今後の課題

今回の津波解析は、あくまで今後の防災計画に供するための解析の可能性を検討したもので、モデルの精度は十分に確保されたものではない。今後は、以下の点に留意し、モデルの精度を上げていくことが必要であると考えている。

林地、宅地、道路、鉄道、構造物等の土地利用は、現モデルではGIS情報のみを使用しているが、モデルを精緻化するためには、現地調査や衛星写真などを用い、詳細情報を追加する必要がある。

河川堤防からの溢水も少なからずあったので、河川堤防の状況把握が必要である。

モデルの検証は浸水域だけで行ったが、実際の現場では、周囲の状況、例えば林地や建造物の背後地では同じ標高であっても浸水深が小さかったところも多く見られるので、可能な限り浸水痕跡情報を入手し、浸水深によるモデルの検証が必要である。

津波の水理解析モデルは、今後の防災計画、土地利用計画の有効性を検証するのに有益である。今後は、入力すべき土地利用などの正確な情報を把握し、モデルに反映させていくことを目指していくつもりである。