

# 宮城県公共土木施設構造検討会 検討会報告書

平成 24 年 3 月 13 日

## 目 次

1. 宮城県公共土木施設構造検討会の目的 .....	1
2. 東日本大震災の概要.....	2
3. 公共土木施設の被災のメカニズムと対策強化案.....	4
4. 沿岸防御計画 .....	21
5. 結論.....	29

## 1. 宮城県公共土木施設構造検討会の目的

### (1) 検討会の目的

宮城県では、東日本大震災による甚大な被害のもと県民が希望をもって総力を結集して復興に取り組んでいくため、県の復興の方向性を示す「宮城県震災復興基本方針」を4月に、復興の具体的取り組みを取りまとめた「宮城県震災復興計画」を10月までにそれぞれ策定しており、その土木部門の計画となる「宮城県社会資本再生・復興計画」についても、震災復興計画の策定スケジュールと併せて検討を進めてきた。

「宮城県社会資本再生・復興計画」の策定に当たっては、地震による被害に加えて、大規模な津波によりさらに甚大な被害を被った沿岸被災市町の復興・再生に向けた「沿岸被災市町ランドデザイン」の検討が最も重要なテーマとなることから、「公共土木施設構造検討会」のほか、復興まちづくり計画案の検討を行う「復興まちづくり検討会」、まちづくり計画とあわせた住宅供給計画の検討を行う「復興住宅検討会」の三検討会を設置し、各検討会を有機的に連携させながら検討を進めてきている。

「公共土木施設構造検討会」は、**被災事象を踏まえた工学的観点から、各公共土木施設の被災メカニズム及び防災メカニズムを解明し、効果的な公共土木施設の配置と構造形式の検討を行うことを目的**として設置したものである。

### (2) 検討会の論点

#### 論点1 超過外力による施設の破壊状態と構造的課題の把握

沿岸域の公共土木施設については、その設計外力をはるかに超過した外力が作用し壊滅的な機能不全に陥ったことから、今回の被災事象を踏まえて、**施設の被災メカニズム及び防災メカニズムを解明し、その構造的課題を把握**する。

#### 論点2 超過外力を受けた場合でも壊滅的な機能不全に陥らない構造形式の検討

論点1を踏まえ、今回の震災におけるような**超過外力を受けた場合でも**、壊滅的なダメージを回避し一定の機能を維持できる**構造形式を検討**する。

#### 論点3 まちづくりと連動した最適配置及び最適構造形式の選定

まちづくりは地元市町が主体となって進めていくこととなるが、県としても「復興まちづくり検討会」を設置し、地元の意向を踏まえた復興まちづくり計画の策定支援を行っている。

本検討会においては、復興まちづくり計画で検討されたゾーニングに対して、論点1・2を踏まえた**公共土木施設の最適配置及び最適構造形式の選定**を行う。

### (3) 検討会の流れ

第1回（5月13日） 施設の被災メカニズムの解明と構造的課題の整理

第2回（6月22日） 施設の基本配置・基本構造形式（案）の検討

第3回（9月15日） まちづくりと連動した施設の最適配置・最適構造形式の決定

#### <宮城県震災復興基本方針・抜粋>

公共土木施設の再生に当たっては、被害の特性に応じた施設復旧に取り組むとともに、単なる原形復旧にとどまらず、被災後も一定の機能を維持するよう十分に配慮するなど、壊滅的なダメージを回避する粘り強い県土構造となるよう整備を進める。将来的には、震災前を超えて、我が国をリードする先進的な防災・減災機能を備えた県土づくりを目指す。

（検討例）道路：高盛土の仙台東部道路等が津波への防御効果があったことを踏まえ、沿岸部の幹線道路をまちづくり計画とあわせて高盛土構造にするなど、防災減災機能を備えた防災道路について検討する。

海岸：沿岸市町のまちづくりと連携しながら、堤防強化対策として、背後地の防潮林の整備にあわせて堤防幅を拡幅するなど、被災教訓に基づく新しい発想による海岸保全施設の構造形式を検討する。

#### <復興まちづくり計画検討の考え方・抜粋>

- ・津波対策：防潮施設で対応できない津波に対しては避難対策で対応する。交通インフラ（道路・鉄道）に防潮機能を付加させることも検討する。
- ・土地利用：住居、学校、医療、福祉施設及び役場等の公共施設は高台へ集団移転する等、津波浸水区域から優先的に排除する。
- ・避難対策：地域実情に合った避難対策を実施する。幅広避難道路の整備と緊急避難場所の確保を行う。

### (4) 検討会アドバイザー

氏名	所属	分野
真野 明	東北大学大学院工学研究科 災害制御研究センター教授	水工水理学
大村 達夫	東北大学大学院工学研究科教授	環境水質工学
鈴木 基行	東北大学大学院工学研究科教授	コンクリート構造物の耐震設計
飛田 善雄	東北学院大学工学部教授	地盤工学
田中 仁	東北大学大学院工学研究科教授	海岸工学
越村 俊一	東北大学大学院工学研究科 災害制御研究センター准教授	津波工学

## 2. 東日本大震災の概要

### (1) 概要

宮城県における東日本大震災の被災状況を示す。

# 東日本大震災

## 宮城県

- ・マグニチュード 9.0
- ・死者 9,472人※
- ・行方不明者 1,805人※
- ・浸水面積 327km<sup>2</sup>
- ・痕跡等から推定した津波高さ

石巻市鮎川 7.7m  
 仙台港 7.2m

- ・県内被害総額 ※ 8兆7,962億円
- ・公共施設被害 ※ 8兆7,962億円

※平成24年1月11日現在

**凡例**  
 浸水範囲

気仙沼市  
南三陸町  
女川町  
石巻市  
東松島市  
松島町 利府町  
塩釜市 七ヶ浜町  
多賀城市  
仙台市  
名取市  
岩沼市  
亘理町  
山元町

津波による市街地の壊滅的被害 気仙沼市  
 津波で壊滅的な被害を受けた気仙沼の中心部(3月12日)

津波による市街地の壊滅的被害 南三陸町  
 津波で壊滅的な被害を受けた南三陸町志津川の中心部

津波によるがれきの堆積 女川町  
 女川町中心部

道路橋の被害 石巻市  
 定川大橋

河川堤防の決壊 多賀城市  
 砂押川

下水道施設の機能停止 多賀城市  
 仙塩浄化センター

港湾施設の機能停止 仙台市  
 仙台塩釜港仙台港区

空港施設の被害 名取市  
 仙台空港

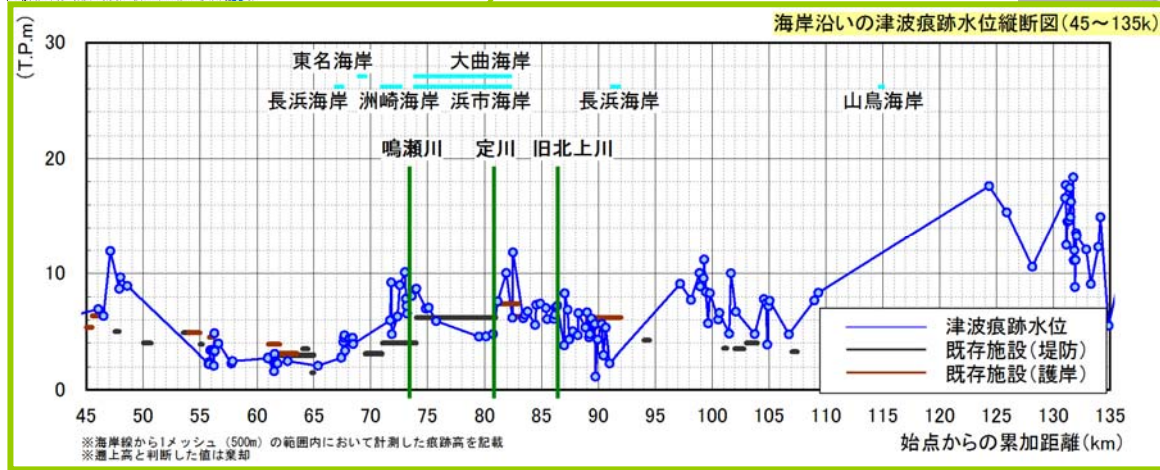
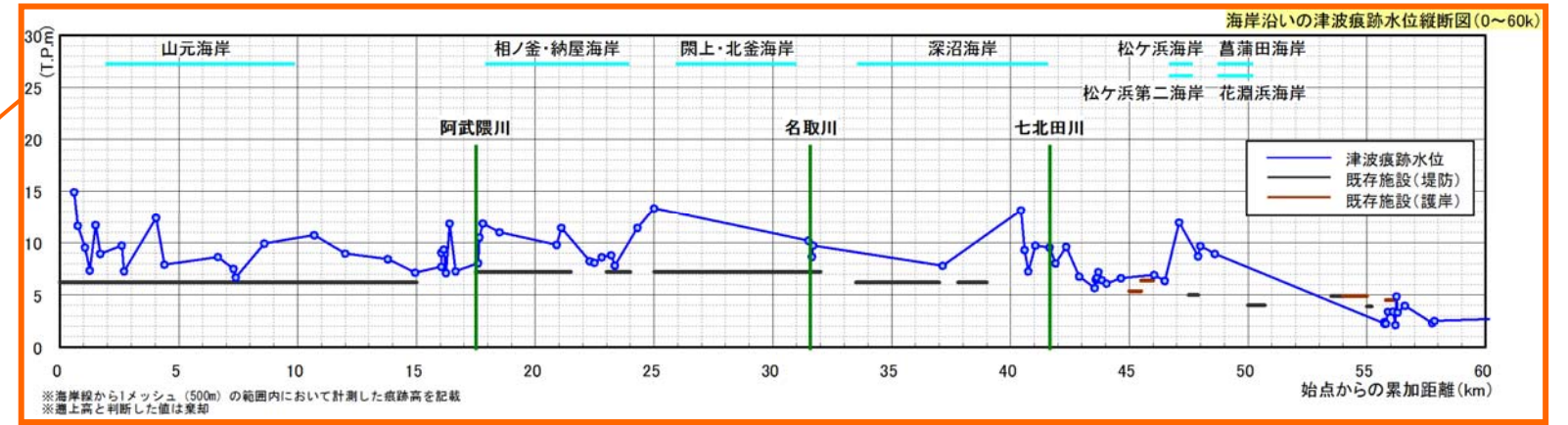
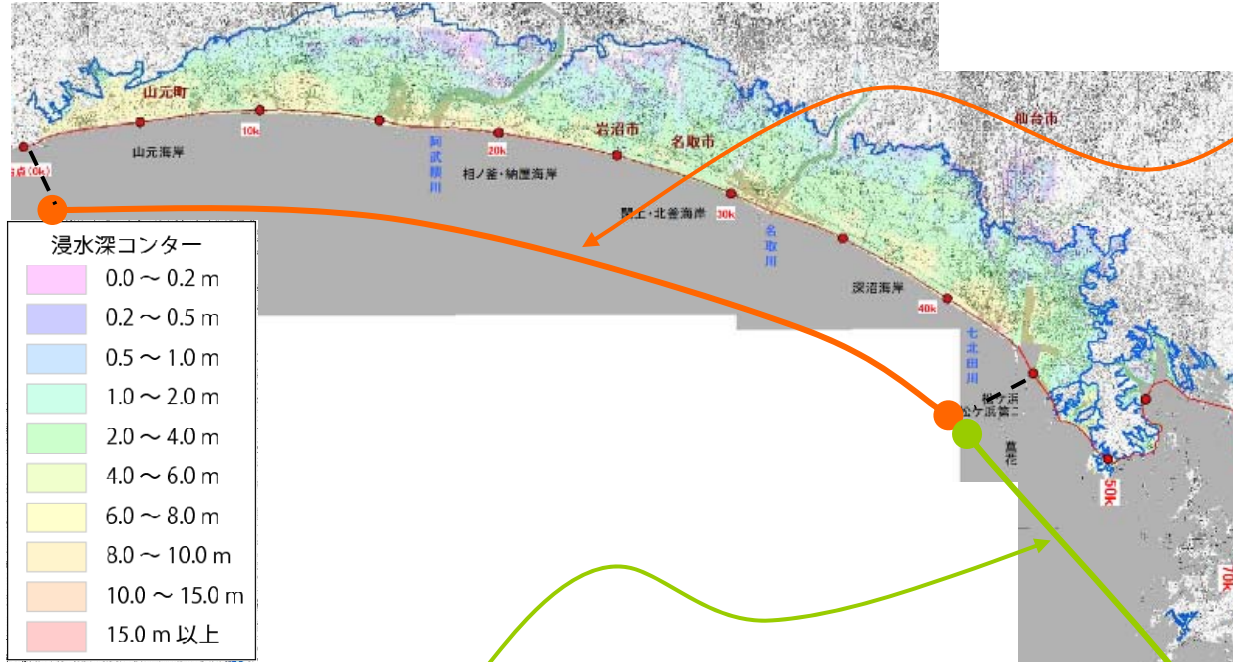
空港アクセス鉄道の被害 名取市  
 仙台空港鉄道

海岸施設の被害 岩沼市  
 二の倉海岸

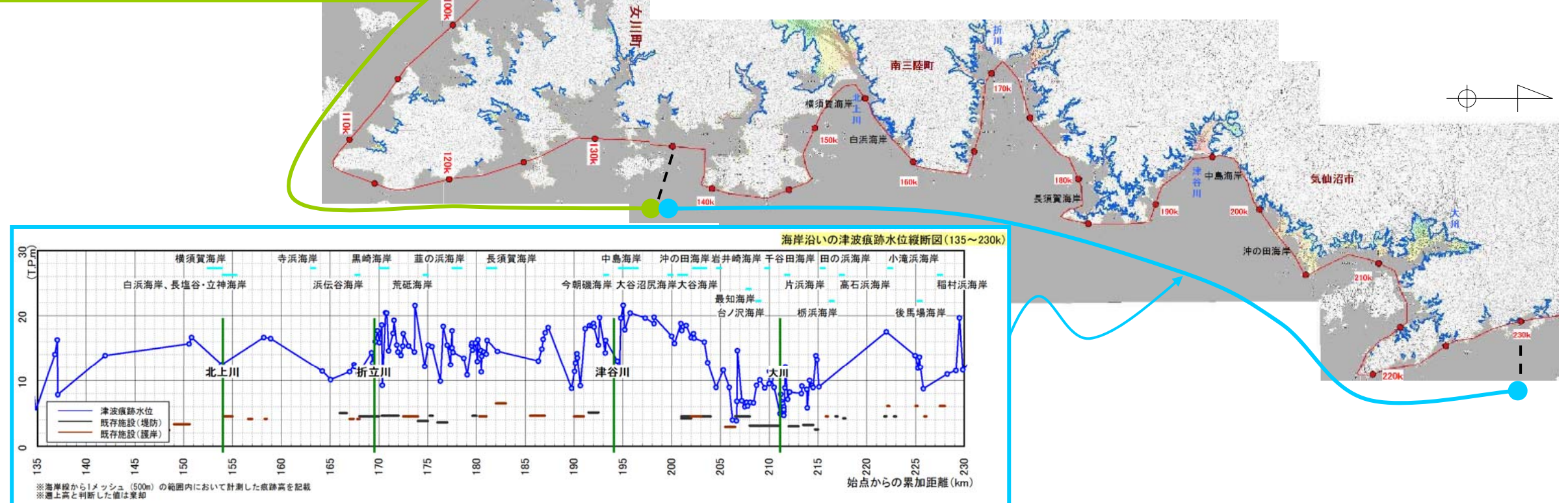
津波による市街地の壊滅的被害 山元町  
 居住可能地域の6割が津波で浸水した山元町

(2) 津波の規模

宮城県が実施した今次津波の痕跡値調査の概要を示す。



市区町村	痕跡地調査による 浸水域の面積(a) (km <sup>2</sup> )	当該市区町村の面積(b) (km <sup>2</sup> )	推定浸水域の割合(%) (a)÷(b)×100
気仙沼市	18	333	5%
南三陸町	10	163	6%
石巻市	87	556	16%
女川町	3	66	5%
東松島市	41	102	40%
松島町	2	54	3%
利府町	0	45	0%
塩竈市	4	18	23%
七ヶ浜町	5	13	41%
多賀城市	6	20	31%
宮城野区	21	58	36%
若林区	28	51	55%
太白区	1	228	0%
名取市	27	98	28%
岩沼市	28	61	46%
亶理町	35	74	47%
山元町	24	64	38%
合計	341	2,004	17%



3. 公共土木施設の被災のメカニズムと対策強化案

(1) 海岸保全施設

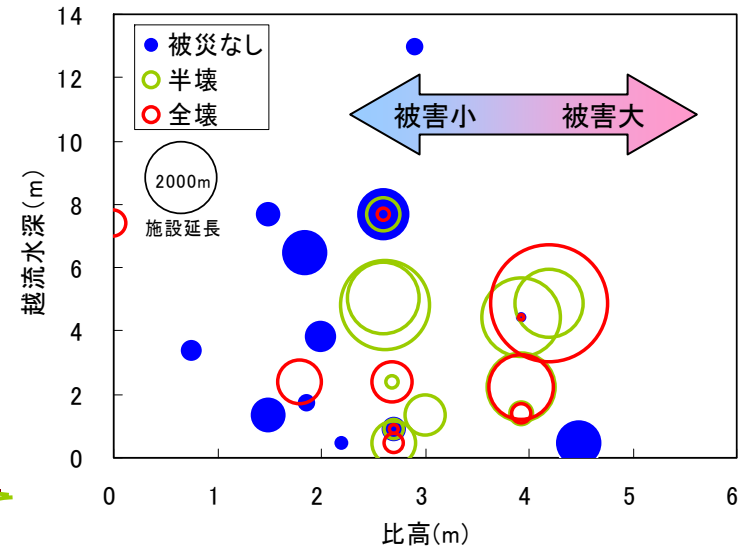
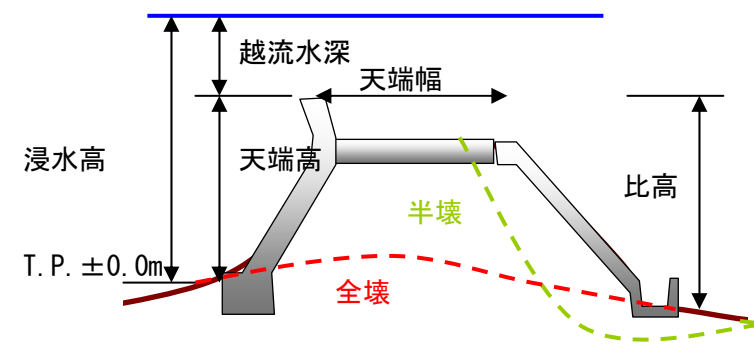
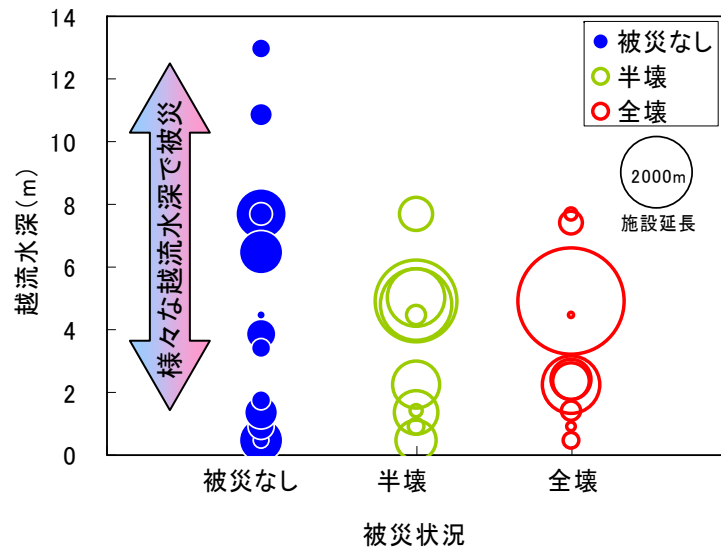
1) 被災メカニズム

海岸保全施設の被災メカニズムを示す。

被災メカニズム	
<p>■防潮堤（裏のりからの倒壊）</p> <p>・押し波および戻り流れによる背後の侵食、戻り流れによる侵食により堤防の倒壊または損傷。</p>	
<p>■護岸（堤体の倒壊）</p> <p>・押し波および戻り流れによる背後の侵食、戻り流れによる前面の侵食により堤防の倒壊。</p>	
<p>■護岸（波返工の破損）</p> <p>・押し波によりが波返工の破損。</p>	
<p>■陸こう（陸間の破損、流出）</p> <p>・戻り流れにより陸こうの破損。</p>	

## 2) 施設の形状と被害規模の関係

宮城県全沿岸（施設整備済み延長 163 km：2004 年河川局、港湾局、農村振興局、水産庁整備分）のうち 24 海岸（施設延長 27 km）の海岸保全施設について調査した結果を基に、施設の形状と被害規模についての関係を示す。

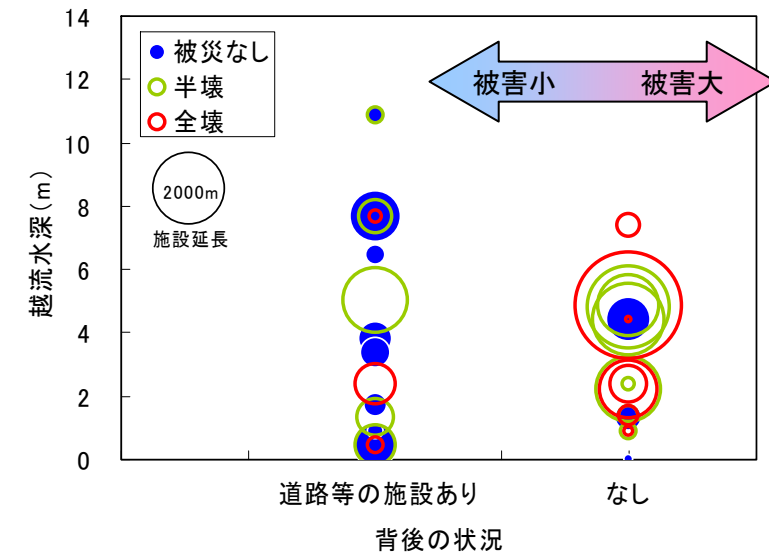
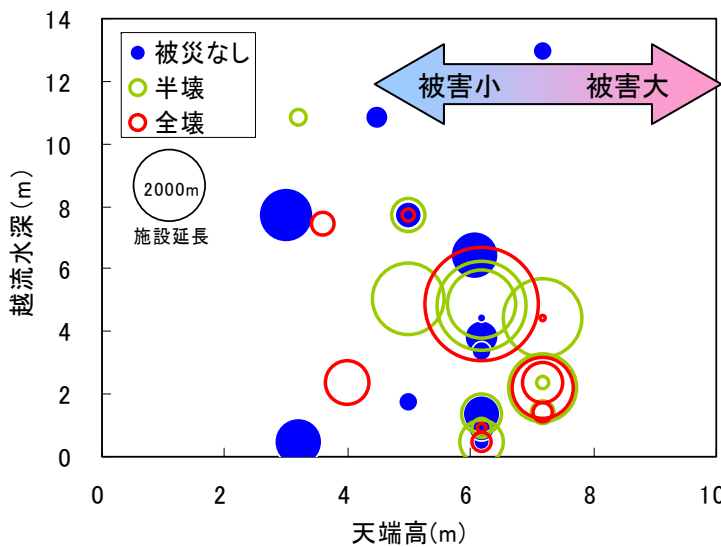


様々な越流水深、津波高で被災が見られるとともに、被災していないものも見られる。  
→粘り強い構造にすることは可能であるが、越流する場合は対策が必要

比高が小さい方が、被害が小さい。  
→比高を小さくすることで、粘り強い構造にできる可能性あり

越流水深が 1m 未満の場合は被災の割合が小さい。

比高が 1m 以上で被害が発生。比高 4m 以上で全壊が多い



天端高が低い方が、被害が小さい。  
→必要な天端高は確保する必要があるため、天端高を低くすることは困難

背後に道路等の侵食を抑制する施設があると被災が小さい→背後に侵食対策を施すことで、粘り強い構造にできる可能性あり

検証なし

裏法尻の処理がされていないものは、越流水深+比高が 3m 以上で被害が発生。コンクリート被覆の場合は 10m まで被害が生じない

比高が大きい場合は背後の侵食も大きくなること、背後に侵食を防止できるような施設があると被害が小さいことを踏まえ、裏法尻背後の侵食対策により、堤防を粘り強い構造とすることが可能

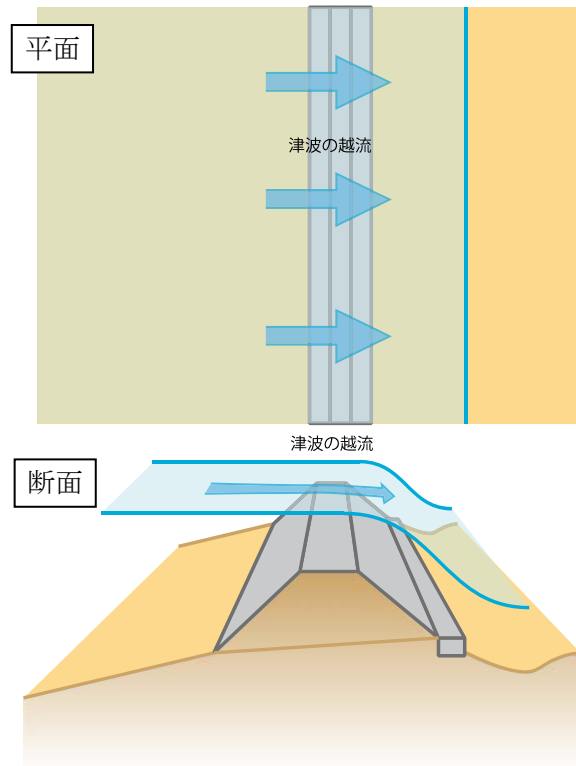
※黒枠内のコメントは、「海岸における津波対策検討会、国交省」知見

### 3) 戻り流れの状況

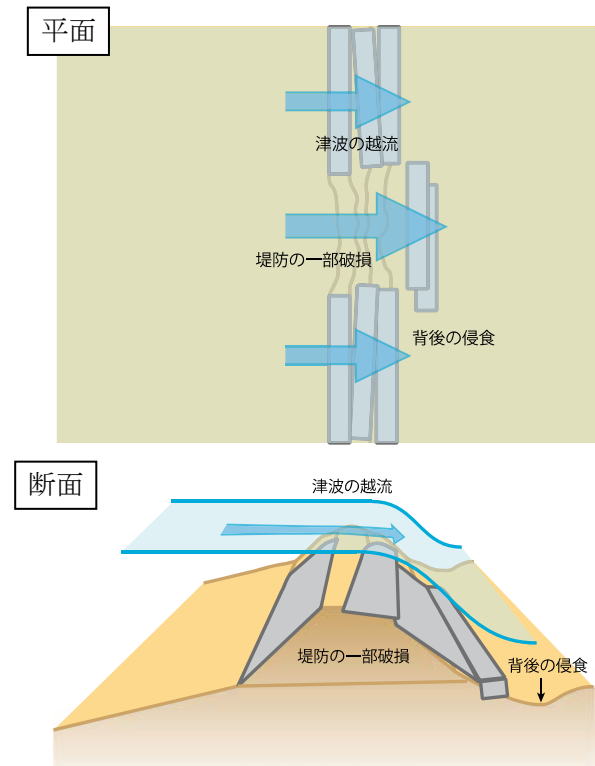
戻り流れのイメージと、実際の戻り流れの発生状況を示す。

<p>戻り流れのイメージ</p>	<p><b>山元町</b> 背後に山があり、遡上した津波が、一気に海域へ戻る。</p> <p>押し波 戻り流れ</p> <p>戻り流れの勢いが強く、沿岸各所で破堤し、海へ流出</p> <p>平成23年5月18日撮影 国土地理院</p>	<p><b>亘理町</b></p> <p>戻り流れ 押し波</p> <p>構造物の隅角部や堤防形状の変化点等に集まり海へ流出</p> <p>平成23年5月18日撮影 国土地理院</p>	<p><b>岩沼市</b> 背後に山がなく、内陸部まで津波が遡上</p> <p>戻り流れ 押し波</p> <p>貞山堀や五間堀川等の低い箇所を集まり、海へと戻る。</p> <p>押し波時の破堤箇所や河口、無堤箇所等から海へ流出</p> <p>平成23年5月18日撮影 国土地理院</p>
<p>戻り流れの状況 (国交省撮影)</p>	<p><b>山元町</b></p> <p>16:37</p> <p>山元海岸：破堤地点に集まる戻り流れ</p>	<p><b>阿武隈川河口右岸</b>：海岸と河川堤防の接合部に集まる戻り流れ</p>	<p><b>五間堀川と貞山堀</b>：貞山堀に沿って戻り流れが流下</p> <p>16:23 岩沼市 五間堀川</p>

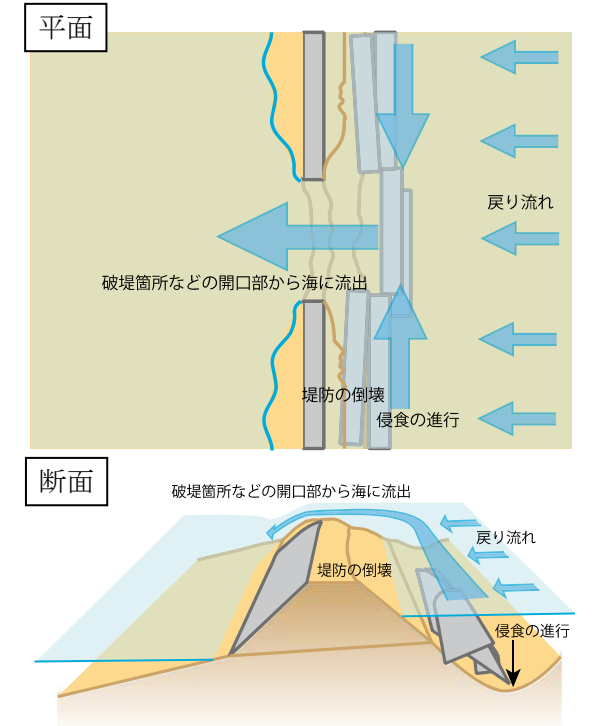
海岸保全施設の被災状況（戻り流れによる被災状況を含む）のイメージを以下に示す。



・津波の来襲



・堤防背後が侵食  
・一部堤防の破損、または破堤



・河口部周辺等、地形の低い箇所や押し波時に破堤した箇所に戻り流れが集中  
・戻り流れにより堤防法線に津波が流下  
・堤防背後の侵食がさらに進行  
・堤防の破損、倒壊、破堤が拡大

### 4) 対策案

#### ① 海岸保全施設の津波に対する構造的問題点

海岸保全施設の津波に対する構造的問題点を以下に示す。

① 設計基準では、波浪、津波に対応した施設設計を行うことが記載されているが、一般的には波浪を対象とした施設設計が行われている。

② 地盤の沈下量を考慮して設計されている施設は少ない。

③ 波による越波は考慮されているものの、津波のように流量が大きい越流は想定されていない。

④ 波による施設前面の洗掘は考慮されているものの、津波の越流は想定されていないため、施設背後の洗掘は考慮されていない。

#### ③ 具体的な対策方法（断面）

防潮堤の被災メカニズムより、断面的な対策方法を示す。

#### 堤防の対策イメージ

#### 護岸の対策イメージ

#### りく閘の対策イメージ

乗り越し用の階段を設置し、陸閘の数を減らす

#### ② 具体的な対策方法（平面）

平面的な対策方法を示す。

#### 【対策】 防潮堤背後盛土のかさ上げ

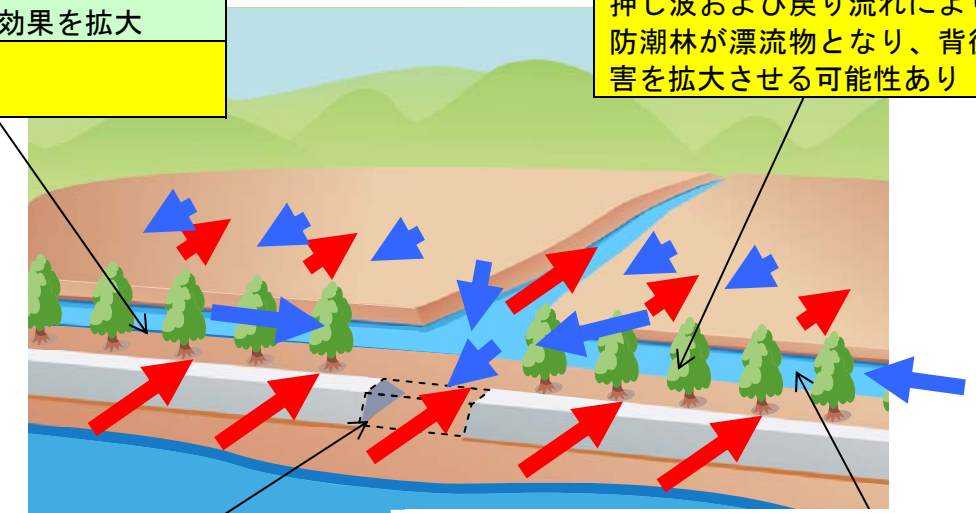
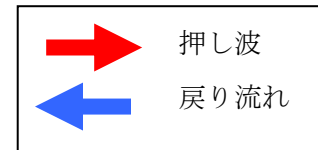
**【メリット】**  
防潮堤背後の洗掘に対して余裕しろを確保。  
防潮林の設置位置での浸水深を低減させることにより、防潮林の効果を拡大

**【デメリット】**  
なし

#### 【対策】 防潮林の設置

**【メリット】**  
押し波時に津波の勢いを低減

**【デメリット】**  
押し波および戻り流れにより、倒木した防潮林が漂流物となり、背後家屋等の被害を拡大させる可能性あり



#### 【対策】 戻り流れを排水するための破堤点

**【メリット】**  
わざと破壊させること（ヒューズ）により、スムーズに遡上した津波を海へ排水

**【デメリット】**  
押し波時に破堤の可能性あり

#### 【対策】 運河の設置

**【メリット】**  
堤防背後に運河がある場合は押し波時に裏法尻の洗掘を軽減  
運河により、戻り流れのみお筋を固定し、堤防背後等の公共土木施設に影響を与える箇所での洗掘を防止

**【デメリット】**  
押し波時に津波の進入経路となる可能性あり



(2) 河川施設

ここでは、引き続き河川堤防を対象として、津波による被災メカニズムと防災メカニズムについて検討を行ったものである。

1) 堤防の被災パターンとメカニズムの推定

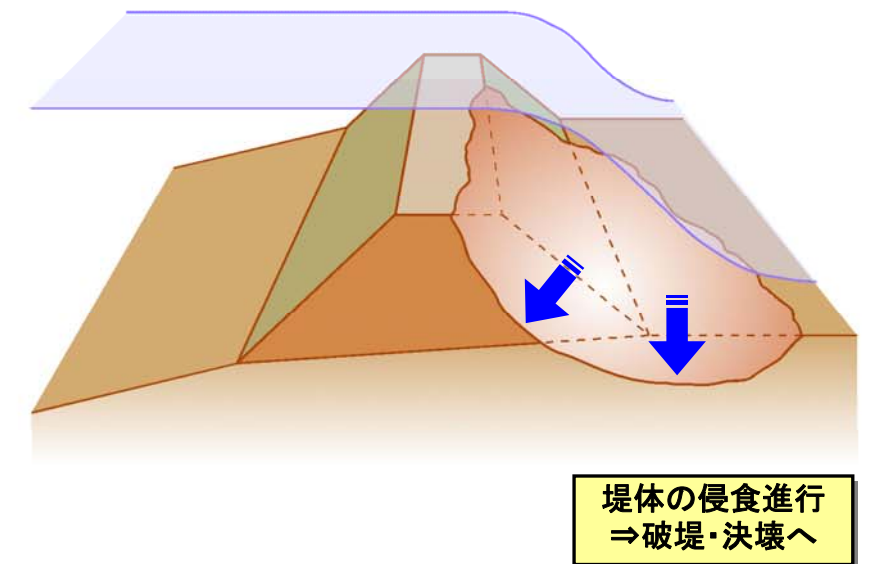
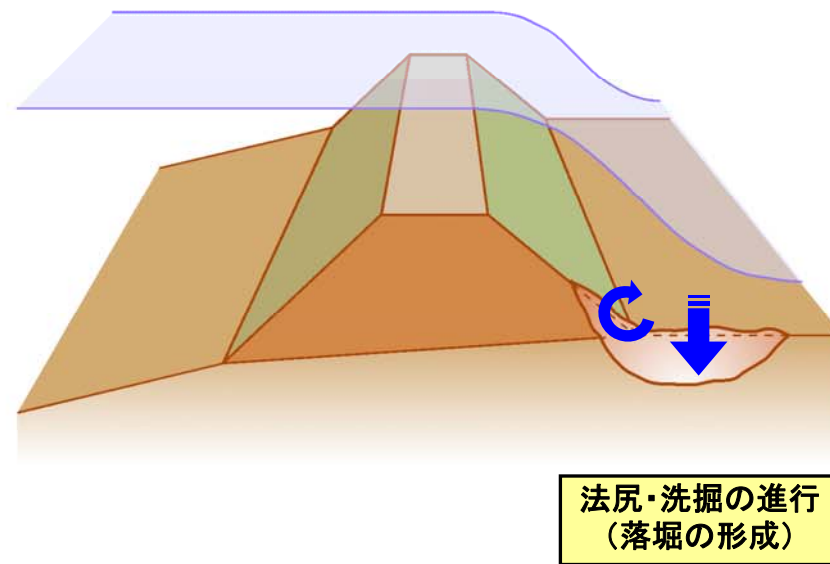
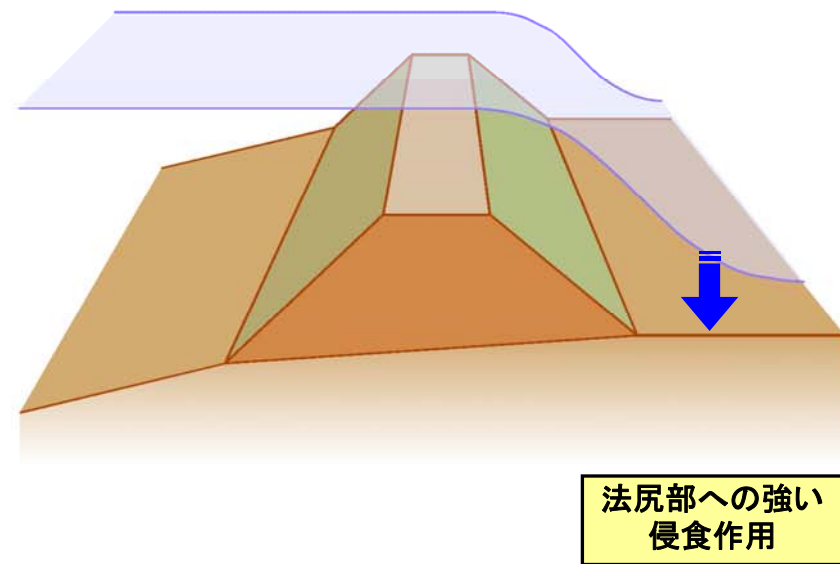
河川堤防の被災メカニズムについては、津波の遡上時による被災、戻り流れ時による被災に大別される。あるいは、遡上時に破壊が進行し弱体化した堤防等構造物に対して、強い戻り流れによる流体力でさらに破壊や流出を生じたものがあると考えられる。

盛土構造物である堤防の被災については、河川を遡上した津波が堤防を越流することにより越流に対して脆弱な裏法部からの洗掘・侵食によって堤防破壊が進行し破堤に至る状態が最も被害が大きい。

また、津波の戻り流れ時、引き波時において河川堤防を含む面的な観点からの被災メカニズムを次ページに示す。

堤防の津波による主な被災パターンと被災メカニズムの整理

被災パターンの分類	被災メカニズム
津波の越流によって堤防が侵食・破堤	河川遡上した津波が堤防を越流、裏法尻部の激しい侵食作用から連鎖的に堤体侵食が進行、破堤に繋がったもの。護岸及び特殊堤防区間においても破壊された現象は同じメカニズムと考えられる。
津波の越流によるが破堤に至らなかったもの	遡上した津波が堤防を越流。堤内地の陸上を遡上した津波等によって、裏側のウォータークッション効果によって洗掘作用が減少、破堤には至らなかったと考えられる。
横断工作物付近における堤防の局所洗掘	遡上した津波の越流時または戻り流れにおいて激しい局所流れが生じ、堤防裏法部が著しく局所洗掘を生じたと考えられる。水門等では隣接する護岸等の倒壊に至るものもある。
堤防基礎地盤や堤体の液状化により弱体化した後、津波の直撃を受け被災したもの。(現象は推定)	液状化被害の検証は困難であるが、津波来襲前に液状化の発生が一部で確認されていることや被災箇所の多くが液状化地帯とも重複しており、津波に対する堤防対策を考慮するうえで重要である。



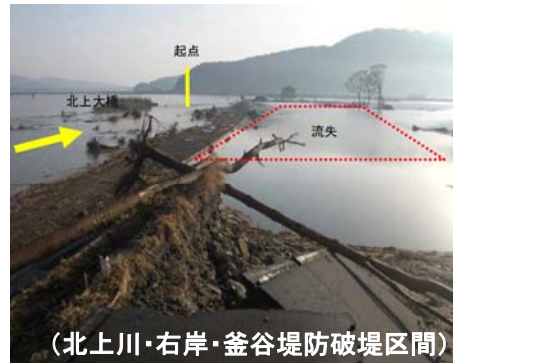
## 2) 被災メカニズム

河川施設の被災メカニズムを示す。

### ⑤-(1) 遡上流れの堤防直撃・越流



### ⑤-(2) 遡上流れの堤防直撃・越流



### ③ 液状化と堤防越流



### ① 海岸との接続部



## 津波遡上時の被災メカニズム

### ⑦ 津波の河川遡上

- 河道内は陸地より粗度が小さく陸上よりも高速で遠距離を遡上する

### ⑤ 遡上流れの堤防直撃・越流

- 完全越流となり裏法洗掘により堤防決壊を招く
- 湾曲部では直撃を受ける

### ③ 液状化と堤防越流

- 液状化により堤防が沈下弱体化したうえで津波を受け、被害が拡大する

### ① 海岸との接続部

- 津波外力の集中により、被災しやすく、弱点となりやすい

### 河口部の津波進入

- 高流速の津波が進入
- 河口砂洲や水深により変化

■ 河口部に防潮水門がある場合  
津波遡上及び引き波による河道内の流れは、水門により河口からの進入が遮断され減勢される。ただし、水門に隣接する河川構造物や海岸堤防等に被害が集中する可能性がある。

### ⑦ 津波の河川遡上



### ⑥ 橋梁等横断工作物への津波による影響



### ④ 堤防越流 (ウォータークッションあり)



### ⑥ 橋梁等横断工作物への津波による影響

- 橋桁の流出、損傷
- 津波の桁下下降流による河床洗掘

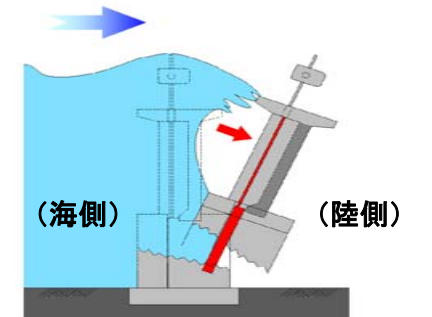
### ④ 堤防越流

- (ウォータークッションあり)
- 海岸近くでは陸上の遡上する津波がウォータークッションとなり、侵食の低減が見込める場合がある

### ② 海岸からの津波越水



### ② 海岸からの津波越水



### 戻り流れ時の被災メカニズム

⑨ 橋詰部等の堤防弱部への戻り流れによる被災



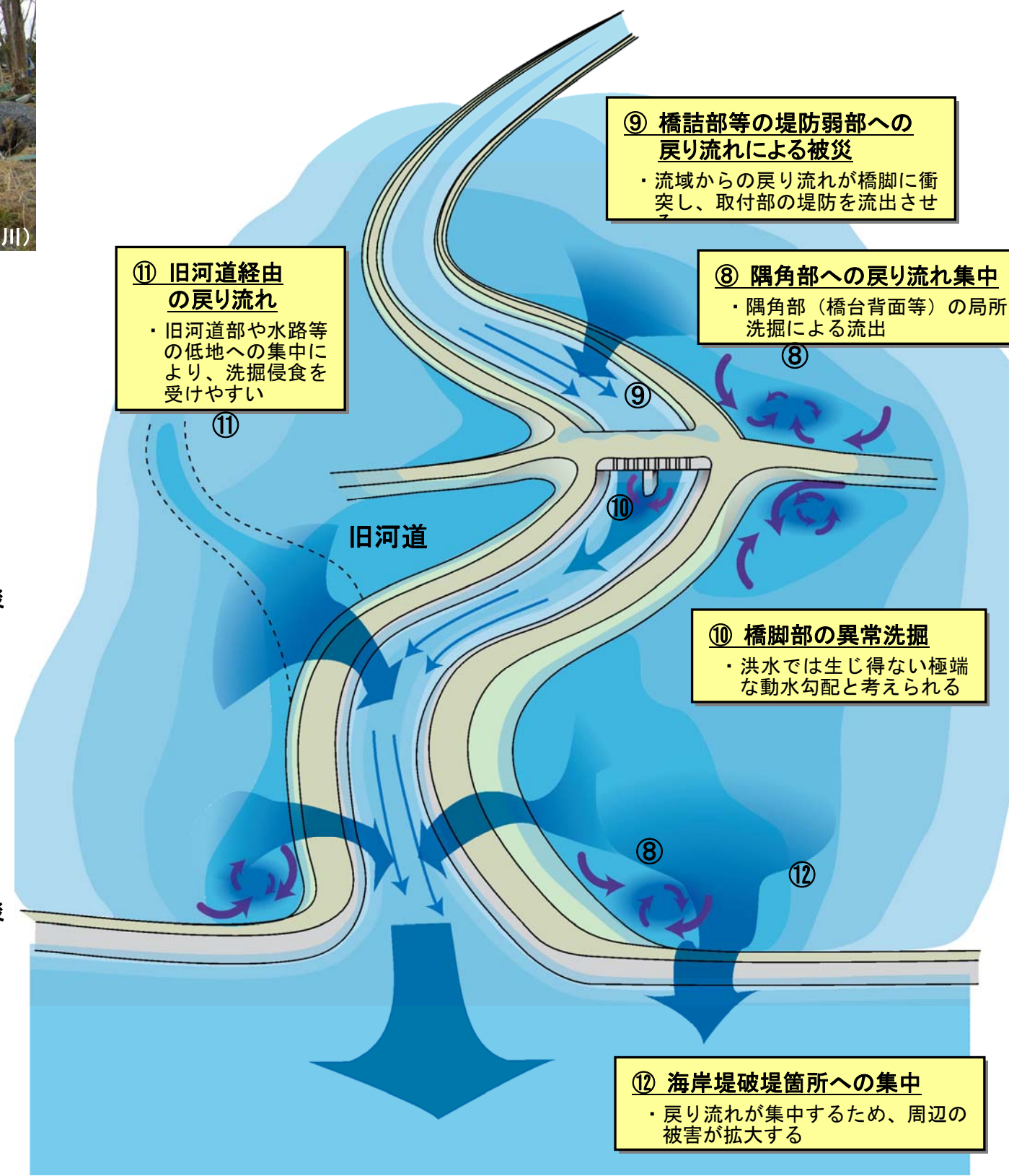
⑨ 橋詰部等の堤防弱部への戻り流れによる被災  
・流域からの戻り流れが橋脚に衝突し、取付部の堤防を流出させ

⑧ 隅角部への戻り流れ集中 (橋台背面)



⑧ 隅角部への戻り流れ集中  
・隅角部 (橋台背面等) の局所洗掘による流出

⑪ 旧河道経由の戻り流れ  
・旧河道部や水路等の低地への集中により、洗掘侵食を受けやすい



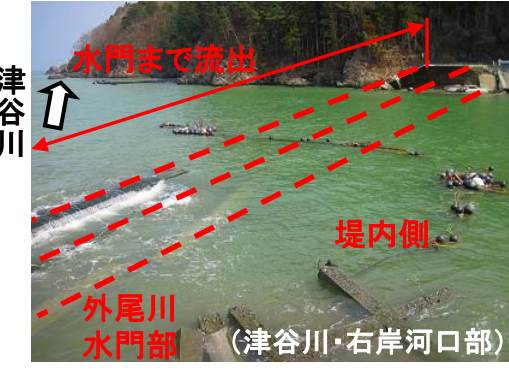
⑫- (1) 海岸堤破堤箇所への集中



⑫- (2) 防潮水門に隣接する海岸堤防の被災



⑪ 旧河道経由の戻り流れ



⑫- (3) 防潮水門に隣接する海岸堤防の被災



⑫- (4) 防潮水門に隣接する海岸堤防の被災



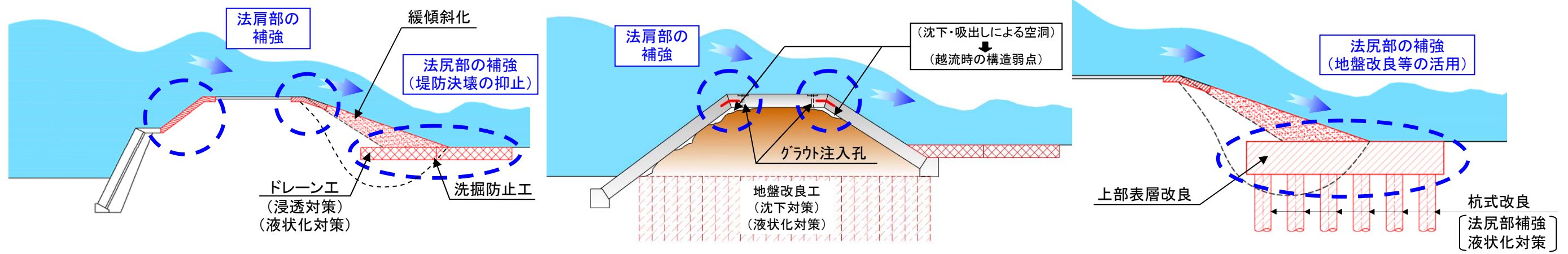
⑫ 海岸堤破堤箇所への集中  
・戻り流れが集中するため、周辺の被害が拡大する

⑩ 橋脚部の異常洗掘  
・洪水では生じ得ない極端な動水勾配と考えられる

### 3) 対策案

河川堤防と水門の対策案を示す。

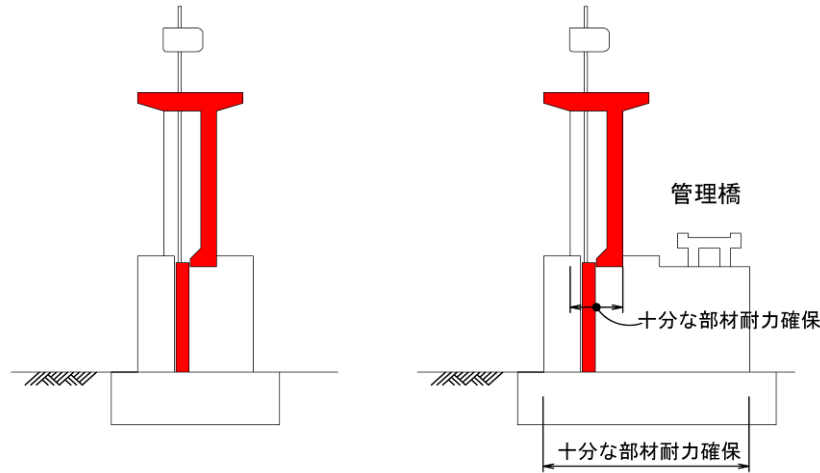
#### 河川堤防の対策イメージ



#### 水門の対策イメージ

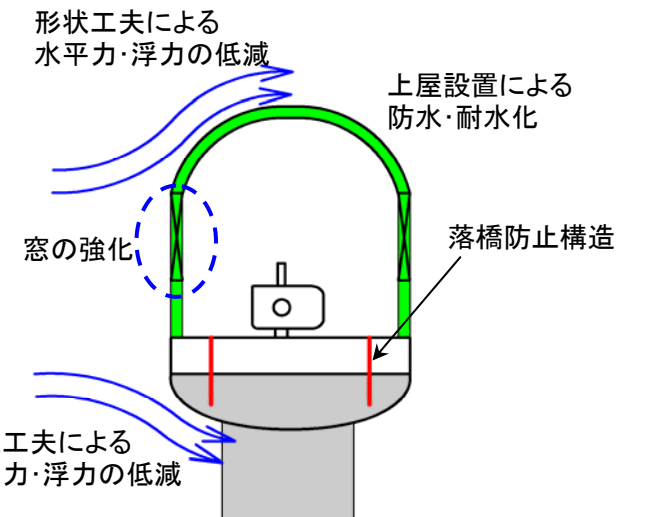
##### ①耐力確保

- 部材の耐力を確保するため堰柱長さを十分確保する。



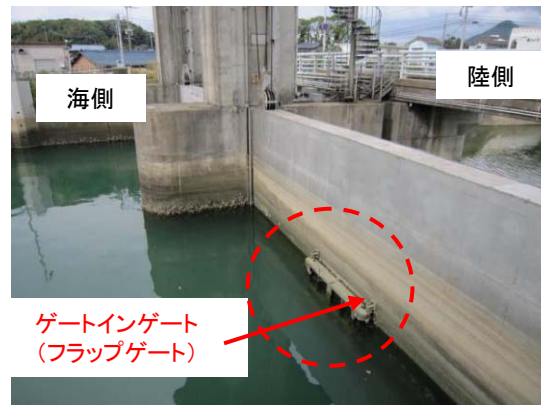
##### ②操作台に対する対策

- 落橋防止構造と操作台の耐水化



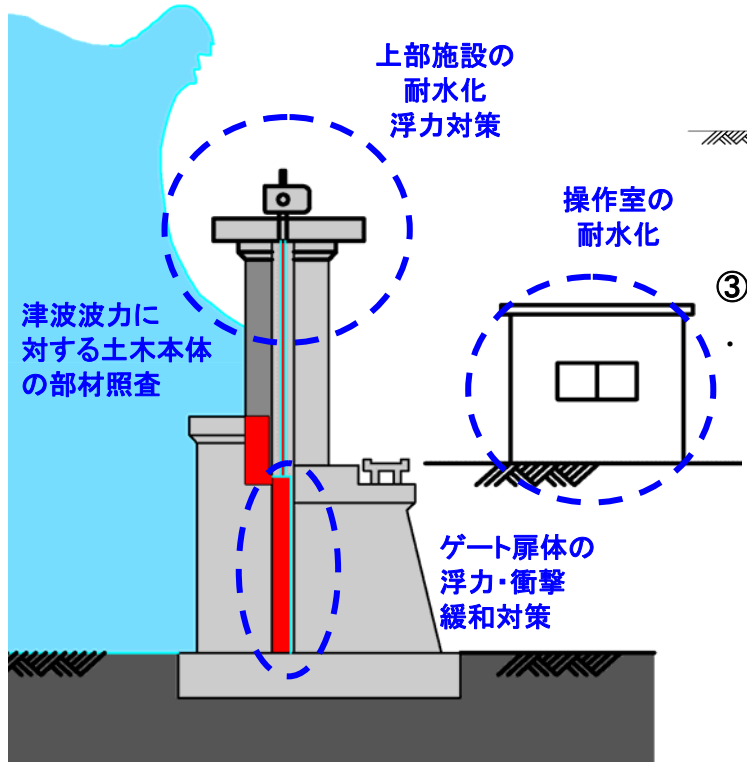
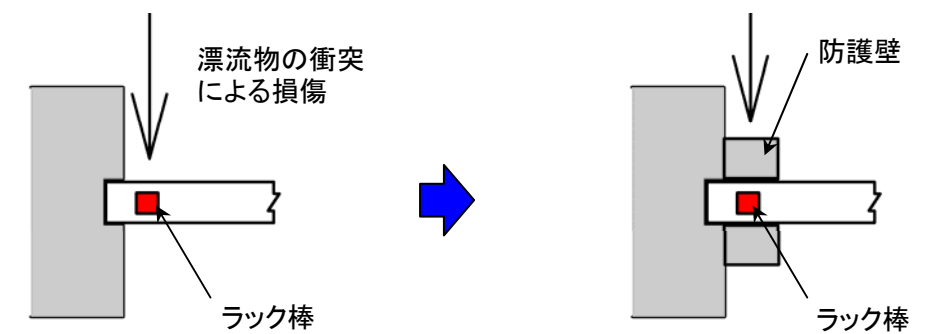
##### ③排水機能確保

- 巻上機が損傷しゲートの開閉に支障が生じることに對して、下図に示すゲートインゲート等形式を採用することによって排水機能を確保する。



##### ④巻上機等設備に対する対策

- 上模式図による操作台の耐水化とラック棒の防護を行う。



(3) 道路施設

1) 総括

今次津波で被災した道路について、被災および防災メカニズムについて以下に整理する。

被災メカニズム	防災メカニズム
<p>■盛土</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>津波の越流水深がより高いリアス部の被害が、<b>仙台平野部に比べ大きい傾向</b>にある。</li> <li>道路盛土の高さが高い路線ほど被害が増大する傾向にあるが、越流時の津波落下によるエネルギーが増大するためと想定される。</li> <li><b>越流または引波による山側法面の洗掘被害</b>が多く見られ、特に仙台平野部や福島県の沿岸部では、盛土背面が耕作地の場合<b>越流時に落堀ができ、さらに盛土背面に湛水した内水による引波時の侵食が発生</b>している。(写真①、②、いずれも落堀と湛水による引波侵食が生じていると思われる)</li> <li>リアス部は地形が急峻なことから、<b>引波時の津波が集中する事で、道路が流出</b>しているケースが見られる。(写真③)</li> </ul> <p>■ブロック積、舗装</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>のり尻ブロックへの影響は比較的少ないが、<b>橋梁アバット付近や函渠巻込み部は津波洗掘の影響</b>が大きい。(写真④)</li> <li>車道舗装は海岸線から近接している路線でも被害が少ないが、部分的に流出する箇所が見られる。また、歩道舗装は土工部を含め洗掘されている事例が多い。</li> </ul>	<p>■盛土</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>海側のり面は高盛土であっても、比較的被害が少ない</b>ケースが多い。海岸に近接し、なおかつ越流水深が高い場合でも、被害がないケースが見られる(写真⑤、海岸より1.1km)。</li> <li>越流水深が非常に高い場合も盛土のり面を保護したことで、道路本体が無事であった事例が見られる。法面保護は越流時、引波時侵食に有効である(写真⑧)。</li> </ul> <p>■ブロック積</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>沿岸部で津波の影響が大きい箇所にあっても、アバット背面に補強土などの<b>擁壁を連続的に用いた箇所では侵食の影響が少なく道路機能が確保</b>されているケースがある。(写真⑥)</li> <li>海岸線からおよそ2.5~3km程度の位置にある仙台東部道路、常磐自動車道は、のり面洗掘の影響が少なく、また<b>海側のり面が津波と瓦礫の山側への流出をせき止めた</b>。</li> <li>また、仙台東部道路・常磐道ののり尻にブロック積みを用いている箇所<b>でブロック積への影響は概ね見られない</b>。山側のブロック積みは引波侵食にも有効であったと予想される。(写真⑦)</li> </ul>
 <p>山側</p> <p>落堀と引波侵食によると思われる道路の洗掘被害</p> <p>①(主)原町海老相馬線 南相馬市鹿島区 1月10日撮影</p>	 <p>山側</p> <p>越流水深=2.3m</p> <p>落堀と引波侵食によると思われる道路の洗掘被害</p> <p>②(市)相野釜藤曾根線 岩沼市藤曾根 6月27日撮影</p>
 <p>越流水深=3.4m</p> <p>海側</p> <p>横断水路の設置されている区間が部分的に流出した</p> <p>③(県)泊崎半島線 南三陸町長須賀 6月14日撮影</p>	 <p>アバット背面の盛土が完全に流出している</p> <p>④(主)相馬亘理線 福島県新地町 1月5日撮影</p>
	 <p>越流水深=2.3m</p> <p>海側</p> <p>左写真と同位置だが海側のり面に被害は少ない</p> <p>⑤(市)相野釜藤曾根線 岩沼市藤曾根 6月27日撮影</p>
	 <p>越流水深=1.0m</p> <p>山側</p> <p>海に面した路線であるが、津波による損傷は見られない</p> <p>⑥国道398号 石巻市北上町十三浜 6月14日撮影</p>
	 <p>越流水深=0m</p> <p>耕作地は湛水した形跡が残るが、ブロック積み擁壁により引波侵食にも耐えたと思われる</p> <p>⑦常磐自動車道 亘理町 5月9日撮影</p>
	 <p>越流水深=16.3m</p> <p>山側</p> <p>非常に高い越流水深であったが、のり面を保護したことで、道路本体は無事</p> <p>⑧国道45号 岩手県野田村十府ヶ浦 6月3日撮影</p>

2) 被害・防災メカニズムの考察

(A) 被災状況の傾向分析

被災状況を調査し、抽出したサンプルは路線別・盛土高別に下表の通りである。

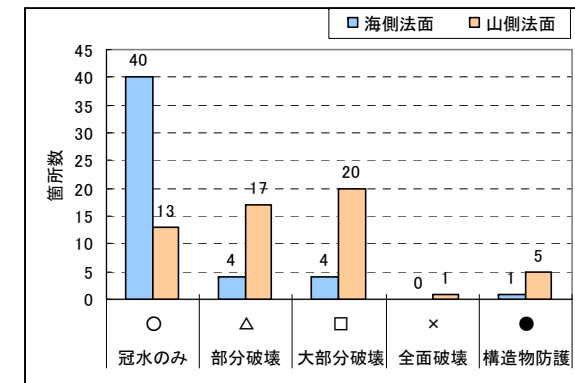
対象路線	盛土高3m未満	盛土高3m~5m未満	盛土高5m以上	合計
塩釜亘理線	39	6	0	45
相馬亘理線	(31)	(8)	(0)	(39)
市道空港三軒茶屋線				
石巻工業港矢本線	5	0	0	5
	(5)	(0)	(0)	(5)
その他平野部	7	3	6	16
リアス地形部	(6)	(5)	(7)	(18)

注) ( ) は海側盛土法面

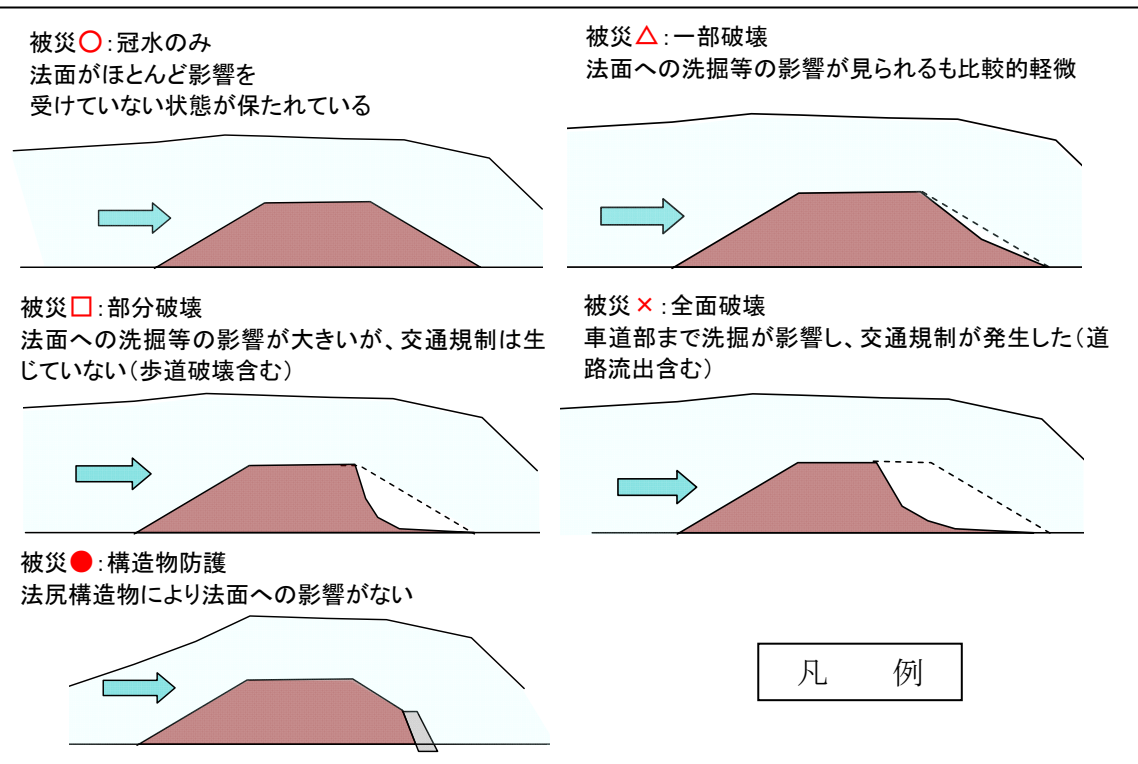
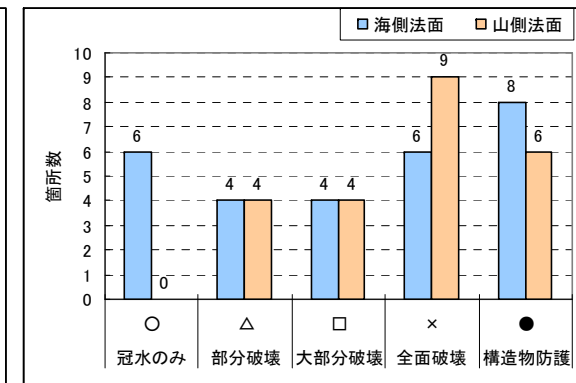
これらについて、平野部、リアス部に分類し被災状況を以下に整理した。

- ・山側法面に比べ、海側法面の被害が比較的少ない。(越流時破壊、法尻落堀等)
- ・平野部に比べ、リアス部で被害規模が大きい傾向にある。(越流水深が高い)

■平野部

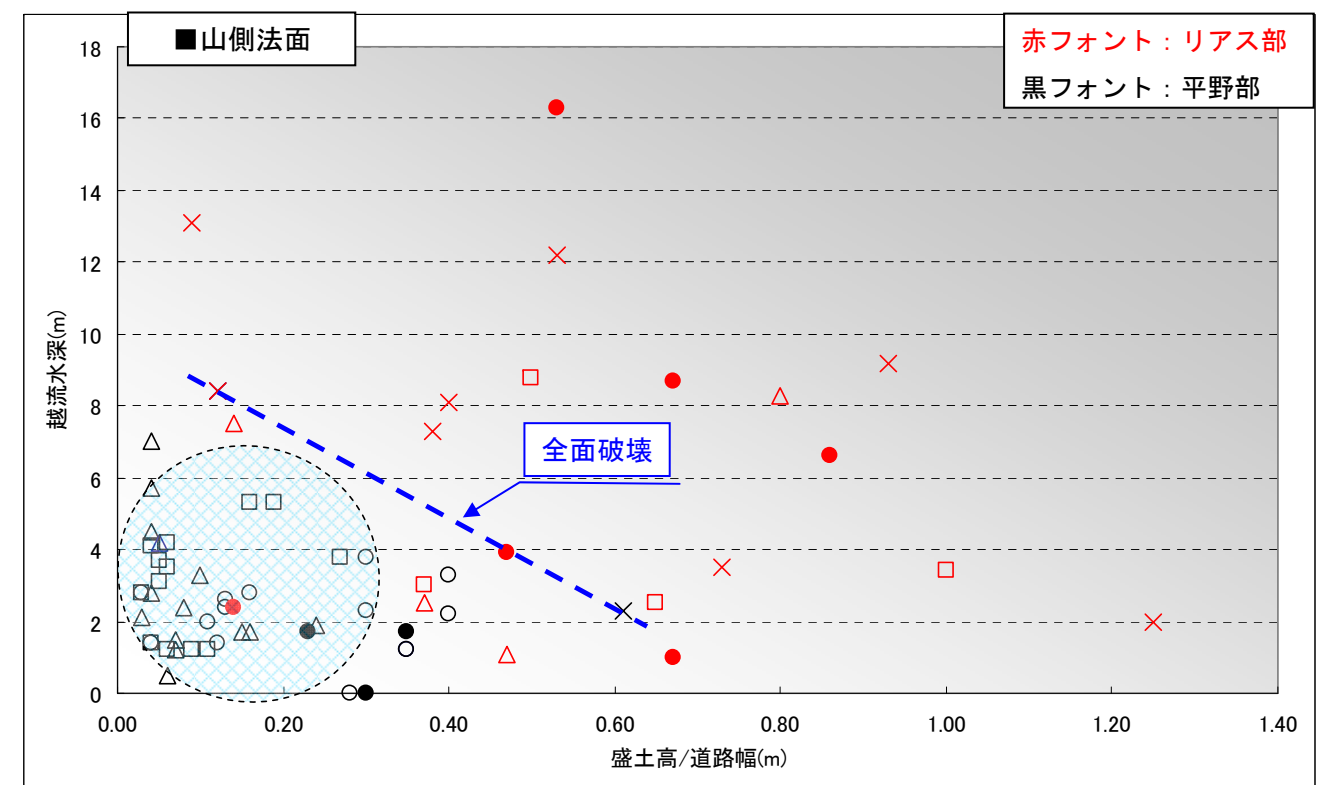
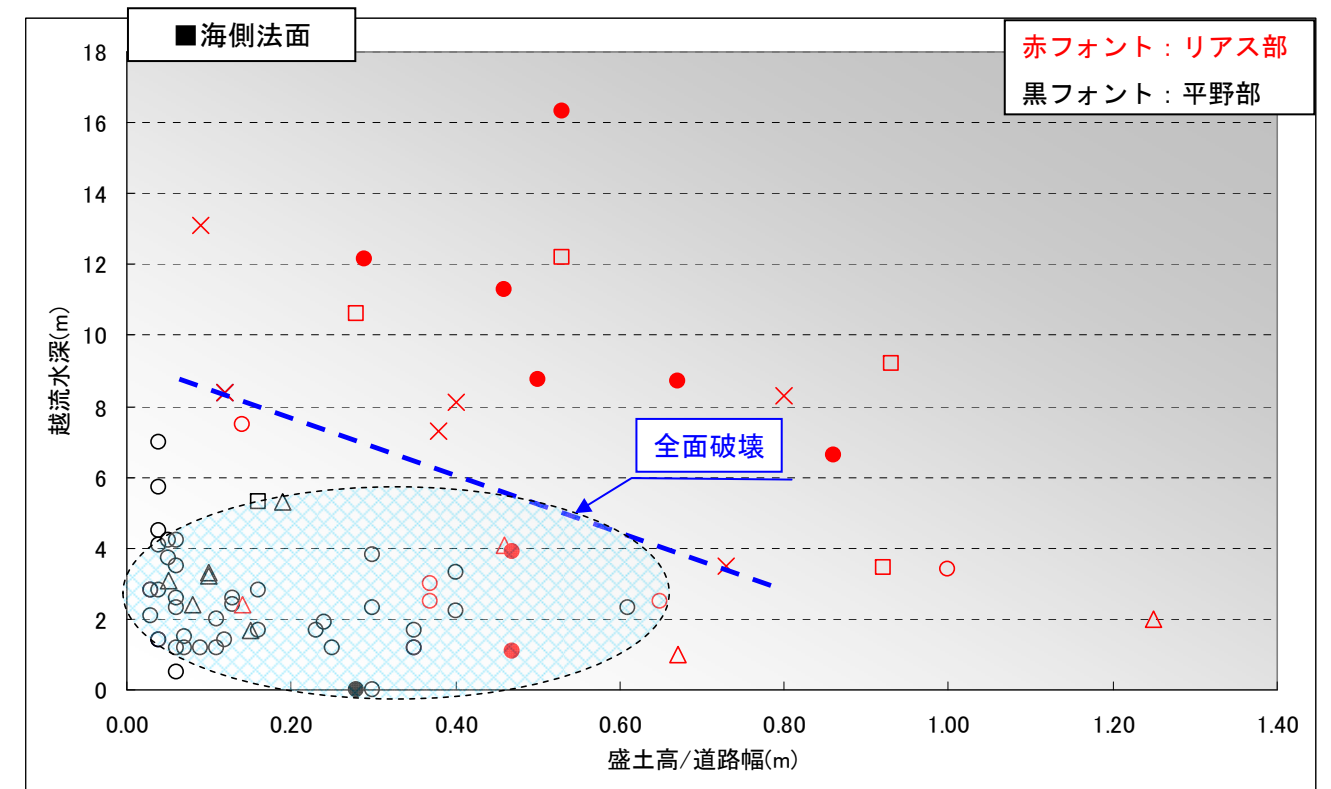


■リアス部



(B) 盛土高/道路幅—越流水深の関係からの考察

盛土高/道路幅の比が高いほど低い越流水深で破壊に至る事例が多く、特に山側のり面の破壊が顕著である。つまり、盛土高が低く、道路幅が広い道路ほど高い越流水深に耐え得る。



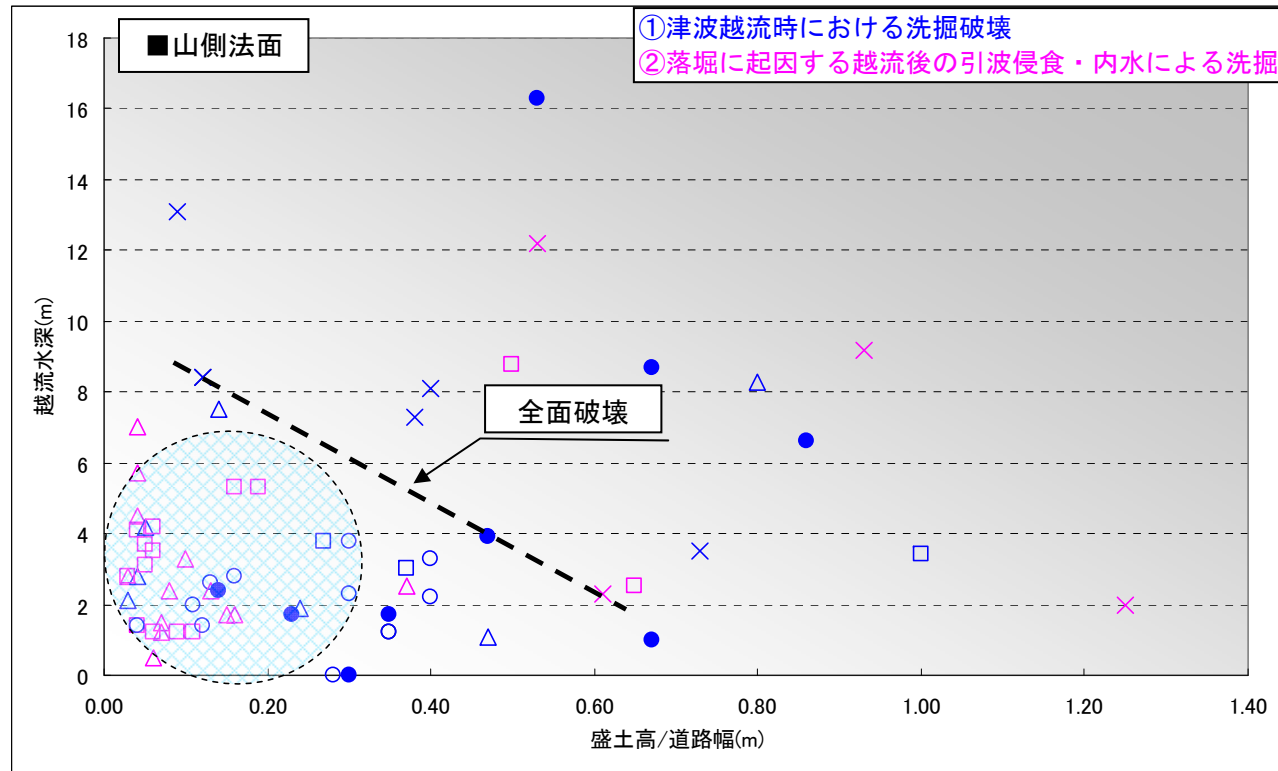
(C) 被災パターンからの考察

津波災害を受けた道路盛土の被災パターンは以下2ケースが想定される。

- ①【津波被災直後】津波越流時における洗掘破壊
- ②【津波被災後の経過】落堀に起因する越流後の引波侵食・内水による洗掘

被災事例調査を行った中で特に破壊に至った被災事例を中心に、地形や付近の状況から上の被災2パターンを想定し、グルーピングを行った。

分類	事例	分類設定の根拠
①津波越流時における洗掘破壊	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(県) 馬場只越線唐桑地区</li> <li>・(県) 大島線</li> <li>・国道45号志津川清水川</li> <li>・国道45号二十一浜</li> <li>・国道45号高田BP</li> <li>・国道45号浪板(釜石市)</li> <li>・国道45号水海(釜石市)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波被害発生後直ちに通行止め情報</li> <li>・盛土背面に津波による内水が溜まり易い構造となっていない</li> <li>・被災直後を確認しても水が湛水していない</li> </ul>
②落堀に起因する越流後の引波侵食・内水による洗掘	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(市) 相野釜藤曾根線</li> <li>・(市) 空港三軒茶屋線</li> <li>・(主) 塩竈亘理線                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・(主) 原町海老相馬線</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・被災後を確認すると内水が比較的長い期間湛水している状況</li> <li>・越流時の落堀が卓越している                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・裏のり沿いに水路や横断水路等の水の通りみちがある</li> </ul> </li> </ul>
③被災なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国道45号野田村十府ヶ浦</li> <li>・常磐道、東部道路等</li> </ul>	—



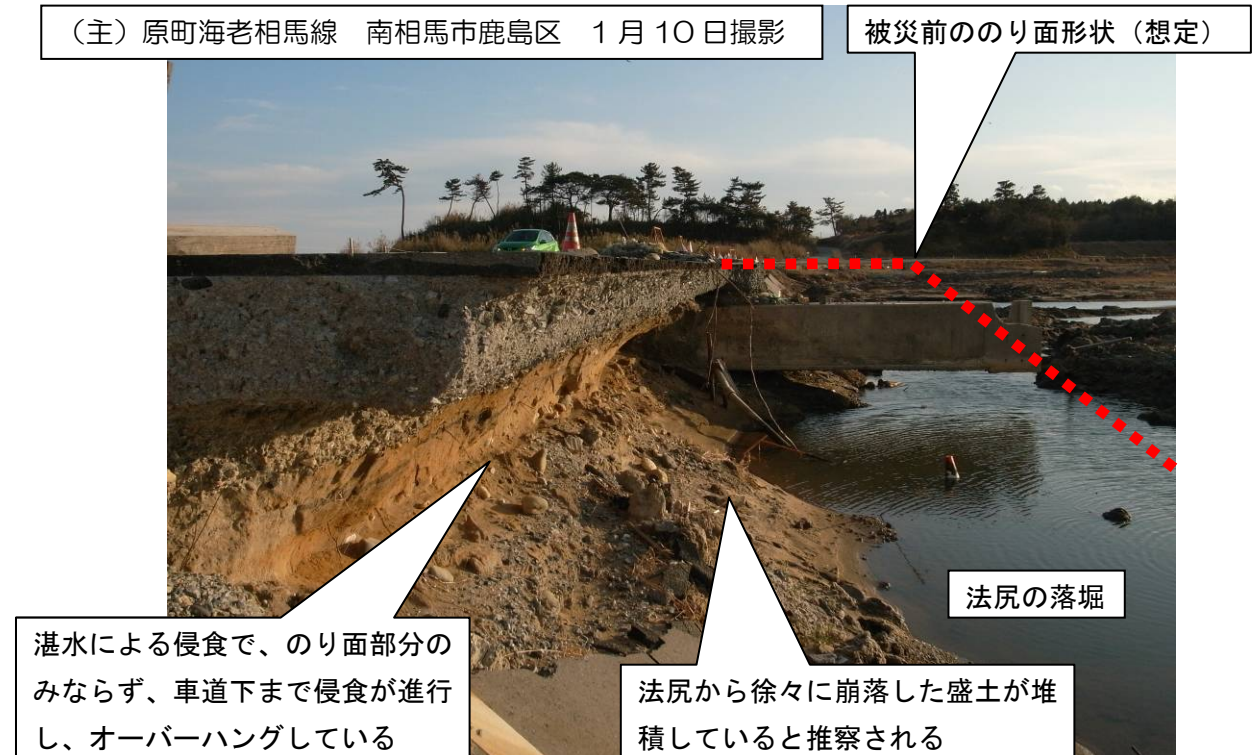
①津波越流時における洗掘破壊

主にリアス部で沿岸部の路線は、津波被災直後の被害が大きかったことから、被災後直ちに通行規制(通行止め)情報が出ている。また、リアス部は比較的地形に勾配があることから被災直後を確認しても湛水は確認されない。



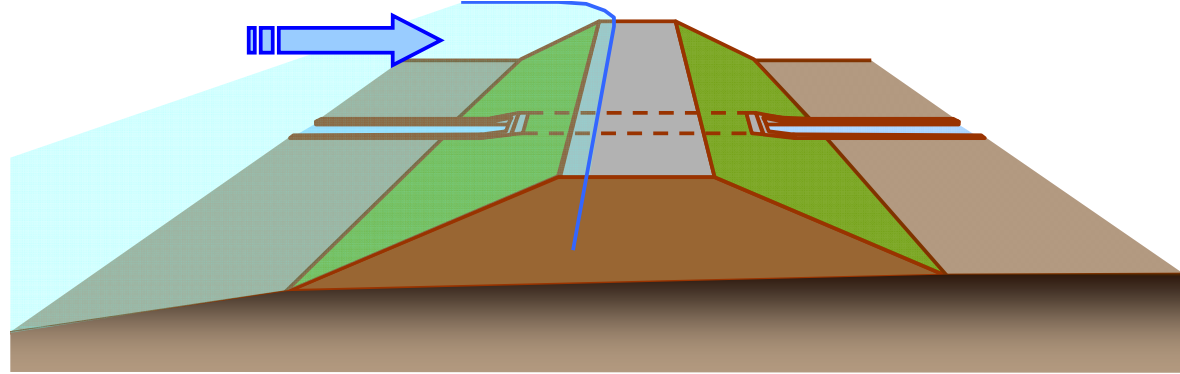
②洗掘越流後の引波侵食と、湛水した内水による洗掘

仙台平野の耕作地に位置する比較的高盛土の被災事例である、(市) 相野釜藤曾根線、(市) 空港三軒茶屋線や福島県沿岸南相馬市の(県) 原町海老相馬線等では、被災後も長期湛水している状況であり、またのり尻に水路が走っていることや落堀が卓越したことから、①引波によるのり面の破壊→②湛水した内水がのり尻から徐々に侵食→③山側のり面の崩壊、という過程を経た(次ページ参照)と推察される。

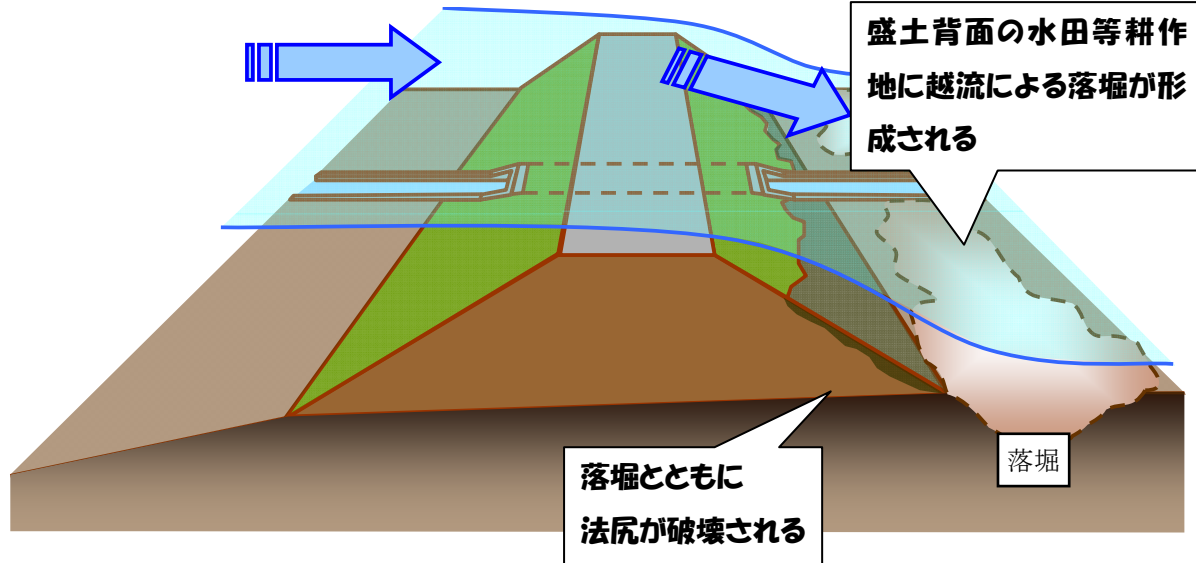


(D) 時系列的な被災までの流れ

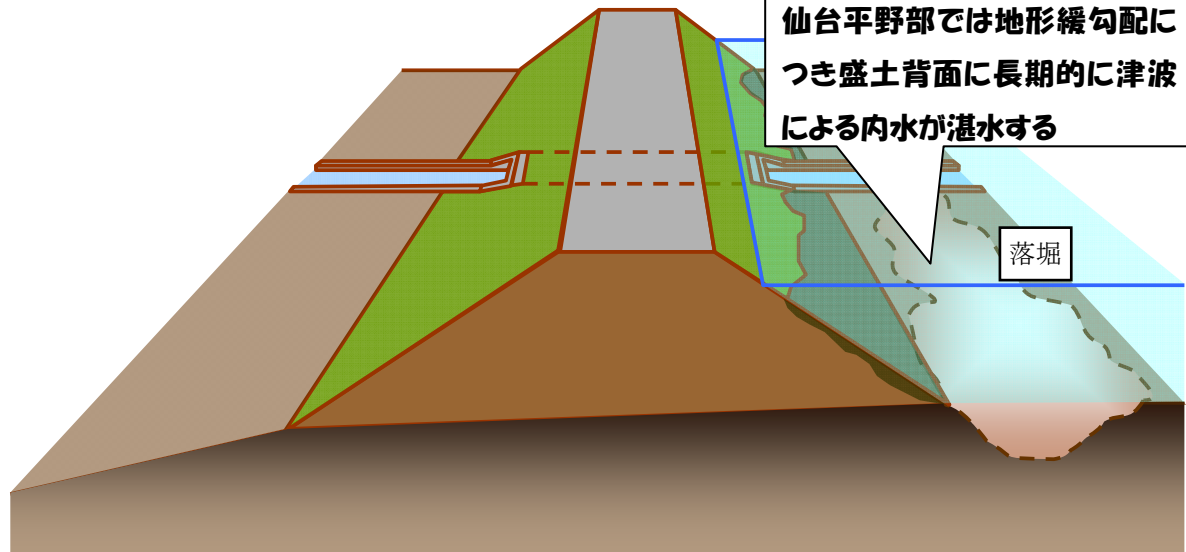
① 津波が襲来



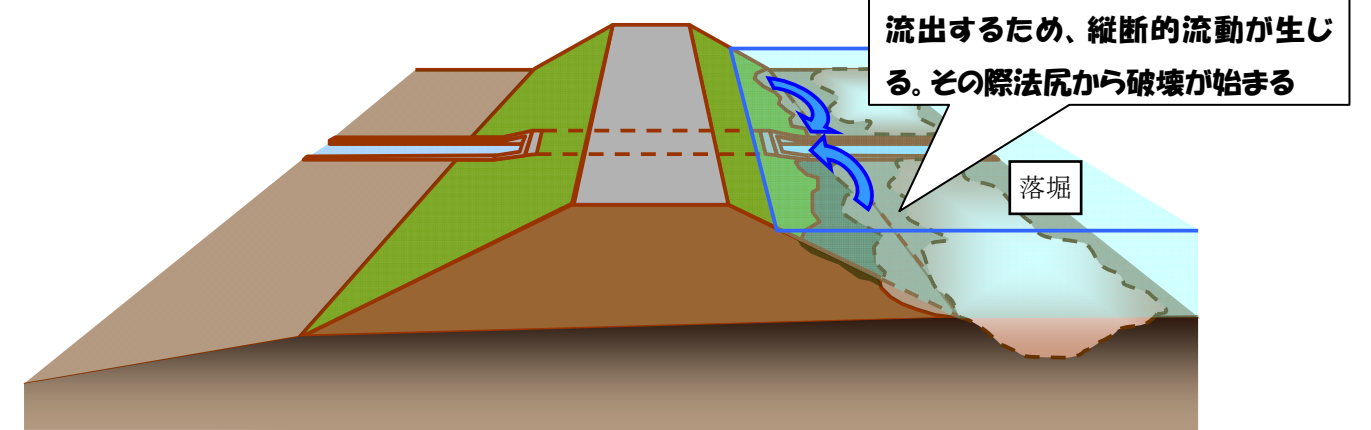
② 津波越流による落堀の形成



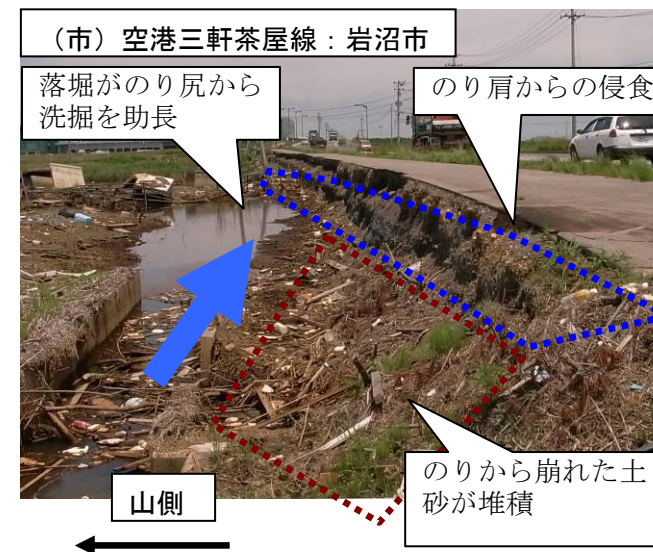
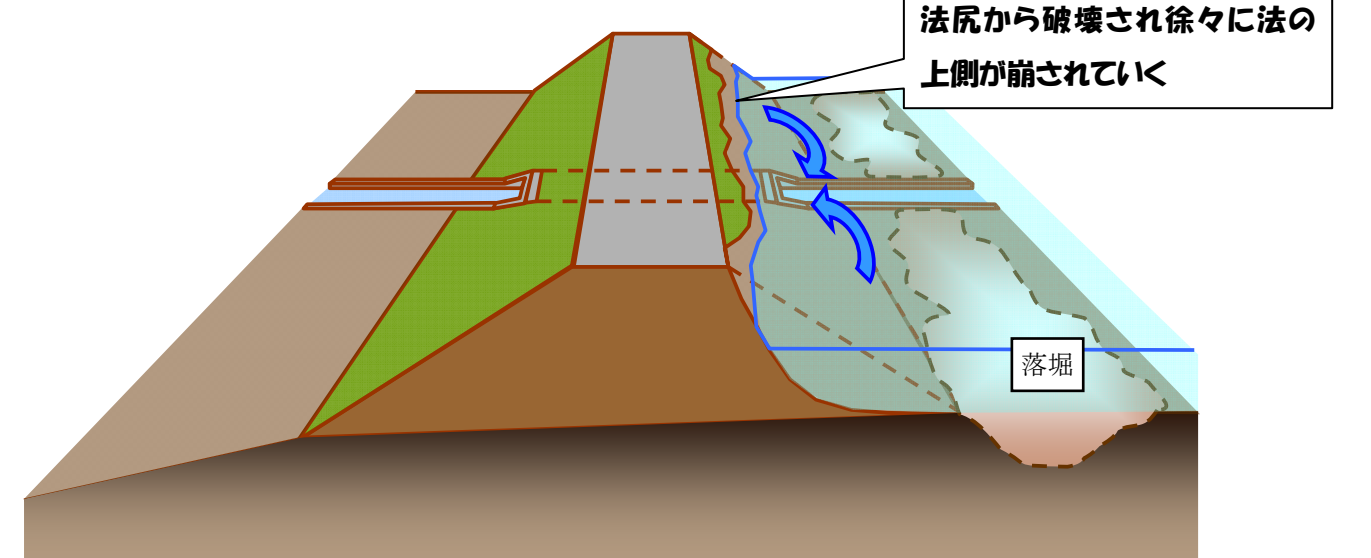
③ 越流後に湛水



④ 引波の縦断的流動による法尻の破壊



⑤ 法尻破壊から、裏のり破壊への展開





3) 対策案

今次津波における道路被災状況を踏まえ、仙台平野における多重防御での盛土構造に対して以下のように提案する。

- 【多重防御における盛土構造（案）】（仙台平野での整備をイメージ）**
- ① 盛土高が高いほど津波高さへの防御・避難時間確保には有利だが、高くなるほど越流時の山側法面の破壊が顕著。越流水深にもよるが、2車線道路であれば道路高/道路幅ー越流水深の被災状況の関係から盛土高さ3~4mに対し幅員10m程度以上の組み合わせが目安で、道路高さはこれ以下に止める。それ以上の場合はのり面保護工を検討。
  - ② 水田耕作地を通行する道路は、落堀防止、湛水浸食防止のため、山側のり面に保護工を設置し、またのり尻に落堀防止措置を施す（耕作地用の機能補償道路を設置など）。
  - ③ 山側への越流はないが横断函渠などにより津波の進入が予想される道路の場合、山側のり尻に引き波浸食防止の擁壁工を構築する。

概要	【一般的な2車線道路の場合】道路高さ3~4mに対し、道路幅員10m以上が目安	
多重防御道路 断面提案		
概要	水田耕作地通過の場合ー湛水浸食・落堀防止のため、のり面保護工、落堀防止策	越流が想定されない盛土ー引き波浸食回避のため、山側のり尻に擁壁工を構築
多重防御道路 断面 その他提案		

(4) 橋梁施設

1) 被災メカニズム

橋梁施設の被災メカニズムを示す。

被災パターン	発生頻度	被災メカニズム	被災による問題	影響度	対策イメージ案	被災事例
上部構造の流失	低	・津波による水平力及び上揚力 ・津波による漂流物の衝突	・道路分断による交通障害 ・災害復旧活動等への制約	高	・津波落橋防止構造の設置 ・漂流物衝突防護工の設置	・新北上大橋、折立橋、横津橋 ・定川大橋
上部構造の損傷	高	・津波による水平力及び上揚力 ・津波による漂流物の衝突	・防護柵等、道路付属物の損傷 ・主桁等の部分損傷	低	・漂流物衝突防護工の設置	・東西内海橋他多数
下部構造の流失	稀	・津波による水平力 ・津波による基礎周辺地盤の洗掘	・上部構造の落橋流失 ・道路分断による交通障害	高	・河床への護床工の設置 ・十分な根入れ深さの確保	・小泉大橋（国道45号）
下部構造の損傷	低	・津波による漂流物の衝突 ・上部構造流失時の偏荷重作用	・主構造部材へのひび割れ発生 ・下部構造再利用の可否	中	・漂流物衝突防護工の設置 ・被災しにくい構造の採用	・小泉大橋、歌津大橋（国道45号）
基礎構造の洗掘	高	・河川遡上時における津波流速 ・河床高低下による根入れ不足	・下部構造安定性能の低下 ・上部構造の落橋流失	高	・河床への護床工の設置 ・十分な根入れ深さの確保	・東西内海橋 ・定川大橋
橋台背面盛土の流失	高	・河川遡上時における津波流速 ・津波の道路盛土越流	・道路分断による交通障害 ・災害復旧活動等への制約	高	・粘り強い盛土構造の採用 ・橋台背面への擁壁構造等設置	・定川大橋、新小室大橋



<上部構造の流失（津波波力）>



<上部構造の流失（船舶衝突）>



<下部構造の流失>



<基礎構造の洗掘>



<橋台背面盛土の流失>

2) 対策案

橋梁施設の対策案を示す。

津波対策イメージ橋梁概念図

**盛土法尻部へのコンクリートブロック設置**  
 (津波による橋台背面盛土流出対策)  
**津波落橋防止構造設置**  
 (津波による上揚力対策)  
**主桁側面へのフェアリング装置**  
 (津波による水平力低減)  
**橋台背面への擁壁工設置**  
 (津波による橋台背面盛土流出対策)  
**極力桁高を低くする**  
 (津波による水平力低減)  
**小判楕円式橋脚**  
 (張出し梁損傷対策)  
**河床材料と流速に見合った根入れ深さ**  
 (津波による洗掘対策)  
**根固めブロック設置**  
 (津波による洗掘対策)  
**盛土法尻部への洗掘防止工**  
 (津波による橋台背面盛土流出対策)

**【望ましい橋梁構造】**

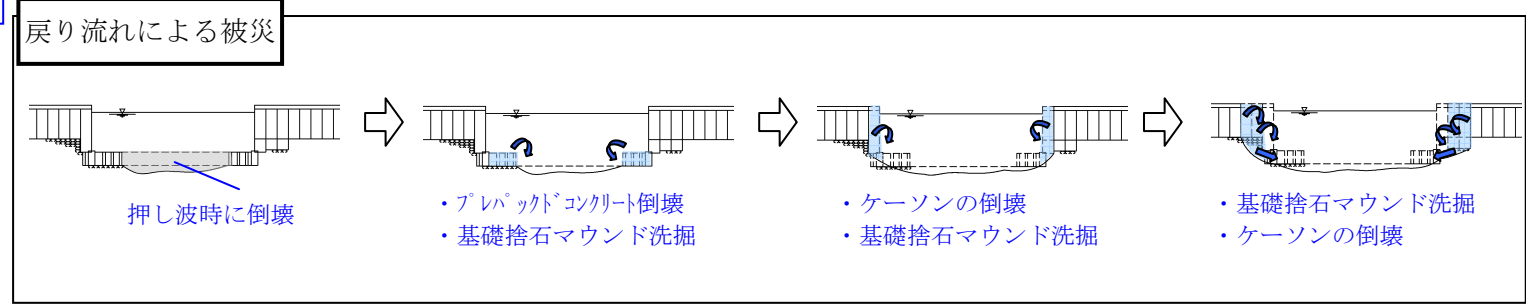
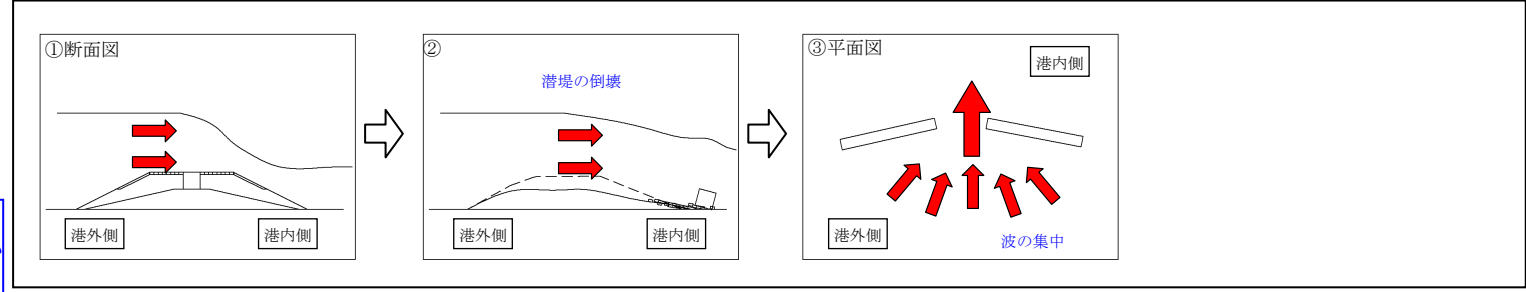
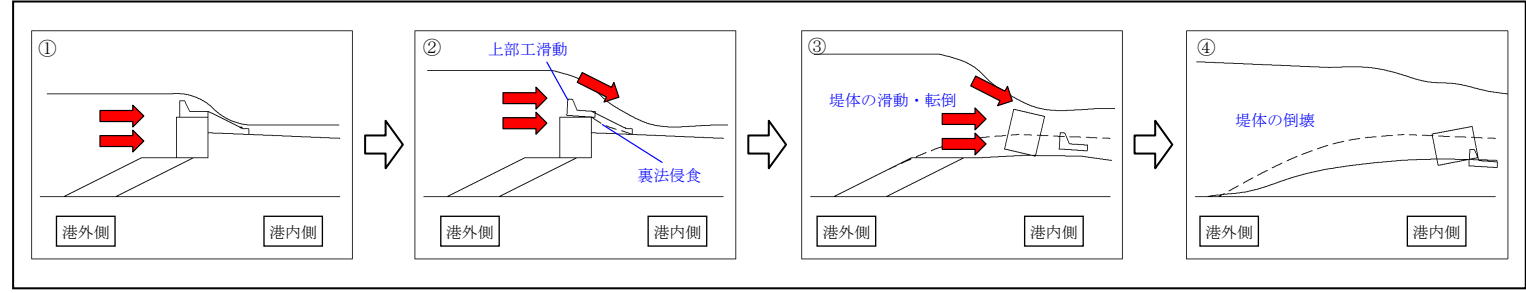
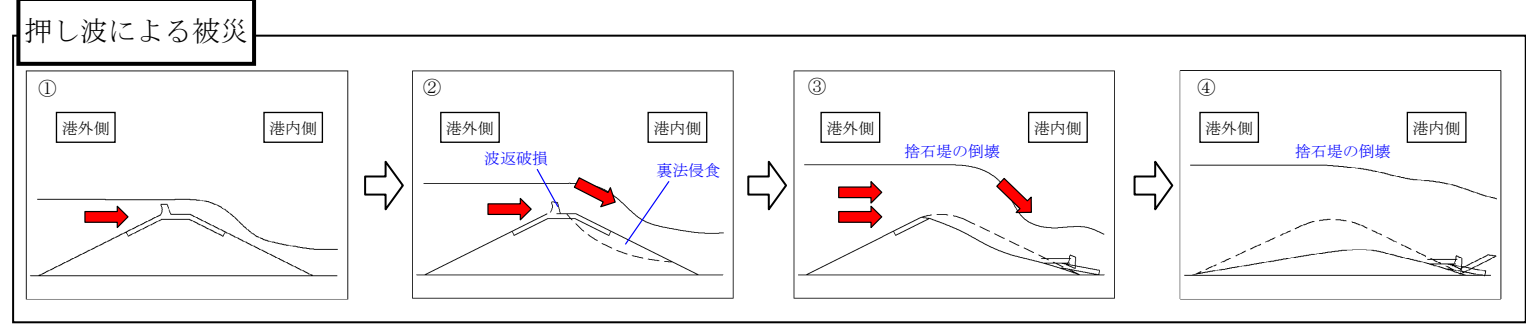
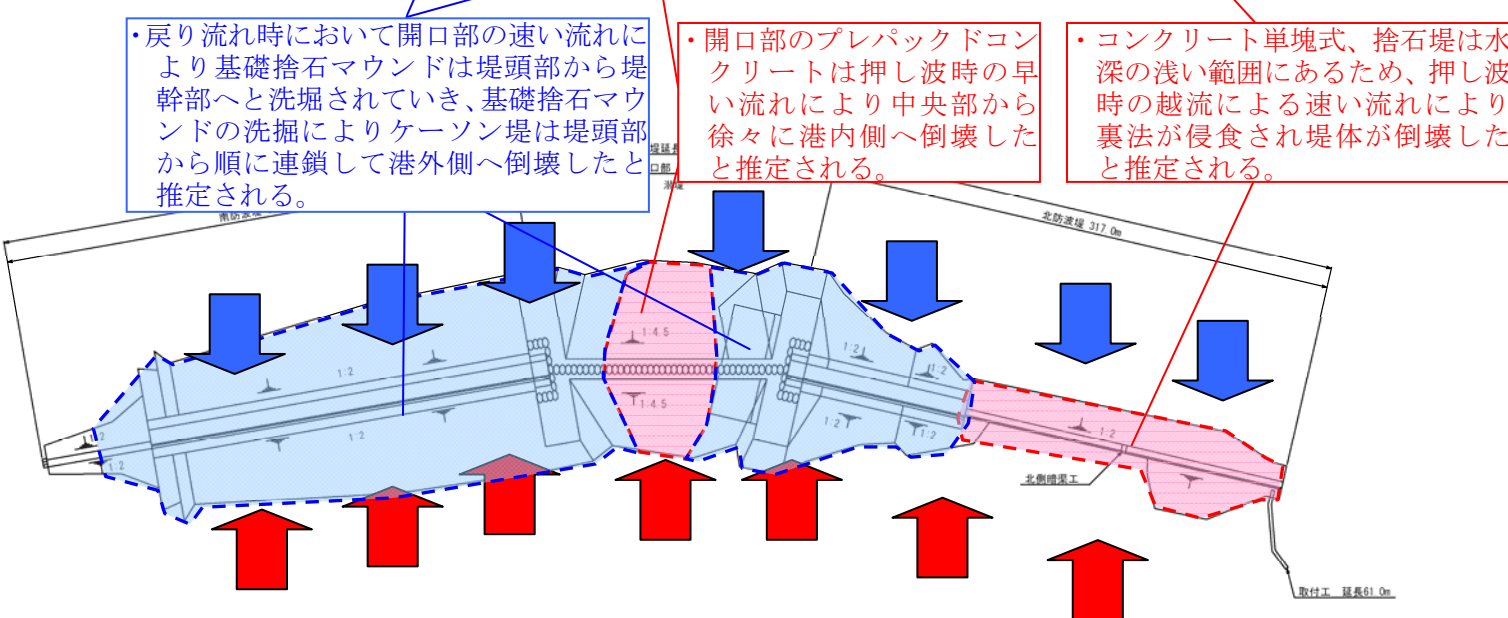
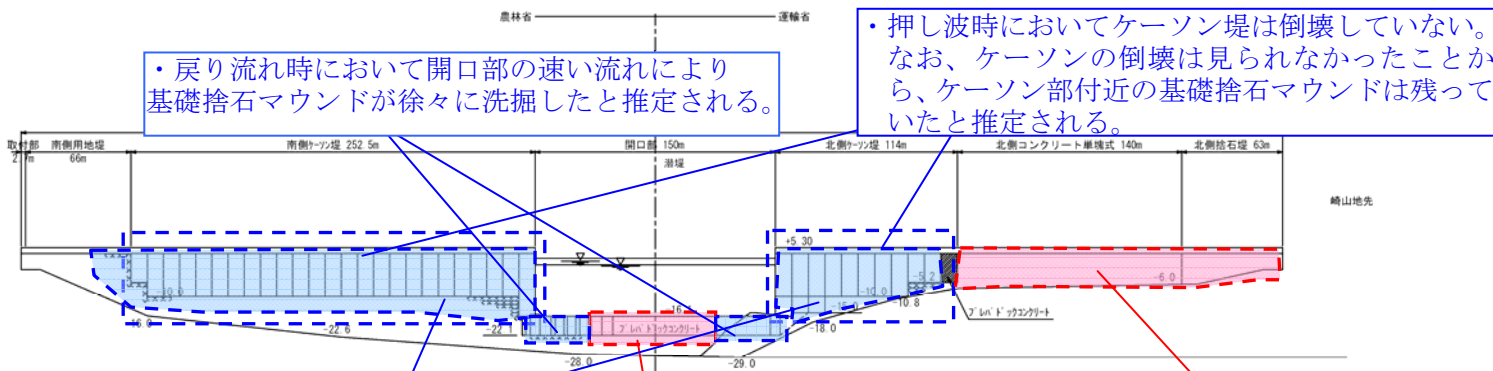
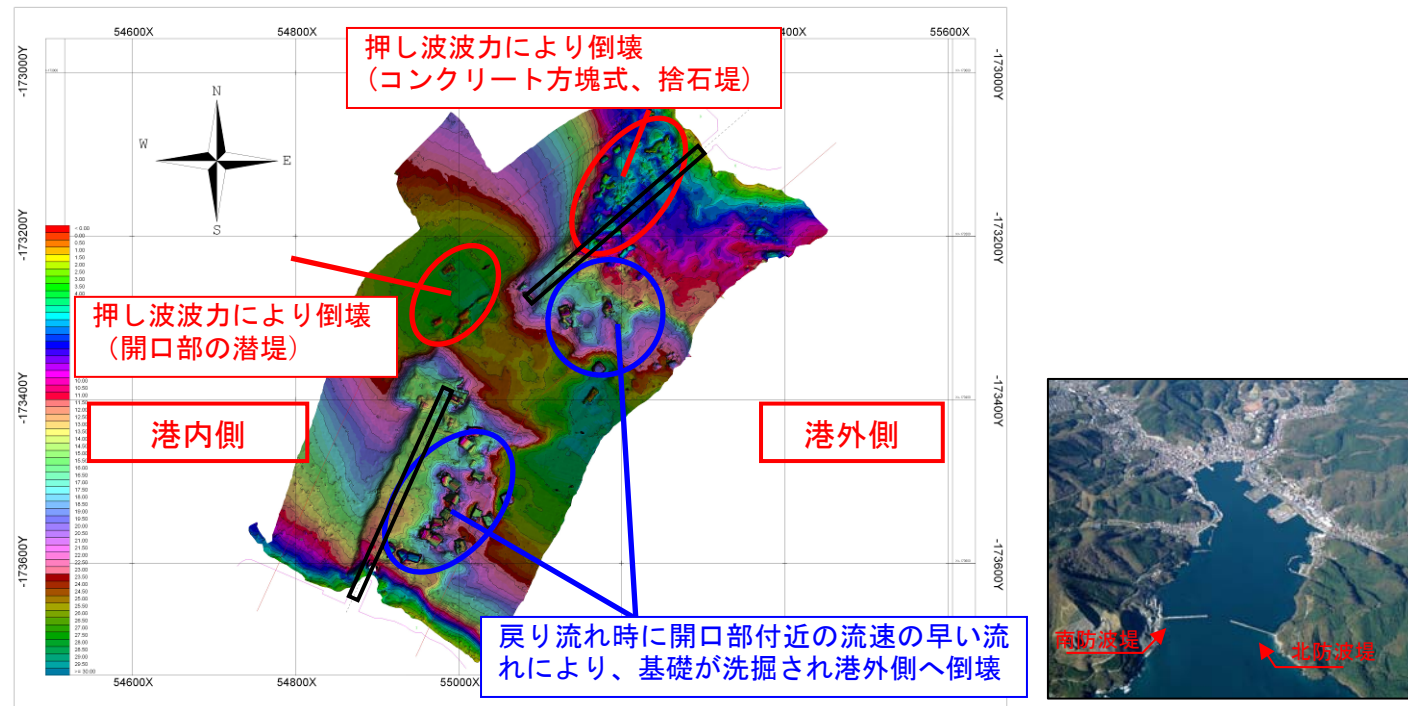
- ◆ 災害時緊急輸送路等、重要な位置付けにある橋梁は、津波による被災を避けるため、大きな桁下クリアランスの確保及び津波浸水区域の外へ計画する。
- ◆ 河床材料と津波流速に基づく根入れ深さ確保、護床工の設置による洗掘対策を計画する。
- ◆ 早期の災害復旧を可能とするため、橋梁取付部の盛土を含めた下部・基礎構造は健全な状態を保持できるように計画する。

※落橋防止構造とフェアリング装置の採用については、外力の算定、下部工への負担など、さらに解明すべき事項が多いことから今後の検討課題とする。

(5) 港湾、漁港施設 (女川港湾口防波堤を例として)

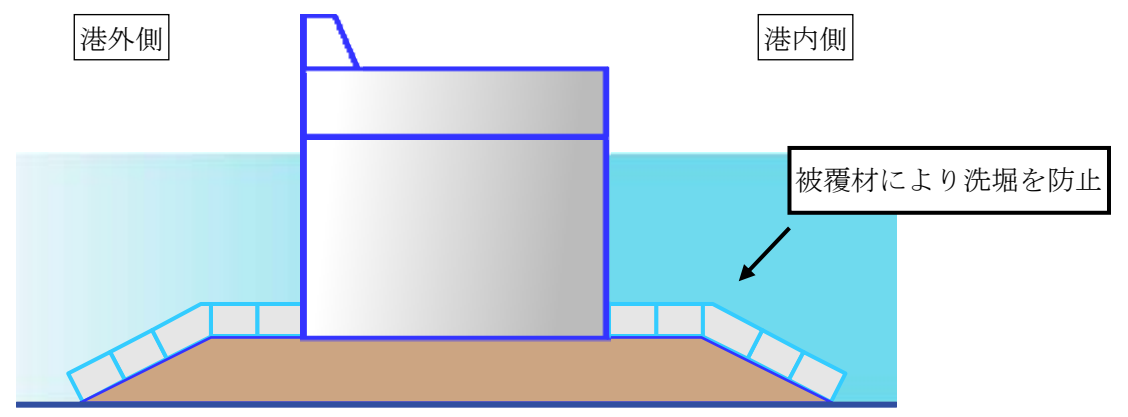
1) 被災メカニズム

女川港湾口防波堤の被災メカニズムを示す。



2) 対策案

港湾、漁港施設 (女川港湾口防波堤) の対策案を示す。



(6) 下水道施設

1) 被災メカニズム

下水道施設の被災メカニズムを示す。

被災メカニズム	防災メカニズム
<p>下水道施設は、<b>汚水の排除・処理による公衆衛生の確保、雨水の排除による浸水の防除、汚濁負荷削減による公共用水域の水質保全等</b>、住民の生活、社会経済活動を支える根幹的<b>社会基盤</b>である。よって、災害等で被災を受けた場合も<b>長期間の機能停止は避けねばならない施設</b>であり、また、被災後には疫学的リスクや浸水助長のリスクも保有するため、<b>被災後の二次災害もリスク管理しなければならない公共施設</b>と言える。以下に今回の地震・津波により下水道施設が受けた被害状況を述べる。</p> <p>■下水処理場</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・石巻東部浄化センターは旧北上川、仙塩浄化センターは貞山運河を津波が遡上し、被災を受けた処理場と県南浄化センターや山元浄化センターのように津波の直撃を受け被災した処理場がある。</li> <li>・処理場・ポンプ場被害の最も致命的であったものは、津波による浸水（2m～最大8m程度）で電気設備等が水没し、水処理施設や汚泥処理施設の機能が完全に停止してしまったこと、また復旧までに相当な時間を要する結果となったことである。</li> <li>・機械設備や露出配管においても各所で破損しており、土木・建築施設では建具、窓、扉等、特に津波の浸入方向に配置され、かつ津波の直撃を受けた場所はほとんどが破損している。</li> <li>・水処理施設で特に屋外式の施設はFRP製の蓋類は流され、活性汚泥の流出や土砂の流入、瓦礫の散乱等の被害が生じた。県南浄化センターでは、汚泥処理施設のガスタンクが津波により流された。</li> <li>・地震による液状化及び津波（押し波や戻り流れ）による洗掘により、場内の地盤沈下も各所で見受けられる。</li> </ul> <p>■下水ポンプ場</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ポンプ場は、揚水機能が絶たれ、マンホール等からの汚水流出により、衛生面や環境面での被害はもとより、道路冠水を助長する原因にもなった。</li> </ul> <p>■管路</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回の地震は管路施設にも広範囲に被害を及ぼしており、特に地盤沈下で常時冠水している場所や沿岸部で満潮になる度に冠水する地域では復旧対策を遅らせる原因となっている。</li> <li>・シールド工法や推進工法のようなトンネル施工で布設した管路より、浅い位置に開削工法で施工した小口径管路部において被害が集中している。特に埋戻し土に土砂を使用している場所は沈下等の被害が発生し、管路にも影響が出ている。また、マンホールの側塊がずれて浸入水が見られる箇所も多い。</li> </ul>	<p>■下水処理場、ポンプ場</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・土木・建築施設では、そのほとんどがRC構造であるため、構造上致命的な被害は免れた。また、岩盤層に支持した杭を有する主要構造物等では、沈下の被害もなかった。（左下写真）</li> <li>・石巻東部浄化センターの水処理施設1、2系の最初沈殿池・反応槽は、建屋内にある施設であったため、屋外施設のような蓋類の散乱、設備等の破損等は免れた。</li> <li>・設備鋼製架台においても下部が柱のみの構造は、津波荷重を受けることなく原形を留めて残った。（右下写真）</li> <li>・県南浄化センターは、水処理施設の1系から5系（1/2）まで被災を受けて機能停止しているが、5系（2/2）は土木施設のみ築造していた。このように予備の系列をもっていたことは、応急復旧の上でも対策が講じやすく有効であった。</li> <li>・被災を受けた3流域処理場は、それぞれバイパス水路を持っているが、石巻東部浄化センターでは、応急復旧のための一次処理に有効に活用されている。</li> </ul> <p>■管路</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・液状化対策を施している管路部は、今回の地震に対しても対策の効果があつた。特にマンホールの浮上防止には、ハットリング工法、フロートレス工法、アースドレーン工法等の対策を採用しており、被害はなかった。</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;">■ 県南浄化センター 脱水機棟（RC構造）</span> <span>■ 石巻東部浄化センター 汚泥搬出設備</span> </p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>■ 県南浄化センター 最初沈殿池の被災</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>■ 山元浄化センター 最終沈殿池の被災</p>  </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>■ 石巻東部浄化センター 最終沈殿池の被災</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>■ 山元浄化センター 沈砂池ポンプ棟周辺の洗掘</p>  </div> </div>

## 2) 対策案

下水道施設の対策案を示す。

### 対策イメージ

下水処理場を現位置で復旧する場合は、今回のような災害から完全防御することを目指すのではなく、被災を受けても**機能の優先順位を明らかにして速やかに復旧できるような施策**を念頭に考え、対策のメニューを整理することが現実的な策と言える。一方で処理場位置を変更する場合には、**計画地盤高の設定、処理場規模、処理場施設配置、及び最新技術を取り込んだ処理方式の選定や汚泥処理のあり方等**、システムから見直すことも必要である。

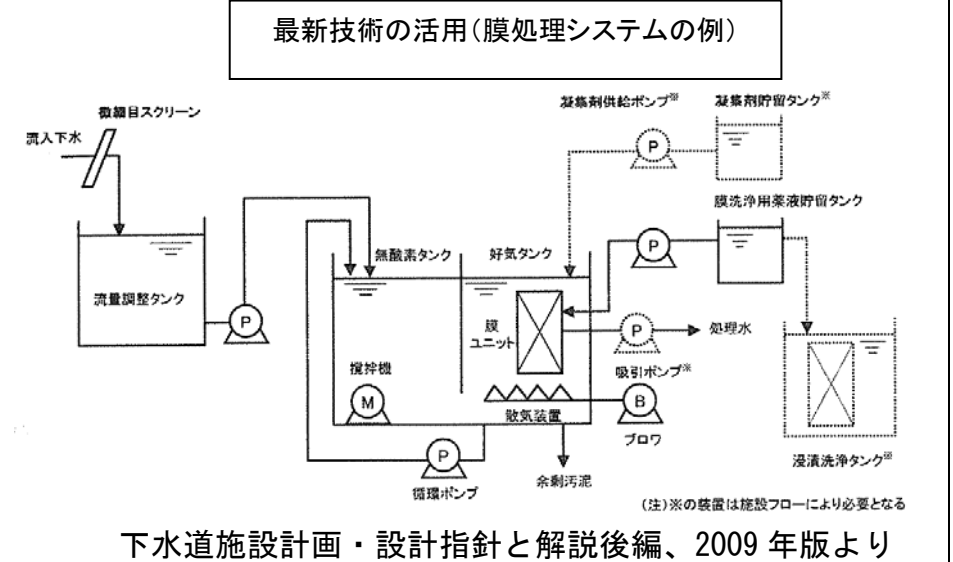
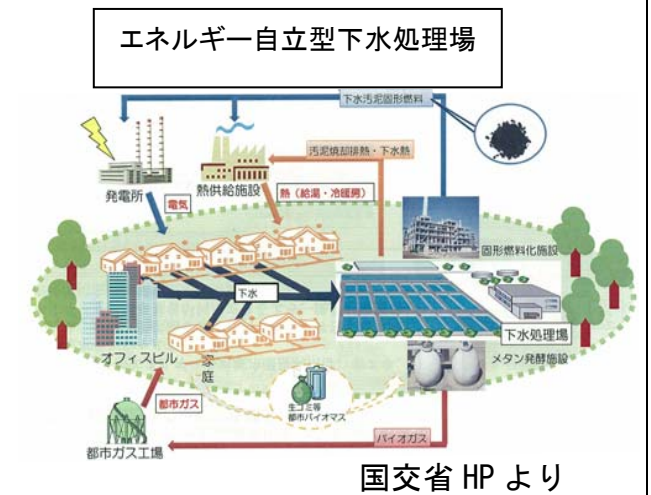
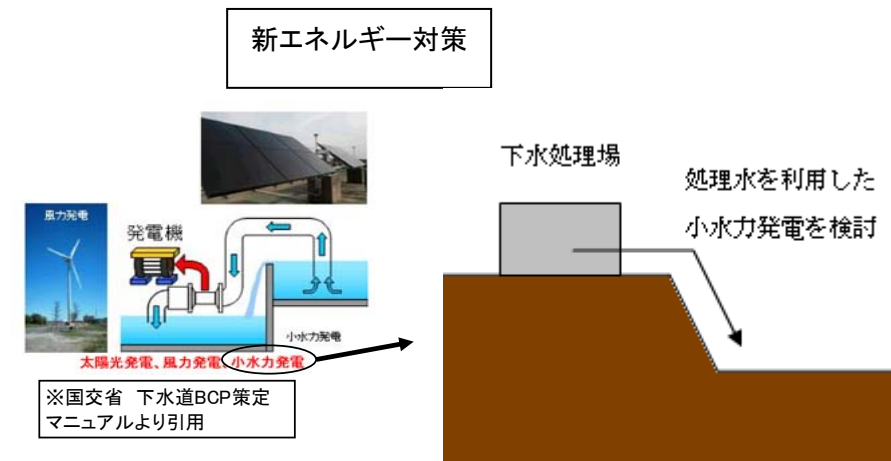
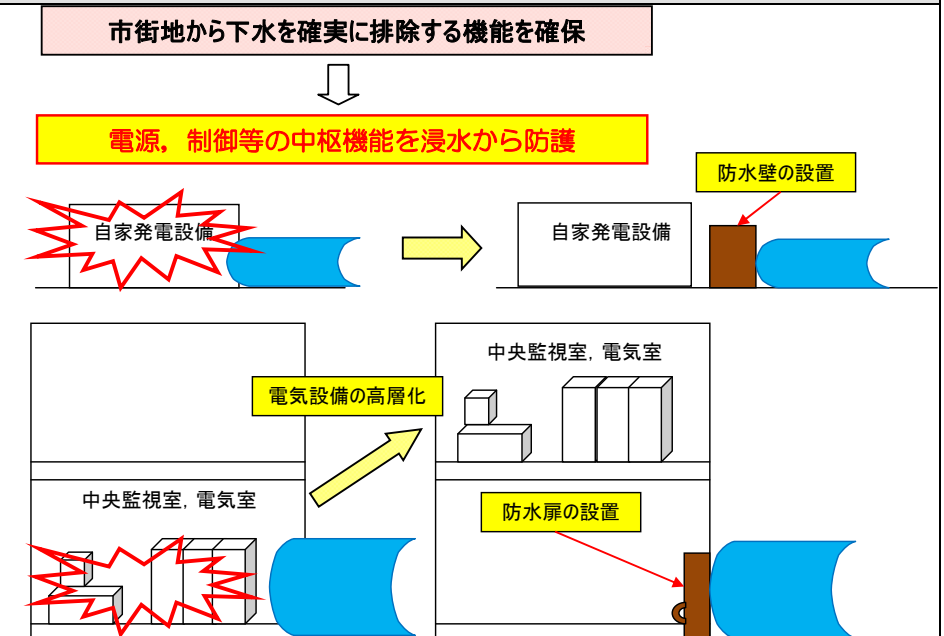
#### ■ 下水処理場、ポンプ場

##### <近々の対策>

- ・ **浸水防止対策**：処理場・ポンプ場は、津波により機械・電気設備が損壊したことから機能停止となり、市街地での未処理下水の溢水を引き起こした。復旧は、下水排除の中枢機能を確保するため、ポンプ室・電気室・監視制御室等の重要施設において防水扉等で浸水防止対策を図る。
- ・ **液状化対策**：管渠については、埋め戻土の材質や工法が液状化を起こす一端になったものと考えられるため、セメントによる土砂の固化処理を行ったもので埋め戻し、再度の地震に対する液状化対策を図る。

##### <将来的な対策>

- ・ **避難場所の確保**：管理棟や汚泥処理棟等、高層階を持つ場内の建築施設は屋上部を避難場所として地域住民にも開放し活用する。
- ・ **水処理施設や地上タンクの防護**：カバーのない水処理施設は、コンクリート造のカバー設置や覆土方式、建屋で覆う等、現地にあった対策を検討する。地上タンクは、タンク基礎周囲を防護壁で囲んだり、盛土で基礎部を保護する等の対策を検討する。
- ・ **機器の選定やバックアップ機能の充実**：汚水ポンプ設備は、主ポンプ室そのものの水密化を実施するとともに、用水設備がなくても対応できる無注水型ポンプの採用等を検討する。また、設備の機能停止に備え、予備・転用等のバックアップを充実させることを検討する。
- ・ **開口部の設置位置**：津波の浸入方向側には開口部等を設けないように配慮する。
- ・ **洗掘箇所の対応**：場内の洗掘箇所（特に構造物周辺の埋戻し土砂）は、砕石や改良土で埋戻しを行うことを検討する。
- ・ **バイパス水路の検討**：ポンプ設備の揚水機能が停止しても、管路部の人孔から溢水しない水位レベル下でポンプアップを必要としない新たなバイパス水路築造を検討する。
- ・ **新エネルギー対策**：新エネルギー対策として、処理場敷地を利用した太陽光発電や風力発電、下水処理水で放流落差を利用した小水力発電を検討する。このような自然エネルギーを保有することで、災害時の作業電源も確保が可能となる。また、将来的には、低炭素都市づくりに貢献できる下水道エネルギーの自立を目指し、下水処理場が地産地消型再生可能エネルギー供給拠点として機能し、下水処理で発生する下水汚泥と都市部で発生する生ゴミ等の都市バイオマスを集約処理し、再生可能エネルギーを固形燃料やバイオガス、汚泥焼却廃熱、下水道熱等の形で地域に還元するような仕組みを検討していくことも重要な役割である。
- ・ **最新技術の活用**：既存の処理場が被災し機能復旧までの間、被災を免れた処理区の応急汚水処理対策として仮設処理場を設置する場合や復興計画に基づき、新たな処理場施設を検討する場合は、計画処理人口や計画水量の検討に加え、処理場施設は、省面積、工期短縮が可能でかつ水環境保全に寄与できる最新技術を取り入れたシステムとコンパクトで強固な構造形式を検討する。また、処理水は再利用可能な施設整備を行い、移転候補地に集約された公共公益施設での中水利用等を検討する。

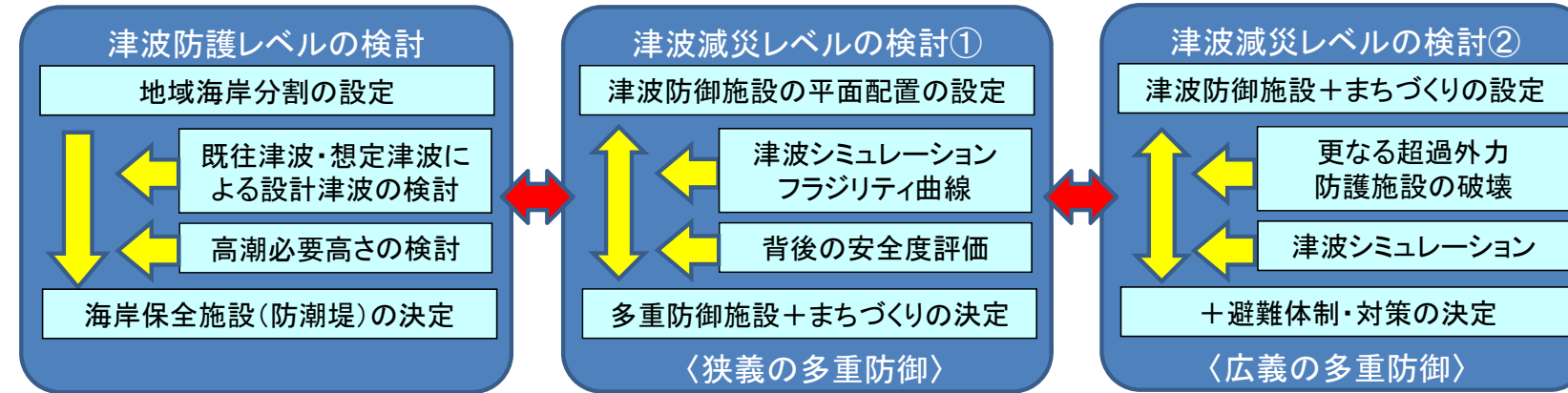


4. 沿岸防御計画

(1) 沿岸防災の基本的考え方

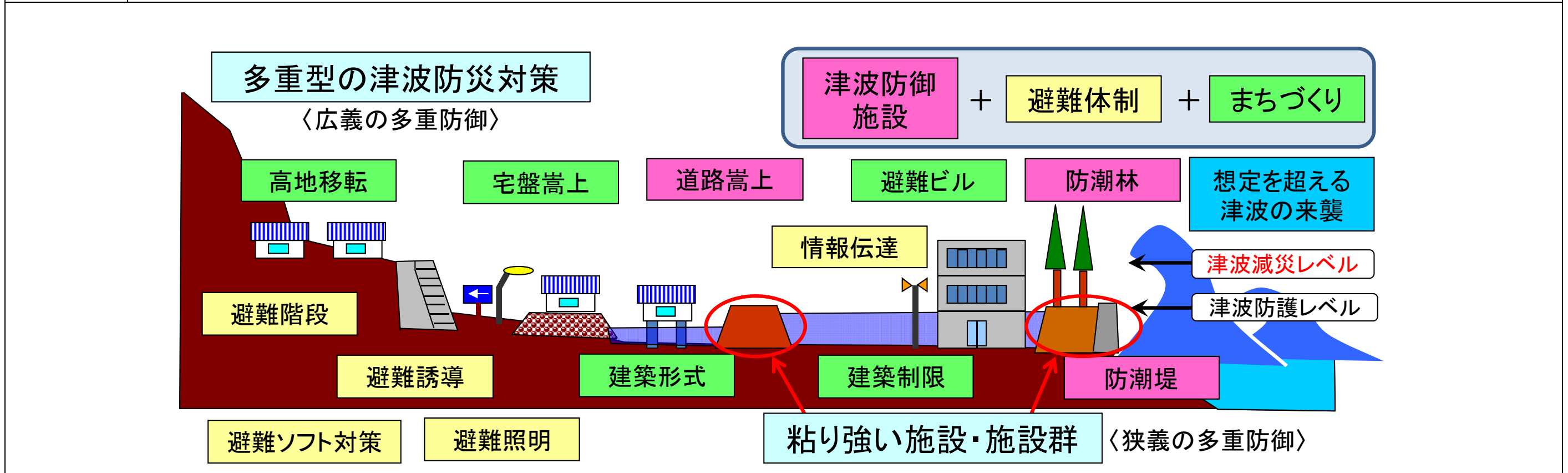
沿岸防御計画の目的を示す。

【本検討会】：工学的な観点で、津波から人命を守るために必要な公共土木施設の配置および住居等の配置を把握することを目的に実施



沿岸防御計画を検討する上での条件を示す。

津波レベル	津波防護レベル (津波レベル1) : 海岸保全施設の設計で用いる津波高さ。数十年から百数十年に一度の津波を対象とし、人命及び資産を守るレベル
	津波減災レベル (津波レベル2) : レベル1をはるかに上回り、構造物対策の適用限界を超過する津波に対して、人命を守るために必要な最大限の措置を行うレベル (今回の検討会では今次津波を想定)



(2) 津波防護レベルの検討

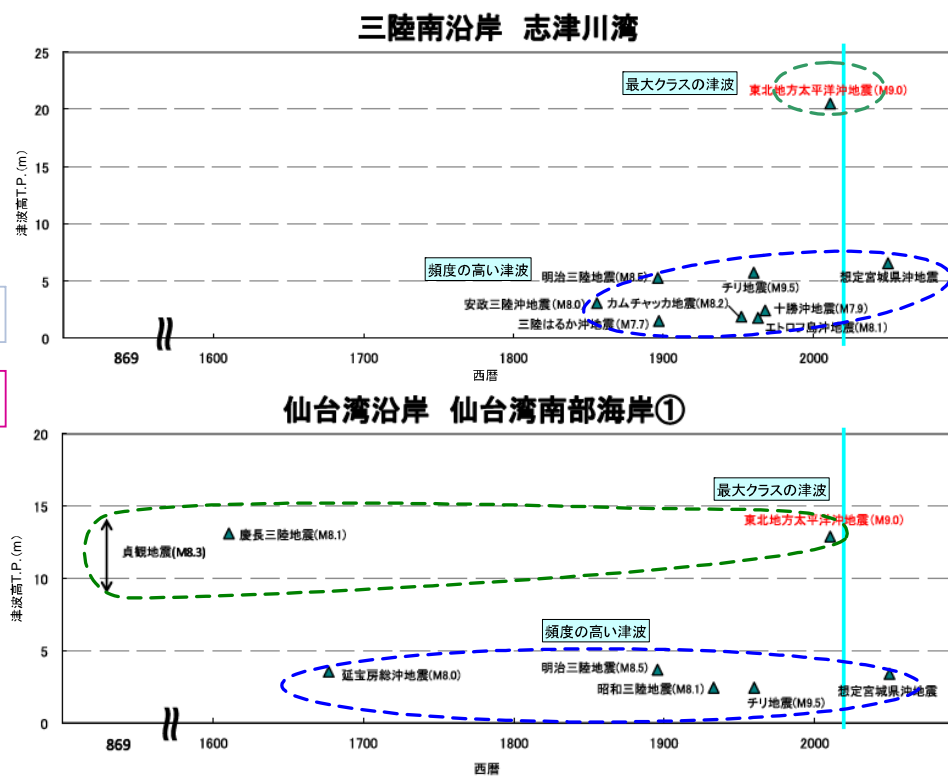
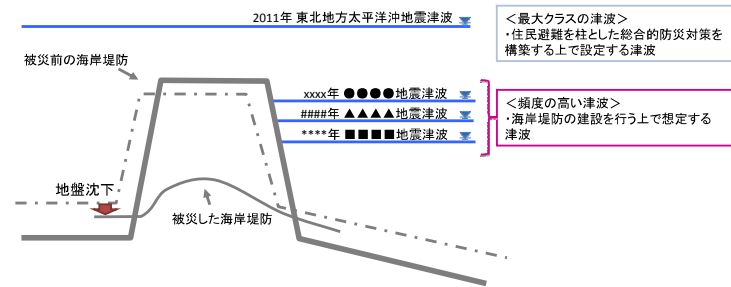
津波防護レベルに対応した防潮堤を検討するにあたり設定した地域沿岸の分割状況と過去の地震の発生状況を示す。  
また、地域海岸ごとに設定された計画堤防高を示す。



地震名	マグニチュード	発生年
貞観地震	8.3	869
慶長三陸地震	8.1	1611
延宝三陸沖地震	7.3	1677
延宝房総沖地震	8.0	1677
青森県東方沖地震	7.5	1763
寛政宮城沖地震	8.2	1793
宮城県沖地震	7.5	1835
安政三陸沖地震	8.0	1856
宮城県沖地震	7.4	1861
イキケ地震	8.2	1877
根室半島南東沖地震	7.9	1894
明治三陸地震	8.5	1896
宮城県沖地震	7.4	1897
三陸はるか沖地震	7.7	1897
昭和三陸地震	8.1	1933
十勝沖地震	8.2	1952
カムチャッカ地震	8.2	1952
チリ地震	9.5	1960
エトロフ島沖地震	8.1	1963
十勝沖地震	7.9	1968
東北地方太平洋沖地震	9.0	2011

単位:m(T. P.)

地域海岸名 ※1	今次津波 痕跡高	設計津波		設計津波 から求めた 必要堤防高 ※2	津波>高潮 のチェック ※3	新計画堤防高 ※4	被災前 現況堤防高
		対象地震	設計津波の 水位 ※2				
唐桑半島東部	14.4	明治三陸地震	10.3	11.3	○	11.3	4.5~6.1
唐桑半島西部①	24.0	明治三陸地震	10.2	11.2	○	11.2	4.0~4.5
唐桑半島西部②	13.8	明治三陸地震	8.9	9.9	○	9.9	2.5~3.2
気仙沼湾	14.6	明治三陸地震	6.2	7.2	○	7.2	2.8~4.5
気仙沼湾奥部	8.9	明治三陸地震	4.0	5.0	○	5.0	2.8~4.5
大島東部	12.1	明治三陸地震	10.8	11.8	○	11.8	1.8~4.5
大島西部	12.1	明治三陸地震	6.0	7.0	○	7.0	2.5~5.1
本吉海岸	18.8	明治三陸地震	8.8	9.8	○	9.8	2.5~5.5
志津川湾	20.5	想定宮城県沖 地震	7.7	8.7	○	8.7	3.6~5.1
追波湾	14.9	明治三陸地震	7.4	8.4	○	8.4	2.6~4.5
雄勝湾	16.3	明治三陸地震	5.4	6.4	○	6.4	3.1~5.9
雄勝湾奥部	16.3	明治三陸地震	8.7	9.7	○	9.7	4.1~5.9
女川湾	18.0	明治三陸地震	5.6	6.6	○	6.6	3.2~5.8
牡鹿半島東部	20.9	明治三陸地震	5.9	6.9	○	6.9	4.4~5.1
牡鹿半島西部	10.5	チリ地震	5.0	6.0	○	6.0	2.9~4.6
万石浦	2.4	チリ地震	1.5	2.5	○	2.6	2.6
石巻海岸	11.4	明治三陸地震	3.4	4.4	高潮にて決定	7.2	4.5~6.2
松島湾	4.8	チリ地震	3.3	4.3	○	4.3	2.1~3.1
七ヶ浜海岸①	8.9	明治三陸地震	4.4	5.4	○	5.4	3.1~5.0
七ヶ浜海岸②	11.6	明治三陸地震	5.8	6.8	○	6.8	5.0~6.2
仙台湾南部海岸①	12.9	明治三陸地震	5.3	6.3	高潮にて決定	7.2	5.2~7.2
仙台湾南部海岸②	13.6	明治三陸地震	5.2	6.2	高潮にて決定	7.2	6.2~7.2



※1 地域海岸とは「湾の形状や山付け等の自然条件」、「文献や被災履歴等の過去に発生した津波の実績津波高さ及びシミュレーションの津波高さ」から同一の津波外力を設定しようと判断される一連の海岸線に分割したものである。  
 ※2 一の地域海岸に対しては、一の設計津波の水位を設定することを基本とするが、設計津波の水位が当該地域海岸内の海岸線に沿って著しく異なる場合、地域海岸を分割して複数の設計津波の水位を定めため、必要堤防高の設定が異なる場合がある。  
 ※3 津波による堤防高設定が高潮による設定よりも大きくなる場合は「○」、小さくなる場合は「高潮にて決定」。  
 ※4 新計画堤防高は、環境保全、周辺景観との調和、経済性、維持管理の容易性、施工性、公衆の利用等を総合的に考慮して、海岸保全基本計画に定めるものである。整備段階における海岸堤防高さは、計画堤防高の範囲内で暫定的な高さとする場合がある。

(3) 津波減災レベルの検討手法

1) 津波シミュレーション

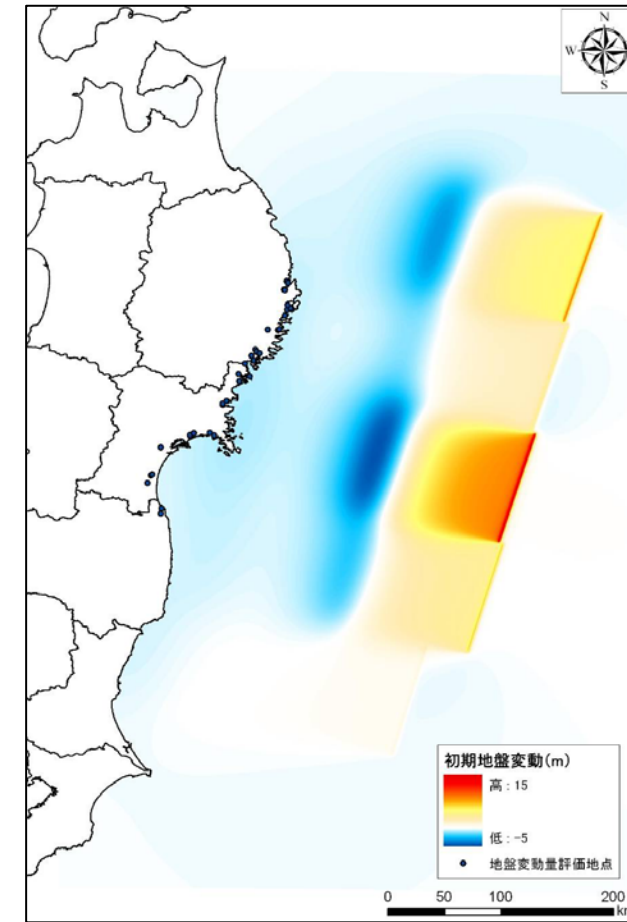
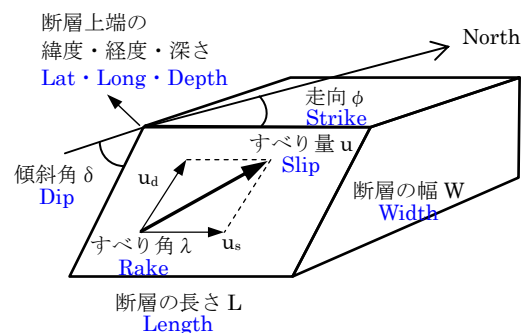
津波シミュレーションに用いた計算条件と断層パラメータを示す。

表-1 計算条件一覧

項目	設定条件
解析領域	太平洋～宮城県沿岸
メッシュ構成	沖合から A領域：450m(太平洋沖) B領域：150m(三陸南沖) C領域：50m(福島県北部～岩手県南部沿岸) D領域：10m(宮城県沿岸各地)
初期条件	下記の方針により断層パラメータを検討し、Okada (1985) により海底地盤の鉛直変位量を与えた。 ■ 陸側のセグメント …国土地理院の発表している地盤変動量の実績値と整合が取れるよう設定 ■ 海溝側のセグメント …宮城県・岩手県の浸水実績に合うようにそれぞれ設定
潮位補正等	潮位補正 T.P.-0.42m (鮎川験潮所の推算潮位、津波最大波到達時)
構造物	海岸構造物有 (破壊されない) パターンで計算
計算時間	津波の最大波を十分含む時間帯として地震発生後3時間 時間解像度：0.1sec

表-2 各セグメントのパラメータ

セグメント No.	lat (°N)	long (°E)	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Slip (m)
1	40.168	144.507	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	20.00
2	39.300	144.200	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	10.00
3	38.424	143.939	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	35.00
4	37.547	143.682	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	15.00
5	36.730	143.070	100.0	100.0	1.0	193.0	14.0	81.0	2.50
6	40.367	143.394	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	1.00
7	39.496	143.100	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	3.00
8	38.620	142.853	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	4.00
9	37.744	142.609	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	2.00
10	36.926	142.009	100.0	100.0	24.2	193.0	14.0	81.0	2.00



各セグメントの位置

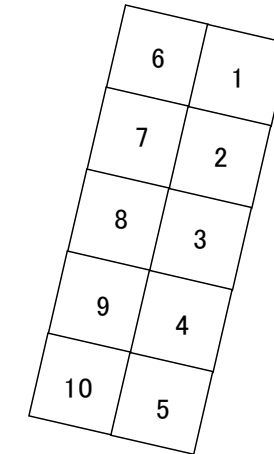


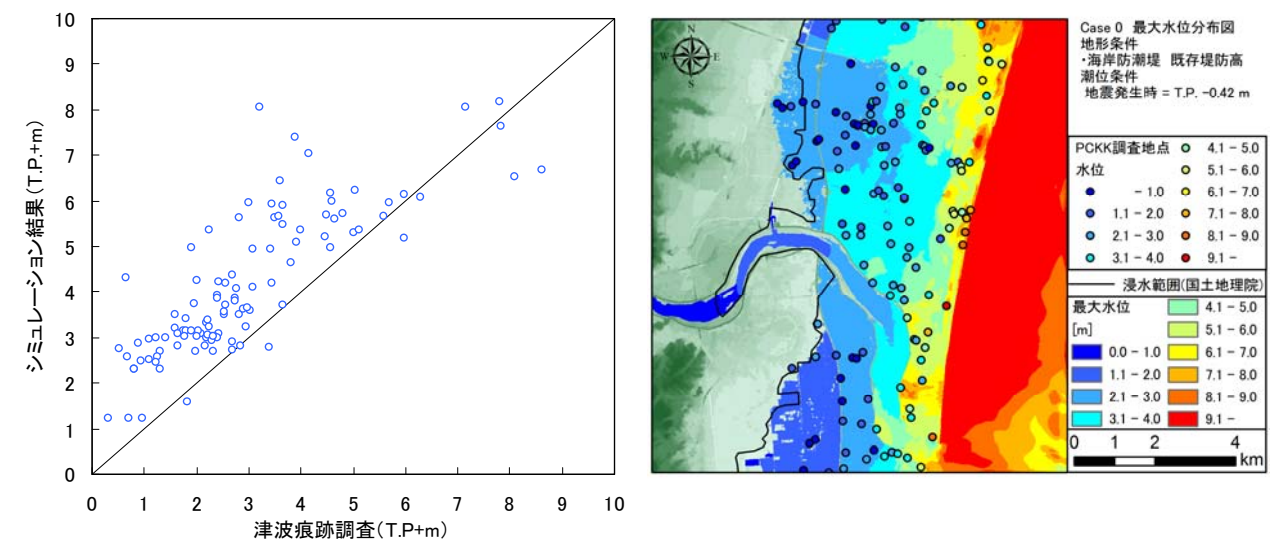
表-3 計算結果一覧

	本検討モデル	再現性に必要とされる範囲
K 値	0.96	$0.95 \leq K \leq 1.05$
$\kappa$ 値	1.21	$\kappa \leq 1.45$

※本検討では、地形・構造物の影響を受けにくいと考えられる宮城県沿岸部の浸水高を対象に K、 $\kappa$  値を算出した。

2) シミュレーションの再現性

津波シミュレーション結果と津波痕跡調査を比較したものを以下に示す。





### 3) 津波による住宅の被害関数

シミュレーション結果と家屋の被害状況を比較した結果を以下に示す。

#### 家屋被害状況と浸水深、流速（岩沼市周辺）

##### 家屋被害状況と浸水深さ、流速の関係①

###### 【岩沼市を対象とした建物被害率の検討】

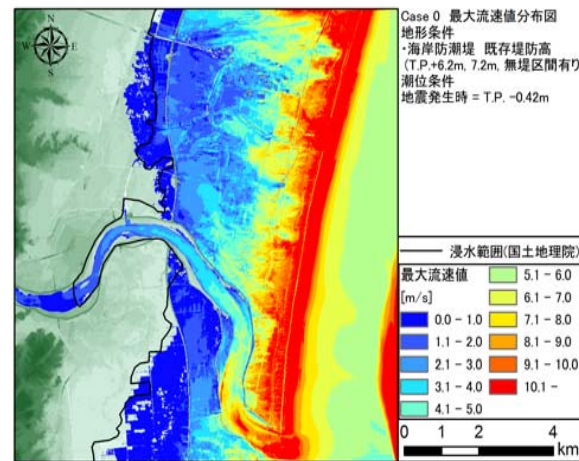
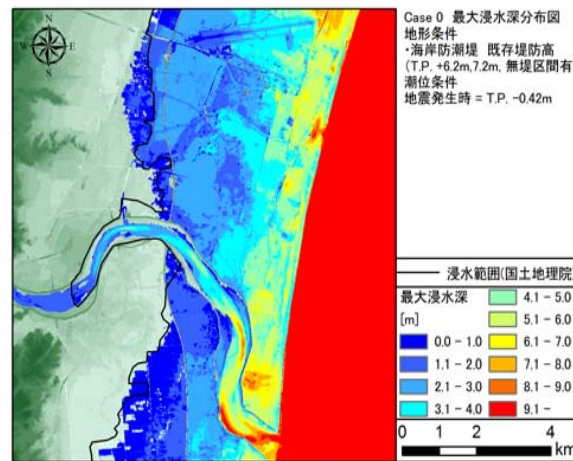
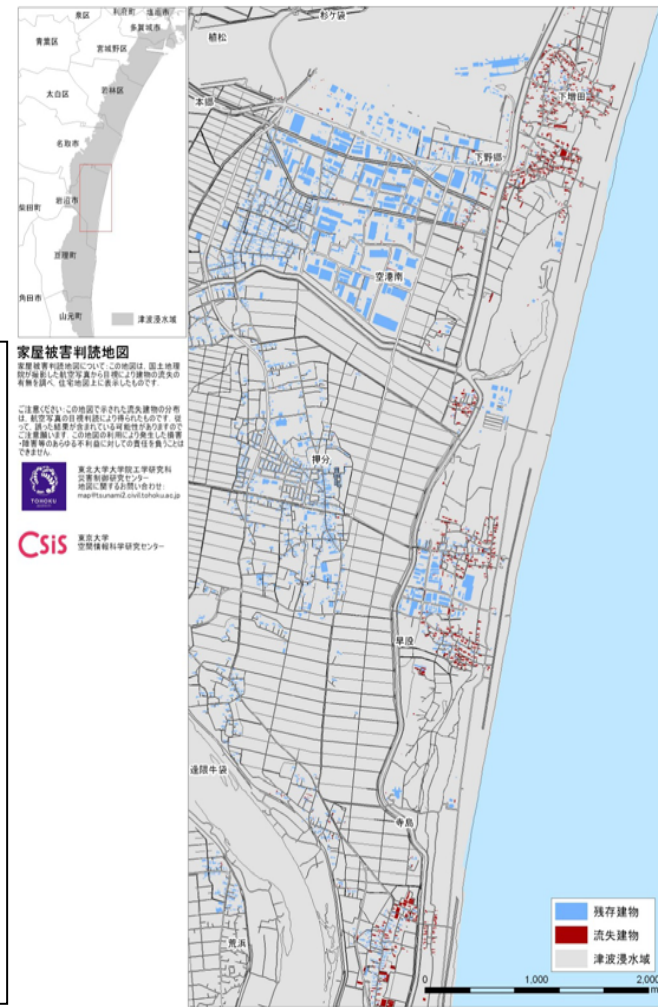
■東北大学らによる建物被害の航空写真からの目視判読調査結果とシミュレーション結果（浸水深・流速）を比較し、津波規模と建物被害率の関係を算定する。

###### ■検討条件

- ・ 検討対象とする範囲：本紙面の表示範囲
- ・ 検討対象とする建物戸数：4,473戸
- ・ 建物構造形式：木造、RC等の形式が混在

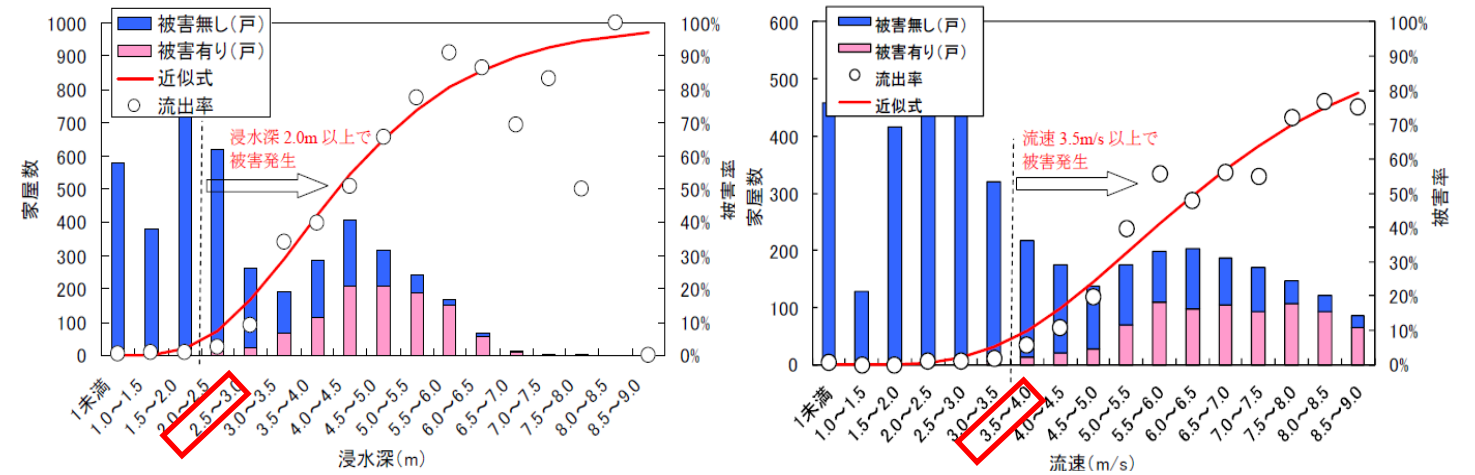
###### ■シミュレーション結果

岩沼市における現況再現計算の浸水深・流速を使用



##### 家屋被害状況と浸水深さ、流速の関係②

#### 岩沼市周辺におけるシミュレーション結果による fragility 曲線

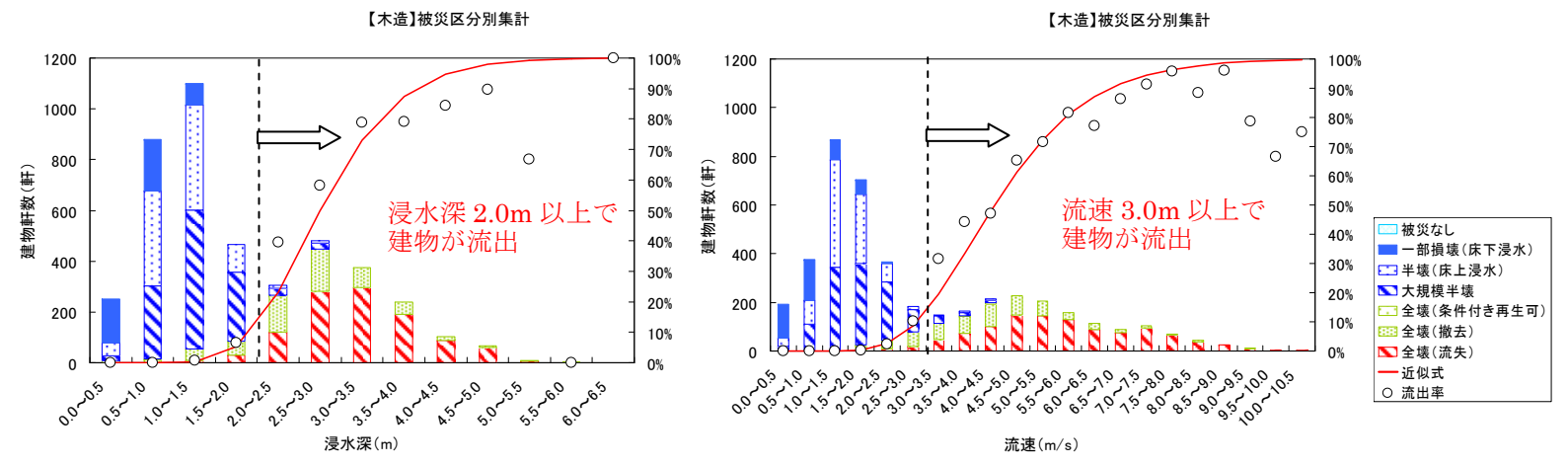


※ 本検討対象範囲においては、浸水深が2.0m、流速が3.5m/sを超えた時点から家屋被害が発生している。



浸水深が2.0m以下、流速が3.5m/s以下となる地域を住居地域に設定することが望ましい

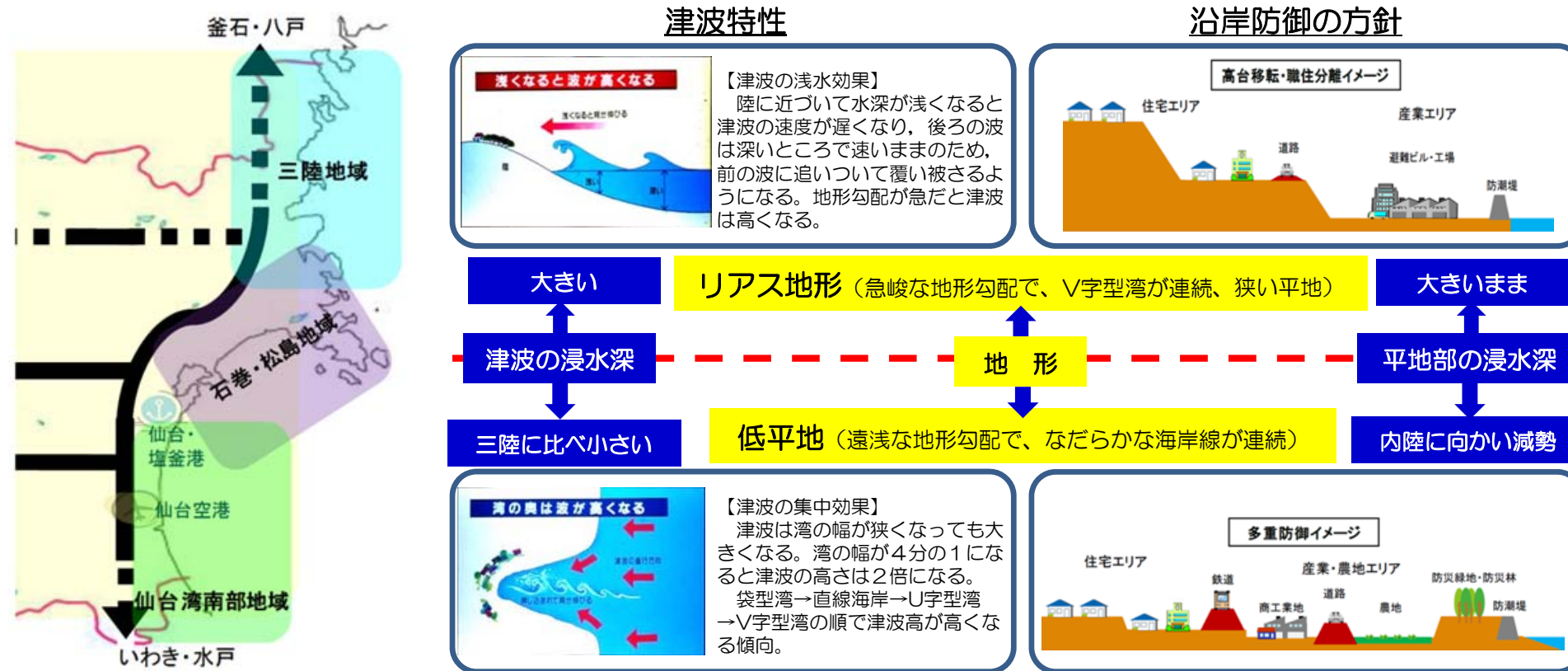
「平成 23 年度東北地方太平洋沖地震による津波被災地における被災現況調査、国交省」による木造構造物の被害状況と浸水深、流速の関係を比較したものを以下に示す。



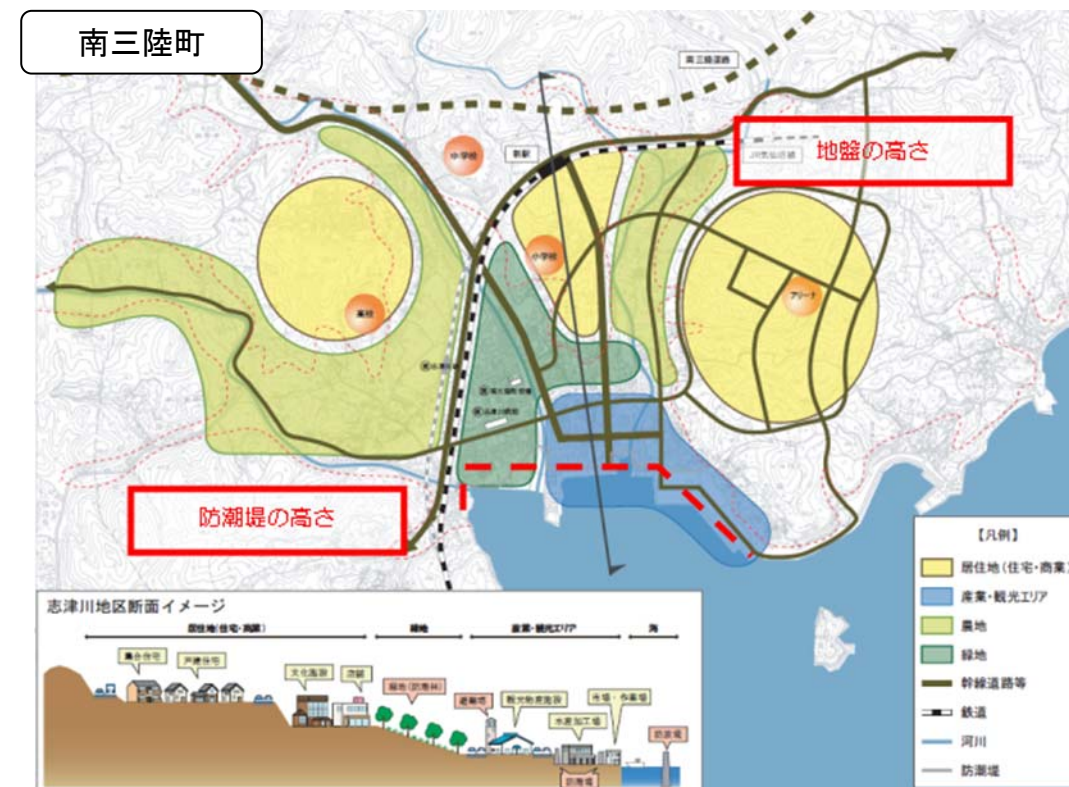
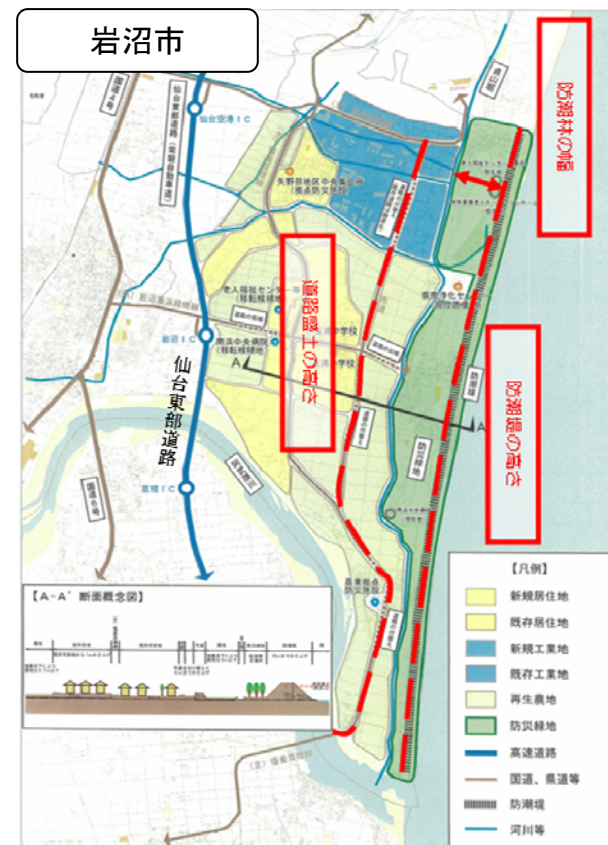
(4) 津波減災レベルの検討

1) 地形条件による津波特性を踏まえた沿岸防御の基本方針

宮城県における地形条件による津波特性を踏まえた沿岸防御の基本方針を示す。



岩沼市、南三陸町を例として、「仙台湾南部地域」と「三陸地域」の沿岸防御計画の検討を行う。



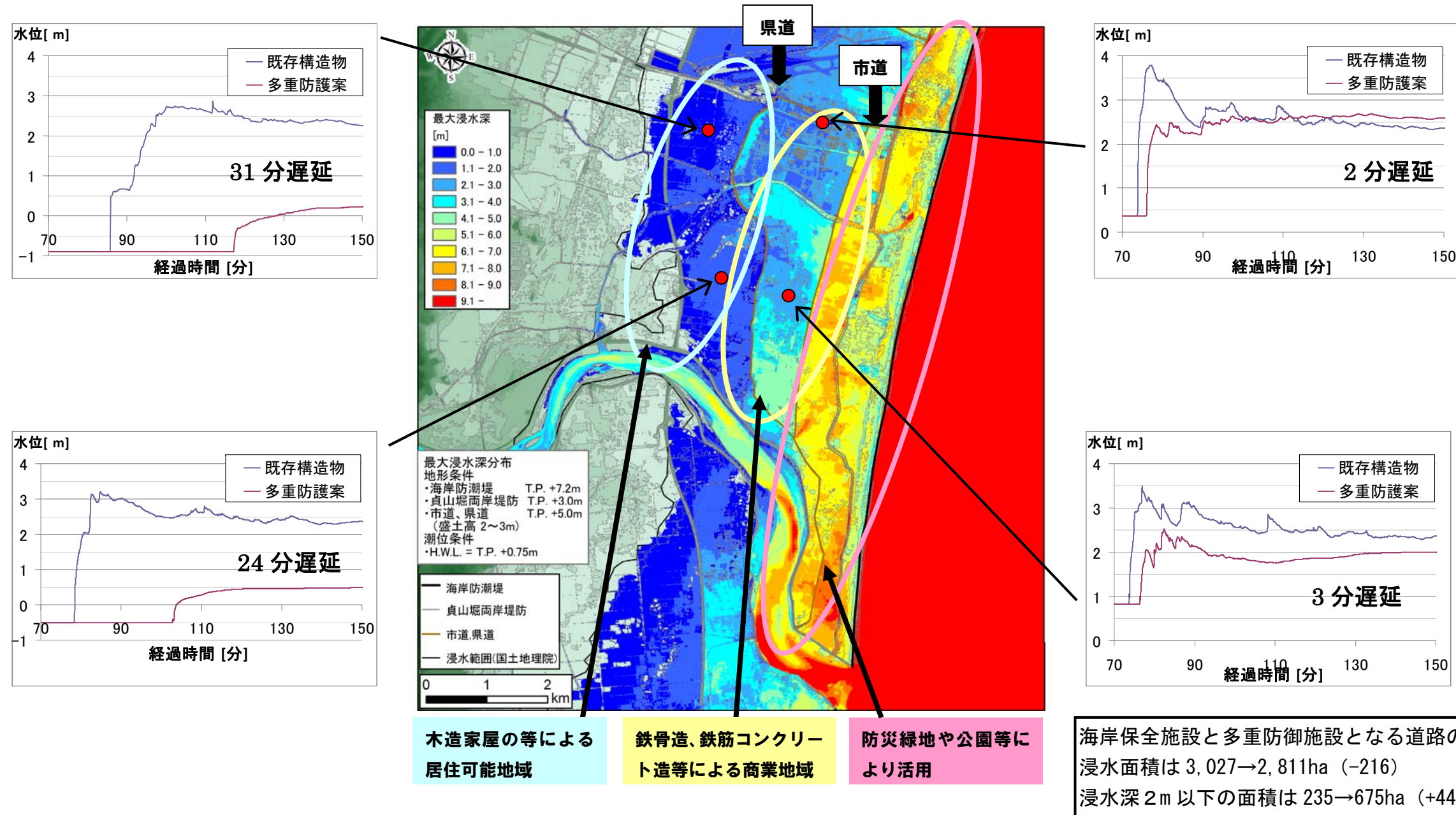
2) 仙台湾南部地域での検討(岩沼市)

岩沼市で防潮堤、市道、県道の嵩上げにより、津波対策を行った場合のシミュレーション結果を示す。

岩沼市	Case0	Case1	Case2	Case3
津波	津波減災レベル(今次津波)	津波減災レベル(今次津波)	津波減災レベル(今次津波)	津波減災レベル(今次津波)
潮位	T.P.-0.42m(今次津波発生時)	T.P.+0.75m(H.W.L)	T.P.+0.75m(H.W.L)	T.P.+0.75m(H.W.L)
防潮堤	無堤、T.P.+6.2m、T.P.+7.2m(地震前)	無堤、T.P.+6.2m、T.P.+7.2m(地震前)	T.P.+7.2m	T.P.+7.2m
市道	—	—	—	T.P.+5m(盛土高3m)
県道	—	—	—	T.P.+5m(盛土高3m)
検討目的	平成23年3月11日の津波を再現	3月11日の同じ津波で、潮位がHWLだった場合を想定	防潮堤を全線で整備完了した場合を想定	防潮堤を全線で整備完了に加え、市道と県道両方を嵩上げした場合を想定
結果	<p>Case 0 最大浸水深分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 既存堤防高 (T.P.+6.2m, 7.2m, 無堤区間有) 潮位条件 地震発生時 = T.P. -0.42m</p> <p>Case 0 最大流速値分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 既存堤防高 (T.P.+6.2m, 7.2m, 無堤区間有) 潮位条件 地震発生時 = T.P. -0.42m</p>	<p>Case 1 最大浸水深分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 既存堤防高 (T.P.+6.2m, 7.2m, 無堤区間有) 潮位条件 H.W.L = T.P. +0.75m</p> <p>Case 1 最大流速値分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 既存堤防高 (T.P.+6.2m, 7.2m, 無堤区間有) 潮位条件 H.W.L = T.P. +0.75m</p> <p>浸水深が増加する</p>	<p>Case 2 最大浸水深分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 T.P.+7.2m 潮位条件 H.W.L = T.P. +0.75m</p> <p>Case 2 最大流速値分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 T.P.+7.2m 潮位条件 H.W.L = T.P. +0.75m</p> <p>Case1 に比べ浸水深が低下する</p>	<p>Case 3 最大浸水深分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 T.P.+7.2m 市道嵩上げ T.P.+5m 県道嵩上げ T.P.+5m 潮位条件 H.W.L = T.P. +0.75m</p> <p>Case 3 最大流速値分布図 地形条件 ・海岸防潮堤 T.P.+7.2m 市道嵩上げ T.P.+5m 県道嵩上げ T.P.+5m 潮位条件 H.W.L = T.P. +0.75m</p> <p>浸水深 2m 以下にすることが可能</p>
メリット	—	—	浸水深が全体的にやや低下	県道以西は浸水深 2m 以下とできる。市道と県道の間の浸水深も比較的低下させることができる。
デメリット	—	潮位が高くなる分、浸水深が増加	まだ浸水深が高い	県道と市道の間に津波が浸入すると、排水することが難しく、長時間湛水する。

津波シミュレーション結果より、岩沼市に適した土地利用のゾーニングを示す。

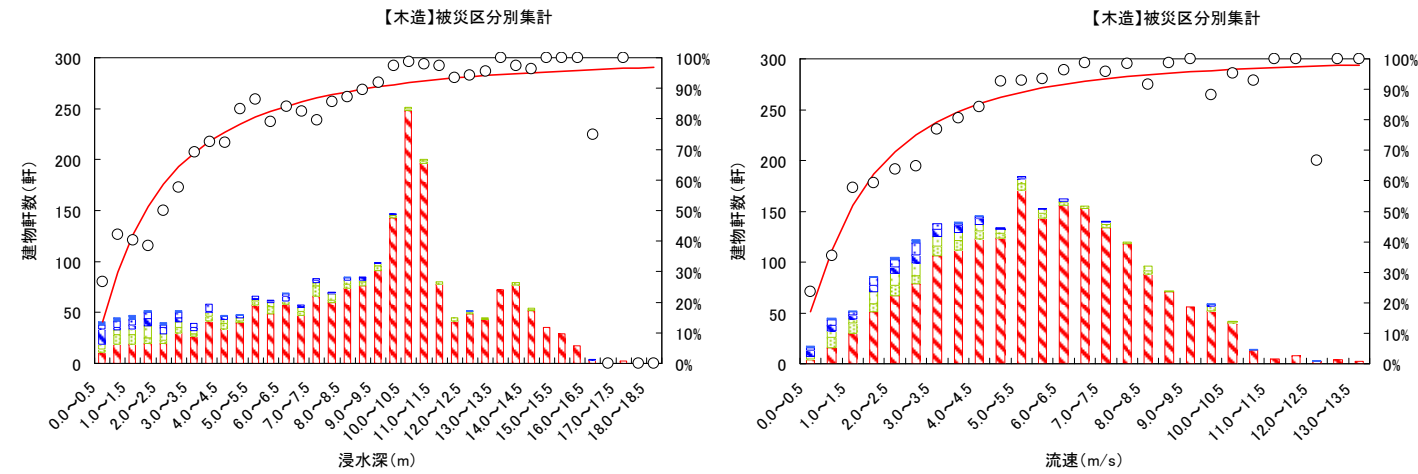
併せて、海岸保全施設と多重防御施設となる道路の嵩上げによる津波の到達時間の遅延効果と浸水の軽減効果を示す。



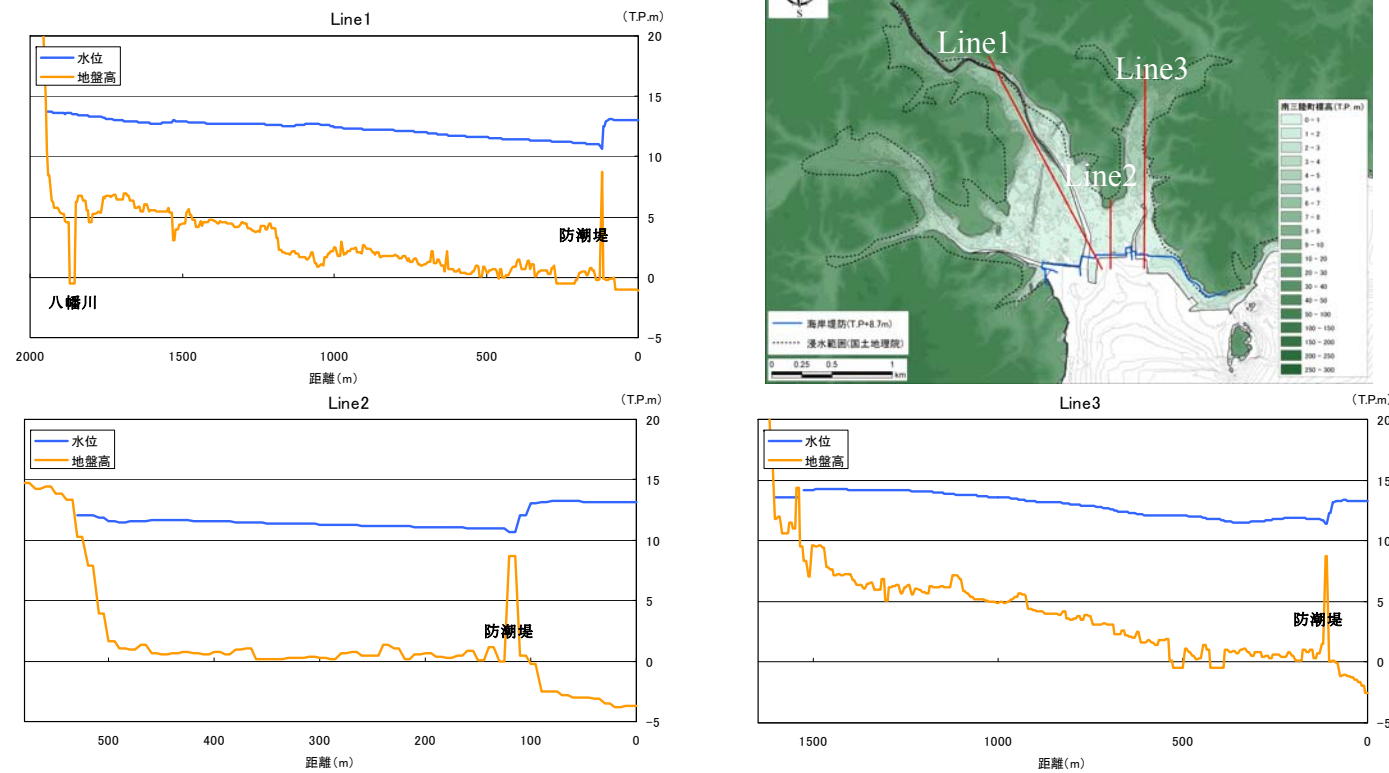
### 3) 三陸地域での検討 (南三陸町)

シミュレーション結果と家屋の被害状況 (平成 23 年度東北地方太平洋沖地震による津波被災地における被災現況調査、国交省) を比較したものを以下に示す。

<ul style="list-style-type: none"> <li>被災なし</li> <li>一部損壊 (床下浸水)</li> <li>半壊 (床上浸水)</li> <li>大規模半壊</li> <li>全壊 (条件付き再生可)</li> <li>全壊 (撤去)</li> <li>全壊 (流失)</li> <li>近似式</li> <li>流出率</li> </ul>	<p>一部損壊 : 床下の泥を取り除けば再利用可能</p> <p>半壊 : 一部補修により再利用可能</p> <p>大規模半壊 : 窓、壁の一部が損壊しているが柱、梁、壁などの建物の躯体は波健全 (大規模補修で再利用可能)</p> <p>全壊 (条件付き再生可) : 壁は損傷しているが柱や梁などの躯体は健全</p> <p>全壊 (撤去) : 主要な柱が曲がっている。または柱は健全だが壁は大半が流出しており、立て直した方が早い</p> <p>全壊 (流出) : 基礎だけ残して、建物が完全に流されている。または倒壊している。</p>
---	---



水位の縦断図を以下に示す。

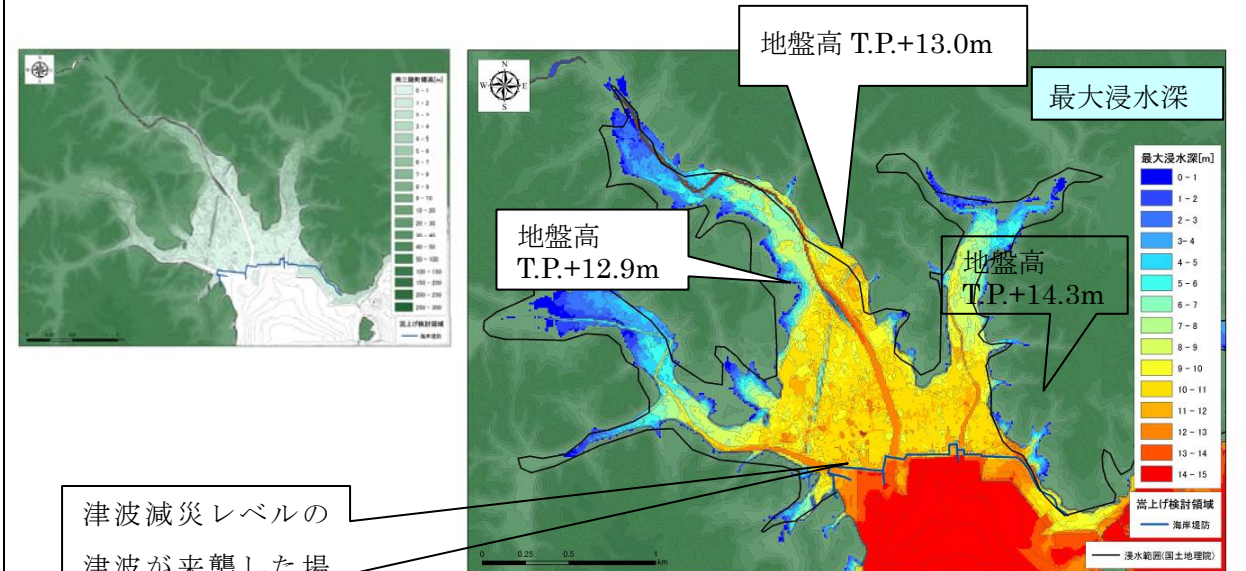


津波減災レベル (今次津波)

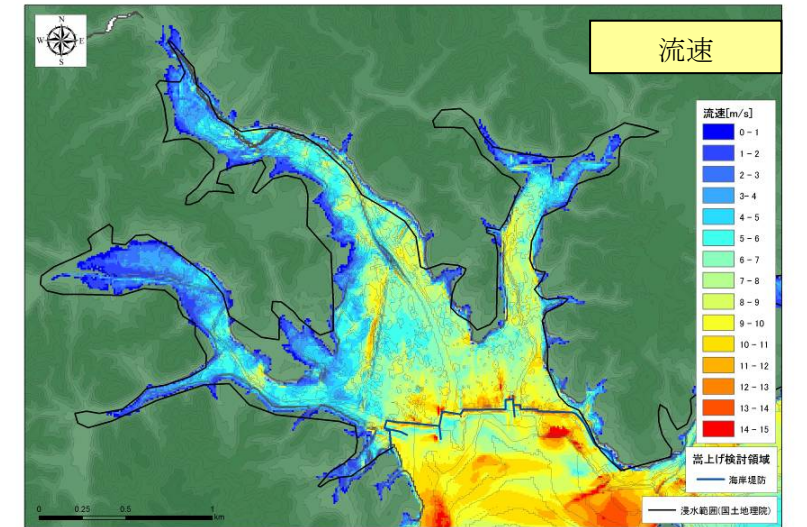
T.P.+0.75m (H.W.L)

T.P.+ 8.7m

津波防護レベルの防潮堤の時に、今回の津波と同程度のものが来襲した場合を想定



津波減災レベルの津波が来襲した場合は、浸水深 10m 以上



地形的に、多重防御等での減災を図ることが難しい。  
居住区は、津波減災レベルの津波が来襲した場合においても浸水しない箇所にする必要がある。

## 5. 結論

施設	被災メカニズム	対策案
共通事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>今回の津波による各施設の被害状況から、被災メカニズムを解明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波減災レベルの津波が来襲しても全壊に至らない構造とする。</li> <li>津波減災レベルの津波に対しては、防潮堤に加え、県道や市道、高台への移転等による多重防護による対策が必要である。</li> </ul>
海岸保全施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>被災メカニズムは、押し波時に裏法尻が洗掘され、堤体吸出し・浸食が進行し、全壊に至っている。破堤箇所集中する戻り流れによっても裏法尻の侵食が進行し、被害が拡大している。</li> <li>施設は、裏法尻背後の侵食を主な要因として被災している。</li> <li>比高（天端と裏法尻の高さの差）が小さい場合に被災が小さい。</li> <li>裏法尻背後に侵食を抑制する構造物がある場合に被災が小さい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海岸保全施設は、津波防護レベルの津波に対しては背後を防護する高さとし、津波減災レベルの津波は防潮堤背後への越流は許容するが施設が破堤するなどの全壊に至らない構造とする。</li> <li>裏法尻の水叩き設置、侵食しる確保等の侵食対策、比高を小さくする等による粘り強い構造を提案。</li> <li>戻り流れを速やかに排出するため、運河の活用や旧河道跡からの誘導を提案。</li> <li>陸閘については、乗り越し階段等の設置による門扉撤去や、戻り流れの排水のためのフラップゲート化を提案。</li> </ul>
河川施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤防については、河川を遡上した津波が堤防を越流し、裏法尻部から侵食が拡大、堤体の流出や破堤に至っている。</li> <li>海岸堤防の接続部、橋梁及び道路盛土交差部等で背面・周辺が大きく洗掘を受けた。</li> <li>水門本体については、津波波力に対して規模の割に受圧面の割合が大きい施設の堰柱や河道内に突出する樋門門柱等の破壊を生じたが、それ以外の施設では大きな被災はない。</li> <li>水門ゲート設備は、一部の施設で被災によりゲート巻上げ操作が不能となり、出水期に向けた応急対応が困難となったものがあつた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>河川堤防については、津波の越水に対して堤防機能を維持するために、強い侵食作用をうける裏法尻部や法肩部を強化する等の「耐力強化」、法面の緩傾斜化や比高の抑制等により流速低減を図る等の「作用力低減」を方針とし、津波に対して粘り強い堤防構造とする。</li> <li>水門等河道内の施設については、衝撃段波を含む津波波力の作用に対して、部材の耐力や漂流物の衝突に対する強度確保等、破壊により機能を損なわないことを照査・確認する。</li> <li>水門については、操作台の強化、代替排水機能の確保、巻き上げ機構の防護等により、津波により被災した場合においても、防潮及び排水機能を速やかに回復できる対策を講じる。</li> </ul>
橋梁施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波による水平力及び上揚力が橋梁上部構造へ作用することにより橋梁上部構造が落橋流出に至る。</li> <li>津波による漂流物が橋梁構造へ衝突することにより部材が損傷、橋梁上部構造が落橋に至る。</li> <li>津波による河床掃流力が基礎周辺地盤へ作用することにより基礎周辺地盤が洗掘に至る。</li> <li>津波が橋梁取付部盛土を越流し盛土法尻部を侵食することにより橋梁取付部盛土が流出に至る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波による水平力及び上揚力に抵抗するためのせん断突起及び津波落橋防止構造の設置、上下部構造接点を剛構造としたラーメン構造の採用。（外力の算定、下部工への影響が課題）</li> <li>津波による漂流物の橋梁施設への衝突に抵抗するための衝突防護工の設置。</li> <li>津波による河床掃流力に抵抗するための根固めブロックの設置、河床材料と流速に見合った適切な根入れ深さの確保。</li> <li>橋梁取付部盛土の津波越流に抵抗するための法肩部へのコンクリートブロック設置、越流水落下部となる法尻部への洗掘防止工の設置。</li> <li>災害時緊急輸送路となる路線の橋梁を改築したり新しく計画する際には、可能な限り高い位置に計画。</li> </ul>
道路施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波越流水深が高いリアス部の被害が、仙台平野部より大きい傾向にある。</li> <li>盛り土の高さが高い路線ほど被害が増大する傾向にある。</li> <li>押し波による海側のり面の被害よりも、越流・引波による山側法面の被害が大きい。特に平野部の耕作地の場合、越流時に落堀が発生、湛水した内水による引き波時の浸食が発生している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的な幅員 10m 程度以上の道路であれば、盛土高 3~4m 程度以下とすることで法面の被覆を施さなくても被害が少ない構造を確保できる。</li> <li>歩道は山側に配置することで、車道への被害を低減できる。</li> <li>盛土高 5m 以上または道路幅員 10m 以下の場合、山側の裏面の保護を検討する。</li> <li>津波の影響が大きい箇所においても、擁壁等を設置することで被害を低減できる構造となる。</li> </ul>
港湾・漁港施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>防波堤は、押し波や戻り流れにより、設計想定外力よりも大きな波力が作用し、堤体が転倒、滑動している。開口部は波の集中により大きく洗掘されている。港内外へ流出している。基礎マウンドは港外側への流出が大きい。</li> <li>北防波堤基部は、構造形式が捨石堤であり押し波時の揚圧力及び浮力により堤体が押し流された。</li> <li>それ以外の部分については、構造形式がケーソン式であり押し波時には持ちこたえたが、戻り流れにより港外側に流出した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中詰材の単位体積重量を大きくする、堤体を大きくする等の自重増加および背後マウンドを高くすることによる受動抵抗の増加により、押し波時の対策を提案</li> <li>戻り流れの対策は、防波堤前面の消波ブロック設置を提案</li> <li>開口部は、根固め工による洗掘対策を提案</li> <li>以上の対策工を総合的に検討し、女川港湾口防波堤の対策は、ケーソン基礎部の洗掘防止策として被覆工を提案。</li> </ul>
下水道施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理場・ポンプ場被害の最も致命的であったものは、津波による浸水（2m～最大8m程度）で電気設備等が水没し、水処理施設や汚泥処理施設の機能が完全に停止</li> <li>機械設備や露出配管においても各所で破損しており、土木・建築施設では建具、窓、扉等、特に津波の浸入方向に配置され、かつ津波の直撃を受けた場所はほとんどが破損</li> <li>地盤沈下で常時冠水している場所や沿岸部で満潮になる度に冠水する地域では復旧対策を遅らせる原因となっている。</li> <li>シールド工法や推進工法のようなトンネル施工で布設した管路より、浅い位置に開削工法で施工した小口径管路部において被害が集中している。特に埋戻し土に土砂を使用している場所は沈下等の被害が発生し、管路にも影響が出ている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今回のような津波被害からハード対策だけで施設を防護することは、現実的な対応ではないため、ある一定の被災を受けても速やかな復旧が可能となるような対策に軸足を置いた整備手法が津波に対する投資効果を考えれば現実的な対応と言える。</li> <li>処理場機能の早期回復のためには、主ポンプ室の水密化、無注水型ポンプの採用、電気計装設備の高層化による浸水対策を提案</li> <li>津波の被災経験を生かした下水道 BCP の見直しを提案</li> </ul>
沿岸防護計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>百数十年に 1 回来襲する可能性のある津波に対して、背後地を防護できる防潮堤の天端高を設定した。</li> <li>低平地部は、防潮堤に加えて道路等のかさ上げによる多重防御により、背後地を減災できるような施設配置を提案した。</li> <li>仙台湾南部地域は、道路嵩上げによる多重防御により、浸水面積の減少、浸水深の低下、津波来襲の遅延効果が確認できた。</li> <li>三陸地域は、多重防御を行うことが難しく、津波が来襲した場合においても浸水しない高台に居住地を設置することが望ましい。</li> </ul>	