

4章 津波の予測

1. 検討の概要

津波の検討については、過年度(平成14年度～15年度)に「宮城県第3次地震被害想定調査業務」(以下、第3次被害想定調査報告書)として、宮城県沿岸全域において50mメッシュの津波浸水計算が実施され、津波による浸水範囲の検討が行われている。

本業務では、これらの検討結果を踏まえ、最新のデータを用いてより詳細な津波浸水範囲の検討を行うとともに、得られた津波シミュレーション結果と人口・建物データ等を重ね合わせて津波による被害額を併せて算出し、今後の沿岸防災対策を検討するに当たっての基礎資料を作成したものである。

本業務の検討フロー及び主要な検討項目は、次のとおりである。

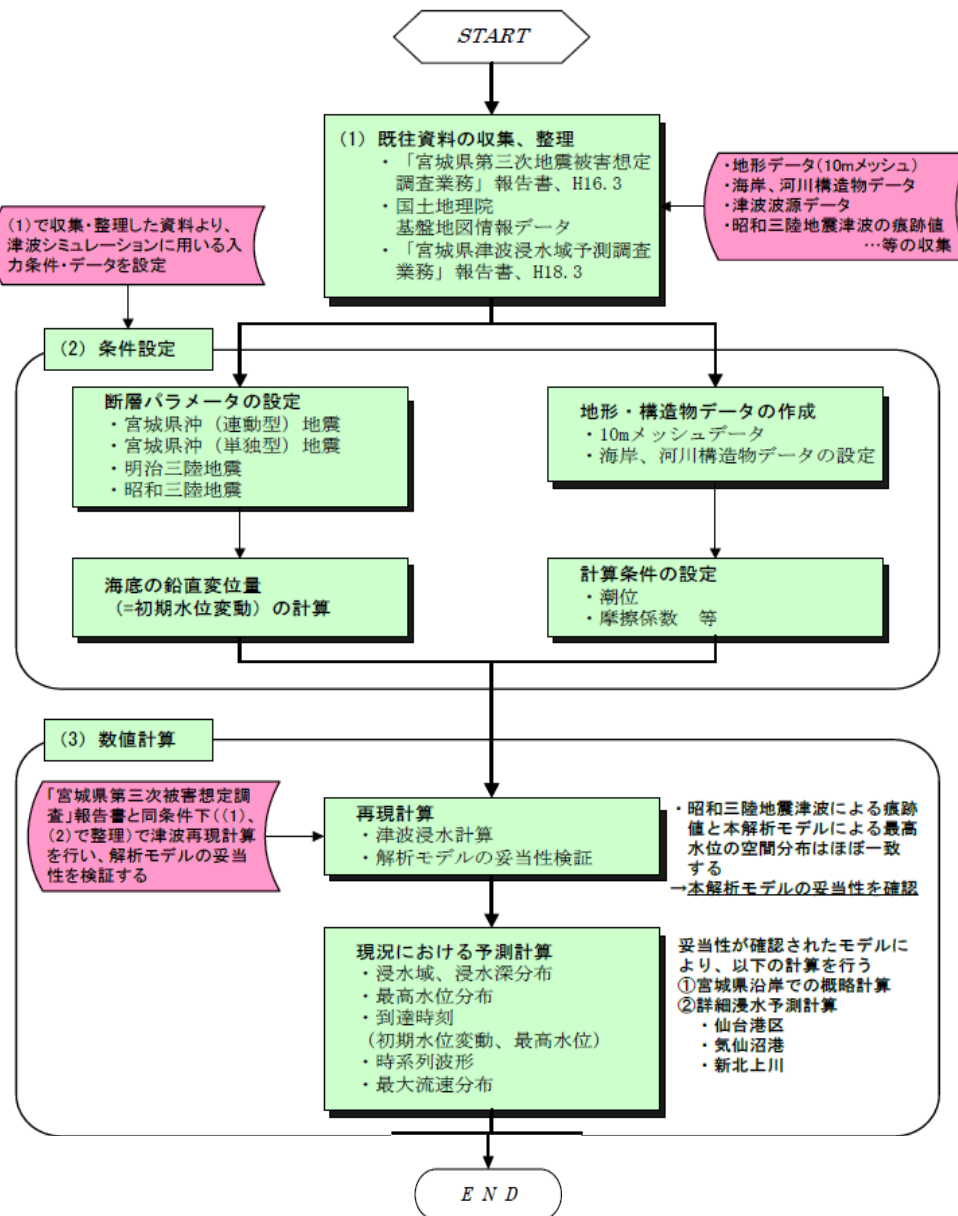


図-4.1 検討フロー

【主要検討項目】

- ① 入力データ作成、計算条件設定
 - ◇ 市街地、港湾区域、河川遡上が懸念されている箇所について、最新のレーザー測量データ等を用いて、10m メッシュで詳細な地形データを作成
 - ◇ 第3次想定では、一部区域のみしか反映されていなかった海岸・河川堤防を、宮城県沿岸全域でシミュレーションに反映
- ② 津波シミュレーションモデルの妥当性の検証(昭和三陸津波の痕跡値を対象)
- ③ 対象とする三陸沖地震の選定(明治三陸地震波を選定)
- ④ 宮城県沿岸における津波の到達時間及び最高水位分布を算定
- ⑤ 10m メッシュによる詳細浸水予測計算結果図の作成(代表例：気仙沼港)

2. 既往資料の収集・整理

津波浸水計算を実施するに当たって必要となる各種情報（現地の状況、検討対象地震の概要、地形データ、構造物諸元等）の収集・整理を行った。

以下に、収集・整理を行った資料の一覧を示す。

表-4.1 収集資料の一覧

	資料名	年度	作成	用途
地形・構造物データ	「平成15年度 宮城県第三次被害想定報告書」計算データ	平成16年3月	宮城県総務部危機対策課	地形・粗度データの作成、断層パラメータの設定、再現計算の根拠データに使用
	「平成17年度 宮城県津波浸水域予測調査業務」計算データ	平成18年3月	宮城県土木部河川課	同上
	「基盤地図情報」数値標高モデル	—	国土地理院	地形データの作成に使用
	「海岸における3D電子地図」グリッドデータ、写真地図データ	—	国土地理院	同上
	港湾計画平面図	—	—	水深データの作成に使用
	現地踏査結果	平成22年	本業務にて実施	地形・構造物データの作成に使用
基準	津波・高潮ハザードマップマニュアル	平成16年	内閣府、農林水産省、国土交通省	津波浸水解析の妥当性検証に使用
	海岸保全施設の技術上の基準・同解説	平成16年	海岸保全施設技術研究会	同上
	津波の辞典	平成19年11月	首藤伸夫 他、朝倉書店出版	同上
その他資料	中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」	—	中央防災会議	断層パラメータの設定に使用

3. データの作成及び条件設定

本項では、津波の浸水予測計算に用いる各種入力データ及び計算条件を整理し、以下に、本検討で使用した諸元と第3次被害想定時に使用した諸元の比較を示した。

表-4.2 入力データ及び計算条件の変更一覧

項目	第3次被害想定時	本検討	備考
検討対象地震	宮城県沖（単独型）地震 宮城県沖（連動型）地震 昭和三陸地震	宮城県沖（単独型）地震 宮城県沖（連動型）地震 三陸沖（明治又は昭和）地震	「3.1 検討対象地震」参照
地形データ	宮城県沿岸全域 50m メッシュ	宮城県沿岸 50m メッシュ 主要地区 10m メッシュ	「3.3 地形データの作成」参照
河川データ	6河川のみ河床高を設定	2級以上の25河川で河床高を設定	同上
堤防データ	主要6地区のみ設定	宮城県沿岸全域及び前項目で対象とした河川沿いに設定	「3.4 構造物データの作成」参照
潮位条件	主要な港湾・漁港で設定されている値を採用	詳細領域の近隣に位置する港湾・漁港で設定されている値を採用	「3.6 潮位条件の設定」参照

3.1 検討対象地震

本検討において検討対象とする地震津波は、①宮城県沖地震（単独型）による津波、②宮城県沖地震（連動型）による津波、③三陸沖（明治三陸・昭和三陸）地震津波である。

図-4.2 に各地震の想定断層位置を図示するとともに、次頁以降に各断層モデルの概要を示す。なお、「③三陸沖地震」については、後述の「5.2 三陸地震津波の選定」にて、明治三陸地震津波及び昭和三陸地震津波のどちらを本検討の対象とするか、考察を行った。

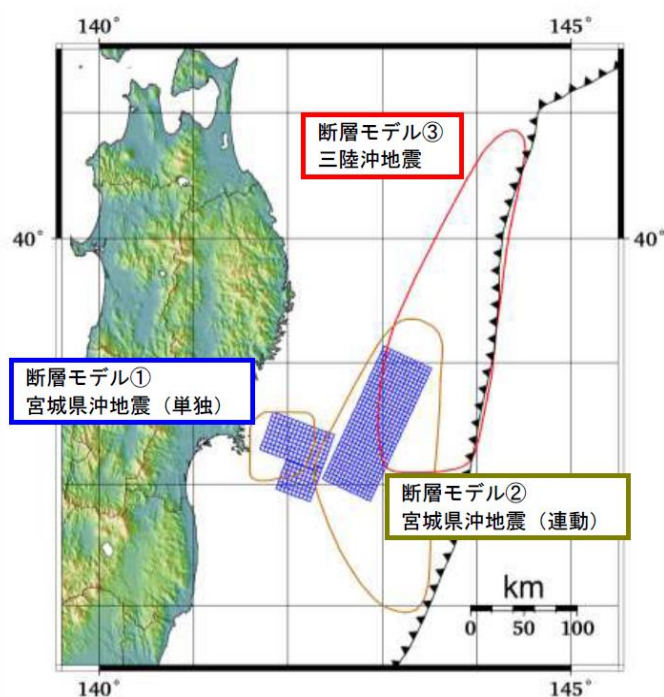


図-4.2 想定断層位置図

1) 宮城県沖(単独型)地震

宮城県沖地震は、東北地方の陸側のプレートの下へ太平洋プレートが沈み込むことに伴い、これら2つのプレートの境界面で発生する地震である。

本検討では単独型及び連動型の2つのタイプの地震を想定し、各地震による津波浸水予測計算を行った。

表-4.3に単独型の断層諸元を示し、図-4.3に断層モデルの位置を示とともに、断層諸元については、地震調査研究推進本部が提案した巨視的パラメータをベースに設定された、第3次被害想定時と同様の値を使用した。

表-4.3 宮城県沖(単独型)地震断層諸元一覧

断層帯		宮城県沖(単独型)地震
断層		A1
緯度(° N)		38.41
経度(° E)		142.49
震源深さd(km)		26.0
断層長さL(km)		36
断層幅W(km)		64
走向θ(°)		200
傾斜角δ(°)		21
すべり角λ(°)		90
断層全体の平均パラメータ		
断層面積(km ²)		2266.0
平均すべり量(m)		2.9
アスペリティ毎のパラメータ		
アスペリティ1	断層面積(km ²)	96.0
	すべり量(m)	5.9
アスペリティ2	断層面積(km ²)	96.0
	すべり量(m)	5.9
背景領域	断層面積(km ²)	2074.0
	すべり量(m)	2.7
破壊過程	考慮せず	

出典：第3次被害想定調査報告書

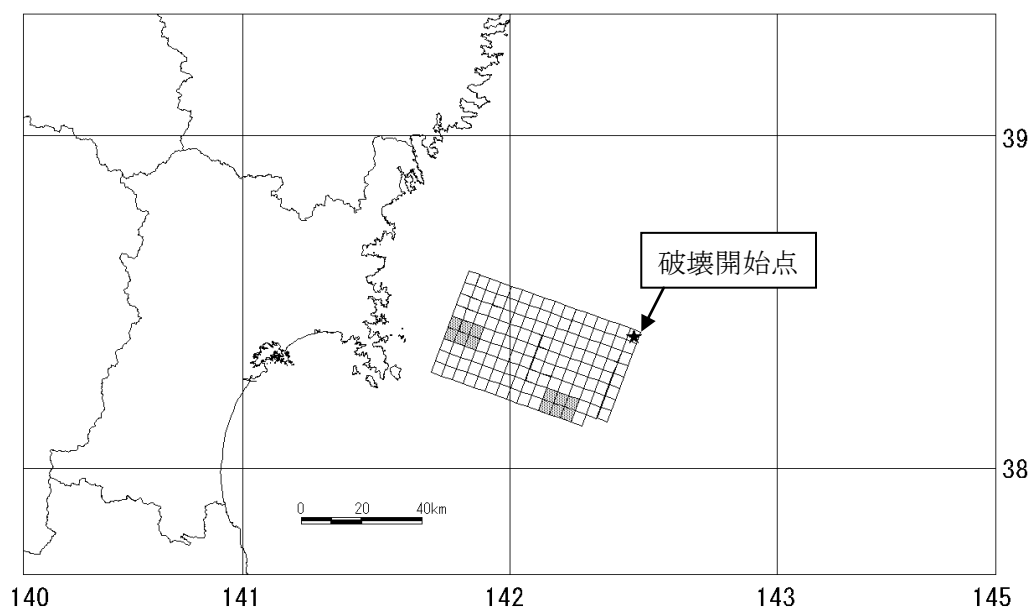


図-4.3 断層モデル位置図(宮城県沖(単独型)地震)

※断層モデルの内側のハッチは、アスペリティを示す。

出典：第3次被害想定調査報告書

2) 宮城県沖(連動型)地震

本検討で対象とする宮城県沖（連動型）地震の諸元には、単独型と同様に、第3次被害想定時と同様の値を用いるものとした。表-4.4 に連動型の断層諸元を示し、図-4.4 に断層モデルの位置を示す。

表-4.4 宮城県沖（連動型）地震断層諸元一覧

断層帯		宮城県沖(連動型)地震		
断層		A1	A2	B
緯度(° N)		38.41	38.20	38.95
経度(° E)		142.49	142.39	143.52
震源深さd(km)		26.0	26.0	14.0
断層長さL(km)		36	40	133
断層幅W(km)		64	36	49
走向θ(°)		200	200	205
傾斜角δ(°)		21	21	12
すべり角λ(°)		90	90	90
断層全体の平均パラメータ				
断層面積(km ²)		3315.0		6505.0
平均すべり量(m)		3.5		5.64
アスペリティ毎のパラメータ				
アスペリティ1	断層面積(km ²)	96.0	128.0	—
	すべり量(m)	6.7	7.7	—
アスペリティ2	断層面積(km ²)	96.0		—
	すべり量(m)	6.7		—
背景領域	断層面積(km ²)	2995.0		—
	すべり量(m)	3.1		—
破壊過程	考慮せず			

出典：第3次被害想定調査報告書

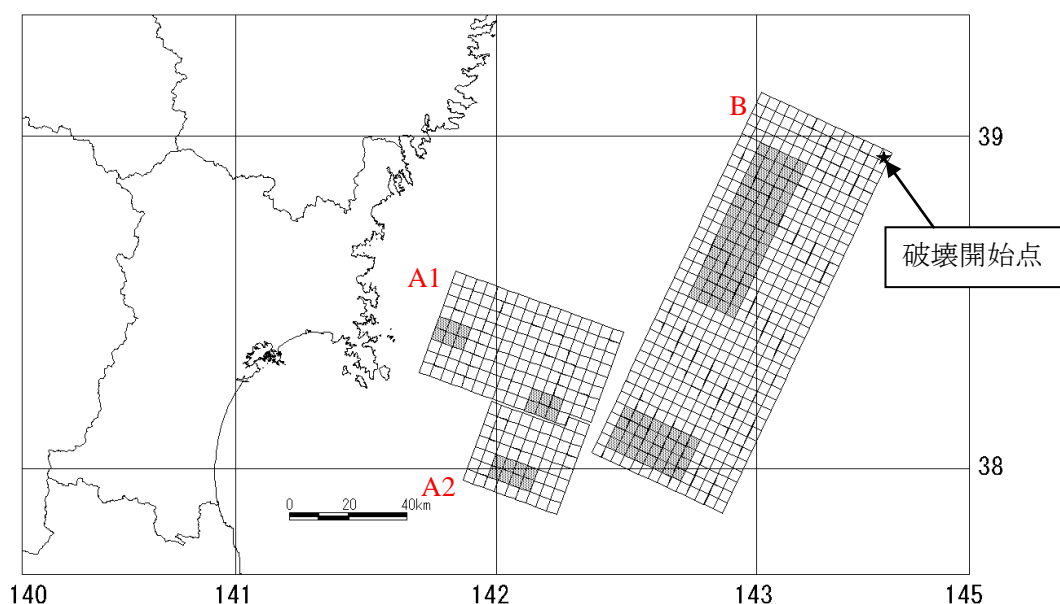


図-4.4 断層モデル位置図（宮城県沖（連動型）地震）

※断層モデルの内側のハッチは、アスペリティを示す。

出典：第3次被害想定調査報告書

3) 明治三陸地震

本検討では、中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」により推定された断層諸元を用い、明治三陸地震津波による津波浸水予測計算を行った。

以下に、中央防災会議による推定結果の概要を示す。

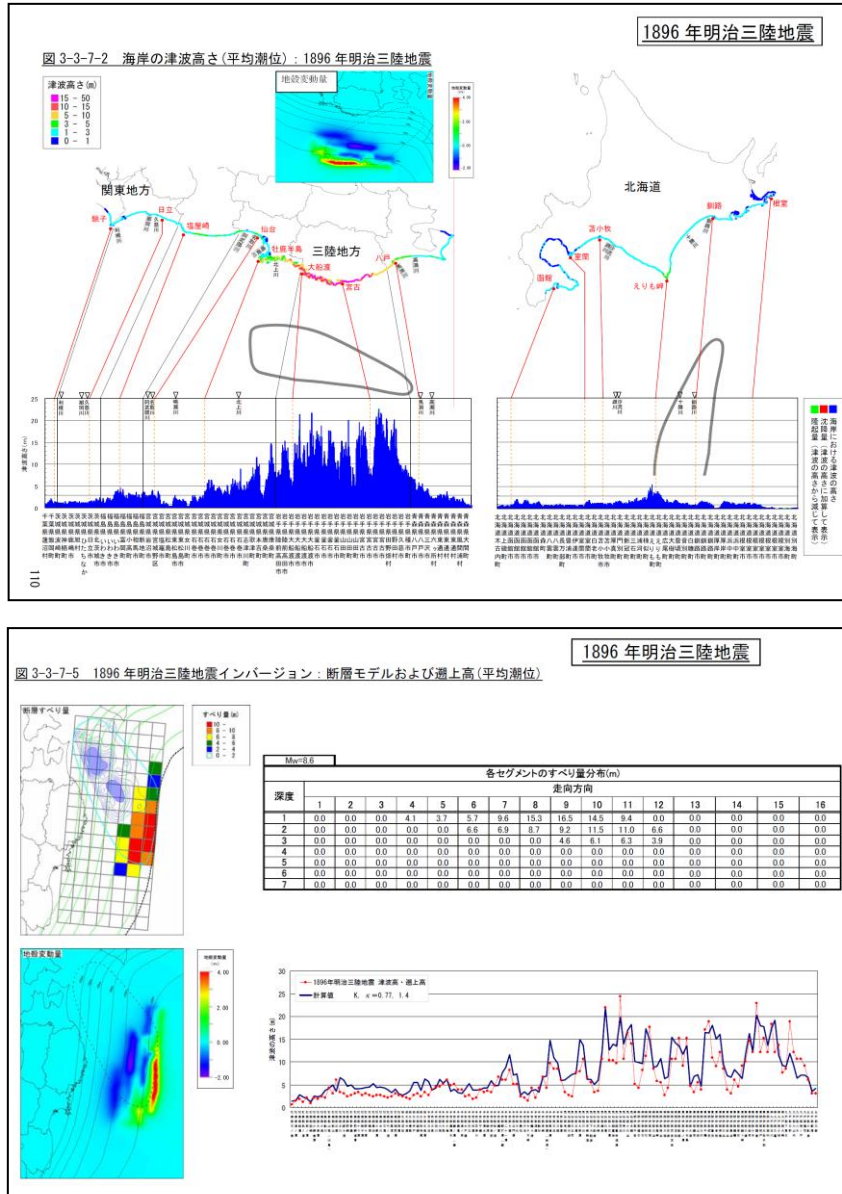


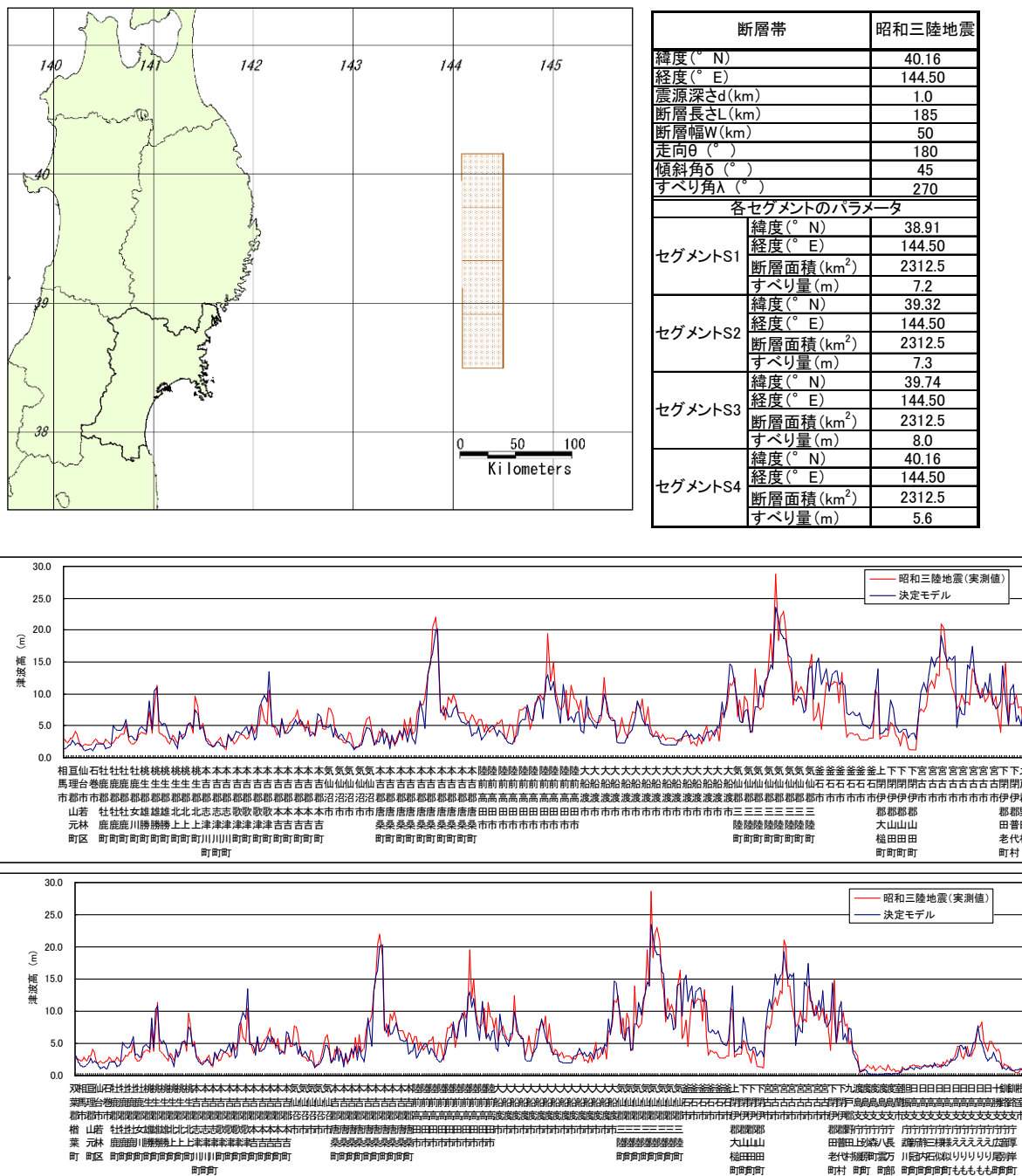
図-4.5 明治三陸地震の断層推定図

出典：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会（第10回）

URL：<http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaikou/10/index.html>

4) 昭和三陸地震

本検討では、第3次被害想定時において相田モデル（1977）を基に推定された断層諸元を用いて、昭和三陸地震による津波浸水予測計算を行った。



図－4.6 昭和三陸地震の推定断層諸元及び検証結果

出典：第3次被害想定報告書

3.2 詳細計算領域の選定

予測計算の対象とする範囲は、宮城県沿岸部全域とし、この内、詳細計算（10m メッシュ）の対象とする領域は、以下のフローにより選定した。

なお、詳細計算対象領域は図-4.8 に示すとおりとした。

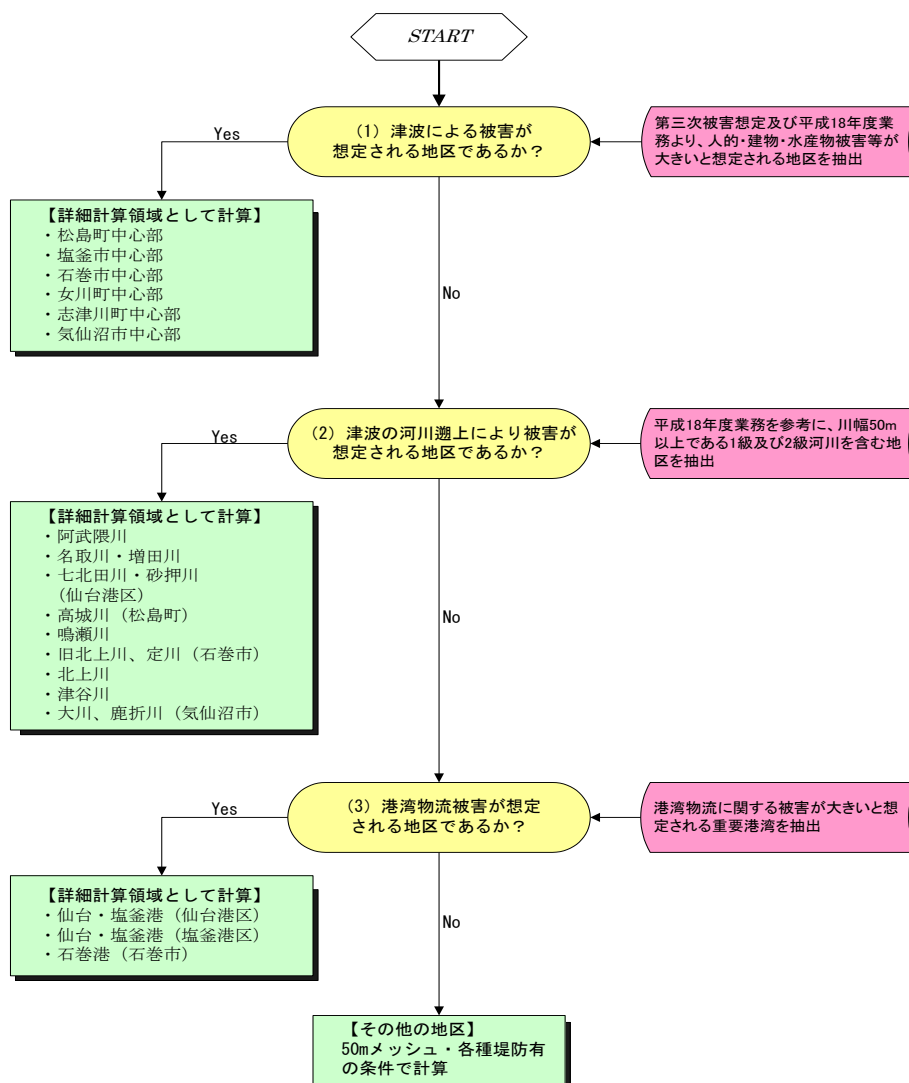


図-4.7 詳細計算対象領域の選定フロー

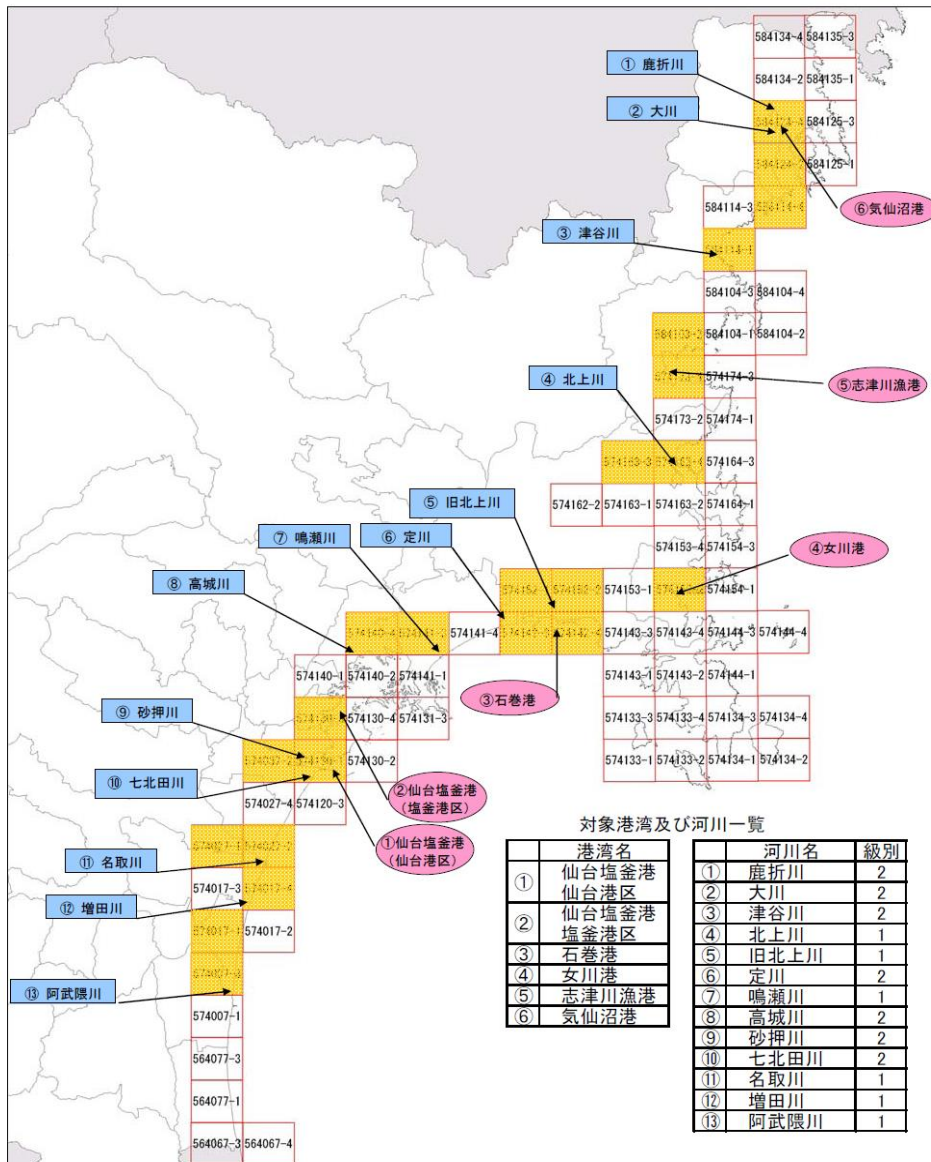


図-4.8 詳細計算対象領域

3.3 地形データの作成

本検討では、第3次被害想定時及び平成17年度業務で作成された50mメッシュデータを基本として津波浸水予測計算を行うが、「3.2 詳細計算領域の選定」で選定した地区については、国土地理院による「基盤地図情報 数値標高モデル (5m・10m メッシュ)」及び「海岸における3D電子地図」を用いてより正確なデータを作成した。

1) 過年度業務で作成された地形データ

① 第3次被害想定で作成された地形データ

国土地理院の数値地図50mメッシュデータを基本として使用し、特に以下の6地区については都市計画図 (縮尺 1/25,000 程度) を用いてデータを作成している。

◇都市計画図を使用する地区：仙台塩釜港 (仙台港区)、仙台塩釜港 (塩釜港区)、石巻港、女川港、気仙沼港、志津川町

◇モデル化する河川：阿武隈川、名取川、北上川、旧北上川、鳴瀬川 (以上、1級河川)、七北田川 (2級河川)

第3次被害想定において地形データの作成に使用されたデータソース一覧を表-4.5に、各データソースの構成と使用範囲を図-4.9にそれぞれ示した。

表-4.5 地形データ作成に用いるソース

使用目的	名称	縮尺・精度等	刊行
海域データ作成	500mメッシュ海底地形データ	500m	日本海洋データセンター
	沿岸の海の基本図	1/50000	(財)日本水路協会
	海図	1/3000~1/50000	海上保安庁
	沿岸海域土地条件図	1/25000	国土地理院
陸域データ作成	数値地図50mメッシュ(標高)	50m	国土地理院
	数値地図25000行政界・海岸線	1/25000	国土地理院
	都市計画図	1/2500	各市町
	河川横断データ	-	

出典：第3次被害想定調査報告書

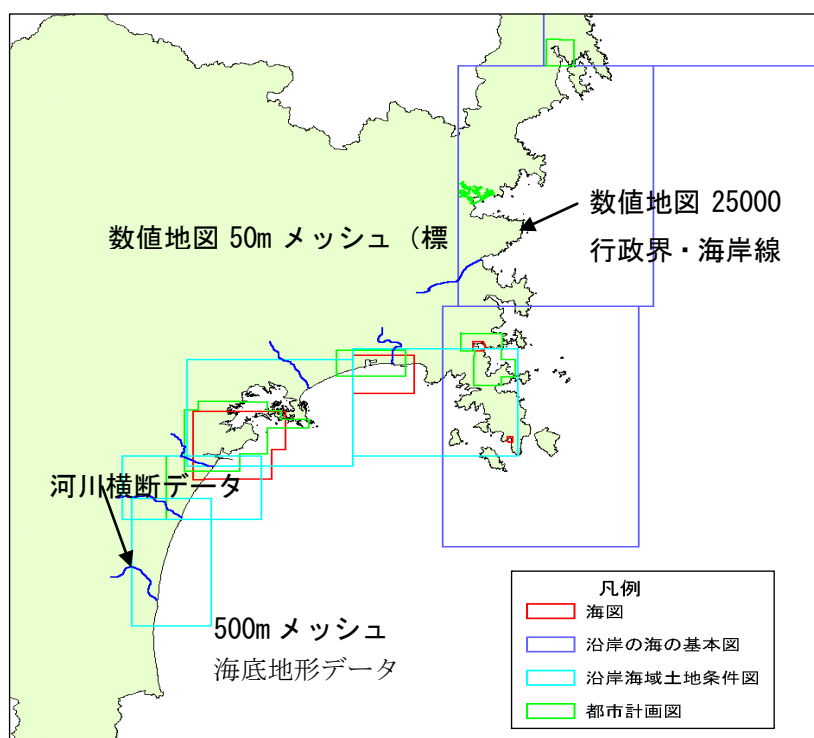


図-4.9 各データソースの構成とその範囲 (第3次被害想定)

出典：第3次被害想定調査報告書

② 「平成17年度 宮城県津波浸水域予測調査」業務で作成された地形データ

前述の第3次被害想定で使用したデータは、宮城県土木部河川課による「平成17年度 宮城県津波浸水域予測調査」業務（以下、平成17年度業務と示す）において、データソースの追加・更新により修正が行われている。

表-4.6 地形データ作成に用いるソース

第3次調査で使用		本業務で使用	
データソース名称	縮尺・発行・年版	データソース名称	縮尺・発行・年版
数値地図 25000 行政界・海岸線	1/25,000 国土地理院 平成12年10月版	市町村境界ポリゴン	1/25,000 アルプス社 平成16年8月版

出典：平成17年度津波浸水域予測調査報告書

なお、表-4.7 に河川及び河川に対するモデル化の方法、図-4.10 にデータソースの構成と範囲図をそれぞれ示した。

表-4.7 河川に対するモデル化の方法

河川名	市町村名	級別	第三次地震被害 想定調査で使用	H17業務で追加	モデル化の方法	備考
青野沢川	気仙沼市	2		○	B	河床高:T.P.-1.10m 河床勾配:1/190
鹿折川	気仙沼市	2		○	A	
大川	気仙沼市	2		○	A	
沖の田川	気仙沼市	2		○	B	河床高:T.P.±0.00m 河床勾配:1/200
津谷川	気仙沼市	2		○	A	
稲淵川	南三陸町	2		○	B	
相川沢川	石巻市	2		○	B	河床高:T.P.+1.44m 河床勾配:1/200
北上川	石巻市	1	○		A	
大原川	石巻市	2		○	B	河床高:T.P.+0.71m 河床勾配:1/300
旧北上川	石巻市	1	○		A	
定川	石巻市	2		○	A	
北上運河	東松島市	1		○	B	河床高:T.P.-2.03m
鳴瀬川	東松島市	1	○		A	
高城川	東松島市	2		○	A	
旧砂押川	塩竈市	2		○	B	河床高:T.P.-2.00m
砂押真山運河	多賀城市	2		○	B	河床高:T.P.-2.00m
砂押川	多賀城市	2		○	A	
七北田川	仙台市	2	○		A	
北真山運河	名取市	1		○	B	河床高:T.P.-2.00m
名取川	名取市	1	○		A	
増田川	名取市	1		○	A	
中真山運河	岩沼市	1		○	B	河床高:T.P.-2.00m
五間堀川	岩沼市	1		○	B	河床高:T.P.-1.05m 河床勾配:1/5200
阿武隈川	岩沼市	1	○		A	
小浦川	山元町	普通		○	B	河床高:直近地盤高としてT.P.-0.28m

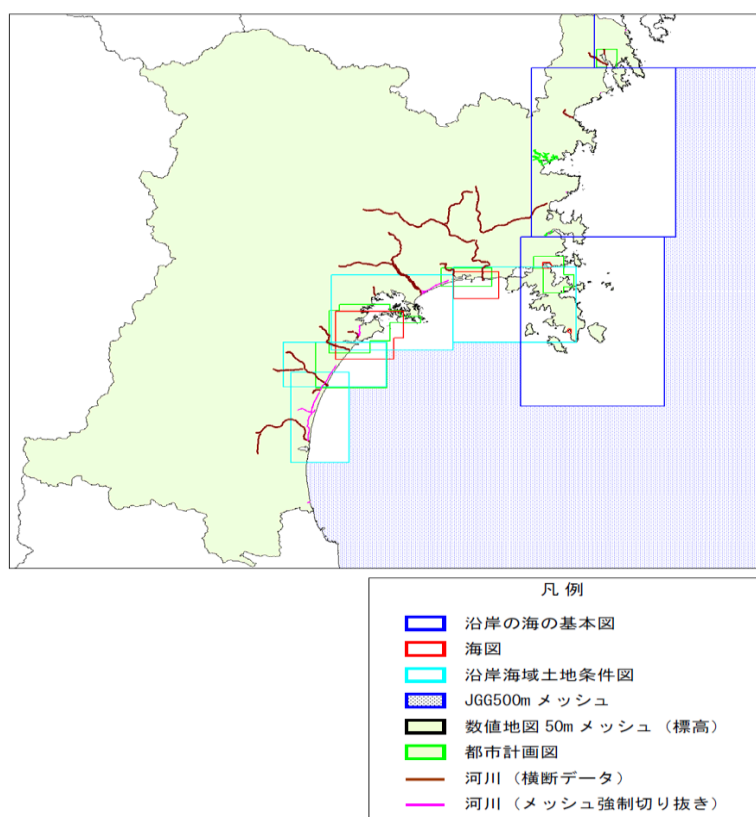


図-4.10 各データソースの構成とその範囲 (平成17年度業務)

出典:平成17年度津波浸水域予測調査報告書

2) 本検討で使用するデータソース

本検討で詳細領域の地形データ作成に使用するデータソースの概要を以下に示す。

① 陸域標高データ

【基盤地図情報 数値標高モデル (10m メッシュ)】

「基盤地図情報 数値標高モデル (10m メッシュ)」は、2万5千分1地形図の等高線データ等を基に、地表0.4秒(約10m)間隔で区切った方眼(メッシュ)中心点の標高を求めた数値標高モデル(DEM)である(2つの等高線に挟まれた地点の標高を、両者の値から補間することにより算出)。

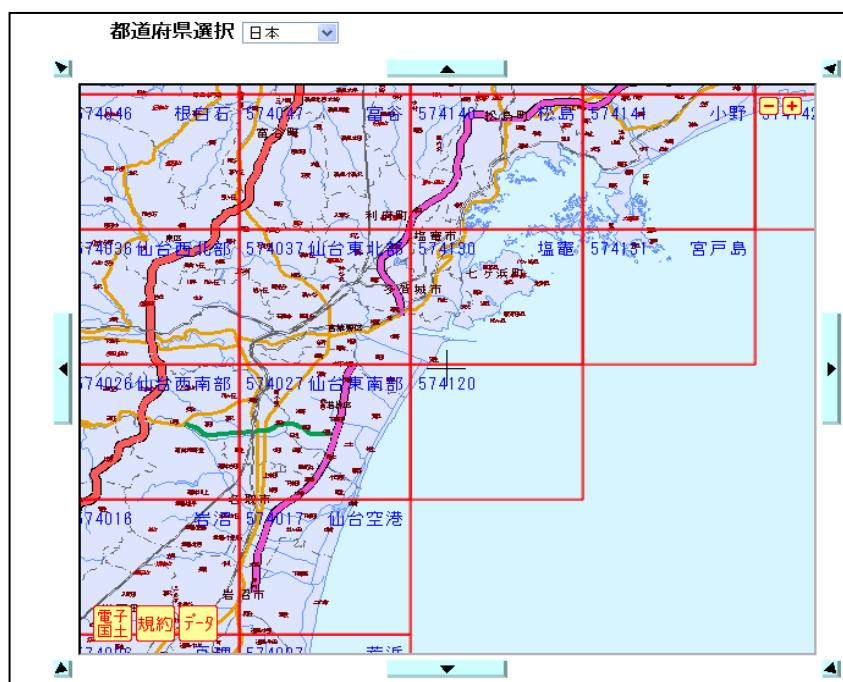


図-4.11 基盤地図情報 数値標高モデル (10m メッシュ) のダウンロード画面

出典：国土地理院ホームページ URL ; <http://fgd.gsi.go.jp/download/>

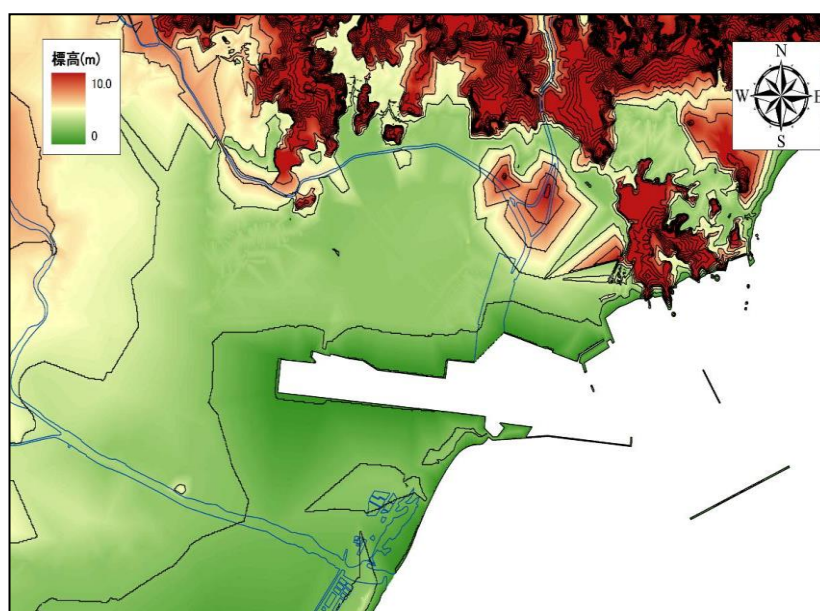


図-4.12 基盤地図情報 数値標高モデル (10m メッシュ・仙台港区周辺)

【基盤地図情報 数値標高モデル (5m メッシュ)】

「基盤地図情報 数値標高モデル (5m メッシュ)」は、5m 間隔で区切った地表メッシュ中心点の標高を、航空レーザスキャナ測量で取得したデータをもとに、家屋や橋、樹木等を取り除いた地表面データとして作成した数値標高モデル (DEM) である。

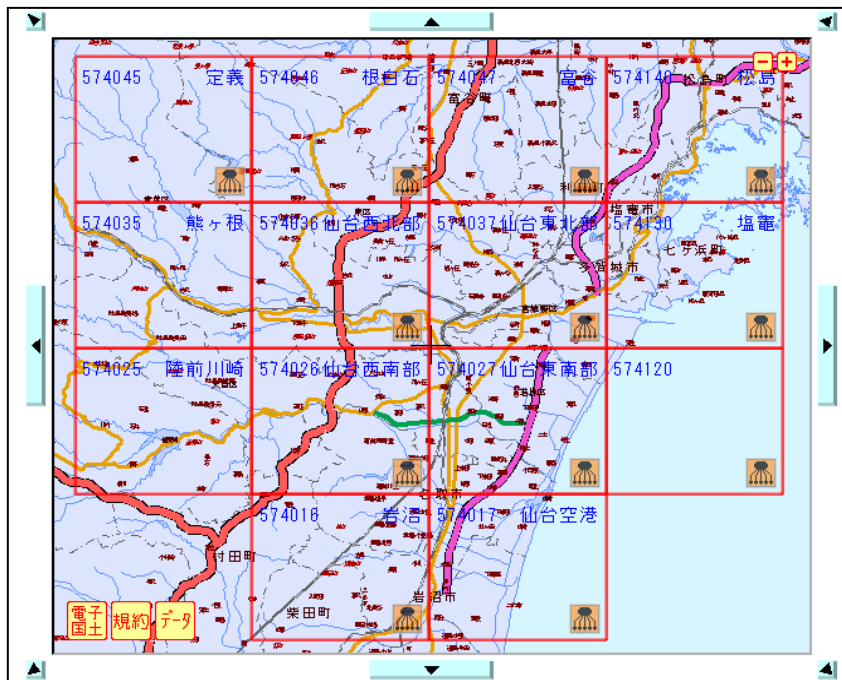


図-4.13 基盤地図情報 数値標高モデル (5m メッシュ) のダウンロード画面

出典：国土地理院ホームページ URL；

<http://fgd.gsi.go.jp/download/>



図-4.14 基盤地図情報 数値標高モデル (5m メッシュ・仙台港区周辺)

【海岸における 3D 電子地図】

「海岸における 3D 電子地図」は、津波・高潮ハザードマップの整備の促進等を図るため、東海・東南海・南海地震等が想定される太平洋岸の海岸保全区域において汀線より内側 1km までを 2m メッシュ間隔で整備した標高データである。

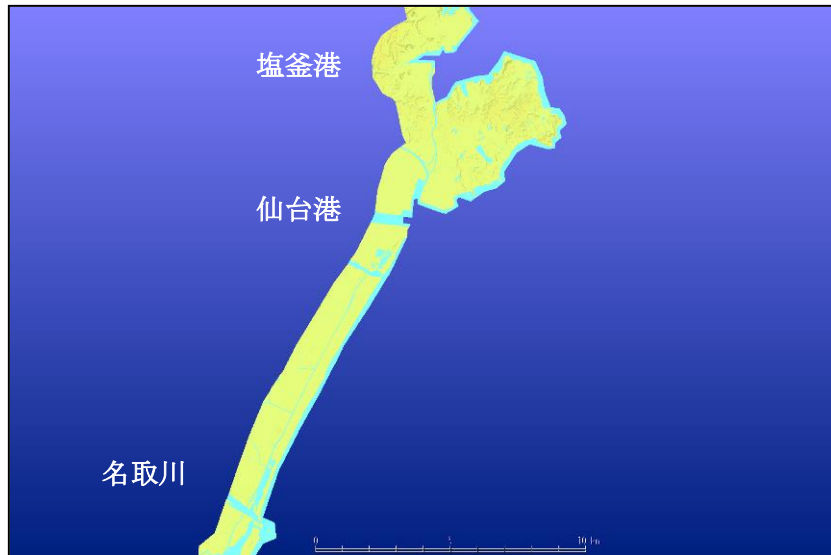


図-4.15 海岸における 3D 電子地図の整備範囲

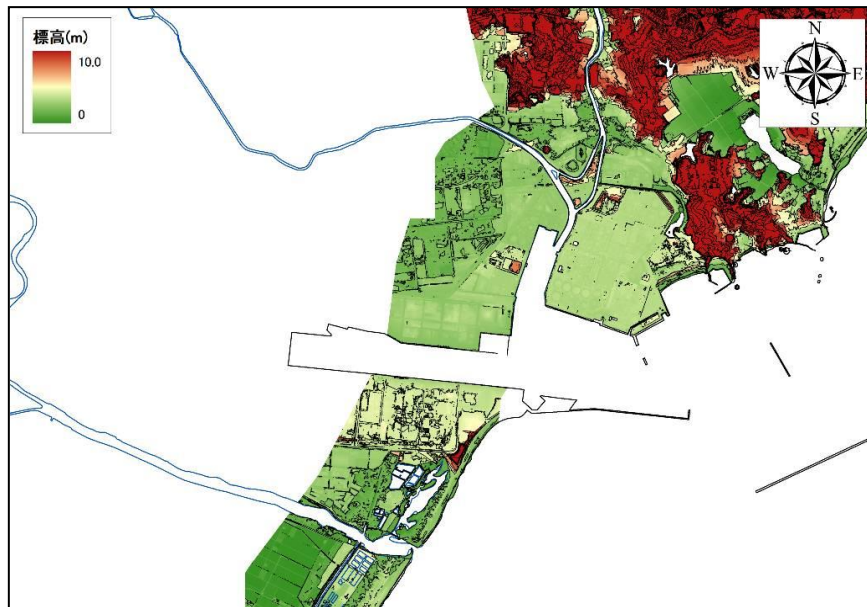


図-4.16 海岸における 3D 電子地図 (2m メッシュ・仙台港区周辺)

※無色の箇所はデータ未整備範囲

1) 水深データ

【海底地形デジタルデータ】

宮城県沖の水深データについては、財団法人 日本水路協会海洋情報研究センターが発行している「海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ」を用いて修正を行う。以下に、同データの整備範囲及び宮城県沖の等深線図を示す。

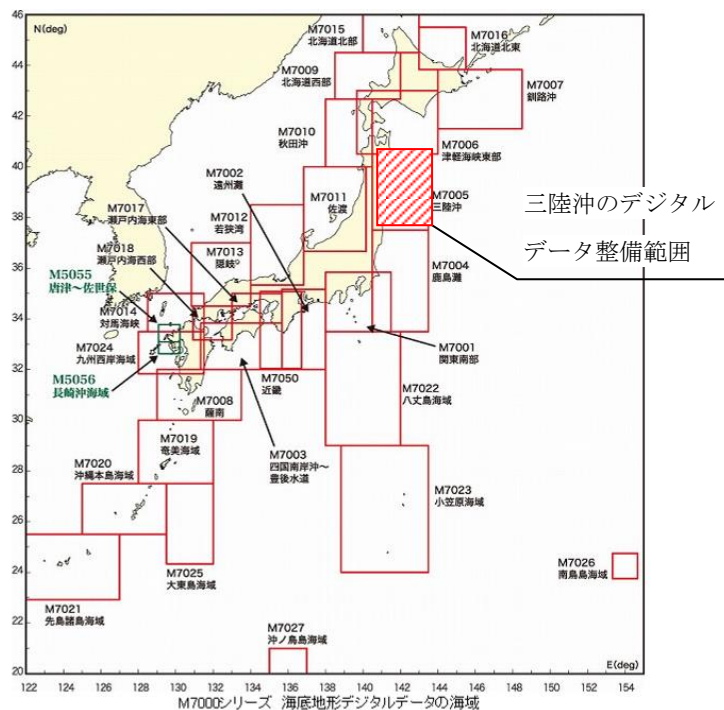


図-4.17 海底地形デジタルデータの整備範囲

出典：財団法人 日本水路協会ホームページ

URL : <http://www.jha.or.jp/jp/shop/products/btdd/index.html>

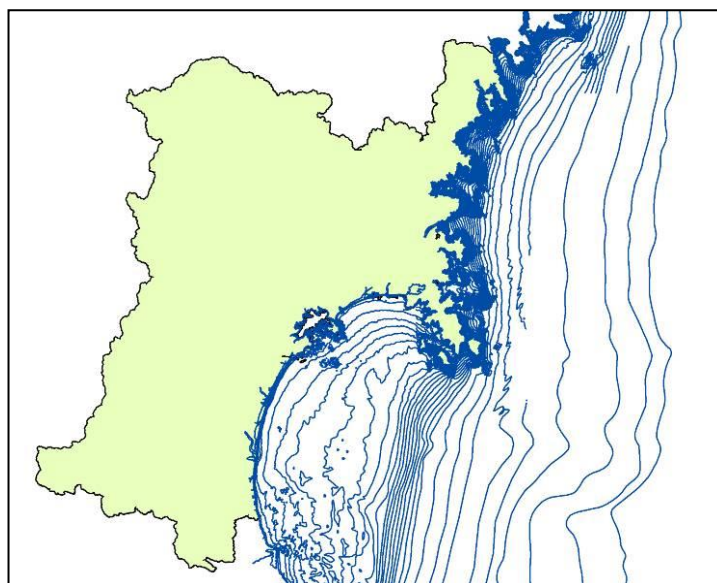


図-4.18 海底地形デジタルデータによる宮城県沖の等深線図
(水深 5m 間隔で出力)

【港湾及び漁港計画平面図】

本検討では、特に詳細計算対象領域について、最新の港湾及び漁港計画平面図に記載されている港形及び等深線を用いて、同区域の水深データ作成を行ったものであり、以下、計画平面図一覧を示すとともに、図-4.19～図-4.20 にその一例を示した。

表-4.8 検討に用いる計画平面図一覧

詳細計算対象領域	使用する計画平面図
気仙沼港	気仙沼港計画平面図
津谷川	稲淵漁港計画平面図
志津川	志津川漁港計画平面図
北上川	北上漁港事業計画平面図
女川港	女川漁港計画平面図
石巻港	石巻港港湾計画平面図
鳴瀬川	石巻港港湾計画平面図
松島町	磯崎漁港広域漁港整備事業整備計画・計画図
仙台・塩釜港（塩釜港区）	塩釜港区港湾計画平面図
仙台・塩釜港（仙台港区）	仙台港区港湾計画平面図
名取川	閑上漁港広域漁港整備事業整備計画・計画図
阿武隈川	荒浜漁港計画平面図

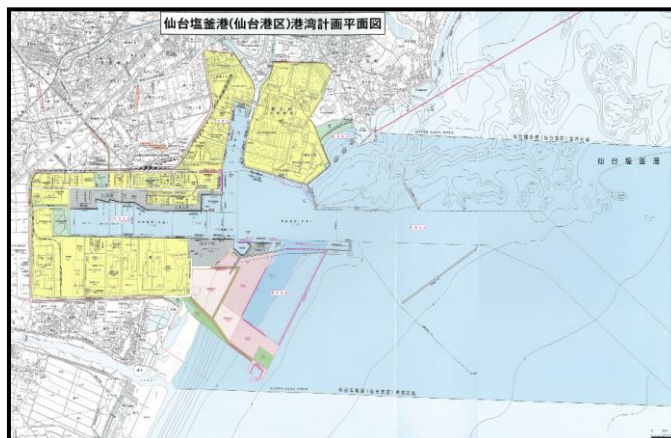


図-4.19 港湾及び漁港計画平面図（例：仙台・塩釜港（仙台港区））

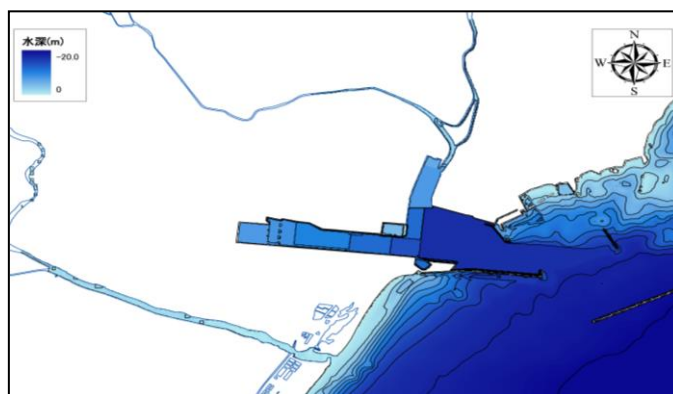


図-4.20 計画平面図による水深データ（例：仙台・塩釜港（仙台港区））

3.4 構造物データの作成

本検討では、海岸・河川構造物を、平成 17 年度業務で作成された堤防データを基に、更にデータの修正・追加を行い作成して計算に反映した。平成 17 年度業務で作成されている海岸構造物の位置は、図-4.21 に示すとおりである。

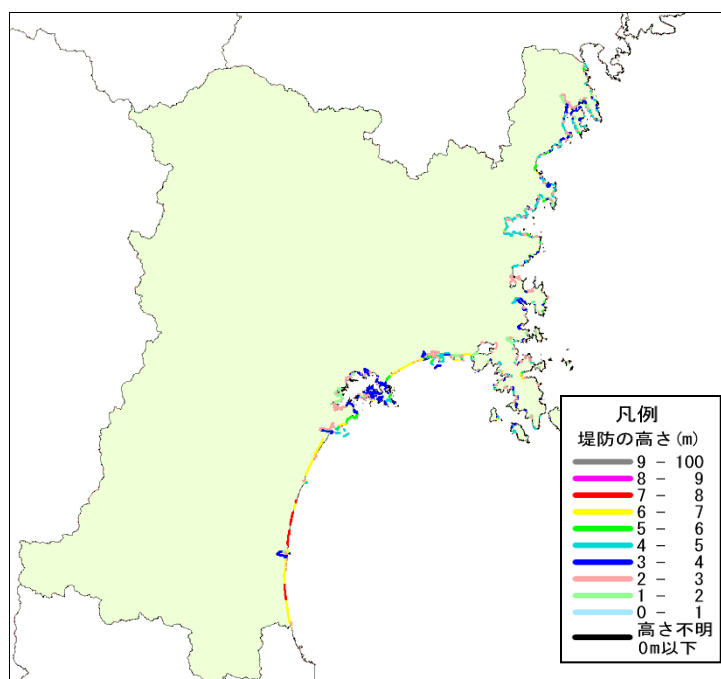


図-4.21 海岸構造物とその範囲（平成 17 年度業務）

出典：平成 17 年度津波浸水域予測調査報告書

3.5 粗度データの作成

本検討では粗度係数データについて、平成 17 年度業務で使用されたデータを踏襲するものとするが、詳細計算対象領域については、「海岸における 3D 電子地図」に付随の航空写真等より土地利用条件を読み取り、粗度データを再度作成した。

宮城県全域における粗度データ分布図（50m メッシュ）を図-4.22 に、詳細計算領域における粗度係数データの設定概要を図-4.23 にそれぞれ示した。

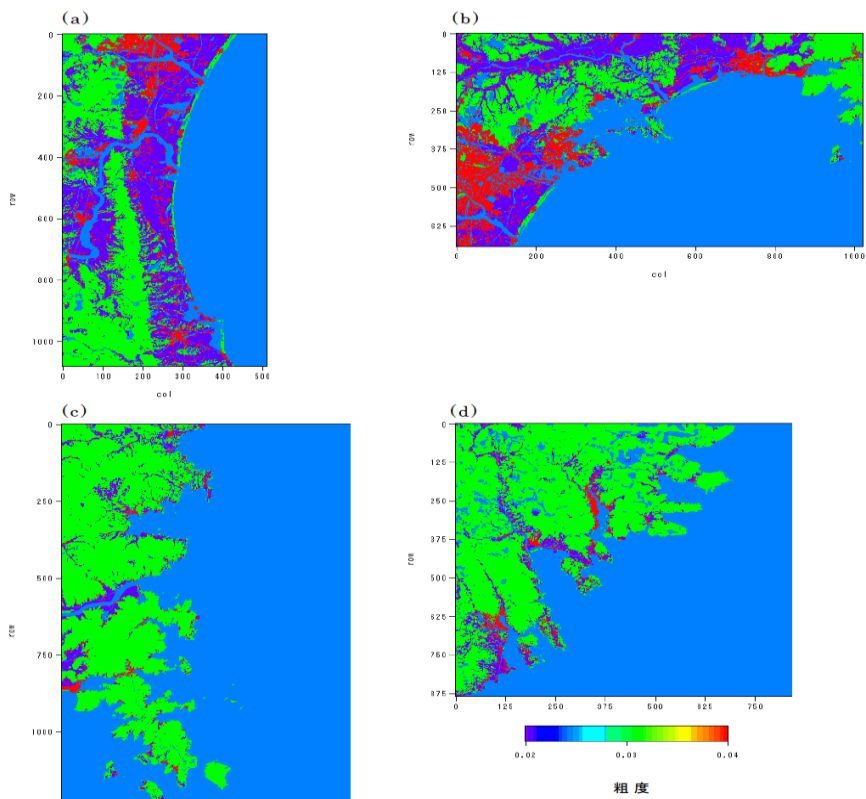


図-3.21 各計算領域での粗度係数分布
 (a)0050-01 (50m メッシュ) (b)0050-02 (50m メッシュ)
 (c)0050-03 (50m メッシュ) (d)0050-04 (50m メッシュ)
 出典：第3次被害想定報告書、P.5-15

図-4.22 各計算領域での粗度係数分布



図-4.23 粗度係数データの作成概要(例；仙台港区)

3.6 潮位条件の設定

本検討では、風波・潮汐の運動は考慮せず、静水位を潮位として設定する。検討に用いる潮位は、「津波・高潮ハザードマップマニュアル（平成16年3月）」、p.98に基づき、H. W. L.（朔望平均満潮位）を基本とした。

詳細計算対象領域の潮位については、その領域中に含まれる港湾及び漁港で使用されている潮位諸元より再度設定を行った。各領域における設定潮位を表-4.9及び表-4.10に示すとともに、各領域位置図を図-3.24にそれぞれ示した。

表-4.9 各50m領域における設定潮位

50mメッシュ No.	基準とした港名	設定満潮位 (T.P基準(m))
0050-01	塩釜港仙台港区	0.760
0050-02	塩釜港仙台港区、塩釜港塩釜港区、松島港、石巻港、萩浜港	0.860
0050-03	石巻港、女川港、萩浜港、表浜港	0.825
0050-04	気仙沼港、御崎港	1.093

表-4.10 詳細計算対象領域における設定潮位(本検討で再設定)

詳細計算対象領域	設定潮位 (T.P基準(m))	備考
気仙沼港	1.093	気仙沼港計画平面図より設定
津谷川	0.716	稲淵漁港計画平面図より設定
志津川	0.716	志津川漁港計画平面図より設定
北上川	0.60	北上漁港事業計画平面図より設定
女川港	0.70	女川漁港計画平面図より設定
石巻港	0.8255	石巻港港湾計画平面図より設定
鳴瀬川	0.8255	石巻港港湾計画平面図より設定
松島町	0.72	磯崎漁港広域漁港整備事業整備計画・計画図より設定
仙台・塩釜港(塩釜港区)	0.86	塩釜港区港湾計画平面図より設定
仙台・塩釜港(仙台港区)	0.76	仙台港区港湾計画平面図より設定
名取川	0.75	閑上漁港広域漁港整備事業整備計画・計画図より設定
阿武隈川	0.75	荒浜漁港計画平面図より設定

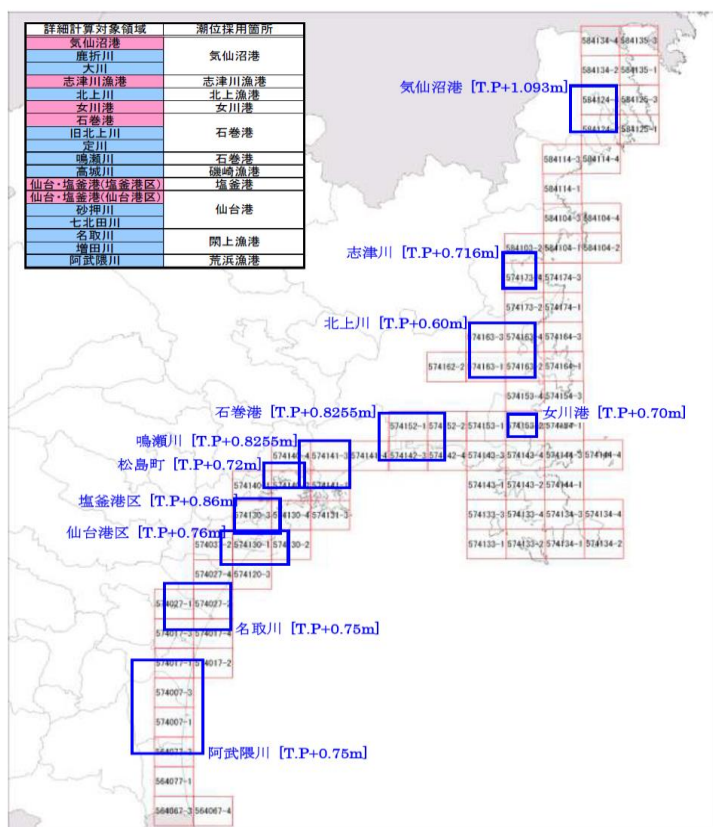


図-4.24 各領域における設定潮位一覧

4. 津波シミュレーションモデルの妥当性の検討

本項では、第3次被害想定と同様に昭和三陸地震津波の再現計算を行うことにより、浸水予測計算に用いる津波モデルの妥当性の検証を行った。

4.1 シミュレーションモデルの概要

1) シミュレーションの検討フロー

「津波・高潮ハザードマップマニュアル」（H16年4月）による「時系列を考慮した数値シミュレーション」により津波による浸水予測を実施した。計算手法は、基礎方程式を非線形長波理論（浅水理論）、数値解法はLeap-frog法による有限差分法の平面2次元モデルとし、津波の発生・伝播から遡上までを一連で計算した。

検討フローは図-4.25に示すとおりである。

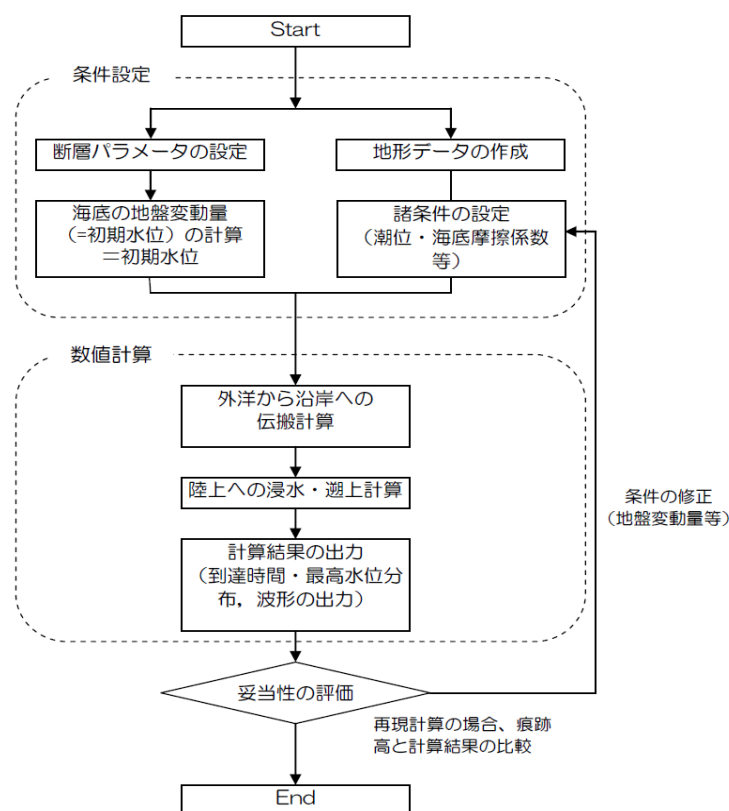


図-4.25 検討フロー

2) 支配方程式

第3次被害想定調査では、津波を再現する支配方程式として、以下の非線形長波理論を用いて計算を行っている。

本検討では、一般的な直角座標系での非線形長波理論を用い、外洋の伝播から遡上計算までを一括して行った。

なお、外洋を伝播する津波の解析には、地球の丸みやコリオリ力を考慮した地球座標系を用いて計算を行う例もあるが、本検討では三陸沖の海溝から宮城県沿岸までを対象範囲とするため、全領域で直角座標系を適用して解析を行うものとした。

3) 計算スキーム

津波浸水予測計算は、東北大学で開発されたプログラムを用いて行った。このプログラムでは、Staggered leap-frog 法で支配方程式（運動方程式，連続の式）を差分化し、水位と流量を交互に計算することで数値計算が行われるものである。

図-4.26 に η, M, N の計算点を示す。

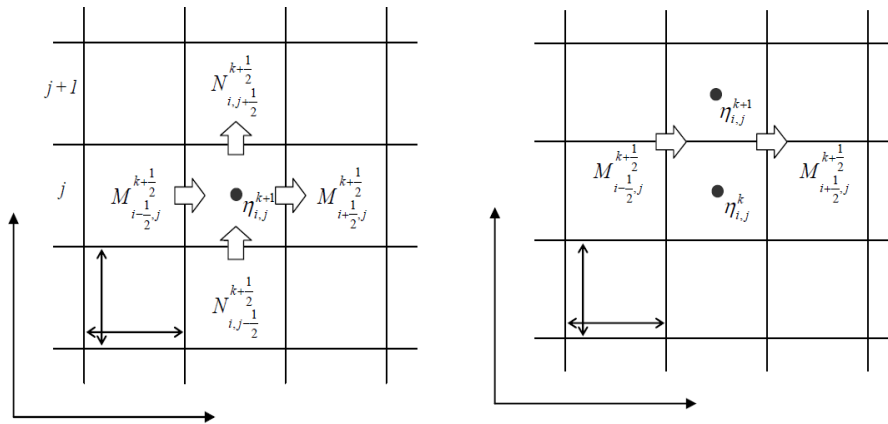


図-4.26 Leap-frog 法の計算点の配置 (Staggered 格子)

4) 接続計算の概要

本検討では、宮城県沿岸部において津波浸水計算を行うが、河口部や市街地のような小領域で津波の遡上を計算するには、より細かい空間格子間隔が必要とされる。

しかし、そのような細かいメッシュで広範囲をカバーすれば計算に用いる地形データの容量は膨大となり、計算に支障を来す恐れがあるため、水深の深い外洋において空間格子を粗く設定し、沿岸域に近づくに従って地形特性を反映させるために空間解像度を細かくする「接続計算手法」を用いて解析を行った。

接続計算では、空間格子間隔の異なる領域を接続するため、大領域と小領域で水位及び流量の受け渡しを行い、領域間の接続は、「3.3 地形データの作成」で整理したとおり、大領域と小領域の空間格子間隔の比率を A~D 領域で 3:1、D~E 領域で 5:1 となるように設定した。以下に、接続計算の概要を示す。

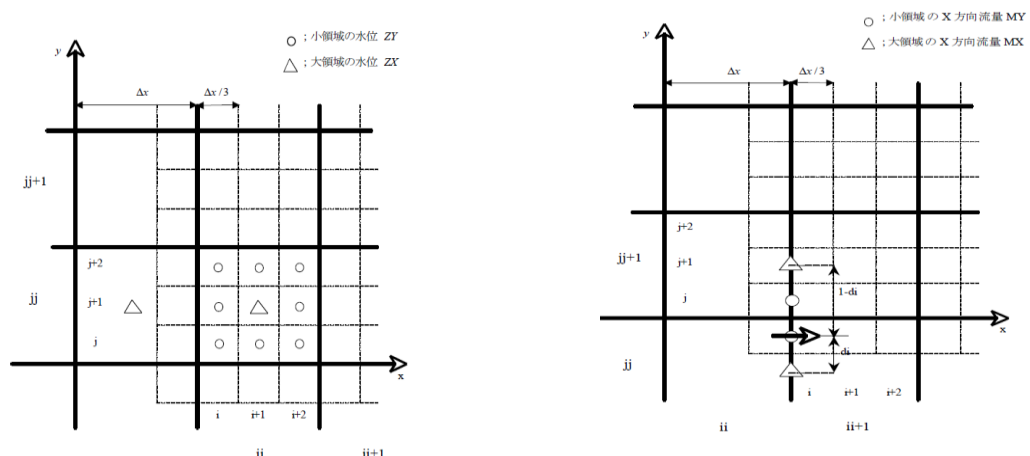
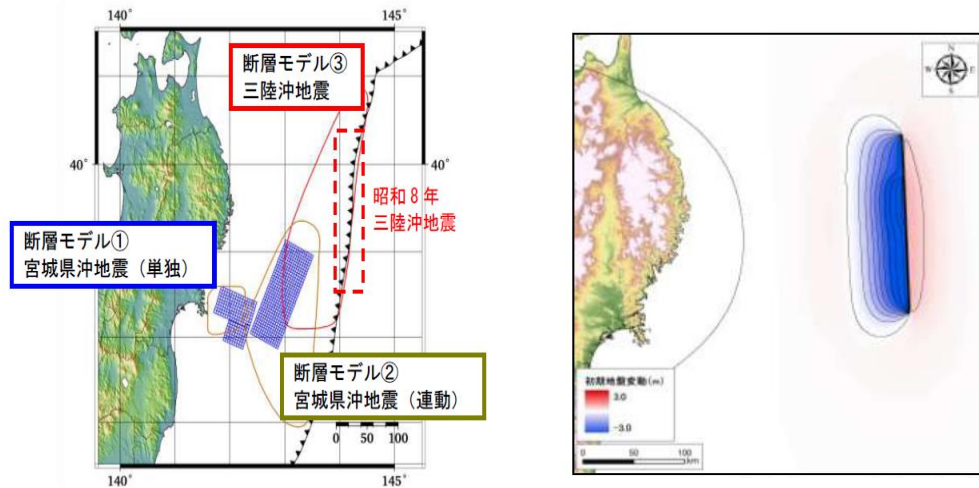


図-4.27 左端境界の水位(左図)・流量(右図)接続の概要(空間接続 1/3)

4.2 再現計算対象の整理

再現計算の対象とする津波は、第四次地震被害想定時において検討対象とする①宮城県沖地震（単独型）による津波、②宮城県沖地震（連動型）による津波、③三陸沖地震津波のうち、過去の痕跡が確認されており、第3次被害想定時にも検討が行われた③昭和と三陸地震津波とした。以下に、各地震の想定断層位置図を示す。

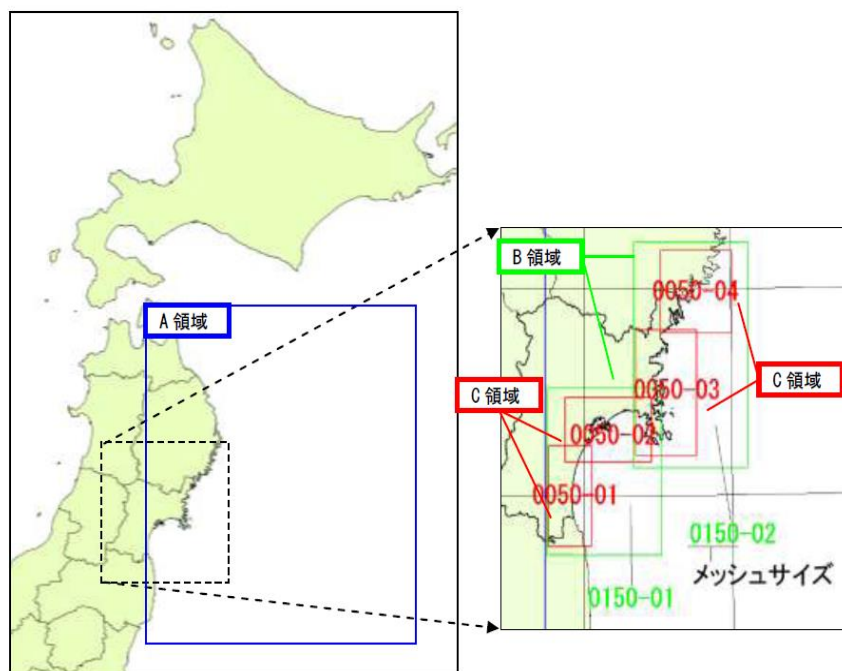


図－4.28 想定断層位置(左図)及び昭和三陸地震の初期地盤変動(右図)

4.3 再現計算条件の設定

1) 計算対象範囲

再現計算の対象とする範囲は福島県北部（相馬市）から宮城県沿岸全域、及び岩手県南部（気仙郡三陸町）とし、図－4.29 のとおり計算範囲及びメッシュサイズを設定した。



図－4.29 A領域（450mメッシュ）～C領域（50mメッシュ）の領域構成図

出典：第3次被害想定調査報告書

1) 計算対象範囲

第3次被害想定時と同条件下において、昭和三陸地震津波の再現計算を実施したものである。計算は、A領域(三陸沖、450mメッシュ)からC領域(宮城県周辺沿岸、50mメッシュ)に至るまでの3領域について、順次メッシュサイズを小さくして行った。

次に、全領域で遡上を考慮した非線形計算を行い、潮位については対象地震が発生した際の値が不明であるため平均海水面(T.P+0.0m)として設定した。

なお、昭和三陸地震当時の地形・粗度については、当時の詳細が確認出来る資料が乏しいため、地形データには第3次被害想定時の値を、粗度データには一律0.020(農地等に相当する粗度係数値)を設定して計算を行った。

表-4.11 計算条件一覧(第3次被害想定と同様)

項目	設定条件
解析領域	太平洋～福島・宮城・岩手県沿岸
メッシュ構成	沖合から A領域：450m(三陸沖) B領域：150m(三陸南沖) C領域：50m(福島県北部～岩手県南部沿岸)
モデル方程式	非線形2次元モデル ・運動方程式(流量、流速を計算) ・連続方程式(水位を計算)
数値解法	有限差分法(Leap-frog法)
初期条件	断層パラメータに基づいて海底地盤の鉛直変位量を算定し、初期水位分布として設定
境界条件	沖合：自由透過境界 海岸：A～C領域 移動境界(遡上)
潮位補正等	潮位補正 <u>T.P+0.0m(平均海水面)</u> 地盤の沈降 0.0m
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5時間 時間解像度：0.1sec
その他	粗度係数：小谷ら(1998)に従い(「3.5 粗度データの作成」参照) <u>0.020</u> (農地等に相当)を設定

4.4 再現計算結果の整理

図-4.30に、昭和三陸地震津波による痕跡値(出典：「昭和8年3月3日三陸地方津浪に関する論文及報告、東京帝国大学地震研究所」と、本検討で得られた空間分布の比較結果を示した。これより、両者の値及び空間分布の傾向は概ね一致している。

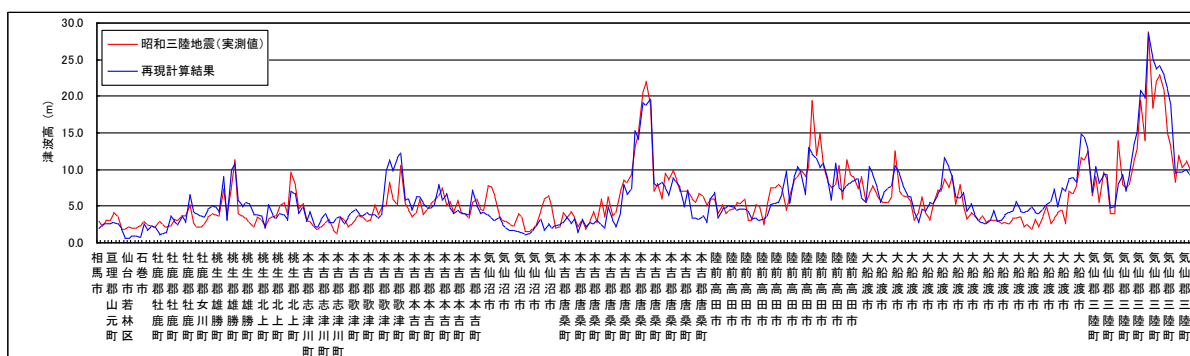


図-4.30 痕跡値と再現計算結果の比較

4.5 モデルの妥当性の検証

計算結果を量的に検証するために、相田(1978)により提案されている指標である K , κ 値を算出した。

昭和三陸地震津波による痕跡値と、本検討により得られた同地点(第3次被害想定時の出力地点)の最高水位について、適合度の指標である K , κ 値を算出した結果を表-4.12に示した。

表-4.12 相田(1978)による K , κ 値の算出結果

指標	本検討結果	再現性に必要とされる精度を満足する範囲
K 値	0.99	$0.95 \leq K \leq 1.05$
κ 値	1.45	$\kappa \leq 1.45$

以上から、本検討における K , κ 値はそれぞれ $K=0.99$, $\kappa=1.45$ となり、再現性に必要とされる精度 ($0.95 \leq K \leq 1.05$, $\kappa \leq 1.45$) を満足する結果となる(第3次被害想定時の値は $K=1.01$, $\kappa=1.42$)。これより、本検討の結果は昭和三陸地震津波の痕跡値を良好に再現していることから、本検討モデルの妥当性が確認できた。

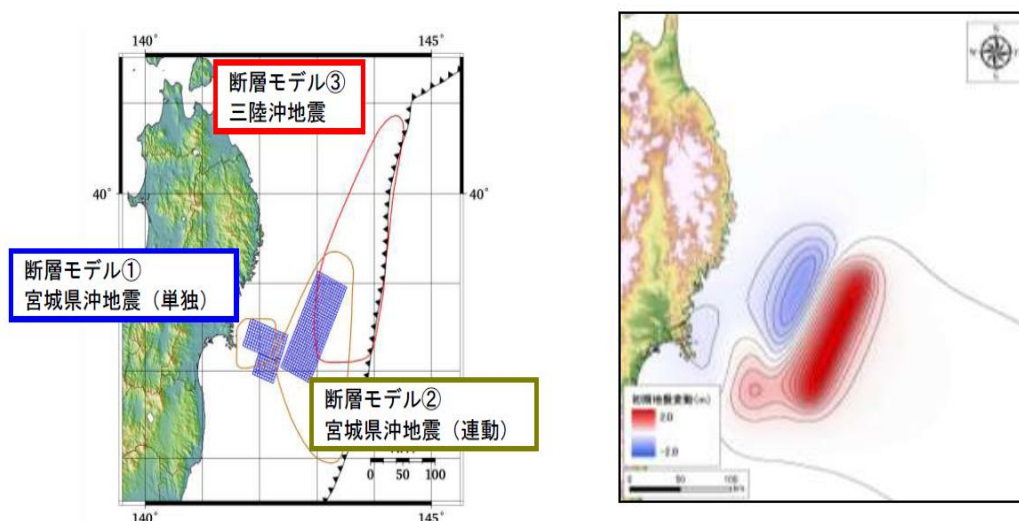
5. 津波浸水予測シミュレーション

本項では、新たに 10m メッシュで作成した地形データを用いて浸水計算を行うことにより、詳細な津波浸水範囲の予測を行った。

5.1 計算対象の整理

本検討において検討対象とする地震津波は、①宮城県沖地震（単独型）による津波、②宮城県沖地震（連動型）による津波、③三陸沖地震津波である。このうち、本章では②宮城県沖地震（連動型）による津波を代表として結果を整理した。

以下に、各地震の想定断層位置図及び初期地盤変動図を示した。



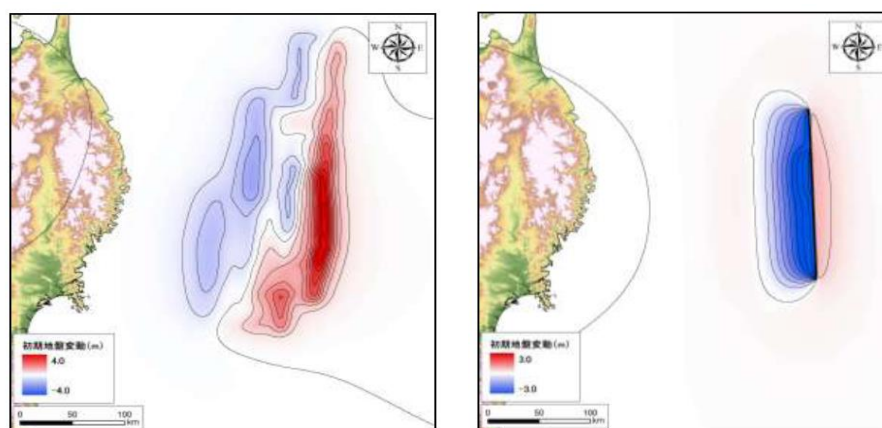
図－4.31 想定断層位置(左図)及び宮城県沖地震(連動型)の初期地盤変動(右図)

5.2 三陸地震津波の選定

1) 対象地震

「4.1 シミュレーションモデルの概要」で述べた手法により、明治三陸地震津波及び昭和三陸地震津波の予測計算を実施し、宮城県沿岸部に来襲する波高について算出・比較を行い、より津波規模の大きくなる地震を本検討の対象地震として選定した。

以下に、各地震の初期地盤変動分布を示す。



図－4.32 明治三陸地震(左図)及び昭和三陸地震(右図)の初期地盤変動

2) 解析条件

明治三陸及び昭和三陸地震津波の予測計算は、A領域（三陸沖、450mメッシュ）からC領域（宮城県周辺沿岸、50mメッシュ）に至るまでの3領域について、順次メッシュサイズを小さくして行い、全領域で遡上を考慮した非線形計算を実施し、潮位については、朔望平均満潮位（H.W.L）を設定した。

表-4.13 計算条件の一覧

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(三陸沖) B領域：150m(三陸南沖) C領域：50m(宮城県沿岸)
モデル方程式	非線形2次元モデル ・運動方程式（流量、流速を計算） ・連続方程式（水位を計算）
数値解法	有限差分法（Leap-frog法）
初期条件	断層パラメータに基づいて海底地盤の鉛直変位量を算定し、初期水位分布として設定
境界条件	沖合：自由透過境界 海岸：A～C領域 移動境界(遡上)
潮位補正等	潮位補正 朔望平均満潮位（H.W.L）
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5時間 時間解像度：0.1sec
その他	粗度係数：小谷ら(1998)に従い（「3.5 粗度データの作成」参照）

3) 解析結果

前述の2地震に伴う津波による、詳細計算領域前面部の空間最高水位分布の概要は以下ようになる。

- ① 宮城県北部においては昭和三陸地震津波の波高が、宮城県南部においては明治三陸地震津波の波高がそれぞれ卓越する傾向にある（図-4.33 参照）。
- ② 詳細計算対象箇所においては、北上川河口部で昭和三陸地震津波による波高が卓越する。
- ③ 北上川河口部以外の詳細計算対象箇所（女川町、志津川町、津谷川河口部、気仙沼市）では明治三陸地震津波による波高が卓越する（図-4.34 参照）。
- ④ 宮城県南部の詳細計算対象箇所（石巻市、東松島市、松島町、塩釜港、仙台港、七北田川河口部、名取川河口部、阿武隈川河口部）では、明治三陸地震津波による波高が卓越する（図-4.34 参照）。

以上より、宮城県北部においては昭和三陸地震による津波が卓越するものの、昭和三陸が卓越する地点は、唐桑半島沿岸部や北上川河口部等、周辺に住宅が密集していない地域で、資産被害が小さくなることが予想される。

一方、人口が密集しており、資産被害が大きくなると予想される地域（気仙沼、志津川、女川、石巻市街地、仙台・塩釜港区）では明治三陸地震津波による波高が卓越する（図-4.34 参照）。

また、明治三陸地震タイプの地震が繰り返し発生すると考えられているのに対し、昭和三陸地震タイプの繰り返し発生は確認されていないと指摘されており、今後、同一地域で近い将来に発生する可能性は低いと考えられることから、本検討で対象とする地震津波には、「明治三陸地震津波」を選定した。

解析結果にもとづく最高水位の空間分布図を図-4.33～図-4.34 に示した。

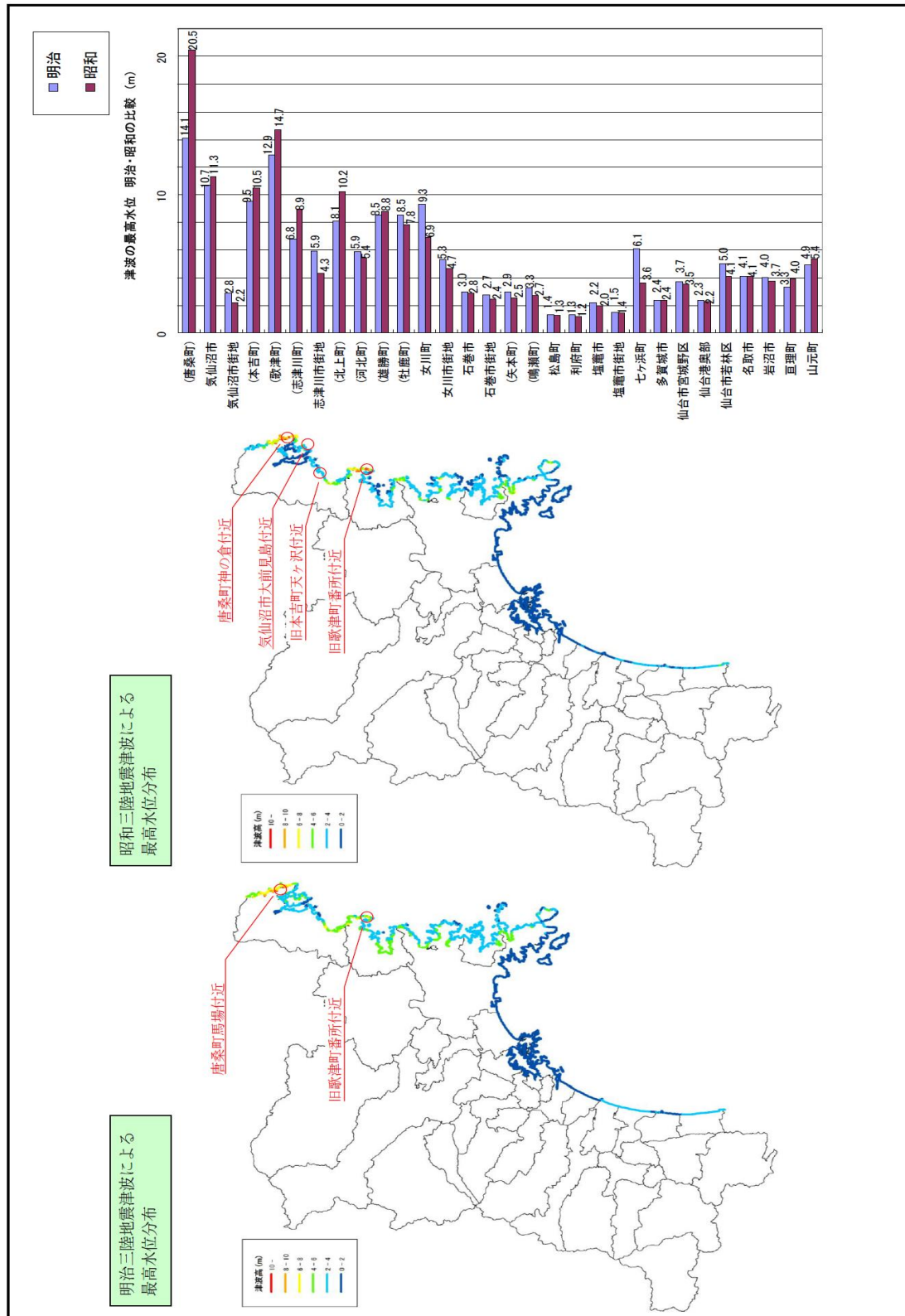


図-4.33 各断面による最高水位分布図

※ () 内は、市町村合併により名称が変更となった自治体を示す

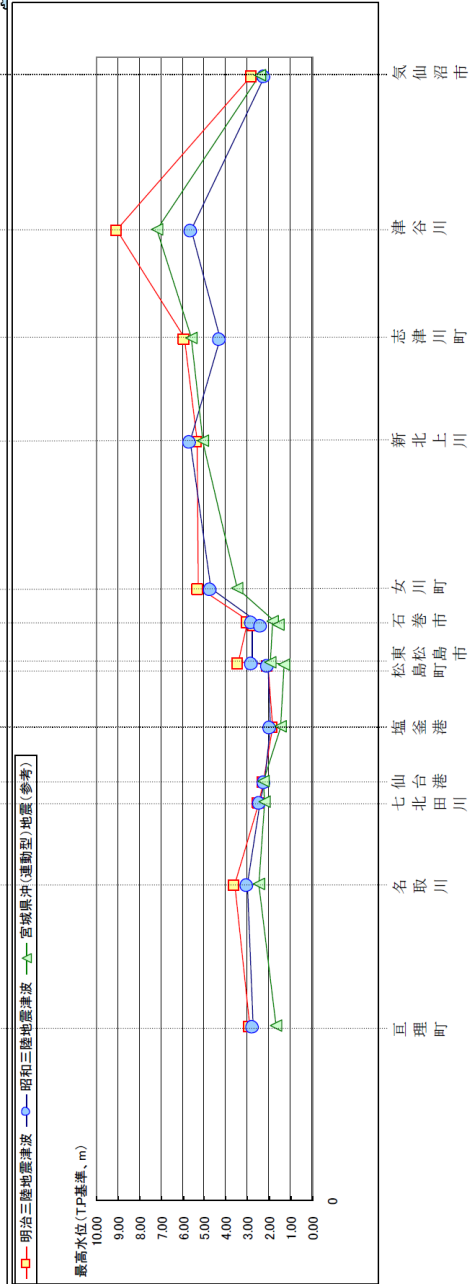
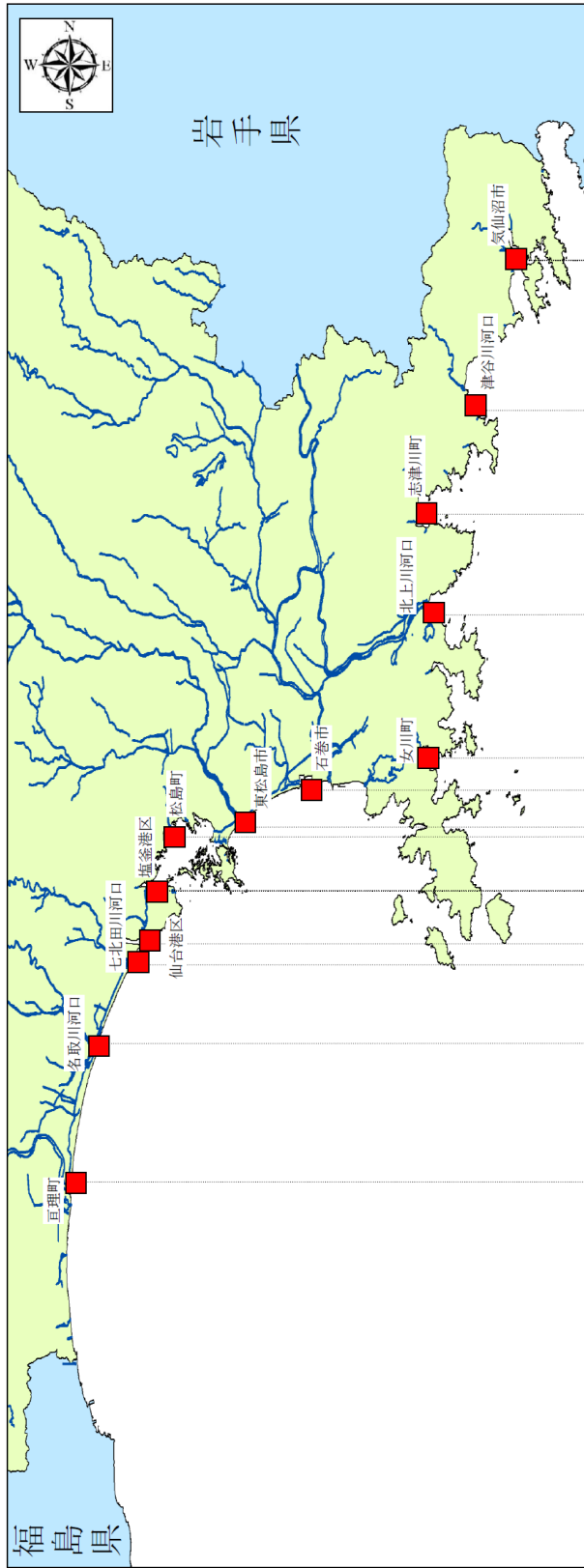


図-4.34 各断面層による最高水位分布 (詳細計算対象領域)

5.3 予測計算条件の設定

1) 計算対象範囲

予測計算の対象とする範囲は、宮城県沿岸部全域とする。この内、詳細地形データ(10mメッシュ)の作成は、下図に示す重要区域(6地区)及び背後に住宅地の存在する13河川を含む領域を対象とし、本項では、「仙台・塩釜港(仙台港区)」、「気仙沼港」、「北上川」を代表として予測計算結果を説明する。

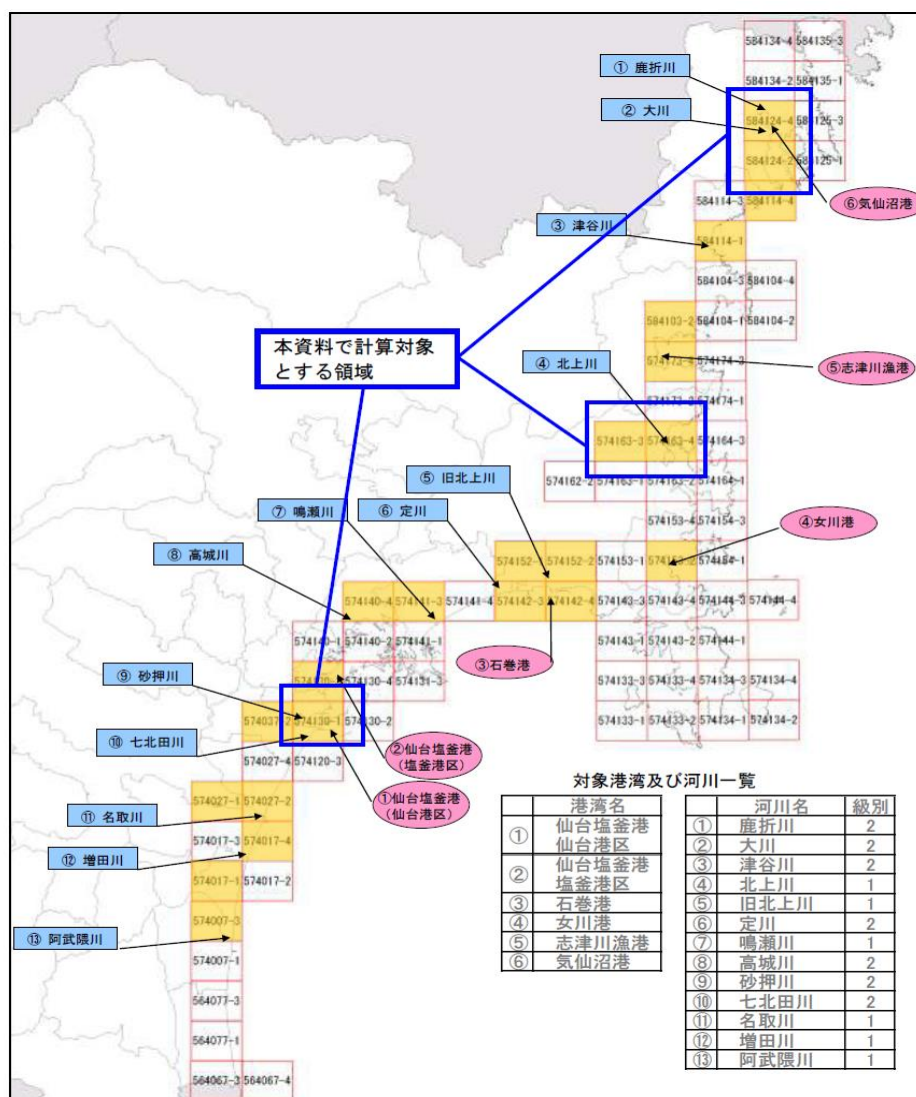


図-4.35 詳細地形データ作成領域

2) 解析条件

10mメッシュで作成した地形データを用いて、仙台・塩釜港(仙台港区)、気仙沼港の津波浸水予測計算を実施した。表-4.14～表-4.15に予測計算における計算条件の詳細を示すとともに、図-4.36～図-4.37に計算領域図を示した。

計算は、A領域(三陸沖、450mメッシュ)からD領域(仙台・塩釜港(仙台港区)、気仙沼港、北上川、10mメッシュ)4領域について、順次メッシュサイズを小さくして行い、潮位については、各領域に含まれる港湾・漁港で設定されている朔望平均満潮位(H.W.L)を設定し、全領域で遡上を考慮した非線形計算を実施した。

表-4.14 計算条件の一覧

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 (三陸沖) B 領域：150m (三陸南沖) C 領域：50m (宮城県周辺沖) (D 領域 (10m メッシュ) の地形データで置き換え) D 領域：10m (仙台・塩釜港 (仙台港区)、気仙沼港、北上川) 陸域標高：国土地理院による「海岸における 3D 電子地図」 (2m メッシュ測量データ) を活用して作成 「3.3.2(3)」項を参照 水深：海底地形デジタルデータ及び港湾・漁港計画平面図を基に作成 「3.3.2(4)及び(5)」項を参照
モデル方程式	非線形 2 次元モデル ・運動方程式 (流量、流速を計算) ・連続方程式 (水位を計算)
数値解法	有限差分法 (Leap-frog 法)
初期条件	断層パラメータに基づいて海底地盤の鉛直変位量を算定し、初期水位分布として設定
境界条件	沖合：自由透過境界 海岸：A～D 領域 移動境界(遡上)
潮位補正等	潮位補正 仙台港区： <u>T.P+0.760m</u> (仙台港区で設定されている H.W.L.) 気仙沼港： <u>T.P+1.093m</u> (気仙沼港で設定されている H.W.L.) 北上川： <u>T.P+0.600m</u> (北上漁港で設定されている H.W.L.)
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 5 時間 時間解像度：0.02sec
その他	粗度係数：小谷ら(1998)に従い (「2.5 粗度係数の設定」参照)

表-4.15 潮位条件変更の一覧

第 3 次被害想定時	本検討
仙台港区： <u>T.P+0.860m</u> (塩釜港区設定されている H.W.L.)	仙台港区： <u>T.P+0.760m</u> (仙台港区で設定されている H.W.L.)
気仙沼港： <u>T.P+1.093m</u> (気仙沼港で設定されている H.W.L.)	気仙沼港： <u>T.P+1.093m</u> (気仙沼港で設定されている H.W.L.)
北上川： <u>T.P+0.8255m</u> (石巻港で設定されている H.W.L.)	北上川： <u>T.P+0.600m</u> (北上漁港で設定されている H.W.L.)

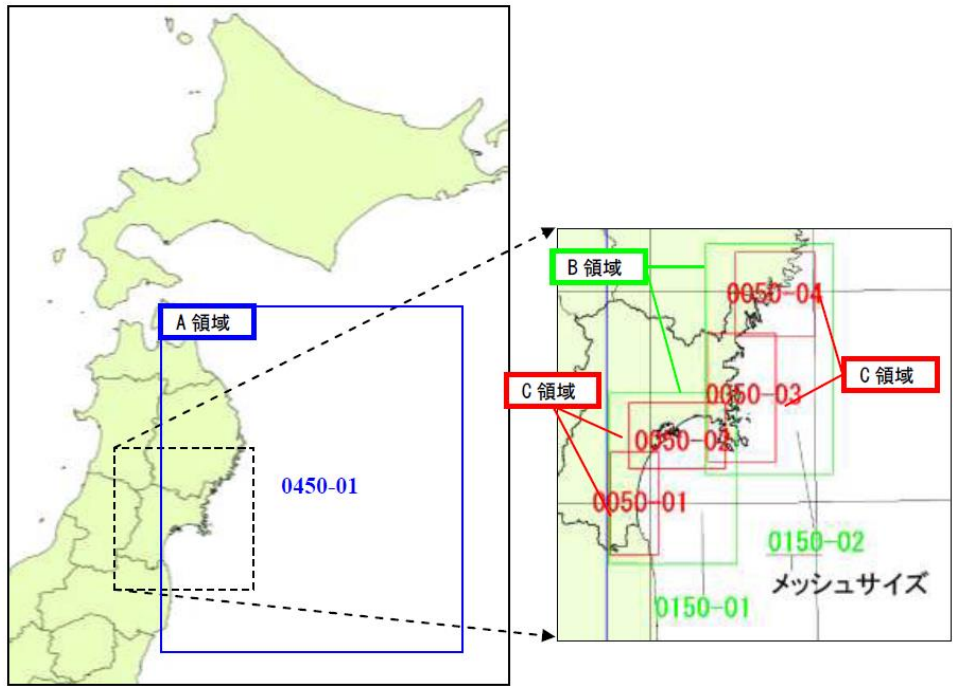


図-4.36 A領域（450mメッシュ）～C領域（50mメッシュ）の領域構成図
 出典：第3次被害想定調査報告書

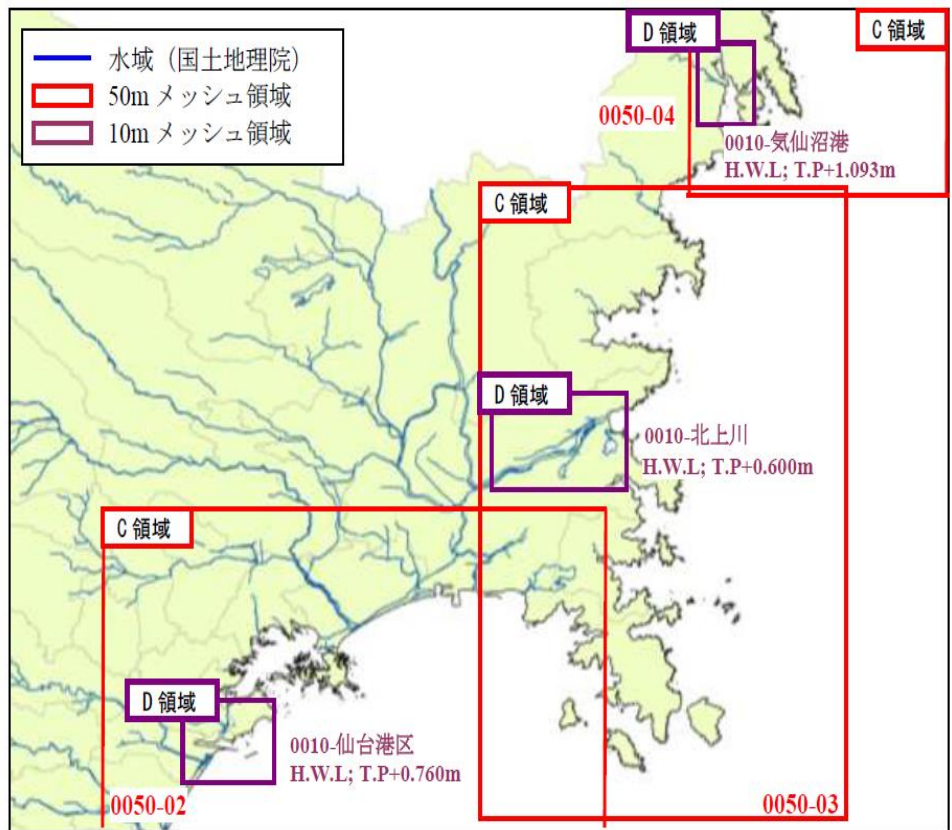


図-4.37 C領域（50mメッシュ）～D領域（10mメッシュ）の領域構成図



図-4.38 仙台港区の地形データ

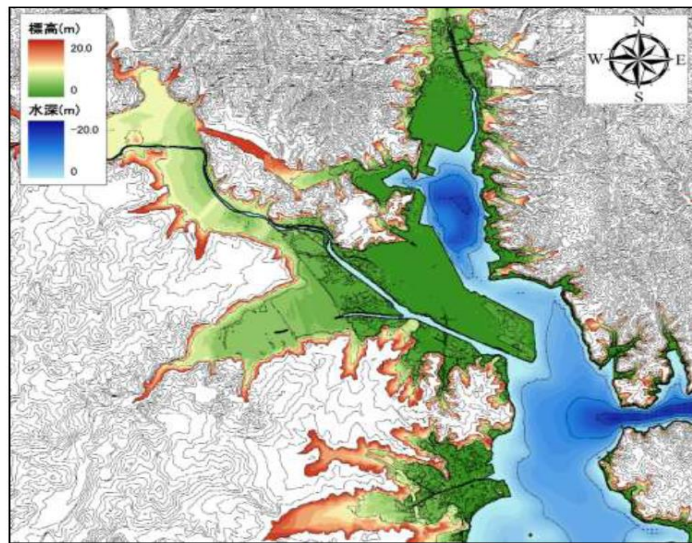


図-4.39 気仙沼港の地形データ

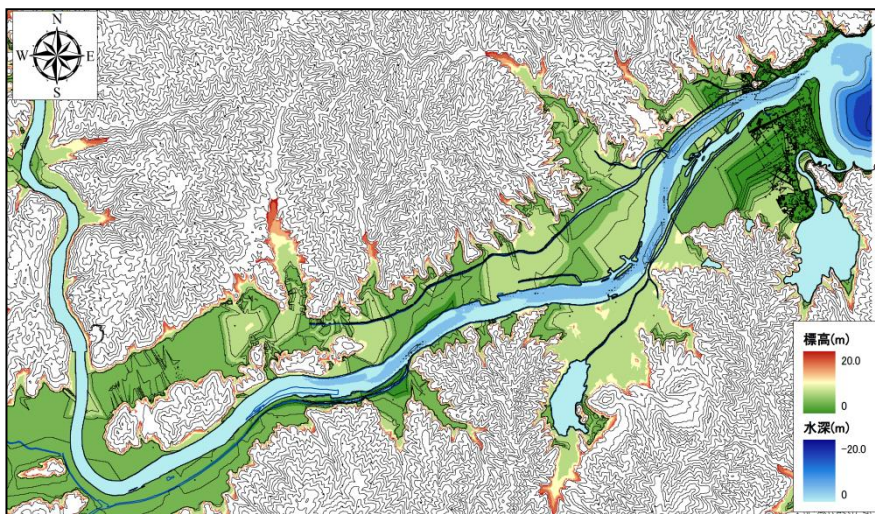


表-4.40 北上川の地形データ

5.4 予測計算結果の整理

宮城県沿岸における各津波（宮城県沖（単独型）、宮城県沖（連動型）、明治三陸地震、昭和三陸地震）の到達時間（初期水位変動到達時間、最高水位到達時間）及び最高水位分布を示すとともに、各詳細計算対象領域における津波の浸水予測計算結果（最大浸水深分布）を示す。

なお、浸水予測計算結果については、宮城県沖（連動型）地震による結果を対象とし、次のエリアを代表例として説明した。

- ① 特定重要港湾区域：仙台・塩釜港（仙台港区）
- ② 過去に津波による甚大な被害を受けた三陸沿岸部：気仙沼市
- ③ 津波の遡上が想定される河川：北上川

図-4.41 は、「水位」及び「浸水深」の定義を概念的に示したものである。

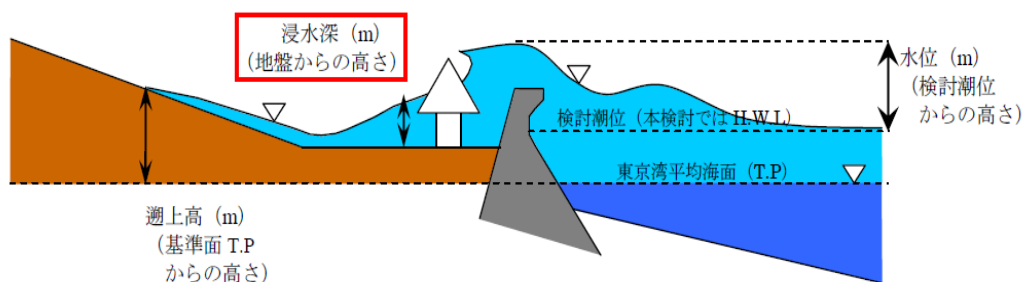


図-4.41 浸水深、遡上高及び水位の定義

1) 宮城県沿岸における計算結果

宮城県沖（単独型）、宮城県沖（連動型）、明治三陸、昭和三陸地震による、宮城県沿岸での津波の到達時間（初期水位変動到達時間、最高水位到達時間）及び最高水位分布の計算結果を整理した。

なお、津波の到達時間、最高水位は、次のように定義して出力した。

- ① 津波の到達時間（初期水位変動）
「宮城県沿岸（陸域に近接する海域メッシュ）で±0.2mの水位変動が最初に生じる、地震発生からの経過時間（第一波の水位変動が到達する時間）」。
- ② 津波の最高水位
「宮城県沿岸（陸域に近接する海域メッシュ）で最も津波の水位が高くなった時の値」。
- ③ 津波の到達時間（最高水位）
「②が発生する、地震発生からの経過時間」。

上記の計算結果は、図-4.42～図-4.45に示すとおりであり、概説すると次のとおりである。

- ① 全ての地震で最高水位は宮城県北部ほど大きくなり、宮城県沖（単独型）では最高水位が旧雄勝町で 2.5m 程度であるのに対し、宮城県沖（連動型）では本吉付近で 10.0m 程度、また明治・昭和三陸地震津波では三陸沿岸（歌津～唐桑）で 15～20m 程度となる。
- ② 第一波の水位変動が到達する時刻は、宮城県沖地震（単独・連動型）及び明治三陸地震津波で、宮城県北部は概ね 20～30 分、南部は 50～60 分程度であるのに対し、昭和三陸地震津波ではそれぞれ 10 分程度到達が遅れる。
- ③ 最高水位及びその到達時刻で、本検討と第 3 次被害想定時に差異が生じている箇所が見受けられるが、本検討で反映している海岸堤防による反射の影響や、標高・水深データの更新等が重なり、両者の差異に寄与しているものと推察される（第 3 次被害想定では、一部の港湾区域を除いて海岸堤防を計算に反映していない）。

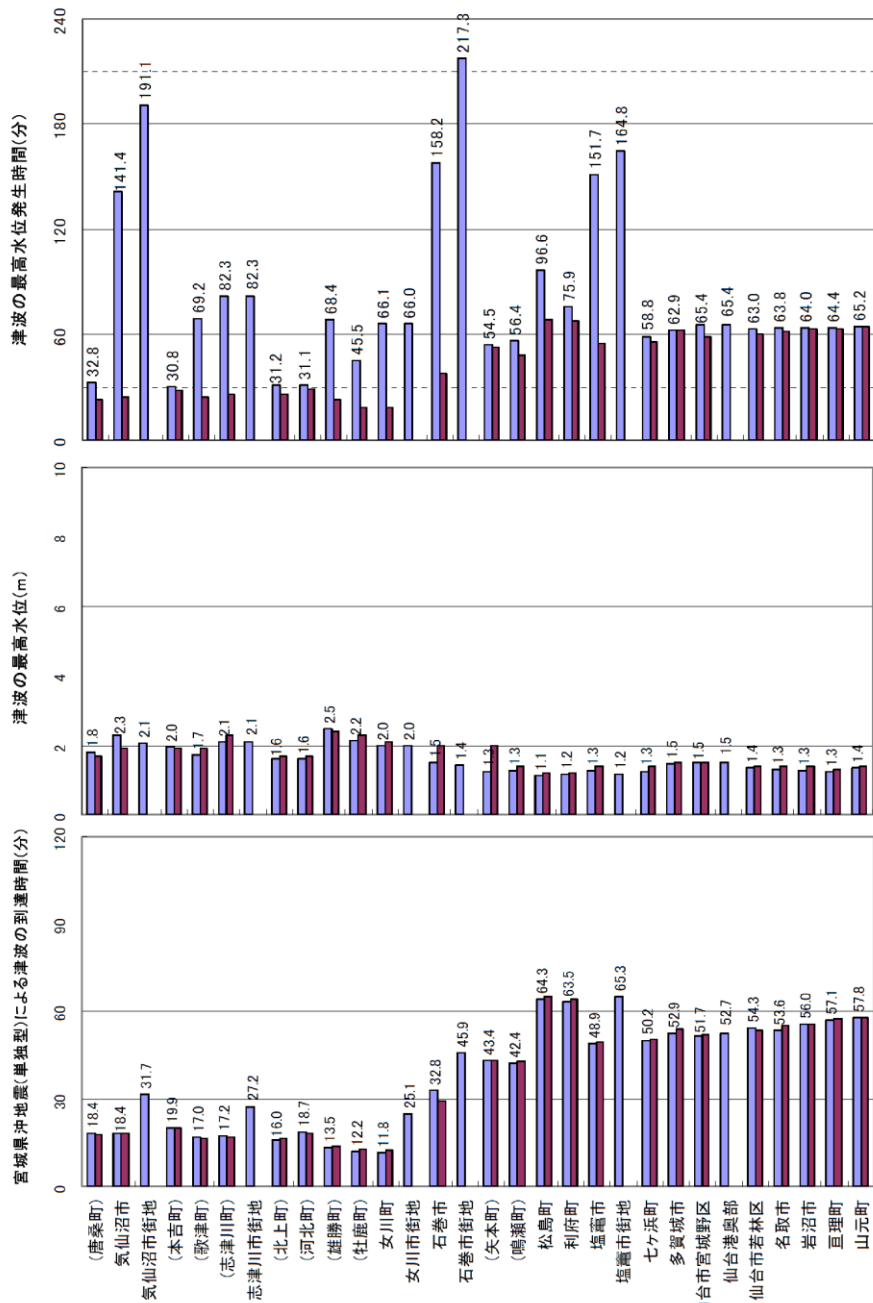
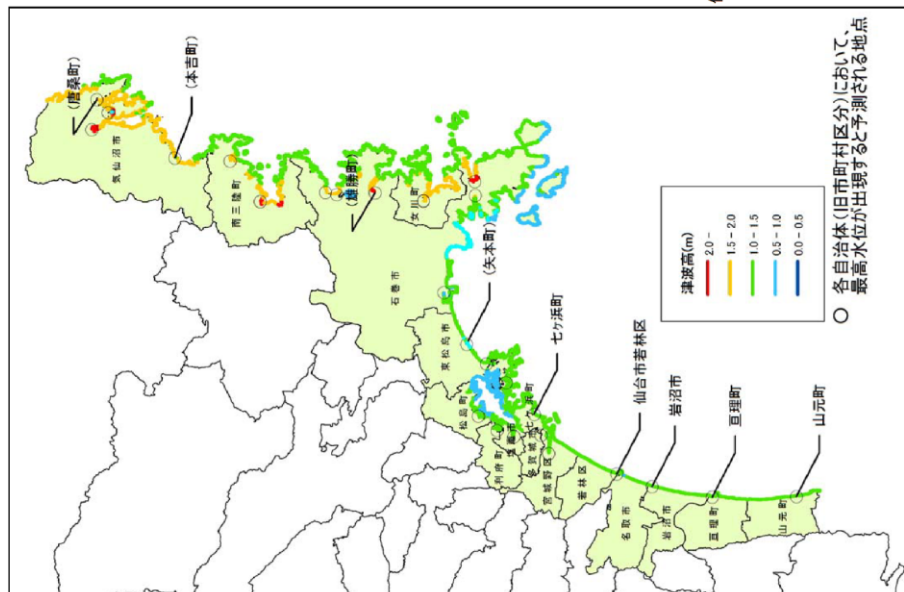


図-4.42 宮城県沿岸の津波到達時間及び最高水位（宮城県沖（単独型）地震）

※（）内は、市町村合併により名称が変更となった自治体を示す。

■ : 本検討
■ : 第3次

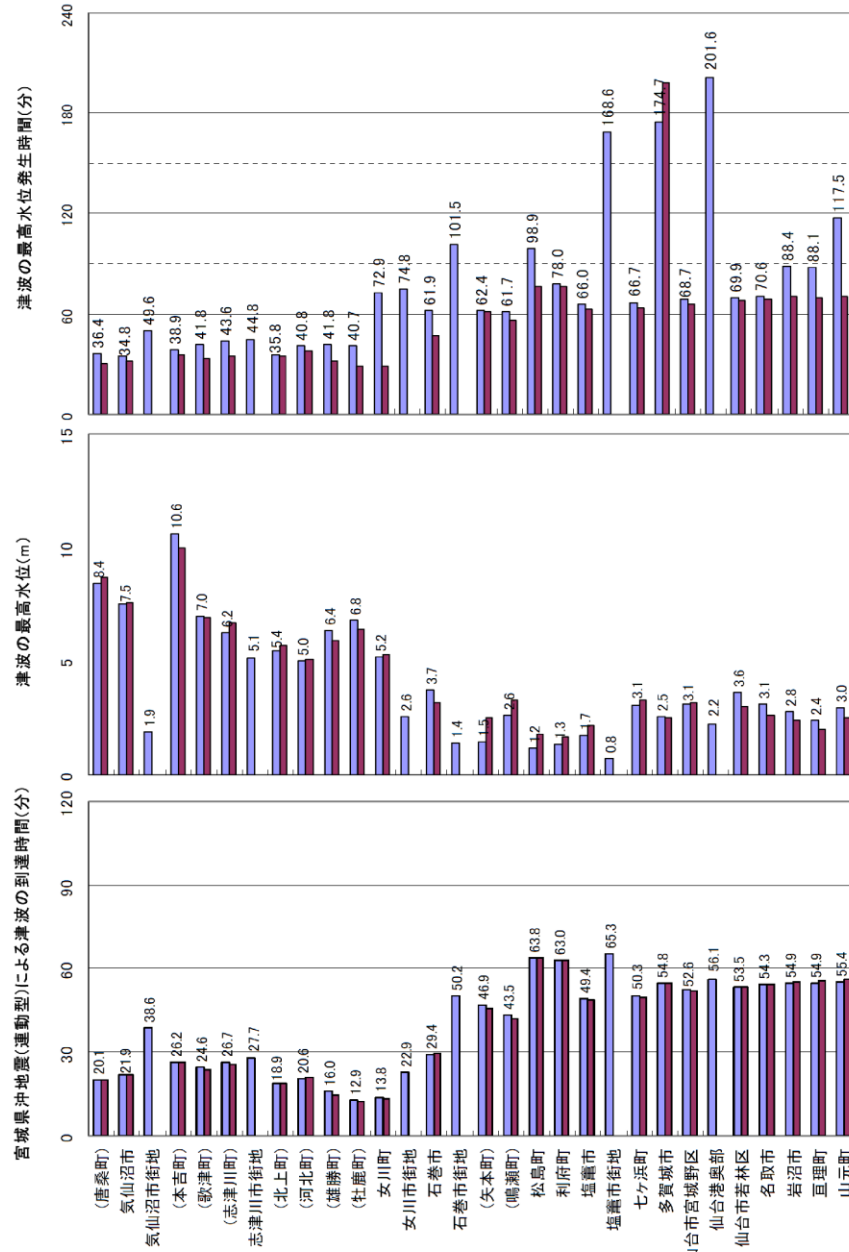
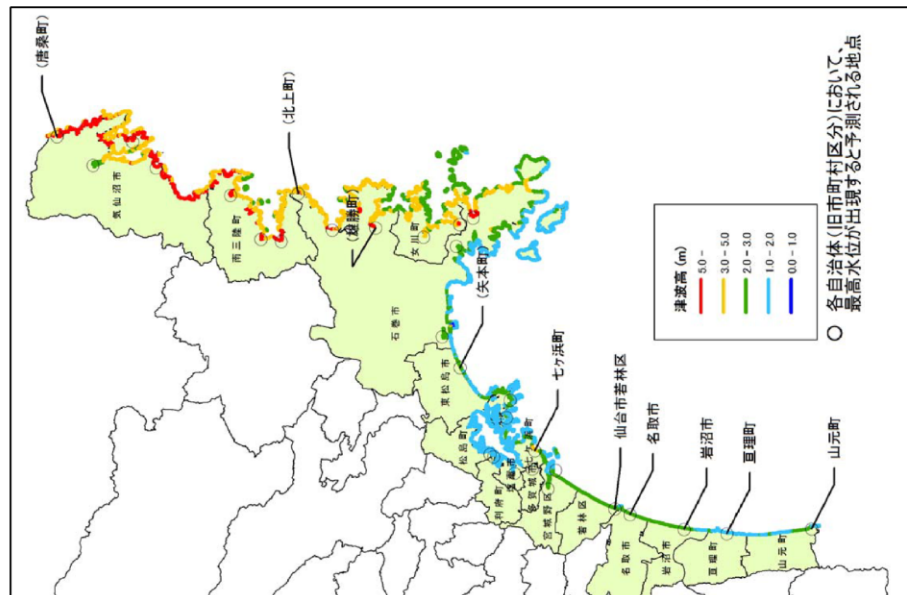


図-4.43 宮城県沿岸の津波到達時間及び最高水位（宮城県沖（運動型）地震）

※（）内は、市町村合併により名称が変更となった自治体を示す。

：本検討

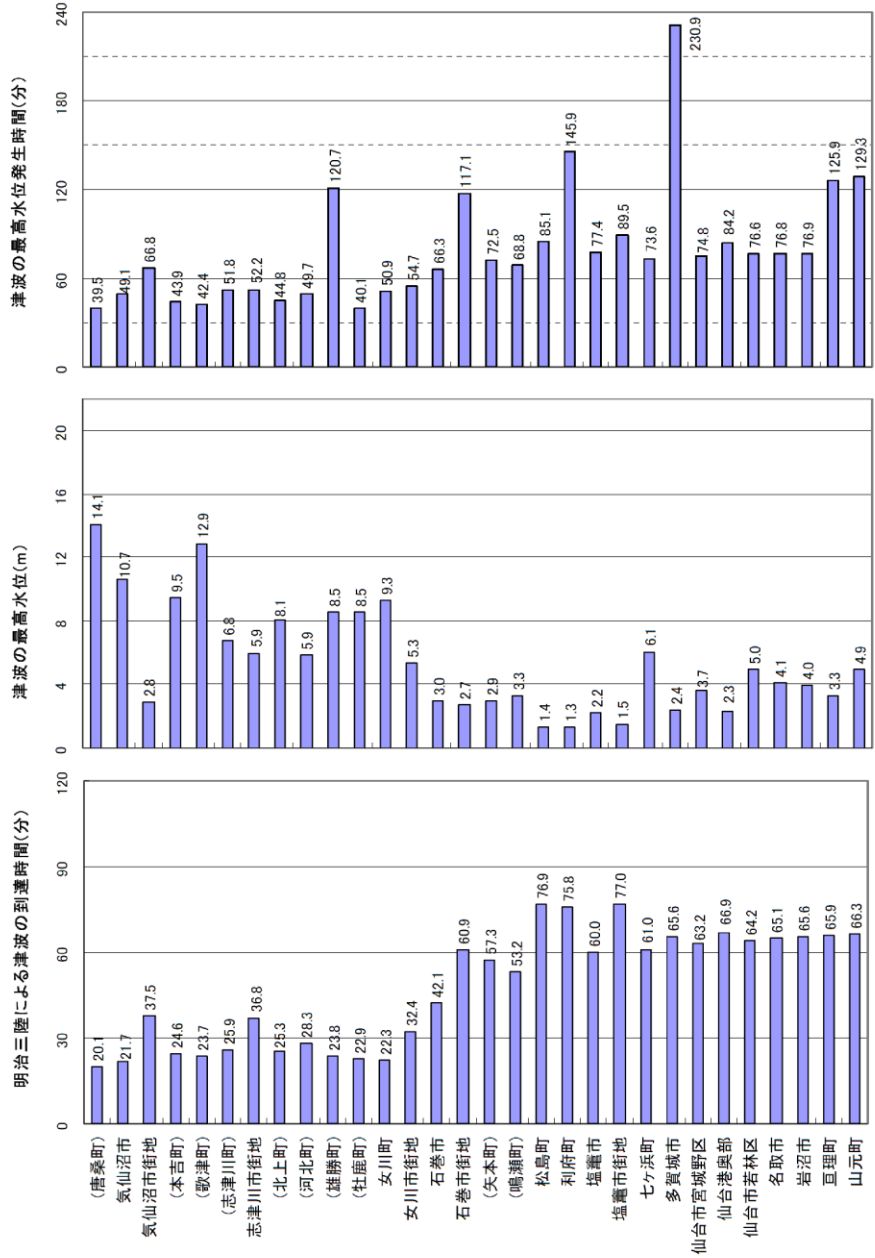
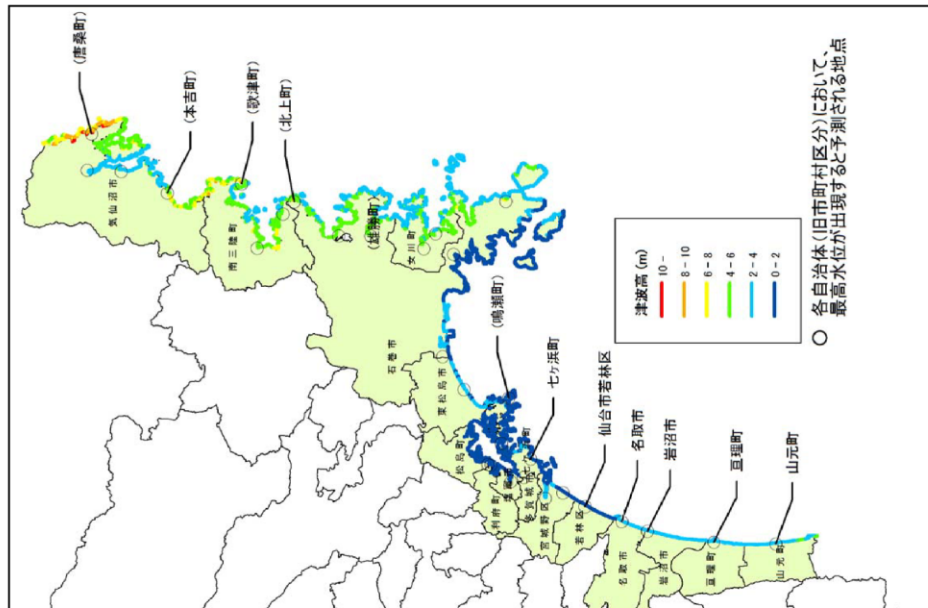


図-4.44 宮城県沿岸の津波到達時間及び最高水位（明治三陸地震）

※ () 内は、市町村合併により名称が変更となった自治体を示す。

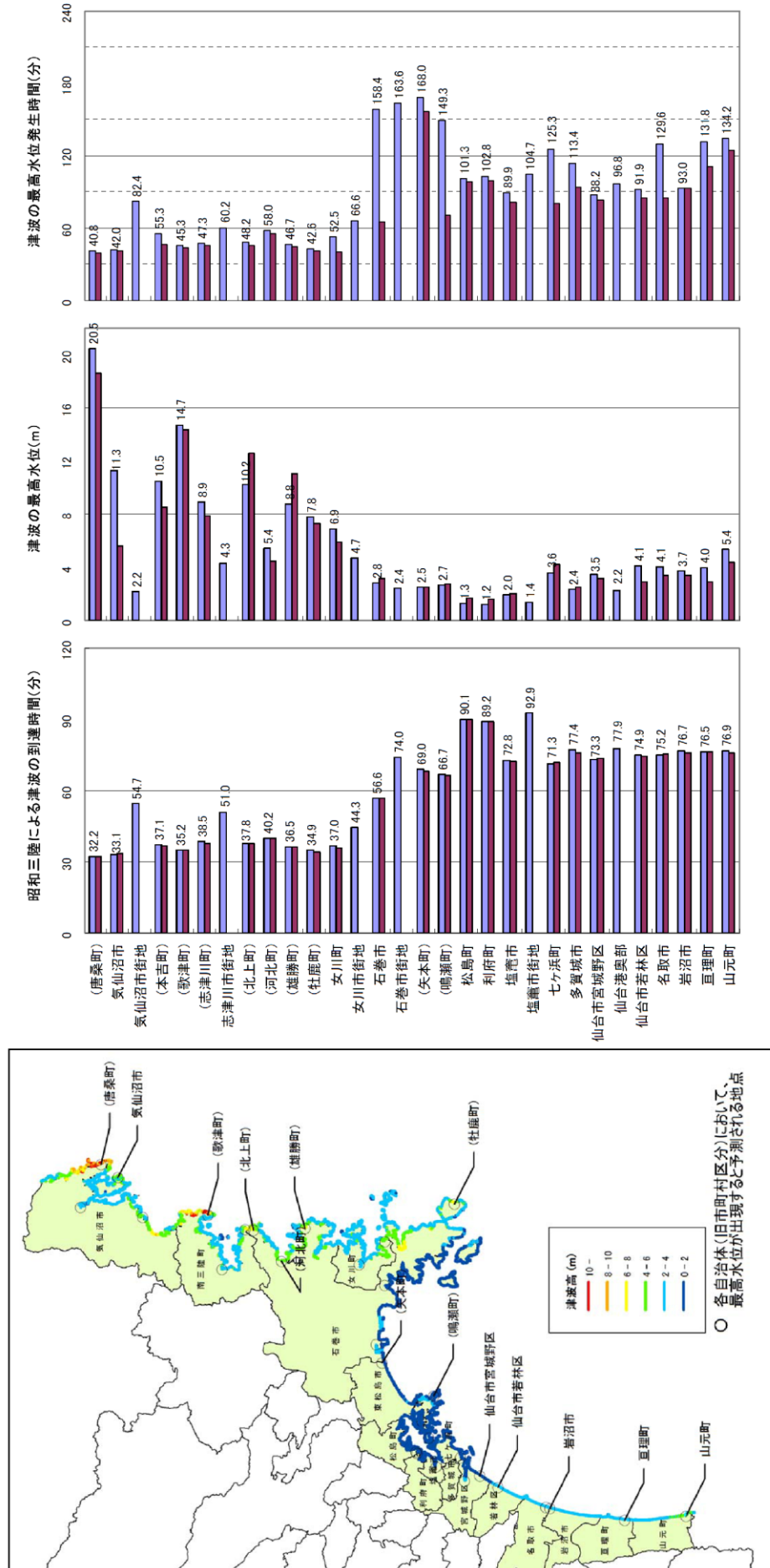
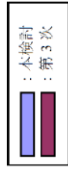


図-4.45 宮城県沿岸の津波到達時間及び最高水位 (昭和三陸地震)
 ※ () 内は、市町村合併により名称が変更となった自治体を示す。

2) 仙台港区

仙台港区における予測計算結果を整理するとともに、第3次被害想定時の計算結果と本検討(10mメッシュ)の計算結果を示す。

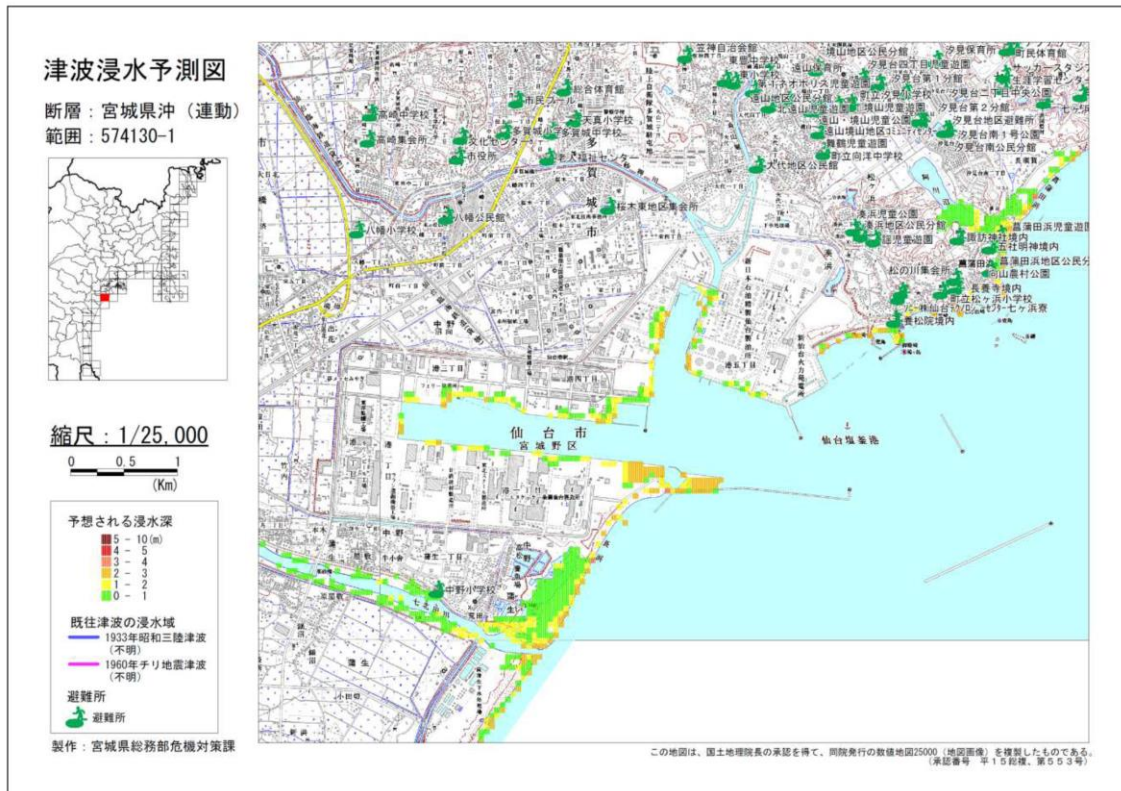


図-4.46 仙台港における予測計算結果(第三次被害想定時条件下)

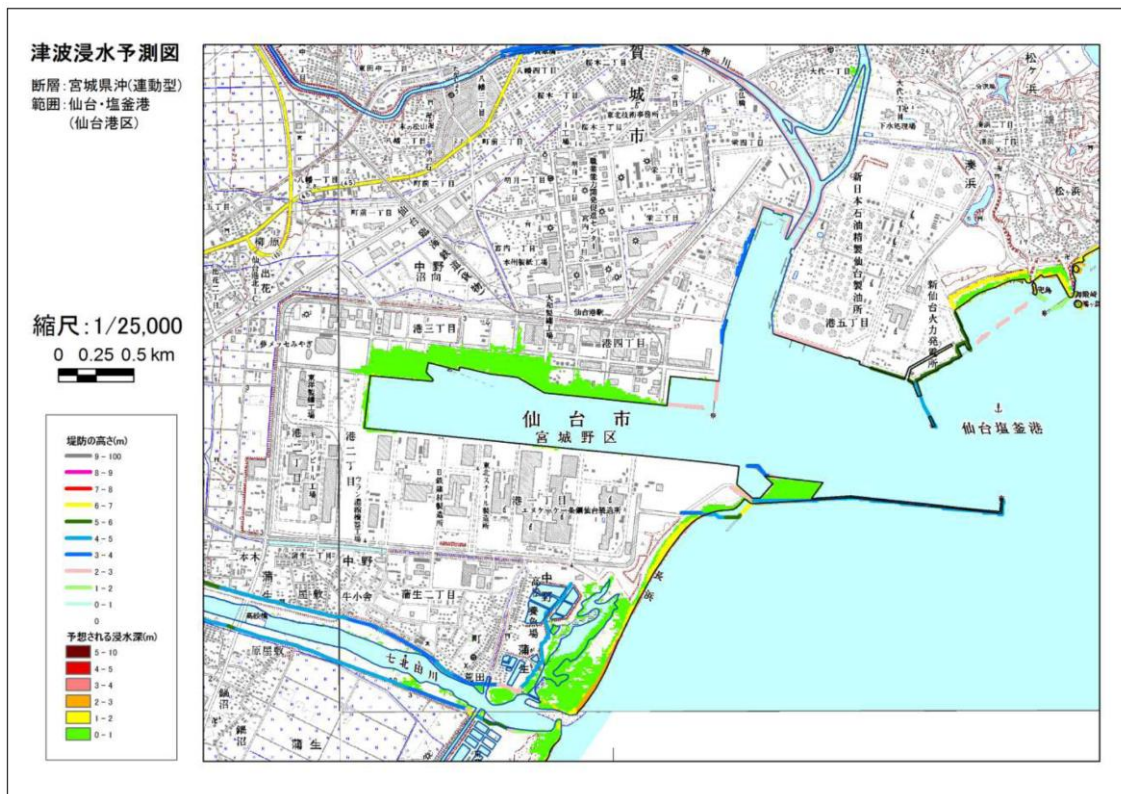


図-4.47 仙台港における予測計算結果(本検討条件下 10mメッシュ)

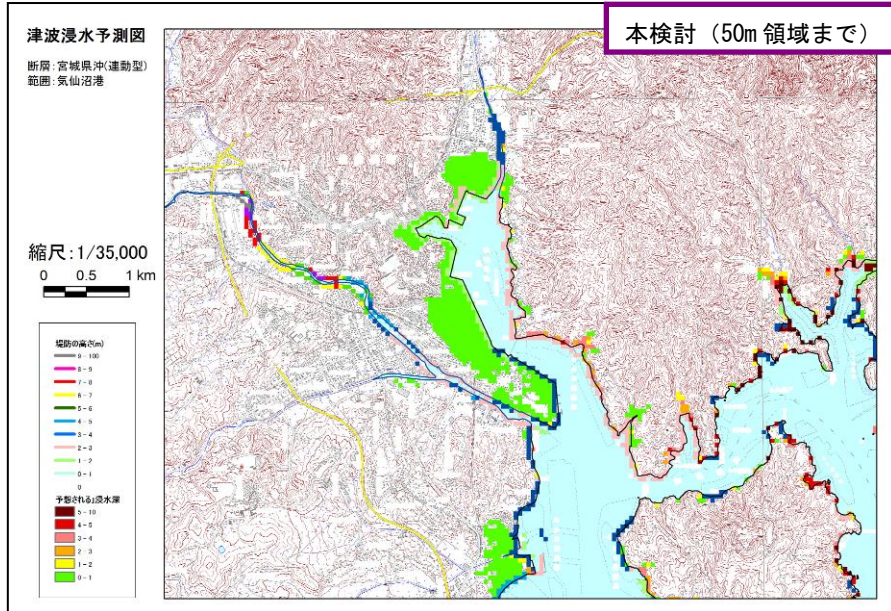
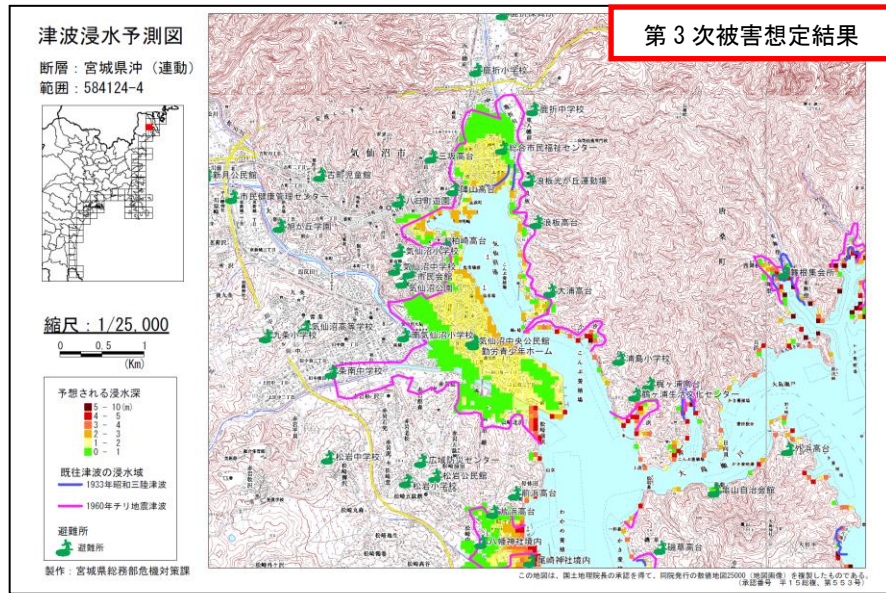


図-4.48 仙台港における浸水範囲の比較結果（第三次被害想定時条件下）

第3次被害想定時の浸水範囲と比較して、標高データの見直しにより本計算の浸水範囲はフェリー発着場付近で増大、栄地区及び高砂コンテナターミナルでやや減少するものの、その他の箇所は、概ね傾向が一致する結果となった。

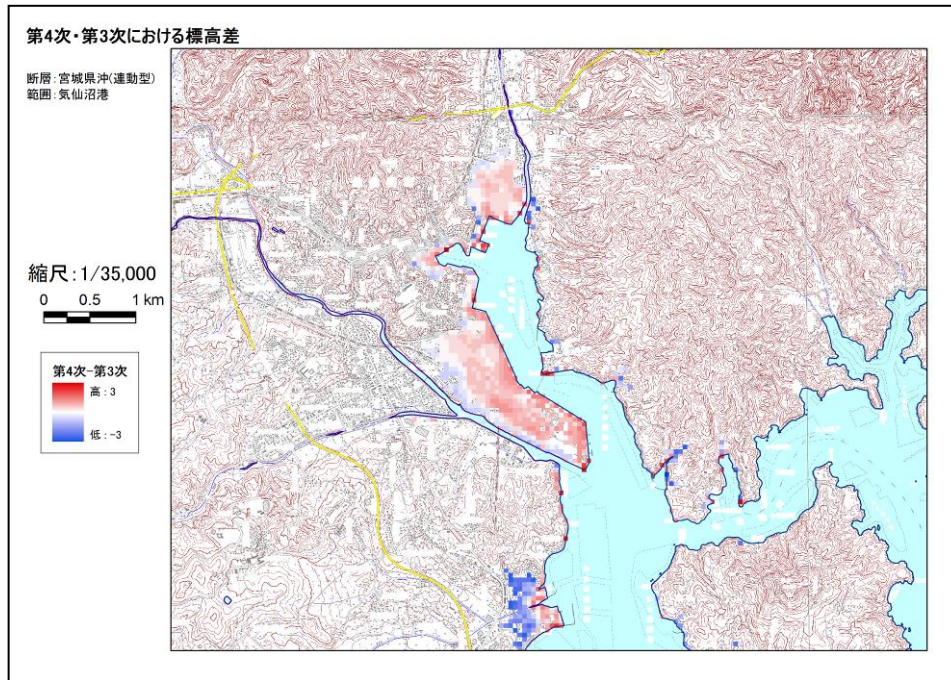


図-4.49 第3次被害想定時と本検討における地形データの標高差
(赤: 本検討の標高が高い地点、青: 第3次被害想定時の標高が高い地点)

- ① メッシュの細分化及び標高・水深データの差異により、気仙沼港内にあり反射波の影響を受けやすい「気仙沼5、6」では両者に若干の波高差が生じるものの、全体的な波形は大よそ一致しており、両者の整合性は良好であると判断される。
- ② 津波の河川遡上について、大川では若干津波の遡上が見受けられ、「大川2」以降で河川堤防より津波高さが低くなり、堤防から越流する可能性が低い。
- ③ 鹿折川では「鹿折川3」の地点まで津波高さが河川堤防高さを超えており、堤防から越流する可能性がある。



図-4.50 仙台港における時系列波形出力地点

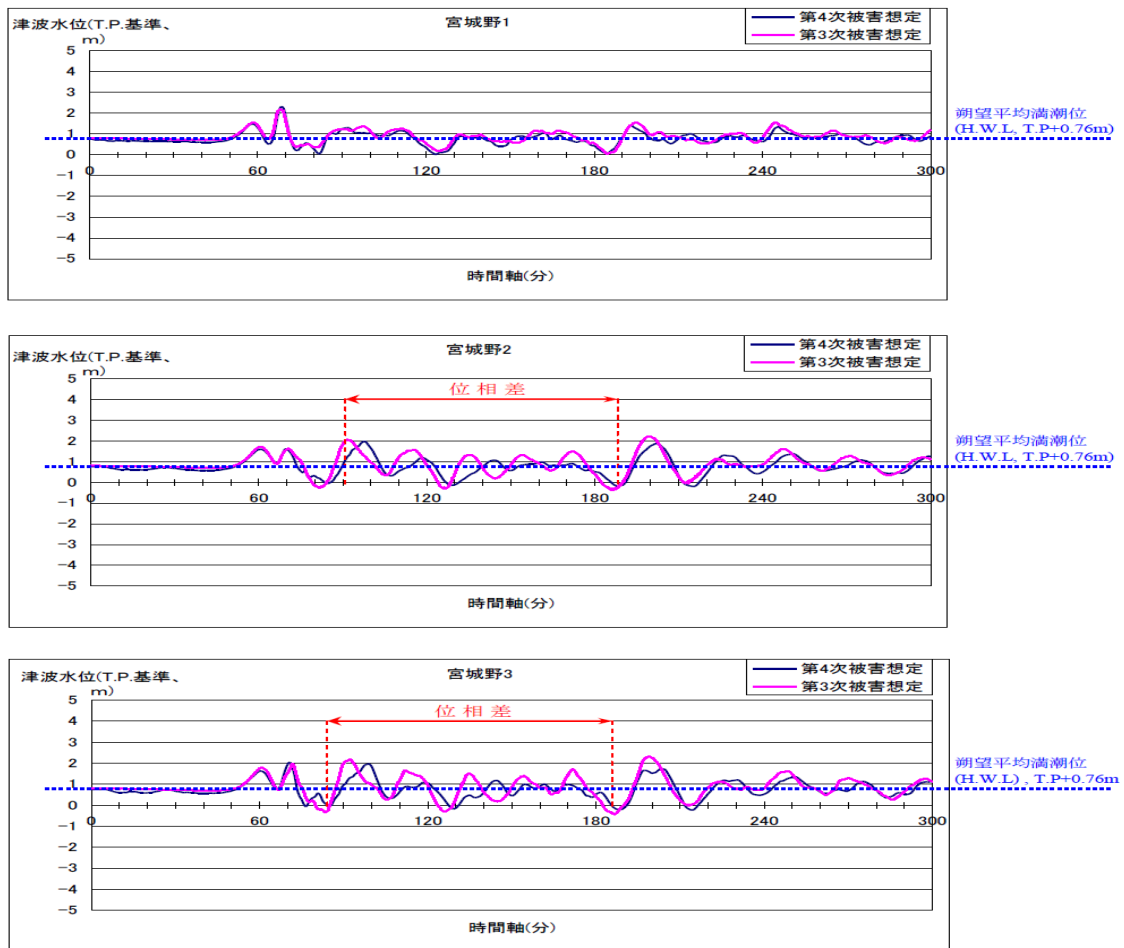


図-4.51 仙台港における時系列波形出力結果(1)

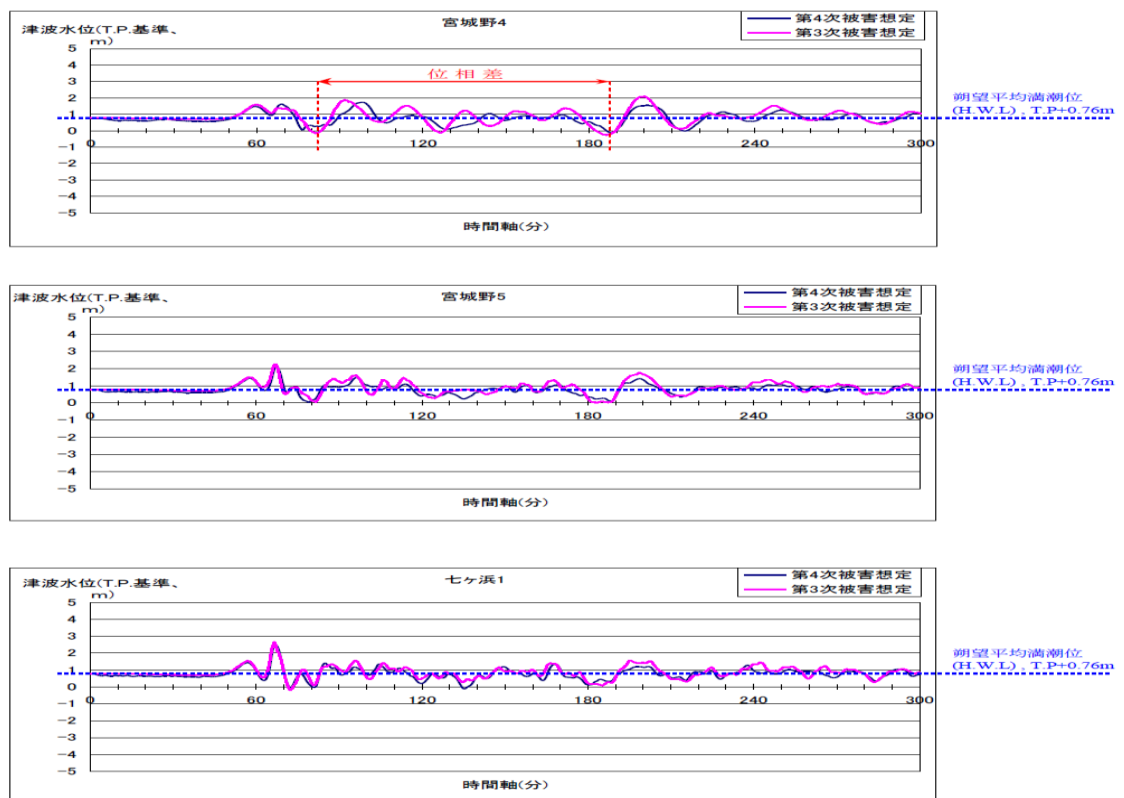


図-4.52 仙台港における時系列波形出力結果(2)

3) 気仙沼港区

気仙沼港における予測計算結果を整理するとともに、第3次被害想定時の計算結果と本検討(10mメッシュ)の計算結果を示す。

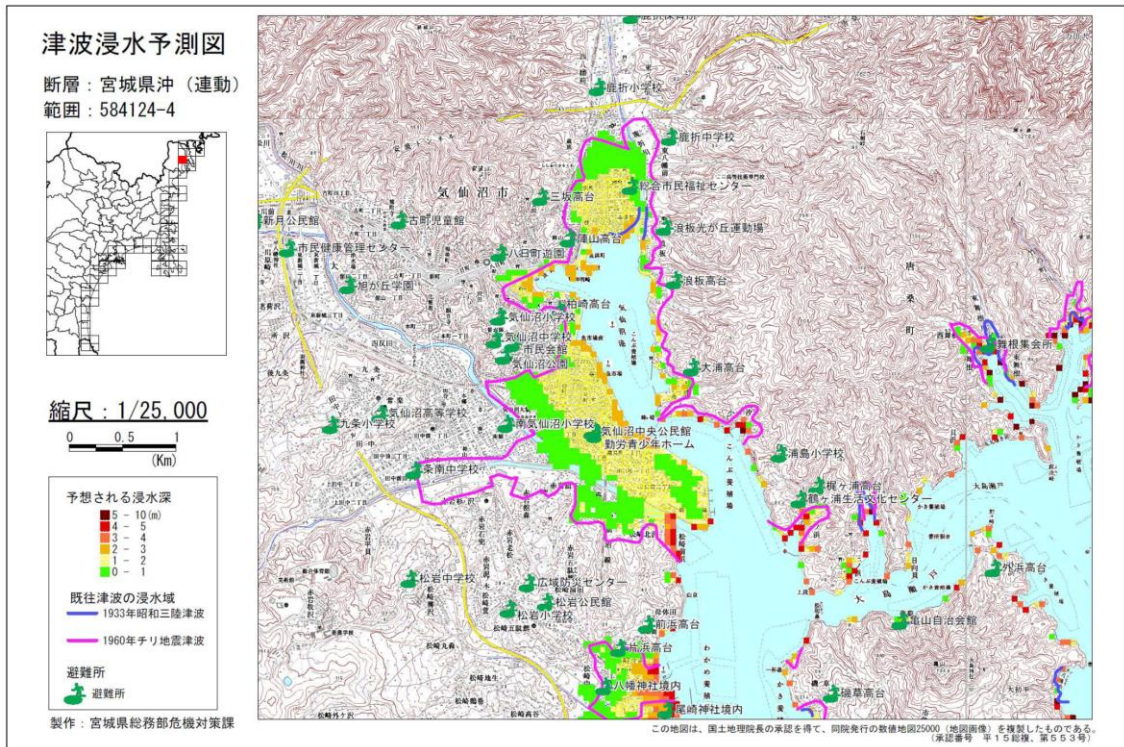


図-4.53 気仙沼港における予測計算結果(第三次被害想定時条件下)

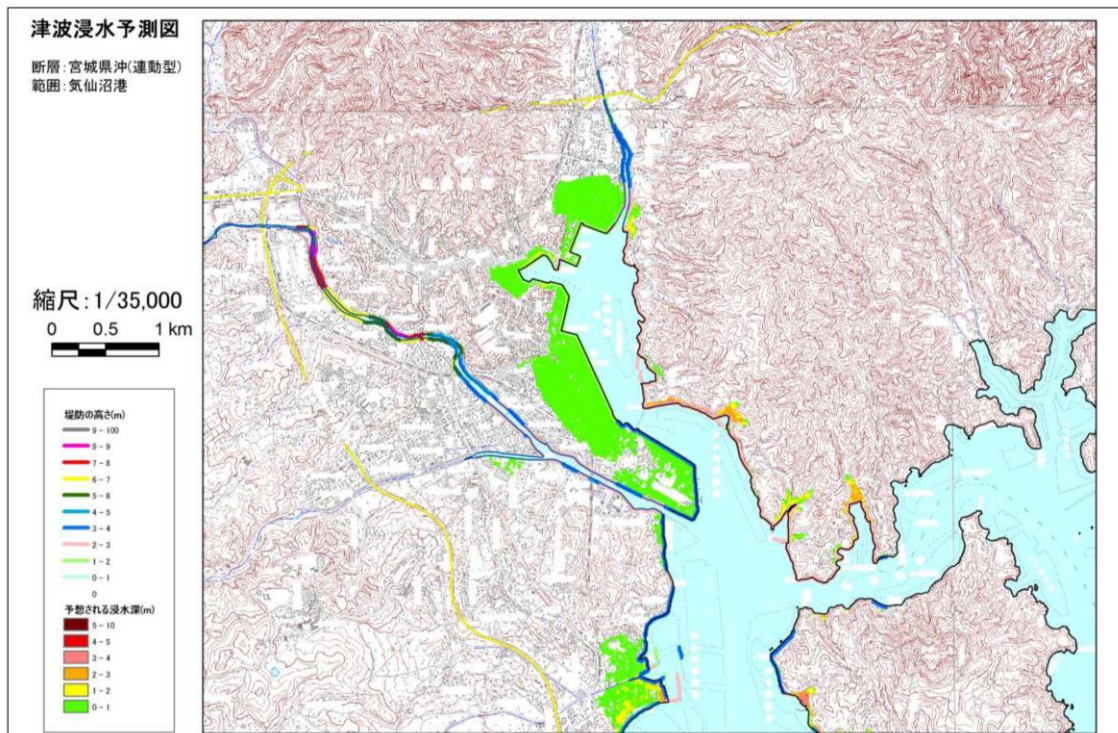


図-4.54 気仙沼港における予測計算結果(本検討条件下 10mメッシュ)

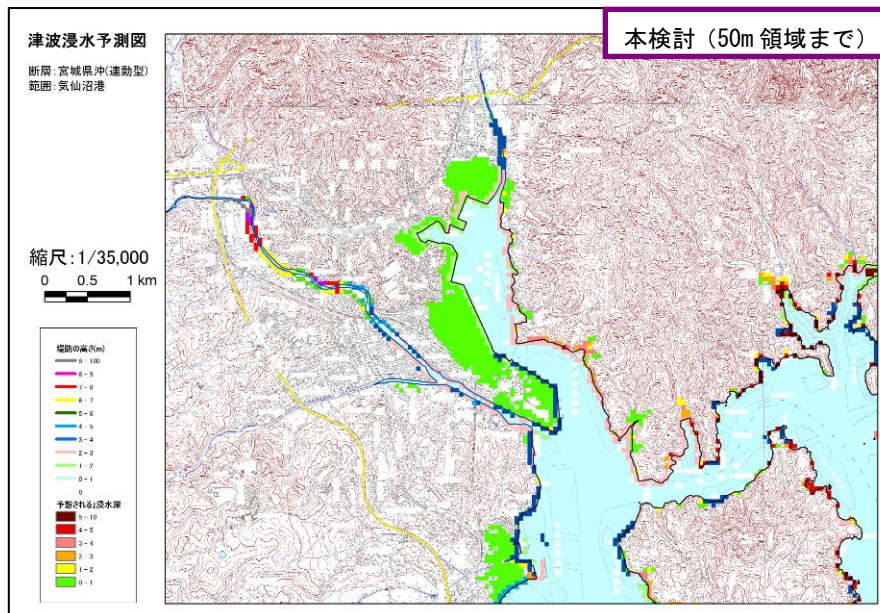
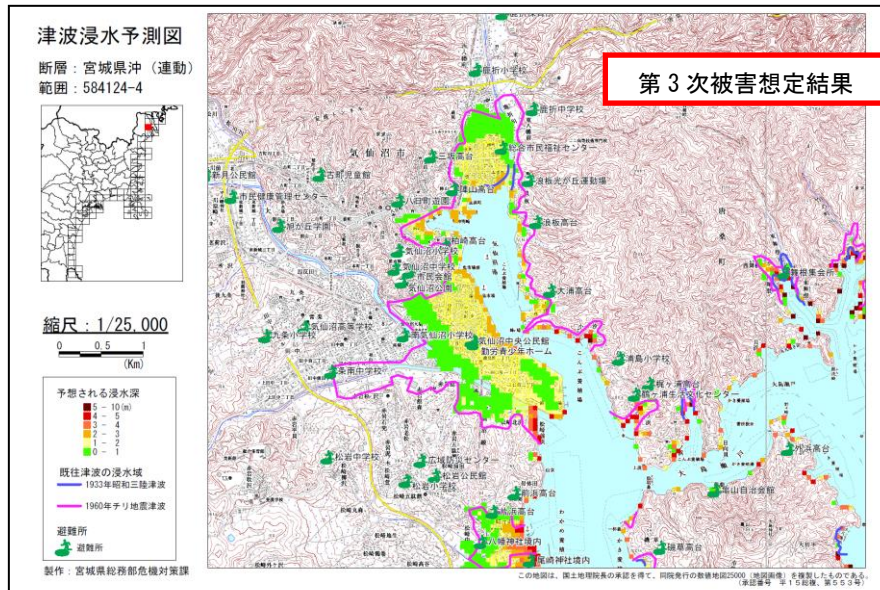


図-4.55 気仙沼港における浸水範囲の比較結果

第3次被害想定時の浸水範囲と比較して、標高データの見直し及び堤防データの追加により、本計算の浸水範囲及び浸水深さは大川沿いや朝日町、鹿折地区等で全体的に減少していることが確認され、その他の箇所、概ね傾向が一致した。

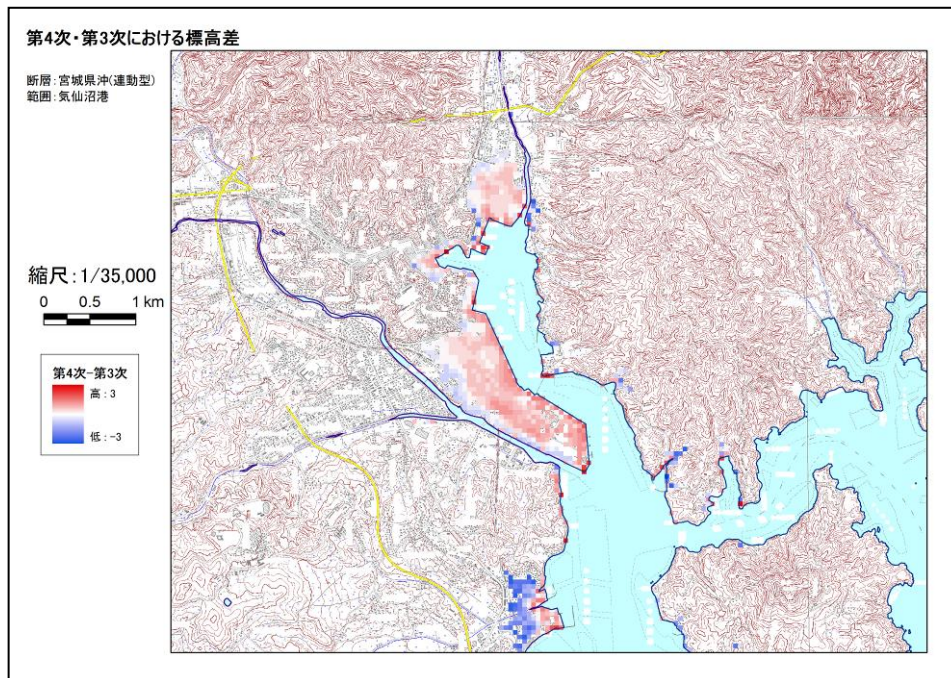


図-4.56 第3次被害想定時と本検討における地形データの標高差
(赤：本検討の標高が高い地点、青：第3次被害想定時の標高が高い地点)

- ① メッシュの細分化及び標高・水深データの差異により、気仙沼港内にあり反射波の影響を受けやすい「気仙沼5、6」では両者に若干の波高差が生じるものの、全体的な波形は大よそ一致しており、両者の整合性は良好であると判断できる。
- ② 津波の河川遡上について、大川では若干津波の遡上が見受けられるが、「大川2」以降では河川堤防より津波高さが低くなり、堤防から越流する可能性が低いと考えられる。
- ③ 鹿折川では「鹿折川3」の地点まで津波高さが河川堤防高さを超えており、堤防から越流する可能性がある。

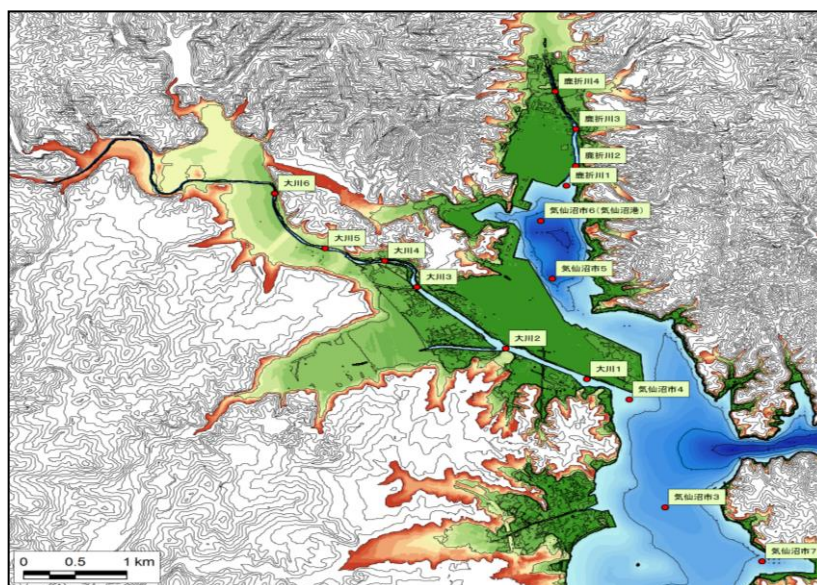


図-4.57 気仙沼港における時系列波形出力地点

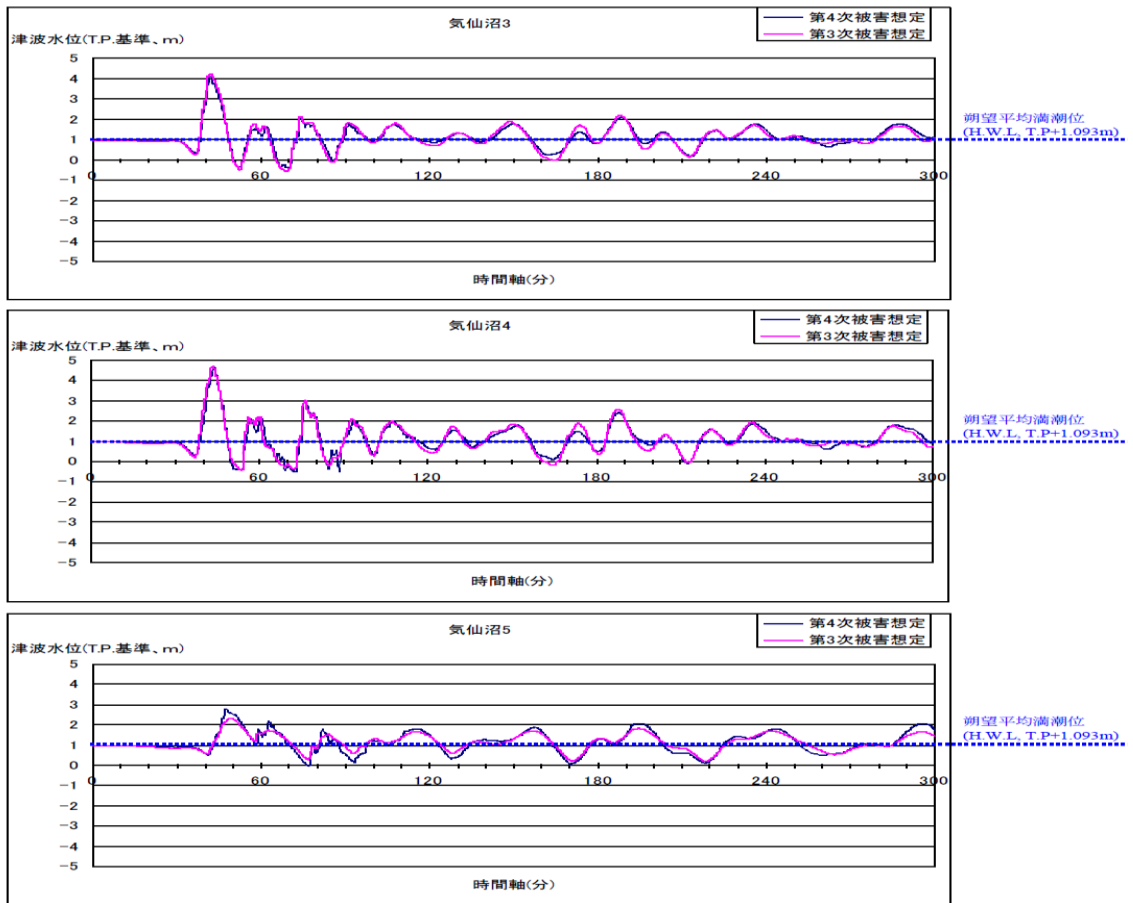


図-4.58 気仙沼港における時系列波形出力結果(1)

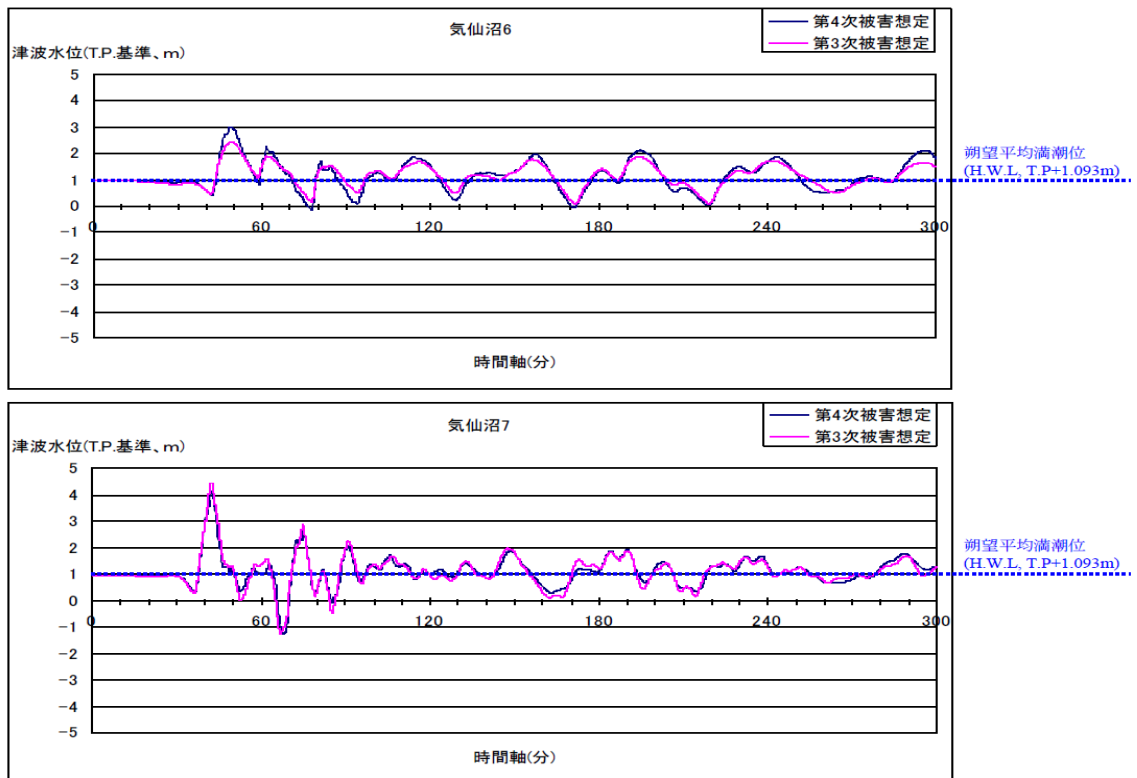


図-4.59 気仙沼港における時系列波形出力結果(2)

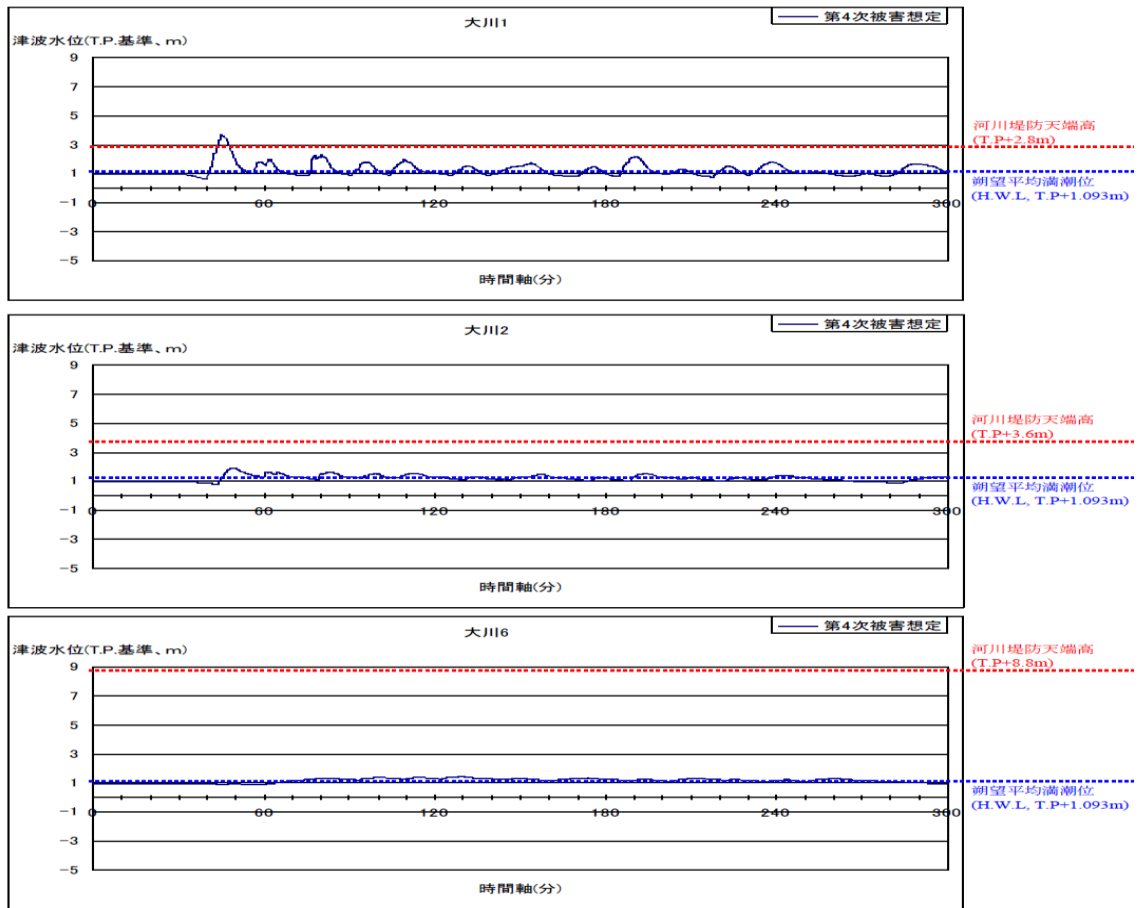


図-4.60 気仙沼港における時系列波形出力結果(3)

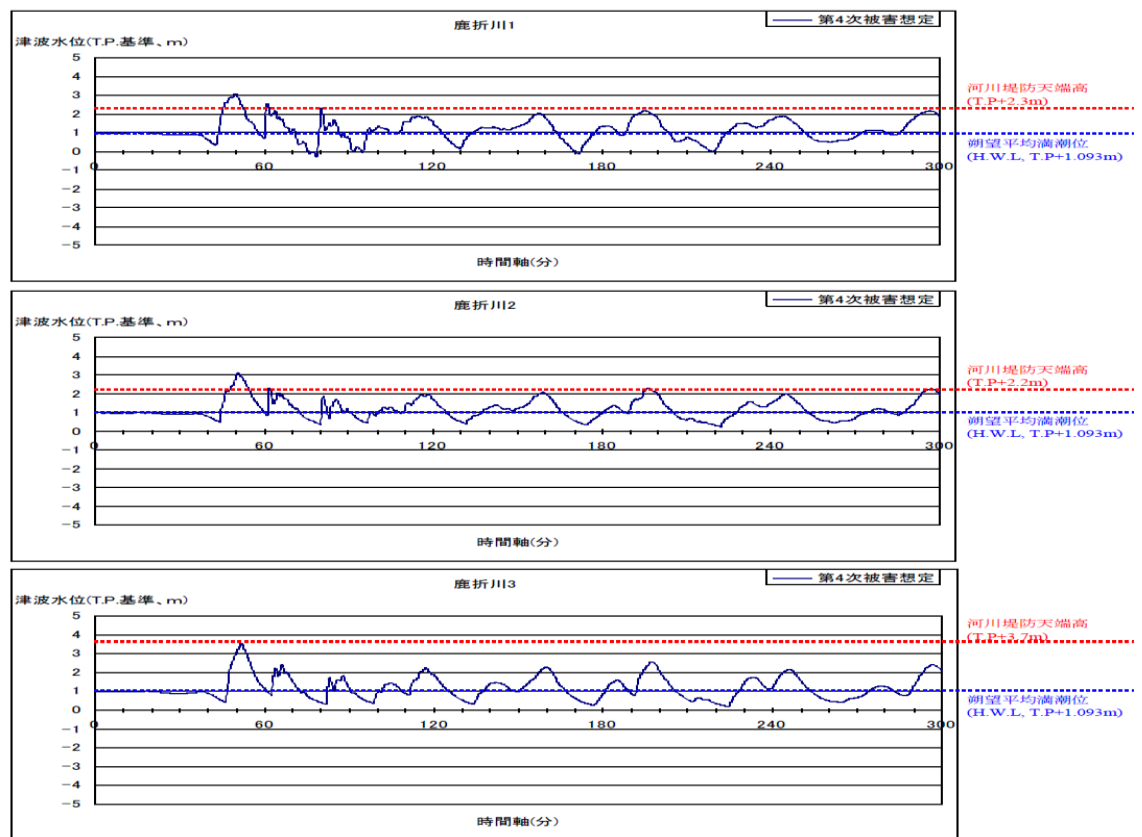


図-4.61 気仙沼港における時系列波形出力結果(4)

4) 北上川

北上川における予測計算結果を整理するとともに、第3次被害想定時の計算結果と本検討（10mメッシュ）の計算結果を示す。

計算結果の概要は次のとおり要約される。

- ① 「雄勝町3」、「河北町」において、両者の全体的な波形は大よそ一致していることから、両者の整合性は良好であると判断される。
- ② 津波の河川遡上について、「北上川 2」以降では津波水位が徐々に減衰して河川堤防より低くなり、堤防から越流する可能性は低いことが確認された。
- ③ 「北上川 8」の地点において時系列波形中の津波水位と基準面潮位の差が 1.0m 程度となるため、設定した計算範囲は津波高の閾値 1.0m となる上流端を含んでいることが確認された。

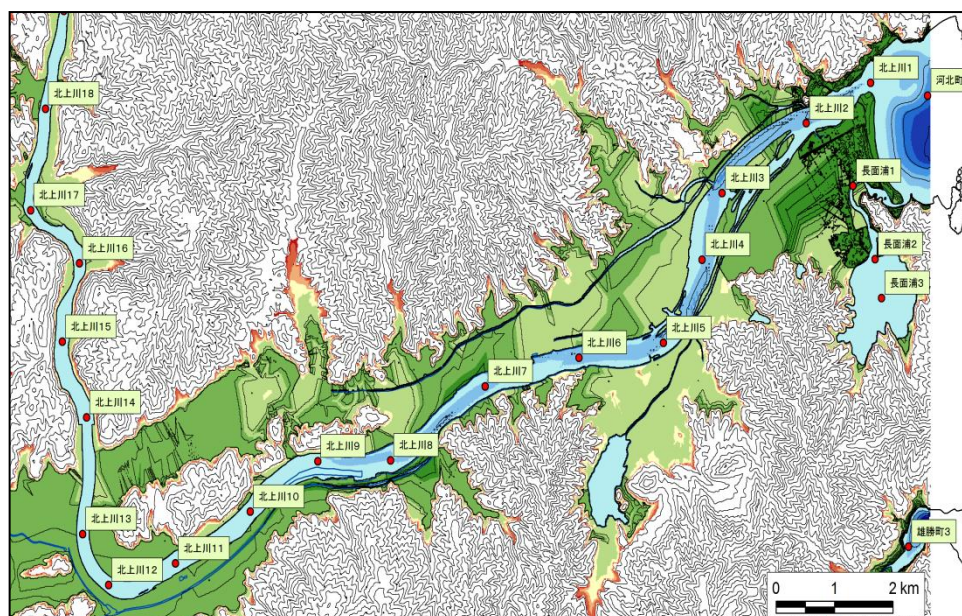


図-4.62 北上川における時系列波形出力地点

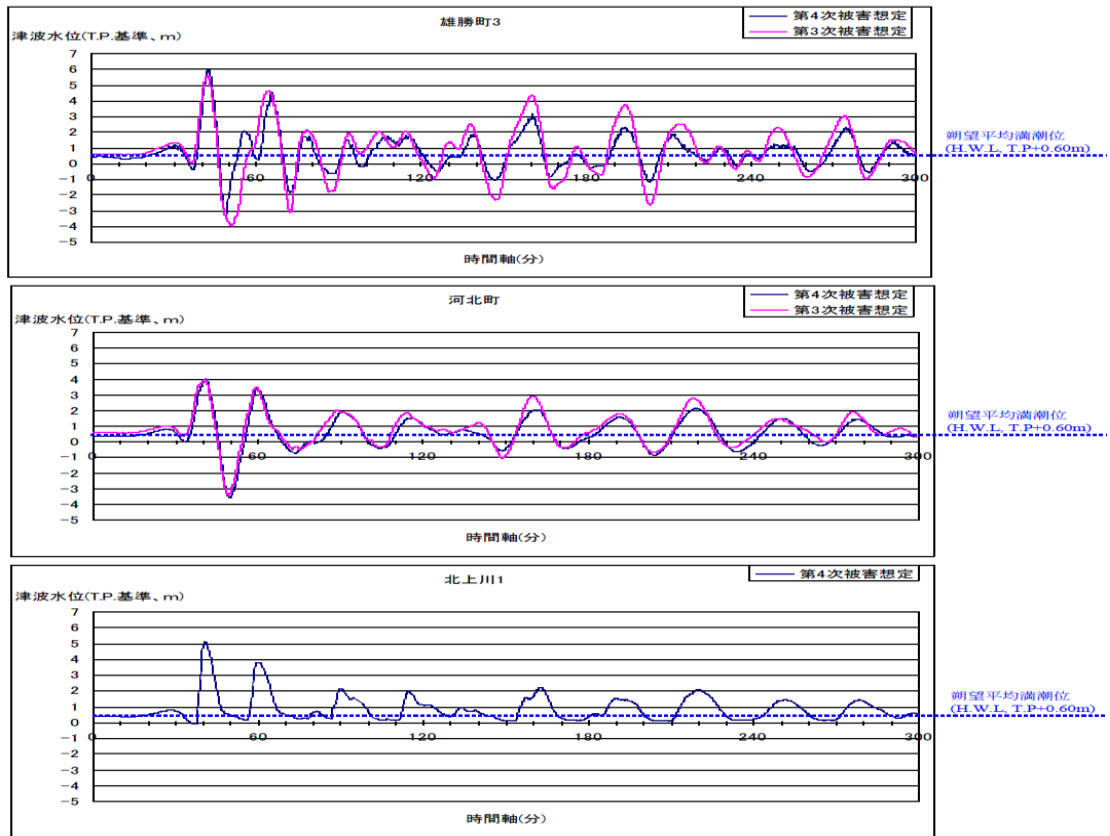


図-4.63 北上川における時系列波形出力結果(1)

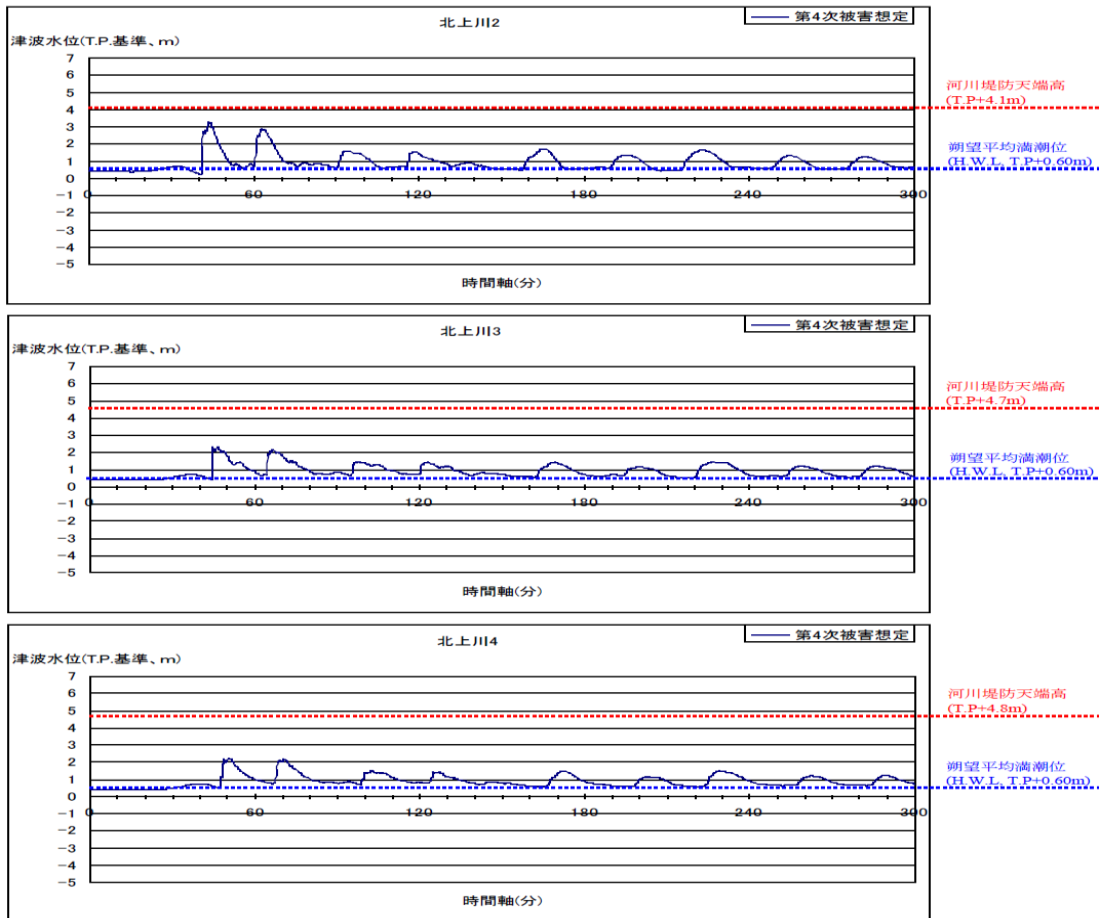


図-4.64 北上川における時系列波形出力結果(2)

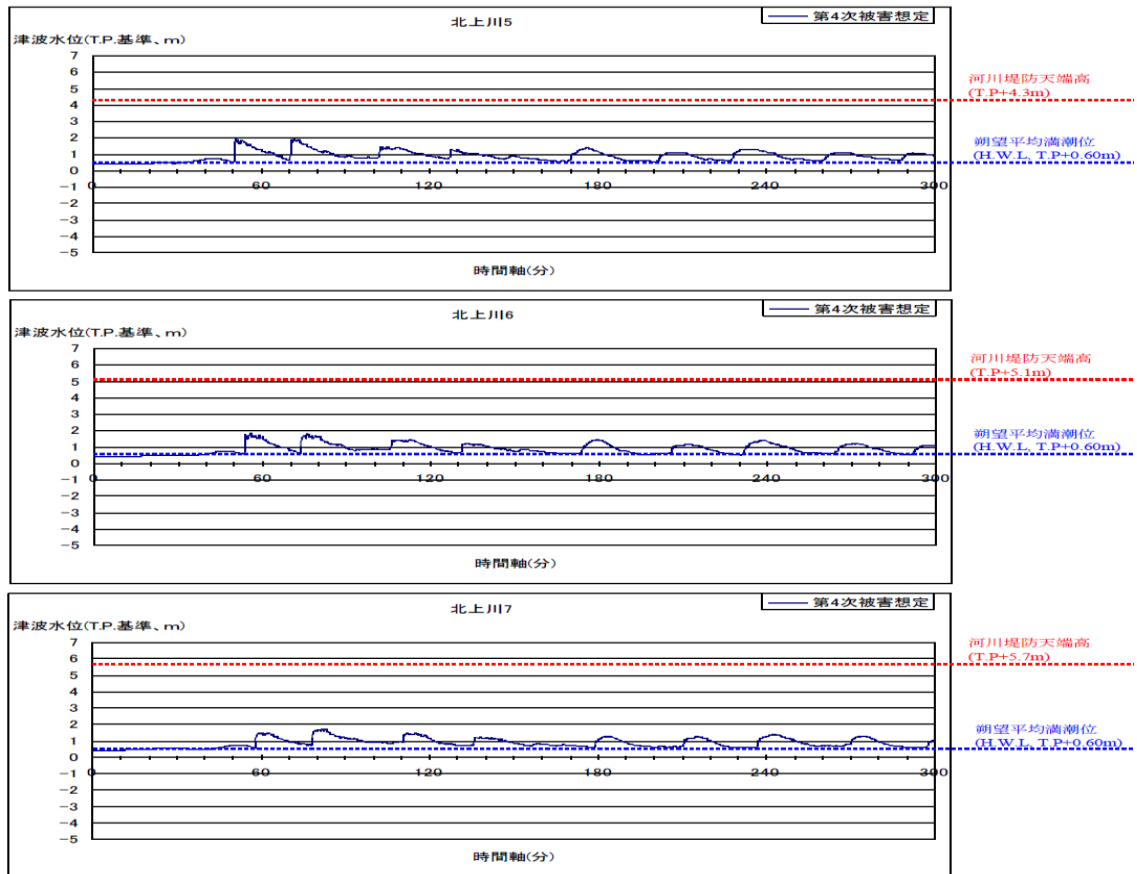


図-4.65 北上川における時系列波形出力結果(3)

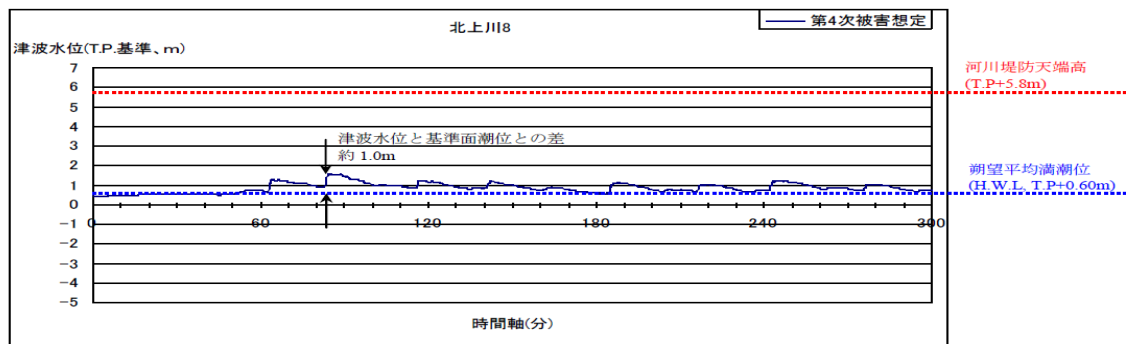


図-4.66 北上川における時系列波形出力結果(4)