

1.はじめに

岩手県釜石市に位置する釜石港海岸において、津波シミュレーションを行った。本地区の特徴を下記に取りまとめる。

(1) 釜石港海岸の特徴

- 釜石港海岸は、釜石湾の湾奥部に位置し、水深が深い天然の良港である。防潮堤背後は道路、工場等が立地し、その背後は市街地となっている。
- 防潮堤高は T.P.+4.0m(計画 T.P.+4.0m)であり完成済みである。
- 津波災害時の防護、港内静穏度の確保のため、湾口防波堤が建設され平成 20 年度に完成した。
- 甲子川の河口部から約 900mに国道 4 5 号、約 1,100mに三陸鉄道南リアス線がある。



図 1.1 検討対象位置図

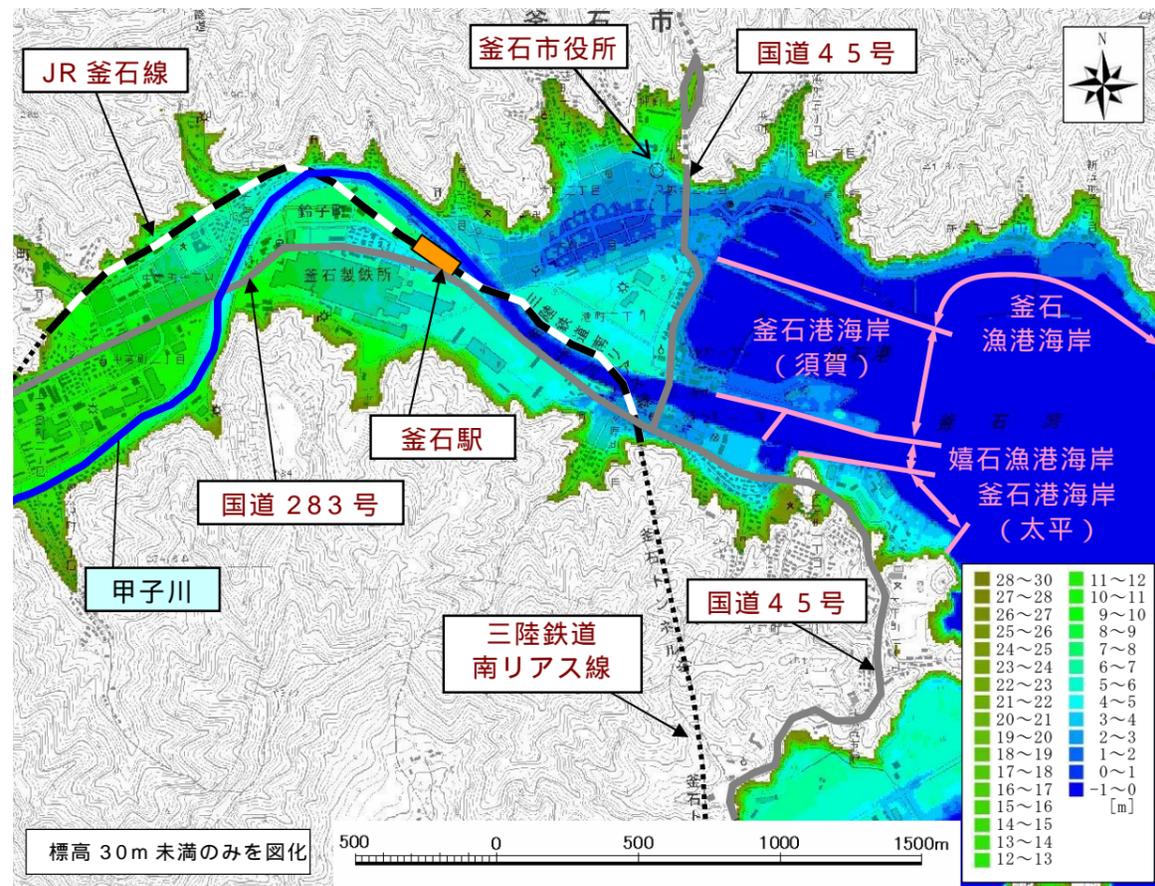


図 1.2 主な施設位置と地盤高（震災後）

(2) 被害状況

- 釜石市の中心市街地のほぼ全域が浸水した。
- 建物の多くが流失した範囲は、海岸線に近い一部地域(新浜町、東前町、浜町、只越町、港町、鈴子町、松原町、嬉石町)であり、比較的限定的。
- 流失した建物は木造建物がほとんどで、鉄筋コンクリート構造の建物は残存した。
- 防潮堤は残存している箇所が多く、甲子川に架かる橋梁にも大きな被害はなかった。
- 引波時に甲子川堤防が約 100m 破堤した。
- 岩手県オイルターミナルの石油タンク、釜石港のクレーンは残存した。



震災後空中写真（H23 計測）



## 2.再現計算条件の設定

計算条件を表 2.1 に示すとおり設定した。

表 2.1 計算条件一覧

No.	項目	内容
1	基礎式と解法	・波源から沿岸の伝播計算、陸上への遡上計算 ：非線形長波方程式を基礎式とし、Leap-Frog差分法により計算 ・津波防災施設での越流計算 ：本間公式による
2	計算格子間隔	波源から沿岸：3,240m、1080m、360m、120m、40m 遡上域：40m、20m、10m
3	大格子と小格子の接続方法	空間：波源から遡上域までの計算領域を接続し、同時に津波遡上シミュレーションを実施 時間：計算時間間隔は全ての計算領域で一定
4	Manningの粗度係数n	小谷ほか(1998)を参考にして土地利用により設定 海域・河川域：0.025 田畑域(荒地含む)：0.020 森林域(果樹園・防潮林を含む)：0.030 低密度居住区(建物密度20%未満の人工地)：0.040 中密度居住区(建物密度20～50%)：0.060 高密度居住区(建物密度50%以上)：0.080
5	波源モデル	修正藤井・佐竹モデル(Ver.4.0) (痕跡値を再現するためにすべり量を補正したモデル)
6	地盤変位量計算	Mansinha and Smylie (1971)の方法による
7	計算時間	地震発生から3hr
8	計算時間間隔	0.25s
9	潮位条件	H23.3.11 15時の潮位よりT.P.-0.40mを設定
10	対象地形	H16年LPデータによる地盤変動を考慮した地形

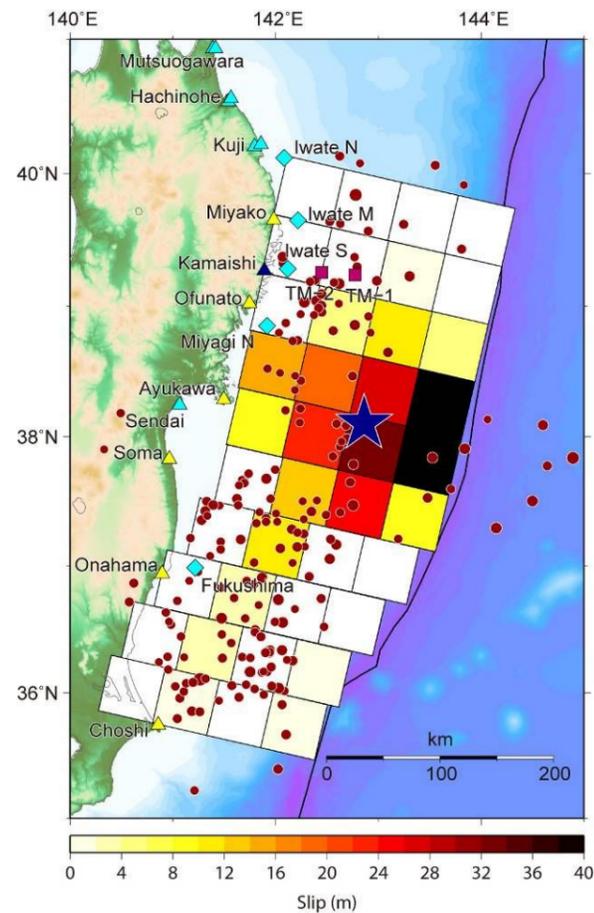


図 2.1 波源モデル

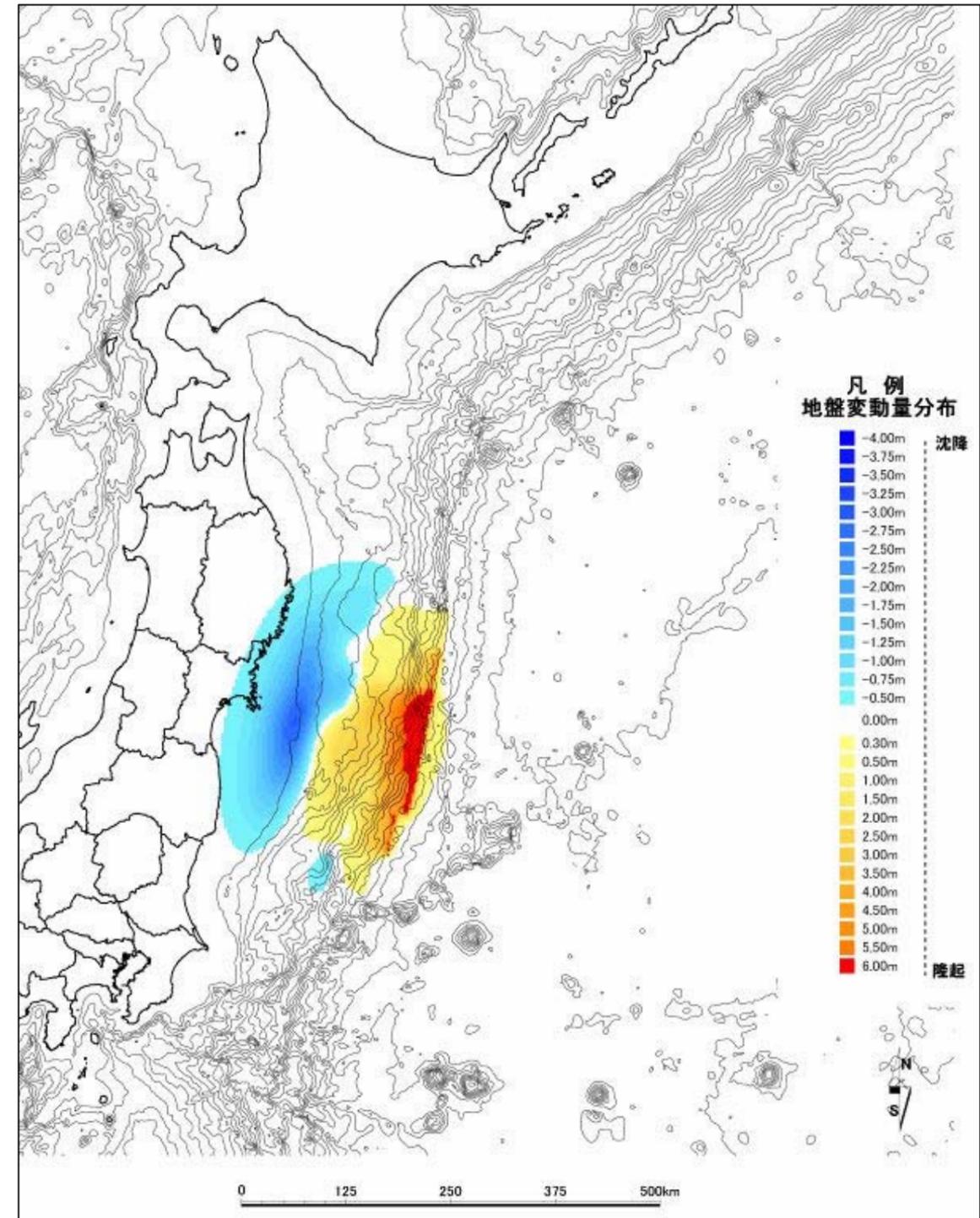


図 2.2 地盤変動量分布 (初期水位分布)

### 3.再現シミュレーション

断層モデルのすべり量に対する倍率を複数設定し再現シミュレーションを行った。GPS 波浪計による計測値との比較では、すべり量の倍率を 1.75 倍にしたときにピークを捉えており、また、このときの計算水位は痕跡水位より低めに算定されたが、浸水区域は実績浸水区域を良好に再現できている。従って、最も妥当と考えられる倍率として 1.75 倍を採用した。なお、計算水位が痕跡水位より低く算定された原因として、湾口防波堤の被災時の状況(被災時間、構造物の状況など)を詳細に把握できず、モデルに組み込まれていないことが挙げられる。

#### ○計算条件

対象津波：東日本大震災津波  
 施設高：①現況施設②湾口防波堤は被災前の状況(被災なし)  
 地盤高：地震前地盤高を基に地盤変位量を与えた地盤高  
 潮位：H23.3.11 15:00の推定高 T.P. -0.40m

※最大クラスの地震津波で堤防を越流することにより、堤防が壊れることも考えられるが、ここでは堤防が壊れないものとして計算を行った。

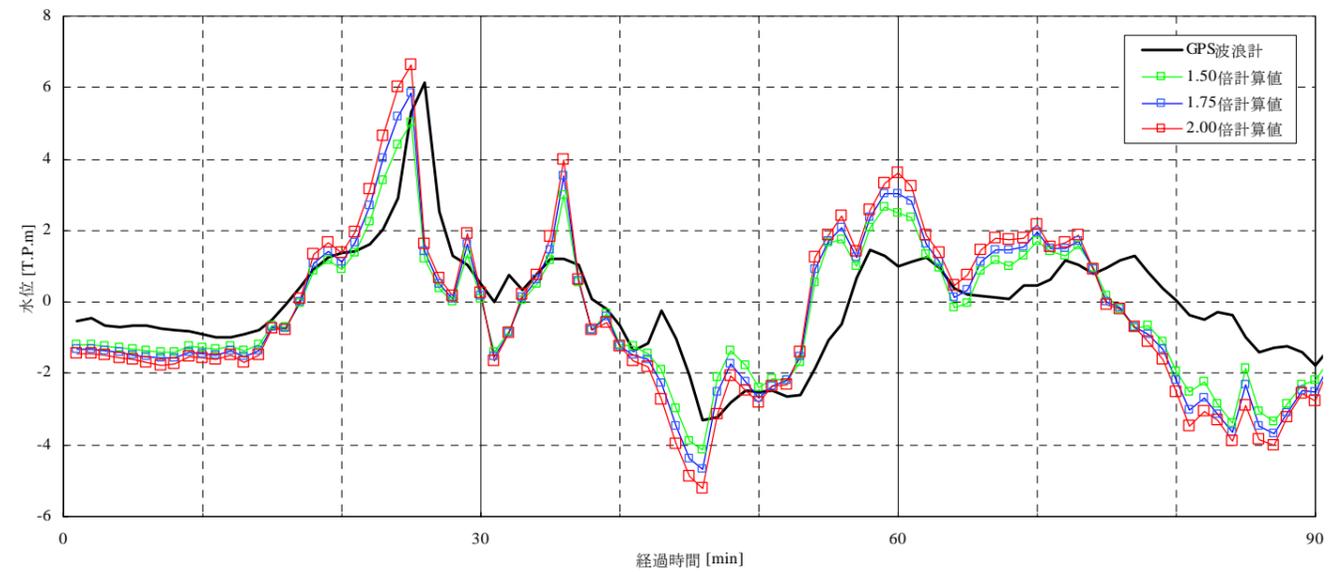


図 3.1 岩手県南部沖 GPS 波浪計の観測値と計算値の比較

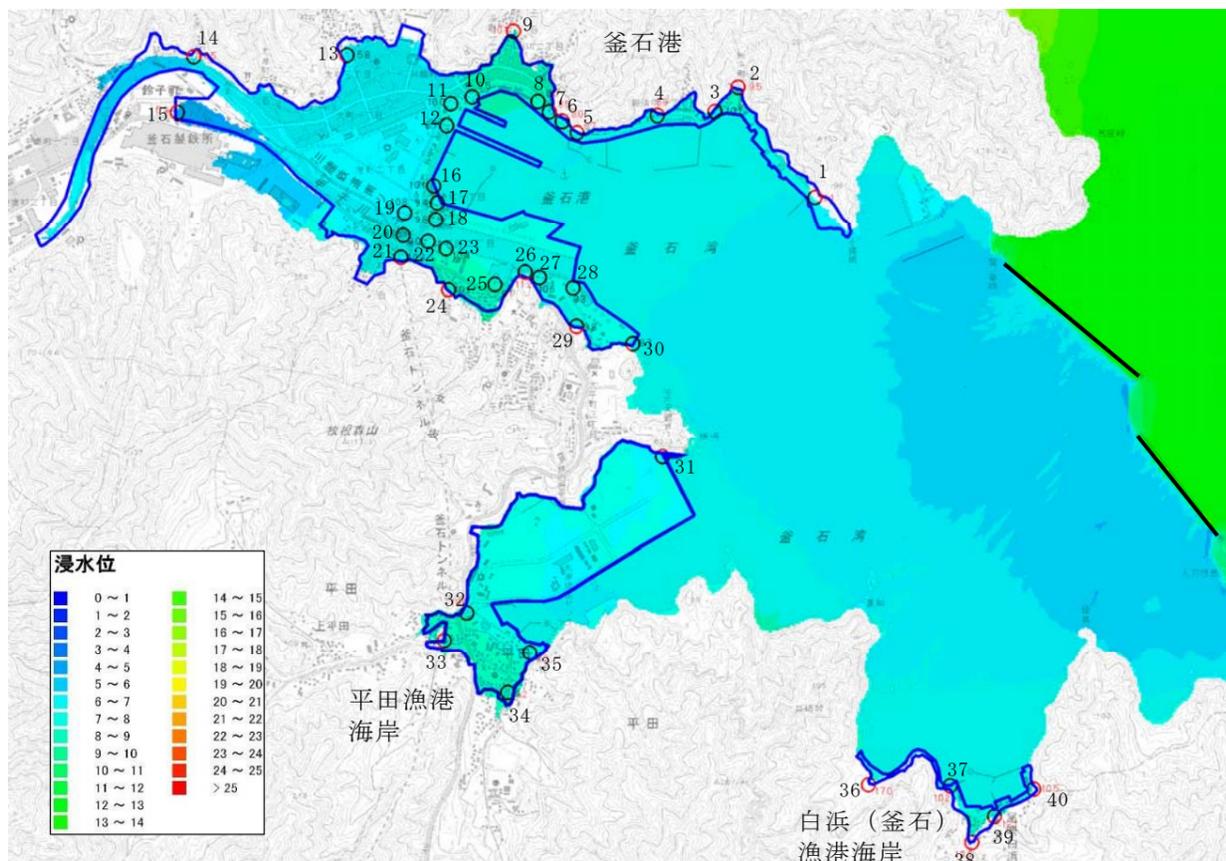
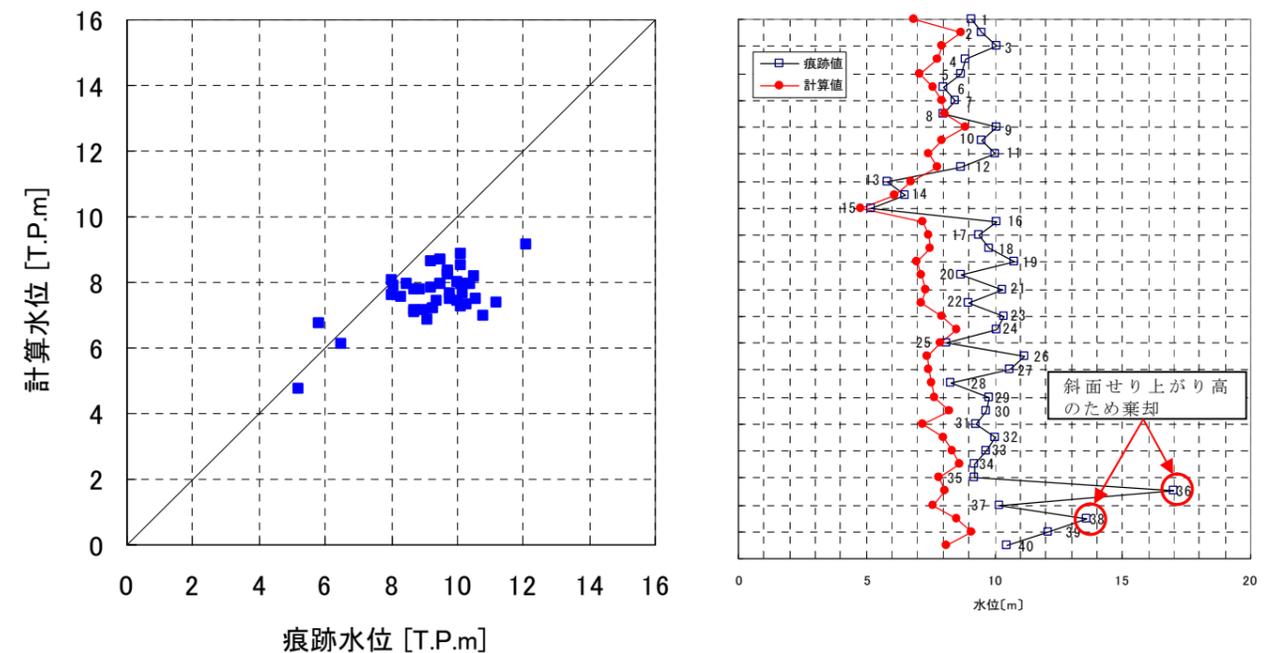


図 3.2 東日本大震災津波再現計算結果(施設あり、×1.75)

断層モデルのすべり量に対する倍率：1.75倍  
 $N=38$ 、 $K = 1.21$ 、 $\alpha = 1.13$



#### 4.施設効果解析

○計算条件  
 対象津波：東日本大震災津波  
 施設高：Case1：施設無し  
 ：Case2：施設有り(防潮堤、防波堤、湾口防波堤)  
 地盤高：地震前地盤高を基に地盤変位量を与えた地盤高  
 潮位：H23.3.11 15:00の推定高 T.P. -0.40m

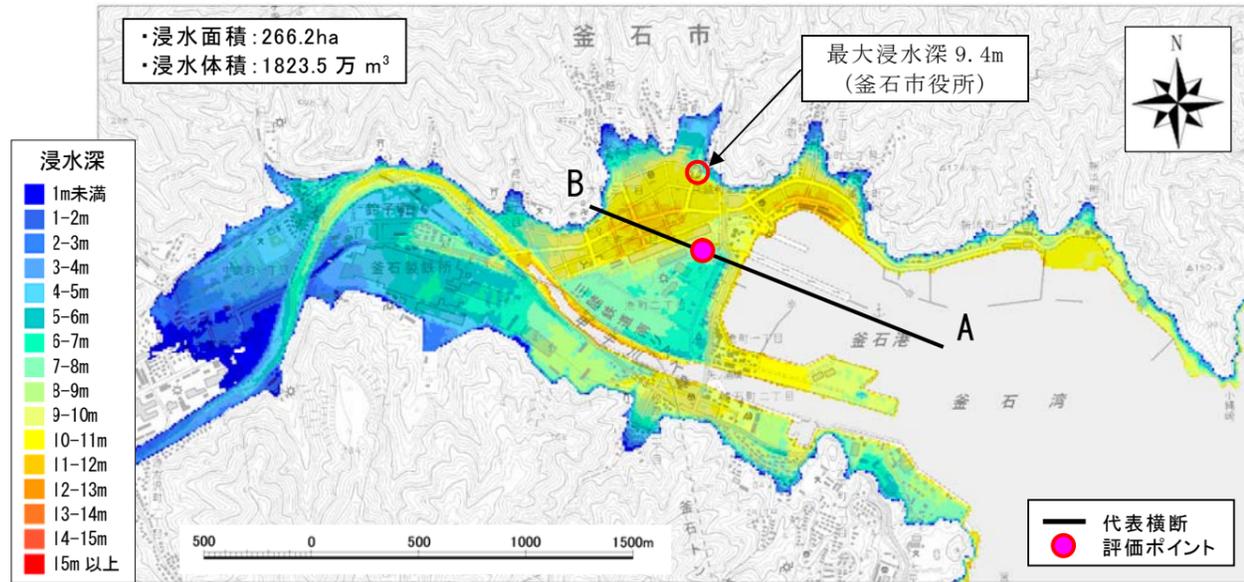


図3.6 浸水深平面分布図(施設なし)

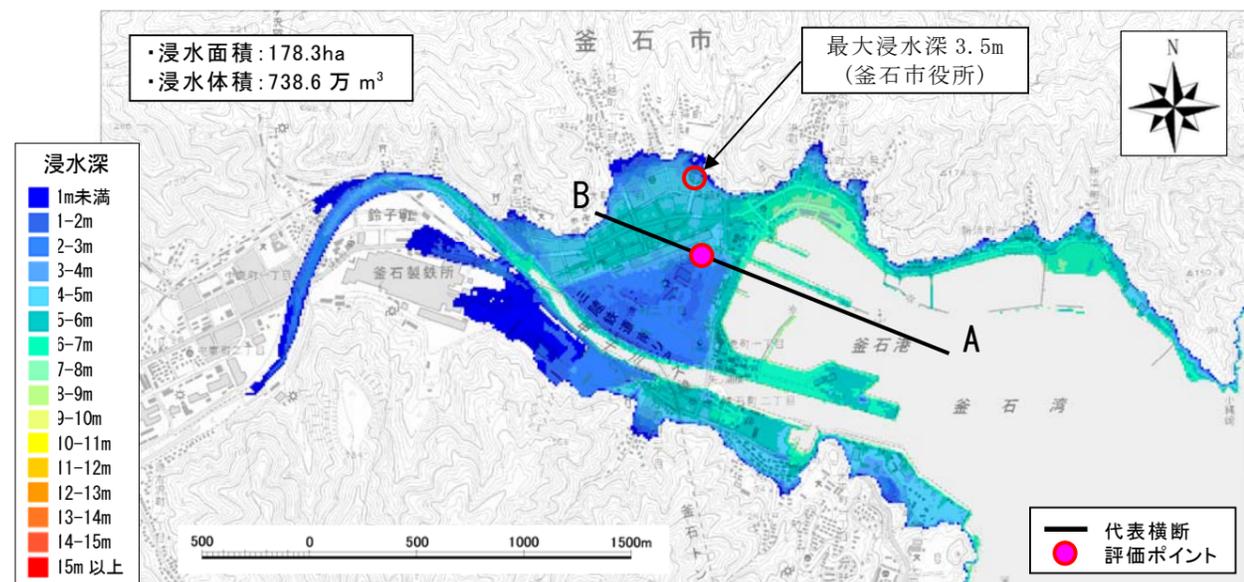


図3.7 浸水深平面分布図(施設あり)

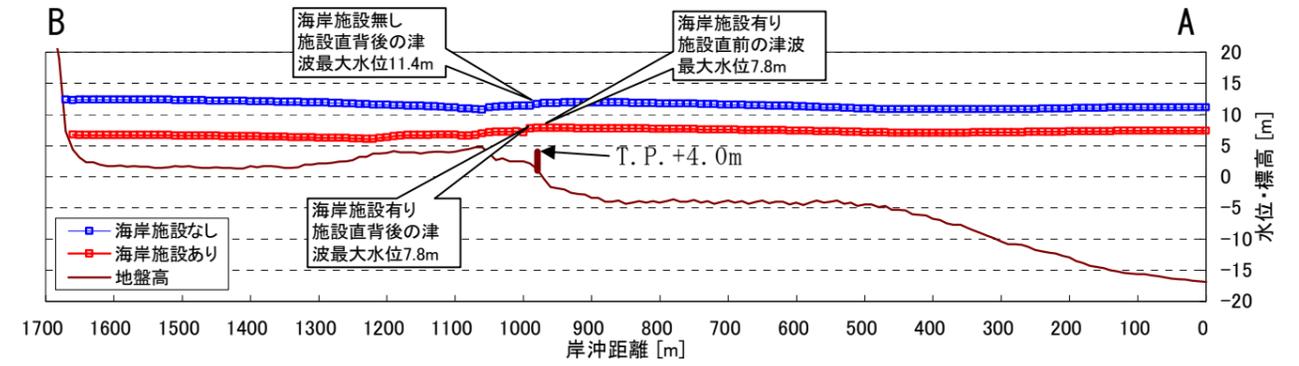


図3.8 代表横断における津波最大水位分布

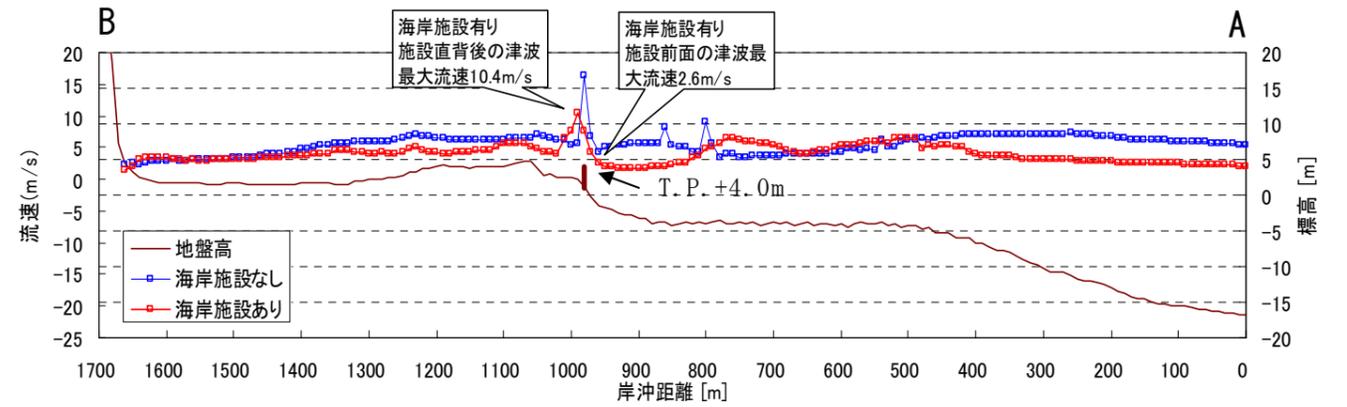


図3.9 代表横断における津波最大流速分布

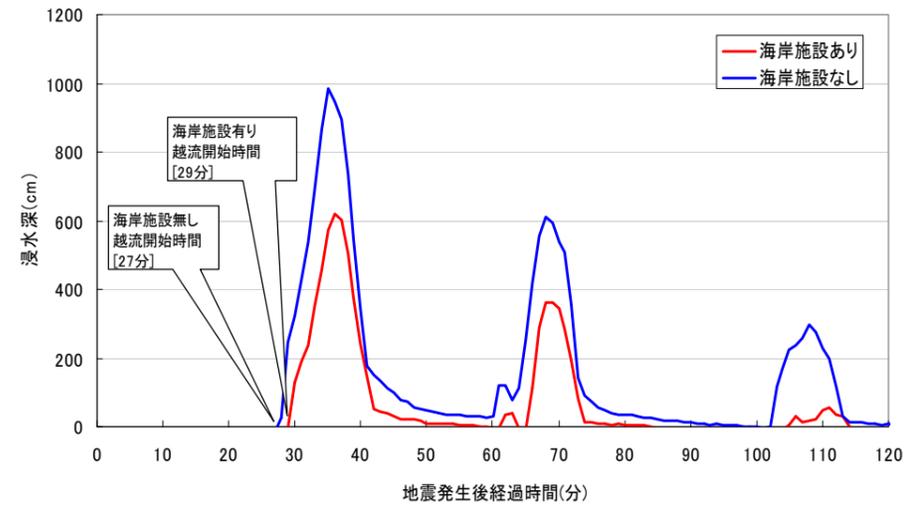


図3.10 施設背後陸側における浸水深時系列分布

#### 考察

- ・釜石港海岸では、海岸施設(湾口防波堤、防波堤、防潮堤)により4~6m程度水位が低下する(図3.8参照)。
- ・最大流速は、場所によってはばらつきはあるが1m/s程度低下する(図3.9参照)。
- ・津波到達時間について施設の効果は、約4分となった(図3.10参照)。

### 5.対象津波の選定

図 5.1 に釜石港海岸における既往津波の痕跡高及び海岸線による津波再現予測計算による最大津波水位を整理した。

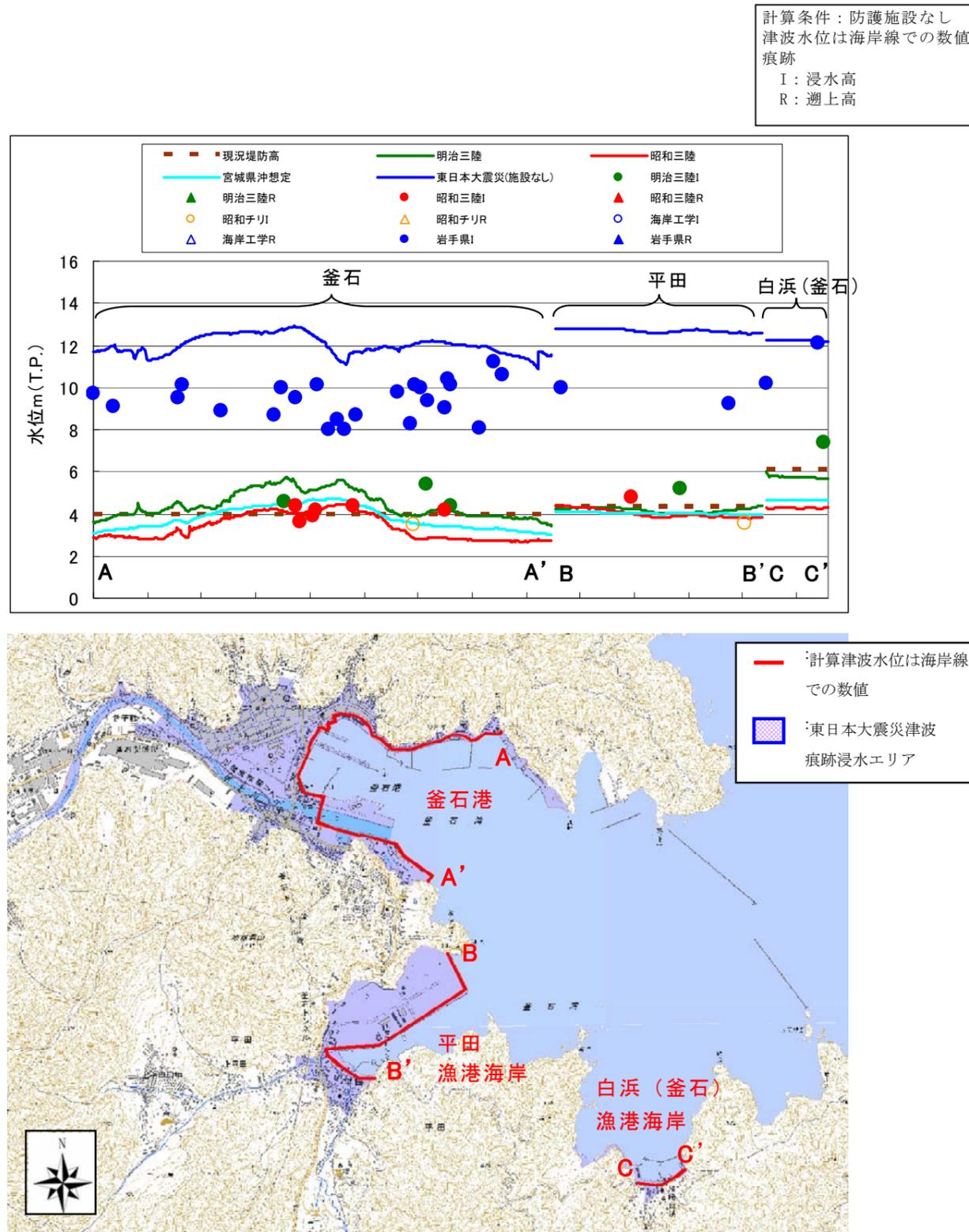


図 5.1 既往津波の痕跡水位及び再現計算による最大津波水位

既往津波の痕跡高及び再現予測計算による最大津波水位を地区毎に整理し、最大値を評価値とした。その結果、釜石港海岸では、東日本大震災津波を最大クラスの津波群とし、明治三陸沖地震津波以下のものを設計津波の対象波群とした。

表 5.1 既往津波別、地区別の最大津波水位

	痕跡高					計算値					
	1611 慶長三陸	1896 明治三陸	1933 昭和三陸	1960 昭和チリ	2011 3.11津波	1611 慶長三陸	1896 明治三陸	1933 昭和三陸	1960 昭和チリ	- 想定宮城	2011 3.11津波
釜石漁港海岸	-	4.6	4.4	-	10.1	-	5.2	4.3	-	3.7	12.6
釜石(須賀)	-	5.4	-	3.5	10.1	-	4.4	3.6	-	4.7	12.6
嬉石	-	4.4	4.2	-	10.1	-	4.3	3.4	-	4.2	12.3
平田	-	5.2	4.8	3.5	10.0	-	4.0	4.0	-	4.1	12.8
白浜(釜石)	-	7.4	-	3.3	10.2	-	5.7	-	-	4.7	12.2
平田	-	-	-	-	9.2	-	-	-	-	-	12.6
白浜(釜石)	-	-	-	-	12.1	-	-	-	-	-	12.2
平田	-	5.4	4.5	3.5	10.3	-	4.7	3.8	-	4.3	12.5
最大値	-	7.4	4.8	3.5	12.1	-	5.7	4.3	-	4.7	12.8
最小値	-	4.4	4.2	3.3	9.2	-	4.0	3.4	-	3.7	12.2
評価値	-	7.4	4.8	3.5	12.1	-	5.7	4.3	-	4.7	12.8

出典：痕跡高は東北大災害制御研究センター津波工学研究室「津波痕跡データベース」を引用  
ただし、チリ地震津波の痕跡は、日本被害津波総覧(第2版)に補足。  
平成 3.11 津波は、岩手県調査結果

計算条件：防護施設なし  
津波水位は海岸線での数値

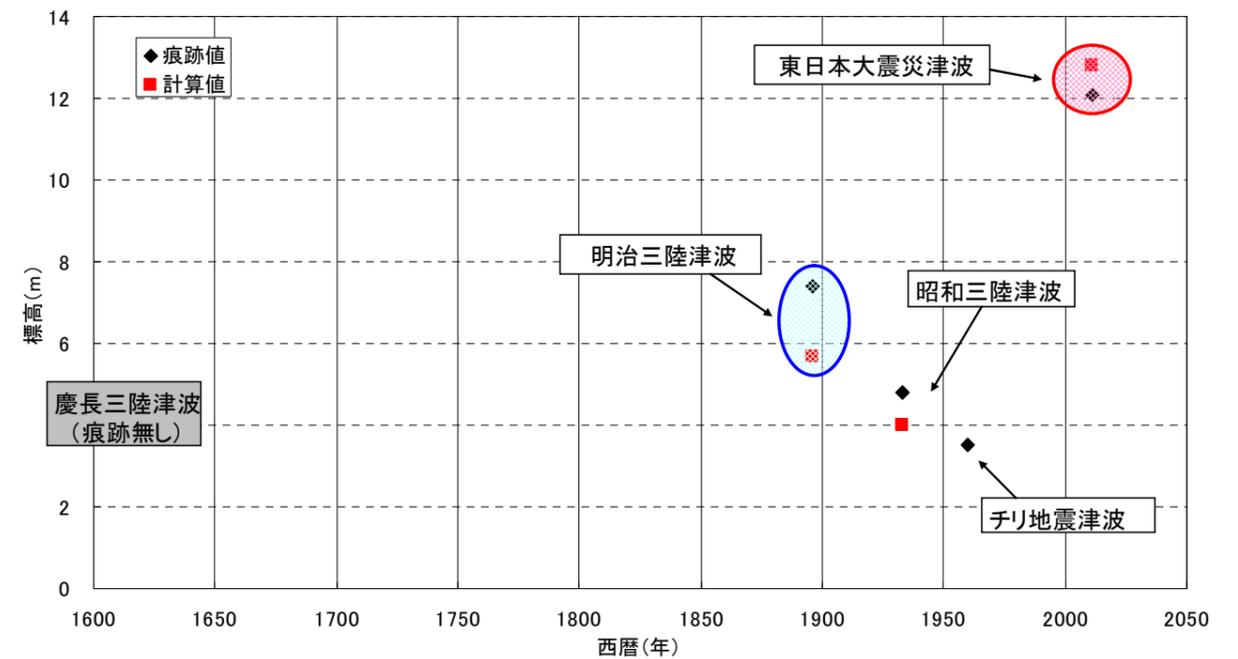


図 5.2 対象津波の判定

- 既往最大津波：東日本大震災津波
- 既往第二位津波：明治三陸沖地震津波

## 6.施設高(防潮堤高)の検討

東日本大震災津波、 明治三陸津波に対して溢れない高さの防潮堤高の検討を行った。ユニット全体の必要施設高を表 6.1 に、個別海岸の必要施設高を表 6.3 に示す。

### 計算条件

対象津波： 東日本大震災津波、 明治三陸津波  
 施設高： T.P.50.0m(壁立て計算用に設定)  
 地盤高： 地震前地盤高を基に地盤変位量を与えた地盤高  
 潮位： 朔望平均満潮位 T.P.0.80m

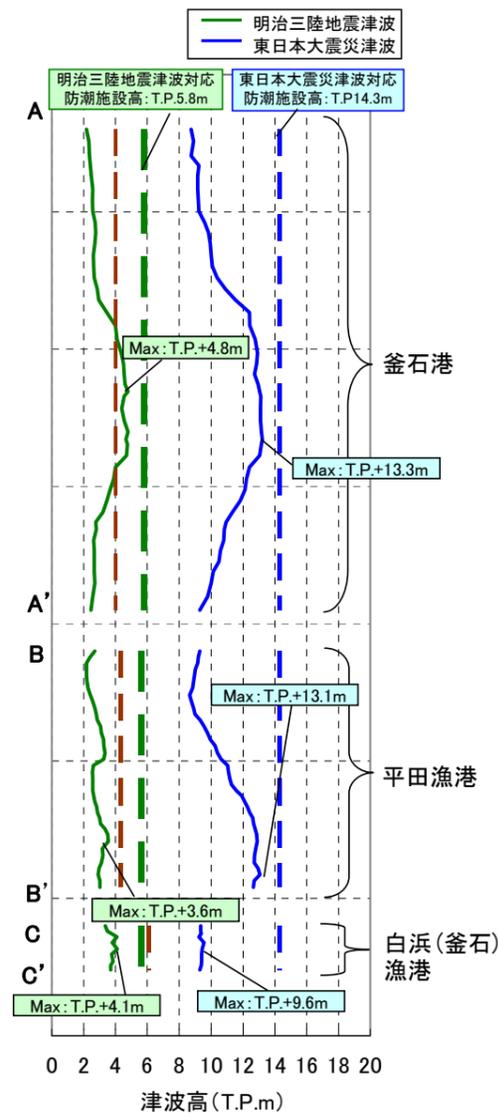
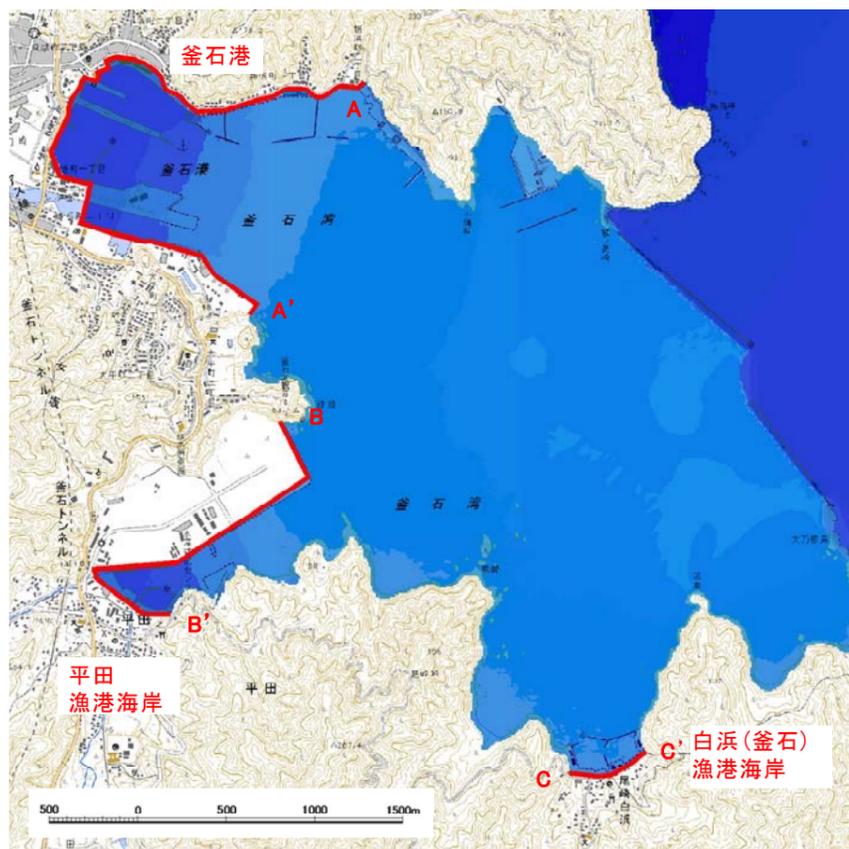


図 6.1 防潮ラインでの最大津波水位

表 6.1 必要施設高(ユニット全体)

区分	東日本大震災津波	明治三陸津波	現計画津波高
最大値(T.P.m)	13.3	4.8	6.1
余裕高(m)	1.0	1.0	
必要施設高(T.P.m)	14.3	6.1(5.8)	

表 6.2 最高水位(個別海岸)

区分	東日本大震災津波	明治三陸津波
釜石港	13.3	4.8
平田漁港海岸	13.1	3.6
白浜(釜石)	9.6	4.1
ユニット全体	13.3	4.8

表 6.3 必要施設高(個別海岸)

区分	東日本大震災津波	明治三陸津波	現計画津波高
釜石港	14.3	5.8	4.0
平田漁港海岸	14.1	4.6	4.3
白浜(釜石)	10.6	6.1(5.1)	6.1
ユニット全体	14.3	6.1(5.8)	

※表中の赤字の数値は、推定された必要施設高( )の値)が現計画の堤防高よりも低い場合に、現計画の堤防高にしたことを表している。

7.1 浸水範囲の比較(潮位 T.P.+0.80m の場合)

計算条件  
 対象津波：東日本大震災津波  
 施設高：水門案：計画防潮堤高(T.P.4.0m)、水門案：明治三陸津波を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)  
 バック堤案：明治三陸を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)  
 地盤高：H23LPデータを基に地盤変位量を与えた地盤高  
 潮位：朔望平均満潮位 T.P.0.80m  
 水門：水門あり、水門あり、水門無し

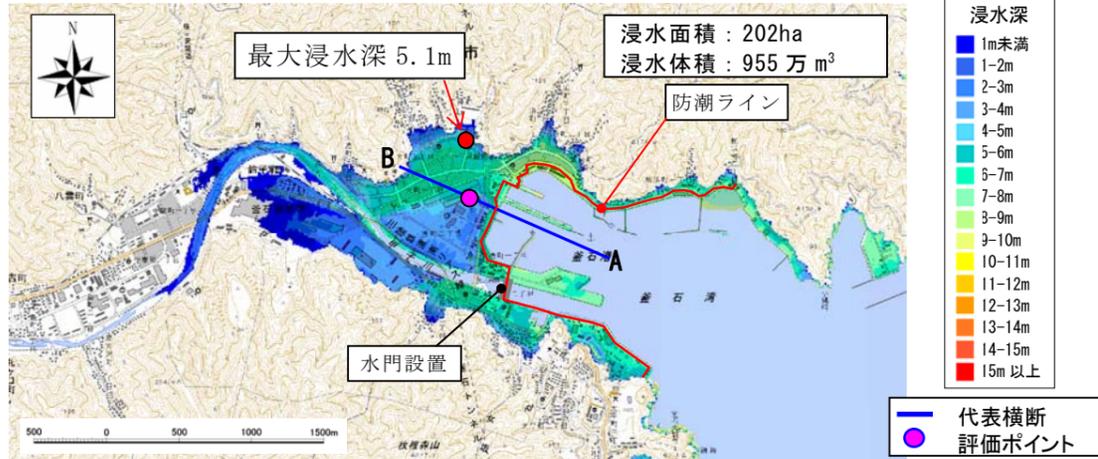


図 7.1 水門案：計画防潮堤高(現計画津波高 T.P.4.0m)におけるシミュレーション結果(CASE1)

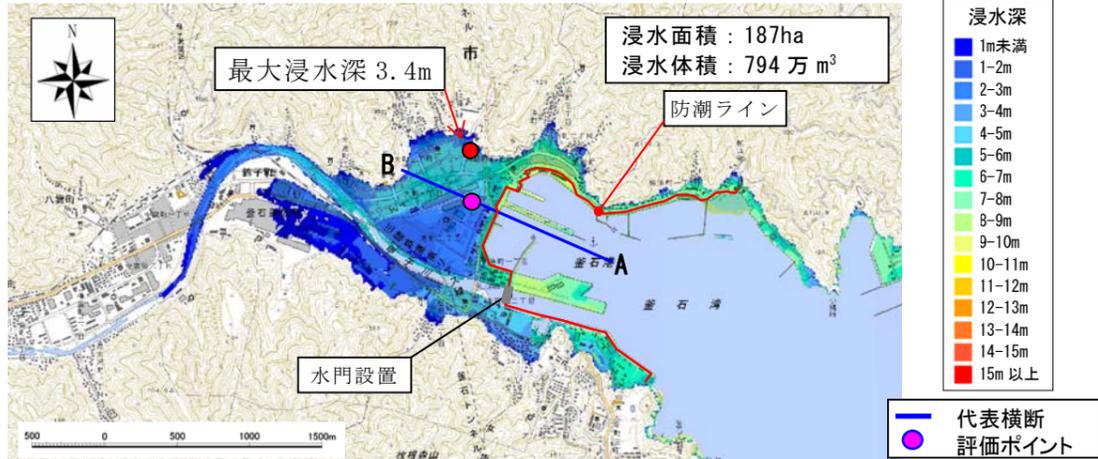


図 7.2 水門案：明治三陸津波を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)におけるシミュレーション結果(CASE2)

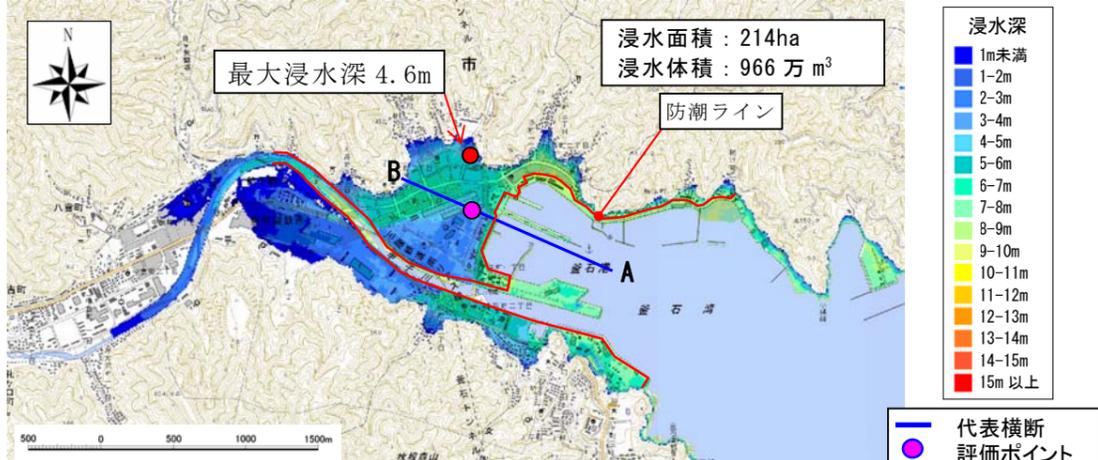


図 7.3 バック堤案：明治三陸津波を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)におけるシミュレーション結果(CASE3)  
 ※バック堤の高さは、釜石湾のH1であるT.P.6.1m(白浜(釜石)漁港の現行計画津波高)とし、レベルバックで現況堤防高に擦り付けた。  
 (津波遡上計算は現在検討中)

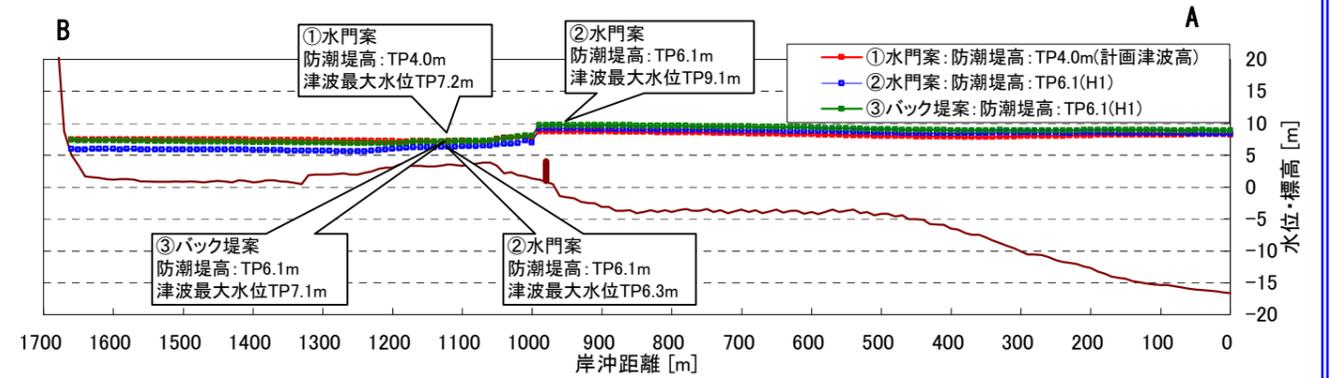


図 7.4 最大水位縦断図

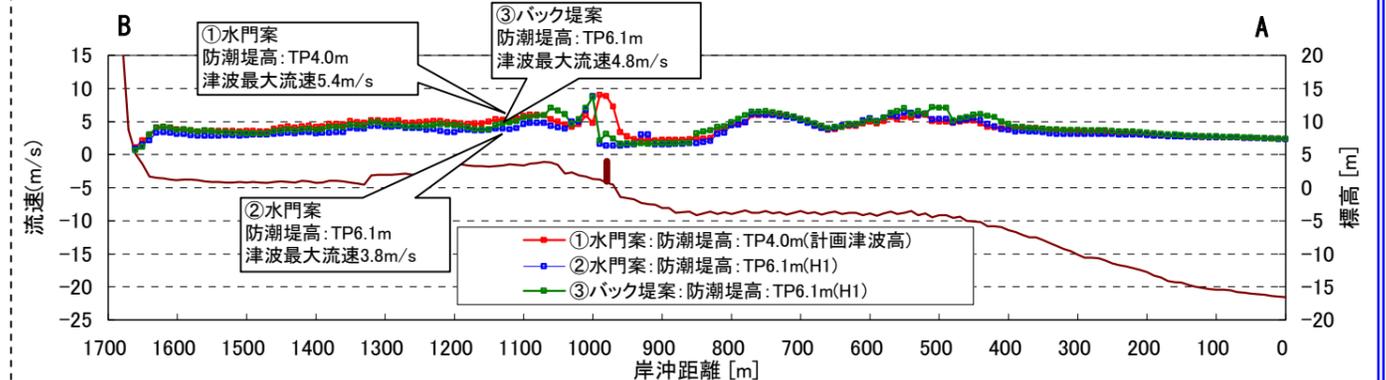


図 7.5 津波最大流速

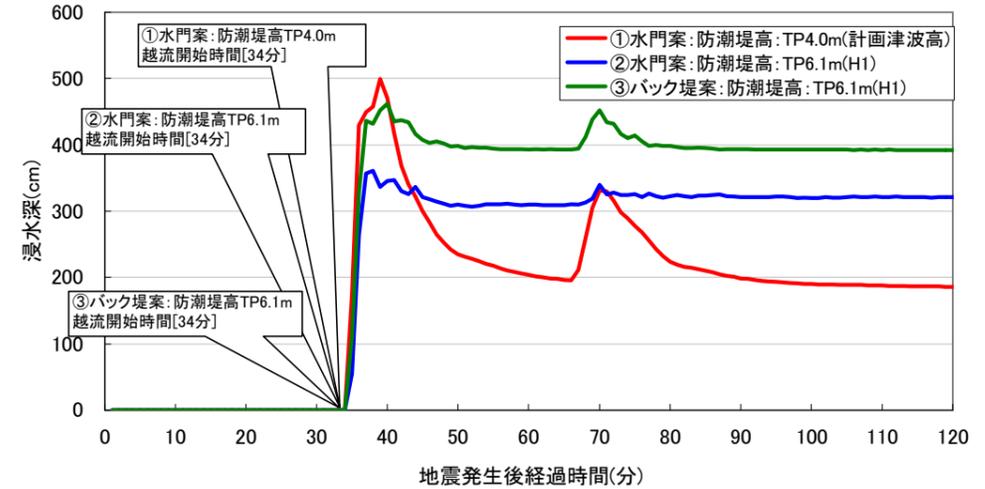


図 7.6 評価ポイントにおける浸水深時系列分布

考察

- 水門案では防潮堤 T.P.+6.1m までの高上げにより浸水面積、最大浸水深、最大流速などが軽減する。
- バック堤案(防潮堤及びバック堤 T.P.+6.1m)では、津波が河川を遡上することから、水門案(防潮堤 T.P.+6.1m)に比べ、河川上流付近の浸水面積、最大浸水深が大きい。また、バック堤案は海側と津波が遡上する川側から津波が溢れ、防潮堤(T.P.+6.1m)とバック堤(T.P.+6.1m)で囲まれたエリアに津波が溜まることで、水門案(防潮堤高 T.P.+6.1m)よりも、浸水深が大きくなる。
- 防潮堤案 T.P.+6.1m における最大流速は 3.0~5.0m/s、バック堤案 T.P.+6.1m における最大流速は 3.0~7.0m/s となる。浸水深は 2m 以上となる区域が多く木造家屋の流出被害を抑えるまでの効果は期待できない。
- 評価ポイントにおける到達時間については、到達時間を遅らせる効果は認められなかった。
- 防潮堤高上げによる効果はあるが、家屋資産等に対する被害軽減効果を発揮するまでには至らない。

## 7.2 浸水範囲の比較(潮位 T.P.-0.40m の場合)

**計算条件**  
 対象津波：東日本大震災津波  
 施設高：水門案：計画防潮堤高(T.P.4.0m)、水門案：明治三陸津波を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)  
 バック堤案：明治三陸を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)  
 地盤高：H23LP データを基に地盤変位量を与えた地盤高  
 潮位：H23.3.11 15:00 の推定高 T.P.-0.40m  
 水門：水門あり、水門あり、水門無し

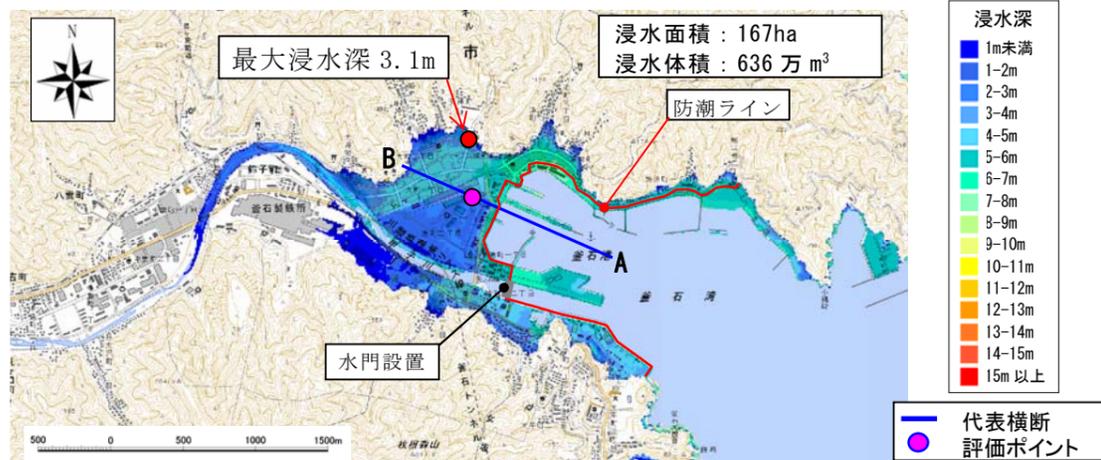


図 7.7 水門案：計画防潮堤高(現計画津波高 T.P.4.0m)におけるシミュレーション結果(CASE1)

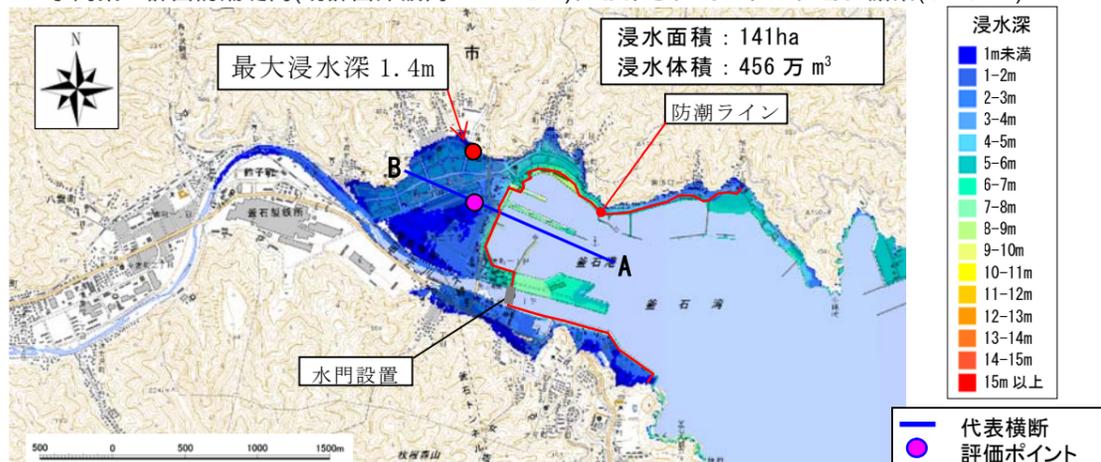


図 7.8 水門案：明治三陸津波を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)におけるシミュレーション結果(CASE2)

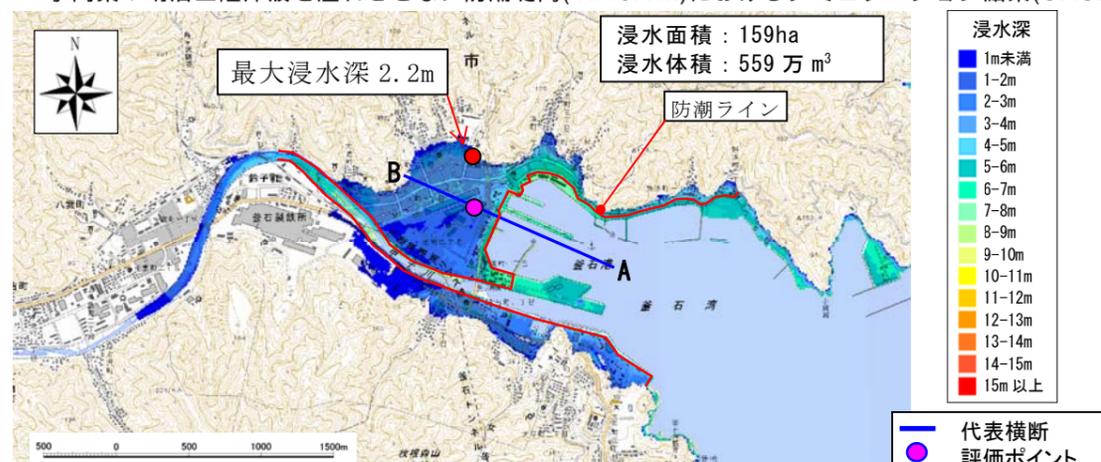


図 7.9 バック堤案：明治三陸津波を溢れさせない防潮堤高(T.P.6.1m)におけるシミュレーション結果(CASE3)

※バック堤の高さは、釜石湾のH1であるT.P.6.1m(白浜(釜石)漁港の現行計画津波高)とし、レベルバックで現況堤防高に振り付けた。  
 (津波遡上計算は現在検討中)

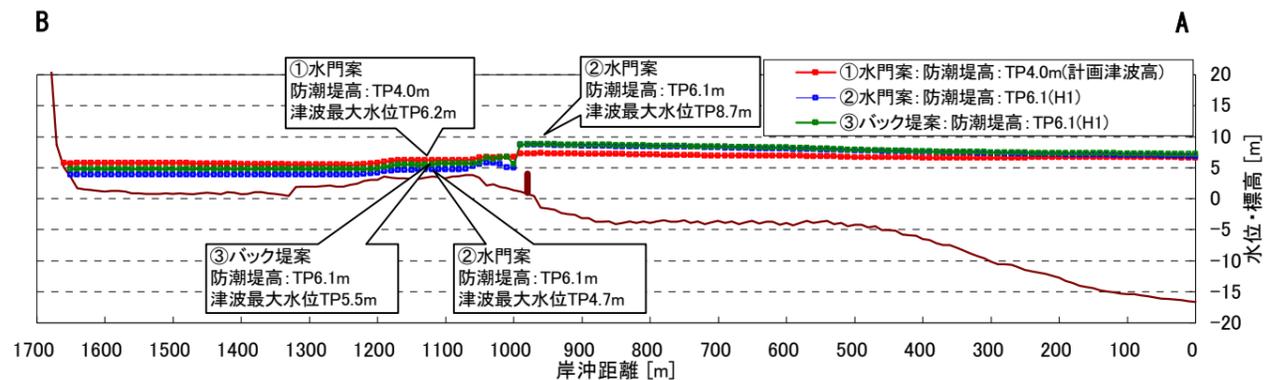


図 7.10 最大水位縦断面図

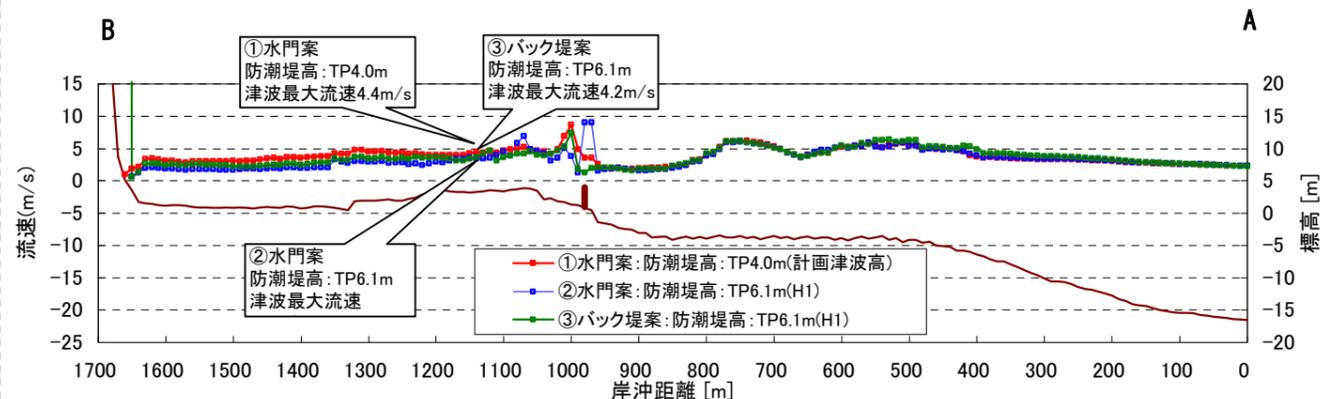


図 7.11 津波最大流速

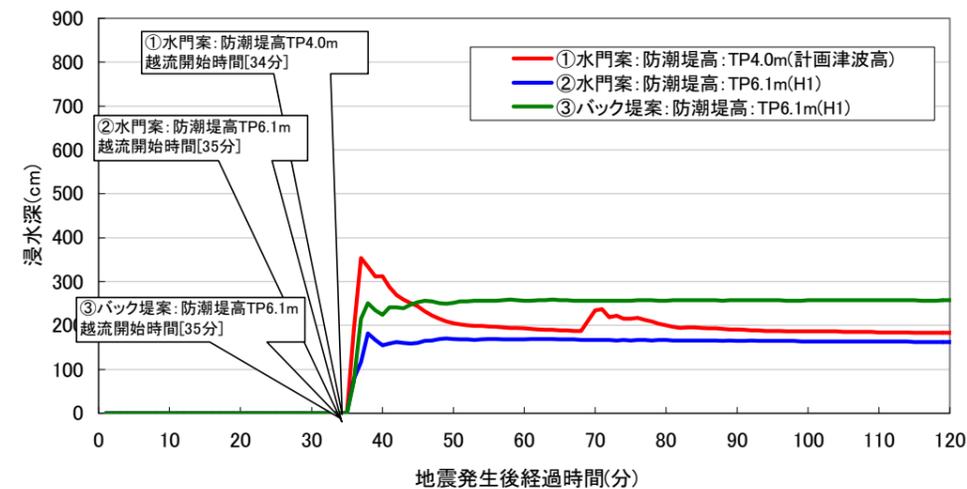


図 7.12 評価ポイントにおける浸水深時系列分布

### 考察

- 水門案では防潮堤 T.P.+6.1m までの嵩上げにより浸水面積、最大浸水深、最大流速などが軽減する。
- バック堤案(防潮堤及びバック堤 T.P.+6.1m)では、津波が河川を遡上することから、水門案(防潮堤 T.P.+6.1m)に比べ、河川上流付近の浸水面積、最大浸水深が大きい。また、バック堤案は海側と津波が遡上する川側から津波が溢れ、防潮堤(T.P.+6.1m)とバック堤(T.P.+6.1m)で囲まれたエリアに津波が溜まることで、水門案(防潮堤高 T.P.+6.1m)よりも、浸水深が大きくなる。
- 防潮堤案 T.P.+6.1m における最大流速は 2.0~6.0m/s、バック堤案 T.P.+6.1m における最大流速は 3.0~5.0m/s となる。浸水深は 2m 以上となる区域が多く木造家屋の流出被害を抑えるまでの効果は期待できない。
- 評価ポイントにおける到達時間については、到達時間を遅らせる効果は認められなかった。
- 防潮堤嵩上げによる効果はあるが、家屋資産等に対する被害軽減効果を発揮するまでには至らない。

7.3 釜石市復興整備イメージに基づく津波シミュレーション結果

計算条件  
 対象津波：東日本大震災津波  
 防潮堤高：T.P.+6.1m  
 地盤高：東日本大震災後（地盤沈下後）に計測したLPデータを基に地盤変位量を与えた地盤高  
 潮位：朔望平均満潮位 T.P.0.80m、 H23.3.11 15:00 の推定高 T.P.-0.40m

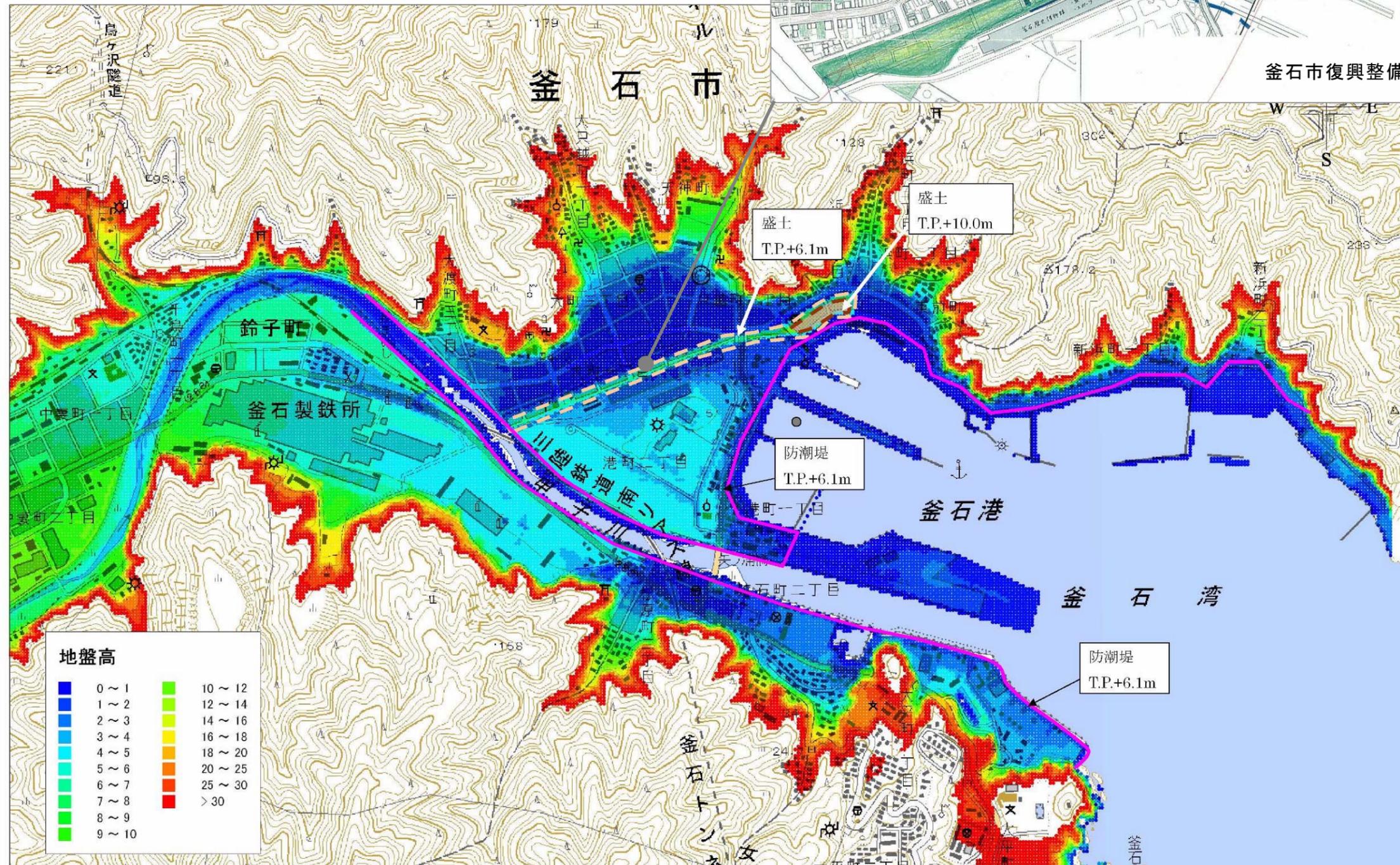


図 7.13 地形条件図（地盤高、防潮堤、盛土等）

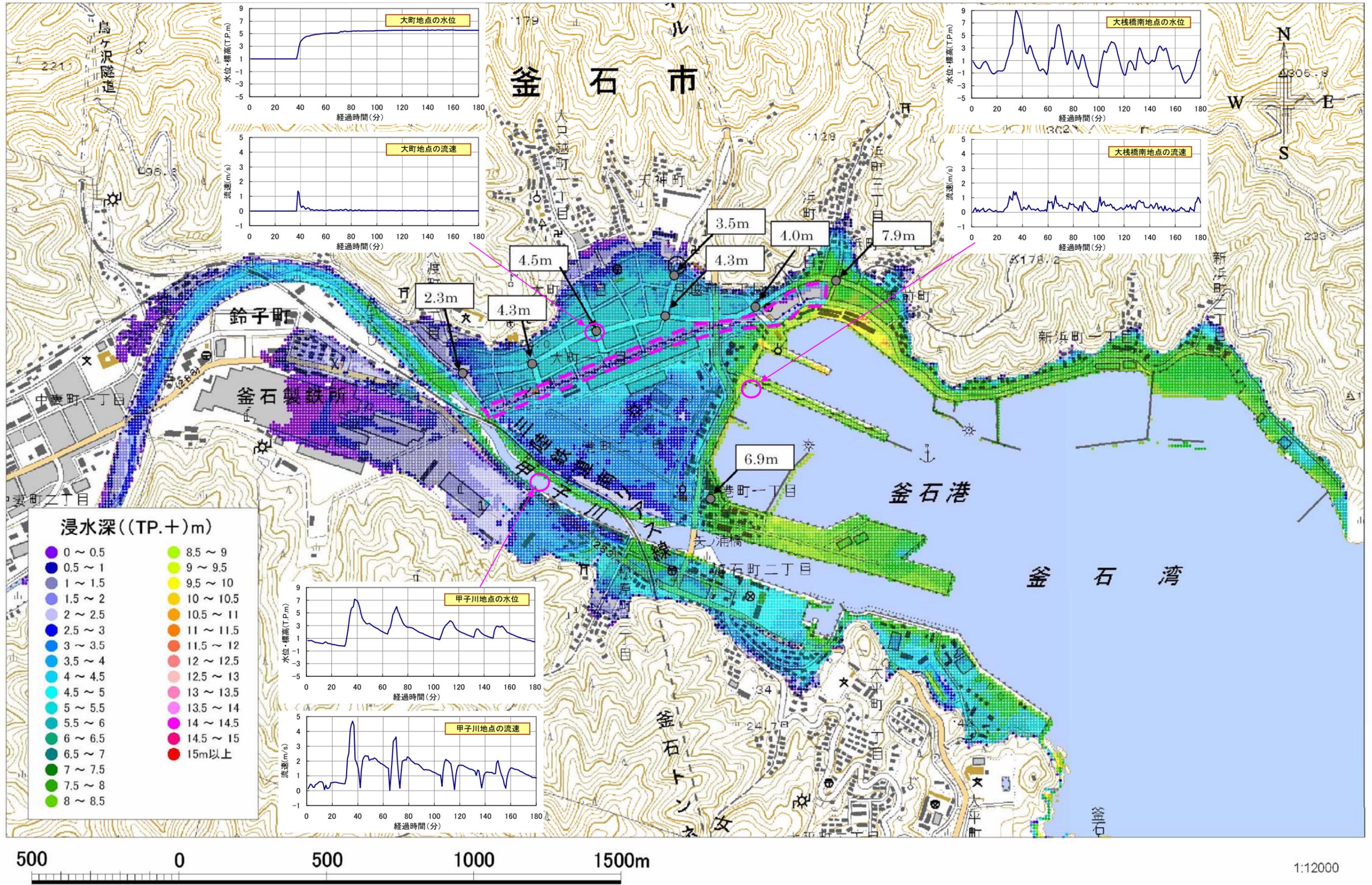


図 7.14 最大浸水深分布図(潮位:TP+0.8m)

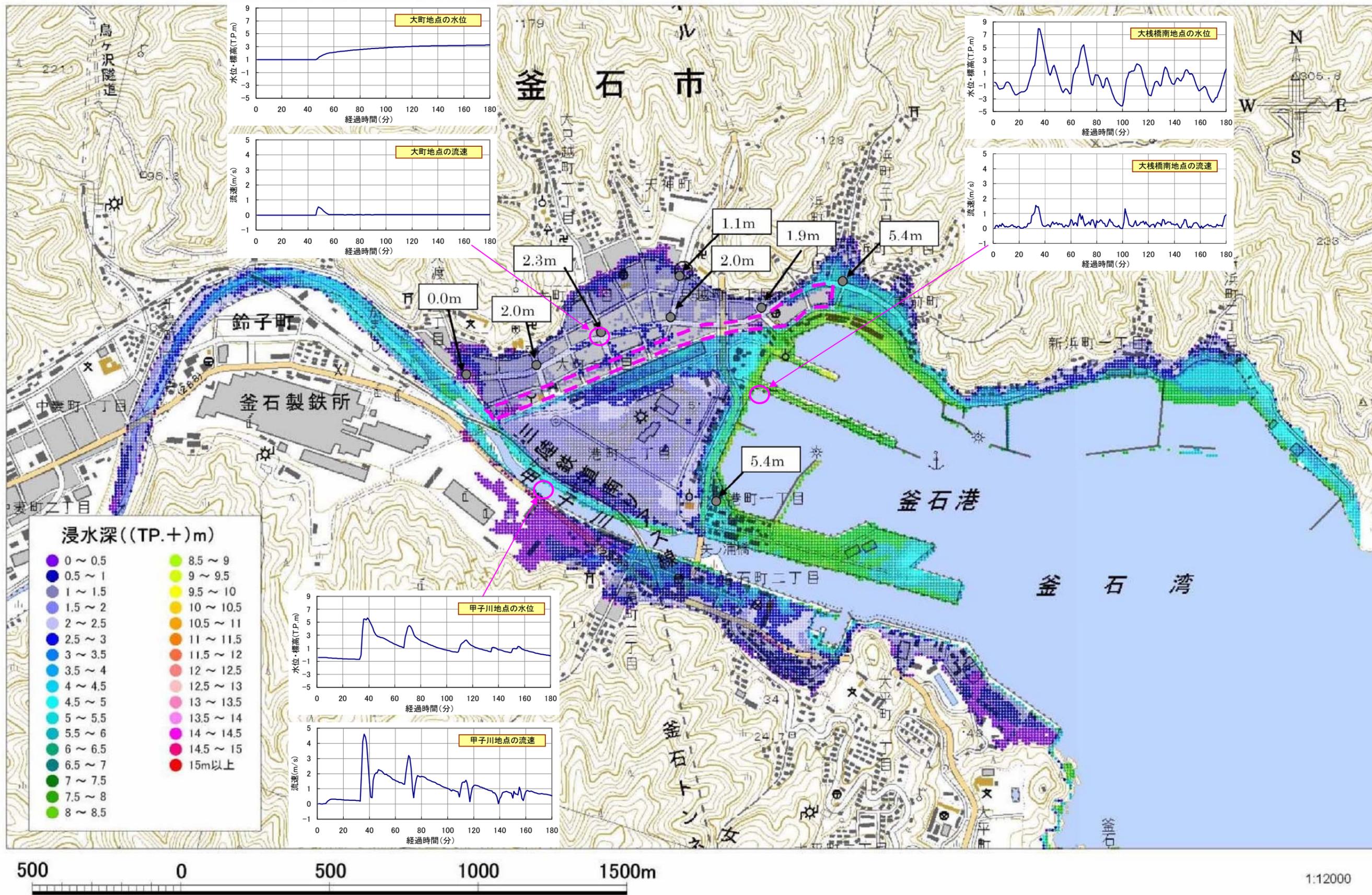


図 7.15 最大浸水深分布図(潮位: 震災時潮位 TP-0.4m)