

図 73 工学的基盤における擬似速度応答値（周期 1.0 秒、減衰 5%） 長町-利府線断層帯地震

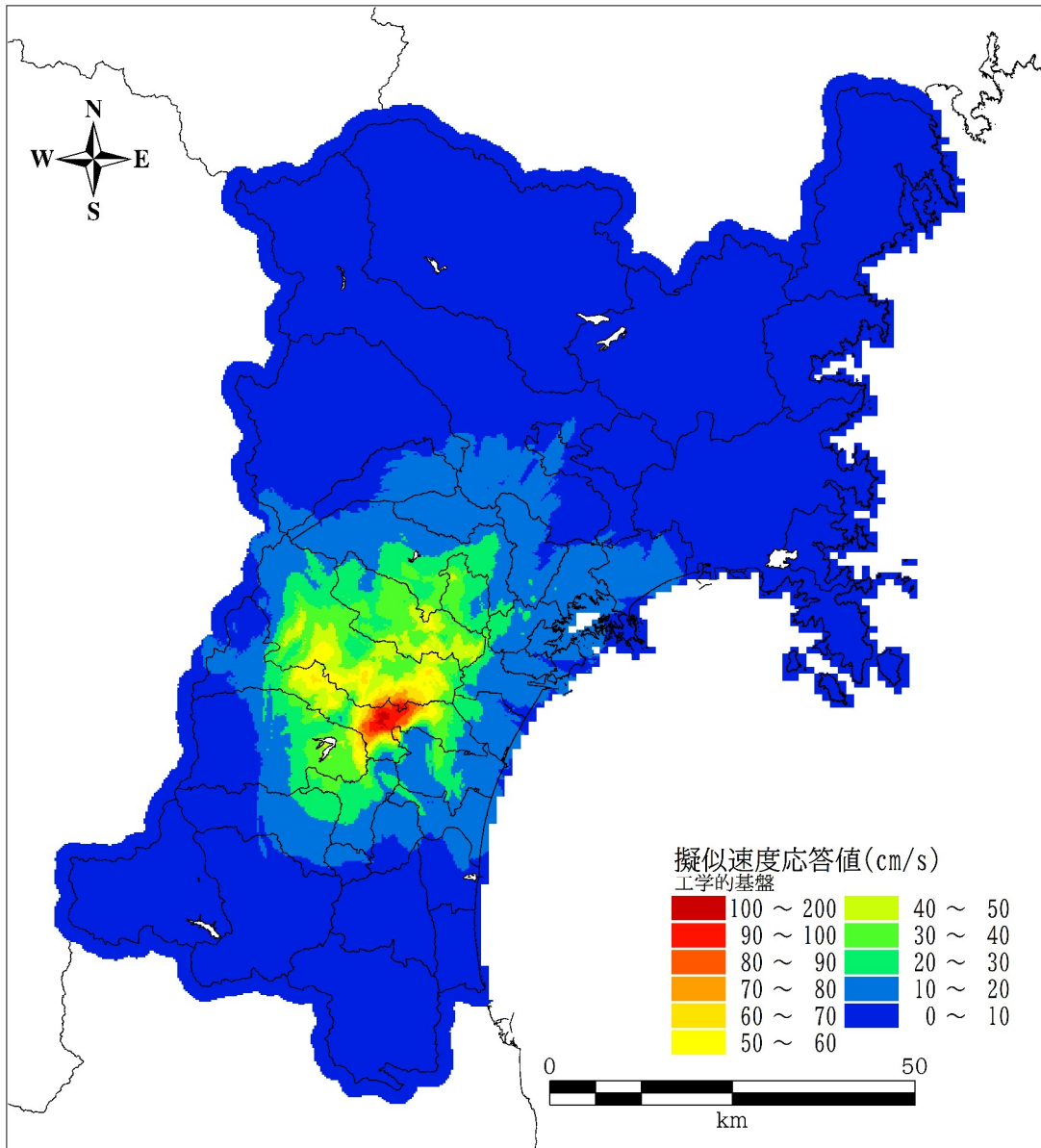


図 74 工学的基盤における擬似速度応答値（周期 2.0 秒、減衰 5%） 長町-利府線断層帯地震

2.4.2. 液状化計算

2.4.2.1. 液状化予測手法

地盤の液状化予測は、国（内閣府）や自治体の被害想定で広く用いられている F_L 値・ P_L 値により行う。 F_L 値は地表震度、地盤の N 値、地下水位、平均粒度等から求められる各地層の液状化に対する抵抗率である。この F_L 値を深さ方向に積分した地盤全体の液状化危険度（ P_L 値：液状化可能性指数）により予測する（図 75）。計算の条件は国（内閣府）の「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定（2021年（令和3年）12月）」の条件と同様とし、地下水位は一律 G.L.-1m としている。また、個別の造成や液状化対策は考慮していない。

液状化の検討対象は、微地形区分に基づくものとし、表 16 に示す区分を対象とした。図 76 は、対象となる地域を示したものである。

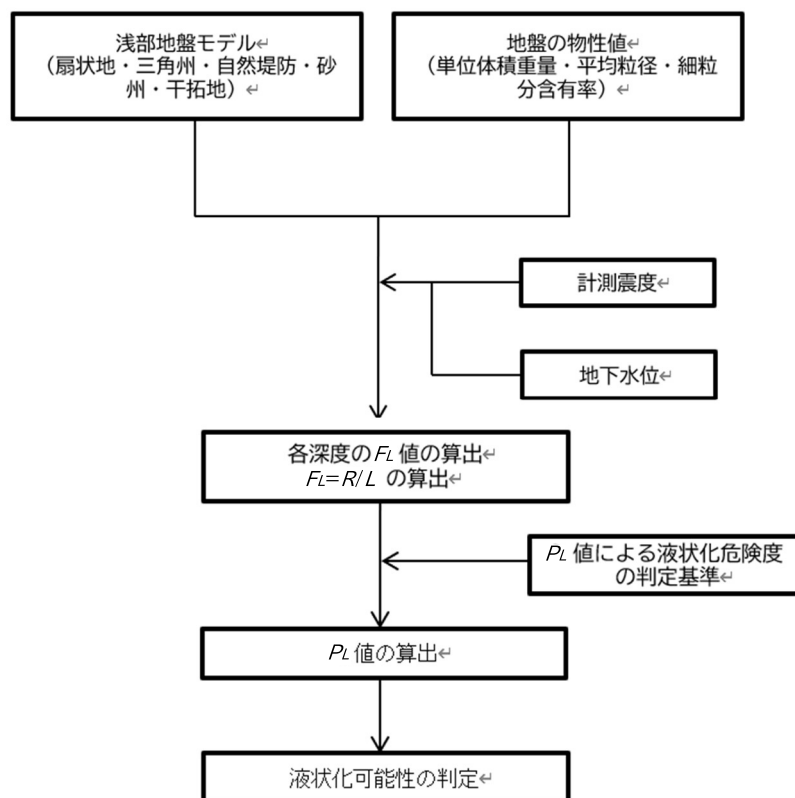


図 75 液状化予測手法の流れ

表 16 計算条件 液状化対象微地形分類

No.	微地形分類（地盤タイプ）	区分
1	沿岸地域	液状化検討対象外
2	山地	液状化検討対象外
3	丘陵	液状化検討対象外
4	火山地	液状化検討対象外
5	火山山麓地	液状化検討対象外
6	火山性丘陵	液状化検討対象外
7	岩石台地	液状化検討対象外
8	砂礫質台地	液状化検討対象外
9	火山灰台地	液状化検討対象外
10	谷底低地	液状化検討対象地形
11	扇状地	液状化検討対象地形
12	自然堤防	液状化検討対象地形
13	後背湿地	液状化検討対象地形
14	旧河道・旧池沼	液状化検討対象地形
15	三角州・海岸低地	液状化検討対象地形
16	砂州・砂礫州	液状化検討対象地形
17	砂丘	液状化検討対象地形
18	砂丘・砂州間低地	液状化検討対象地形
19	干拓地	液状化検討対象地形
20	埋立地	液状化検討対象地形
21	礫・岩礁	液状化検討対象外
22	河原	液状化検討対象外
23	河道	液状化検討対象外
24	湖沼	液状化検討対象外

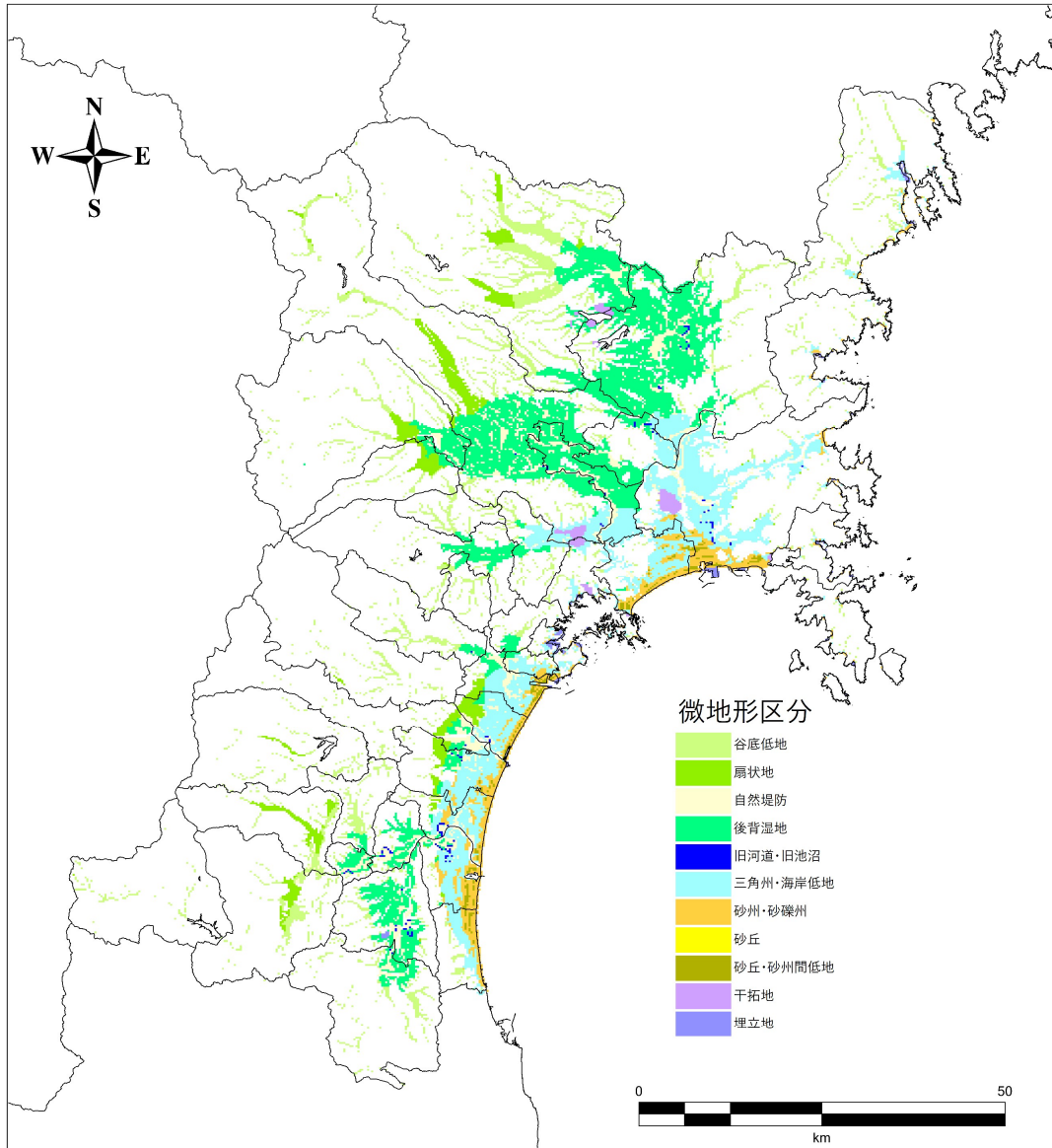


图 76 液状化对象微地形区分

砂質土層の液状化判定手法は「道路橋示方書・同解説（2017年（平成29年）12月発行）」によるものを採用した。地震動計算結果より地表から20mまでの地中のせん断応力(L)と液状化対象層の繰り返し三軸強度比(R)を求め液状化対象層ごとに液状化に対する抵抗率($F_L = R/L$)を求めた。地層全体の液状化可能性指数(P_L)を評価する。以下に手順を示す。

- ① 動的せん断強度比Rについては、下記の方法で求めた。

$$R = C_W \cdot R_L$$

$$R_L = \begin{cases} 0.082\sqrt{N_a/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.082\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (N_a \geq 14) \end{cases}$$

C_W ：地震時特性による補正係数（タイプIの地震動の場合）

$$C_W = 1.0$$

- ② N値及び F_c の算出については、亀井ほか(2002)の式に従った。

$$N_a = N_1 + \Delta N$$

$$\Delta N = \begin{cases} 0.0 & (F_c < 8\%) \\ 20.769 \times \log_{10}(F_c) - 18 & (8\% \leq F_c < 40\%) \\ 15.27 & (F_c \geq 40\%) \end{cases}$$

ただし、

N_a ：粒度の影響を考慮する補正N値

N_1 ：有効上載圧 100kN/m²相当に換算したN値

ΔN ：東京低地における細粒分の影響を補正するN値

- ③ 地震時せん断応力比Lについては、下記の方法で求めた。

$$L = \gamma_d \cdot K_s \cdot \sigma_v / \sigma'_v$$

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015x$$

ここに、

γ_d ：地震時のせん断応力比の深さ方向の低減係数

K_s ：液状化に対する設計震度

x ：地表面からの深さ(m)

σ_v ：地表面からの深さxにおける全上載圧(kN/m²)

σ'_v : 地表面からの深さ x における有効上載圧(kN/m²)

$$K_s = A_{max}/9.8$$

A_{max} : 地表最大加速度(m/s²)

9.8 : 重力加速度(m/s²)

地表最大加速度は地表の震度より、童・山崎(1996)による計測震度 I と最大加速度 PGA の関係式を用いて求めた。

$$PGA = 10^{-0.23+0.51 \cdot I}$$

- ④ R 及び L から液状化に対する抵抗率を求め、震度の重み係数を考慮して F_L を積分し、液状化指数 P_L を計算する。

$$F_L = R/L$$

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x) dx$$

ここに、

P_L : 液状化指数

F_L : 液状化に対する抵抗率

x : 地表面からの深さ(m)

メッシュごとの P_L 値より、以下の基準を参考に液状化危険度を判定する。

P_L 値による液状化判定区分は、表 17 に基づいて行った。閾値の値は、1980 年(昭和 55 年)の岩崎らの原論文と異なる値を使用している。これは、東日本大震災における宮城県内の液状化被害の実態との対比や、第四次調査・第三次調査の区分等を参考に今回採用した値の閾値である。

表 17 ここで用いた P_L 値による液状化判定区分

危険度 ランク	かなり低い	低い	やや高い	高い	極めて高い
P_L 値	$P_L = 0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 10$	$10 < P_L \leq 20$	$20 < P_L$
詳細調査の必要性の 目安	液状化に関する 詳細な調査は不 要	特に重要な構造 物に対してより 詳細な調査が望 ましい	重要な構造物に 対してはより詳 細な調査が望ま しい	構造物に対して はより詳細な調 査が望ましい	液状化に関する 詳細な調査が望 ましい。 (20 m までの全 深度で、 F_L 値が 0.8 に相当)

2.4.2.2. 計算結果

各地震の計算結果を図 77～図 80 に示す。比較的揺れが局所的である長町 - 利府線断層帯地震を除き北上川・鳴瀬川流域や沿岸部で液状化危険度が高いという結果になった。

なお、過去に液状化を起こした地点は再液状化の可能性が高いため本計算結果で液状化の危険度が低い、あるいは、ほとんどない地点であっても注意が必要である。

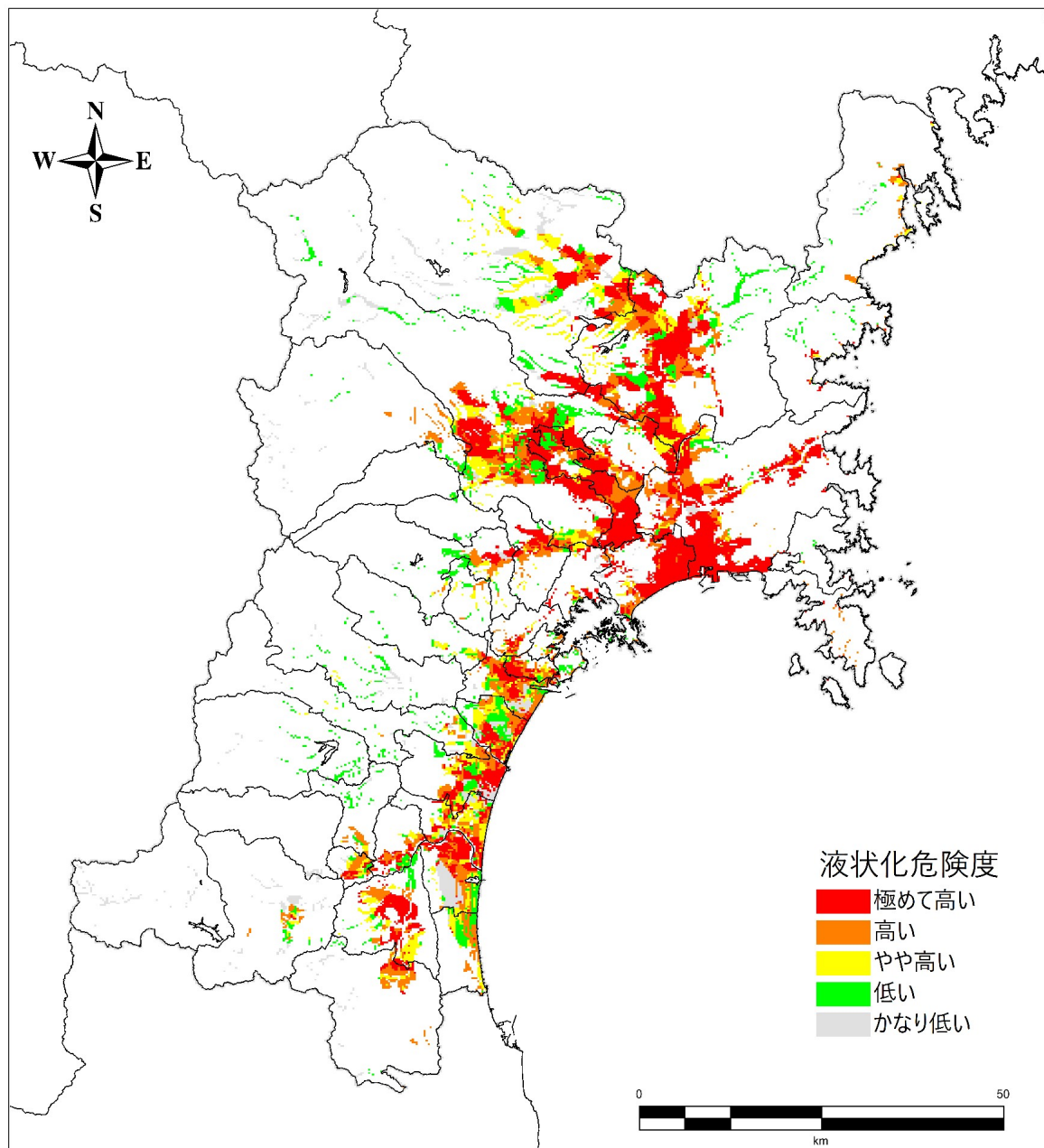


図 77 東北地方太平洋沖地震による液状化危険度
(メッシュが持つ代表地点における危険度)
※個別の造成や液状化対策は考慮していない。

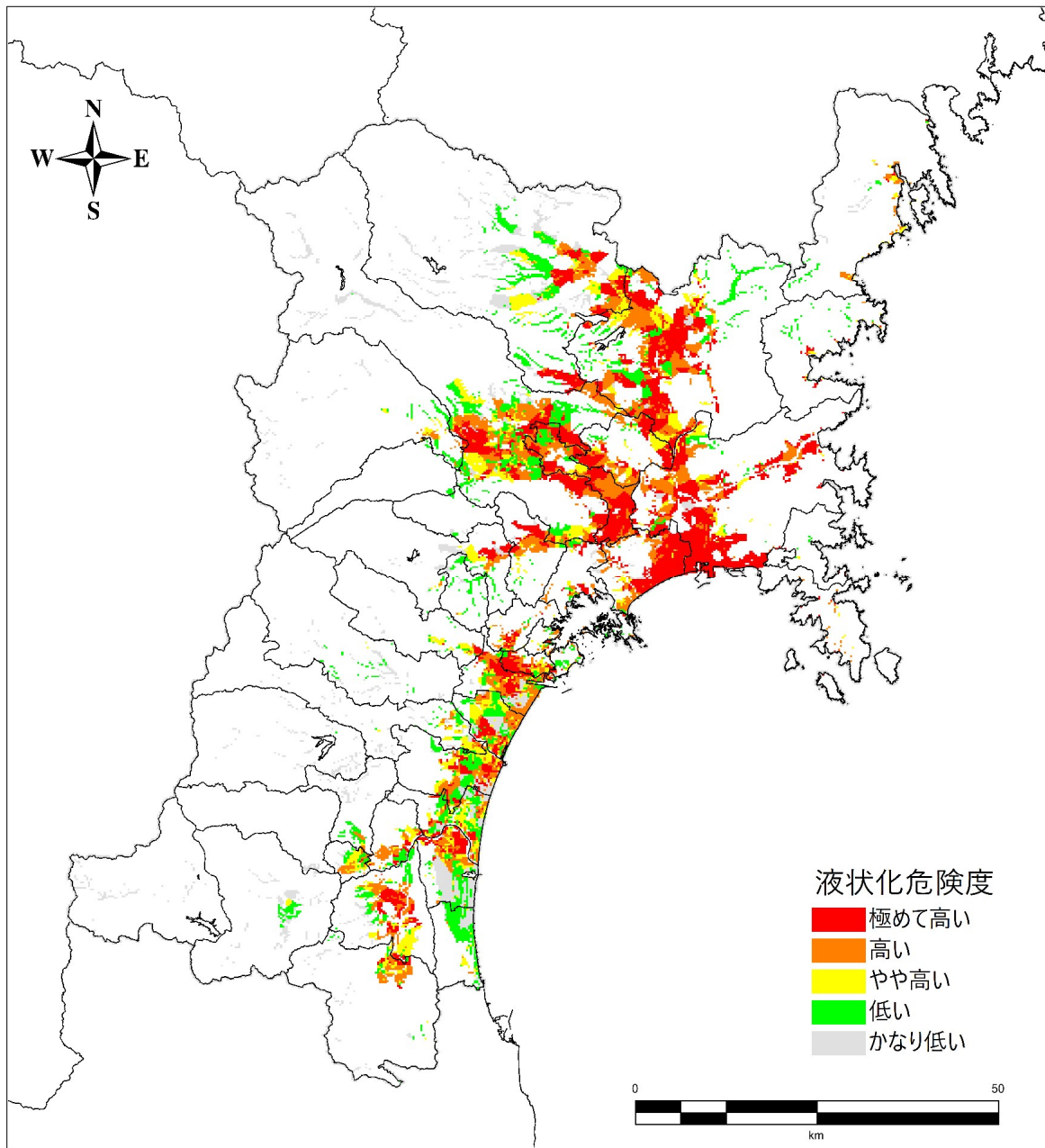


図 78 宮城県沖地震（連動型）による液状化危険度
 （メッシュが持つ代表地点における危険度）
 ※個別の造成や液状化対策は考慮していない。

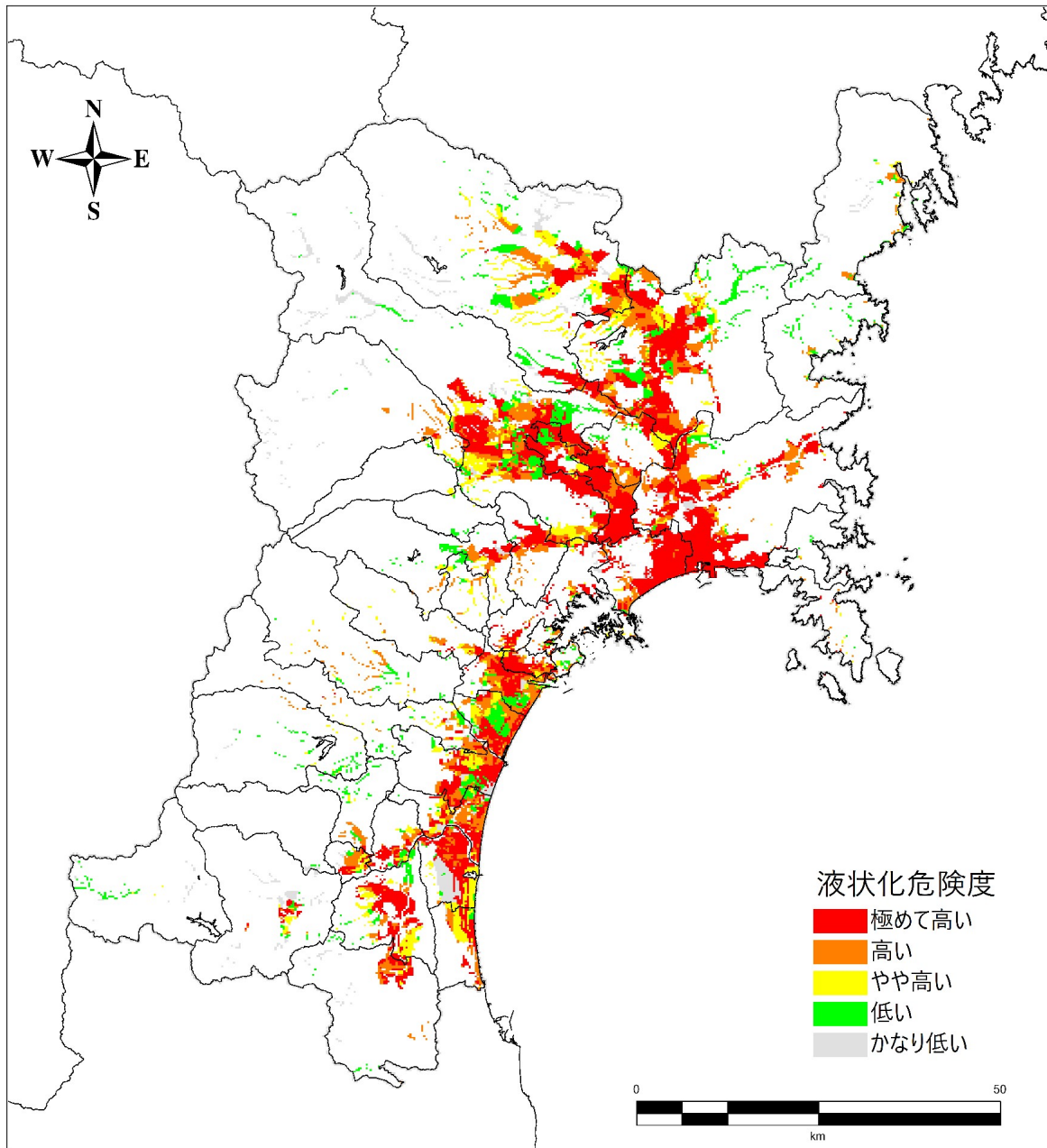


図 79 スラブ内地震による液状化危険度
 (メッシュが持つ代表地点における危険度)
 ※個別の造成や液状化対策は考慮していない。

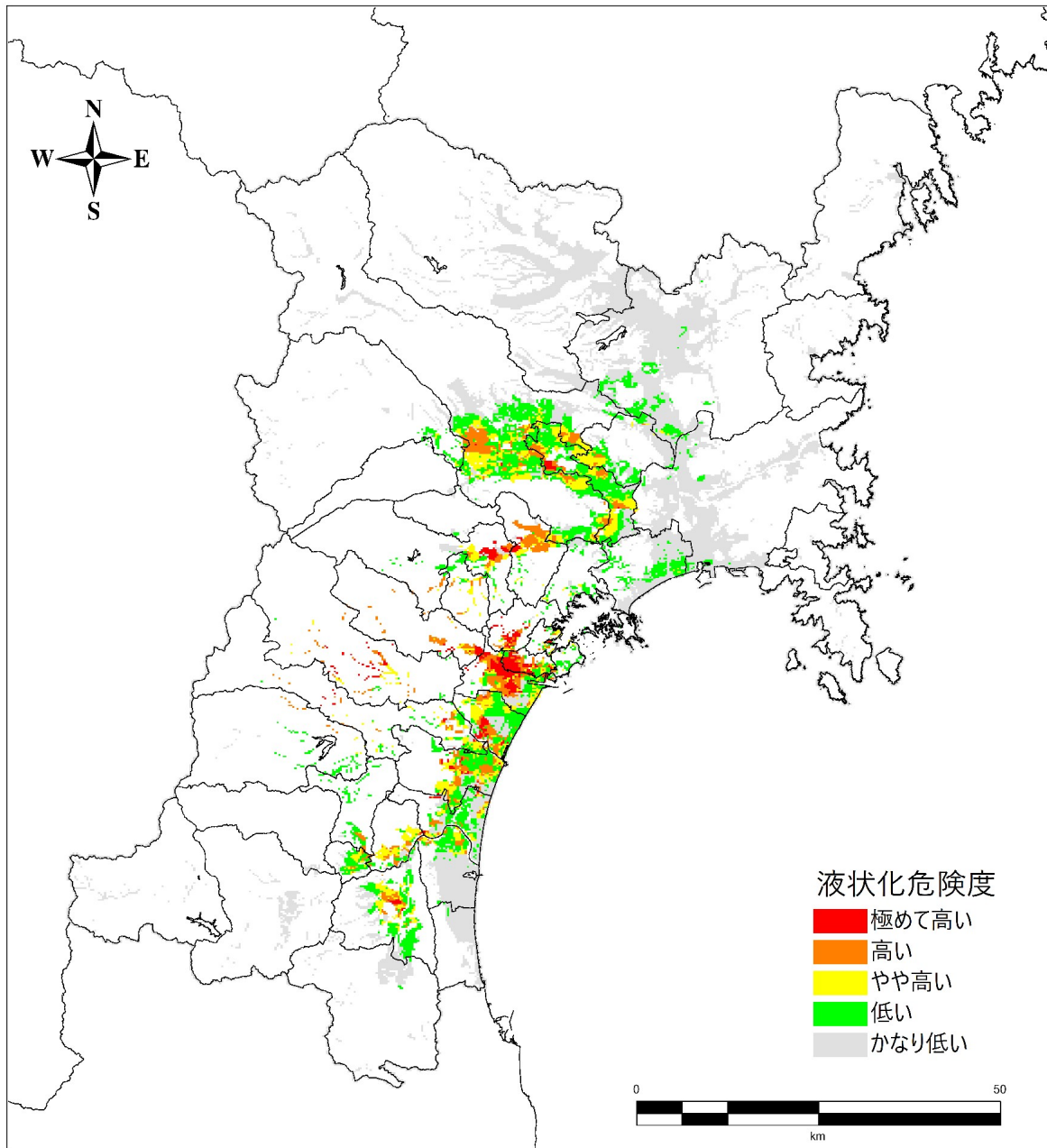


図 80 長町 - 利府線断層帯地震による液状化危険度
 (メッシュが持つ代表地点における危険度)
 ※個別の造成や液状化対策は考慮していない。

2.5. 津波の予測

2.5.1. 概要

津波の検討は2022年（令和4年）5月に公表した最大クラスの津波浸水想定を用いることを基本とする（表18）。また、東北地方太平洋沖地震の津波は公表済みの津波浸水想定を活用することから、本調査では宮城県沖地震（連動型）とスラブ内地震の予測計算を行う。

2.5.2. 波源断層パラメータの設定

波源断層パラメータは地震本部による「波源断層を特性化した津波の予測手法（津波レシピ）」に基づき設定した（表19、図81及び表20、図82）。大すべり域は、津波が大きくなるよう太平洋プレートの浅部側に設定した。

表18 計算条件

項目	計算条件
解析領域	太平洋～宮城県沿岸
メッシュ構成	沖合から450m領域：三陸沖、150m領域：三陸南沖 50m領域：宮城県沿岸、10m領域：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）
対象津波	宮城県沖地震（連動型）、スラブ内地震
境界条件	沖合：自由透過境界 海岸：450m～10m領域 移動境界（遡上） 越流：本間の越流公式 遡上先端（打切り水深）：1cm
地形条件 (地盤変動)	地震による地盤隆起・沈降：各断層モデルによる 地盤変動量を反映（陸域の隆起量は考慮しない）
潮位条件	各領域の朔望平均満潮位
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：6時間
その他	地形：復興まちづくり計画を反映する 防潮堤・河川堤防：津波越流時に「破壊」 二線堤：「非破壊」 粗度係数：小谷ら(1998)に従い、復興まちづくり計画 による土地利用に応じて設定。

表 19 宮城県沖地震（連動型）の波源断層パラメータ

巨視的波源断層特性	設定値		
セグメント	A1	A2	B
断層面積 S (km ²)	2,158	1,341	6,505
地震モーメント M_0 (Nm)	2.9×10^{20}	1.4×10^{20}	8.3×10^{20}
モーメントマグニチュード M_w	7.6	7.4	7.9
平均応力低下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	7.0	7.0	3.8
剛性率 μ (N/m ²)	6.5×10^{10}	6.5×10^{10}	5.0×10^{10}
平均すべり量 D (m)	2.1	1.6	2.6
微視的波源断層特性	設定値		
大すべり域の平均すべり量 D_L (m)	4.1	3.2	5.1
大すべり域の面積 S_L (km ²)	647	402	1951
背景領域の平均すべり量 D_B (m)	1.2	0.9	1.5
背景領域の面積 S_B (km ²)	1,511	939	4,554

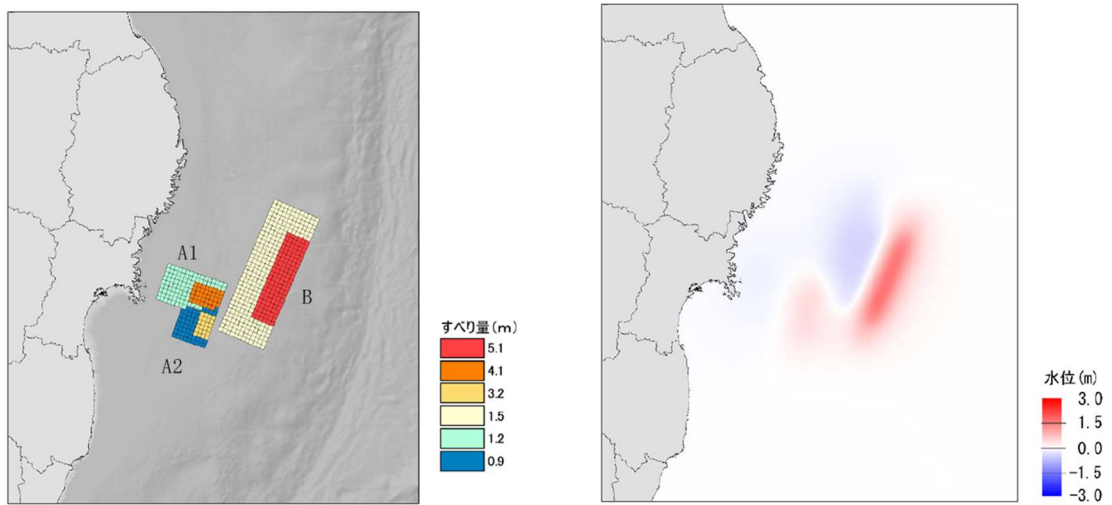


図 81 宮城県沖地震（連動型）の波源断層モデル、初期水位

表 20 スラブ内地震の波源断層パラメータ

巨視的波源断層特性	設定値
断層面積 S (km ²)	1,800
地震モーメント M_0 (Nm)	2.2×10^{20}
モーメントマグニチュード M_w	7.5
平均応力低下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	15.4
剛性率 μ (N/m ²)	6.5×10^{10}
平均すべり量 D (m)	3.2
微視的波源断層特性	設定値
大すべり域の平均すべり量 D_L (m)	6.4
大すべり域の面積 S_L (km ²)	324
背景領域の平均すべり量 D_B (m)	1.8
背景領域の面積 S_B (km ²)	756

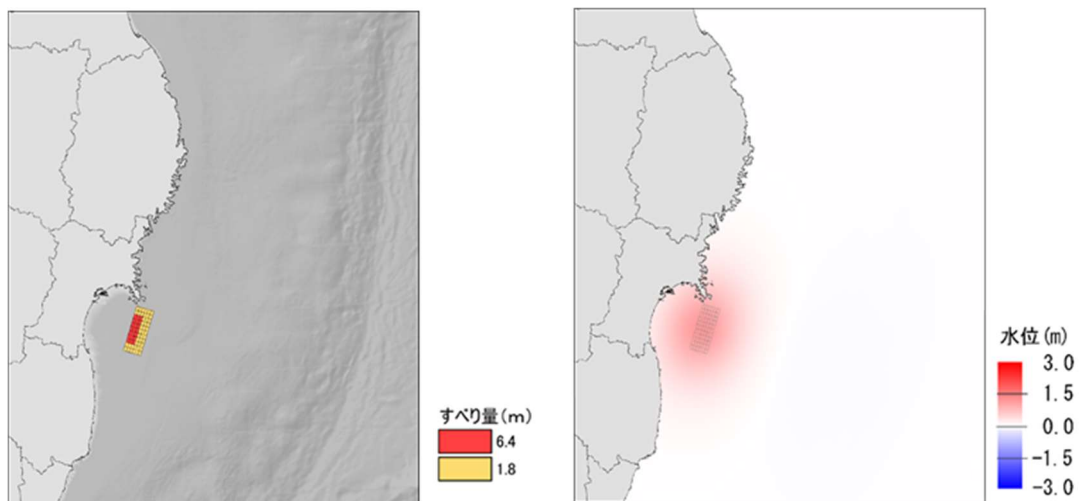


図 82 スラブ内地震の波源断層モデル、初期水位

2.5.3. 計算結果（最大クラスの津波浸水想定との比較）

今回計算した2つの津波の計算結果を、最大クラスの津波浸水想定と比較する形で整理した。

表 21 は沿岸（海岸線から 20m 程度沖合）における津波の高さを整理したものである。東北地方太平洋沖地震（最大クラスの津波浸水想定）で最大約 22m、宮城県沖地震（連動型）で最大約 8m、スラブ内地震で最大約 1m が予測される。

表 22 は代表地点（海岸線から 250～500m 程度沖合）における津波の高さを整理したものである。影響開始時間、最大波津波水位ともに、東北地方太平洋沖地震（最大クラスの津波浸水想定）が最も危険側であると予測された。影響開始時間は、地震発生から初期水位±20cm の変化が生じるまでの時間と定義している。そのため、影響開始時間の定義となる水位を変えた場合、この順序も変わる可能性がある。

各用語の定義は最大クラスの津波浸水想定と同じ

(<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/bousai/tsunamikyougikai.html>)

表 21 市町村別に最大となる沿岸の津波の高さ
(海岸線から 20m 程度沖合における津波の最大水位 (T.P.m))

市町名	東北地方太平洋沖地震 (最大クラスの津波浸水想定)		宮城県沖地震 (連動型)		スラブ内地震	
	津波の高さ	最大となる地点	津波の高さ	最大となる地点	津波の高さ	最大となる地点
気仙沼市	22.2m	気仙沼市本吉町道外 付近	7.7m	気仙沼市唐桑町唯越 付近	1.4m	気仙沼市唐桑町鮎立 付近
南三陸町	21.2m	南三陸町戸倉長須賀 付近	7.4m	南三陸町歌津馬場 付近	1.0m	南三陸町汐見 付近
石巻市	19.6m	石巻市雄勝町雄勝上雄勝 付近	6.3m	石巻市雄勝町雄勝 付近	1.1m	石巻市雄勝町雄勝 付近
女川町	20.7 m	女川町海岸通り 付近	4.8m	女川町塚浜 付近	0.8m	女川町野々浜 付近
東松島市	10.6m	東松島市宮戸観音山 付近	3.2m	東松島市宮戸鹿島 付近	1.3m	東松島市大塚 付近
松島町	4.7m	松島町松島大沢平 付近	1.8m	松島町松島桜岡入 付近	1.3m	松島町早川 付近
利府町	5.0m	利府町赤沼櫃ヶ沢 付近	2.0m	利府町赤沼浜田 付近	1.2m	利府町須賀 付近
塩竈市	4.8m	塩竈市新浜町 付近	1.7m	塩竈市新浜町 付近	1.2m	塩竈市新浜町 付近
七ヶ浜町	10.0m	七ヶ浜町菖蒲田浜長砂 付近	2.9m	七ヶ浜町葦山 付近	1.2m	七ヶ浜町遠山 付近
多賀城市	8.6m	多賀城市栄 付近	2.1m	多賀城市栄 付近	1.0m	多賀城市栄 付近
仙台市	10.3m	仙台市若林区井土須賀 付近	2.7m	仙台市宮城野区港 付近	1.0m	仙台市宮城野区港 付近
名取市	10.7m	名取市下増田屋敷 付近	1.9 m	名取市下増田 付近	0.9m	名取市北釜 付近
岩沼市	11.3m	岩沼市早股前川 付近	1.9m	岩沼市藤菅根 付近	0.9m	岩沼市川向 付近
亶理町	11.5m	亶理町吉田砂浜 付近	1.4m	亶理町荒浜 付近	0.9m	亶理町隈崎 付近
山元町	14.9m	山元町坂元浜 付近	2.2m	山元町中浜 付近	0.9m	山元町磯 付近

表 22 代表地点(海岸線から250～500m程度沖合)の津波の水位影響開始時間

市町名	東北地方太平洋沖地震 (最大クラスの津波浸水想定)				宮城県沖地震(連動型)				スラブ内地震				
	影響開始時間 ※1	第1波(+1m)到達時間 ※2	到達時間	津波水位(T.P.m)	影響開始時間 ※1	第1波(+1m)到達時間 ※2	到達時間	津波水位(T.P.m)	影響開始時間 ※1	第1波(+1m)到達時間 ※2	到達時間	津波水位(T.P.m)	最大波※3
気仙沼市	5分	21分	41分	21.7m	24分	30分	53分	7.1m	90分	-	95分	1.4m	
南三陸町	4分	23分	46分	20.8m	27分	32分	35分	6.0m	136分	-	289分	1.0m	
石巻市	4分	21分	60分	18.7m	20分	28分	43分	5.0m	48分	-	165分	1.1m	
女川町	6分	25分	46分	20.2m	24分	32分	43分	3.9m	-	-	198分	1.0m	
東松島市	10分	51分	62分	10.0m	48分	61分	62分	2.5m	55分	-	193分	1.2m	
松島町	32分	73分	124分	3.7m	71分	-	84分	1.4m	55分	-	192分	1.3m	
利府町	26分	74分	125分	3.4m	71分	-	84分	1.3m	55分	-	193分	1.2m	
塩竈市	19分	56分	66分	9.3m	53分	67分	68分	1.9m	82分	-	201分	1.2m	
七ヶ浜町	16分	57分	65分	9.4m	54分	67分	68分	2.5m	82分	-	185分	1.2m	
多賀城市	15分	60分	69分	7.8m	57分	70分	71分	2.0m	60分	-	176分	1.0m	
仙台市	13分	59分	69分	10.3m	55分	71分	199分	2.6m	58分	-	176分	1.0m	
名取市	14分	60分	68分	10.5m	57分	-	71分	1.6m	64分	-	38分	0.9m	
岩沼市	15分	60分	68分	11.2m	58分	-	73分	1.5m	66分	-	38分	0.9m	
亘理町	15分	60分	67分	11.0m	58分	-	116分	1.3m	65分	-	39分	0.9m	
山元町	15分	58分	64分	11.7m	58分	115分	116分	1.9m	60分	-	160分	0.9m	

※1：影響開始時間：代表地点において地震発生から初期水位±20cmの変化が生じるまでの時間。各市町における複数の代表地点のうち最速のものに記載。

※2：第一波(+1m)到達時間：代表地点において地震発生から初めて初期水位+1mの高さ(T.P.+1mではない)となるまでの時間。各市町における複数の代表地点のうち最速のものを記載。

※3：最大波：代表地点において地震発生から津波の最大到達高さが生じるまでの時間及びその津波水位。(最大となる地点が複数ある場合は到達時間の早い方を記載)