

第4章 架橋位置における津波特性の算定

第3章までの整理を踏まえると、津波による橋の流出の有無は、架橋条件、河川条件や構造諸元などの各種要因が複雑に影響しているものと推測された。そのため、対象橋の架橋位置ごとに流速や浸水高の津波特性を推定して、津波による被害との関係性が見出せるか検討を行う。津波特性の推定は、実績のある方法である数値シミュレーションにより行うこととした。

4.1 津波伝播遡上解析

津波伝播遡上解析は、平成23年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き^{4.1)}にしたがい実施し、架橋位置における浸水高(浸水深)及び流速を算定する。解析は、津波がすぐに到達する沿岸部に架橋されている場合または支承物が少なく河川幅が急変せずに沿岸部から架橋位置まで直線的に遡上すると判断できる河川に架橋されている場合は非線形長波理論式による断面1次元解析、堤防等の障害物が多数ある場合または河川幅の変化が大きい、河道が複雑な形状である河川に架橋されている場合は非線形長波理論式による平面2次元解析により浸水高及び流速を推定した。なお、断面1次元解析は、陸域(河道域)の地形モデルを直線的に表現した簡易モデルを用いた簡易2次元解析としているため、便宜的に1次元と称しているが、基礎方程式等の計算手法は、平面2次元解析と同じである。

4.1.1 平面2次元解析(非線形長波理論)

線形長波理論式による平面2次元解析は、平成23年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き^{4.1)}にしたがい行った。平面2次元解析による架橋位置の津波特性算定の手順を図4.1に示す。

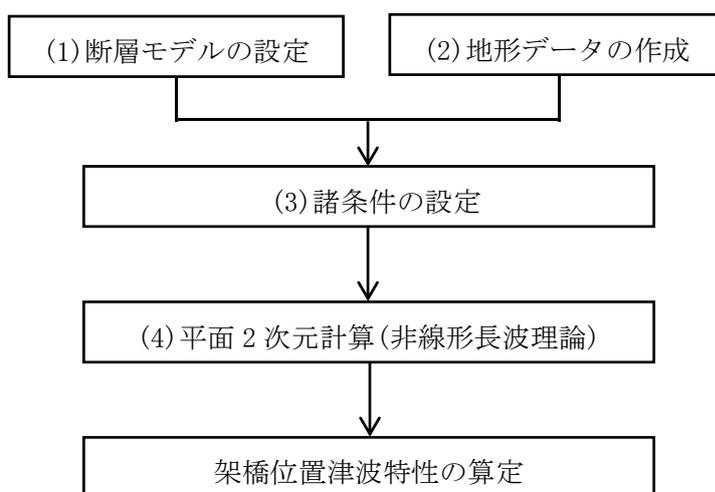


図4.1 平面2次元解析(非線形長波理論)による津波特性算定の手順

(1) 断層モデル

1) 断層モデルの概要

津波の浸水計算の初期条件(初期水位)と地盤変位を決定するための断層モデルを図 4.2 に示す。

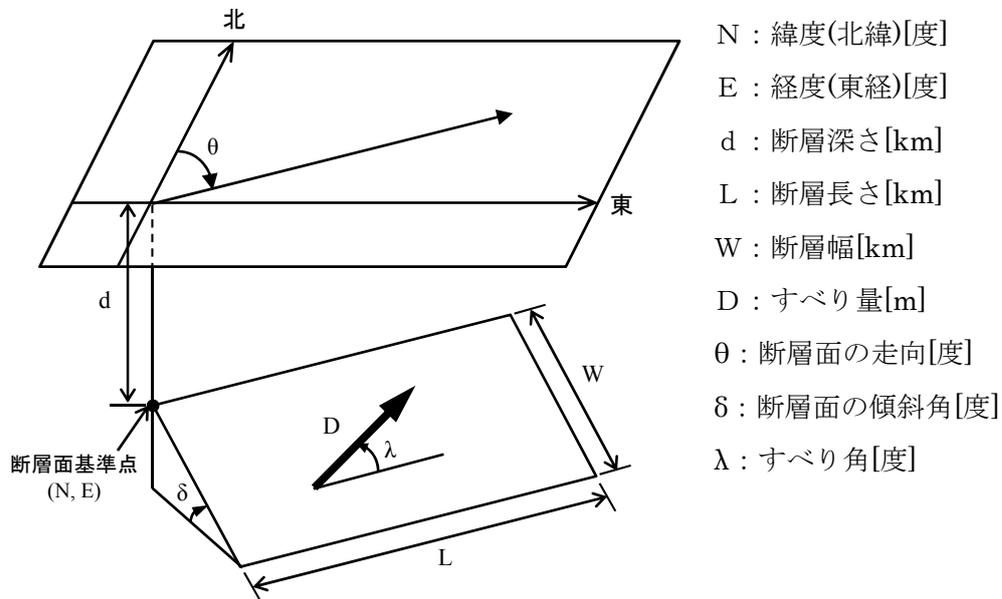


図 4.2 断層モデルの概念図

2) 断層モデルのパラメータ

本検討における断層パラメータは、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の津波波源モデル(Ver.4.6)(以下、藤井・佐竹モデル Ver.4.6)^{4.2)}を用いた。表4.1に藤井・佐竹モデル Ver.4.6、の断層パラメータを示す。

表 4.1 断層パラメータ(藤井・佐竹モデル Ver4.6^{4.2)})

No.	断層長さ L[km]	断層幅 W[km]	断層深さ d[km]	走向 θ[度]	傾斜角 δ[度]	すべり角 λ[度]	すべり量 D[m]	緯度 N[度]	経度 E[度]
1	50	50	0	193	14	81	14.73	39.738	144.331
2	50	50	0	193	14	81	10.07	39.300	144.200
3	50	50	0	193	14	81	6.60	38.862	144.069
4	50	50	0	193	14	81	28.77	38.424	143.939
5	50	50	0	193	14	81	34.73	37.986	143.810
6	50	50	0	193	14	81	9.19	37.547	143.682
7	50	50	0	193	14	81	0.00	37.135	143.400
8	50	50	0	193	14	81	0.00	36.730	143.070
9	50	50	0	193	14	81	1.22	36.325	142.740
10	50	50	0	193	14	81	3.19	35.905	142.504
11	50	50	12.1	193	14	81	2.01	39.836	143.778
12	50	50	12.1	193	14	81	4.08	39.398	143.651
13	50	50	12.1	193	14	81	6.45	38.960	143.523
14	50	50	12.1	193	14	81	25.71	38.522	143.397
15	50	50	12.1	193	14	81	37.76	38.084	143.271
16	50	50	12.1	193	14	81	14.92	37.646	143.146
17	50	50	12.1	193	14	81	0.00	37.233	142.867
18	50	50	12.1	193	14	81	0.00	36.828	142.540
19	50	50	12.1	193	14	81	0.00	36.423	142.213
20	50	50	12.1	193	14	81	2.64	36.003	141.979
21	50	50	24.2	193	14	81	0.44	39.934	143.224
22	50	50	24.2	193	14	81	0.27	39.496	143.100
23	50	50	24.2	193	14	81	2.31	39.058	142.977
24	50	50	24.2	193	14	81	21.05	38.620	142.853
25	50	50	24.2	193	14	81	21.89	38.182	142.731
26	50	50	24.2	193	14	81	12.08	37.744	142.609
27	50	50	24.2	193	14	81	10.92	37.331	142.333
28	50	50	24.2	193	14	81	4.77	36.926	142.009
29	50	50	24.2	193	14	81	1.73	36.521	141.684
30	50	50	24.2	193	14	81	0.00	36.101	141.454
31	50	50	36.3	193	14	81	1.07	40.032	142.670
32	50	50	36.3	193	14	81	0.00	39.594	142.549
33	50	50	36.3	193	14	81	0.00	39.156	142.430
34	50	50	36.3	193	14	81	13.25	38.718	142.309
35	50	50	36.3	193	14	81	10.63	38.280	142.190
36	50	50	36.3	193	14	81	0.00	37.842	142.071
37	50	50	36.3	193	14	81	0.00	37.429	141.798
38	50	50	36.3	193	14	81	2.91	37.024	141.477
39	50	50	36.3	193	14	81	0.00	36.619	141.155
40	50	50	36.3	193	14	81	1.92	36.199	140.928

(2) 地形モデル

1) 海域の地形データ

海域の地形データは、表 4.2 に示すように中央防災会議で公開されているデータ^{4.3)}を用いて、波源域を含む沖合から 1350m、450m、150m、50m と対象沿岸域に近づくにつれて順次メッシュサイズを小さくするように地形モデルを設定した。使用した各メッシュデータの諸元を表 4.3～表 4.6 に示す。表 4.3～表 4.6 に示すエリア No.は、中央防災会議の公開データで分類されている No.である。また、震源より 1350m、450m、150m、50m のメッシュデータを用いて再現した地形モデルの例を図 4.3 に示す。

表 4.2 地形モデルの領域とメッシュサイズ(海域地形)

領域	メッシュサイズ	
沖合領域	1350m	中央防災会議における 公開データ ^{4.3)}
大領域	450m	
中領域	150m	
小領域	50m	

表 4.3 1350m メッシュ領域の位置およびサイズ

エリアNo.	メッシュサイズ (m)	北西端の位置 (UTM 143°)		メッシュ個数		領域のサイズ	
		X座標 (m)	Y座標 (m)	X方向 (個)	Y方向 (個)	X方向 (m)	Y方向 (m)
1350-01	1,350	0	5,322,500	1,000	1,350	1,350,000	1,822,500

表 4.4 450m メッシュ領域の位置およびサイズ

エリアNo.	メッシュサイズ (m)	北西端の位置 (UTM 143°)		メッシュ個数		領域のサイズ	
		X座標 (m)	Y座標 (m)	X方向 (個)	Y方向 (個)	X方向 (m)	Y方向 (m)
0450-01	450	121,500	3,743,000	330	420	148,500	189,000
0450-02	450	40,500	3,999,500	720	600	324,000	270,000
0450-03	450	243,000	4,269,500	480	930	216,000	418,500
0450-04	450	297,000	4,526,000	420	840	189,000	378,000
0450-05	450	189,000	4,742,000	600	630	270,000	283,500
0450-06	450	256,500	4,782,500	780	600	351,000	270,000
0450-07	450	459,000	4,863,500	780	630	351,000	283,500
0450-08	450	634,500	5,079,500	780	810	351,000	364,500
0450-09	450	337,500	5,187,500	840	780	378,000	351,000

表 4.5 150m メッシュ領域の位置およびサイズ

エリアNo.	メッシュサイズ (m)	北西端の位置 (UTM 143°)		メッシュ個数		領域のサイズ	
		X座標 (m)	Y座標 (m)	X方向 (個)	Y方向 (個)	X方向 (m)	Y方向 (m)
0150-01	150	171,000	3,689,000	390	720	58,500	108,000
0150-02	150	130,500	3,833,000	480	630	72,000	94,500
0150-03	150	49,500	3,918,500	750	660	112,500	99,000
0150-04	150	130,500	3,923,000	660	630	99,000	94,500
0150-05	150	184,500	3,963,500	420	720	63,000	108,000
0150-06	150	220,500	3,972,500	720	690	108,000	103,500
0150-07	150	261,000	4,071,500	480	900	72,000	135,000
0150-08	150	283,500	4,184,000	510	840	76,500	126,000
0150-09	150	301,500	4,283,000	600	750	90,000	112,500
0150-10	150	355,500	4,409,000	540	960	81,000	144,000
0150-11	150	355,500	4,512,500	540	750	81,000	112,500
0150-12	150	337,500	4,602,500	450	810	67,500	121,500
0150-13	150	306,000	4,647,500	540	510	81,000	76,500
0150-14	150	238,500	4,638,500	660	600	99,000	90,000
0150-15	150	288,000	4,575,500	480	420	72,000	63,000
0150-16	150	220,500	4,562,000	450	600	67,500	90,000
0150-17	150	265,500	4,724,000	690	660	103,500	99,000
0150-18	150	346,500	4,733,000	780	510	117,000	76,500
0150-19	150	441,000	4,751,000	900	840	135,000	126,000
0150-20	150	526,500	4,778,000	840	510	126,000	76,500
0150-21	150	625,500	4,823,000	870	600	130,500	90,000
0150-22	150	657,000	4,899,500	930	750	139,500	112,500
0150-23	150	571,500	4,935,500	870	570	130,500	85,500
0150-24	150	454,500	4,985,000	960	750	144,000	112,500
0150-25	150	373,500	5,070,500	810	900	121,500	135,000
0150-26	150	679,500	4,944,500	990	870	148,500	130,500
0150-27	150	778,500	5,016,500	780	750	117,000	112,500
0150-28	150	855,000	5,070,500	810	660	121,500	99,000

表 4.6 50m メッシュ領域の位置およびサイズ

エリアNo.	メッシュサイズ (m)	北西端の位置 (UTM 143°)		メッシュ個数		領域のサイズ	
		X座標 (m)	Y座標 (m)	X方向 (個)	Y方向 (個)	X方向 (m)	Y方向 (m)
0050-01	50	186,000	3,605,000	420	390	21,000	19,500
0050-02	50	186,000	3,680,000	570	510	28,500	25,500
0050-03	50	168,000	3,788,000	540	840	27,000	42,000
0050-04	50	136,500	3,828,500	570	870	28,500	43,500
0050-05	50	105,000	3,873,500	990	900	49,500	45,000
0050-06	50	156,000	3,863,000	570	540	28,500	27,000
0050-07	50	138,000	3,917,000	1,170	930	58,500	46,500
0050-08	50	189,000	3,926,000	750	810	37,500	40,500
0050-09	50	189,000	3,962,000	1,110	780	55,500	39,000
0050-10	50	199,500	3,888,500	720	570	36,000	28,500
0050-11	50	232,500	3,903,500	810	510	40,500	25,500
0050-12	50	255,000	3,942,500	600	840	30,000	42,000
0050-13	50	265,500	3,969,500	1,020	600	51,000	30,000
0050-14	50	276,000	4,002,500	690	720	34,500	36,000
0050-15	50	273,000	4,038,500	480	780	24,000	39,000
0050-16	50	277,500	4,067,000	540	630	27,000	31,500
0050-17	50	288,000	4,097,000	750	660	37,500	33,000
0050-18	50	312,000	4,137,500	540	870	27,000	43,500
0050-19	50	315,000	4,179,500	540	900	27,000	45,000
0050-20	50	309,000	4,221,500	600	900	30,000	45,000
0050-21	50	315,000	4,259,000	1,080	810	54,000	40,500
0050-22	50	345,000	4,277,000	780	990	39,000	49,500
0050-23	50	360,000	4,322,000	720	960	36,000	48,000
0050-24	50	387,000	4,353,500	660	840	33,000	42,000
0050-25	50	402,000	4,406,000	450	1,110	22,500	55,500
0050-26	50	391,500	4,457,000	570	1,080	28,500	54,000
0050-27	50	361,500	4,502,000	960	960	48,000	48,000
0050-28	50	354,000	4,548,500	600	990	30,000	49,500
0050-29	50	352,500	4,593,500	630	960	31,500	48,000
0050-30	50	313,500	4,608,500	840	630	42,000	31,500
0050-31	50	264,000	4,580,000	1,120	570	56,000	28,500
0050-32	50	297,000	4,563,500	540	960	27,000	48,000
0050-33	50	321,000	4,574,000	750	1,050	37,500	52,500
0050-34	50	252,000	4,554,500	660	900	33,000	45,000
0050-35	50	229,500	4,521,500	510	900	25,500	45,000
0050-36	50	244,500	4,622,000	1,020	870	51,000	43,500
0050-37	50	282,000	4,637,000	1,020	480	51,000	24,000
0050-38	50	330,000	4,640,000	540	570	27,000	28,500
0050-39	50	312,000	4,674,500	630	840	31,500	42,000
0050-40	50	270,000	4,719,500	900	1,140	45,000	57,000

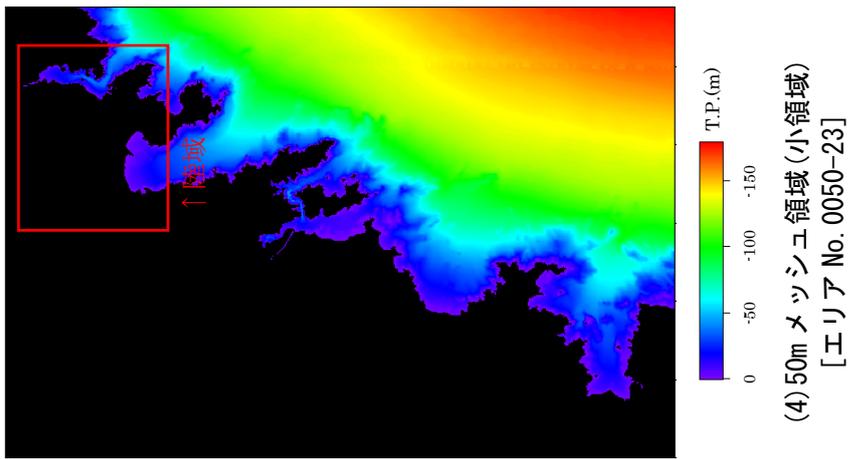
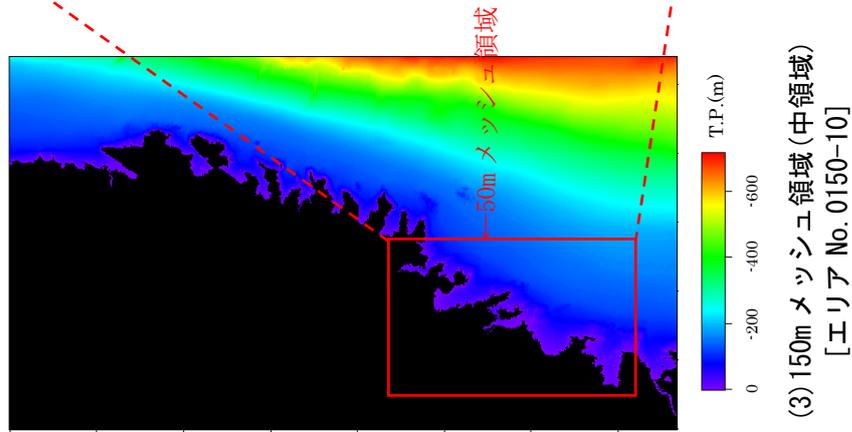
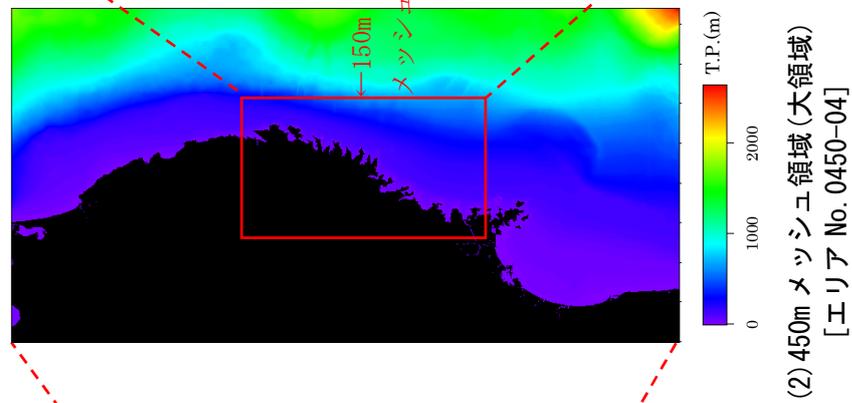
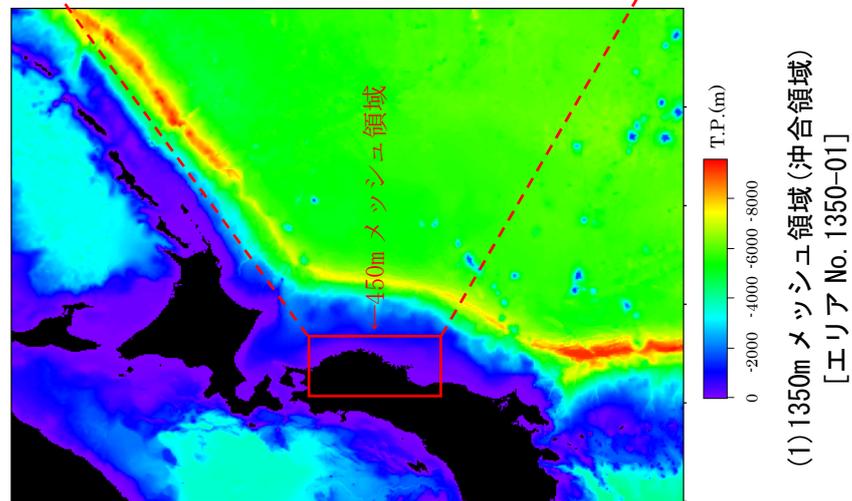


図 4.3 海域地形モデルの例

2) 陸域の地形データ

陸域の地形データは、岩手県、宮城県、福島県からの提供データを用いて10mメッシュサイズにて陸域地形を設定した。10mメッシュサイズ領域を表4.7に示す。また、表4.7の10mメッシュデータを用いて再現した地形モデル例を図4.4に示す。

表 4.7 10mメッシュ領域のサイズ(陸域地形)

地区	メッシュサイズ(m)	メッシュ個数		メッシュサイズ	
		X方向(個)	Y方向(個)	X方向(m)	Y方向(m)
田老地区	10	465	250	4,650	2,500
宮古地区	10	1,235	2,390	12,350	23,900
接待地区	10	540	270	5,400	2,700
陸中山田地区	10	1,125	1,570	11,250	12,700
鶉住居、波板、吉里吉里海岸地区	10	865	810	8,650	8,100
大槌地区	10	720	370	7,200	3,700
両石湾地区	10	800	475	8,000	4,750
釜石地区	10	740	500	7,400	5,000
唐丹湾地区	10	840	540	8,400	5,400
大船渡湾外地区	10	1,520	1,740	15,200	17,400
陸前高田地区	10	1,475	1,280	14,750	12,800
気仙沼地区	10	1,380	2,070	13,800	20,700
歌津地区	10	1,755	2,100	17,550	21,000
福島新地地区	10	580	370	5,800	3,700

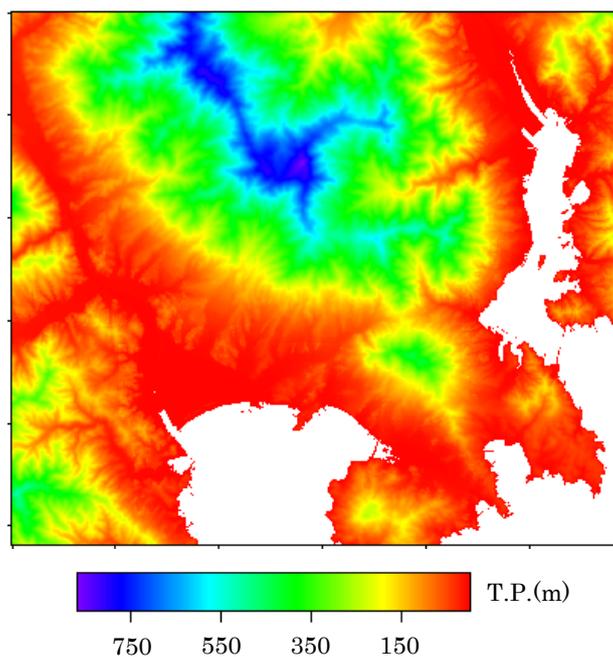


図 4.4 陸域地形モデルの例(陸前高田地区：10mメッシュ領域(沿岸部領域))

(3) 諸条件の設定

1) 境界条件

① 遡上境界条件

「三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発(港湾空港技術研究所報告第 32 巻第 2 号)」^{4.4)}を参考に水域側水位と陸域側地盤高の差(実水位)が 10^{-5}m を超えるときに陸上を遡上するものとした。

② 越流境界条件

海岸堤防等において、水位がその天端高を超える場合のモデルは、浸水想定区域図作成マニュアル^{4.5)}で用いられている本間の公式^{4.6)}を用いて堤内地への越流を考慮した。

● 本間の公式

$$\text{完全越流}(h_2/h_1 < 2/3)\text{の時} : Q = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B$$

$$\text{潜り越流}(h_2/h_1 \geq 2/3)\text{の時} : Q = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B$$

ここで、 Q : 越流流量(m^3/s)

B : 堤防長さ(m)

h_1, h_2 : 水深(m)

ただし、 h_1 、 h_2 は破堤敷高から測った水深で、水深の高い方を h_1 、低い方を h_2 とする。

③ 接続境界条件

異なる格子間隔の計算領域を連続して接続するため、平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き^{4.1)}にしたがい、海域における格子間隔を $1/3$ の割合で小さくした。

2) 潮位

津波襲来時の潮位は鮎川検潮所推算潮位 T.P.-0.42m とした。

3) 粗度係数

平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き^{4.1)}にしたがい、小谷ら^{4.7)}が提案する粗度係数を用いて設定する。

● 粗度係数

水域	: 0.025
田	: 0.020
畑	: 0.020
森林	: 0.030
空き地等	: 0.025
工場地等	: 0.040
低密度住宅地	: 0.040

中密度住宅地 : 0.060

高密度住宅地 : 0.080

4) 計算時間及び計算時間間隔

津波伝播遡上解析の計算時間は、架橋位置に津波による最大浸水高が到達するために十分な時間を確保するように地震発生から2時間とした。

また、計算1ステップあたりの計算時間間隔は、格子間隔に対して計算が安定となる条件となるように以下のC.F.L条件(Courant-Friedrichs-Lewy condition)を満たすように設定する。

$$\Delta t < \Delta s / \sqrt{2gh_{max}}$$

ここで、 Δt : 計算時間間隔(s)

Δs : 各計算領域の格子間隔(m)

h_{max} : 各計算領域における最大水深(m)

(4) 基本方程式

解析に用いた平成23年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き^{4.1)}に示されている非線形長波理論に基づく平面二次元計算の考え方を以下に示す。

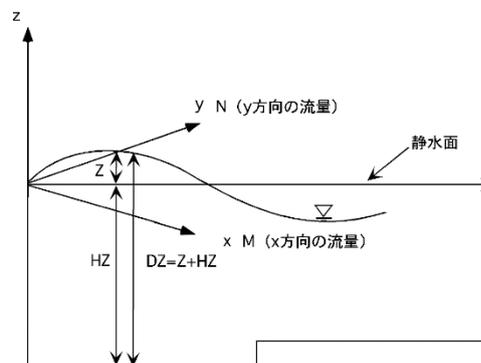
$$\text{連続の式} : \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

運動方程式 :

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

各変数は、図4.5に示すとおりである。



$Z(I,J,2)$: 静水面から自由水面までの距離

(陸上部では潮上計算のため地盤高 HZを用いる)

$HZ(I,J)$: 底面から静水面までの高さ (陸上では負値となる)

$DZ(I,J,2)$: 全水深 = $Z + HZ$ 、津波が来ていない場所はゼロとなる。

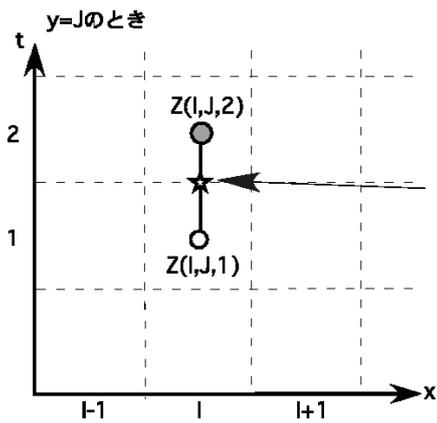
図 4.5 計算に使用する各変数と座標系

●連続の式の差分化

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

↓ 差分化する

$$\frac{Z(I,J,2) - Z(I,J,1)}{\Delta t} + \frac{M(I,J,1) - M(I-1,J,1)}{\Delta x} + \frac{N(I,J,1) - N(I,J-1,1)}{\Delta y} = 0$$



未知数は次の時間ステップの水位 $Z(I,J,2)$ だから、第一項目の差分は図のようになる。

その他の項についても差分の中心を一致させるようにすると、上式のようになる。

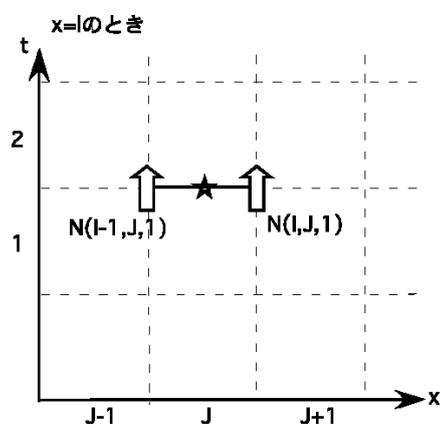
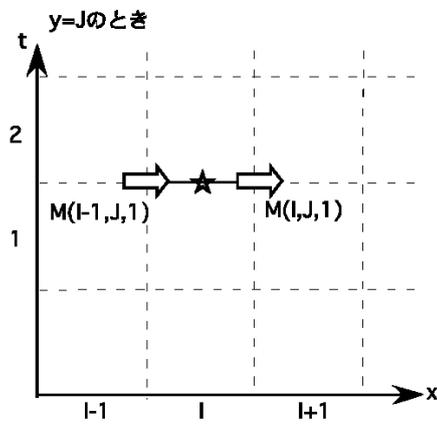
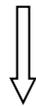


図 4.6 連続の式の差分化概念図

●運動方程式の差分化

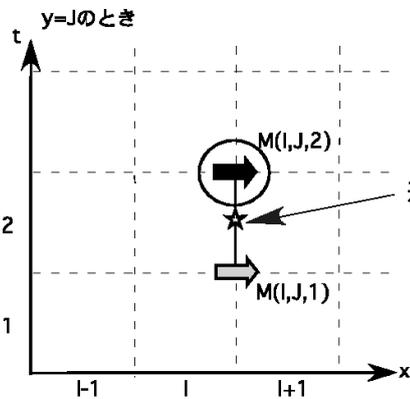
$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

非線形項



線形項だけ差分

$$\begin{aligned} & \frac{M(I,J,2) - M(I,J,1)}{\Delta t} + g \times DD \times \frac{1}{\Delta x} \{Z(I+1,J,2) - Z(I,J,2)\} \\ & + \frac{gn^2}{DD^{7/3}} \times \frac{M(I,J,2) + M(I,J,1)}{2} \times \sqrt{M(I,J,1)^2 + XNN^2} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = 0 \end{aligned}$$

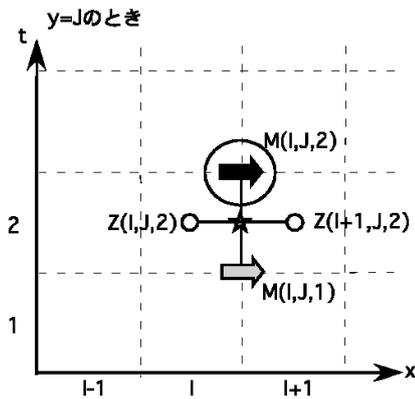


未知数は次の時間ステップの流量M(I,J,2)だから、第一項目の差分は図のようになる。

差分の中心

その他の項についても差分の中心を一致させるようにすると、上式のようなになる。

ただし、非線形項だけは差分の仕方が違う → 風上差分を用いる。



全水深Dはふつう、水位Zと同じようにメッシュの中心で定義しているが、ここでは、差分の中心で考えなければならない。

この計算は、SUBROUTINE NLMMTの最初で行っている。

※ DDは☆における全水深

図 4.7 運動方程式の差分化概念図

差分化した式を整理すると、

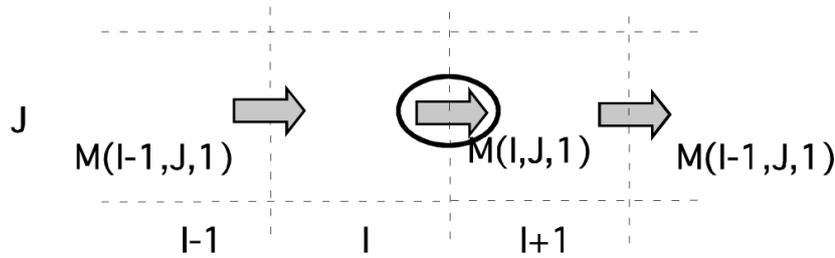
$$\begin{aligned} & \left(1 + \frac{\Delta t}{2} \frac{gn^2}{DD^{7/3}} \sqrt{M(I,J,1)^2 + XNN^2} \right) M(I,J,2) \\ & \text{非線形項} \\ & = \left(1 - \frac{\Delta t}{2} \frac{gn^2}{DD^{7/3}} \sqrt{M(I,J,1)^2 + XNN^2} \right) M(I,J,1) - g \frac{\Delta t}{\Delta x} \{Z(I+1,J,2) - Z(I,J,2)\} \\ & \text{非線形項} \end{aligned}$$

●非線形項(移流項)の計算方法

流れの方向によって差分の方法が異なる(風上差分)

- ・ $M > 0$ のとき . . . I と $I-1$
- ・ $M < 0$ のとき . . . I と $I+1$

※流れの上流側との差をとる。



←	$M < 0$	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) \rightarrow \frac{1}{\Delta x} \left\{ \frac{M(I+1, J, 1)^2}{DM(I+1, J, 1)} - \frac{M(I, J, 1)^2}{DM(I, J, 1)} \right\}$
→	$M > 0$	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) \rightarrow \frac{1}{\Delta x} \left\{ \frac{M(I, J, 1)^2}{DM(I, J, 1)} - \frac{M(I-1, J, 1)^2}{DM(I-1, J, 1)} \right\}$
↑	$N < 0$	$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \rightarrow \frac{1}{\Delta y} \left\{ \frac{M(I, J+1, 1)XNE}{DM(I, J+1, 1)} - \frac{M(I, J, 1)XNN}{DM(I, J, 1)} \right\}$
↓	$N > 0$	$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \rightarrow \frac{1}{\Delta y} \left\{ \frac{M(I, J+1, 1)XNE}{DM(I, J, 1)} - \frac{M(I, J-1, 1)XNN}{DM(I, J, 1)} \right\}$

図 4.8 非線形項(移流項)の計算方法

(5) 解析条件

平面 2 次元解析の解析条件を表 4.8 に示す。

表 4.8 平面 2 次元解析の解析条件

項目	内容
基礎方程式と解法	非線形長波方程式 (Leap-Frog 差分法により計算)
波源モデル	藤井・佐竹モデル (ver4.6) ^{4.2)}
計算格子間隔	1350m、450m、150m、50m、10m
境界条件	遡上境界条件： 10^{-5} m (水域側水位と陸域側地盤高の差 (実水位) が条件を超える場合に適用) 越流境界条件：本間の公式 ^{4.6)} により越流を考慮 接続境界条件：波源から陸地まですべての計算領域を連続的に接続
計算時間	2 時間 (地震発生から)
各計算格子間隔における 計算時間間隔	1350m : 2.7s 450m : 0.9s 150m : 0.3s 50m : 0.1s 10m : 0.1s
地盤変位量	Okada(1992)の手法 ^{4.8)} より算出
対象地形	10m 地震後の地形
粗度係数	水域 0.025 田 0.020 畑 0.020 森林 0.030 空き地等 0.025 工場地等 0.040 低密度住宅地 0.040 中密度住宅地 0.060 高密度住宅地 0.080
施設データ	海岸保全施設 (堤防、護岸、防波堤)、河川堤防 (岩手県、宮城県、福島県より提供されたデータを使用)
潮位	津波来襲時の潮位 : T.P.-0.42m

4.1.2 断面 1 次元解析(非線形長波理論)

流況が海側から単純に一方向からの遡上形態となる箇所の橋梁に対しては、断面 1 次元計算による津波遡上解析を行った。

基礎方程式は、前述した非線形長波理論に基づく平面 2 次元計算と同等の計算手法である。遡上方向を直線的に表現して、遡上方向に対する直方向に陸域と河道域をモデル化しており、陸域から河道内への浸水・越流又は河道から陸域の浸水・越流を考慮している簡易 2 次元計算であるため、便宜的に 1 次元と称している。なお、断面 1 次元計算を行う場合も、沿岸までの伝播解析は平面 2 次元計算を行い、沿岸からの遡上解析は断面 1 次元計算を行うものとする。

断面 1 次元解析による架橋位置の津波特性算定の手順を図 4.9 に示す。

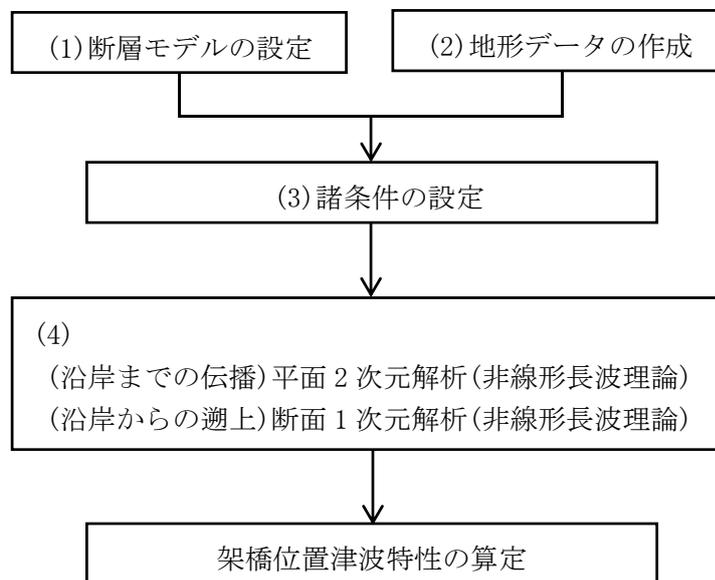


図 4.9 断面 1 次元解析(非線形長波理論)による津波特性算定の手順

(1) 断層モデル

「4.1.1 平面二次元解析(1)断層モデル」と同じ。

(2) 地形モデル

1) 海域の地形データ

「4.1.1 平面二次元解析(2)地形モデル 1)海域の地形データ」と同じ。

2) 陸域の地形データ

陸域の地形データは、国土地理院の 2m メッシュデータ(2mDEM)を用いて、例えば図 4.10 のような堤防等の障害物が少ない、河川幅が急変していないなど河川が複雑でないモデルは、図 4.11 のように直線河道としてモデル化する。

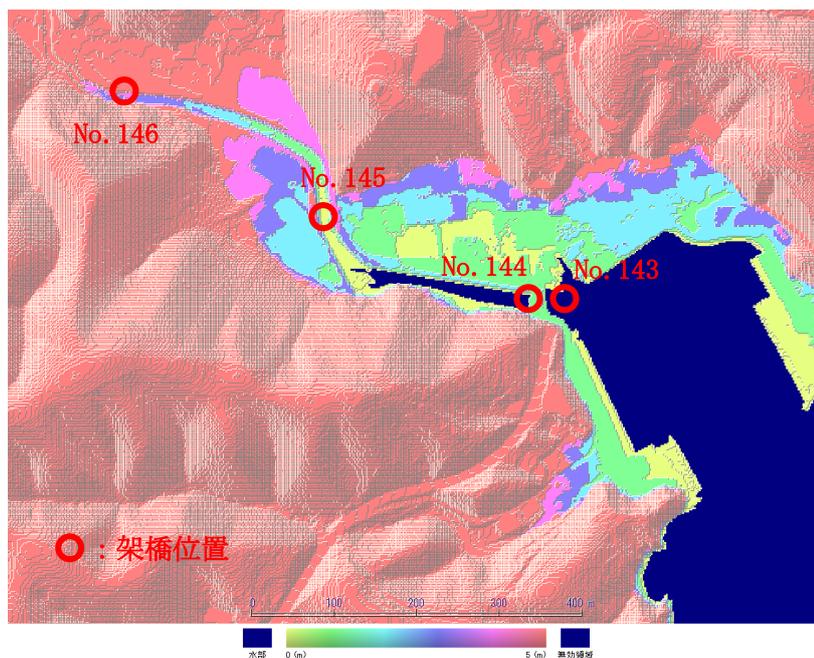


図 4.10 陸域地形モデルの例(沿岸部領域：メッシュサイズ 2m)

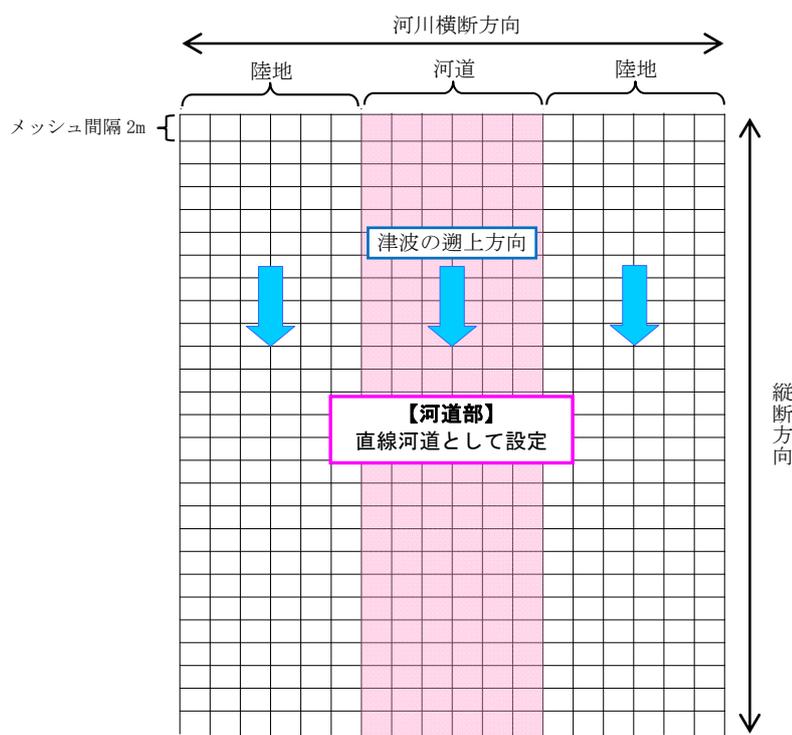


図 4.11 断面 1 次元計算の陸域地形のモデル化イメージ

(3) 諸条件の設定

境界条件、潮位、粗度係数、計算時間及び計算時間間隔は、「4.1.1 平面二次元解析(3) 諸条件の設定」と同じ。

(4) 基本方程式

「4.1.1 平面二次元解析(4) 基本方程式」と同じ。断面 1 次元解析においても、陸域を直線的にモデル化した地形に対して平面 2 次元解析同様の基本方程式を用いて計算を行う。

(5) 解析条件

断面 1 次元解析の解析条件を表 4.9 に示す。

表 4.9 断面 1 次元解析の解析条件

項目	内容
基礎方程式と解法	非線形長波方程式 (Leap-Frog 差分法により計算)
波源モデル	藤井・佐竹モデル (ver4.6) ^{4.2)}
計算格子間隔	1350m、450m、150m、50m、2m
境界条件	遡上境界条件： 10^{-5} m (水域側水位と陸域側地盤高の差 (実水位) が条件を超える場合に適用) 越流境界条件：本間の公式 ^{4.6)} により越流を考慮 接続境界条件：波源から陸地まですべての計算領域を連続的に接続
計算時間	2 時間 (地震発生から)
各計算格子間隔における 計算時間間隔	1350m : 2.7s 450m : 0.9s 150m : 0.3s 50m : 0.1s 2m : 0.05s
地盤変位量	Okada(1992)の手法 ^{4.8)} より算出
対象地形	10m 地震後の地形
粗度係数	水域 0.025 田 0.020 畑 0.020 森林 0.030 空き地等 0.025 工場地等 0.040 低密度住宅地 0.040 中密度住宅地 0.060 高密度住宅地 0.080
施設データ	海岸保全施設 (堤防、護岸、防波堤)、河川堤防 (岩手県、宮城県、福島県より提供されたデータを使用)
潮位	津波来襲時の潮位 : T.P.-0.42m

4.2 解析結果

平面 2 次元計算および断面 1 次元計算を用いた津波伝播遡上解析により算出した橋梁架橋位置における流速、津波の流入角、浸水高及び浸水深を表 4.10 に示す。表には、架橋位置で用いた計算手法(平面 2 次元計算または断面 1 次元計算)も示す。

【解析結果の凡例】

被害状況：上部構造のみまたは上下部構造が流出している橋には「流出」と示している。

解析手法：2 次元 ... 使用した解析手法が平面 2 次元計算である。

1 次元 ... 使用した解析手法が断面 1 次元計算である。

最大値：架橋地点における最大値

流速 ... 押波における橋軸方向に角度補正した最大流速を示す。

浸水高 ... 最大浸水高を示す。

押波 1 波目の最大値：最初に橋を越流する押波 1 波目の最大値

流速 ... 橋が最初に浸水する押波における橋軸方向に角度補正した最大流速を示す。

浸水高 ... 橋が最初に浸水する押波における最大浸水高を標高(T.P.)で示す。

浸水深 ... 静水面または交差物件地表面から橋が最初に浸水する押波における最大浸水高までの高さを示す。(高さの定義は図 1.1 を参照)

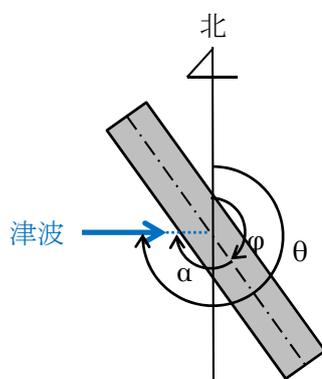
流入角度 ... 橋が最初に浸水する押波における最大流速時における橋に対する津波の流入角度を示す。(角度の定義は図 4.12 を参照)

津波角度 ... 橋が最初に浸水する押波における最大流速時における津波の流入角度を示す。(角度の定義は図 4.12 を参照)

架橋角度：対象橋梁の架橋角度を示す。(角度の定義は図 4.12 を参照)

静水面または地表面の高さ：

対象橋梁の交差物件が河川または海の場合は静水面，その他の場合交差物件の地表面の高さを標高(T.P.)で示す。



θ ：津波角度
(北を基準に時計回りを正とした角度を示す。)

φ ：架橋角度
(北を基準に時計回りを正とした角度を示す。)

α ：流入角度($\alpha = \theta - \varphi$)

図 4.12 解析結果(表 4.9)に示す角度の定義

表 4.10(1) 津波伝播遡上解析結果

橋梁 No.	橋梁名	被害状況	解析手法	最大値		押波1波目の最大値					架橋角度(°)	静水面または地表面の高さ(m)
				流速(m/s)	浸水高(m)	流速(m/s)	浸水高(m)	浸水深(m)	流入角度(°)	津波角度(°)		
1	不明		1次元	9.43	12.27	3.76	12.27	10.37	120	-	120	1.90
2	舟付沢橋	流出	2次元	5.19	19.25	5.19	19.25	17.65	119	-19	100	1.60
3	広内橋	流出	2次元	4.45	17.22	4.45	17.22	15.92	82	-42	40	1.30
4	野田橋		2次元	4.47	10.69	4.47	10.69	9.39	34	-99	115	1.30
5	韭畑橋	流出	2次元	2.74	12.37	2.74	12.37	11.37	137	-22	115	1.00
6	轟橋		2次元	5.61	11.27	5.61	11.27	9.07	61	-71	170	2.20
7	轟橋側道橋		2次元	5.61	11.27	4.33	11.27	9.07	59	-69	170	2.20
8	コウラゲ橋	流出	2次元	6.30	10.36	6.30	10.36	6.56	88	-98	170	3.80
9	米田橋		2次元	3.65	14.86	3.65	14.86	12.76	71	-91	160	2.10
10	米田橋側道橋	流出	2次元	3.65	14.86	3.65	14.86	12.66	71	-91	160	2.20
11	米田橋		2次元	7.35	10.83	7.35	10.83	8.93	94	-114	160	1.90
12	下米田橋	流出	2次元	3.95	9.74	3.95	9.74	6.34	89	-124	145	3.40
13	米田川一号橋	流出	2次元	2.37	9.60	1.56	9.60	4.80	97	-132	145	4.80
14	下安家橋	流出	1次元	13.58	10.52	13.58	10.52	9.52	90	-	90	1.00
15	ハイベ沢橋	流出	1次元	9.48	18.50	8.58	18.50	16.90	90	-	90	1.60
16	声転橋	流出	1次元	7.81	21.09	5.38	21.09	18.59	50	-	50	2.50
17	行人橋	流出	1次元	10.86	15.34	8.48	15.34	12.84	120	-	120	2.50
18	下撰待橋	流出	2次元	3.82	9.49	3.82	9.49	6.49	110	-15	95	3.00
19	重津部浜橋	流出	1次元	12.91	14.07	12.91	14.07	13.27	90	-	90	0.80
20	沼の浜橋	流出	1次元	9.15	14.39	9.15	14.39	13.69	110	-	110	0.70
21	日の出橋	流出	2次元	4.06	9.49	4.06	9.49	9.49	97	-17	80	0.00
22	湊橋	流出	2次元	2.93	9.25	2.69	9.25	8.75	93	-3	90	0.50
23	長内川橋	流出	2次元	4.69	9.98	4.69	9.98	6.48	97	3	100	3.50
24	荒谷橋	流出	2次元	4.61	10.89	4.61	10.89	6.19	104	-4	100	4.70
25	乙部橋		2次元	2.86	10.80	2.69	10.80	4.10	48	-8	40	6.70
26	中町橋		2次元	0.61	6.37	0.58	6.37	4.47	8	-178	10	1.90
27	中町橋側道橋(上)		2次元	0.61	6.37	0.58	6.37	4.47	8	-178	10	1.90
28	中町橋側道橋(下)	流出	2次元	0.61	6.37	0.58	6.37	4.47	8	-178	10	1.90
29	櫻内川橋	流出	2次元	1.29	10.36	1.29	10.36	9.86	4	134	130	0.50
30	松月一の橋	流出	2次元	13.05	12.53	4.51	12.53	2.53	97	-57	40	10.00
31	甲ノ浜橋	流出	2次元	3.74	12.12	3.35	12.12	10.42	80	-110	150	1.70
32	嶺の浜橋梁	流出	2次元	3.20	12.44	0.28	12.44	11.14	57	-107	130	1.30
33	宮古大橋(上り)		2次元	4.24	4.89	4.24	4.89	4.89	91	-131	140	0.00
34	宮古大橋(上り)		2次元	4.24	4.89	4.24	4.89	4.89	91	-131	140	0.00
35	宮古大橋(下り)		2次元	4.24	4.89	4.24	4.89	4.89	91	-131	140	0.00
36	宮古大橋(下り)		2次元	4.24	4.89	4.24	4.89	4.89	91	-131	140	0.00
37	宮古橋(車道)		2次元	3.89	4.89	3.89	4.89	4.89	81	-141	120	0.00
38	宮古橋(歩道)		2次元	3.89	4.89	3.84	4.89	4.89	81	-141	120	0.00
39	向渡橋	流出	2次元	3.72	8.60	3.57	8.60	5.60	126	-136	170	3.00
40	跡吉一の橋	流出	2次元	2.12	10.44	2.12	10.44	9.94	29	91	120	0.50
41	千鷲一の橋	流出	2次元	3.05	9.49	1.96	9.43	7.63	133	-73	60	1.80
42	千鷲二の橋	流出	2次元	1.41	10.50	1.41	10.38	2.78	83	-23	60	7.60
43	宝来橋		2次元	3.28	6.63	3.28	6.63	6.63	89	-69	20	0.00
44	宝来橋側道橋(下)	流出	2次元	3.28	6.63	3.28	6.63	6.63	89	-69	20	0.00
45	寶来橋歩道橋	流出	2次元	3.84	6.29	3.84	6.29	6.09	96	-66	30	0.20
46	桃山橋		2次元	2.62	6.09	2.37	6.09	4.89	79	-69	10	1.20
47	織笠大橋		2次元	2.34	7.10	2.34	7.10	7.10	69	-109	140	0.00
48	織笠大橋		2次元	2.34	7.10	2.34	7.10	7.10	69	-109	140	0.00
49	不明	流出	2次元	2.73	6.56	2.73	6.56	6.46	94	-114	160	0.10
50	不明	流出	2次元	2.73	6.56	2.73	6.56	6.46	94	-114	160	0.10
51	不明	流出	2次元	1.60	5.14	1.60	5.14	4.64	116	-116	180	0.50
52	浪板橋		2次元	4.25	9.42	0.70	9.42	8.32	115	-115	180	1.10
53	浪板橋側歩道橋(上)	流出	2次元	4.25	9.42	0.70	9.42	8.32	115	-115	180	1.10
54	浪板橋側歩道橋(下)	流出	2次元	4.25	9.42	0.70	9.42	8.32	115	-115	180	1.10
55	浪板橋		2次元	80.33	9.09	3.17	9.09	3.74	123	-83	40	5.35
56	不明		2次元	23.36	9.24	2.60	9.24	3.74	142	-152	170	5.50
57	浪板新橋		2次元	1.18	9.56	0.94	9.56	1.56	128	-138	170	8.00
58	吉里吉里港橋		2次元	2.46	9.61	1.49	9.00	5.40	119	-159	140	3.60
59	大槌大橋		2次元	8.58	12.16	5.65	8.86	6.01	78	-18	60	0.85
60	安渡跨道橋		2次元	4.32	13.67	3.43	8.55	7.55	87	-17	70	1.00
61	安渡橋	流出	2次元	7.57	10.27	4.44	5.96	5.46	101	-31	70	0.50
62	大槌橋(車道)		2次元	4.25	8.97	3.57	8.97	7.87	124	-114	10	1.10
63	大槌橋(歩道)		2次元	4.25	8.97	3.48	8.97	7.87	110	-100	10	1.10
64	大石橋		2次元	2.91	9.06	2.62	9.06	7.76	112	-62	50	1.30
65	大石橋		2次元	2.91	9.06	2.62	9.06	7.76	112	-62	50	1.30
66	小槌橋		2次元	2.14	12.95	1.37	8.62	7.82	98	-108	170	0.80
67	古廟橋		2次元	2.26	7.75	2.26	7.75	6.35	121	-61	60	1.40
68	古廟橋側道橋	流出	2次元	2.26	7.75	2.26	7.75	6.35	121	-61	60	1.40
69	鵜片1号橋		2次元	9.62	11.79	4.03	8.12	7.72	108	-88	20	0.40
70	鵜片橋		2次元	2.17	11.44	1.10	8.30	8.10	152	-132	20	0.20
71	大浜渡橋		2次元	2.39	12.06	1.11	7.54	6.74	140	-100	40	0.80
72	大浜渡橋		2次元	2.39	12.06	1.11	7.54	6.74	140	-100	40	0.80
73	成ヶ沢橋		2次元	3.51	11.87	2.54	8.28	6.38	124	-144	-20	1.90
74	鍮坂橋車道		2次元	3.06	13.75	2.10	8.88	8.38	87	-152	115	0.50
75	鍮坂橋歩道		2次元	3.06	13.75	2.10	8.88	8.38	87	-152	115	0.50
76	鳥谷坂橋		2次元	6.14	9.70	6.14	9.70	8.90	97	-77	20	0.80
77	おおばたけ橋		2次元	6.47	8.94	6.47	8.94	8.20	102	-102	180	0.74
78	矢の浦橋		2次元	4.18	7.78	4.18	7.78	7.78	94	-84	10	0.00

表 4.10(2) 津波伝播遡上解析結果

橋梁 No.	橋梁名	被害状況	解析手法	最大値		押波1波目の最大値					架橋角度(°)	静水面または地表面の高さ(m)
				流速(m/s)	浸水高(m)	流速(m/s)	浸水高(m)	浸水深(m)	流入角度(°)	津波角度(°)		
79	大渡橋		2次元	1.72	6.07	1.72	6.07	5.07	130	-50	80	1.00
80	片岸橋		2次元	7.66	10.92	2.88	8.29	7.99	83	-23	60	0.30
81	片岸大橋		2次元	10.51	10.66	3.70	10.66	10.36	101	-41	60	0.30
82	熊野川橋		2次元	5.11	13.26	0.87	10.54	8.24	93	-73	20	2.30
83	荒川橋		2次元	5.86	12.76	2.40	10.77	5.57	104	-74	30	5.20
84	荒川橋		2次元	9.52	13.42	2.15	13.42	8.22	105	-65	40	5.20
85	不明	流出	2次元	8.91	12.90	2.14	12.90	12.90	43	17	60	0.00
86	不明		2次元	8.91	12.90	2.14	12.90	12.90	43	17	60	0.00
87	不明		2次元	5.11	12.18	4.26	12.18	11.98	99	-19	80	0.20
88	平田橋		2次元	2.22	11.73	1.54	11.73	8.73	160	-30	130	3.00
89	川口橋		2次元	8.04	13.07	8.04	13.07	12.07	93	-43	50	1.00
90	沼田二線橋	流出	2次元	4.35	7.54	4.21	6.87	6.27	118	-38	80	0.60
91	渚橋		2次元	5.82	13.87	5.82	13.87	13.87	113	-13	100	0.00
92	浜田川橋		2次元	3.51	14.10	3.51	14.10	13.02	111	-11	100	1.09
93	浜田橋		2次元	2.99	14.69	2.91	14.69	13.99	122	-2	120	0.70
94	最上堂橋		2次元	1.54	14.76	1.54	14.76	14.76	141	39	180	0.00
95	しおさい橋		2次元	2.61	13.40	2.61	13.40	13.40	152	-12	140	0.00
96	松原大橋		2次元	4.88	10.49	4.88	8.95	8.95	145	-5	140	0.00
97	古川橋		2次元	0.71	10.41	0.68	10.18	10.08	81	-11	70	0.10
98	川原川橋		2次元	5.58	11.15	4.95	10.93	10.93	108	-28	80	0.00
99	高田跨線橋		2次元	3.74	11.46	3.74	11.46	9.76	91	-41	50	1.70
100	奈々切跨線橋		2次元	8.94	12.62	4.52	12.32	10.42	46	-26	20	1.90
101	気仙大橋	流出	2次元	23.77	13.02	4.53	13.02	13.02	65	-15	50	0.00
102	気仙大橋	流出	2次元	23.77	13.02	4.53	13.02	13.02	65	-15	50	0.00
103	姉齒橋	流出	2次元	7.63	11.38	7.63	11.38	10.88	93	-23	70	0.50
104	姉齒橋歩道橋	流出	2次元	7.63	11.38	7.63	11.38	10.88	93	-23	70	0.50
105	浪板橋		2次元	2.40	7.56	2.17	7.56	7.56	137	-47	90	0.00
106	曙橋		2次元	5.21	7.23	2.73	7.23	7.23	74	-24	50	0.00
107	南小歩道橋	流出	2次元	3.04	5.51	1.07	4.37	3.87	106	-56	50	0.50
108	神山川橋		2次元	4.63	5.08	4.09	5.08	4.28	72	-102	150	0.80
109	小泉大橋	流出	2次元	6.98	11.73	6.98	11.73	11.23	99	-69	30	0.50
110	不明	流出	2次元	5.02	11.63	5.02	11.60	10.20	89	-59	30	1.40
111	外尾川橋		2次元	6.78	11.86	6.78	11.86	11.16	79	-89	170	0.70
112	外尾川橋側道橋(上)	流出	2次元	6.78	11.86	6.78	11.86	11.16	79	-89	170	0.70
113	外尾川橋側道橋(下)		2次元	6.78	11.86	6.78	11.86	11.16	79	-89	170	0.70
114	二十一浜橋		2次元	5.12	13.91	3.75	13.91	13.21	91	-161	110	0.70
115	二十一浜橋側道橋(上)		2次元	5.12	13.91	3.75	13.91	13.21	91	-161	110	0.70
116	二十一浜橋側道橋(下)	流出	2次元	5.12	13.91	3.75	13.91	13.21	91	-161	110	0.70
117	不明	流出	2次元	5.78	13.91	4.29	13.91	13.71	72	-162	90	0.20
118	歌津大橋	流出	2次元	2.54	13.89	2.54	13.89	11.69	107	-37	70	2.20
119	歌津大橋	流出	2次元	2.54	13.89	2.54	13.89	11.69	107	-37	70	2.20
120	歌津大橋	流出	2次元	2.54	13.89	2.54	13.89	11.69	107	-37	70	2.20
121	ウタちゃんばし(汐見橋)		2次元	5.37	13.87	3.00	13.87	13.17	102	-112	170	0.70
122	寄木橋		2次元	3.11	13.72	3.11	13.72	13.32	97	-127	150	0.40
123	伊里前橋		2次元	5.06	12.88	5.06	12.88	12.48	111	-111	180	0.40
124	不明		2次元	9.65	15.25	9.65	15.25	15.25	91	-1	90	0.00
125	汐見橋		2次元	7.31	15.41	7.31	15.41	15.41	92	-22	70	0.00
126	中橋	流出	2次元	6.97	15.44	6.97	15.44	15.44	97	-27	70	0.00
127	八幡橋		2次元	7.10	15.33	7.10	15.33	15.33	85	-15	70	0.00
128	水尻橋(上)	流出	2次元	5.33	15.23	5.33	15.23	14.43	50	-40	10	0.80
129	水尻橋(下)		2次元	5.33	15.23	5.33	15.23	14.43	50	-40	10	0.80
130	不明	流出	2次元	4.91	17.62	4.91	17.62	17.12	119	-99	20	0.50
131	折立橋	流出	2次元	6.09	16.69	6.09	16.69	16.69	60	-80	160	0.00
132	西戸橋	流出	2次元	10.75	16.85	6.84	16.85	13.55	119	-109	10	3.30
133	不明	流出	2次元	4.08	17.00	4.08	17.00	11.10	112	-102	10	5.90
134	横津橋	流出	2次元	7.51	15.06	7.51	15.00	15.00	92	-132	140	0.00
135	横津橋歩道橋	流出	2次元	7.51	15.06	7.51	15.00	15.00	92	-132	140	0.00
136	大倉橋	流出	2次元	1.45	16.08	0.55	9.47	9.37	14	-144	50	0.10
137	門前沢橋		2次元	34.52	16.45	1.45	16.45	16.05	166	-116	50	0.40
138	揚屋橋	流出	2次元	4.47	16.77	4.47	16.71	16.51	65	-125	120	0.20
139	竹下橋	流出	2次元	4.02	17.01	4.02	17.01	16.11	75	-125	130	0.90
140	上沢橋	流出	2次元	4.28	17.64	4.28	17.64	15.24	70	-130	120	2.40
141	最上橋		2次元	4.55	18.07	4.55	18.07	14.83	89	-119	150	3.24
142	上山橋		2次元	2.31	16.59	2.31	16.25	10.65	52	-172	60	5.60
143	新相川橋	流出	1次元	7.43	11.63	6.15	11.63	11.63	90	-	90	0.00
144	相川橋		1次元	5.43	11.85	5.43	11.85	10.85	40	-	40	1.00
145	相川一号橋		1次元	2.58	12.85	2.58	12.85	12.25	160	-	160	0.60
146	不明		1次元	4.56	13.39	4.56	13.39	10.39	40	-	40	3.00
147	新北上川大橋	流出	1次元	2.99	3.55	2.21	3.55	3.35	90	-	90	0.20
148	尾の崎橋		1次元	6.45	3.07	1.71	3.07	3.07	90	-	90	0.00
149	船戸2号橋		1次元	6.34	11.25	5.17	8.57	8.57	90	-	90	0.00
150	みなと橋		1次元	5.22	10.05	5.22	10.05	9.65	130	-	130	0.40
151	女川橋	流出	1次元	6.95	10.76	6.95	10.12	9.72	80	-	80	0.40
152	東伊勢橋		1次元	7.47	10.95	7.47	10.26	9.76	90	-	90	0.50
153	不明		1次元	7.33	11.03	7.33	10.32	9.72	90	-	90	0.60
154	不明		1次元	4.66	11.13	4.66	10.40	9.70	40	-	40	0.70
155	不明		1次元	2.67	11.20	2.67	10.44	9.74	160	-	160	0.70
156	第二渡橋	流出	1次元	6.22	7.12	1.43	7.12	6.52	140	-	140	0.60

表 4.10(3) 津波伝播遡上解析結果

橋梁 No.	橋梁名	被害状況	解析手法	最大値		押波1波目の最大値					架橋角度(°)	静水面または地表面の高さ(m)
				流速(m/s)	浸水高(m)	流速(m/s)	浸水高(m)	浸水深(m)	流入角度(°)	津波角度(°)		
157	万石橋		1次元	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	90	-	90	0.30
158	東内海橋	流出	1次元	3.40	1.69	2.98	1.69	0.99	90	-	90	0.70
159	定川大橋	流出	1次元	1.73	2.38	1.65	2.38	2.38	60	-	60	0.00
160	松ヶ島橋		1次元	2.37	3.15	1.41	3.15	3.15	50	-	50	0.00
161	福浦橋		1次元	0.11	0.24	0.11	0.24	0.24	5	-	5	0.00
162	橋本橋		1次元	7.15	4.04	4.23	4.04	3.94	110	-	110	0.10
163	不明	流出	1次元	0.21	3.10	0.21	3.10	3.10	5	-	5	0.00
164	盆谷地砂山線1号橋	流出	1次元	0.66	2.24	0.66	2.24	2.24	40	-	40	0.00
165	二郷橋	流出	1次元	6.21	5.92	5.10	5.92	5.92	90	-	90	0.00
166	開運橋	流出	1次元	0.56	3.96	0.56	3.96	3.96	5	-	5	0.00
167	宮下橋		1次元	0.56	3.96	0.56	3.96	3.96	5	-	5	0.00
168	不明	流出	1次元	4.28	3.66	4.28	3.66	3.66	90	-	90	0.00
169	マリンレインボーブリッジ		1次元	0.82	5.60	0.38	5.60	5.60	5	-	5	0.00
170	坂元川水門管理橋	流出	1次元	7.92	8.44	3.18	8.44	8.44	90	-	90	0.00
171	高浦橋		1次元	5.88	7.23	5.41	7.23	5.73	90	-	90	1.50
172	小塚橋	流出	2次元	7.93	7.14	7.93	7.14	6.64	97	-97	180	0.50
173	埴川橋		2次元	29.33	4.44	8.09	4.38	3.58	86	-86	180	0.80
174	南向橋		2次元	29.33	4.44	8.09	4.38	3.58	86	-86	180	0.80
175	曙橋	流出	2次元	5.88	7.84	5.88	7.84	7.04	109	-109	180	0.80
176	不明	流出	2次元	3.67	5.12	1.72	5.12	4.32	49	-129	100	0.80
177	釣師港橋	流出	2次元	2.86	5.11	2.05	5.11	4.61	148	-98	50	0.50
178	不明	流出	2次元	2.86	5.11	2.05	5.11	4.61	148	-98	50	0.50
179	釣師橋	流出	2次元	10.61	5.60	6.32	5.60	4.90	107	-127	160	0.70
180	不明	流出	2次元	6.17	6.78	6.17	6.78	6.08	75	-75	180	0.70
181	浜田橋		2次元	4.92	7.68	4.92	7.68	7.38	101	-101	180	0.30
182	不明	流出	1次元	3.14	7.62	3.14	7.62	7.22	90	-	90	0.40
183	松川浦大橋(取付高架)		1次元	4.01	6.36	4.01	6.36	5.86	90	-	90	0.50
184	上立切橋	流出	1次元	6.00	8.40	6.00	8.40	8.40	90	-	90	0.00
185	北泉橋	流出	1次元	7.83	12.10	4.67	12.10	9.10	90	-	90	3.00
186	常盤橋	流出	1次元	5.82	12.67	4.96	12.67	11.67	90	-	90	1.00
187	不明	流出	1次元	6.00	8.40	6.00	8.40	7.40	90	-	90	1.00
188	ハツカラ橋	流出	1次元	5.92	10.77	5.24	10.77	9.77	90	-	90	1.00
189	請戸橋(新橋)		1次元	6.00	8.40	6.00	8.40	8.40	90	-	90	0.00
190	請戸橋(旧橋【撤去中】)	流出	1次元	6.00	8.40	6.00	8.40	8.40	90	-	90	0.00
191	不明	流出	1次元	6.00	8.40	6.00	8.40	7.40	90	-	90	1.00
192	(仮)紅葉川橋		1次元	5.74	9.89	5.74	9.89	8.89	120	-	120	1.00
193	不明	流出	1次元	6.63	9.89	6.36	9.89	8.89	90	-	90	1.00
194	本釜橋	流出	1次元	3.53	9.21	2.84	9.21	9.21	90	-	90	0.00
195	北釜橋	流出	1次元	6.56	6.59	3.22	6.59	6.19	100	-	100	0.40
196	不明	流出	1次元	6.82	6.59	1.90	6.59	5.59	90	-	90	1.00
197	陰磯橋		1次元	7.21	4.87	3.42	4.87	4.47	90	-	90	0.40
198	不明(車道)	流出	1次元	5.34	4.89	2.36	4.89	3.89	90	-	90	1.00
199	不明(歩道部(北))		1次元	5.34	4.89	2.36	4.89	3.89	90	-	90	1.00
200	不明(歩道部(南))	流出	1次元	5.34	4.89	2.36	4.89	3.89	90	-	90	1.00

図 4.13～図 4.16 に津波伝播遡上解析による浸水高(T.P.)、流速及び津波の流入角の時系列変化の代表例を示す。時系列変化の図について、浸水高は、浸水高の時系列変化に加え、当該対象橋梁の桁下高及び最大浸水高を示す。流速は、架橋位置の時系列変化に加えて、対象橋梁の橋軸直角成分に補正した流速(図 3.2 と同様に補正)の時系列変化及び補正後の最大流速を示す。なお、補正後の流速は、対象橋梁に対して、プラスが押波(下流側から上流側の方向)、マイナスが引き波(上流側から下流側の方向)である。また、平面 2 次元解析結果については、津波の架橋位置において図 4.13 に定義した津波角度の時系列変化を示す。

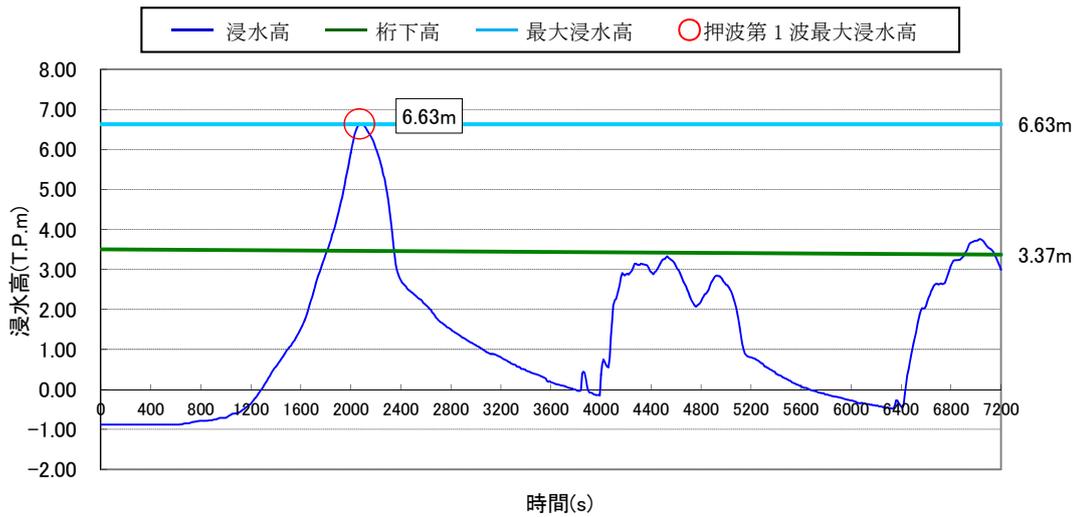
津波の浸水高、流速、津波の流入角の時系列変化の図より、架橋位置の津波の特性が時々刻々と変化していることがわかる。浸水高が桁下高さ以上となった場合に、橋桁は浸水し、流水圧等の力を受けることになる。そこで、第 4 章における津波の特性と被災状況との相関整理においては、押し波において橋桁が浸水した時刻における 1 波（浸水高の時刻歴変化における山）の橋桁が浸水した時刻以降の最大浸水高及び最大流速を、当該架橋地点の津波の浸水高及び流速の代表値とした。これは、津波の遡上計算においては地形や堤防や護岸等の海岸保全施設、河川堤防等は地形データや施設データとして、住宅地等は粗度係数として考慮されているものの当該橋梁は考慮されていないことから、橋桁の浸水が橋梁架橋位置の津波の浸水高や流速等に与える影響が不明であることも踏まえたためである。

平面 2 次元解析結果の代表例として、No.44 の橋梁における時系列変化を図 4.13、断面 1 次元解析の代表例として、No.183 の橋梁における時系列変化を図 4.14 に示す。図 4.13 より、No.44 の架橋地点においては、第 1 波目で最大浸水高に到達しており、最大浸水高時の流速を見ると押し波となっている。図 4.14 に示す No.183 の架橋地点でも No.44 と同様に、押し波の第 1 波目が最大浸水高となる波であった。このように、解析手法に関係なく、その他ほとんどの架橋地点において、採用した第 1 波目の押し波の最大浸水高は、架橋地点の最大浸水高と一致した。

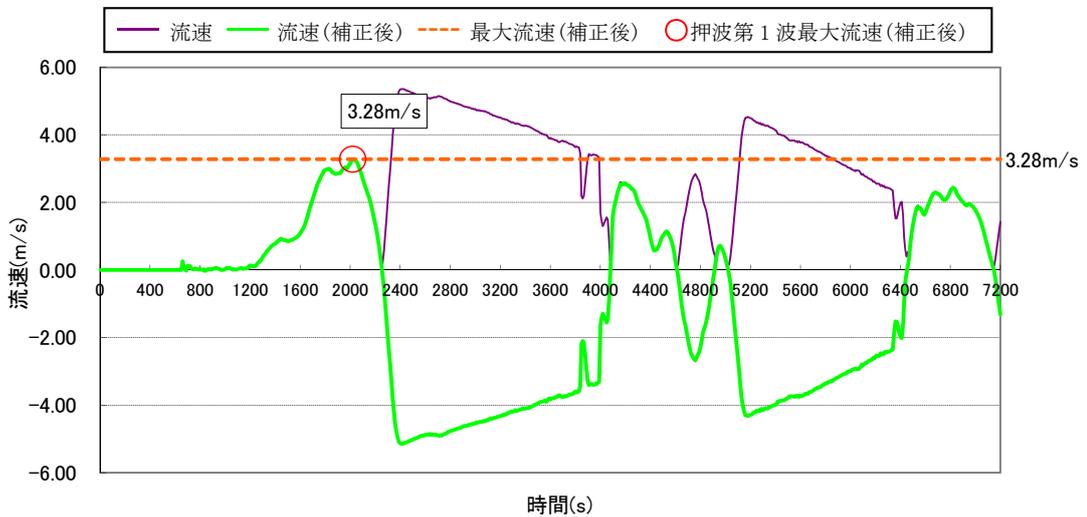
一方で、例えば No.183 の時系列変化を示す図 4.15 を見ると、浸水高及び流速を採用した第 1 波以降で最大浸水高に到達する波が存在するものもあるが、採用した浸水高及び流速と大きく異なることは確認している。なお、このような時系列変化を示したのは、対象橋 200 橋のうち 30 橋程度であった。

なお、図 4.16 (No.91 の時刻歴変化) に示すように、地震発生時時刻である 0s の時点から上部構造が浸水している結果となるなど矛盾のある橋梁もあった。これは、津波伝播遡上解析において、架橋位置の河床高を平面 2 次元解析では 10m メッシュの標高データから求めているため、図 4.16 に示す橋梁のように橋長が 10m 程度以下であるなど、橋長が短い(河川幅が狭い)場合、河床高の誤差が大きくなることが原因で、常に浸水している結果となってしまいうことに原因がある。

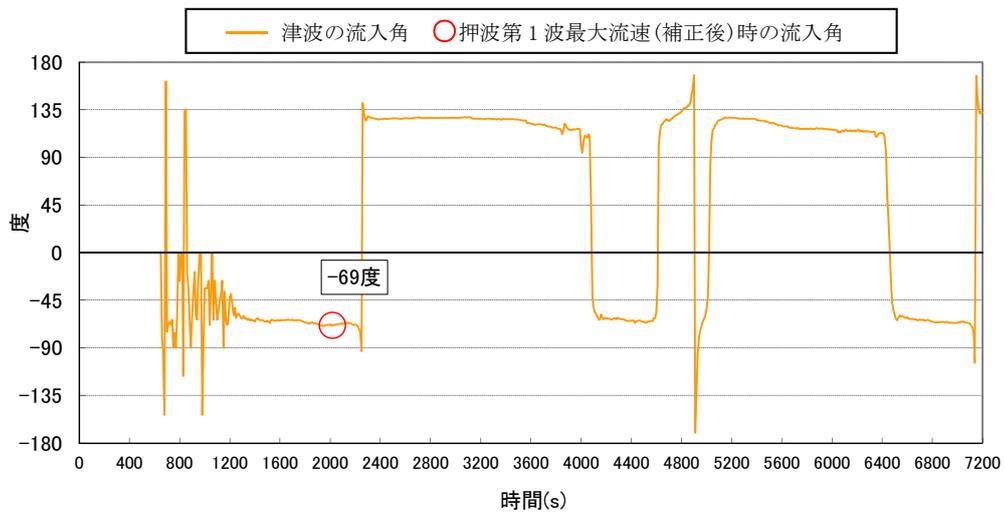
本研究の対象全橋梁の津波特性の時系列変化は、参考資料 1 に示す。



(1) 浸水高の時系列変化

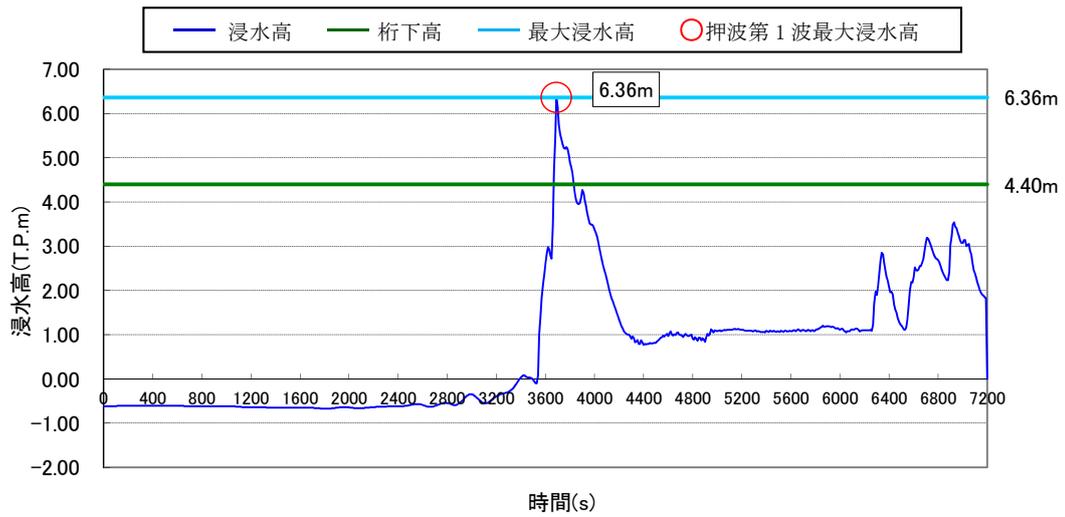


(2) 流速の時系列変化

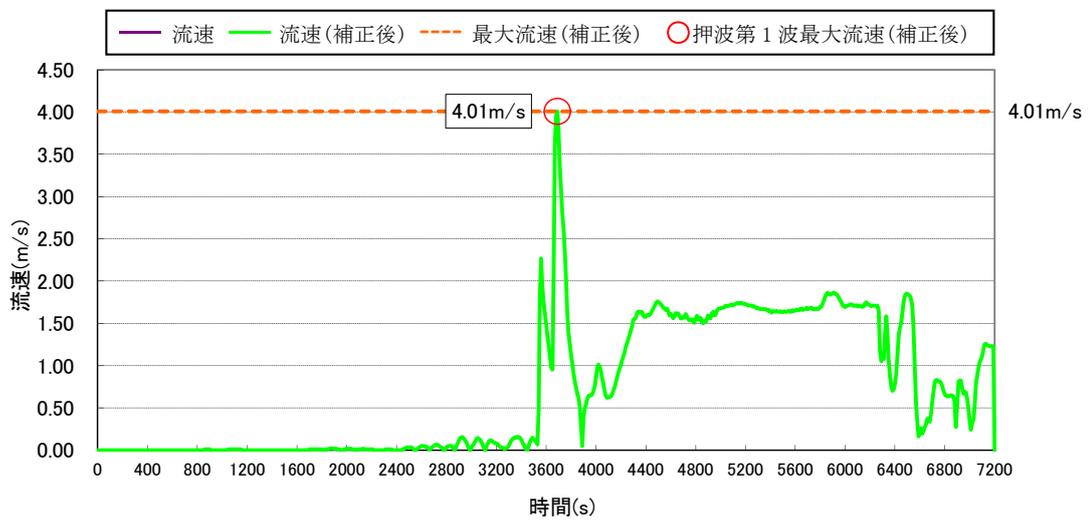


(3) 津波流入角の時系列変化

図 4.13 津波特性の時系列変化の例 (No. 44: 平面 2 次元解析)

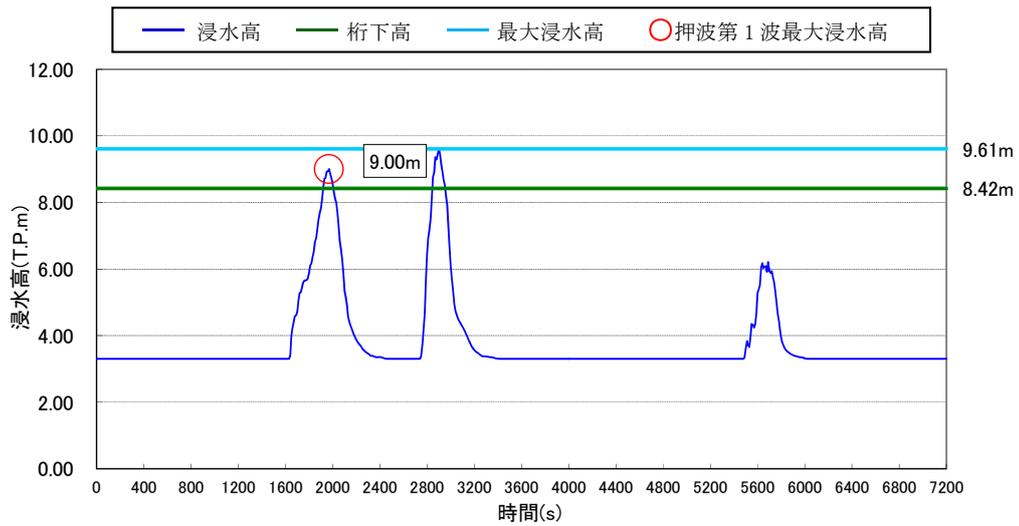


(1) 浸水高の時系列変化

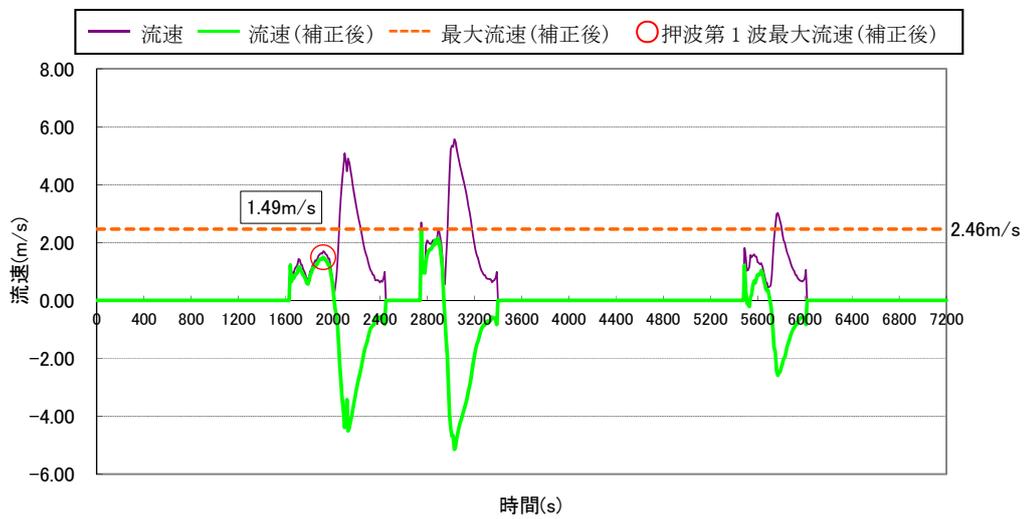


(2) 流速の時系列変化

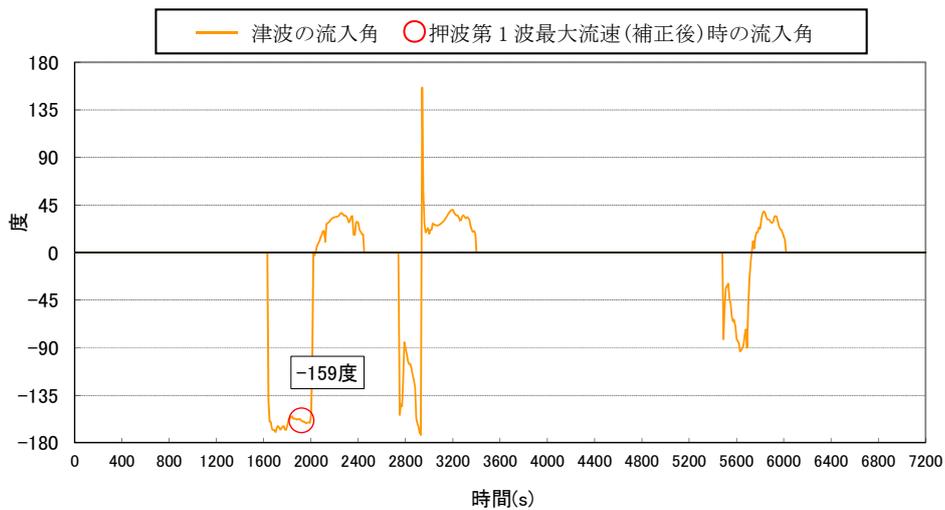
図 4.14 津波特性の時系列変化の例 (No. 183: 断面 1 次元解析)



(1) 浸水高の時系列変化

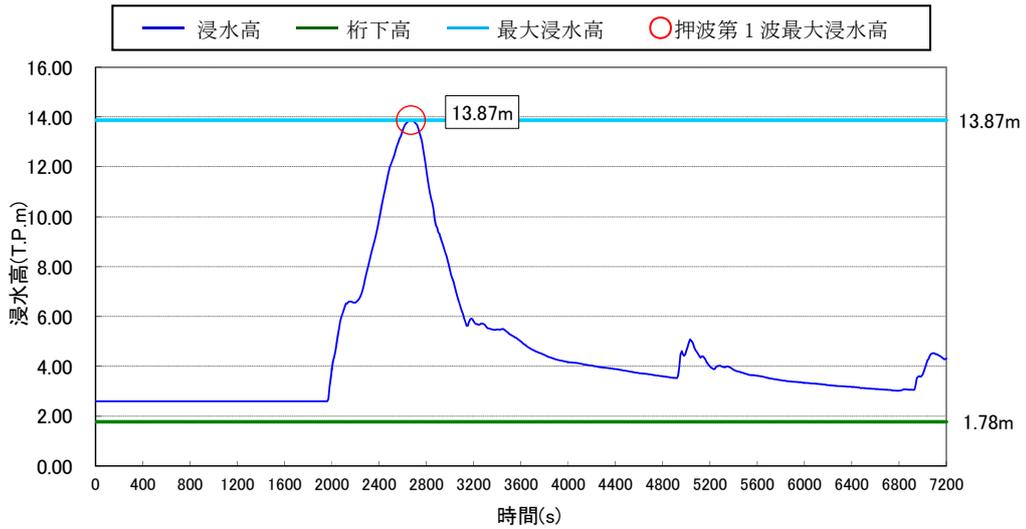


(2) 流速の時系列変化

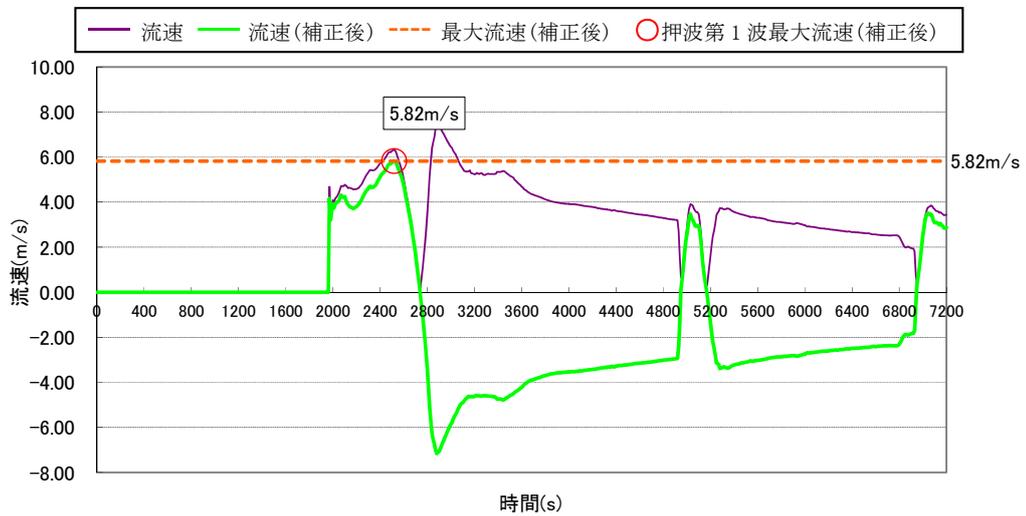


(3) 津波流入角の時系列変化

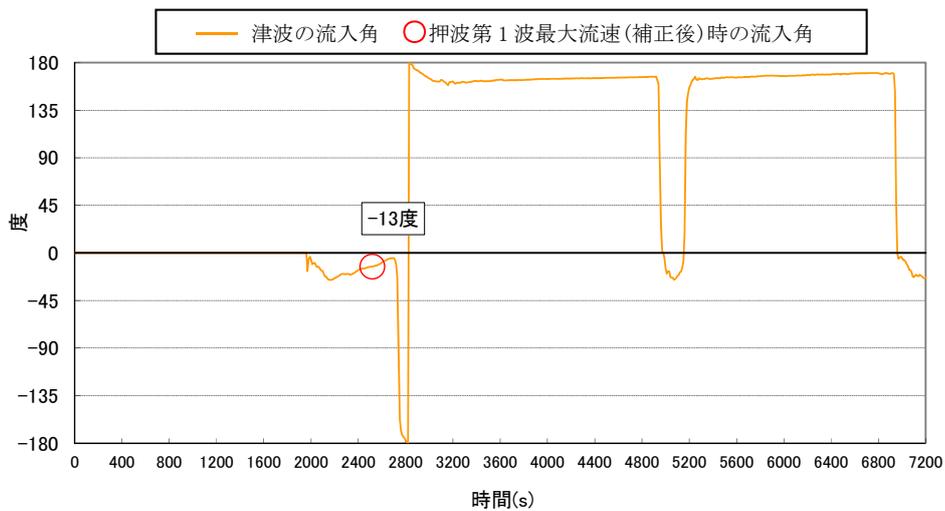
図 4.15 津波特性の時系列変化の例 (No. 58: 平面 2 次元解析)



(1) 浸水高の時系列変化



(2) 流速の時系列変化



(3) 津波流入角の時系列変化

図 4.16 津波特性の時系列変化の例 (No. 91: 平面 2 次元解析)

4.3 解析結果の妥当性

4.3.1 浸水高の検証

架橋位置における浸水高の津波伝播解析による解析値と現地実測調査による痕跡からの推定値の比較結果を図 4.17 に示す。ここで、浸水高は、標高 0m(T.P. : 東京湾平均海面)から架橋位置における津波水位までの高さであり、解析により得られた最大値を示す。実測データは、国土浸地理院 10 万分 1 水概況図^{2.1)}、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループにより公表されている痕跡調査結果^{4.9)}を用いた。なお、浸水高の実測値が 0m になっている橋梁は、実測データがなく確認できなかった浸水高である。

図 4.17 より、対象橋梁の架橋位置における解析値と現地実測調査の推定値は概ね整合しており、津波伝播遡上解析により、架橋地点の浸水状況は再現できていると思われる。

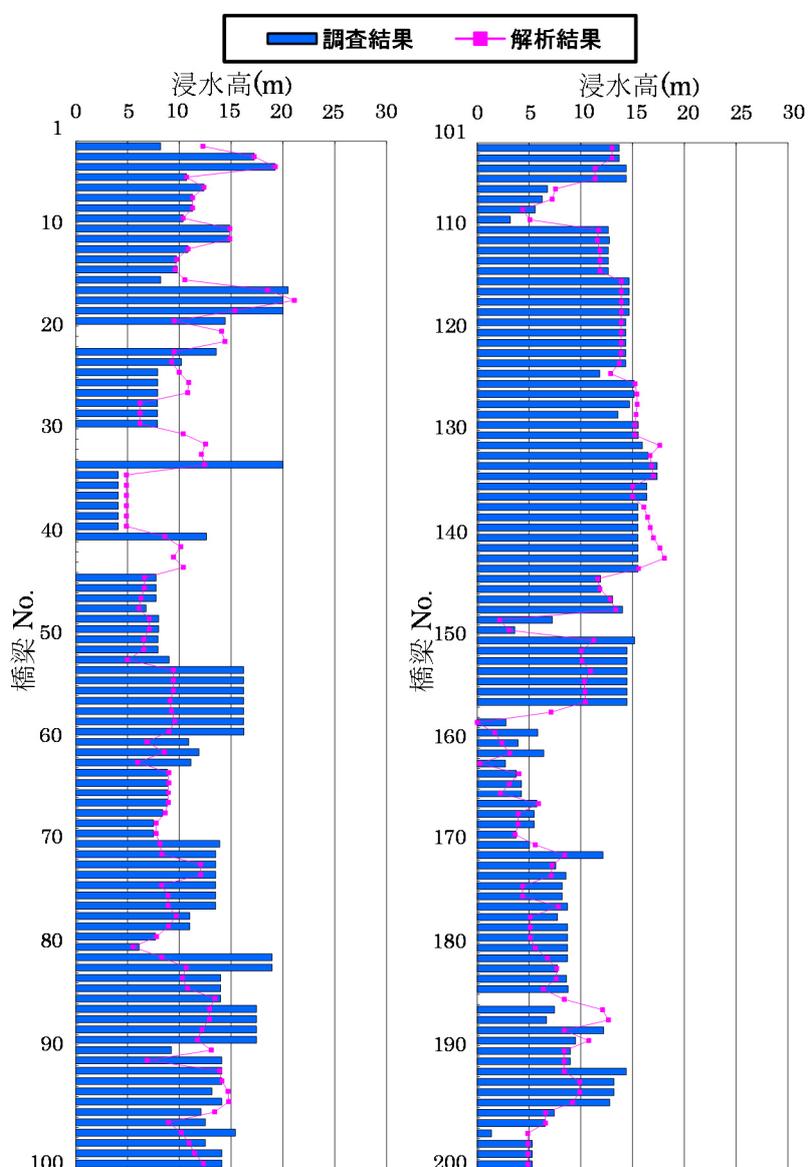


図 4.17 浸水高の検証(解析値と実測値の比較)

4.3.2 浸水範囲の検証

津波伝播遡上解析による浸水範囲の妥当性確認を行った。検証の一例として、図 4.18 に A-15 地区の解析より得られた浸水範囲(流速ベクトル)に加えて、国土地理院 10 万分 1 浸水概況図^{2.1)}に示されている浸水範囲(黒線)と重ねて図示している。また、図 4.18 には、対象橋梁の架橋位置に○印と橋梁 No.をプロットしている。

図 4.18 より、解析結果の浸水範囲と国土地理院 10 万分 1 浸水概況図で示される浸水範囲は概ね一致していることが確認できた。

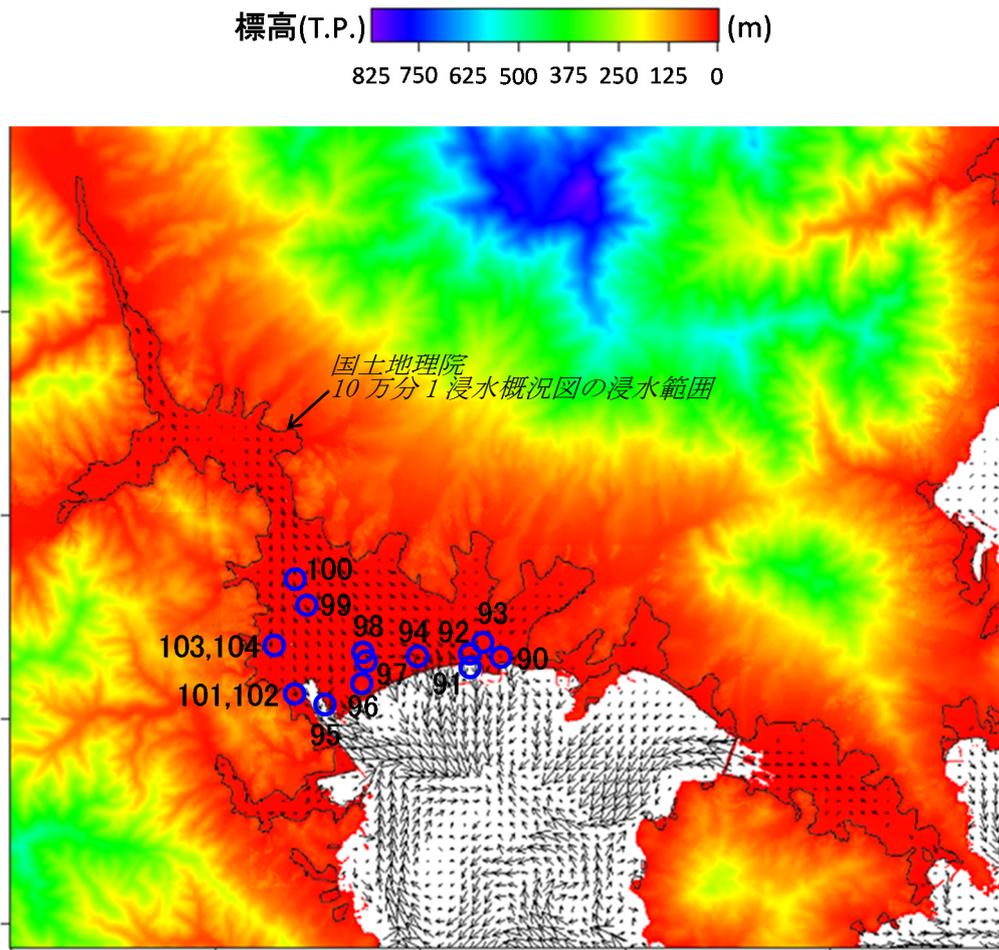


図 4.18 浸水範囲の検証例(A-15 地区)

4.4 まとめ

津波伝播遡上解析を実施し、対象橋梁の架橋位置における浸水高及び流速を算定した。

その結果、以下のことを確認した。

- ・架橋位置における現地実測調査の推定値に近い浸水高が再現できる。
- ・本研究の対象橋梁のほとんどの架橋位置では、架橋位置に最初に到達する1波目押波の浸水高が最大となる。
- ・橋長の短い橋梁では、架橋地点における地形データの誤差が大きくなり、地震発生時から上部構造が浸水している場合があり、架橋位置の高さの精度等の影響により、津波の伝播及び河川遡上の再現には、本研究で用いた解析手法には限界がある。