

6 津波の計算手法

津波の計算手法

1. データ作成

1-1. 地形データの作成

1-1-1. 作成に使用したデータ、図面等

以下のデータ、図面を使用した

- ・ETOPO 2 (2分メッシュ全地球地形データ) 米国地球物理データセンター
- ・日本近海 1000m メッシュ海底地形デジタルデータ、(財)日本水路協会、2範囲(南西日本・南西諸島)
- ・沿岸の海の基本図デジタル、(財)日本水路協会、97範囲
- ・沿岸の海の基本図、(財)日本水路協会、15範囲
- ・沿岸海域土地条件図、国土地理院、4範囲(四日市、半田、津東部、師崎)
- ・海図、海上保安庁、204範囲
- ・電子海図、海上保安庁、E3011～E3018・E3021
- ・湖沼図、国土地理院、浜名湖
- ・数値地図 25000(行政界・海岸線) 国土地理院
- ・数値地図 50mメッシュ(標高) 国土地理院、
- ・数値地図 250mメッシュ(標高) 国土地理院
- ・河川横断測量結果、国土交通省、一級河川(52河川)

1-1-2. メッシュデータの作成

上記データから TIN (Triangulated Irregular Network; 三角形不規則網) を作成し、線形補間により各メッシュに対してメッシュ中心の標高/水深を与える。

1-2. 粗度データの作成

計算に使用する全メッシュに対してマニングの粗度係数を与える。マニングの粗度係数は表面の粗さの程度をあらわす係数であり、プログラム中では運動方程式中の摩擦項に取り入れられて、遡上に対する抵抗力を決める。粗度係数が大きくなるほど、遡上に対する抵抗力が大きくなり、津波は遡上しにくくなる。

粗度係数の値としてはいくつかの研究例がある。本調査では、小谷(1998)¹を参考に、土地利用条件に従って粗度係数を設定する。

¹ 小谷美佐(1998): 東北大学大学院工学研究科修士論文。

1-2-2. 作成に使用したデータ、図面等

以下のデータを使用した。

- ・ 国土数値情報（土地利用），国土交通省
- ・ 細密数値情報(10m メッシュ土地利用) 首都圏 1994 年版，国土地理院
- ・ 細密数値情報(10m メッシュ土地利用) 中部圏 1997 年版，国土地理院
- ・ 細密数値情報(10m メッシュ土地利用) 近畿圏 1996 年版，国土地理院

1-2-3. メッシュデータの作成

上記データの土地利用条件から，以下の表に従って各メッシュに粗度係数を与える。

表 5-1-2. マニングの粗度係数の設定値

データ名	国土数値情報 (土地利用)	細密数値情報
縮尺	100m メッシュ	10m メッシュ
住宅地	建物用地	一般低層住宅地 密集低層住宅地 中高層住宅地 商業・業務用地
粗度係数		80～100%：0.080 40～80%：0.060 10～40%：0.040 (50m メッシュ内で)
工場地等		工業用地 その他の公共公益 施設用地
粗度係数	0.040	0.040
農地	田 その他農用地	田 畑・その他の農地
粗度係数	0.020	0.020
林地	森林	山林・荒地等
粗度係数	0.030	0.030
水域	河川地及び湖 沼 海浜 海水域	河川・湖沼等 海
粗度係数	0.025	0.025
その他（空地、緑地）	荒地 その他の用地 (空地等) 幹線交通用地 ゴルフ場	公園・緑地等 造成中地 道路用地 空地 その他
粗度係数	0.025	0.025

1-3. 堤防データの作成

計算プログラムにおいて、堤防は線形構造物として取り扱い、メッシュ間に配置される。計算される津波の高さが堤防の高さを越えた場合に、津波が越流するものとし、越流量は本間の越流公式から求める。

以下にデータの配置イメージを示す。

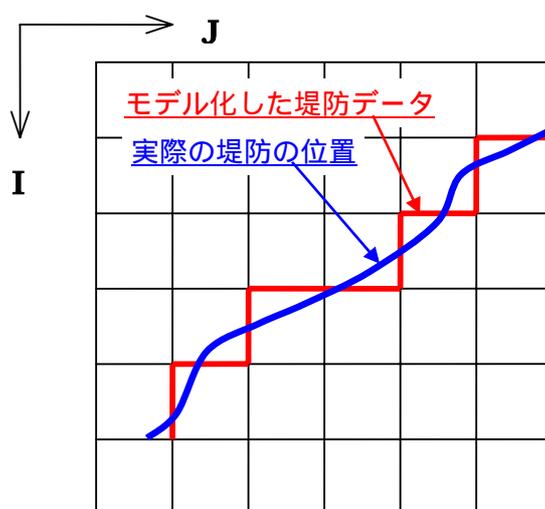


図 1-3-1. 堤防データ (平面イメージ)

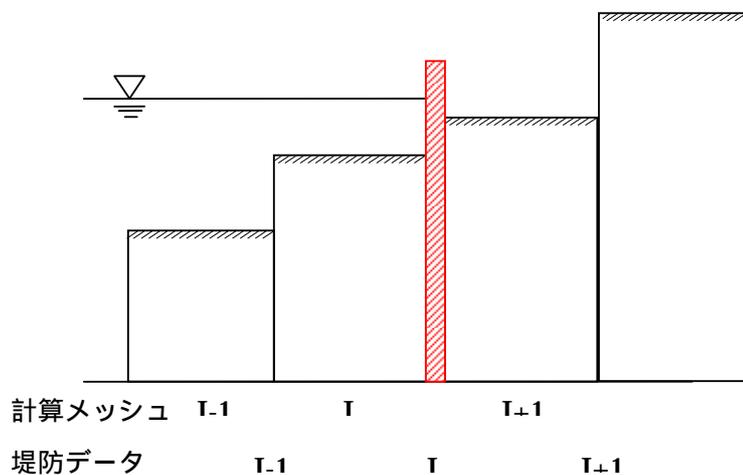


図 1-3-2. 堤防データ (断面イメージ)

1-3-1. 作成に使用したデータ、図面等

堤防の位置を国土交通省河川局海岸室所有の図面をもとに調べ、堤防の高さを各都府県提供の『海岸保全施設一覧表』より与えた。

1-3-2. メッシュデータの作成

データは以下の手順で作成する。

上記図面から、実際の堤防の位置をデジタイズする(ラインデータの作成)。

作成したラインデータをメッシュの4辺に投影して、堤防データとする。

作成したデータは、各都府県に照会し、現況に合わせて修正した。

2. 津波計算手法

2-1. 計算手法

試算は差分法により数値的に行う。計算プログラムは、東北大学工学部で開発されたプログラムを用いる。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)を差分して数値計算が行われる。

計算は、深い海域においては線形長波理論により、また、浅い海域においては海底での摩擦及び移流を考慮した非線形長波理論により計算を行う。非線形長波の運動方程式を下記に示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (1)$$

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

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

: 水位,

M, N : x, y 方向の線流量

: 海底鉛直変位分

D : 全水深 (= $h + \quad$)

n : マニングの粗度係数である。

初期水位は、想定震源域またはそれに矩形断層を加えたものについて、弾性体理論に基づき海底地殻変動(垂直変動量)を求める。海面初期変位は、上で求めた海底地殻変動と等しいとし、全地点で時間差なしに与えられるとする。

2-2. 計算条件の設定

各条件は以下のとおりとする。

- ・メッシュサイズ: 深海部では大きな(1,350m)メッシュ領域とし、沿岸部に近づくにつれてより小さな(450m、150m、50m)メッシュ領域を設定して計算する(空間接続)。遡上域は50mメッシュとする。
- ・積分時間: 外洋は地震発生から3時間まで、瀬戸内海は12時間とした。
- ・積分時間間隔: 計算が安定して行われるように各格子領域で時間格子間隔を選び、接続する(時間接続)。

- ・境界条件：沖合は自由透過，陸上は小谷ほか(1998)¹の遡上境界とする．
- ・初期潮位：潮位は，満潮位とする．満潮位の値は、「平成 14 年度気象庁潮位表」より、各地の推定潮位の年間最高値を調べ、その値を元に設定した。

2-3．計算範囲の設定

計算は、メッシュサイズが異なる複数の領域を入れ子状に組み合わせて、外洋部は最も粗いメッシュとし、陸域に近づくほど細かいメッシュとなるようにして行った。そのため複数のメッシュサイズがある。メッシュサイズの種類は、1350m、450m、150m、50m の 4 種類であり、各領域の数は以下のとおりである。

- 1350m メッシュ領域：2 領域
- 0450m メッシュ領域：10 領域
- 0150m メッシュ領域：32 領域
- 0050m メッシュ領域：77 領域

データの作成にあたっては、座標系には U T M 座標系（53 帯）を採用した。測地系は、旧日本測地系である。

各領域の UTM53 帯における位置、およびメッシュ数を表 2-3-1～表 2-3-4 に示す。各領域の位置は、領域の北西端の位置で示されている。また、図 2-3-1～図 2-3-4 に各領域の位置図を示す。

2-4．各計算範囲の設定満潮位

満潮位の値は「平成 14 年度気象庁潮位表」より、各地の推定潮位の年間最高値を調べ、その値を元に設定した。表 2-4-1 に、設定した満潮位を示す。

2-5．出力データ

アウトプットとして以下の項目を出力した。

- 最大津波高
- 最低津波高
- 津波到達時間
- 最大津波高到達時間
- 代表地点の時刻歴波形

¹ 小谷ほか(1998):GISを利用した津波遡上計算と被害推定法,海岸工学論文集,45,356-360.

表 2-3-1 津波数値計算の 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 (UTM53帯)		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	-405,000	4,150,000	1,300	1,100	1,755,000	1,485,000
1350-02	1,350	-135,000	4,015,000	900	550	1,215,000	742,500

表 2-3-2 津波数値計算の 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 (UTM53帯)		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)
0450-03	450	-162,000	3,259,000	420	540	189,000	243,000
0450-04	450	-54,000	3,488,500	450	540	202,500	243,000
0450-05	450	-27,000	3,650,500	570	510	256,500	229,500
0450-06	450	108,000	3,866,500	1,020	600	459,000	270,000
0450-07	450	526,500	3,907,000	630	510	283,500	229,500
0450-08	450	756,000	3,988,000	510	570	229,500	256,500
0450-09	450	918,000	4,123,000	330	600	148,500	270,000
0450-10	450	904,500	3,718,000	180	330	81,000	148,500
0450-11	450	1,174,500	3,110,500	180	390	81,000	175,500
0450-12	450	1,093,500	2,867,500	180	420	81,000	189,000

表 2-3-3 津波数値計算の 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 (UTM53帯)		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)
0150-06	150	-85,500	3,173,500	720	480	108,000	72,000
0150-07	150	-76,500	3,250,000	180	180	27,000	27,000
0150-08	150	-45,000	3,340,000	480	540	72,000	81,000
0150-09	150	4,500	3,430,000	930	600	139,500	90,000
0150-10	150	27,000	3,524,500	780	660	117,000	99,000
0150-11	150	112,500	3,556,000	510	660	76,500	99,000
0150-12	150	153,000	3,632,500	480	600	72,000	90,000
0150-13	150	-13,500	3,646,000	270	300	40,500	45,000
0150-14	150	166,500	3,713,500	840	630	126,000	94,500
0150-15	150	252,000	3,709,000	690	660	103,500	99,000
0150-16	150	324,000	3,727,000	780	420	117,000	63,000
0150-17	150	423,000	3,799,000	840	690	126,000	103,500
0150-18	150	535,500	3,772,000	600	570	90,000	85,500
0150-19	150	598,500	3,817,000	600	420	90,000	63,000
0150-20	150	625,500	3,898,000	660	630	99,000	94,500
0150-21	150	675,000	3,871,000	720	420	108,000	63,000
0150-22	150	769,500	3,916,000	780	690	117,000	103,500
0150-23	150	855,000	3,925,000	480	660	72,000	99,000
0150-24	150	909,000	3,974,500	450	750	67,500	112,500
0150-25	150	949,500	3,979,000	630	690	94,500	103,500
0150-26	150	981,000	4,037,500	480	570	72,000	85,500
0150-27	150	981,000	4,114,000	480	600	72,000	90,000
0150-28	150	868,500	3,835,000	450	600	67,500	90,000
0150-29	150	922,500	3,695,500	330	720	49,500	108,000
0150-30	150	1,188,000	3,092,500	330	990	49,500	148,500
0150-31	150	1,116,000	2,840,500	300	690	45,000	103,500
0150-40	150	162,000	3,790,000	870	750	130,500	112,500
0150-41	150	112,500	3,790,000	750	750	112,500	112,500
0150-42	150	211,500	3,821,500	810	690	121,500	103,500
0150-43	150	297,000	3,839,500	690	630	103,500	94,500
0150-44	150	382,500	3,862,000	840	600	126,000	90,000
0150-45	150	459,000	3,862,000	720	600	108,000	90,000

表 2-3-4(1) 津波数値計算の 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 (UTM53帯)		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)
0050-12	50	-79,500	3,137,500	840	630	42,000	31,500
0050-13	50	-79,500	3,157,000	630	420	31,500	21,000
0050-14	50	-48,000	3,170,500	750	660	37,500	33,000
0050-15	50	-3,000	3,151,000	420	360	21,000	18,000
0050-16	50	-69,000	3,242,500	240	240	12,000	12,000
0050-17	50	-34,500	3,301,000	630	720	31,500	36,000
0050-18	50	-4,500	3,335,500	450	630	22,500	31,500
0050-19	50	30,000	3,386,500	1,200	780	60,000	39,000
0050-20	50	94,500	3,421,000	720	1,230	36,000	61,500
0050-21	50	42,000	3,425,500	600	450	30,000	22,500
0050-22	50	9,000	3,427,000	300	300	15,000	15,000
0050-23	50	33,000	3,482,500	840	690	42,000	34,500
0050-24	50	69,000	3,523,000	780	1,200	39,000	60,000
0050-25	50	75,000	3,463,000	1,200	660	60,000	33,000
0050-26	50	114,000	3,494,500	720	630	36,000	31,500
0050-27	50	150,000	3,509,500	540	810	27,000	40,500
0050-28	50	150,000	3,550,000	600	810	30,000	40,500
0050-29	50	162,000	3,586,000	690	720	34,500	36,000
0050-30	50	174,000	3,626,500	870	810	43,500	40,500
0050-31	50	-3,000	3,644,500	570	750	28,500	37,500
0050-32	50	195,000	3,673,000	750	930	37,500	46,500
0050-33	50	168,000	3,707,500	1,020	690	51,000	34,500
0050-34	50	219,000	3,701,500	1,200	570	60,000	28,500
0050-35	50	240,000	3,683,500	780	630	39,000	31,500
0050-36	50	258,000	3,652,000	780	720	39,000	36,000
0050-37	50	297,000	3,659,500	690	870	34,500	43,500
0050-38	50	315,000	3,703,000	660	870	33,000	43,500
0050-39	50	345,000	3,722,500	990	720	49,500	36,000
0050-40	50	394,500	3,718,000	780	960	39,000	48,000
0050-41	50	426,000	3,739,000	1,020	720	51,000	36,000
0050-42	50	454,500	3,794,500	720	1,110	36,000	55,500
0050-43	50	490,500	3,796,000	690	1,080	34,500	54,000
0050-44	50	504,000	3,742,000	780	690	39,000	34,500
0050-45	50	543,000	3,727,000	1,080	660	54,000	33,000
0050-46	50	580,500	3,764,500	810	750	40,500	37,500
0050-47	50	603,000	3,800,500	930	720	46,500	36,000
0050-48	50	649,500	3,808,000	690	540	34,500	27,000
0050-49	50	630,000	3,848,500	1,200	810	60,000	40,500
0050-50	50	630,000	3,896,500	1,080	960	54,000	48,000
0050-51	50	673,500	3,883,000	960	960	48,000	48,000
0050-52	50	679,500	3,847,000	930	570	46,500	28,500
0050-53	50	726,000	3,857,500	1,020	600	51,000	30,000
0050-54	50	777,000	3,866,500	720	960	36,000	48,000
0050-55	50	798,000	3,901,000	1,290	690	64,500	34,500
0050-56	50	838,500	3,866,500	840	720	42,000	36,000
0050-57	50	894,000	3,862,000	390	420	19,500	21,000
0050-58	50	864,000	3,899,500	450	660	22,500	33,000
0050-59	50	871,500	3,922,000	1,050	450	52,500	22,500
0050-60	50	916,500	3,929,500	750	720	37,500	36,000

表 2-3-4(2) 津波数値計算の 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 (UTM53帯)		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)
0050-61	50	916,500	3,970,000	1,110	810	55,500	40,500
0050-62	50	927,000	3,893,500	900	540	45,000	27,000
0050-63	50	958,500	3,929,500	930	720	46,500	36,000
0050-64	50	982,500	3,959,500	720	600	36,000	30,000
0050-65	50	996,000	3,998,500	960	780	48,000	39,000
0050-66	50	996,000	4,028,500	720	600	36,000	30,000
0050-67	50	988,500	4,072,000	720	870	36,000	43,500
0050-68	50	1,000,500	4,109,500	750	750	37,500	37,500
0050-69	50	873,000	3,832,000	600	930	30,000	46,500
0050-70	50	909,000	3,790,000	480	810	24,000	40,500
0050-71	50	931,500	3,686,500	600	540	30,000	27,000
0050-72	50	942,000	3,607,000	270	270	13,500	13,500
0050-73	50	1,200,000	3,034,000	600	630	30,000	31,500
0050-74	50	1,200,000	2,983,000	600	660	30,000	33,000
0050-75	50	1,129,500	2,767,000	420	420	21,000	21,000
0050-80	50	211,500	3,727,000	1,410	750	70,500	37,500
0050-81	50	157,500	3,740,500	930	720	46,500	36,000
0050-82	50	117,000	3,781,000	900	1,320	45,000	66,000
0050-83	50	162,000	3,781,000	1,200	660	60,000	33,000
0050-84	50	214,500	3,769,000	990	750	49,500	37,500
0050-85	50	234,000	3,814,000	1,560	930	78,000	46,500
0050-86	50	264,000	3,769,000	900	840	45,000	42,000
0050-87	50	301,500	3,817,000	990	1,350	49,500	67,500
0050-88	50	346,500	3,829,000	1,020	1,500	51,000	75,000
0050-89	50	390,000	3,850,000	1,110	1,380	55,500	69,000
0050-90	50	444,000	3,859,000	1,260	840	63,000	42,000
0050-91	50	444,000	3,821,500	990	900	49,500	45,000
0050-92	50	486,000	3,853,000	1,410	1,290	70,500	64,500

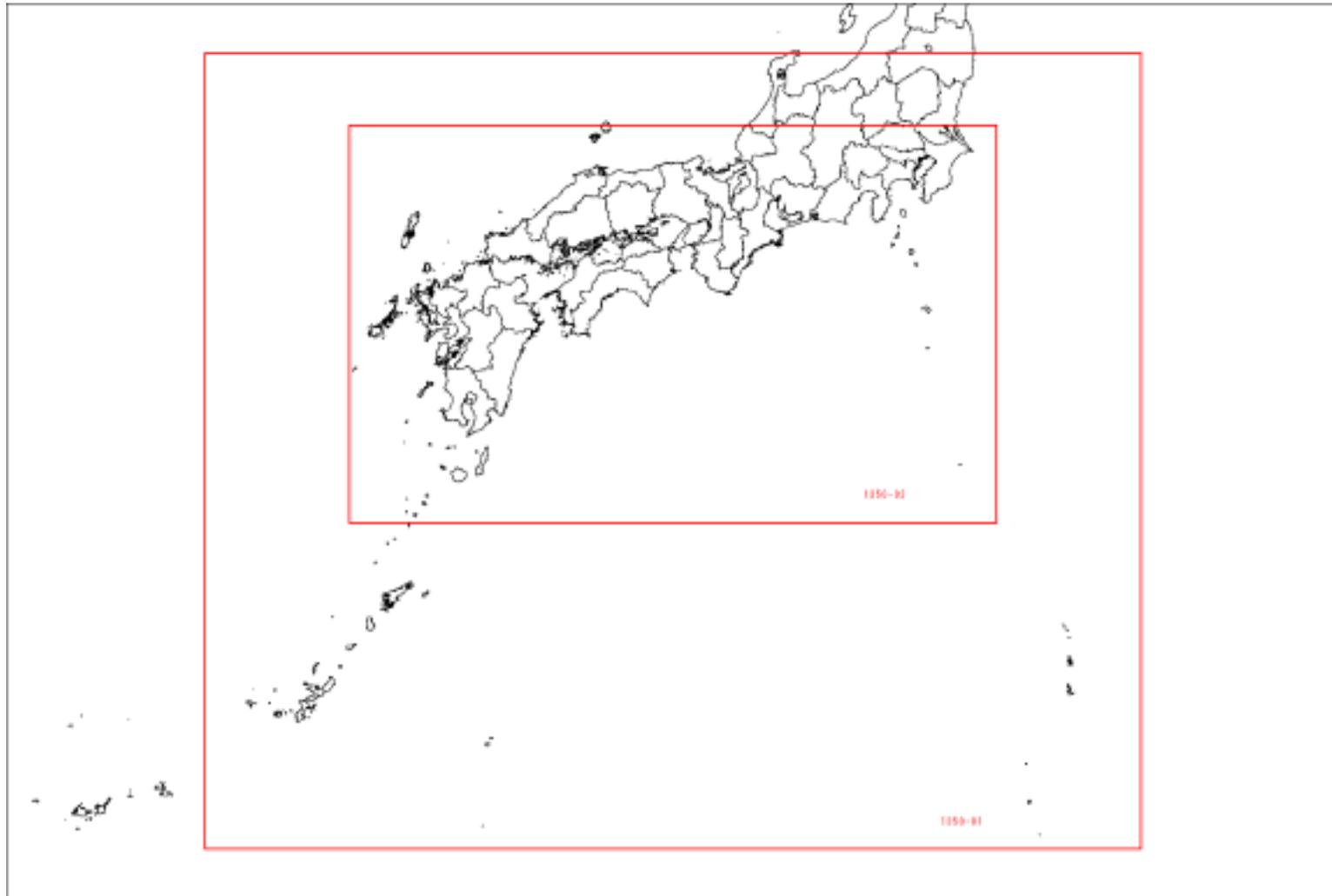


図 2-3-1 津波数値計算の各メッシュ領域の位置図 (1350m メッシュ領域)

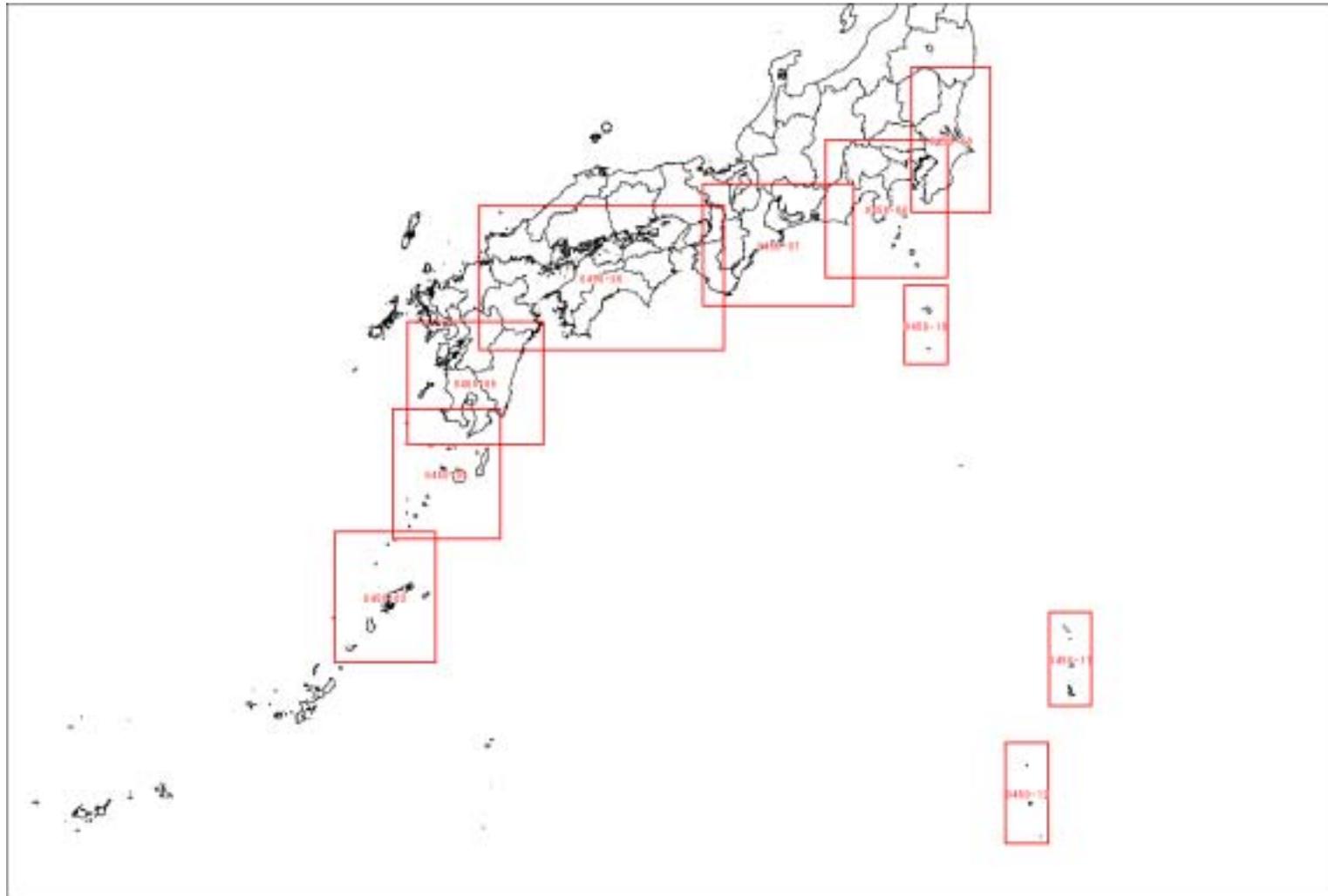


図 2-3-2 津波数値計算の各メッシュ領域の位置図 (450m メッシュ領域)

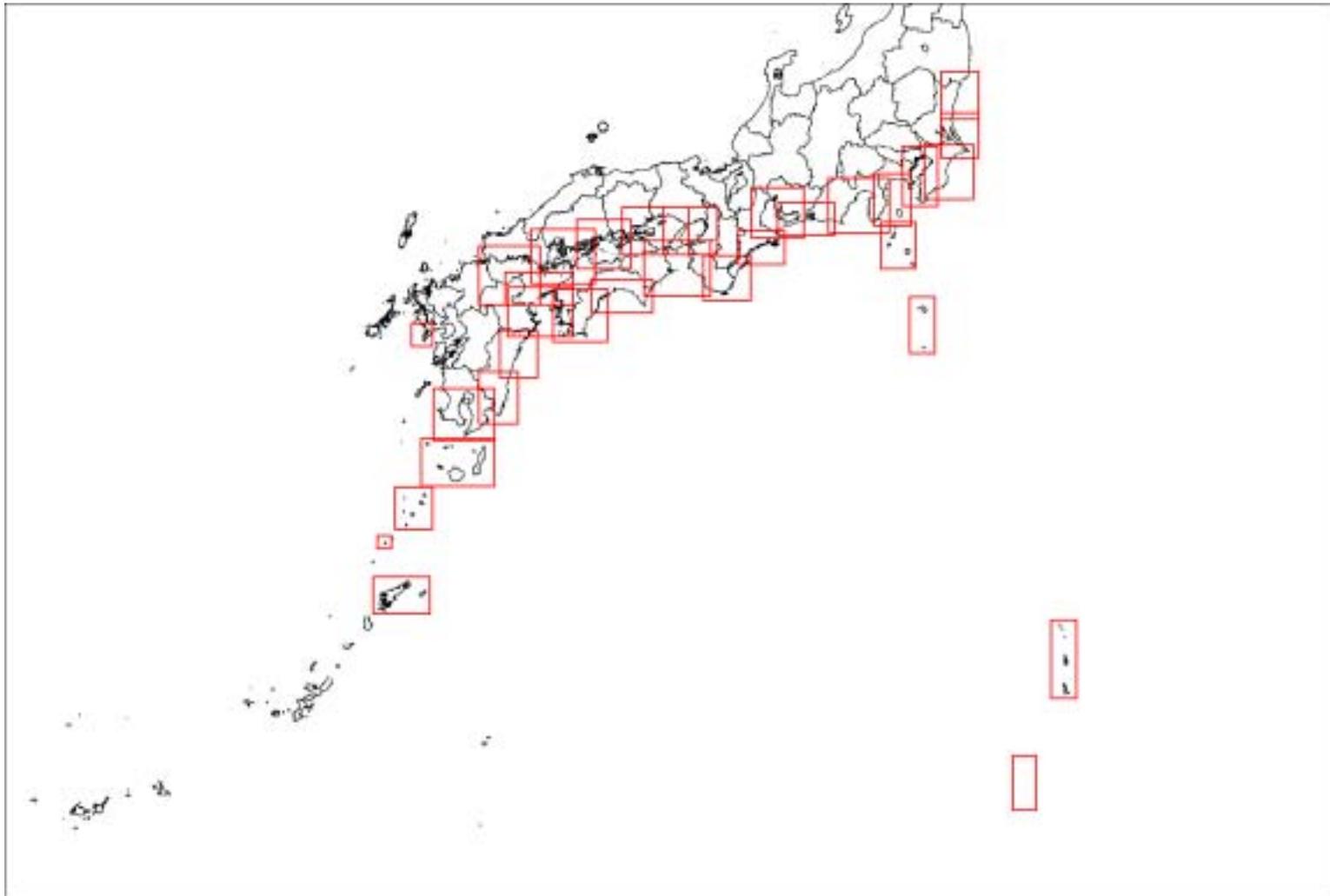


図 2-3-3 津波数値計算の各メッシュ領域の位置図 (150m メッシュ領域)

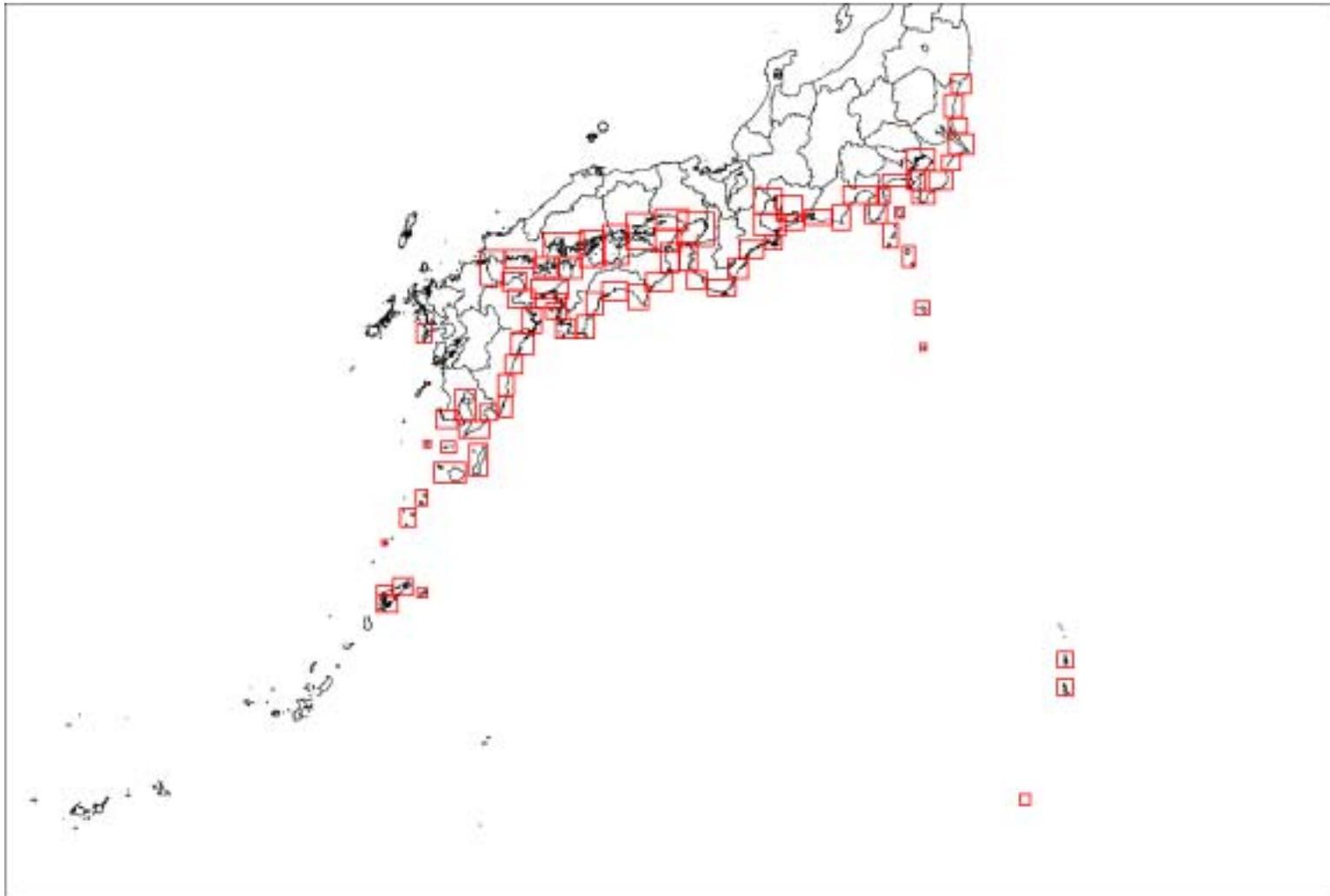


図 2-3-4 津波数値計算の各メッシュ領域の位置図 (50m メッシュ領域)

表 2-4-1 各計算範囲の設定満潮位（東京湾平均海面基準）

計算範囲	設定満潮位	参照地点	計算範囲	設定満潮位	参照地点
01	1.03	和泊	50	1.29	名古屋
02	1.29	儀間	51	1.22	篠島
03	1.29	座間味	52	1.22	篠島
04	1.29	座間味	53	0.73	舞阪
05	1.30	那覇	54	0.90	御前崎
06	1.30	那覇	55	1.03	清水港
07	1.30	那覇	56	0.89	石廊崎
08	1.20	伊平屋島	57	0.69	大島
09	1.03	和泊	58	0.24	伊東
10	1.03	和泊	59	0.29	油壺
11	1.10	徳之島	60	0.92	横須賀
12	1.16	請島	61	1.04	千葉港
13	1.18	宇検	62	0.83	館山
14	1.23	笠利湾	63	0.80	勝浦
15	1.23	笠利湾	64	0.76	銚子漁港
16	1.23	笠利湾	65	0.76	銚子漁港
17	1.32	屋久島	66	0.67	大洗
18	1.32	屋久島	67	0.67	大洗
19	1.32	屋久島	68	0.65	小名浜
20	1.11	種子島	69	0.66	新島
21	1.32	屋久島	70	0.82	三宅島
22	1.73	坊の津	71	0.78	八丈島
23	1.73	坊の津	72	0.78	八丈島
24	1.83	鹿児島	73	0.64	父島
25	1.72	山川	74	0.66	母島
26	1.07	油津	75	0.55	硫黄島
27	1.07	油津	80	1.13	八幡浜
28	1.07	油津	81	1.69	姫島
29	1.01	細島	82	2.14	宇部
30	1.15	延岡	83	1.79	防府
31	1.76	長崎	84	1.67	大島瀬戸
32	1.04	下浦	85	2.30	波止浜
33	1.17	大分	86	1.84	松山
34	1.11	宇和島	87	2.30	波止浜
35	1.11	宇和島	88	2.26	笠岡
36	0.91	宿毛	89	1.93	鍋島
37	0.97	土佐清水	90	0.95	姫路
38	0.92	須崎	91	1.10	福良浦
39	0.91	高知	92	1.25	友ヶ島
40	1.21	室戸岬			
41	1.22	日和佐			
42	1.13	橘浦			
43	1.25	友ヶ島			
44	1.05	白浜			
45	1.04	大島			
46	0.82	尾鷲			
47	0.82	尾鷲			
48	0.82	浜島			
49	1.23	津			

「平成14年潮位表（気象庁）」記載の地点名