

1. はじめに

1.1 調査の目的

我国沿岸における海岸構造物の設計において用いる設計波浪、津波、高潮偏差は現在、その築造年代、所在地域等によって様々な手法が用いられている。

そこで、本調査は、設計における海象外力を日本全国各地域にわたって統一的な手法で算定・整理し、日本全国各地域における概略値を把握し、今後の全国レベルで行う政策の検討のための参考資料とするとともに、地域において現在あまり注目されていない潜在的な災害発生の可能性を探ることを目的としている。

波浪変形計算等の技術は日々、進歩している。また、計算に用いた沖波も観測の積み重ねや推算手法の進歩により既に変更されたものもあり、今後も更新されていくものと考えられる。従って、本調査において用いた手法は、最先端の解析手法とはなっていない。しかしながら現在、確立された技術を採用して、計算を行うこと、また、収集したデータについては今後の変更を考慮に入れた手法を用いることで、上述した本調査の目的の達成を目指すこととした。

1.2 調査内容

本調査は、設計に関する波浪外力として、

- 1) 設計波
- 2) 高潮偏差
- 3) 津波高

を採り上げ、データの収集・整理、計算等を行った上、それらのデータを資料として収録した。

2. 整理区分

海象外力に関する情報を整理する単位として、沿岸海域区分及び細区分を設定した。

2.1 沿岸海域区分

平成12年5月に策定・公表された「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本的な方針」において定められた沿岸区分（71区分）とした。

2.2 細区分

沿岸区分をもとに、地形の特性を考慮してさらに細かく分割した。この分割単位を、以後、「細区分」と呼ぶ。細区分は以下の考え方をもとに分割している。

a) 平行等深線海岸は、全域にわたって等水深線が汀線に平

行で、海象外力が場所的に大きく変化しないので、できるだけ広い範囲を一つの区分とする。

b) 干拓地、海岸道路等の護岸で占められる区域は、前面水深が比較的深いため、海象外力が場所的に大きく変化することはないので、同一区分とする。

c) 港湾・大型漁港は港湾の遮蔽域に位置する周辺の海岸も同一区分に含める。

d) 島嶼によって遮蔽された区域は回折の影響を強く受けるため、独立区域として、諸値を設定する。

図-A.1に沿岸海域区分及び細区分を示す。

3. 設計波

海に面する施設の設計を行う際には、通常、沖波をもとに、換算沖波及び設計波を求める。本調査では、まず、沖波データの収集整理を行った。さらに、設計波等の計算を行ったが、設計波に関する諸値を整理するにあたって、「沿岸係数」という概念を導入した。この係数を用いることで沖波の見直しを行った際、直ちに換算沖波を算出することが可能となる。また、それらの諸値を的確に整理するため、「沿岸係数算出地点」を設定した。

3.1 沿岸係数算出地点

各細区分における風波の変形状況を代表する地点として「沿岸係数算出地点」を設定した。1細区分につき1～5点程度、計315地点となった。沿岸係数算出地点は以下の考え方をもとに設定している。

a) 細区分の中で、その細区分の中でその周辺の波浪状況を代表すると思われる地点に沿岸係数算出地点をとる。

b) 砕波の影響を排除すること、この程度の水深まで計算すれば施設設置地点の沿岸係数とほとんど変わらないと思われることの2点より、水深は-10m程度とする。

c) 港湾・大型漁港等については、港内波高が算出できるように、沖側の防波堤の開口部に沿岸係数算出地点をとる。

3.2 沖波波浪

設計沖波については、今回調査中、なるべく多年にわたりがかつ最新のデータをもとにMRI等のスペクトル法を用いて、全国一律の手法で波浪推算を行うことが望ましかったが、時間、費用等の制約から、既存のデータを収集するにとどまった。

ここでは、各港湾建設局等（現地方整備局）において推算されたデータより、収集・整理した。そのため、沖波推算地点の密度をはじめ、データの推算手法、水深、推算年等に大きな違いがある。また、このデータは平成12年度に

収集したデータであるため、現在までに高い精度での観測・推算が行われ、既に設計沖波を変更している地域もある。しかしながら、全国レベルの概略値を算出することを目的としていること、また、後述の沿岸係数を求めることで、沖波データの変更が容易であることから、本データをそのまま採用することとした。

また、後述の沿岸係数を算出する上でその付近に沖波算出点及びデータが全く無い地点については、周辺の海域に

おける沖波データを、比較的危険側になるように考慮しつつ、利用している。これらのデータについては表-0沿岸係数表 使用沖波欄に「(参考値)」と記載した。

沿岸区域毎に、各沖波地点における50年確率波を整理しているが、データが存在するものについては、10年、30年、100年確率波についても整理している。表-3.1に各沖波データの算定・推算手法等を示す。

表-3.1 沖波算定・推計手法等一覧表

建設局	確率沖波の算定地点	検討対象期間	波浪推算手法	極値統計解析手法	極大値/年最大値	資料名
北開局	羅臼, 直追, 白尻, 戸井, 福島, 青苗, 元地	1947年~1986年 (30年間, 153擾乱)	有義波法	P-A法	方位別: 極大値, 全方位: 年最大	昭和52年度 北海道沿岸波浪推算マニュアル (昭53/3)
	枝幸港, 浦河港, 余市港, 小樽港, 石狩湾新港, 稚内港, 鷺泊港		スペクトル法			平成8年度波浪推算業務資料 (各港)
	根室港, 花咲港, 釧路港, 十勝港, 苫小牧港, 白老港, 室蘭港, 函館港, 松前港, 奥尻港, 増毛港, 羽幌港, 天塩港		有義波法			各港設計資料等
	紋別港, 瀬棚港		(実測値)			各港設計資料等
一建	能代, 船川, 秋田, 戸賀, 酒田, 鼠ヶ関, 新潟西, 新潟東, 弾崎, 両津, 二見, 小木, 直江津, 伏木富山(新湊), 七尾, 輪島, 金沢, 福井, 鷹巣, 敦賀	1953年~1991年 (39年間, 92擾乱)	スペクトル法	P-A法	極大値・年最大値	平成4年度 日本海沿岸波浪推算および確率沖波調査 (平5/3)
二建	津軽海峡東部, 八戸, 尻屋崎東, 津軽海峡中部, 津軽半島西, 久慈, 宮古, 釜石, 気仙沼, 金華山沖, 塩釜, 相馬, 富岡, 阿字ヶ浦, 鹿島	1952年~1982年 (31年間, 65擾乱)	スペクトル法	P-A法	極大値	昭和58年 東北沿岸波浪推算調査 (昭59/3)
	深浦港, 青森港, むつ小川原港, 久慈港, 石巻港, 常陸那珂港, 横須賀港		スペクトル法・有義波法		極大値	各港設計資料等
三建	和歌山下津, 小松島, 室津, 高知, 須崎(1,2), 宿毛(1,2), 御坊沖	1955年~1992年 (38年間, 104擾乱)	スペクトル法	P-A法	極大値・年最大値	管内確率沖波検討調査報告書 (平7/3)
	舞鶴(1,2), 柴山(1,2), 鳥取(1,2), 境(1,2), 七類(1,2), 浜田(1,2,3), 三隅(1,2), 隠岐(1,2,3)	1955~1993年 (39年間, 104擾乱)	スペクトル法	P-A法	極大値・年最大値	管内確率沖波検討調査報告書 (平8/3)
	神戸, 宇野, 呉, 高松, 松山, 三島川之江, 今治, 上川口, 日高, 広島	推計: 1982~1996年 (30~45年間程度)	有義波法			各港設計資料等
	関空P	1955年~1994年 (40年間, 128擾乱)	スペクトル法	P-A法	極大値・年最大値	平成7年度 大阪湾波浪推算調査 (平8/3)
四建	SETO: (瀬戸内海西部)	1954年~1997年 (44年間, 53擾乱)	スペクトル法	P-A法	極大値	確率波高計算処理システム (データバンク)
	KAGO: (鹿児島湾)	1954年~1997年 (44年間, 31擾乱)				
	EAST: (九州東海域)	1953年~1990年 (38年間, 50擾乱)				
	WSTS: (九州北・西部沿岸)	1956年~1998年 (43年間, 117擾乱)				
	WSTM: (九州西部近海)	1956年~1991年 (36年間, 68擾乱)				
	ARIA: (有明海・八代海)	1964年~1993年 (30年間, 45擾乱)				
五建	清水, 下田, 御前崎	1955年~1996年 (S系: 42年間, 82擾乱), (N系, E系: 42年間, 86擾乱)	外洋: スペクトル法 湾内: パラメータ法	P-A法	極大値・年最大値	平成9年度 管内設計沖波調査 (平10/3)
	三河, 衣浦, 名古屋, 四日市, 津・松坂	1955年~1996年 (42年間, 239擾乱)				
沖総局	那覇, 中城湾	過去の調査: 1973年~1990年 (18年間, 46擾乱), 平成11年調査: 1991年~1997年 (7年間, 28擾乱)	スペクトル法	合田法	極大値	平成11年度 那覇港波浪推算調査報告書(案) (平12/1)
	平良港, 宮古港	1946~1976年 (31年間)	有義波法		極大値	那覇・宮古島・石垣島における波浪推算報告書(S53.3)

3.3 設計波

(1) 沿岸係数

岸壁・護岸等の港湾・海岸施設を設計する上で、必ず算出する値に、「換算沖波 H_0' 」がある。この換算沖波がわかれば、あとは図表等より容易に有義波高、打ち上げ高、越波量等を算出する（よみとる）ことができる。

そこで、本調査では、沖波波高データがあれば直接その換算沖波波高を算出することができる「沿岸係数 α 」の形で全国の波浪状況を整理することとした。

ここで、沿岸係数 α は、

$$\text{沿岸係数 } \alpha = \text{屈折係数 } K_r \times \text{回折係数 } K_d$$

とする。なお、換算沖波 H_0' は

換算沖波 $H_0' = \text{屈折係数 } K_r \times \text{回折係数 } K_d \times \text{沖波波高 } H_0$ である。

設計波高等でなく、「沿岸係数」を算出することで以下のようなメリットもある。

- a) 施設の設計波は各施設の水深によって変わるが、換算沖波は変わらない。
- b) 沖波データを新たに見直したとき、今回計算した沿岸係数をかければ、そのまま新しい換算沖波として使える。

(2) 設計波高

前述のとおり、本調査の設計波に関する値としては「沿岸係数」を算出することを主としているが、日本全国各沿岸における波高はどの程度なのかを概略つかむ参考値として、沿岸係数算出地点における設計波高も算出した。ただし、この波高は沿岸係数算出地点における波高であり、水深-10m付近（港湾については湾口地点）の波高である。

なお、設計波高 $H_{1/3}$ は

$$H_{1/3} = \text{屈折係数 } K_r \times \text{回折係数 } K_d \times \text{浅水係数 } K_s \times \text{沖波波高 } H_0$$

である。

(3) 計算方法及び計算条件

独立行政法人港湾空港技術研究所所有の「波浪変形計算システム」を用いて換算沖波波高を算定し、沿岸係数を求めた。

「波浪変形計算システム」では、港外波浪変形計算にエネルギー平衡方程式を使用しており、特徴としては、屈折及び、浅水変形を考慮することができ、回折現象も実用的に考慮できるものである。任意水深、波の不規則性にも対応している。また、計算条件の設定にある砕波条件を非砕波にすることで、換算沖波波高を自動的に算定することができるようになっている。本検討においては、換算沖波波

高、有義波高、ともに算出するため、1領域につき2度、砕波条件を変えて計算を行った。

なお、本検討では港外の計算を対象としているため、「波浪変形計算システム」に含まれている高山法による港内計算は行っていない。

(a) エネルギー平衡方程式

深海域において発生、発達した波が浅海域に伝播すると、浅水変形、屈折、回折、砕波等により波高変化が生じる。従って、深海域の波浪から浅海域の波浪を推定するためには上述の諸現象を考慮する必要がある。しかも、実際の波浪は不規則で無数の周波数、波向の成分波が重なり合って合成されたものと考えられ、特に波の屈折・回折には入射波の波向が重要な影響を及ぼすため、方向スペクトルによって記述される多方向不規則波を対象とした検討が不可欠である。

方向スペクトルを $D(f, \theta)$ とすると、エネルギー平衡方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x}(Dv_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Dv_y) + \frac{\partial}{\partial \theta}(Dv_\theta) = 0$$

$$v_x = C_g \cos \theta, v_y = C_g \sin \theta \tag{3.1}$$

$$v_\theta = \frac{C_g}{C} \left(\frac{C}{x} \sin \theta - \frac{C}{y} \cos \theta \right) \tag{3.2}$$

ここに、 C_g は群速度、 C は波速である。なお、方向スペクトル $D(f, \theta)$ は、周波数スペクトル $S(f)$ と方向関数 $G(f, \theta)$ の積として表される。

$$D(f, \theta) = S(f)G(f, \theta) \tag{3.3}$$

入射スペクトルとして $S(f)$ はBretschneider・光易型周波数スペクトル、 $G(f, \theta)$ は光易型方向関数を与えている。

エネルギー平衡方程式を解く方法は、規則波の結果を重ね合わせる成分波法と等価であり、しかも簡便であるので実用上有効な方法である。しかし、基礎式に回折を表す項が含まれていないため、規則波の波向線法と同様に波向線交差領域では計算精度が落ちる。

任意の地点の有義波高 $H_{1/3}$ は、レーリー分布を仮定すると、式3.3を解くことにより得られる方向スペクトル $D(f, \theta)$ を用いて、次式で与えられる。

$$H_{1/3} = 4.004 \left[\int_0^{\pi/2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} D(f, \theta) d\theta df \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

一方, $H_{1/3}$ は沖波波高 H_0 , 浅水, 屈折, 回折係数を K_s , K_r , K_d とすると式3.5で表される.

$$H_{1/3} = K_s \cdot K_r \cdot K_d \cdot H_0 \quad (3.5)$$

浅水係数 K_s は, 次式で与えられる.

$$K_s = \frac{H}{H_0'} = \sqrt{\frac{1}{2n} \cdot \frac{C_0}{C}} \quad (3.6a)$$

$$n = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right\} \quad (3.6b)$$

$$C_0 = \frac{g}{2\pi} T \quad (3.6c)$$

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2n} \cdot \tanh \frac{2\pi h}{L}} \quad (3.6d)$$

ここに, h は水深 h における波高(m), H_0' は換算沖波波高(m), C_0 は深水域での波速(m/s), L は水深 h における波長(m). これを, 有義波高から割り戻すことで換算沖波を計算している.

$$H_0' = H_{1/3} / K_s = K_r \cdot K_d \cdot H_0 \quad (3.7)$$

沿岸係数 α は, 換算沖波波高と沖波波高より計算した.

$$\alpha = H_0' / H_0 \quad (3.8)$$

(b) 計算条件

計算条件を以下に示す.

- 沖波諸元 : (前述).
- 使用プログラム : 港湾技術研究所所有の「波浪変形計算プログラム」を使用.
- 対象波浪 : 50年確率波.
- 対象波向 : 1~3方位 (海域による).

(対象波向は, 海岸線に垂直な方向を中心とした $\pm 22.5^\circ$ の範囲を検討対象とした. また, 対象として設定した波向に対する沖波資料が存在しない場合においては, 計算可能な波向のみを対象

としている.)

計算領域数 (沿岸海域区分) : 71区分

計算領域数 (細区分) : 315細区分

計算領域の設定 : 対象施設の岸沖方向の計算領域は, 対象施設から, 沖波を設定した地点と同等な水深までとした. 陸域平行方向の計算領域は, 斜め入射を考慮した形で影響のない範囲とした. 計算領域は, 対象波向が最大3方位であるため各地点につき1領域となる.

計算格子間隔 : 算出点付近50m (沖では地形による).

潮位 : H. W. L. を使用. 潮位が計測されていない地点においては, 近隣の観測潮位もしくは, それらから補間したものを使用した.

Smax : 方向集中度を示すパラメータ. 図-3.1により算定した. この時の L_0 (m)は, 深海波長を示し $L_0 = 1.56T^2$ で算出した.

波向範囲 : 計算上の波向範囲の設定はSmaxの値により以下の様に設定した.

- Smax=10の時 $\rightarrow \pm 90^\circ$
- Smax=25の時 $\rightarrow \pm 60^\circ$
- Smax=75の時 $\rightarrow \pm 40^\circ$

波向分割数 : 波向分割数の設定は, 波向範囲により以下の様に設定した.

- $\pm 90^\circ$ の時 \rightarrow 30分割
- $\pm 60^\circ$ の時 \rightarrow 20分割
- $\pm 40^\circ$ の時 \rightarrow 14分割

周波数分割数 : 周波数分割は, 全て10分割とした.



図-3.1 Smax算定図 (合田ら, 1975) 1)

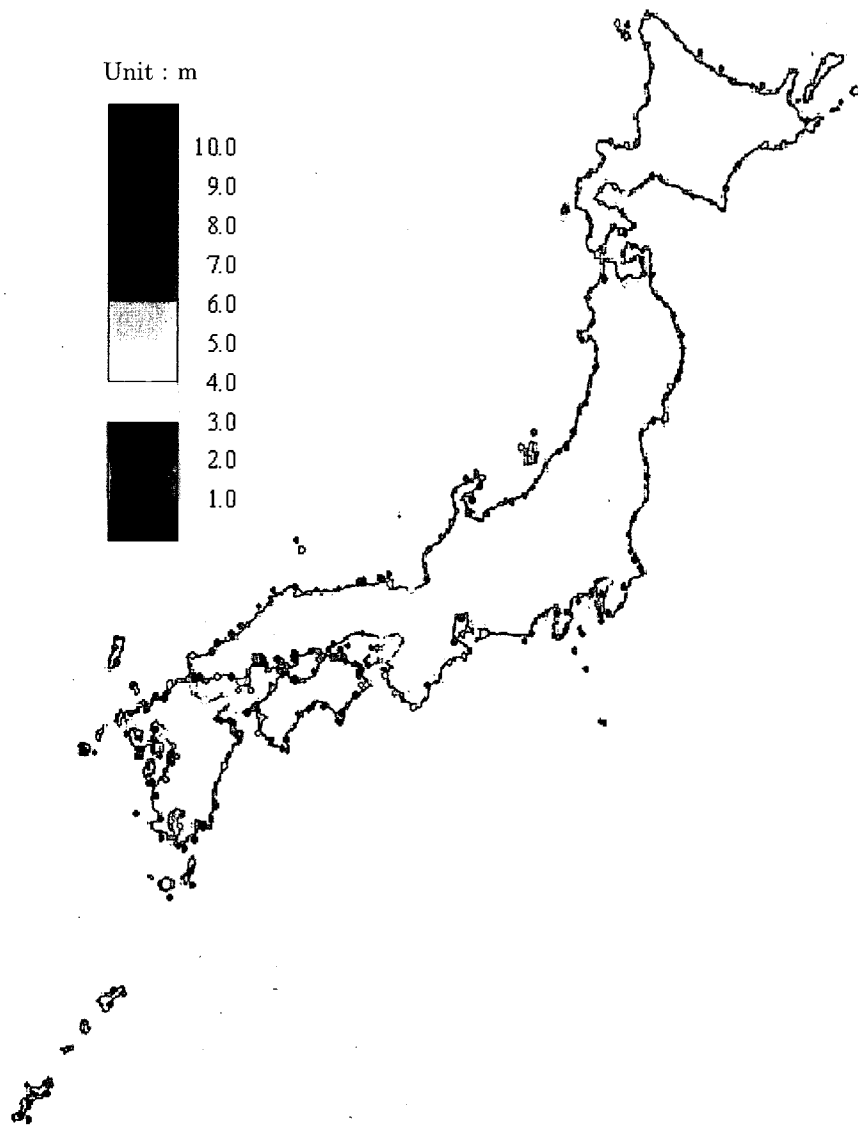


図-3.2 設計波高最大値分布図

砕波条件 : 本検討では、換算沖波波高と有義波高をそれぞれ算定したため、以下の様に砕波条件を設定した。

- ・換算沖波波高 →非砕波条件
- ・有義波高 →砕波条件

沿岸係数のとり方：沿岸係数は、対象地点周辺の波浪状況を代表させるため、沿岸係数算出点の周囲5点程度の平均値を用いた。

3.4 計算結果の整理

図-3.2に計算した設計波高最大値の分布を示す。また、図-B.2に沿岸係数の計算に使用した沖波及び沿岸係数をグラフで示すとともに、表-Cに整理した沖波を、表-Dに沿岸係数等計算諸値を示す。

(1) 総括図

図-B.2総括図に各沿岸係数算定点の計算に使用した沖

波を示す。沖波は波高・周期を円グラフで示している。また、沿岸係数については計算を行った沖波波向き及び係数値を示すとともに、グラフの色彩でその波向きの変化を示している。凡例を図-B.1に示す。

(2) 沿岸係数表

各算定点における計算値を表-Dに示す。表に整理した項目の内容を以下に示す。

沿岸係数算出点名	: 沿岸係数算定点の名称
代表区域名称 (使用沖波)	: 算定点の近隣の代表的な名称 : 計算に使用した沖波の名称。 (沖波が計測されていない地点においては、近隣の地点の沖波を使用した。)
沖波波浪諸元 潮位	: 計算を行った方位について記載 : H. W. L. を使用。 (潮位が計測されていない地点においては、近隣の観測潮位もしくは、それらから補間したものをを使用した。)
換算沖波波高 H_0' (m)	: 屈折係数 K_r ×回折係数 K_s ×沖波波高 H_0
浅海波向	: 屈折、回折後の波向
沿岸係数 α	: 屈折係数 K_r ×回折係数 K_s (=換算沖波波高/沖波波高)
設計波高	: 浅水変形を考慮した有義波高。 $H_{1/3}$ (m)。 (ただし、本検討における設計波は、水深-10m程度の地点における進行波を算出したものであり、参考値である。)

3.5 設計波等資料の活用にあたって

まず、沖波データについては、地点によってその算定年代、地点の密度、推算方法等、熟度が違っている。また、特に近年、観測データの蓄積や観測地点の増加が進んでいる^{2,3)}。また、より高い精度での推算が進められており⁴⁾、沖波データの設計値が日々変更しつつある。したがって、参考として概略値をつかむという意味では十分活用できると思われるが、本資料より引用した数値を設計計算等に用いる場合は、かなりの注意が必要になる。

さらに、本計算で算出した換算沖波波高により、図表等を用いて容易に越波量等の概略値等を計算することが可能になった。しかしながら本調査では設計波、沿岸係数等

の計算結果は、全国一律の手法で、計算されている。したがって、沖波と同様に、参考として概略値をつかむという意味では十分活用できると思われるが、個々の施設の設計においては、その施設に最も大きな影響を与える波向き等、本調査では考慮していない諸処の状況を別途検討する必要がある。よって、実際の個別施設の設計については、これらの状況を考慮した上で計算をしない必要がある。

波浪変形計算手法については、現在施工中または施工終了している施設については、図表等を用いて算定する手法が行われてきた。さらに近年、より高度な計算技術も日々開発されてきている⁵⁾。しかしながら、本資料において計算に用いた「波浪変形計算システム」は、実用上簡易に計算ができる上、その計算結果は実績から評価されていることから、この点からも、現地の波高の概略把握に活用できると考えている。

4. 高潮偏差

日本全国海域において、高潮偏差の高くなる可能性について、ある程度実現可能性のある想定台風を設定して、検討した。

計算の方法としては、まず、伊勢湾台風クラスのモデル台風が、日本をとりまく様々なコースを通過した場合の想定偏差を全国海岸にわたって1.8km毎に算定し、さらに、詳細計算が必要と思われる地域について、各地域において過去に最大の被害をもたらした台風のコースを細かく変化させて、200m毎に最高値を抽出した。

4.1 高潮日本全域計算

(1) 想定台風の設定

日本全国において同一規模の台風が来襲する場合を想定し、同一基準による比較を行うことで、地形特性による高潮危険度を評価するため、想定台風は次のように設定した。

想定台風は、現実的なものとするため、大きな被害をもたらした既往台風の、規模、時間経過（発達・減衰）、コースをそのまま平行にずらす形で複数ケース設定することとした。

(a) 既往台風の抽出

太平洋沿岸に最大級の被害をもたらした台風であることから、伊勢湾台風（台風5915号）、日本海側の日本海側に最大級の被害をもたらした上、台風の移動に伴い勢力が減衰しなかった、台風9119号の2つの台風を抽出した。

(北進コース) 伊勢湾台風 (台風5915号)

(東進コース) 台風9119号

表-4.1に各台風の諸元を示す。

表-4.1(a) 台風の諸元 (伊勢湾台風)

1959年9月	中心位置		中心示度	台風半径	移動速度
	経度	緯度			
25日 03:00	137.2	23.0	0.0	70.0	30.0
09:00	136.2	24.2	50.0	70.0	17.0
15:00	135.7	24.8	105.0	70.0	40.0
21:00	134.8	26.6	100.0	70.0	32.0
26日 03:00	134.4	28.0	100.0	70.0	40.0
06:00	134.8	29.0	90.0	70.0	35.0
07:00	134.7	29.3	85.0	70.0	35.0
08:00	134.7	29.7	85.0	70.0	35.0
09:00	134.6	30.0	85.0	70.0	39.0
10:00	134.6	30.4	85.0	75.0	39.0
11:00	134.6	30.7	85.0	80.0	39.0
12:00	134.7	31.1	85.0	90.0	39.0
13:00	134.7	31.4	85.0	95.0	39.0
14:00	134.8	31.8	85.0	95.0	39.0
15:00	135.0	32.1	85.0	95.0	47.0
16:00	135.2	32.5	85.0	95.0	49.0
17:00	135.4	32.9	85.0	95.0	49.0
18:00	135.5	33.4	81.0	95.0	59.0
19:00	135.7	33.8	75.0	95.0	60.0
20:00	135.9	34.4	70.0	95.0	67.0
21:00	136.3	34.9	65.0	95.0	67.0
22:00	136.6	35.5	60.0	120.0	70.0
23:00	136.9	36.0	50.0	150.0	88.0
27日 00:00	137.5	36.6	42.0	165.0	88.0
01:00	137.9	37.4	40.0	205.0	87.0
02:00	138.1	38.2	40.0	195.0	87.0
03:00	138.5	38.9	44.0	175.0	77.0
04:00	139.0	39.6	40.0	215.0	75.0
05:00	139.6	40.0	34.0	250.0	20.0
06:00	139.7	40.1	32.0	205.0	20.0

表-4.1(b) 台風の諸元 (台風9119号)

1991年9月	中心位置		中心示度	台風半径	移動速度
	経度	緯度			
25日 21:00	126.8	23.0	0.0	70.0	40.0
26日 00:00	126.4	23.4	35.0	70.0	40.0
03:00	126.1	23.7	70.0	70.0	40.0
06:00	125.9	24.0	70.0	70.0	40.0
09:00	125.8	24.4	70.0	70.0	40.0
12:00	125.7	24.9	75.0	70.0	40.0
15:00	125.7	25.4	75.0	70.0	40.0
18:00	125.8	25.9	75.0	70.0	40.0
21:00	126.0	26.5	75.0	70.0	40.0
27日 00:00	126.2	27.3	80.0	70.0	40.0
03:00	126.4	28.1	80.0	70.0	40.0
06:00	126.9	29.0	75.0	70.0	40.0
09:00	127.6	29.9	75.0	70.0	40.0
12:00	128.4	31.2	75.0	70.0	40.0
15:00	129.3	32.5	75.0	70.0	40.0
16:00	129.7	32.8	70.0	70.0	40.0
18:00	130.6	33.9	65.0	70.0	40.0
21:00	132.3	35.5	65.0	70.0	40.0
28日 00:00	133.9	37.1	60.0	70.0	40.0
03:00	136.3	39.0	60.0	70.0	40.0
06:00	138.3	40.7	55.0	70.0	40.0
07:00	139.0	41.2	55.0	70.0	40.0
09:00	141.7	43.5	40.0	70.0	40.0
12:00	145.5	45.5	40.0	70.0	40.0
15:00	148.0	47.0	44.0	70.0	40.0
21:00	152.0	48.0	44.0	70.0	40.0

(b) 台風コースの設定

想定台風コースについては、既往台風の来週範囲および頻度等を考慮して、以下のとおり設定した。(計38コース)

(北進コース) 伊勢湾台風の上陸位置 (1/35.5° E, 33.4° N) を (127.5° E, 31.0° N) ~ (142.5° E, 36.0° N) の範囲について経度を0.5° 間隔で平行移動した31コース。

(東進コース) 台風9119号の上陸位置 (129.7° E, 32.8° N) を (129.7° E, 29.8° N) ~ (129.7° E, 35.8° N) の範囲について緯度を1.0° 間隔で平行移動した7コース。

表-4.2および図-4.1に各タイプの上陸位置およびコースを示す。

表-4.2(a) 想定台風コースの上陸位置 (伊勢湾台風)

No.	経度	緯度
100	127.5	31.0
101	128.0	31.2
102	128.5	31.3
103	129.0	31.5
104	129.5	31.7
105	130.0	31.8
106	130.5	32.0
107	131.0	32.2
108	131.5	32.3
109	132.0	32.5
110	132.5	32.7
111	133.0	32.8
112	133.5	33.0
113	134.0	33.2
114	134.5	33.3
115	135.0	33.5
116	135.5	33.7
117	136.0	33.8
118	136.5	34.0
119	137.0	34.2
120	137.5	34.3
121	138.0	34.5
122	138.5	34.7
123	139.0	34.8
124	139.5	35.0
125	140.0	35.2
126	140.5	35.3
127	141.0	35.5
128	141.5	35.7
129	142.0	35.8
130	142.5	36.0

表-4.2(b) 想定台風コースの上陸位置 (台風9119)

No.	経度	緯度
200	129.7	29.8
201	129.7	30.8
202	129.7	31.8
203	129.7	32.8
204	129.7	33.8
205	129.7	34.8
206	129.7	35.8

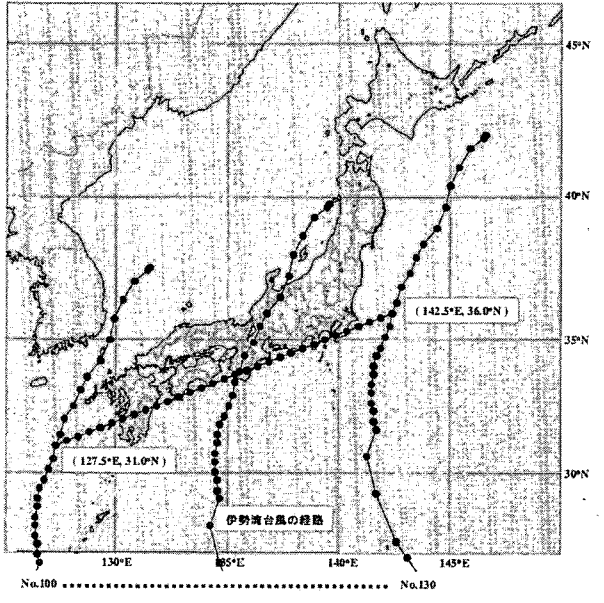


図-4.1(a) 想定台風コースの上陸位置
(伊勢湾台風)

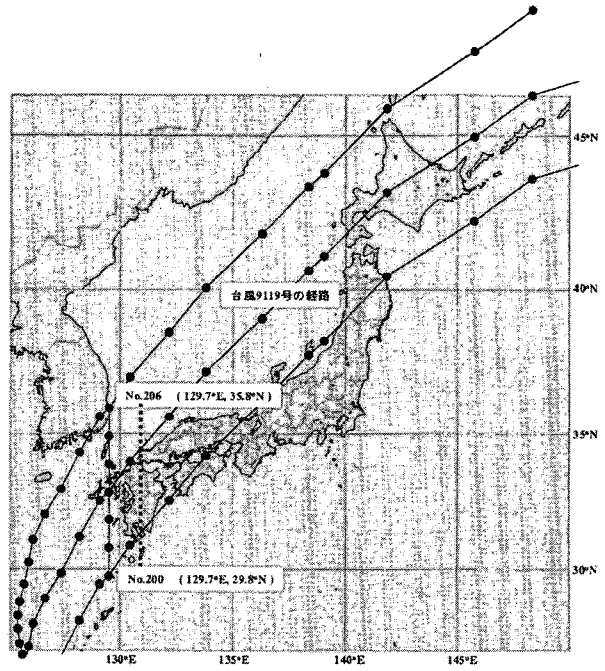


図-4.1(b) 想定台風コースの上陸位置
(台風9119号)

(2) 計算モデル

(a) 海上風推算

海上風の推算は、次のMyersの方法を用いた。台風を中心にに向かって風が吹き込むと、地球が自転しているために北半球では風向が右側にそれ、その結果として反時計回りの渦を形成する。この風を傾度風という。

台風を中心から距離 r (m)だけ離れた点の傾向風速 U_1 (r)は、

$$U_1(r) = -\frac{fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2 + \frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \quad (4.1)$$

で表される。

また、台風が移動することによっても風が発生する。これを場の風といい、場の風 U_2 (r)は、

$$U_2(r) = \frac{U_1(r)}{U_1(r_0)} V \quad (4.2)$$

で表される。この風の向きは台風の進行方向と同じである。

ここに、 r_0 は台風半径、 f はCoriolisの係数($= 2\omega \sin$

ϕ , ω : 地球自転の角速度 $= 7.29 \times 10^{-5}$ rad/s, ϕ : 緯度), ρ_a は大気密度($= 1.22 \text{ kg/m}^3$), ΔP は台風の中心示度, V は台風の進行速度(m/s)である。

但し、海面の近くでは海面との摩擦によって風速は小さくなり、風向もやや台風の中心向きになる。そこで海上風への補正として、海上風 W への変換の際、傾度風 U_1 と場の風 U_2 に風速低減率(ここでは伊勢湾台風再現計算における低減率と同様の0.66を採用)を乗じ、傾度風を約 30° の角度で低圧部に偏向させてベクトル合成した。海上風の概念図を図-4.2に示す。

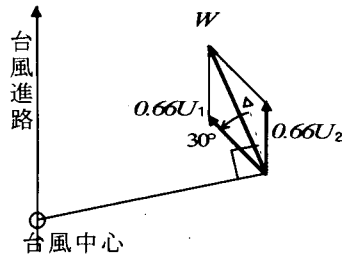


図-4.2 海上風概念図

(b) 海水の運動

基礎方程式は、単層の非線形長波方程式を用いた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) \\ &= -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial \rho_0}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_w} \\ &+ Ah \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \\ &= fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial \rho_0}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_w} \\ &+ Ah \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (4.5)$$

ここに、 η は潮位偏差(静水面からの水面のずれ)、 t は時刻、 x と y は水平方向の座標系、 z は鉛直方向の座標系(海底で $z=-h$ 、静水面で $z=0$)、 g は重力加速度、 ρ_w は海水の密度、 ρ_0 は海面における気圧、 Ah は水平渦動粘性係数(=100 m^2/s)である。また、 M 、 N はそれぞれ x 、 y 方向の流量フラックス、 D は全水深である。

(c) 各項の定式化

海面せん断応力 τ_{sx} 、 τ_{sy} 、海底せん断応力 τ_{bx} 、 τ_{by} は、それぞれ次式で与えた。

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.6)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.7)$$

$$\tau_{bx} = \frac{\rho_a g n^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (4.8)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho_a g n^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (4.9)$$

ここに、 ρ_w は海水の密度(1.03g/cm³)、 W_x 、 W_y は海面上10mにおける風速 W の x 、 y 成分であり、 n はManningの粗度

係数(=0.025)である。また、 C_D は抗力係数であり、本多・光易(1980)⁶⁾によると次式によって与えられる。

$$C_D = \begin{cases} (1.290 - 0.024W) \times 10^{-3} & (W \leq 8) \\ (0.581 + 0.063W) \times 10^{-3} & (W > 8) \end{cases} \quad (4.10)$$

これらの方程式を、空間差分にスタカード格子、時間差分にleap-frog法を用いた差分式で計算した。また、計算格子間隔の異なる領域を結合して計算する際には、次のような処理を行っている。

- a) 大格子領域で計算された流量を補間して小領域に与える。
- b) 小格子領域で計算された水位のうち、大格子領域の中心に相当する位置の値をそのまま大格子に与える。位置が一致しない場合は補間して値を与える。
- c) 計算対象範囲及び計算格子の設定
高潮計算に用いた計算領域を図-4.3に示す。

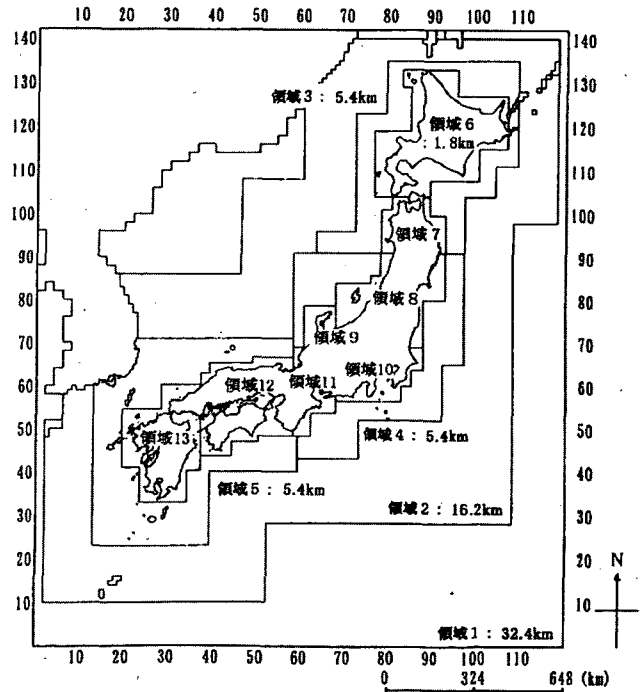


図-4.3 高潮計算(全国)計算領域図

(3) 代表台風計算による本モデルの妥当性の検討

伊勢湾台風(T5915)および台風9119号について日本沿岸における高潮追算を行い、本モデルの妥当性について検討した。

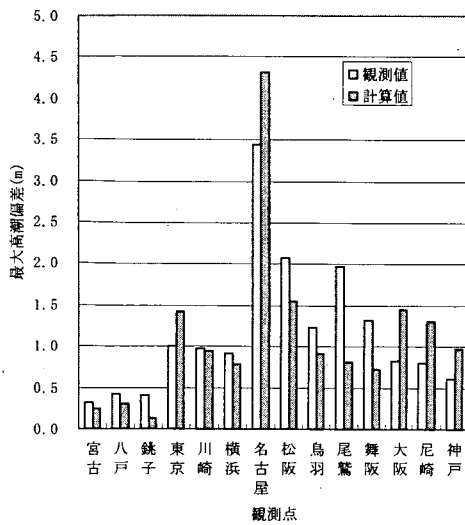


図-4.4(a) 最大高潮偏差の観測値と計算値の比較 (台風5915号)

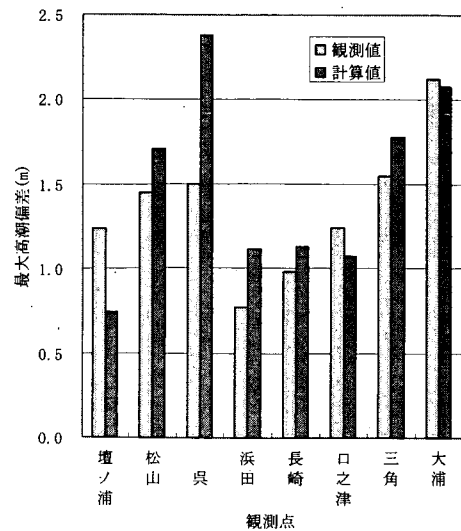


図-4.4(b) 大高潮偏差の観測値と計算値の比較 (台風9119号)

最大高潮偏差について観測値と計算値を比較した。図-4.4に高潮偏差についての観測値と計算値の比較を示す。観測値と計算値を比較すると、湾奥(名古屋, 大阪, 尼崎, 呉等)については計算値が大きめの値となり、湾口部付近(鳥羽)や外洋沿岸(尾鷲, 舞阪等)については、逆に計算値が小さめの値となる傾向がある。しかし、全体的な最大高潮偏差の分布傾向はよく表しており、日本沿岸における高潮分布の傾向をみるという観点からすれば、本モデルによる高潮推算は妥当であると思われる。

(4) 詳細計算湾の抽出

詳細計算が必要となる湾を選定するにあたり、まず、日本全国の沿岸において、計79地点(内湾:47地点, 外洋沿岸:32地点)を選定し、高潮偏差を比較する点とした。選定は、湾または湾形状地形の奥に位置し、背後に比較的人口の集積の見られる点という観点から行った。

高潮推算(想定台風38ケース)について最大高潮偏差の分布を算定し、北進タイプ及び東進タイプそれぞれについて各点における最大高潮偏差を抜き出した。表-4.3に各代表点の最大偏差を示す。

これをもとに、比較的大きな高潮偏差が算出され、かつ今までで他で調査等が行われていない地点という観点から、詳細計算湾を抽出した。(なお、既に調査が行われている港湾として今回の選定対象からはずした港湾は、有明海, 熊野灘, 仙台湾, 土佐湾, 駿河湾, 八代海, 周防灘, 鹿児島湾, 伊勢湾, 東京湾, 大阪湾, およびその周辺海域。)

その結果、抽出された9地域(1/3港湾)を図-4.5に示す。

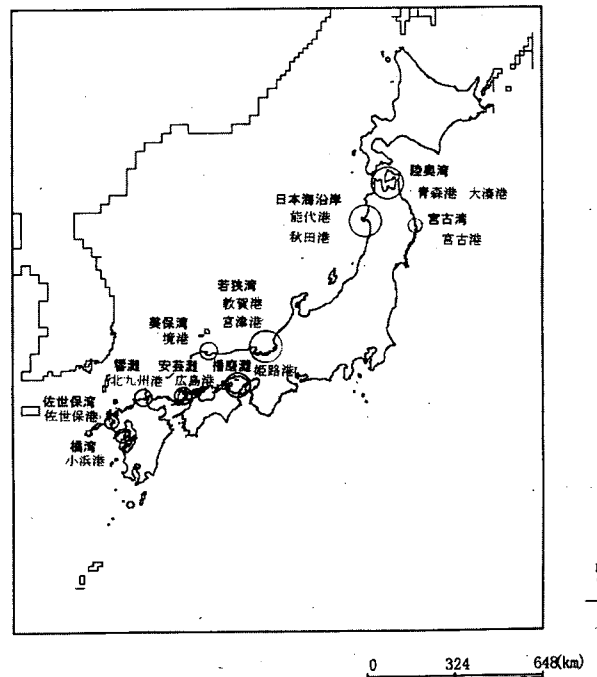


図-4.5 詳細計算湾

4.2 詳細計算湾の計算

詳細計算では、計算最小格子を200mとした。図-4.6に各計算領域図を示す。

表-4.3(a) 代表点における最大高潮偏差(内湾)

湾・港		北進コース	東進コース
宗谷湾	稚内港	0.09	1.01
根室海峡	野村湾	0.46	0.81
太平洋沿岸	厚岸湾	0.48	0.65
石狩湾	石狩川河口	0.16	1.06
石狩湾	小樽港	0.14	0.66
内浦湾	小樽港	0.55	0.84
津軽海峡	函館港	0.49	1.23
陸奥湾	大湊港	0.57	1.00
陸奥湾	青森港	0.53	0.84
宮古湾	宮古港	0.44	0.23
仙台湾	松島港	1.23	0.52
仙台湾	仙台港	0.89	0.31
富山湾	伏木港	0.37	0.53
東京湾	千葉港	3.16	0.48
相模湾	相模川河口	0.85	0.16
駿河湾	田子浦港	0.78	0.18
三河湾	三河港	4.18	1.52
伊勢湾	名古屋港	4.88	2.72
伊勢湾	松阪港	1.84	0.40
熊野灘	尾鷲港	0.95	0.22
若狭湾	敦賀港	0.61	1.24
若狭湾	宮津港	0.49	0.52
大阪湾	尼崎港	3.71	2.68
播磨灘	明石港	2.67	1.60
播磨灘	高松港	1.49	0.97
備後灘	児島港	1.60	1.12
燧灘	今治港	1.00	0.71
伊予灘	松山港	2.96	2.46
安芸灘	広島港	3.85	2.65
豊後水道	宇和島港	1.51	1.48
豊後水道	八幡浜港	1.83	1.66
美保湾	境港	0.39	0.69
周防灘	門司港	2.85	2.24
周防灘	宇島港	2.06	1.41
別府港	別府湾	1.32	1.32
響灘	北九州港	1.00	1.75
玄海灘	博多港	1.51	2.01
伊万里湾	伊万里港	1.36	1.70
五島灘	佐世保港	2.35	2.51
長崎湾	長崎港	1.22	1.13
橘湾	小浜港	3.01	2.93
有明海	三池港	3.95	3.14
島原湾	熊本港	3.03	2.61
八代海	八代港	1.55	1.40
吹上浜	新川港	1.10	1.11
鹿児島湾	加治木港	1.55	1.00
志布志湾	志布志港	1.20	0.83

表-4.3(b) 代表点における最大高潮偏差(外洋沿岸)

湾・港		北進コース	東進コース
オホーツク海	紋別港	0.26	0.61
オホーツク海	網走港	0.25	0.43
太平洋沿岸	十勝港	0.42	0.57
太平洋沿岸	苫小牧港	0.36	1.04
太平洋沿岸	鶴川河口	0.38	1.40
日本海沿岸	天塩港	0.11	1.49
日本海沿岸	留萌港	0.12	0.91
日本海沿岸	岩内港	0.10	0.50
日本海沿岸	江差港	0.16	0.56
太平洋沿岸	八戸港	0.46	0.46
太平洋沿岸	日野畑港	0.45	0.28
日本海沿岸	深浦港	0.26	0.48
日本海沿岸	能代港	0.35	0.94
日本海沿岸	船川港	0.59	1.48
日本海沿岸	秋田港	0.46	1.45
太平洋沿岸	釜石港	0.43	0.22
鹿島灘	日立港	0.86	0.13
日本海沿岸	酒田港	0.42	1.10
日本海沿岸	新潟港	0.34	0.64
日本海沿岸	金沢港	0.42	0.68
鹿児島灘	新宮寺浜	1.60	0.21
鹿児島灘	興津港	0.90	0.11
遠州灘	浮波港	0.90	0.12
遠州灘	浜名港	0.90	0.22
紀伊水道	田辺港	0.92	0.38
紀伊水道	日和佐港	0.94	0.44
土佐湾	高知港	1.06	0.81
土佐湾	須崎港	1.07	0.79
日本海沿岸	鳥取港	0.43	0.62
日本海沿岸	荻港	0.68	1.23
日向灘	延岡港	1.01	0.69
日向灘	宮崎港	0.92	0.68

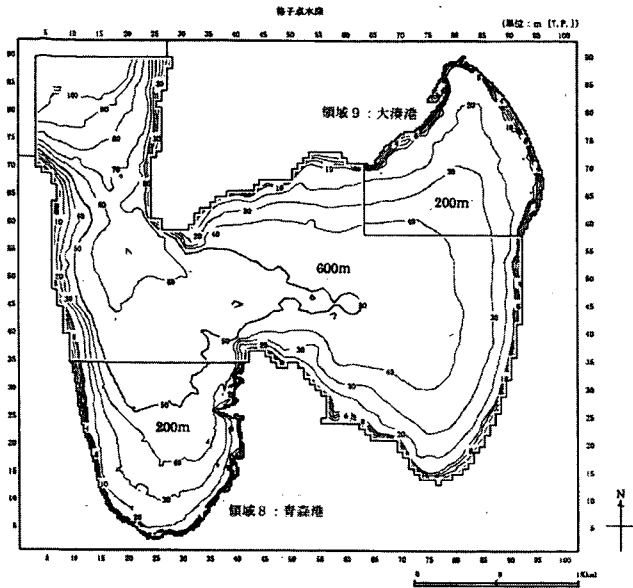


図-4.6(a) 高潮計算計算領域(陸奥湾)

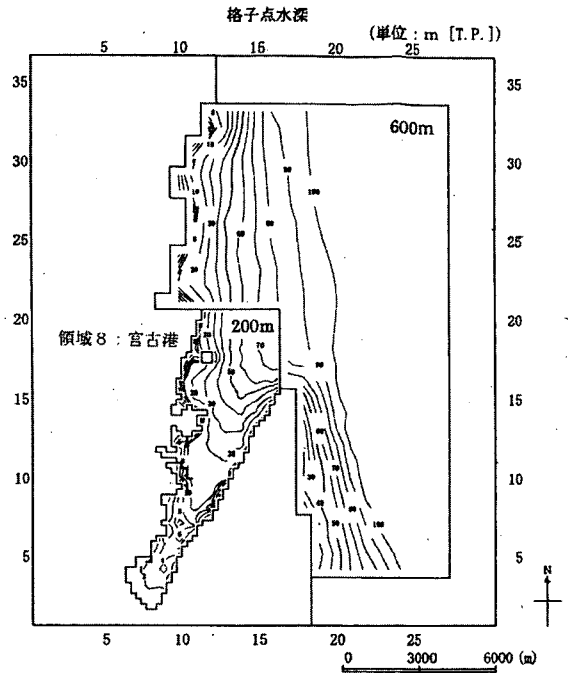


図-4.6(b) 高潮計算計算領域(宮古湾)

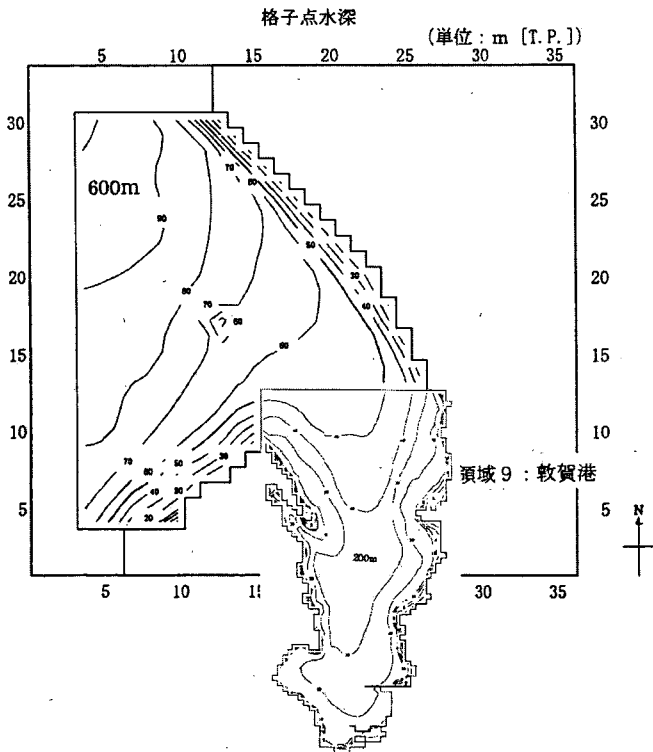


図-4.6(c) 高潮計算計算領域(若狭湾①)

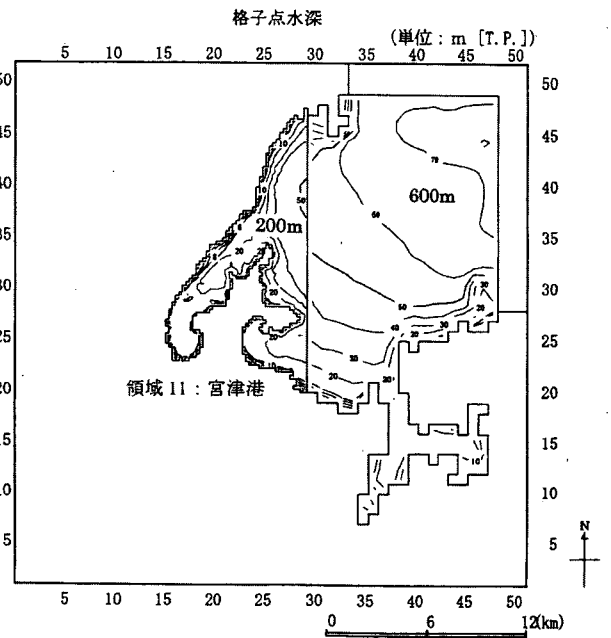


図-4.6(d) 高潮計算計算領域(若狭湾②)

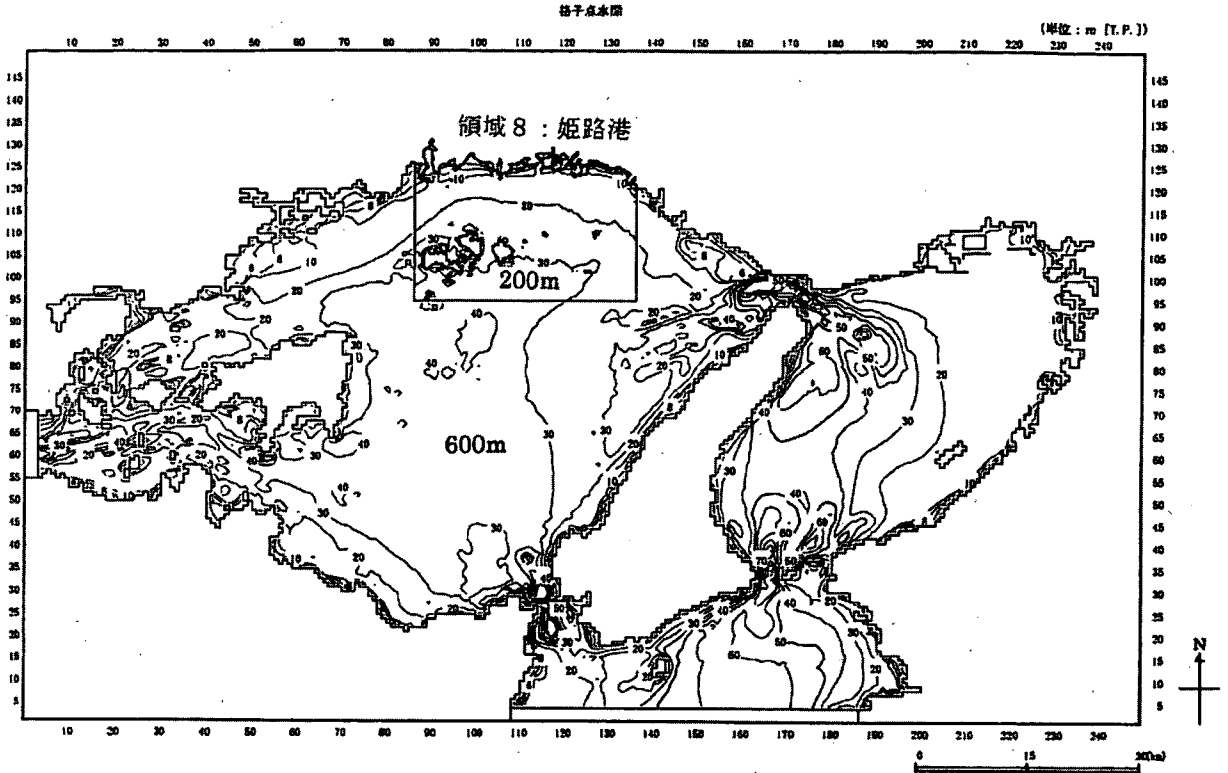


図-4.6(e) 高潮計算計算領域(播磨灘)

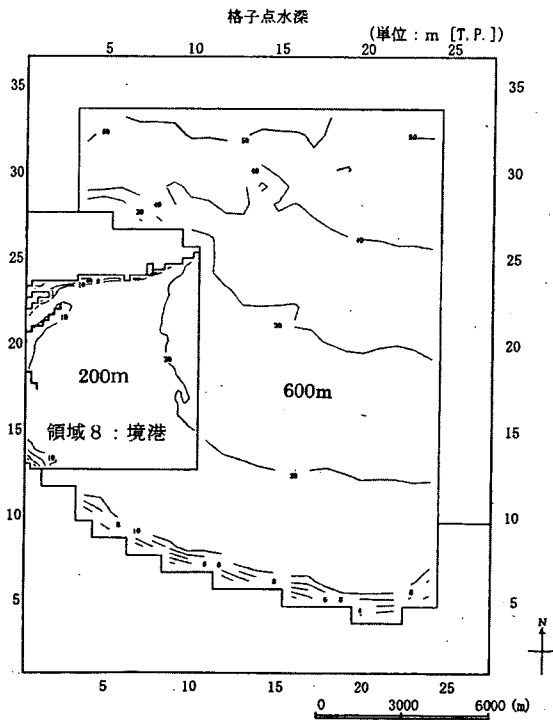


図-4.6(f) 高潮計算計算領域(美保湾)

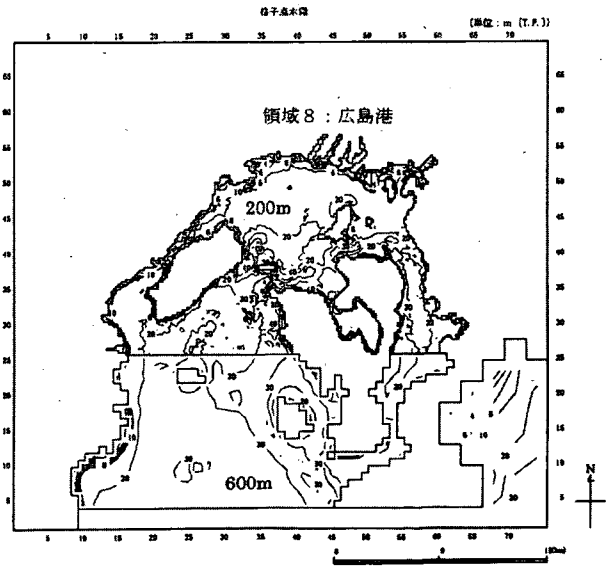


図-4.6(g) 高潮計算計算領域(安芸灘)

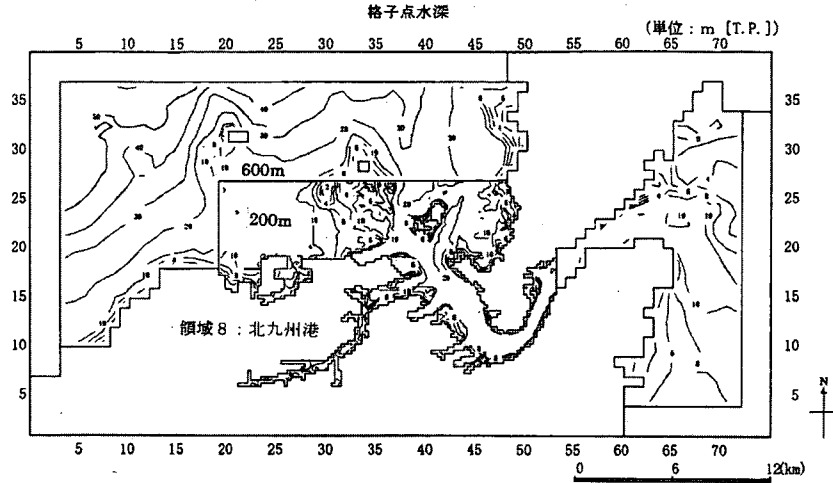


図-4.6(h) 高潮計算計算領域(響灘)

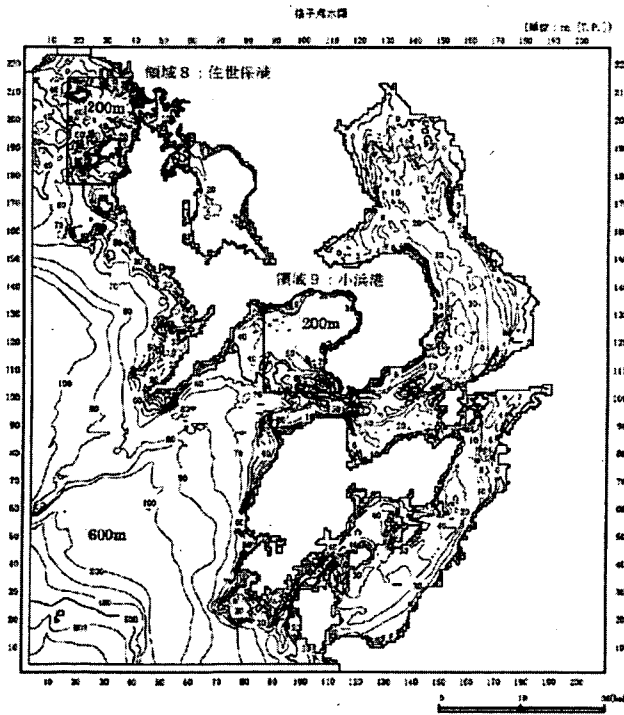


図-4.6(i) 高潮計算計算領域(佐世保湾・橘湾)

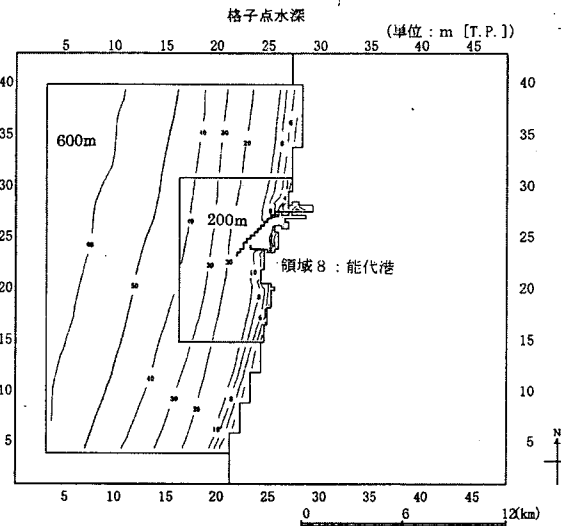


図-4.6(j) 高潮計算計算領域(能代港周辺)

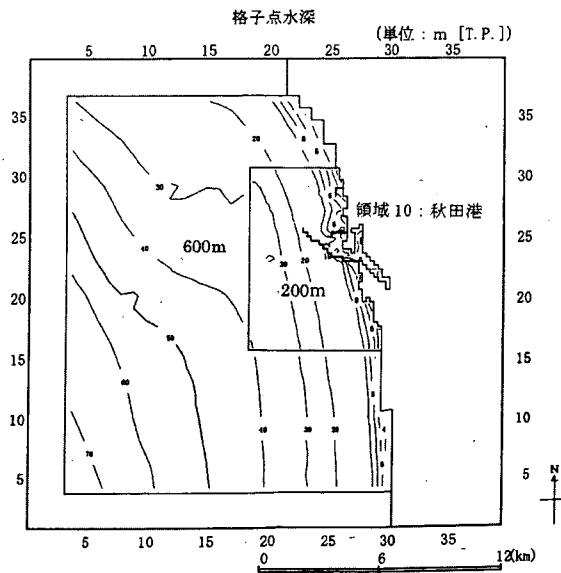


図-4.6(k) 高潮計算計算領域(秋田港周辺)

(1) 詳細計算における予備計算

地形近似度が異なる高潮推算による高潮偏差の差異を把握するため、予備計算を行った。

全国計算において各地点で最高高潮偏差を示した台風ケースについて、詳細計算格子で再計算した。表-4.4に計算を行った想定台風のケースを示す。

高潮偏差が大きく現れる安芸灘及び佐世保湾・橘湾を例として、図-4.7、4.8に前述の全国計算における高潮偏差分布と予備計算における高潮偏差分布を比較して示す。

その結果、1.8km格子の近似レベルは、内湾の湾奥で高潮偏差が大きくなる状況が十分再現されており、高潮偏差の値についても、湾奥部の海岸に接した一部の計算格子を除けば、大差が無いことが確認された。このことから、全国計算における計算結果は1.8km格子で近似した点において大きな問題はないことがわかった。

表-4.4 詳細計算湾予備計算ケース

内湾		計算ケース
陸奥湾	大湊港	No. 201
陸奥湾	青森港	
宮古湾	宮古港	
若狭湾	宮津港	No. 200
若狭湾	敦賀港	
播磨灘	姫路港	No. 112
美保湾	境港	No. 202
安芸湾	広島港	No. 106
響灘	北九州港	No. 203
佐世保湾	佐世保港	No. 204
橘湾	小浜港	

外洋沿岸		計算ケース
日本海沿岸	能代港	No. 201
日本海沿岸	秋田港	

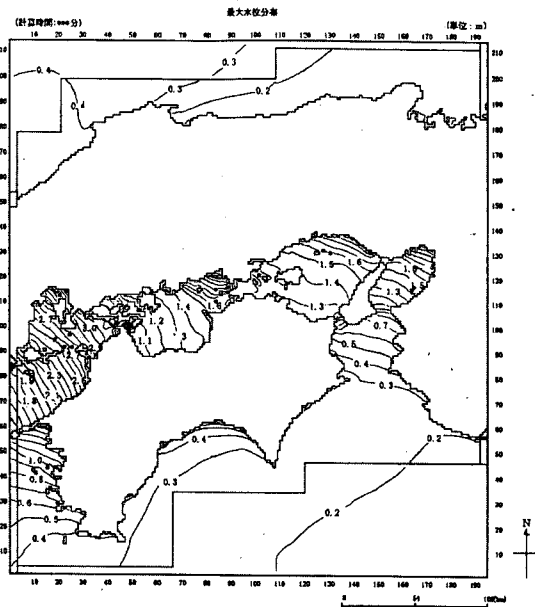


図-4.7(a) 最大高潮偏差分布(全国計算)(安芸灘)

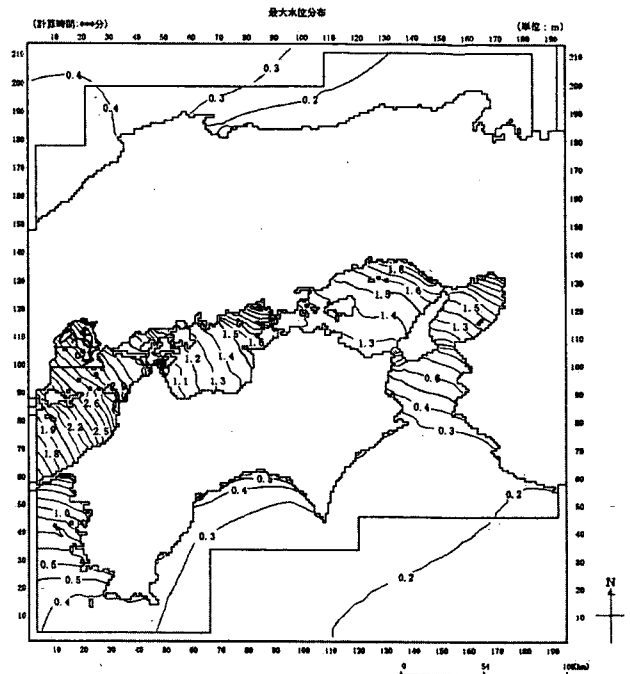


図-4.7(b) 最大高潮偏差分布(詳細計算)(安芸灘)

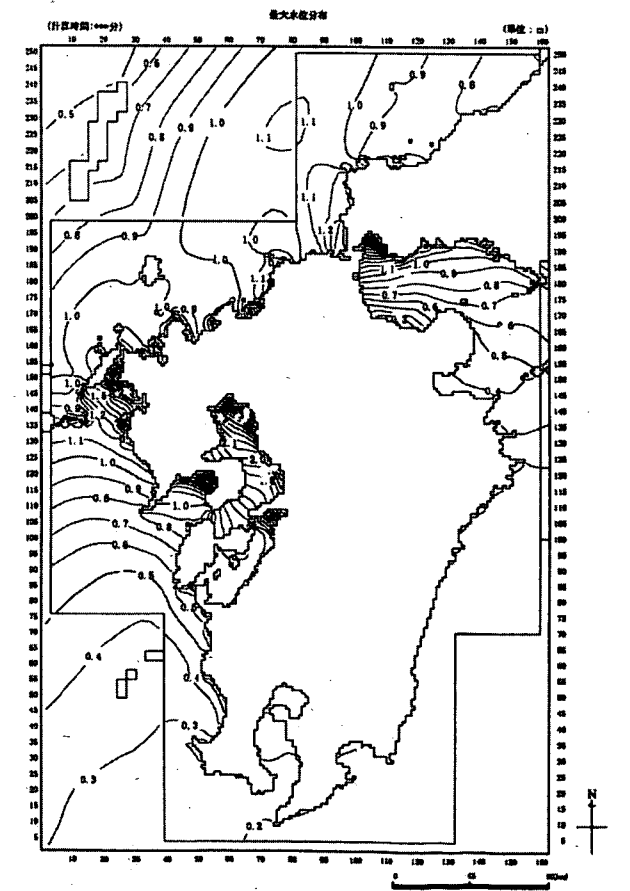


図-4.8(a) 最大高潮偏差分布(全国計算)(佐世保湾・橘湾)

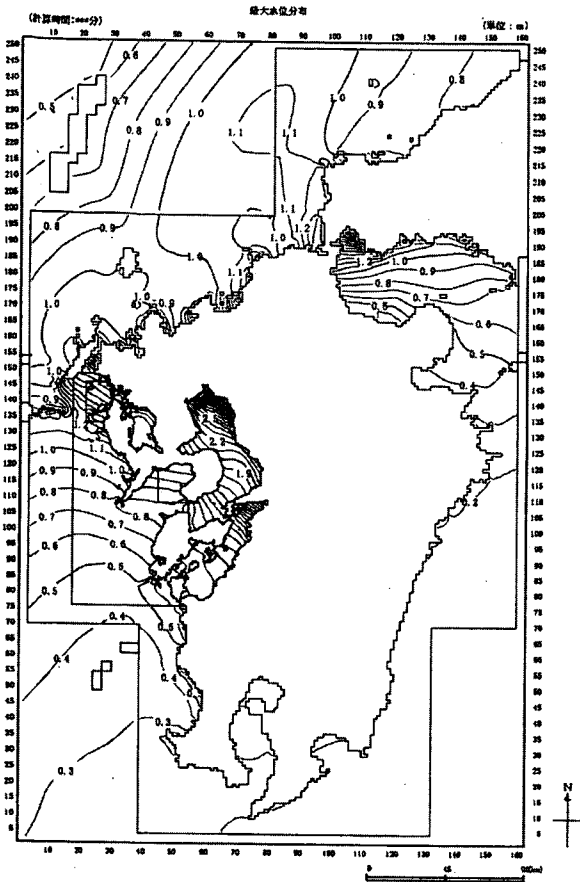


図-4.8 (b) 最大高潮偏差分布(詳細計算) (佐世保湾・橘湾)

(2) 想定台風の選定

詳細計算に用いる台風は、過去に各対象湾に来襲した台風及び過去の顕著な台風のうち、対象湾に最接近したときの気圧が最も低いものを対象とした。

- a) 各湾に来襲した台風として、危険湾内に設けた基準点から台風経路までの距離が短い順に10台風を、
- b) 過去の顕著な台風として

- ① 死者行方不明者を1500人以上出した1981年以前の台風。
- ② 死者・行方不明者を40人以上出した1982年以降の台風。
- ③ 台風8115, 9918号。

のうち、対象湾の近くを通過した台風を選出した。

上記a), b) より対象湾に最接近したときの気圧が最も低いものを抽出した。

なお、既存の台風に関する詳細なデータが無い場合は、台風半径を以下のように調整し、台風データを作成した。

- a) 天気図データより台風半径を概算し、初期台風データとする。
- b) 初期台風データを用い気圧を算定し、気圧の経時変化

を観測データと比較して、ほぼ等しくなるように台風半径の微調整を行う。

これらの作業で抽出した各対象湾の対象台風を表-4.5に示す。計算の対象とする想定台風は、表-4.5に示した対象台風を基本コースとして設定し、そのコースを基本コースにおける対象湾への最接近位置とその際の台風半径及び湾口の位置を考慮し、各対象湾において最大偏差が生じ、対象台風の最悪コースが明確に判明するように平行移動させた。図-4.9に各対象湾の詳細計算における台風コースを示す。

表-4.5 詳細計算対象台風

危険湾	対象台風	
	号	接近時気圧 (hpa)
内湾		
陸奥湾 (青森港・大湊港)	T6118	940
宮古湾 (宮古港)	T8115	964
若狭湾 (宮津港・敦賀港)	T5915	940
播磨灘 (姫路港)	T5915	920
美保湾 (境港)	T9119	945
安芸灘 (広島港)	T9119	945
響灘 (北九州港)	T9119	945
佐世保湾 (佐世保港)	T9119	935
橘湾 (小浜港)	T9119	935
外洋沿岸		
日本海沿岸 (秋田港・能代港)	T9119	955

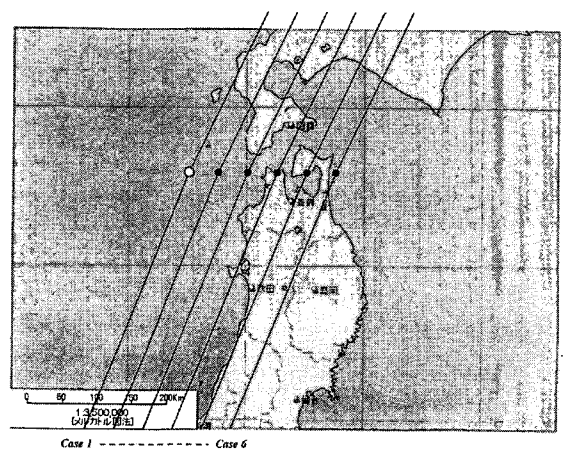


図-4.9 (a) 詳細計算における台風コース(陸奥湾)

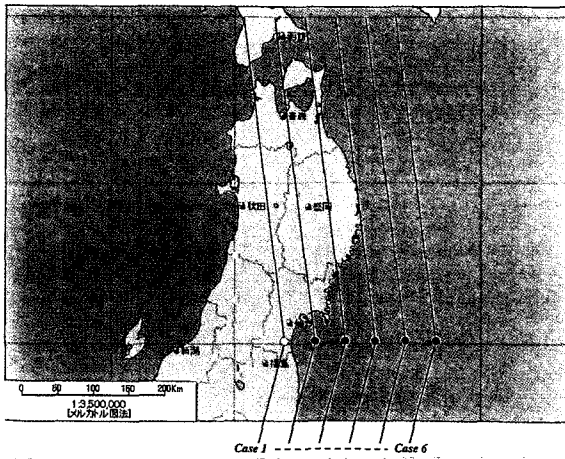


図-4.9(b) 詳細計算における台風コース(宮古湾)

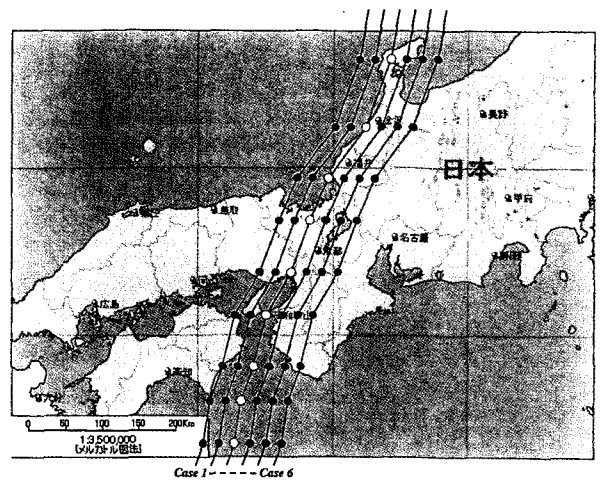


図-4.9(c) 詳細計算における台風コース(若狭湾)

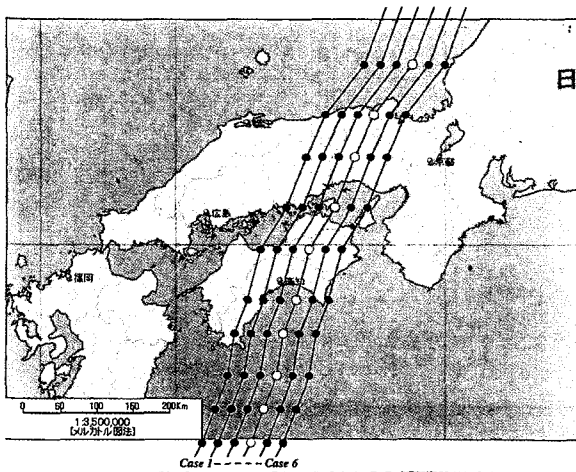


図-4.9(d) 詳細計算における台風コース(播磨灘)

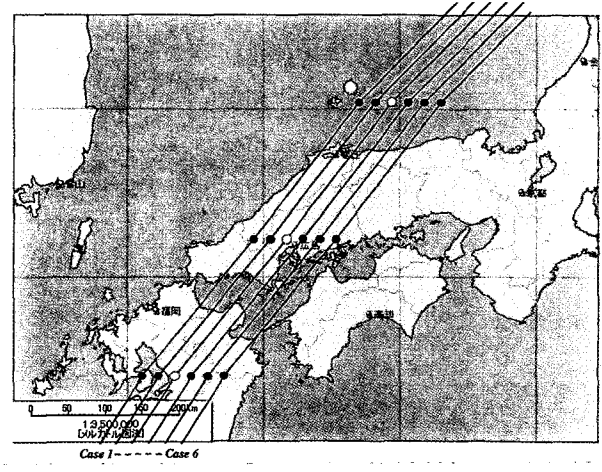


図-4.9(e) 詳細計算における台風コース(美保湾)

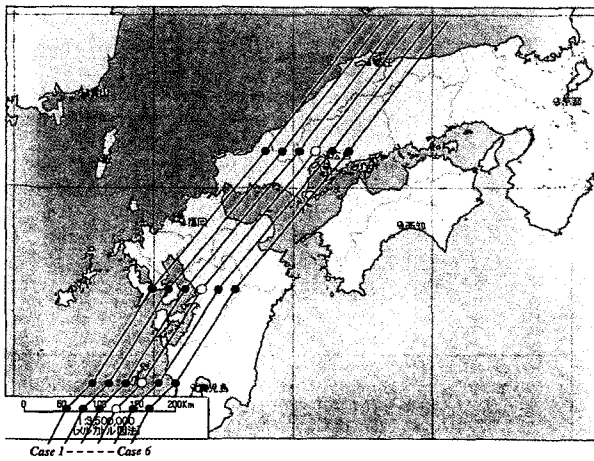


図-4.9(f) 詳細計算における台風コース(安芸灘)

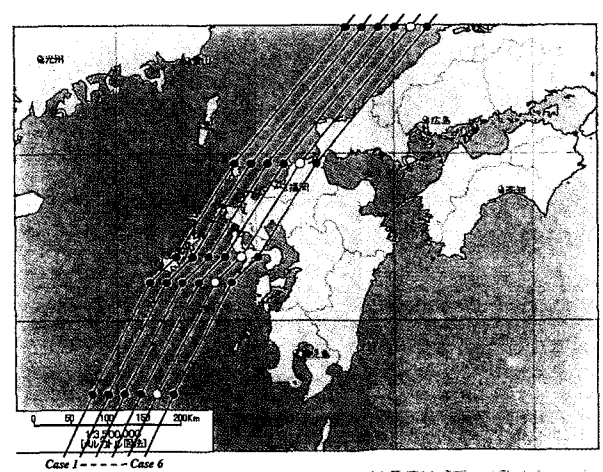


図-4.9(g) 詳細計算における台風コース(響灘)

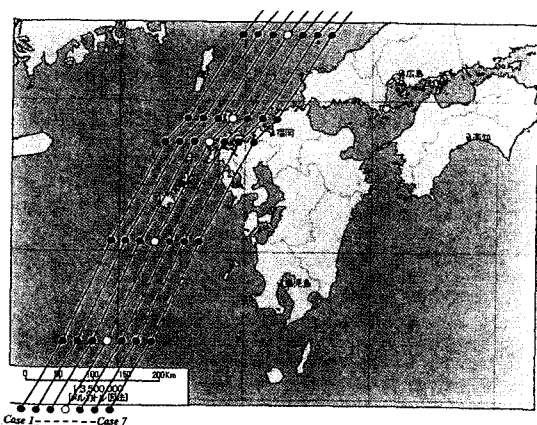


図-4.9(h) 詳細計算における台風コース(佐世保湾・橘湾)

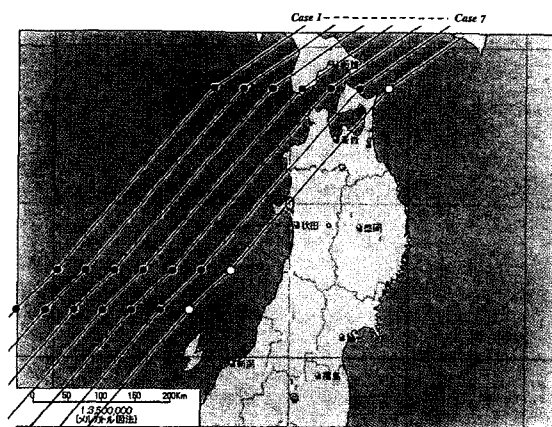


図-4.9(i) 詳細計算における台風コース(日本海沿岸)

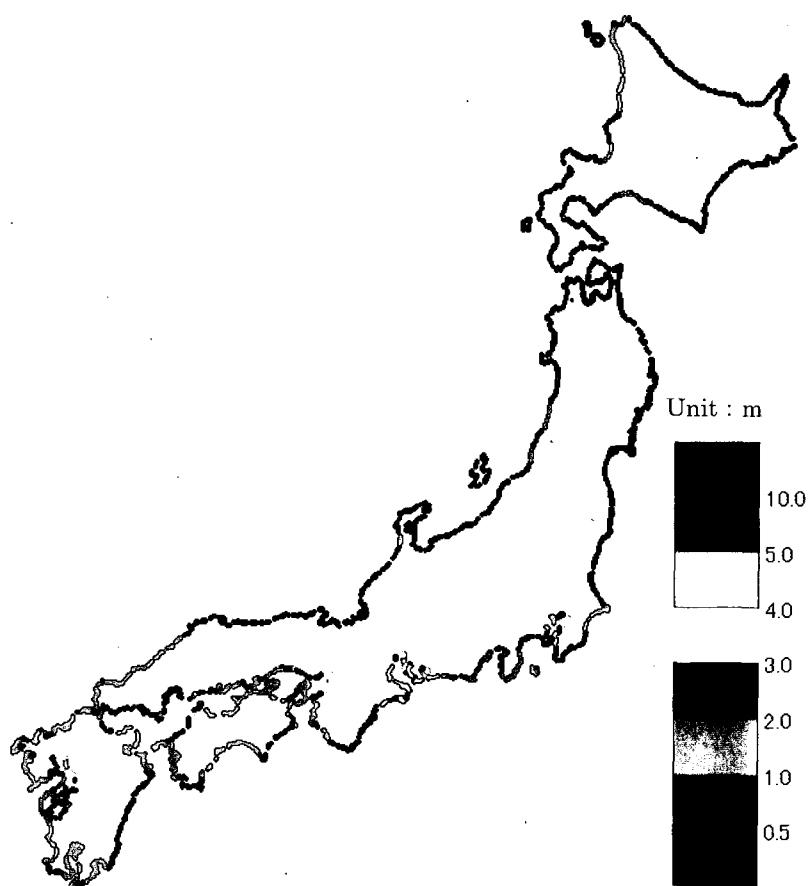


図-4.10 高潮偏差最大値分布図

4.3 計算結果の整理

図-4.10に計算した高潮偏差最大値の分布を示す。また、すべての計算ケースの最高高潮偏差データについて、図-B.2総括図で海岸線における高潮偏差の値を、表-Eで示す細区分ごとの集計表で各細区分における平均値・最大値等

を整理した。

なお、高潮偏差の整理にあたっては、詳細計算(200m～600m)を行った領域についてはその詳細計算結果データを、それ以外の領域については、全国計算データ(1.8km格子)を用いて整理している。

(1) 総括図

図-B.2総括図に、陸地に接した格子の最大高潮偏差値を抽出し、その値を折れ線グラフで図示した。

(2) 各細区分域における整理

すべての計算ケースにおける陸地に接した格子の値を抽出し、各ケース毎に、その区分における平均値と最大値を求めた。その平均値の中で最も高い値となったコースの平均値を細区分平均値とし、最も高い最大値を細区分最大値とした。これらを図-Eに整理した。

4.4 高潮偏差計算結果の活用にあたって

本研究は、日本全国における高潮偏差について、ある程度実現性のある台風を想定して、計算したものである。この計算結果は、日本全国各地沿岸について高潮偏差の大きくなる可能性を示しているものと考えられる。

しかしながら、高潮の発生可能性や発達の過程については考慮していない。高潮対策を行うにあたっては、各地域においてそれぞれ台風発生・発達の可能性等いろいろ詳細な検討を行った上で、その必要性を検討すべきであり、本計算結果の数値をそのまま引用して施設計画に用いることは避けられたい。

既に他で詳細計算が行われている場所については、本調査の詳細計算対象から除外している。よって他でそれぞれの地域特性や台風の発生する可能性を検討した上で詳細に検討されている計算結果については、そちらの方がより確実な計算結果であると思われ、施設設計等に関する計算結果の利用としては、そちらの数字を用いられたい。

本調査結果の見方のひとつとして、従来高潮の発生可能性の検討が行われたことのない地域で、ある程度高い計算結果が今回得られているような場合、高潮偏差が大きくなる可能性があることを示唆しているといえる。よって、是非今後、そういった地域において、詳細な高潮計算を行うことをお勧めしたい。

5. 津波高

日本全国において津波の発生可能性を考慮した上で、各地域における最大級の地震を想定して、津波高の計算を行った。ただし、後述の通り、今回検討を行ったのは、「日本海東縁部」及び「太平洋沿岸」であり、津波発生の可能性が全く不明な、日本海西部や、史実として発生した記録はあるもののその後の活動が全く見られず今後の津波発生可能性の全く見えない沖縄、八重山諸島等は今回の検討

からは除外した。

5.1 日本海東縁部計算

青森県津軽半島沿岸部から能登半島内浦沿岸地域の日本海東縁部について、地域周辺におけるプレートテクトニクス理論及び既往地震観測資料の統計解析から、日本海東縁部における地震の空白域を把握するとともに、地震発生規模と震源断層パラメータの間の特有の傾向を把握し、震源断層モデルを想定した。それらの断層モデルについてシミュレーション計算を行い、当該地域における津波高を算定した。

(1) 想定地震の検討

(a) プレートテクトニクス

図-5.1に示す日本近海のプレート図をみてもわかるように日本海東縁部については不明な点が多く、多くの研究者に研究がなされているが、未だに結論が出ていない。日本海東縁部のプレート境界と地震の空白域に関する既往の研究を整理すると下記のようになる。

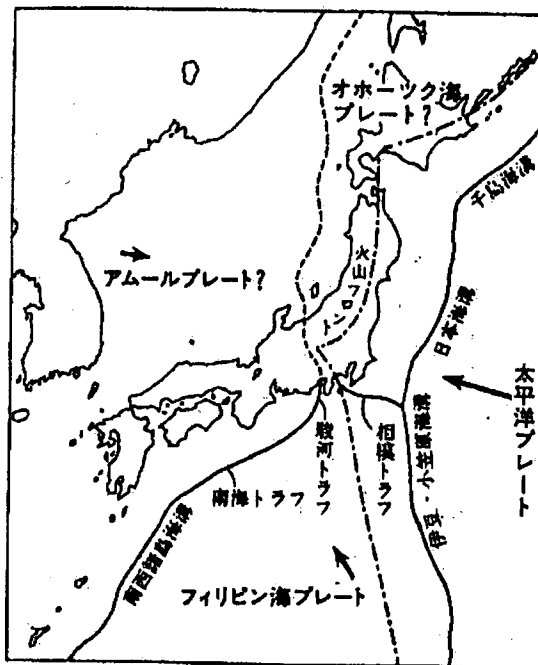


図-5.1 日本付近のプレート (石橋, 1994) ⁷⁾

- a) 日本海東縁部プレートは比較的新しいプレート運動である。
- b) プレートの沈み込み側が未だ決まっていないが、比重の大きいアムールプレートが沈み込む可能性が高いと考えられる。

c) プレート境界は①フォッサマグナから北上し佐渡島沖合、日本海中部、北海道南西沖の各地震の縁部に続くものと、②信濃川沿いから新潟地震南端、日本海中部へ続く2つのラインが想定され、研究者により論争されている。

(b) 地震の想定域

先に述べたように日本海東縁部のプレート境界は2本の線として推定されているためこの2つのプレート境界に沿う地震の空白域を地震の想定域として考える。活動期と静穏期のサイクルを考え、さらに同一期間(活動期)内に同一地域で地震が発生した例がないことから、1833年鼠ヶ関地震以降の震源域をエネルギーが開放された地域として考え、これらの震源域は空白域として想定しない。

地震の空白域は、図-5.2に示す5海域と推定される。また、以下は想定空白域の断層長さである。

- 想定域A : 青森県西方沖 70km程度
- 想定域B : 山形県西方沖 210km程度
- 想定域C : 山形県西方沿岸 140km程度
- 想定域D : 富山県北方沖 140km程度
- 想定域E : 新潟県沿岸 55km程度

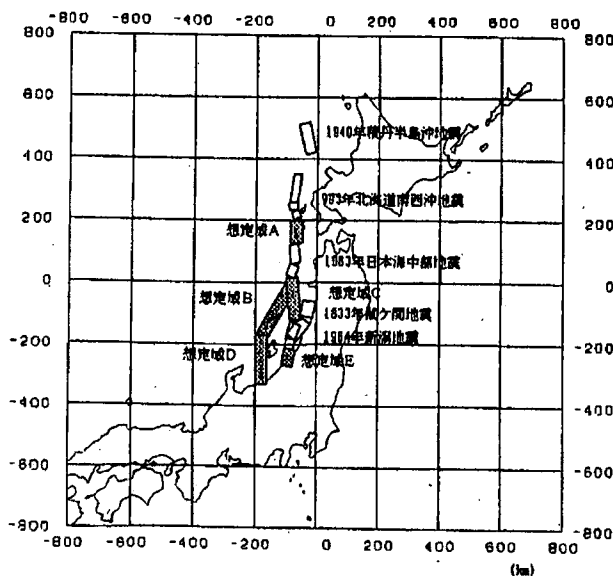


図-5.2 日本海東縁部における地震の想定域

なお想定域A, Cおよび想定域B, Eは、それぞれ大竹(1998)⁸⁾の推定した空白域とほぼ一致した地域である。

(c) 既往地震観測資料の統計解析

太平洋プレートは約4000万年前からのもので海溝があり、沈み込み側が明確である。従って日本海東縁部における震源断層諸元間の関係が太平洋側のものに比べて異なる可能性があるため、相似則を新たに検討する。

日本海東縁部における比較的精度が高いと思われる7個の震源断層データ(稚丹半島沖, 男鹿沖, 新潟, サハリン沖, 日本海中部, 日本海中部最大余震, 北海道南西沖)から、日本海東縁部における震源断層の相似則を導いた。ただし、断層が複合断層の場合、解析が難しいため、地震モーメントが同一となるような1枚断層に換算して解析した。換算結果を表-5.1に示す。

表-5.1 日本海東縁部の震源断層諸元 (一枚断層への換算値)

年	地震名	L	W	D	δ	λ	M ₀ (×10 ²²)	M	Δσ	d	文献
1964	新潟沖地震	84.00	30.00	3.30	34.00	90.00	3.20	7.50	70.00	1.31	佐竹(1984)
1964	男鹿沖地震	50.00	20.00	1.20	50.00	90.00	0.43	6.90	36.00		Fukao(1975)
1963	日本海中部地震	104.00	30.00	4.96	31.00	84.00	5.80	7.70	110.20	2.40	相田(1984)
1963	日本海中部地震最大余震	40.00	15.00	1.67	40.00		0.35	7.10	76.00		佐竹(1984)
1993	北海道南西沖地震	117.00	25.80	5.14		89.41	6.62	7.80		8.82	首藤(1993)
1940	稚丹半島沖地震	100.00	35.00	1.50	40.00	90.00	2.40	7.50	33.00		佐竹(1984)
1971	サハリン沖地震	70.00	25.00	1.50	45.00		0.95	6.90	37.00		Fukao(1975)

その結果、断層長さL(km)は、断層幅W(km)について以下のような相似則を得た。

$$L = 2.63W \tag{5.1}$$

同様に断層のすべり量D(cm)及び、地震モーメントM₀(dyne/cm)は、

$$D = 4.00L \tag{5.2}$$

$$M_0 = 2.05 \times 10^{22} S^{3/2} \tag{5.3}$$

ここに、Sは断層面積(km²)、M₀は気象庁マグニチュードMで、

$$\log_{10} M_0 = 1.43M + 16.72 \tag{5.4}$$

と表される。

なお日本周辺で発生した地震断層パラメータ92個などから計算された断層諸元の相似則は

$$L = 2.00 W \quad (5.5)$$

$$D = 2.00 L \quad (5.6)$$

$$M_0 = 1.23 \times 10^{22} S^{3/2} \quad (5.7)$$

$$\log_{10} M_0 = 1.545 M + 16.51 \quad (5.8)$$

であり、日本海東縁部は日本近傍全体の平均値からはずれる固有の特性があることがわかる。それは、断層長さに比べて断層の幅が短く、断層のすべり量が大きいことである。これが、日本海東縁部で地震マグニチュードの割に大きな津波が起こる理由の一つとして考えられる。

また、その他のパラメータについては、既往地震パラメータ7セットのデータの平均値を用いた。

断層の上縁の深さ 2 km

傾斜角 35°

ずれ角 90° (低角東下りの逆断層)

(d) 断層長さの極値確率統計解析

断層長さについて、日本海東縁部において地震マグニチュードが明らかとなっておりその信頼度が高いと思われる1639年以降の全地震データ31個を用いて極値確率統計解析を行った。なお、グンベル分布及び7種類のワイブル分布に当てはめた結果、最適分布形はワイブル ($k=0.75$) となった。下記に算出した確率断層諸元を示す。

50年確率断層長さ $L = 60\text{km}$ ($M=7.3$ 程度)

100年確率断層長さ $L = 80\text{km}$ ($M=7.5$ 程度)

200年確率断層長さ $L = 100\text{km}$ ($M=7.7$ 程度)

1000年確率断層長さ $L = 150\text{km}$ ($M=8.2$ 程度)

(e) 日本海東縁部における地震の経年出現特性

日本海東縁部における地震活動の特性をみるため、主な地震(津波地震以外も含む)についてその震央および発生時期をみてもと、約100年の活動期と約100年の静穏期が交互に繰り返される傾向がある。これが正しいとすると(1940年ごろより)2040年までは、活動期であると考えられる。また、その場合、100年間の活動期には、200年確率の地震が発生すると平均的に考えられる。

(f) 想定震源断層モデルの検討

想定域(空白域)の長さを地震断層の長さとする場合、長い想定域については防災面から見て安全側であると思われるが、想定域全域にわたって岩盤の亀裂が走るとは考

えにくい。逆に短い想定域については、それ以上長い距離にわたって岩盤の亀裂が走るとは考えにくい。このことから、想定域の長さとして200年確率断層長さの、小さい方の値を想定域の断層長さとした。

想定地震諸元を表-5.2に示す。極値統計解析から求めた200年確率の断層長さは95.5kmであるが、数字を丸めて100kmとしている。また、1,000km以上の長さのある地震空白域に関しては中央部に想定地震の震源を設定している。

表-5.2 想定地震と震源断層諸元

想定域	緯度 (° N)	経度 (° E)	走向 (°)	長さ (km)	幅 (km)	深さ (km)	すべり量 (cm)	傾斜角 (°)	ずれ角 (°)	M
A	41.15	139.00	0	70	27	2	280	35	90	7.3
B	38.93	138.09	30	100	38	2	400	35	90	7.7
C	39.09	139.02	355	100	38	2	400	35	90	7.7
D	37.18	137.75	0	100	38	2	400	35	90	7.7
E	37.60	138.70	12	55	21	2	220	35	90	7

なお、表-5.2に示した5つの想定地震のうち、想定地震A(青森県西方沖)については、地震空白域の長さが70kmと再現期間200年確率の断層長さ1000kmに比べ短いこと、また、本調査対象地域に面した海域で発生するものではないことなどから、津波数値シミュレーションは実施していない。

また、想定地震E(新潟県沿岸)についても、地震空白域の長さが55kmと短く、また、空白域の長さのおおむね半分が内陸部に位置していることから、津波数値シミュレーションは実施していない。

したがって、津波数値シミュレーションは、想定地震B, C, Dで実施した。

- ただし、想定地震D(富山県北方沖)については、
- a) 同海域と陸域延長部(糸魚川静岡構造線)において、過去に大地震が発生したことを示す史料がないこと
 - b) プレート境界が佐渡島の西側と能登半島の間(同海域)を通り糸魚川静岡構造線(フォッサマグナ)につながっているとの学説もあるが、山形沖から新潟・長野の内陸部にかけてを境界とする考えもあり、境界について意見が分かれていることから、どちらの境界が大規模な地震を起こすものかどうかについては確実な資料がないこと
 - c) 同海域の地震活動の面から大地震の空白域と認めない意見があること
 - d) 同海域における海底地震観測結果から同海域のプレート境界の存在の指摘はあるものの、同海域の地下構造についてはほとんどわかっておらず、今後、地下構造研究のための海底地震観測等が計画されていることなど、大規模な地震津波の発生の可能性及び地震津波の規模等

について有識者間でも未だ議論があることから、当該地震でのデータ整理は行わなかった。なお、本調査では、調査対象沿岸地域全域にわたる津波高を把握することを目的に各空白域中央を地震発生場所とした。今後、地域防災計画等で地震津波について詳細に検討する場合は、その地域にとって最も危険となるように地震発生場所を空白域内で設定することが望ましい。

(2) 計算モデル

(a) 基礎方程式

コリオリ力を考慮した非線形長波理論式を用いる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \\ = +fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{F}{D^2} MQ \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) \\ = -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F}{D^2} NQ \end{aligned} \quad (5.11)$$

ここに (x, y) は原点を静水面に採った水平座標、 t は時間、 η は水位変動、 h は静水深、 D は $(D=h+\eta)$ で表される全水深、 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$ 、 g は重力加速度、 F は底面摩擦係数、 (M, N) は各々 (x, y) 方向の流量フラックス、 f はコリオリ係数 ($f = 2\omega \sin \phi$)、 ω は角速度、 ϕ は緯度である。

(b) 初期条件

mansinha and smileの方法を用いて海底地盤の鉛直変動成分を計算しそれを海面の初期水位分布として与える。

(c) 沖側境界条件

最も外側 (日本海全域計算における最も外側) の計算領域境界からの流出量については、進行性長波の水位・流量の関係を用いて次式で与える。

$$\sqrt{M^2 + N^2} = \pm \sqrt{gh\eta} \quad (5.12)$$

この式で左辺の符号は流量が境界から外側に向かう方向を正とする。

(d) 遡上境界条件

陸上への遡上は、岩崎・真野(1979)⁹⁾の方法を用いた。

(e) 越流境界条件

計算領域内の防波堤・堤防等において、水位がその天端高を越えた場合は、次の本間式を用いて単位幅当たりの越流量 Q を計算した。

$$q = 0.35H_1\sqrt{2gH_1} \quad H_2 \leq \frac{2}{3}H_1 \quad (\text{完全越流}) \quad (5.13)$$

$$q = 0.35H_1\sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad H_2 > \frac{2}{3}H_1 \quad (\text{もぐり越流}) \quad (5.14)$$

(f) 他領域との結合部の計算条件

本システムでは、沖合から対象地点沿岸にかけて順次細分化した計算格子領域を結合して計算を行う。計算格子間隔の異なる領域を結合して同時に計算する際には、次のような処理を行っている。

- a) 大格子領域で計算された流量を補間して小領域に与える。
- b) 小格子領域で計算された水位のうち大格子領域の中心に相当する市の値をそのまま大格子領域に与える。厳密に位置が一致しない場合 (2分割法) は、補間して値を与える。

(g) 計算モデルの領域構成と格子間隔

図-5.3および表-5.3に計算範囲および格子間隔を示す。

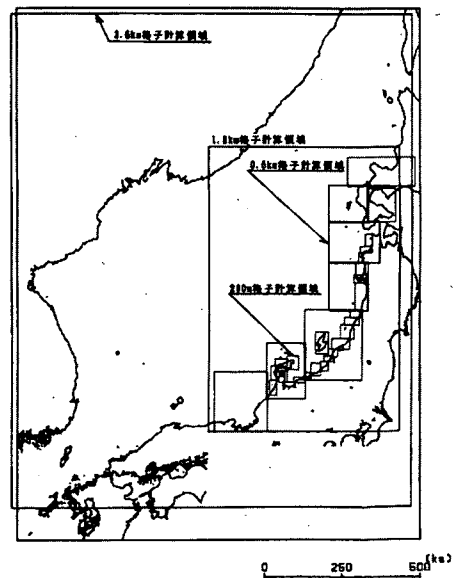


図-5.3 津波シミュレーション計算領域

表-5.3 計算領域

格子間隔 (Km)	格子構成	領域番号	対象範囲の目安	
3.6	360×450	1	日本海全域	
1.8	342×520	2	北海道南部～近畿地方の日本海沿岸	
0.6	285×324	3	若狭湾沿岸	
	210×300	4	能登半島と富山湾沿岸	
	309×381	5	新潟県沿岸	
	207×270	6	秋田県, 山形県沿岸	
	270×234	7	青森県沿岸	
	210×204	8	奥尻島, 渡島半島西岸	
	360×156	9	積丹半島沿岸	
	150×186	10	内浦湾沿岸	
	0.2	120×246	11	金沢周辺
		108×234	12	羽咋周辺
195×123		13	輪島周辺	
189×222		14	珠洲周辺	
132×234		15	七尾周辺	
204×81		16	富山周辺	
180×90		17	黒部周辺	
105×99		18	糸魚川周辺	
165×195		19	道江津周辺	
132×156		20	柏崎周辺	
135×90		21	出雲崎周辺	
150×126		22	寺泊周辺	
291×171		23	新潟周辺	
216×231		24	村上周辺	
240×126		25	鶴岡周辺	
168×123		26	酒田周辺	
210×357		27	佐渡島	
189×459		28	本荘周辺	
192×141		29	男鹿周辺	
150×210		30	能代周辺	
81×174		31	深浦周辺	
186×111		32	鱒ヶ沢周辺	
120×207		33	小泊周辺	

$$\log \kappa = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log(R_i / H_i))^2 - (\log K)^2 \right)^{1/2} \quad (5.17)$$

で表される値である。K値は全体として計算値をK倍すれば痕跡値に一致するという指標であり、1に近い場合ほど良好な結果である。また、κ値は計算値のばらつき度を示すもので、対数値で表した標準偏差に相当する量である。K値をκ倍した範囲に各地点の比(R/H)が収まると評価され、小さい値ほど良い。

ここでは、観測値として痕跡高を、計算値として最大津波水位を用いた。痕跡高は局地的な地形条件の影響を受けたものであることに留意する必要がある。

本モデルによる計算結果の再現性は表-5.4に示すとおりである。平均倍率および幾何平均とも約1.1、幾何分散は約1/3であることから、計算結果はおおむね良好であるものと考えられる。

ここでは、日本海中部地震津波による日本海沿岸の平均倍率(200m格子)と北海道南西沖地震津波による北海道日本海沿岸の平均倍率(600m格子)の平均、

$$(1.121 + 1.195) / 2 = 1.158 \quad (5.18)$$

(3) 再現計算に基づく解析モデルの検証

津波再現計算のケースは①日本海中部地震津波②北海道南西沖地震津波の2ケースを行った。

(a) 津波第一波到達時間の比較

日本海沿岸の検潮所における検潮記録から解析された津波の第一波の到達時刻と計算から求めた津波の到達時刻の比較を行った結果、計算値と実測値の差は震源から遠方の地点を除いておおむね5分以内となっておりほぼ一致しているものとみなせる。

(b) 最大水位の計算値と痕跡値の比較

計算結果の再現性の評価においては、平均倍率Aおよび相田による評価指標K(幾何平均)、κ(幾何分散)を用いる。これは、ある地点の観測値をR_i、計算値をH_i(添え字iは地点番号)として、

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i / H_i) \quad (5.15)$$

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(R_i / H_i) \quad (5.16)$$

を、再現計算による計算値と痕跡高の差を補正する係数とした。

表-5.4(a) 計算結果の再現性

(1983年日本海中部地震津波)

対象地域	平均倍率	幾何平均	幾何分散	データ数	計算格子
本州日本海沿岸	1.121	1.099	1.35	98個	200m

表-5.4(b) 計算結果の再現性

(1993年北海道南西沖地震津波)

対象地域	平均倍率	幾何平均	幾何分散	データ数	計算格子
本州日本海沿岸	1.087	1.139	1.295	32個	200m
北海道日本海沿岸	1.195	1.148	1.385	63個	600m

(c) 複合断層モデルの扱い

日本海東縁部で発生した地震は、複数枚の断層で表されるものが多い。本調査では、1枚断層に関するモデル以外解析することが難しいため、複合断層の地震モーメントが1枚断層に等価になるように換算して、統計解析することとした。ここでは、既往の1964年新潟地震、1983年日本海中部地震、1993年北海道南西沖地震の3つの複合断層地震津波に関して複合断層モデルおよび換算1枚断層モデルを用いて津波数値解析を行い、痕跡値と計算値を比較する

ことにより、1枚断層による解析の問題点について考察した。なお、解析計算は1.8kmメッシュで行った。

その結果、表-5.5のとおり、複合断層モデルを津波初期波形とした計算値の方が痕跡値と計算値の比に関する標準偏差、幾何分散ともに小さく精度が高い計算が行われることがわかった。痕跡値と計算値の比の平均値は複合断層モデルで2.00、1枚断層モデルで2.16となり、次編の津波の数値解析では、両者の比、補正係数1.08を1枚モデルでは表現できない量として、複合断層モデルと1枚断層モデルの差を補正する係数とする。

表-5.5 複合断層モデルと1枚断層モデルの比較

①複合断層モデル（代数平均と標準偏差）

	200m水深計算値		海岸線計算値	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
北海道南西沖地震津波	5.07	5.90	1.83	2.47
日本海中部地震津波	4.20	4.13	2.25	2.07
新潟地震津波	5.61	6.66	1.60	1.70
全体	4.57	5.52	2.00	2.08

②複合断層モデル（幾何平均と幾何分散）

	200m水深計算値		海岸線計算値	
	幾何平均	幾何分散	幾何平均	幾何分散
北海道南西沖地震津波	5.67	1.68	2.14	1.74
日本海中部地震津波	4.23	1.76	2.31	1.63
新潟地震津波	5.29	2.18	1.70	1.73
全体	4.79	1.88	2.09	1.71

③ 1枚断層モデル（代数平均と標準偏差）

	200m水深計算値		海岸線計算値	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
北海道南西沖地震津波	8.52	6.78	2.67	4.52
日本海中部地震津波	4.37	5.28	2.12	2.43
新潟地震津波	5.29	7.97	2.00	1.87
全体	4.92	7.12	2.16	2.97

④ 1枚断層モデル（幾何平均と幾何分散）

	200m水深計算値		海岸線計算値	
	幾何平均	幾何分散	幾何平均	幾何分散
北海道南西沖地震津波	8.84	1.52	3.26	1.93
日本海中部地震津波	4.90	1.77	2.41	1.69
新潟地震津波	5.60	2.29	2.04	1.66
全体	5.79	1.94	2.47	1.78

(d) 最大津波水位の補正

$$H' = A \times B \times H \quad (5.19)$$

ここで、

A: 再現計算による計算値と痕跡高の差を補正する係数
 B: 複合断層モデルと1枚断層モデルの差を補正する係数
 よって補正最大津波水位 H' は、

$$H' = 1.158 \times 1.08 \times H = 1.25H \quad (5.20)$$

5.2 太平洋沿岸部計算

(1) 想定地震の検討

想定地震の設定にあたっては、下記の方法に従い、検討を行った。

- a) 想定地震の設定規模は歴史地震も含め既往最大級の地震規模を用いる。
- b) 想定地震の地域区分はプレートテクトニクス（地震地体構造）理論に基づき設定する。
- c) 想定地震の発生位置は既往地震を含め太平洋沿岸を網羅するように設定する。

(a) プレートテクトニクスによる地域区分

プレートテクトニクス理論による地体区分には、種々の区分案があるが、本調査では、現時点において広く知られている区分案として萩原(1991)¹⁰⁾によって提案された、図-5.4に示す地体区分を用いた。

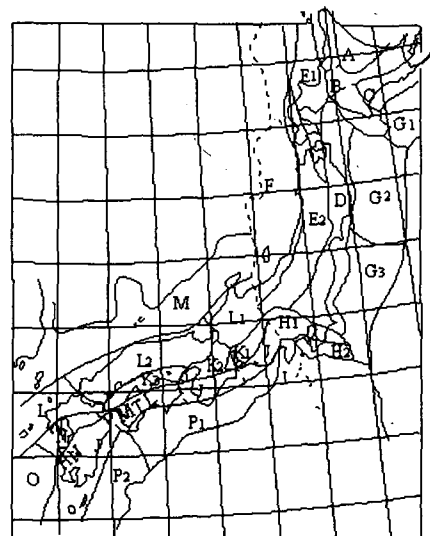


図-5.4 地体構造区分

(b) 地域区分別最大地震規模

本調査では、地域区分別の既往地震の最大地震規模（マグニチュード）を各地域区分の想定地震の地震マグニチュードとした。地域区分別の既往地震の最大マグニチュードは、推測値に幅があるものがあり、前述の萩原らによって示されたこれらの地震についての平均的な値を、想定地震のマグニチュードとした。想定地震マグニチュードを表-5.6に示す。

表-5.6 地域区分別最大地震規模

地域区分	最大マグニチュード	既往最大地震
G 1	8.2	1952年十勝沖地震
G 2	8.5	1896年明治三陸地震
G 3	8.0	1677年常陸沖地震
H 2	8.1	1703年元禄地震
I	7.3	1930年北伊豆地震
P 1	8.4	1854年安政東海・南海地震
P 2	7.5	1968年日向灘地震

表-5.7 既往地震の震源断層パラメータ

地域区分		発生年		地震名	M	d (Km)	δ (°)	λ (°)	L (km)	W (km)	U (cm)	M_0 (dyne · cm)	出典
		西暦	和暦										
G 1	1	1952	昭和	十勝沖地震	8.2	1.0	20.0	76.0	130.0	100.0	350	2.3E 28	相田 (1978)
	2	1958	昭和	エトロフ沖地震	8.1	-	30.0	90.0	150.0	80.0	510	4.4E 28	Fukao&Furumoto (1979)
	3	1961	昭和	釧路沖地震	7.2	36.0	24.0	113.0	40.0	25.0	120	4.2E 26	宮島・阿部 (1982)
	4	1963	昭和	エトロフ沖地震	8.1	4.0	22.0	90.0	250.0	150.0	300	7.5E 28	Kanamori (1970)
	5	1968	昭和	北海道東方沖地震	7.8	0.0	16.0	90.0	180.0	85.0	290	2.2E 28	阿部 (1973)
	6	1973	昭和	根室半島沖地震	7.4	1.0	27.0	101.0	100.0	100.0	96	6.7E 27	相田 (1978)
G2	1	1793	寛政	宮崎県沖地震	7.1	1.0	40.0	90.0	120.0	30.0	390	6.3E 27	相田 (1977)
	2	1856	安政	八戸沖地震	7.8	1.0	20.0	90.0	120.0	70.0	810	3.1E 28	相田 (1977)
	3	1896	明治	三陸地震	8.5	1.0	20.0	58.0	210.0	50.0	1250	5.9E 28	相田 (1977)
	4	1968	昭和	北海道東方沖地震	7.9	1.0	20.0	38.0	150.0	100.0	400	2.8E 28	相田 (1978)
	5	1968	昭和	根室半島沖地震	7.2	1.0	30.0	31.0	70.0	50.0	180	3.1E 28	相田 (1978)
G3	1	1983	昭和	福島県沖地震	7.0	20.0	10.0	100.0	75.0	40.0	270	4.0E 27	阿部 (1977)
	2	1983	昭和	福島県沖地震	7.5	20.0	10.0	95.0	100.0	60.0	230	7.0E 27	阿部 (1977)
	3	1983	昭和	福島県沖地震	7.3	20.0	10.0	108.0	100.0	60.0	160	4.8E 27	阿部 (1977)
	4	1978	昭和	宮城県沖地震	7.4	25.0	20.0	76.0	26.0	65.0	200	2.4E 27	相田 (1978)
H 2	1	1703	元禄	関東地震	8.2	0.0	33.3	138.0	191.0	67.0	687	4.4E 28	Matsuda et al. (1978)
	2	1923	大正	関東地震	7.9	5.0	30.0	146.0	85.0	40.0	720	-	Scholz & Kato (1978)
P1	1	1498	明応	東海地震	8.6	1.0	30.0	109.0	220.0	80.0	800	7.0E 28	相田 (1981)
	2	1605	慶長	東海地震	7.9	1.0	30.0	134.0	347.0	89.0	755	1.17E 29	相田 (1981)
	3	1707	宝永	東海・南海地震	8.4	3.3	20.3	99.3	498.0	81.0	734	1.48E 29	相田 (1981)
	4	1854	安政	東海地震	8.4	2.7	27.5	98.3	257.0	90.0	400	4.63E 28	石橋 (1981)
	5	1954	安政	南海地震	8.4	3.7	17.0	120.0	267.0	105.0	581	8.14E 28	相田 (1981)
	6	1944	昭和	東南海地震	7.9	0	30.0	72.0	231.0	70.0	193	1.56E 28	相田 (1979)
	7	1946	昭和	南海地震	8.0	4.3	16.3	112.0	242.0	102.0	463	5.71E 28	相田 (1981)
P 2	1	1968	昭和	日向灘地震	7.5	4.0	23.0	125.0	55.0	35.0	170	1.64E 27	相田 (1974)
	2	1970	昭和	日向灘地震	6.7	6.7	10.0	90.0	31.0	24.0	100	4.69E 26	Shiono et al.

(c) 既往地震震源断層パラメータの統計解析

太平洋沿岸の各地体区分を三陸(G1, G2, G3), 相模(H2), 東南海(P1, P2)の3地域別に統計解析した。相似則の解析を行う対象は, プレート境界型地震(底角逆断層タイプ)に限定し, それ以外の既往地震(高角断層等)については除外して解析を行った。使用した既往地震のデータを, 表-5.7に示す。

地震マグニチュードと断層長(L), 断層幅(W), すべり量(U), 断層面積(S)の関係は, $L=aW, D=bL, \log S=cM+d$ で表されるが, これを

$$\log \begin{pmatrix} L \\ W \\ U \end{pmatrix} = aM + b$$

$$\log L = \frac{c}{2}M + \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}\log a$$

$$\rightarrow \log L = aM + b \quad (5.21)$$

$$\log M = \frac{c}{2}M + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}\log a$$

$$\rightarrow \log W = aM + b \quad (5.22)$$

$$\log U = \frac{c}{2}M + \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}\log a + \log b$$

$$\rightarrow \log U = aM + b \quad (5.23)$$

の3式を得た。

解析を行った結果, 表-5.8に示す推定式が導き出された。

表-5.8 地体区分別震源断層パラメータ推定式

		三陸 G ₁ , G ₂ , G ₃	相模 H ₂	東南海 P ₁ , P ₂
logS=aM+b	a	0.66	1.92	0.89
	b	-1.21	-11.63	-3.00
L=cW	c	1.87	2.49	2.97
U=eL	e	3.28	6.03	2.23
断層深さ(km)	d	9	2	7
傾斜角(°)	δ	21	32	23
すべり角(°)	λ	83	142	107
logS=flogMo+g	f	0.69	0.69	0.69
	g	-15.53	-15.82	-15.60
logMo=hM+i	h	1.45	1.45	1.45
	i	23.43	25.67	23.86
logL=aM+b	a	0.33	0.96	0.45
	b	-0.47	-5.62	-1.26
logW=aM+b	a	0.33	0.96	0.45
	b	-0.74	-6.01	-1.74
logU=aM+b	a	0.33	0.96	0.45
	b	0.05	-4.84	-0.92

(d) 計算対象地震断層パラメータ

①既往地震断層モデル

既往地震の計算については, 津波数値解析の対象として規模の大きなものに限ることとし, 地震規模Mが7.5以上のものとした。計算を行った震源断層モデルを表-5.9に示す。

表-5.9 計算対象既往地震

地体区分		発生年		地震名
		西暦	和暦	
G1	1	1952	昭和	十勝沖地震
	2	1969	昭和	北海道東方沖地震
	3	1994	平成	北海道東方沖地震
G2	1	1611	慶長	三陸地震
	2	1856	安政	八戸沖地震
	3	1896	明治	三陸地震
	4	1931	昭和	八戸沖地震
	5	1933	昭和	三陸地震
	6	1968	昭和	十勝沖地震
G3	1	1983	昭和	福島県沖地震
H2	1	1703	元禄	関東地震
	2	1923	大正	関東地震
P1	1	1498	明応	東海地震
	2	1605	慶長	東海地震
	3	1707	宝永	東海・南海地震
	4	1854	安政	東海地震
	5	1854	安政	南海地震
	6	1944	昭和	東南海地震
	7	1946	昭和	南海地震
P2	1	1968	昭和	日向灘地震

②想定地震モデル

パラメータの設定にあたっては, 震源断層パラメータの内, 断層長(L), 断層幅(W), およびすべり量(U)については, 表に示した推定式と各地体区分における最大マグニチュードより算出した。また, 傾斜角(δ)およびすべり角(λ)については, 各地体区分における平均値を用い, 断層深さ(d)については, 平均値は比較的深い地震による影響が大きいため, 危険側を考慮して浅い地震を対象として設定した。

ただし, ここでは, 断層長さ, 断層幅については10km単位に, すべり量については10cm単位に, 傾斜角およびすべり角については5°単位に, それぞれ危険側になるよう考慮して値を丸めた。表-5.10に想定地震モデルのパラメータを示す。

表-5.10 想定地震モデルパラメータ

	G ₁	G ₂	G ₃	H ₂	P ₁	P ₂
M _{max}	8.2	8.5	8	8.1	8.4	7.5
L (km)	180	220	150	150	300	120
W (cm)	100	120	80	60	100	40
U (km)	570	720	490	870	670	270
d (km)	1	1	1	2	2	2
δ (°)	20	20	20	30	20	20
λ (°)	85	85	85	140	105	105
Mo (dyne/cm)	5.13E+28	9.50E+28	2.94E+28	3.91E+28	1.01E+29	6.47E+27

断層の位置については、各地体区分別に、以下の考え方にに基づき設定を行った。

- a) 断層の設定範囲は、各地体区分領域を網羅するように設定する。
- b) 各地体区分の境界においては、同一のプレート境界（例えばG1, G2, G3の境界）の場合、双方の断層の中央が境界上に位置する可能性があるものと考え、境界上において双方の断層モデルを設定する。
- c) 断層モデルの設定間隔は、おおむね $L/2$ を目安として設定を行う。
- d) 地体区分の幅方向での断層面位置については、既往地震の平均位置を用いてプレート境界に沿うように設定を行う。

図-5.5に、各地体区分における主な既往地震を、図-5.6に想定地震の設定位置を示す。

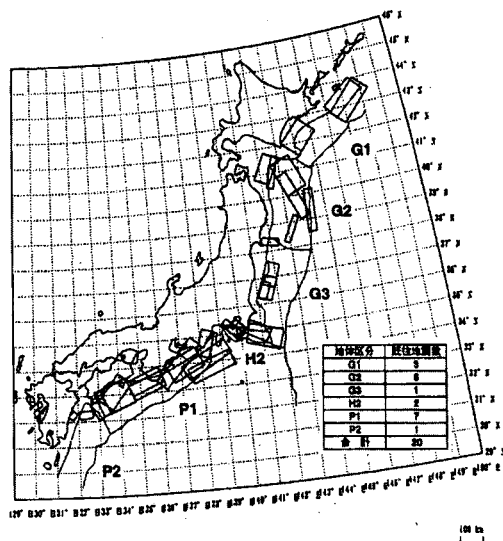


図-5.5 既往地震断層モデル

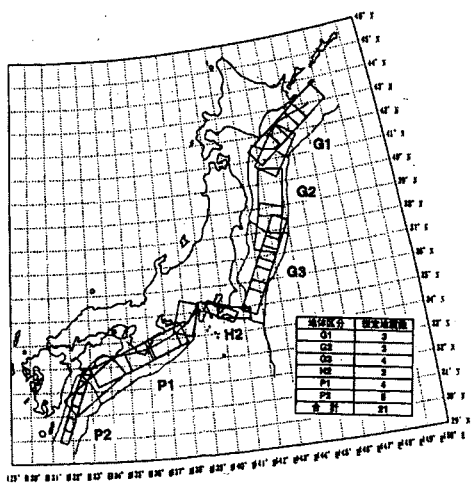


図-5.6 想定地震断層モデル

(2) 計算モデル

津波数値解析手法は、簡易的なモデルを利用した。

(a) 計算モデル

太平洋沿岸での計算にあたっては、日本海東縁部における計算と同様の手法で行うこととするが、a) 想定地震の設定を数多く見込んでいること、b) 広い領域を対象としていること、c) 沿岸部における津波高の傾向の概略把握が目的であることなどから、処理速度の高速化を考え、一部を簡略化したモデル、線形理論式を採用することとした。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{5.24}$$

$$\left(\frac{\partial M}{\partial t}\right) = +fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{F}{D^2} MQ \tag{5.25}$$

$$\left(\frac{\partial N}{\partial t}\right) = -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{F}{D^2} NQ \tag{5.26}$$

また、格子間隔については、沿岸域の計算格子を計算精度が確保可能と考えられる最小メッシュ長600mとした。

(b) 計算領域の設定

津波数値解析の対象範囲は太平洋沿岸とした。計算領域は計算に要する時間を短縮することを目的としていくつかの計算領域に分割した、計算領域の分割については想定地震の影響範囲等を考慮して設定した。

なお、南西諸島に関しては以下の理由により津波数値解析の対象とはしないこととした。

- a) 薩南諸島・琉球諸島での既往津波記録が少ない。
- b) 上記の理由により想定地震（初期波形）の設定が困難である。
- c) 明和八重山津波を除くとチリ地震津波高が最大と想定される。
- d) 明和八重山津波の発生機構は不明瞭であり、本調査の想定地震としては取り扱うことが困難である。

津波数値計算の計算領域の全体を図-5.7に示す。格子間隔3.6km~0.6kmの3段階で計算領域を構成し、全部で表-5.11の23領域を設定することとした。数値計算を行う際には、表-5.11に示すように、太平洋沿岸をW, E, Nの3つの範囲に分割し計算を行うこととした。

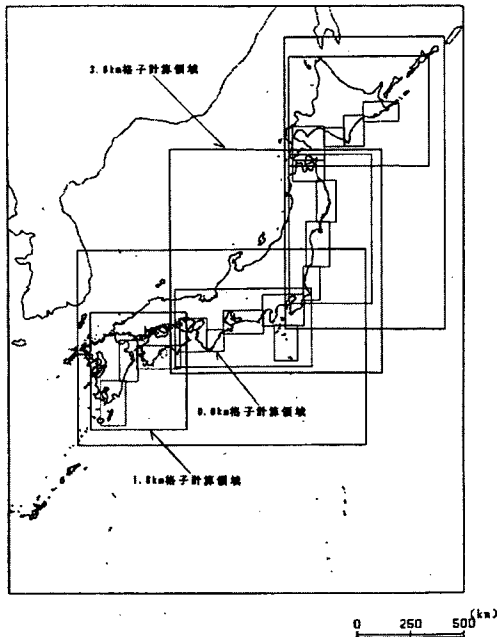


図-5.7 津波シミュレーション計算領域

表-5.11 計算領域

格子数	番号	対象範囲	W E N		
			W	E	N
3.6 km	370 × 250	1 九州～関東地方	○		
	270 × 286	2 紀伊半島～三陸地方		○	
	205 × 374	3 関東地方～北海道			○
1.8 km	250 × 300	4 九州～四国	○		
	350 × 200	5 紀伊半島～房総半島	○	○	
	210 × 384	6 常磐～三陸		○	○
	360 × 280	7 北海道			○
0.6 km	200 × 348	8 薩南諸島と九州南部	○		
	150 × 316	9 九州北部	○		
	336 × 180	10 愛媛県, 高知県			
	210 × 260	11 徳島県, 大阪湾, 和歌山県	○	○	
	138 × 170	12 三重県	○	○	
	306 × 180	13 伊勢湾, 愛知県, 静岡県	○	○	
	321 × 240	14 伊豆半島, 東京湾, 外房	○	○	
	180 × 276	15 伊豆諸島	○	○	
	130 × 264	16 九十九里浜, 茨城県		○	○
	180 × 351	17 福島県, 宮城県	○	○	
	150 × 324	18 岩手県		○	○
	240 × 165	19 青森県		○	○
	240 × 266	20 渡島沿岸			○
162 × 145	21 日高胆振			○	
150 × 240	22 十勝釧路沿岸南部			○	
276 × 150	23 十勝釧路沿岸北部			○	

(3) 計算精度の確認及び補正

以下のデータ採用基準を設けて推算値と痕跡値の比較を行った。

- a) 痕跡値の分布状況から、各沿岸で高い津波水位を記録したものと、痕跡値データの多い地震津波について検証を行う。検証を行った地震津波は表-5.12のとおり。
- b) 局所的な地形の効果が影響していると考えられる痕跡値は相関解析に利用しない。
- c) 痕跡値に対応する計算値としては該当する格子の±1格子分の範囲における平均値を利用した。

計算結果の再現性の評価においては、日本海東縁部と同様、痕跡値と計算値を用いて算定される平均倍率 A および相田による評価指標 K （幾何平均）、 κ （幾何分散）を用いた。

計算された各指標の値を表-5.12に示す。沿岸での津波水位については、計算値に増幅率（平均倍率）を乗じ、補正することとした。使用した平均倍率は、表-5.12の最下段に求められている全既往地震の（データ数による）重み付け平均1.242を用いた。

表-5.12 計算結果の再現性

地震名	平均倍率	幾何平均 K	幾何分散 κ	データ数	計算格子
1952年十勝沖地震	1.224	1.236	1.462	25	600m
1994年北海道東方沖地震	0.813	0.752	1.454	14	600m
△ 1611年慶長三陸地震	1.330	1.452	1.545	10	600m
1896年明治三陸地震	1.149	1.058	1.407	72	600m
1933年昭和三陸地震	1.048	1.051	1.405	73	600m
1968年十勝沖地震	1.205	1.222	1.288	23	600m
△ 1938年福島県沖地震Ⅱ	0.640	0.688	1.431	3	600m
△ 1938年福島県沖地震Ⅴ	0.419	0.419	1.000	1	600m
1978年宮崎県沖地震	-	-	-	0	600m
プレート境界毎の重み付け平均	1.087	1.067	1.404		
1703年元禄関東地震	1.626	1.694	1.445	27	600m
1923年大正関東地震	1.165	1.173	1.588	58	600m
プレート境界毎の重み付け平均	1.311	1.338	1.543		
△ 1498年東海地震	1.420	1.650	1.509	6	600m
△ 1605年慶長関東地震	1.175	1.472	1.834	10	600m
1707年宝永東海・南海地震	1.163	1.310	1.608	63	600m
1854年安政東海地震	1.535	1.584	1.550	69	600m
1854年安政南海地震	1.317	1.382	1.416	64	600m
1944年昭和東南海地震	2.038	1.911	1.677	34	600m
1946年昭和南海地震	1.176	1.205	1.586	82	600m
1968年昭和日向灘地震	-	-	-	0	600m
プレート境界毎の重み付け平均	1.376	1.423	1.558		
全既往地震の重み付け平均	1.242	1.258	1.489		

備考：△印を付けた地震は、年代は古く資料の確実性が低いか痕跡データ数が少ないために、重み付け平均値の算定や津波水位の比較対象にはしていない。

5.3 計算結果の整理

図-5.8に計算した津波高最高値の分布を示す。また、日本全域海岸線における地震津波高を図-B.2総括図に折れ線グラフで示すとともに、表-Eに細区分単位で整理した。

(1) 総括図

データの抽出にあたっては、想定地震津波ケースにおける数値解析値から陸地に接した計算格子の最大津波高を求めるとしたが、日本海東縁部における想定地震は検討対象地域を限定しているため既存地震再現計算である日本海中部地震ケース、北海道南西沖地震ケースにおける数値解析値が、想定地震津波ケースの最大値を大きく上回る津波高を示す地点があることから、そのなかで最も高い値を抽出した。それらを図-B.2総括図に整理した。

(2) 細区分単位での整理

すべての計算ケースにおける陸地に接した格子の値を抽出し、各ケース毎に、その区分における平均値と最大値

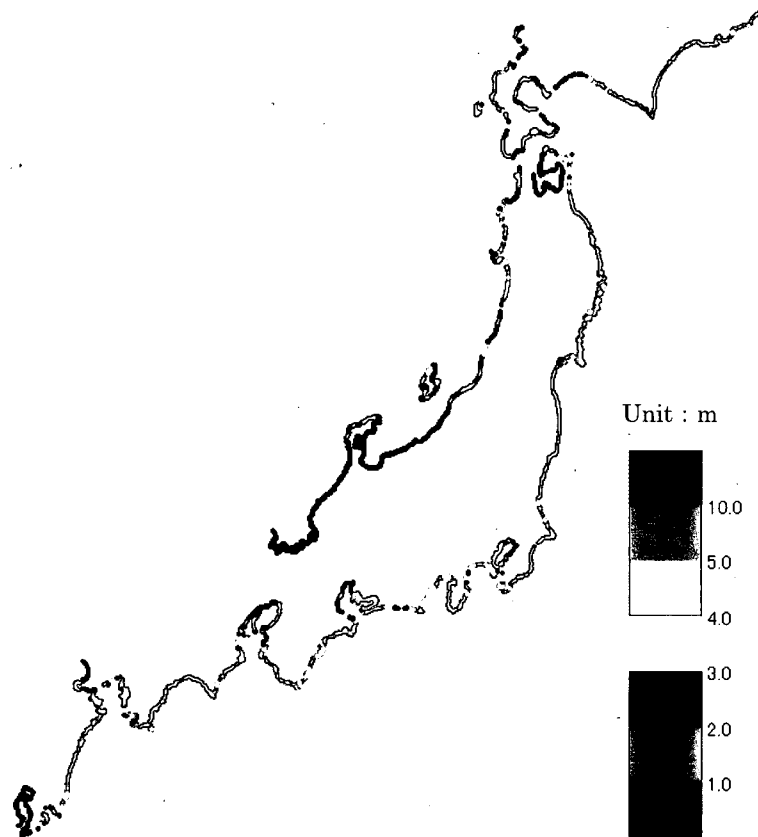


図-5.8 津波高最高値分布図

を求めた。その平均値の中で最も高い値となったコースの平均値を細区分平均値とし、最も高い最大値を細区分最大値とした。それらを表-Eに整理した。

5.4 津波計算結果の活用にあたって

本調査では、太平洋側及び日本海東縁部についてある一定の確からしさを持った最大級の地震を想定し、津波の計算を行っている。したがって、各地域について津波被害発生の可能性を示したものである。

本計算結果の1つの見方として、従来、津波防災に関する検討を行っていない地点において、本計算結果が比較的高めに出ている場合は、津波防災についてさらに詳細に検討する必要があるものと思われる。

しかしながら、本調査による想定地震の設定では、必ずしも各沿岸地点に対して最も大きな影響を及ぼす位置設定とはなっておらず、また、全域一律計算を行っているため詳細な地形について取り込まれて計算が行われていないなど、この計算結果をそのまま施設の設計や防災対策施設の設置に用いるのは問題がある。

以上のことから、既に、津波対策について様々な検討が

なされている地域については、そちらの詳細検討のデータの方がより確からしいと思われるので、そちらのデータを使用されたい。また、特定の海岸において津波防災対策を講じる場合は、津波の指向性等を考慮して、想定津波断層位置を設定する等、その地域の特性に合わせた検討が別途必要となる。

6. 結論

以上のように、設計における海象外力を日本全国各地域にわたって統一的な手法で算定・整理し、今後の全国レベルで行う政策の検討のための参考資料とするとともに、地域において現在あまり注目されていない潜在的な災害発生の可能性を探ることを目的としている。

設計波については、まず、既存沖波データを整理し、日本全国の沖波の概略値を把握した。ただし、前述のとおり沖波データについては、地点によってその算定年代、地点の密度、推算方法等、熟度が異なっている上、データも精度の高いものへと日々変更されており、本資料に掲載した数値はそのまま設計計算等に用いるものではない。

さらに、-10m地点の日本全国における設計波高、及び沿岸係数を計算し、日本全国各地の沿岸がどのような波浪にさらされているかを整理した。ただし、個々の施設の設計においては、その施設に最も大きな影響を与える波向き等、本調査では考慮していない諸処の状況を別途検討した上でする必要がある。よって、実際の設計は、それらの状況を考慮した上で計算をしておきたい。

高潮偏差については、日本全国海域において、高潮偏差を、ある程度実現可能性のある想定台風を設定して算定し、日本全国各地沿岸について高潮偏差の大きくなる可能性の有無を示した。しかしながら、高潮の発生可能性については、各地域においてそれぞれ台風発生・発達の可能性等について詳細な検討を行った上でその対策を行う必要性を検討されたい。

津波高については、津波の発生可能性を考慮した上で、津波高の計算を行い、日本全国における津波被害発生の可能性を示した。ただし、日本海西部や、沖縄、八重山諸島等は今回の検討からは除外している。また、特定の海岸において津波防災対策を講じる場合は、津波の指向性等を考慮して、想定津波断層位置を設定する等、その地域の特性に合わせた検討が別途必要となる。

(2003年2月12日受付)

謝辞

想定地震の設定にあたって、（故）後藤智明元東海大学教授に有益なご助言をいただきました。末尾ながら、ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 合田良実, 鈴木康正(1975): 光易型方向スペクトルによる不規則波の屈折・回折計算, 港湾技研資料, No. 230, p. 45.
- 2) 合田良実監修・海象観測データ解析活用等に関する研究会編集・(財)沿岸開発技術研究センター発行: 波を測る(沿岸波浪観測の手引き)
- 3) 永井紀彦(2002): 全国港湾海洋波浪観測30か年統計(NOWPHAS1970-1999), 港湾空港技術研究所資料, No. 1035
- 4) 橋本典明, 川口浩二, 真期俊行, 永井俊彦: 第3世代波浪推算法(WAM)の推算精度に関する検討, 港湾技術研究所報告, 第38巻, 第4号, 1999.
- 5) 平山克也, 上原功(2002): 消波構造物に作用する波浪の消波機構を考慮した港内波浪変形計算, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 671-675.
- 6) 本多忠夫・光易恒(1980): 水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究, 第27回海講論文集, pp. 90-93.
- 7) 石橋克彦(1994): 大地動乱の時代(地震学者は警告する), 岩波新書, p. 116
- 8) 大竹政和(1998): 地震発生の長期的予測における地震空白域と地震活動静穏化現象の意義, 地震第50巻別冊, pp. 83-99.
- 9) 岩崎敏夫・真野明(1979): オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算, 第26回海岸工学論文集, pp. 70-74
- 10) 萩原尊禮編(1991): 日本列島の地震(地震工学と地震地体構造), 鹿島出版会, p. 190