瀬戸内海における津波来襲時の錨泊船舶の 挙動に関する研究

村山 雅子*・出口 一朗**・小林 英一***・大澤 輝夫***

A study on ship anchor mooring motions induced by tsunami attack in Seto Inland Sea

Masako MURAYAMA, Ichiro DEGUCHI, Eiichi KOBAYASHI,

and Teruo Osawa

Abstract

In the near future, it is concerned about the occurrence of huge earthquake on the Nankai Trough off the coast of Shikoku, such as Nankai and Tounankai earthquake. A tsunami occurring at the Nankai Trough would not only raise the sea surface, it would also generate strong horizontal currents along the coastal region of Osaka Bay, after passing through the Kii Channel, which is the entrance to the bay and the Seto Inland Sea.

Ships in a bay may be forced to move by the currents and unexpected phenomena may occur such as the impact of large forces on a pier, uncontrollable lateral motion, and collision of a ship with the breakwater and drifting and grounding.

The purpose of this paper is to minimize tsunami disaster for ships in the seto inland sea. In this study, we carried out several types of simulations of ship evacuation from tsunami attack in the seto inland sea. The main conclusions can be drawn from these simulations, a ship can withstand the tsunami by anchoring in the evacuation area.

Keywords : *Tsunami, Anchoring, Simulation*

キーワード: 津波, 錨泊, シミュレーション

1. 結論

四国沖の南海トラフ上において、近い将来、大規模な海底型地震が発生することが予想されており、この地震に伴い津波が発生し広い範囲に來襲するとされている。瀬戸内海においては、紀伊水道だけではなく豊後水道からも津波が進入し、緩やかな水位の上昇下降と水平方向の流れを長時間にわたり繰り返す。

港湾内の船舶は、漂流や衝突、水位が下降した場合に底触などが発生する可能性があるため、津波警

報の発令時には港外避難することとされている。しかし、瀬戸内海は津波の影響が小さく、津波來襲まで時間があると考えられていることから、港外の安全性についての検討はまだ十分に行われていない。また、水深が十分ある航路では、航行中の船舶は津波を安全にやり過ごすことができるとされているが、瀬戸内海は航路交差部が多く存在する上に、海上交通量が多く危険物運搬船を初めとして漁船、フェリーなど様々な船舶が航行する一方、大小の島々があり狭い海域のため、全ての船舶が航行を続けると輻

* 正会員 富山高専専門学校 (〒933-0293 富山県射水市海老江練合 1-2)

** 正会員 航海訓練所 (〒231-0003 横浜市中区北仲通 5-57)

*** 正会員 神戸大学大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

轉や混乱が生じることも考えられる。

そこで本研究では、津波来襲時に瀬戸内海の主要水域の想定した避難海域において船舶が錨泊し、津波を安全にやり過ごすことができるかについて動的シミュレーションを用いて検討した。

2. 津波流および潮流シミュレーション

2.1 津波流シミュレーション

2.1.1 想定する地震および津波

津波計算にあたり、想定する津波の発生モデルは、中央防災会議想定で最も被害の大きい津波を発生させると予測されている、東南海・南海連動型地震の津波波源モデルに基づいた。想定されている断層モデルを Table 1 に示す。この断層モデルに基づき津波計算式の初期値を与えた。

Table 1 Fault model of earthquake

	Nanakai earthquake	Tonankai earthquake
The origin of fault plane	N32°54' 57" E135°36' 1"	N33°37' 8" E137°13' 47"
The amount of fault slip [m]	9.45	7.05
Fault length [m]	150000.0	150000.0
Fault width [m]	120000.0	70000.0
Fault strike [degree]	250.0	250.0
The angle of fault inclination [degree]	20.0	10.0
The direction of fault slip [degree]	117.0	127.0
The depth of fault plane [m]	1000.0	10000.0

2.1.2 津波計算手法

津波は地震により海底地形が変動することにより生ずる波である。津波挙動は水平方向の流速分布が水深方向に一様とした非線形長波理論により、Fig. 1 に示す座標系にて、連続の式と運動量保存の式を用いて次のように表すことができる⁽¹⁾。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x_0} + \frac{\partial N}{\partial y_0} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y_0} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x_0} + \frac{\tau_x}{\rho} &= 0 \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y_0} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y_0} + \frac{\tau_y}{\rho} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで

η : 静水面からの水位上昇, t : 時間
 x_0, y_0 : 水平座標, g : 重力加速度
 ρ : 海水密度, D : 全水深
 τ_x, τ_y : x_0, y_0 方向の海底摩擦
 M, N : x_0, y_0 方向の流量フラックス

である。

本論文ではこれを有限差分法により解いた。

格子間隔は (A)1350m、(B)450m、(C)150m、(D)50m の組合せを用い、瀬戸内海西部においては 50[m] を採用した。Fig. 2 中の四角は、内側から 50m、150m、450m、1350m の計算対象領域を示す。海底摩擦係数の値はマニングの粗度係数に基づき算出した。遡上計算は行わずに全反射とし、計算対象時間は地震発生後 9 時間とした。

Fig. 1 System of coordinates for tsunami calculation

Fig. 2 Area of tsunami simulation

2.2 潮流計算

2.2.1 日時設定

2004 年の潮汐表から瀬戸内海の釣島水道における潮流の予測値を参考にした。2004 年に釣島水道に

において北東流の最大は 3.1kt であり、南西流は 3.0kt であった。10 月 16 日にこれらの 2 つの最大流速が同日中に現れており、3 時 25 分に南西流最大である 3.0kt、10 時 00 分に北東流最大の 3.1kt であった。そこで、これらの 2 つの最大流速が予測された 10 月 15 日から 16 日にかけてシミュレーション計算を行った。

2.2.2 潮流計算手法

計算は POM (Princeton Ocean Model Version pom2K) を使用し、Fig. 3 に示す 450m 格子計算領域を時間ステップ 1 秒で計算した。計算期間は 10 月 15 日 7 時から 16 日 19 時までの 36 時間とした。開境界での潮位は、NAO.99b 潮汐予測システムを用いた。

この計算から得られた潮位を使用して 50m 格子計算領域の境界条件を作成し、50m 格子計算領域に対して 10 月 15 日 13 時から 16 日 19 時までの 30 時間分を時間ステップ 0.5 秒で計算した。

Fig. 3 Area of tidal currents calculation (450m grid)

2.2.3 潮流計算結果の検証

潮流の計算結果と潮汐表の値を比較すると、若干計算値の位相が早い、観測潮位の変化傾向は良く再現された。また、南西流が最大となる流速値は 1.0 ~ 1.5m/s 程度であり、潮汐表に示される 3.0kt (約 1.5m/s) という値よりはやや弱い。一方、北東流が最大となる流速値は 1.5m/s 程度であり、潮汐表に記された 3.1kt (約 1.6m/s) という値に近い値となった。

2.3 潮流・津波流計算結果の検証

津波シミュレーションおよび潮流計算結果から、瀬戸内海西部海域における水平流速の最大値を比較すると、この海域では潮流が津波流より卓越する。ただし、早瀬瀬戸など一部の水道では、潮流より津波流が卓越しており、航行に注意が必要である。

次に、基準水面(T.P.)からの水位変化の最大値(絶対値)について比較すると、この海域では潮汐による水位変化の方が津波による水位変化より大きいことがわかった。また、最高水位及び最低水位を比較

すると、この水域では最高水位、最低水位ともにその変化量は津波より潮汐のほうが大きいことがわかった。

3. 錨泊船舶の挙動シミュレーション

3.1 避難海域の想定

津波来襲時における避難海域は、台風・津波時の避難想定海域および通常荷役待機海域として利用される海域⁽²⁾とし、Fig. 4 の丸印で示す 8 海域を設定した。

Fig. 4 Safety area

3.2 津波流および潮流

環境外乱として、津波流と潮流を与えた。第 2 章の潮流・津波流計算結果から、各避難海域において津波と潮流の各々の水平方向の流速が最大となる時間を基準に足し合わせ当該水域の水平流を算出した。

避難海域 5 における津波流の時刻歴を Fig. 5 に示す。津波の流速の絶対値が最大であったのは、地震が発生してから 10,650 秒後であり、流速の絶対値は 0.162[m/s]、流れの向きは北北東であった。また、同避難海域における潮流の流速の絶対値の最大は、計算開始から 10,650 秒後であり 1.161[m/s]、流れの向きは北北東であった。避難海域 5 における潮流の時刻歴を Fig. 6 に示す。

次に、津波の流速の絶対値が最大となった時刻に潮流を重ね合わせ、流速の絶対値が最大となるように設定した。津波と潮流を重ね合わせてみると、流速の絶対値は 1.32[m/s]、流れの向きは北北東であった。Fig. 7 に津波流、潮流を重ね合わせた流速の時刻歴を示す。

Fig. 5 Time history of water level and flow velocity due to the tsunami at safety area 5

Fig. 6 Time history of water level and flow velocity due to the tidal currents at safety area 5

Fig. 7 Time history of water level and flow velocity due to the tsunami and tidal currents at safety area 5

3.3 代表船型

計算時の船種モデルとして、Table 2に示す499ton、3,000ton、10,000ton、160,000tonの4つの代表船型を設定した。船型別に漁船、タンカー、RORO船、VLCCとし、標準的な船舶の緒元をモデルシップとして与えた。喫水について、160,000tonの船舶の喫水は、満載時は20.8mであるが、瀬戸内海は水深の制限により満載状態では航行ができないため、軽貨状態と

Table 2 Sizes and types of ship models

Ship sizes (GT)	Ship types	Length (m)	Depth (m)	Draft (m)
499	Fishing boats	61.1	10.4	4.6
3,000	Chemical tanker	106.6	16.1	6.7
10,000	RORO ship	162	23.1	7.8
160,000	VLCC	325.5	58.0	10.4 (20.8*)

して10.4mを設定した。

3.4 船体運動の計算

本研究の対象海域においては、2章で述べたとおり津波による流れが比較的緩やかな変化であり、一般的には水平流れが主体となる。そこで船体の挙動を表す運動方程式としては、船体と共に移動しその原点を船体重心とするFig. 8に示す座標系を用いる。船体長手方向にx軸、それと直交する右手方向にy軸、下方にz軸をとり式(2)のように表した^{(3),(4)(5)}。

Fig. 8 Coordinate system of ship maneuvering simulation

$$\left. \begin{aligned} (m+m_x)\ddot{u} - (m+m_y+X_{vr})\dot{v} \\ -(u_{c0}\sin\psi - v_{c0}\cos\psi)(m_y - m_x + X_{vr}) &= X_H + T_x \\ (m+m_y)\ddot{v} + (m+m_x)\dot{u} \\ -(v_{c0}\cos\psi + v_{c0}\sin\psi)(-m_y + m_x)r &= Y_H + T_y \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} &= N_H \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで

- m : 船の質量
- m_x, m_y : 船の前後方向及び左右方向の付加質量
- I_{zz} : z 軸回りの船の慣性モーメント
- J_{zz} : z 軸回りの船の付加慣性モーメント
- u, v : x, y 方向の速度成分
- u_{c0}, v_{c0} : 津波水平流の x_0, y_0 方向の速度成分
- r : z 軸回りの回頭角速度
- ψ : 回頭角
- $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$: u, v, r の時間微分
- X_H, Y_H, N_H : 船体に作用する前後力、左右力及び z 軸まわりモーメント
- T_x, T_y : 船体に働く錨および錨鎖による力
- P_x, P_y : 船体重心から錨鎖取付点までの x, y 方向距離

また X_H, Y_H, N_H については津波により船体に流れ込む流れが船体近傍では一定方向からの流れで、次に示すいわゆる潮流抵抗で表現できるとした。

T_x, T_y は後述する張力計算法により求めた。

3.5 錨鎖運動計算手法

当該船舶が、津波来襲前に避難水域に着いた後、錨泊した場合についての計算を実施した。計算はまず初期的な検討であることを勘案し単錨泊の計算を行った。チェーン部は質量とバネでモデル化を行うランプドマス(Lumped Mass) 法に依った。

Lumped Mass とは Fig. 9 に示すように、索をいくつか分割し、それらをバネと質量に置き換え、各質点に対する運動方程式(3)を解くことにより索の運動および張力を求めようとするものである^{(5),(6)}。錨及び錨鎖の運動を流体力、3次元変形を全て考慮することが出来る。

$$\begin{bmatrix} I_{1j} & I_{2j} & I_{3j} \\ J_{1j} & J_{2j} & J_{3j} \\ K_{1j} & K_{2j} & K_{3j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_j \\ \ddot{y}_j \\ \ddot{z}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{xj} \\ F_{yj} \\ F_{zj} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで

$$\begin{aligned} I_{1j} &= M_j + A_{nj} \cos^2 \bar{\alpha}_j + A_{\eta j} \sin^2 \bar{\alpha}_j \\ I_{2j} &= J_{1j} = (A_{\eta j} - A_{nj}) \sin \bar{\beta}_j \sin \bar{\alpha}_j \\ I_{3j} &= K_{1j} = (A_{\eta j} - A_{nj}) \sin \bar{\gamma}_j \sin \bar{\alpha}_j \end{aligned}$$

Fig. 9 The chain motion calculation modeled by the Lumped Mass Method

$$\begin{aligned} J_{2j} &= M_j + A_{nj} \cos^2 \bar{\beta}_j + A_{\eta j} \sin^2 \bar{\beta}_j \\ J_{3j} &= K_{2j} = (A_{\eta j} - A_{nj}) \sin \bar{\beta}_j \sin \bar{\gamma}_j \\ K_{3j} &= M_j + A_{nj} \cos^2 \bar{\gamma}_j + A_{\eta j} \sin^2 \bar{\gamma}_j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_j &= (\alpha_j + \alpha_{j-1})/2 \\ \bar{\beta}_j &= (\beta_j + \beta_{j-1})/2 \\ \bar{\gamma}_j &= (\gamma_j + \gamma_{j-1})/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{nj} &= \rho \frac{Dc^2 \pi}{4} l_j C_{hn} \\ A_{\eta j} &= \rho \frac{Dc^2 \pi}{4} l_j C_{ht} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{xj} &= T_j \sin \alpha_j - T_{j-1} \sin \alpha_{j-1} + f_{dxj} + f_{gxj} \\ F_{yj} &= T_j \sin \beta_j - T_{j-1} \sin \beta_{j-1} + f_{dyj} + f_{gyj} \\ F_{zj} &= T_j \sin \gamma_j - T_{j-1} \sin \gamma_{j-1} + f_{dzj} \end{aligned}$$

$\ddot{x}_j, \ddot{y}_j, \ddot{z}_j$: j 番目の質点の x, y, z 方向の加速度

T_j : j と $j+1$ 番目の質点との間の張力[N]

T_{j-1} : j と $j-1$ 番目の質点との間の張力[N]

ρ : 海水密度

C_{hn}, C_{ht} : 法線方向, 接線方向の付加質量係数

D_c : 索の等価円断面直径

$f_{dxj}, f_{dyj}, f_{dzj}$: x, y, z 方向の流体抗力[N]

f_{gxj}, f_{gyj} : 着底している際に発生する海底との
 x, y 方向の摩擦力[N]
 δ_j : 索の単位長さ当りの海中重量[kgf]
 M_j : j 番目の点の質量 (j = アンカー部) アン
 ーカーの質量[kg]
 A_{nj}, A_{yj} : j 番目の点の法線方向, 接線方向の付加
 質量
 l_j : 分割された索の部分長[m]
 g : 重力加速度

(3)式を索長の拘束条件、水底固定端、船の索取付点の位置 3 つの拘束条件の下で差分近似を用いて解けば索の運動および張力 T_x, T_y が求められる⁽⁵⁾。

3.6 錨および錨鎖の初期条件

錨および錨鎖の初期状態として、実海域における作業を参考にした。作業手順としては、アンカーポイントで錨を降ろして着底させ、その後、船体に逆進をかけながらアンカーチェーンの所定量を繰り出して錨泊を行う。この時の錨鎖の繰り出し量は、荒天時における錨鎖繰り出し量(L) の標準日安として水深(D) を基準とする $L = 4D + 145$ を用いた。

次に、船舶と錨鎖の位置関係の初期条件として、計算開始時に錨鎖が船舶に対して水平方向の力を与えない安定な状態とするため、ベルマウスから垂直に海底まで錨鎖を配置し、アンカーまで海底を這わせた。また、海底の凹凸や傾斜を考慮せず、海底を平面とみなし、錨鎖および錨に働く流体力を求めるための流速は、船の位置における表層流速で、海底方向の分布は一定とした。

3.7 錨および錨鎖要目

錨および錨鎖が海底に接している場合、把持力が発生する。これは錨の種類と海中重量、錨鎖の把駐部の長さ、海底重量および海底の底質から次式(4)により求められるとされている。

$$P = k_a w_a + k_c l w_l \quad (4)$$

ここで

P : 把駐力[ton]
 k_a : 錨の把駐力係数
 w_a : 錨の海中重量[kgf]
 k_c : 錨鎖の把駐力係数
 l : 錨鎖の把駐力部長さ[m]
 w_l : 錨鎖の単位長さの重量[ton]

この式を応用し、3.4 節で示した式(2)における

個々の要素における海底摩擦力の最大値は次式(5)のように設定した。

$$\left. \begin{aligned} F_{gj} &= 0 \quad (j : \text{懸垂部}) \\ F_{gxj} &= k_c l_j w_l \quad (j : \text{把駐部}) \\ F_{gyj} &= k_a w_a \quad (j : \text{錨着底時}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで、式(5)による把駐力は錨鎖の接線方向への力であり、静止着底時に錨および錨鎖が直線上にある時の接線方向への最大把駐力である。

実海域において錨鎖は接線方向だけでなく法線方向にもある程度の把駐力を発生させている。特に錨鎖を個別にみると、把駐部と懸垂部との間で、懸垂部が法線方向に動くにつれて把駐部の一部がひきずられながら把駐力を発生させているはずである。この力は最大把駐力よりも小さく、移動速度に比例すると思われるが、このように部分的な走錨状態における把駐力については研究例が少ない。そこで、今回は、法線方向の把持力は次式(6)を用いた。

$$\left. \begin{aligned} F_{gj} &= 0 \\ F_{gxj} &= -0.1 k_c l_j w_l \dot{x}_j \\ F_{gyj} &= -0.1 k_c l_j w_l \dot{y}_j \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Table 3,4,5 に錨泊船舶の挙動シミュレーションに用いた各値を示す⁽⁷⁾。

Table 3 Values of parameters of anchor and anchor chain

499ton	Diameter of chain	32[mm]
	Mass of chain per unit length	22.43[kg/m]
	Mass of anchor	1200[kg]
3,000ton	Diameter of chain	50[mm]
	Mass of chain per unit length	54.7[kg/m]
	Mass of anchor	3000[kg]
10,000ton	Diameter of chain	70[mm]
	Mass of chain per unit length	107.3[kg/m]
	Mass of anchor	6450[kg]
160,000ton	Diameter of chain	137[mm]
	Mass of chain per unit length	411.0[kg/m]
	Mass of anchor	23000[kg]

Table 4 Coefficients of anchor holding power used for simulation

Type of seabed	Sand
Coefficient of anchor	7
Coefficient of chain	2

Table 5 Coefficients of parameters used for simulation.

Coefficient of added mass in normal direction	1.98
Coefficient of added mass in tangential direction	0.20
Coefficient of drag in normal direction	2.18
Coefficient of drag in tangential direction	0.17

4. 考察

各避難想定海域において、錨泊船舶の挙動シミュレーションを4つの代表船型について実施した。

船舶の初期位置は各避難海域の位置とし、初期位置における船首方向は、計算開始時点の潮流に対して船首を向ける状態とした。

この計算結果について、避難海域5における代表船型 10,000ton の錨泊船舶の挙動を Fig. 10 に示す。この海域は今回計算を行った8海域の中では特に潮流が大きい海域で、流速は最大で 1m/s 以上になる。一方、津波による流速は最大でも 0.3m/s 程度と比較的小さい。初期状態では北東方向からの潮流を受けているが、一時間後に反転し、3時間から4時間後に今度は南西方向からの潮流を受ける。その後、7時間半後に再び潮流が反転するが、499t、3000t、10,000t、160,000t いずれの船舶も方位の不安定さは認められず、潮流に沿って滑らかに方位角を変化させている。

Fig. 10 Result of ship anchor mooring motions at safety area 5

また、海底部も十分なチェーン長が確保されており、走錨はなく、良好な状態であった。

今回対象とした避難想定8海域の計算結果について総合的にみると、錨泊している船舶が津波と潮流の影響下にあるときの挙動は概ね潮流の影響に左右されており、一部津波による水平流れの影響によるものが見られるもののその影響は小さい。

このような外乱の中で、走錨する現象はいずれの避難海域においても見られなかった。今回検討を行った8海域については、船舶の大小を問わず津波と潮流の環境下において、避難海域に錨泊し、安全に津波をやりすごすことができたといえる。

5. 結論

本研究では、南海・東南海地震により発生する津波が来襲する時、瀬戸内海的主要水域の想定した避難海域に錨泊した船舶の挙動について、499t、3,000t、10,000t、160,000t の4つの代表船型を対象に、安全性の観点から検討した。この結果をまとめると次のようになる。

(1)津波計算と潮流計算の結果について水平流れに着目すると、瀬戸内海においては一般的には潮流が津波による水平流に卓越する。

(2)想定した避難海域において、それぞれの船舶は、潮流と津波による水平流れが重畳した場合、概ね走錨の可能性は低く安全に錨泊できるといえる。

一方今後の課題として、次のような項目がある。

(a)錨泊船舶の挙動シミュレーションでは、船体に作用する外乱として、潮流と津波による水平流を考えた。実際の海域では風や波による外乱があるため、これらを加えた複合外乱下での船舶挙動解析評価が今後必要である。

(b)錨泊中の挙動推算はシミュレーション計算に依ったが、その精度の確認が今後必要である。

(c)実際に避難する場合は多くの船舶が避難海域を目指すため、避難海域において安全に錨泊が可能な船舶の隻数を検討し、海上交通量と比較し必要があれば避難海域を増やすことが必要である。

6. 謝辞

本研究は日本財団の支援により(社)瀬戸内海海上安全協会が実施した平成19年度瀬戸内海における船舶津波対策に関する調査検討の一環として行ったもので、関係者の方々のご協力・ご指導に厚く御礼申し上げます。

7. 参考文献

- (1) Imamura, F. : Review of Tsunami Simulation with a Finite Difference Method, Long-Wave Run-up Models, World Scientific, River Edge, NJ, pp.43-87, 1996
- (2) 小林英一・池上 隆・斧田康佑・大澤輝夫・米田翔太・越村俊一・水ノ江隆志：瀬戸内海における津波来襲時の船舶避難について，日本船舶海洋工学会講演会論文集，第 6 号，pp.293-294，2008.6
- (3) Eiichi Kobayashi and Syunichi Koshimura and Takashi Mizunoe : Study on the Evacuation Maneuver from a Tsunami Attack, Proceeding of MARSIM09(International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability), Panama City17-20, C-115-C-122, 2009.8
- (4) 小林英一・久保雅義・鈴木三郎・越村俊一：津波による船舶の漂流とその対策に関する基礎研究，日本航海学会論文集，第 114 号，pp.157-163,2006.3
- (5) 藤野正隆・牧岳彦：単錨泊時の潮流による船体振れ回り運動の実用的計算法，日本造船学会論文集，第 154 号，pp.295-304，1983.12
- (6) 中島俊夫・元良誠三・藤野正隆：質点系モデルによる係留ラインの 3 次元動的解析法，日本造船学会論文集，第 154 号，pp.192-202，1983.12
- (7) 和田忠、船舶運用学の A B C，成山堂書店，pp.179，1999

8. 質疑応答

石田廣史（神戸大学）：

- ① 瀬戸内における潮流シミュレーションの東側境界についてお示しください。
- ② シミュレーション結果と実況との比較はどのように行われましたか、お示し下さい。
- ③ 東南海トラフでの震源でのシミュレーションとありましたが東南海トラフのどの辺りを震源としたシミュレーションなのかお示し下さい。

村山雅子：

①潮流シミュレーションにあたり、まず東側境界は紀伊水道とし、NAO.99b 潮汐予測システムを用いて開境界の潮位を設定し、450m 格子で計算しました。次に、この計算から得られた潮位を使用して、東端を福山港周辺とする海域について 50m 格子計算領域の境界条件を作成し、計算しました。

②潮流シミュレーション結果と実況との比較につ

いては、潮汐表を用いました。本研究において想定した避難海域地点の流速について、潮流の計算結果と潮汐表を比較すると、若干計算値の位相が早くなりますが観測潮位の変化傾向は良く再現されました。

③本研究において想定する津波の発生モデルは、中央防災会議想定で最も被害の大きい津波を発生させると予測されている、東南海・南海連動型地震の津波波源モデルとしました。断層面の原点は、南海地震は北緯 32°54' 57"、東経 135°36' 1"、東南海地震は北緯 33°37' 8"、東経 137°13' 47"としました。

岩本才次（鹿児島高等専門学校）：

御報告の計算地点での潮流による船舶の走錨はないとの事でしたが、船舶の大きさに対する錨の把駐力の設定はどのようにされたでしょうか。

村山雅子：

本研究で想定した避難海域の底質は泥あるいは砂でした。底質による把駐力係数の変化をみると、底質が泥のときに比べて砂のときの方が大錨の把駐力係数は小さくなるため、今回のシミュレーションでは、すべての海域の底質が砂であるとして錨および錨鎖の把駐力係数を決め、錨の把駐力係数は 7、錨鎖は 2 としました。また、錨の質量、錨鎖の呼径、錨鎖の単位長さの質量について、代表船型ごとに標準的な値を設定しました。