

福岡県西方沖を震源とする地震津波の数値計算

朝位孝二 (社会建設工学科)・坪郷浩一 ((株) エイトコンサルタント)

Numerical Simulation on Tsunami Induced by West off Fukuoka Prefecture Earthquake

Koji ASAI (Department of Civil and Environmental Engineering)

Koichi TSUBOGO (Eight Consultants co.,Ltd)

Numerical simulations on Tsunami induced by west off Fukuoka earthquake are conducted. Characteristics of the Tsunami are investigated by varying a parameter of rake among fault parameters to 4, 30, 60 90degree. It is found that the maximum Tsunami wave height appear at Maebaru city and Genkai Island. The maximum Tsunami wave height is 7 cm when the rake is 4 degree. On the other hand, the maximum height is 72 cm when the rake is 90 degree.

Key Words : tsunami, numerical simulation, west off Fukuoka Prefecture Earthquake

1. はじめに

近年、東海地震や東南海・南海地震などの海溝型地震の発生が懸念されている¹⁾。揺れによる被害に加えて地震津波による被害も甚大となることが予測されている。そのため津波に備えて、防波堤や避難施設などのハード的対策、あるいは津波ハザードマップなどのソフト的対策の整備が進められている。

一方、海溝型地震の他に内陸部の活断層に起因する地震がある。大規模な地震がないと思われていた福岡市においても平成17年3月20日に震度6の地震が発生した(福岡県西方沖地震)。活断層による地震はその発生時期の予測が難しい。また未知の活断層も多く存在しており、特に海底の活断層は探索が困難である。したがって、地震はいっどこで発生してもおかしくないのが実情であろう。

さて、福岡県西方沖地震では3月20日午前10時53分に津波注意報が発表されたが、同日正午に解除され、津波の報告はなかった²⁾。津波が発生しなかった理由は、断層はほぼ水平方向にずれたためと思われる。しかしながら、縦方向に断層がずれていたとすれば津波が発生し、被害が生じていた可能性は否定できない。本研究では、断層

パラメーターの内、すべり角をパラメーターとして、福岡県西方沖を震源とする津波の特性を検討するものである。

2. 数値モデル

2.1 基礎方程式

地震津波の基礎方程式は以下に示す浅水方程式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = \\ -gh \frac{\partial (h + z_b)}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = \\ -gh \frac{\partial (h + z_b)}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\tau_{xx} = \nu_e \left(\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial x} \right), \quad \tau_{yy} = \nu_e \left(\frac{\partial N}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial y} \right)$$

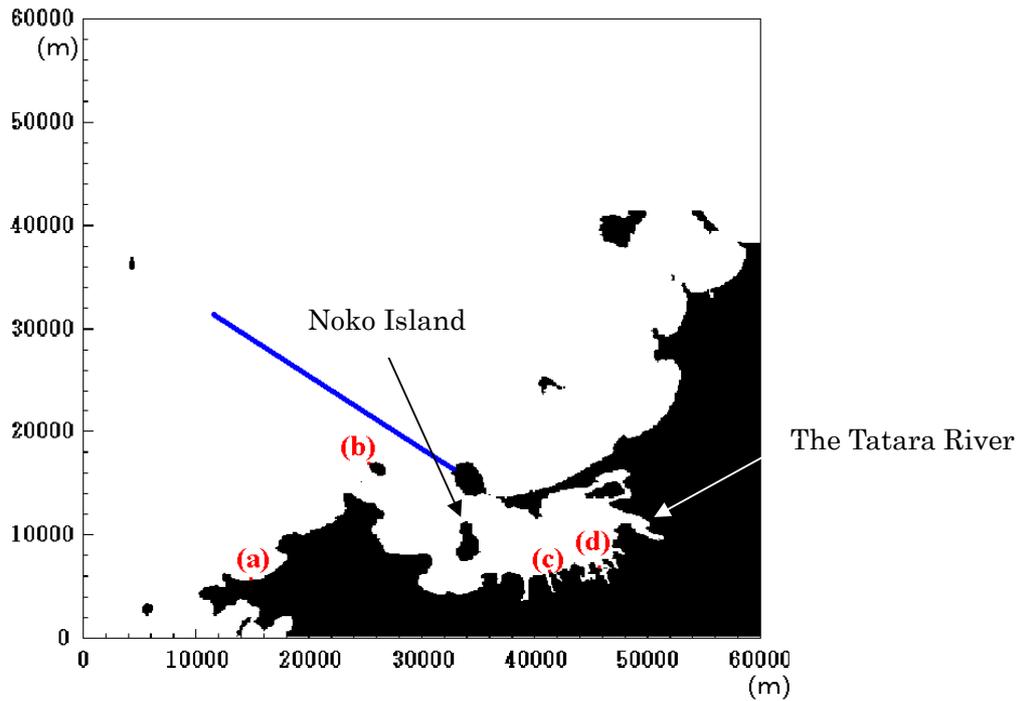


Fig. 1 Locations of the seismic and monitoring points

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \nu_e \left(\frac{\partial M}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial x} \right)$$

$$\tau_{bx} = \frac{\gamma^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}}, \quad \tau_{by} = \frac{\gamma^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}}$$

ここで h は水深, u は x 方向流速, v は y 方向流速, $M(=uh)$ は x 方向の線流量, $N(=vh)$ は y 方向の線流量, g は重力加速度, z_b は基準面から海底面までの高さ, τ_{xx} , τ_{yy} , τ_{xy} , τ_{yx} は水平方向のせん断応力, τ_{bx} は x 方向底面せん断応, τ_{by} は y 方向底面せん断応, ρ は流体密度, ν_e は水平方向渦動粘性係数, γ^2 は海底摩擦係数である.

基礎方程式は有限体積法を用いて離散化された. 運動方程式の移流項は3次精度 TVD-MUSCL scheme を採用し, 時間積分には2次精度 Adams-Bashforth method を用いた. 連続の式と運動方程式の水面勾配項をカップリングする半陰的な手法で基礎方程式を解いた.

2.2 断層モデル

津波の数値計算の初期条件としては, 地震断層モデルを用いて計算される海底地殻変動の鉛直成分を海面上に与える方法を用いる. 断層運動のモデルは, 矩形の断層面が平均的すべり量 (slip) だけ互いにずれるものとする. 断層の幾何学的特性は, すべり角 (rake), 断層の走向 (strike),

Table 1 Fault parameters of west Fukuoka prefecture earthquake

location of the seismic	33.68° N
	130.3° E
strike	303°
dip	81°
rake	4°
depth	0km
length	30km
width	20km
slip	0.56m

傾き (dip) によって表せる. この断層パラメータを用いて, 弾性論を基礎とした Mansinha and Smylie³⁾の方法により計算を行う.

2.3 計算条件

計算領域は北緯 33° 32' ~北緯 34° 04', 東経 130° ~東経 130° 32' の範囲で, 60km×60km の面積を持つ. Fig.1 に断層走向線と後述のモニタリング位置を示す. 図中の青線が断層走向線である. モニタリング位置(a)は前原市, (b)は玄海島, (c)は百道, (d)は天神である. 本研究で用いた福岡県西方沖地震の断層パラメータ⁴⁾を Table 1 に示す. Table 1 の断層位置 (location of the seismic) は断層の南側端点の位置を示している. また, Fig.2

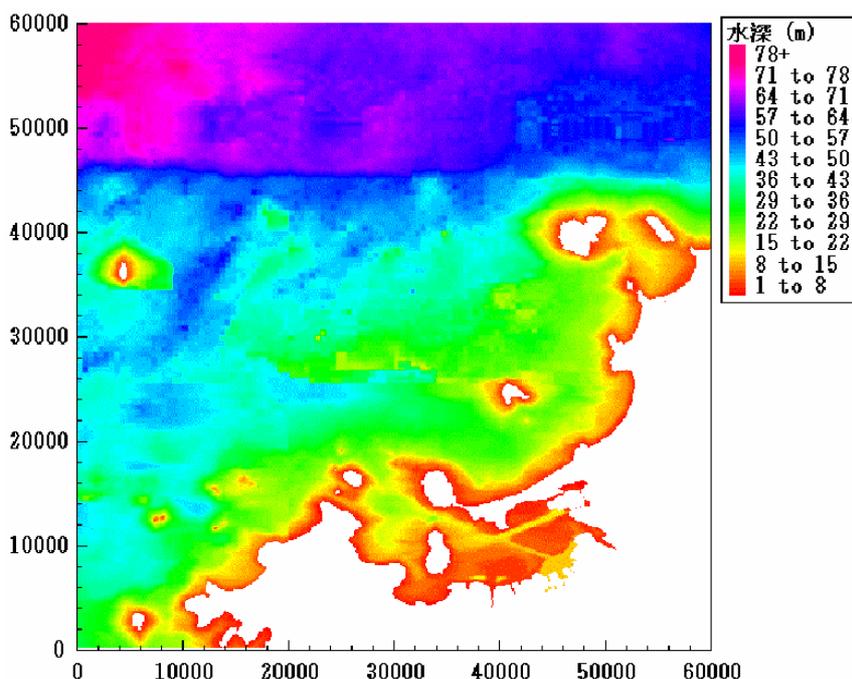


Fig. 2 Distribution of averaged water depth for the computational domain

は計算領域内の平均水深の分布を示したものである。博多湾内の航路近傍には防波堤が存在するが、本研究においては防波堤の存在を考慮した。

計算領域内における津波現象を現象開始から8000秒後までをシミュレートした。水平方向の格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 100\text{m}$ 、時間刻みは $\Delta t = 0.1\text{sec}$ で一定値である。海底摩擦係数は $\rho^2 = 0.0026$ とした。水平方向の渦動粘性係数は $\nu_e = 40\text{m}^2/\text{s}$ とした。

本研究ではすべり角以外の断層パラメータは固定し、すべり角を4度、30度、60度、90度に変化させた。

3. 計算結果と考察

3.1 初期波形

初期波形の平面分布を Fig.4 に示す。断層モデルでは上下のブロックで断層はモデル化される。今回の断層は逆断層であった。つまり Fig.3 に示すように上部のブロックが上方方向にずれるものである。本研究で用いる断層パラメータでは初期水位は断層走向線に関して右側の領域の水位が高くなり、左側の水位が低くなる。すべてのすべり角でこのような傾向が見られる。また、すべり角が大きくなるにつれ、初期波形の規模も大きくなる事が分かる。

3.2 モニタリング点における津波の時系列

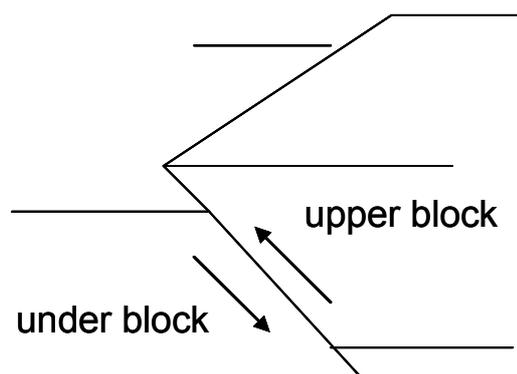


Fig. 3 Schematic sketch of an opposite fault

Fig.5 はモニタリング地点におけるすべり角4度と90度の津波の時系列である。

玄海島では第一波が最大津波であることが分かる。この時間は約6.3分程度である。前原市では1450秒(24分)付近で一旦ピークを取り、再び1600秒(26分)でピークを取る。すべり角4度では二番目のピーク値が大きく、すべり角90度では一番目のピーク値が大きい。このためすべり角4度と90度では最大津波の到達時間が若干異なる。すべり角4度の最大津波の到達時間は約26分であり、それ以外のすべり角では約24分であった。

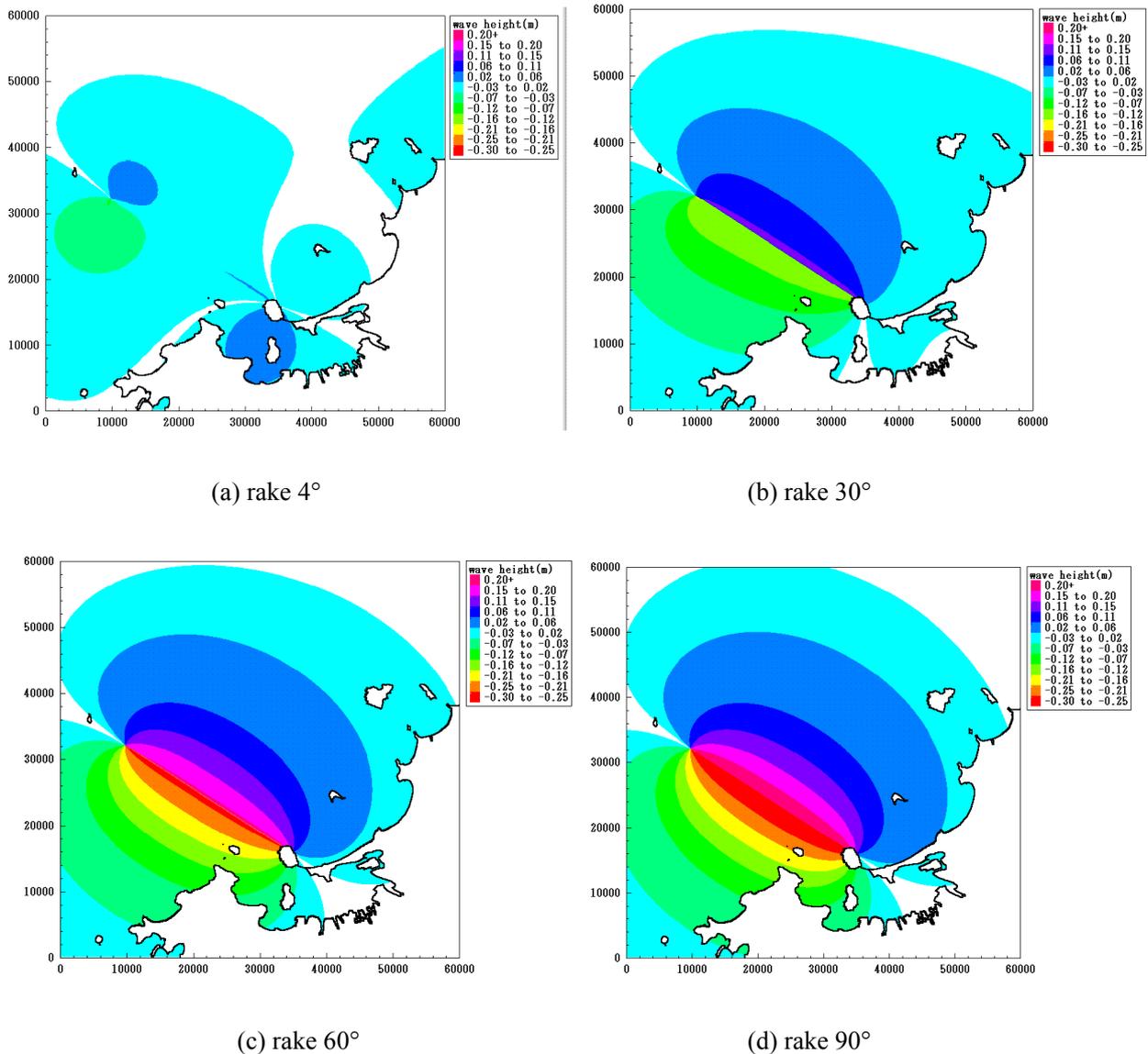


Fig.4 Initial wave distribution

博多湾内の百道と天神の時系列から周期的な成分が存在することが分かる。これは湾内で静振的な現象が発生したためと思われる。百道と天神を比較すれば、百道の周期は短い。

すべり角 4 度の場合、最大津波波高の到達時刻は百道で約 19 分、天神で約 28 分である。これは博多湾に伝搬した津波の第一波である。一方、すべり角 4 度以外では百道で約 52 分、天神で約 72 分であった。静振的な現象による波群が生じるが、その二波目が最大波高を与えている。

Fig.6 および Fig.7 はそれぞれ、モニタリング点におけるすべり角と最大津波波高およびその到達時刻の関係を示したグラフである。

すべり角が大きくなるにつれ、最大波高の単調に増大していく。すべり角が 4 度の場合、玄海島では約 5cm、前原市では約 7cm の最大津波波高で

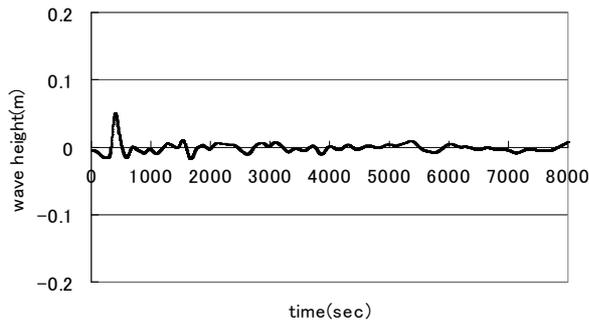
ある。すべり角が大きくなるにつれ、最大波高の単調に増大していく。すべり角 90 度では、前原市では約 72cm、玄海島では約 62cm の最大津波波高となった。

一方、博多湾内の百道と天神では、すべり角が 4 度の場合ともに約 2cm であった。また、すべり角 90 度ではともに約 10cm となった。

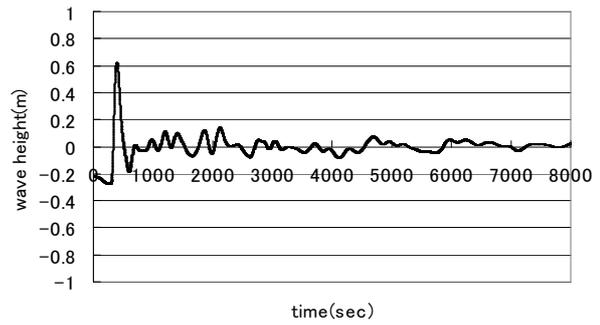
最大津波波高の到達時間についてはすでに述べているが、もう一度説明する。玄海島では最大津波の到達時刻すべり角に依存せず約 6.3 分程度である。

前原市では津波の一波目のピーク値近傍が分裂しているため、すべり角 4 度とそれ以外では若干の相違が見られる。しかしながら、前原市においてもすべり角の依存性は小さいと考えて良い。

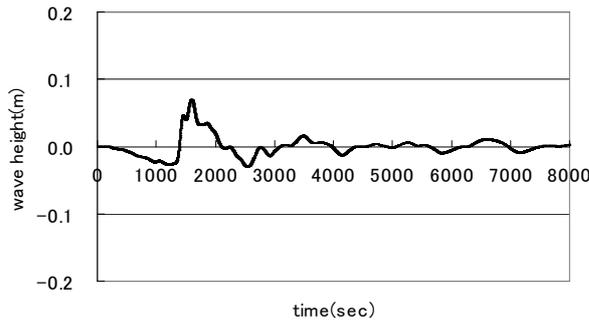
内湾に位置する百道と天神では、すべり角 4 度



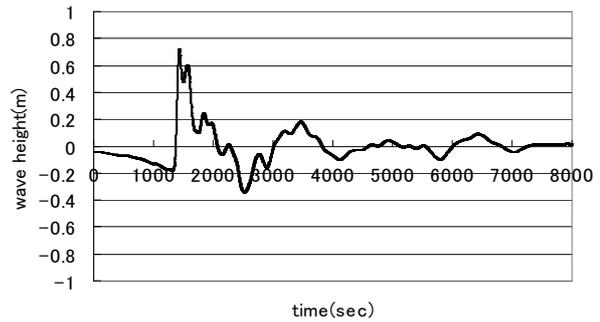
(a) Genkai Island (rake 4°)



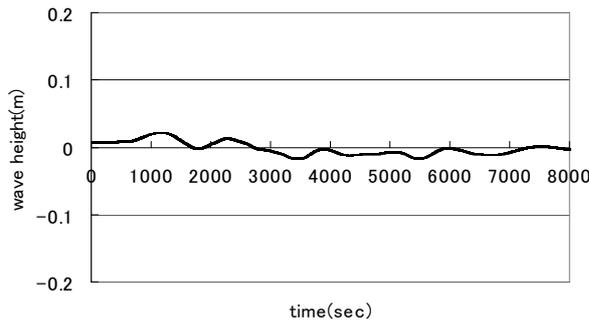
(b) Genkai Island (rake 90°)



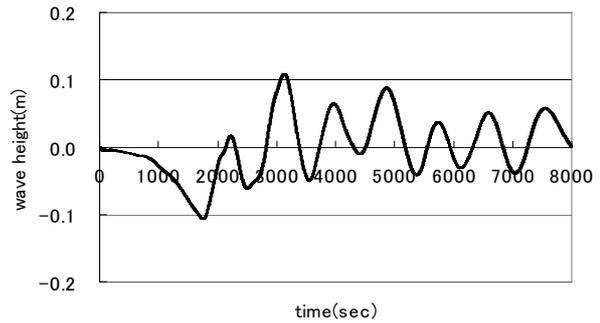
(a) Maebaru city (rake 4°)



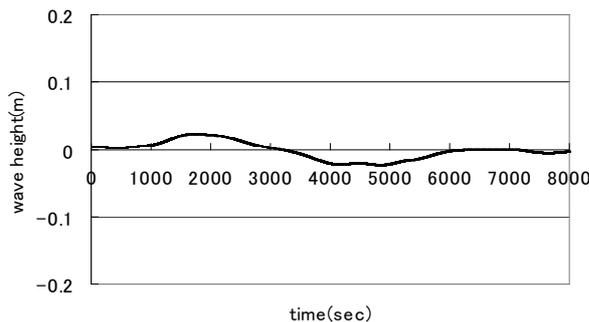
(b) Maebaru city (rake 90°)



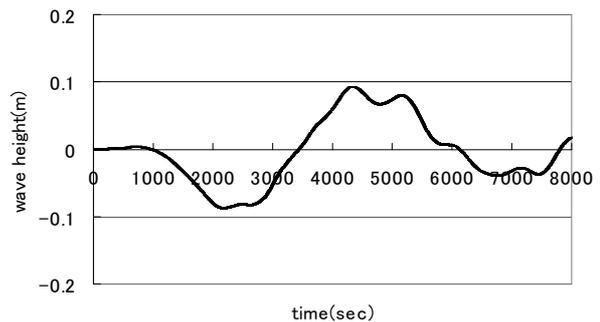
(a) Momochi (rake 4°)



(b) Momochi (rake 90°)



(a) Tenjin (rake 4°)



(b) Tenjin (rake 90°)

Fig.5 Time series of Tsunami wave height

以外では津波の第一波の侵入後の波動の静振的挙動により波高が大きくなる。すべり角4度以外ではすべり角の影響はない。

3.3 最大津波波高分布

Fig.8 に津波の最大波高分布を示す。すべり角が大きくなるにつれて、最大波高の規模が全体的に大きくなる事が分かる。特に前原市や玄海島付近の波高が高いことが分かる。一方、津波の進行方向に博多湾の湾口が向いていないために、博多

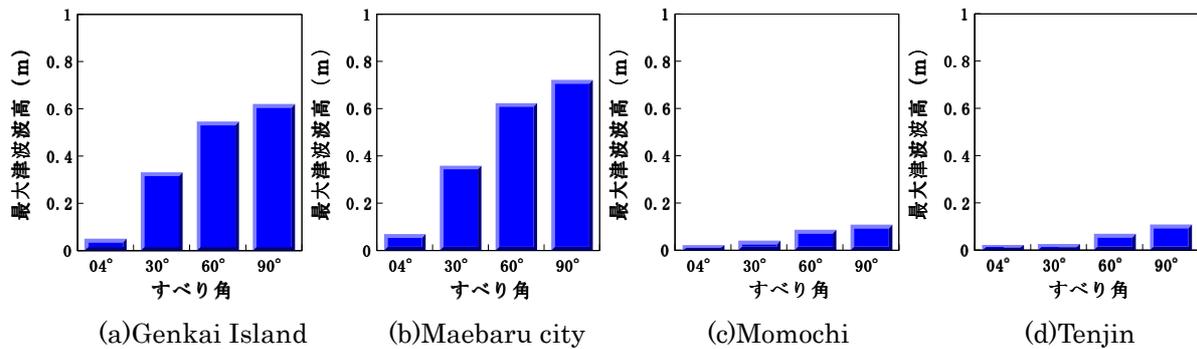


Fig. 6 Relationship between the maximum wave height and the rake

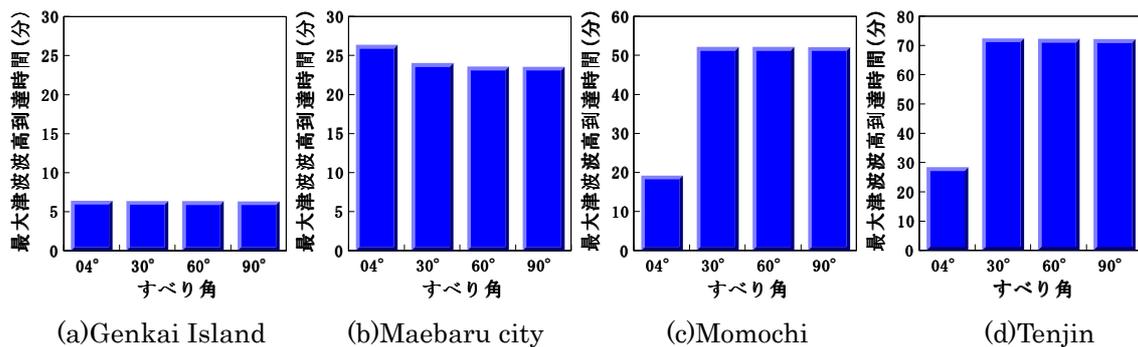


Fig. 7 Relationship between the maximum wave arrival time and the rake

湾内は比較的静穏になっている。しかしながら、湾奥の多々良川は津波が遡上し、波高が高くなっている。また、博多湾内では能古島から東側の水域よりも西側の水域で波高は大きい。

4. 結論

本研究は平成17年3月20日に発生した福岡西方沖地震の断層パラメーターのうち、すべり角をパラメーターとして地震津波のシミュレーションを試みたものである。得られた結果を以下に要約する。

- (1) すべり角4度では、津波の最大波高は前原市近傍で7cm程度であり、数値計算上も津波の規模は小さいことが分かった。
- (2) すべり角が大きくなるにつれて、津波の規模も大きくなる。すべり角90度の場合、津波最大波高は前原市で約72cm、玄海島で約62cmであった。
- (3) 博多湾内では天神、百道で10cm程度の最大波高となる。
- (4) 湾奥の多々良川では津波が遡上し、波高が大きくなる。
- (5) 博多湾内では、能古島に対して東側の水域よ

りも西側の水域で波高は大きくなる。

- (6) 博多湾外の玄海島や前原市などでは、津波の第一波が最大波高をもたらす。一方、博多湾内ではすべり角4度を除き、静振的現象による波群が生じ、その二波目が最大波高を与えている。

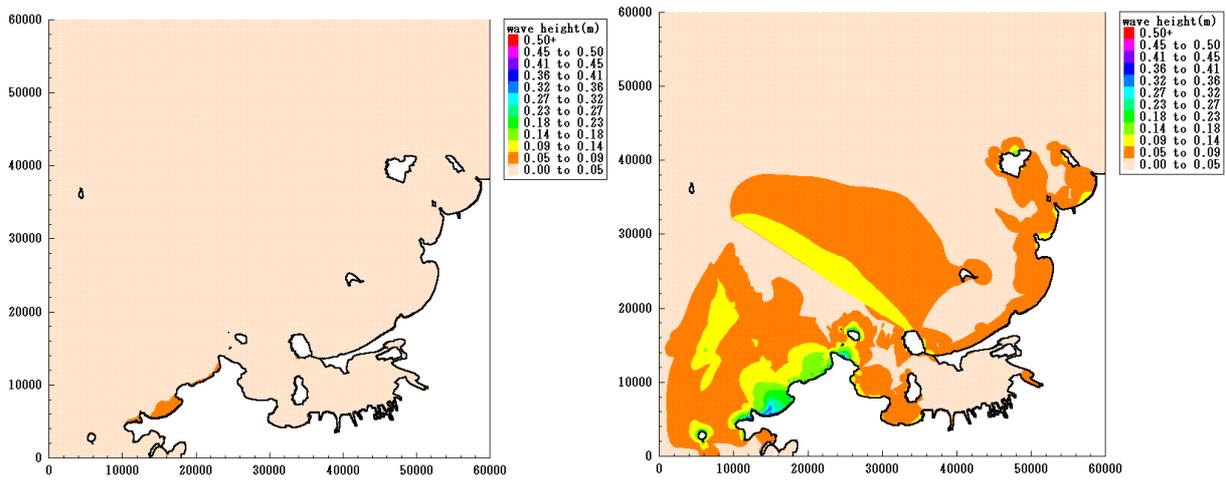
謝辞：

Mansinha and Smylie のモデルについて鹿児島大学・浅野敏之先生、宮崎大学・村上啓介先生から御教示を頂いた。また本研究の具体的遂行にあたり当時卒論生の田中一平君（東急建設）の献身的な協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

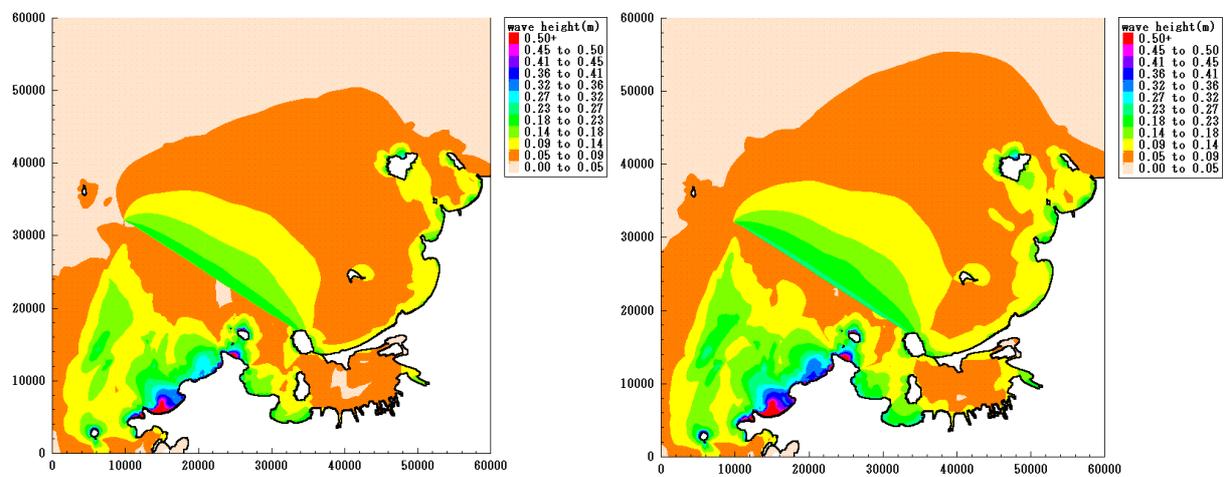
- 1) <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 2) <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/kaisetsu200503201230.pdf>
- 3) Mansinha L. and Smylie D.E. (1971), "The Displacement Fields of Inclined Faults", Bulletin of Seismic Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440
- 4) <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2005/0320-4.jpg>

(平成18年8月31日受理)



(a) rake 4°

(b) rake 30°



(c) rake 60°

(d) rake 90°

Fig.8 Maximum wave height wave distribution