

## 2000年5月IndonesiaのSulawesi島沖で発生した地震による津波の現地調査と数値解析

小池 信昭\*・平石 哲也\*\*・今村 文彦\*\*\*

### 1. はじめに

2000年5月4日の12:21p.m.(現地時間)に、IndonesiaのSulawesi島のLuwuk市の南東94km沖で地震(Mw=7.6, Harvardによる)が発生した。この際、津波も発生し、Peleng島(図-1参照)のKayuntanyo村とUwedikum村に6mの津波が襲ったと報じられている。また、この地震と津波によって、死者45人を出し、多くのモスクや住宅などの構造物が地震動によって倒れた。

今回地震が発生した場所は、Hamzah et al. (2000)によれば、津波の常襲地帯というわけでもなく、周辺でも津波を伴うような地震はここ100年くらいは発生していない。

このような地震津波に対して、著者らはまず、数値解析によって、おおまかな津波の来

襲状況を速報的に調べ、東北大学大学院工学研究科付属災害制御研究センター津波工学研究室のホームページ上で公開した。その結果と入ってくる被害状況を照らし合わせると、緊急に調査隊を組織して現地調査する必要性はないと判断したため、現地調査はしばらく見送られたが、9月下旬に著者の1人がIndonesiaの研究者とチームを組んで、現地調査を行った。その結果、速報的な数値解析の結果と現地調査によって得られた結果が比較的よい一致を示したので、ここにその詳細を報告することにする。

### 2. 数値解析

地震発生直後に行われる速報的な津波の数値解析は、Harvard (Harvard大学)、USGS (アメリカ地質調査所) およびERI (東大地震研) が発表している地震のメカニズム解(CMT解)をもとに行なわれる。

#### 2.1 地震のメカニズム解

今回、地震の発生直後に発表されたCMT解を、Harvard, USGSおよびERIそれぞれ表-1に示す。

このうち、USGSおよびERIの震源の位置については、地元Indonesiaの気象台(BMG Makassar)が発表したもの(1.36S, 123.57E, depth 33km)と多少異なるが、これは、震源決定に用いている地震計の位置・個数などの条件が異なっているためと考えられる。

#### 2.2 断層パラメーターと津波初期波形

表-1を見ればわかるように、USGS, Harvard, ERIでCMT解(Strike, Dip, Slip



図-1 地震の震源の位置と周辺地域

\* 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

\*\* 国土交通省港湾技術研究所

\*\*\* 東北大学大学院工学研究科付属災害制御研究センター

表-1 地震のメカニズム解と震源およびマグニチュード情報

	USGS	Harvard	ERI
震源 (緯度)	0.90S	1.41S	0.90S
(経度)	123.40E	123.62E	123.40E
深さ(km)	33.0	21.7	33
Ms	7.3		7.3
Mw	7.4	7.6	7.1
Strike1 (°)	140	142	221.7
Dip1 (°)	43	32	74.0
Slip1 (°)	41	32	165.9
Strike2 (°)	18	24	315.7
Dip2 (°)	64	74	76.4
Slip2 (°)	126	118	16.4

角)に大きな違いが見られる。このうちどれを採用するかについては、図-2のような沈み込み帯の図面を参照して、それとStrikeの方角が合うものを採用することにした。そうすると、ERIのStrike2とHarvardのStrike2を180°回転したものの2つが採用されることになる。これで、断層パラメーターのうち幾何学的な3つのパラメーターが決められたことになる。

次に大きさに関するパラメーターは、モーメントマグニチュード $M_w$ と断層パラメーター



図-2 震源付近の沈み込み帯

の関係式(佐藤, 1989)を用いて決定した。

$$M_w = (\log M_0 - 16.1) / 1.5$$

$$\log L = 1/3 \log M_0 - 7.30$$

$$\log U = 1/3 \log M_0 - 6.80$$

ここに、 $M_w$ :モーメントマグニチュード、 $M_0$ :地震モーメント、 $L$ :断層の長さ(km)、 $W$ :断層の幅(km)、 $U$ :断層のずれ量(cm)である。

また、断層の深さは適当な鉛直変位量が出るまで浅くしていった。このようにして推定された断層パラメーターを表-2に、それからMansinha・Smylie(1971)の方法で計算された津波の初期波形分布を図-3に表す。

### 2.3 数値計算の条件

津波の数値計算は、地球座標系を用いた線形長波理論を、スタッガードリーブフロッグ法を用いて差分化した式を用いた。数値計算としては、差分格子間隔2.5分、計算時間間隔5秒、図-4(a)のような計算領域を用いたものと、差分格子間隔0.1分、計算時間間隔0.5秒、図-4(b)のような計算領域を用いたものについて行った。

### 2.4 数値計算結果

津波の数値計算は2時間分を実行した。粗いメッシュサイズでの最大水位分布を図-5に、細かいメッシュサイズでのそれを図-6に示した。

ERIのモデルは、最大水位が1mに達していない。これは、地震後に得られた情報とも異なっている。一方、Harvardのモデルは、粗いメッシュでも1mを越えるところもあり、また細かいメッシュの計算結果だと、Sulawesi島側で約2mに達し、Peleng島の北側では4.5m近くに達するところもある。後に述べるように、これは現地調査の結果ともよく一致して

表-2 推定された断層パラメーター

Model	断層の長さ (km)	断層の幅 (km)	断層の深さ (km)	メカニズム解 (Strike, Dip, Slip)	震源の位置
ERI	59	29.5	1	(221.7, 74.0, 165.9)	(123.4E, 0.90S)
Harvard	71	35.5	5	(204, 74, 118)	(123.0E, 1.3S)

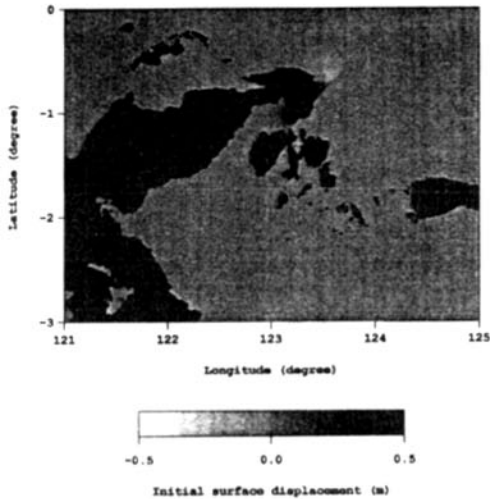


図-3(a) 推定された津波の初期波形分布 (ERI)

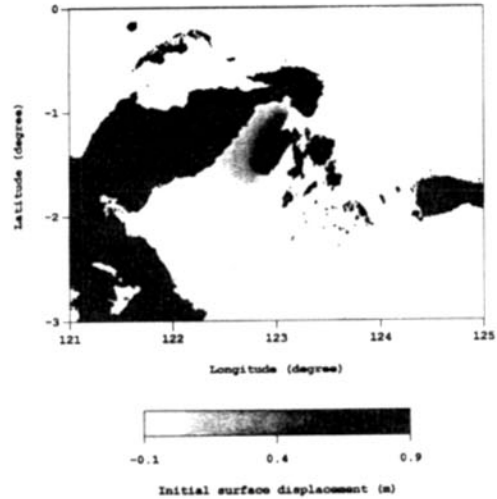


図-3(b) 推定された津波の初期波形分布 (Harvard)

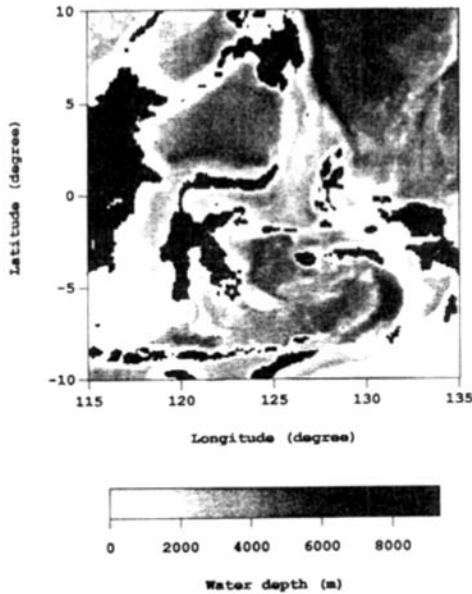


図-4(a) 数値計算の計算領域と水深 (粗い格子)

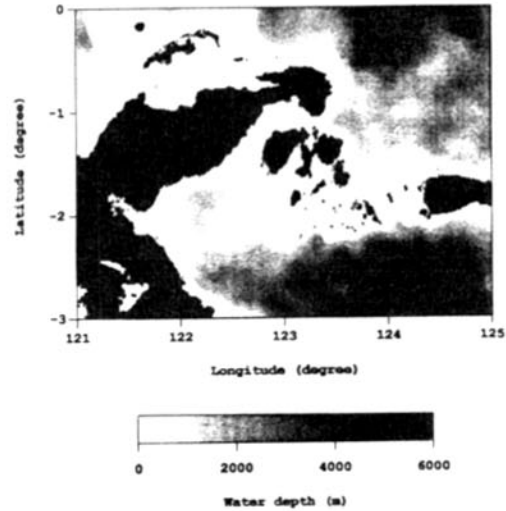


図-4(b) 数値計算の計算領域と水深 (細かい格子)

いる。

そこで、図-7のような各点における時間波形を、細かいメッシュのHarvardモデルの分だけを図-8に表した。これによると、(b) Sukonでは、10分前後で津波が到着しているが、これも後に述べる現地調査による津波の到着時間とよく一致している。

### 3. 現地調査

#### 3.1 調査概要

調査期間は2000年9月24日~28日であり、調査参加メンバーは、著者の1名を含み、Dr. Dadang Ahmad (Hasanudin大学), Dr. Daud Thana (Hasanudin大学), Ms. Mardiana A. Adam (コーディネーター) の4名である。Sulawesi島南部のMakassarという町から上陸

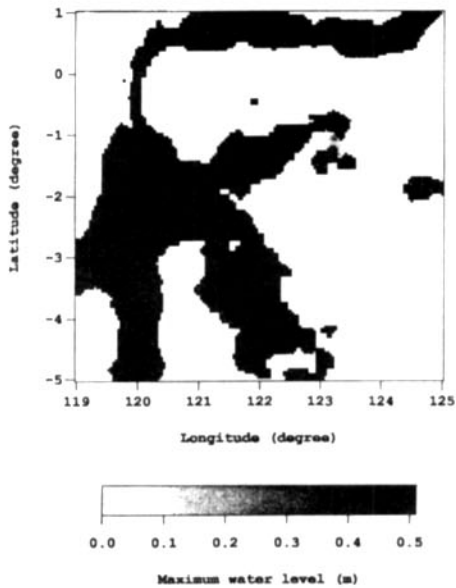


図-5(a) 粗い格子での数値計算による津波の最大水位分布 (ERI)

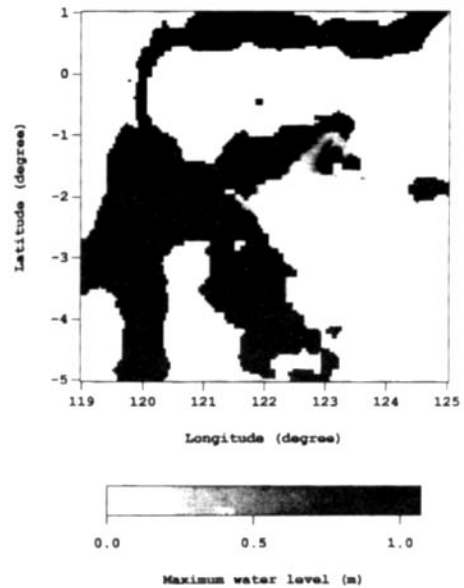


図-5(b) 粗い格子での数値計算による津波の最大水位分布 (Harvard)

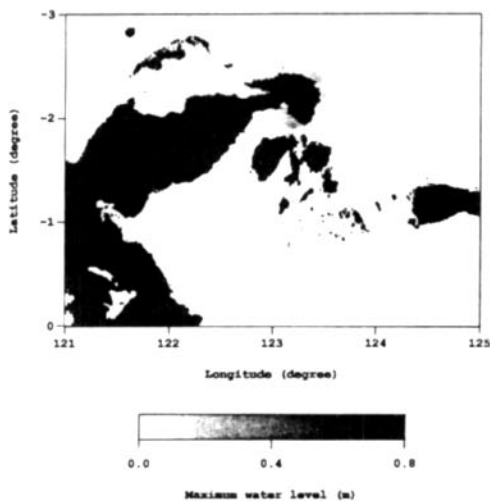


図-6(a) 細かい格子での数値計算による津波の最大水位分布 (ERI)

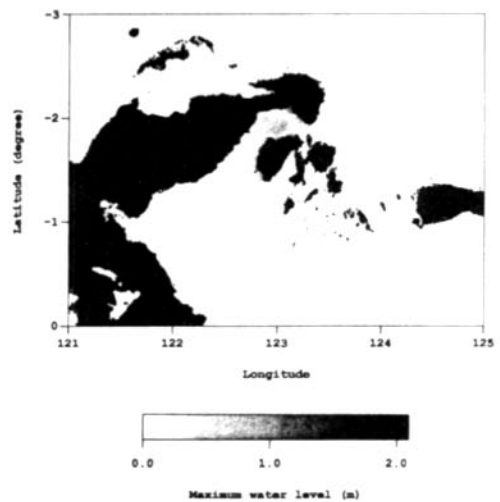


図-6(b) 細かい格子での数値計算による津波の最大水位分布 (Harvard)

し、後は陸路で途中Mangkutana, Ampoaを経由しながら、被災地であるPagimana, Luwuk, Bonebakal (北部), Bonebakal (南部) (図-9 参照) を踏査した。

### 3.2 被災状況

#### a) Pagimana

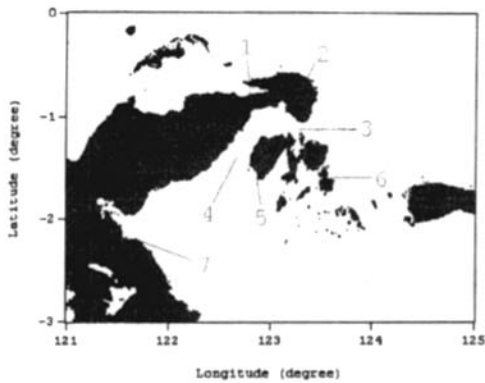
家屋の塀が倒れた程度で、今回調査した中

では比較的小さな被害であった。

#### b) Luwuk

州の役所で被害状況を聞いたところ、死者の45人はBanggai諸島の住民が多かったが、今回の調査でBanggai島までは行くことはできなかった。

また、Luwuk市街地に大きな被害はなかったが、一部の銀行の2階部が損傷していた。



- 1 Luwuk
- 2 Sukon
- 3 Peleng Straits
- 4 Peleng Straits
- 5 Tataba
- 6 Banggai
- 7 Bahombelu

図-7 数値計算による時間波形の出力地点

また、道路にも各所で亀裂が入っていた。

c) Luwuk Coast

ココナツの木が、津波の氾濫によって倒されていた(写真-1)。また、砂州が形成されていた。津波による堆砂と思われる。津波氾濫の高さは2.3mである。

d) Bonebakal (北部)

この地域でも津波が氾濫し、ヒアリングからその高さは1.4mであることを確認した。

e) Bonebakal (南部)

ここでは、津波で家屋が被害を受けていた(写真-2)。このように、津波で破壊された家屋や流された水上家屋が多数あった。ヒアリングで津波の高さを確認した。1.8mであった。また、津波第1波は地震から10分後に来襲したということであった。

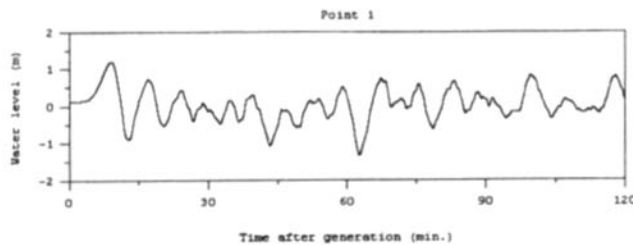


図-8(a) 各点における数値計算による時間波形 (Luwuk)

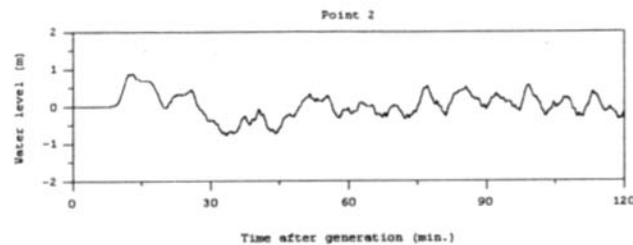


図-8(b) 各点における数値計算による時間波形 (Sukon)

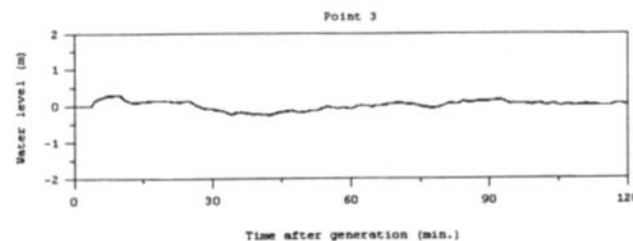


図-8(c) 各点における数値計算による時間波形 (East Peleng Straits)

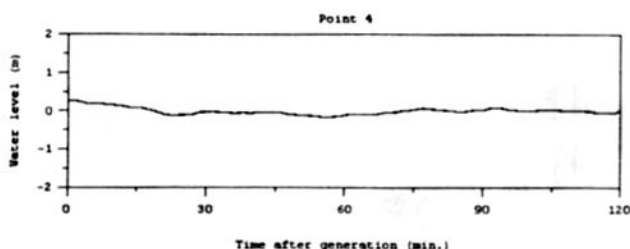


図-8(d) 各点における数値計算による時間波形 (West Peleng Straits)

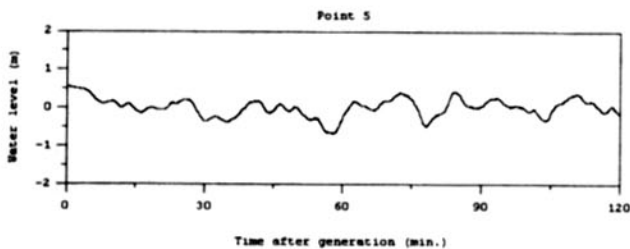


図-8(e) 各点における数値計算による時間波形 (Tataba)

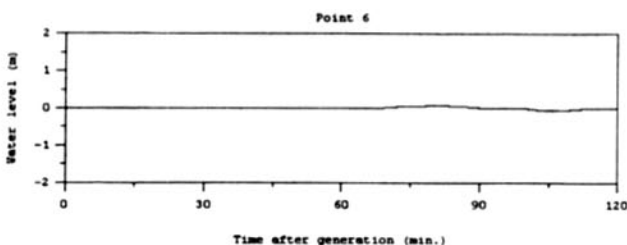


図-8(f) 各点における数値計算による時間波形 (Banggai)

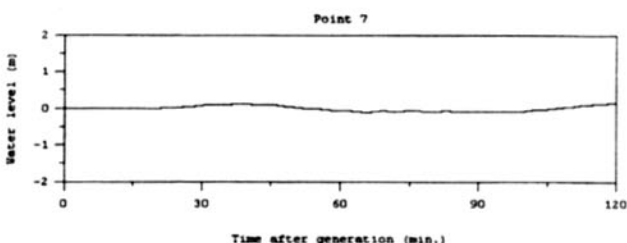


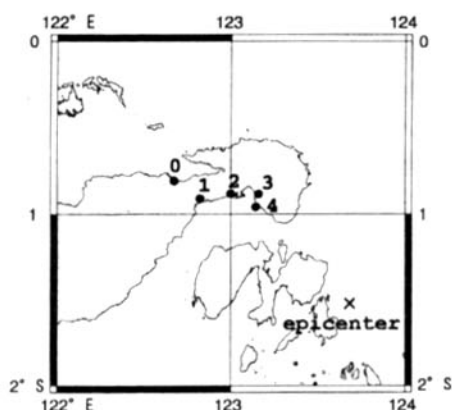
図-8(g) 各点における数値計算による時間波形 (Bahombelu)

### 3.4 現地調査と数値計算結果の比較

ここでは、2章におけるHarvardモデルを細かいメッシュサイズ(0.1分)で計算した結果と比較する。図-10は、各地点で現地調査による津波の高さと、数値計算による最大水位を比較したものである。これから、データは少ないが、数値計算結果が現地調査の結果とほぼ一致していることがわかる。また、

Bonebakal(南部)での津波到着時間10分というのは、図-8の(b)Sukonとはほぼ同じ位置にあり、この時間波形からも津波の到着時間が約10分ということがわかり、数値計算結果が現地調査とよく一致していると言える。

また、今回の現地調査では行かなかったが、ヒアリングによるとPeleng島の北側海岸は、3~4mの津波が来襲したということであっ



- 0 Pagimana
- 1 Luwuk
- 2 Luwuk Coast
- 3 Bonebebakal (South)
- 4 Bonebebakal (North)

図-9 現地調査地点



写真-1 津波によって倒されたココナツの木 (Luwuk Coast)



写真-2 津波によって破壊された家屋 (Bonebebakal 南部)

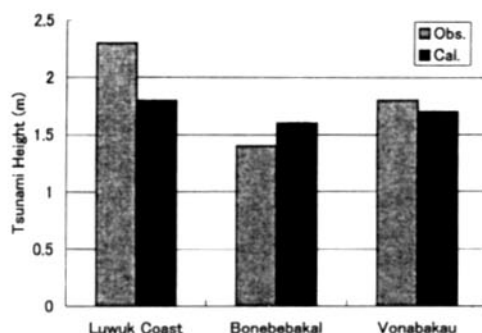


図-10 現地調査と数値計算との津波の高さの比較

た。図-6(b)では見やすくするために2 mまでしか表示していないが、数値計算結果ではPeleng島の北側海岸では約3 m~4.5 mという最大水位であった。これからも、今回提案したモデルによる数値計算結果は、妥当であると言える。

#### 4. おわりに

地震発生後に各機関から出される地震のメカニズム解に基づいて断層モデルのパラメーターを推定し、それから津波の数値計算を行った。また、わずかではあるが現地調査を行い、津波の痕跡高を得た。それらの比較の結果、数少ないデータに関する限り、数値計算結果は妥当と言うことが示された。

今回の地震では、複合的な要因である地滑りなどが生じなかったと考えられるので、地震のメカニズム解から推定した断層パラメーターから計算した津波の数値計算結果が現地調査結果や聞き取り調査とほぼ一致したと考えられる。

#### 謝 辞

数値計算に用いた0.1分間隔の水深データは、(財)電力中央研究所の松山昌史氏に作成していただきました。ここに記して、謝意を表します。

## 参 考 文 献

Hamzah L., N.T. Puspito and F. Imamura  
(2000): Tsunami Catalog and Zones in  
Indonesia, *Journal of Natural Disaster  
Science*, Vol.22, No.1, pp.25-43.

Mansinha, L. and D.E. Smylie(1971): The  
displacement fields of inclined faults,  
*Bulletin of Seismological Society of  
America*, Vol.61, No.5, pp.1433-1440.

佐藤良輔(1989)：日本の地震断層パラメー  
ター・ハンドブック，鹿島出版会，390p.