

短報

1994年ジャワ東部 地震津波の調査概 要

今村 文彦*・高橋 智幸*

Preliminary Report of Field Survey of the 1994 Eastern Java Earthquake Tsunami

Fumihiko IMAMURA* and Tomoyuki TAKAHASHI*

1. はじめに

1994年6月2日、午前1時頃(現地時間)、インドネシアのジャワ島南沖(震源位置はFig.1に示す)において、 $M_w=7.5$ の地震が発生した。この周辺はインド・オーストラリア海洋プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでいる場所であり、過去にも多くの地震や津波が発生している(都司・他, 1993)。今回の地震による地震動は小さく、構造物などの被害は報告されていないが、地震発生から約1時間後、津波がジャワ島南部およびバリ島南西部を来襲し、死者200名以上の被害を与えた。この津波に対して国際調査チームが組織され、地震・津波による被災状況に関して現地調査が実施された。

1992年ニカラグア地震津波を契機に、各国の研究者を中心にした合同津波現地調査が行われるようになった。1992年インドネシアフローレス島地震津波、1993年北海道南西沖地震津波の調査を含め、今回が4回目の国際合同調査となる。

本報告では、この現地調査の概要および著者が担当した関与での現在までに得られた結果を紹介する。詳細なデータに関してはTsuji et al. (1994)を参照されたい。

2. 現地調査の概要

合同調査は6月19日~25日と7月16日~20日までの2回に渡り行われた。第一回調査班はインドネシア、日本、タイ、米国、イタリア、第二回調査班はインドネシアと日本の研究者により構成された。特に現地インドネシアからは大学を始めとする研究機関から多数の参加が得られた。1992年のインドネシア・フローレス島地震津波に続く被害であり、現地の関心の高さが伺われた。

調査項目は、津波の打ち上げ高さ、被害、上砂移動、津波来襲状況や災害時の住民行動に関するアンケート、余震観測などである。地震・津波発生が深夜ということがあり、実際に目撃した人は少なく、内容も不正確になりがちであり、特に時

* 東北大学工学部
Faculty of Engineering, Tohoku Univ.

本報告に対する討論は平成8年7月末日まで受け付ける。

刻に関して注意して聞き取り調査を行った。アンケート用紙は事前にインドネシア語に翻訳されたものを用意した。

調査範囲は、新聞などの報道で甚大な被害が報告されていた Banyuwangi 県の南部を中心に、Bali 島西部から Tulungagung までの約 400km の沿岸である (Fig.2 を参照)。ジャワ島内陸部で

は比較的良好に道路が整備されていること、強震動による道路被害がなかったことから、車での移動は容易であった。一方、ジャワ島南部沿岸は起伏が激しく、海岸線の複雑な三陸海岸に似た地形を有し、移動が大変困難であった。

第一回調査班の半数はこれまでに津波現地調査の経験がなかったため、始めに Pancer 村に全員

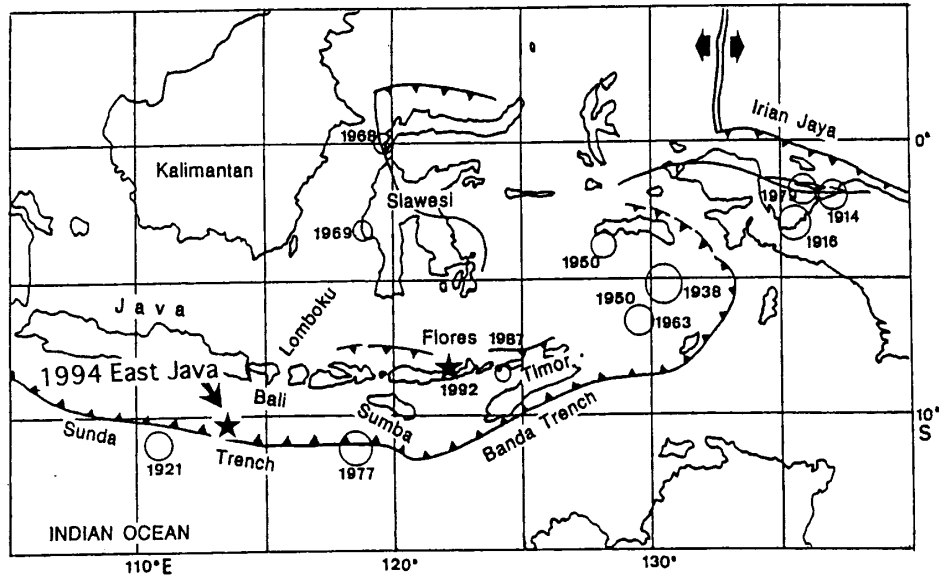


Fig. 1 Tectonics in the central Indonesia and location of the earthquakes accompanying tsunamis.

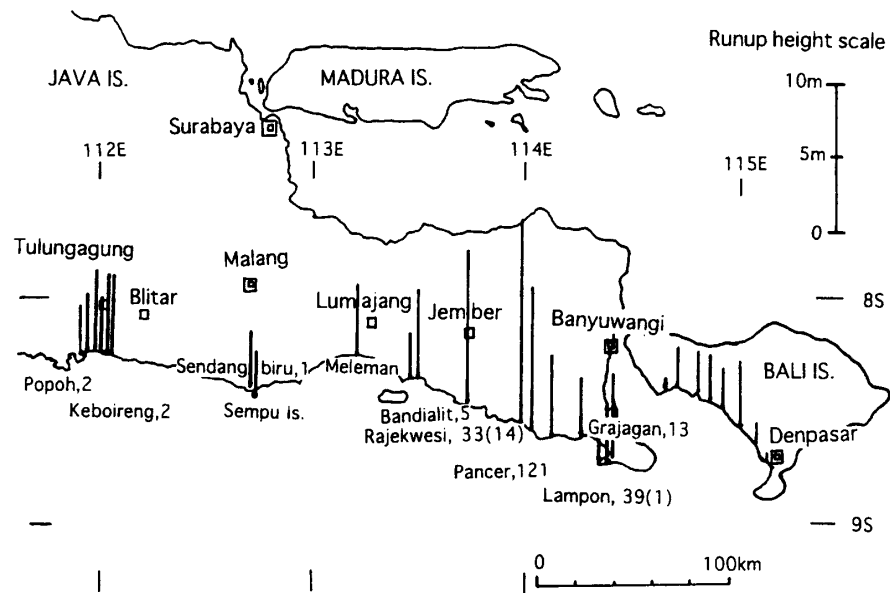


Fig. 2 Measured tsunami heights and number of casualties in each area. The number in parenthesis indicates the lost people.

集合し、基本的調査事項の確認と測定方法の実践訓練を行った。その後、4班に分かれて各分担地域の調査を実施した。第二回調査班は、経験者から構成され、上砂移動、打ち上げ高さの測定及びアンケート調査を行った。

3. 被害状況と主な調査結果

3.1 Pancer 村での被害

Table-1, 2 に被害数をまとめてあるが、最大の被災地は Pancer 村であり、121 名が死亡し約 700 件 (全壊と半壊) の家屋が被害を受けている。Fig. 3 はこの Pancer 村の被災概略図と縦断面図を示す。詳細な地形図がなく、被災地が広大で地形の測量が十分出来なかったため、図に示された地形は概略である。

被災概略図の斜線部は全壊した家屋の地域を表す。集落の殆どが甚大な被害を受けていることが分かる。縦断面図を見ると、津波により海岸付近での侵食が見られ、村の中心を走る道路より沿岸部側の住居がほぼ全壊している。これと対照的に、道路反対側での被害は軽減されていることから、沿岸での侵食と家屋の破壊によって津波エネルギーの多くが損失されたことが推定される。さらに、

津波は集落の低地部分を進み (Fig.3 の被害域を参照)、Pancer 村背後の河川に流れ込んでいた。もし、地形が陸奥につれて地盤が増加するような勾配がある場合には津波の戻り流れが生じたに違いない。このような場合には、海域に人が流れ出される場合も多く、人的被害をさらに大きくしたものと予想される。

この村での住宅は、フローレス島 (1992 年 12 月に地震と津波により被災) とは違い、コンクリート、レンガ造りが多く、より大きな強度が期待されるが、それを津波の波力が上回った。来襲した津波が波高が比較的小さかったものの、強い流れを伴っていたことにより、大きな波力が生じたものと思われる。現地データにより推定される波力と被害程度との関係は重要であり、北海道南西沖地震津波などでも調べられており (松富・首藤, 1994)、本調査で得られたデータにより同様な解析が可能であると期待される。

その他、被害が大きかった地区として、Rajekwesi, Lampon などがある。いずれも、Pancer 村周辺に位置しており、被害はこの周辺に集中していた。

Table 1 Statistics of human and house damages, updated to 20 June 1994.

Regency	Human Damage			House Damage		
	Killed	Missing	Injured	Totally	Partially	Slightly
Tulugagung	2	0	20	62	59	0
Blitar	2	0	0	0	3	0
Malang	1	0	2	31	7	4
Jember	12	0	11	36	33	11
Banyuwangi	206	15	21	591	66	235
Total	223	15	54	720	168	250

Table 2 Statistics of human and house damages at three villages.
Some data are not coincided with Table 1.

Village	Killed +missing	Population		Number of damaged houses	Total number of houses	C/D
	A	B	A/B			
Lampon	40	645	6.20%	112	171	65.50%
Pancer	121	3,081	3.90%	704	996	70.70%
Rajekwesi	47	1,205	3.90%	71	301	23.60%

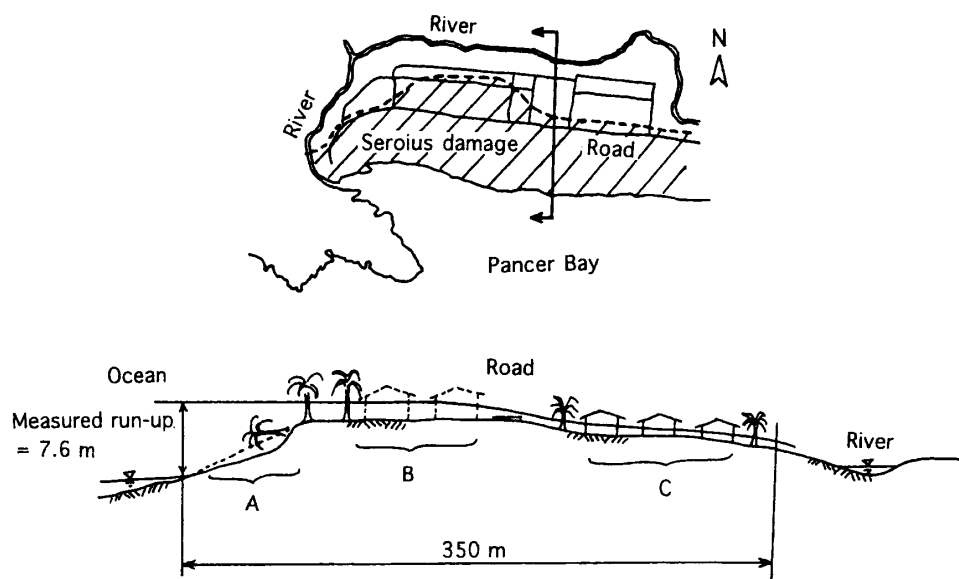


Fig. 3 Damage due to the tsunami in Pancer village, Banyuwagi, Java. The damaged area is indicated by the oblique lines in the upper part of this figure. Sectional profile between the arrows in the upper part is shown in the lower part.

3.2 津波打ち上げ高さの分布

調査で得られた打ち上げ高さを Fig.2 に示す。ここでの津波高さは潮位補正により平均潮位からの値となっている。この値から来襲時での津波潮位を差し引けば正味の津波高さとなる。各地で津波来襲時刻が異なりこれが推定できない場合には、今回のような平均潮位からの値を採用する。津波の高さとその位置の具体的な数値は Tsuji et al. (1994) を参照されたい。

得られた結果によると、津波の打ち上げ高さは Rajekwesi を最大とし、これより東西に離れるに従い小さくなっている。これから、津波エネルギーが、Rajekwesi 周辺に集中したことが分かる。ところが、Rajekwesi から西へ 200km 以上離れた Tulungagung でも、比較的高い値が測定されている。この原因として、i) この付近の入り組んだ地形の影響、ii) 初期波形の長軸方向へ進むエネルギーがこの付近に集中したことが考えられるが、今後数値シミュレーションによる検討が必要となる。

3.3 Tambakrejo での津波避難

津波来襲時の避難に関して、Tambakrejo において聞き取り調査で得られた興味ある結果がある。

深夜 1 時過ぎに発生した津波の第一波は村の東側半分を襲った (Fig.4 を参照)。幸いなことに第一波はさほど大きくなく、家屋の崩壊などはなかったようである。突然の津波来襲により住民に困惑があったが、一人の老人の指示により、村の西側への避難がなされ、その後に襲った最大波 (第三波) で、殆どの家屋は洗い流されたが死傷者はなかった。Fig.4 で明らかのように、村の西側は津波の侵入に対して Sempu 島の背後に位置し、直接の来襲を回避することが出来たのである。

この村に過去の歴史津波の言い伝えがあったかどうかは不明であるが、老人が高波 (津波を含めて) による被害を経験していた可能性は高い。なお、都司・他 (1993) の資料によると (Fig.1) 過去に 1921 年、マグニチュード 7.5 クラスの地震がジャワ島沖に発生している。また一方に、インドネシアは赤道付近に位置するため台風による被害はない。どうしてこの老人が第 1 波の来襲後にさらに大きな波が来ることを予想できたのであろうか。

3.4 沿岸部での土砂移動

今回の津波被災状況の中で注意すべき点は沿岸侵食 (Photo 1 に見られるような段差の形成) で

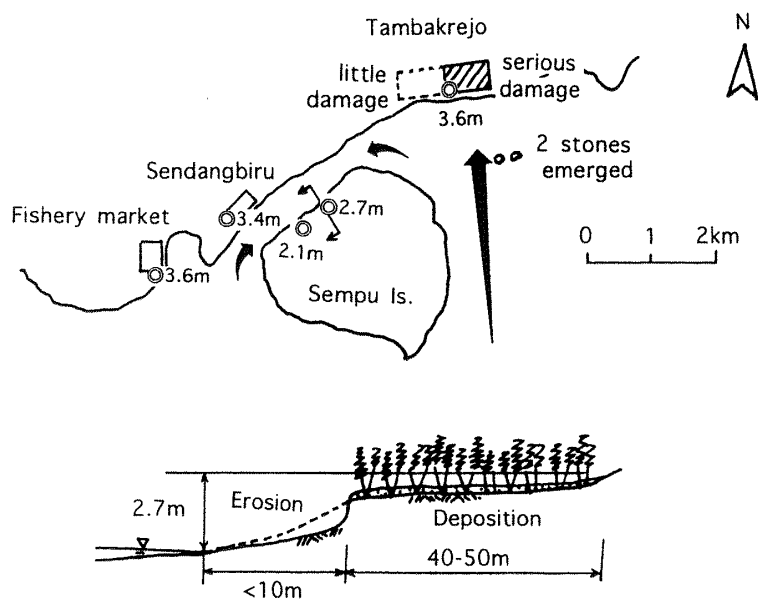


Fig. 4 Damage due to tsunamis in Tambaker village and Sempu island which is an uninhabited one.

あった。Rajekwesi では最大2mにも及ぶ段差が確認されている。津波による侵食が構造物の基礎付近で生じた場合には、倒壊などの危険性がある。今回の調査結果では、ほぼ5m以上の打ち上げ高さを記録した地域では、沿岸に侵食による段差が見られた。この周辺では侵食だけでなく堆積過程も推定できる可能性があり、コアサンプルを採取している。Minoura&Nakaya (1991)の研究に代表されるように、津波による堆積物は、歴史津波の発生頻度を知る上で重要な指標となっており、その堆積過程を解明することは津波研究の1つのテーマになっている。

沿岸部での侵食と堆積の双方が顕著に見られたのが、Sendangbiruの沖に位置するSempu島である。島の背後にいくつかのポケットビーチがあり、その1つで海岸の侵食と内陸部での堆積が確認された (Fig.4の縦断面図を参照)。恐らく、島背後に左右から回り込んだ津波がここでぶつかり合い、一部が島の内陸部に浸入し、海岸で削り取った上砂をそのまま陸部へ運んだものと推定される。Photo 2に示されるように、内陸部の雑木には運ばれた白砂の痕跡がはっきりと残されている。他の地域では、住宅復旧作業のため砂の堆積状況



Photo 1 Erosion along the coast in Rajekwesi village, Banyuwagi, Java.

が崩されたり、Pancer村のように河川部へ上砂が流れ込んだ例もあり、侵食と堆積の双方が見られた例はSempu島やRajekwesiに限られていた。

4. おわりに

調査前、地震情報と現地からの津波規模情報と



Photo 2 White sands on the leaf at the pocket beach in Sempu island. Sands were transported by tsunami from coastal area into land at this island.

の比較により、ニカラグア地震津波と同様に今回の津波も「津波地震」である可能性が指摘されていた。本調査により、修正メルカリ指標で3から5程度（日本気象庁震度で2から3）であり、地震動は比較的小さかったことが確認された。しかし、震源との距離が大きいため小さい地震動であった可能性もある。現在、地震動だけのデータで「津波地震」と判断することは難しい。これを検討するには地震メカニズムを考慮した津波数値シミュレーションが必要となるが、そのためには余震域すなわち津波波源域の推定が重要な課題となっている。

現在、インドネシアでは日本と同程度の頻度で津波が発生しているにも関わらず、その津波防災に関する対策はほとんどなされておらず予算措置はほぼ皆無の状況である。その中で、被害の軽減を計ることは容易ではないが、一般住民への津波に関する教育（防災意識の高揚）、避難誘導の徹底、避難地の確保、木造住宅の構造強化（特に基礎と家屋の接続部）、防潮林の設置などが非常に重要な項目である。これらは防潮堤などの建造と異なり大規模な予算を必要としない。

【謝辞】

東北大学工学部首藤伸夫教授に現地調査計画に関するアドバイスを受けた。INA 新上木研究所からは調査への援助を受けた。ここに記して謝意

を表す。

参 考 文 献

- 1) Minoura, K. and S. Nakaya: Traces of tsunami preserved inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan, *Journal of Geology*, Vol.99, pp.265-287.
- 2) 首藤伸夫・松富英夫：津波の浸水深と流速，津波工学研究報告，東北大学工学部災害制御研究センター，Vol.11, p.29-32, 1994.
- 3) 都司嘉宣・今村文彦・河田恵昭・松富英夫・武尾実・伯野元彦・渋谷純一・松山昌史・高橋智幸：1992年インドネシア国フローレス島地震津波，月刊海洋，Vol.25, No.12, pp.735-755, 1993.
- 4) Tsuji, Y.F., Imamura, H., Matsutomi, C., Synolakis, P.T., Nanang, Jumadi, S. Harada, K. Arai and C. Benjamin: Field survey of the East Java earthquake and tsunami of June 3, 1994, *Topical issue of "Tsunamis: 1992-1994"*, *Pure and Applied Geophysics*, pp.839-854, 1995.

最後に津波調査への参加者リストを示す。

インドネシア

Jumaidi (Meteorological and Geophysical Agency), Maria Ushman (McDermott Company), Subandono Diposaptono, Prasetya G.S. (Agency for the Assessment and Application of Technology), Nanang T.P., Zadrach L.D., Wahyu T. (Bandung Inst. of Tech.), Chandora Y.P. (Pondasi Kisocon Raya Company), Takin, Frans, Dona, Budi S., Agus, Wirianto, Hendra M., Me Dian, Sudjarwo, Pietra, Erace, Richar, Kristian (Petra Christian University, Surabaya)

日本

松富英夫(秋田大), 高橋智幸(東北大), 都司嘉宣, 荒井賢一, Han Seh Sub (東大地震研), 原田智(気象庁), 松山昌史(電中研), 河田恵昭(京大防災研)

アメリカ

Costas Synolakis (Univ. of Southern Calif.), Ben Cook (Univ. of Washington)

イタリア

Tinti, Maramay, Alexis (Univ. of Bologna)

タイ

Fumihiko Imamura (Asian Inst. of Tech.)

(投稿受理：平成6年10月6日)

訂正稿受理：平成7年4月7日)