

1994ジャワ東部地震津波の調査

今村 文彦*・高橋 智幸**・松富 英夫***・都司 嘉宜****・
 荒井 賢一****・Han Seh Sub****・河田 恵昭*****・
 原田 智*****・松山 昌史*****

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(震源位置は図-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はいないが、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現在までに得られた結果を紹介する。

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、土砂移動、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(図-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、車での移動は比較的容易であった。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村に全員集合し、基本的調査事項の確認と測

*アジア工科大学

**東北大学

***秋田大学

****東京大学地震研究所

*****京都大学防災研究所

*****気象庁

*****電力中央研究所

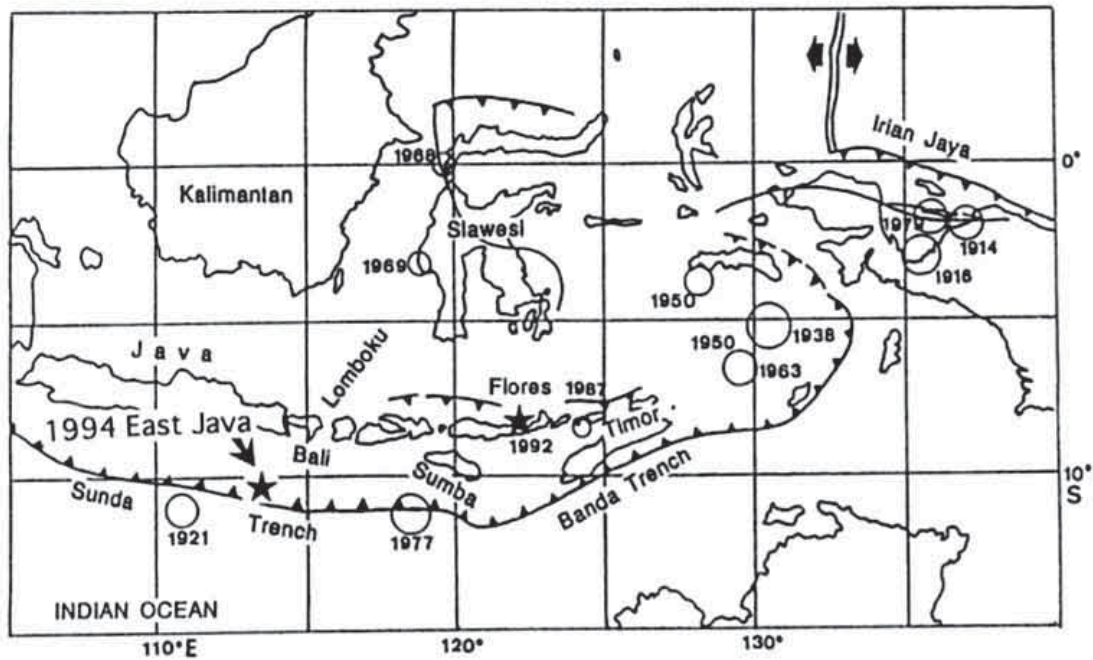


図-1 インドネシア中央部でのテクトニクスとジャワ東部地震の震源位置

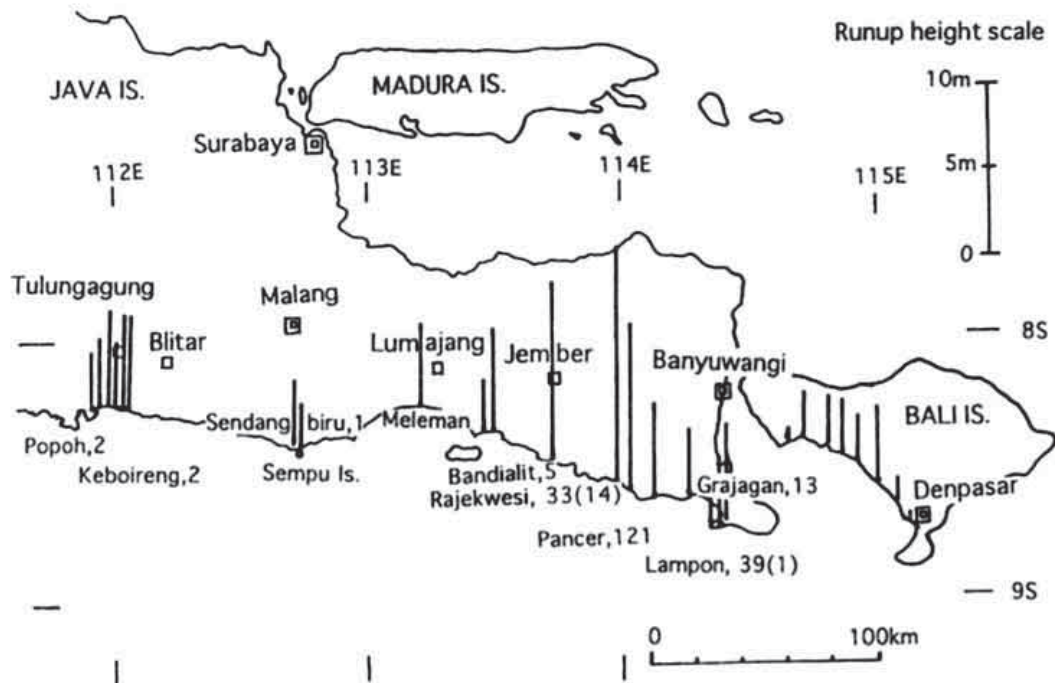


図-2 測定された津波打ち上げ高さと犠牲者数
かっこの数字は行方不明者。

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、土砂移動、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

(1) ジャワ島での被害

表-2, 3に各地域での人的, 家屋, 船舶被害をまとめる。これから明らかなようにBanyuwangi県での被害が圧倒的に高く, その中でも, インド洋に面しているLamponm

Pancer, Rajelwesi, Grajaganの各村に主な被害が限られている。実に犠牲者の9割がこれらの村に集中している。被害程度は来襲した津波の規模, 沿岸での津波高さを増幅させる効果(地形), 集落の位置などが関連する。これに関しては, 津波高さに関する項目で検討する。

(2) Pancer村での被害

表-4に村別の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。

表-1 測定された打ち上げ高さ(平均潮位からの高さ)

場 所	地名(村名)	位 置		津波遡上高さ 平均潮位上(m)
		南 緯	東 経	
Bali Is.	Legqn Kuta	8 42. 57	115 09. 94	1
	Tanah lot	8 37. 19	115 05. 15	<2.0
	Pandesoka	8 31. 59	114 59. 59	3.7
	Antor-bl	8 31. 65	114 59. 72	4.1
	Slabih-bl	8 28. 28	114 55. 82	2.6
	Pengraguan	8 27. 80	114 54. 46	3.2
	Pakutatan	8 26. 02	114 49. 41	2.8
	Ranbutsuiwi	8 24. 30	114 46. 03	2.7
Banyuwangi	Triangwulasari	8 39. 41	114 21. 64	4.9
	Triangwulasari	8 39. 42	114 21. 64	3.6
	G-land	8 41. 69	114 22. 56	4
	G-land	8 43. 82	114 21. 06	4.2
	G-land	8 43. 93	114 20. 93	5.1
	G-land	8 43. 85	114 20. 85	5.5
	G-land	8 44. 75	114 21. 35	4.4
	G-land	8 44. 37	114 20. 56	5.6
	G-land	8 43. 98	114 20. 76	5.3
	Grajagan	8 35. 78	114 13. 40	2.5
	Grajagan west	8 35. 78	114 13. 40	2.3
	Grajagan	8 36. 49	114 13. 60	4.1
	Purwosari	8 36. 91	114 06. 83	1.3
Lampon east	8 36. 00	114 05. 80	9.3	
Lampon	8 36. 93	114 05. 19	5.4	

	Lampon	8	36. 93	114	05. 19	1.3
	Lampon	8	36. 93	114	05. 19	3.8
	Pancer center	8	35. 35	114	00. 26	6.7
	Pancer	8	35. 40	114	00. 30	7.5
	Pancer	8	35. 40	114	00. 30	9.4
	Pancer	8	35. 35	114	00. 28	6.7
	Pancer	8	35. 16	114	00. 47	5.7
	Pancer	8	35. 36	114	00. 50	6.3
	Rajekwesi	8	33. 39	113	56. 11	13.9
	Rajekwesi	8	33. 40	113	56. 11	4.2
	Rajekwesi	8	33. 51	113	56. 62	7.5
	Rajekwesi	8	33. 32	113	56. 69	5
Jember	Bandialit	8	28. 90	113	42. 66	9.9
	Bandialit west	8	28. 94	113	42. 68	10.3
	Bandialit east1	8	28. 93	113	42. 78	6
	Bandialit east2	8	28. 97	113	42. 75	5.9
	Bandialit east3	8	29. 11	113	42. 94	4.6
	Geten	8	23. 17	113	24. 49	3.1
	Besini-Ngar.	8	22. 82	113	27. 93	5.9
Lumajang	Bambangan	8	17. 36	113	06. 51	4.6
Malang	Sendanbaru	8	25. 00	112	42. 62	3.6
	Sendanbaru	8	25. 81	112	41. 08	3.4
	Sendanbaru	8	26. 00	112	40. 92	3.6
	Sempu ls.	8	25. 76	112	41. 53	2.7
	Sempu ls.	8	26. 00	112	41. 43	2.1
	Ngliyep	8	21. 00	112	21. 20	4.3
Tulugagung	Tambakrejo	8	18. 00	112	05. 00	5.4
	Tambakrejo	8	18. 00	112	05. 00	3.7
	Sine Gulf	8	16. 00	111	53. 00	4.2
	Sine Gulf	8	16. 00	111	53. 00	3.5
	Gerangan	8	15. 43	111	50. 38	4.6
	Gerangan	8	15. 41	111	50. 43	5.4
	Gerangan	8	15. 42	111	50. 39	5.5
	Brumburn	8	15. 70	111	50. 02	4.8
	Brumburn	8	15. 71	111	50. 02	3.7
	Brumburn	8	15. 72	111	50. 04	3.8
	Popoh	8	15. 58	111	48. 43	2.9
	Pooh port	8	15. 78	111	48. 26	3.9
	Sidem	8	15. 34	111	48. 00	3.1
	Prigi	8	17. 23	111	43. 43	0

表-2 各地域での人的・家屋・船舶被害

県名	人的被害				家屋被害			船舶被害
	死亡者	行方不明者	重傷者	軽傷者	全壊	半壊	一部	
Tulugagung	2		20		62	59		84
Blitar	2					3		153
Malang	1			2	31	7	4	168
Jember	12			7	36	33	11	119
Banyuwangi	206	15	4		591	66	235	380
全 体	223	15	21	9	720	168	250	904

表-3 主な村での人的及び家屋被害 (Banyuwangi県内)

村名	人的被害					家屋被害	人口	総家屋数	新聞報道された津波高さ
	死傷者	行方不明者	重症者	傷者	軽症者				
Lampon	39	1	4	29	30	112	645	171	12m
Pancer	121		27	60	439	704	3,081	996	12
Rajekwesi	33	14	1	6	79	71	1,205	301	8
Purwosari						不明	1,324	331	12
Grajagan	13					不明	不明	不明	
Kutorejo					3	不明	2,688	647	8
合 計	206	15	32	95	542	887			

図-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(図-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。

4. 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図-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が、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は表-1を参照されたい(Tsuji et al., 1994)。

得られた結果によると、津波の打ち上げ高

表-4 3つの村での死亡率と家屋被害率

村名	死者数 A	人口 B	比率 A/B	被害家屋数 C	全家屋数 D	比率 C/D
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
合計	208	4,931		887	1,468	

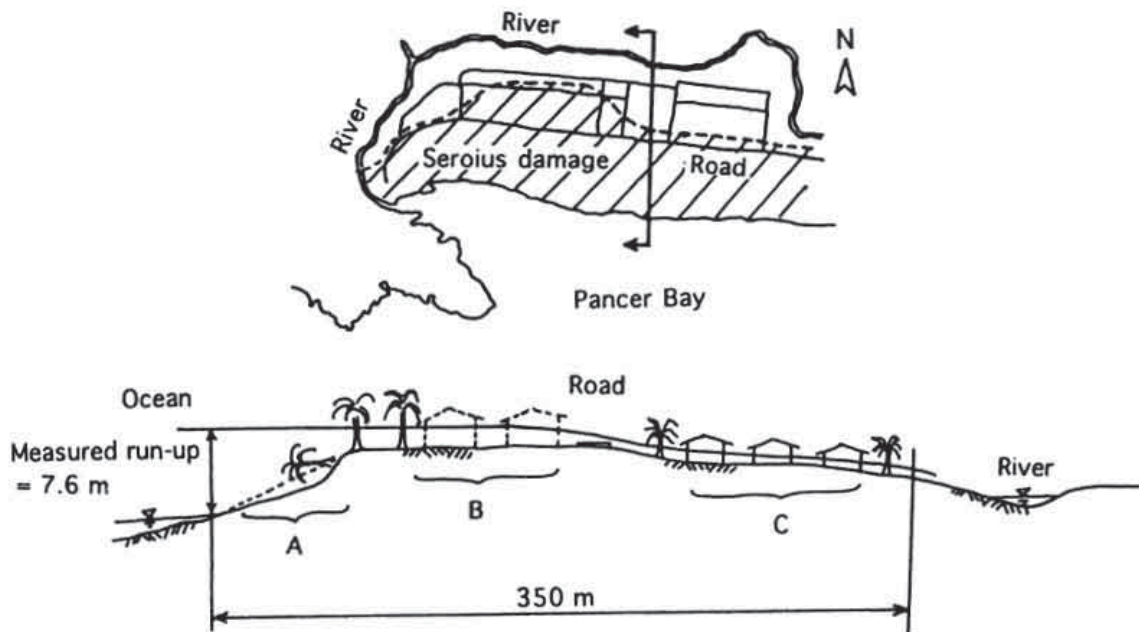


図-3 Pancer村での被害状況

上図斜線部が家屋被害地域を示す。矢印によって断面をとると下図のようになる。

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。

被害程度と津波との関連を見ると、ほぼ5m程度を境に、死者を出すような大きな被害を出した地域とそうでない地域に分けられそうである。大まかに家屋は平均海面から3m程度の高さに建てられ、建物の基礎高さを50cm程度であるので、津波高さ5mはちょうど室内での大人の胸あたりに相当する高さとなる。これは、子どもや老人であったならば、溺れてしまう高さとなる。実際、犠牲者の殆どが子どもと50歳以上の老人であったことを考え合わせると、津波高さ5mは被害の程度を分ける基準となりそうである。

5. 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(図-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。図-4で明らかなように、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(図-1)1921年にマグニチュード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。

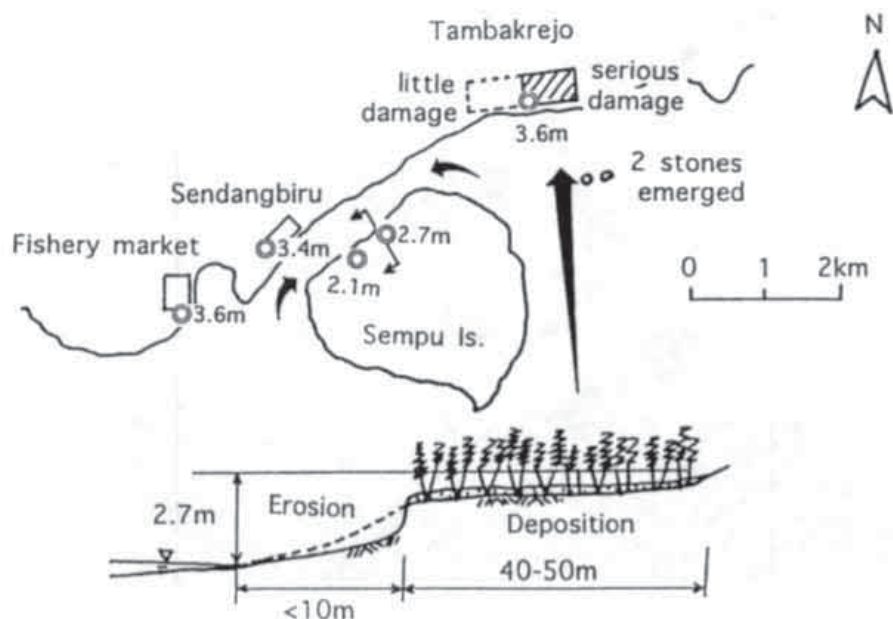


図-4 Tambaker村とSempu島付近での被害状況

6. 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(写真-1に見られるような段差の形成)であった。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

(写真-2)と内陸部での堆積(写真-3)が確認された(図-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、海岸で削り取った土砂をそのまま陸部へ運んだものと推定される。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が崩されたり、Pancer村のように河川部へ土砂が流れ込んだ例もあり、侵食と堆積の双方が顕著に見られた例はSempu島やRajekwesiに限られていた。

7. おわりに

調査前、地震情報と現地からの津波規模情報との比較により、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



写真-1 Rajekwesi村での沿岸部における侵食



写真-2 Sempu島での沿岸部における侵食



写真-3 Sempu島内陸部での海砂の堆積
この付近の本来の表土は黒い土であった。

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新土木研究所からは調査への経済的援助を受けた。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) 都司嘉宜・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*, 1994 (Submitted).
- 最後に著者以外の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)
- 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)