

2006 年ジャワ島津波の被害調査

Field Survey on 2006 Java Tsunami

辰巳大介¹・高橋重雄²・藤間功司³・鳴原良典⁴
松富英夫⁵・幸左賢二⁶・庄司 学⁷・村嶋陽一⁸

Daisuke TATSUMI, Shigeo TAKAHASHI, Koji FUJIMA, Yoshinori SHIGIHARA
Hideo MATSUTOMI, Kenji KOSA, Gaku SHOJI and Yoichi MURASHIMA

This report is to summarize the result of our field survey for 2006 Java Tsunami. Major conclusions are as follows; 1) The area from 108.0 E to the eastward was affected by the tsunami with the wave height of 3-5 m. 2) Tsunami run-up and inundation around tombolo or sand dune are investigated. Some topographical or artificial factors in tsunami disasters are found out: tombolo, the places where river mouths cut across sand dunes, roads or paths leading to coast lines, and drifting fishery boats. 3) There is the area in oval shape with the water depth of over 3000 m off the south cost of Java Island. Tsunami numerical simulation proves that the tsunami refracts toward north direction when it propagates out of this area. Such bathymetry and refraction can cause the tsunami to reach to the distant area like Yogyakarta.

1. はじめに

2006 年 7 月 17 日 15 時 19 分 (現地時間), インドネシアのジャワ島南方沖 200 km の地点でマグニチュード 7.7 の地震が発生した (USGS, 2007-03-11 参照). 地震の発生した地点は, オーストラリア・プレートがスンダ・プレートに沈み込む海溝軸に位置し, 地震活動の活発な地点である. 震源とジャワ島の位置を図-1 に示す.

この地震によって津波が発生し, ジャワ島中西部南岸を中心に大きな津波被害を生じた. 600 名以上の方が死亡, 1500 軒以上の建物と 1500 隻以上のボートが損傷・破壊された (USGS, 2007-03-11 参照). なお, ジャワ島における地震動は, 構造物に被害を及ぼすような激しいものではなかった.

本論文では, 現地被害調査と数値計算によって, 津波被害を把握し, 津波被害が発生・拡大した理由を明らかにすることを目的とする. 特に沿岸部の陸上地形や土地利用, および海底地形による津波の伝播と変形特性に着目する.

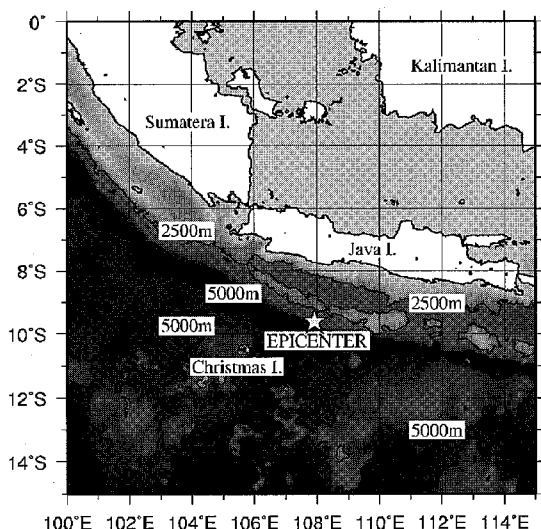


図-1 震源とジャワ島の位置, 地形は BODC (2003) に拠る

2. 現地被害調査

(1) 現地被害調査の概要

著者らは, 独立行政法人港湾空港技術研究所と社団法人土木学会の合同調査団として, 津波発生 5 日後の 2006 年 7 月 22 日から 4 日間および 8 月 4 日から 4 日間, 2 班に分かれてジャワ島中西部南岸を調査した. 踏査した地域は Cikelet 郡 (東経 107 度 40 分) から Binangun 郡 (東経 109 度 15 分) に至る, 170 km の沿岸域である. 現地被害調査の詳細については, 辰巳ら (2007) を参照されたい.

(2) 津波痕跡高の調査結果

津波痕跡高と痕跡測量地点の地盤高を図-2 に示す. 上

- | | | |
|---------|--------|-------------------------------|
| 1 正 会 員 | 修(工) | (独法)港湾空港技術研究所津波防災研究センター |
| 2 フェロー | 工博 | (独法)港湾空港技術研究所津波防災研究センター |
| 3 正 会 員 | 工博 | 防衛大学校システム工学群建設環境工学科 |
| 4 正 会 員 | 博(工) | 防衛大学校システム工学群建設環境工学科 |
| 5 正 会 員 | 工博 | 秋田大学工学資源学部土木環境工学科 |
| 6 正 会 員 | Ph. D. | 九州工業大学工学部建設社会工学科 |
| 7 正 会 員 | 博(工) | 筑波大学大学院システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻 |
| 8 正 会 員 | 修(水) | 国際航業株式会社東日本事業本部 |

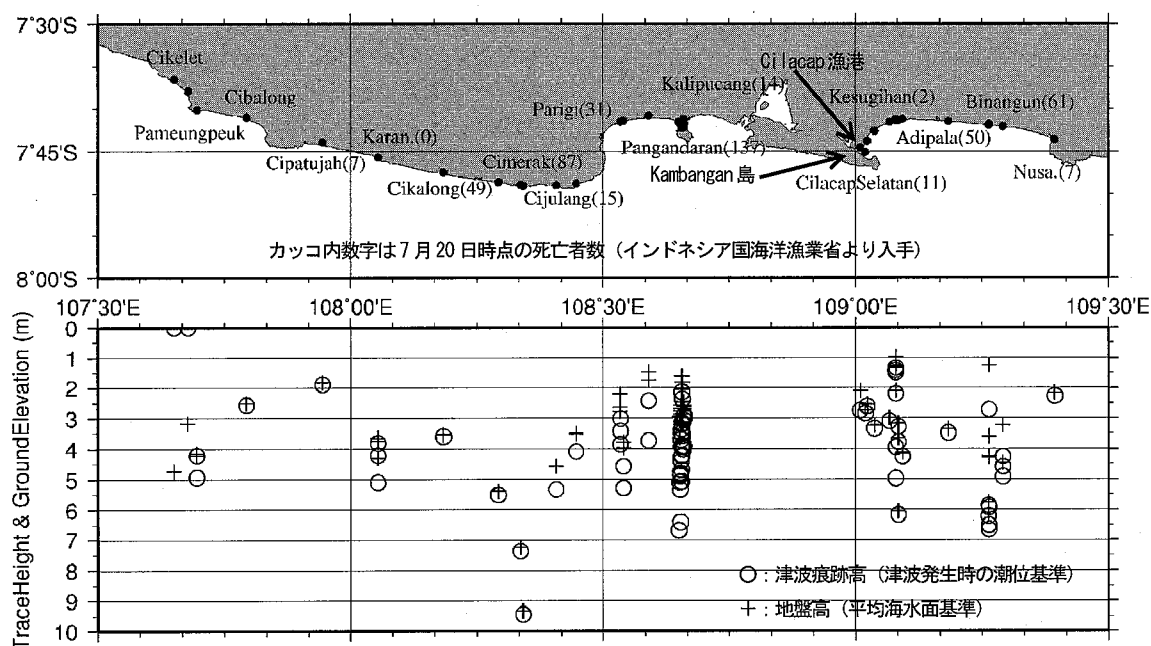


図-2 津波痕跡高と地盤高の調査結果, および津波による郡別の死亡者数

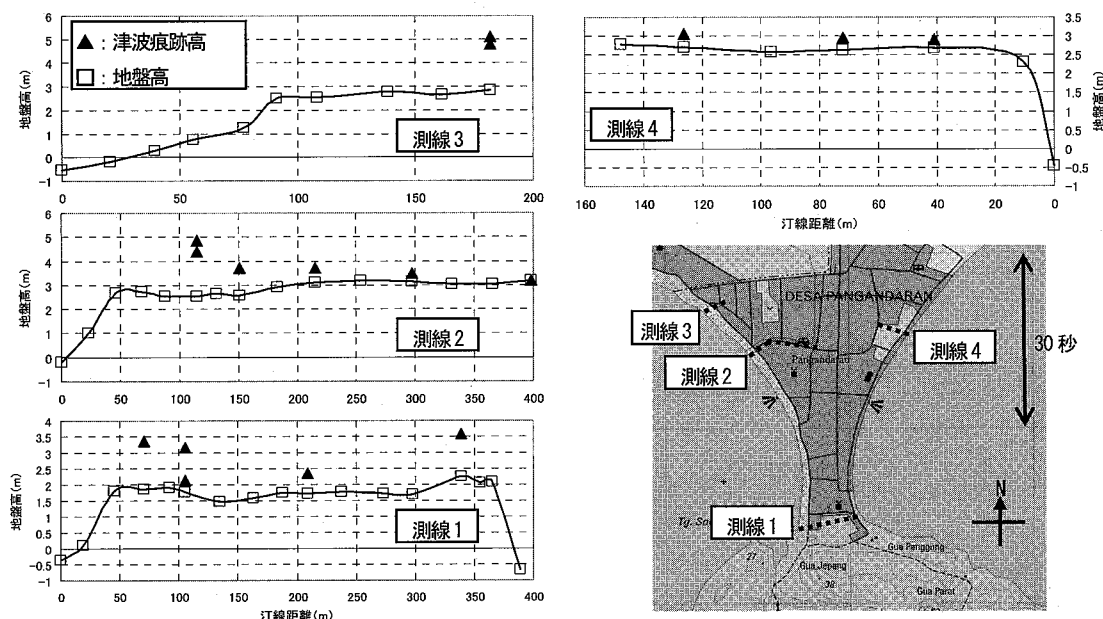


図-3 Pangandaran の地図 (BAKOSURTANAL, 1999) と断面地形・津波痕跡高の測量結果

段地図上の地名は郡の名前, カッコ内の数字は各郡における死亡者の数である。津波痕跡高は, 津波来襲時刻と推定される7月17日15時40分のCilacap漁港(南緯7度44分, 東経109度1分)の天文潮位を基準面とし, 地盤高はCilacap漁港の平均海面を基準面としている。津波来襲時の天文潮位は, 平均海面の7cm下方である。

図-2より, 東経108度以東の広範囲な海岸線に沿っ

て, 3~5mの高さの津波が来襲したことが分かる。137名の方が亡くなられたPangandaran郡をはじめ, 東経108度以東の同地域が最も津波の被害を受けた。ただし, Cilacap漁港は, その前面に位置するKambangan島の遮蔽域に入ったため, 最大2.8mの高さの津波が来襲したに過ぎなかった。

一方, 東経108度以西では津波の高さが2m前後し

がなく、3 m 以上の高さの砂丘が海岸線沿いに広がっていたため、津波被害はほとんど見られなかった。なお、Pameungpeuk には高さ 4.9 m の津波が来襲しているが、Pameungpeuk は岬の先端に位置するので、屈折した津波の集中により津波の高さが増大したと考えられる。

一般的に、海岸線沿いに砂丘が存在し地盤が高いと、津波の被害を受けにくい。例えば今回の調査でも、Cikalong 郡 Mandalajaya における津波の高さは 3.6 m であったが、集落の前面に幅 140 m、高さ 5 m の砂丘が広がっていたため、津波被害は生じなかった。

しかし、後述する Binangun 郡 Widarapayung Wetan のように、砂丘を越流する高さの津波が来襲した地点では、大きな津波被害も確認された。2004 年インド洋津波を対象にした富田ら (2005) の現地調査・水理模型実験で指摘されているとおり、砂丘背後の下り勾配で流速が増大するためであると考えられる。例えば Parigi 郡 Ciliang では、砂丘背後の集落において、家屋の間の海岸線に通じる路地に面した壁面が集中的に損壊しており、津波の速い流れが瓦礫を巻き込みながらこの路地へ侵入したと推察される。砂丘の頂上部に駐車されていた普通自家用車は、内陸側へ 90 m 流された。

さらに、Cikalong 郡 Cimanuk のように砂丘を断ち切る形で海に流れ込む水路の河口部から津波が遡上した地点でも、砂丘が存在し地盤が高いにもかかわらず津波被害は拡大した。

次節以降では、特徴的な津波被害が見られた 2 地域の説明を行う。

(3) Pangandaran 郡 Pangandaran

Pangandaran では、地盤高が 3 m 以下、幅も数百メ

ートルしかないトンボロ地形に、ビーチリゾートと漁村として多くの人が集住しているため、大きな津波被害を被った。Pangandaran の地図と断面地形・津波痕跡高を図-3 に示す。津波の高さはおよそ 3 ~ 5 m であり、周辺地域と比較して特に津波が高かったわけではない。しかし、西側から来襲した第 1 波・第 2 波に引き続き、第 2 波の回折波として第 3 波が東側から押し寄せ、幅 400 m というトンボロの狭い地点では、東側の海岸から反対側の西側の海岸までトンボロ全体が浸水した。

また、トンボロ周辺に数多く停船していた漁業用ボートの漂流が構造物に損傷を与えた。

ただし、津波による構造物の損壊が見られたのは、海岸線に面した家屋や海岸線に通じる街路に面した家屋であり、海岸線沿いの道路から一本内陸側に入った道路脇



写真-1 Pangandaran の津波被害、図-3 測線 2 から内陸方向を撮影

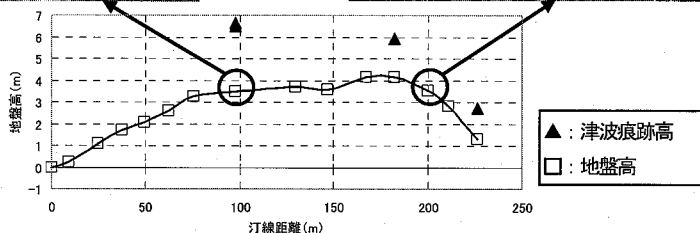


写真-2(左)、写真-3(右)、図-4 Widarapayung Wetan の断面地形と津波被害

では、津波による構造物の大破は見られなかった。写真-1中の楕円は、海岸線や海岸線に通じる街路に面した家屋が集中的に損壊している様子を示す。

(4) Binangun 郡 Widarapayung Wetan

Widarapayung Wetan は、海岸線沿いに広がる砂丘上にプールや休憩施設が建設された海浜公園である。砂丘は4.3 mの高さであったが、高さ6.7 mの津波が来襲したため大きな津波被害を生じた。亡くなられた方の多くは、海岸でカニを採取していた人である。津波に対する注意を促す放送なども無かったため、彼らは津波を目撃してから避難しようとしたようである。

Widarapayung Wetan の断面地形と津波被害の様子を写真-2、写真-3、図-4に示す。砂丘を越流した津波は、頂上部の石造の家屋を根元近くから押し倒し、砂丘背後の下り勾配で流速を増大させ、津波の侵入路の両脇などを洗掘している。海浜公園前面の海岸へアクセスしやすいよう、砂丘の一部分を掘り下げて建設された道路が、津波の侵入路となった。

3. 数値計算

(1) 基礎方程式と地形データ

基礎方程式は、鉛直方向に物理量を積分した2次元非線形長波方程式である。遡上は考慮せず、海岸線での完全反射を仮定した。差分スキームは空間差分に対してスタガード格子、時間差分に対してはリープ・フロッグ法を採用した。初期水面変位は、地震波の解析から得られ

た断層パラメータを入力として、Mansinha・Smylie (1971)の方法に拠り計算した。

計算に用いた水深データは、BODC (2003)の1分間隔の水深データを、UTM 直交座標系に変換したものである。格子間隔は1850 mとし、計算範囲は南北方向に南緯7度から南緯11度まで、東西方向に東経105度から東経112度までである。

計算ステップの時間間隔は1秒とし、津波発生後2時間後まで計算した。

(2) 断層パラメータ

東北大学災害制御研究センター津波工学研究室(2007-03-11参照)に掲載された、Harvard UniversityのCMT Solutionに基づく断層パラメータを使用した。断層の位置は南緯9.6度、東経107.92度、深さ10 km、走向289度、傾斜角10度、滑り角95度、長さ84.8 km、幅42.4 km、滑り量3.71 mである。

(3) 数値計算結果

ジャワ島中西部南岸の海底地形が津波の伝播へ及ぼす影響を検討するため、図-5のとおり、津波の波向線をプロットした。波向線は、「水面変動が初めて1 mmを超えたときの線流量ベクトルをつなげた線」として算定した。ただし、波向線を見やすくするために、正規化した線流量ベクトルを用いている。また、津波波源のジャワ島側(北側)が沈降し、ジャワ島中西部南岸に到達した第1波は引き波であるから、図-5中の矢印の向きと津波の進行方向は必ずしも一致しない点に注意していた

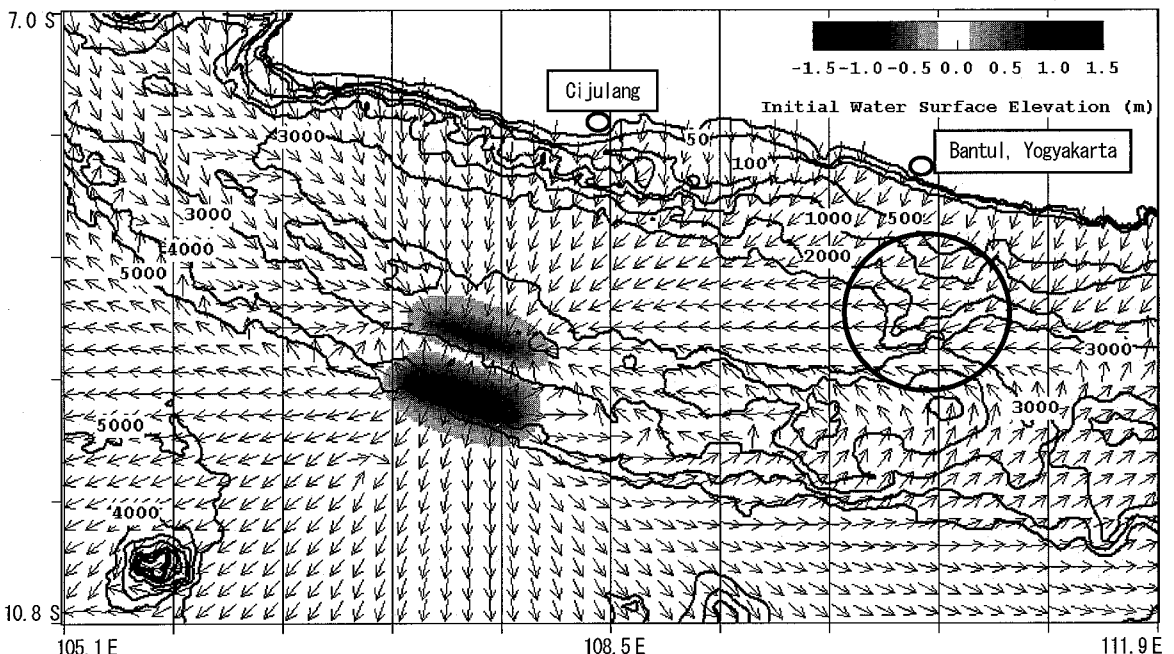


図-5 海底地形(等深線図)、波向線、および初期水面変動

だきたい。

まず, Cijulang 郡(東経 108 度 30 分)とその西側に位置する Cimerak 郡・Cikalong 郡は, 津波波源の真正面に位置するため, 他所と異なり津波のエネルギーが空間的に分散することなく入射しているので, 大きな津波が来襲したと考えられる。実際, Cikalong 郡では最大 9.5 m の高さの津波痕跡が見つかるなど, この地域の津波は高かった。

次に, ジャワ島中西部南岸には, 水深が 3000 m よりも深い袋状の海底地形が存在する。津波波源から伝播した津波の一部はこの袋状の海底地形を東進し, 袋状の海底地形が終わる地点(図-5 の丸印の中)で北側に屈折して, 震源から東側に離れた Yogyakarta 特別区まで到達している。都司ら(2007)の現地被害調査によると, Yogyakarta 特別区 Bantul 郡(東経 110 度 20 分)まで津波は到達しており, このような屈折する経路をたどって津波が伝播したと考えられる。なお, 図-6 は地震発生 20 分後と 25 分後における水位変化と正規化した流速ベクトルを示した図である。図-5 と同位置に書き入れてある丸印の付近で, 東進してきた津波が北側へ屈折する様子が見られる。

最後に, Parigi 郡から Cilacap 県に至る沿岸(東経 108 度 30 分から 109 度 30 分に相当)には, 水深 100 m の等水深線が岬状に張り出すような特徴的な海底地形が存在する。今回の数値計算結果では実証できなかったけれども, 岬状の陸棚への津波の集中や, 緩やかな海底勾配による津波の浅水変形が, Binangun 郡に見られた大きな津波被害の要因になったと推察される。

4. おわりに

本論文の結論は, 下記の 3 点である。

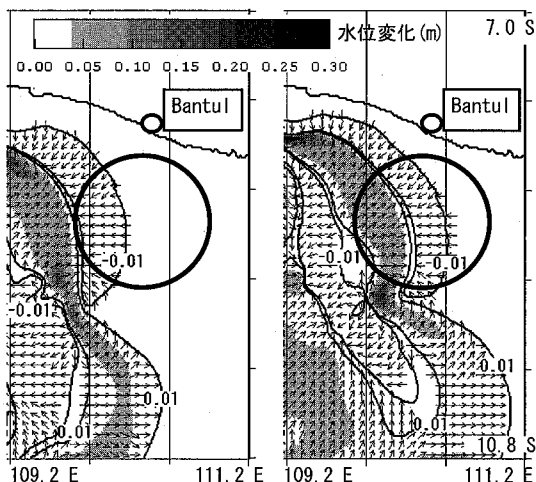


図-6 地震発生 20 分後(左)と 25 分後(右)における水位変化と正規化した流速ベクトル

- 現地被害調査の結果, 東経 108 度以東の広範囲にわたり, 3 ~ 5 m の高さの津波が来襲した。
- 2004 年インド洋津波など既往の津波災害でも指摘されているが, トンボロ地形のように地盤が低く避難も難しい地域, 砂丘を水路が断ち切る河口部の周辺, 海岸線に面するあるいは海岸線にアクセスする街路に面する場所では, 特に大きな津波被害を生じた。また, 漁業用ボートのような漂流物の衝突が, 津波被害を拡大させた。津波防災上有効な砂丘についても, 越流した場合, 砂丘背後の下り斜面で津波は勢いを増すという危険性が確認された。
- 数値計算により, 津波波源の真正面に位置するため高い津波が来襲した地点があること, また震源から離れた Yogyakarta 特別区などへも, 水深の深い部分を東進し北側へ屈折してきた津波が直接来襲すること, を明らかにした。

謝辞: 本調査の実施に際しては, 独立行政法人国際協力機構の高垣泰雄氏, (株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル, インドネシア国海洋漁業省調査団(団長: Dr. Subandono Diposaptono), 在インドネシア日本大使館, 国土交通省港湾局の関係諸氏から多大なご協力をいただいた。ここに記して深甚なる感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 辰巳大介・藤間功司・Subandono Diposaptono・富田孝史・高橋重雄(2007): 2006 年ジャワ島津波の現地被害調査報告, 港湾空港技術研究所資料, No. 1157, 37 p.
- 都司嘉宣・Seh-Sub Han・Fachrizal・Indra Gunawan(2006): 2006 年 7 月 17 日インドネシア国 Java 中部南方沖地震による津波の浸水高さ分布について, 日本地震学会 2006 年秋季大会講演予稿集, p. 79
- 東北大学災害制御研究センター津波工学研究室: Modeling a tsunami generated by the July 17, 2006 Earthquake, South of Java, Indonesia (オンライン), http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai2/disaster/06_Java/July_17_Java.html, 参照 2007-03-11
- 富田孝史・有川太郎・安田誠宏・今村文彦・河田恵昭(2005): インド洋大津波のスリランカ西部における津波実態・被害調査報告, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 1406-1410
- BAKOSURTANAL (Badan Koordinasi Survey Dan Pemetaan Nasional) (1999): Peta Rupabumi Digital Indonesia 1:25,000 Lember 1308-232 Pananjung(地図)
- BODC(British Oceanographic Data Center) (2003): Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas (CD-ROM)
- Mansinha, L. and D. E. Smylie(1971): The displacement fields of inclined faults, Bull. Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440
- USGS(U. S. Geological Survey): Magnitude 7.7-South of Java, Indonesia (オンライン), <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2006/usgaf/>, 参照 2007-03-11