

2006 年 7 月 17 日 Java 島南西沖地震による津波調査結果

都司 嘉宣*・韓 世燮**・FACHRIZAL***・Indra GUNAWAN***

1. はじめに

2006 年 7 月 17 日 15 時 19 分 28 秒 (現地時間, UT は 8 時 19 分), インドネシア国ジャワ島中部南方海岸から約 180km 沖合海域で Mw7.7 のプレート境界面のすべりによる逆断層型の巨大地震が発生した。この地震によってジャワ島の南海岸の各地には大きな津波が来襲し, 集落の家屋被害, および人的被害をもたらした。

Ammon et al. (2006) によると, 震源 (破砕開始点) の位置は (9.26° S, 107.39° E) で深さは約 15km であった。断層面上の破砕進行速度は東向きに毎秒 1.27km というゆっくりしたものであった。この地震は, 地震波の観測周波数帯によって推定された地震規模 (M) の値が異なる。たとえば, 長周期地震波成分から推定された解放地震モーメント 6.7×10^{20} Nm と見積もられ, これからモー

メントマグニチュード (M_w) は 7.8 と算出されるのに対して, 短周期地震動から見積もられたマグニチュード (M_s) は 7.2 にすぎなかった。すなわち, この地震は, 揺れが小さく感じられる割に大きな津波が発生した典型的な津波地震であったことが指摘された。

Fujii et al. (2006) は津波の検潮記録から, この地震津波の波源域が東西 200km の長い範囲に延びていたことを検証した。

松本 (2007) は海洋開発機構 (JAMSTEC) によるこの地震の震源域での海底調査に基づき, 多数の海底地すべり痕跡があることを述べている。

この地震の津波による最大被災地となった Pangandaran とその周辺の津波による建築物の被害状況については, 庄司ら (2007, 2010) の報告, および考察がある。

ジャワ島南方海域では, 1994 年にもジャワ島東端付近の南方沖合海域で, M7.6 の地

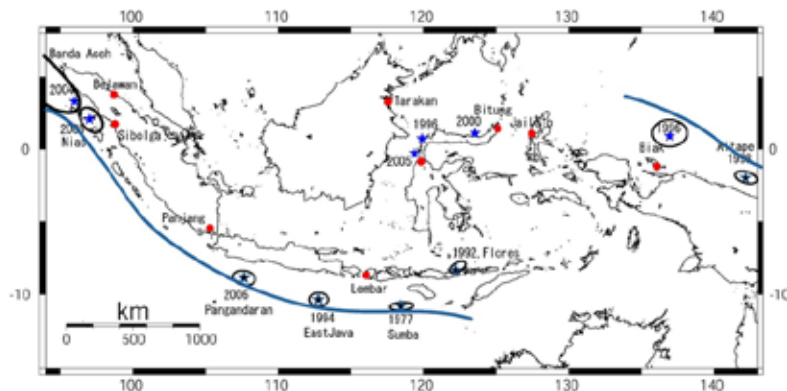


Fig. 1 インドネシア 1992 年から 2006 年の間に起きた主な津波を伴った地震 ★印は震央, それを取り囲む楕円はおよその津波発生源の範囲 左側の太実線はユーラシアプレートの下にインド・オーストラリアプレートが沈み込む海溝軸

*地震津波防災戦略研究所

** Se Sub, Han, 韓国気象庁

*** インドネシア気象庁 (BMG)

震が起きた。この地震は深夜午前 1 時 17 分に発生したが、津波被災地のほとんどの人は地震の揺れに気づかず就寝を続けた。しかし地震発生約 50 分後に沿岸を高い津波が襲、Rajekwesi 村で最大津波浸水高 13.9m を記録し、合計 223 人の津波死者を生じた (Tsuji et al.1995)。この地震も津波地震であったと判断される。

筆者 (都司と韓) は、インドネシア気象庁 (BMG) の Fachrizal 技師らとの協力を得て、津波の最大被災地となったリゾート地 Pangandaran 付近を起点に東にむかって津波被災地の調査を進め、ジャワ島中部の Yogyakarta 市の南方までの津波浸水高さを測定した。

Pangandaran 以西の海岸での津波浸水高の調査は、筆者らより数日前に被災地に入った Kato et al. (2007) の報告がある。また、インドネシア気象庁の Fachrizal et al. (2006) らによって筆者らの調査の前にパンガンダラン周辺の十数点で津波高さや被害の調査が行われ、筆者らの帰国後の成果も加えて、多数の点での津波高さなどの状況が報告されている。また各地点での死者、行方不明者、および流失家屋数などの被害数字なども記載されている。ただし、この報告書はインドネシア語で記してあるうえ、一般の学会論文とは異なりインドネシア気象庁の内部資料であるため、閲覧引用しづらい資料であるが、本稿には成果表を英訳して載せることとした。

ここでインドネシア国の地方行政単位について記しておこう。最小の集落単位は RT と呼ばれ、これは日本の「小字 (こあざ)」に相当する。行政の基本単位は Desa (デサ、村) という。いくつかの Desa を集めて Kecamatan (クチャマタン、郡) を構成する。これと同格なのが Kota (市) である。その上の階層に Kabupaten (カブパーテン、県) が置かれ、この上に Provinsi (州) がある。本稿で、村、郡、県、州などと表記したのは、すべてここに記した原表記を訳したものである。調査地点の原名には Pantai を冠した地名が多くあらわれるが、これは「浜」であって、Pantai X という地名の場合、X 村の中心は

内陸部に有り、その村域の海岸線に近い地点名として Pantai X と呼ばれることが多い。

地名中 “e” はすべて「チ」と発音され、英語からの借用単語以外で「k」あるいは「s」と発音されることはない。また “e” は広口で「ウ」と発音される場合が多く、「エ」と発音されることは少ない。英字で綴られた地名を日本語のカタカナで転写するさい参考とされたい。

2. 天文潮汐の補正について

2.1 Cilacap 港の天文潮汐の計算

津波浸水、あるいは遡上高の調査は、調査時の海面を基準として測定した。このため、平均海面 (MSL) を基準とした津波高さの数値を求めるには、調査時の天文潮汐の値を計算のよって求めておかななくてはならない。しかしながら、今回の調査の基準港である Cilacap 港については、主要 4 分潮 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) の振幅、及び遅れ角のデータは入手することができなかった。そのかわり、インターネットで、「Cilacap」, 「Tide」の 2 語を入力すると、直近 7 日間の干満時刻、その潮位極値が公表されているサイトに到達した (Tidechart.com, 2021)。筆者は、試行錯誤の結果、次の公式によって、このサイトの公表値とは最大誤差 10cm 以内で天文潮汐の値が得られることを確認した。すなわち、 T を倍精度 (有効数字 16 桁) で表したユリウス日 (小数点以下の時分秒はジャワ島標準時刻 UT+7h を日に換算した値を採る) として潮位 y (MSL 基準) は

$$y = M_2 + S_2 + K_1 + O_1$$

$$M_2 = 57.4(\text{cm}) \times \cos\left(\frac{48\pi}{12.42060120857740}(T - T_0)\right)$$

$$S_2 = 32.5(\text{cm}) \times \cos(4\pi(T - T_0))$$

$$K_1 = -13.7(\text{cm}) \times \cos\left(\frac{48\pi}{23.934469591928}(T - T_0)\right)$$

$$O_1 = -4.3(\text{cm}) \times \cos\left(\frac{48\pi}{25.8193416633641}(T - T_0)\right)$$

$$T_0 = 2459332.344444 \text{ (2021 年 4 月 27 日 8 時)}$$

16分のユリウス日)

$$\pi = 3.1415926535897932$$

で与えられる。円周率 π も倍精度を持っていることが必要である。 K_1, O_1 の計算式の \cos の中の引数の分母に現れる23.93・・・, および25.81・・・の数值は, 恒星(正確には天の春分点), および月が, 天球上を一周するのに要する平均時間であって, この計算ではともに倍精度の数值が必要である。また \cos 関数も倍精度用の関数であることが必須である。この式では主要4分潮しか採用されていないこと, 月・地球間の距離の変化を考慮した係数 f の影響(中野, 1940)を考慮していないことから, 約5%の誤差は免れず, 0.1m以下の精度は期待できないが, 調査結果の天文潮補正には十分であろう。ユリウス日については、『天文年鑑』(誠文堂新光社)または『換暦』のサイトを参照されたい。

本稿で取り上げる, 2006年7月17日15時19分の地震発生時, その1時間後(16時19分), および2時間後(17時19分)のCilacap港の天文潮汐は, 平均海面(MSL)を基準として, それぞれ, -0.04m, -0.20m, -0.31mである。各地の証言から最大津波は第2波であったとするものが多く, その到達時刻は, およそ地震の2時間後と推定されるので, 最大津波の来襲時の天文潮汐は-0.3mであったと考えられる。第4章で調査各地点でのMSLを(平均海面)を基準とした津波の浸水高, あるいは遡上高の結論値(地図標高)を記したが, 「津波による正味の水位上昇量(net height)」は, この数値に0.3mを加えれば得られるであろう。

3. 調査日程

3.1 調査日程の概要

筆者のうち都司と韓の二人は, 地震津波発生後約2週間が経過した2007年8月3日にインドネシア国の首都ジャカルタに入り, インドネシア気象庁のFachrizal技師(Ir.), およびGunawan氏と面会し, この4人が調査チームを編成することとし, 明日以後の調

査行動・日程を話し合った。このとき, Fachrizal技師らはすでに最大被災地となったPangandaran市の主として西部地域で十数点の調査は完了していた。Pangandaranを起点としてJava島南海岸を東方に向かって調査を進めることとした。

翌日8月5日から最大被災地となったJava島南岸のPangandaranに入り, ここを第1点として調査を開始した。調査は, ここから海岸線に沿って東方に約200km進め, Java島中部の古都Jogjakartaの南方Parangtritisでの調査で終了した。筆者のチームで行った浸水, または遡上の津波高さの調査点数は, 全部で32点であった。各調査点では, 津波浸水域, 津波浸水, あるいは遡上高さの観察測定のほか, 被害状況, および地震動の感じ方に関してインタビュー質問を行った。

3.2 日毎の行動

8月5日の行動: 調査初日の8月5日11時35分(現地時間), 陸繋島の砂州の上に発達したリゾート地であるPangandaran市の半島東海岸から調査を開始し, 正午過ぎまでに同市内で3点の津波浸水高を測定した。その後, 同市から海岸線に沿って約20km西方に移動し, 海岸砂丘上のBatukarasで調査を行った。その後, Pangandaranへの帰途, 中間点にあるKaran Tirtaの海岸で調査を行った。この日はPangandaran市を通り過ぎて, その約47km東方のCilacap市で投宿した。この間津波による被害の大きい地点が連なっていたが, 細密な調査はインドネシア気象庁などの調査に任せることとした。

8月6日の行動: Jawa島南海岸の最大港湾都市であるCilacap市では, ここの気象官署を訪れた後, 海岸線に沿って東進し, 7点を調査して約35km東方のAyah市の海岸公園に達し, ここでこの日の調査を終了した。この間の海岸では「地震を感じなかった」と答えた人が多かった。この日の調査の後, 約100km東方の古都Jogjakarta南方のParangtritisに移動し, ここで投宿した。この点を今回調査の最東点として, 明日以後は, 西方

に戻りつつ調査点を決定することとした。

8月7日の行動： Parangtritis からその西方約 35km にある、Temon 市の Glagah 村までの 8 点を調査した。

8月8日の行動： Temon 市の Congot (チョンゴト) 海岸からその西方約 60km にある Karangbolong 村まで 11 点を調査して、この日の調査を終え今回の全調査を終了した。Karangbolong 村は 6 日の最終調査点の Ayah の約 8km 東方の点であるので、Cilacap 市と最東点 Parangtritis の間約 170km の海岸線について、おおむね 10km 以上の間隔を開けることなく調査を遂行できたことになる。

日数が限られた海岸線調査の場合、希望す

る最遠点を決めておき、最終日以前に先にその点に到達して、調査しつつ戻る、という調査行程をとるのが日没後時間が有効活用できるので有力である。

4. 各調査点での状況

以下には、本研究で行った各調査点での結果を、西から東への順に述べていくことにしよう。Fig. 2 に各調査点の配置を示しておく。以下の各地点の説明文において、表題の地点名の直後に記した南緯、東経位置は、測定点の位置であって、その地点名の中心集落の位置ではない。そのあとに記した時刻は、測定

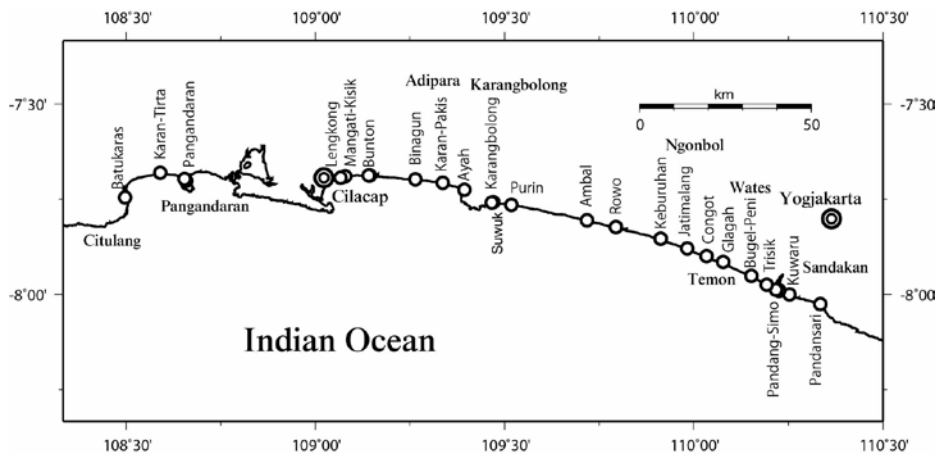


Fig. 2 Java 島南岸の調査点の配置 明朝体の英字で示したのは郡または市の名称である



Fig. 3 Batukaras の測定点と津波浸水高 (MSL 基準, 以下同)



Photo. 1 津波に被災した Batukaras の集落 右の住宅は流失してコンクリート床のみが残っている

時の Java 時刻 (UT+7h) である。

4.1 Batukaras (Citulang 郡 Minarasa 村)

(07° 44' 42.0" S, 108° 29' 49.9" E)

小屋の壁面の浸水痕跡の高さを測定時 (16時07分, 天文潮汐 +0.18m) の海面からの高さを測定して 4.27m を得た。天文潮汐を補正してここでの津波浸水高さは平均海面 (MSL) 上 4.1m とする。以下の各地点での津波高さの結論値も同様なので、以下ではこの注記は省略する。Fig. 3 は、オランダの蘭印測量局が 1936 年に作成した原図を 1943 年に日本の陸軍参謀本部が発行した 5 万分の一地図に測定点の位置と津波浸水高 (MSL 基準) を描き込んだものである。

4.2 Karang Tirta (07° 40' 48.5" S, 108° 35' 25.7" E)

Pangandar と Batukaras のほぼ中間点のほぼ直線状の海岸線の、湾曲した河口の潟湖の北岸に Karang Tirta がある。家屋の壁面に残った津波痕跡の湖面 (ほぼ海面に等しいと考えられる) からの高さは 3.24m であった (測定時刻は 8 月 5 日 16 時 40 分, 天文潮位は +0.33m)。天文潮汐を補正してここでの津波浸水高さは 2.9m とする。外洋に直接面した海岸ではないため、津波による浸水高さは緩和されたと考えられる。

倒木によって推定した津波による流れの方向は北から時計回りに計って 300° (北西方向)、津波による海岸線からの浸水距離は 300m であった。流向、および浸水距離の記載はインドネシア参加者の野帳記録に基づく。以下の地点でも同様である。



Fig. 4 Karang Tirta の測定位置と津波浸水高

4.3 Pangandaran 西海岸での証言

Pangandaran 市は国際的な保養地であるが、今回の津波で最大の被災地となった。市の中心市街地は、日本の函館のように陸繋島の砂州の上に広がっており、東西両側から津波が押し寄せた。西側海岸での目撃者の証言では、「最初引きから始まり、津波は 2 回来た。最初の波は高さ 3m、二番目の波は 5m であって、海岸から約 500m の地点まで浸水した。地震は 3 分間続いた」ということであった。(10 時 30 分調査)。

なお、西側海岸北方に津波犠牲者を埋葬する墓地が新設されていた。

東海岸 Hotel Surya Persona での証言

Dadan Daryan 氏 (35 歳) の証言によると、「東海岸では、地震後最初 200m ほど海水が引いた。津波は 3 回来て、2 番目が最大であった。砂州の南端付近で東西からの津波が合わさった。1 階床面から 2m の位置まで浸水した。地震はあまり強くなく、大部分の人は気が付かないほどであった」ということであった。この証言によると、地震の揺れは、日本の気象庁震度 2 ぐらいであろう。

われわれは Pangandaran では 3 カ所で津波浸水高の測定をした (Fig. 5)。

4.3.1 Musholla 休憩所 (07° 41' 46.8" S, 108° 39' 15.0" E)

西海岸側に建っている Musholla 休憩所の二階の浴室 (Kamar Mandi) の外壁面の地上からの高さ 4.64m のところの水位痕跡を海面から測定して 7.72m を得た (8 月 5 日 12 時 10 分, 天文潮位 -0.71m)。天文潮汐を補正して、ここでの津波浸水高さを 8.4m とする。この値が、今回の調査によって得られた津波高さの最高値であった。

4.3.2 Nusantra Hotel (07° 41' 57.9" S, 108° 39' 21.8" E)

西側海岸に面した 1 階建ての Bumi Nusantra Hotel の天井付近の壁面には、地上 3.03m のところに明白な水位痕跡が認められた。津波は屋根には達していなかったために屋根



Photo. 2 Pangandaran の Musholla 休憩所 二階は浴室で、右写真の黒い上着の人が指さしているところに津波痕跡が観察された この浸水高は 8.4m であって、今回の津波の浸水高の最高点である



Photo. 3 Pangandaran の Bumi Nusantara Hotel の外観 (左) と内部 (右) 屋根は無事であったが、部屋の内部は天井近くまで浸水が達し、壁面はほぼ全面的に流失していた



Photo. 4 Pangandaran の東海岸沿いの家屋では、海水は屋根に達していた

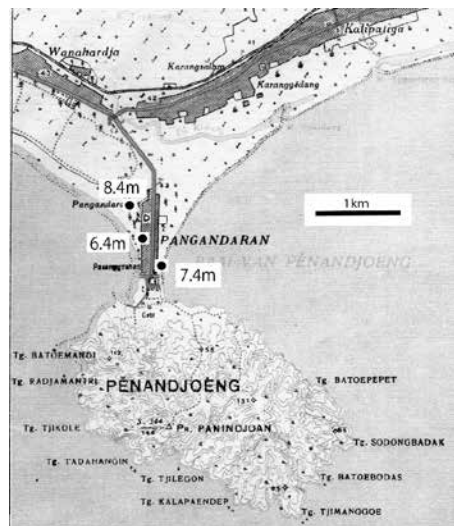


Fig. 5 Pangandaran での 3 カ所の測定点と津波浸水高 (MSL 基準)

瓦にはほとんど損傷はなかった。ハンドレベルによる測定の結果、海面からの高さ5.68mを得た(8月5日11時55分, 天文潮位-0.70m)。天文潮汐を補正して、ここでの津波浸水高さを6.4mとする。

4.3.3 East Coast (07° 42' 06.9" S, 108° 39' 29.9" E)

海岸沿いの家屋の屋根に浸水痕跡があり、これを測定し、海面上6.67mの値を得た。測定時刻8月5日11時35分(天文潮位-0.69m)の天文潮位を補正して、ここでの津波浸水高さを7.4mとする。

4.4 Lengkong (Cilacap City) (07° 41' 34.7" S, 109° 04' 2.7" E)

8月6日はJava島南海岸の最大都市であるCilacapを起点に東に調査を進めた。

インドネシア気象庁(BMG)のCilacap測候所職員の話では、Cilacapの本港では、津

波は目視で2m程度であった。内陸の水路では津波は認められなかった。

Lengkongでは誰も地震を感じなかった。海水は最初約50m引いた。海岸沿いの家屋の壁の浸水痕跡は海面上5.0mであった(8月6日9時12分, 天文潮位0.05m)。ここで高さ3mの小屋1棟が津波で流失した。天文潮位を補正して、ここでの津波浸水高さは4.9mとする。ただし、津波の高さはもっと大きかったという証言もあった。浸水長は約400m、草の傾きから判定した流向は326°(北北西)であった。

4.5 Mangati-Kisik (Cilacap City) (07° 41' 22.0" S, 109° 04' 46.7" E)

Mangati-Kisik村での証言では、最初の津波は小さく、第2波が最大で高さ6mほどであった。第3波はそれほどでもなかった。漁船が6隻破壊したが、死者はなかった。Feria Sunkardi氏の証言では、地震は誰も感じなかったという。魚市場の建物の外壁面の浸水痕跡(地上2.8m)を測定して、海面上4.92mであることが判明した(8月6日8時50分, 天文潮位+0.23m)。天文潮位を補正してここでの津波浸水高さは4.7mと推定する。

倒木によって判定した流向は304°(北西)。浸水距離は400mであった。

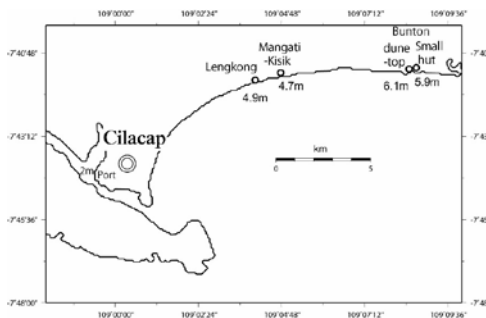


Fig. 6 Cilacap市近郊海岸の調査点



Photo. 5 Lengkong (Kota Cilacap)での浸水痕跡測定(左)と、津波で運ばれてきた畑地の漂流物(右)



Photo. 6 Cilacap 市 Mangati-Kisik の海岸 津波によって流失した家屋跡 コンクリート床面の浸食が見られる

4. 6 Adipara 郡 Bunton 村 砂丘頂点付近 (dune-top $07^{\circ} 41' 15.2''$ S, $109^{\circ} 08' 29.0''$ E), および背後集落の小屋 (small hat $07^{\circ} 41' 13.4''$ S, $109^{\circ} 08' 41.4''$ E)

Bunton は Cilacap の東方約 17km にある海岸砂丘の背後の村である。津波は砂丘の頂上を乗り越え、背後の水田を乗り越えた後、そのさらに背後の小屋に達した。

砂丘頂上の高さは測定時海面から 5.74m 上方にあると計測され、また小屋の痕跡は地上 2.2m にあって、こちらの方は海面から 5.56m 上方にあると計測された。海面平均は 8 月 6 日 10 時 18 分に計測され、この時刻の天文潮位は -0.37m であった。したがって、これら 2 点の MSL 基準の津波浸水高さは、砂丘頂上が 6.1m, 小屋が 5.9m であったことになる。浸水長は約 1000m であり、草の傾きから見た流向は 303° (北北西) であった。

4. 7 Adipara 郡 Binagun 村 Widarapajun (7.69776° S, 109.25443° E)

ほぼ直線状の海岸線が東西に続く Binagun 村の海岸砂丘はヤシ林のおおわれ、その中に Widarapajun 村の海岸集落がある。今海岸集落は、津波によってほぼ全滅した。Binagun 村全体で 49 人の津波死者を生じた。ヤシ林でおおわれた集落は、汀線から約 500m へだたっているが、この間は幅広な砂浜であって、防潮堤などの人工構築物は一切ない。写真は、住居跡であるが、コンクリート床を浴槽以外

は完全に流失、消滅している。ポールの倒壊から推定した流向は 16° (北北東) であった。

ヤシの木に引っかかった藻屑から測定した浸水標高は測定時海面から 6.60m であった (8 月 6 日 11 時 32 分, 天文潮汐 -0.73m)。測定時の天文潮汐を補正して、ここでは津波浸水高は 7.3m であったと推定する。

4. 8 Nusawungu 郡 Karang-Pakis 村 ($07^{\circ} 42' 27.2''$ S, $109^{\circ} 20' 11.5''$ E)

ヤシの林の海岸砂丘内の家屋が津波によって流失し、土台だけが残った家屋がみられる。ここでは、津波の到達限界を示す明瞭なゴミの列が見られ、その高さを海面から測定しこでの津波遡上高を 6.8m とする。ここでは 4 人が津波で死亡した。浸水長さは約 300m で、倒木から推定した流向は 15° (北北東) であった。

4. 9 Kebumen 村 Pantai Ayah 海岸公園 ($07^{\circ} 43' 28.5''$ S, $109^{\circ} 23' 38.2''$ E)

Ayah 浜から Karangbolong 郡に入る。Ayah はインドネシア語で父の意味である。一つ前の Karangpakris までは、直線状の砂丘海岸であったが、ここから東は山裾の崖の続いた屈曲した海岸線が始まる。Ayah 村は河口右岸の山に囲まれた 300m 四方ほどの小さな村である。地震の揺れは感じられなかった。

津波は 3 度来て、16 時ごろ来た第 2 波が最大であった。Ayah には海岸公園があり、

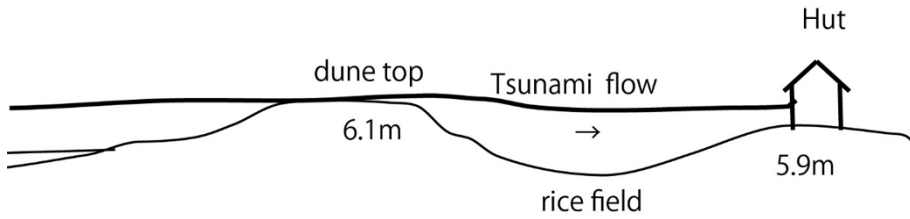


Fig. 7 Buntun 海岸での津波の浸水模式図

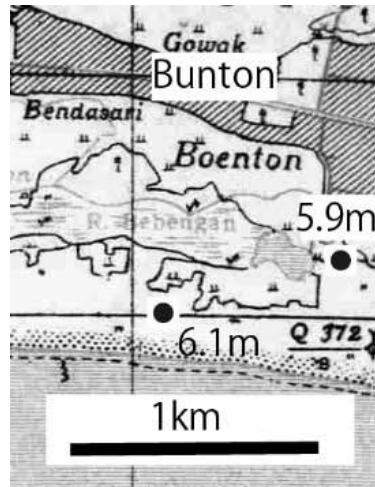


Fig. 8 Buntun での調査点



Photo. 7 Buntun では海岸砂丘の頂上付近に津波による浸食の痕跡が観察される（左）砂丘背後の広大な水田が津波に冠水し、見渡す限り海岸砂でおおわれている 1人写っている人間との大きさを比較すること

そのあずまや風の建物の屋根の先（Photo.10の矢印の先）まで海水が上がったと証言された。この場所の地面から2.5m上方であった。海面からこの高さを測定して5.12mを得た（時刻は8月6日14時07分、天文潮汐0.65m）。潮汐補正をして、ここでの津波浸水高さは5.8mとする。浸水長さは300m。石材の倒壊

から推定した流向は 50° （北東）であった。

Ayah から先、海岸線に沿って東に向かう道路はなく、約15km先のKarangbolong村までの移動は内陸の道路を通ることになる。

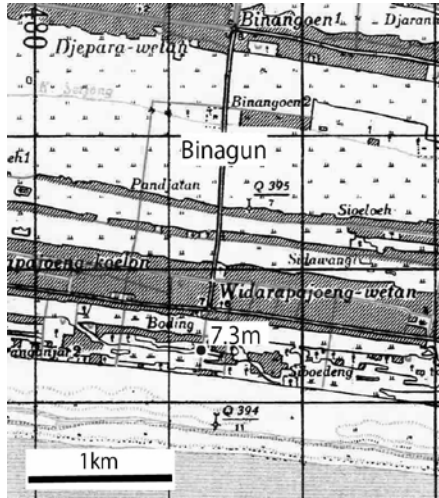


Fig. 9 Binangun 村 Widarapajung の津波高さ測定点



Photo. 8 Binangun 村 Widarapajung の海岸集落の津波被災状況
津波のため家屋が流失して、土台と風呂だけが残っている

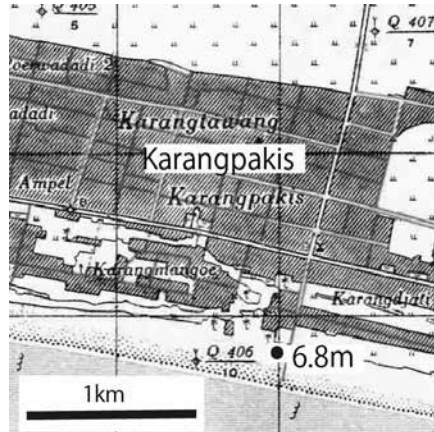


Fig. 10 Karangpakis 村の測定点



Photo. 9 Karangpakis の流失家屋跡 (左) 右写真矢印のところに津波限界を示すごみの列がある
右写真中央付近に左写真の家屋跡が見える

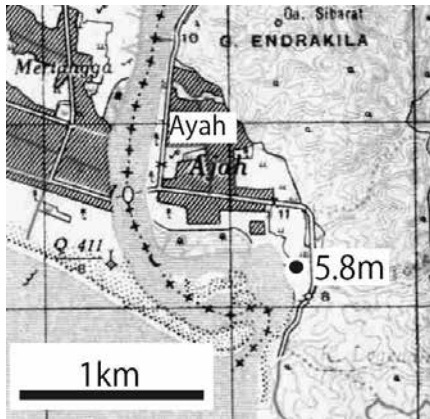


Fig. 11 Pantai Ayah での測定点



Photo. 10 Pantai Ayah の海岸公園 津波はあずまの矢印のところまで来た



Fig. 12 KarangbolongとPantai Suwukの津波測定位置



Photo. 11 Karangbolong の河口付近の集落 海水はこの道路を横断して山側に侵入した

4. 10 Karangbolong (07° 45' 28.5" S, 109° 28' 00.9" E)

Karangbolong は村の家屋の大部分は山岳部にあるが、少数の家屋が小河川の河口右岸側にある。ここで津波による2人の死者が出た。波は3度きて最初の波は高さ3mぐらい。最大の波は第2波であって、来たのは16時15分ごろであった。16時ごろ爆発音が聞こえた。川に沿った道路の山側にまで海水が浸水した。津波の到達限界線を示すゴミの列があり、この高さを海水面から測定して5.80mの値を得た(17時45分、天文潮汐は+0.31m)。潮汐補正を行って、5.5mをここでの津波遡上高と推定する。日没を過ぎ、ハンドレベル

による箱尺のメモリを読むのは限界に近かった。浸水長は300~400mで、椰子の木の傾きから推定した流向は285°(西北西)であった。

4. 11 Pantai Suwuk (07° 45' 26.4" S, 109° 28' 13.0" E)

前項のKaranbolongの河口の対岸にある。ここでは津波で9人が死亡した。地震の揺れは感じなかった。最初50mほど潮が引いた。工場の屋根の先まで海水が上昇し、その工場の屋根の一部に穴が開いて吹き飛んだ(Photo.12の右側写真)。この工場の屋根の先端の高さ(地面から2.75m)を、測定時の海面を基準として測定して6.94mを得た(8



Photo. 12 Suwuk 浜の津波被災の光景 (左写真) この写真の右端の遠景に前項の Karanbolong の海岸が写っている この右写真の工場の屋根の先端まで海水が上昇した また津波のために屋根の一部が吹き飛ばされ、屋根に穴が開いた

月 8 日 17 時 00 分, 天文潮汐 -0.02m)。天文潮汐を補正して, ここでの津波浸水高を 7.0m とする。浸水長は 700m , 倒木と傾いたポールから推定した流向は 325° (北西)であった。

4. 12 Surejan 村 Pantai Puring ($07^\circ 45' 52.8'' \text{ S}$, $109^\circ 31' 06.5'' \text{ E}$)

砂浜上に津波の到達線を示す明白なゴミの列が残っていた。海面を基準としてこの標高を測定して 4.87m を得た(8月8日16時07分, 天文潮汐 -0.42m)。天文潮汐を補正してここでの津波遡上高さを 5.3m とする。草の傾きから推定した流向は 345° (北北西)であった。

4. 13 Pantai Ambal ($07^\circ 48' 17.2'' \text{ S}$, $109^\circ 43' 11.3'' \text{ E}$)

Puring から東に約 20km , 直線状の砂丘海岸の海岸線をたどると Ambal に着く。ここでの証言では津波は左右から押し寄せて, この海岸で合したように見えた。16時ごろ, 爆発音が聞こえた, という。写真に見られる大きな木の漂着とゴミは少なくともここまでは海水が到達したことは確実である (Photo.14)。海面からのこの標高を計測して 5.54m を得た(8月8日14時50分, 天文潮位 -0.88m)。天文潮位を補正してここでの津波遡上高さを 6.4m とする。しかし, 海水は実際には写真背後の段差の上端まで来た可能性があり, この場合には, 人間の背丈(約

1.6m)を加えた, 津波浸水高 8.0m となろう。浸水長は 80m , 砂丘のゴミの列から推定した流向は 14° (北北東)であった。

4. 14 Pantai Rowo ($07^\circ 49' 23.6'' \text{ S}$, $109^\circ 47' 42.3'' \text{ E}$)

Ambal の約 8km 東方に位置する Rowo 村はオランダ統治時代の地図には Rawa を表記されている。Wawar 運河の河口左岸に位置する集落である。河口付近では, 西側に水面が伸びており, 外洋から来た津波はこの水面 (Pool) にも侵入し, 外洋と反対側の岸にゴミの堆積痕跡を生じていた (Photo.15 右の矢印)。Pantai Ruwo では死者はなかった。建物の外壁面の証言による浸水高さを測定して測定時海面を基準として 7.07m を得た(8月8日12時01分, 天文潮汐 -0.69m)。天文潮汐を補正して, ここでの津波浸水高さを 7.8m とする。Pangandaran での津波浸水高さに匹敵する大きな値である。ここでは死者はなかった。浸水長は 480m , 草の傾きから推定した流向は 345° (北北西)であった。

4. 15 Ngonbol 郡 Pantai Keburuhan ($07^\circ 51' 15.0'' \text{ S}$, $109^\circ 54' 47.2'' \text{ E}$)

Pantai Keburuhan は Cakrayasan 運河の河口左岸にある。地震は感じなかった。津波による死者はなかった。津波は運河を 3km さかのぼった。海水は Photo.16 の家屋の支柱



Photo. 13 Pantai Puring の海岸砂浜上に残ったゴミの列 (左) この列を境に砂面の凸凹の具合が変化しているのに注意 (右) 測定風景

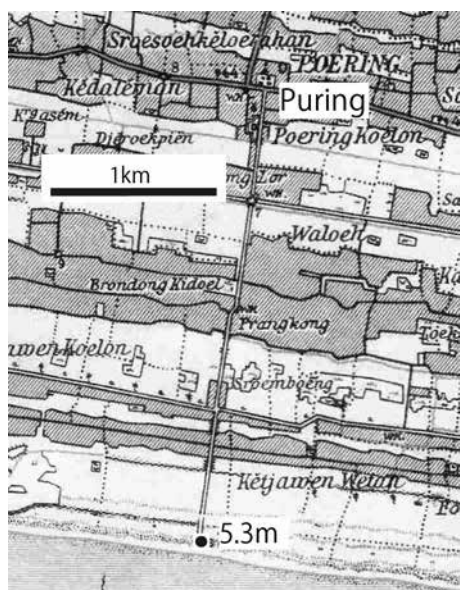


Fig. 13 Pantai Puring の測定点

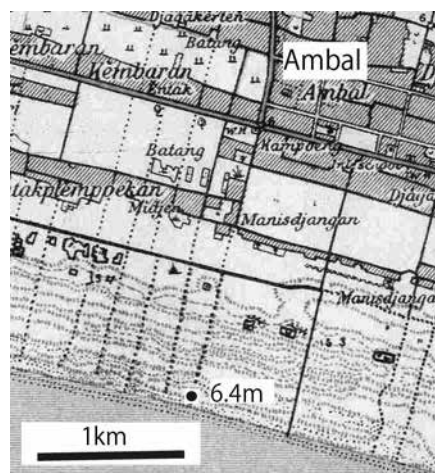


Fig. 14 Pantai Ambal の測定点



Photo. 14 Pantai Ambal 海岸の木材, ゴミの列 (左写真矢印, および右写真) この列の標高を測定したが, 津波は実際にはこの背後の段差の上端まで来た可能性がある



Photo. 15 (左) Pantai Rowo の海岸で津波のために土が持ち去られ、根が露出した植物がみられる (右) 地図 (Fig.15) に見られるように Pantai Rowo の海岸には Wawah 運河から西に分かれた水面 (Pool) がある 津波のとき海水は外洋からこの Pool に入り、外洋とは反対側の斜面にゴミの堆積が生じた (矢印)

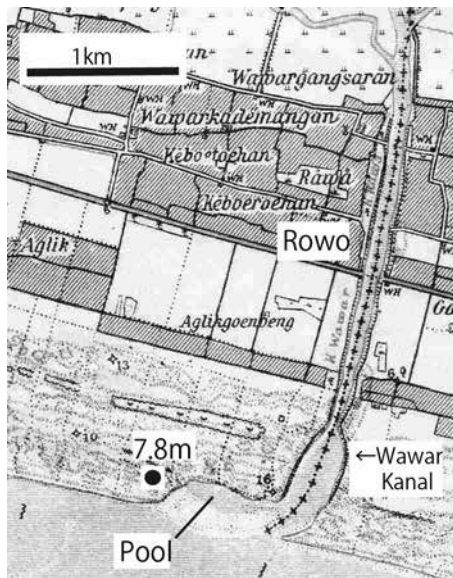


Fig. 15 Pantai Rowo の測定点

の下端から 90cm のところまで上がったと証言され、この点の海面上の高さを測定して 4.28m を得た (測定時刻 10 時 15 分、天文潮位 0.09m)。天文潮位を補正してここでの津波浸水高さを 4.2m とする。河口付近の運河の岸の斜面に津波で運ばれてきたゴミの堆積が多くみられた。

浸水長さは約 500m。倒壊したコンクリートポールから推定した流向は 30° (北東) であった。



Photo. 16 Keburuhan の海岸のこの家屋の支柱の下端から 90cm のところまで浸水した (証言)

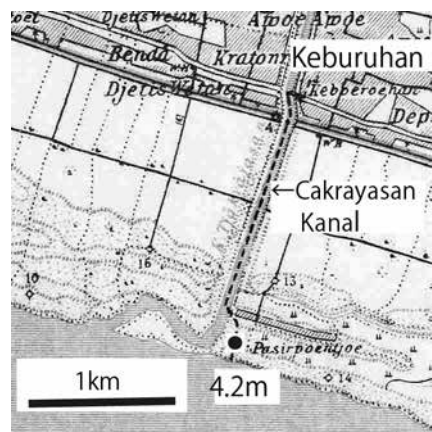


Fig.16 Keburuhan 浜の測定点

4. 16 Ngonbol 郡 Jatimalang (07° 52' 44.7" S, 109° 58' 59.9" E)

Jatimalan 浜では飲料店のコンクリート床面上ヒザまで来たというこの店の店主の証言があった。汀線から 200m 浸水した。津波は三回来たが、第一波が最大であった。ここでは地震の揺れは感じなかった。ここでは死者はなかった。ただ、「3 度原爆のような光があった」という証言と、「鉛筆のような煙の雲が垂直に立ち昇った」という証言があり注目される。

上の証言から、測定時海面上 5.69m であると計測された (8 月 8 日 9 時 21 分, 天文潮汐 +0.5m)。天文潮汐を補正して、ここでの津波浸水高を 5.2m とする。浸水長は 200m, 津波に運ばれた自動車の移動方向から流向は 325° (北北西) と推定された。

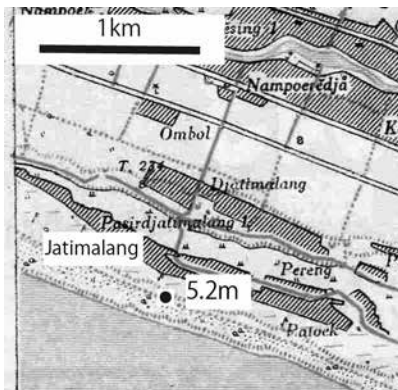


Fig.17 Jatimalang の測定位置

4. 17 Temon 郡 Lawang 村 Pantai Congot (07° 53' 59.5" S, 110° 02' 02.3" E)

Temon 郡 Lawang 村は屈曲の激しい Baga-wanta 川の河口付近の左岸側にある。この村の海岸は Pantai Congot といい、ここで証言を得た。それによると、地震は感じなかった。津波が来る前に 50m ほど引き、150m ほど陸側に浸水した。空に原爆のような鉛直に立ち上った煙が見られた。海水は Photo 18 の左写真の建物の地上 1.0m あたりまで来たと言う。この証言に基づきここでの津波浸水高さを調査時の海水面から測定して 5.2m を得た (8 月 8 日 8 時 36 分, 天文潮汐 +0.76m)。天文潮汐を補正して、ここでの津波浸水高さは 4.4m とする。ここでの浸水長は 150m, 津波で移動した井戸杵から推定した流向は 23° (北北東) であった。

4. 18 Temon 郡 Glagah (07° 54' 55.4" S, 110° 04' 40.9" E)

Glagah は Glagah 川というかなり大きな川の河口付近の右岸側にある。われわれは、川の河口付近の東側沿岸道路付近で、道路の内陸側の小崖面の浸水痕跡から高さ 2.10m という値を得た (8 月 7 日 16 時 36 分, 天文潮位 +0.02m)。天文潮位を補正してここでの津波浸水高さを 2.1m とする。浸水長さは 300m, ゴミの向きから流向は 350° (北) と判定された。



Photo. 17 Jatimalang 浜の飲料品店。この床面上ヒザまで (60cm) 海水が来たと言われた左写真は、同地点から海を見た写真



Photo. 18 Congot 海岸での調査 津波によって海水はこの建物の敷地から約 1.0m の高さまで浸水した

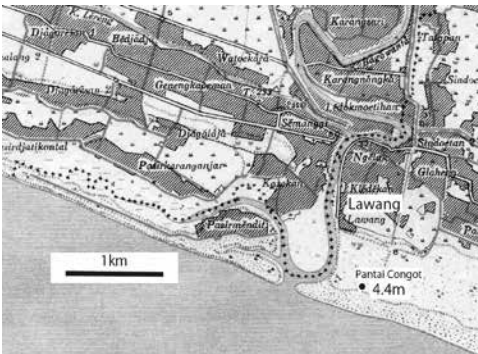


Fig. 18 Lawang 村 Pantai Congot の測定点

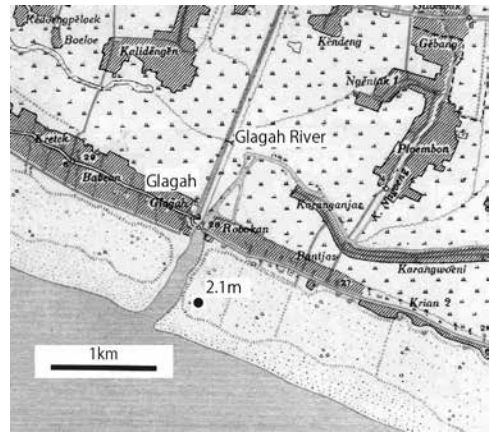


Fig. 19 Glagah の測定点



Photo. 19 Glagah での津波浸水痕跡 (矢印のところ) の測量作業

4. 19 Wates 郡 Pantai Bugel-Peni (07° 57' 03.8" S, 110° 09' 11.0" E)

砂浜の上に津波による海水浸水の限界線を示すゴミの列が残っていた。汀線からわずか 30m 程の位置であったが、砂浜の勾配がかなり大きく、その標高を測定すると、海面からの高さとして 5.05m を得た (測定時刻, 8 月 7 日 15 時 54 分, 天文潮位 -0.27m)。天文潮位を補正してここでの津波遡上高を 5.3m とする。浸水長は 30-50m。材木やゴミの様子から推定した流向は 330° (北北西) であった。

ここで、古都 Yogyakarta 市に近い海岸での調査地点と、天文潮汐補正をした津波高さを Fig.20 に示しておこう。

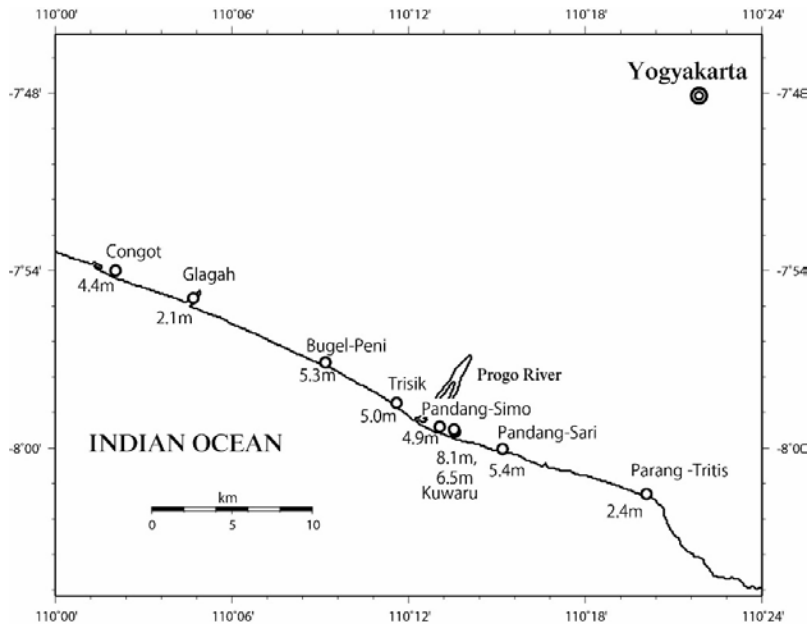


Fig. 20 Yogyakarta 市に近い海岸での調査点を津波高さ (MSL 基準) 地名に Pantai (浜) の接頭語のあるものは、これを省略した



Photo. 20 Bugel-Peni 浜のゴミの堆積列

4. 20 Galur 村 Pantai Trisik ($07^{\circ} 58' 27.0''$ S, $110^{\circ} 11' 36.7''$ E)

地震は気づかなかった。浜へ向かう道路の先端まで海水があがった。被害はなかった。調査点付近のおよその状況は Fig. 21 の通りで、測定点の東側に川から伸びた水面 (Pool, 漁船の泊地であろう) があつた。外洋から来襲した津波は砂嘴を乗り越え、この Pool にも侵入した痕跡があつた。この地点以東は、旧日本陸軍発行の五万分の一地図は入手できなかった。浸水長は 80m。草の傾きから推定

した流向は 313° (北西) であつた。

4. 21 Sandakan 郡 Pandang 村 Pantai Simo ($07^{\circ} 59' 17.2''$ S, $110^{\circ} 13' 03.9''$ E)

海岸の 3 棟の自転車置き場風の建物の東側 (Fig.22 の A のところ) に津波で破壊したコンクリートブロックが散乱していた。図の中央の建物の床面までは浸水したとみられこの標高を測定して 4.24m を得た (8 月 7 日 11 時 31 分, 天文潮位 -0.66 m)。天文潮汐補正をしてここでの津波浸水高さを 4.9m とする。倒木から推定した流向は 12° (北), 浸水長さは 70m であつた。

4. 22 Sandakan 郡 Perhubungan 村 Tumusari, Pantai Kuwaru ($07^{\circ} 59' 22.4''$ S, $110^{\circ} 13' 33.1''$ E)

海岸砂丘の背後に灯台の鉄柱があり (Photo.23) そのコンクリートの正方形の囲いの中の床面上 7cm のところに明白な津波痕跡があつた (Photo.23 右写真, 韓氏が手で示している)。この標高を海面から測定して 6.04m を得た。これは、砂丘背後の滞留水の

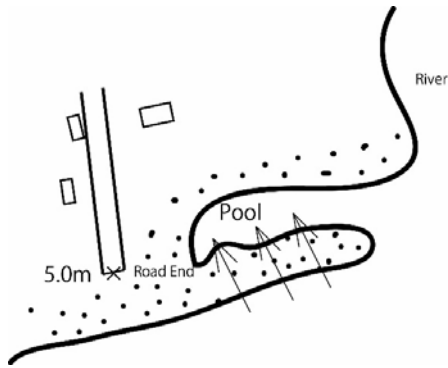


Fig. 21 Pantai Trisik の測定点付近の概要



Photo. 21 Pantai Trisik の測定点 (道路終端店付近、自転車を押している人のいるところ)



Photo. 22 左写真は Fig.22 の A 点付近で、津波によって破壊された建物のコンクリートブロックが散乱している 右写真は浸水した床面 この床面を測定点とした ここでは証言者は得られなかった

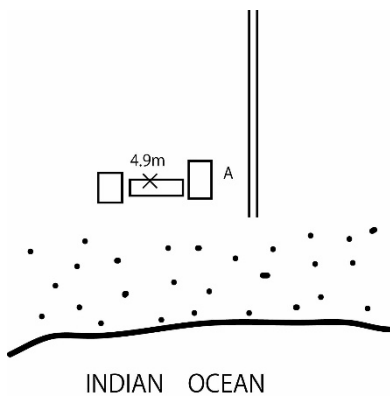


Fig. 22 Pantai Simo での津波測定点略図

水位であって、津波は汀線と灯台の間の砂丘の頂点を越流している。この砂丘頂点の標高は 7.66m であった (測定時刻は 8 月 7 日 10 時 54 分、天文潮汐 -0.43m)。この 2 個の数値を天文潮汐補正をすると、ここでの津波の浸水高さはそれぞれ 6.5m, 8.1m になる。後者の値は最大被災地となった Pangandaran での値と大差がないことになる。Pangandaran から約 170km 東方に離れて、なおこの津波浸水高さが測定されるのは驚くべきことである。浸水長は 120m、倒木から推定した流向は 20° (北北東) であった。



Photo. 23 Tumusari 海岸の灯台 この灯台を囲むコンクリート床面が7cmの厚さで津波が冠水していた これは滞留水によるものである 右側写真に写っているのは韓氏である

4. 23 Sandakan 郡 Pantai Pandan-Sari (08° 00′ 2.1″ S, 110° 15′ 12.0″ E)

地震は感じなかった。被害はなし。津波は3回来た。第1波は砂浜の途中まで。第2波が最大であった。海岸付近、灯台から少し浜よりの休憩小屋内部で竹編みの小フェンスの下方10cm幅で白く変色している部分は、津波による海水浸水でこうなったものであると証言された。この標高は海水面から5.18mと測定された(8月7日10時20分、天文潮汐-0.18m)。天文潮汐補正をして5.4mをここでの津波浸水高さとする。浸水長さは70mであった。低木痕跡から推定した流向は44°(北東)であった。

4. 24 Parang-Tiritis (08° 01′ 27.0″ S, 110° 19′ 47.0″ E)

Photo.25の右写真の海岸の浴室(Kamar Mandi)付き休憩施設内部の韓氏が指さしている高さまで浸水した。この標高を測定して2.57mを得た(8月7日9時25分、天文潮汐0.22m)。天文潮汐を補正してここでの津波の浸水高さを2.4mとする。

5. 結果総括

各調査点での津波高さを総括すると表1が得られる。調査日は2006年8月中の日付け、時分は測定時刻(Java時間, UT+7h)。「津波高」は天文潮汐補正後の数値である。



Photo. 24 Pandansari 浜 右写真、竹編みフェンスの下方の白く変色している部分が海水浸水があったことを示している 右側写真に写っているのは Fachrizal 氏である



Photo. 25 Parang-Tiritis で津波で浸水した海岸の休憩所店舗

6. インドネシア調査者独自の調査による津波高さ分布

本研究の調査とは別に、インドネシア気象庁 (BMG) の Facrizal ら (2007) は数次にわたって独自の津波の浸水高、あるいは遡上高調査を行っており、報告書が作成されている。報告書は 77 ページにもわたる膨大なものである。ただし、この報告には調査・測定して日時が記されておらず、また調査時の天文潮位補正も行われていないので、ここに記された津波高の数値は、MSL 基準値に対して $\pm 0.8\text{m}$ の誤差は免れない。そうではあっても、この成果はやはり貴重なものであるので、ここに表 3 として掲げることとする。ただし原報告では、1 つの集落内の、わずかに位置が異なる地点を多数測定している。このような場合、そのすべてのデータをここに掲げることとはせず、原則として 1 集落内で津波高の最大となった 1 点だけを採用することとした。また本稿と Kato et al. (2007, 表 2) のいずれかにすでに述べられている点は採用しないこととした。報告書はインドネシア語で書かれているが、翻訳サイト / エキサイト翻訳 (<https://www.excite.co.jp/world/Indonesia>) によって、容易に日本語に訳すことができた。以上の方針によって、この報告書に記された津波高の独自のデータを抽出すると表 3 の 7 点のデータが得られた。

7. 地震と感じた場所と感じなかった場所

今回の調査では、調査各地点で、地震を感じたかどうかの質問を行った。

その結果を Fig. 25 に示す。Cilacap 以東では、地震は全く感じられなかった、ということができる。津波地震の筆頭にあげられる明治三陸地震 (1896) は、地震の揺れは弱くとも、津波被災地となった三陸海岸では、震度 2 から 3 の揺れとして感じられた。本稿のテーマとした 2006 年南西 Java 地震は、明治三陸地震以上の、「徹底的な」津波地震であった、ということができるであろう。

8. 死者数

今回の津波で生じた死者の総数は 467 人と発表され、そのすべては津波による死者であって、地震の揺れによる死者は出ていない。地点ごとの死者数は Fig. 26 の通りである。最大被災地の Pangandaran では 137 人の死者を生じた。このほか、Cimerak の 89 人、Batu Hiu で 48 人、の数字が目を引くが、Pangandaran から 70km 東方に離れた Binagun での死者 49 人が注目される。ここは、地震の揺れは全く感じられなかったところで、全く津波の不意打ちを食らって生じた死者が大部分であった。津波の高さ分布の Fig. 24 とあわせてみると、津波高さが 5m を超えると死者が出る、ということがおおよそ言えそうである。

表1 今回調査による津波高成果総括表

調査日	時	分	天文 潮汐 (m)	地点名	南 緯 度	分	秒	東 経 度	分	秒	津波 測定 高(m)	津波 高 (MSL) (m)
5	16	7	0.19	Batukaras	7	44	42.0	108	29	49.9	4.27	4.1
5	16	40	0.33	Karan Tirta	7	40	48.5	108	35	25.7	3.24	2.9
5	12	10	-0.71	Pangandaran, West Coast	7	41	46.8	108	39	15.0	7.72	8.4
5	11	55	-0.69	Pangandaran Nusantra Hotel	7	41	57.9	108	39	21.8	5.65	6.3
5	11	35	-0.69	Pangandaran-East Coast	7	42	6.9	108	39	29.9	6.66	7.4
6	9	12	0.05	LengKong	7	41	34.7	109	4	2.7	5.00	5.0
6	8	45	0.23	Mangati-Kisik	7	41	22.0	109	4	46.7	4.92	4.7
6	10	18	-0.37	Bunton-dune top	7	41	15.7	109	8	29.0	5.74	6.1
6	10	18	-0.37	Bunton-small hut	7	41	13.4	109	8	41.4	5.56	5.9
6	11	32	-0.73	Binagun	7	41	51.9	109	15	51.9	6.60	7.3
6	13	20	-0.81	Karang-Pakis	7	42	25.3	109	20	13.1	5.94	6.8
6	14	7	-0.65	Pantai Ayah	7	43	28.5	109	23	38.2	5.12	5.8
8	17	45	0.31	Karangbolong	7	45	28.5	109	28	0.9	5.80	5.5
8	17	0	-0.02	Pantai-Suwuk	7	45	26.4	109	28	13.0	6.94	7.0
8	16	7	-0.42	Pantai Puring	7	45	52.8	109	31	6.5	4.87	5.3
8	14	50	-0.88	Pantai Ambal	7	48	17.2	109	43	5.3	5.54	6.4
8	12	1	-0.69	Pantai Rowo	7	49	23.6	109	47	42.3	7.07	7.8
8	10	15	0.09	Pantai-Keburuhan	7	51	15.0	109	54	47.2	3.48	3.4
8	10	15	0.09	Pantai-Keburuhan	7	51	15.0	109	54	47.2	4.28	4.2
8	9	21	0.50	Jatimalang	7	52	44.7	109	58	59.9	5.69	5.2
8	8	36	0.76	Pantai-Cogot	7	53	59.5	110	2	2.3	5.20	4.4
7	16	36	0.02	Glagah	7	54	55.4	110	4	40.9	2.10	2.1
7	15	54	-0.27	Pantai-Bugel-Peni	7	57	6.0	110	9	10.5	5.05	5.3
7	15	7	-0.58	Pantai-Trisik	7	58	28.4	110	11	35.8	4.40	5.0
7	11	31	-0.66	Pandang-Simo	7	59	17.2	110	13	3.9	4.24	4.9
7	10	54	-0.43	Pantai-Kuwaru, light house	7	59	22.4	110	13	33.1	6.04	6.5
7	10	54	-0.43	Pantai-Kuwaru, dune top	7	59	27.4	110	13	34.5	7.66	8.1
7	10	20	-0.18	Pantai-Pandan-Sari	8	0	2.1	110	15	12.0	5.18	5.4
7	9	25	0.22	Parang-Tritis	8	1	33.5	110	20	4.9	2.57	2.4

ここで, Kato et al. (2007) の調査によって得られた Pangandaran 市西部に重点を置いた津波高の調査結果を示しておこう。この表の数値も天文潮汐補正が施されている。

表2 Kato et al. (2007) による, Pangandaran とその西方の津波高さの調査結果

Location	Lat.(S°)	Long(E°)	Height (m)	Remarks
Pameungpeuk	7.6683	107.6903	5.98	Watermark on wall
Sindongkarta	7.7647	108.0599	3.95	eyewitness' accounts
unknown	7.8156	108.4028	3.20	Watermark on wall
near LGJW	7.8195	108.4423	5.50	Grass on tree
Batukaras	7.7468	108.4976	1.75	Watermark on wall
Batu Hiu	7.6922	108.5359	5.44	Watermark on wall
Bulak Laut	7.6837	108.612	7.38	broken eaves of a house
Pangandaran	7.6938	108.6517	4.27	Watermark on wall
Dara Payung	7.6981	109.2622	7.39	Broken roof of a WC
GPS SITE 10471	7.8127	108.3174	6.23	eyewitness' accounts
GPS SITE 10472	7.8156	108.4032	1.86	eyewitness' accounts

表 3 インドネシア側研究者の独自調査による津波高 ただし天文潮汐補正が行われていないため、数値を MSL 基準と見た場合 $\pm 0.8\text{m}$ の誤差は免れない

Point Name	S-deg	E-Deg	height(m)
Ciandum	-7.74512	108.00968	3.5
Cipatujah	-7.74712	108.01023	5.5
Klapa Genep	-7.80930	108.29288	6.5
Cimanuk	-7.81150	108.31383	5.7
Cimerak	-7.80470	108.47652	5.6
Parigi	-7.74852	108.49775	3.3
Batu Hiu	-7.69333	108.53010	5.5

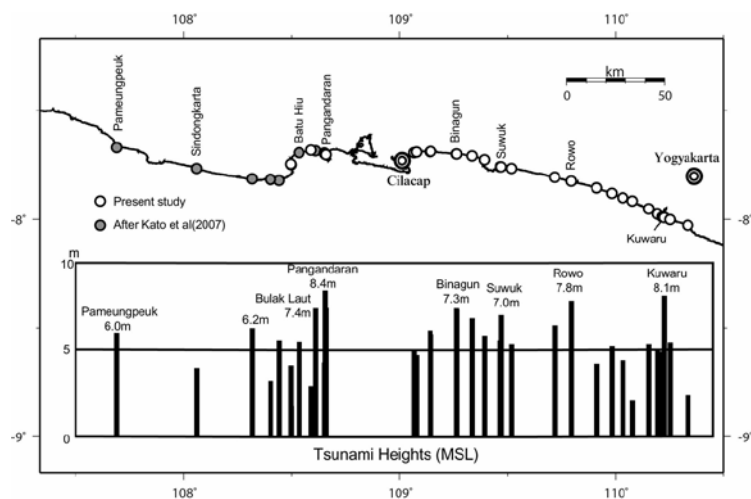


Fig. 23 2006 年南西 Java 地震津波の津波高 (MSL 基準) 分布
本研究の成果と Kato et al. (2007) の成果をあわせて表示

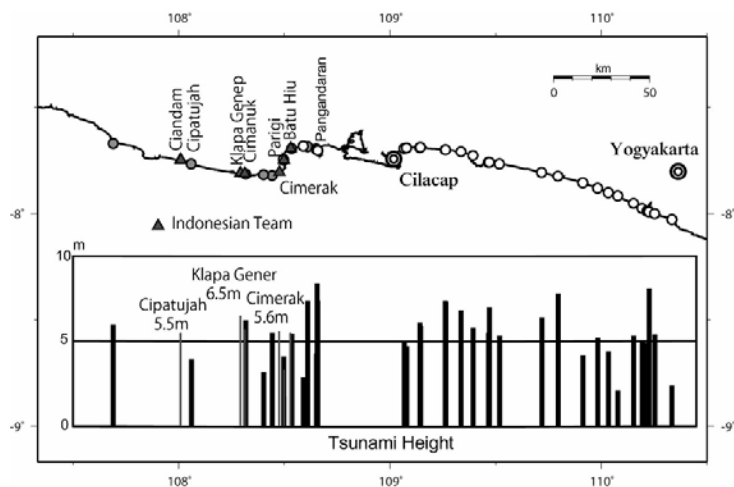


Fig. 24 インドネシアの独自調査の成果を加えた津波高分布 地図中の▲と棒グラフの細線はインドネシアの独自調査の成果である ただし、 $\pm 0.8\text{m}$ の誤差は免れない

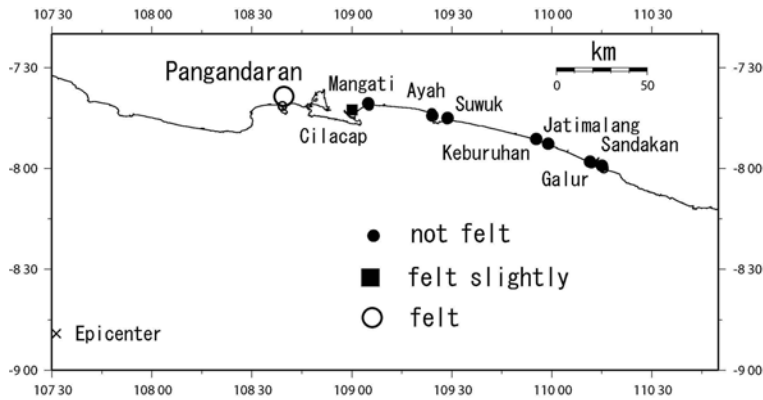


Fig. 25 地震を感じた地点と感じなかった地点

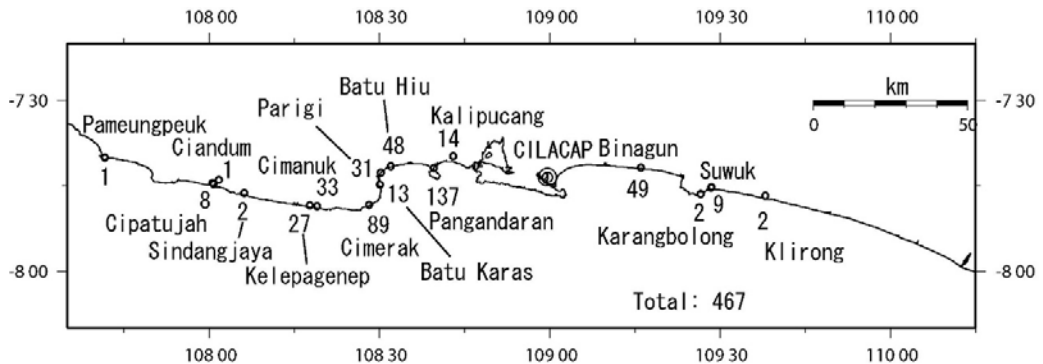


Fig. 26 2006年南西 Java 地震の津波による集落別死者数

8. 結語

この地震は揺れが小さい割に津波の大きな、典型的な津波地震であった。津波の高さの割に死者が多く出たのは、この地震が津波地震であって、地震が弱く感じたか、あるいは全く感じられなかったために津波に対する警戒が十分にはなされなかったことがあげられるであろう。しかし、この津波の2年前には2004年スマトラ沖超巨大地震 (M9.1) が起きており、インドネシアの国民の間に地震と津波に対する知識は十分に普及していたはずである。

この津波地震の12年前の1994年東 Java 地震も地震の揺れが小さかった割に津波の大きな津波地震であった。Java 島南方の海溝軸付近は、日本の三陸沖海域と同じような、津波地震が起きやすい海域である、ということ

ができるであろう。三陸沖では日本海溝軸付近に付加体プリズム (accretionary prism) が存在するためである、と説明されつつあるが、Java 島南方海域は同じ条件があるのだろうか？ この点は、日本とインドネシアの研究協力によってぜひ説明してほしいところである。

本稿は、調査実施から15年もの歳月を経てようやく完成することができた。この当時、インドネシアのスマトラ沖地震 (2004) を含め、ソロモン諸島 (2007年)、サモア諸島津波 (2009) と西太平洋で津波が頻発して、筆者を含め日本の津波研究者は多忙を極めた時期であったが、それはいいわけの一部ではあっても、根本的にはこの大幅な遅れに対して、筆者は怠慢のそりを甘んじて受けなくてはならないであろう。

謝辞

本稿の調査点付近の詳細図を作成するにあたっては、岐阜県立図書館に所蔵された、

旧日本陸軍陸地測量部発行の「ジャワ島五万分の一地図」を参照した。この地図はオランダ統治時代に「蘭印測量局」が1926年から1934年に発行した地図を、ほぼ複製したものである。この貴重な地図に接する機会を与えてくださった岐阜県立図書館に感謝いたします。

参考文献

- Ammon, C. J., H. Kanamori, T. Lay, A.A. Velasco, 2006, The 17 July 2006 Java tsunami earthquake, *Geophys. Res. Letters*, 33 (24)
- Fachrizal, Ir, MSc., Sugeng Pribadi, ST., Iwan Hermawan, Ah. MG, 2007, Laporan survey gempabumi dan tsunami Selatan Jawa Barat, 17 Juli 2006 (Survey Report of the earthquake and the tsunami on the coast of the west South-Java of 17th July, 2006) , Agency of Meteorology and Geophysics, Indonesia (BMG), pp77 (In Indonesian)
- Fujii Y., and K. Satake, 2006, Source of the July 2006 West Java tsunami estimated from tide gauge records, *Geophys. Res. Lett.* 33, L24317, doi:10.1029/2006GL028049
- Kato, T., T. Ito, Z. A. Hasanuddin, Agusta, 2007, Preliminary report on crustal deformation surveys and tsunami measurements caused by the July 17, 2006 South off Java Island MSc, earthquake and tsunami, Indonesia, *Earth Planets Space*, 59, 1055-1059
- 松本 剛, 2007, 2006年7月17日ジャワ島沖地震の震源域に見られる海底地じり痕について, <https://www.jamstec.go.jp/maritec/j/blueearth/2007/yokou/M28.PDF>
- 中野猿人, 1940, 『潮汐学』, 古今書院, pp528
- 庄司 学・森山哲雄・幸左賢二・松富英夫・嶋原良典・村嶋陽一, 2007, 2006年ジャワ島南西沖地震津波による家屋等構造物の被災分布, *海岸工学論文集*, 土木学会, 54, 861-865
- 庄司 学・谷 祐典, 2010, 2006年ジャワ島南西沖地震津波による家屋被害の検証, *土木学会論文集*, B2 (海岸工学), 66, 1, 286-290
- Tidechart.com, 2021, <https://www.tidechart.com/worldtides/>
- Tsuji, Y., F. Imamura, H. Matsutomi, C. E. Synolakis, P.T.Nanang, Jumadi, S. Harada, S.S.Han, K. Arai, and B. Cook, 1995, Field survey of the East Java Earthquake and tsunami of June, 3, 1994, *PAGEOPH*, 144, 3/4, 839-854