

# インドネシア・フローレス島沖地震津波の災害調査

宇多高明\*・伊藤弘之\*\*・山木 滋\*\*\*

## 1. まえがき

1992年12月12日13時29分、インドネシアのフローレス島沖で起きたM7.5の大地震により津波が発生した。この津波により、フローレス島のマウメレを中心とするかなり広い地域で大きな被害が出た。特に、ベサール島の東に位置するバビ島では全住民950人のうち750人が死亡し、村が全滅するという大災害が生じた。筆者は、地震直後インドネシア国からの要請によって急遽決まった国際緊急援助隊（団長：東京大学地震研究所阿部勝征教授）の一員としてフローレス島へ渡り、地震津波の緊急調査を行う機会をもった。本報告は津波痕跡調査の結果と、津波災害の状況、特に著しい被害の出たフローレス島のマウメレ港、ウリン地区およびバビ島の災害状況について報告するとともに、災害原因について考察するものである。

## 2. 被害地の概況

地震津波の被害を受けたフローレス島は、ジャワ島の中心から東約1300 km、バリ島の東約680 kmに位置する（図-1）。世界の地震観測データにもとづいた米国地質調査所の調査によれば、地震の震源は南緯8.482°、東経121.930°、深さ36 kmにあり、地震の規模は表面波マグニチュード7.5である。また、震央はフローレス島マウ

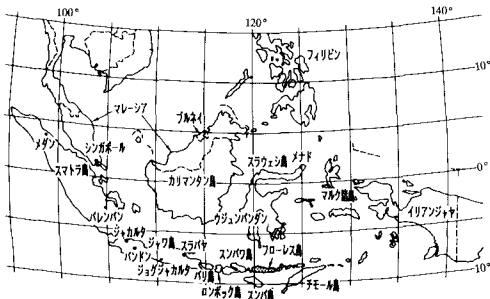


図-1 インドネシアフローレス島の位置と震源

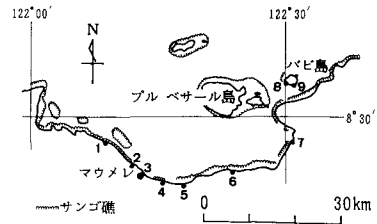
メレの北北西約40 kmに位置する。

## 3. 津波遡上高の分布

12月23日～25日の3日間、フローレス島沿岸およびバビ島の津波痕跡調査を行った。観測法は、ポールとハンドレベルによる。地盤の基準面は明らかではないから、測定時の海面を基準とし、そこからの鉛直変位を測定した。帰国後、海上保安庁水路部日本海洋データセンター（JODC）の推算したマウメレの天文潮位をもとに平均海面上の遡上高を求めた。

津波痕跡はフローレス島の多くの地区では家屋の外壁に明瞭に残された浸水線より判読された。一方、バビ島の場合には全ての家屋が流出しており、しかも津波は家屋の壁を越える高さであったために、海浜にある木に付着するゴミを見出し、その高さを測定した。

図-2には今回調査を行った地点とその痕跡高を示す。フローレス島ではウリン地区で最も高い2.45 mが観測された。津波痕跡は、これらの場所を中心として西側、東側とも減少傾向を示す。フローレス島沖にはベサール島があり、これによって遮蔽される区域では波高が低くなるのがわかる。また、ウリン地区の西側では図-3に示すように沖合にサンゴ礁が発達し全体に遠浅であって津波の侵入が防がれたためか被害は少なくな



地点名	津波痕跡高 (m)
① ナンガフレ	2.28
② ウリン	2.45
③ マウメレ港	2.25
④ ワローティ	2.29
⑤ ワイバレ東	1.86
⑥ ワイグテ	2.22
⑦ ナンゴブク	1.77
⑧ バビ島 (西部)	3.68, 3.48, 3.28
⑨ バビ島 (東部)	3.28, 3.28
⑩ バビ島 (東部)	3.67, 3.52, 3.70

図-2 マウメレ近傍の地形と津波痕跡高

\* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長  
 \*\* 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室  
 \*\*\* 正会員 工修 株式会社アイ・エス・ユー 海岸海洋部

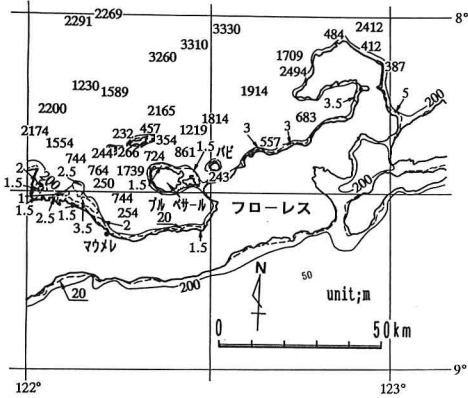


図-3 フローレス島周辺の海底地形

る。また、バビ島では最高3.7mとウリン地区より1m以上も津波痕跡が高い。

#### 4. 津波災害状況

今回の津波では多くの死傷者が出たが、それらの中でも特筆すべき災害が出たのはバビ島とウリン地区である。バビ島では950人の住民のうち750人が死亡し、200人のみが助かるという大災害が生じた。またウリン地区

でも79人の死亡が確認された。以下ではこれら2地区とマウメレ港における津波災害状況について述べる。

##### (1) マウメレ港

マウメレ港では、地震動による液状化災害が起きたあとに津波が来襲し、大きな被害が出た。写真-1は、港内の岸壁に乗り上げた船の状況である。写真撮影時、海面より測った岸壁上面の高さは約1.5mであった。船の喫水を考慮すれば、この地点において現地盤上1m程度の津波高であったことが推定できる。写真-1の撮影地点のすぐ東側では、写真-2に示すように地震動により埠頭が大きく破壊され、さらに津波の流動でも破壊が進み、トラックが戻り流れにより埠頭先端付近まで流された。

##### (2) ウリン地区

ウリン地区はマウメレ港の西約2kmに位置する。津波は高波浪時の越波などと比較すると、はるかに大量の海水が非常に勢いを持って海岸線付近から陸へと遡上する現象である。このため、津波災害を受けた跡は単に「侵水して泥をかぶった」状態とは異なり、家屋等全ての物がほとんど破壊され、しかもそれらが入り混じって流失するのが特徴である。また漁港などでは漁船が陸上へ乗り上げ、それが家屋に衝突して破壊が進む。写真-3はウリン地区の災害状況を示す。大量の残骸が散乱し、中央

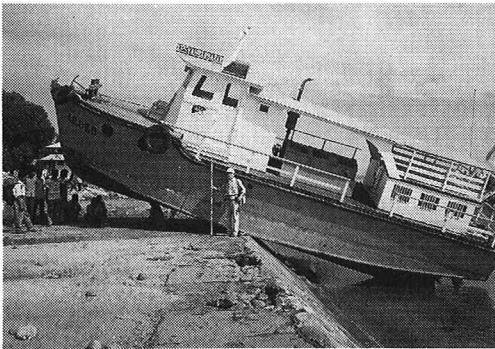


写真-1 陸岸にのり上げた船 (マウメレ港)

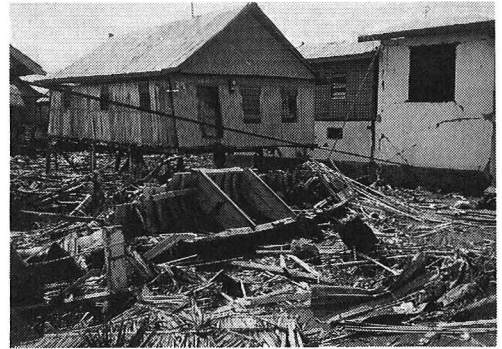


写真-3 ウリン地区の津波災害状況 (村の陸側)



写真-2 マウメレ港の被災した埠頭と津波により流されたトラック



写真-4 ウリン地区での津波痕跡

やや左上には漁船も運ばれてきている。ウリン地区の平均標高は1m程度で、そこに高床式の家屋が多数建てられていたが、それらの大部分が破壊された。写真-4では建物の白壁に痕跡が明瞭に残されている。そして現地盤より痕跡までの高さは1.6mであることが分かる。この付近の地盤高は約1mであるから、ほとんど人の身長ほどの津波が遡上したことになる。

ウリン地区では高床式の住居が多数破壊され、船が陸上に散乱し合計で79人が死亡した。この地域は、①図-1によればベサル島の遮蔽域外に位置するため津波の波高が高いこと、②この地点の西側では広くリーフが発達して浅いのにに対し、ウリン地区周辺は深いこと、③地形的に見て入江状となっていること、そして④高床式の住居が多数海へ突き出て建てられていたこと、などが複合原因となって大災害が生じたと考えられる。

### (3) バビ島

バビ島はマウメレの北東約38kmに位置し、半径が約2.5kmの小島である。島の周辺にはサンゴ礁が発達している。図-4に示すように、サンゴ礁は北側では発達が良いが、南側では非常に狭い。島の南側(背後)には2つの大きな砂州が発達している。以上の地形特性は、風波の作用を最も強く受ける北ないし北西方向ではリーフがよく発達し、これらの区域のリーフエッジ付近で波によって破碎されたサンゴ砂は碎波に起因する海浜流によ

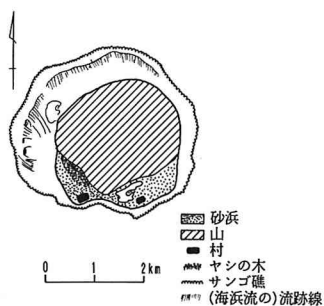


図-4 バビ島の地形特性

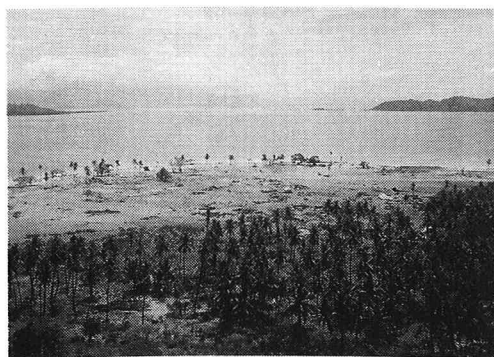


写真-5 バビ島の南側砂州上の村の跡



写真-6 バビ島内、ヤシの林の中の残骸

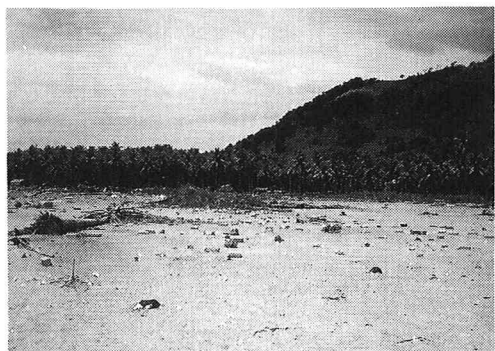


写真-7 南側砂州上におけるヤシの木の倒壊状況

て南側に運ばれ、砂州を形成して堆積したことを表わしている。このため波の作用で形成された南側の砂州の標高は1~1.5m程度と、波の打ちあげ高のオーダーとなっている。

写真-5は山の中腹から南西方向を望んで撮影した被災現場である。津波は南側より襲ったため、家屋は破壊されて北側へと運ばれ、ヤシの木の中に散乱した。例えば、手前側のヤシの木の中の状況を示すのが写真-6である。大量の残骸が散乱していることがわかる。砂州上にあった村は完全に破壊された。

バビ島でも痕跡調査を行ったが、家屋は全滅していたため痕跡は樹木に付いたゴミより測定した。今回の災害調査で見い出された興味ある点は、写真-7に示すように海浜の多くのヤシの木が頭を内陸側、北に向けて倒れていたことである。この方向角にほぼN方向である。このことは南から来襲した津波の波力によりヤシの木が陸側へと向いて倒れた可能性が大きいことを示す。

## 5. 津波の再現計算

バビ島での現地調査により、顕著な被害の生じたバビ島南岸では津波の発生した北側からではなく、南側から津波が来襲した可能性が示唆された。この地域では、津波はバビ島による回折やフローレス島による反射の影響

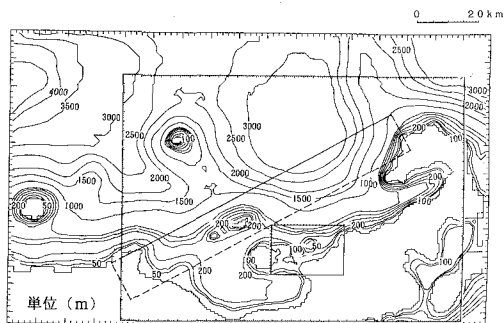


図-5 津波の計算範囲と海底地形

を受けるため、津波の挙動は非常に複雑となる。そこで、数値計算により津波の伝播の再現を試みた。計算手法は非線形長波方程式を Leap-frog 法により差分化して解くものである (例えば、今村ら, 1984)。

計算では、特に著しい津波災害が生じたフローレス島の東岸およびバビ島における津波遡上高の再現を目的とし、図-5に示す計算領域を設定した。格子間隔は津波の波長を考慮し、沖合の計算領域では1.8 km、フローレス島の周辺では600 m、さらにバビ島周辺では200 mとした。図-5には海図から作成した計算用の深浅図も示す。この海域では十分精度の高い海底地形図はないので、海図(昭和59年1月14日、海上保安庁刊行)より補間して図-5を求めた。また、陸域の地盤高についての資料もないために、陸上遡上は考慮せず、汀線位置で完全反射の境界条件を設定した。

津波の初期波形としては、地震断層パラメータにより計算される地殻変動の鉛直成分を海面上に与える方法を用いた。Harvard 大学による地震波解析の速報値によると、断層面は南側に深くなる低角の断層面に沿って、南側の地盤が北側に対してせり上がる逆断層型である。また、断層の位置は、本震の震央を西端として東北東に伸びてフローレス島北東端に及び、断層の長さが  $L=100$  km、幅が  $W=50$  km、すべり量が  $D=3.2$  m と設定されている。当所、本計算ではこの断層パラメータに従った滑り面を設定し、この滑り面を地震当日観測された余震域に一致するような位置においた条件で計算を行ったが、フローレス島沿岸における最高水位の計算結果は痕跡高の1/2程度以下にしかならなかった。また、都司ほか(1993)による聞き込み調査によると、マウメレ、バビ島などでは地震時に地盤が数10 cm~1 m程度沈下したとのことであるが、この断層モデルでは、これを再現することができない。これらのことから、地震と同時に生じた地盤の昇降パターンと津波の痕跡高が現地観測結果により一致するよう、断層の幅を1/2とし、逆にすべり量を2倍とした断層モデル(断層の長さ  $L=100$  km、幅  $W=25$  km、すべり量  $D=6.4$  m)を設定した。この条件

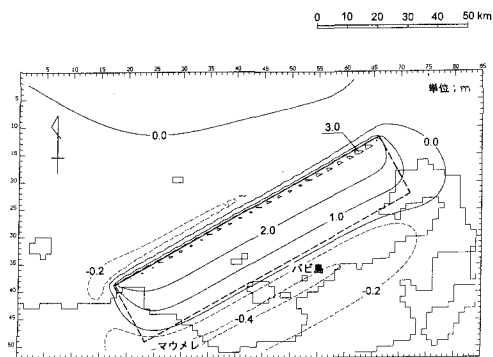


図-6 津波の初期変位

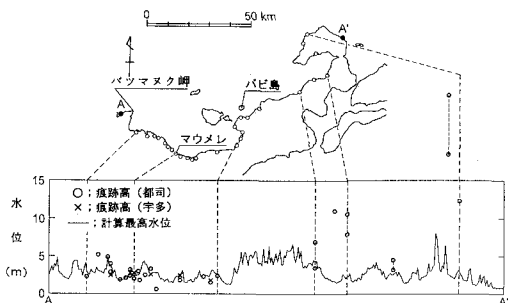


図-7 最高水位の計算結果と痕跡高の比較 (フローレス島)

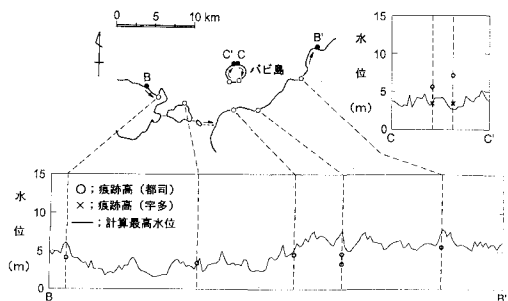


図-8 最高水位の計算結果と痕跡高の比較 (バビ島)

においては、津波の初期変位分布は、図-6に示すように断層面北端で最大約3 mの隆起、バビ島付近では約40 cmの沈降となる。

上記の条件で計算されたフローレス島沿岸における最高水位と痕跡高の比較を図-7に、またバビ島周辺における最高水位と痕跡高の比較を図-8に示す。図-7,8には都司ら(1993)による調査成果を併せて示した。図-7よりバツマヌク岬からバビ島にかけての痕跡高はほぼ再現され、津波痕跡高の沿岸方向分布はかなり良い対応を示す。しかし、フローレス島東端部の10 m以上の痕跡高は再現できない。この点については、津波波源として複数の断層面を設定するなどの検討が今後必要と思われる。また、バビ島周辺においては、津波の来襲方向に対

して遮蔽域に当たる南側において3.7mという最高水位が計算され、この結果は実測した痕跡高と非常に良い一致を示す。

## 6. 考 察

既に述べたように、バビ島の北側はリーフの発達が良いのに対し、南側ではリーフはほとんど発達せず、急深となっている。この急深部に砂州が突出し、しかも島自身が風波を遮蔽するために港としてよい場所を提供していた。しかし、津波の波長は風波と比較して十分に長く、スケールの小さな島では島陰にも十分到達できるから、風波に対して安全であることが津波に対しても安全とは言えないのである。したがって砂州上の集落を守るために海岸堤防等の津波対策施設が整備されていれば災害は防止されたと考えられるが、無施設であったため集落は全滅した。これは我が国では1933年の三陸大津波時における田老村の全滅を想起させる。

ほぼ同じ高さの津波が来襲しても、海岸線付近の土地の標高が比較的高ければ災害は小さい。バビ島の場合は現地盤の高さが風波のうちあげ高によって定まった1~1.5mであり、津波波高に比較して低かった。このことが大災害の原因となった。同様にウリン地区ではその多くの家屋が高床式の家屋ではあるものの、標高が1m未満の場所に多くが建っていたため、3m近い津波に対し家屋は容易に破壊された。

ところで、バビ島やウリン地区の住民の大多数は漁民である。インドネシア政府は津波災害後バビ島の村を放棄することを決定し、住民はフローレス島内への移住を強いられた。しかし、フローレス島の移住箇所には漁港もなく、生業を営むのが困難である。このため帰島を禁

止してもやがては近い将来島に村が再び形成されると思われる。住民を守るための海岸施設の建設にはコストがかかる一方、今回の地震は非常に稀なものであり、同一規模の地震が起こる確率は非常に低いと考えられるので、発展途上にあり、また同様な条件にある島が多数あるインドネシアでは一つの小島における海岸保全施設の建設投資は困難であろう。このことから、インドネシア政府との協議では今後の対策のあり方について大きな問題が残された。そうした場合の有効な対策については、今後検討する必要があると考えられる。

## 7. あとがき

今回、インドネシアのフローレス島へ急遽出かけ、津波災害の緊急調査を行ったが、現地での滞在期間がわずかに3日間と限られていたため、津波痕跡調査は十分行うことができなかった。したがってここで示した津波痕跡高はごく限定された範囲に止まっている。

最後に、今回マウメレの天文潮位には海上保安庁水路部日本海洋データセンター(JODC)の推算データを使用させていただいた。また、東京大学地震研究所都司嘉宣助教授には津波高や潮位について有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 今村文彦・永野修美・後藤智明・首藤伸夫(1987): 1960年チリ沖津波に対する外洋伝播計算, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 172-176.
- 都司嘉宣・今村文彦・松富英夫・河田恵昭・渋谷純一・伯野元彦・武尾 実・松山昌史・高橋智幸(1993): 1992年12月12日インドネシア・フローレス島地震津波の調査速報, 地震学会ニュースレター, Vol. 4, No.6, pp. 4-8.