

5章 眉山崩壊に伴う 有明海津波の水理実験

富樫 宏由

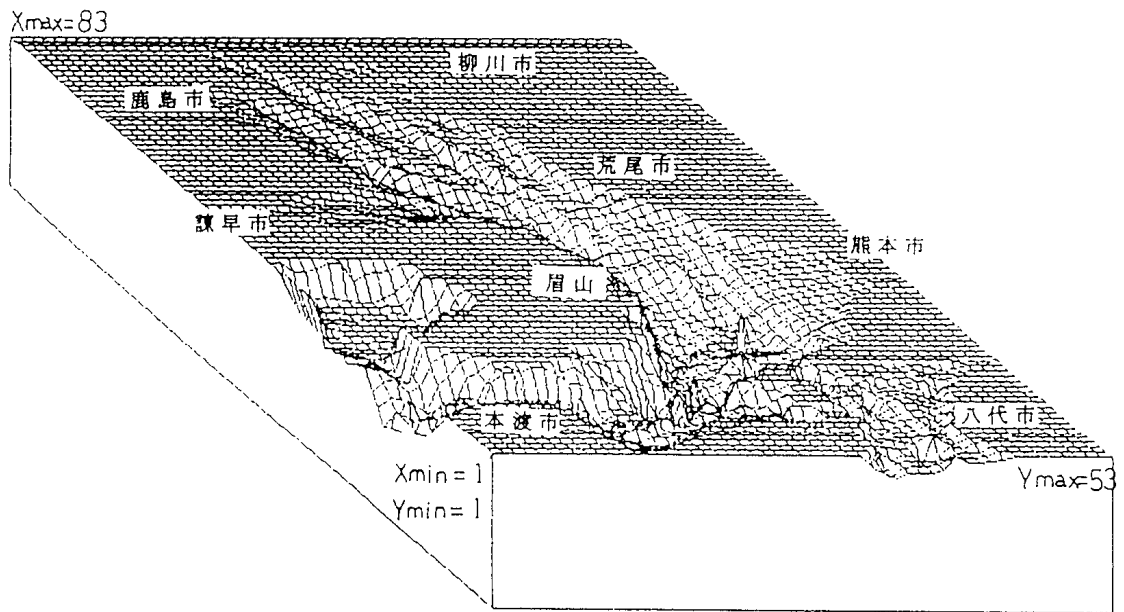
はじめに

1993年7月12日に起こった北海道南西沖地震による津波が奥尻島を直撃し、特に青苗地区に甚大な被害を及ぼした。奥尻島では、所によっては30mの津波の痕跡高も残っていた。原因は海洋底のプレートが大陸のプレートの下に潜り込む運動が地震を起こし、津波が発生した。日本で発生する津波の殆どがプレートの潜り込み運動による地殻変動であるのに対し、寛政4年の有明海津波は眉山が崩壊してその崩壊物が有明海に突入して大津波を惹き起こした非常に珍しい津波であった。土砂の量は3億4千万 m^3 、崩壊した天狗山は山頂も崩れ落ち、150mも低くなったといわれている¹⁾。しかし、その津波の規模は北海道南西沖地震による津波にも匹敵する大きさであった。200年経た今また普賢岳が噴火活動をして一向に鎮静化する様子はなく、眉山の直下で地震が起こると七面山崩壊が懸念される場所である。長崎大学²⁾・³⁾では再発した場合を予測するため、平成3年から4年にかけて従来行われたことのない水理模型による2つの津波実験を行った。平成3年度の実験は寛政4年有明海津波の再現性実験として天狗山の崩壊によって起きた津波の模型実験で、相田⁴⁾の線形長波理論による数値実験や都司⁵⁾の古文書による研究と実地調査に基いた島原・熊本沿岸の津波痕跡高との比較検討を行い、また平成4年度は眉山の残る一峰七面山崩壊を想定した場合の有明海津波の発生による沿岸における津波の高さと陸上遡上高等を予測した。

1節 実 験

1. 実験模型

有明海の模型製作に当たっては、有明海沿岸海域地図と島原の1/25000地形図を用いて、これに1kmのメッシュを入れて水深を算出、データとしてパ



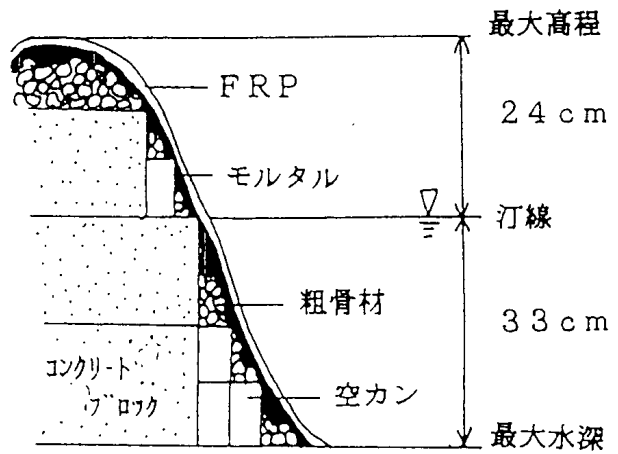
図一 1 有明海模型鳥瞰図

ソコンに収納して鳥瞰図を描いた（図一 1）。干拓地の多い熊本・福岡・佐賀 3 県沿岸の海岸線は、色々な古文書の資料調査によりほぼ200年前の干拓堤防の位置と見なされる所まで後退して旧地形の再現を試みてある。水理模型はフルードの相似則によるものとし、模型縮尺は、有明海の現在地形と干拓の歴史のある200年前の旧地形との相違、古記録による津波の陸上遡上痕跡高の大きさ、実験の測定方法・精度、模型製作の難易と精度等々を考慮した結果、水平 $1/8000$ 、鉛直 $1/250$ の歪模型とした。これによって、東西約55km×南北83kmの有明海のほか全域を含み、一部八代海も含まれている。時間の模型縮尺は $1.975/1000$ ($10\text{min} \rightarrow 1.2\text{sec}$) となる。

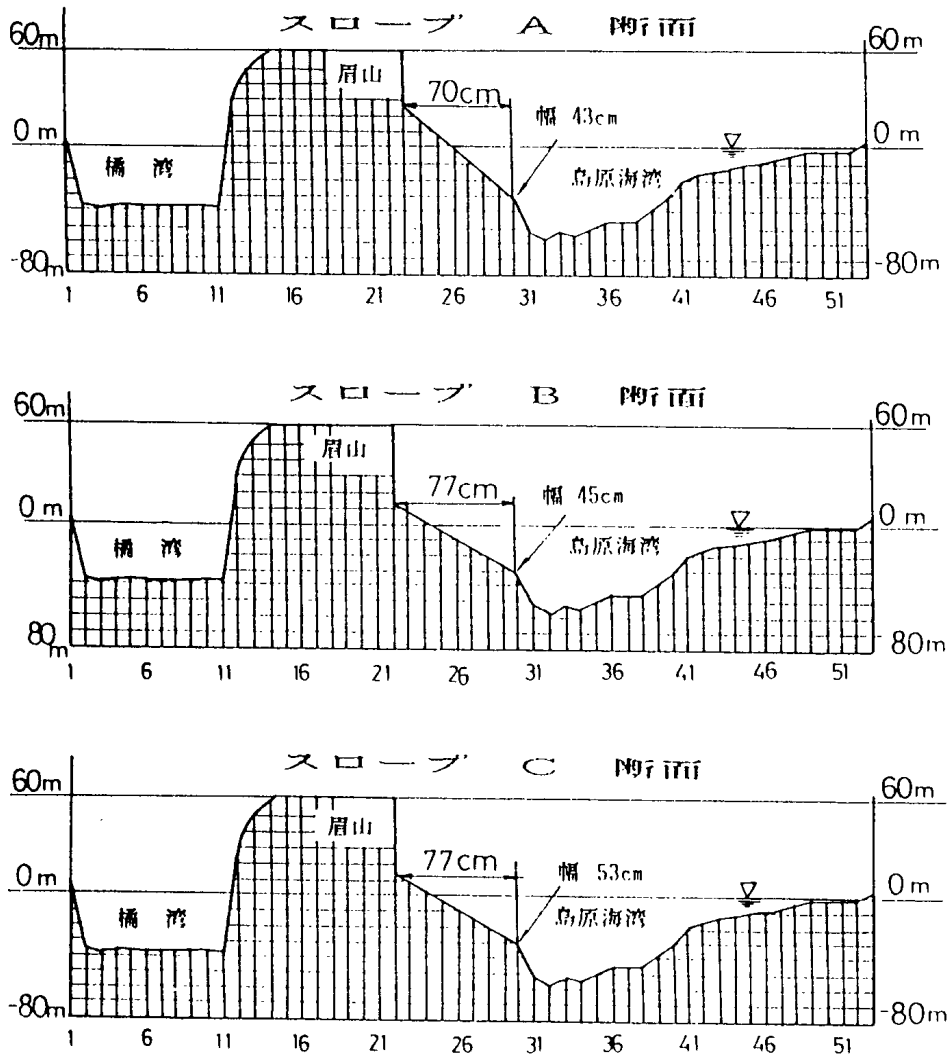
図一 2 の模型製作断面図に示すように、最大水深は80m、最大高程は津波の最大痕跡高50m（真偽の程は別として）を考慮して60mまでとってある。海図と地形図を本に平面水槽に1 kmメッシュを書き入れて棒を立て、水深の分を残して切断し、ブロックと砂利で棒を埋めてセメントで整形し、その上を防水も兼ねたFRPで固めてペンキを塗って完成させた。約4 km四方の島原を中心とする波源域は250mメッシュで特に入念に形成した。

2. 波源の地形と造波運動機構のモデル化

眉山の山体崩壊に伴った造波運動機構のモデル化については、種々の古文書、従来の関連文献例えば、太田⁶⁾、片山⁷⁾等とか最近の浜田等⁸⁾によるボーリング調査報告書等を参照して、海岸付近の旧地形を一様斜面の滑り台として、その上を崩壊物体が滑落して海中に突入するものと想定して、図一3に示す3通りの旧地形斜面モデルを設定した。



図一2 模型製作断面図



図一3 波源域の旧地形斜面モデル

現在汀線と旧汀線の間
崩壊物の堆積層厚は平均約
7 m, 大きい所で15~20m
位となっている様である。
従って, 1つの旧地形斜面
は現在地形より7~10m下
に(スロープA), 他の1
つは15~20m下に(スロー
プB)直線滑り面として設
定した。幅は上部が3.4km
下部が3.6km程度のやゝ台
形上で, 海中の先端部は現
在海底地形にすり合わせて
ある。この上を崩落堆積物
からなる楔状の現在地形を
滑り落とすことを基本と
し, 他にも試行錯誤的に合

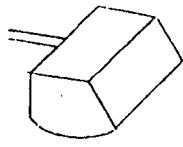
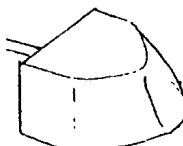
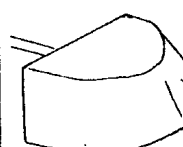
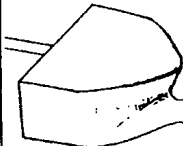
	模型図	高さ	幅	奥行き
NO. 4		18 cm	42 cm	25 cm
NO. 6		24 cm	42 cm	35 cm
NO. 7		25 cm	52 cm	33 cm
NO. 8		25 cm	52 cm	42 cm

図-4 滑落物体モデル

計8種類の滑落物体モデルを試作して実験を行った(図-4)。滑落継続時間
は5 min以内程度とした。

七面山崩壊を想定した場合⁹⁾, 崩壊物は七面山を中心に東側に扇状に拡がっ
て海中に突入するものと想定される。七面山は天狗山の北西約1 kmの所にあ
り, 海岸までの距離は3~4 kmで天狗山から旧海岸線までの距離より1.5~2
倍程長く, しかも伸びた分は殆ど緩斜面上の市街地となっているので, 七面山
崩壊時は滑落幅はやゝ北側に拡がり, 滑落継続時間もより長くなるであろうと
予測されることから, スロープは前回の実験と同じ深さ15~20mの旧地形斜面
に設定し, 滑落幅を北側に1 km拡大した(スロープC)。滑落物体モデルも幅
を1 km弱拡大し, 形状は前回のモデルNo. 6と類似の逆さ船体舳先状のNo. 7
と突入時の造波抵抗が小さくなるように造った丸瘤付タンカー舳先状のNo. 8
の2種類とした。滑落継続時間は4~9 minとした。

3. 実験方法

200年前の眉山崩壊時はおりから大潮の満潮だったことから、潮位は平均潮位と満潮位の2通りの場合について実験を行った。容量式波高計による波形記録は、再現性実験の場合は波源域周辺と島原半島沿岸及び熊本県沿岸の合計18測点でパソコンによって同時測定したが、測点数が非常に多いので陸上遡上高の目測は不可能であった。再現性実験の追加補足実験と七面山崩壊を想定した場合の実験は島原半島沿岸15点、熊本県沿岸13点の2つに分けて各ケースを同時測定し、パソコンによりフロッピーディスクに収録し、陸上に遡上した最大津波痕跡高も併せて目視観測した。

2節 結果と考察

1. 寛政4年津波の再現性実験

図-5, 6に示す一点鎖線は、相田⁴⁾による数値解析結果のうち入力継続時間4minの最大津波高である。実験値の地理的分布で見ると、島原半島・熊本

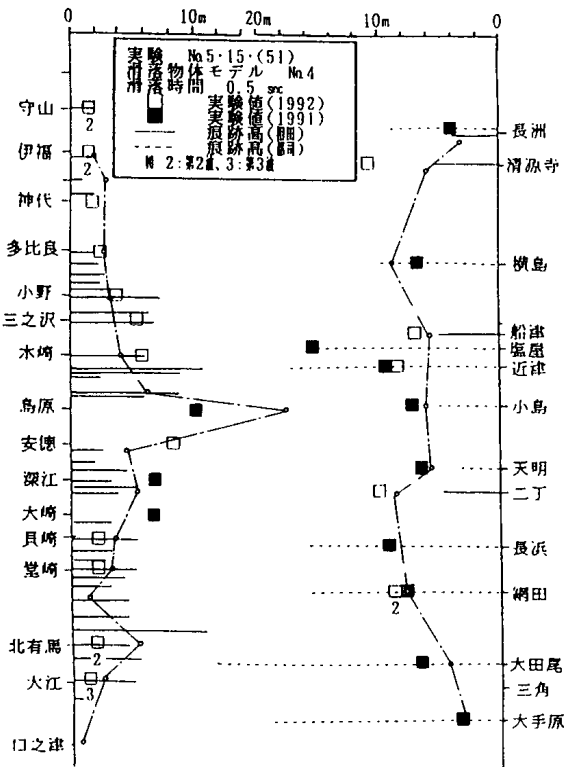


図-5 寛政4年津波高分布図
(No. 4, 0.5sec)

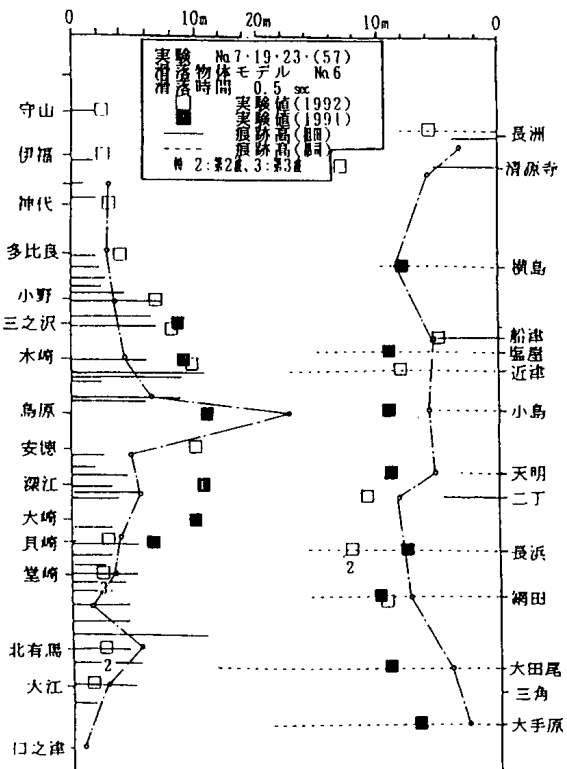
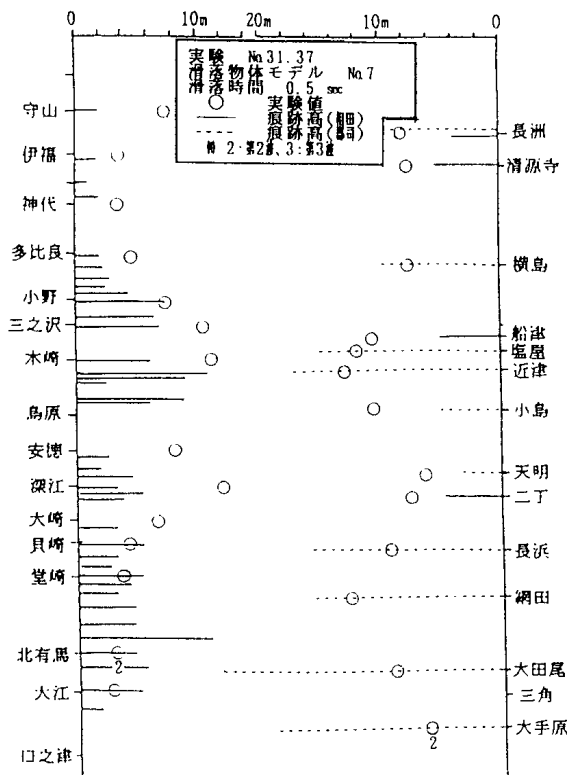


図-6 寛政4年津波高分布図
(No. 6, 0.5sec)

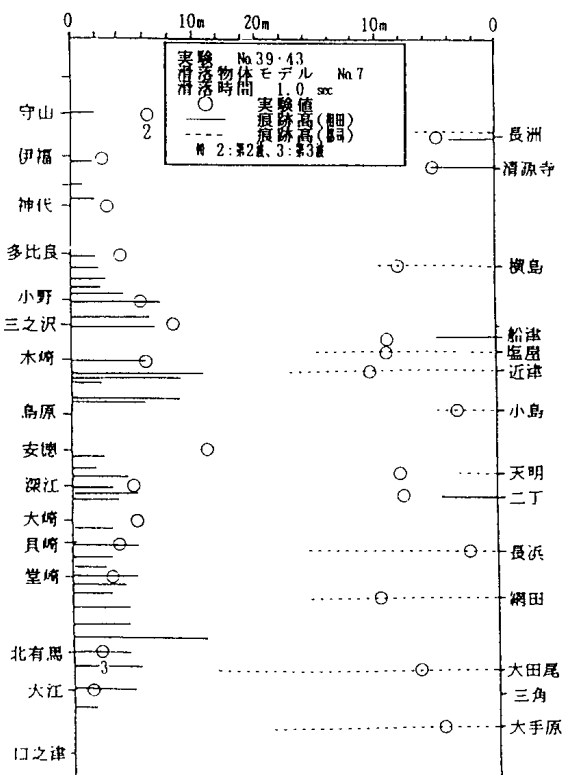
県沿岸の津波高は図一5のモデルNo.4では全体的に相田の数値解析結果と近似しており、島原半島沿岸では相田の痕跡高ともほぼ一致している。しかし、図一6のモデルNo.6では実験値は相田の数値解析結果・痕跡高よりも概して大きく、波源域の南側とか熊本県の清源寺のように局所的には相田の痕跡高の2倍位になる所もあるが、都司⁵⁾による痕跡高よりははまだ概して小さい。図一5, 6に共通する特徴として波源から遠く離れた南部と北部及び宇土半島沿岸では第2～3波目が最大となることがある。

2. 七面山崩壊に伴う津波の発生予測

図一7は、滑落物体モデルNo.7により滑落継続時間が実物で4～5min程度に相当する場合の津波高予測図であるが、類似の滑落物体モデルNo.6による場合の図一6と比較すると、津波高は全体的に相田の痕跡高よりさらに大きく、熊本県沿岸では都司の痕跡高に大分近くなる。島原沖合の波源における津波の最大振幅は18～19m、周期は10min前後であった。



図一7 沿岸の津波高予測図
(No. 7, 0.5sec)

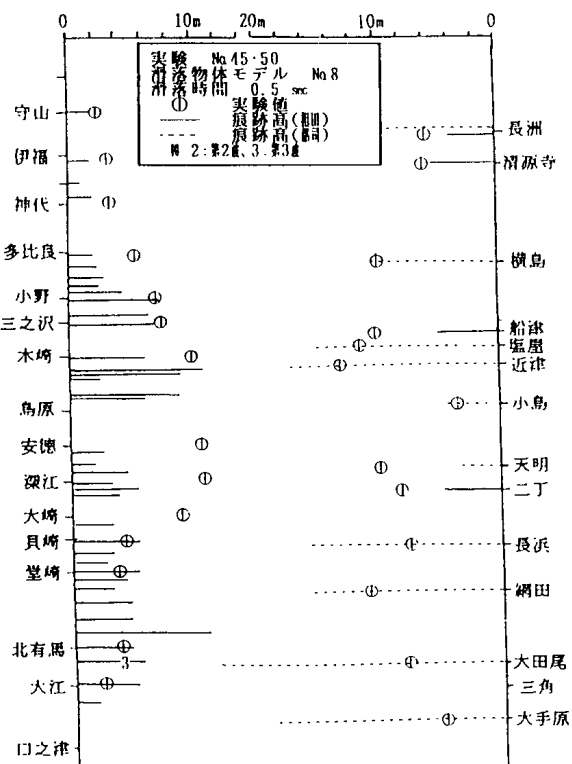


図一8 沿岸の津波高予測図
(No. 7, 1.0sec)

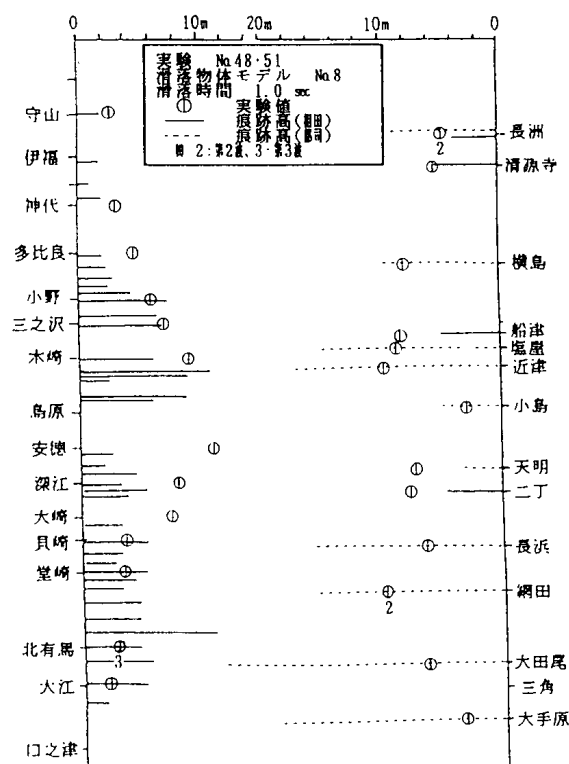
図一8は滑落物体モデルNo.7により滑落継続時間が実物で8~9min程度に相当する場合の津波高予測図であるが、図一7と比較して津波高は全体的に小さくなり、島原半島沿岸の波源域周辺とその北側では相田の痕跡高に一致してくる。

図一7, 8に共通して見られる特徴は、測定範囲の最北部に当たる諫早湾内の守山、熊本県沿岸の長洲で局所的に津波高が大きくなっていることが指摘されるが、その理由は明かではない。また、滑落継続時間が0.5~1.0secと長くなってかえって津波高が大きくなった所が、波源域南端の安徳と対岸の熊本県沿岸の天明であり、すぐ南隣の二丁も殆ど変化していないのは、波源域の東から南側海底の最深部には局所的に深掘れした所が連なり、それが比較的時間の長いゆっくりした造波運動に効率よく働き、その影響が直に対岸に現れているものと思われる。

図一9, 10は滑落物体モデルNo.8による場合で、前の図一7, 8に対応する予測図である。前図の逆さ船体舳先状モデルNo.7による場合と異なり、造



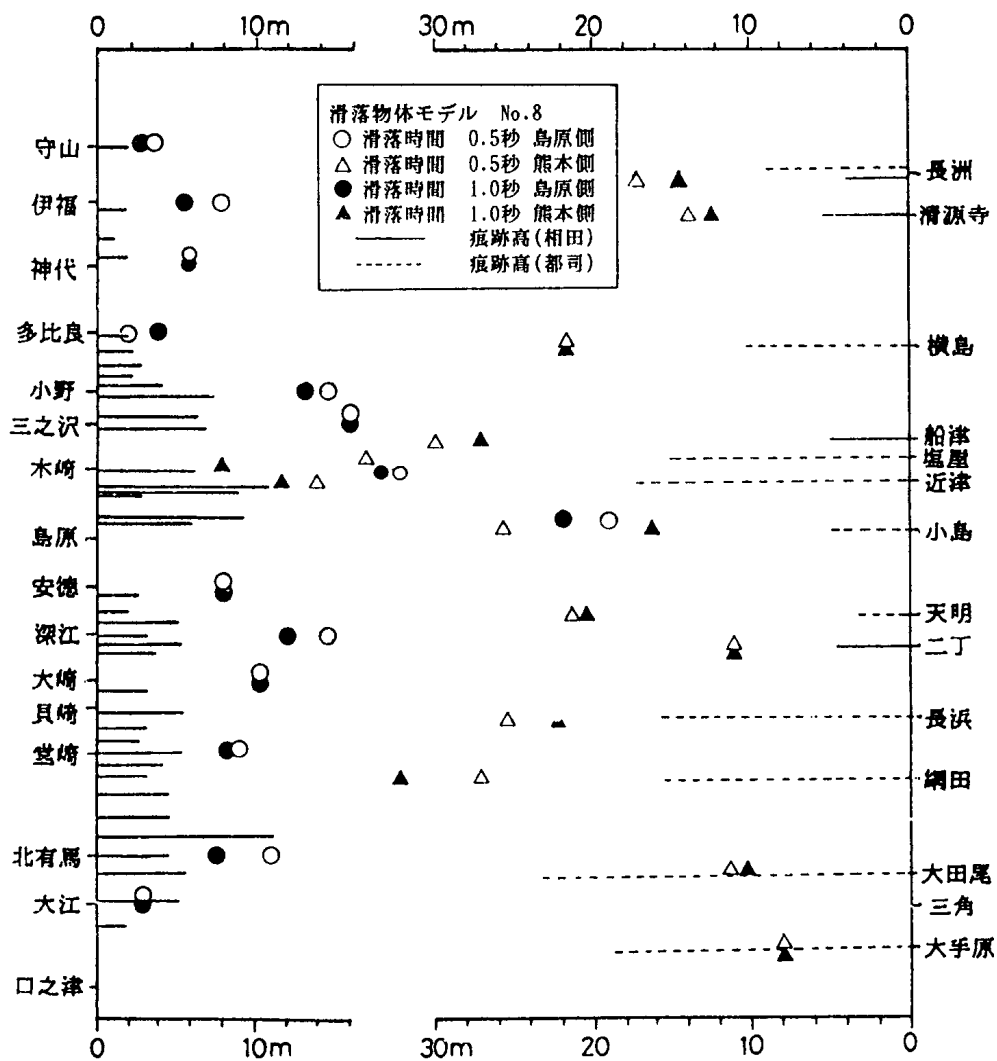
図一9 沿岸の津波高予測図
(No. 8, 0.5sec)



図一10 沿岸の津波高予測図
(No. 8, 1.0sec)

波時にモデルが海中に突入する際の正面東側方向へのエネルギーの集中による造波抵抗が小さく、南北側方向にも指向性が分散するように丸瘤付きタンカー舳先状モデルとした効果が多少はあったようで、突入し易くなった分だけ造波時の衝撃波性の白波の発生が少なくなり、確かに、波源の正面对岸小島の津波高は都司の痕跡高程度まで減少した。また、図一9, 10は図一7, 8と比較してみると類似しているが、衝撃波性の造波が少なくなったため、島原半島沿岸の津波高の地理的分布は波源からの距離に応じて滑らかに減少している。

図一11は前の図一9, 10に対応する津波の陸上遡上高の予測図で、観測地域の陸上に遡上した最大津波痕跡高の目視観測値である。島原側の観測値は南部の大江の他は全て相田の痕跡高に等しいかそれ以上となる。熊本側では大田尾と大手原を除き、相田、都司の痕跡高よりも大きい。



図一11 陸上遡上津波高分布図(No. 8, 0.5sec&1.0sec)

3節 結 論

実験結果は以下のように要約される。

1) 最初に設定した旧地形斜面が7~10mと浅い場合は、現在地形はもとより他の全ての滑落物体モデルによっても造波効率が悪く、想定される大きな津波は発生しないことがわかった。

2) 一方、2番目に設定した旧地形斜面が15~20mと深い場合は、全ての滑落物体モデルについて概して造波効率が良く、特に逆さ船体舳先状の滑落物体モデルが比較的大きな津波を発生し、これが有明海の全域と八代海にまで拡がって伝播することがわかった。従って、海中に突入した滑落体の先端部は、小山のように盛り上がって水を押しだしていたことを示唆している。突入速度は、少なくとも10m/s以上と推算される。

3) これを1792年有明海津波の沿岸における各地の痕跡高と比較すると、大局的には実験値は相田と都司の調査結果の中間位にあり、ほぼ寛政4年大津波の再現を想起させる結果が得られた。この場合の波源域における津波の最大振幅（静水面上の高さ）は、正面の東側に15~18m、側面の南北側に約11m、周期は10min前後であった。

4) 寛政4年津波の地理的分布を少し詳しく見ると、島原半島沿岸では波源域を除けば津波高はほぼ相田の津波痕跡高と一致し、波源から遠い南部と北部では第2~3波目が最大となることがある。熊本県沿岸の津波高は相田の津波痕跡高よりは概して大きく、局所的には相田の津波痕跡高の2倍位となる所も見られるが、都司の痕跡高よりはまだ概して小さい。しかし、相田の数値実験結果と比較すると、津波高がほぼ一致する所もあるが、全体的にはそれよりかなり大きいようである。

5) 七面山崩壊に伴う津波高の予測図を作成した。波源域周辺の津波高は、相田の津波痕跡高と比較して南側でかなり大きく北側ではほぼ一致している。津波高の地理的分布は全体的にはやはり北部で若干大きくなる。特に熊本県沿岸の津波は概して大きくなり、都司の津波痕跡高に大分近くなる。また、滑落物体モデルによる相違は局所的な津波高の変化として現れる傾向がある。

6) 上に述べた七面山崩壊に伴う津波高の予測図に対応する津波の汀線津波

高と陸上遡上高の予測図に当たる目視観測結果を得た。熊本県沿岸では概して都司の津波痕跡高よりも大きく、30m前後遡上する所もあることが分かった。

尚、上の5)、6)の結果は、寛政4年津波の規模を根拠として、海側で想定されるほゞ最大規模の津波の発生予測であるが、もう一方の陸側で想定される七面山の崩壊と滑落あるいは流送・堆積等の過程を考慮すると、海中に突入する崩壊滑落現象の規模はかなり小さくなるだろうという見方もあるので、その間には少しギャップがあるかも知れないことを付言しておきたい。

参考文献

- 1) 「雲仙災害」防災シンポジウム資料, 寛政大津波200年事業実行委員会, p. 25, 1991.
- 2) 富樫宏由・平山康志・谷口祐治・松本慎市: 1792年有明海津波の再現性水理実験; 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 221-225, 1992.
- 3) 富樫宏由・平山康志・谷口祐治・國武正大・熊本司郎: 崩壊滑落物突入による島原海湾津波の水理実験; 平成4年度教育特別研究費研究成果「雲仙火山災害の調査研究(第2報)」, 雲仙火山災害長崎大学調査研究グループ(研究代表者後藤恵之輔), pp. 55-63, 1993.
- 4) 相田勇: 1792年島原眉山崩壊に伴った津波の数値実験; 地震 第2輯, 第28巻, pp. 449-460, 1975.
- 5) 都司嘉宣: 寛政の大津波による熊本県沿岸部津波高さ分布; 「雲仙災害」防災シンポジウム資料, 東京大学地震研究所, 1991.
- 6) 太田一也: 眉山大崩壊のメカニズムと津波; 月刊 地球, Vol. 9, No. 4, pp. 214-220, 1987.
- 7) 片山信夫: 島原大変に関する自然現象の古記録; 第9号, pp. 1-45, 1974.
- 8) 浜田政則他: 島原市の地形・土質条件に関する考察——眉山崩壊のメカニズムと反復性——; 東海大学海洋学部, 40p, 1991.
- 9) 棚橋由彦・松岡朋秀・後藤恵之輔: 眉山の安定解析と危険度評価; 教育特別研究費研究成果「雲仙火山災害の調査研究」, 雲仙火山災害長崎大学調査研究グループ(研究代表者後藤恵之輔), pp. 62-75, 1992.