

湯浅湾における津波対策に関する一考察

藤田武彦*・中村 宏**・榊原 弘***・吉田和郎***

1. 緒 言

和歌山県沿岸は、過去多くの津波災害にみまわれている。なかでも、図-1に示す湯浅湾はV字型地形を有するため、湾奥の湯浅町と広川町では津波波高が増大し、特に、宝永南海道津波(1707年)、安政南海道津波(1854年)、昭和南海道津波(1946年)では壊滅的な被害を受けた。

当地におけるこれら歴史津波の痕跡は、羽鳥ら(1983)によって詳細な調査が行われている。当地は、安政南海道津波来襲時における浜口悟陵の「稲むらの火」の話や同氏が私財を投じて築造した津波堤防が昭和南海道津波から村を守った話で全国的に有名であり、我が国の津波防災の歴史を論じる上で重要な地域である。このような土地柄から地域住民の津波災害に対する関心は高く、津波対策に対する期待も大きい。南海道沿岸は100～150年の周期で津波災害が繰り返されており、2020～2050年の間に南海道で地震が起こると警告する研究者も多い。

本研究では、湯浅湾を対象とする津波の数値計算を行うことにより、津波対策工としての津波防波堤の効果을明らかにする。まず、検討対象津波として宝永および昭和南海道津波の規模および特性の異なる2つの津波を設定し、その津波の周期特性をスペクトル解析により明らかにする。ついで、両津波に対する津波防波堤による津波低減効果を、周波数応答ならびに最高水位低減率の変化により明らかにする。さらに、将来の津波対策のあり方について考察する。

2. 津波伝播の数値計算手法

2.1 数値計算の概要

津波伝播の基礎方程式には通常平面2次元長波の方程式を用いるが、浅海域と深海域とで非線形長波の方程式と線形長波の方程式を使い分ける。なお、基礎方程式の差分化には leap frog 法を用いている。

図-2に示されているように、領域1から9の格子間

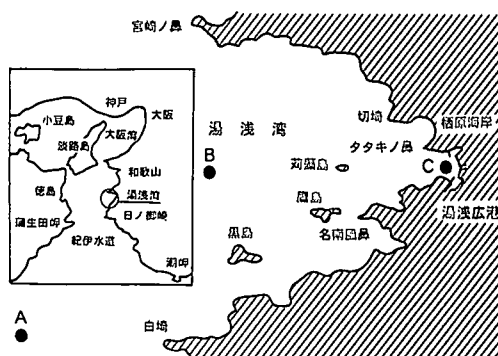


図-1 湯浅湾位置図

隔の異なる9つの領域を設定し、それぞれの格子間隔は領域1から順次6.4 km, 3.2 km, 1.6 km, 800 m, 800 m, 400 m, 100 m, 50 m, 25 mとする。粗度係数は海底を規則的な断面をもつ大流路と仮定して $n=0.025$ ($s/m^{1/3}$)とし、初期水位は当海域でのH.W.L.(TP+0.8 m)とする。また、開口部における運動量損失係数は、後藤ら(1991)の釜石湾における研究を参考にして $f_0=0.5$ とした。

検討対象津波には、宝永南海道津波と昭和南海道津波の規模および特性の異なる2つの津波を採用する。前者は、1707年(宝永4年)に発生したM8.4の過去最大級の津波である。後者は、1946年(昭和21年)に発生したM8.0の津波であり、湯浅湾における最近の被害津波である。

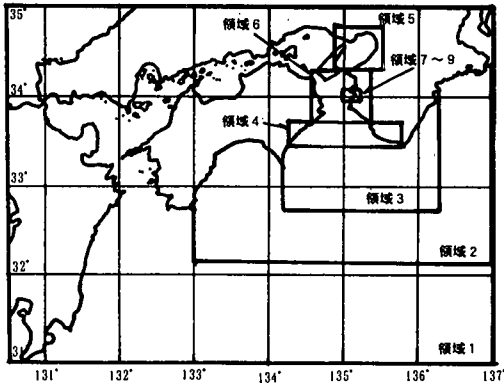
初期条件としての海面の初期水位変動量としては、相田(1983)によって提案された断層モデルおよびMansinha & Smylieの方法より計算される海底地盤変動量の鉛直成分を与える。図-3に、昭和および宝永南海道津波のそれぞれに対する断層モデル(Model 19'およびModel 29')とそれらを用いて推定される地盤変位分布を示す。

なお、本検討を行うに先立ち、昭和および宝永南海道津波に対する再現計算を実施し、計算手法および計算条件の妥当性を確認している。再現計算は、羽鳥ら(1980)が調査した当時の潮位および地形に対する痕跡高および浸水範囲に基づいている。

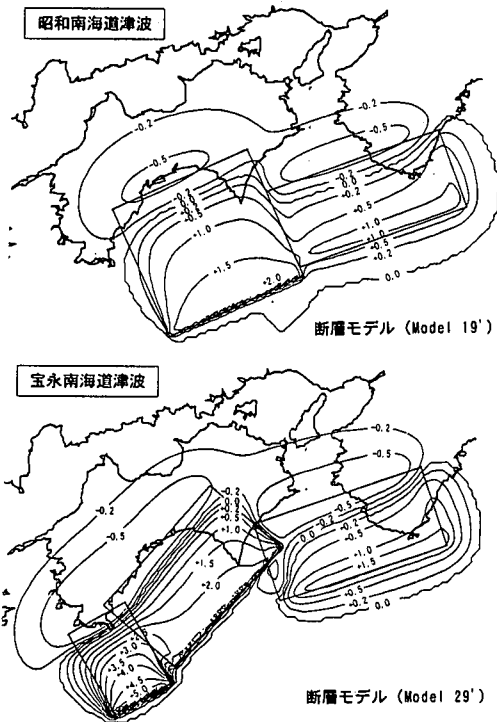
* 正会員 和歌山県土木部港湾課長

** (財)沿岸開発技術研究センター 調査研究部

*** 正会員 (株)ニュージェック 河川・海岸部



図一2 計算領域



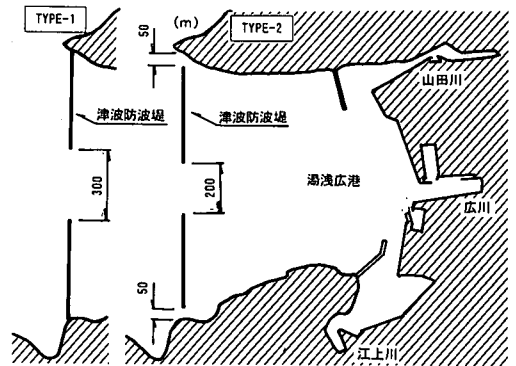
図一3 検討対象津波の断層モデルと地盤変位分布

2.2 津波対策工と計算ケース

湯浅湾湾奥に位置する湯浅広港では、地方港湾の整備にともない、埋立地の造成および防潮堤の整備を実施している。近年の海岸保全事業では、高い防災効果に加え生活環境の改善も重要視されている。天端の高い防潮堤で囲まれた本港の背後地では、現状以上の天端高の嵩上げは生活環境の悪化を招く恐れがある。そこでここでは、沖で津波を制御することにより港内水位の上昇を抑制する津波防波堤を津波対策工として提案する。津波防波堤は、湯浅湾の現状、防波堤の規模、防災重点地域および船舶の航行等を配慮して沖合1 kmの港口部に設置す

表一 構造物条件と計算ケース

No.	検討対象津波	地形構造物	開口数	開口位置	開口幅(m)	開口面積(m ²)	開口面積比
予備検討	1	昭和南海道津波防波堤	現況	—	1,200	11,102.5	1.00
	2		1	港口中央	300	2,817.5	0.25
	3		2	港口両端	150×2	2,103.8	0.19
	4		1	港口中央	500	4,920.0	0.44
	5		2	港口両端	250×2	4,068.8	0.37
本検討	1	昭和南海道	現況	—	1,200	11,102.5	1.00
	2	宝永南海道					
	3	昭和南海道	津波防波堤	1	300	3,000.0	0.27
	4	宝永南海道					
	5	昭和南海道		3	150×2	2,187.5	0.20
	6	宝永南海道					



図一4 津波対策工有望案

る。配置案としては表一に示すケースを考え、それぞれに対して予備検討を行った。当然のことながら、開口面積比が小さいほど津波低減効果は大きくなるが、船舶の航行および海水交換効率を考慮すると、図一4に示すような開口面積比が0.27および0.20の2案が有望案となる。以後、前者の津波防波堤の配置案をTYPE-1、後者をTYPE-2として本検討の対象とする。

3. 検討対象津波の特性

港湾内における津波の挙動は、各港湾の持つ湾水振動としての固有周期に左右されることがある。ここではこの点を考慮することにより、スペクトル特性に着目して昭和および宝永南海道津波の2つの津波の挙動を解析する。なお、このときの地形条件は、津波防波堤を設置する前の現況地形である。津波の挙動を解析するために、図一1に示す点Aから点Cの3つのモニター点を設定する。点Aは、湯浅湾の地形の影響を受けない地点での津波の挙動をみるものであり、点Bおよび点Cは、点Aとの比較により湯浅湾内における津波の挙動の変化をみ

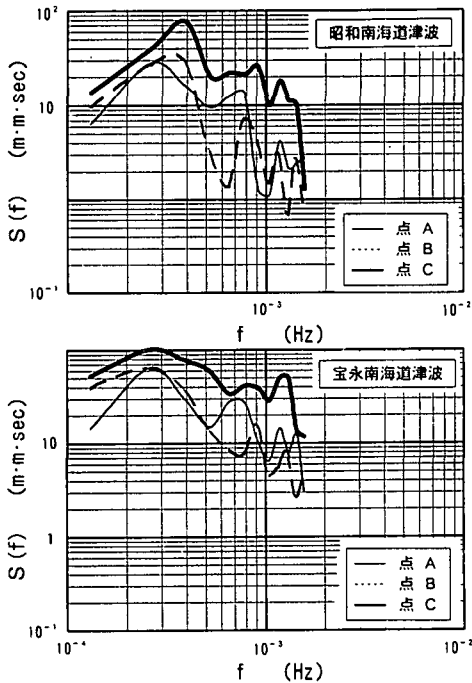


図-5 検討対象津波のパワースペクトル密度

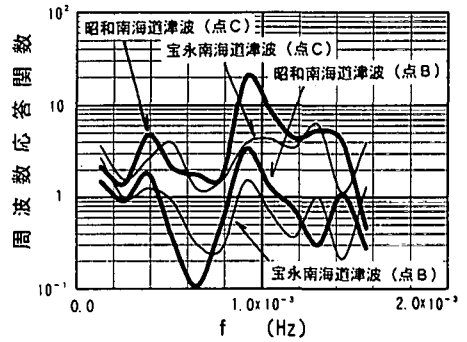


図-6 検討対象津波の周波数応答関数

るためのものである。

図-5に点Aから点Cにおける2つの津波のスペクトル密度関数を示す。昭和南海道津波の場合、点Aでは 2.8×10^{-4} Hz (約60分)であるスペクトル密度関数のピーク周波数は、湾内点Cでは約20分短くなり、 3.9×10^{-4} Hz (約40分)となる。また、スペクトル密度関数の第2ピークは、点Aでは 7.8×10^{-4} Hz (約20分)に顕著に現れるのに対して、点Cでは 7.8×10^{-4} Hz (約20分)から 1.5×10^{-3} Hz (約10分)の周波数帯のスペクトルが増大するために顕著には現れない。宝永南海道津波の場合、スペクトル密度関数のピーク周波数は、点Aと点Cの両地点ともに昭和南海道津波とほぼ同じ 2.8×10^{-4} Hz (約60分)となる。また、第2ピークは昭和南海道津波と同様の傾向を示している。すなわち、昭和南海道津波の場合は湯浅湾の沖と湾奥とで卓越周波数が変化するのに対して、宝永南海道津波の場合は変化しない。

図-6は、湯浅湾沖の点Aに対する点Bおよび点Cでの周波数応答関数を示す。湾奥の点Cの周波数応答関数は、両津波ともに全周波数帯において1を上回り、特に 8.0×10^{-4} Hz (約20分)から 1.4×10^{-3} Hz (約10分)の周波数帯で大きくなる。昭和南海道津波の場合には、 9.0×10^{-4} Hz (約20分)辺りに応答関数のピークが現れる。また、湾口の点Bと湾奥の点Cの応答関数曲線の形状は、 1.3×10^{-3} Hz (約15分)付近を除いてほぼ相似形であるが、 1.3×10^{-3} Hz (約15分)付近では点Bで低下、

点Cで増大しているように湾奥に入るほど増幅する傾向がみられる。宝永南海道津波の場合には顕著な応答関数のピークはみられず、点Bおよび点Cの応答関数曲線は全周波数帯でほぼ相似形である。すなわち、昭和南海道津波の場合には湾奥で増幅される周波数成分が存在するのに対して、宝永南海道津波の場合には湯浅湾の湾口と湾奥とで応答振動特性が異なるような周波数成分は存在しない。

津波防波堤による津波低減効果の主なものには、次の2つのメカニズムが挙げられる。一つは津波防波堤の開口部から港内に流入する津波のエネルギーを低減させ、全体的に津波の振幅を低減させる効果である。すなわち、スペクトル密度関数のピークを低減する効果である。もう一つは港内の最高水位を低減させる効果である。この場合、必ずしも津波のピーク周波数のスペクトルを低減させる必要はなく、津波の峰の形状を支配している高周波数帯のスペクトルを低減できればよい。後者の効果による津波の低減効率には前者に比べると劣るが、一般的に津波の被害が最高水位に依存することを考慮すると、これにより必要最小限の安全性は確保できると考えられる。ここでは、後者のメカニズムについて検討している。

4. 津波対策工の津波低減効果

図-7は、湾奥の点Cにおける津波防波堤による周波数応答関数の変化をみたものである。両津波に共通して、津波防波堤を設置すると設置前と比べて、 6.0×10^{-4} Hz (約30分)よりも高周波数側で応答関数の値が小さくなっている。これは、津波防波堤の背後水域では高周波数帯の成分波が津波防波堤によって抑制されることを表している。この数値計算における津波防波堤内外の津波による水位変動は、開口部を通して応答し、このとき非常に周期の長い低周波数成分波による水位変動は、防波堤内外で完全に応答する。しかしながら、ある周波数よりも大きな周波数成分波による水位変動は、防波堤内外で完全には応答しきれないため、その津波のエネルギー

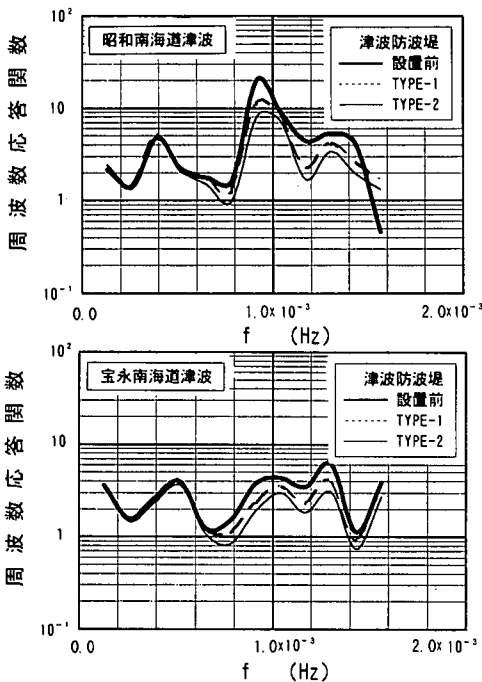


図-7 津波対策工による周波数応答関数の変化

の一部は沖に反射されると考えられる。図-7の結果は、湯浅湾の津波防波堤におけるそのような応答振動特性を定める周波数が 6.0×10^{-4} Hz (約30分) 辺りにあることを示している。

図-8は、防潮堤前面における最高水位の分布および最高水位低減率を示す。図中の実線および破線は、それぞれ最高水位と最高水位低減率を示す。最高水位低減率は津波防波堤設置前と設置後との最高水位上昇量の比である。津波防波堤を設置した場合、昭和および宝永南海道津波に対する防潮堤前面の最高水位は、設置前と比べて約0.9から1.6 m程度低下する。特に、TYPE-2の配

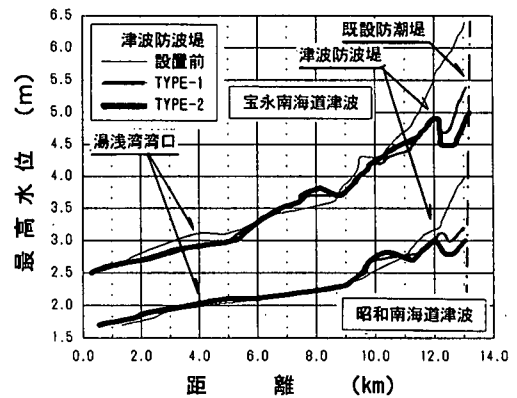


図-9 湯浅湾湾長方向における最高水位分布

置案が効果的である。TYPE-2の津波防波堤による防潮堤前面における最高水位低減率は、昭和南海道津波の場合では0.63から0.73、宝永南海道津波の場合では0.73から0.80となり、両者ともに良好な津波低減効果が得られている。

図-9は、湯浅湾の湾長方向における最高水位の分布を示す。2つの津波に共通して、津波防波堤を設置すると港外の最高水位曲線に明瞭な山と谷が現れている。それにともない、昭和南海道津波では防潮堤前面から津波防波堤沖約1.0 kmまでの間の最高水位が低下している。宝永南海道津波では防潮堤前面から津波防波堤沖約3.0 km間で同様に最高水位が低下する傾向にある。これは次のようなメカニズムによるものと考察される。津波防波堤を港口に設置すると湯浅湾の応答振動特性が変わる。これは、これまでに現れなかった地点に節のような現象が発生していることからわかる。応答振動特性の変化は、防波堤設置前に増幅していた津波振幅を抑制する。その結果、防波堤前面の最高水位は下がると考えられる。

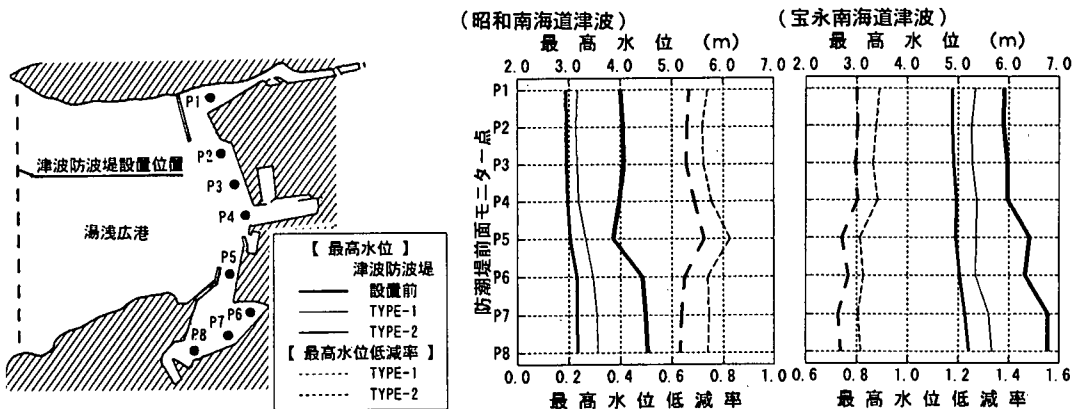


図-8 防潮堤前面における最高水位の分布と最高水位低減率

港内の最高水位曲線に着目すると、港内の中央部付近に節のような現象がみられ、港外と同様に港内の最高水位も低下している。すなわち、港内においても港外と同様の現象が顕著に現れたことになる。以上の結果より、津波防波堤は2つの検討対象津波に対して高い津波低減効果を有すると評価できる。

5. 津波対策のあり方に関する考察

和歌山県における検討対象津波は、昭和南海道津波である。防災上の観点からは既往最大津波である宝永南海道津波を考慮すべきである。しかしながら、宝永南海道津波は痕跡高の調査地点が少なく、浸水域の広がりや明確でないことや保全施設背後の生活環境への影響ならびに経済性および景観に配慮した上で防災機能を確保する観点から、昭和南海道津波を検討対象津波とする。検討対象津波を上回る規模の宝永南海道津波に対しては、昭和南海道津波で計画する津波対策工による効果を検証するとともに、非常通信網の整備、ライフラインの強化および避難訓練の実施等の防災体制の強化と避難道路・避難場所の整備を含めた区画整理等の地域防災計画の確立といったソフト対策と併せて対応する。

湯浅広港の背後地は、昔ながらの町並みがそのまま残されているため、狭い地域に民家が密集している。また、天端の高い防潮堤が海岸線に整備され、その民家は防潮堤のすぐ背後にまで迫っている。このような湯浅広港の現状から判断すると、既設防潮堤の大規模な嵩上げは、広範囲にわたる整備に加え、民家の移設等を含めた区画整理の必要性和困難さおよび居住空間の悪化が懸念される。湯浅広港では、そのような防潮堤の嵩上げを極力抑え、居住空間の悪化を防止する目的から沖合に津波防波堤を整備する計画を進めている。

津波防波堤は津波に対して優れた防災効果を有するだけでなく、沖合波浪制御構造物としても機能するために津波防波堤背後に広い静穏海域を形成する。この静穏海域の形成による湯浅湾の利用価値の向上は、地元経済の活性化に大きく寄与できるものと期待される。

6. 結 言

湯浅湾の津波対策を行うに際し、その対策工として港口に津波防波堤を設置することを提案した。宝永および昭和南海道津波の規模および特性の異なる2つの津波を対象に、津波対策工による津波低減効果を数値計算により検証した。その結果を以下に述べる。

(1) 津波防波堤による津波低減効果は、昭和および宝永南海道津波の異なる2つの津波に対して有効であり、防潮堤前面における最高水位低減率は、前者では0.63から0.73、後者では0.73から0.80となる。これは、港口に設置した津波防波堤により湯浅湾の応答振動特性が変化し、その変化が設置前に増幅していた津波振幅を抑制するためと推察される。

(2) 津波に対して防潮堤の嵩上げだけで対応する場合、防潮堤の規模および整備延長の大規模化を招くために、生活環境の悪化が懸念される。湾口で津波を制御する津波防波堤は、既設防潮堤と併せた面的防衛施設となり、優れた防災効果、環境改善および地元経済の活性化の3つの機能を併せ持つ、将来性かつ現実味のある津波対策工として有望であろう。

最後に、本研究を行うにあたり、徳島大学工学部 村上仁士教授、東海大学工学部 後藤智明教授および京都大学防災研究所 中村重久助教授より多大なご指導を賜った。また、数値解析等においては(株)ニュージェック 三島豊秋氏、(株)日本工業試験所 森浦光一氏の助力を得た。ここに記して深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 相田 勇(1981): 南海道沖の津波の数値実験, 地震研究所彙報, Vol. 56, pp. 713-730.
後藤智明・吉田行秀・山本 滋(1991): 湾口防波堤による津波波高の低減効果, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 171-175.
羽鳥徳太郎・相田 勇・坂下至功・日比谷紀之(1980): 和歌山県湯浅・広に遡上した南海道津波の調査—1946年南海道および宝永・安政津波について—, 地震研究所彙報, Vol. 58, pp. 187-206.