

徳島県浅川湾の津波特性

—1946年南海道地震津波—

島田 富美男*・村上 仁士**

1. まえがき

南海道地域では、波源域がほぼ一致している1707年の宝永地震津波、1854年の安政地震津波、1946年の南海道地震津波などが100~150年の間隔で発生しており、そのたびに津波災害が繰り返されている¹⁾。特に、徳島県海部郡にある浅川湾は波源に近く、典型的なV字型湾で、津波の波高が最も増幅されやすい形をしており、今まで津波の発生たびに莫大な被害を受けてきた。しかしながら、浅川湾に襲った数多い津波のなかで解析に利用できる津波資料が残されている場合は少ない。ただ、1946年の南海道地震津波は、戦後の混乱期に発生したにもかかわらず、比較的津波資料が残されており、現在も津波の痕跡が存在し、また津波の目撃者も多数生存している。

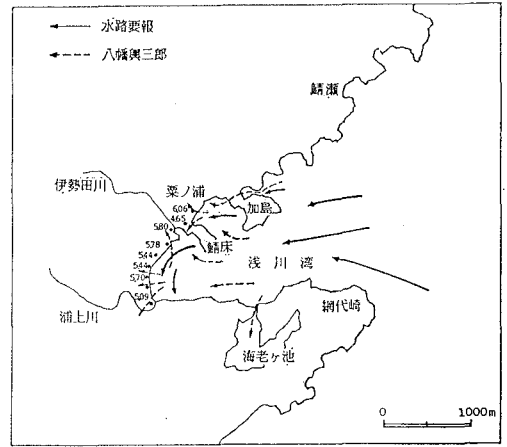
そこで、本研究はこの南海道地震津波の痕跡を実際に測定するとともに、津波の来襲状況などの記録を調査し、浅川湾の津波特性について検討を加える。また、移流項および摩擦項を含んだ運動方程式と連続式を差分方程式に変換し、安藤の提案した断層モデル²⁾により海底変動量を与えて数値計算を行ない、浅川湾の津波特性について検討を加える。

2. 浅川湾における南海道地震津波の様相

昭和21年12月21日午前4時19分南海道沖でM8.1の地震が発生し、地震および津波のため浅川では死者85名、住家流失185戸、全壊161戸、半壊169戸の大被害を受けた。河野の証言³⁾、浅川村震災誌⁴⁾などによれば、地震後15~20分で第1波のピークとなり、津波高は平均海面上第1波で2.7~3.6m、第2波で3.6~5.2m、第3波で3.3~4.4mの範囲となり、第3波以降は急激に減衰し、周期は15~20分程度であったといえるが、記録によりかなりのバラツキがある。

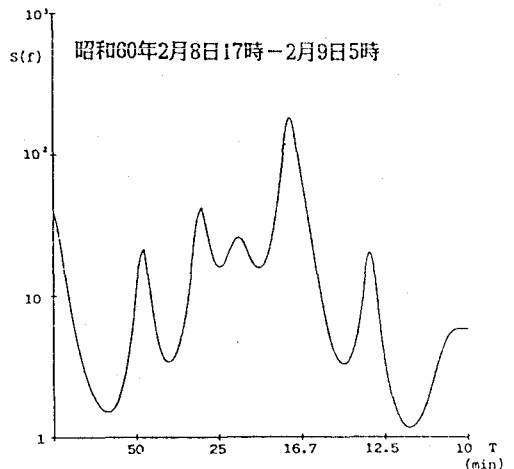
(1) 浅川湾内の津波の進行方向

浅川湾における通常の潮の流れは時計方向であるが、



図一 浅川湾内の津波の進行方向

湾内に侵入した津波は図一の実線で示したように通常とは逆に反時計方向に流れたという報告⁵⁾があり、大田地区の食器や家具が多数すべり坂近くの田畑で発見されたという証言がこのことを裏づけている。一方、八幡は図中の破線で示したような流れがあったことを、自宅の流失物の発見場所および太田地区の家屋や船の流失先か



図二 スペクトル解析結果

* 正会員 工修 阿南工業高等専門学校講師 土木工学科
 ** 正会員 工博 徳島大学工業短期大学都教授 土木工学科

ら判断して絵を描いて残している。

(2) 浅川湾の固有振動周期

図-2は、浅川湾奥での平常時の潮位記録をMEMでスペクトル解析した結果を示している。解析には昭和60年2月28日17時から2月9日5時までの潮位記録を5分間隔に組み取ったデータを用いた。図より、浅川湾の固有振動周期は18分程度であり、多くの証言がなされている南海道地震津波の周期に一致している。

3. 数値計算による浅川湾の南海道地震津波の再現

(1) 計算手法

a) 基礎方程式

浅川湾における南海道地震津波を再現するため、第31回海講⁶⁾と同様に、基礎方程式として次式の移流項および摩擦項を含む運動方程式と連続式を差分方程式に変換して数値計算を行なった。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{Q_x}{D} \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{Q_y}{D} \frac{\partial Q_x}{\partial y} = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma_b^2 \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{D^2} \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{Q_x}{D} \frac{\partial Q_y}{\partial x} + \frac{Q_y}{D} \frac{\partial Q_y}{\partial y} = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \gamma_b^2 \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{D^2} \dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = -\frac{\partial(\eta - \xi)}{\partial t} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、 Q_x, Q_y はそれぞれ x, y 方向の線流量、 x, y は水平の直向する2方向の座標、 g は重力加速度、 γ_b^2 は海底摩擦係数、 $D=h+\eta-\xi$ であり、 h は静水深、 η は静水面からの水位上昇量、 ξ は海底変動量を示す。

b) 計算領域および境界条件

計算領域は図-3に示すように4領域に分割し、格子幅 ΔS は南海トラフを含む領域Iで5km、領域IIの紀伊水道では2.5km、領域IIIの浅川湾の沖側625mで、領域IVの浅川湾では156.25mと順次格子幅を小さくした。2領域間の接続方法は、広い格子領域の1格子分が狭い格子領域と重ね合わさるようにし、接続部分の線流量 Q_x, Q_y および水位上昇量 η を内挿により与えた。

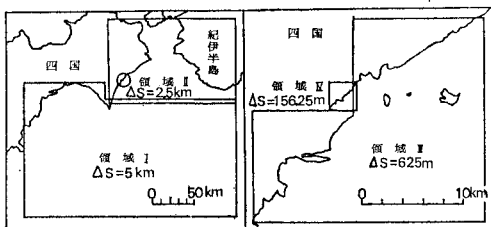


図-3 計算領域

境界条件としては、岸側の境界では越波を許さず完全反射すると仮定し、壁面に対して直角方向の線流量を0とした。友ヶ島水道と鳴門海峡では、谷本⁷⁾の任意反射率境界の条件を使用し、反射率を0として計算を行なった。また、計算領域と沖側の外海との接続部の境界では $Q_x^2 + Q_y^2 = gD\eta^2$ の関係を用いて線流量を決定した。

初期条件として、地震による海底変動量と同じ量だけ水面が一定時間で線形的に増加すると仮定し、ここでは1分で海底変動が完了するとして計算を行なった。この海底変動量としては、安藤の提案した断層モデル⁸⁾を使用し、Manshinha-Smylieの方法⁹⁾で計算した値を用いた。

海底摩擦係数に関しては、ここでは $\gamma_b^2 = 0.0025$ を用い、計算時間間隔は差分の安定性を考慮して、5秒とした。

(2) 計算結果

計算では、図-4に示すPo.1~Po.15の地点における水位の時間的変化、浅川湾内の各格子における流速の時間的変化および全計算領域の各格子における最大水位上昇量と最大流速を求めた。

a) 浅川湾内の津波高分布

図-4は、津波発生から2時間までに示した浅川湾内の各格子における最大水位 η_{max} の分布を等水位線で示したものである。図より、浅川湾は波源域からみて津波の進行方向と湾軸が直角になると思われるが、湾内に侵入した津波は屈折によりほぼ湾軸に沿って進行しており、最大水位 η_{max} は湾口付近で約3mであり、湾奥に近づくにつれ η_{max} が大きくなり、湾奥で7m程度に増幅される。浅川湾沿岸沿いの津波高の調査結果は、T.P.(平均海面にはほぼ等しい)上の値をm単位の数字で示している。図より、山際近くではかなり津波高が大きくなっている場合もあり、計算では越波を許さず完全反射すると仮定しているためか津波高が大きくなる場合もあるが、ほぼ妥当な値を示していると思われる。

図-5は、図-4に示すPo.12, Po.7, Po.4, Po.1に

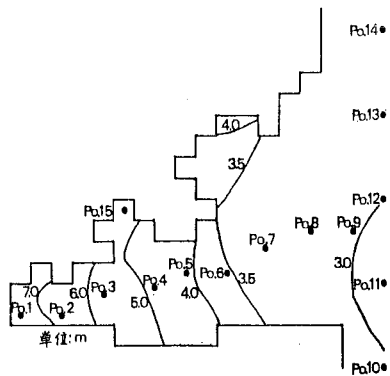


図-4 浅川湾内の最大水位上昇量 η_{max}

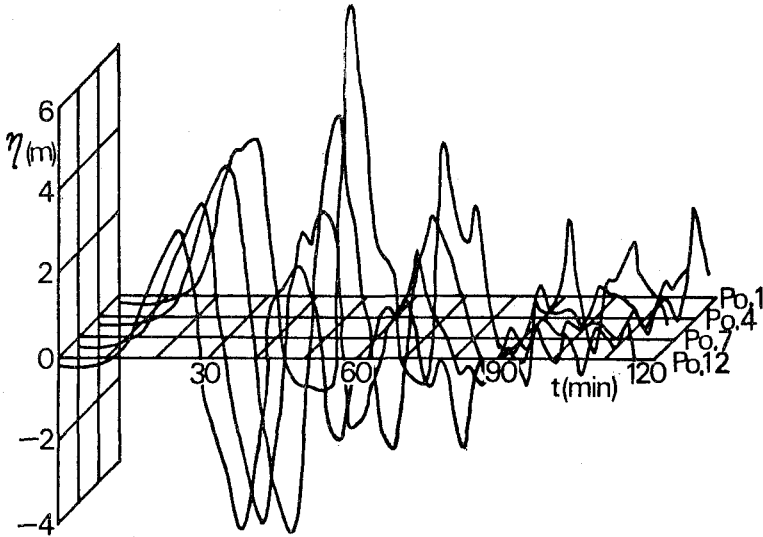


図-5 浅川湾内の津波の波形変化

おける水位の時間的変化を表わしたものであり、湾口近くの Po. 12 では津波の第1波がいちばん大きく、第2波、第3波と順番に小さくなっている。しかしながら、湾奥へ津波が伝播するにしたがって、津波高が大きくなり、特に第2波の増幅される割合が大きく、Po. 1 の湾奥では第2波が最大になり、2. で述べた調査結果とよく一致する。また、数値計算結果より津波の周期は約 20 分であり、調査結果とほぼ一致する。津波の第1波のピークの到達時間に関しては、数値計算結果では津波発生後 25 分で来襲しており、調査結果よりもかなり遅くなっているが、これは調査結果には津波の第1波のピークの到達時刻を決定するときにピークの推定などに不確実性が含まれている影響もあると考えられる。

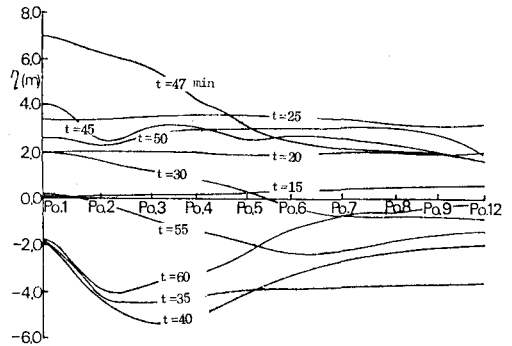


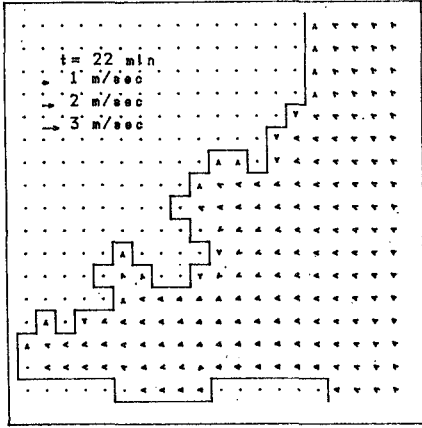
図-6 浅川湾の湾軸沿いの水位変化

図-6 は、図-4 に示した浅川湾の湾軸沿いの Po. 1 ~Po. 9, Po. 12 の地点の水位の時間的変化を表わしたものである。図より、津波発生後 15 分、20 分、25 分は第1波を示しており、湾口から湾奥まで一様に水面が上昇していることがわかる。しかしながら、 t が 30 分と 35 分は第1波のピークが過ぎて水面が下降する状態を示しているが、下降するときは水面が一様に下降するのではなく、湾口の水面が下降した後少し遅れて湾奥の水面が下降する。さらに、第2波のピークである $t=47$ 分、第2波のピークに近い $t=45$ 分、50 分では、湾口での水位はほとんど変化せず一定であり、湾奥付近の水位の上昇量大きい。また、第2波のピークが過ぎて水位が下降するときも、湾口付近の水位の下降量より湾奥の水位の下降量が大きくなっており、浅川湾内の津波は第2波以降重複波になっていたことが推定される。したがって、数値計算による津波の周期が約 20 分であり、スペクト

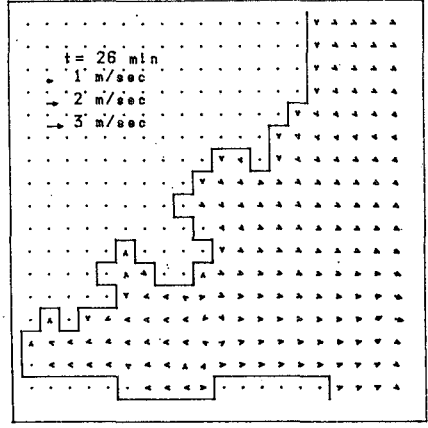
ル解析結果の浅川湾の固有振動周期約 18 分に近いことを考え合わせると共振現象が浅川湾の津波高を増幅させた要因の一つになっていると思われる。

b) 浅川湾内の流速ベクトルの変化

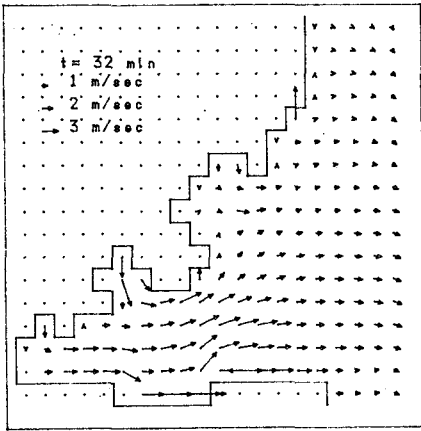
図-7 は、浅川湾内の津波による流速ベクトルの変化を表わしたものである。ここでは津波発生後 22 分までの流速ベクトルは示していないが、流速ベクトルの大きさは図の (a) と同様に小さく、向きはすべて湾奥方向である。図の (a), (b), (c) より、第1波のピークまでは流れは非常に遅く、第1波の引き波時に湾の中央付近および岸近くで流れがかなり早くなる。また、第2波のピーク前になり初めて湾の中央付近の流速ベクトルの反転がみられ、ピーク付近では湾の中央付近から湾口まで反転し、引き波時にはほとんど湾口へ向って流れている。図の (d) は第1波のピーク後の最も水位が下降したときを表わしており、湾口から湾の中央付近までは湾内に流れ込んでいるが、湾の中央から湾奥にかけてか



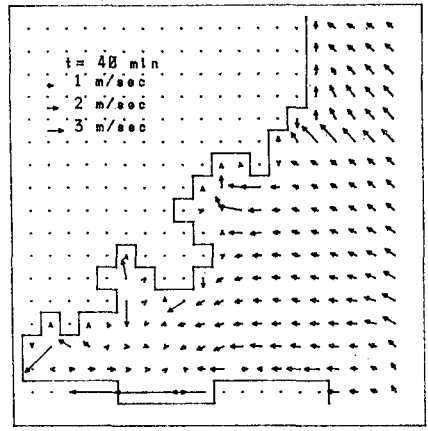
(a) 第1波のピーク前の押し波時



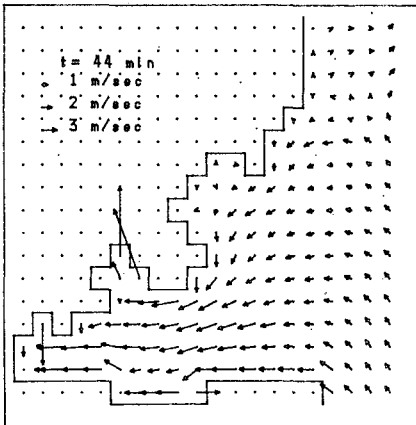
(b) 第1波のピーク時



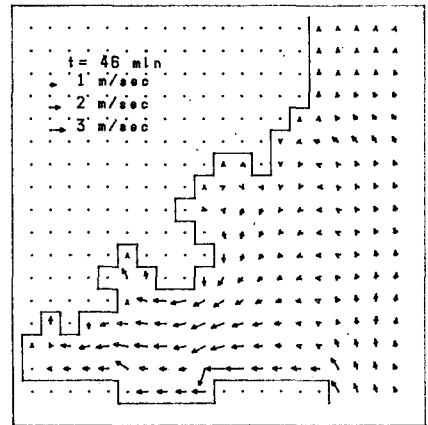
(c) 第1波の引き波時



(d) 第1波の谷の時



(e) 第2波の押し波時



(f) 第2波のピーク時

図-7 浅川湾内の津波による流速ベクトルの変化

なり複雑な流れが生じ、調査結果と同様な反時計まわりの流れも生じている。図の (e) は第2波の押し波時であるが、第1波の押し波時と異なり、湾の中央付近から湾奥にかけて流れが非常に早くなる。図の (f) は第2波のピーク時であり、図の (b) の第1波のピーク時ほど明瞭ではないが、湾口近くで流れが遅くなり、流速ベクトルが反転する前であると思われる。

4. あとがき

本研究は、1946年の南海道地震津波の来襲状況などの記録を調査するとともに、数値計算により津波を再現し、浅川湾における津波特性について検討を行ない、以下のようなことを明らかにした。

1) 浅川湾の津波調査結果より、浅川湾一付近での津波の第1波は2.7~3.6m、第2波は3.6~5.2m、第3波は3.3~4.4mの範囲であるが、記録によりかなりバラツキがある。また、数値計算結果より、浅川湾の湾口付近では津波の第1波が最大で、第2波、第3波と順番に小さくなっているが、湾奥へ津波が伝播するにしたがって波高が大きくなり、特に第2波の増幅される割合が大きく、湾奥では第2波が最大となり、津波高は調査結果より若干大きくなるが、傾向はよく一致する。

2) 平常時の潮位記録をスペクトル解析した結果、浅川湾の固有振動周期は約18分であり、調査結果の津波の周期15~20分に近い値を示している。また、数値計算による津波の周期は約20分であり、浅川湾内では重複波になっていたことを考慮すると、共振時象が波高の増幅に影響を与えたと考えられる。

3) 湾内に侵入した津波は、家屋や船の流失状況から

判断して、通常の流れとは逆に反時計方向に流れたという報告があり、数値計算結果でも津波が越波なしで完全反射するという仮定にもかかわらず同様な流れの存在することを示した。

以上、浅川湾内の津波特性はかなり明らかになったが、今回の数値計算では陸上への津波の遡上を考えていないので、今後陸上への遡上を含めた数値計算手法により、実測している浸水高との関係など、浅川における陸上での津波の挙動について検討したい。

最後に、本研究をすすめるに当たり、現地調査および資料収集に御協力頂いた海南町役場の諸氏および徳島大学工業短期学部細井由彦助教授に謝意を表する。

参考文献

- 1) 羽島徳太郎：大阪府・和歌山県沿岸における宝永・安政南海道津波の調査，地震研究所彙報，Vol. 55, pp. 505~535, 1980.
- 2) Ando, M.: Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquake along the Nankai trough, Japan, Tectonophysics, Vol. 27, pp. 119~140, 1981.
- 3) 牟岐町震災史編纂委員会：牟岐町震災史抄，33 p.
- 4) 浅川村震災誌委員会：南海大地震浅川村震災誌，58 p, 昭和32年.
- 5) 水路部：昭和21年南海大地震報告 津波編，水路要報増刊号，昭和23年.
- 6) 島田富美男・森泰 宏・酒井哲郎：臨海工業地帯沿岸での津波の挙動，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 228~232, 1984.
- 7) 谷本勝利・小舟浩治・小松和彦：数値波動解析法による港内波高分布の計算，港湾技術研究所報告，pp. 228~232, 1984.
- 8) Mansinha, L. and D. Smylie: The displacement field of inclined faults, Bull. Seismol. Soc. Amers., Vol. 61, pp. 1433~1440, 1971.