

南海地震津波による水産被害の評価手法の開発

河田 恵 昭*・佐々木基充**・高橋 智 幸***・鈴木 進 吾****

2030 年前後に次の南海地震 ($M8.4$) の発生が懸念されているが、津波が進入する瀬戸内海沿岸部においては十分な危険度評価が行われていない。水産資源の集中するこの海域では南海地震津波による水産関連施設への甚大な被害の発生が予想される。そこで瀬戸内海を含めた海域の津波による水産関連被害を評価することを目的に、過去の津波被害の資料と数値計算結果を用いて、漁船の被害率関数および養殖施設に被害が発生する流速を求めた。これらを南海地震津波の数値計算結果に適用し、漁船被害の多くが太平洋側の各県で発生すること、瀬戸内海での養殖施設に被害が発生する海域を明らかにした。

1. はじめに

次の南海地震 ($M8.4$) が 2030 年前後に発生することが懸念されており、早急な対策が必要とされている。しかし、現在、この津波の来襲が予想されている瀬戸内海では、近代以降、人的な被害が発生していないこともあって、十分な危険度評価が行われていない。特に瀬戸内海では、水産業の集中に伴い水産資源や資本の集中が起こっており、津波の来襲により漁船や養殖施設などに甚大な被害が発生することが予想される。そこで、効果的な被害軽減を図るためには、防災対策を検討し、その効果を評価することが急務となっている。

本研究では、この地域に発生する水産被害、具体的には漁船および養殖施設の被害分布を推定するために、過去の津波によるこれらの被害の分布を調べた。さらに、その再現計算を行い、外力から被害を推定するための基準を求めた。また、この海域での南海地震津波の挙動と沿岸地域へ到達する津波の津波高や到達時間、流速の特性を明らかにするために、 $M8.4$ および $M8.6$ を想定した津波の数値計算を行った。さらにこの数値計算結果に被害評価基準を適用して南海地震津波による被害の分布を推定した。

2. 水産被害の評価基準

津波の来襲地域で発生する漁船と養殖施設の被害を推定するために、外力と被害との関係を明らかにし、数値計算によって計算される外力から被害を推定するための基準を求めた。

2.1 漁船被害の評価基準

津波による漁船の被害に関係する要因として、津波高や到達所要時間などの津波の諸元、防波堤天端高や泊地水深など漁港の諸元、漁船の大きさや数、係船位置、津

波に対する対処法などがあげられる。このうち津波や漁港の諸元により決まる港内の津波高が被災率と関連深く、昭和三陸沖地震津波での津波遡上高と漁船被害率との関係(首藤, 1992)、日本海中部地震津波と北海道南西沖地震津波での港内遡上高と漁船被害率との関係(町田ら, 1994) が明らかにされている。これらの研究の結果から、漁船の被害は水位が 1.5 m を越えるあたりから発生し、水位に比例して増加する傾向にあることがわかっている。

そこで、本研究では、日本海に面する道県に対し、日本海中部地震津波(1983)、北海道南西沖地震津波(1993)での被害隻数に関して質問形式の調査を行った。その回答から得られた市町村ごとの被害隻数を災害発生前の登録隻数で除し、漁船被害率とした。さらに、漁船被害率の分布が津波の規模に依存するかを調べるため、日本海中部地震津波と北海道南西沖地震津波での漁船被害率および津波痕跡高の関係を大津波警報が発令された地域とそれ以外の地域に分けてプロットした。その結果を図-1 に示す。図中の回帰式は以下のように表される。

日本海中部地震津波 (1983) の場合:

$$y = 14x - 20 \quad (\text{大津波警報発令地域}) \cdots \cdots (1)$$

$$y = 10x - 12.5 \quad (\text{大津波警報以外の地域}) \cdots \cdots (2)$$

北海道南西沖地震津波 (1993) の場合:

$$y = 12x - 17.9 \quad (\text{大津波警報発令地域}) \cdots \cdots (3)$$

$$y = 10x - 12 \quad (\text{大津波警報以外の地域}) \cdots \cdots (4)$$

ただし、 y は漁船被害率、 x は津波痕跡高である。

この結果から、漁船の被害は大津波警報の有無への依存度は低く、大津波警報が発令される基準である津波高の大小によって被害率関数に変化しないことがわかった。また、いずれの場合も津波痕跡高が 1.5 m を超えるあたりから発生し始め、津波痕跡高に比例して被害率が増加することが確認された。

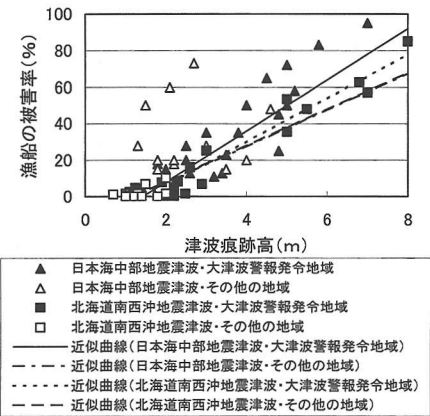
危機管理の視点から、最も被害が出る状態を推定し、被害軽減のための対策を検討することが必要である。よって、本研究では、最大の傾きを持つ被害率式である式 (1) を漁船の被害隻数を求めるための被害率関数として用いる。

* フェロー 工 博 京都大学教授 防災研究所巨大災害研究センター

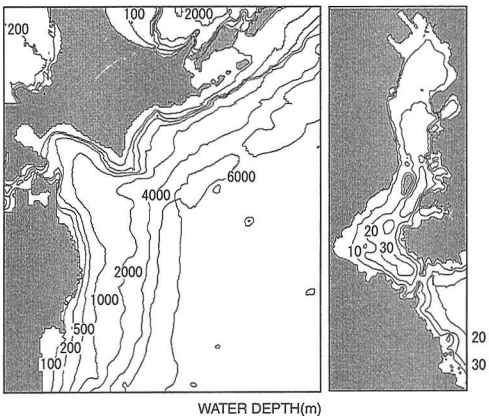
** 正 会 員 修(工) 川崎重工業(株)鉄鋼ビジネスセンター

*** 正 会 員 博(工) 京都大学助手 防災研究所巨大災害研究センター

**** 学生会員 京都大学大学院工学研究科



図一1 津波痕跡高と漁船被害率の関係

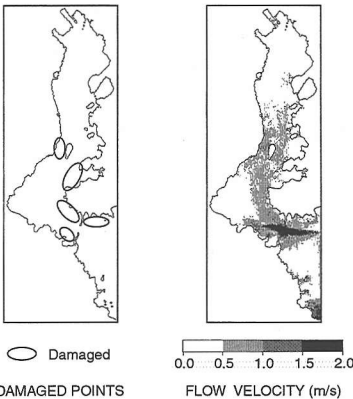


(a) 大領域 (b) 小領域

図一2 計算領域

表一1 計算条件

計算格子間隔	2700 m	25 m
基礎式	線形長波方程式	非線形長波方程式
沖境界条件	透過境界	大領域の結果を入力
海底摩擦係数	0.025	0.025
計算時間間隔	3 秒	0.5 秒
再現時間	3.5 時間	3.5 時間



図一3 実際の被害発生箇所 (左) と数値計算で得られた大船渡湾の流速 (右)

さらに、漁船を沖に避難させたり、陸に揚げたりして被害を軽減する行動を行うために、それが可能かどうかの判断基準として、被害が発生する状態に至るまでの時間を求めておくことが重要である。ここでは被害が発生する状態になる時刻を水位が1.5 m に到達した時刻と考え、これまでの時間を被害軽減が可能な時間と設定して求める。

2.2 養殖施設被害の評価基準

津波による養殖施設の被災形態とその原因としては、係留索が切断されて筏が流失する、揺動した筏同士が衝突したために筏が大破する、養殖筏は被害を免れてもフロートが流出したり、垂下連が脱落して養殖物に被害が出るなどがあげられる。原因は主に津波による流速であると考えられるが、被災形態はさまざまである。また、被害を軽減するために筏を移動させることなどは緊急時には不可能なことであり、事前から被災しやすい海域を特定し、何らかの対策を講じておくことが被害軽減のために必要である。

本研究では、養殖施設の被害を左右する最も大きな要因として流速を考え、津波の数値計算結果として得られる流速の平面分布から被害箇所を推定するための基準を設定する。

被害が発生するか否かの判断基準を設定するために、

北海道東方沖地震津波 (1994) による大船渡湾での数値計算を実施した。得られた最大流速分布を、実際にこの津波で発生した被害の分布 (首藤, 1995) と比較して、被害が発生する流速を求めた。

北海道東方沖地震津波の数値計算は、図一2の計算領域において、表一1の条件で行った。図一3にこの津波で実際に養殖施設が被害を受けた地点の分布と計算から得られた大船渡湾内の流速分布を示す。この図から実際に養殖施設が被害を受けた海域では0.5 m/s以上の流速が発生していることが分かった。ここでは0.5 m/s以上の流速が発生すると被害が出ると考える。

3. 南海地震津波による水産被害の推定

災害において想定外の事象の発生は、その後の対応に大きな支障を及ぼす。このため、起こりうる最悪のケースを調べ、想定し、事前に被害軽減のための対応を考え

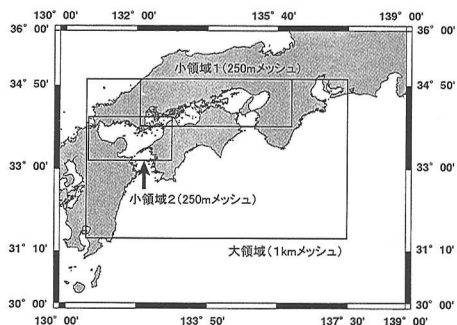


図-4 計算領域

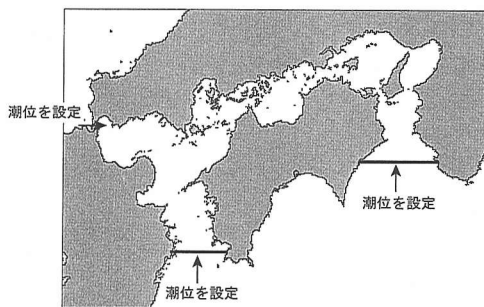


図-5 境界条件の入力地点

ておくことが重要である。このような視点から本研究では、 $M8.4$ を想定したケース、またその波源域を南海トラフ沿いに東西にそれぞれ約80 km移動させたケース、さらに、過去に起こったといわれている $M8.6$ を想定したケースとその波源域を同様に東西に移動させたケースについて被害の推定を行った。養殖施設の被害を推定するときに用いる流速については、潮流を入れた津波の数値計算を行い、被害を推定するとともに、瀬戸内海がどのような潮位状態にあるときに最も被害を発生させやすいかを調べた。

3.1 津波伝播の数値計算

図-4に示すような計算領域に対して、非線形長波理論式をスタッガード・リーブフロッグ法により差分化して数値計算を行い、沿岸市町村の津波の高さおよび瀬戸内海域での流速分布を求めた。ここで、空間格子の寸法を大領域で1 km、小領域で250 m、計算時間間隔を2秒とし、実時間で6時間分の計算を行った。なお、海底摩擦係数を $f=0.025$ とした。

初期条件としては、昭和南海地震(1946)の断層パラメータ(相田, 1981)を元に $M8.4$ および $M8.6$ を想定し、これから Mansinha・Smylie (1971)の方法を用いて計算した海底地盤変動量の鉛直成分を海面上の水位変動として与えた。また、断層パラメータを南海トラフ沿いに東西に約80 km ずつ移動させた場合の数値計算も行った。境界条件としては、汀線では完全反射、沖側境界の大領域では自由透過とした。また、小領域では大領域の線流量および水位を線形補間して接続した。

3.2 潮汐を考慮した津波伝播の数値計算

瀬戸内海では鳴門海峡、関門海峡、来島海峡などにおいて急潮流がある。よって、津波による流速を求める際には、潮流による流速の変化を考慮する必要があるため、潮汐を考慮して津波の数値計算を行った。

潮汐を考慮した津波の伝播計算では、潮汐の再現計算を3周期分を行った後の水位、流量フラックスを初期状態として、津波の初期状態を加算したものをを用いた。境界

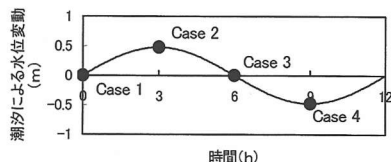


図-6 数値計算を行った各ケース(境界での水位変動)

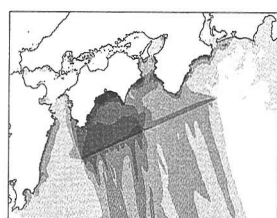
条件としては、潮汐の再現計算とは別に、静水面上に津波の初期波形を入力して伝播計算を行い求めた。具体的には瀬戸内海と太平洋の境界における津波による水位変動を求め、これに潮汐による水位変動を合計した。入力する境界の位置を図-5に示す。なお、潮汐の再現計算は津波と同じ支配方程式および計算領域を用い、瀬戸内海と太平洋の境界に和田ら(1975)によって入力されている M_2 潮を入力して行った。

なお、養殖施設被害を推定するにあたって、これを最も増大させると予測される潮汐状態を調べるため、図-6のように境界で代表的な潮位となる時刻を4ケース設定した。それぞれの初期状態で計算を行い、瀬戸内海域において最も流速が大きくなるケースを調べた。

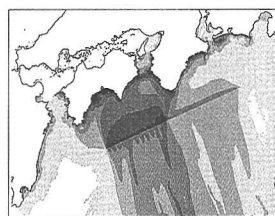
3.3 漁船被害の推定

式(1)を用いて漁船被害を推定するためには推定遡上高が必要である。しかし、本数値計算では汀線において完全反射の条件を設定している。そこで、相田(1977)により提案された評価指標 K (対数幾何平均)を求め、これを数値計算で得られた沿岸での津波高に乘じることによって推定遡上高を求めた。 K は $M8.0$ の数値計算で得られた津波高と昭和南海地震津波(1946)の遡上高を用いて算出し、 $K=1.3$ であった。

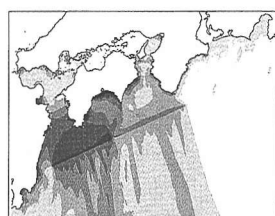
沿岸の市町村ごとの津波高から推定遡上高を算出し、式(1)を用いて市町村ごとの漁船被害率を求めた。被害を推定したケースのうち、 $M8.4$ を想定した場合および断層位置を東西に移動した場合の最大津波高の平面分布と地震発生から津波高が1.5 mを超えるまでの時間の分布を図-7に示す。



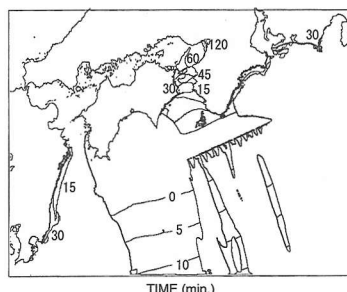
(a) 最大津波高



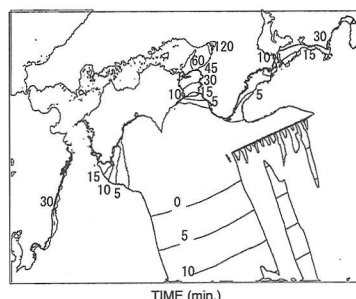
(c) 最大津波高 (断層：東)



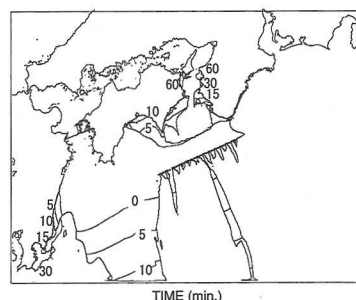
(e) 最大津波高 (断層：西)



(b) 津波高が1.5 mに達するまでの時間



(d) 津波高が1.5 mに達するまでの時間 (断層：東)



(f) 津波高が1.5 mに達するまでの時間 (断層：西)

図-7 M8.4を想定した場合の計算結果

被害の推定の結果、M8.4を想定した場合、高知県や徳島県の太平洋沿岸で全体の約4～5割の漁船に被害が発生すると予想される。また、三重県南部から徳島県紀伊水道沿岸、愛媛県宇和海沿岸から鹿児島県東部などの太平洋側の沿岸で約2割の漁船に被害が発生することが予想される。瀬戸内海中央部から西部にかけて、また九州の瀬戸内海沿岸では、高い津波高の津波が来襲することではなく、大きな被害はないと予測される。断層位置が東にずれると静岡県でも御前崎までの西部沿岸で高い津波高が発生するため約13%の漁船に被害が発生し、西にずれると宮崎県などで大きな被害が発生すると予想される。断層位置を東西に動かした場合においても、瀬戸内海中央部では津波高が大きくなることはなかった。

M8.6を想定した場合、高知県で5～7割、その他静岡から鹿児島県に至る太平洋沿岸で2～4割の漁船に被害

が予想される。瀬戸内海沿岸では山口、福岡、大分県沿岸で約1割の漁船に被害が発生すると予想される。断層を東西に動かした影響は、M8.4の場合と比較して小さかったが、これは断層長さに比べて移動距離が小さかったためと考えられる。

3.4 養殖施設の被害の推定

津波発生時の潮汐状態を変えて数値計算を行った結果、Case 2の津波発生時に太平洋と瀬戸内海の境界部の潮位が高く瀬戸内海中央部の潮位が低い場合、すなわち潮流と津波が同時に流れ込む場合が瀬戸内海の大部分で一番速い流速を示すことが明らかになった。M8.4を想定した場合の各地点で最大流速を記録したケースの分布を図-8に示す。このことから被害が最大になるCase 2の場合について被害の推定を行った。潮汐がCase 2の状態では津波が発生した場合の数値計算で得られた瀬戸内海

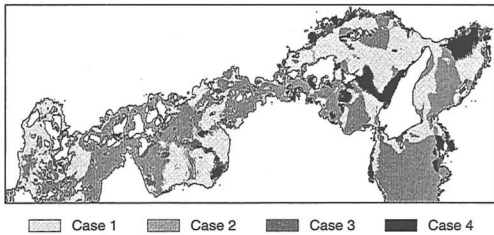


図-8 4 ケースのうち最大流速を記録したケースの分布 (M8.4)

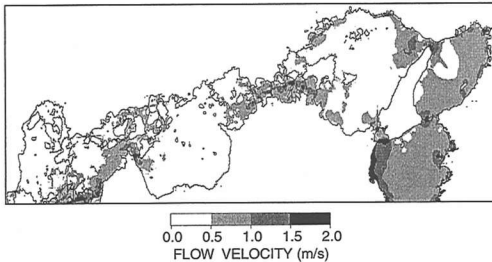


図-9 最大流速分布 (M8.4, 潮汐: Case 2)

の流速の平面分布を図-9 に示す。このうち流速が前章で養殖施設に被害が生じる基準とした 0.5 m/s を超えた地点を抽出したところ図-10 のようになった。

流速が 0.5 m/s を超える明石海峡や、瀬戸内海内部の狭窄部、徳島、愛媛の養殖生簀、広島のとらこや養殖施設などでは被害が発生すると予想される。

4. 結 論

本研究では、既往津波による水産関連施設の被害とその津波の数値計算による外力を関係付け、被害の評価基準を求めた。また、南海地震津波を想定し、計算条件を変えながら沿岸海域に到達する津波の数値計算を行い、被害の評価基準を適用して水産被害の推定を行った。

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

(1) 今回想定した南海地震津波による漁船の被害は、高知県はいずれの条件でも 4 割を超える漁船に被害が発生し、紀伊半島や愛媛県の太平洋沿岸でも大きな被

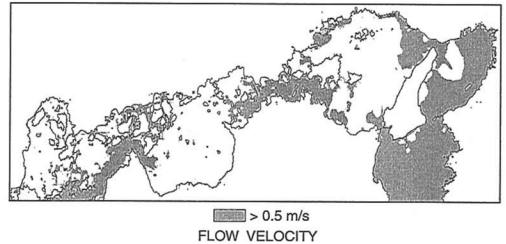


図-10 養殖施設被害が予想される海域 (M8.4, 潮汐: Case 2)

害が予想される。また地震規模および断層位置の条件によっては、静岡県や九州の太平洋沿岸にも大きな被害が発生する場合がある。

(2) 瀬戸内海に流入する津波は鳴門海峡、豊予海峡、来島海峡を通過するときに減衰し、漁船に大きな被害を及ぼす津波高に達することは少ないと予想される。

(3) 瀬戸内海域では地震発生時の潮流状態によって最大流速の分布に差が出るが、潮流と同時に瀬戸内海に津波が流入する時、この海域の大部分で大きな流速を示し、流速が 0.5 m/s 以上の海域では養殖施設に被害が発生することが予想される。

参 考 文 献

- 相田 勇 (1981): 三陸沖の古い津波シミュレーション, 東京大学地震研究所集報, Vol. 52, pp. 71-101.
- 相田 勇 (1981): 南海道沖の津波の数値実験, 東京大学地震研究所集報, Vol. 56, pp. 713-730.
- 首藤伸夫 (1992): 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第 9 号, pp. 101-117.
- 首藤伸夫・松富英夫・堺 茂樹・佐々木幹夫 (1995): 1994 年北海道東方沖地震津波と防災上の問題点, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1246-1250.
- 町田定満・谷野賢二・水野雄三・佐藤 仁・寺内 啓 (1994): 港湾漁港施設による津波被害の低減効果について, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1176-1180.
- 和田 明・角湯正剛 (1975): 瀬戸内海における流況の数値シミュレーション, 第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 161-166.
- Manshin, L. and D. E. Smylie (1971): The displacement fields of included faults, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.