

4 静岡県における東北地方太平洋沖地震と歴史地震の津波の被害と波高の推定

1 動機

2011年3月11日にM9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震により想定を超えた津波が襲来し、多くの死者を出した。また、私たちが住んでいる静岡県の遠州灘でも津波が到来したことは気象庁の発表などでも知られている。しかし、遠州灘での津波の様子については、規模が小さかったため、マスコミにも取り上げられたことは少なく、その詳細については不明な点が多い。そこで、この地震による遠州灘での津波の被害の詳細や津波の波高、速さについて調べてみることにした。なお、この論文では東北地方太平洋沖地震の津波について詳しく述べ、歴史地震の津波については別の機会に報告することにする。

2 目的

目的を以下のように設定した。

- (1) 遠州灘沿岸に到達した津波の波高とそれによる被害を調べる。
- (2) 津波の到達時刻と震源域までの距離から、津波の速さを求め、水深から求めた津波の速さと比較する。

3 方法

方法は、御前崎、舞阪、赤羽根（図1参照）の3地点で聞き取り調査（図2参照）を行い、津波波高、津波による被害、到達時刻、押し波と引き波の時間間隔などを調べた。次に、聞き取り調査から分かった津波到達地点の標高を水準測量（図3参照）により求め、津波の波高を推定した。さらに、気象庁の潮位記録から求めた津波の速さと長波の理論式より求めた津波の速さを比較した。



図1 調査地点



図2 舞阪の聞き取り調査



図3 御前崎の水準測量

4 津波の波高と被害

(1) 御前崎：聞き取り調査より「まず押し波で沖の岩が隠れた。次に引き波で沖の岩が出た。」という証言を得た。また、御前崎灯台南方で津波により打ち上げられたゴミが海食台に沿って直線状に配列していることを発見した（図4、図5参照）。そこで、このゴミの配列や海食台の岩の最高点が津波遡上の痕跡であると推定し、その標高を水準測量により求めた。この結果が図6、図7である。海食台の岩の最高点の標高の平均が62.0cm、ゴミの配列の標高の平均が88.8cmであることから、津波波高の標高は62.0cm以上、88.8cm以下であると推定した。また、御前崎港周辺では船舶などに被害は見られなかった。



図4 御前崎の津波到達ライン



図5 打ち上げられたゴミの線

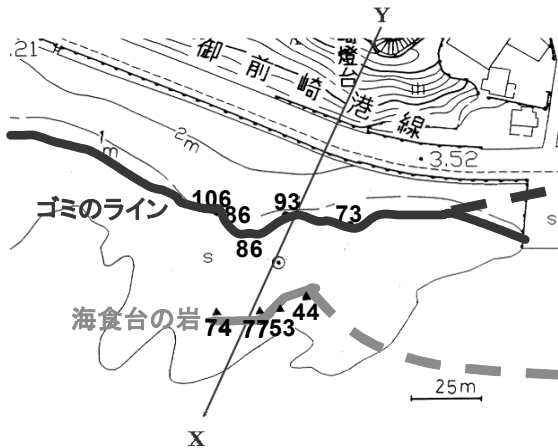


図6 津波到達地点の俯瞰図（御前崎市，2,500分の1都市計画図，御前崎市都市計画課に加筆）

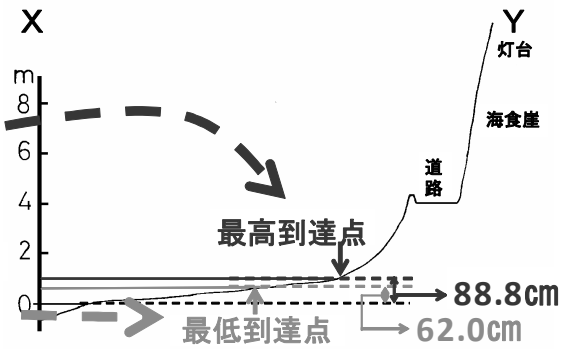


図7 津波到達地点の断面図

(2) 舞阪：聞き取り調査により4艘の漁船が転覆したことが分かった。図8はそのうち3艘の漁船が転覆した位置と蜷山橋付近の様子である。図8のように北岸だけに被害が出た理由は、図9からわかるとおり蜷山橋より東側では南岸が広がっていたため、北側では流速が速くなったためと考えられる。また津波波高は簡易測量により図10のとおり0.55mであった。



図8 蜷山橋付近の様子

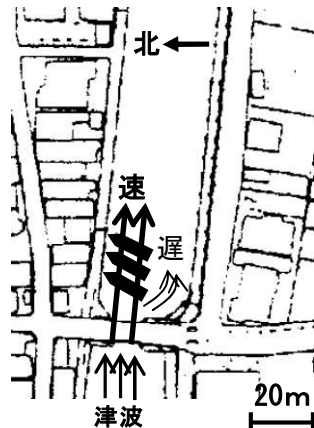


図9 蜷山橋付近の俯瞰図（浜松市，2500分の1都市計画図，浜松市都市計画部都市計画課に加筆）

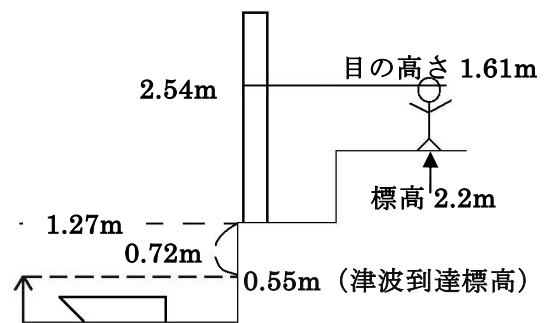


図10 津波到達地点の標高

(3) 赤羽根：聞き取り調査に協力して頂いた漁業従事者から、たまたま引き波の時、携帯電話のカメラ機能を使ってその様子を撮影した画像（図11）を入手した。この画像を赤羽根港の海底地形図と比較した結果、引き波により約1.3mより浅い領域では干上がったことが分かった（図12参照）。また、2艘の漁船が転覆した。



図 11 津波が引いた時の水位
(津波体験者の携帯電話の写真より複写)

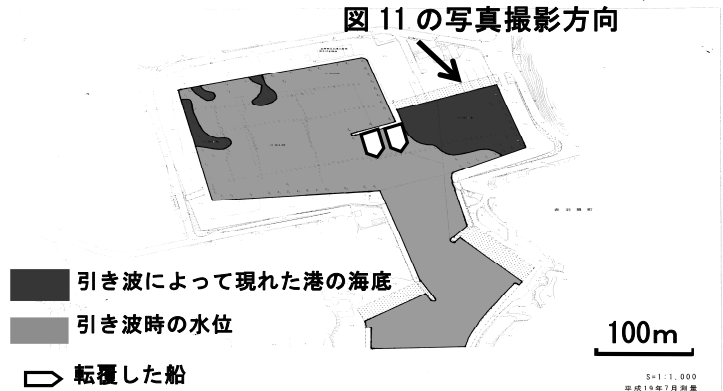


図 12 赤羽根の転覆した船の位置と引き潮時の汀線（愛知県, 2007, 赤羽根漁港 (1,000 分の 1 海底地形図) に加筆)

次に御前崎、舞阪、赤羽根の津波の到達時刻、間隔、第一波の押し引きについて気象庁が公表している潮汐曲線を用いて比較した。図 13 より到達時刻御前崎は 16 時 3 分、舞阪は 16 時 12 分、赤羽根は 16 時 21 分と、震央から遠ざかるほど津波の到達時刻が遅くなること、第一波と第二波の到達間隔は震央から遠ざかるほど長くなっていること、3 地点とも押し波から始まっていることなどがわかった。他の特徴も含めて表 1 にまとめた。

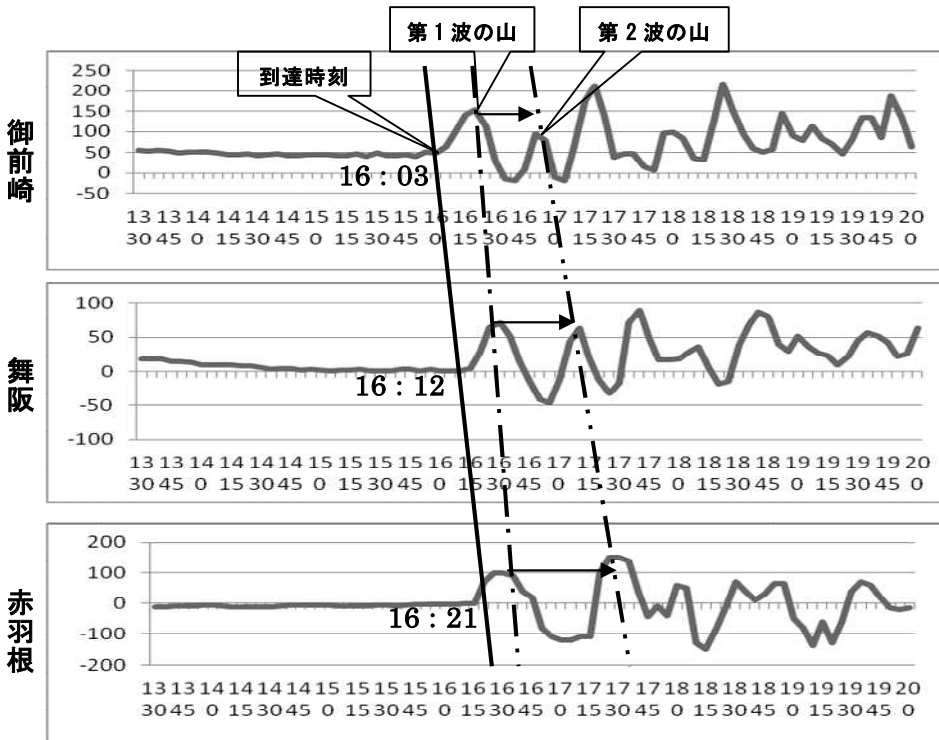


図 13 3 地点の津波の比較 (気象庁, 2011, 気象庁, 最近 7 日間の御前崎潮汐曲線 2011 年 3 月 11 日, http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKY0/TIDE/real_time_tide/sel/4202.htm ; 気象庁, 2011, 気象庁, 最近 7 日間の舞阪潮汐曲線 2011 年 3 月 11 日, http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKY0/TIDE/real_time_tide/sel/4203.htm ; 気象庁, 2011, 気象庁, 最近 7 日間の赤羽根潮汐曲線 2011 年 3 月 11 日, http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKY0/TIDE/real_time_tide/sel/4213.htm に加筆)

表 1 3 地点の津波の比較

	御前崎	舞阪	愛知県赤羽根
到達時刻	16:03	16:12	16:21
最大波高 (海上保安庁の資料)	1.4m	0.8m	1.6m
最大波高 (地学部の測量)	0.88m	0.55m	(実施せず)
回数	4 回	3 回以上	4 回
間隔	5 分	6~10 分	10~20 分
被害	なし	船が 4 艘転覆	船が 2 艘転覆
第 1 波の押し引き	押し波	押し波	押し波

5 津波の速さ

まず、Google Earth を用いて震源の南側からの距離を求め、これと第 1 波到着時間の関係を示す図 14 を作成した。3 点は同一直線上に配列していることがわかる。津波の速さは、この直線の傾きになるので 3.64km/min、すなわち、60.7m/s となった。そこで、津波の速さについて、次の仮説を立てた。

仮説 1 津波の速さは 60.7m/s である

この仮説を検証するために、図 15 の海底地形図を用いて、震源域の南側から御前崎、舞阪、赤羽根までの平均水深 $d=810\text{m}$ を求めた。次にその平均水深 d から長波の速さを求める式①より平均速度 v を求めた。

$$v = \sqrt{gd} \quad \dots \text{①} \quad (v \text{ は速さ、} g \text{ は重力加速度 } 9.8\text{m/s}^2、d \text{ は水深})$$

この結果、津波の速さは 89.1m/s と求められたが、これは仮説 1 と合わない。そこで、

仮説 2 津波の速さは 89.1m/s である

という仮説を立てた。

これを検証するために、震源域の南側からの距離を地震発生から津波第 1 波到達までの時間で割って (距離/時間)、津波の速さを求めた。この結果が表 2 で 3 地点の平均の速さが 87.6m/s であった。この値は仮説 2 とほぼ等しく、仮説 2 が正しいことがわかった。

表 2 各地点の津波の速さと平均水深

地名	震源域の南側からの距離 (m)	津波第 1 波到達までの時間 (秒)	津波の速さ (m/s)
御前崎	396,900	4,620	85.9
舞阪	466,270	5,160	90.4
赤羽根	492,560	5,700	86.4
平均	451,910(m)	5,160 (秒)	87.6 (m/s)

仮説 1 がなぜ、仮説 2 と比較して速さが遅くなったかを検証した。図 15 の海底地形図を見ると、遠州灘は浅いので、式①の深さ d の値が小さくなり津波の速さ v は遅くなる。一方、駿河トラフ、相模トラフは深いため d の値が大きくなり、 v は速くなる。仮説 1 の図 14 の直線の傾きで求めた速さは、御前崎と舞阪、赤羽根の浅い遠州灘における遅い津波の速さを求めたことになり、深いトラフが含まれていなかったためである。一方、仮説 2 の図 15 から求めた速さは、浅い遠州灘だけでなく、津波の伝搬経路である深い駿河トラフ、相模トラフを含めて計算したことになり、実際の到達時間と距離から求めた速さとよく一致した。これをもとに、関東地方南岸から東海沖を伝搬する津波の速さと深さの関係を示すモデルを示す図 16 を作成した。このように、津波の速さを求める場合は、伝搬経路の水深の変化も考慮して計算しなければいけないことが分かった。

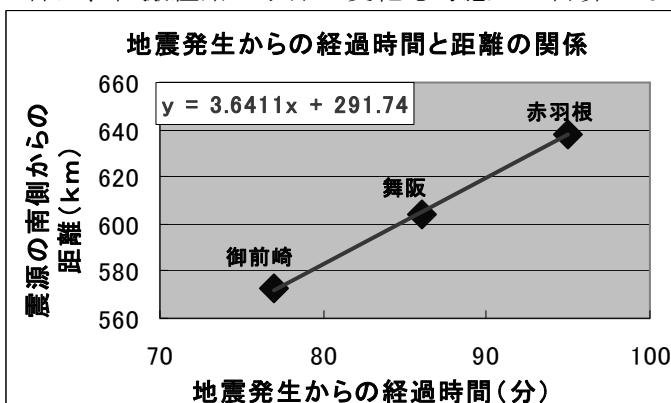


図 14 地震発生からの経過時間と距離の関係

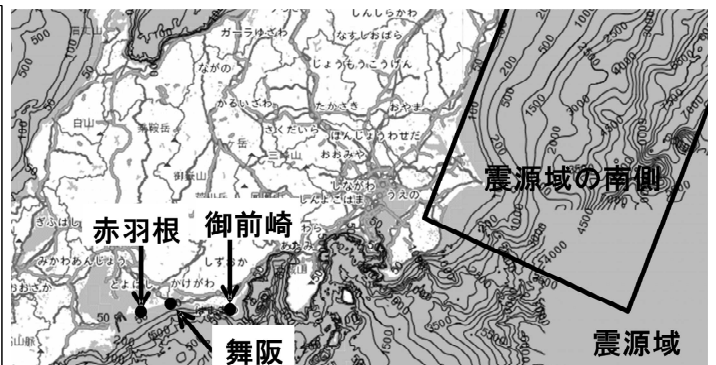


図 15 海底地形図 (マリンネットワークス株式会社, 2011, 海底地形図, みんなの海図, <http://mar-nets.com/>に加筆)

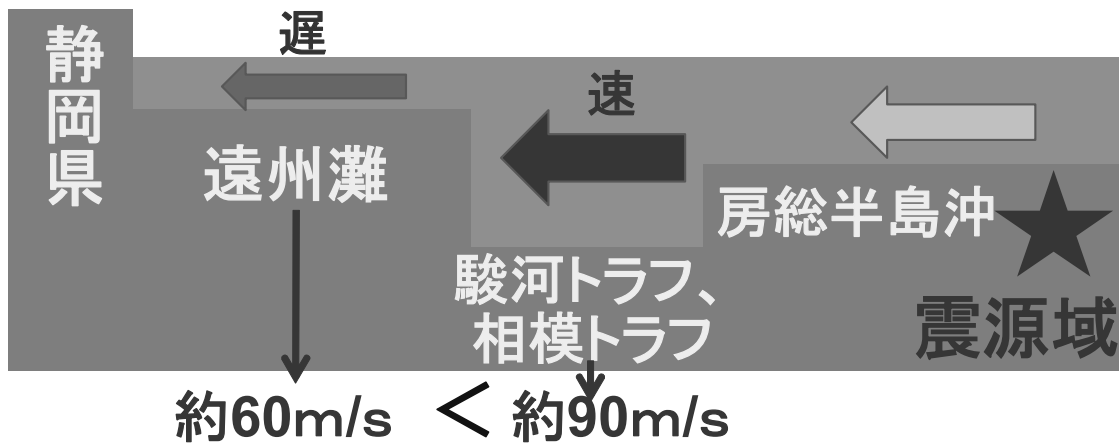


図 16 津波の速さと深さの関係のモデル

6 結論

- (1) 遠州灘における津波による船の被害は舞阪港で4艘、赤羽根で2艘の計6艘あり、御前崎港では被害はなかった。
- (2) 地震発生後、第1波が御前崎へ77分後に到達し、その9分後に舞阪、さらにその9分後に赤羽根にいずれも押し波が到達した。
- (3) 遠州灘に到達した津波は波高0.8~1.6m、5~20分の間隔で、少なくとも4回以上到達した。
- (4) 水深から理論式 $v = \sqrt{gd}$ を用いて求め津波の速さは89.1m/sで、これは実際の到達時間と距離から求めた速さ87.6m/sとほぼ一致した。また、速さは、浅い遠州灘では遅く、深いトラフでは速く水深の2分の1乗に比例することが確認できた。

7 今後の課題

- (1) 津波の屈折や回折を考慮して、より正確な津波の伝搬経路を推定する。
- (2) 断層モデルや海底地形をもとに津波の伝搬をコンピュータシミュレーションで再現し、実際の測量結果や潮位記録、歴史地震による津波の記録と比較する。
- (3) 津波発生装置を作成し、津波伝搬実験を行って、これをシミュレーション結果と比較する。
- (4) 津波の周期の違い、津波の波高の違い、構造物の材料、強度の違いによって生まれる被害の差を実験で調べる。

これを総合して将来発生が予想されている東海・東南海・南海連動地震の波高を推定し、被害を予測して対策に生かしたい。

8 参考文献

気象庁, 2011, 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震, 平成23年3月地震・火山月報(防災編), 58-60

御前崎市, 2,500分の1都市計画図, 御前崎市都市計画課

浜松市, 2,500分の1都市計画図, 浜松市都市計画部都市計画課

気象庁, 2011, 気象庁, 最近7日間の御前崎潮汐曲線2011年3月11日,

http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/real_time_tide/sel/4202.htm

気象庁, 2011, 気象庁, 最近7日間の舞阪潮汐曲線2011年3月11日,

http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/real_time_tide/sel/4203.htm

気象庁, 2011, 気象庁, 最近7日間の赤羽根潮汐曲線2011年3月11日,

http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/real_time_tide/sel/4213.htm

愛知県, 2007, 赤羽根漁港(1,000分の1海底地形図)

マリンネットワークス株式会社, 2011, 海底地形図, みんなの海図, <http://mar-nets.com/>