

徳島県沿岸海域における安政南海地震津波(1854)の流動特性の再現 ～宍喰・鞆浦沿岸海域を対象に～

徳島大学大学院先端技術科学教育部[†] 田邊 晋, 井若 和久
徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部[†] 山中 亮一, 上月 康則
徳島大学環境防災研究センター[†] 村上 仁士

Reproduction of flow characteristics due to the 1854 Ansei Nankai Earthquake tsunami
in Shishikui and Tomoura, Tokushima, Japan.

Shin Tanabe and Kazuhisa Iwaka
Graduate School of Advanced Technology and Science, The University of Tokushima
2-1 Minamijosanjima-cho, Tokushima 770-8506, Japan

Ryoichi Yamanaka and Yasunori Kozuki
Institute of Technology and Science, The University of Tokushima
2-1 Minamijosanjima-cho, Tokushima 770-8506, Japan

Hitoshi Murakami
Research Center for Management of Disaster and Environment, The University of Tokushima
2-1 Minamijosanjima-cho, Tokushima 770-8506, Japan

The old documents, “Shinchouki” and “Daizishinkouroukenbunhikki”, described the detail of the hydraulic phenomena in the coastal area of Tokushima, especially Shishikui and Tomoura, due to the 1854 Ansei Nankai earthquake tsunami. However, the description regarding these phenomena must be subjective because these are written from the point of view of author. Therefore, this study examined the flow characteristic quantitatively by a numerical simulation. The goal of this study was to clarify the impact of the tsunami on these coastal areas by compared the description of the old documents and results of numerical simulation referring to three areas (Shishikui, Tomoura and Onasa Konasa.) . The following are results.

(1) In Shishikui: Shapes of surface waters after the first and second tsunami waves was clarified. Moreover, the condition which was described as “ya wo iruyouna” (as fast as a shot arrow) was simulated and the flow velocity and wave velocity were examined in detail. (2) In Tomoura: Appearance of waters when ship carried away was made clear. (3) In Onasa Konasa: Authors clarified the generation mechanism of the tsunami inundation at Onasa due to two waves come from south and east directions at the same time.

Keywords: Ansei Nankai earthquake, Tsunami numerical simulation

1. はじめに

沿岸域における津波の挙動、とくに人々の生活に直接的に被害を及ぼす陸域への遡上については、これまで数値解析や歴史史料などに基づき詳細に調査・研究がなされてきた。この成果により津波

発生時の浸水予測が可能となり、各地で津波ハザードマップが作製されるなど、防災計画に活用されている。一方、津波の海域における挙動、とくに港湾や沿岸海域における水位変動や流速の詳細については未だ不明な点が多い。近年、津波襲来時の船舶の漂流等に対する防災の必要性が指摘されており、沿岸海域における津波の挙動を詳細に

[†] 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2 - 1

把握し、その実態を明らかにすることが必要不可欠である。しかしながら、沿岸海域における津波の挙動に関する観測データなどの情報は乏しく、遡上の情報源であった歴史史料等においても情報は多くなく、その詳細を知る手立てに乏しい状況にある。

このような状況のなか、徳島県海部郡海陽町穴喰に現存する『震潮記』や同町鞆浦に現存する『大地震洪浪見聞筆記』より1854年12月24日（安政元年十一月五日）に発生した安政南海地震時の徳島県沿岸海域における津波の挙動が記されている貴重な史料が残されている。『震潮記』とは穴喰の元組頭庄屋田井久衛門宣辰(1802～1874)が、『大地震洪浪見聞筆記』とは鞆浦にある善祢寺九代住の住職が記したものである[猪井・他(1987)]。

本研究では、歴史史料に記述されている沿岸海域における津波現象の整理と分析を行う。また、津波再現シミュレーションにより海上での流動特性を解析するとともに、穴喰、鞆浦周辺沿岸海域での津波の挙動を明らかにすることを目的とする。本研究は『震潮記』と『大地震洪浪見聞筆記』の記述を基に行った。

2. 歴史史料による津波襲来時の様相

2.1 歴史史料における記述

『震潮記』および『大地震洪浪見聞筆記』(以下、『洪浪見聞筆記』とよぶ)には、安政南海地震時における穴喰、鞆浦周辺沿岸海域の津波の様相が記されている。穴喰、鞆浦の周辺図を図-1に示す。図中の破線は現在の徳島県と高知県の県境を示しており、破線よりも北側は徳島県、南側は高知県となっている。さらに、現在では、図中の大那佐、小那佐は合わせて那佐と呼ばれている。『震潮記』と『洪浪見聞筆記』に記された沿岸域での津波の様相を以下に示す。

- 1) 「当浦（穴喰浦）なども乳の崎沖合に山のこどく海段突、夫より平押しに到来、其急速成る事矢を射るよりも早し」
- 2) 「此の度の汐は南より来り候故穴喰杯は下手の山へ当り候て夫廻り来候」
- 3) 「（鞆浦では）櫓を立て流れまじと押し立てど込汐強くして矢を射が如く流れ夫より汐に任せて川筋奥へ流れ込み」

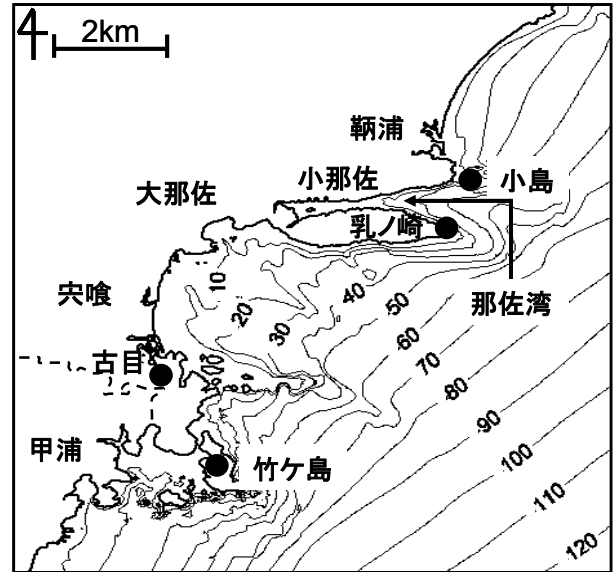


図-1 穴喰、鞆浦周辺図（図中の数字は水深を示す）

- 4) 「当浦（鞆浦）は血の崎小島杯にて払且又浜添をはしり余りの汐浜より打越又は添より込み入候事ゆへ格別に汐ひくし。」
- 5) 「大那佐杯は小那佐より込候汐は式丈位の事に候得は大那佐は穴喰の方より廻り候汐と小那佐より込候汐と打合候処は三丈も上り候と申事にて御座候。」

ここで、1)は『震潮記』、2)～5)は『洪浪見聞筆記』の記述である。この記述中に「乳の崎」、「血の崎」と複数の名称があるが、読み方や記述内容から現在の「乳ノ崎」と同一地点と考えた。これらの記述を基に穴喰、鞆浦、および大那佐・小那佐沿岸海域における津波の様相を整理した。

2.2 穴喰周辺沿岸海域での記述内容

『震潮記』には穴喰周辺沿岸海域において上記の記述1)によると「穴喰浦なども乳ノ崎沖合に山のように海が階段状に突き出し、それより平押しで入って来た。その速さは矢を入れるよりも速かった。」(以下、記述a)と記されており、津波の水面形状と流速に関する貴重な情報が読み取れる。さらに、『洪浪見聞筆記』には、同海域において上記の記述2)によると「今回の津波は南側より襲来し、穴喰などは下手の山より廻りこんできた。」(以下、記述b)と記されており、津波の伝播の様子が読み取れる。

2.3 鞆浦周辺沿岸海域での記述内容

『洪浪見聞筆記』における鞆浦周辺沿岸海域においては、上記の記述3)によると「鞆浦では櫓を立て流されないようにしたが、矢を射るような速さの強

烈な津波により船が川筋の奥へ流された。」(以下、記述 c), 上記の記述 4) によると「鞆浦へは、乳ノ崎と小島にて勢いが除かれた津波が海岸線やその周辺から打ち越えてやってきたので、津波は格別に低かった。」(以下、記述 d) と記されており、船が漂流する様子と津波の挙動が読み取れる。

2.4 大那佐・小那佐周辺沿岸海域での記述内容

『洪浪見聞筆記』における大那佐・小那佐周辺沿岸海域においては、上記の記述 5) によると「大那佐などは小那佐より襲来した津波で二丈(約 6m) 浸水し、宍喰の方より襲来した津波と小那佐より襲来した津波がぶつかり三丈(約 9m) 浸水した。」(以下、記述 e) と記されており、複雑な地形を有する海域における津波の挙動の実態と、それに伴う浸水高の変化が読み取れる。

以上、これらの史料により沿岸海域に進入する津波の挙動と、その被害の発生状況に関し、とくに宍喰周辺沿岸海域と鞆浦周辺沿岸海域について特徴的な現象が明らかとなった。

3. 研究方法

上述の 5 つの記述と、再現シミュレーションによる津波の流向と流速、津波高(東京湾平均海面上の高さ)、浸水範囲と浸水高とを比較して、詳細な検討を行ない、宍喰、鞆浦周辺沿岸海域における安政南海地震津波の実態を解明する。

3.1 津波数値計算概要

計算手法は、[村上・他(1996)] に従った。その再現精度の確認は、すでに『震潮記』に記されている津波の浸水図や津波の遡上位置を対象に行っており、良好な結果を得ている[井若・他(2007)]。

1) 支配方程式

支配方程式は計算対象領域により異なるものを用いた。図-2 に計算対象領域を示す。計算は計算負荷低減のため 5 つの計算領域を設定した。さらに、数値計算に用いる支配方程式は、水深の深い第 1 領域では移流項と摩擦項を無視した線形長波方程式、沿岸域を含む第 2 領域～第 5 領域では非線形長波方程式を用いた。

2) 計算方法

本計算における設定条件を表-1 に示した。津波の波源モデルには、1854 年安政南海地震を想定した相田(1981)の断層モデルを用いた。

水域および陸域における粗度係数は、表-2 に示した Manning の粗度係数を用いて評価した。ただし、一般的に粗度係数を大きく与える市街地等について、1854 年当時は、来襲する津波に対して大きな抵抗となる建物はなかったものとして標高に基づく粗度係数 0.025 を与えた。

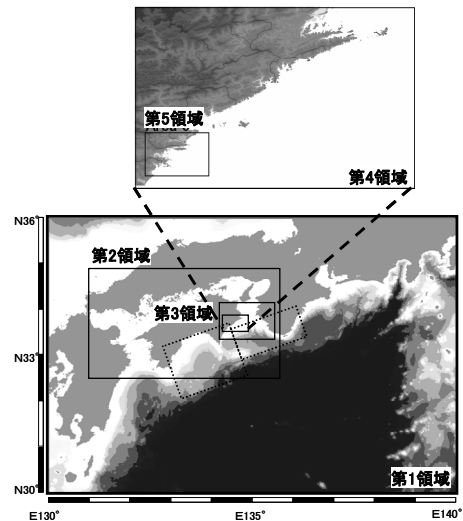


図-2 計算対象領域

表-1 各計算領域の設定条件

領域	第1領域	第2領域	第3領域	第4領域	第5領域
格子サイズ	1620m	540m	180m	60m	20m
基礎方程式	線形長波	非線形長波			
境界条件	沖	透過条件			
	陸	完全反射			遡上
底面摩擦	Manningの粗度係数				
初期水面	T.P.+0.00m, 静水面				
計算時間間隔	0.1秒				
再現時間	3時間				

表-2 Manning の粗度係数

地形条件		Manningの粗度係数
陸域	陸域でT.P.10m以上	0.030
	陸域でT.P.10m未満	0.025
水域	水域で水深5m以浅	0.025
	水域で水深5m以深	0.020

3.2 検証領域と検証時間

図-3 に宍喰沿岸海域、鞆浦沿岸海域、大那佐・小那佐沿岸海域を示す。この 3 つの沿岸海域を解析対象海域とする。検証対象とする時刻を決めるため、図-3 の A 地点、B 地点の水位の時間変化を図-4 に示す。図-4 によると、A 地点では、第一波

襲来開始が地震発生より9分前後、第二波襲来開始が32分前後、第三波襲来開始が49分前後であった。B地点では、第一波襲来開始が6分前後であった。第二波以降は顕著な水位変化が見られなかったため、第二波は解析対象外、水位が1mに達した50分を第三波とし、襲来開始を47分前後とした。

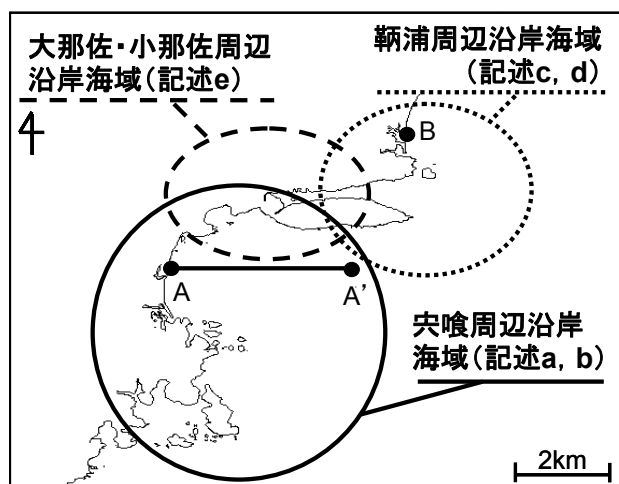


図-3 解析対象領域

4. 歴史史料の記述と再現計算結果の比較

4.1 穴喰周辺沿岸海域での津波の再現性

表-3 に穴喰周辺沿岸海域での津波の様相を再整理して示す。

4.1.1 記述 a の状況について

最初に、記述 a の「穴喰浦なども乳ノ崎沖合いに山のように海が階段状に突き出し」を対象とし、水

面形状について解析する。『震潮記』には、津波襲来時の様子について、「手近な山へ逃げ登った」という記述がある。したがって、記述 a については「手近な山」と表現された穴喰の標高の高い場所より遠方から迫ってくる津波を見て記されたものと考えられる。ここで図-3 中に示した穴喰の海岸上の A 地点から東方沖 4000m に設定した A' 地点までの Line A-A' 上における、第一波、第二波襲来時の津波高をそれぞれ図-5(a)および(b)に示す。図-5(a)によると、第一波においては穴喰から 1500m 沖合いの地点までで「階段状」の水面形状が認められる。一方、図-5(b)に示した第二波においては第一波とは形状が異なるものの穴喰から 2000m 沖合いの地点までで「階段状」の水面形状が認められた。ただし、第一波においては穴喰から 1500m 沖合いの地点までの津波高の変化が 0.7m 程度、第二波においては穴喰から 2000m 沖合いまでで 2.5m 程度である。したがって、第一波と第二波を比べたときに、遠方より目視で「階段状」と判断しやすいのは第二波と考えられるが、いずれにせよ穴喰に襲来する津波が「階段状」の水面形状を有することを記述と再現計算の両方から確認した。次に、第一波、第二波襲来時において、記述 a にある『震潮記』の「矢を射るような速さ」と表された状況について解析する。この記述が津波自身、漂流物のどちらを見て書かれたものであるかわからないことより、速さを示す指標として流速と波速に着目して解析を行う。ここで穴喰周辺沿岸海域におけるの第一波～第三波襲来時の流向と流速の変化をそれぞれ図-6(a), (b)および(c)に示す。

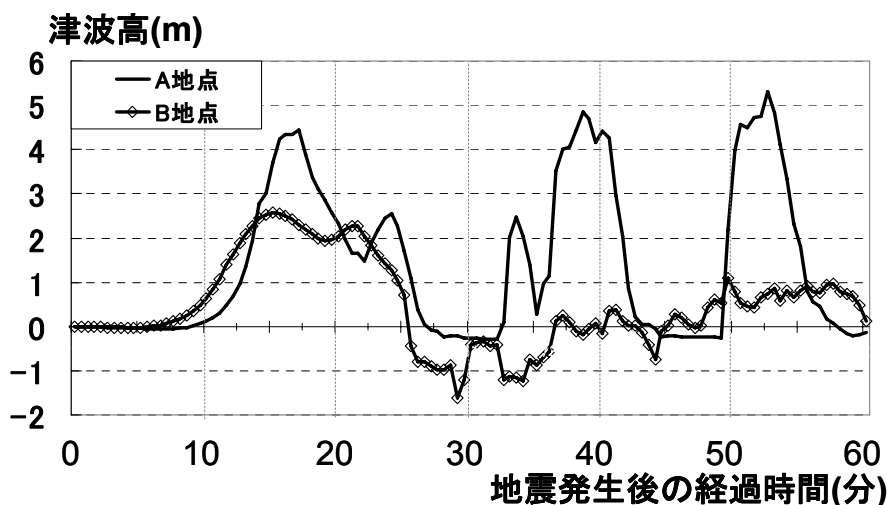


図-4 A 点, B 点の水位の時間変化

図-6(a)によると、第一波では宍喰の海岸より沖合い 1000m あたりまでにおいては全般的に流速 1.0m/s 前後であり、水深の浅いところでは流速 2.0m/s を越えるようなところがあった。同様の海域において、第二波では図-6(b)によると全般的に流速 1.0~2.0m/s 程度で、水深の浅いところでは流速 5.0m/s を越えていた。第三波では図 6-(c)によると全般的に流速 2.0~3.0m/s 程度で、なかには流速 10m/s を越えるようなところが浅い海域で見られた。次に、宍喰周辺沿岸海域における波速分布を図-7に示す。図-7によると、宍喰の海岸線より沖合い 1000m までの間に水深が 20m より深くなる場所があり、そこでは波速 50km/s 以上であった。当時の速いものの一つに「矢」というものがあり、速いものを例えた表現として「矢を射るような速さ」があったと考えられる。ただし、この記述が第一波~第三波襲来時のうちのいずれの時を指しているものかわからない。そこで、以上の結果より

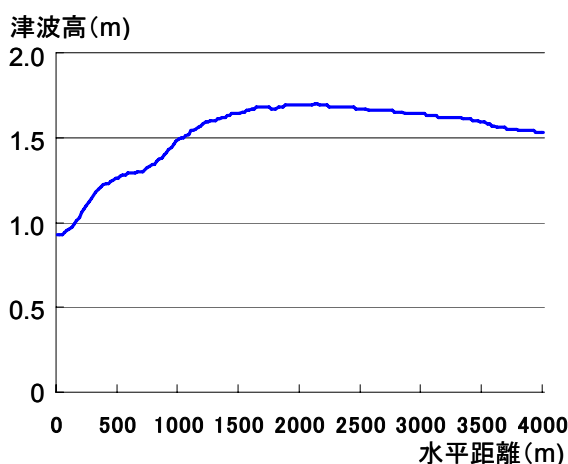
「矢を射るような速さ」とは第一波襲来時でもみられる流速が 2.0m/s、波速が 50km/h を越えるような急な流れを示したものである可能性はあるといえよう。

4.1.2 記述 b の状況について

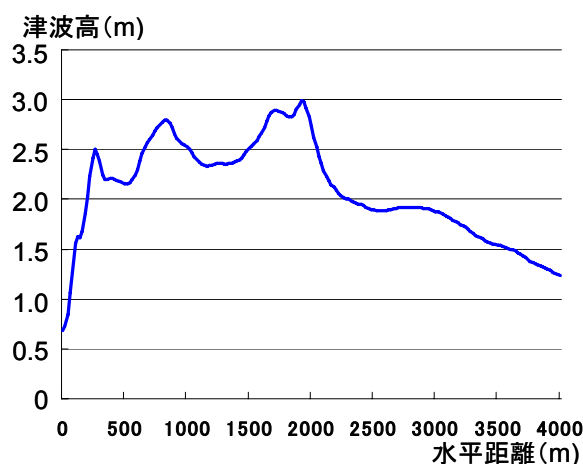
宍喰における津波伝播の様子を記した『洪浪見聞筆記』の記述については、津波の流向の変化に着目して状況の把握を行う。図-1に示す古目や竹ヶ島付近は標高が 100m 前後の山となっており、記述にある「下手の山」をこの周辺を指していると想定した場合、図-6(a)より第一波襲来時では、宍喰南部より「下手の山」を廻り込みながら宍喰の方へ襲来している様子が認められる。図 6(b)および(c)に示した第二波~第三波襲来時においては、宍喰南部の甲浦あたりから引いてきた波が合流し、「下手の山」を廻り込みながら宍喰の方へ襲来している様子が認められる。

表-3 宍喰周辺沿岸海域を対象とした記述

記述	記述内容
a	宍喰浦なども乳ノ崎沖合いに山のように海が階段状に突き出し、それより平押しで入って来た。その速さは矢を入れるよりも速かった。
b	今回の津波は南側より襲来し、宍喰などは下手の山より廻りこんできた。



(a)第一波襲来時(地震発生 13 分後)



(b)第二波襲来時(地震発生 36 分後)

図-5 宍喰周辺沿岸海域における LineA-A' 上の水

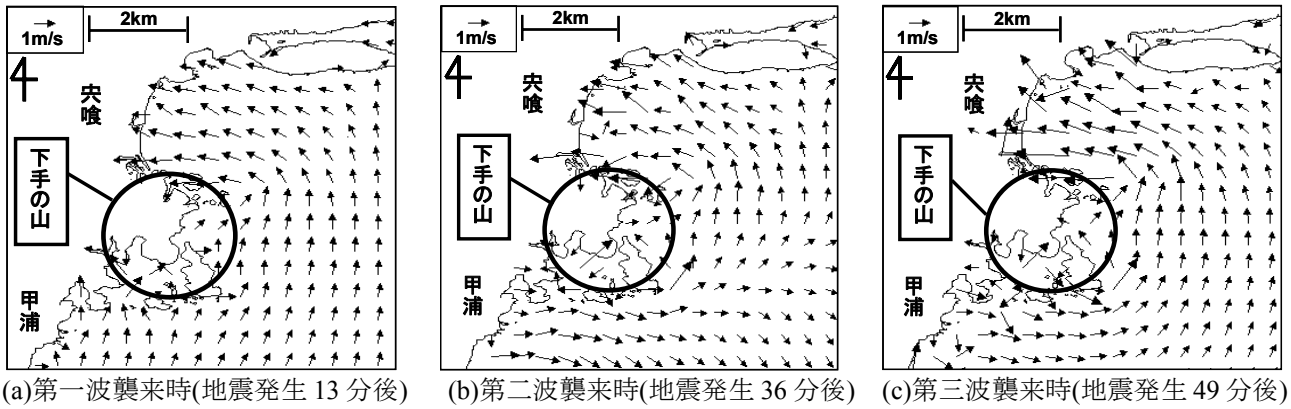


図-6 穴喰周辺沿岸海域における流向と流速の変化

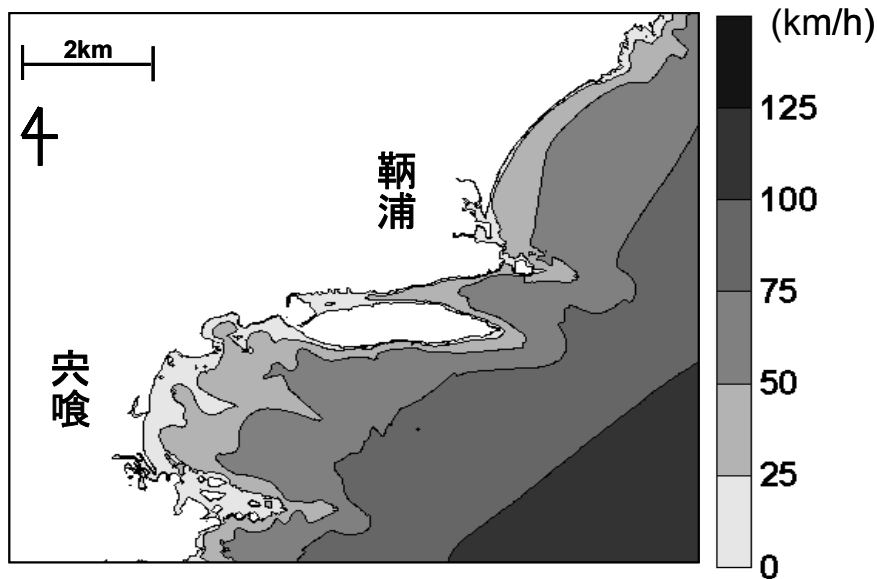


図-7 波速分布

4.2 鞆浦周辺沿岸海域での津波の再現性

表-4に鞆浦周辺沿岸海域での津波の様相を再整理して示す。

4.2.1 記述 c の状況について

記述 c の「矢を射るような速さで川筋の奥へ船が流された」という状況について流速に着目して解析する。記述にある「川筋」とは、鞆浦に流れる川が海部川とその支流であることから、海部川のことを指していると考えられる。しかし、「川筋の奥へ船が流された」とは海部川、支流のどちらを船が遡上したのか判断ができない。そのため、ここでは海部川の河口の流速を解析することで、船が実際に遡上できる条件であったのかどうかを検討する。ここで鞆浦周辺沿岸海域における第一波、第二波襲来時の流向と流速の変化をそれぞれ図-8(a)および(b)に示す。図-8(a)によると、第一波襲来時の海部川河口付近での流速の最大値は 2.6m/s 程度となった。同

様に、図-8(b)に示した第三波襲来時の流速は 3.3m/s 程度となった。「船が川筋の奥へ流された」ことについては、この当時の船は手漕ぎの木製のものなので第一波、第二波襲来時のいずれにおいても海部川か支流の奥へ向かって船が流された可能性は十分に考えられる。また、「矢を射るような速さ」についてはこの場合、漂流物としての速さであるので、前述の通り流速が 2.0m/s を越える急な流れを示したものであるとすると、第一波、第三波襲来時を示した可能性がある。

4.2.2 記述 d の状況について

記述 d の「今回の鞆浦へは、乳ノ崎と小島にて勢いが除かれ浜を沿って来た津波が海岸線やその周辺から打ち越えてやってきたので、津波は低かった。」についての状況把握を流向の変化と最大浸水深に着目して行う。上述の図-8(a) および(b) によると、特に第一波において乳ノ先・小島から鞆浦へ津波

が襲来している様子が認められた。図-9は靫浦周辺沿岸海域における最大浸水深を示したものである。図-9によると、靫浦の最大浸水深は海部川河口付近の殆どの場所において1~2m程度であり、

後述するが他の地域では最大浸水深が5mを超えるような場所があり、これに比べてこの地域では「津波は格別に低かった」ことが認められた。

表-4 靫浦周辺沿岸海域を対象とした記述

記述	記述内容
c	靫浦では櫓を立て流されないようにしたが、矢を射るような速さの強烈な津波により船が川筋の奥へ流された。
d	靫浦へは、乳ノ崎と小島にて勢いが除かれた津波が海岸線やその周辺から打ち越えてやってきたので、津波は格別に低かった。

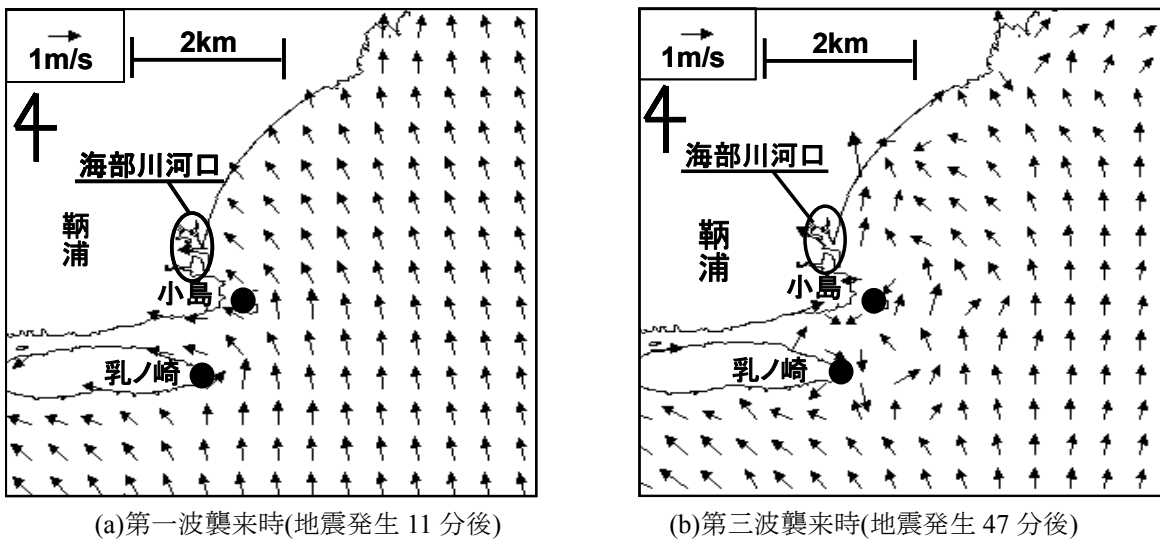


図-8 靫浦周辺沿岸海域における流向と流速の変化

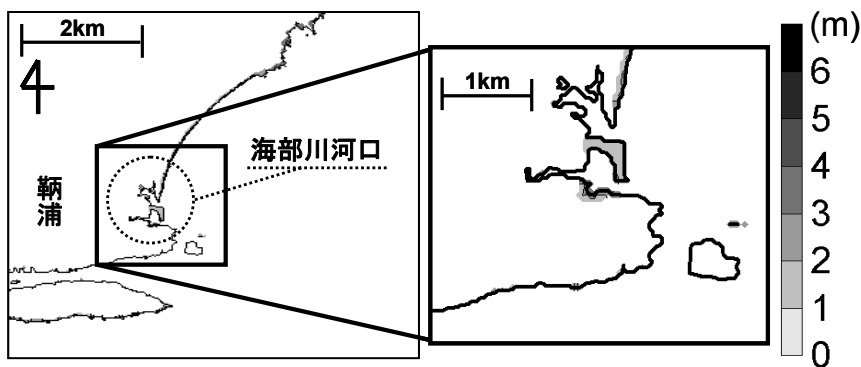


図-9 靫浦周辺沿岸海域における最大浸水深

4.3 大那佐・小那佐周辺沿岸海域での津波の再現性

表-5 に鞆浦周辺沿岸海域での津波の様相を再整理して示す。

まず、記述 e にある「大那佐などは小那佐より入って来た津波で二丈（約6m）くらい浸水」と記された津波高の状況について最大浸水深に着目して解析を行う。大那佐・小那佐周辺地域における最大浸水深を図-10 に示す。図-10 によると、大那佐周辺における浸水深の最も大きいところは図中の地点 a 周辺で 5.6m 程度となり、計算結果と記述は定量的に一致している。しかし、「小那佐より襲来した津波」というのは、図-1 をみると小那佐を通る津波は乳ノ崎と小島の間から入って、那佐湾の西方向へ襲来した津波と考えられる。しかし、前述の図-6(a), (b)および(c)によると、地点 a 周辺へは津波第一波～第三波ともに南方から襲来しており、

「小那佐より入って来た津波」による浸水と考えられない。そこで、この記述が示している場所を、那佐湾と面していることより図-10 の地点 b 周辺だと仮定する。図-10 によると、地点 b 周辺の那佐湾と面している北側の部分のほとんどの部分において 1～2m 程度の浸水深であり、記述にある 6m ほどの浸水は見られなかった。これについては、数値計算の空間分解能が 20m であり那佐湾の局所的な現象再現ができなかったことが理由の一つと考えられる。

次に、「穴喰の方より襲来した津波と小那佐より襲来した津波がぶつかり三丈（約9m）となった」と記された記述について解析する。前述の通り、「小那佐より入って来た津波」が遡上した場所は地点 b 周辺と仮定する。図-10 より地点 b では 9m ほどの浸水は見られない。次に、「津波がぶつかつ

表-5 大那佐・小那佐周辺沿岸海域を対象とした記述

記述	記述内容
e	大那佐などは小那佐より襲来した津波で二丈（約6m）浸水し、穴喰の方より襲来した津波と小那佐より襲来した津波がぶつかり三丈（約9m）浸水した。

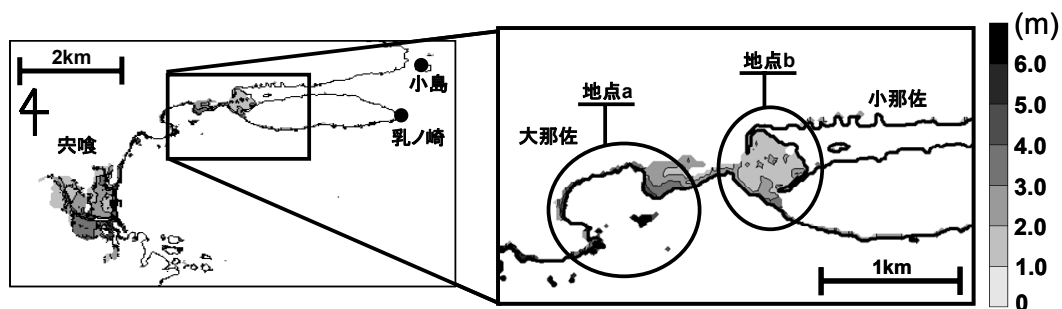
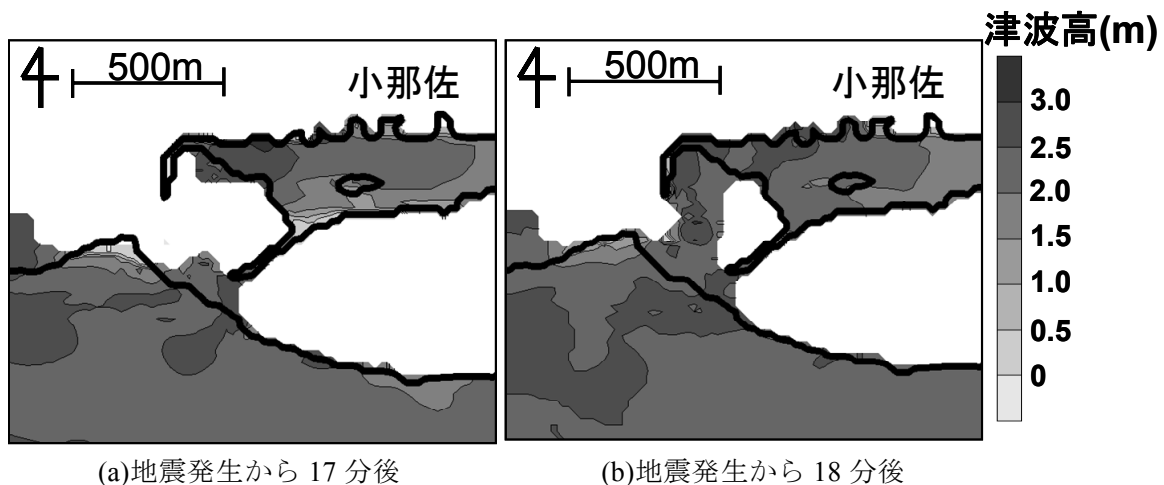


図-10 大那佐・小那佐周辺地域での最大浸水深



(a)地震発生から 17 分後

(b)地震発生から 18 分後

図-11 地点 b における津波高分布

た」という記述について津波高に着目して解析する。大那佐・小那佐周辺地域における地震発生より17分、18分後の津波高分布を図-11に示す。図-11によると地点b周辺において、この時刻において遡上したことがわかる。そこで、図-12中に示したLine c-d-e上における地震発生より17分、18分後の津波高の時間変化を図-13に示した。図-13によると、地震発生より17分後から18分後にかけて突喰より襲来した津波と小那佐より襲来した津波がぶつかっていることがわかる。以上のことより、この記述は地点b周辺で発生し、その発生時刻を明らかにすることができた。

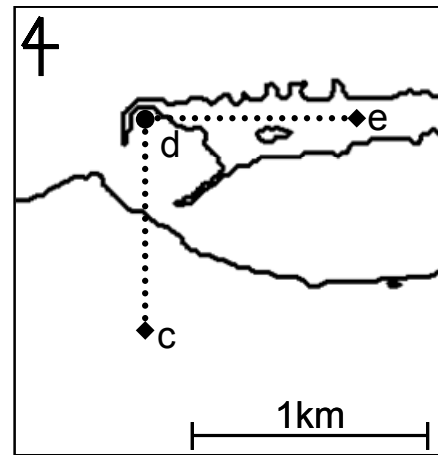


図-12 大那佐・小那佐周辺地域での Line c-d-e

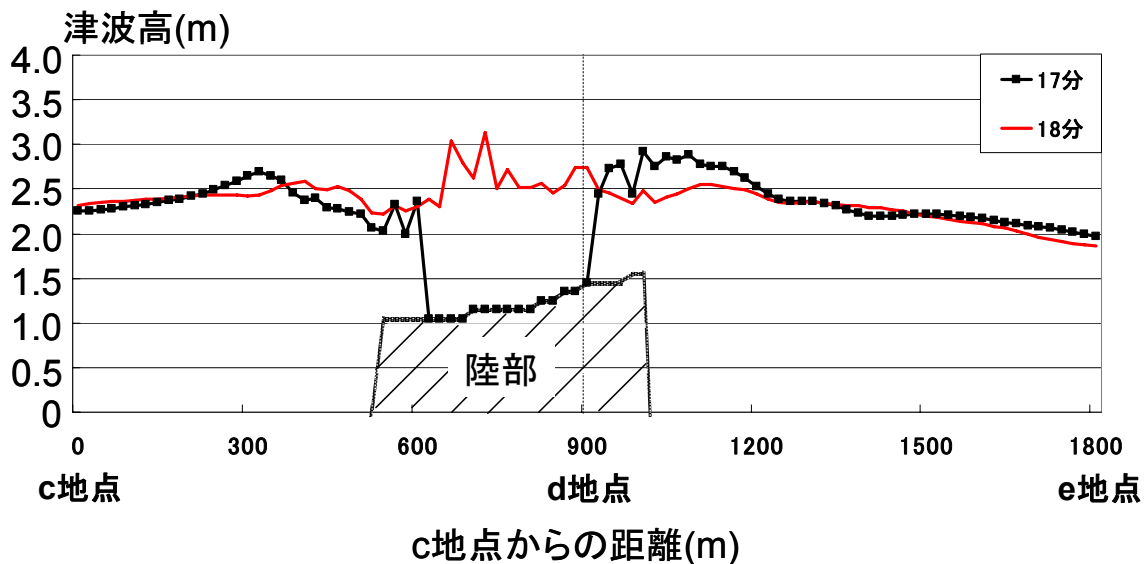


図-13 Line c-d-e 上の水位の時間変化

5.おわりに

本研究では『震潮記』と『洪浪見聞筆記』の再現と津波再現シミュレーションを基に、突喰と鞆浦沿岸海域における安政南海地震津波の津波伝播特性について考察した。得られた結果を以下に列挙する。

1) 突喰周辺沿岸海域での津波の再現性

まず、記述 a にある「海の階段状」については、突喰の高い場所より遠方の方から目の前に迫ってくる津波を見て記述が記されたものと仮定した場合、第一波、第二波襲来時の水面形状において、計算結果で階段状が認められた。さらに、「矢を射るような速さ」は流速が 2.0m/s、波速が 50km/h を越えるような急な流れを示した可能性があることがわかった。

次に、記述 b の「下手の山」が突喰南部の古目や竹ヶ島を指していると仮定した場合、津波第一波～第三波ともに「下手の山」を廻りこんで突喰の方へ襲来している様子が計算結果で確認できた。さらに第二波、第三波襲来時においては甲浦あたりから引いてきた波が合流して突喰を襲来していることもわかった。

2) 鞆浦周辺沿岸海域での津波の再現性

記述 c にある「船が川筋の奥へ流された」については、鞆浦を流れる海部川河口の流速が計算結果において第一波襲来時では流速 2.6m/s 程度、第二波襲来時では 3.3m/s 程度となり、第一波、第三波襲来時のいずれにおいても船が流されうる状況になったことがわかった。また、記述 d については、第一波、第三波襲来時において乳ノ先・小島

から鞆浦へ津波が襲来している様子が認められ、鞆浦の最大浸水深は海部川河口付近のほとんどの場所において1~2m程度で「津波は格別に低かった」ことは認められた。

3)大那佐・小那佐周辺沿岸海域での津波の再現性

記述 e にある「小那佐より襲来した津波」は乳ノ崎、小島を通り那佐湾を西方向へ襲来した津波だと考えられる。さらに、同地域は「穴喰より襲来した津波と小那佐より襲来した津波がぶつかった」場所でもあると考えられる。計算結果によれば、同地域の最大浸水深はほとんどの部分において1~2m程度であり、記述とは異なった。これについては、数値計算の空間分解能が20mであり那佐湾の局所的な現象再現ができなかったことが理由の一つと考えられる。「津波がぶつかった」ことに関しては、地震発生より17分~18分後において発生したことがわかった。

以上より、数値計算で記述の状況を検証することで、歴史史料の記述された状況を把握することができ、これまで実態が明らかでなかった沿岸海域における津波の挙動について多くの知見を得ることができた。今後の課題は、来るべき南海地震津波の防災を資するため、ここで得た知見を含めて沿岸海域における物理現象を考慮した対策を検討していくことである。

謝辞

本研究を行うにあたり、『震潮記』を現代語訳された田井晴代氏、および活発に御討論を頂いた(株)ニタコンサルタントの杉本卓司氏に感謝の意を表す。

本研究は、科学研究費基盤研究(C)17510149(代表者：村上仁士)による研究の一部であることを明記し、謝意を表す。

参考文献

東京大学地震研究所(編), 1989, 新収日本地震史料, 第5巻別巻5-2, 1874-1884.

東京大学地震研究所(編), 1989, 新収日本地震史料, 第5巻別巻5-2, 1822-1828.

猪井達雄・澤田健吉・村上仁士, 1987, 徳島の地震津波-歴史資料から-, 徳島市立図書館, 194-209.

村上仁士・伊藤禎彦・山本尚明, 1996, 各種断層

モデルによる四国沿岸域の津波シミュレーションに関する考察, 徳島大学工学部研究報告, 第41号, 39-53.

井若和久・田邊 晋・大谷 寛・上月康則・村上仁士, 2007, 田井家『震潮記』にみる徳島県穴喰の地震・津波について~1854年安政南海地震を対象に~, 歴史地震, 第22号, 85-94.

相田 勇, 1981, 南海道沖の津波の数値実験, 東大地震研究所彙報, Vol.56, 713-730.