

地震津波発生時の避難場所の選定に関する基礎的研究

—須崎市を事例として—

A Fundamental Study about the Selection of the Place of Refuge at the Time of the Earthquake Tsunami*

—A Case Study in Susaki—

竹内光生**・近藤光男***

By Teruo TAKEUCHI **・Akio KONDO ***

1. はじめに

高知県須崎市は、100年から150年周期とされる南海道地震の大きな被害を繰り返し被っている。その経験に起因してか、市民は大きな地震の後には津波がくるぞ、高台に逃げろという危機意識を持っている。

本研究は、大きな地震発生後に生じる津波を想定し、避難場所まで「逃げる」という行動に視点を置き、避難場所の立地位置の検討を試みたものである。人が徒歩で避難することのできる距離には限界がある。徒歩で避難することのできる範囲に、避難人口規模に十分な都市施設や避難場所を確保しなければならない。このような視点で本研究を進めている。

須崎市は、他地域と同様に、地域経済発展の過程で、土地の有効利用が図られ、昭和21年の南海道地震時の浸水領域もDID化されている。そのために災害時に避難移動すべき人口規模や避難移動距離は拡大しているといえよう。津波が襲来したときには、拡大した避難移動距離を、高台に向かって歩いて逃げる途中に、安全な避難所があることが望ましい。

また、須崎市史などの記録によると、市街地を襲う津波が侵入してくる方向は、太平洋側の南側からだけではなく、奥行き約2kmの須崎港に侵入した津波によって、東あるいは西からも侵入し、さらに

は引き潮による北側からの津波も発生している。

したがって、避難場所の立地位置を検討するためには、市街地の位置によって異なる津波の侵入方向が1つの必要な資料となる。津波が侵入してくる海岸線と反対側が高台の方向と考えることができる。高台の方向にある避難場所を選択することが望ましいといえよう。

さらに、このような研究のためには、空間的な地理情報に関する資料や面的に視覚的な表現方法が必要となってくる。

本研究では、近年整備されつつあるGIS（地理情報システム）およびデジタル地理情報を用いて、簡便な津波の解析モデルを作成し、各市街地地点ごとに津波が侵入してくる海岸線の位置と避難場所の立地位置の検討を行ったものである。

なお、本研究では、海岸線に到達する津波の波高の最大値を6mと仮定するなど、多くの仮定を用いている。

2. 解析データ

解析に用いたGISデータは、PDM（パスコ・デジタル・マップ）、国土庁50mメッシュ標高（以下、標高データとする。）、高知県総合防災情報地図（避難所）である。なお、避難所は、須崎市が平成9年度に各家庭を対象に発行した避難所マップの内容に合わせて一部追加した。また、Arcviewの機能を用いて、標高データと避難所データに、公共座標IV系のx y座標値を追加した。この標高データを市街地の地理情報として、以下の解析に用いる。

解析においては、市街地に津波の侵入してくる海岸線地点、津波の到達時間、水深、および避難の過程で選択した避難所等を、（市街地）標高データに、属性データとして追加した。PDMは市街地地理情報の背景として使用した。

*キーワード：地震、津波、避難所、海岸線、高台

**正員、工修、高知工業高等専門学校

（高知県南国市物部乙200番1、

TEL088-864-5587、FAX088-864-5581）

***正員、工博、徳島大学大学院工学研究科

（徳島県徳島市南常三島町2-1、

TEL088-656-7339、FAX088-656-7341）

3. 津波の到達関数モデル

(1) 津波の到達関数

まず、簡便化のため市街地地点への津波の到達関数 f を次のように仮定した。

f (波高, 海岸線からの距離, 海岸線の標高, 浸水地点の標高, 重力の加速度 g)

(2) 津波の速度

津波の速度 v は $\sqrt{gh}$ とした。ここに、 g は重力の加速度 9.8 m/sec^2 、 h は水深(m)である。

(3) 海岸線

須崎市の港は、太平洋に面して約 2 km の奥行き
の深い良港となっており、須崎湾および須崎港内の
海岸線に到達する津波に時間差が発生する。そこで、
海岸線に沿った標高データポイントを海岸線と仮定
し、海岸線に到達する津波の時間差を求めた。

(4) 海岸線基準線

海岸線に到達する津波の時刻 t を計算する際に、
 $t = 0$ とする海岸線基準線を定めた。ここでは、海
岸線のうち、地形的に突出部の1つである須崎市下
分の x, y 座標値 (-20090.46955, 41533.35875) の地
点の y 座標値を、海岸線の基準線とした。津波は、
海岸基準線より北上し、須崎湾および須崎港内の海
岸線に到達するものとした。

(5) 波高

海岸線に到達する波高は、須崎港の幅員によって
変化するとした。ただし、須崎港の幅員を一定とし
て、幅員の狭くなるその入口地点である須崎市魚市
場の x, y 座標値 (-1933169008, 42594.06655) より
北部の海岸線の波高は、ほぼ家屋の2階分 $h_2 =$
 6 m と仮定し、南部の海岸線の波高 h_1 は次の値と
した。

$$h_1 = 6 \times \sqrt{350 / 1000} = 3.55 \text{ m}$$

このうち、 350 m は魚市場前面の幅員であり、
 1000 m はそれよりも南部の地形的狭欄部の幅員
である。

以上の海岸線地点を、図1に示す。

(6) 市街地に浸入する津波の水深と距離

津波の最大波高を 6 m と仮定しているため、標高
 6 m 以下の市街地を浸水領域とした。浸水領域への
津波の到達時間は、上記の海岸線の各ポイントから
最も早く到着する時間とした。

その際に、水深は、浸水地点と海岸線地点の2

点の平均水深 h として、次のように求めた。

$$h = \text{海岸線の波高} - (\text{海岸線の標高} + \text{浸水地点の標高}) / 2$$

浸入距離は、そのときの海岸線ポイントまでの
2点間の直線距離とした。

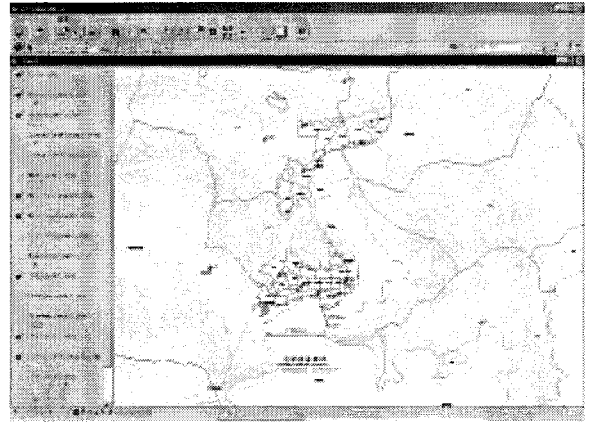


図1. 海岸線地点

4. 津波の到達計算の事例

(1) 海岸線の波高と到達時間

海岸線基準線を起点として海岸線に到達する津
波の時間と波高の分布を図2に示す。なお、須崎湾
および須崎港内の水深は、平均水深 h_0 として、 $h_0 =$
 30 m の一定と仮定している。

水深を 30 m とおくと、津波の速度は 17.1 m/sec
 $= 61.7 \text{ km/h}$ となる。この場合、海岸基準線から須
崎港深部の約 $3,200 \text{ m}$ の距離を約3分で北上する。

須崎市史によると、昭和の南海大震災時に、須
崎港奥に流れた津波の速度は 25 km/h とされている。

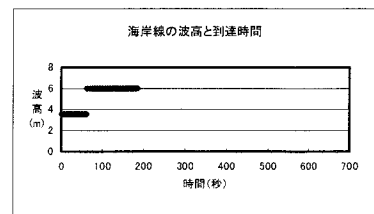


図2. 海岸線の波高と到達時間

(2) 浸水地点の水深と到達時間

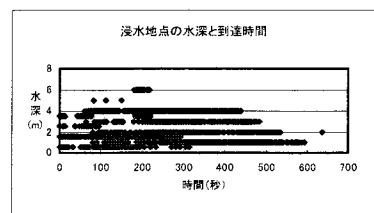


図3. 浸水地点の水深と到達時間

市街地の浸水領域に到達する津波の時間と水深の分布を図3に示す。この場合、海岸線基準線からほぼ10分以内となっている。須崎港内の津波の速度を25km/hとした場合、津波の到達時間の分布の範囲は、約15分以内になると思われる。このような状況を考えると、津波が、海岸線基準線に到達する前に避難を完了しなければならないといえよう。

(3) 浸水領域の時間的経過

今回の計算で、水深が3m以上の浸水領域に限定して表示すると、昭和の南海道地震の浸水領域記録と近似する。その浸水領域の時間的な経過を、2分後から2分ごとに6分後まで示す。

昭和の南海道地震時には、須崎港奥の広い浸水領域である大間や多ノ郷に被害を与えた津波は、引き潮時に、その南部の原町などに北からの津波として、予想外の被害を与えている。その後、大間の市街化は進行し、潜在被害はさらに大きくなっている。

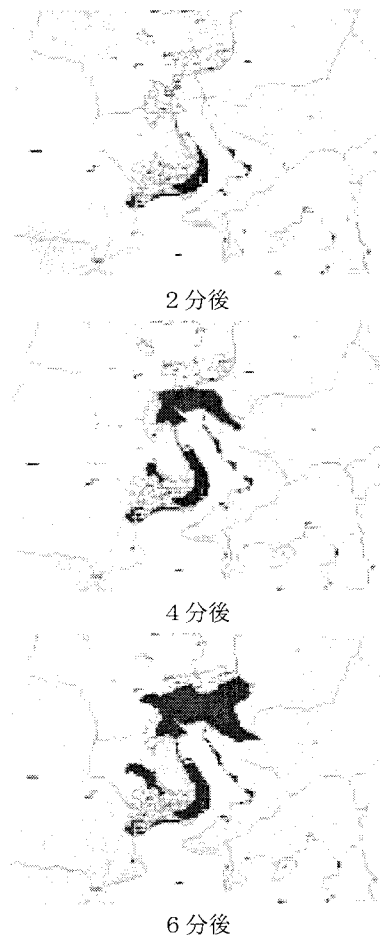


図4. 浸水領域の時間的経過

(4) 海岸線地点と浸水領域

海岸線地点の浸水領域の事例を示す。須崎港奥端の隅角部あるいはその延長である海岸線地点の浸水領域が比較的に広がっている。また、東西に延びる海岸線地点の浸水領域は北に延び、南北に延びる海岸線地点の浸水領域は西にあるいは東に延びている。

水深の計算に水深地点と海岸線の2地点の値のみを用いているために、その途中に山があっても無視されている。しかし、概略、昭和の南海道地震時の津波の海岸線からの侵入傾向は示されている。

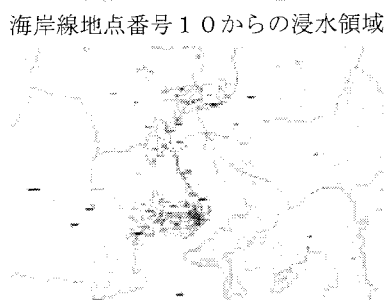
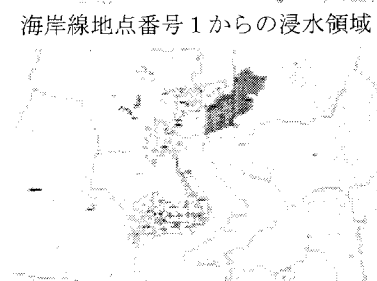
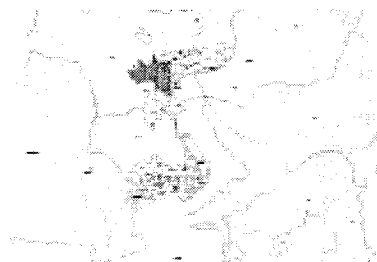


図5. 海岸線地点と浸水領域

5. 避難場所の選択モデル

冒頭で述べたように、地震津波を避けるためには、高台に向かって歩いて逃げる途中にある安全な避難場所を選択することが望ましい。

ここでは、避難所として選択するべきかどうかの判断の基準を、方向と距離の2つとする。

(1) 方向

方向については、図6のように仮定した。

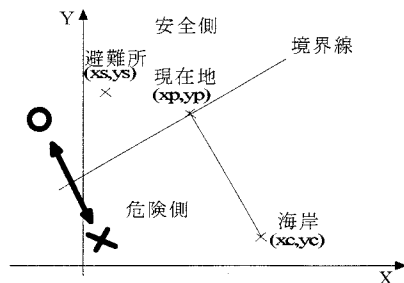


図6. 避難場所の方向

避難の方向は、海岸線と反対方向とする。避難する人の現在地をx y座標で(xp,yp)とする。同様に、この地点に最も早く浸水する海岸線の座標を(xc,yc)、また、避難所の座標を(xs,ys)とおく。

図6に示すように、現在地(xp,yp)を基準に、現在地と海岸線(xc,yc)を結ぶ直線と直行する直線を境界線とする。

境界線を境にして、海岸と反対側を安全側とする。境界線の式は、現在地と海岸の座標値を用いて次のようになる。

$$y(x) = -\{(xp-xc)/(yp-yc)\} \times (x-xp) + yp$$

従って、

$$(y(xs)-ys) \times (y(xc)-yc) \leq 0 \text{ のとき、安全側である。}$$

また、

$$(y(xs)-ys) \times (y(xc)-yc) > 0 \text{ のとき、危険側である。}$$

(2) 距離

安全側にある避難所のうち、最短直線距離とする。直線距離を経路距離に換算する係数を1.2と仮定した。また、地震後、10分以内に避難所に移動することが望ましいとして、そのときの歩行速度を500m/10分と仮定すると、経路距離に換算した10分当たりの歩行距離は、約417mとなる。これを最大直線距離と仮定する。

6. 避難場所の選択事例

避難場所の選択モデルに従って、全ての浸水領域を避難場所に割り振ることができた。

多ノ郷公民館を避難場所とする浸水領域の事例を図7に示す。各浸水領域地点から、多ノ郷公民館までの直線距離の範囲は、36mから592mとなっている。

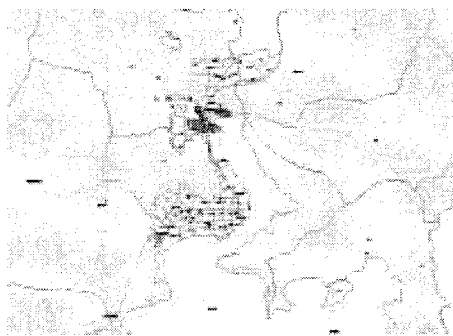


図7. 多ノ郷公民館の避難領域

以下、歩いて避難する距離には限界があるとして、その限界距離を、経路距離に換算した約10分間の歩行直線距離約417mと仮定した場合の、避難可能領域、あるいは逆に避難困難領域を図8に示す。

図8の濃い色の広い部分が、避難困難領域である。避難所を中心に半径417mの円を描いている。円内に含まれる山手側の濃い色の部分も、途中に示した仮定から避難困難領域である。

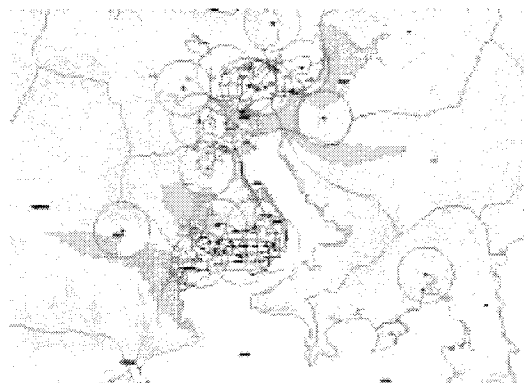


図8. 避難困難領域

7. まとめ

多くの仮定を用いたが、現状の避難場所の分布のみでは、浸水が予想される領域内に、避難が困難と思われる領域のあることを、定量的に、また視覚的に示すことができた。本研究は、避難場所の選定の一方法を提示することができるものと考えている。

なお、本報告書の作成に当たっては、建設省国土地理院長の承諾を得て、同院の測量成果を使用したものである。

参考文献

- 1) 須崎市編：須崎市史，須崎市，1974
- 2) 村上仁士，他：海からの警告，須崎市，1995
- 3) SRI社編：ArcView ユーザーズ・ガイド