

浜松市立伊目小学校における 地震津波を想定した避難場所選定に関する検討

Investigation about the evacuation site that assumed the seismic and tsunami in Ime Elementary School

阿部 郁男

ABE Ikuo

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災における石巻市の大川小学校で学校管理下にあった児童74名が死亡または行方不明になった事例などを契機として文部科学省では平成24年に学校安全の推進に関する計画を策定し¹⁾、学校における防災体制を充実するための様々な方策が実施されている。更には、大学の教職課程で学校安全への対応を必修化する方向で文部科学省が検討を進めていることも報道されている²⁾。また、静岡県では想定される東海地震に備えて平成14年2月に静岡県防災教育基本方針が策定され、東日本大震災を契機として平成25年2月に見直しが行われている³⁾。平成25年2月の見直しにおいては、防災教育の更なる推進のために学校防災アドバイザーによる学校における防災対策や避難訓練の検証および評価が実施されており、各学校での対策の見直しや防災教育にフィードバックされている⁴⁾。

これらの動きに連動するように浜松市では平成25年度に学校防災対策プロジェクトを立ち上げ、地域や学校の特性を踏まえた中学校区単位での対応基準の検討や危機管理マニュアルの見直しを進めており、平成28年度からは学校（園）防災課題サポート事業が始められている。この防災課題サポート事業とは、防災に関わる有識者が学校等の現地に赴き、防災対策の現況確認を行うとともに助言、指導などを行う事業である。本論文は、防災課題サポート事業の対象校の一つである伊目小学校について、その成果を纏めるものである。

2. 伊目小学校における避難対策の現状

伊目小学校は浜名湖の奥の細江町にあり、敷地は浜名湖岸の海拔2.0mの低地に立地している。また、小学校周辺も海拔2m程度の低地が広がっており、津波が浜名湖に入り込んだ場合には津波被害の発生が心配されていた。このような地理的状况から在校時に地震津波が発生した場合、津波が短時間で来襲することが心配され、児童の安全確保と引き渡ししが小学校における防災対策の課題に掲げられており、

これらの課題を解決する視点から小学校周辺の6か所の避難場所を検討している状況であった。特に南海トラフ地震による巨大な津波の被害想定において浜松市南区での津波到達は最短で5分と想定されていたために、小学校の背後にある白山神社が避難場所の第一候補と考えられていたが、白山神社も急傾斜崩壊危険地の上に立地しており、地震発生時に崩落して避難できない危険性も心配される状況にあった。小学校および6か所の避難場所の位置関係を図1に示した。

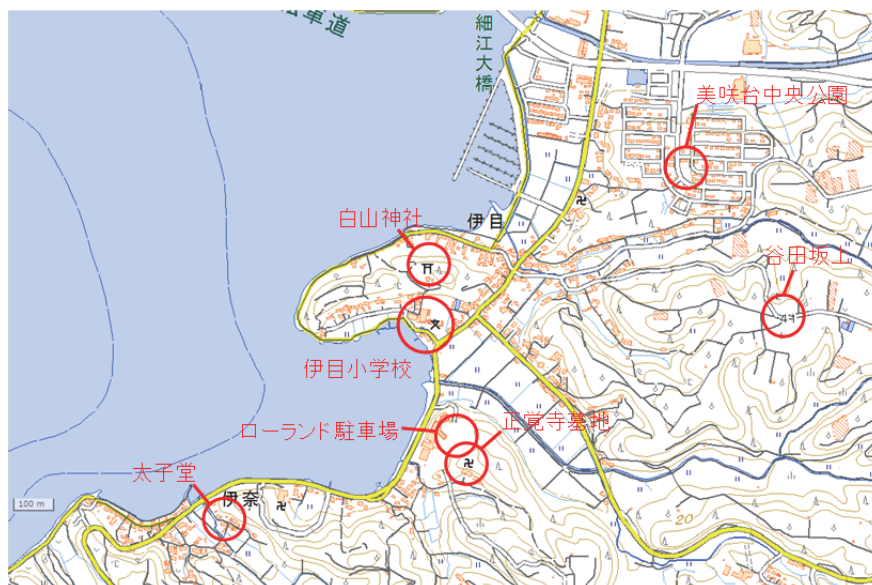


図1 伊目小学校と避難場所の位置関係

3. 伊目小学校の立地条件から見る災害の可能性

3.1. 地震発生時の避難場所の選択

避難場所の選定においては、災害が影響を与え始める時間とその後の影響を考慮して対応に優先順位を付けることが重要であると考えられる。例えば、地震と津波の災害を想定した場合、まず初めに影響がある災害は地震である。これは一般的に知られている地震波と津波の伝播速度の違いを見ても明らかであり、例えば気象庁のホームページ⁵⁾でも紹介されているように地震波の主要動(S波)の伝播速度は4km/sとされているが、津波の伝播速度は水深10mの場合でも約10m/sとなる。このように津波の伝播速度は地震波の400分の1と非常に小さいため、第一に地震から身の安全を確保する対策を実施することが最優先となる。

今回の検討対象である伊目小学校は、静岡県第4次地震被害想定⁶⁾では震度6強～7が想定されており、気象庁の震度階級表⁷⁾によれば震度6弱で立っていることが困難になるとされている。さらに、図2に示すように南海トラフ地震の震源域は600kmを超える長さを持つとされており、仮に駿河湾沖から断層破壊が始まり、中央防災会議⁸⁾で用いられている破壊伝播速度2.5km/sで九州沖まで断層破壊が進み、破壊が完了する九州沖から地震波(S波)が4km/sで伝播してきたと仮定すると、破壊完了までの240秒と地震波伝播までの142.5秒を合算した382.5秒(約6分)の揺れを感じることも計算上では考えられる。以上のようなことから、まず、その場でいかに身を守る行動を指導・訓練する必要がある。

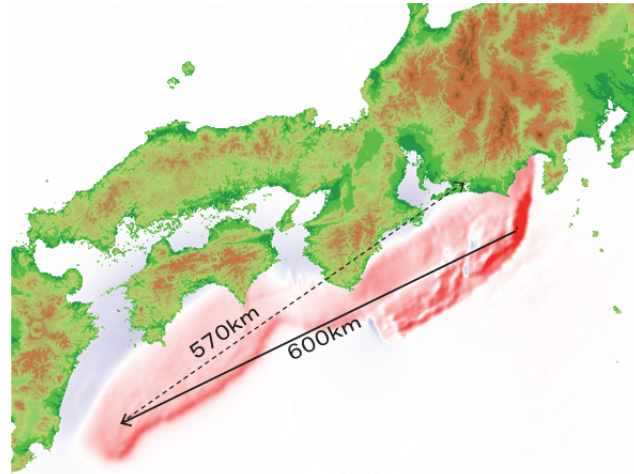


図2 南海トラフ地震の震源域の大きさと伊目小学校までの大よその距離

このような状況下において本論文では校舎外（校庭）での避難場所の選択を検討する。地震発生時は、建物の外壁の落下やガラスの飛散などが考えられるが、一方で、伊目小学校の背後には急傾斜崩壊危険地域に指定された場所があるため、地震動による土砂崩落の可能性が否定できないと考えられる。実際に、熊本地震では阿蘇大橋付近で大規模な土砂崩壊が発生したことが知られているが図3に示すように土砂崩落箇所は熊本県において急傾斜崩壊危険地や地滑り発生箇所として扱われていなかった場所である。このほかにも地震発生時には土砂崩壊が発生する事例が多く¹⁰⁾、伊目小学校においては地震直後の対応として土砂崩落への備えも必要になると考えられる。

そこで、国土地理院の電子国土 Web を用いて急傾斜崩壊危険地までの距離、および基盤地図情報の数値標高モデル（5m メッシュ）を利用して標高差の計測を行った。結果として図4に示すように、校庭と急傾斜崩壊危険地の山頂部との標高差は約 23m、校舎との距離は約 66m と求められた。中小規模のがけ崩れにおいては、到達距離と高さの比は殆どのケースで 1 以下であるとされていること¹¹⁾を考慮すると地震動によって土砂崩壊が発生した場合には校庭の中央付近まで土砂が到達する危険性があると考えられる。よって、校庭にいる状況で大きな揺れを感じた場合には校庭中央部付近に集まるように指導・訓練することが望ましいと思われる。また、図5に示すように伊目小学校は盛土の上に建設されていることが分かる。これまでにいくつもの地震災害において、盛土部分では地震動の増幅による顕著な被害も報告されているため、がけ崩れと校舎からの落下物に配慮した指導・訓練を行う必要があると考える。

3. 2. 津波発生時の避難場所の選択

静岡県第4次地震被害想定では浜松市南区への津波到達は最短で5分と想定されている。しかし、伊目小学校は浜名湖の最奥部にあるため、津波到達までは多くの時間があると考えられる。実際に、図6に示すように伊目小学校周辺で1cmの浸水開始が258秒、30cmの浸水開始は3743秒であり、さらに小学校周辺では大規模な浸水は想定されていないため、地震発生直後に慌てて避難する必要はないと思われる。しかし、東日本大震災では津波被害が想定を超えるものであったことを考えた場合、伊目小学校にも想定よりも早く津波が到達するケースについて分析する必要がある。そこで、次に示す2つのケースについて現在の想定では行われていない点に着目した津波到達状況の分析を試みた。

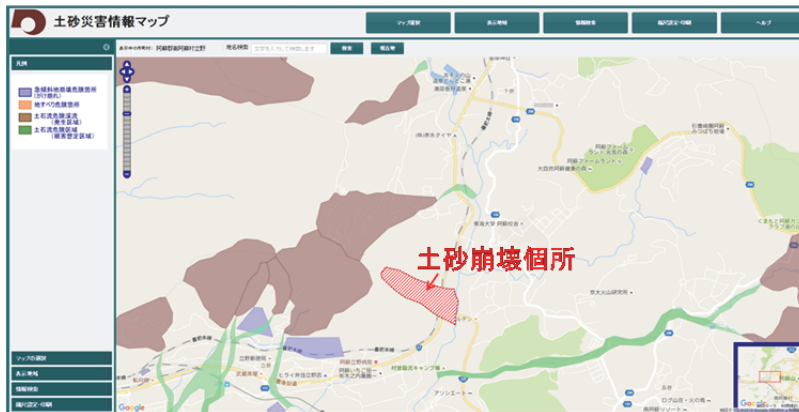


図3 熊本地震における土砂災害崩落箇所
(熊本県土砂災害情報マップ⁹⁾ に写真判読した場所を加筆)



図4 伊目小学校と急傾斜崩壊危険地までの距離



図5 伊目小学校周辺の土地条件図

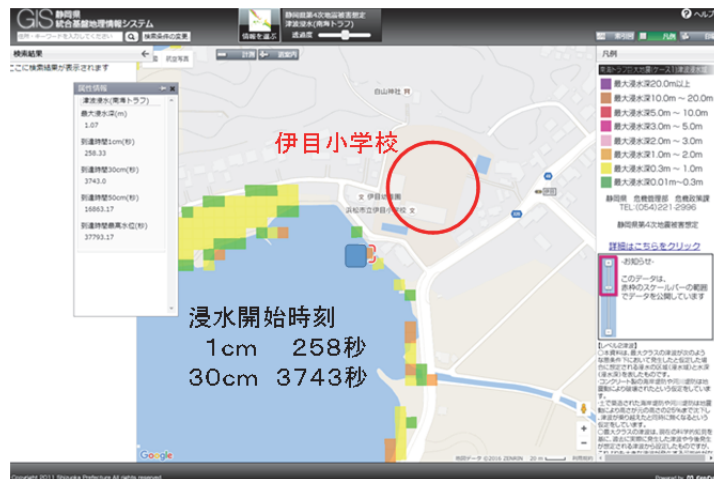


図6 伊目小学校周辺の津波浸水想定

(1) 土砂崩落による津波

地震発生時の土砂崩落によって津波が発生する事例がある。例えば、2008年6月に発生した岩手・宮城内陸地震によって荒砥沢ダムで6mの津波が発生したことが報告されている¹²⁾。また、1792年の島原半島の地震によって眉山が崩壊して対岸の熊本に10mを超える大津波が襲来した事例もある¹³⁾。図7に示すように静岡県内の土砂災害危険度マップによると浜名湖周辺には数多くの急傾斜崩壊危険地域があり、地震動によって崩落が発生した場合に、南海トラフで想定されている津波よりも短時間で津波が到達する危険性がある。そこで、伊目小学校が立地する浜名湖引佐細江周辺の急傾斜崩壊危険地に着目して、津波の到達時間と高さを津波シミュレーションにより検討することとした。前述のようにつけ崩れの到達距離は高さとの関係が指摘されているため、数多くの急傾斜崩壊危険地の中から高低差が最も高い細江町気賀と寸座の間にある急傾斜崩壊危険地を対象として検討を行った。津波シミュレーションの条件を図8、9および表1に示した。

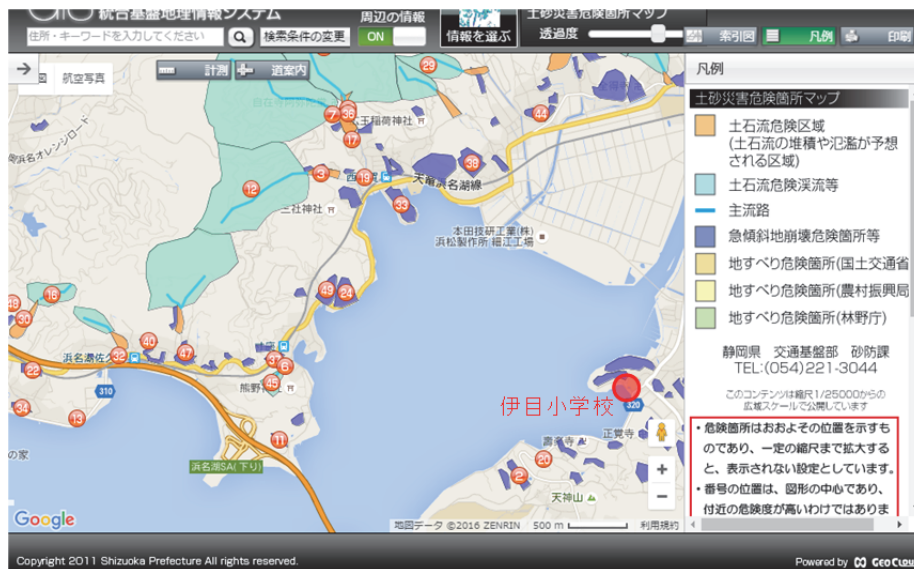


図7 伊目小学校周辺の土砂災害危険箇所

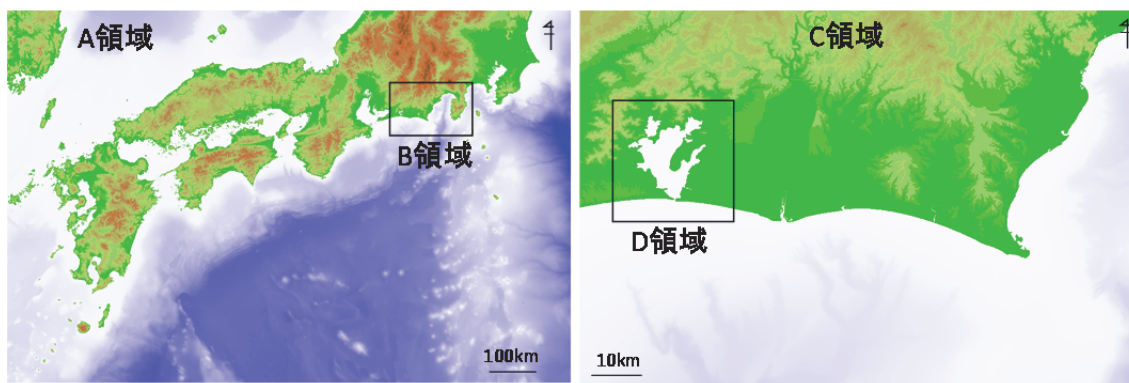


図8 津波シミュレーションの設定領域

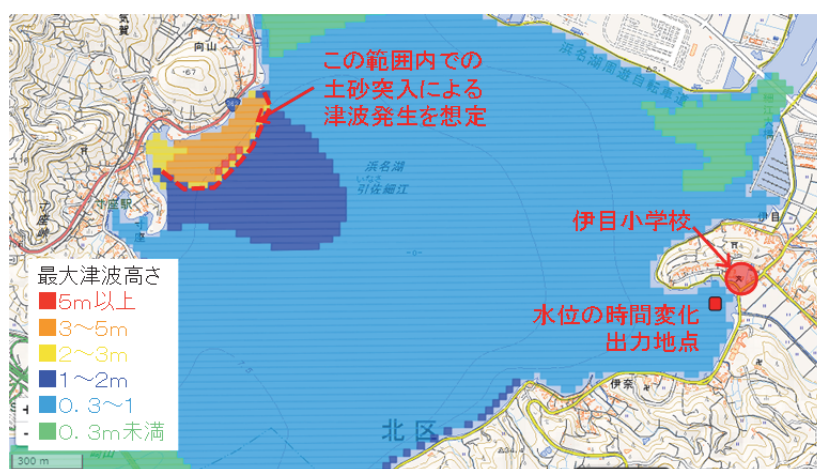


図9 土砂崩落による津波発生を想定した場所と最大津波高さの分布

表1 津波シミュレーションにおける領域の諸元

領域名	メッシュサイズ	メッシュ数	計算条件
A	810m	1500 × 990	線形長波／陸側完全反射／領域外自由透過
B	270m	660 × 420	
C	90m	1020 × 690	非線形・浅水理論／陸側遡上／土地利用に合わせた粗度を設定 ¹⁴⁾
D	30m	810 × 810	

本来、土砂崩落を想定した津波シミュレーションを行う場合には、北海道電力泊発電所で行われている評価をはじめとして、各地の発電所の評価で行われているように土砂崩落の速度を考慮する必要がある。しかし、泊発電所の評価においても土砂崩落の変動伝播速度は13～29m/sと設定されており¹⁵⁾、また、実際に発生した1923年の関東大震災における根府川での岩屑なだれの流下速度も13m/sと求められている¹⁶⁾。今回の検討対象の場所は水深5m程度であるため津波の伝播速度は7m/sと計算され、土砂崩落等の変動速度のほうが津波伝播速度より速くなる。土砂突入の速度が速いほど津波の波高が高くなる¹⁷⁾ことも報告されているため、今回の津波シミュレーションにおいては、津波の波高がより高くなりやすい条件と言える、津波伝播速度よりも土砂崩落が速く津波が伝播する前に土砂崩落が完了しているという条件を前提として津波シミュレーションを行った。シミュレーションの結果として図10

に示すように津波の先端が伊目小学校前に到達するまでに 290 秒、最大津波高さは 0.57m で到達は 6 分程度という結果が得られた。伊目小学校周辺は標高 2m 程度の低地であるため、満潮位や地震による地盤沈下の影響を考慮すると浸水の可能性は否定しきれないが、土砂崩落による津波は大きな被害を及ぼすものではないことが分かった。

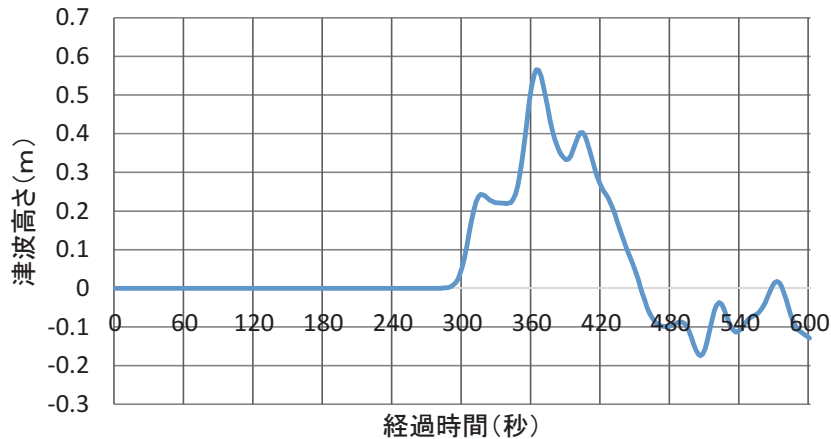


図 10 土砂崩落による津波における伊目小学校前での津波高さの時間変化

（2）南海トラフで発生する津波

現在の浜名湖は今切口によって海と繋がっているが今切口が狭いために津波の高さが大きく低減されている可能性がある。しかし、現在の今切口を形成したのは 1498 年の明応地震による津波とされており¹⁸⁾、このほかにも東日本大震災では、岩手県陸前高田市において津波により海浜部が大きく削られた事例もある¹⁹⁾。そこで、想定を超えるケースに着目して津波到達時間を検証するために、今切口の地形を改変した津波シミュレーションを実施することとした。改変した内容は図 11 に示すように今切口の幅を 3 倍に拡大し、さらには導流堤などの津波の流れを妨げるものを全て除去して、浜名湖内により津波が入りやすい条件での検証を行った。また、遠州灘でひずみ蓄積が進んでいることも報告されている²⁰⁾ため、ひずみ蓄積領域で 1000 年分のひずみ蓄積により津波を発生させたケースを用いて津波到達時間を算出した。ひずみ蓄積領域の地震断層パラメータは表 2 に示した通りであるが、ケース 1 はひずみ蓄積が高く求められた場所に合わせて断層の幅を 80km と設定し、ケース 2 では浜名湖の内部に津波がさらに入りやすくなるように断層の幅を 120km と大きく変更している。シミュレーションの結果を図 12 および図 13 に示す。今切口を現況の状態でシミュレーションしたケース 1 では伊目小学校前に津波が到達するまでに 2760 秒、今切口を拡大したケース 2 では、津波の先端が到達するのはケース 1 より大幅に早くなるものの、1cm の高さに達する時間はケース 1 と大幅な違いがないことが明らかとなった。



図11 想定を超える津波シミュレーションのために変更した地形の状況

表2 地震断層パラメータの設定条件

設定項目	設定内容	備考
断層原点	北緯 34.10595, 東経 138.42114	
地震断層の長さ	120km	
地震断層の幅	ケース 1 : 80km、ケース 2 : 120km	
走向	235 度	
すべり量	50m	年間ひずみ蓄積量を 5cm とする
傾斜角	90 度	津波を励起しやすい 90 度を設定
すべり角	10 度	1707 年の宝永地震の断層モデルを参考 ²¹⁾
上端深さ	4km	

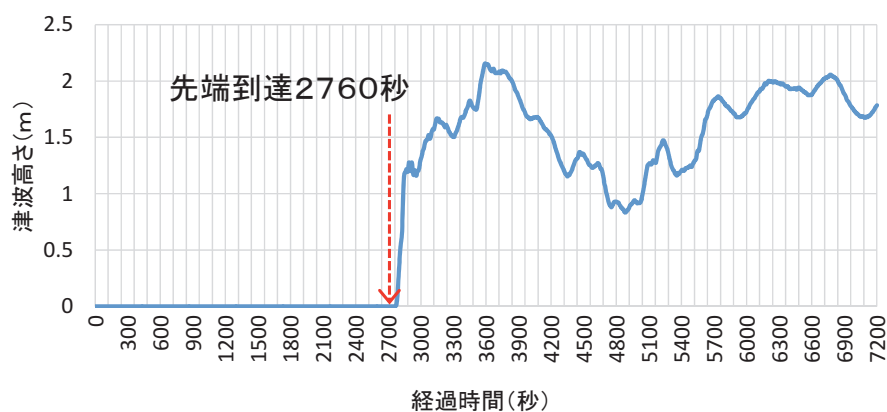


図12 現況の地形を利用してひずみ 1000 年蓄積を想定したシミュレーション



図13 今切口を広げた状態でひずみ1000年蓄積を想定したシミュレーション

4. 避難場所選定に関する考察

静岡県市町村災害史²²⁾によれば、細江町では1707年の宝永地震による津波の高さは5～6mと推定されている。また、現在の今切口を形成したとされる1498年の明応地震では、三ヶ日町で津波の高さが3～4mであったことが紹介されている。一方、同じ明応地震による舞阪町での津波高さは6～8mであったことも紹介されている。今回の津波シミュレーションは3時間分の津波来襲状況を算出したものであるが、これらの史実を踏まえると浜名湖内に入り込んだ津波が振動して6m程度まで高くなる可能性も否定できない。そのため、避難場所の最終目的地を標高6m以上の場所とし、標高6m以下の場所は漂流物や津波火災などの津波被害を受ける可能性があることを前提として避難場所の選択を行う必要がある。

そこで、図14および図15に示すように電子国土Web上に基盤地図情報の数値標高モデル（5mメッシュ）を用いて標高6m未満の場所を標高別に塗り分けたデータを重ねたものを作成した。なお、図14および図15には避難候補地までの考えられる避難ルートについて電子国土Webを用いて距離を計測した結果も示している。なお、想定を超える津波が浜名湖に浸入した場合でも第一波の津波高さは2m程度であることに着目して、避難ルートの中で標高3m未満の場所より脱することができる距離について計測している。

太子堂は地域の避難場所としては考えられるが、避難ルートS1において標高3m未満を脱することができるまでには1,000mもある。東日本大震災での徒歩避難者の避難距離別の避難速度に関する報告²³⁾では、避難距離500～1,000mの避難速度は2.73km/hであり、避難距離1,000～1,500mの避難速度は3.13km/hである。また、愛知県南知多町における小学生行列の避難速度の調査結果では²⁴⁾、直線路か交差点かにより行列の速度が1m/s～2.5m/s程度（時速に換算すると3.6km/h～9km/h）で変化することが報告されている。これらの結果から安全側に考えて、より多くの時間を要する2.73km/hを採用する場合、避難ルートS1において標高3m未満から脱するまでには22分が必要となる。なお、津波避難行動における避難速度については、様々な調査結果が報告されているため、今回の分析で利用したデータは一つの事例として捉え、避難訓練などの機会に実測することが必要である。

白山神社は先に述べたように急傾斜崩壊危険地であるため土砂崩壊によって避難できない可能性が考

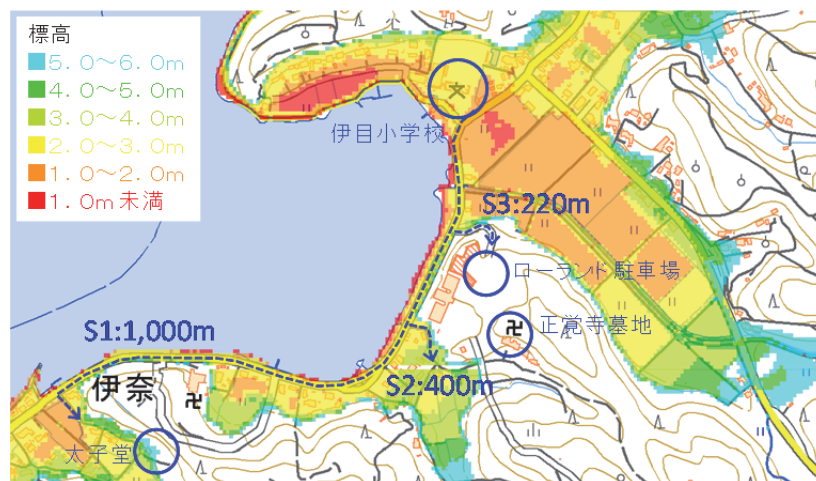


図14 伊目小学校周辺の標高と避難ルート（南側）

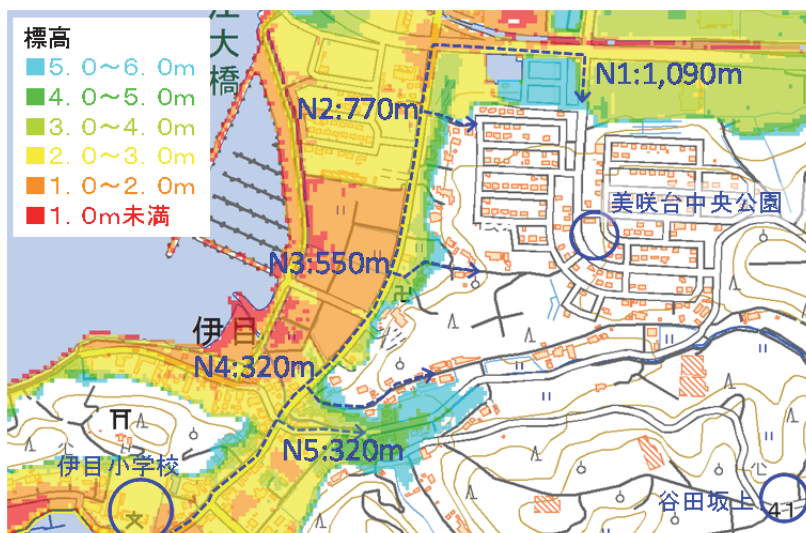


図15 伊目小学校周辺の標高と避難ルート（北側）

えられるうえ、周辺地域からアクセスする道路が津波被害を受ける危険性があるため孤立の可能性がある。

ローランド駐車場や正覚寺墓地は白山神社について学校からは近いが湖岸沿いの道路が漂流物、液化化などにより通行不能となった場合に後背地にアクセスするルートがなく、孤立する危険性が高い。学校から最も近いローランド駐車場までの避難ルート S3 では標高 3m 未満を脱することができるまでは 220m であり、徒歩避難者の避難距離別の避難速度に関する報告²³⁾では避難距離 250m 未満の場合の避難速度は 1.04km/h であるため、13 分を要することとなる。

美咲台中央公園への避難は 5 つのルートが考えられ、標高 3m を脱するまでに距離が最も短い N4 および N5 ルートは 320m であり、徒歩避難者の避難距離別の避難速度に関する報告²³⁾では避難距離 250m ~ 500m の場合の避難速度は 2.09km/h であるとされるため計算上では 10 分を要することになる。しかし、ローランド駐車場と同様に避難速度を 1.04km/h 仮定すると 19 分を要することとなるため、これらの避難に要する時間については避難訓練などの機会を利用して実測することが望ましいと思われる。また、美咲台中央公園への避難ルートの中で最も距離の長い N1 ルートにおいて、太子堂と同様の

避難速度 2.73km/h を仮定した場合、標高 3m から脱するまでに 24 分が必要となる。

以上の結果から、津波到達までの時間が僅かな場合には、ローランド駐車場や正覚寺墓地などの小学校周辺の避難場所を選択せざるを得ないが、図 12 および図 13 に示したように想定を超える津波を考えた場合でも伊目小学校周辺に津波が到達するのは地震発生後 45 分以降である。この 45 分という時間内に湖岸沿いの低地の道路を通り抜けることができれば周辺からのアクセス路も多様な選択肢がある美咲台中央公園が最も適した避難場所と考えられる。

5. まとめ

これまで述べてきた検討結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 地震発生直後に大規模な津波が来襲することはないため、まず地震の揺れから身を守ることを指導・訓練する。
- 2) 校庭においては土砂崩落の心配があるため、校庭中央付近に集まるように指導・訓練する。
- 3) 地震による土砂崩れによって小規模な津波が発生する恐れがあるため、地震発生直後は浜名湖の状況にも留意する。可能であれば、僅かでも高さがある場所に一時的に避難をすることが望ましいと思われる。
- 4) 学校周辺が浸水するような大規模な津波については、現在の想定を超えるケースを検討しても 45 分以降に到達する。最も遠い美咲台中央公園までの N5 ルートを想定した場合には標高 3m を脱するまで 24 分を要することが算出された。よって、遅くとも地震発生より 20 分を目安に避難行動を開始することが望ましいと思われる。
- 5) 避難速度については様々なデータが発表されているため、避難訓練などの機会に実測することで伊目小学校の状況に合致する時間を決めることが必要である。

謝 辞

今回の検討にあたり浜松市教育委員会保健給食課の井口幸英様をはじめとする保健給食課の皆さま、伊目小学校の先生方および伊目地区の皆様が大変お世話になりました。また、この検討は常葉大学の平成 28 年度 地域交流・連携推進事業の一環として行わせて頂いたものであります。ここに記して深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省：学校安全の推進に関する計画，http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/anzen/_icsFiles/afieldfile/2012/05/01/1320286_2.pdf（参照 2016.09.19）
- 2) 毎日新聞：<http://mainichi.jp/articles/20160606/k00/00e/040/204000c>（参照 2016.09.06）
- 3) 静岡県教育委員会：静岡県防災教育基本方針，60p.，2013.
- 4) 阿部郁男：東日本大震災による静岡におけるソフト津波防災の見直し，日本地震工学会誌，No.19，pp.33-36，2013.
- 5) 気象庁：緊急地震速報のしくみ，<http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/nc/shikumi/shikumi.html>（参照 2016.09.19）

- 6) 静岡県地理情報システム, <https://www.gis.pref.shizuoka.jp/> (参照 2016.08.02)
- 7) 気象庁: 震度について, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/index.html> (参照 2016.09.19)
- 8) 中央防災会議南海トラフの巨大地震モデル検討会: 津波断層モデル編ー津波断層モデルと津波高・浸水域等について」, 100p., 2012.
- 9) 熊本県土砂災害情報マップ, <http://sabo.kiken.pref.kumamoto.jp/website/sabo/index.html> (参照 2016.08.02)
- 10) 安田進: 地震と土砂災害, 日本損害保険協会, 予防時報, 236号, pp.22-27., 2008.
- 11) 防災科学技術研究所: 防災基礎講座 自然災害について学ぼう, http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/houkai/slide.htm (参照 2016.09.19)
- 12) 宮城県: 荒砥沢ダムの紹介, <http://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kh-dam/aratozawa-gaiyou.html> (参照 2016.09.19)
- 13) 渡辺偉夫: 日本被害津波総覧 [第2版], 東京大学出版会, 236p., 1998.
- 14) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫: GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-360, 1998.
- 15) 北海道電力: 泊発電所の基準津波について, <https://www.nsr.go.jp/data/000160687.pdf> (参照 2016.09.19)
- 16) 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会: 1923 関東大震災, 242p., 2006.
- 17) 北海道電力: 泊発電所の基準津波に関するコメント回答, http://www.hepco.co.jp/energy/atomic/info/pdf/examination_meeting_263_2.pdf (参照 2016.09.19)
- 18) 矢田俊文: 中世の地震と噴火, 朝日新聞出版, 日本列島地震の2000年史, pp.128-133.2013.
- 19) 国土交通省: 高田松原地区の現状, 第1回岩手県における復興祈念公園基本構想検討調査有識者委員会資料, http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b061111/kenseibup/memorial_park/iwate/file/prev/iwate_committee01_05.pdf (参照 2016.09.19)
- 20) 海上保安庁: 南海トラフ想定震源域のひずみの分布状態が初めて明らかに, <http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h28/k20160524/k160524-1.pdf> (参照 2016.08.05)
- 21) Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda, A revised tsunami source model for the 1707 Hōei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan., *J. Geophys. Res.*,v116,B02308, doi:10.1029/2010JB007918,2011.
- 22) 静岡県地震防災センター: 静岡州市町村災害史, <https://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/saigaishi/index.html> (参照 2016.09.19)
- 23) 国土交通省都市局街路交通施設課: 津波避難を想定した避難路、避難施設の配置及び避難誘導について (第3版), 230p., 2013.
- 24) 森田匡俊, 小池則満, 小林哲郎: 2.GPS データを用いた小学生の集団避難行動の分析, 愛知工業大学 地域防災研究センター 年次報告書, Vol.10, pp.34-38., 2013.