

地震時の副次的災害による 被害を考慮した避難経路の考察

土佐高等学校

1.はじめに

高知県では、東北地方太平洋沖地震での津波被害を教訓にして近い将来発生する南海トラフ巨大地震での人的被害軽減のため、各地で避難訓練を実施しており住民の安全かつ迅速な避難を促している。しかし、このような訓練下において、実際に起こりうる建物倒壊や地盤の液状化などによる道路閉塞や、避難者の歩行速度の低下などの影響は考慮されていない。実際に起こりうる災害を念頭に置いた避難訓練を行うために、実態に即した避難を検討することが重要である。

実際に起こりうる災害の避難への影響は、市川ら(2004)の「建築物の倒壊」による道路閉塞や村上ら(2015)の「地盤の液状化」による津波避難困難エリアの抽出などの先行研究がある。しかし、複数の災害の多角的な検討はいまだになされておらず、現実的な避難時間を考慮した避難経路は策定されていない。そこで、「建築物の倒壊」「地盤の液状化」「急斜面の崩落」の3つの副次的災害が避難に与える影響の検討と、新たな避難行動の構築を行う。

2.研究対象について

本研究は、高知県高知市潮江地区を対象に実施した。研究対象地震は、高知県が平成24年12月に発表した「南海トラフ巨大地震による被害想定」での最大クラスの地震・津波とする。被害推計は、高知県全体で死者数約42,000人、全壊家屋80,000棟、直接経済被害額は9.2兆円である。高知市の津波最短到達時間は地震発生後約14分であり、想定最高津波高は約9m、想定津波浸水面積は約25.99km²である。

3.研究方法

実際に起こりうる災害(=副次的災害)を「建築物の倒壊」「地盤の液状化」「急斜面の崩落」の3つとし、これらが避難に及ぼす影響を計算する。

さらに現実的な避難の検討のため、3つを同時に考えた場合の避難を、現状の避難路での避難と、新たな避難路を活用する避難、の2つを歩行速度別に検討する。

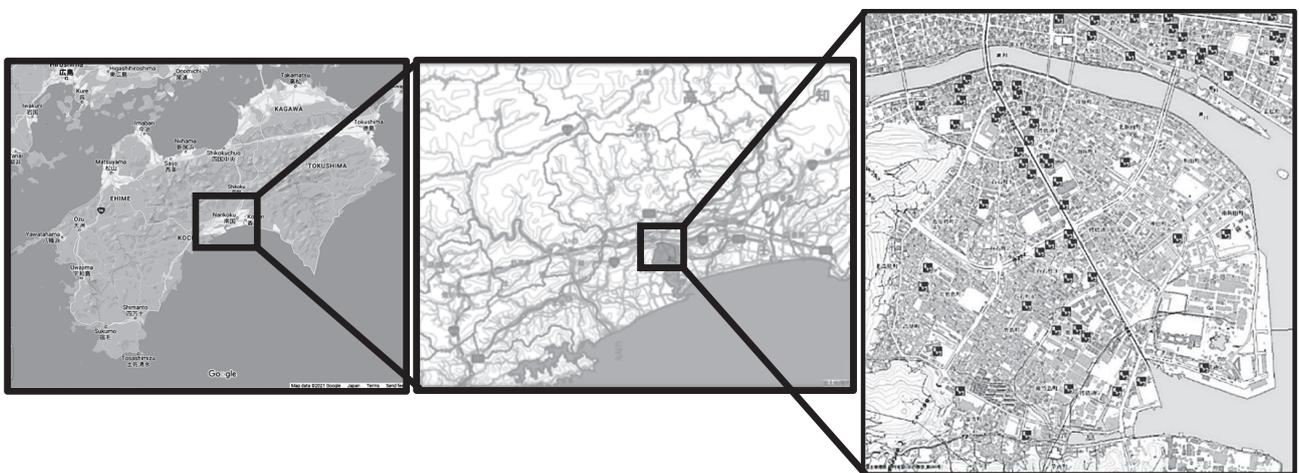


図-1 研究対象地域の位置関係
(Googleマップ・地理院地図に付加して掲載)

1) 建築物の倒壊による避難への影響

①地域内の建築物の特性の調査

対象地域内には木造建築物が1,009棟、非木造建築物が202棟あることが徒歩調査により明らかになった。これらの種類・建築年代は総務省統計局「住宅・土地統計調査報告」の値を利用する。

②道路閉塞率の地図化

建築物の被害率曲線（図-3）の建築年代別平均倒壊率と、建築物年代別割合とで、建物種類別の1棟当たりの平均倒壊率を算出する。全ての道路について、そこに面する建築物の数を調べる。地震時に建築物は道路側を含む4方向に倒壊する可能性があり、建物

$$P_B = \left\{ 1 - \left(1 - \frac{P_W}{4} \right)^{N_W} \times \left(1 - \frac{P_{nW}}{4} \right)^{N_{nW}} \right\} \times 100$$

P_B : 道路閉塞率 (%)

P_W : 木造建築物の倒壊率 N_W : 木造建築物の数
 P_{nW} : 非木造建築物の倒壊率 N_{nW} : 非木造建築物の数

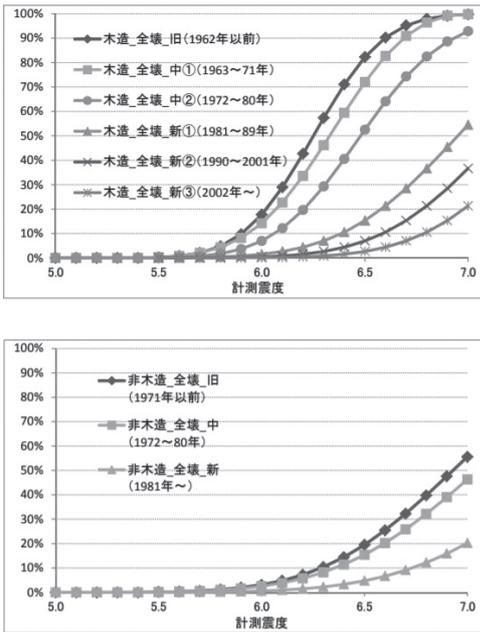


図-2 建物の被害率曲線

道路側に倒壊するとき必ず道路閉塞を引き起こすと仮定すると、倒壊率÷4によりその建物の道路閉塞率を算出できる。建築物数と道路閉塞率との関係を新たに定式化し、これを全道路で計算し地図化する（図-4）。

③避難行動における建築物の倒壊の影響の検討

この地域の地震動継続時間は3分超のため、地震動収束直後（地震発生後4分）でないと避難開始できず、避難所到着後、垂直避難に2分を要する。最短津波到達時間は30～40分のため、実質的避難時間は、（津波到達時間）-（2+4）=24～34分以内である（図-5）。建築物の倒壊を考慮すると、訓練同様、安全な避難が可能かを検討する。建築物倒壊による影響を考慮しない避難と考慮する避難（閉塞率50%以上、40%以上の道路は避難に使用しない）の3パターンで比較する。

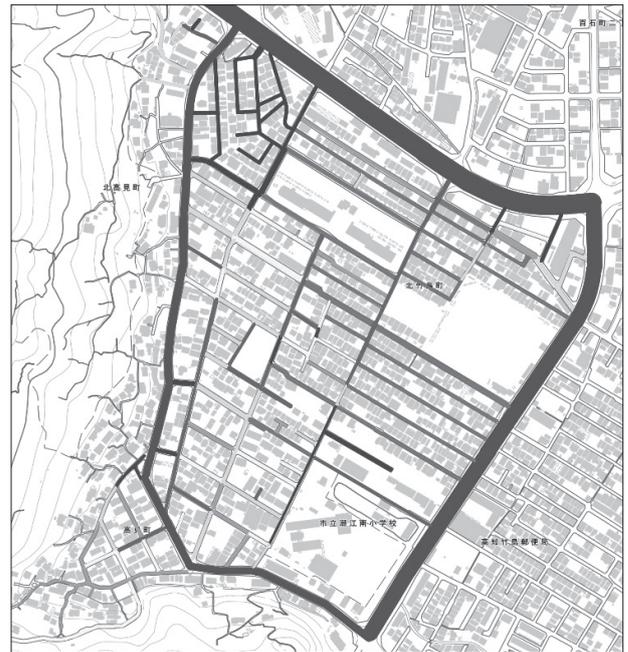


図-3 各道路での道路閉塞率

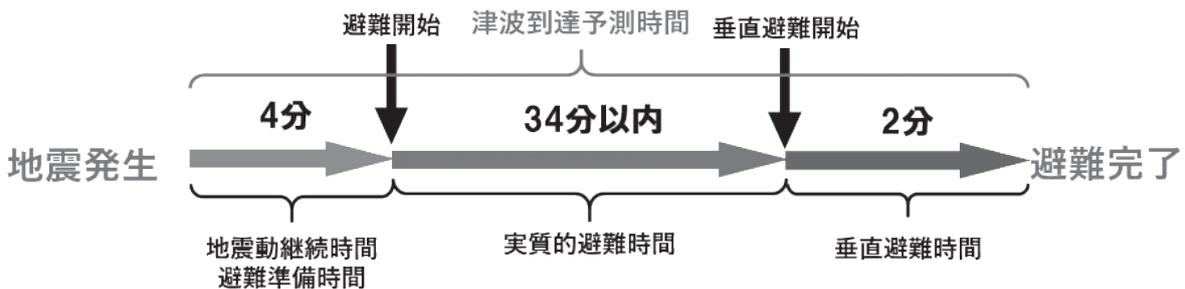


図-4 避難時間の設定

2) 地盤の液状化による避難への影響

最初、液状化評価を高知県公開の250mメッシュハザードマップの利用を考えたが、メッシュ1つ分が広く、ピンポイントでの検討に難があった上に、実際の地盤情報から作られていないことを知り、正確性に疑問を感じたため、今回は自分自身で125mメッシュハザードマップを作成し、利用した(図-6)。

①125mメッシュマップの作製

約140本のボーリングデータを、道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)の液状化指数(PL値)の計算法でメッシュごとに計算した。ボーリングデータのないメッシュでは周辺のデータから地層を補完し、計算した。

②各避難路の液状化による道路被害の推定

液状化被害の可視化のため、梶原ら(2016)から各避難路での想定路面沈下量を算出する。液状化発生時には沈下量と等量の地下水が噴出し浸水を起こすため、路面沈下量と浸水量は同値とし、液状化による浸水の深さを地図化した。(図-7)

③避難行動における液状化の影響の検討

道路閉塞は浸水深が30cmの時と仮定し、避難では路面浸水量が30cmを超える道路は使用せず、他の道路では浸水により避難速度が低下することとする。ここで、避難速度と浸水深の関係は、国土交通省「地下空間における浸水対策ガイドライン」により次の式で定義する。

$$v = t \times \left(1 - \frac{x}{70}\right)$$

v : 浸水状態での歩行速度

t : 通常状態での歩行速度(0.62m/秒),

x : 浸水深(cm)

液状化による被害を考慮しない避難と考慮する避難の2パターンで避難の検討を行った。

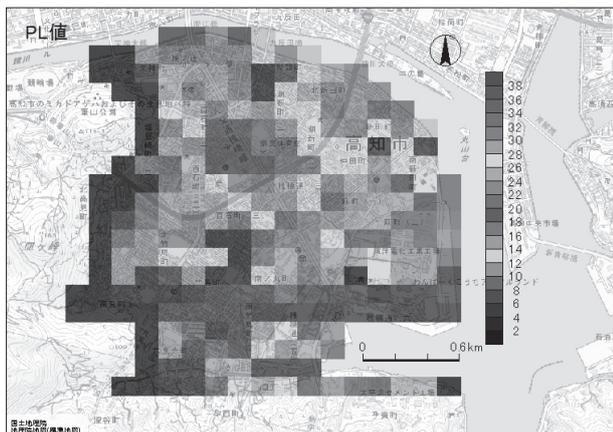


図-5 自作した液状化125mメッシュハザードマップ



図-6 各避難路での液状化による想定路面沈下量(=浸水量)

3) 急斜面の崩落による避難への影響

①崩落危険性の高い地域の抽出

高知県土砂災害危険箇所マップから急傾斜地警戒区域を抽出する。(図-8)

②避難行動における急斜面の崩落の影響の検討

日本道路協会道路震災対策委員会(1986)より、この地区の全ての急斜面警戒区域は崩落危険性が高く、ここを通過する避難路については安全のため使用しないこととする。この下で、急斜面の崩落による被害を考慮しない避難と、考慮する避難の2パターンで検討した。

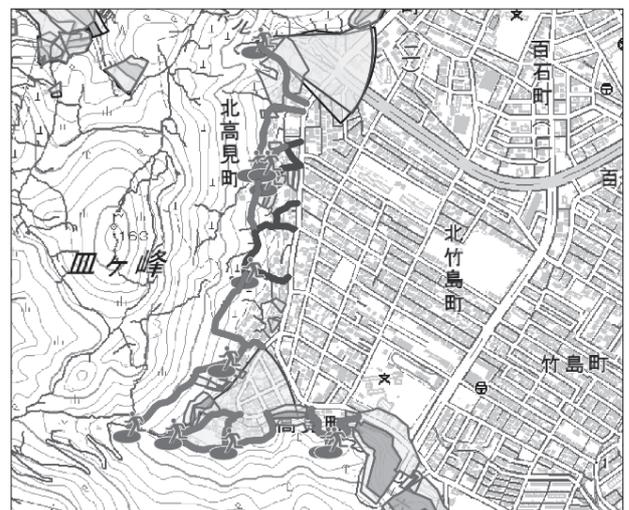


図-7 山側への避難路と崩落危険箇所

4) 現実的な避難の検討

現実的避難の検討のために3つの影響を複合的に考えた場合の避難を、現状の避難路での避難と、新たな避難路を設定する避難を、避難速度別に検討する。避難検討の際、避難者は影響が最小となる避難（建築物倒壊による道路閉塞率30%以上の道路、液状化による路面浸水量30cm以上の道路、崩落危険性のある避難路、を使用しない。）を行う。また、1)、2)、3)では、避難場所の収容人数を考慮していない。ただし、実際は収容人数に限界があり、特に津波避難ビル③の収容数は67人と少ないためここへの避難はほぼ不可能である。ここでは、津波避難ビル③への避難は考慮しないこととする。

1) 避難行動における3つの副次的災害の影響の同時検討

訓練同様、3つの影響を考慮しない避難と、考慮する避難の2パターンの検討を行う。これらを歩行速度別に検討し、訓練との乖離を調べる。ここで、避難速度は東日本大震災避難実態調査「徒歩での避



図-8 対象地域の指定避難場所

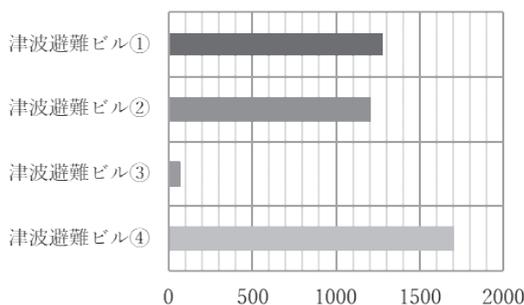


図-9 指定避難場所の収容可能人数

難速度の平均値」より、一般人の避難が 0.62m/秒 (2.24km/時)、「乳幼児や高齢者など歩行速度が遅い同行者がいた」避難が 0.46m/秒 (1.66km/h)とする。

2) 新たな避難路の発見と提案

対象地域では近年空き家が増え、そこを駐車場として活用している場合がよくある。そこで、1)に加えて、新たな避難路として通り抜け可能な駐車場などの私有地を、避難経路の一部として活用する場合の避難を考える。これも避難速度別に2パターン検討する。

4.結果

(1) 建築物の倒壊による避難への影響

本研究で定めた道路閉塞率は、現行の方法（倒壊時に発生する瓦礫の流出幅の計測結果から通行可能性を調べる方法¹⁾）と比較し、建築物数と、建築物倒壊率との2つの情報から算出する容易な方法であった。

避難の検討について、建築物の倒壊による道路閉塞等の被害を考慮しない避難では、平均 225m 、 6.1分 、最大で 415m 、 11.2分 で避難できるため、すべての避難者が安全かつ迅速に避難できることがわかる。道路閉塞率50%以上の道路を使用しない避難では、道路閉塞により、住民の約10%が、道路閉塞率40%以上の道路を使用しない避難では、住民の約25%が避難できない。避難できても、迂回を強制され、避難時間が最大1.5倍増加する地域がある。

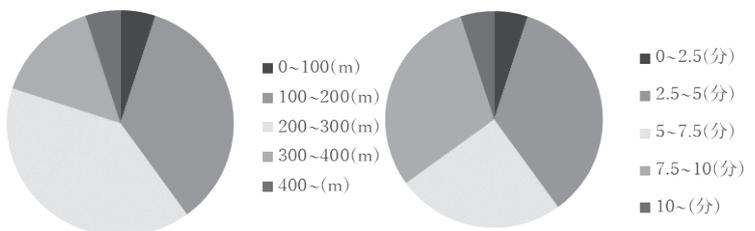


図-10 現行の避難訓練での避難距離と避難時間

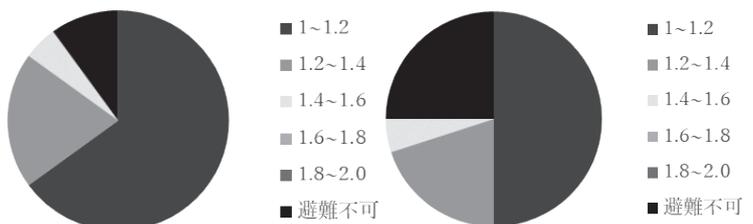


図-11 道路閉塞率50%以上 (左), 40%以上 (右)の道路を使用しない場合の避難時間の増加率 (倍)

(2) 地盤の液状化による避難への影響

自作したハザードマップは、現行より4倍詳細となり、20色の詳細な色分けにより、現行では考慮できないピンポイントでの評価が可能となった。

液状化被害を考慮しない避難では、ほとんどの住民が24分以内で避難可能であり、避難開始15分で、全体の70%が避難完了できるなど、余裕を持った避難行動が可能である。避難困難区域は対象地域内でも避難場所まで距離がある南側の工業地域の一部地域のみにとどまっている。

液状化の影響・被害を考慮する避難では、液状化による路面浸水により道路閉塞が予測される。液状化の激しい地域では迂回が必要となり避難に最長30分かかり、津波到達までに避難できない場合がある。避難時間の増加率は液状化を考慮しない場合と比べて最大1.5倍である。避難困難区域は南側の工業地域に加え、北側の住宅地域の一部に広がった。

(3) 斜面崩落による避難への影響

高台へ避難する人は、全住民の約4分の1を占める。こ



図-12 県が公開している液状化可能性予測地図(左)
自作した液状化予測地図(右)(地理院地図に加筆)(同地域・同縮尺)

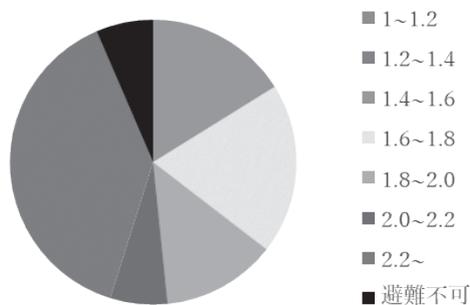


図-13 液状化を考慮したときの避難時間増加率



図-14 液状化を考慮しない場合の避難困難地域



図-15 液状化を考慮する場合の避難困難地域

のうちの約70%が急斜面の崩落による道路閉塞で高台へ向かえず、避難場所を変更する必要が生じる。これによって、避難時間は平均1.5倍、最大1.6倍長くなる。

(4) 安全な避難のために

1) 避難行動における3つの副次的災害の影響の同時検討

「建築物の倒壊」「地盤の液状化」「急斜面の崩落」の3つの副次的災害による被害・影響を考慮した避難について、避難速度が0.62m/秒の場合では、避難距離は平均320m、最大625mに伸び、増加率は平均1.68倍、最大3.13倍である。避難時間は平均9.7分、最大20.7分に伸び、増加率は平均1.91倍、最大3.73倍である。液状化による避難速度の低下や、建築物の倒壊、急斜面の崩落による避難路の迂回により、避難距離・避難時間が大幅に増加する。また、約3割の避難者が道路閉塞に巻き込まれるなど安全な避難路がなく、避難できない可能性がある。

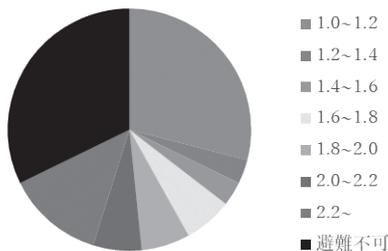


図-16 避難速度が0.62m/秒の場合の避難距離の増加率 (倍)

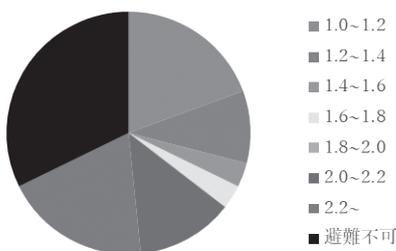


図-17 避難速度が0.62m/秒の場合の避難時間の増加率 (倍)

歩行速度が0.46m/秒の場合の避難では、避難速度がさらに低下し、避難時間が平均13.1分、最大27.6分に延びる。この地域の実質的避難時間が24~34分であるから、地域によっては避難できない可能性がある。

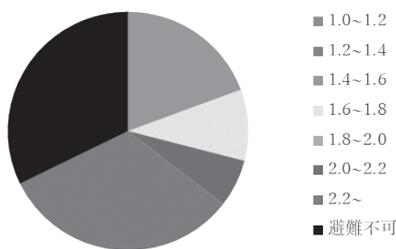


図-18 避難速度が0.46m/秒の場合の避難時間の増加率 (倍)

2) 新たな避難路の発見と提案

1) に加え、私有地を避難経路の一部として活用する場合の避難では、避難距離は平均331m、最大625mに伸び、増加率は平均1.68倍、最大3.13倍。避難時間は平均10.2分、最大20.7分に伸び、平均1.78倍、最大3.73倍となる。また、避難路変更前では安全な避難ができない人が全体の3割を占めていたのに対し、新たな避難路の設定により1割以下に減らすことができた。

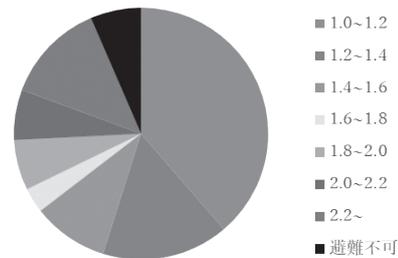


図-19 新たな避難方法を利用する避難で避難速度が0.62m/秒の場合の避難距離の増加率 (倍)

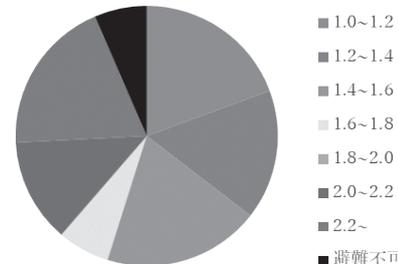


図-20 新たな避難方法を利用する避難で避難速度が0.62m/秒の場合の避難時間の増加率 (倍)

歩行速度が0.46m/秒の場合の避難では、避難時間がさらに増大し、平均13.7分、最大28.7分に伸び、増加率は平均2.39倍、最大5.10倍である。実質的避難時間は24~34分であるため、一般の人が避難訓練において10分以内で避難できない地域では歩行速度の遅い人は、安全な避難が困難な可能性がある。そのような距離は0.64 (m/秒) ×600秒=384mである。したがって、避難距離が384m未満の地域は潜在的な危険をはらんでいる地域といえる。これを考えると、現在の避難訓練では不十分であることが言える。

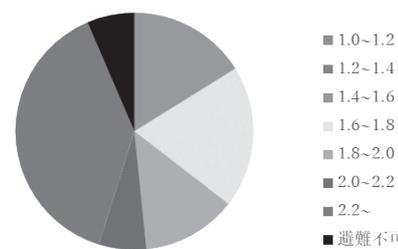


図-21 新たな避難方法を利用する避難で避難速度が0.46m/秒の場合の避難距離の増加率 (倍)

5. 結論

本研究は、現実的な津波避難対策及び訓練の実施の

ために、「建築物の倒壊」「地盤の液状化」「急斜面の崩落」の3つの副次的災害による避難への影響を考慮した避難を検討した。対象地域では、3つの影響により避難距離や時間が増大すること、津波到達までに避難ができない市民がいることが分かった。そのため、現状以上に余裕を持った避難行動の実践や多数の避難路の確保、避難路のハード的対策、今回提唱した方法などの必要性が浮き彫りとなった。この避難検討は、市民が影響を認識しているうえでの避難であった。しかし、現段階ではどの避難路が被害を受けるのか、安全なのか、という具体的な情報は公表されていない。そのため、震災時には安全な避難路を探しつつ避難する必要がある、この研究での試算より避難時間がかかり、著しい被害が発生することが容易に考えられる。

今後の課題として、副次的災害により安全な避難が困難となる地域が存在することや、安全な避難路を具体的に周知する必要がある。また、各地域で安全な避難のための対策を議論し、新たな避難所を確保する、現段階の危険地域など情報の住民への周知を徹底する、ということが安全な避難の実施に向けて必要になるだろう。また、研究対象でない地域も同様の被害の発生が予測される。特に宮崎市や静岡市など太平洋に面する都市では日向灘―南海―東南海―東海地震の発生が予測されており、また、人口が密集していることから、建築物の倒壊により道路閉塞が多数発生する可能性がある。

また、今後、さらに現実的な避難を考えるためにも、火災や屋外設置物の転倒・落下や、天候・季節・時間帯による避難速度の低下、避難者の怪我、COVID-19による三密の回避などの社会情勢による避難の困難などを考慮したい。また、実際、緊急車両の通行が困難になり人命救助に影響した事例もある。そのため、緊急車両通行のための道路も考える必要がある。

今後、様々な影響により避難に予想以上の時間がかかり人的被害を発生させる、ということを市民の皆様知ってもらい、これからの防災に役立てていただきたいと願っている。

6.参考文献

- 市川 総子, 阪田 知彦, 吉川 徹 「建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を考慮した避難地への到達可能性に関する研究」Theory and Applications of GIS, 2004, Vol.12, No.1, pp.47-56

- 村上啓介,前原翔太,椎葉倫久,「浸水域の時間的広がり」と地盤の液状化を考慮した津波避難困難エリアの抽出に関する研究」土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.71, No.2, pp.707-712 2015年
- 高知県防災マップ(最終閲覧日2020年7月19日)
<http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp>
- こうち地盤情報公開サイト 高知地盤情報利用連絡会(最終閲覧日2020年7月21日)
<https://publicweb.ngic.or.jp/etc/kochi/webgis/>
- 社会法人日本道路協会「道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)」2017年
- 梶原和博, R. M. Pokhrel, 清田隆, 小長井一男「液状化による道路沈下量とPL値の関係に基づく新たな液状化危険度マップの構築」土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.72, No.4(地震工学論文集第35巻), pp.234-240 2016年
- 東日本大震災合同調査報告書編集委員会「東日本大震災合同調査報告 総集編」2016年
- 高知市津波避難マップ「潮江 潮江南 潮江東小学校区」
- 国土交通省: 地下空間における浸水対策ガイドライン 2002年
- 高知市 平成 25 年住宅・土地統計調査結果(確報) - 高知県の概要 -
- 内閣府南海トラフの巨大地震建物被害人的被害の被害想定項目及び手法の概要 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)(平成24年8月29日発表)
- 高知県土木部防災砂防課 高知県土砂災害危険箇所マップ
- 日本道路協会道路震災対策委員会(1986)

7.謝辞

国立研究開発法人海洋研究開発機構高知コア研究所の廣瀬先生並びに谷川先生、濱田先生、岡崎先生にはたくさんのご助言を戴きました。また、高知県南海トラフ地震対策課の川原正人様には、現行のハザードマップのデータを提供していただくなど、多くの協力をいただきました。協力してくださった皆様に深く感謝いたします。

土佐高等学校