

漁村集落における低未利用地活用による  
津波避難安全性向上効果の評価に関する研究  
-沼津市戸田地区を対象として-

Study About Evaluation of Improving Safety of Tsunami Evacuation by the Utilization  
of Low-unused Land on Fishery Village: The Case of Heda Area, Numazu City

平成 30 年 2 月

常葉大学大学院 環境防災研究科

安藤裕

# 漁村集落における低未利用地活用による津波避難安全性向上効果の評価に関する研究 -沼津市戸田地区を対象として-

## Study About Evaluation of Improving Safety of Tsunami Evacuation by the Utilization of Low-unused Land on Fishery Village: The Case of Heda Area, Numazu City

安藤裕 （常葉大学大学院環境防災研究科 修士課程）

Hiroshi ANDO Graduate student, Graduate school of Environment and Disaster Research, Tokoha University

### 1.はじめに

南海トラフ地震では、関東から九州までの広範囲の沿岸部に大津波が襲来すると想定されているが、用地確保の困難性や地元の反対などから防潮堤整備が困難なため、避難対策のみを先行して考えざるを得ない地区も存在する。

近年では低未利用地や所有者不明土地など土地にまつわる様々な問題が顕在化しており、防災や街づくりの妨げとなるケースも多々報告されている。特に、空き家は地震時に倒壊危険性が高く、道路閉塞による避難の妨げとなりうるが、一方でこうした低未利用地の存在は、これを除却して防災上有効な空間として整備を進めることで避難安全性を向上させるポテンシャルを持っていると見ることできる。

本研究は低未利用地の利活用によって漁村集落での避難安全性の向上を図るものである。

### 2.既往研究

都市部の密集市街地において空き家の防災空間としての活用可能性を検証したもの<sup>1)</sup>、木造建物の耐震化によって道路閉塞を減らし、避難可能な人数と避難時間の向上が見込めるとしたもの<sup>2)</sup>などがあるが、低未利用地の利活用と津波避難安全性の向上を扱ったものは無い。また、その実行可能性にまで踏み込んで検証したものは少ない。

### 3.研究目的

本研究は狭隘道路が多く、過疎化により空き家が多いと予測される漁村であり、地震発生直後に津波が到達されると想定される沼津市戸田地区において現状の分析とそれに基づく改善策の提案と検証を行うことで低未利用地の利活用の有効性を明らかとすることを目的とする。また、費用面等から利活用の実行可能性についても検証する。

### 4.対象地区

沼津市戸田地区中心部を対象地区として選定した。対象地区内の人口は約 1500 人であり、地震発生から 5 分ほど海岸に津波が到達すると想定されている。

### 5.分析の準備

過去の震災時の倒壊率に関するデータから構造及び建築時期ごとの倒壊率を設定した。この倒壊率と現地の建物及び道路状況に基づいて GIS 上で瓦礫流出範囲を再現し、以降の道路閉塞判定を行う。

### 6.現状の避難安全性の分析

対象地区内の 353 地点についてそれぞれの地点からの避難猶予時間に基づいて安全性を検証した。戸田地区では全体的に避難行動における猶予時間が少ないこと、海沿いの 89 地点ではどう行動しても避難行動中に津波に襲われ

るという結果が示された。

続いて道路閉塞を発生させて分析を行い、避難猶予時間によって避難が可能であるか判定した。多くの地点で非閉塞時に比べて避難猶予時間に悪化が見られ、経路が袋小路となっている地点は孤立率も高くなる傾向にあるという結果となった。

### 7.改善案の提案と効果の検証

現状の分析を基に建物の除却と低未利用地の経路化による改善案を作成し、対象地区内の 3 地区でその効果を検証した。除却する建物については住宅地図及び現地調査から住家等ではないと判断したものの中から選出した。

3 地区とも多くの地点で避難猶予時間に改善が見られ、特に袋小路の地点では経路を新設し二方向避難を可能することで避難可能率に大きな改善が見られた。また、迂回路を整備することで道路閉塞による影響を軽減する効果も得ることができた。

一方で津波到達時間と計測地点から避難先への距離の関係によっては経路上に閉塞が無い場合でも避難猶予時間が負の値となることから、改善案の手法では対応が不可能な地点も存在し、限界があることも示された。

### 8.改善案の実行可能性の検証

改善案によって発生する諸費用と固定資産税の変動を算定した。地価の低い戸田地区では解体に伴う固定資産税の変動が抑えられること、空き家の除却は津波避難以外にも様々な効果があること、除却に要する費用は耐震化よりも抑えられるとみられることなどから、除却を伴う改善策は十分な実行可能性があることを示した。

### 9.まとめ

現状分析により戸田地区の津波避難上の問題点を明らかとし、改善案によって避難安全性が向上することを示し、低未利用地の利活用が有効であると示した。また、費用面などから改善案の実行可能性についても検証を行った。

今後の課題としては他の津波避難対策との組み合わせによる効果の検証や空き家所有者の意思の確認などが挙げられる。

### 参考文献

- 1) 中井翔太、嘉名光市、佐久間康富(2012):『密集市街地における空き家の実態とその「防災空間」としての活用可能性に関する研究：大阪市鶴橋地区を対象として』、都市計画論文集 47(3)、pp.1063-1068
- 2) 伊藤恵理、川瀬博、松島信一、畑山満則(2015):『予測強震動を用いた建物倒壊想定に伴う道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーション』日本地震工学会論文集 15(5)、pp.17-30

## 目次

1.はじめに	1
2.既往研究	2
3.研究目的	4
4.対象地区	
4-1.対象地区の選定	5
4-2.対象地区の概要	6
4-3.対象地区の防災性の把握	
4-3-1.地震津波想定	7
4-3-2.防災施設の整備状況	8
5.分析の準備	11
5-1.想定災害の設定	11
5-2.GIS データの作成	11
5-3.倒壊及び道路閉塞の判定	13
6.現状の避難安全性の分析	21
6-1.避難猶予時間	21
6-1-1.基準猶予時間	22
6-2.避難可能率	24
6-3.避難可能者数	26
7.改善案の提案と効果の検証	
7-1.改善案の方針	27
7-2.検証地区の選定	27
7-3.検証地区ごとの改善案とその効果	28
7-3-1.北部：鬼川地区南部	28
7-3-2.中央部：小中島地区・大中島地区	34
7-3-3.南部：口南地区・奥南地区	39
7-4.検証のまとめ	43
8.改善案の実行可能性の検討	44
8-1.建物の解体と固定資産税	44
8-2.除却・転用費用及び固定資産税の推定	44
8-3.試算と分析	46
8-4.改善案の費用推定	47
8-5.他の手法との比較	48
8-6.経路新設及び建物除却の評価のまとめ	49
9.まとめと今後の課題	50
謝辞	51
参考文献	52

## 1. はじめに

南海トラフ地震については最大クラスの地震が発生した場合関東地方から九州に至るまでの広い地域に 10m を超える大津波が襲来すると想定されており、沿岸部各地では平成 23 年の東日本大震災の教訓も踏まえて様々な津波災害への対策が進められている。

しかしながらその全てが順調に進んでいるわけではなく、例えば静岡県では「レベル 1 津波に対する津波対策施設（海岸の整備）」<sup>1)</sup>について平成 28 年度末時点で数値目標として設定された 65%に対して実績は 1%(但し 49%で調査、設計、工事いずれかに着手済み)に留まるなどしている。熱海市や伊東市などでは観光や日常生活での利便性を重視して高い防潮堤の建設を望まないため、避難対策の充実を進めざるをえない地区も存在している。

また、近年では低未利用地や所有者不明土地などに代表されるような不動産にまつわる問題も顕在化しており、これらが防災やまちづくりの妨げとなるケースも発生している。

なお「低未利用地」とは長期間に渡り適正に利用されていない「未利用地」(空地、空き家、工場跡地、耕作放棄地等)と、周辺に比べて利用の程度が低い「低利用地」(青空駐車場、資材置場等)を総称したものである。

住宅土地統計調査<sup>2)</sup>によれば全国の総住宅数に占める空き家の割合は 2013 年時点で 13.5%となり、過去最高であった 2008 年の 13.1%をさらに上回った。空き家は老朽化したものが多く、災害時の避難経路確保の妨げとなることが懸念されていることから、名古屋市や神戸市など数多くの自治体では空き家の除却に対して助成が行われている。見方を変えてみると、空き家を除却した土地を防災上有効な空間として活用することができれば危険要素を取り除くと同時に地域の防災性を高めることが可能であり、空き家は地域の安全に寄与するポテンシャルを持っている存在ととらえることも可能である。実際に柳川市などは老朽家屋の除却跡地を利用して狭隘道路の拡幅や防火水槽の設置など行い、防災性の向上を図っている。

これらを踏まえて津波避難について考えた時、放置された空き家は地震による倒壊の危険性が高く、道路閉塞を発生させ避難の妨げになるリスクを抱えていると同時に、除却・整備を通じて安全な避難経路としてのポテンシャルを持っていると見ることもできる。

本研究はこうした空き家や低未利用地に着目し、その利活用を計ることによって老朽家屋や細街路が多く、避難路に脆弱性を抱える傾向にある漁村集落における津波避難安全性の向上を図るものである。

## 2. 既往研究

①中井翔太、嘉名光市、佐久間康富：密集市街地における空き家の実態とその「防災空間」としての活用可能性に関する研究：大阪市鶴橋地区を対象として<sup>3)</sup>

この研究では大阪市鶴橋地区の密集市街地を対象として空き家敷地を潜在的な防災上有効な空間としてとらえ、その活用による防災性改善の程度を解明するものである。空き家敷地の道路化、空き家敷地を活かした道路拡幅、空き家敷地の一時避難所としての活用などの検討を通して従来の整備手法より即時的かつ高効率に高い整備効果を得られるとしている。

但し敷地の権利者の意向や買収及び整備主体については十分に考慮していないため研究課題であるとしている。

②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<sup>4)</sup>

この研究では密集市街地での建物倒壊及び道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を分析している。町丁目単位の集計モデルや仮想市街での確率モデルに基づく既往の手法に比べて現地の状況をより正確に反映できる GIS によって倒壊状況の生成を行うことで、従来よりも詳細に街路の避難危険度の評価を行ったものである。

このシミュレーションでは道路幅員に限らず道路に隣接する建築物の状況が道路閉塞状況に影響を及ぼすことが推測されている。

③伊藤恵理、川瀬博、松島信一、畑山満則：予測強震動を用いた建物倒壊想定に伴う道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーション<sup>5)</sup>

この研究は建物被害の津波避難への影響を明らかにするために強振動の応答解析に基づいて建物被害を予測し、木造住宅の倒壊に伴う道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーションを行ったものである。

避難場所の配置や収容人数の妥当性を評価すると同時に、耐震化率を向上させることで道路閉塞を減らし、避難可能な住民数の増加と避難完了に要する時間の短縮が見込めるとしている。

### ○既往研究との差別化点

本研究は地震発生から津波到達まで時間的猶予の少ない漁村地区を対象として地域特性上多いと考えられる低未利用地を潜在的な避難経路として評価を試みる点において密集市街地における空き家敷地の避難路及び避難場所への転用を検討した中井ら、津波避難において耐震化によって道路閉塞リスクを軽減させることで避難の安全性が高まるとした伊藤

らと異なる。

また、低未利用地の経路転用についてその経路転用に要する費用などを推定し、その実行可能性を検証する点においても特徴を有するものである。

### 3. 研究目的

南海トラフ巨大地震では最悪の場合、10m の大津波が襲来するとされているが、用地確保の困難性や観光及び日常生活への影響を懸念する地元の反対などから防潮堤整備が困難、又は難航しているために避難対策のみを先行して検討せざるを得ない地区も存在する。

そのような地域の中でも伊豆半島西岸部や紀伊半島南部、高知県などの地震発生後の10分後には津波が到達すると想定されている地域では避難に際して時間的猶予が非常に短く、防潮堤に頼らない津波対策を進めるにあたって避難経路の安全性がより重要な環境であると言える。

漁村の置かれている現状についての水産庁の調査<sup>9)</sup>によれば漁村集落はその実に9割が集居・密居集落、つまり建物の密集度が高くなっており、幅員の狭い道路が多い傾向にある。また、多くの漁村では過疎化が進行していることから空き家が増加傾向にあると推測される。

上記のような環境条件を踏まえると、漁村集落は道路幅員の狭さと倒壊リスクの高い空き家の多さから建物倒壊による道路閉塞が発生しやすい環境にあり、さらに立地によっては津波避難に際しての時間的猶予が相当に少ないことから津波避難安全性の向上が重要な課題であると考えられる。本研究はこのような漁村集落を対象として津波避難安全性の向上を図ることを目的とする。

具体的な手順としてはまず地震発生直後の津波襲来が想定されている漁村集落を選定し、現状の避難安全性について分析を行い、津波避難における課題点を明らかにする。続いて、明らかになった課題点を解消するために改善策を立案し、その効果について検証を行う。最後に改善策について費用面などから検討を行い、その実行可能性を示すこととする。

## 4. 対象地区

### 4-1. 対象地区の選定

本研究では、南海トラフによる巨大地震に伴う津波被害が想定されており、津波が到達するまで時間的猶予が少ないとされる伊豆半島西岸部の中から人口減少率が高く、低未利用地が多いと見込まれる沼津市戸田地区の中心部を選定した。

### 4-2. 対象地区の概要

戸田地区は静岡県沼津市南西部を占める地区で、伊豆半島西岸に位置する。西は駿河湾、南北は山地となっており、東側からは戸田大川が流れてきている。以前は田方郡戸田村として一つの自治体であったが 2005 年 4 月に沼津市に編入合併され現在に至る。2018 年時点での人口は約 2900 人で、ピーク時の 1960 年頃の約 6000 人と比べてほぼ半減、合併直前の 4000 人弱と比べても約 3/4 にまで減少している。

その地形的特徴から天然の良港として古くから現在に至るまで漁業が盛んであり、夏場は海水浴客などの観光客が訪れることなどから観光業などもまた地区の主要産業の一つである。

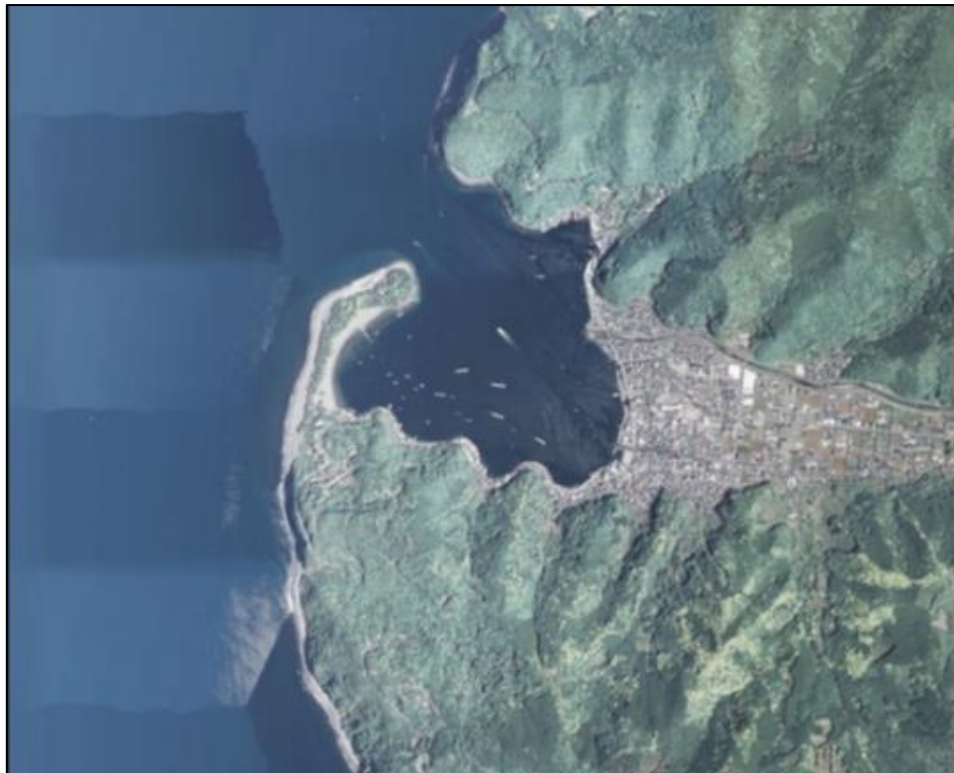


図 1 戸田地区の航空写真(地理院地図より)

対象地区内には 9 つの自治会が存在する。対象地区と自治会名、自治会の境界は以下の図 1 に示す通りである。また、各自治会の世帯数と人口を表 1 にまとめた。



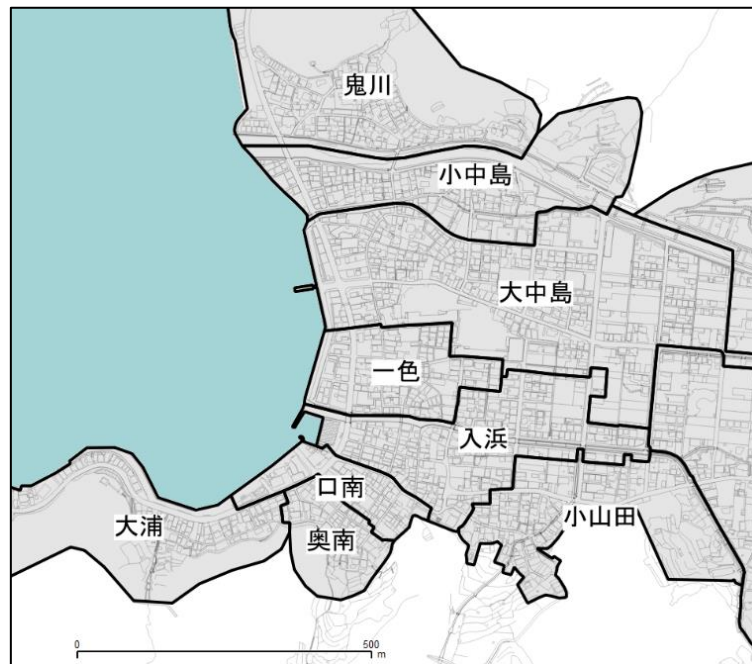


図 2 各自治会区域と名称

表 1 自治会ごとの世帯数及び人口

自治会名(町名)	世帯数(戸)	人口(人)
鬼川	109	219
小中島	87	166
大中島	223	441
一色	98	203
入浜	171	385
小山田	72	144
口南	44	83
奥南	44	95
大浦	72	156
対象地区合計	920	1892
(参考)戸田地区合計	1407	2935

沼津市 町別世帯・人口一覧(平成 29 年 4 月 1 日現在)より

対象区域内の世帯数及び人口は戸田地区全体の 6 割程を占めるものである。但し鬼川地区や大浦地区の一部などは本研究における対象区域に含まれていないので対象地区内の世帯数及び人口は実際には表中の合計値より若干少なくなると考えられる。

海に面した平野部には南北約 800m、東西約 500m に渡って建物が立ち並んでいる。海岸線沿いを南北に走る県道に沿って食料品や海産物、土産物を扱う各種店舗や宿泊施設が並

び、その東側は主に住宅地となっている。東に進むほど平野部の南北の幅は狭くなり、住宅よりも農地の占める割合が高くなっていく。

過去の航空写真を比較すると終戦直後は現在中学校がある場所から東側はほぼ全て農地であり、海沿いに町並みが形成されている。ここから年を追うごとに町並みは農地を置き換えつつ徐々に東に伸びながら現在の戸田地区中心部を形作っている。



左：図 3 昭和 22 年の航空写真 右：図 4 昭和 37 年の航空写真(共に地理院地図より)

また、過去の航空写真からは農地の境界と思われる線を確認できる。この境界線は昭和 22 年の時点では入り組んだ形となっているが昭和 37 年には基盤の目のように整理されている。こうして整理された農地が住宅地に置き換わっていったためか、戦前からの町並みであるため漁村特有の特徴である幅員は狭い道路が多い海沿いの地区と比較すると、東側は一定の間隔で比較的幅員の広い道路が縦横に通じているのが特徴である。

### 4-3. 対象地の防災性の把握

#### 4-3-1. 地震津波想定

本研究ではレベル 2 の地震・津波災害として南海トラフ巨大地震を想定災害として設定するため、この項では静岡県第 4 次地震被害想定(第一次報告)<sup>7)</sup>に基づいて対象地区である戸田地区中心部にて想定されている災害の規模について述べる。

##### ①震度

『震度分布(南海トラフ基本)』の想定において対象地区は概ね震度 6 弱～6 強の揺れが起きると想定されている。なお『震度分布(南海トラフ東側)』ではより広範囲で震度 6 強の揺れが、『震度分布(南海トラフ陸側)』では震度 5 強～6 弱の揺れが想定されている。

##### ②津波

『津波浸水(南海トラフ)』の想定では地震発生から 300 秒以内に海岸に津波が到達すると想定されている。下図に示すように想定浸水域は海岸から 400m～500m に渡って広がって

おり、想定浸水深は海沿いでは3m～5mに及ぶとされている。

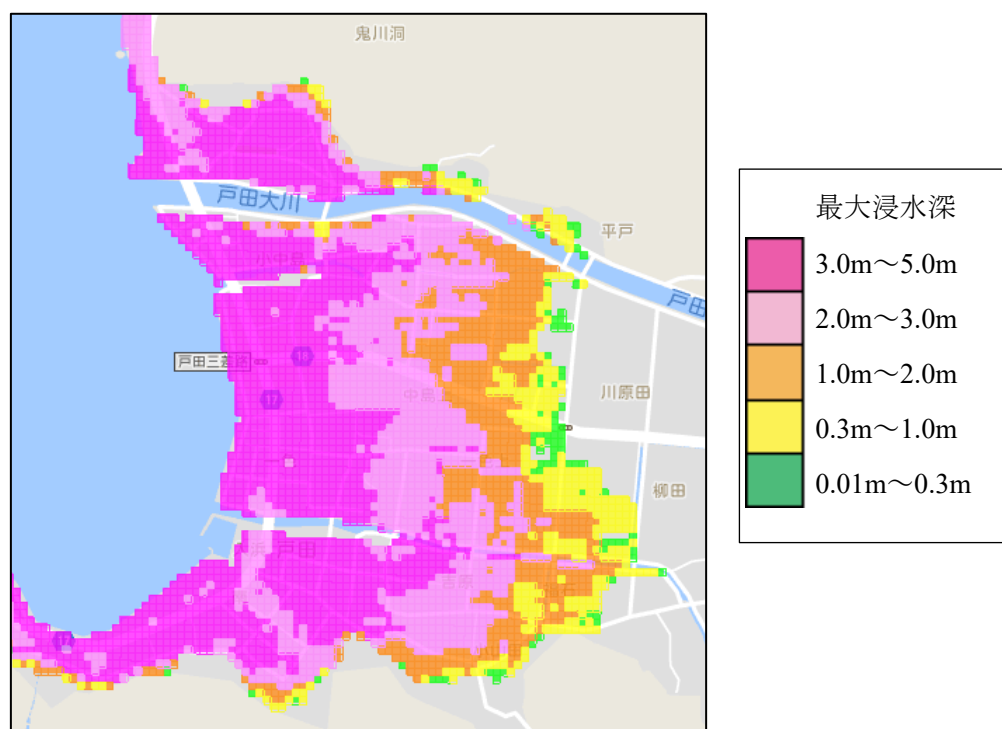


図 5 想定浸水域と浸水深(静岡県 GIS より)

#### 4-3-2. 防災施設の整備状況

ここでは戸田地区中心部における防災施設の整備状況について述べる。

##### ①津波避難路

沼津市の地震津波ハザードマップ<sup>8)</sup>では戸田地区全体に 25 路線の津波避難路を設定している。これは低平地が主である戸田地区中心部から南北の高台へと避難するためのもので、一部はスロープであるが基本的に階段である。今回対象とする領域内に存在は 11 路線が存在する。

##### ②津波避難タワー

小中島地区の公園に津波避難タワーが設置されている。これは 2014 年に完成したもので第 1 ステージが海拔 9.3m、第 2 ステージが海拔 12.3m の二層構造となっており、避難場所であるステージは両層共に各辺約 8m の正方形に近い形をしている。図 6 に位置を示す。

##### ③津波避難ビル

今回対象とする地域内では戸田小学校、戸田中学校、沼津市保健センター戸田分館、民宿浜又の 4 棟が津波避難ビルとして指定されている。それぞれの階高や構造などは以下の表 2 に示すとおりである。また、図 6 にそれぞれの位置を示した。なお、沼津市では避難可能面積 1m<sup>2</sup>あたり 1 人が避難可能であるとしている。

表 2 津波避難ビル・タワー詳細

名称	構造	階高	避難可能面積	外階段
保健センター	RC 造	3	1096m <sup>2</sup>	有
戸田小学校	RC 造	3	2078m <sup>2</sup>	無
戸田中学校	RC 造	3	1800m <sup>2</sup>	有
民宿 浜又	RC 造	3	288m <sup>2</sup>	有
津波避難タワー	S 造	(3)	128 m <sup>2</sup>	(有)

沼津市地震津波ハザードマップ及び避難ビルカルテから筆者作成



図 6 津波避難タワー・ビルの所在地

#### ④防潮堤

戸田地区中心部の海岸線には防潮堤は設置されていないが、部分的に胸壁が整備されている。地震発生直後の津波到来が想定されているながら防潮堤の整備がなされていないのは生活面もさることながら観光的な理由も存在する。

筆者は平成 29 年 7 月に戸田地区で開催された津波避難行動計画検討ワークショップにて参加者に対してアンケートを行ったが、以下の表 3 に示すように「防潮堤はある方がいい」との回答は 5 割強に留まっており、4 割以上が「無い方がいい」「わからない」と回答した。

その理由を尋ねたところ「風景が変わってしまう」「景観上よくない」など観光地でもある戸田の風景への影響を懸念する声が見られた。

表 3「戸田地区の海岸沿いに防潮堤がある方がよいか、ないほうがよいか」(n=57)

ある方がよい	31 人
ない方がよい	10 人
どちらでもよい	3 人
わからない	13 人

平成 29 年 7 月 11 日 戸田地区津波避難行動計画検討ワークショップにて実施

## 5. 分析の準備

対象地区における避難安全性を分析するために、GIS 上で道路閉塞現象の再現と避難時間の計算を行う。5 章ではその分析に必要な条件設定および各種 GIS データについて述べる。

### 5-1. 想定災害の設定

本研究ではレベル 2 の地震・津波災害として南海トラフ巨大地震を想定災害として設定する。静岡県第 4 次被害想定<sup>7)</sup>を参照し、震度や津波到達時間を設定した。震度は 6 強、津波到達時間は地点ごとに異なるが海岸部では地震発生から約 5 分後である。

### 5-2. GIS データの作成

ここでは分析に用いる道路及び建物データについて述べる。いずれも沼津市から提供を受けた GIS データを基に地図上及び現地での調査を行って修正を加えた。なお本研究では分析に QGIS を使用する。

#### ①道路中心線データ

沼津市から提供を受けた道路縁データを基に道路中心線を作成した。以降の分析ではこれを経路として使用する。なお、本研究では津波の河川遡上を考慮して避難者は橋を渡らないものとして橋を経路から除外した。このために対象地区の経路ネットワークは東西に流れる 2 本の川によって上下に 3 分割され、北部・中央部・南部でそれぞれ独立した経路ネットワークを形成している。自治会区単位で見ると北部は鬼川地区(南側)のみ。中央部は小中島、大中島、一色、入浜(北側)。南部は入浜(南側)、口南、奥南、小山田、大浦(東側)で構成される。

対象地区は概ね平坦な地形であり経路上に大きな勾配は存在しないため経路上における避難速度の変化は無いものとした。また、道路縁データは道路閉塞判定時にも使用する。

#### ②建物データ

沼津市から提供を受けた国土地理院の基盤地図(1/2500)相当の建物外周線データを基に建物ポリゴンを作成した。これに同じく提供を受けた課税台帳データと現地調査の情報を基に構造(3 分類)、建築時期(3 分類)、階高、住人の有無(3 分類)のデータを付与した。なお、瓦礫流出を発生させることを考慮してカーポートの類や GIS 上の建築面積が 10m<sup>2</sup> 以下の建物などは除外している。

#### ③計測地点

経路の端点、交点を主として経路上に計測地点となるポイントを 353 箇所に配置した。各計測地点間の距離は 60m 以内となるように設定している。

#### ④目的地点

避難路、避難ビル、津波避難タワーなど避難先となる地点及び、静岡県第 4 次被害想定<sup>7)</sup>の津波メッシュデータを基に作成した津波に追いつかれない範囲との境界に離脱地点と

なるポイント 34 箇所を設定した。内訳としては避難ビル 8 箇所、津波避難タワー 1 箇所、高台への避難路入口 11 箇所、浸水域との境界 14 箇所である。

図 7 に計測地点及び目的地点の配置を示す。

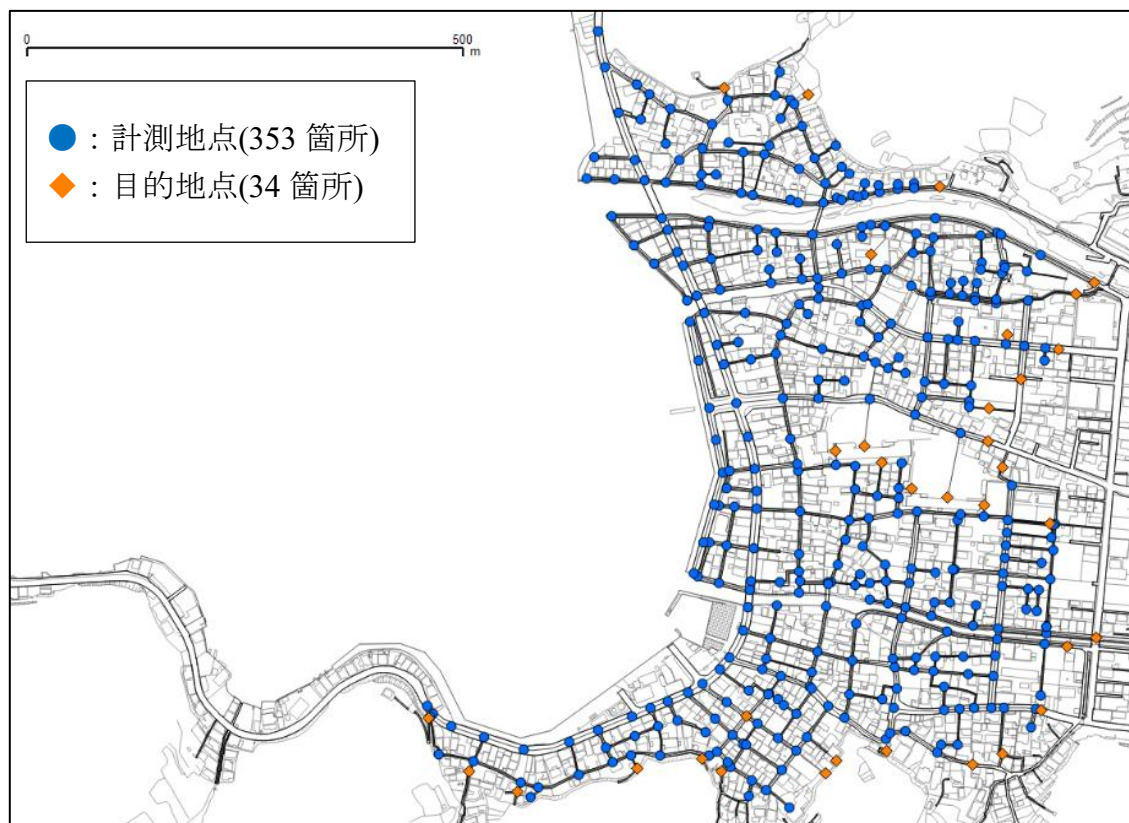


図 7 計測地点と目的地点の配置

#### ⑤避難人数

対象区域内の建物に対して住宅地図と現地での調査を行い、『居住中の住宅』・『非住宅』・『空き家』の三種に分類した。ここでの『空き家』はその本来の用途に限らず現状利用されていないと判断したものを分類しているため住宅に限定されない。調査結果を図 8 に示す。

この調査結果を基に自治会ごとに人口と居住中住宅数に応じて一軒当たりの居住者数を算出した。一軒当たりの避難者数の算出にあたっては集合住宅と戸建て住宅などについては区別していない。また、人数の計算では小数 2 位を四捨五入している。高台や浸水域外の住宅を除くと、対象地区内の避難者数は 1371.9 人となった。

分析するにあたり避難者は各住宅から最も近い計測地点から避難行動を開始するものとし、ボロノイ分割により最近傍の計測地点を決定した。このため避難開始者が 0 人の計測地点も存在する。



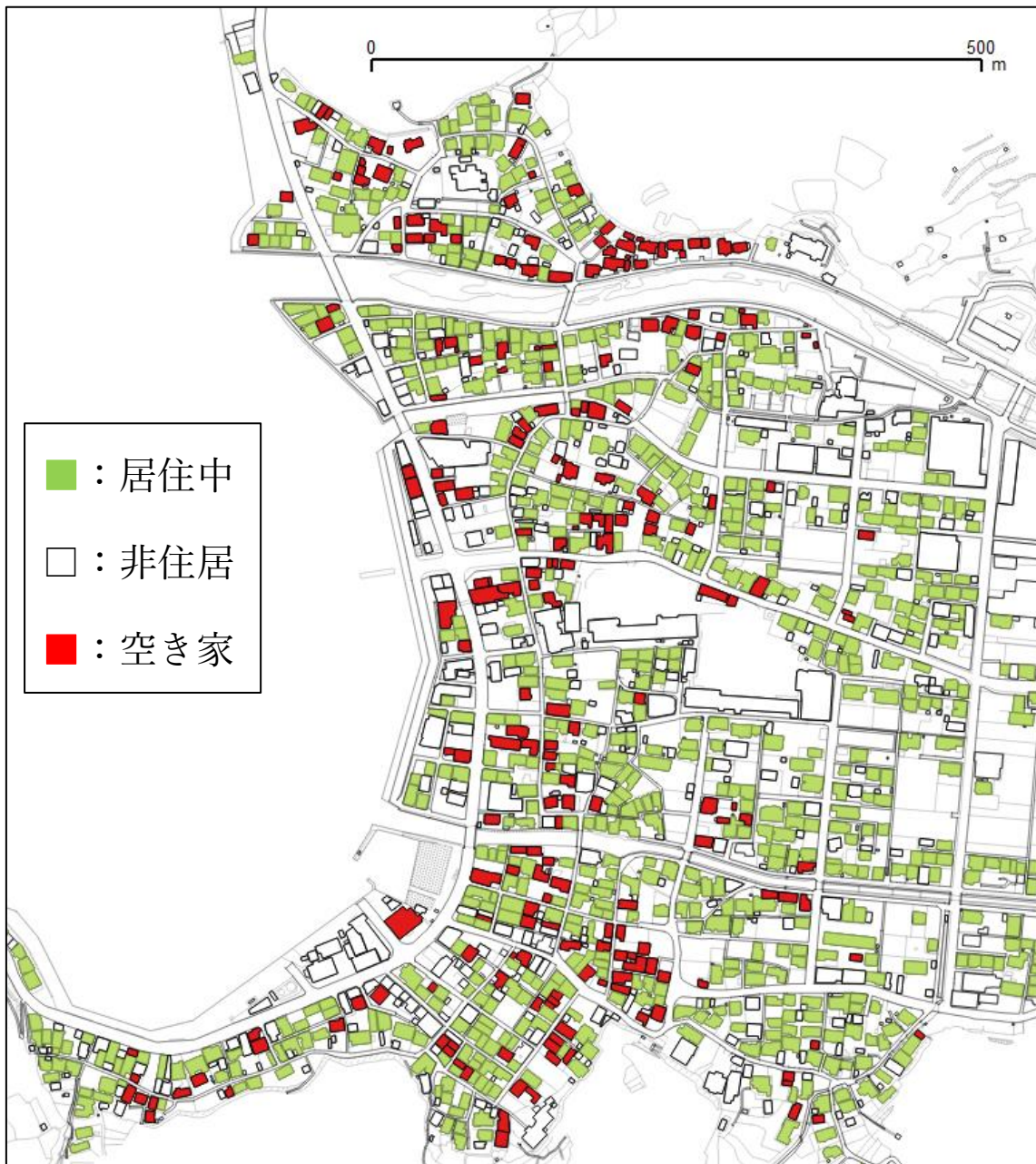


図 8 空き家調査結果

### 5-3. 倒壊及び閉塞判定の設定

続いて GIS 上で建物倒壊及び道路閉塞を再現するための条件設定を行う。

#### ①全壊率

内閣府の防災白書<sup>9)</sup>に記載されている阪神淡路大震災等の大規模地震時のデータをから木造、非木造の建物それぞれについて建築時期に応じた全壊率を分析した全壊率テーブルを基に建物の全壊率を求める。但し、沼津市から提供されたデータでは旧築年と中築



年が区別されていないため、住宅・土地統計調査の沼津市のデータからそれぞれの建築時期の建物数の比率を求め、按分したものを旧・中築年の全壊率として設定する。

今回は構造を『木造』・『非木造』・『不明』の3種類、建築時期を『旧築年(全壊率テーブルにおける旧築年と中築年)』・『新築年(同じく新築年)』・『不明』の3種類にそれぞれ分類した。なお、提供を受けたデータの都合上構造が不明の建物は建築時期も不明となっているため、構造と建築時期の組み合わせは7通りとなっている。図9及び図10の全壊率テーブルから読み取った具体的な全壊率の設定は以下の表4及び表5の通りである。また、表6及び表7に住宅・土地統計調査における沼津市の木造及び非木造の建物数を示す。

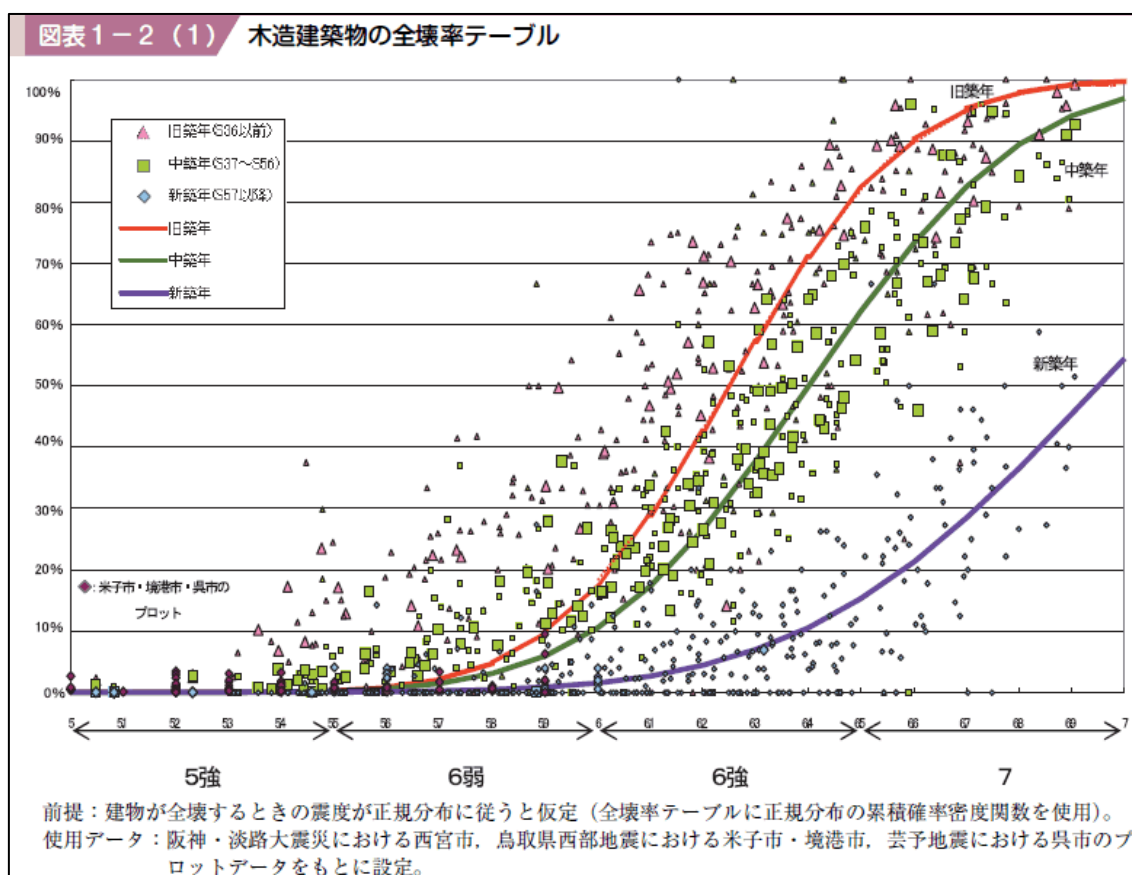


図9 木造建築物の全壊率テーブル（平成22年度版防災白書より）

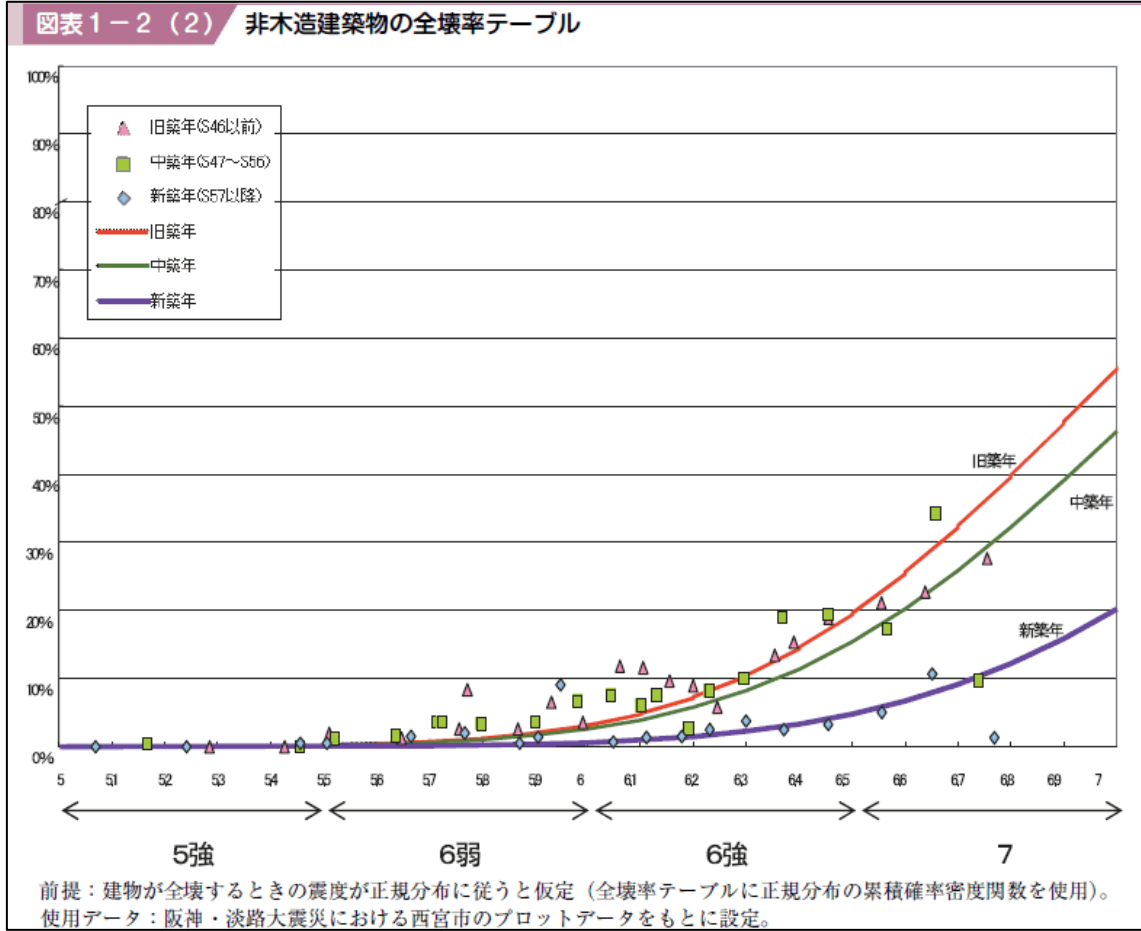


図 10 非木造建物の全壊率テーブル（平成 22 年度版防災白書より）

表 4 木造建物の全壊率(震度 6 強)

建築された年代	建物全壊率
昭和 36 年以前	18%
昭和 37 年～56 年	10%
昭和 57 年以降	1%

表 5 非木造の建物全壊率テーブル(震度 6 強)

建築された年代	建物全壊率
昭和 46 年以前	2.9%
昭和 47 年～56 年	2.6%
昭和 57 年以降	0.6%

表 6 沼津市の木造建物数

建築された年代	建物数 (割合)
昭和 35 年以前	2590 (6.4%)
昭和 36 年～55 年	12320 (30.4%)
昭和 56 年以降	25620 (63.2%)

表 7 沼津市の非木造建物数

建築された年代	建物数 (割合)
昭和 45 年以前	1700 (5.0%)
昭和 46 年～55 年	4990 (14.6%)
昭和 56 年以降	27540 (80.5%)

表 8 に以上のデータより求められた構造・建築時期別の全壊率を示す。前述の通り建築時期が不明の場合構造も不明のため分類は 7 通りである。

表 8 全壊率の設定

建築された年代	木造	非木造	不明
旧築年	11.6%	2.7%	
新築年	1.0%	0.6%	
不明	4.9%	1.0%	3.1%

なお、対象地区における倒壊判定の対象となる建物数(総計 1309 棟)の内訳は表 9 に示す通りである。前述の通り GIS 上の面積が 10m<sup>2</sup> 以下であった建物などはここでは除いているため全体の傾向とは多少異なるものの、沼津市全体と比べると木造旧築年の建物が多いことが伺える。

表 9 対象地区における各分類の建物数

建設された年代	木造	非木造	不明
旧築年	651	288	
新築年	90	46	
不明	2	0	232

## ②倒壊率

静岡県第 4 次被害想定では堀江ら<sup>10)</sup>及び山口ら<sup>11)</sup>を参考に震度 6 強～7 での木造建築物の倒壊・全壊比を 30 : 70、同じく非木造建築物の倒壊・全壊比を 15 : 85 として倒壊建物数の推計を行っている。本研究では上記の全壊率にこの比率を乗ずることで構造・年代

ごとの倒壊率を算出する。倒壊率の算出結果を表 10 に示す。

表 10 倒壊率の設定

建設された年代	木造	非木造	不明
旧築年	3.5%	0.41%	
新築年	0.3%	0.09%	
不明	1.5%	0.15%	0.56%

表 9 の対象地区全体の建物数と、表 10 の倒壊率の設定から求められる対象地区における震度 6 強時の想定倒壊数(理論値)は表 11 の通りである。7 区分の合計は 25.60 棟となり、これは対象建物数 1309 棟の 1.96%に相当する。

表 11 倒壊数の理論値

建設された年代	木造	非木造	不明
旧築年	22.79	1.18	
新築年	0.27	0.04	
不明	0.03	0	1.30

### ③倒壊判定の方法

算出した倒壊率を基に倒壊判定を行う。既往研究では全体の建物数に倒壊率を乗じて倒壊数を決定したのちに、倒壊する建物を乱数で抽選する手法をとるものもあるが、本研究では表 12 に示す例のように全ての建物に対して乱数を発生させ、先に求めた倒壊率と比較して倒壊判定を行う手法を用いる。従って各回の判定ごとに倒壊する建物数は異なる。

表 12 木造旧築年建築物(倒壊率 3.5%)の倒壊判定の例

	①	②	③	④	⑤
乱数	0.388	0.012	0.592	0.749	0.457
判定	不倒壊	倒壊	不倒壊	不倒壊	不倒壊

表 12 の場合では木造旧築年建築物の倒壊率として設定された 0.035(3.5%)を下回った②の建物は倒壊したと判定される。判定に使用する乱数は Excel の Rand 関数によって生成した。

### ④瓦礫流出範囲の設定

建物倒壊による道路閉塞を考える上で、倒壊によって発生する瓦礫の広がり方は重要

な要素であるが、瓦礫発生を考慮した道路閉塞を扱った既往研究において任意の地震動に対応して特定の方向に瓦礫が発生するとしたものは少ない。例えば市川ら<sup>4)</sup>は全方向に瓦礫が発生し、流出幅は建物の高さに比例する倒壊モデルを設定しており、伊藤ら<sup>5)</sup>は倒壊した建物の面する道路幅に応じて道路閉塞の判定を行っている。

阪田ら<sup>12)</sup>は倒壊建物に対して方向によって異なる流出距離となるような偏方位バッファの検討を行っているが、地震動に対して一意に瓦礫流出方向パラメータを定めることは極めて難しいとしている。

本研究では市川ら<sup>4)</sup>を参考として倒壊時には建物周囲に階高に比例した幅の瓦礫を流出するモデルを設定した。

#### ⑤道路閉塞判定

次に、建物倒壊による瓦礫流出状況の予測を基に道路閉塞の判定を行う。本研究は地震発生直後の津波からの避難を想定しているため、避難手段は徒歩とする。また、実際には多少の瓦礫であれば踏み越えて進むことも可能であると考えられるが、議論の単純化と災害弱者の避難可能性を考慮して瓦礫上は移動できないものとしている。

これらの前提条件のもと、瓦礫により道路幅が一定距離(1m)以下となった場合に道路閉塞が発生すると設定した。

なお、この判定にあたっては作業の簡易化のために 1m 多く瓦礫流出領域を作成した上で道路がすべて覆われた場合に道路閉塞判定を行うという方法を用いている。

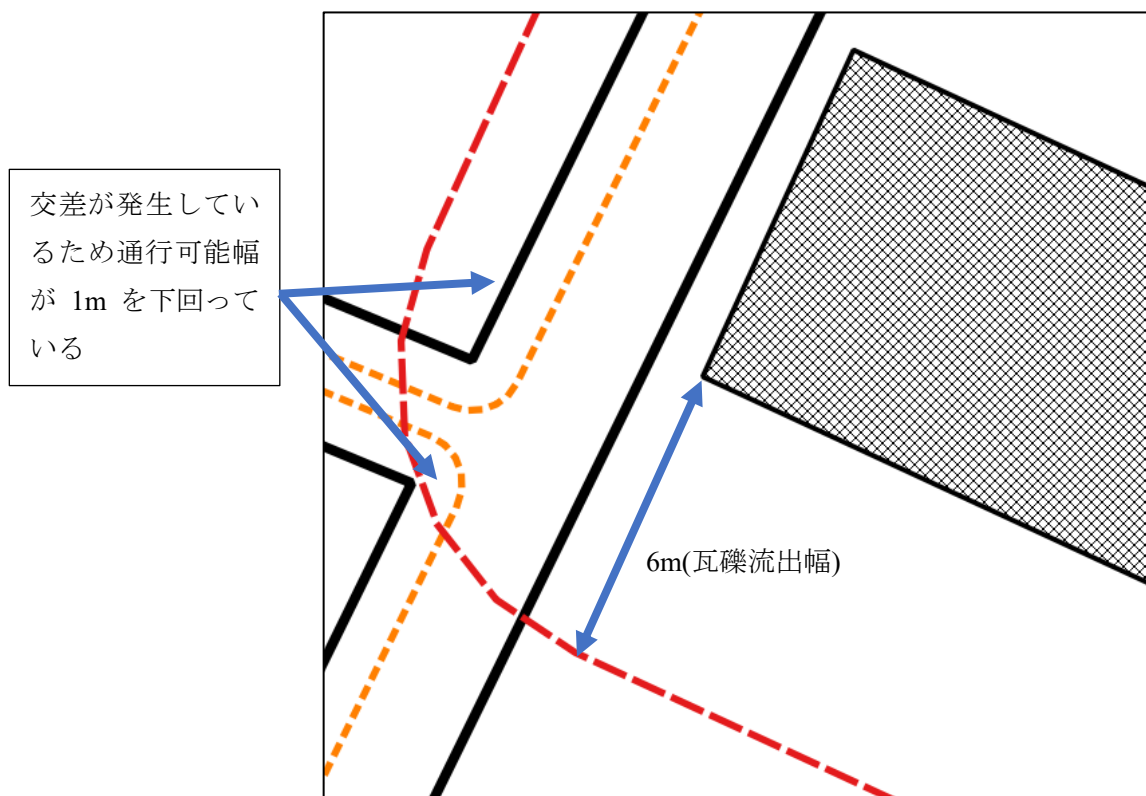


図 11 定義上の判定手法

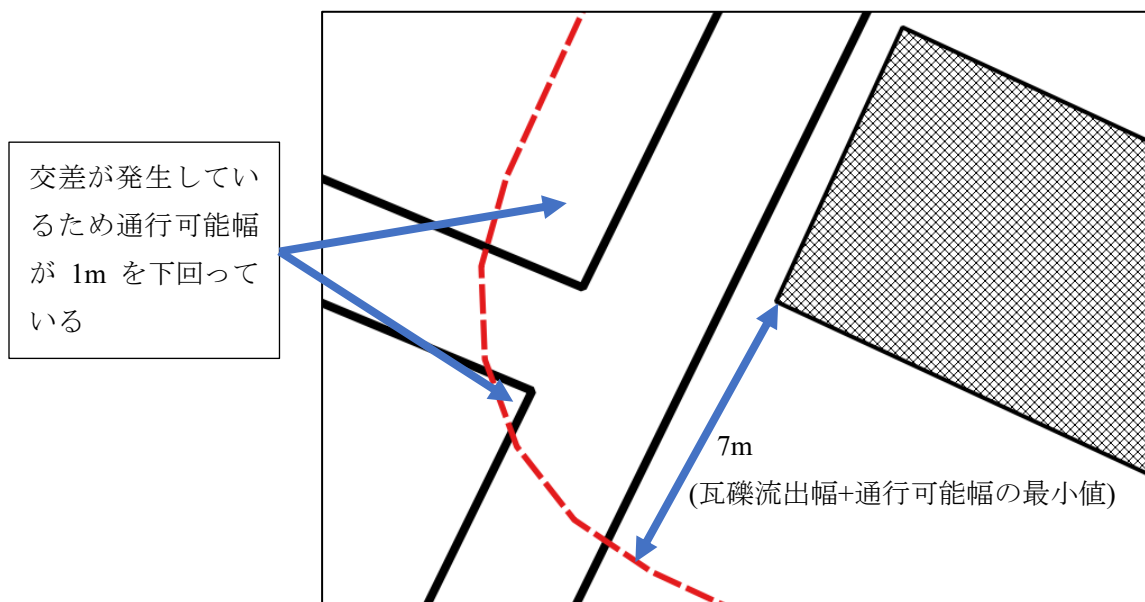


図 12 簡便な判定手法

図 11 において中心部に網掛けで示された建物(高さ 6m)が倒壊した場合、赤い破線で示した領域に瓦礫が流出する。また、道路縁から 1m 道路側となる線を橙色の破線で示している。(説明の都合上ここでは反対側の道路縁から 1m 道路側を示す破線のみ表示し

ている)ここで赤破線と道路を挟んで反対側の道路縁を基準とする橙破線が交わった場合「通行可能な道路幅が 1m 未満である」という状況であることを示し、道路閉塞が発生したと判定される。

今回はこの判定の簡易化を図るため図 12 のように通行可能幅として必要な分(1m)を足した瓦礫流出幅を表示させ、道路を挟んで反対側の道路縁と接するか否かで道路閉塞判定を実施した。

#### ⑥避難所要時間の計算

道路閉塞判定を基に通行不可となった経路を除外した上で各計測地点から各目的地点への最短経路検索を行い、避難経路の長さを求めた。移動速度は消防庁の津波避難計画策定指針<sup>12)</sup>を参考に 1.0m/s と設定し、これらを基に避難にかかる時間を算出した。最短経路検索については QGIS の「Routes and Zones」プラグインを使用した。

## 6. 現状の避難安全性の評価

前章での設定を踏まえ、本章では対象地区の現状の避難安全性の評価を行う。評価にあたっては通常時、すなわち建物倒壊を発生させない「非倒壊時」と倒壊を発生させた「倒壊時」の双方について分析を行う。倒壊時の分析にあたっては 25 通りの建物の倒壊パターンを生成し、道路閉塞判定を行った。安全性の評価にあたっては「避難猶予時間」「避難可能率」「避難可能者数」といった指標を用いて評価を行う。

### 6-1. 避難猶予時間

各計測地点から目的地点への避難が可能か否か、どの程度の時間的余裕があるかを評価するにあたって本研究では「避難猶予時間」という概念を導入する。

これは地震発生から避難先に津波が到達するまでの時間から避難にかかる時間を引いたもので、地震発生から避難完了までの間、最短経路を通っての避難行動以外に使える時間を評価するものである。但し、地震発生直後は揺れにより動きが取れないこと、建物の中に居た場合は道路に出るまで少なからず時間を必要とすることなどを考慮して本研究では一律 4 分(揺れ 3 分+建物からの脱出 1 分)を避難開始までに消費する時間として避難猶予時間から差し引くものとする。これを整理すると以下の式となる。

$$\text{避難猶予時間 } T = T_1 - T_2 - (T_3 + T_4)$$

$T_1$  : 避難先への津波到達時間

$T_2$  : 避難先までの移動時間

$T_3$  : 地震の揺れが収まるまでの時間(3 分)

$T_4$  : 建物の中から道路に出るまでの時間(1 分)

なお、同様の概念は伊藤ら<sup>5)</sup>などにおいてもみられるが、「津波に追いつかれることなく避難に成功する地震発生直後からの経過時間」といった表現がなされているように、定まった呼称は存在していない。そこで本研究ではこの概念を便宜上「避難猶予時間」と呼称するものである。なお、以降単に「避難猶予時間」とした場合は各計測地点における避難猶予時間の中の最長値を示すものとする。

この避難猶予時間が長い目的地点であるほど避難行動において遠回りの経路を通る、道を間違える、避難の支度に手間取るなどといった時間的なロスを許容することが可能である。一方で計測地点によっては避難猶予時間が負の値となる目的地点も存在する。これは避難猶予時間の算出時に設定したように地震発生から 4 分後から避難を開始すると、どのような経路を通ってもその目的地点に到達する前に津波に追いつかれてしまうという計算結果であることを意味する。

避難猶予時間による評価は、各計測地点から目的地点への最短避難距離を計算する手法とは避難方向の重みづけが異なる点で差別化される。最短避難距離を求める際に計測地点



よりも海側に津波避難施設があるような地点の場合、浸水域から離脱する行動よりも津波に向かって避難行動をするような結果が最短と評価されるケースが生じる。避難猶予時間の算出にあたっては一般に浸水域からの離脱地点の方が猶予時間を長くとれる傾向にあるため、津波から逃げる避難行動をより高く評価できる。

一方で津波到達時間の差によっては避難ビルの目前を横切ってでも浸水域からの離脱を目指す避難行動を高く評価するなど、避難距離が長くなるケースも生じうる計算手法である。

### 6-1-1. 基準猶予時間

まずは非倒壊時の避難猶予時間を算出した。その上で各計測地点に対して避難猶予時間が最長となる目的地点を「基準避難先」とし、その際の避難猶予時間を「基準猶予時間」と呼称する。以降の分析においては基礎的な指標としてこの基準猶予時間を使用する。

上記の通り基準避難猶予時間は各地点において最も時間的に余裕がある避難先を選んだものであるが、基準猶予時間が負の値となる地点が生じる。その地点は本分析においてどのような避難先に対してどのような避難行動をとったとしても避難先に到達する前に津波に襲われるという計算結果が示されたことを意味する。

なお、本分析において設定した避難速度(1.0m/s)より早く移動する、揺れが収まる前に避難行動を開始する、避難ビル以外の建物に避難する、などといった行動によって基準猶予時間が負の地点からでも無事に避難を完了できる可能性は十分に考えられるが、本分析においてはこれらについて考慮しないものとする。

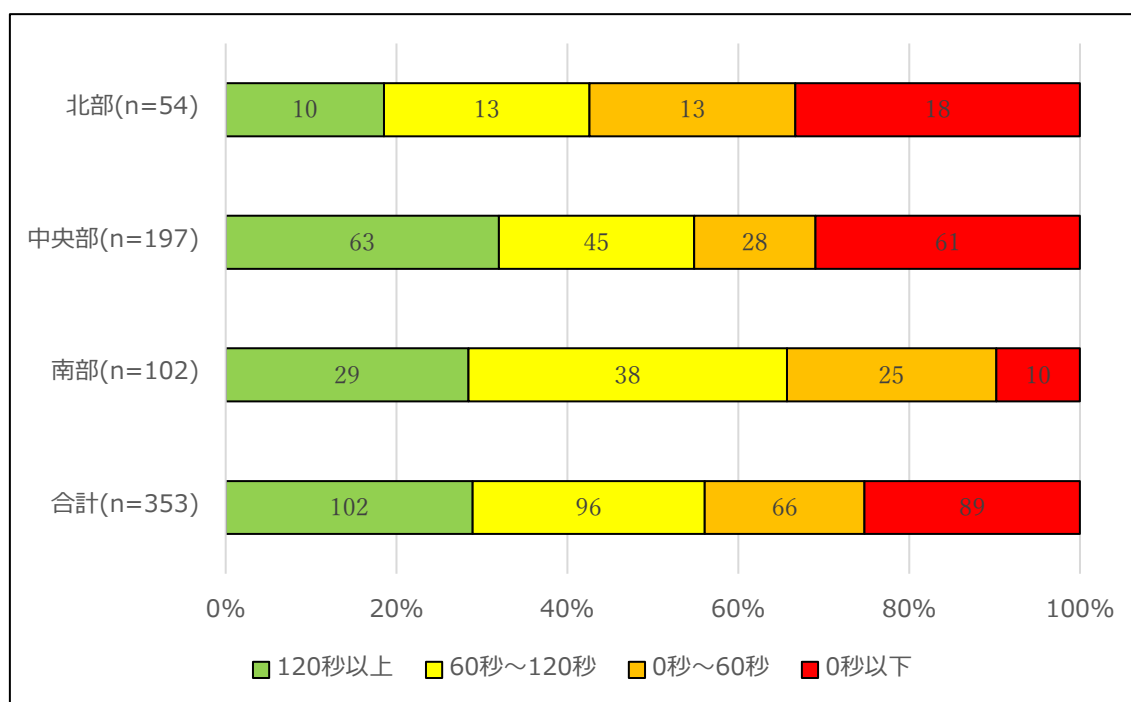


図 13 基準猶予時間毎の地点数の割合

図 13 は北部、中央部、南部の集計区域及び対象地区全体の基準猶予時間ごとの地点数を集計し、その割合を示したものである。353 地点中 89 地点が負の値を示すという結果となった。集計区域ごとに見ると南部は避難猶予時間が負の値である地点の割合が比較的低くなっている。

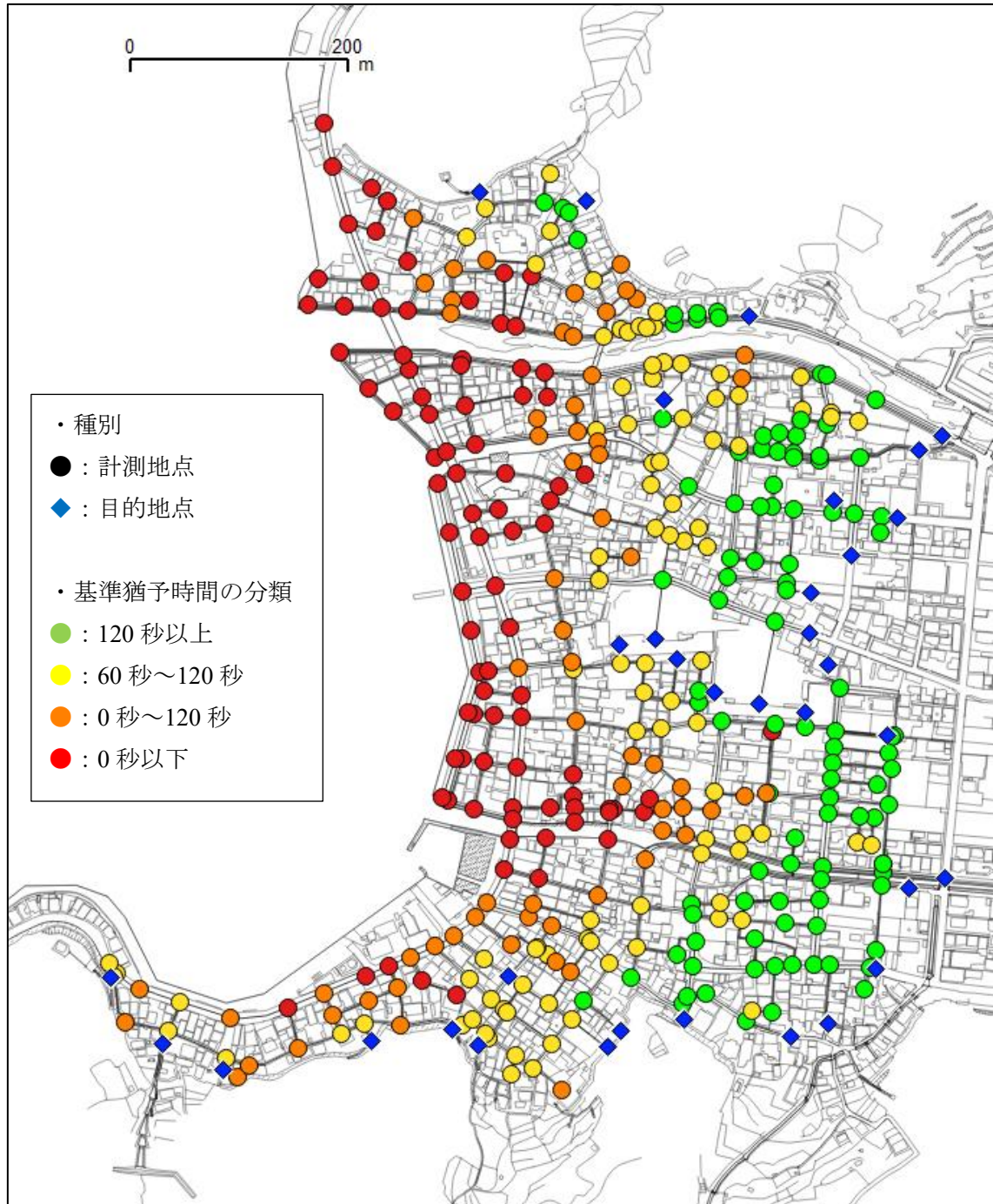


図 14 基準猶予時間による計測地点の分類結果

図 14 は図 13 と同様の分類で地図上の各計測地点を色分けしたものである。海岸から 200m 以内は概ね基準猶予時間 2 分未満の地点となっており、特に海沿いには基準猶予時間が負の値である赤色の地点が並んでいることから、戸田地区中心部の海沿いは津波避難が困難であると言える。

表 13 は各計測地点から基準避難先への避難距離を集計したものである。353 地点の平均値は 148m、最長値は 454m であった。「市町村における津波避難計画策定指針」<sup>13)</sup>では避難可能距離の目安は 500m とされているため、平均値、最長値ともに各計測地点の基準避難先への避難距離は津波避難行動として適正な範囲内に収まっていると判断した。

表 13 基準避難先への避難距離ごとの地点数

避難距離	地点数
0m～50m	59
50m～100m	63
100m～150m	68
150m～200m	68
200m～250m	46
250m～300m	25
300m～350m	16
350m～400m	6
400m～450m	1
450m～500m	1

## 6-2. 避難可能率

続いて倒壊時の分析を行う。避難可能率は倒壊時の道路閉塞を発生させた 25 試行において各計測地点の避難猶予時間が正の値であった割合を求めたものである。結果を表 14 に示す。なお、基準猶予時間が負の値である地点の避難可能率は 0%となる。

表 14 避難可能率ごとの地点数 (n=353)

避難可能率	北部	中央部	南部	全体
100%	6	59	43	108
90%～99%	25	47	30	102
80%～89%	5	22	12	39
70%～79%	0	4	3	7
60%～69%	0	3	4	7
50%～59%	0	1	0	1
0%～49%	18	61	10	89

基準猶予時間が正の値であった地点群における最低値は 56%で、4 割以上の試行で閉塞の影響を受けて避難猶予時間が負の値を示す結果となった。避難可能率が低い地点は道路閉塞による遠回りや孤立などにより避難不可能となりやすい地点であると言える。

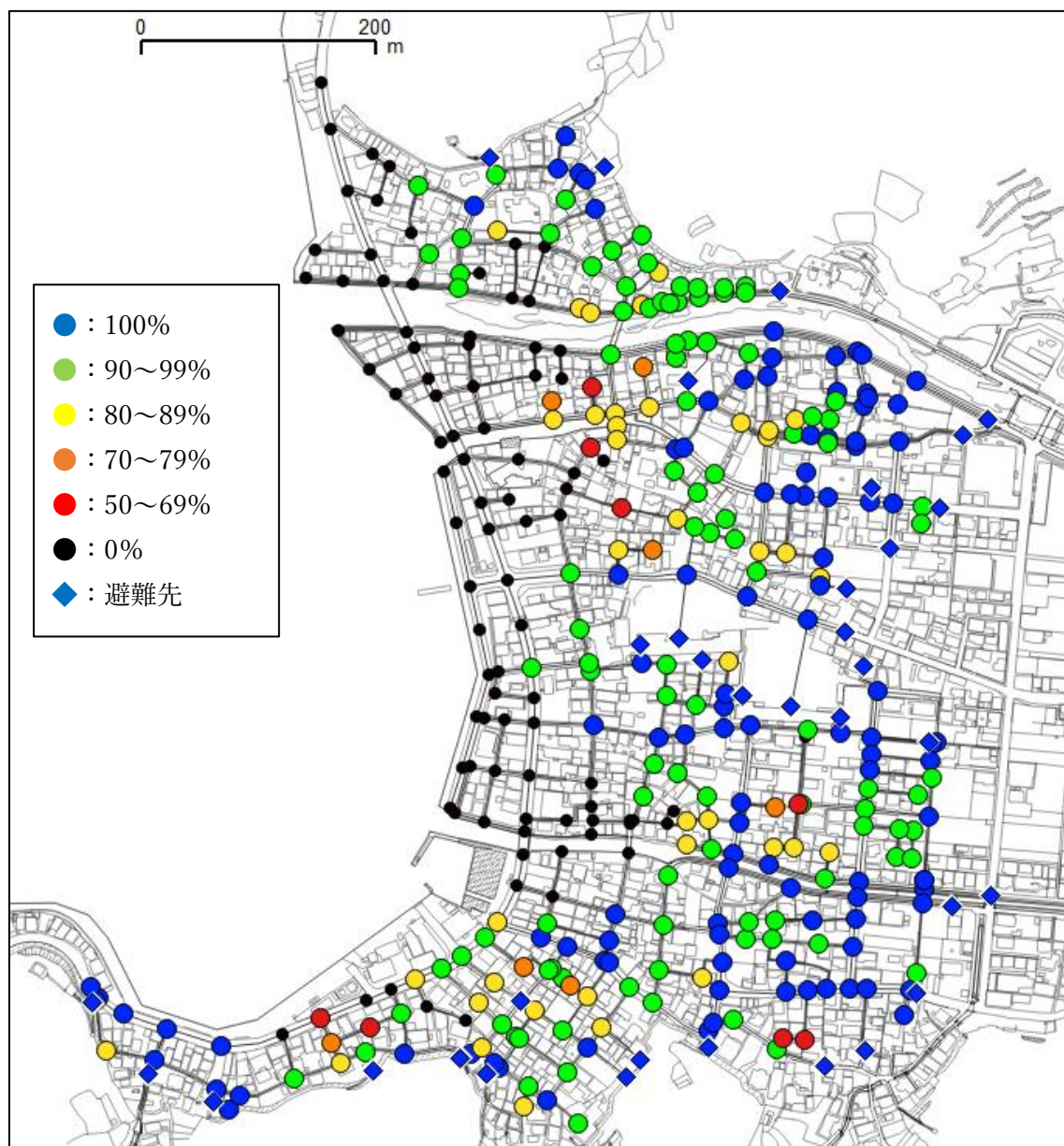


図 15 避難可能率による計測地点の分類結果

図 15 は避難可能率の集計結果を地図上に示したものである。避難可能率の低い地点は道路幅員が狭く建物が密集している地域や、経路が袋小路となっている箇所に集中していることが分かる。



### 6-3. 避難可能者数

各計測地点の避難者が避難可能かを計測地点の避難猶予時間の正負により判定し、正の値であった場合を「避難可能である」として集計する。

基準猶予時間によって判定した場合、つまり非倒壊時の避難可能者数は 1064.1 人であった。これは対象地区内の避難者数 1371.9 人の 77.6%に相当し、約 1/4 が道路閉塞に関係なく避難不可能であると判定される結果となった。

図 16 は倒壊時の 25 試行各回の避難可能者数を示したものである。グラフ中の緑の線は基準猶予時間に基づく避難可能者数(1064.1 人)、黄色の線が 25 試行の平均値(985.9 人)である。25 試行の最高値は 1031.9 人、最低値は 927.9 人であった。

非倒壊時と比べると倒壊時は 30 人から 130 人、平均すると 80 人前後が道路閉塞により避難不可能となるという結果が示された。

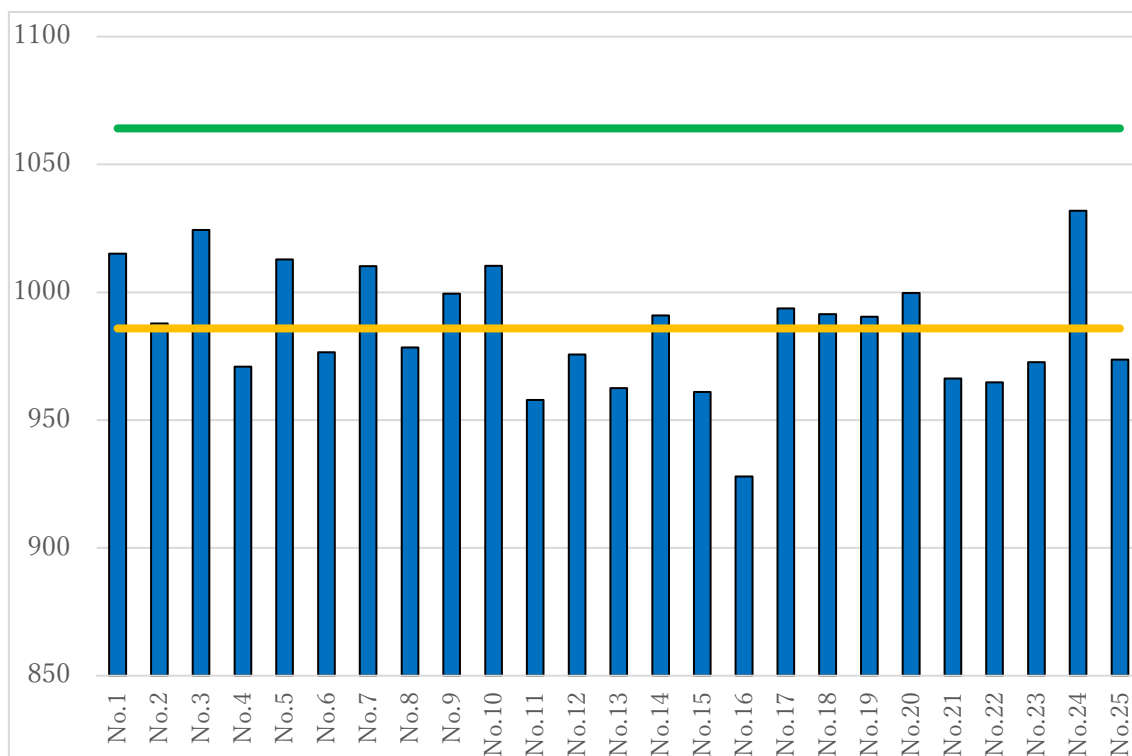


図 16 倒壊時 25 試行各回の避難可能者数

## 7. 改善案の提案と効果の検証

### 7-1. 改善案の方針

7章では6章における現状の避難安全性の分析を基に改善案の提案を行い、その効果のほどを検証する。なお、改善案の評価は避難可能率の改善によって行う。

避難可能率の低い地点に着目してその要因を分析すると以下の課題点が挙げられる

#### ①基準猶予時間が負であるため避難が不可能である

避難猶予時間は基準猶予時間より長くなることは無いため、基準猶予時間が負の地点はいかなる試行においても避難不可と判定される。これを改善するためには基準猶予時間を正の値にする必要がある。

#### ②二方向の避難路が確保できないため道路閉塞リスクが高い

避難経路が一方にしかない場合、その経路が閉塞すると避難が不可能となってしまう。これを改善するためには経路を新設することで二方向避難を可能とする必要がある。

#### ③道路閉塞によって遠回りする際の避難距離の増加量が多い

経路ネットワークにおける迂回路の選択肢が豊富ではない地点では閉塞による迂回に相当な遠回りを強いられる。また、離脱地点に近く避難距離の短い地点は避難猶予時間が長い傾向にあるが、直近の離脱地点への経路が閉塞した場合には大きな影響を受ける場合がある。これを改善するためには迂回路の選択肢を増やすことで経路ネットワークの冗長性を強化する必要がある。

また、②と③に関しては倒壊により道路閉塞を引き起こす建物を減らすことも避難可能率の改善に繋がると考えられる。

これらの課題点を解決するにはいくつかの手法があるが、本研究では低未利用地の活用を図ることで課題点の解決を図る。具体的には空き家などの利用されていない建物の除却による道路倒壊リスクの軽減、並びに低未利用地の経路化による経路の新設である。

但し、際限なく建物の除却を実施するのは現実的ではないため、木造及び構造不明建物数の10%を目安として実施するものとした。

### 7-2. 検証地区の選定

避難可能率の低い地点が多い地区を対象として北部から鬼川地区(南側)、中央部から小中島地区と大中島地区、南部から口南地区と奥南地区を選定した。以降はそれぞれの地区について検証を行う。それぞれの検証区域の範囲を図17に示す。なお、ここに示す区域では浸水域外の地域などを除いているため必ずしも自治会区域とは一致しない。

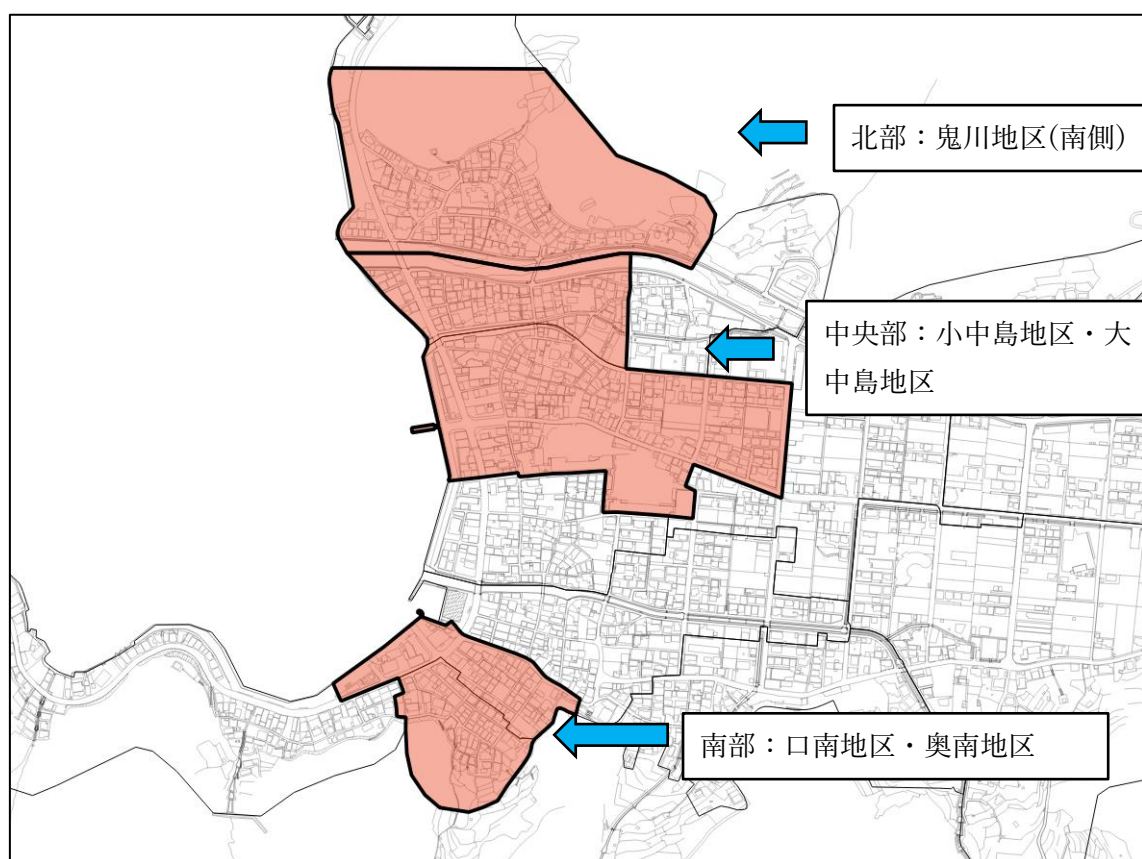


図 17 検証区域の範囲

### 7-3. 検証地区ごとの改善案とその効果

ここではそれぞれの検証地区ごとに検証地区としての選定理由とその地区の概要、改善案の内容とその効果についてみていく。なお、各地区の倒壊時の比較については改善前後に対して同様の建物倒壊を 10 通り発生させ、比較を行っている。

#### 7-3-1. 北部：鬼川地区南部

##### ①選定理由と地区概要

北部は鬼川地区(南側)のみということもあり全域を対象とした。この地区は中央付近に 2 箇所の袋小路があるが、両者ともに道幅が狭いうえに周囲に木造建物が多いことから孤立が比較的高くなっている。また、図 18 に示すように海沿い及び川沿いの地点の多くで避難猶予時間が負の値となっている。図 19 は各地点の 10 試行分の避難可能率を集計したものである。

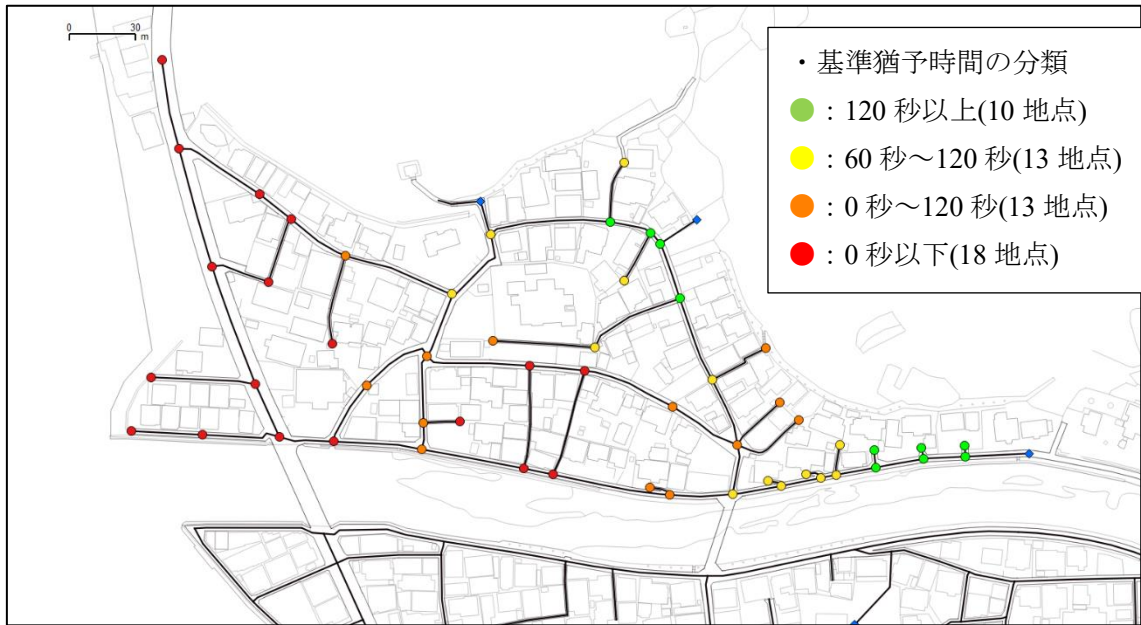


図 18 基準猶予時間による分類 (n=54)

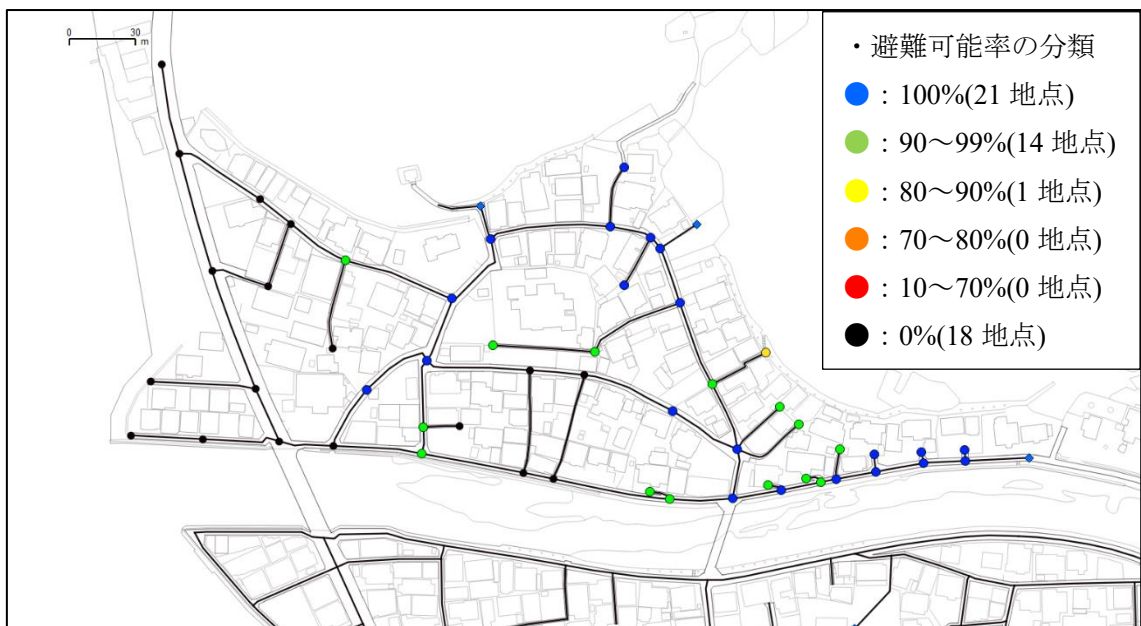


図 19 避難可能率による分類 (n=54)

## ②改善案

中央部の袋小路を解消するため、低未利用地を利用して経路の新設によって二方向避難が可能となるように改善した。また、避難経路上遠回りとなっている部分の解消も行った。

この地域の本造建物は 90 棟、構造不明建物は 33 棟であった。この中から閉塞を発生させやすい立地であり、空き家等と推測される 10 棟について除却を行った。

図 20 は新設経路を赤色の線で、除却対象の建物を青色の図形で表示したものである。



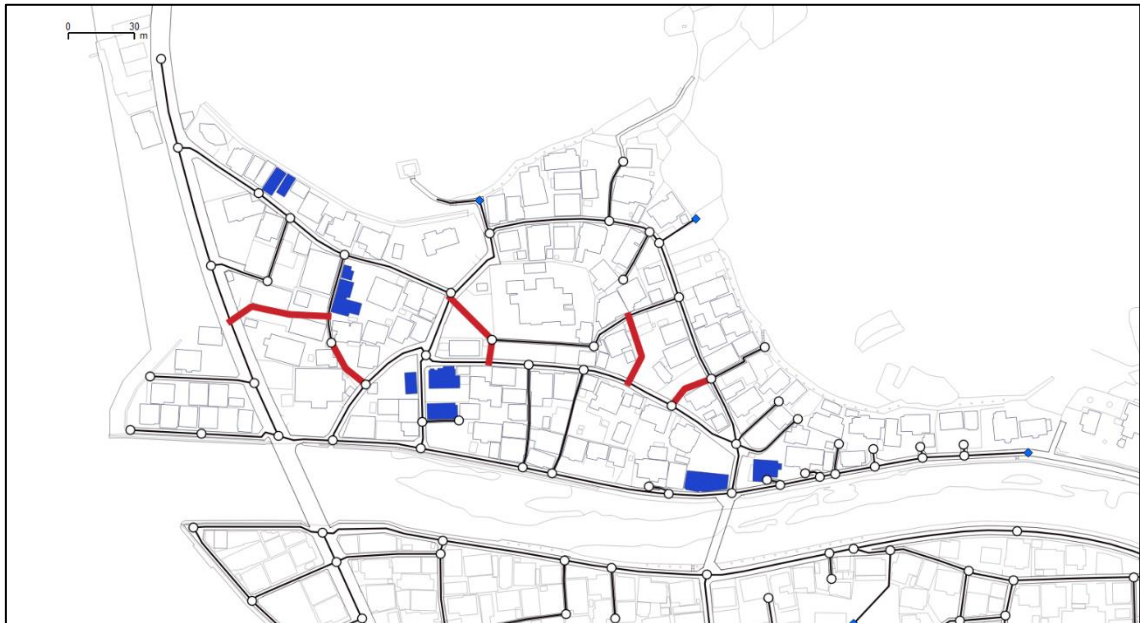


図 20 改善案の内容

### ③改善効果の検証

図 21 は改善後の基準猶予時間による分類である。経路の新設をしたものの依然として海沿い及び川沿いには基準猶予時間が負の値であることを示す赤色の地点が並んでいる。

また、図 22 は改善前後の基準猶予時間の差を比較したものである。54 地点中 7 地点で 1 秒以上の改善が見られた。このうち 3 地点では 20 秒以上の改善が為されており、経路を比較するとこれは西側の新設経路による効果が大きいと考えられる。

図 23 は図 19 と同様の条件で 10 試行を行った結果を集計したものである。続く図 24 では両者の結果を比較しているが、図中央の 2 点は避難可能率が 80%以上の改善を見ている。これは経路の新設により基準猶予時間が正の値に転じた効果である。

東側の袋小路に位置している地点については二方向避難が可能になったため孤立率自体は改善していたが、基準猶予時間が負の値であったため避難可能率は 0%のままという結果となった。

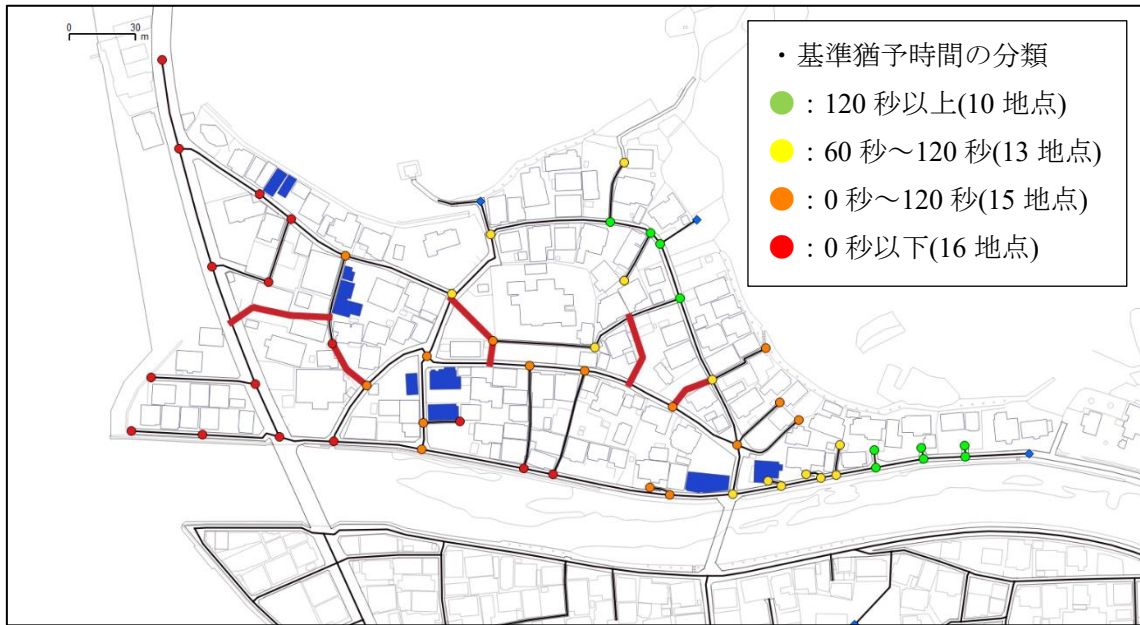


図 21 改善後の基準猶予時間による分類 (n=54)

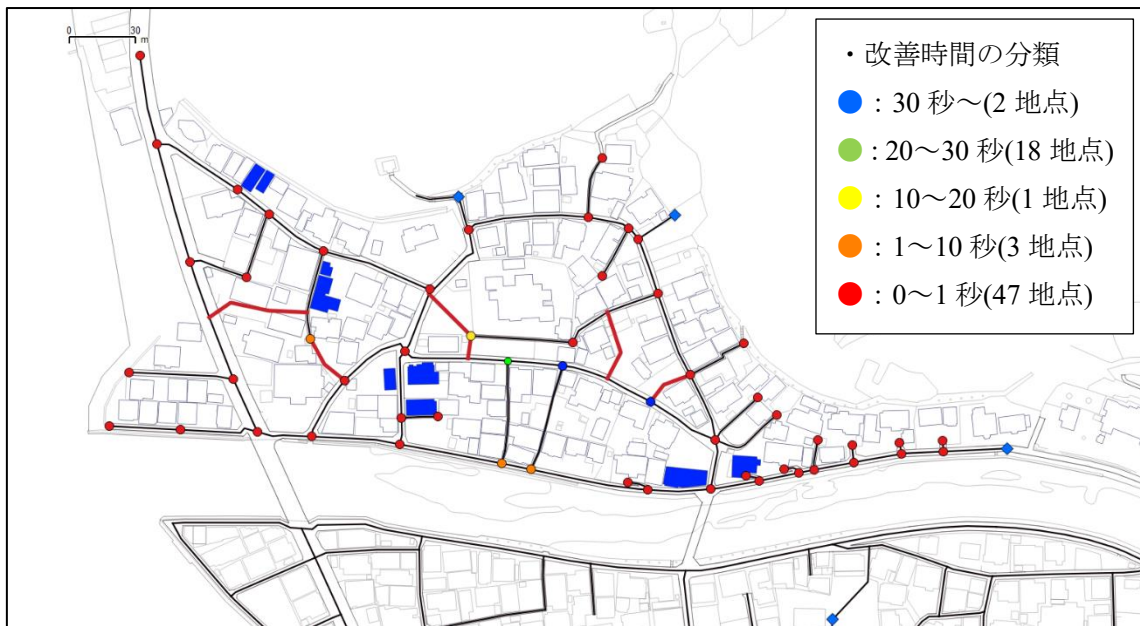


図 22 改善前後の基準猶予時間の比較 (n=54)

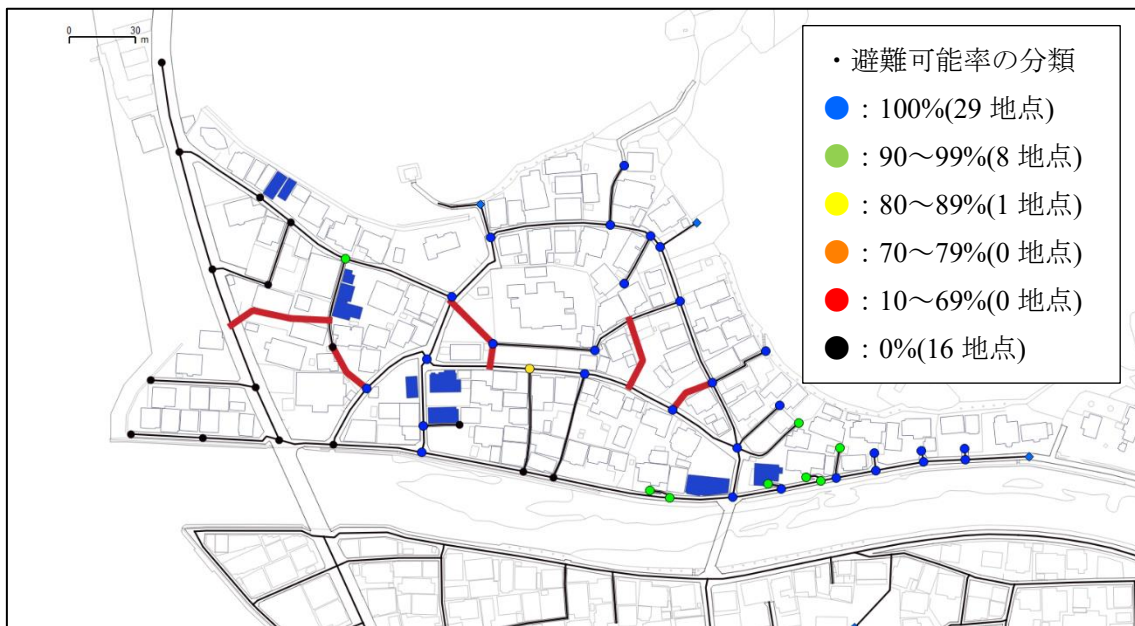


図 23 改善後の避難可能率による分類 (n=54)

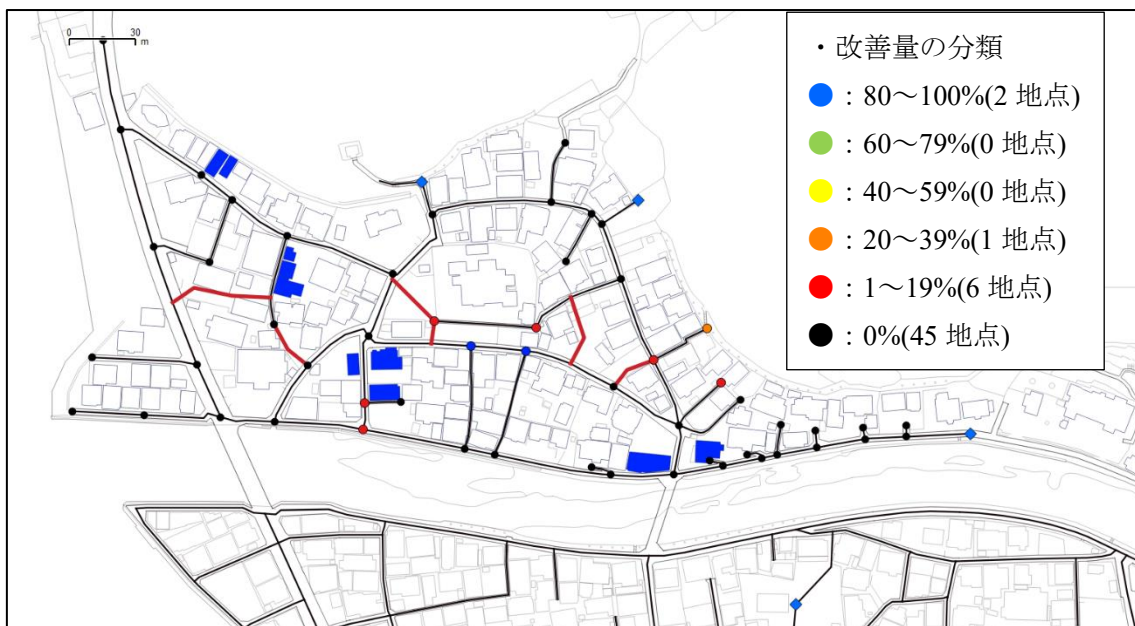


図 24 改善前後の避難可能率の比較 (n=54)

図 25 は 10 試行各回の改善前後の避難可能者数を比較したものである。なお、地区内の総避難者数は 145.6 人である。

グラフ中に砕線で示した基準猶予時間に基づく非倒壊時の避難可能者数は改善前で 82.3 人(56.5%)、改善後で 95.0 人(65.2%)であり改善案により 12.7 人の改善を見た。また、10 試行各回の避難可能者数を比較すると全ての回で避難可能者数が増加していることが分かる。中には 30 人近く改善した試行も存在した。

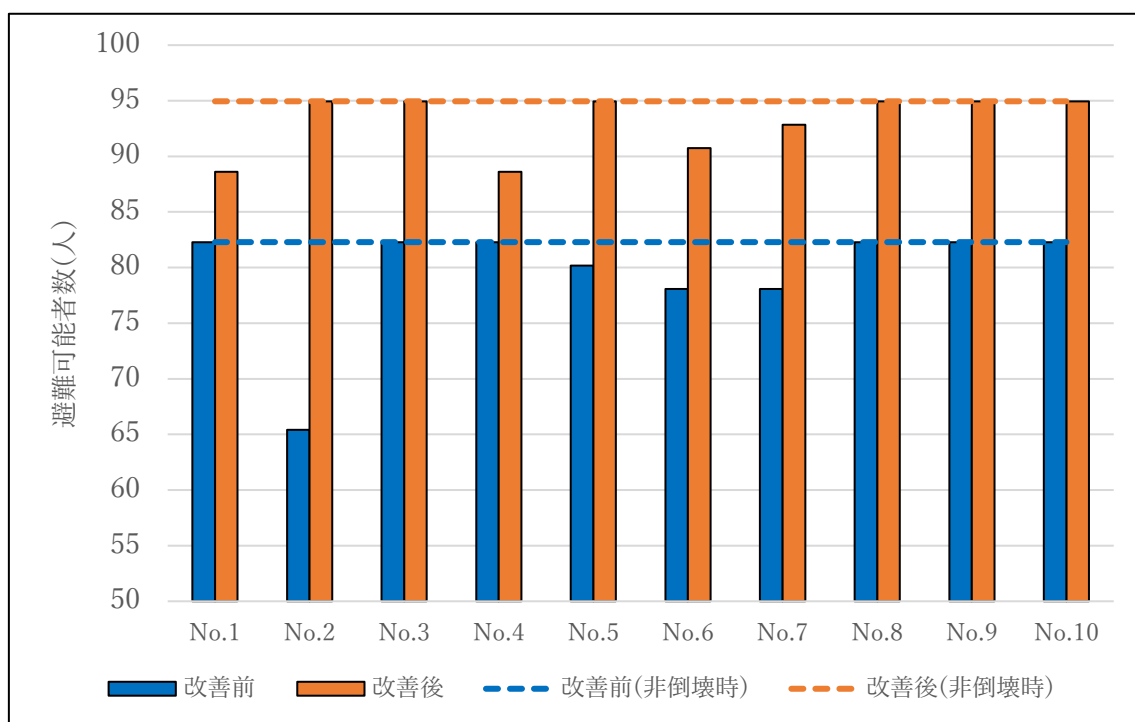


図 25 避難可能者数の変化



### 7-3-2. 中央部：小中島地区・大中島地区

#### ①選定理由と地区概要

戸田地区全体で見てもかなり避難安全性の低い二地区であるため選定した。なお、目的地が近く比較的安全な東側については検証地区から覗いている。両地区ともに基準猶予時間が負の値である地点が多いが、小中島は南北を川に挟まれている関係上迂回路の選択肢が少なく、一箇所の閉塞が大きな影響を及ぼす地区であると言える。大中島は小中島に比べると経路自体は多いものの、経路の狭さと木造建物の多さから建物倒壊と道路閉塞が多発しやすい環境にあると言える。

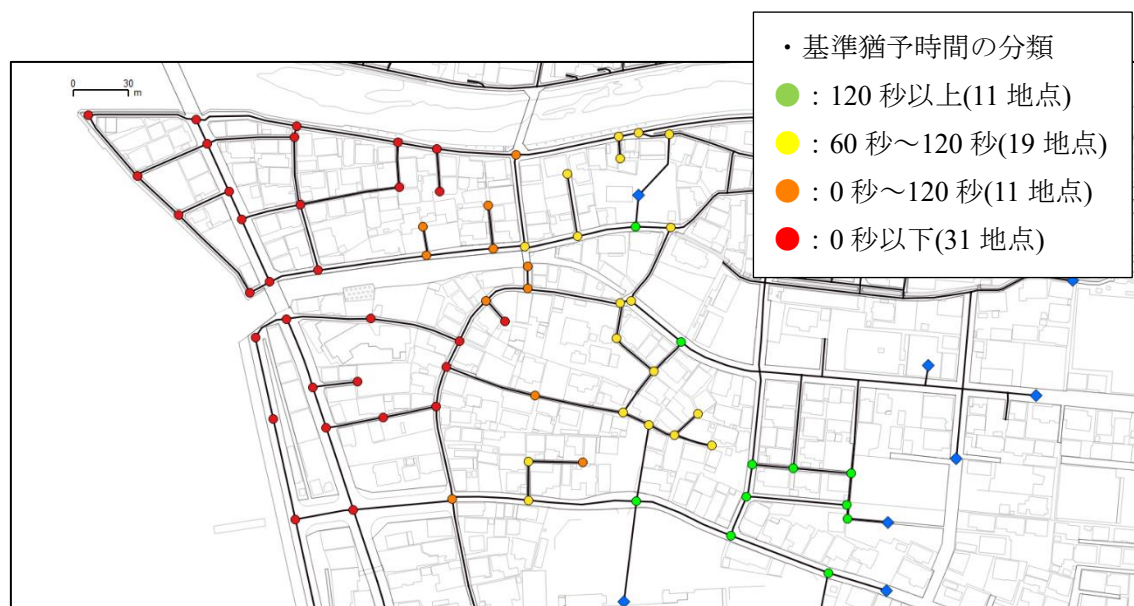


図 26 基準猶予時間による分類 (n=72)

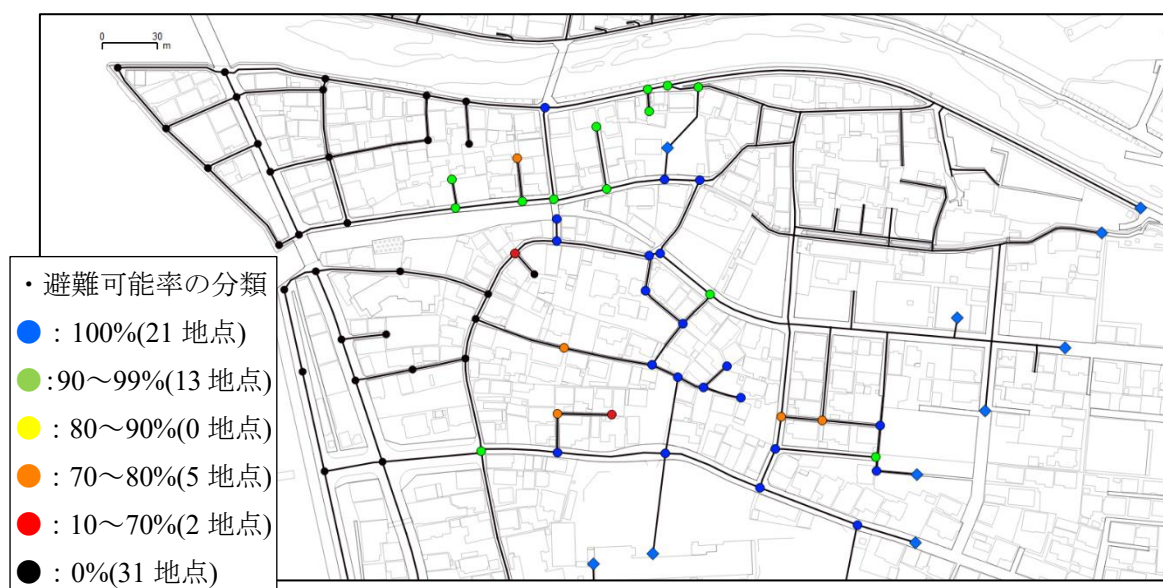


図 27 避難可能率による分類 (n=72)

## ②改善案

図 28 に示す赤線が新設経路、青色の図形が除却対象建物である。除却数については検証範囲内の木造建物数が 156 棟、構造不明建物が 25 棟であったため 15 棟とした。大中島中央部の 2 箇所の袋小路を解消するため、それぞれ東側の空き家を除却して閉塞リスクを軽減するとともに経路の新設によって二方向避難が可能となるように改善した。また、この経路新設によりスムーズに東側への避難が可能となるため避難時間短縮の効果も見込んでいる。また、木造建物の密集による道路閉塞リスクを軽減するため角地に近い建物を除却し、閉塞しやすい経路を補完する経路の新設を行った。

小中島については津波避難タワーへの避難経路が遠回りとなっているため、公園東側の低未利用地を利用して公園への経路を新設することで避難経路の短縮を図った。小中島西部は川沿いの経路が閉塞するとかなりの迂回を強いられることから、その影響の緩和するために南北の移動を可能とする経路の新設を検討したが低未利用地が都合できなかったため見送った。

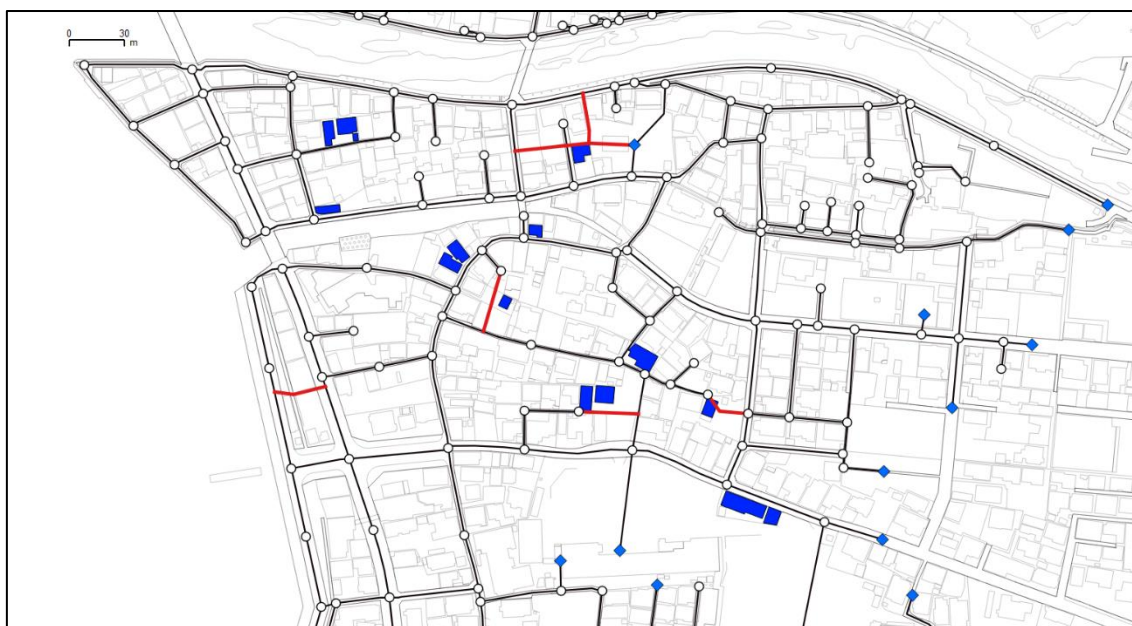


図 28 改善案の内容

## ③改善効果の検証

図 29 は改善後の基準猶予時間による分類である。依然として海沿いには基準猶予時間が負の値であることを示す赤色の地点が並んでいる。また、図 30 は改善前後の基準猶予時間の差を比較したものである。主に小中島北岸や大中島中心部で 30 秒以上の改善が見られており、経路新設によって基準猶予時間の改善が為されたことが分かる。

図 31 は図 27 と同様の条件で 10 試行を行った結果を集計したものである。続く図 32 では両者の結果を比較しており、大中島の 4 地点で避難可能率が 60%~80%の改善を見てい

る。これは経路の新設により基準猶予時間が正の値に転じたためであるが、道路閉塞の状況次第では避難不可能な状態になりうる状態であることを示している。

小中島の北岸では10地点で基準猶予時間の大幅な改善が見られたものの、そのうち7地点は避難可能率0%のままという結果であった。

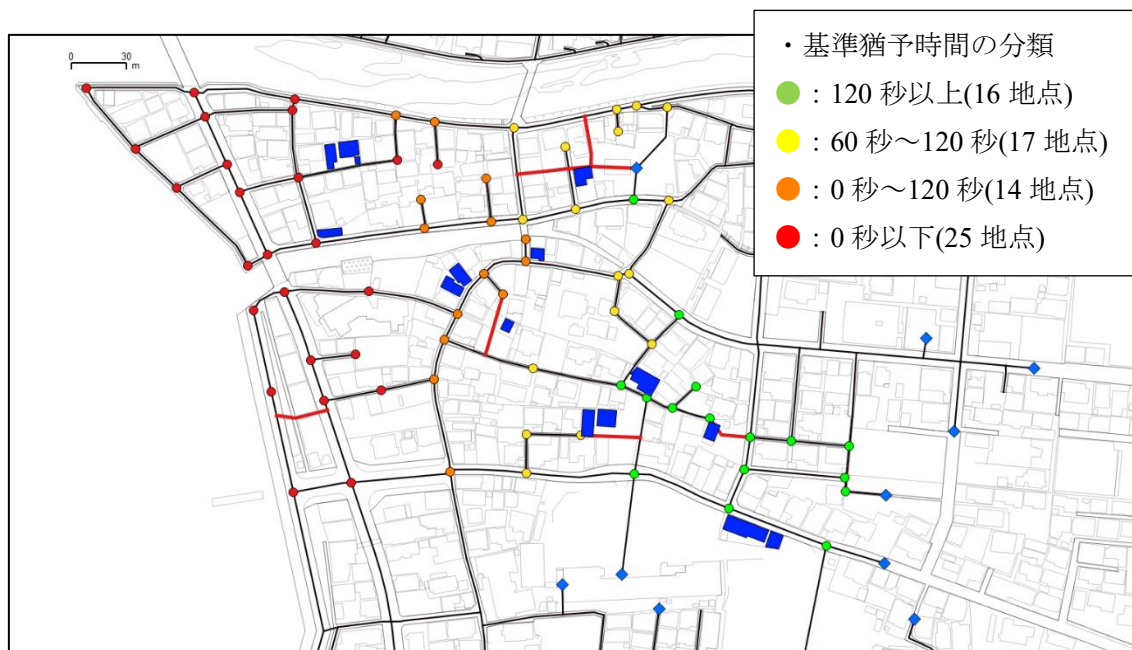


図 29 改善後の基準猶予時間による分類 (n=72)

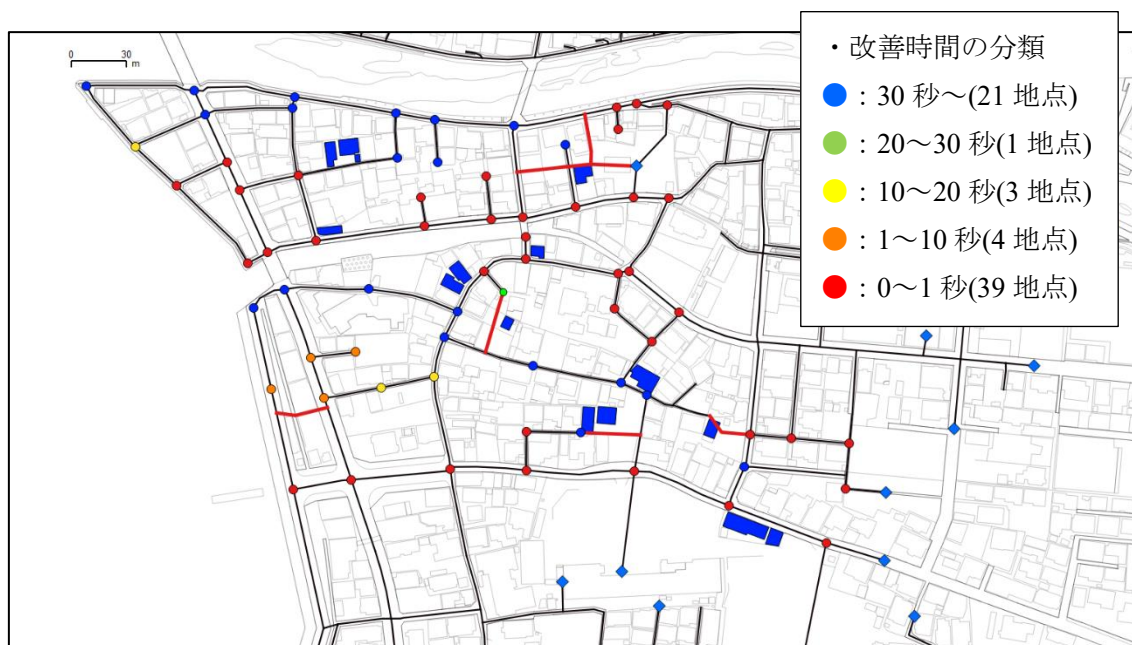


図 30 改善前後の基準猶予時間の比較 (n=72)



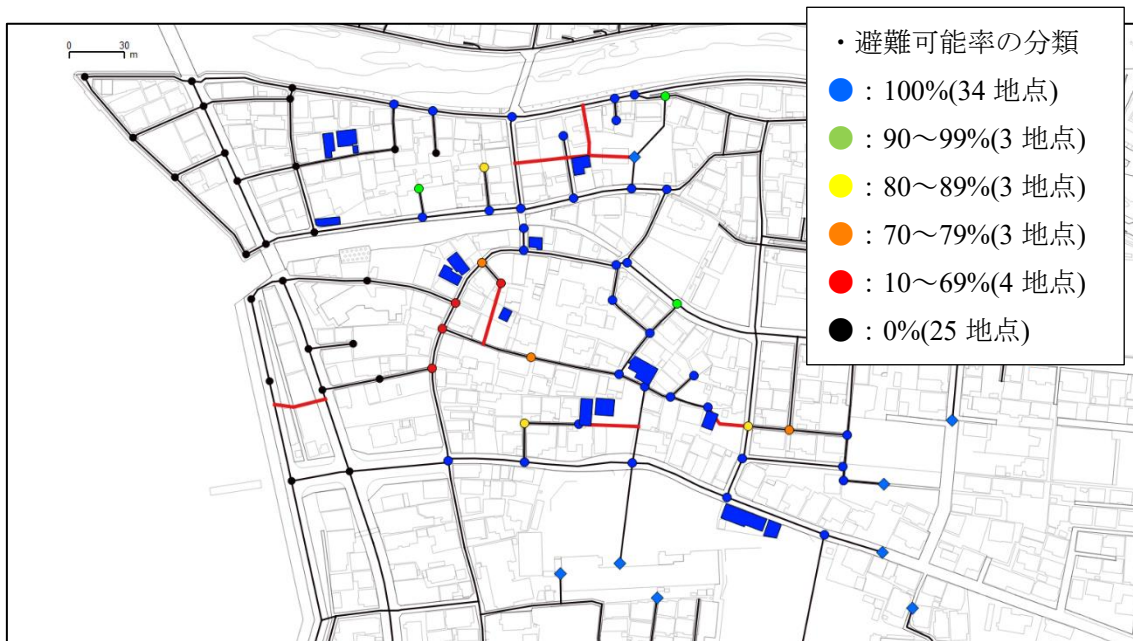


図 31 改善後の避難可能率による分類 (n=72)

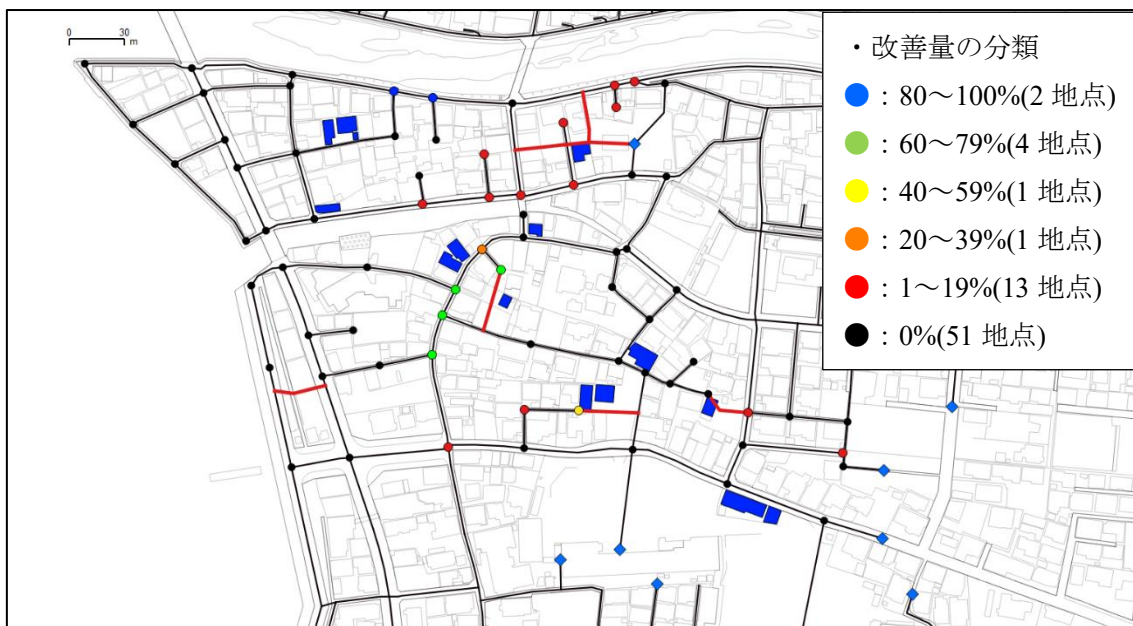


図 32 改善前後の避難可能率の比較 (n=72)

図 33 は 10 試行各回の改善前後の避難可能者数を比較したものである。なお、地区内の総避難者数は 270.7 人である。

グラフ中に砕線で示した非倒壊時の避難可能者数は改善前で 175.6 人(64.9%)、改善後で 208.6 人(77.1%)であり改善案により 33.0 人の改善を見た。また、10 試行各回の避難可能者数を比較すると全ての回で避難可能者数が増加していることが分かる。



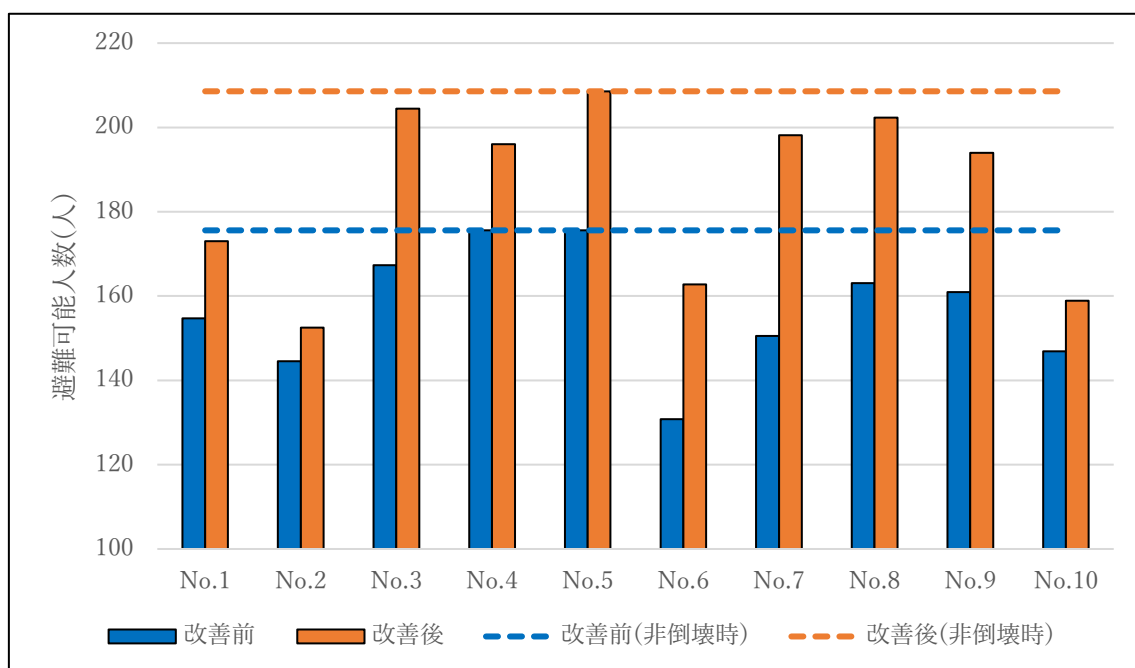


図 33 避難可能者数の変化

### 7-3-3. 南部：口南地区・奥南地区

#### ①選定理由と地区概要

口南地区と奥南地区は図 14 から分かるように中心に避難ビル(民宿浜又)が存在するため前の 2 地区に比べると避難距離が短く、基準猶予時間が負の値である地点は少ない。しかしながら避難可能率が 100%である地点は少ないため、道路閉塞によるロスが避難安全性に与える影響が相対的に大きい地区と考えられる。集密度も高く、道路幅員も狭いためどの建物が倒壊しても道路閉塞が発生しうる状況にあると言える。

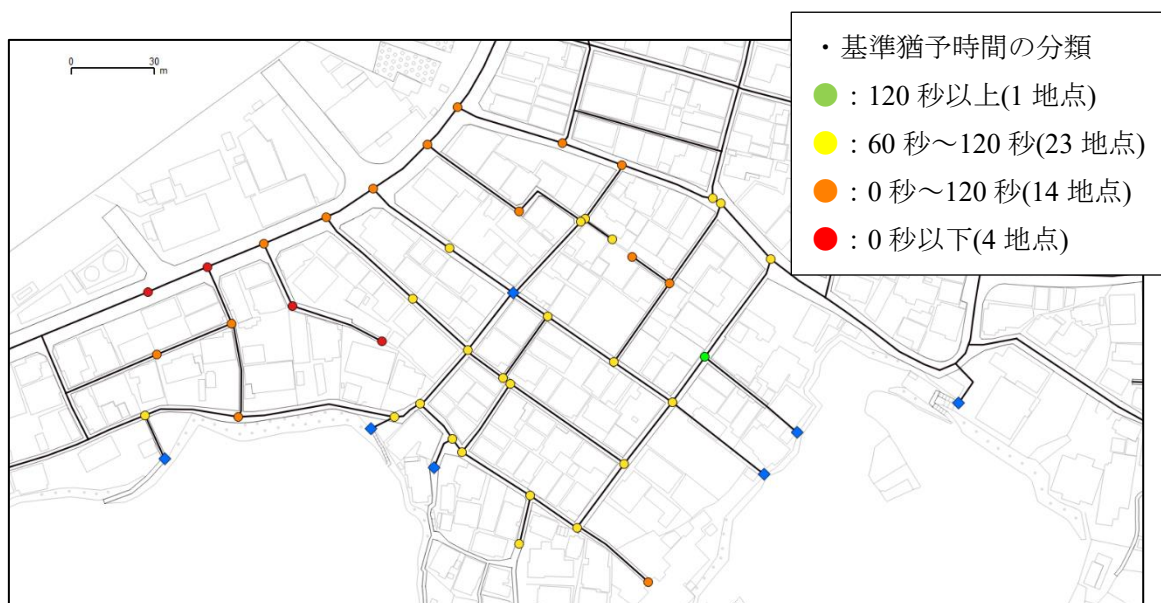


図 34 基準猶予時間による分類(n=42)



図 35 避難可能率による分類(n=42)

## ②改善案

図 36 に示す赤線が新設経路、青色の図形が除却対象建物である。除却数は 15 棟とした。なお、検証範囲内の建物数は木造建物数が 122 棟、構造不明建物が 24 棟である。

前述の通りどの建物が倒壊しても道路閉塞要因となりうるため、津波避難ビル周辺の道路が閉塞した場合の迂回距離が長くないように経路を新設した。中央の新設経路をさらに伸ばして西側の袋小路にまで到達させることを検討したが低未利用地の都合がつかないため断念した。

除却建物については新設経路上にある建物を除却するほかに高台への避難先近くの空き家等を除却した。高台への経路沿いは比較的週密度が低く除却による閉塞リスクの軽減が狙いやすい点もあるが、これらの空き家が倒壊した際には避難路が閉塞されるため影響が大きいことも理由である。

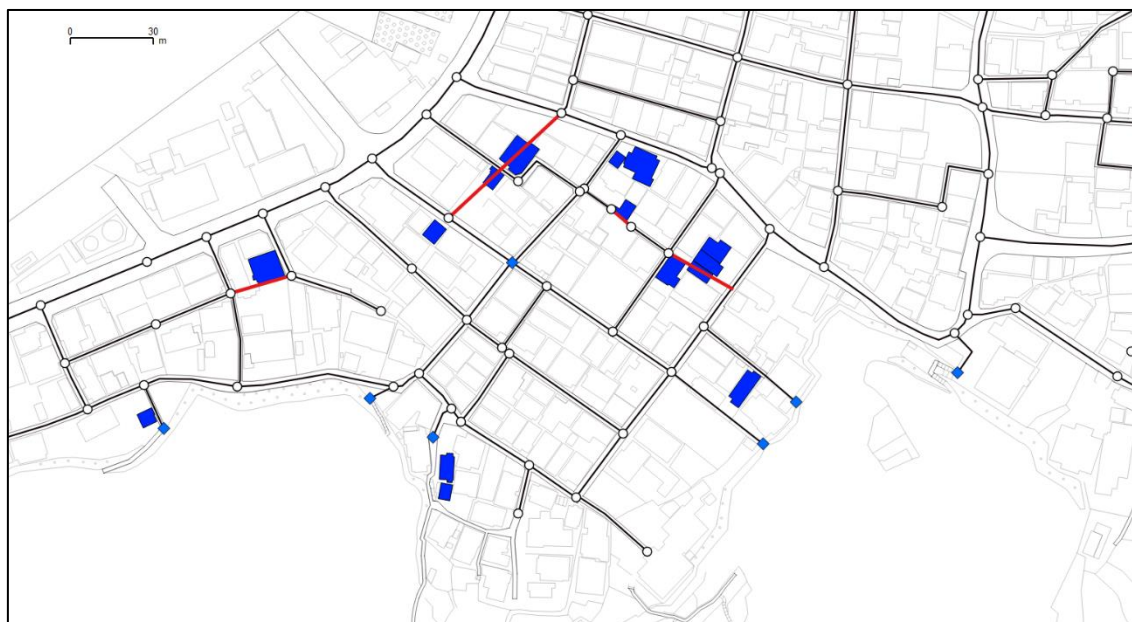


図 36 改善案の内容(n=42)

## ③改善効果の検証

図 37 は改善後の基準猶予時間による分類である。袋小路の地点は内陸への経路を新設できなかったため基準猶予時間を正の値にすることはできなかった。また、図 38 は改善前後の基準猶予時間の差を比較したものである。主に迂回路として使用することを想定して新設したため経路新設による基準猶予時間の改善効果はあまり見られない。

図 39 は図 35 と同様の条件で 10 試行を行った結果を集計したものである。続く図 40 では両者の結果を比較している。全体的に避難可能率の改善率は鈍いものの、避難可能率が 100%であった地点が 22 地点から 28 地点に増加しているため避難安全性は向上していると判断できる。

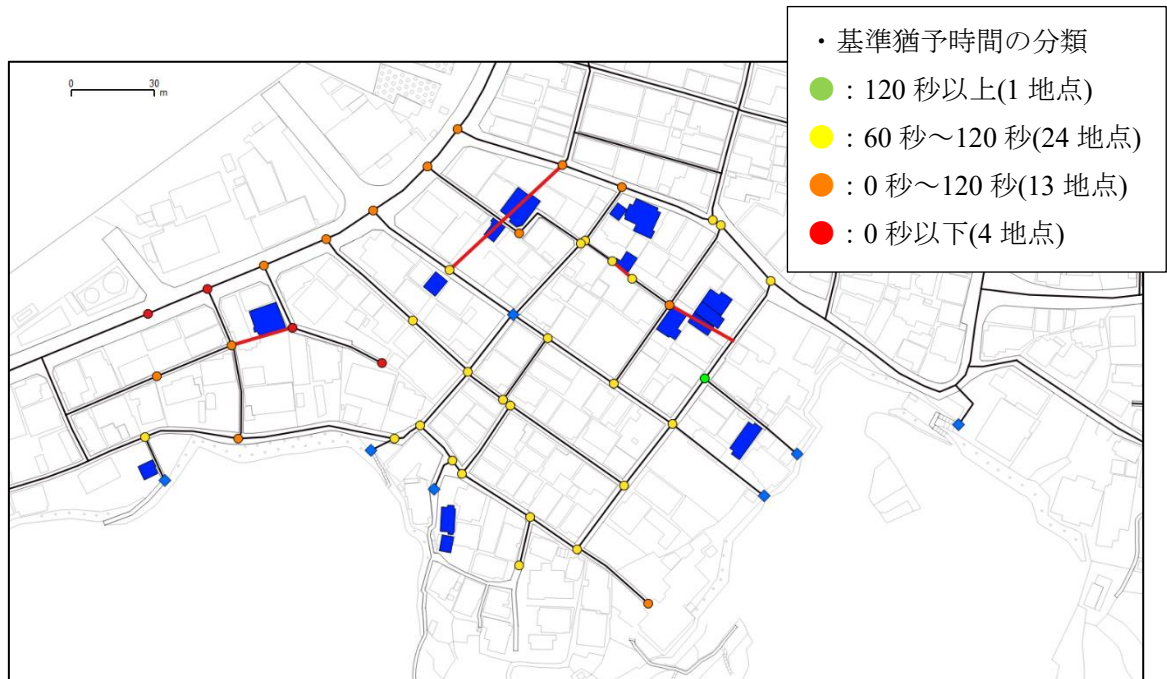


図 37 改善後の基準猶予時間による分類 (n=42)

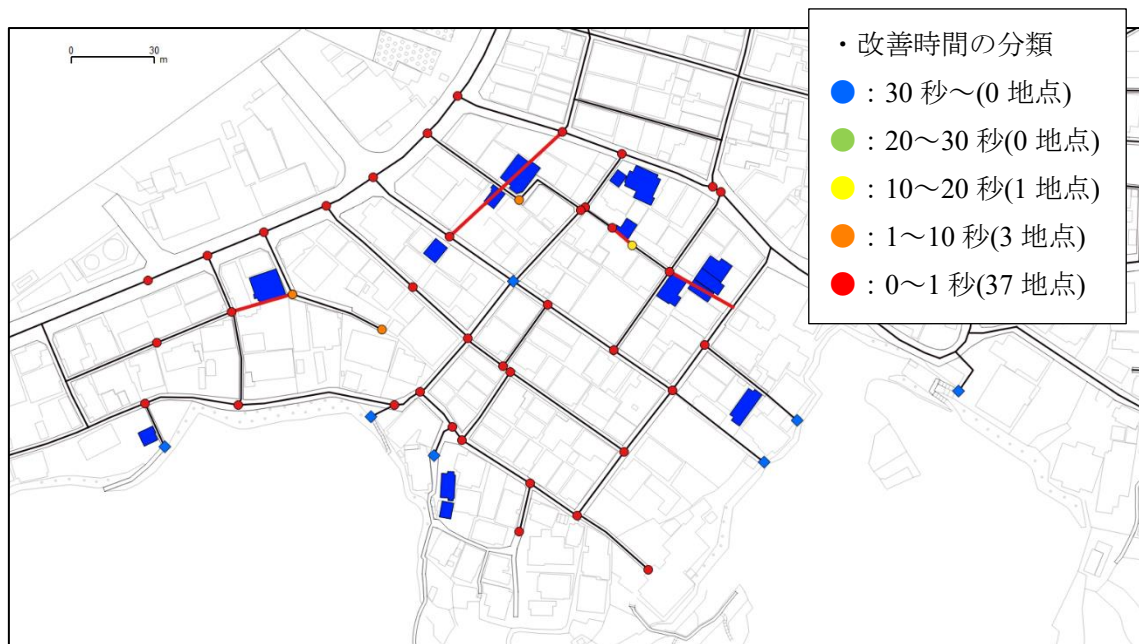


図 38 改善前後の基準猶予時間の比較 (n=42)



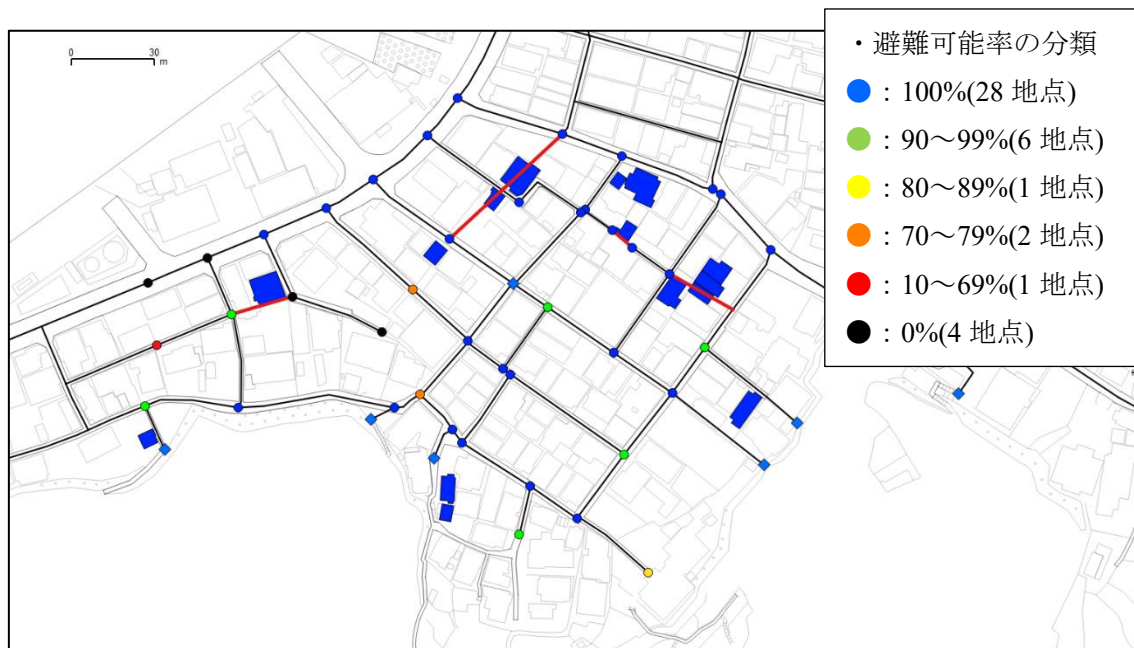


図 39 改善後の避難可能率による分類 (n=42)

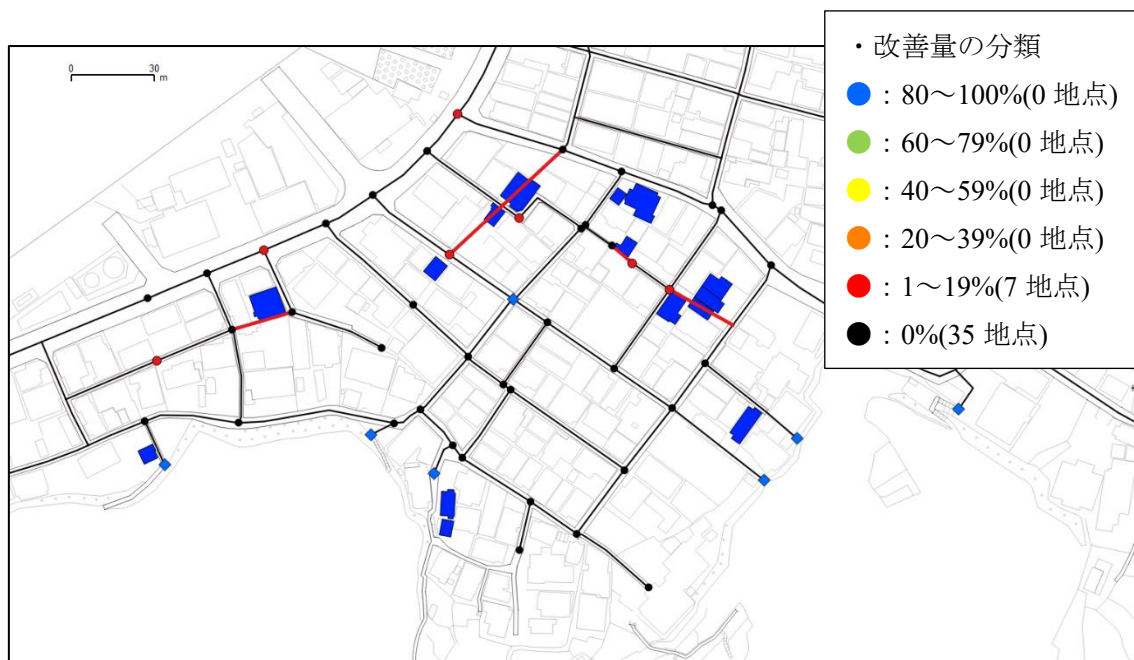


図 40 改善前後の避難可能率の比較 (n=42)

図 41 は 10 試行各回の改善前後の避難可能者数を比較したものである。なお、地区内の総避難者数は 192.0 人である。

グラフ中に砕線で示した非倒壊時の避難可能者数は改善前後共通で 179.8 人(93.6%)であり、改善案による変動はなかった。これは主に迂回路の新設を行ったため基準猶予時間に大きな改善が見られなかったためであると考えられる。10 試行各回の避難可能者数を比較すると 4 試行において避難可能者数が増加している。

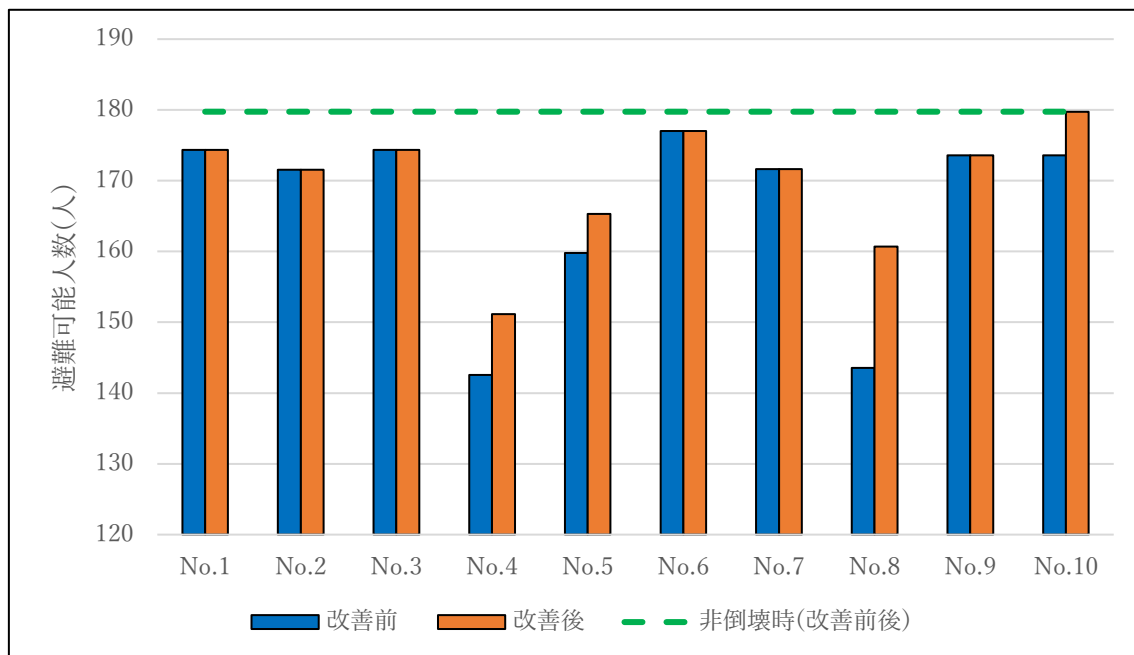


図 41 避難可能者数の変化

#### 7-4. 検証のまとめ

3 地区を対象として改善案を提案し、いずれの地区においても改善による津波避難安全性の向上を確認することができた。しかしながら、計測地点と目的地点の位置関係によっては、本手法による改善には限界があることが示された。例えば海岸沿いである小中島地区の西端から直近の避難先である津波避難タワーまでは直線距離で約 300m 離れており、この直線上にある建物をすべて除却して経路化したとしても避難猶予時間は－145 秒である。

長距離避難時の安全性の向上には一定の限界が認められたものの、北部と中央部では全体の 1 割程度の避難者の基準猶予時間を正に転じることができ、倒壊時においても同程度の改善を見ることができた。一方で改善前から避難可能者数の割合が比較的高い南部は微改善に留まった。

## 8. 改善案の実行可能性の検討

本章では 7 章で検証した改善案の実行可能性について主に費用面から検討を行う。改善案の実行にあたっては空き家の所有者が解体を行う必要があるが、1 章でも触れたように近年空き家の数は増加の一途を辿っている。空き家が解体せず放置される理由としては相続による権利関係の複雑化によるものや積み重ねた年月による心情的なもの、解体費用などの金銭的な理由などがある。ここでは金銭的な理由として解体費用と解体に伴う固定資産税の変動についてみていく。

### 8-1. 建物の解体と固定資産税

住宅用地に対しては固定資産税評価額について特例措置が設けられている。これは住宅の敷地として利用されている土地を対象として固定資産税の軽減が行われるもので、小規模住宅用地(200m<sup>2</sup>以下の住宅用地。これを超える場合は住宅 1 戸につき 200m<sup>2</sup> までの部分)について税額計算の基となる課税標準額を固定資産税の場合は 1/6、都市計画税の場合は 1/3 に軽減する措置が受けられる。建物を除却した場合この軽減措置が受けられなくなり、固定資産税が増えることから所有者に老朽家屋の除却を躊躇わせるものであるとされている。

実際の事例を見てみると三信ら<sup>14)</sup>は建物の解体費用を助成する呉市の危険建物除却促進事業の利用者に対してアンケート調査を行っているが、空き家を維持していた理由(複数回答)を訪ねたところ 148 人中 27 人が「固定資産税が上がるから」と回答しており、これは解体費用の不足や家への思い入れなど様々な理由をまとめた「その他」を除くと最多であった。なお、アンケート回答者が事業を利用して解体した建物の 5 割強が終戦以前、8 割強が昭和 39 年以前に建てられたもので大半が築 50 年以上という結果であった。このように固定資産税額の変動は建物解体が進まない理由の一端であると考えられる。

### 8-2. 除却・転用費用及び固定資産税の推定

ここでは先の検討において行った空き家の除却、低未利用地の経路転用にかかる費用と固定資産税の変動を推定することで改善案の実行可能性をみる。但し、除却・転用の費用、固定資産税額の変動のいずれも個別の状況により幅があるものであるため、ここで示すのはあくまで大まかな推定値である。

#### ①除却・転用費用の推定

解体工事の見積もりを扱うサイト<sup>15)</sup>によれば静岡県での木造建物の解体相場は坪単価 2.7 万円(≒8000 円/m<sup>2</sup>)であった。今回の検討ではこれを除却費用として採用する。

また、転用に際しては経路として利用することと維持管理を考慮すると様々な形態が考えられるが、ここでは碎石を敷いた駐車場の形態をとるものとする。更地を碎石敷きの駐車場へ転用するときの費用は土地活用を扱うサイト<sup>16)17)</sup>を参考として 2000 円/m<sup>2</sup>と設定した。

以上より建物の除却及び経路化に要する費用は次のとおりである。



- ・ 木造建物の除却費用  
 $8000(\text{円}/\text{m}^2) \times \text{延べ床面積}(\text{m}^2)$
- ・ 更地の整備費用  
 $2000(\text{円}/\text{m}^2) \times \text{敷地面積}(\text{m}^2)$

## ②戸田地区の固定資産税額の推定

### 1)路線価の設定

戸田地区の住宅地の路線価は概ね 2 万円から 3 万円となっている。今回の試算では間をとって 2 万 5 千円とした。

### 2)評価額の算出

沼津市では画地計算法により各筆の評価額を算出している。これは画地の奥行、間口、形状などによって土地を評価するものであるが作業の都合上今回の試算では一律で無補正とする。したがって先に求めた路線価(2 万 5 千円)に面積を乗じたものが評価額となる。なお、面積は GIS 上で求める。

### 3)土地の固定資産税額の推定

評価額に税率 1.4%を乗じたものが固定資産税額となる。軽減措置を含めて計算すると戸田地区の小規模住宅地  $1\text{m}^2$  あたりの課税額は 58.3 円となった。すなわち小規模住宅地  $200\text{m}^2$  の固定資産税額は 1 万 1700 円程度と推定される。なお、戸田地区は都市計画区域外なので都市計画税は課税されない。

### 4)建物の固定資産税額の推定

建物の固定資産評価は評価額から経過年数に応じて額を減じる形で行われているが、評価額の算定は相当に複雑であるためここでは金融機関が担保評価に用いる「再調達価格」を参考として推定する。再調達価格は金融機関により差があるが、木造の場合は延床面積  $1\text{m}^2$  あたり 12 万円から 15 万円とされている。評価額の水準は再建築の約 7 割とされているので再調達価格に 7 割を乗じたうえで中間を取り 9 万円/ $\text{m}^2$  とする。

経過年数による評価額の減額は木造建物の場合には 20 年経過で元の額の 20%となり、以降は下がらない。今回の検討で除却の対象とした建物はいずれも旧築年(昭和 56 年以前建築)のものであるので全ての建物で元の額の 20%まで減額されているものとする。よって評価額は 1.8 万円/ $\text{m}^2$  となる。税率は土地と同じく 1.4%なので税額は 252 円/ $\text{m}^2$  と推定される。

### 5)除却後土地(非住宅用地)の固定資産額の推定

建物を除却して駐車場に転用した場合、地目は「雑種地」となるとされている。戸田地区の雑種地は路線価図の倍率表に記載がないためここでは宅地と同額とする。非住宅用地の場合には評価額を最大でも 70%に引き下げる措置があるのでこれを適用すると課税額は 245 円/ $\text{m}^2$  となる。

以上より今回の検討において固定資産税は以下の式で算出される。

- ・土地の固定資産税(小規模住宅地)  
58.3(円/m<sup>2</sup>)×敷地面積(m<sup>2</sup>)
- ・土地の固定資産税(その他の住宅用地)  
116.7(円/m<sup>2</sup>)×敷地面積(m<sup>2</sup>)
- ・土地の固定資産税(雑種地)  
245.0(円/m<sup>2</sup>)×敷地面積(m<sup>2</sup>)
- ・建物の固定資産税(木造、旧築年)  
252(円/m<sup>2</sup>)×延べ床面積(m<sup>2</sup>)

### 8-3. 試算と分析

例として敷地面積 200m<sup>2</sup>、延床面積 90 m<sup>2</sup> の土地建物を想定してについて除却及び経路化を行った場合の費用と固定資産税の変動を算定した結果は以下の表のとおりである。

表 15 除却及び転用費用の算定

内容	費用
除却	720,000 円
転用	400,000 円
合計	1,120,000 円

表 16 除却及び転用前後の固定資産税の変動

	除却及び転用前	除却及び転用後
固定資産税(土地)	11,660 円	49,000 円
固定資産税(建物)	22,680 円	0 円
合計	34,340 円	49,000 円

転用費用を除いて考えたとしてもこのケースのように高額な除却費用をかけた上で税金が上がる結果となるため除却を躊躇う所有者が多いとされている。延床面積と敷地面積の関係次第では除却を行った方が税金を抑えられるケースも考えられるが、その条件を満たすには建物の延床面積が相当に大きい必要がある。その場合は除却費用も相応に嵩むため、より除却に踏み切りづらくなると考えられる。

ただ、戸田地区は地価が相当に低いため土地分の固定資産税が抑えられていることから除却後に固定資産税が安くなる条件を満たしやすい土地であると言える。敷地面積が 200m<sup>2</sup> までであれば延床面積が敷地面積の 3/4 の場合に前後の固定資産税が同程度になる。

地価の高い土地の場合は転用後の土地分の固定資産税がより大きく伸びること、都市計画区域内であればさらに都市計画税(上限 0.3%)が課税されることなどから除却後に固定資産税が高くなるケースが大半となると考えられる。

すなわち相対的に建物の価値が高い戸田地区は除却による固定資産税の増加を抑えやすい、もしくは減少が見込めることから比較的除却に踏み切りやすい地域であると考えられる。

しかし、仮に固定資産税が減少するとしても少なくとも数十万円の解体費用が発生するのは確実であり、様々な自治体の空き家所有者に対するアンケートでも「解体費用をかけたくない」という声は多数挙げられていることから解体費用が高いハードルであることに変わりはない。これに関しては多くの自治体で解体費用の補助を行っており、沼津市の場合は20万円を上限として耐震化されてない木造住宅の解体工事費用の一部を補助している。

経路化にあたっては解体費用に加えて転用費用が発生する。敷地面積と延床面積の比率にもよるが、今回の試算では概ね解体費用の半額程度が発生すると考えられる。敷地全てを経路化せず、必要部分のみを対象とすることで費用を抑えることは可能であるが、それでも先の沼津市の補助金分に匹敵する額の費用が発生するのは確実であり、改善案の実現への課題の一つであると言える。

一方で私有物の除却は施設の新設と異なり日照権や眺望を妨げるものではないため周囲の理解は得やすいと考えられる。むしろ老朽家屋については周囲から解体を求められるケースも少なくなく、三信ら<sup>14)</sup>の調査では159人中76人が所有する空き家について「周囲から苦情があった」と回答しており、この内64人が「周囲からの苦情が解体除却をするきっかけとなった」としている。

以上のことから戸田地区のような地価の低い地域において改善案を実現するにあたっては解体費用が大きな課題になると考えられる。

#### 8-4. 改善案の費用推定

ここでは7章において3地区で検討した改善案の費用を推定する。経路の新設に際して既存の駐車場など大幅な整備が必要ない箇所も存在するがフェンス、ブロック塀等の撤去を想定して一律で経路毎に10万円を計上するものとした。

##### ①鬼川地区(南側)

表 17 鬼川地区(南側)における改善案の費用推定

内容	数量	費用
経路の新設	5箇所	500,000円
土地の転用	210m <sup>2</sup>	420,000円
建物の除却	857m <sup>2</sup>	6,856,000円
合計		7,776,000円

②小中島地区・大中島地区

表 18 小中島地区・大中島地区における改善案の費用推定

内容	数量	費用
経路の新設	7 箇所	700,000 円
土地の転用	277m <sup>2</sup>	554,000 円
建物の除却	1219m <sup>2</sup>	9,752,000 円
合計		11,006,000 円

③口南地区・奥南地区

表 19 口南地区・奥南地区における改善案の費用推定

内容	数量	費用
経路の新設	7 箇所	700,000 円
土地の転用	383m <sup>2</sup>	766,000 円
建物の除却	804m <sup>2</sup>	6,432,000 円
合計		7,898,000 円

④3 検証地区の合計

3 検証地区の改善案にかかる推定費用を合計したものは 26,680,000 円となった。

## 8-5. 他の手法との比較

最後に、津波対策としてよく挙げられる他の手法と本研究の手法との比較を行い、その特徴を示す。

津波対策において防潮堤の建設は浸水域を大幅に減少させるものであり、本分析に当てはめると基準猶予時間を大きく伸ばす効果が期待できるものである。その建設費は 1km あたり数億円に上るが効果もまた絶大である。しかし前述の通り戸田地区では住民の意向もあり建設の見通しは現時点では立っていない。

また、津波避難タワーは周囲に高台の無い平野部において避難場所を確保するものである。新規に避難場所を確保できるものであり、こちらも基準猶予時間の改善が期待できる。戸田地区には小中島に一基存在し、多くの計測地点の基準避難先となっていることから有効性は明らかであるが、それなりの広さの用地と数千万の建設費を要するものであるため容易に増設できるものではなく、また設置場所も限定される。効果や目的が異なるので額面上の単純比較はできないが、先の試算で本分析の実現には約 2 千 5 百万円がかかるという推計結果と、今回は 9 地区中 5 地区を対象としたこと、行政側としては補助金を出すことはあるものの建物の解体は基本的に所有者負担であることを考えると、本手法による行政負担の規模は津波避難タワーの増設を上回るものではないと推測される。

津波避難ビルの新規指定は津波避難タワーと同様に平野部に避難場所を確保するもので

あり、既存施設を利用したものであるため外階段の増設などの費用を考慮しても比較的容易く実現可能であると考えられる。戸田地区中心部においては津波避難ビルとしての条件を満たしうる建物は主に宿泊施設が存在するため、現在指定されている民宿浜又以外の宿泊施設を津波避難ビルとして指定することができれば基準避難時間の改善は大いに見込むことが可能である。これについては今後の課題としたい。

建物のセットバックによる道路拡幅は経路の閉塞リスクを軽減するものであるが、戸田地区、特に閉塞率の高い海側は建物の集密度が高く、建蔽率も高いこと、過疎化が進んでいることなどから住宅の更新は低調であると推測され、セットバックは現実的ではないと判断した。

最後に建物の耐震化であるが、耐震化にかかる費用をみる<sup>18)</sup>と解体除却の方が費用を抑えられるとみられること、木造建物の倒壊リスクの軽減という観点から効果もまた同程度と見込まれること、過疎化が進む戸田地区において空き家の需要は低いと見込まれるため所有者が耐震化を施してまで空き家を維持するメリットが薄いことなどの点で空き家については本手法が勝つと考えられる。但し現在居住中の住宅に関しては耐震化を施して住み続けることを望む住民の意向を覆すのは現実的ではないと考えられる。

#### 8-6. 経路新設及び建物除却の評価のまとめ

経路新設及び除却は道路閉塞リスクを軽減することによって津波避難安全性を高めるものであり、各地の避難路の有効性をより確実とするものである。場所を選ばず実施までのハードルも比較的低いものであるが単独での効果には限界があり、避難先の整備等と組み合わせることでより大きな効果を期待できるものである。

## 9. まとめと今後の課題

本研究では南海トラフ地震による津波が地震発生直後に到達すると想定されている沼津市戸田地区中心部を対象として現地の道路、建物状況に基づいて建物倒壊による道路閉塞の避難行動に与えるリスクを算定した。この算定結果に基づいて低未利用地の利活用による避難安全性の向上を検討し、経路の新設と建物の除却を行うことによって道路閉塞リスクを軽減が可能であることを示した。また、改善案によって発生する諸費用と固定資産税の変動を試算することで改善案の実施可能性を検討し、土地価格の低い戸田地区は改善案の実施を受け入れやすい条件が揃っていることと、依然として解体費用は課題であることを示した。

今後の課題であるが、7章までの分析面においては空き家調査の精度の向上などによる分析精度の向上、複数の改善案の比較、分析手法の効率化などが挙げられる。8章における改善案の検討においては各種費用推定の精度と空き家の所有者である住民の意向の確認がある。また、解体費用を解決するための施策や転用後の用地の維持管理、転用後の地権者の意向の変化なども今後検討が必要であるといえる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教官である池田浩敬教授には仔細に渡し熱心なご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

田中聡教授、阿部郁男教授をはじめとする環境防災研究科の先生方にも論文作成に際して様々のご指摘を頂きました。ありがとうございました。

沼津市役所の皆様には GIS データを含む様々な資料を提供して頂きました。心より感謝いたします。また、ワークショップに参加し、アンケートに回答して頂いた戸田地区の皆様にも感謝いたします。

最後になりましたが、熊本地震の調査に始まったこの二年間で様々な経験を共にした院生、学部生の皆には多くの刺激と示唆を頂きました。ありがとうございました。



## 参考文献

- 1) 静岡県(2017)『平成 28 年度末の「静岡県地震・津波対策アクションプログラム 2013」進捗状況』
- 2)総務省統計局『平成 25 年住宅土地統計調査』
- 3)中井翔太、嘉名光市、佐久間康富：密集市街地における空き家の実態とその「防災空間」としての活用可能性に関する研究：大阪市鶴橋地区を対象として、都市計画論文集 2012
- 4)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、GIS-理論と応用 12(1),47-56 2004
- 5)伊藤恵理、川瀬博、松島信一、畑山満則：予測強震動を用いた建物倒壊想定に伴う道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーション、日本地震工学会論文集 2015
- 6)水産庁(2009)『漁村の現状と課題』
- 7)静岡県(2013)『第 4 次地震被害想定調査(第一次報告)』
- 8)沼津市(2015)『地震津波ハザードマップ』
- 9)内閣府(2010)『平成 22 年度版 防災白書』
- 10)堀江啓、沖村孝、鳥居宣之、田中聡、牧紀男、林春男(2003)：木造建物を対象とした層破壊被害関数の適用性に関する考察、土木学会地震工学論文集 2003
- 11)山口直也、山崎文雄：西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築、地域安全学会論文集, No.2,2000
- 12)阪田知彦、寺木彰浩：瓦礫の流出方向を考慮した道路閉塞シミュレーションの検討、地域安全学会梗概集、No25、2009
- 13)消防庁(2013)『津波避難対策推進マニュアル検討会 報告書』
- 14)三信篤志、篠部裕：空き家の解体除却整備に関する研究:呉市危険建物除却促進事業を事例として、都市計画論文集、No49(3)、pp.357-362 2014
- 15)解体工事の総合情報サイト「解体工事の匠」  
([http://kaitai-takumi.com/price/type/wood\\_shizuoka/](http://kaitai-takumi.com/price/type/wood_shizuoka/))
- 16) 土地カツ net(<http://www.tochikatsuyou.net/parking/tukigime-rimawari>)
- 17) 土地活用ハウツー.com(<https://tochi-howto.com/parkinglot-initialcost/>)
- 18) 技術士会防災支援委員会 WG『防災 Q&A』