

ISSN 1346-7328

国総研資料 第675号
平成24年3月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.675

March 2012

津波避難の安全性に及ぼす施設整備・避難対策の影響 及び津波避難施設の配置手法に関する研究

渡邊祐二・熊谷兼太郎

Study of effects on tsunami evacuation safety of the mitigation measures
and research of the evacuation building location method

Yuji WATANABE, Kentaro KUMAGAI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

津波避難の安全性に及ぼす施設整備・避難対策の影響 及び津波避難施設の配置手法に関する研究

渡邊祐二*・熊谷兼太郎**

要 旨

避難距離及び避難所要時間に着目した沿岸地域の津波避難安全性を評価する手法の提案のために、津波避難施設の配置手法について、数理計画法のp-メディアン問題及び集合被覆問題をモデルとして、建物構造要件及び収容可能人数を考慮した津波避難施設配置によりケーススタディを行い、両モデルの特徴について整理した。また、海岸保全施設の整備、建物耐震化による街路閉塞箇所の減少及び津波避難標識の影響について、避難距離及び避難所要時間による避難者の安否を指標とした避難安全性の評価を行った。

これにより、以下の結果を得た。

- (1) 平均避難距離を避難安全性の指標とした場合に、集合被覆問題モデルよりもp-メディアン問題モデルによる津波避難施設配置の方が安全性は高い。
- (2) 最大避難距離を避難安全性の指標とした場合に、p-メディアン問題モデルよりも集合被覆問題モデルによる津波避難施設配置の方が安全性は高い。ただし、集合被覆問題モデルによる解析に解が存在する場合に限られる。

キーワード：津波避難，津波避難ビル等，施設配置問題，街路閉塞，津波避難標識，海岸保全施設

*沿岸海洋研究部沿岸防災研究室研究員

**沿岸海洋研究部主任研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5024 Fax：046-844-5068 e-mail: watanabe-y82ab@ysk.nilim.go.jp

Study of effects on tsunami evacuation safety of the mitigation measures and research of the evacuation building location method

Yuji WATANABE*

Kentaro KUMAGAI**

Synopsis

The object of this study is to propose the evaluation method of the safety of a coastal area for tsunami evacuation in view of the evacuation distance and the amount of time required for evacuation. In this study, the mathematical optimization techniques, the p-median problem solution method and the set covering problem solution method, are applied for the evaluation. The case studies of tsunami evacuation were conducted by applying the mathematical techniques for solving the evacuation building location problem under the conditions of the structure of building and evacuee's capacity of the building. And the characteristics of the two mathematical techniques, the p-median problem solution method and the set covering problem solution method, are organized into several points of view. And the following three tsunami disaster mitigating measures which will affect the evacuation distance and the amount of time required for evacuation are selected, such as the constructing the shore protection facilities, the renovation of the buildings to resistant against earthquake and placing the roadway sign boards for indicating the tsunami evacuation information. Then, the trial evaluation is conducted in view of the evacuation distance and the amount of time required for evacuation for comparing the three measures each other.

The results are as follows:

- (1) In terms of employing the average evacuation distance in evaluation of safety for tsunami evacuation, the tsunami evacuation buildings location by the p-median problem solution method is safer than by the set covering problem solution method.
- (2) In terms of employing the maximum evacuation distance in evaluation of safety for tsunami evacuation, the tsunami evacuation buildings location by the set covering problem solution method is safer than by the p-median problem solution method. But it is only when there is the solution about the tsunami evacuation buildings location by the set covering problem solution method.

Key Words : tsunami evacuation, tsunami evacuation building, facility location problem, obstruction of street, tsunami evacuation sign, shore protection facility

* Research Engineer of Coastal Disaster Prevention Division, Coastal and Marine Department

** Senior Researcher of Coastal and Marine Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5024 Fax : +81-46-844-5068 e-mail:watanabe-y82ab@ysk.nilim.go.jp

目 次

1. 緒論	1
2. 解析基礎データ	1
2.1 対象地区GISデータ	1
2.2 数理計画法の解析基礎データ	2
2.3 津波数値計算データ	2
3. 解析方法	4
3.1 避難行動の決定因子	4
3.2 避難行動のモデル化	6
3.3 p-メディアン問題と集合被覆問題	9
3.4 津波避難対策の抽出	10
3.5 避難安全性の指標	11
4. 解析結果	12
4.1 避難距離を指標とした解析結果	12
4.2 避難者の安否を指標とした解析結果	15
5. 考察	16
6. 結論	18
謝辞	18
参考文献	18
付録-1	20
付録-2	21
付録-3	22
付録-4	23
付録-5	24
付録-6	34
付録-7	46

1. 緒論

平成 23 年 12 月の内閣府中央防災会議による防災基本計画では、最大クラスの津波に対して海岸保全施設等の整備、土地のかさ上げ、避難場所・津波避難ビル等(以下、津波避難場所及び津波避難ビル等を総称する場合に、津波避難施設という)や避難路・避難階段の整備及び津波浸水想定を踏まえた土地利用等を組み合わせるなど地域の実情に応じた総合的な対策を講じることが示された。また、徒歩による避難を原則として、「津波到達時間が短い地域では、おおむね 5 分程度で避難が可能となるようなまちづくりを目指すものとする。」という目標とする津波避難の時間が示された。

国土交通省では、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津波の際の徒歩による避難の距離は平均 438m、所要時間は 11.2 分との調査結果がある。

そして、津波からの避難が特に困難と想定される地域に対して、津波避難ビル等の設置による対策が考えられている。

そこで、津波避難施設の配置手法について、竹内ら¹⁾は避難所と高台を既定の場所として与え、細木ら²⁾は道路網ノードから数理計画法の p-メディアン問題(施設数を指定して総避難距離を最小化する施設配置問題)を解いて決定している。宮澤³⁾は細木ら²⁾と同様に道路ネットワーク間のノードを津波避難施設候補として数理計画法の集合被覆問題(最大避難距離を指定した値以下とする制約の中で施設数を最小化する施設配置問題)を解いて決定している。上記の配置手法はいずれも津波避難施設の収容可能人数についての検討はされていない。竹内ら⁴⁾は既設避難場所に対して収容可能人数を考慮した p-メディアン問題を解くことにより、既設避難場所への集積人口の再配分の検証を行っている。

しかし、いずれの研究も p-メディアン問題または、集合被覆問題モデルの一方による津波避難施設配置の検討が行われており、両配置手法がどのような場合に優れているかについて比較検証はなされていない。

そこで、本資料では避難距離及び避難所要時間に着目した沿岸地域の津波避難安全性を評価する手法の提案のために、津波避難施設の配置手法について、p-メディアン問題モデル(以下 p モデルという)及び集合被覆問題モデル(以下 s モデルという)による収容可能人数を考慮した津波避難施設配置によりケーススタディを行い、両モデルの特徴について整理した。また、ケーススタディでは、津波避難施設の整備、海岸保全施設の整備、建物耐震化による街路閉塞箇所減少及び津波避難標識の影響につい

て、避難距離及び避難者の安否を指標とした避難安全性の評価を行った。

図-1.1に本資料の構成を示す。まず2章では、解析を行うための基礎データを示す。3章は解析方法について述べる。4章は解析結果について述べる。5章は考察を述べる。6章は結論を述べる。

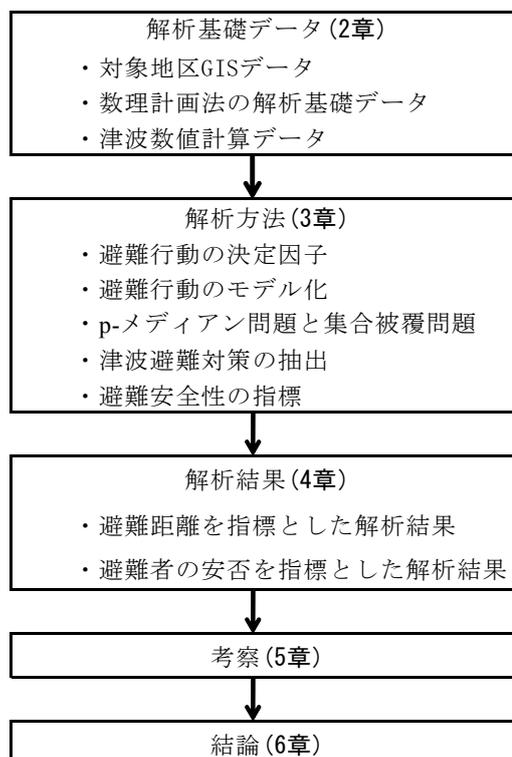


図-1.1 本資料の構成

2. 解析基礎データ

2.1 対象地区GISデータ

本研究の対象地域を選ぶにあたり、1つ目は過去に地震・津波による被害が発生しており、今後も地震・津波による被害発生リスクがあること。2つ目に典型的な低層木造住宅を中心とした市街地であることを理由として選定した。

対象地区は熊谷ら⁵⁾と同地区である沿岸地区の市街地、東西約500m、南北約900mの範囲を対象とした。ただし扱う範囲を変更しており、北西の地区を一部対象外としている。その理由は、北西の地区は他の地区と比べ水際線から離れた場所に位置し、津波避難の特性が他の地域と異なるためである。

図-2.1にノード・リンクモデルを用いて構造化した対象地区の津波避難場所3箇所、建物818棟(津波避難場所3

箇所は内数)及び街路を示す。なお、建物のノード数は818、街路のリンク数は1,819であり、構造化の際に使用したデータの形式はESRI社製ArcGISのshape形式である。

また、各建物に2人避難者を配置したため、避難者数は1,636人である。各建物に2人避難者を配置した根拠については付録-1に示す。

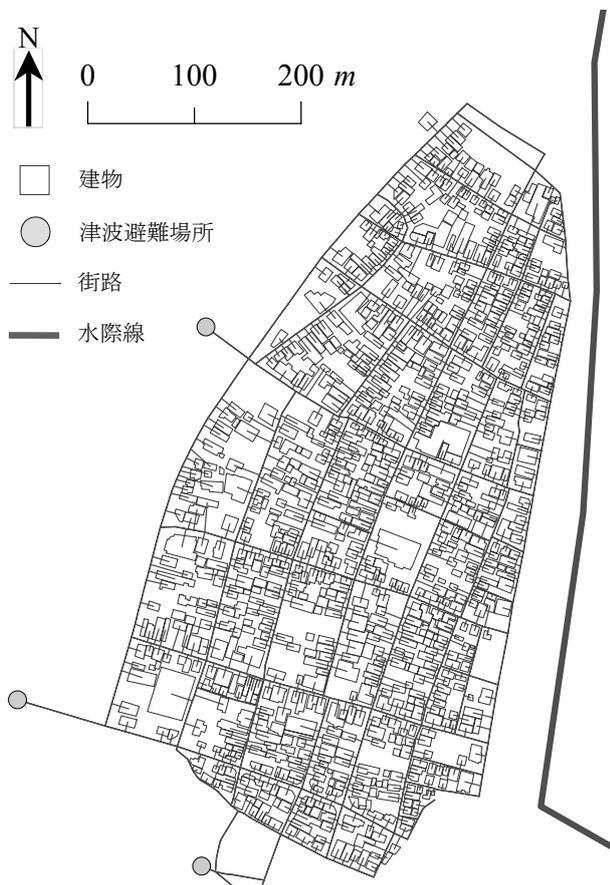


図-2.1 構造化した対象地区

以下、作成したデータについて概要を説明する。データは大別して4つに分けられる。すなわち、建物、交差点等の「ポイントデータ」、街路の中心線等の「ラインデータ」、建物の形状等を表す「ポリゴンデータ」、ArcGISの経路解析機能を利用する際にラインデータから生成される「ネットワークデータセット」である。

(1)ポイントデータ

建物、津波避難場所、交差点、街路閉塞箇所、津波避難標識等が該当する。例えば建物データは属性として位置座標、建物構造及び建築面積の情報をもっている。

(2)ラインデータ

街路の中心線、海岸及び川岸の水際線等が該当する。

例えば、街路の中心線のデータは属性として位置座標、街路の延長、街路の幅員といった情報をもっている。

(3)ポリゴンデータ

建物の形状、津波数値計算データをメッシュデータに変換したもの等が該当する。例えば、津波数値計算のメッシュデータは属性として、メッシュの中心の位置座標、該当する位置の最大浸水深及び流速といった情報をもっている。

(4)ネットワークデータセット

GISの経路解析機能を用いて、建物から津波避難施設まで、どの経路により避難するかといったことを検討する際に街路のネットワークのデータを用いる。ネットワークデータセットは、例えば街路の中心線のラインデータをネットワークとして解析できる形式にしたデータである。ネットワーク上を双方向に移動できる属性、一方通行の規制のある属性といった情報をもっている。

2.2 数理計画法の解析基礎データ

数理計画法のモデルを用いて津波避難施設の最適配置の解析を行う。そのために2.1の対象地区GISデータからのデータの移植等によって作成した数理計画法の解析基礎データについてここでは述べる。

(1)ノードデータ

主に2.1(1)のポイントデータを移植して作成した。建物、交差点及び街路の曲がり角となる位置等を表す変曲点のデータである。建物のデータではノードID、座標、建物構造、建築年、建築面積、最上階の形状、階数、屋上の有無及び居住者数の各属性を与えた。

(2)リンクデータ

主に2.1(2)のラインデータを移植して作成した。街路のデータであり、リンクID、両端点のノードID、座標、街路の延長、双方向通行可能な街路、あるいは一方通行規制の街路の各属性を与えた。

2.3 津波数値計算データ

本資料の津波避難シミュレーションでは、人が避難する様子を解析する部分(避難行動のシミュレーション)と、津波の浸水計算とを別に行っている。そして、それぞれの結果を重ね合わせて浸水に対する安全性を判定する手法をとっている。したがって、浸水が避難行動に及ぼす動的な影響(例えば、津波が浸水してくるのを発見した避

難者が当初予定していた避難ルートを変更し、別のルートに切り換える行動)は表現していないことになる。ただし、浸水に遭遇せずに、浸水してしまう前に安全な避難場所に避難者を到達させる街づくりの観点からは、本シミュレーションの手法も実用的なアプローチ方法の1つであると考えられる。

津波数値計算データは熊谷ら⁵⁾により作成されたデータである。本資料では、防波堤の有無による避難安全性の違いを評価するために防波堤なし及び防波堤完成時の津波数値計算データを用いている。

避難者が交差点を通過するごとに、通過した時間における交差点の位置での津波の浸水深及び流速により避難者の安否評価を行うこととした。そのため、各交差点の位置における浸水深及び流速の津波数値計算データの抽出を地震発生から1時間後まで1秒ごとに行った。

方法はまず、交差点と津波数値計算データの位置の対応関係を確認した。

交差点の座標は2.1の対象地区GISデータの(1)で与えられるが、その座標系は日本測地系2000の平面直角座標系第8系である。一方、津波数値計算データの座標系は日本測地系のUTM第53.5帯である。このゾーン番号は内閣府の中央防災会議において用いられていた座標系である。一般的なゾーン番号は第53帯、第54帯というように整数である。第53.5帯という名前になっている理由は、中央子午線がUTM第53帯は135度、UTM第54帯は141度であるのに対してUTM第53.5帯は138度を用いており、両者の平均値となっているため、ゾーン番号についても両者の番号を平均した番号となっている。

このように対象地区GISデータと津波数値計算データの扱っている座標系が異なるため、位置の対応関係を確認するためには、座標系を統一する必要がある。

そこで、ESRI社製ArcGISのArcToolboxの機能を用いて、対象地区GISデータの座標系を日本測地系UTM53.5帯へ変換した。座標系の変換方法の詳細は付録-2に示す。

座標変換後の、最大浸水深の値が属性として収められている12.5mメッシュのポリゴンデータ(以下、メッシュデータという)と、それに対応する位置の津波数値計算の最大浸水深データ(以下、数値計算データという)を用いて、座標位置が一致するか照合を行った。

まず、数値計算データで値が0より大きい地点の座標位置をGIS上で特定した。そして、その位置における数値計算データとメッシュデータの値の比較を行ったところ一致しなかった。

そのため、座標値に誤差が生じていると考えられ、周辺のメッシュデータにおいて、数値計算データとメッシ

ュデータの値が一致する位置の確認を行うと、X軸負方向に約1m、Y軸負方向に約10mの座標位置に中心点を持つメッシュデータと数値計算データの値が一致した(図-2.2)。

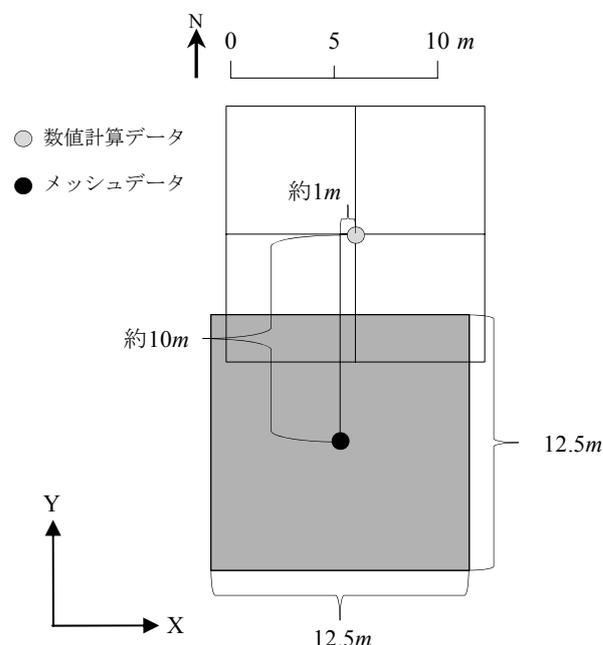


図-2.2 最大浸水深の値が一致する
数値計算データとメッシュデータの位置関係

同様に、全ての格子についてX軸負方向に約1m、Y軸負方向に約10mの座標位置に中心点を持つメッシュデータと数値計算データの値が一致することが分かった。

すなわち、メッシュデータが数値計算データに対してX軸負方向に約1m、Y軸負方向に約10mの誤差が生じていると考えられる。

原因は特定できていないが、座標変換方法の違いにより誤差が生じている可能性が考えられる。原因の特定は今後の課題である。

そして、この誤差を修正する必要があるため、GIS上で交差点の位置の座標値を特定し、その値をX軸正方向に約1m、Y軸正方向に約10m移動させた座標値に該当する津波数値計算データの値をその交差点の位置に対応する津波数値計算データとして浸水深及び流速の抽出を行った。その結果、両者の格子としてのズレは解消されてマッチングすることができた。

3. 解析方法

3.1 避難行動の決定因子

(1)津波避難施設

対象地区の津波避難場所は3箇所、自治体で指定している津波避難ビル等のうち4階建て以上または3階建てで屋上を有するものは8棟である。さらに、現地調査及び自治体からの資料収集を行い、津波避難ビル等としての構造的要件を満たして津波避難ビル等としての活用が期待できる4棟を抽出した。

ここで構造的要件とは、内閣府のガイドライン⁶⁾より、耐震性及び津波に対する構造安全性に対する要件であり、耐震性は「耐震診断によって耐震安全性が確認されていること、または、新耐震設計基準(1981年(昭和56年)施行)に適合していることを基本」とし、津波に対する構造安全性は「原則としてRCまたはSRC構造とし、想定浸水深に応じて、階数や、津波の進行方向の奥行きを考慮する」とされている。具体的には、想定される浸水深が2mの場合は3階建て以上、3mの場合は4階建て以上のRCまたはSRC構造の施設が津波に対する構造安全性を満たす建物の目安となる。なお、具体的に津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物の特定方法及び収容可能人数の求め方は付録-3に示す。

そこで、津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物4棟と自治体指定の津波避難ビル等8棟の合計12棟を、本資料において津波避難ビル等になり得る津波避難ビル等候補(付録-4に写真を示す)とした。付録-4において、津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物4棟はNo.1～No.4、自治体指定の津波避難ビル等8棟はNo.5～No.12である。

2.3の津波数値計算データより対象地区の想定最大浸水深は約2.5mであったため、構造的要件を満たす建物は以下の～のとおりである。

建築年：新耐震設計基準に適合した1981年以降の建物

構造：RCまたはSRC構造の建物

階数：4階建て以上の建物

ただし、津波避難ビル等構造上の要件の基準の見直しの原案⁷⁾では、津波避難ビル等の構造上の要件緩和の条件が示され、浸水する階数よりも2階分上階であれば避

難に必要な階数を満たすとしている。

対象地区では構造的要件を満たす4階建ての建物は6棟しかなく、収容可能人数は834人となり、対象地区の避難者1,636人を収容するために必要な床面積を確保できない。

そこで、3階建ての建物で屋上のある(避難可能な高さは4階の高さとなる)建物についても津波避難ビル等候補とした。よって、津波避難ビル等候補として抽出した建物は以下の～のとおりである。

建築年：新耐震設計基準に適合した1981年以降の建物

構造：RCまたはSRC構造の建物

階数：4階建て以上または、屋上のある3階建ての建物

その結果、津波避難ビル等候補は合計12棟、津波避難ビル等候補の総収容可能人数は1,667人となる。

ただし、津波避難ビル等構造上の要件の基準の見直しの原案⁷⁾においても、別途、要件を緩和した津波に対する構造安全性を満たす必要があるとしている。そのため、浸水深と比較した避難階の高さとともに津波に対する構造安全性を考慮する必要がある。従って、津波避難ビル等候補としたものは、本来は津波に対する構造的安全性の照査をさらに行うことが必要であるが、本資料ではその点について検討ができなかった。その点に留意する必要がある。また、津波避難ビル等構造上の要件の基準の見直しについて今後の動向についても留意する必要がある。

各津波避難ビル等候補の位置及び収容可能人数を図-3.1に示す。図-3.1の各津波避難ビル等候補のそばの数値において付録-4に対応するナンバーと収容可能人数を示している。各津波避難場所については、収容可能人数の制限がないものとし、全避難者1,636人より多い2,000人としている。

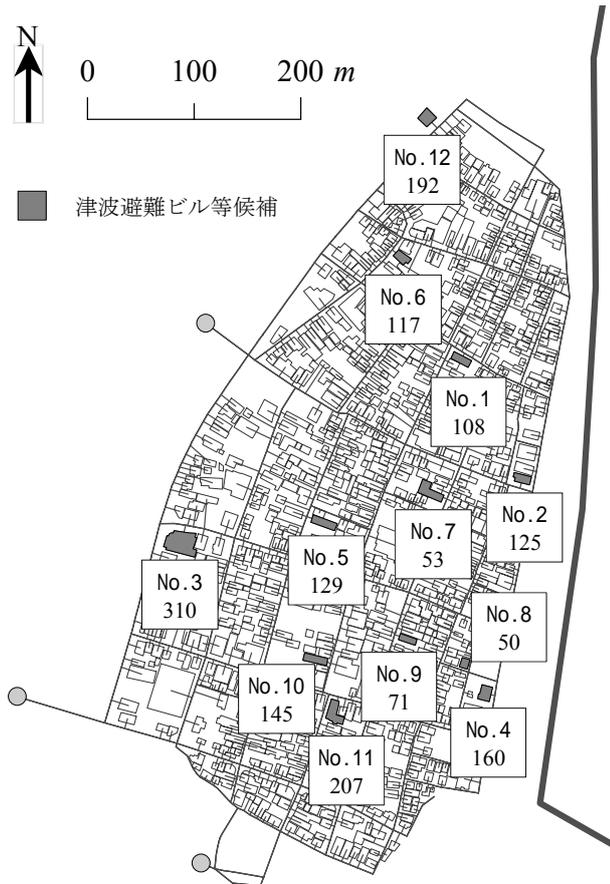


図-3.1 各津波避難ビル等候補の位置及び収容可能人数

(2)街路閉塞

建物倒壊により発生する街路閉塞箇所の設定は熊谷ら⁵⁾の手法を用いて、閉塞5箇所的位置が異なるNo.1~No.3を求めた(図-3.2~図-3.4)。ただし、街路閉塞箇所の算出を13ケース行った中から閉塞箇所数が5箇所となったケースだけを抽出している。すなわち、13ケースの中には閉塞箇所が4箇所の場合もあり、6箇所の場合もあるが、そのような場合は除外し5箇所になった場合だけを選び出している。その理由は、閉塞箇所数は一定として、その位置が異なることによる影響の大きさを調べるためである。

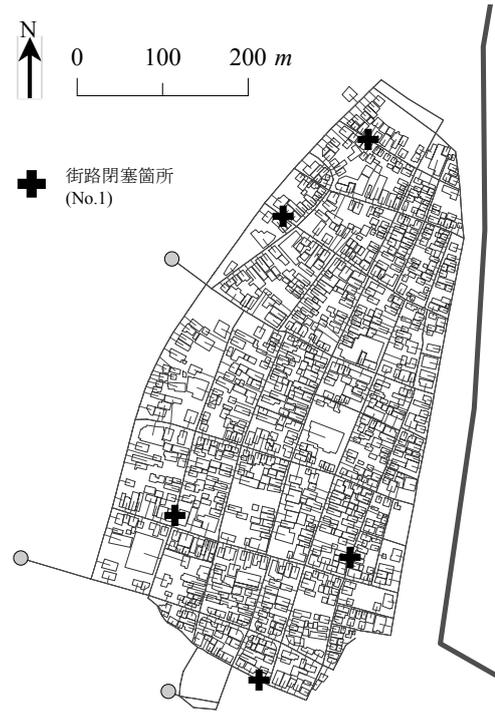


図-3.2 建物倒壊により発生する街路閉塞箇所(No.1)の位置

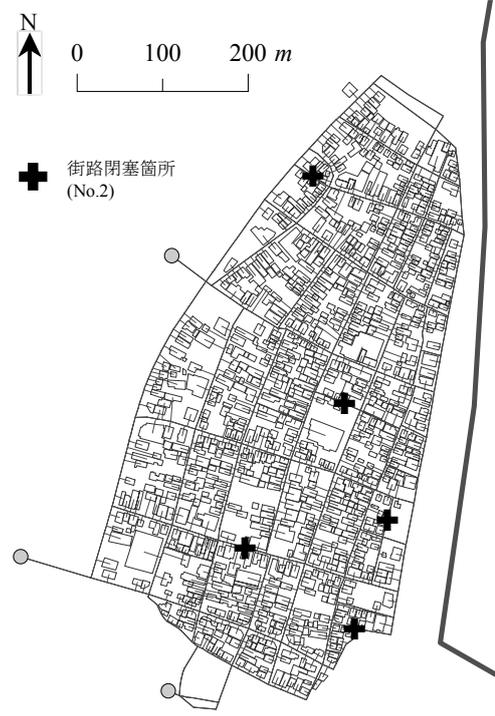


図-3.3 建物倒壊により発生する街路閉塞箇所(No.2)の位置

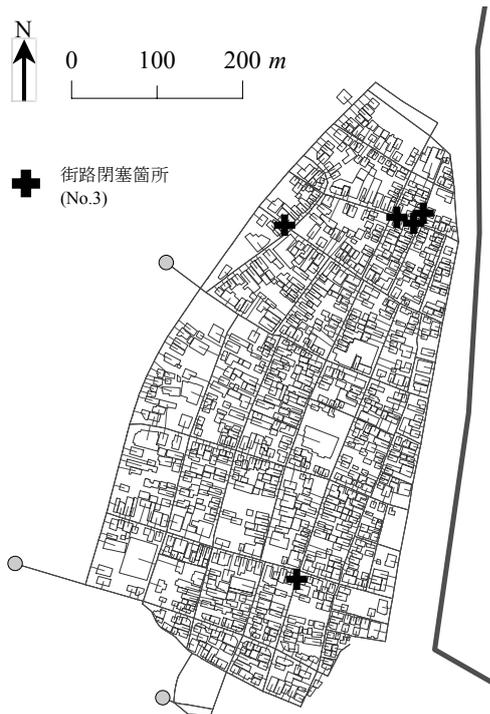


図-3.4 建物倒壊により発生する
街路閉塞箇所(No.3)の位置

(3)津波避難標識

津波避難標識を設置する場合には、86箇所ある交差点全てに設置するものとした。交差点の位置を図-3.5に示す。

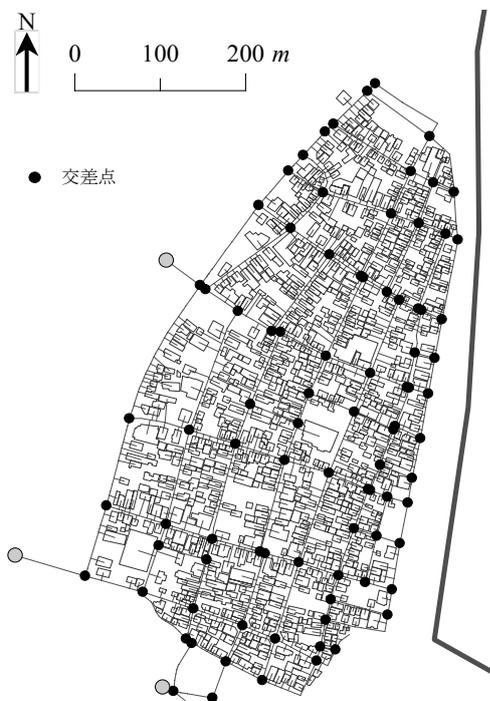


図-3.5 交差点の位置

3.2 避難行動のモデル化

(1)避難距離

避難者は各建物から津波避難施設へ避難する。避難行動は以下の～のようにモデル化した。

避難者は水際線から離れる方向へ避難する。

各避難者にそれぞれ割り当てられた津波避難施設へを満たす最短経路により、避難する。

街路の閉塞箇所に遭遇する場合は、その直前の交差点から最短経路により迂回する。また、迂回する場合に限り、を考慮せず、水際線へ向かう方向への避難も行えるものとする。

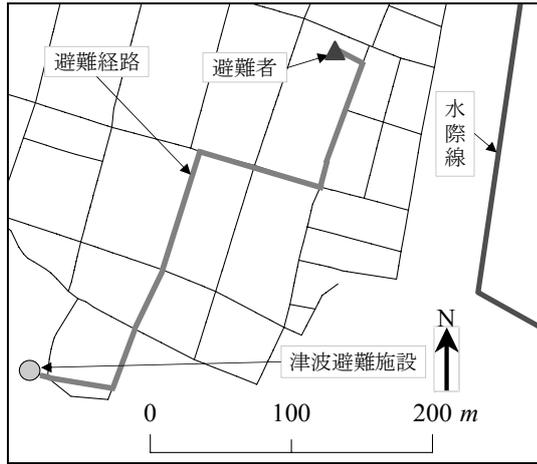
避難経路上の最初の交差点へ到達する前(避難開始直後)に閉塞箇所に遭遇する場合には、当初向かう方向とは逆方向へ向かい、最初に到達する交差点から最短経路により迂回する。

～による避難行動の例を図-3.6に示す。

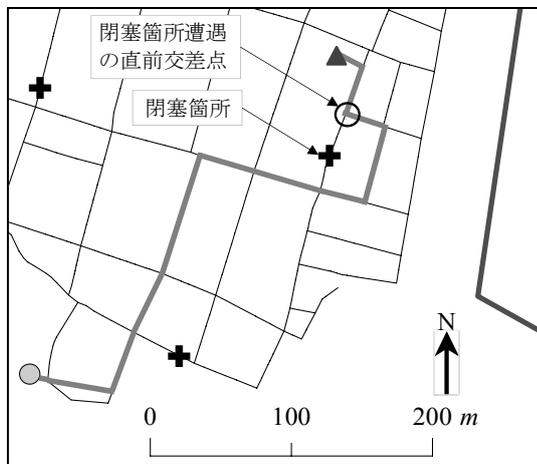
ここでモデル化の根拠として、は、内閣府のガイドライン⁶⁾を参考にして、津波避難では津波の浸水が始まる海岸及び川岸から離れる方向への避難を原則としているためである。

は、最寄りの津波避難施設ではなく、割り当てられた津波避難施設としたのは、津波避難施設には収容可能人数の制限があるので、必ずしも最寄りの津波避難施設へ避難できないためである。

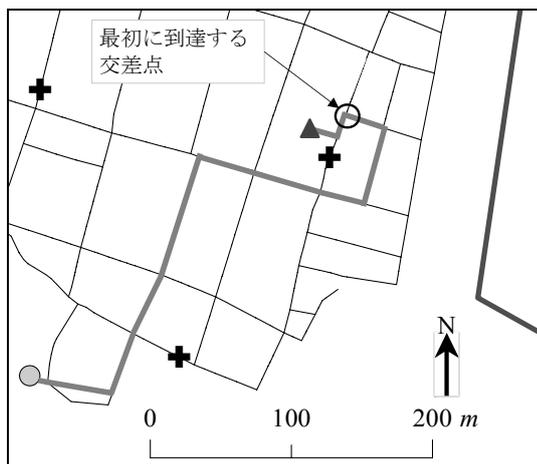
及びは、熊谷ら⁵⁾を参考に避難者は建物から避難を開始した時点では街路閉塞の発生箇所を把握していないものとした。そのため、及びにより避難し、街路の閉塞箇所に遭遇する場合は、避難経路上の閉塞箇所に遭遇する直前の交差点(においては避難開始直後)において閉塞箇所を発見することとし、閉塞箇所遭遇の直前交差点(においては最初に到達する交差点)から最短となる迂回経路により避難するものとした。なお、この場合においてはによる避難が不可能となる場合があるため、水際線へ向かう方向への避難についても行えるものとした。



(i) 閉塞箇所へ遭遇しない場合



(ii) 閉塞箇所へ遭遇する場合



(iii) 避難開始直後に閉塞箇所に遭遇する場合

図-3.6 避難行動の例

の行動を表現するために、津波計算結果を考慮して、図-3.7のように主に水際線と垂直方向である東西方向に延びる街路を対象に東から西側の方向への避難となるように一方通行の規制を行った。

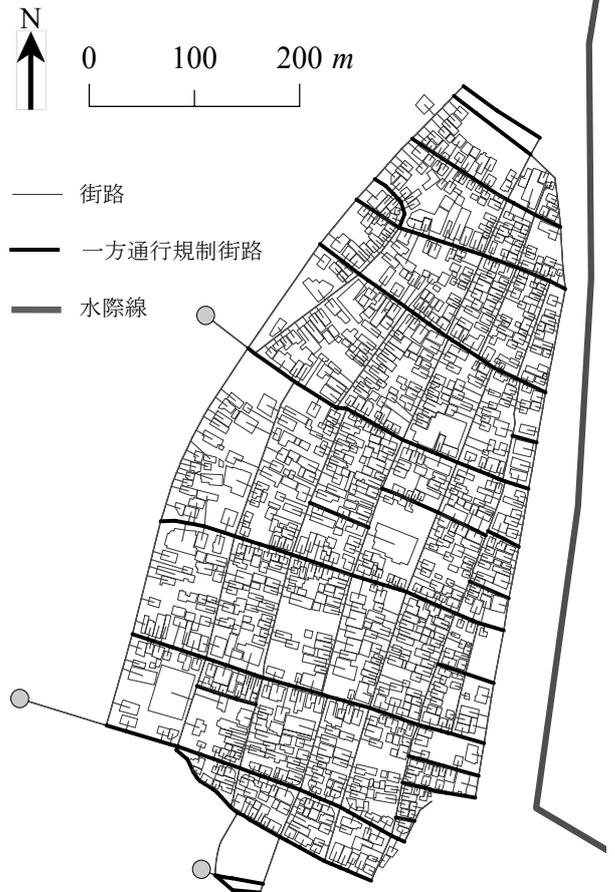


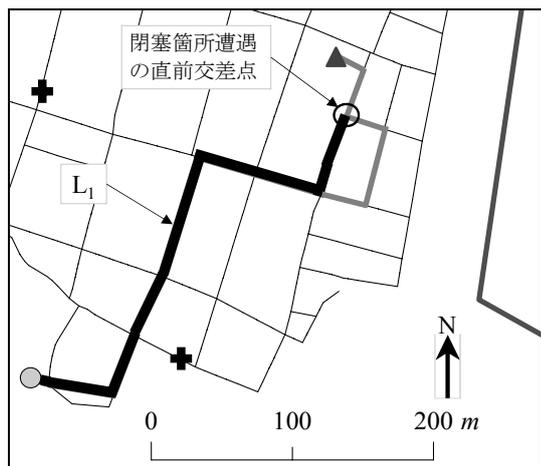
図-3.7 一方通行規制街路の位置

①のもとでの の行動を解析するために、最短経路により避難する解析について、最短経路探索手法としてワーシャル・フロイド法を用いた⁸⁾。避難者へ津波避難施設を割り当てる方法については、後述する3.3の手法を用いた。

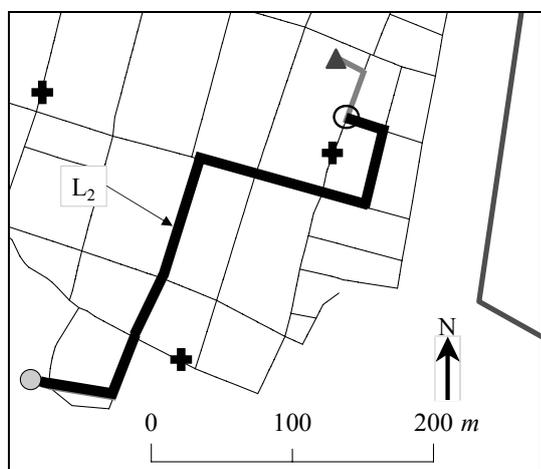
及び の行動を解析するために、まず の解析によって得られた結果から閉塞箇所を通過する避難者を抽出する。次に抽出した避難者の経路解析をESRI社製ArcGISのNetwork Analyst機能によって行った。

このとき、避難距離は次のように求めた。まず、閉塞箇所遭遇の直前交差点から向かう津波避難施設までの、閉塞がないとした場合の距離 L_1 を求める。次に、水際線方向への避難も行えるように、街路の一方通行規制を解除して、閉塞箇所遭遇の直前交差点からの迂回距離 L_2 を求める。 L_1 及び L_2 と の行動表現によって得られる距離、すなわち街路閉塞なしの場合の避難距離 L_3 を用いて、閉塞箇所遭遇により迂回を伴った避難距離 L_{r1} を式(1)によって求めた。図-3.8に L_1 、 L_2 及び L_3 を示す。

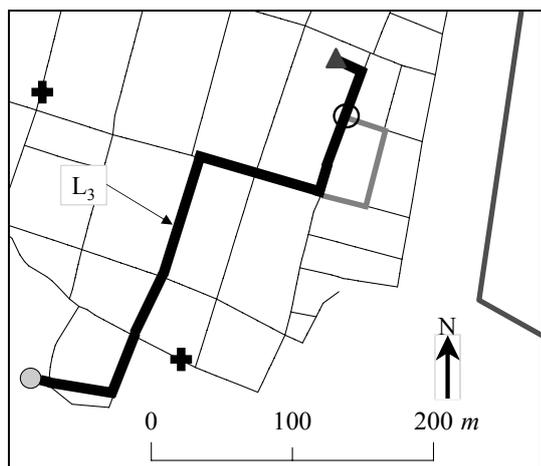
$$L_{r1} = L_3 - L_1 + L_2 \quad (1)$$



(i) L_1 について



() L_2 について



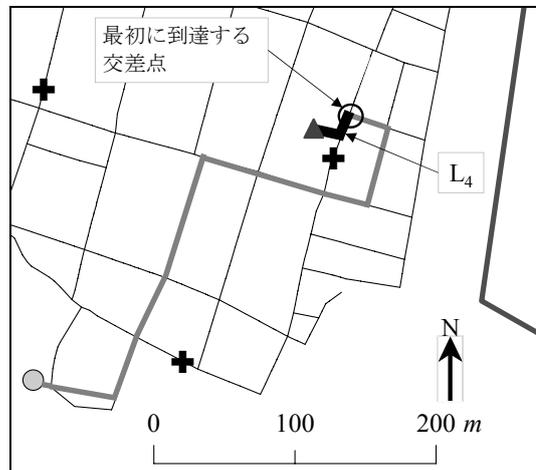
() L_3 について

図-3.8 L_1 , L_2 及び L_3 の距離について

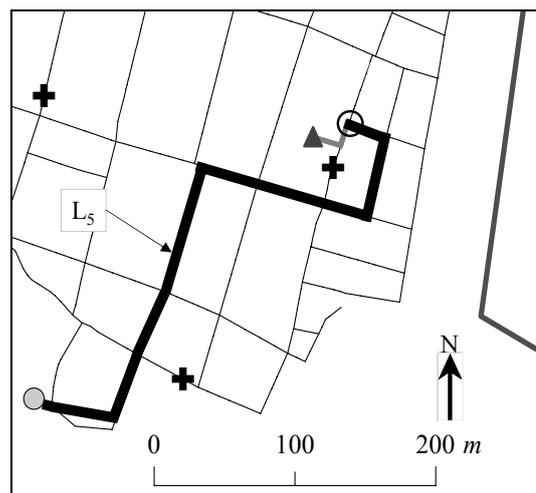
また、避難経路上の最初の交差点へ到達する前に閉塞箇所遭遇する避難者の場合には、避難を開始した建物から当初向かう方向とは逆方向へ向かい、最初に到達する交差点までの距離 L_4 とその交差点から津波避難施設ま

での距離 L_5 の和により迂回を伴った避難距離 L_{r2} を式(2)によって求めた。図-3.9に L_4 及び L_5 を示す。

$$L_{r2} = L_4 + L_5 \quad (2)$$



(i) L_4 について



() L_5 について

図-3.9 L_4 及び L_5 の距離について

(2)避難経過時間

避難者は、一般に、地震が起こっても直ちに避難をするのではなく情報収集などを行ってから(少し時間が経ってから)避難を開始する。そのような、避難者が各建物から避難を開始する時間を、永川ら⁹⁾の手法を用いて与えた。そのとき、意思決定段階の影響因子について地震インパクトは「大」、場所は「危険」、時間は「夜間」、津波経験は「伝聞のみ」、情報インパクトは「聞かないうちに避難」を設定した。情報の要伝達時間について発信者は「気象庁」、時間は「夜間」と設定した。その結果、避難開始時間は地震発生後20分4秒となった。

また、避難は歩行によるものとして避難速度は、内閣府のガイドライン⁶⁾を参考に、一律に1m/sとした。

そして、各避難者が避難経路上の各交差点を通過した避難経過時間を記録した。ただし、全ての交差点に津波避難標識の設置がされているケースはロスタイムなし、全ての交差点に津波避難標識が設置されていないケースは交差点通過ごとにロスタイム5秒が避難経過時間に加算されるものとした。

3.3 p-メディアン問題と集合被覆問題

津波避難場所に加えて、津波避難ビル等候補の中から津波避難ビル等を配置し、津波避難施設へ避難者を割り当てる方法は数理計画法による2つの手法、pモデルとsモデルを用いた。

(1)pモデル

pモデルは、津波避難場所に加えて、追加する津波避難ビル等の数を指定し(追加する数はゼロでもよい)、その中で総避難距離を最小化することを目的として津波避難施設を配置し、避難者の割り当てを行うモデルである。

pモデルを式(3)~(10)のように定式化した。

集合

$$n \in N \quad (3)$$

$$s \in S \quad (4)$$

目的関数

$$\minimize \sum_n \sum_s x_{ns} \times D_{ns} \times C_n \quad (5)$$

制約条件

$$\sum_s y_s = P \quad (6)$$

$$y_s \geq B_s \quad for \forall s \quad (7)$$

$$\sum_s x_{ns} = 1 \quad for \forall n \quad (8)$$

$$x_{ns} \leq y_s \quad for \forall n, \forall s \quad (9)$$

$$\sum_n x_{ns} \times C_n \leq A_s \quad for \forall s \quad (10)$$

ここで、式(3)は建物ノードnは集合Nに属することを表している。式(4)は津波避難場所及び津波避難ビル等候補(以下、津波避難施設候補という)sは集合Sに属することを表している。

x_{ns} は津波避難施設候補sに建物ノードnにいる避難者を割り当てる場合は「1」、割り当てない場合は「0」とする変数である。 D_{ns} は建物ノードnから津波避難施設候補s

までの避難距離であり、一方通行規制を考慮した最短の距離である。 C_n は建物ノードnから避難を開始する避難者数である。 y_s は津波避難施設候補のうち、津波避難施設とする場合は「1」、津波避難施設としない場合は「0」とする変数である。 P は津波避難施設の数である。 B_s は津波避難場所を「1」、津波避難ビル等候補を「0」とするパラメータである。 A_s は津波避難施設候補sの収容可能人数である。

式(5)は目的関数であり、総避難距離の最小値を求める関数である。

式(6)~(10)は制約条件であり以下に示す。式(6)は配置する津波避難施設数がPになることを示していて、津波避難施設候補sの中から指定した数を津波避難施設とする。式(7)は津波避難場所を必ず津波避難施設とすることを示している。式(8)はいずれかの津波避難施設候補sに建物ノードnにいる避難者を割り当てる。式(9)は津波避難施設となったsへのみ避難者を割り当てられることを示している。

式(10)は津波避難施設となったsに収容可能な人数を A_s 以下とすることを示している。

(2)sモデル

sモデルは、最大避難距離が指定した避難距離上限値以下とする制約の中で津波避難施設数を最小化することを目的として津波避難施設を配置し、避難者の割り当てを行うモデルである。

sモデルを式(11)~(18)のように定式化した。

集合

$$n \in N \quad (11)$$

$$s \in S \quad (12)$$

目的関数

$$\minimize \sum_s y_s + \sum_n \sum_s x_{ns} \times D_{ns} \times C_n \times \varepsilon \quad (13)$$

制約条件

$$\sum_s x_{ns} \times D_{ns} \leq M \quad for \forall n \quad (14)$$

$$y_s \geq B_s \quad for \forall s \quad (15)$$

$$\sum_s x_{ns} = 1 \quad for \forall n \quad (16)$$

$$x_{ns} \leq y_s \quad for \forall n, \forall s \quad (17)$$

$$\sum_n x_{ns} \times C_n \leq A_s \quad for \forall s \quad (18)$$

ここで、式(11)及び式(12)の集合は、pモデルの式(3)及び式(4)と同じである。

ϵ は総避難距離の重みづけ係数であり「 1×10^{-6} 」としている。この数字の意味は、以下の通りである。すなわち、一般に解として津波避難施設数が同じでも総避難距離が異なる場合が存在する可能性がある。その場合、「津波避難施設数」と「総避難距離」の2つを目的関数にすることは線形計画法ではできないため、工夫が必要である。

そこで、津波避難施設数が同じ解のうち「総避難距離がより小さい方を選ぶ」ために、仮想的な目的関数として「総津波避難施設数+総避難距離」を考える。例えば、総津波避難施設数5箇所、それぞれ総避難距離が30万mと40万mの解があったときに前述の仮想的な目的関数を使えば「津波避難施設5箇所、総避難距離30万m」の方を選ぶことができる。 M は避難距離上限値である。

式(13)は目的関数であり、津波避難施設数を最小化することを目的としている。式(14)~(18)は制約条件であり以下に示す。式(14)は建物ノード n にいる避難者の津波避難施設候補 s までの避難距離は避難距離上限値 M 以下とする。式(15)~(18)はpモデルと同じ制約条件である。

(3)津波避難施設配置プログラムの構成

数理計画法による津波避難施設の最適配置の解析には、LINDO社製LINGO(Ver.13)を用いた。プログラムの構成は図-3.10のように、2.2(1)のノードデータ、2.2(2)のリンクデータ及びInitial定義ファイルをLINGOモデル作成・結果解析プログラムに読み込み、そしてLINGOモデルファイルを出力する。

ここでInitial定義ファイルは、津波避難施設配置モデルをsモデルとpモデルのどちらを用いるか、またpモデルにおける津波避難施設数、sモデルにおける避難距離上限値の制約条件及び総避難距離の重みづけ係数 ϵ の値を設定する。そして、津波避難施設候補とする建物の構造、建築年及び必要階数の条件、収容可能人数の条件及び既設とする津波避難施設についても設定するファイルである。

次に、出力されたLINGOモデルファイルをLINGOに読み込ませ、解析された結果である「Solution Reportファイル」が出力されるので、さらに「Solution Reportファイル」をLINGOモデル作成・結果解析プログラムに読み込み、必要なデータ形式に変換した「Solution Report解析ファイル」が出力される。

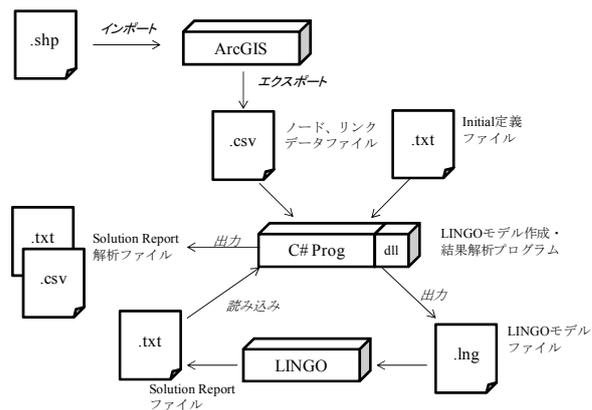


図-3.10 プログラムの構成

3.4 津波避難対策の抽出

津波避難対策の影響の評価は次の4項目を抽出して行う。

- 津波避難施設数の増加
- 建物耐震化による街路閉塞の減少
- 津波避難標識の設置
- 防波堤の整備

及びの影響を、避難距離を指標として定量的に評価するため、について3.3(1)及び(2)の両モデルにより、津波避難施設の配置数を変えたケース、について3.1(2)の各街路閉塞5箇所(No.1)~(No.3)がある場合と建物耐震化によって街路閉塞なしとなった場合の街路閉塞箇所の状況を変えたケースを行った。そして両ケースを組み合わせたケーススタディを行う。

の津波避難施設の配置方法は以下のようにした。pモデルは3.3(1)式(6)より津波避難施設数を任意に指定できるので、津波避難場所3箇所を初期の状態として、津波避難ビル等候補の中から1箇所ずつ津波避難ビル等として追加し、10箇所(津波避難施設は13箇所となる)まで追加した11通りの配置を行った。

sモデルはpモデルのように津波避難施設数を任意に指定できず、3.3(2)式(14)において避難距離上限値の制約をすることで、3.3(2)式(13)より配置する津波避難施設数が求まる。

そこで、津波避難施設が同数となるsモデルとpモデルの配置の違いによる影響を比較するために、図-3.11のフローのように、sモデルの津波避難施設の配置を行った。津波避難施設13,12及び11箇所の実行可能解はなかったため、津波避難施設を10箇所から1箇所ずつ減らし、津波避難場所3箇所のみまでとした8通りの配置を行った。

ここで、避難距離上限値を0mから始めているのは、津波避難施設数が同数となる配置の解が得られる中で避難距離上限値の制約が最も小さい配置となる解を求めるためである。

その結果得られた避難距離上限値と津波避難施設数の対応関係は表-3.1ようになる。ここで、津波避難施設10箇所と対応している避難距離上限値の280mは、対象地区において最小となる避難距離上限値であり、この値より避難距離上限値を小さくすると、現状の津波避難ビル等候補を全て津波避難ビル等としても配置の解が得られない。

なお、津波避難施設の配置が津波避難場所3箇所となったsモデルと津波避難場所3箇所としたpモデルの解析解のみ津波避難施設への避難者の割り当てが一致した。

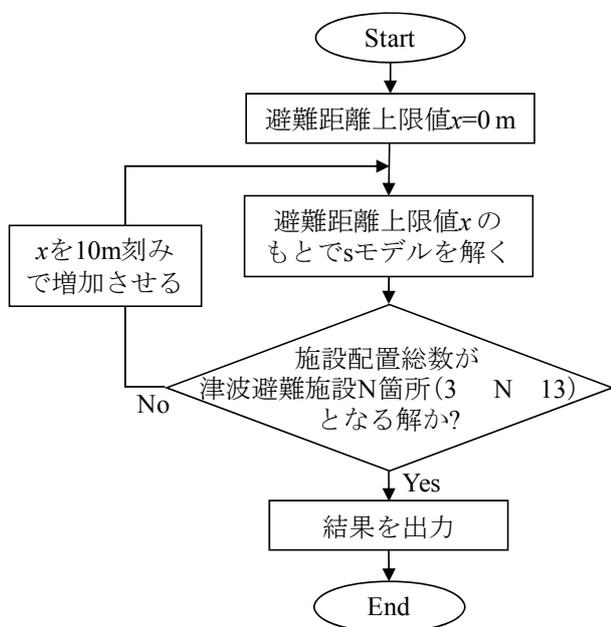


図-3.11 sモデルで「津波避難施設N箇所」の施設配置を求めるフロー (避難距離上限値の設定方法)

表-3.1 避難距離上限値と津波避難施設数の対応関係

避難距離 上限値(m)	津波避難 施設数
280	10
290	9
320	8
340	7
380	6
400	5
430	4
490	3

以上のように津波避難施設の配置数を変えたケースと街路閉塞箇所状況を変えたケースを組み合わせ、36ケースを設定した。表-3.2にケーススタディの条件一覧を示す。なお、行ったケースについては、該当するケースの箇所にケース名を記載している。また、各ケースの津波避難施設の配置及び街路閉塞箇所の位置を付録-5に示す。

表-3.2 ケーススタディ条件一覧

津波避難 施設数	津波避難 施設配置 モデル	p-メディア ン問題モデル		集合被覆 問題モデル
	閉塞 箇所数	ケース名	ケース名	避難距離 上限値(m)
3	0	p_3_0	s_3_0	490
	5 (No.1)	p_3_5-1		
4	0	p_4_0	s_4_0	430
	5 (No.1)	p_4_5-1		
5	0	p_5_0	s_5_0	400
	5 (No.1)	p_5_5-1		
6	0	p_6_0	s_6_0	380
	5 (No.1)	p_6_5-1		
7	0	p_7_0	s_7_0	340
	5 (No.1)	p_7_5-1		
8	0	p_8_0	s_8_0	320
	5 (No.1)	p_8_5-1	s_8_5-1	
	5 (No.2)	p_8_5-2	s_8_5-2	
	5 (No.3)	p_8_5-3	s_8_5-3	
9	0	p_9_0	s_9_0	290
	5 (No.1)	p_9_5-1		
10	0	p_10_0	s_10_0	280
	5 (No.1)	p_10_5-1	s_10_5-1	
11	0	p_11_0		
	5 (No.1)	p_11_5-1		
12	0	p_12_0		
	5 (No.1)	p_12_5-1		
13	0	p_13_0		
	5 (No.1)	p_13_5-1		

また、～の影響を避難者の安否を指標として定量的に評価するため及びの条件下で、について3.1(3)の津波避難標識を交差点86箇所に設置する場合と設置しない場合の設置状況を変えたケースとについて2.3の防波堤完成時と防波堤なしの場合の状況を変えた津波数値計算データを組み合わせ、16ケースを設定した。ケーススタディの条件一覧については後述する4.2の表-4に結果とともに示す。

3.5 避難安全性の指標

(1) 避難距離

表-3.2の各ケースについて3.2(1)の解析を行うことにより得られた各避難者の避難距離から平均避難距離 $\bar{L}(m)$

及び最大避難距離 $L_{max}(m)$ を求め、著者ら¹⁰⁾と同様に津波避難の安全性評価の指標として分析を行った。

(2)避難者の安否

表-4の各ケースについて、3.2(2)の解析を行うことにより得られた各避難者の各交差点における避難経過時間と、その時刻の津波数値計算データの流速及び浸水深とを比較することにより、避難者の安否評価を行った。

避難者の安否評価において、既往の洪水に対する安全避難が困難となる条件¹¹⁾を用いた。ただし、元々の条件は流速と浸水深をそれぞれ軸にとって連続的に変化する曲線状の評価関数であるが、簡便な評価のために、浸水深が0.15mより大きく、0.8m以下の範囲では一定間隔(0.5m)で増えるような階段状に近似した評価関数とした。津波数値計算の流速及び浸水深によって安全避難が困難となる条件を表-3.3及び図-3.12に示す。

表-3.3 津波浸水によって安全避難が困難となる条件

No.	浸水深 h と流速 v の対応関係			
1	h	0.13	のとき	2.5 v
2	$0.13 < h$	0.15	のとき	2.2 v
3	$0.15 < h$	0.2	のとき	1.9 v
4	$0.2 < h$	0.25	のとき	1.65 v
5	$0.25 < h$	0.3	のとき	1.35 v
6	$0.3 < h$	0.35	のとき	1.2 v
7	$0.35 < h$	0.4	のとき	1.0 v
8	$0.4 < h$	0.45	のとき	0.8 v
9	$0.45 < h$	0.5	のとき	0.7 v
10	$0.5 < h$	0.55	のとき	0.55 v
11	$0.55 < h$	0.6	のとき	0.45 v
12	$0.6 < h$	0.65	のとき	0.35 v
13	$0.65 < h$	0.7	のとき	0.25 v
14	$0.7 < h$	0.75	のとき	0.2 v
15	$0.75 < h$	0.8	のとき	0.1 v
16	$0.8 < h$			

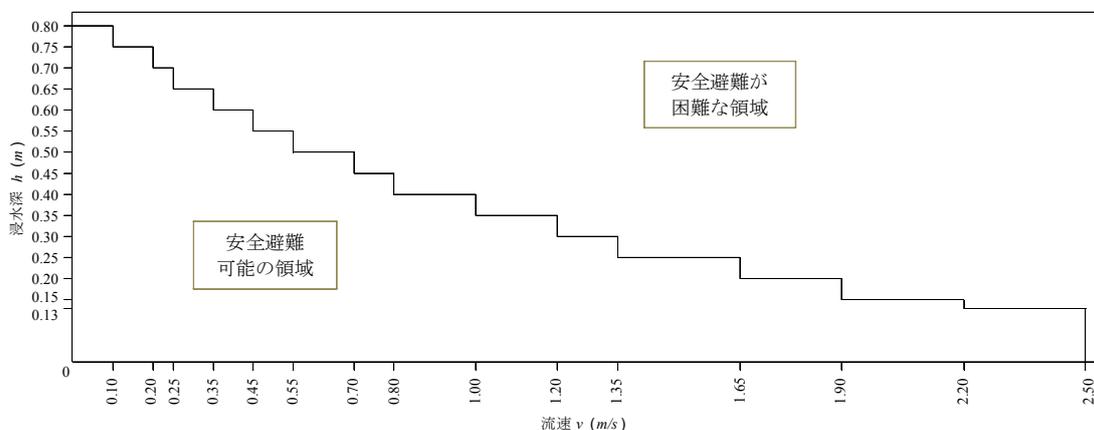


図-3.12 津波浸水によって安全避難が困難となる条件

4. 解析結果

4.1 避難距離を指標とした解析結果

(1)配置手法と避難距離の関係の特徴

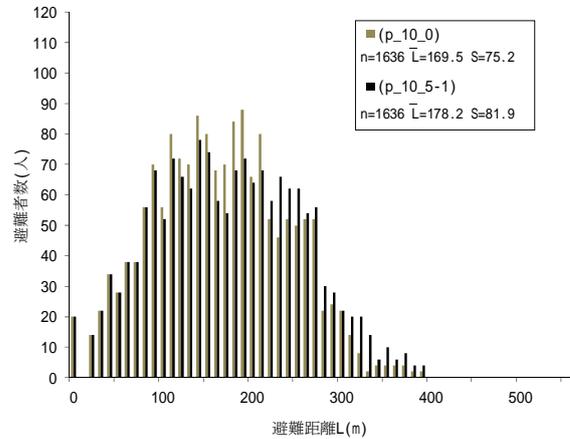


図-4.1 pモデルの避難距離と避難者数の度数分布

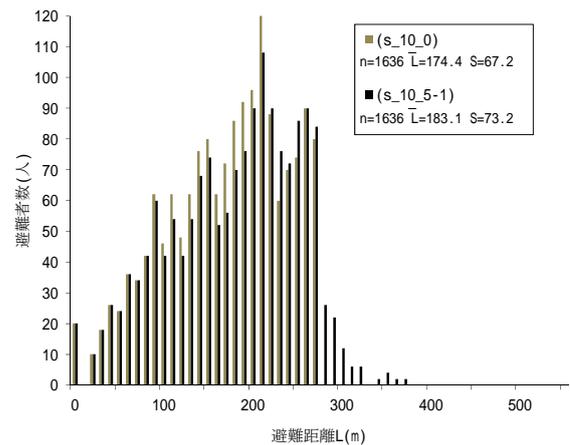


図-4.2 sモデルの避難距離と避難者数の度数分布

図-4.1及び図-4.2は、それぞれpモデルとsモデルで津波避難施設を配置するとともに避難者を津波避難施設へ割り当てた場合の、避難距離10mごとの避難者数の度数分布について示したものである(津波避難施設が10箇所となるケース)。なお、その他のケースの避難距離と避難者数の度数分布は付録-6に示す。

pモデルの閉塞なしのケース(p_10_0)では、避難距離190mがピークで避難者数88人となった、山なりの分布となっている。なお、平均避難距離 \bar{L} は169.5m、最小避難距離 L_{min} は0m、最大避難距離 L_{max} は393.1m、標準偏差 S は75.2mである。閉塞5箇所(閉塞のパターンNo.1の図-3.2参照)のケース(p_10_5-1)では、ケース(p_10_0)のピークより大きい範囲($L < 220m$)で、度数がケース(p_10_0)よりも大きくなっている。なお、 \bar{L} は178.2m、 L_{min} は0m、 L_{max} は398.1m、標準偏差 S は81.9mであり、ケース(p_10_5-1)はケース(p_10_0)よりも避難距離が大きく、ばらつきも大きくなっている。

sモデルの閉塞なしのケース(s_10_0、避難距離上限値280m)では、pモデルのケース(p_10_0)よりもピークが20m大きい210mにあり、人数も32人多い120人となっている。なお、 \bar{L} は174.4m、 L_{min} は0m、 L_{max} は279.5m、 S は67.2mであり、pモデルよりもばらつきが小さくなっている。一方、閉塞5箇所(No.1)のケース(s_10_5-1)では迂回が生じるため、避難距離上限値とした280m以上の度数も生じている。なお、 \bar{L} は183.1m、 L_{min} は0m、 L_{max} は370.6m、 S は73.2mであり、pモデルと同様に閉塞なしのケースよりも避難距離が大きくなる傾向があり、ばらつきも大きくなっている。

(2)平均避難距離

a)津波避難施設の追加による効果

図-4.3に各ケースの平均避難距離 \bar{L} を示す。ケース(p_3_0)及び(s_3_0)は \bar{L} が300.9mで等しい。その理由は両モデルで同じ解(津波避難施設の位置が同じ、各避難者に割り当てた避難場所が同じ)であるためである。また、pモデルとsモデルの両モデルとも閉塞なしのケースは津波避難施設が増加するほど \bar{L} が減少している。また、pモデルの街路閉塞5箇所(No.1)のケースも同様である。また、津波避難施設同数のとき両モデルの \bar{L} を比較すると(ただし、閉塞なしのケース)、常にpモデルの方がsモデルよりも小さい。

図-4.4にケース(p_3_0)に対する各ケースの \bar{L} の短縮率(以下、 \bar{L} 短縮率という)を示す。pモデルの閉塞なしのケースでは、津波避難施設を3箇所から6箇所にした場合には、 \bar{L} 短縮率は26.0%、6箇所から9箇所にした場合には、

さらに14.4%の増加、9箇所から12箇所にした場合には、さらに8.4%の増加となった。津波避難施設数が増加するほど \bar{L} 短縮率の増加幅は減少している。同モデルの閉塞5箇所のケースも概ね同じ傾向である。

sモデルの閉塞なしのケースでは、津波避難施設を3箇所から6箇所にした場合には \bar{L} 短縮率は19.0%、6箇所から9箇所にした場合には、さらに19.5%の減少となった。 \bar{L} 短縮率の変化率は、pモデルの閉塞なしのケースに比べて変化が小さく一様である。ただし、津波避難施設数と同じ条件で両モデルを比較した場合には、pモデルの方がsモデルよりも常に \bar{L} 短縮率が高い。両モデルの \bar{L} 短縮率の差は1.3%~7.0%である。

pモデルのケース(p_13_0)及び(p_13_5-1)では、 \bar{L} 短縮率が50%程度となっている。また、sモデルのケース(s_10_0)では、 \bar{L} 短縮率は42.0%となっている。

b)閉塞箇所に関する効果

図-4.3において、同モデルの津波避難施設同数において、閉塞なしと閉塞5箇所のケースを比較すると、閉塞なしのケースの方が常に閉塞5箇所のケースよりも \bar{L} が小さい。

pモデルの津波避難施設3~13箇所において比較すると、閉塞なしと閉塞5箇所(No.1)のケースの \bar{L} の差は6.8~9.9m程度の範囲である。例えば、pモデルの津波避難施設6箇所において、閉塞なしの \bar{L} は222.7mに対し、閉塞5箇所(No.1)の \bar{L} は232.0mである。

津波避難施設8箇所のケースでは、両モデルともに閉塞箇所の位置を変えた閉塞5箇所(No.1)~(No.3)のケースを行っており(図-3.2~図-3.4を参照)、 \bar{L} は、pモデルでは閉塞5箇所(No.2)のケース(p_8_5-2)において最小値191.7m、閉塞5箇所(No.1)のケース(p_8_5-1)において最大値200.2mとなり、その差($\Delta 1$)は8.5mで、全部で3ケースだけであるが、その標準偏差を求めると3.7mとなる。sモデルでは閉塞5箇所(No.3)のケース(s_8_5-3)において最小値196.6m、閉塞5箇所(No.1)のケース(s_8_5-1)において最大値205.7mとなり、その差($\Delta 2$)は9.1mで標準偏差は4.1mとなる。このように、閉塞箇所の位置によって、またモデルの違いによっても \bar{L} が異なる値となっている。

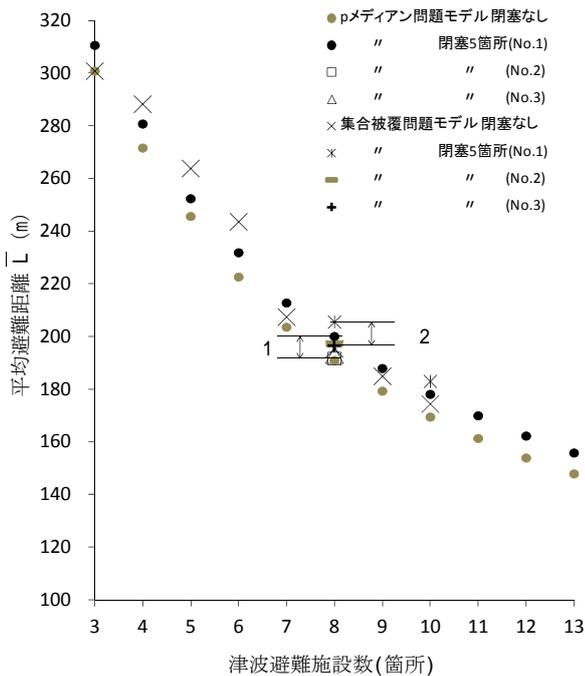


図-4.3 各ケースにおける平均避難距離 \bar{L} (m)

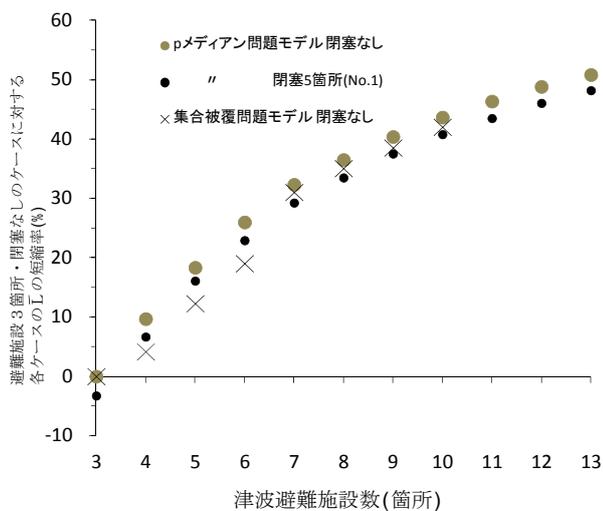


図-4.4 ケース(p_3_0)に対する各ケースの \bar{L} の短縮率(%)

(3)最大避難距離

a)津波避難施設の追加による効果

図-4.5に各ケースの L_{max} を示す。ケース(p_3_0)及び(s_3_0)は L_{max} が489.1mで等しい。その理由は両モデルで同じ解(津波避難施設の位置が同じ、各避難者に割り当てた避難場所が同じ)であるためである。

また、pモデルとsモデルの両モデルにおける閉塞なしのケース及びpモデルの閉塞5箇所(No. 1)のケースのいずれも、津波避難施設数が増加するほど L_{max} は概ね減少傾

向にあるが、ケース(p_13_0)だけはケース(p_12_0)の316.1mよりも9.1m大きく、325.2mであった。

なお、図-4.5で、灰色丸印(pモデル・閉塞なし)と黒色丸印(pモデル・閉塞5箇所)は選択した建物数7~12の範囲で一部が階段状に変化している。すなわち、ケース(p_8_0), (p_8_5-1), (p_10_5-1), (p_11_5-1)及び(p_12_5-1)の各ケースでは、そのケースよりも津波避難施設が1箇所少ないケースと比較して L_{max} の変化がみられない。その理由は、そのような場合は津波避難施設を追加しても最も長い距離を避難する避難者とその目的地である津波避難施設との組合せが変わらないからである。

図-4.6に、ケース(p_3_0)に対する各ケースの L_{max} の短縮率(以下、 L_{max} 短縮率という)を示した。pモデルのケースでは、津波避難施設数が増加すると、 L_{max} 短縮率は概ね増加傾向にある。

しかし、ケース(p_12_0)の L_{max} 短縮率は35.4%に対して、ケース(p_13_0)では33.5%となっており、1.9%の減少がみられた。

sモデルの閉塞なしのケースでは、津波避難施設数が増加すると、 L_{max} 短縮率は増加している。sモデルの閉塞なしのケースでは、津波避難施設を3箇所から6箇所にした場合には L_{max} 短縮率は22.4%となり、6箇所から9箇所にした場合には、さらに18.4%の増加となるが、 L_{max} 短縮率の増加幅は4.0%減少している。

L_{max} 短縮率を津波避難施設同数の両モデルの閉塞なしのケースについて比較すると、津波避難施設8箇所のケースにおいて、pモデルは10.2%、sモデルは34.6%となり、両モデルの差は最大の24.4%となる。

また、避難距離上限値を与条件とした2つのモデルの解析を行い、その結果の比較をすることは今後の課題である。

b)閉塞箇所に関する効果

図-4.5で、pモデルの津波避難施設同数において、閉塞なしと閉塞5箇所(No.1)のケースを比較すると、津波避難施設3, 4及び9~13箇所では、閉塞なしのケースが閉塞5箇所(No.1)のケースよりも L_{max} が小さい。これは、閉塞5箇所(No.1)のケースにおいて閉塞箇所遭遇により迂回が生じる避難者の避難距離が、閉塞なしのケースにおいて最大避難距離となっていた避難者の避難距離よりも大きい場合である。ケース(p_12_0)と(p_12_5-1)の L_{max} の差は82.0mであり、ケーススタディを行った中では最大の差となった。

一方、pモデルのその他のケース(津波避難施設5~8箇所において、閉塞なしと閉塞5箇所(No.1)~(No.3)では、

L_{max} が一致した。これは、閉塞箇所遭遇して迂回する避難者がいたものの、それとは関係ない避難者が最も長い距離を避難している場合である。

sモデルの津波避難施設8箇所において、閉塞5箇所(No.1)~(No.3)のケース(s_8_5-1, s_8_5-2及びs_8_5-3)を比較すると、閉塞5箇所(No.3)のケース(s_8_5-3)において L_{max} は最小値319.8m、閉塞5箇所(No.1)のケース(s_8_5-1)において最大値409.5mとなり、その差(Δ)は89.7mで標準偏差は36.9mとなる。

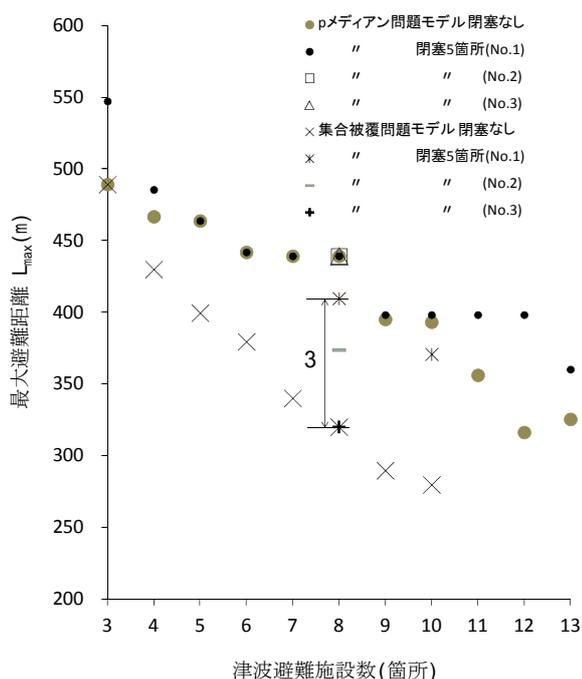


図-4.5 各ケースにおける最大避難距離 L_{max} (m)

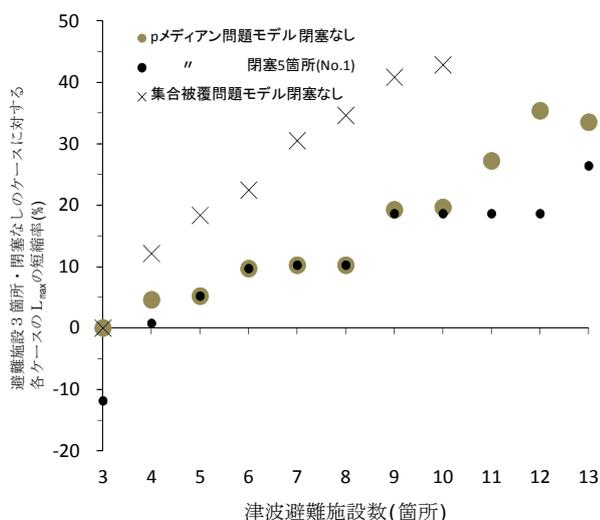


図-4.6 ケース(p_3_0)に対する各ケースの L_{max} の短縮率(%)

4.2 避難者の安否を指標とした解析結果

ケース(p_3_0), (s_3_0), (p_3_5-1), (p_10_0)及び(s_10_0)について、防波堤完成時と防波堤なしの場合の比較及び津波避難標識が設置されている場合とされていない場合の比較を行い、対策の影響について調べた。避難者の安否を指標とした解析結果を表-4に示す。

まず、津波避難施設配置モデル、津波避難施設数、閉塞箇所の各条件が同一のケースの中で比較する。当然ながら、防波堤完成と標識ありの組合せ(ケースNo.4, 8, 12及び16)が他の防波堤と標識の条件の組合せよりも津波の浸水により安全避難が困難となる避難者(以下、避難困難者という)が少なくなる。その中で最小となるのはケースNo.12及び16の12人である。

ただし例外として、ケースNo.4は標識なしの組合せ(ケースNo.3)よりも、避難困難者が2人多くになっている。その理由は、5章の「施設整備・避難対策が避難者安否に及ぼす影響」で考察として記載した。

次に項目ごとに比較する。まず、防波堤の整備による影響について着目する。防波堤の条件以外を同一としたケース同士を比較すると(例えばケースNo.1とケースNo.3, ケースNo.6とケースNo.8等を比較する), 防波堤なしの場合の避難困難者数に対して防波堤完成の場合の避難困難者の割合は3.8~8.9%となる。

津波避難標識の設置による影響に着目する。津波避難標識の条件以外を同一としたケース同士を比較すると(例えばケースNo.1とケースNo.2等), 津波避難標識なしの場合の避難困難者数に対して津波避難標識ありの場合の避難困難者数の割合は68.2~111.1%となる。ここで、111.1%と「なし」よりも「あり」の場合が増加しているのはケース3とケース4の組合せの1ケースだけであり、例外的なものである。その理由は前述のとおり5章で詳しく触れる。

建物耐震化による街路閉塞箇所減少による影響に着目する。ケースNo.1とNo.5, ケースNo.2とNo.6, ケースNo.3とNo.7及びケースNo.4とNo.8をそれぞれ比較すると、閉塞5箇所(No.1)の場合の避難困難者数に対して閉塞なしの場合の避難困難者数の割合が40.9~95.1%となる。

津波避難施設数の増加による影響に着目する。ケースNo.1とNo.9, ケースNo.2とNo.10, ケースNo.3とNo.11及びケースNo.4とNo.12をそれぞれ比較すると、津波避難施設3箇所の場合の避難困難者数に対して津波避難施設10箇所の場合の避難困難者数の割合が58.7~66.7%となる。津波避難施設配置モデルの違いによる影響に着目する。ケースNo.9とNo.13, ケースNo.10とNo.14, ケースNo.11とNo.15及びケースNo.12とNo.16をそれぞれ比較すると、

表-4 避難者の安否を指標とした解析結果

津波避難施設 配置モデル	両モデルとも同じ配置				p-メディアン 問題モデル								集合被覆 問題モデル			
津波避難施設数	3				3				10				10			
閉塞箇所	なし				5(No.1)				なし				なし			
防波堤	なし		完成		なし		完成		なし		完成		なし		完成	
標識	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
ケース No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
「否」となる 避難者数	470	378	18	20	494	410	44	30	276	222	12	12	276	222	12	12

避難困難者数はpモデルとsモデルで差がみられなかった。

最後に、3.3(3)の津波避難施設配置プログラムによる解析の計算所要時間を付録-7に示す。

5. 考察

・pモデルとsモデルの比較

津波避難施設同数で閉塞なしのpモデル及びsモデルのケースにおいて、 \bar{L} を比較すると常にsモデルよりpモデルの \bar{L} が小さくなる。よって、 \bar{L} を避難安全性の指標とした場合には、sモデルよりpモデルによる津波避難施設配置の方が安全性は高いと考えられる。

津波避難施設同数で閉塞なしのpモデル及びsモデルのケースにおいて、 L_{max} を比較すると常にpモデルよりsモデルの L_{max} が小さくなる。よって、 L_{max} を避難安全性の指標とした場合には、pモデルよりもsモデルによる津波避難施設配置の方が安全性は高いと考えられる。

また、pモデルではケース(p_13_0)のように津波避難施設が1箇所少ないケース(p_12_0)よりも L_{max} が増加するケースがみられ、 \bar{L} の減少を優先させることが L_{max} の減少に結びつかない場合がある。

・sモデルによる津波避難施設配置の検討

sモデルの避難距離上限値を例えば260mとする場合に、全ての津波避難ビル等候補を津波避難ビル等として配置を行ったとしても、避難距離上限値を超える避難者がいるため、津波避難施設の配置は不可能となる。そのため、新規で津波避難ビル等の整備を行い、 L_{max} を260m以内とすることが1つの案として考えられる。

その方法としては、避難不可能となる避難者を抽出して、その避難者が避難可能な範囲の建物を、津波避難ビル等としての構造的要件を考慮せずに、津波避難ビル等候補とする。その上で避難距離上限値を260mとしたsモ

デルによる津波避難施設配置を行い、解析の結果配置された箇所について新規で構造的要件を満たした津波避難ビル等を建てる。

または、避難距離上限値280mにおいて選ばれた津波避難施設を既設、それ以外の建物については、建て替え等の新たな建設が可能な箇所を津波避難ビル等候補として、避難距離上限値を260mとしたsモデルによる津波避難施設配置を行い、新たに配置された箇所について新規で構造的要件を満たした津波避難ビル等を建てる。そうすることで、既存の建物を活用した上での新規津波避難ビル等の建設を行うことができると考えられる。

sモデルによる津波避難施設の配置にはこのような方向性が考えられる。

・街路閉塞箇所が及ぼす影響

pモデルの津波避難施設3～13箇所において、閉塞なしと閉塞5箇所(No.1)のケースの \bar{L} の差は6.8～9.9mであり、閉塞5箇所(No.1)のケースの \bar{L} は、閉塞なしのケースの \bar{L} に対して2.8～5.5%の増加となっている。著者ら¹⁰⁾と比較し、津波避難施設数が増加しても \bar{L} への影響が小さいのは、閉塞箇所と津波避難施設の位置関係が影響を与えにくい位置関係にあるからだと考えられる。閉塞箇所遭遇率を表-5に示すと閉塞5箇所(No.1)では、10.4～16.4%の範囲にある。また、閉塞5箇所(No.2)の遭遇率は1.6%、閉塞5箇所(No.3)の遭遇率は3.7%であり、閉塞5箇所の位置によって遭遇率が異なっている。閉塞箇所の近くに津波避難施設がない場合には、その付近に避難者が集中せず、閉塞箇所遭遇率が小さくなり、 \bar{L} へ及ぼす影響も小さくなる傾向があると考えられる。

このことから、既存の施設を津波避難施設にすることを考える時に建物の位置は限定されていて避難経路についてもある程度限定されることから、どの箇所の建物を重点的に耐震化すればよいかの目安になりうると考えら

れる。また、津波避難施設を新規で建設する場合には、閉塞箇所が発生する可能性の高い街路が避難経路となる位置に津波避難施設を建設しないことが必要であると考えられる。

また、pモデルの津波避難施設3～13箇所の閉塞なしと閉塞5箇所のケースの L_{max} の差は0～82.0mであり、影響のみられないケースと影響のみられたケースがあった。 L_{max} の差が0となる場合には、閉塞箇所に遭遇していない同一の避難者が該当していて、閉塞箇所遭遇による影響よりも居住建物が津波避難施設から離れている影響の方が大きいことがいえる。このようなケースは11ケース中3ケースであった。そして、 L_{max} の差が0より大きくなる場合、つまり居住建物が津波避難施設から離れている影響よりも閉塞箇所遭遇による影響の方が大きいケースは11ケース中8ケースあり、街路閉塞箇所が L_{max} に与える影響があることが分かった。

表-5 避難施設数と閉塞箇所遭遇率の関係

津波避難施設数	閉塞箇所遭遇率(%)
3	12.1
4	11.5
5	10.4
6	16.4
7	16.4
8	15.8
9	15.4
10	15.6
11	15.6
12	15.3
13	14.8

・施設整備・避難対策が避難者安否に及ぼす影響

避難者の安否を指標とした表-4の解析結果より、避難困難者を減少させる影響が最も大きかったのは、防波堤の整備であり、平均して5.6%に減少している。

次に津波避難施設数の増加であり平均して61.0%に減少している。次に建物耐震化による街路閉塞箇所減少であり平均して73.7%に減少している。次に津波避難標識の設置であり、平均して87.9%に減少している。最後に津波避難施設配置モデルの違いであり、本ケーススタディでは影響に差がみられなかった。ただし、両モデルでは \bar{L} 、 L_{max} 及び標準偏差が異なっているため、どちらかのモデルにおいて避難困難者が多くなる可能性があることに留

意する必要がある。

ここで、津波避難標識の設置の影響の留意点について、防波堤なしの場合において、津波避難標識ありのケース(ケースNo.2)がなしのケース(ケースNo.1)より避難困難者が少ないのに対して、防波堤完成の場合では、津波避難標識ありのケース(ケースNo.4)が津波避難標識なしのケース(ケースNo.3)より避難困難者が2人多くなっている。

その理由は、本安否評価は避難者が交差点を通過するごとに行い、交差点を通過した時点の津波の流速及び浸水深の値を用いているためである。

一般的にロスタイムの生じる標識なしのケース(ケースNo.3)において避難困難者とならなければ、ロスタイムの生じない標識ありのケース(ケースNo.4)においても避難困難者とならないと考えられるが、ケースNo.3において避難困難者とならなかったが、ケースNo.4において避難困難者となった避難者Aがいる。

避難者Aは、図-5.1の位置に居住しており、図-5.1の交差点Aにおける安否評価において、ケースNo.4では避難困難者となった。

交差点Aにおける流速の時系列変化について図-5.2に示す。図-5.2より、時間の経過に伴い流速が増減している。ここで、流速の減少がみられるのは、津波が押し波から引き波、また引き波から押し波に変化する際に流れの方向が逆になるためである。

地震発生10分35秒後から流速が増加し、18分10秒後に1度目のピークの2.13m/sとなり、2度目のピークは20分41秒後に、この交差点における流速の最大値2.67m/sとなる。

ここで、図の地震発生からの経過時間20分(1,200秒)から21分40秒(1,300秒)の間について、拡大した図を示す(図-5.3)。

避難者Aについて、ケースNo.4では交差点Aに21分(1260秒)後に到達し、その時点の流速は図-5.3より2.53m/sとなり、表-3.3のNo.1の条件より避難困難者となる。ケースNo.3の5秒のロスタイムが経過した21分5秒(1265秒)後の流速は図-5.3より2.46m/sとなり、表-3.3の避難困難者となる条件に当てはまらなかったため、避難困難者とならず、避難を完了した。

このように本安否評価は、避難者が各交差点を通過した時点ごとの断続的な評価であり、避難行動に対して連続的な評価ではないため、本来避難困難者になると考えられる避難者が安全に避難できる場合があることに留意する必要がある。

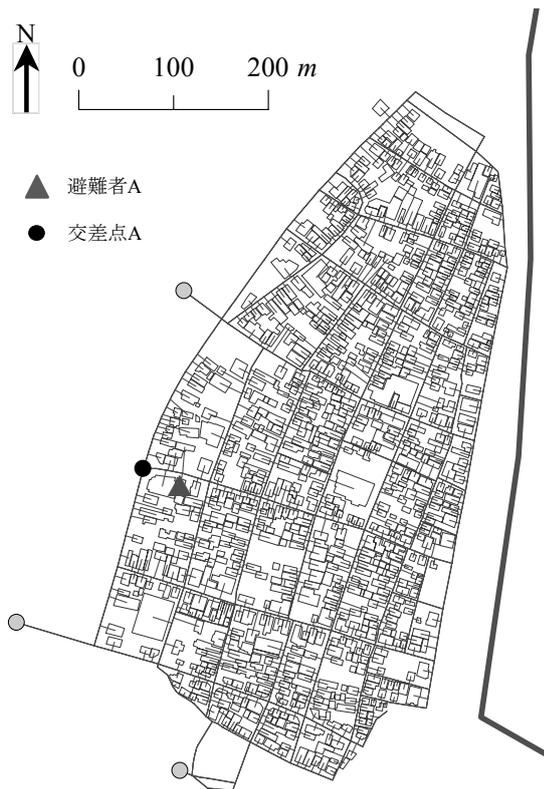


図-5.1 避難者Aと交差点Aの位置

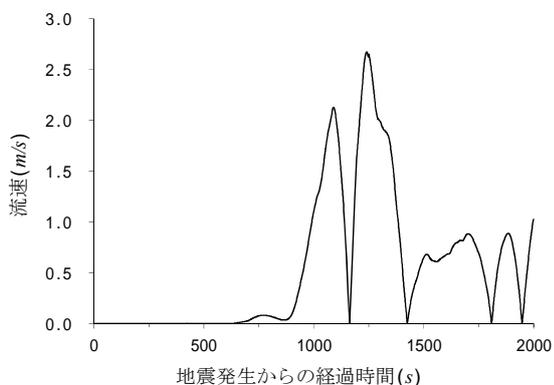


図-5.2 流速の時系列変化

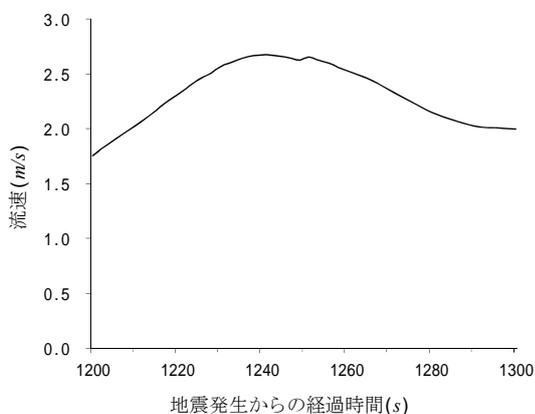


図-5.3 流速の時系列変化(拡大)

最後に、施設整備・津波避難対策について、いずれも設置する数量によって影響が変化すると考えられるので、さらにケーススタディを行う必要がある。また、1箇所設置当たりのコスト等も考慮すると、どの対策を講じることが効果的であるかということも検討する必要があると考えられる。

6. 結論

本資料では、津波避難施設の配置手法について、数理計画法の p -メディアン問題及び集合被覆問題をモデルとして、収容可能人数を考慮した津波避難施設配置によりケーススタディを行い、両モデルの特徴について整理した。また、津波避難施設の整備、海岸保全施設の整備、建物耐震化による街路閉塞箇所減少及び津波避難標識の影響について、避難距離及び避難所要時間による避難者の安否を指標とした避難安全性の評価を行い、以下の結論を得た。

\bar{L} を避難安全性の指標とした場合に、 s モデルよりも p モデルによる津波避難施設配置の方が安全性は高い。

L_{max} を避難安全性の指標とした場合に、 p モデルよりも s モデルによる津波避難施設配置の方が安全性は高い。ただし、 s モデルによる解析に解が存在する場合には限られる。

避難者の安否を指標とした避難安全性の評価において、避難困難者数を減少させる影響が最も大きい対策は、コスト等の検討の必要はあるが、防波堤の整備である。

(2012年2月14日受付)

謝辞

本研究を実施するにあたり、関係する自治体、地方整備局の方々には研究に不可欠な基礎的データを提供して頂くとともに、大変参考になるアドバイスを頂きました。こうした皆様をはじめ、ご協力頂いた各位にここに感謝の意を表します。

参考文献

1)竹内光生・大田盟・政岡知実・町田奈々：南海地震を想定した高台方向の緊急一次避難場所の選択行動分析-四万十市-, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, pp.193-194, 2009.

- 2)細木智広・山崎直・小堀晃子・竹内光生：Gurobi3.0.1 を用いた比較的大規模な p メディアン問題に関する研究-安芸市-, 土木学会四国支部第 17 回技術研究発表会講演概要集, pp.229-230, 2010.
- 3)宮澤仁：立地-配分モデルを用いた津波避難施設の配置計画立案-宮城県女川町を事例地域に-, 東北地理学会東日本大震災報告集, <http://www.soc.nii.ac.jp/tga/disaster/disaster-j.html>
- 4) 竹内光生・川上智仁・佐伯貴嗣・小栗太一：MIP手法を用いた避難場所の施設容量に関する基礎的研究～安芸市～, 土木学会四国支部第16回技術研究発表会講演概要集, pp.257-258, 2010.
- 5) 熊谷兼太郎, 鈴木武：市街地特性及び浸水予測結果を考慮した津波避難安全性評価の基礎的研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第537号, 2009.
- 6) 内閣府政策統括官(防災担当)・津波避難ビル等に係るガイドライン検討会：津波避難ビル等に係るガイドライン, pp.6-7, pp.11, pp.19-25, 2005.
- 7)国土交通省：津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(技術的助言)(平成23年11月17日付け国住指第2570号), 2011.
- 8)大江悠介, 山田裕通, 渡邊祐二, 熊谷兼太郎：津波避難施設の最適配置のための数理計画モデル生成, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2012年春季研究発表会アブストラクト集, 2-A-9, pp.130-131, 2012.
- 9) 永川賢治, 今村文彦：情報伝達・避難開始時間に着目した防災力評価法の提案, 津波工学研究報告第17号, pp.79-94, 2000.
- 10) 渡邊祐二, 熊谷兼太郎, 根木貴史：津波避難の安全性に及ぼす避難施設数と街路閉塞の影響の評価, 土木学会土木計画学研究・講演集Vol.44, 2011.
- 11)須賀堯三, 利根川研究会：利根川の洪水語り継ぐ流域の歴史, pp.117, 1995.

付録-1 各建物に2人避難者を配置した根拠

建物のノード818点に対して、各2人の避難者がいるものとして、対象地区の人口を1,636人とした。その基としたデータは、平成22年度自治体発行の統計書より平成22年4月1日現在の行政区別人口と世帯数が示されており、対象地区のうち主な行政区となる一丁目、二丁目及び三丁目の人口、世帯数及び一世帯当たりの人数は付録表-1の通りである。

付録表-1 対象地区の行政区ごとの人口と世帯数及び一世帯当たりの人数

行政区	人口	世帯数	一世帯当たりの人数
一丁目	925	462	2.0
二丁目	674	325	2.1
三丁目	601	297	2.0
合計	2,200	1,084	2.0

対象地区としている市街地は行政区による区分ではないため、同一の行政区であっても対象地区となっている地区となっていない地区に分かれる。そのため一丁目を例にすると、付録表-1の一丁目の人口を対象地区の人口とすると実際よりも多く居住していることになる。そのため、次の方法により一丁目の対象地区内の想定居住人口を求めた。

まず、方法 として、ゼンリン住宅地図デジタウン(以下、住宅地図という)を用いて一丁目の対象地区内となる建物の数と対象地区外となる建物の数をそれぞれ数えた。

数える対象は、建物のポリゴンであるが、倉庫、トイレ及び駐車場といった明らかに居住者がいないと思われる建物については対象から除くこととした。そして、求めた一丁目における対象地区内の建物数と対象地区外の建物数から一丁目における対象地区内の建物数の比率を求め、その比率と一丁目の人口の積をとることで、一丁目対象地区内の想定居住人口を581人と算出した。

次に方法 として、居住人口を割り当てる一丁目対象地区内の建物のノード数をGISにより数えた。

すると、一丁目対象地区の建物ノードは302点であり、付録表-1を参考に1世帯当たりの人口を2人として、一丁目対象地区のノード数と1世帯当たりの人口の積をとることで、一丁目対象地区内の想定居住人口を604人と算出した。

及び の方法により求めた一丁目対象地区内の想定

居住人口の差は、23人となった。また、一丁目の人口に対する、①の方法による想定居住人口の割合は63%、同様に②の方法では65%となり、その差は2%であった。

一丁目と同様の方法で二丁目対象地区内の想定居住人口を求める。二丁目は全て対象地区としているため建物の対象地区内と外の比率は1:0である。そのため の方法による想定居住人口は付録表-1の二丁目の人口そのものとなるため674人となる。

の方法は二丁目対象地区の建物ノードが337点であり、想定居住人口は674人となる。よって、①と②の想定居住人口は一致した。

三丁目の想定居住人口についても同様に求めると、の方法は275人、 の方法は358人となった。その差は83人であり、三丁目の人口に対する、①の方法による三丁目対象地区内の想定居住人口の割合は46%、②の方法による三丁目対象地区内の想定居住人口の割合は60%となり、その差は14%であった。

このように一丁目、二丁目及び三丁目の対象地区内の想定居住人口を求めた結果、一丁目及び二丁目については 及び の方法により求めた対象地区内の想定居住人口が近い値を示していること、また、想定居住人口が多い方を用いることで、津波避難の安全性を評価する上で、危険側での評価になると考えられる。そのため、 の方法により求めた想定居住人口を用いて、対象地区内の各建物ノードに一律に2人の避難者がいるものとした。

付録-2 座標系の変換方法の詳細

座標系の変換は、ESRI社製ArcGISのArcToolboxの「データ管理 ツール」/「投影変換と座標変換」/「フィーチャ 投影変換(Project)」の機能を用いた。

座標系が日本測地系2000の平面直角座標系第8系であるGIS対象地区データのメッシュデータを日本測地系のUTM第53.5帯となるように座標系の変換を行った。

まず、ArcToolboxにおいて既存の座標系である「Projected Coordinate Systems」/「UTM」/「Asia」/「Tokyo UTM Zone 53N.prj」を選択した。このままでは日本測地系のUTM第53帯となるので、日本測地系のUTM第53.5帯とするためには中央子午線を135度から138度に変更する必要がある。そこで、投影法のパラメータ「Central_Meridian」の値について、「135.000...0」であるのを「138.000...0」に変更した。

最後に「地理座標系変換(オプション)」について、「Tokyo_To_JGD_2000_NTv2」を選択して座標変換を行った。

付録-3 津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物の特定方法及び収容可能人数の求め方

付録 3.1 津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物の特定方法

内閣府のガイドライン⁶⁾に基づく津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物及びその位置を特定するために平成23年10月19日に現地調査を行った。

その準備として、自治体提供資料から建物構造がRCまたは、SRC構造であり、かつ建築年が1981年施行の新耐震設計基準を満たしている建物を抽出した。そして抽出した建物の位置の地番を控えた。

次に控えた地番の位置を公図により特定し、その位置を1/2,500都市計画図(以下、白図という)に記入した。そして、白図に記入した位置に実際に抽出した建物があるか現地調査により確認した。また、階数は3.1(1)⑥の要件を満たしているかについても確認し、満たしている建物のみ津波避難ビル等としての構造的要件を満たす建物として特定した。

付録 3.2 収容可能人数の求め方

付録3.1により特定した建物について、収容可能人数(人)を求めるために「建物の階数」、「屋上の有無」及び「下階の1階分の床面積に対する最上階の床面積の割合」について、現地調査において目視により確認可能な項目を控えた。また、「屋上の有無」及び「下階1階分の床面積に対する最上階の床面積の割合」について、目視により確認が出来なかった建物は、Google Earthの航空写真(以下、航空写真という)により確認を行った。

次に抽出した建物の「建築面積」(m^2)を現地調査、住宅地図及び航空写真を用いて求めた。方法は、付録3.1により特定した建物の外郭を写真に収めておき、住宅地図の建物形状と比較する。一致するようであれば、住宅地図の建物形状により「建築面積」(m^2)を求める。外郭が異なるようであれば航空写真により外郭を確認し、その外郭によって「建築面積」(m^2)を求める。

ここで、2.1のGIS対象地区データの建物のノード属性にも建築面積のデータがあるが、建物と敷地の境界がなく、建築面積が実際と異なるデータがみられた。そのため、GIS対象地区データの建築面積のデータは用いずに、津波避難ビル等候補となる各建物について「建築面積」(m^2)を上記の方法により求めた。

そして求めた「建築面積」(m^2)、「建物の階数」、「屋上の有無」及び「下階1階分の床面積に対する最上階の床

面積の割合」(最上階の形状係数)を用いて、3.1(1)⑥より避難に必要な4階(3階の屋上を含む)以上の高さの床面積(m^2)を求める。そして、内閣府のガイドライン⁶⁾より単位面積当たりの収容人数は1(m^2 /人)を目安としているので、求めた床面積の数値が収容可能人数(人)となる。

ただし、実際の収容可能人数については、収容可能な床面積は外観から判断が出来ないので、建物内部の調査や管理者からのヒアリング等により決定することが望ましいと考えられるが、収容可能人数の求め方についてここでは示した。

付録-4 津波避難ビル等候補



No. 1



No. 2



No. 3



No. 4



No. 5



No. 6



No. 7



No. 8



No. 9



No. 10

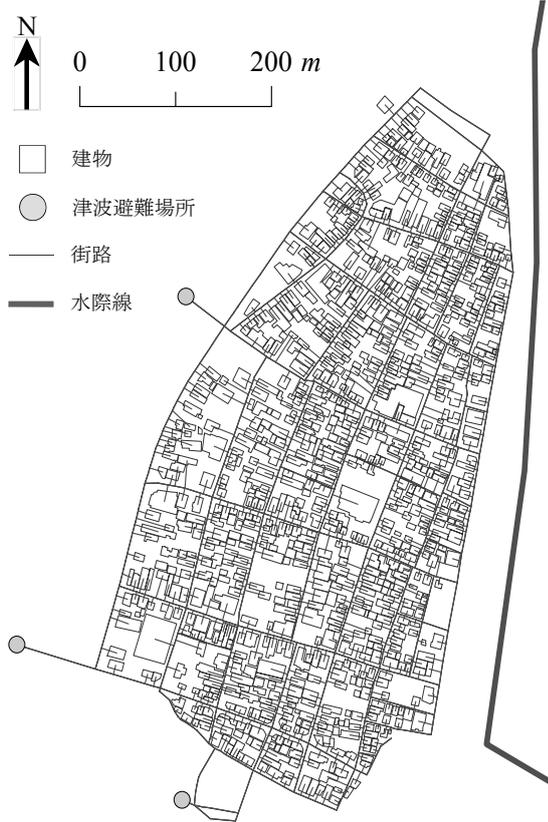


No. 11

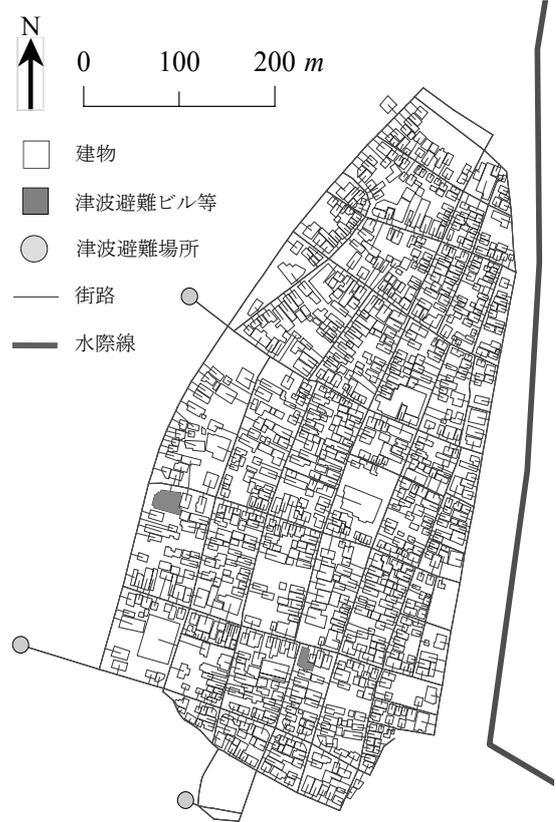


No. 12

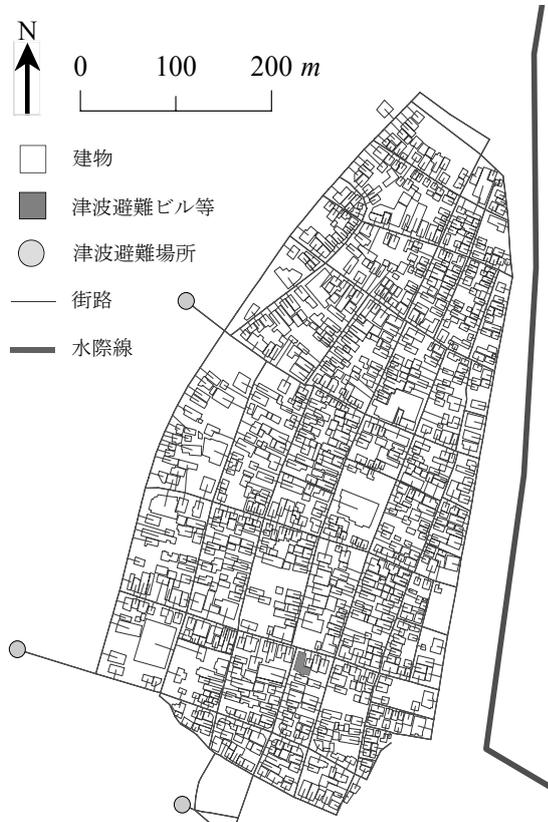
付録-5 各ケースの津波避難施設の配置及び街路閉塞箇所の位置



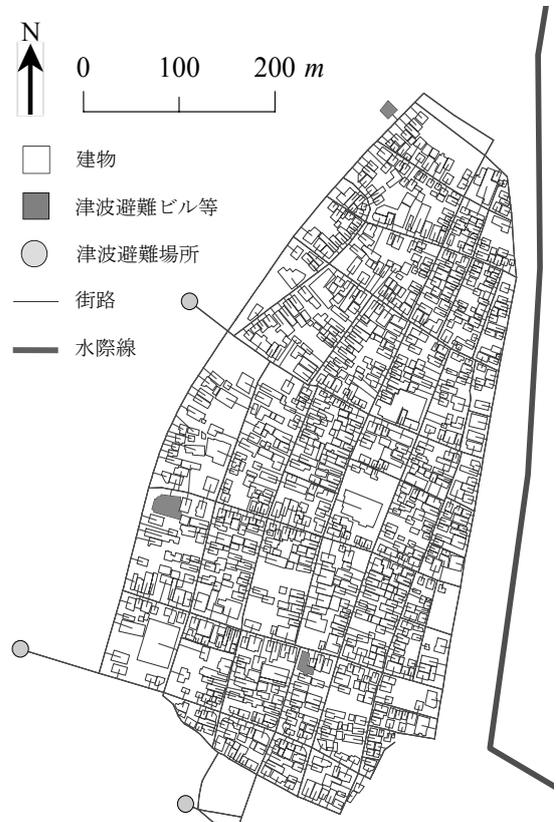
付録図-5.1 ケース(p_3_0)及び(s_3_0)



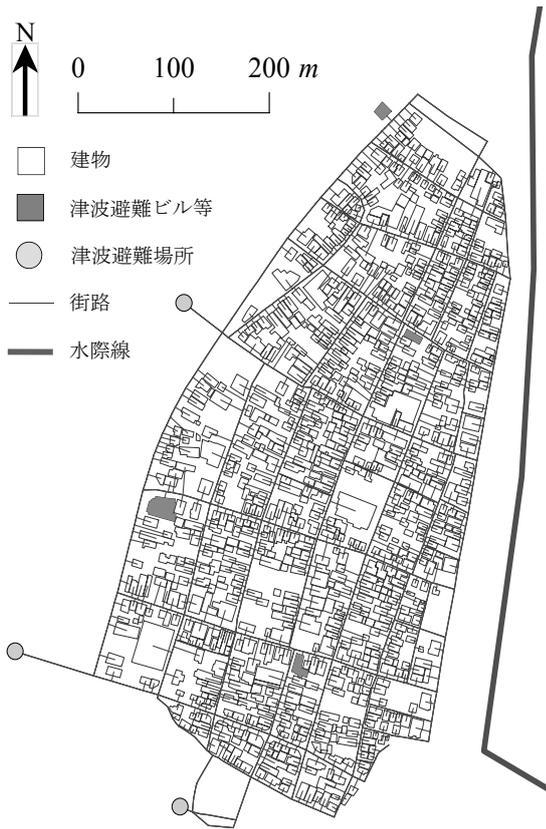
付録図-5.3 ケース(p_5_0)



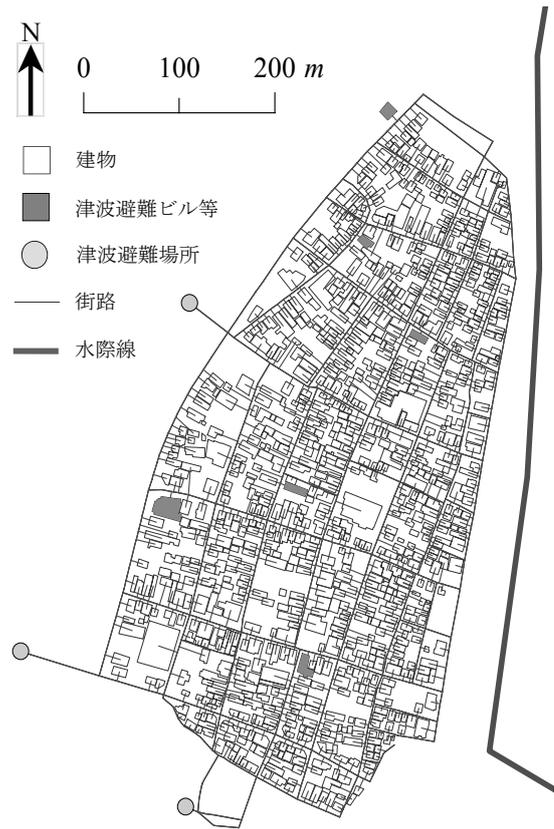
付録図-5.2 ケース(p_4_0)



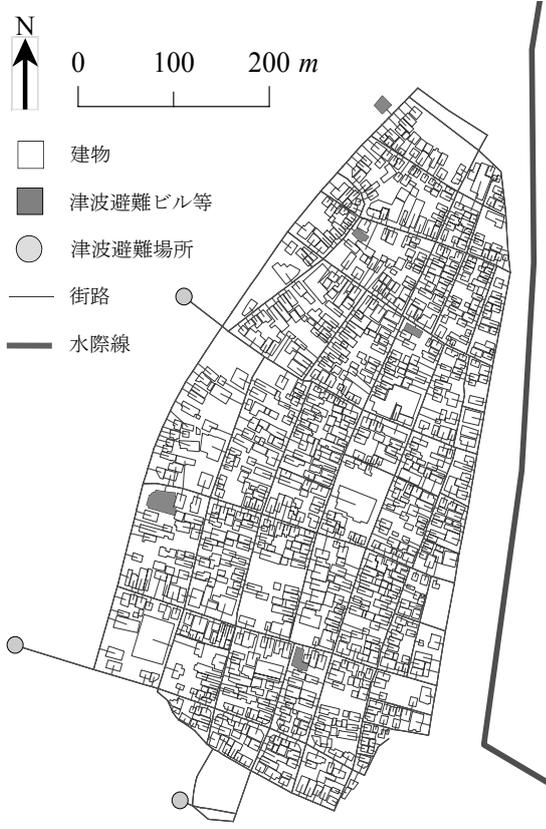
付録図-5.4 ケース(p_6_0)



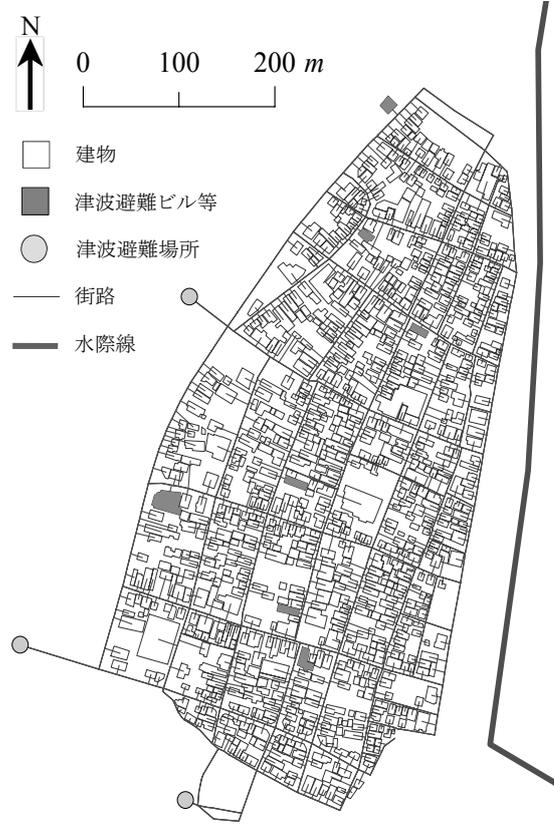
付録図-5.5 ケース(p_7_0)



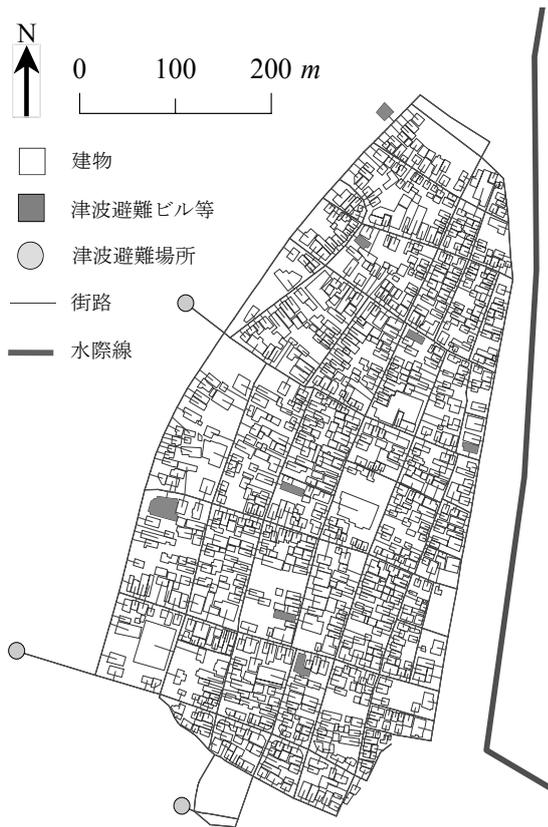
付録図-5.7 ケース(p_9_0)



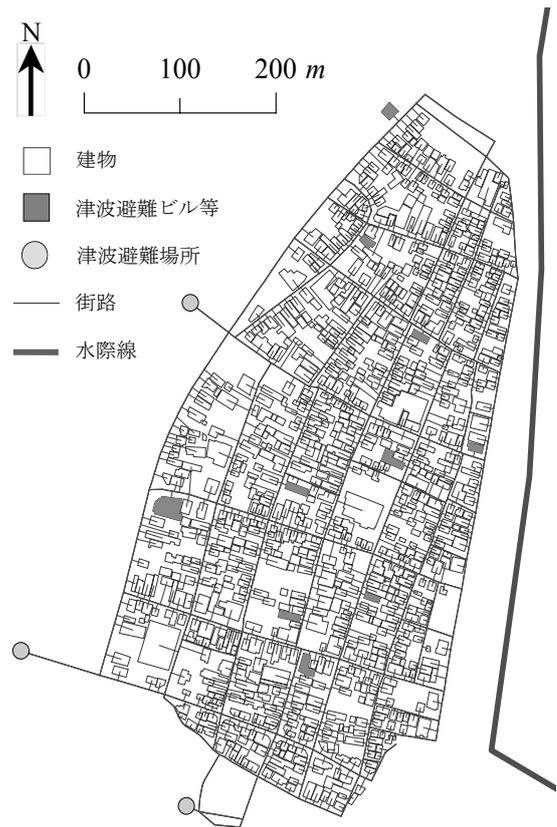
付録図-5.6 ケース(p_8_0)



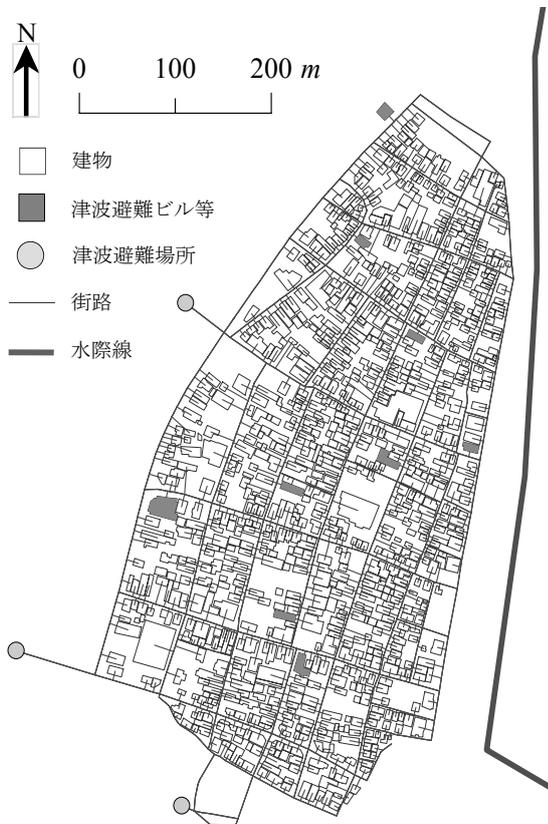
付録図-5.8 ケース(p_10_0)



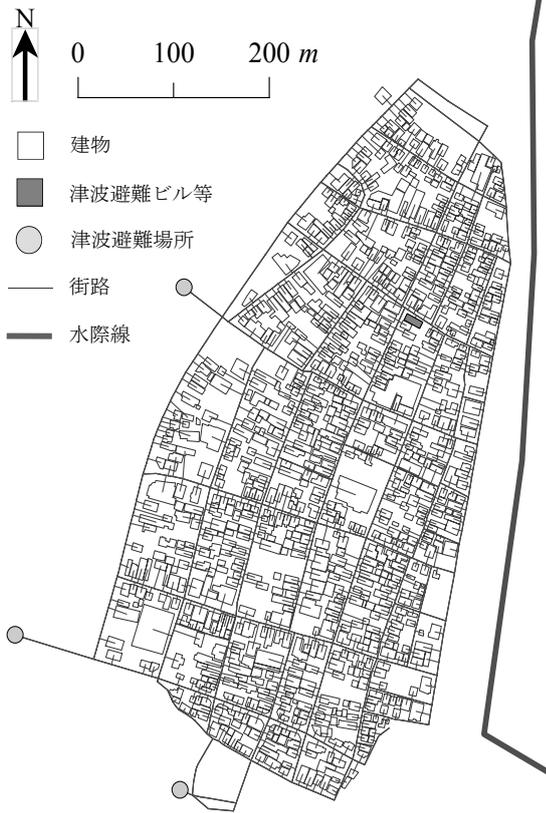
付録図-5.9 ケース(p_11_0)



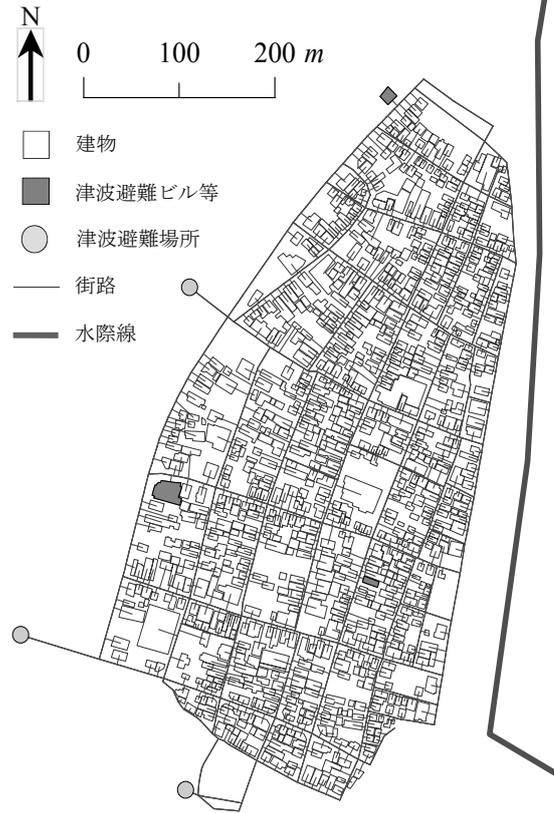
付録図-5.11 ケース(p_13_0)



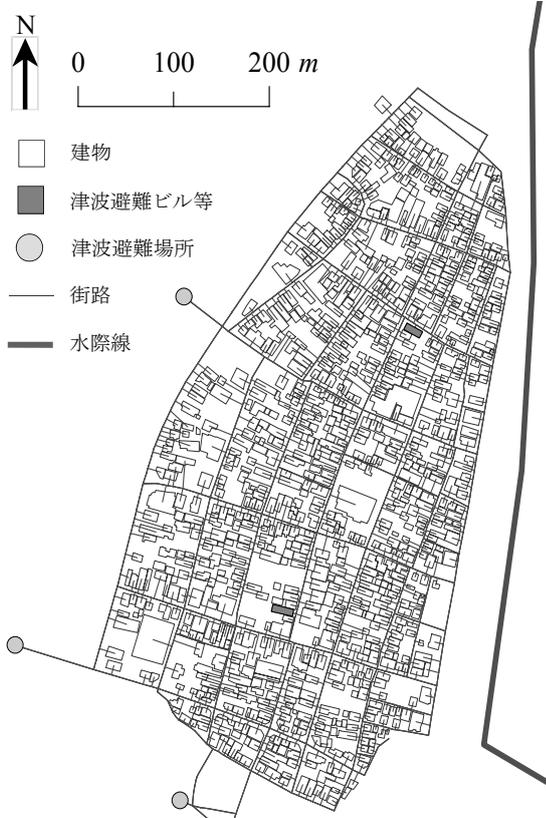
付録図-5.10 ケース(p_12_0)



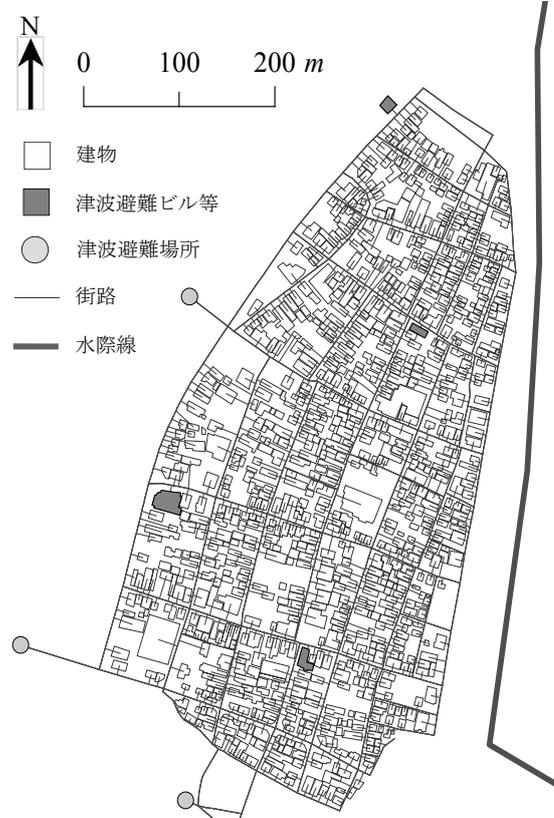
付録図-5.12 ケース(s_4_0)



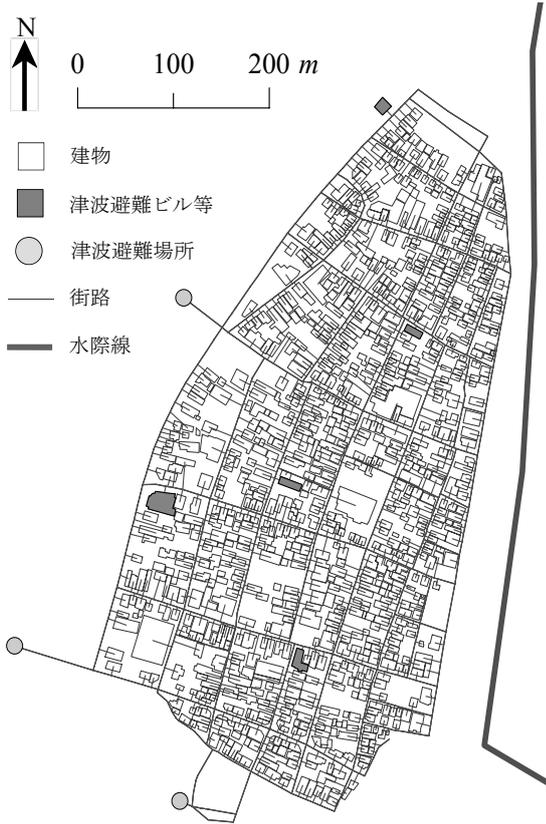
付録図-5.14 ケース(s_6_0)



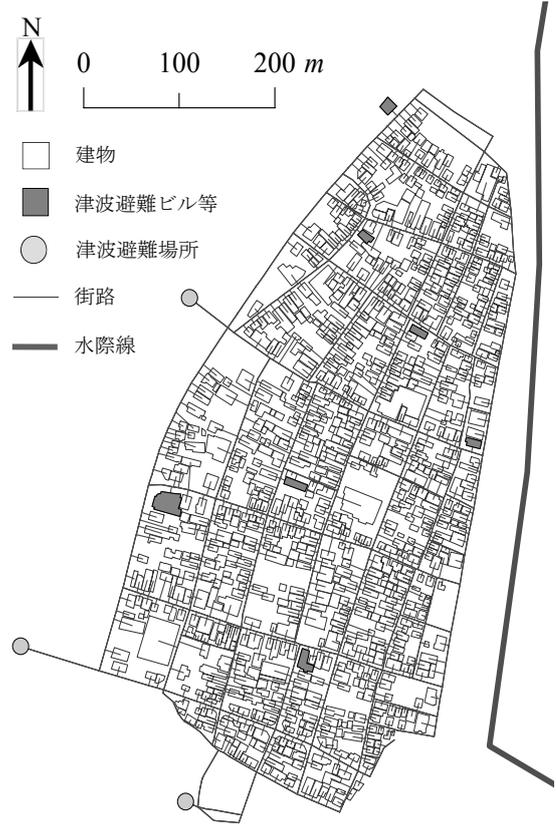
付録図-5.13 ケース(s_5_0)



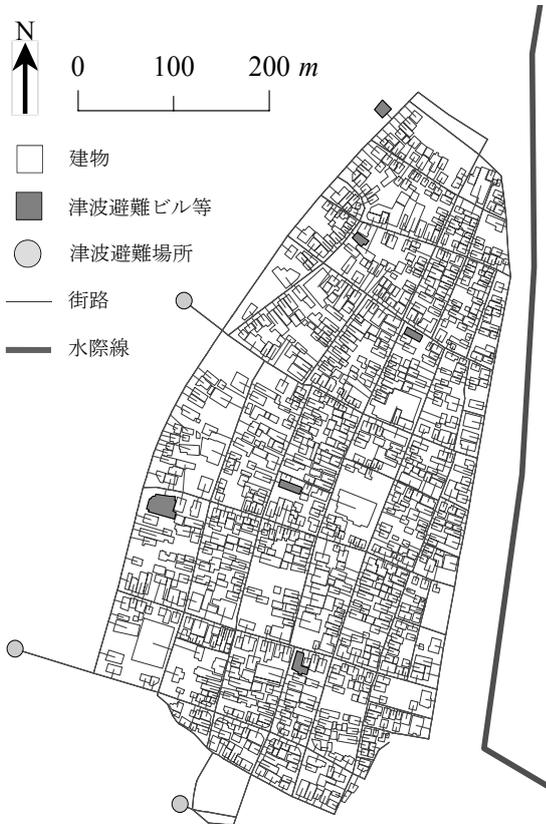
付録図-5.15 ケース(s_7_0)



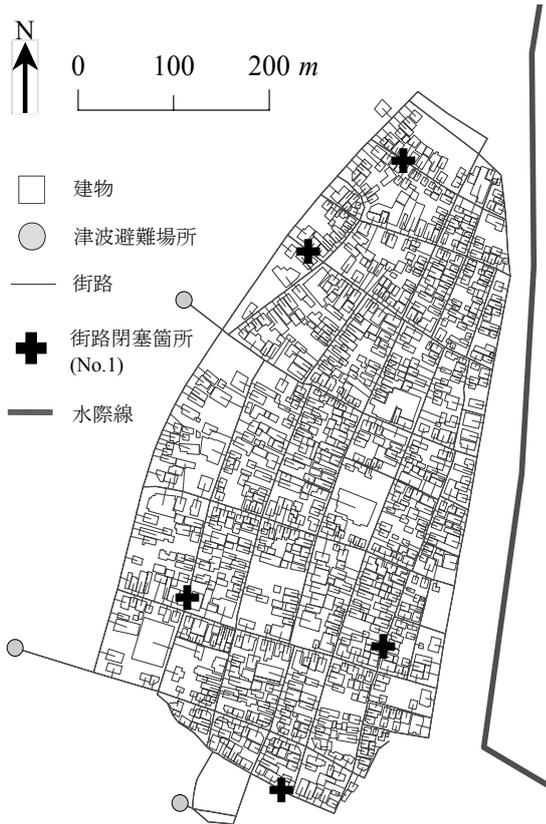
付録図-5.16 ケース(s_8_0)



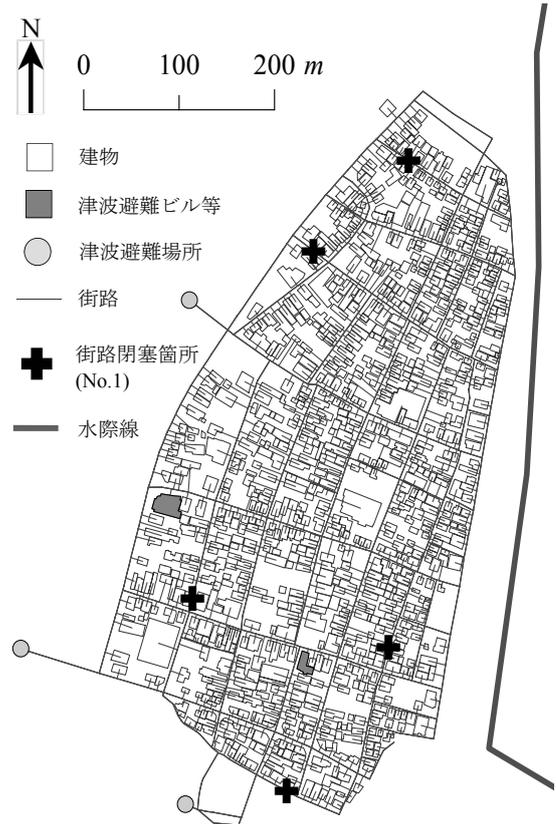
付録図-5.18 ケース(s_10_0)



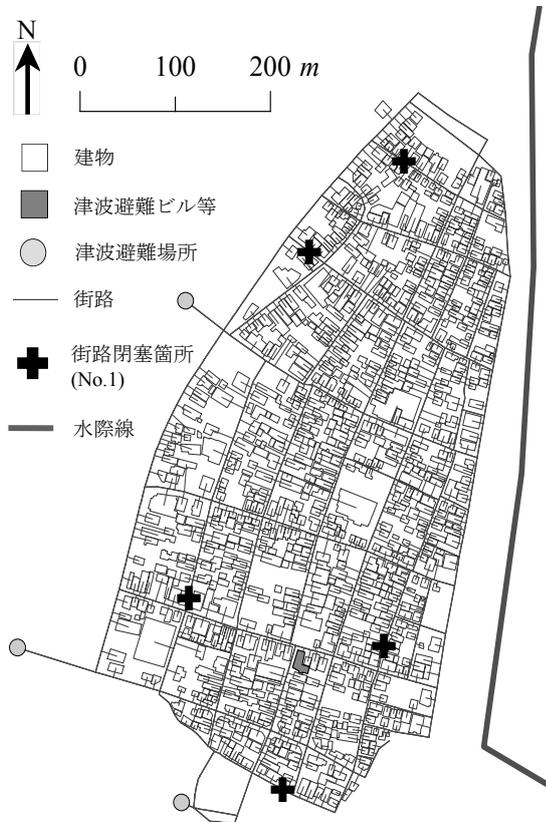
付録図-5.17 ケース(s_9_0)



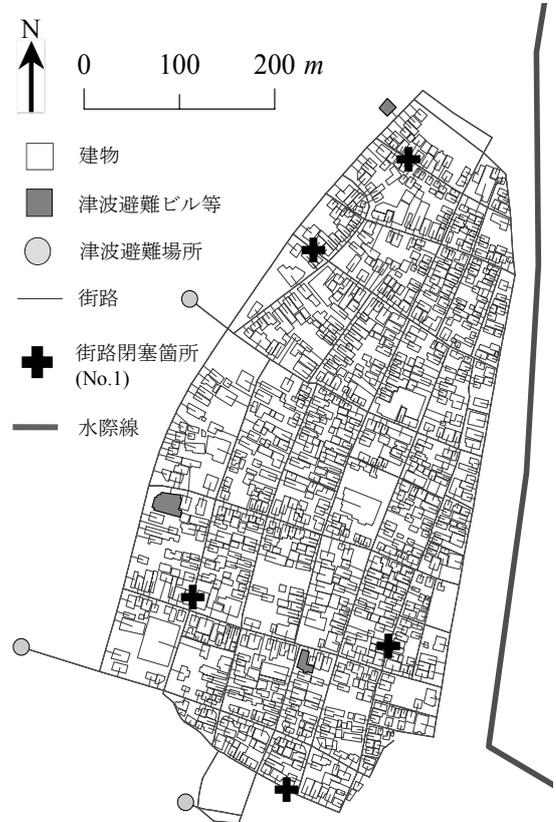
付録図-5.19 ケース(p_3_5-1)



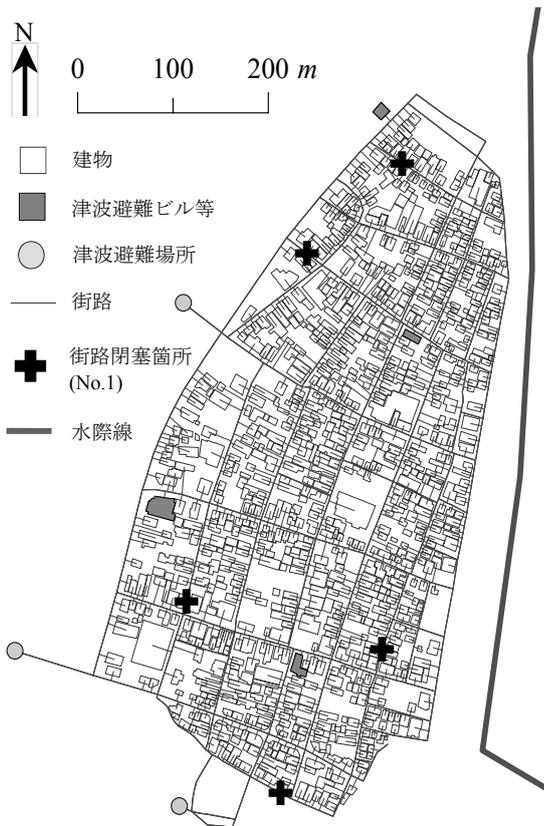
付録図-5.21 ケース(p_5_5-1)



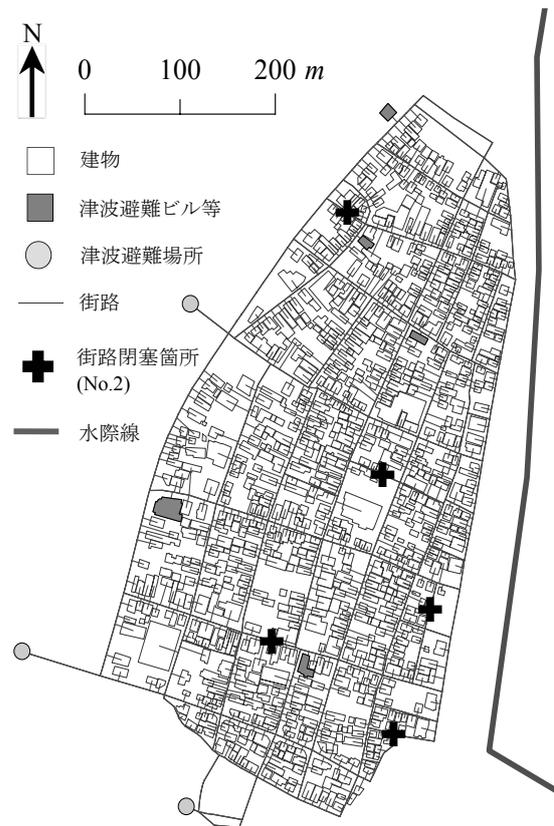
付録図-5.20 ケース(p_4_5-1)



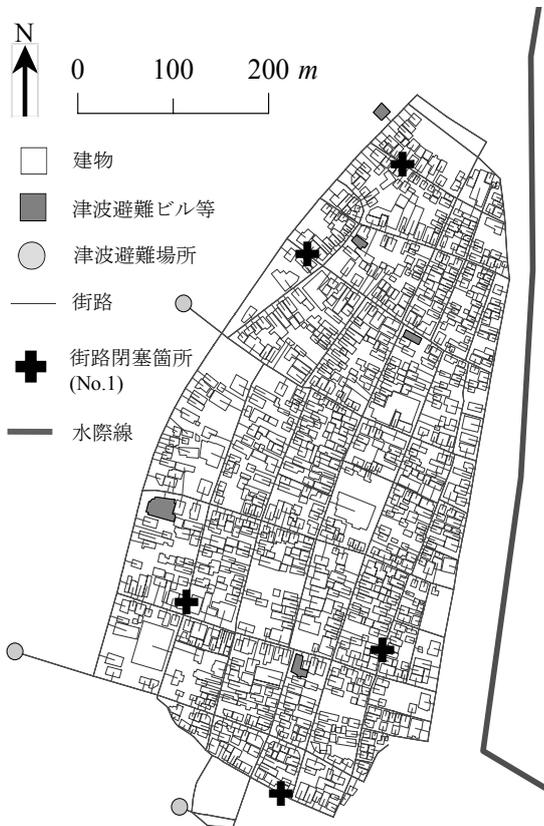
付録図-5.22 ケース(p_6_5-1)



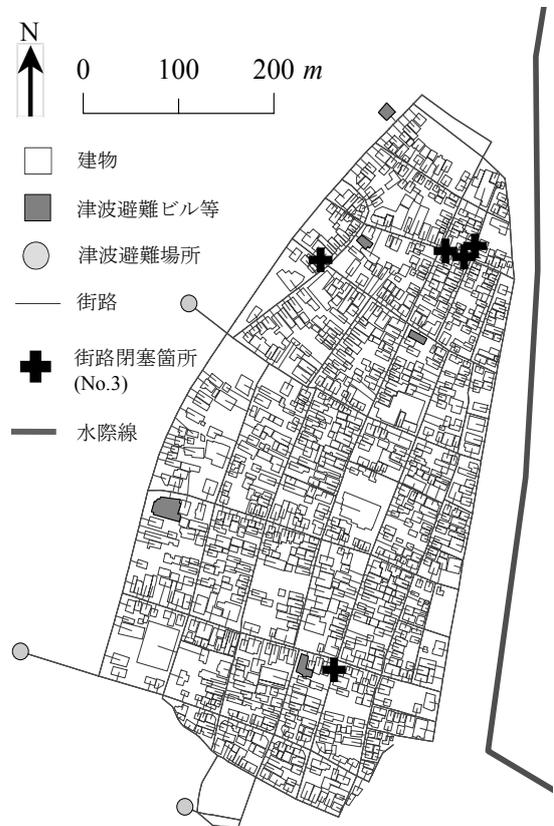
付録図-5.23 ケース(p_7_5-1)



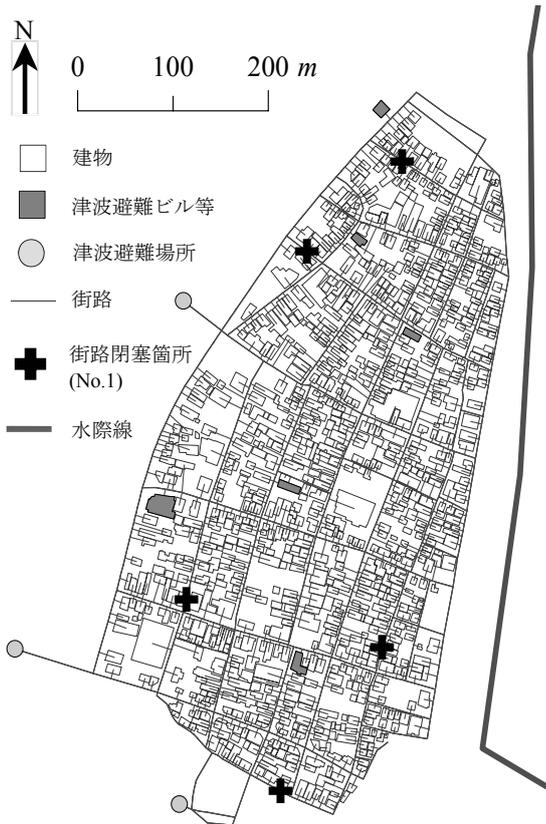
付録図-5.25 ケース(p_8_5-2)



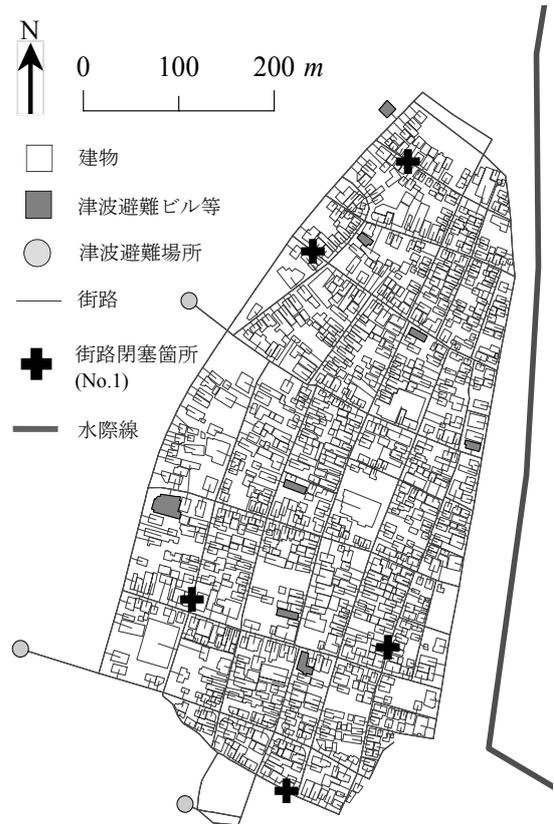
付録図-5.24 ケース(p_8_5-1)



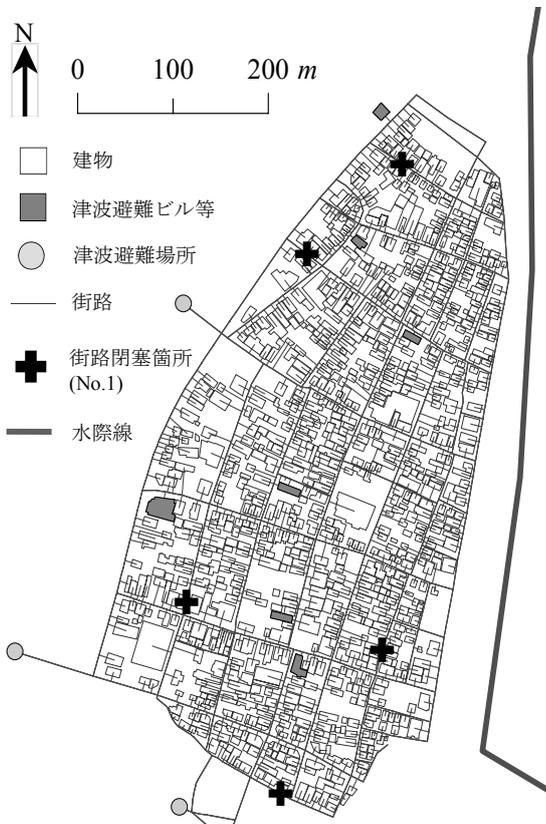
付録図-5.26 ケース(p_8_5-3)



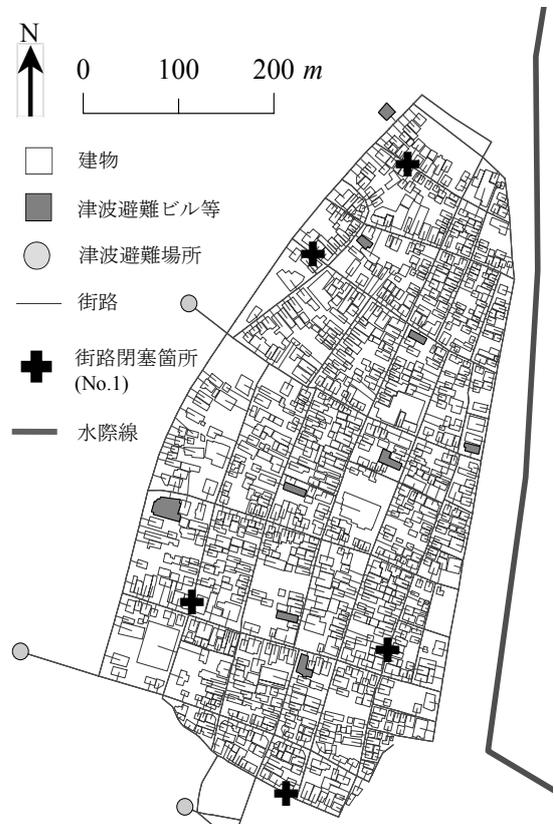
付録図-5.27 ケース(p_9_5-1)



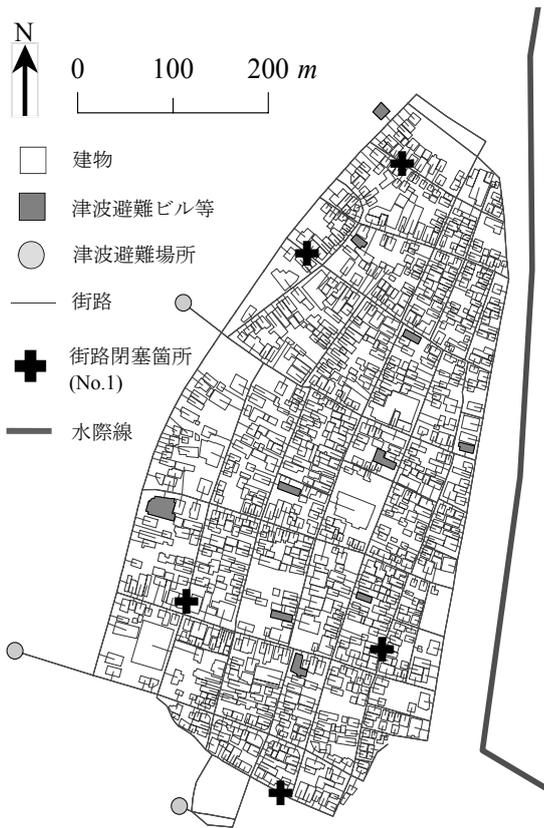
付録図-5.29 ケース(p_11_5-1)



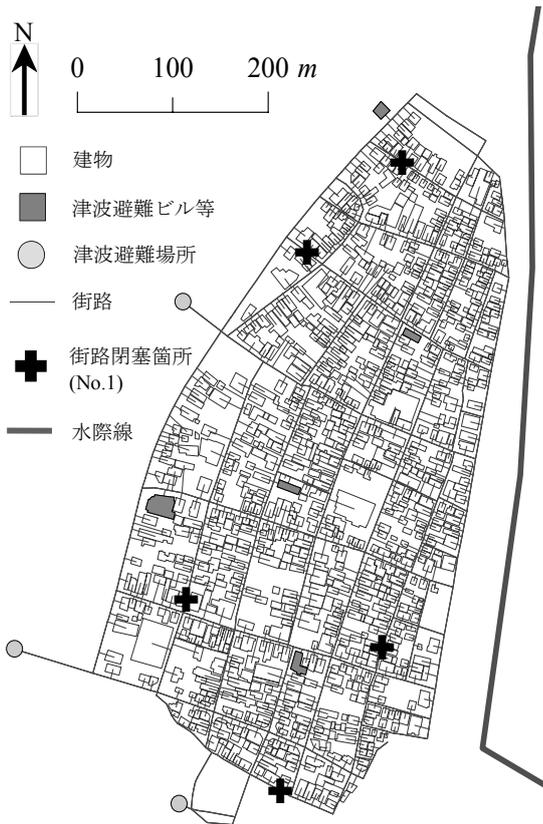
付録図-5.28 ケース(p_10_5-1)



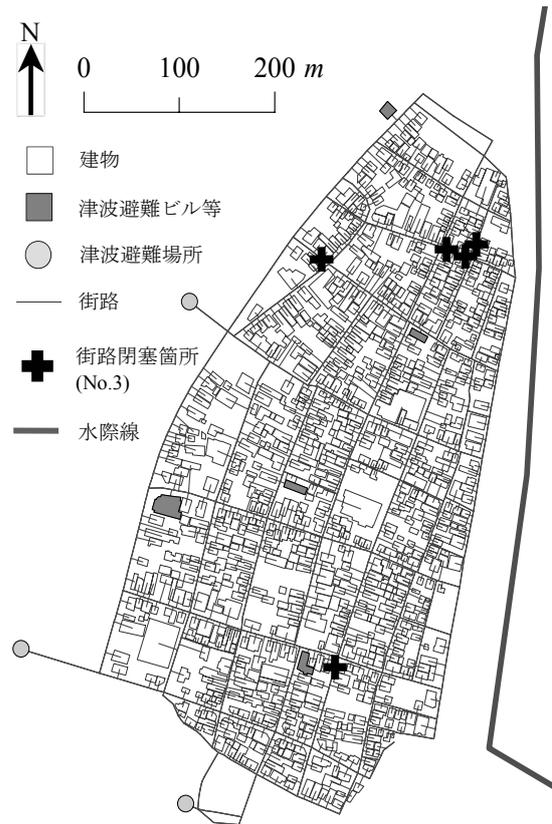
付録図-5.30 ケース(p_12_5-1)



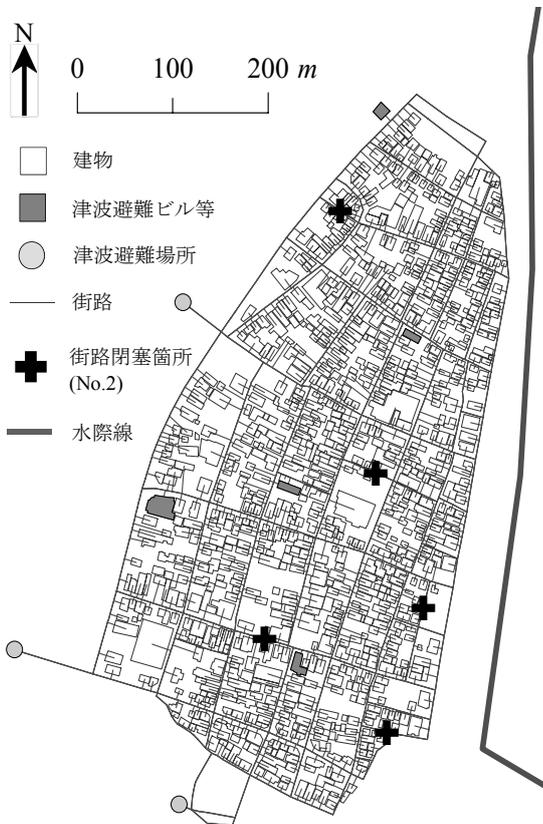
付録図-5.31 ケース(p_13_5-1)



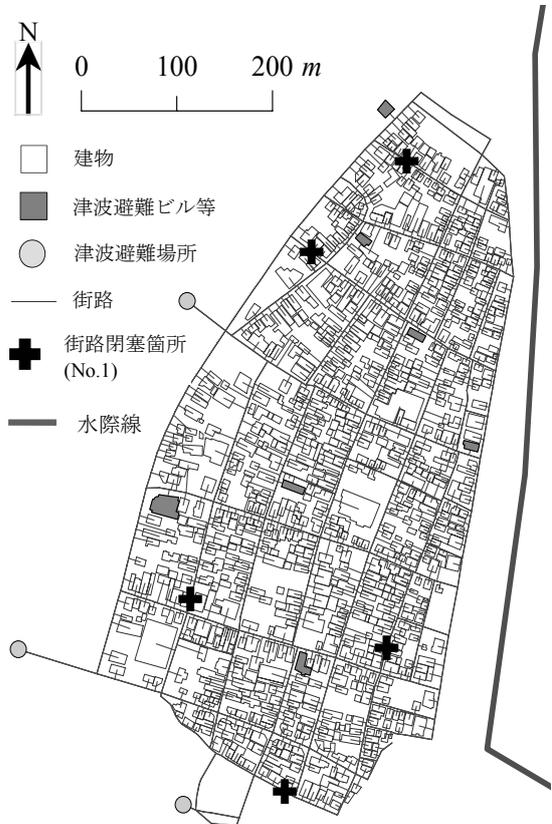
付録図-5.32 ケース(s_8_5-1)



付録図-5.34 ケース(s_8_5-3)

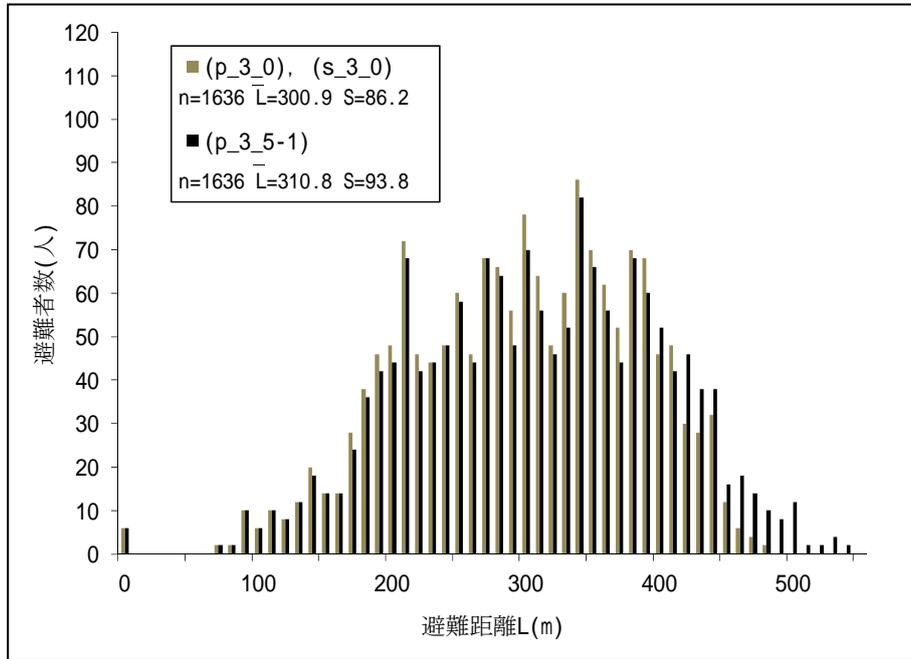


付録図-5.33 ケース(s_8_5-2)

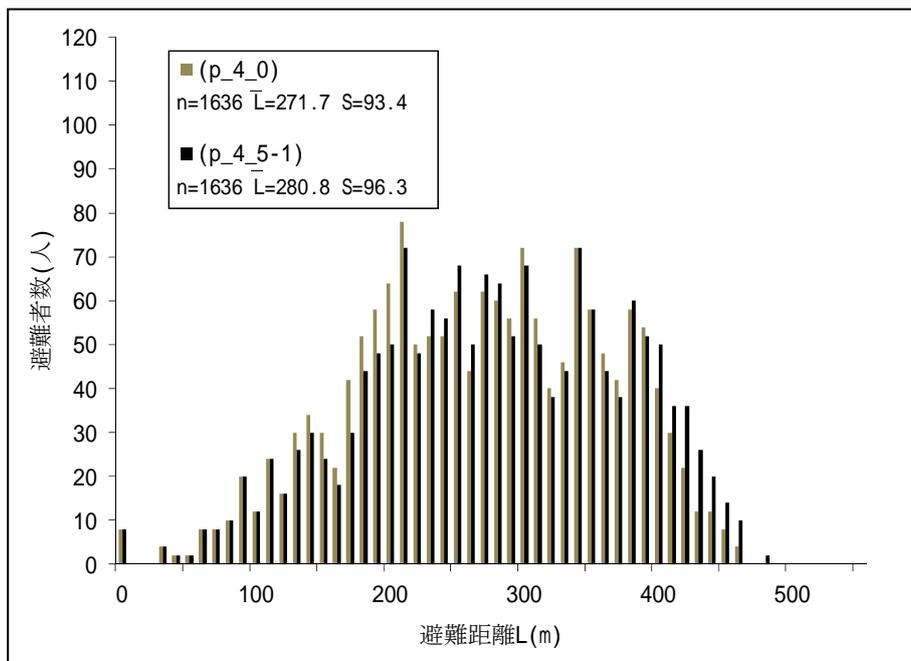


付録図-5.35 ケース(s_10_5-1)

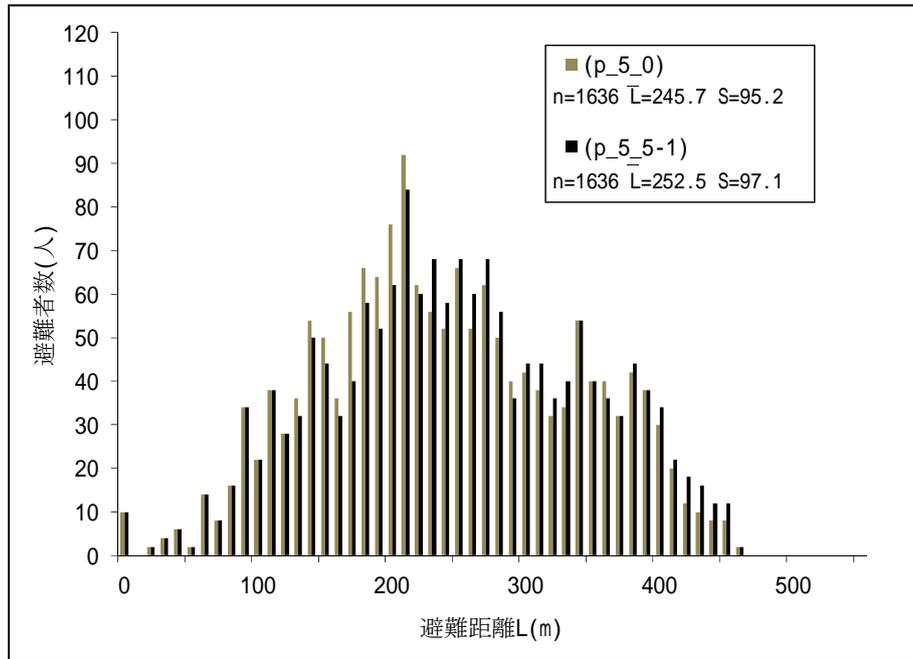
付録-6 各ケースの避難距離と避難者数の度数分布



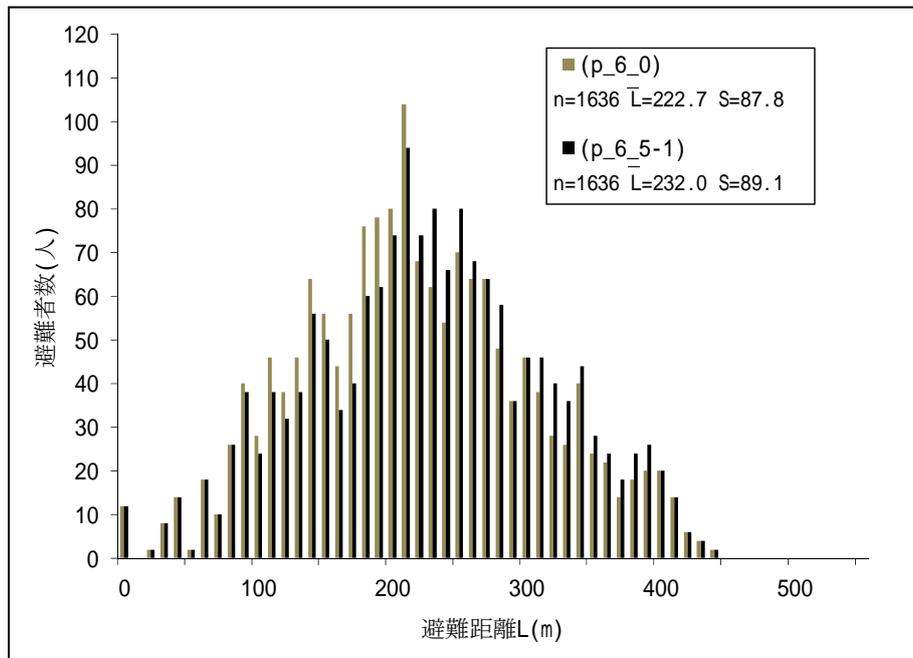
付録図-6.1 ケース(p_3_0), (s_3_0)及び(p_3_5-1)



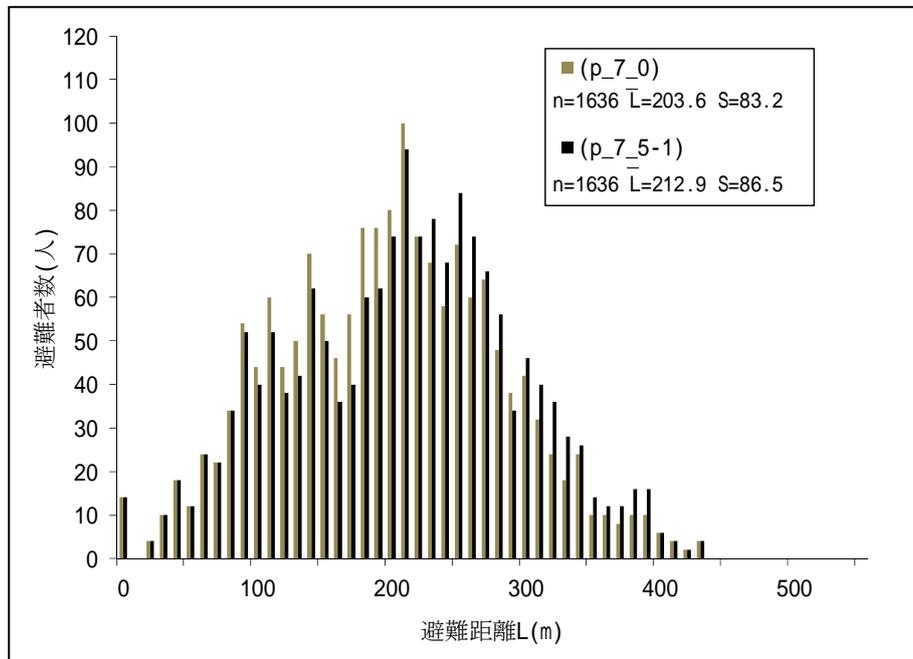
付録図-6.2 ケース(p_4_0)及び(p_4_5-1)



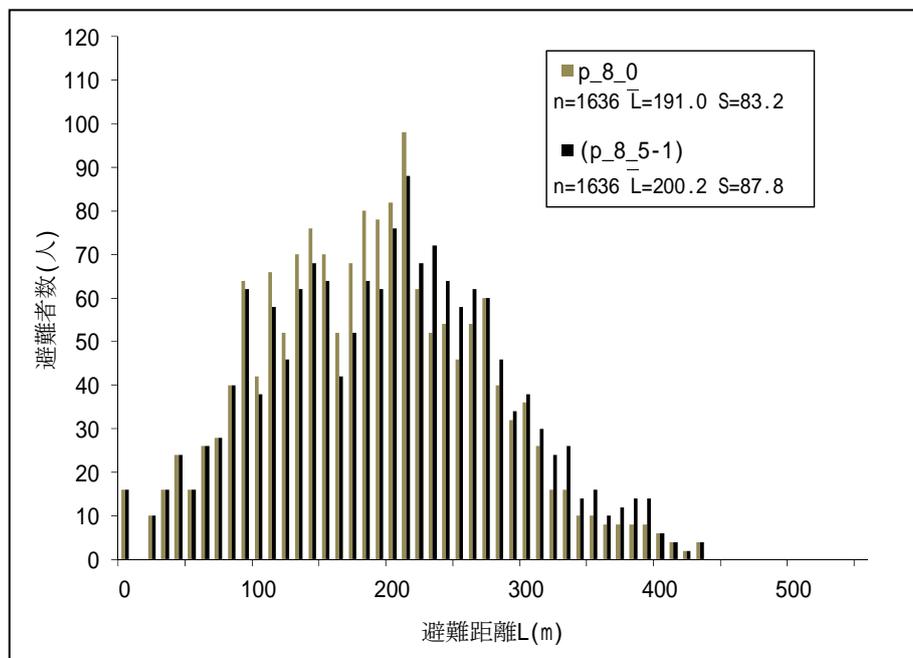
付録図-6.3 ケース(p_5_0)及び(p_5_5-1)



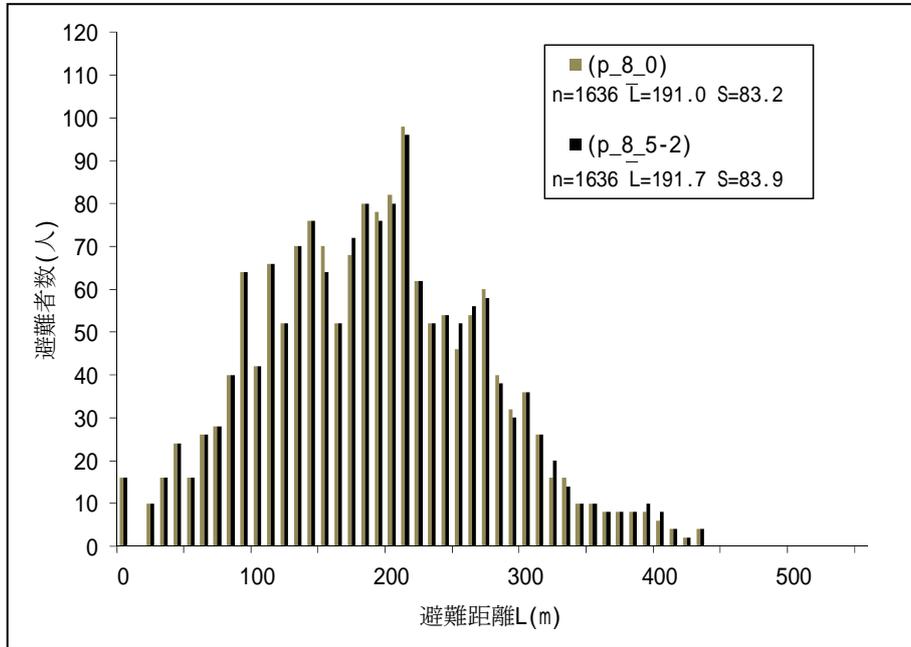
付録図-6.4 ケース(p_6_0)及び(p_6_5-1)



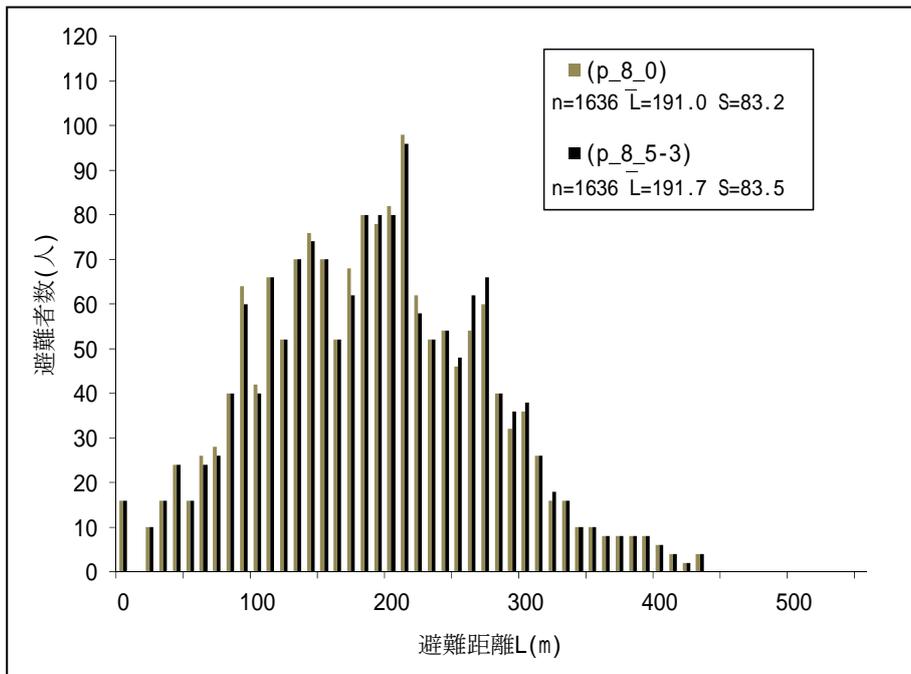
付録図-6.5 ケース(p_7_0)及び(p_7_5-1)



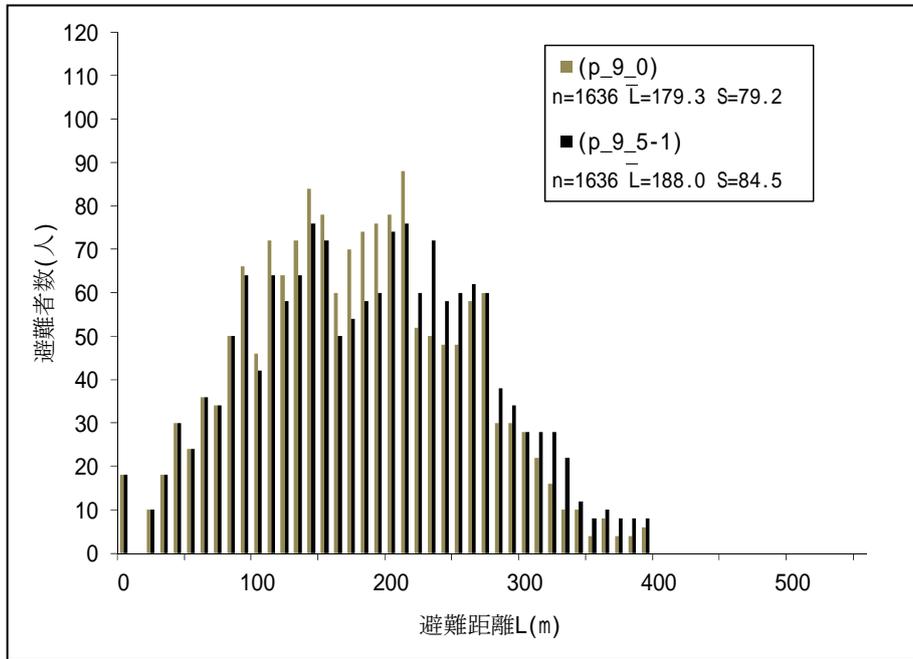
付録図-6.6 ケース(p_8_0)及び(p_8_5-1)



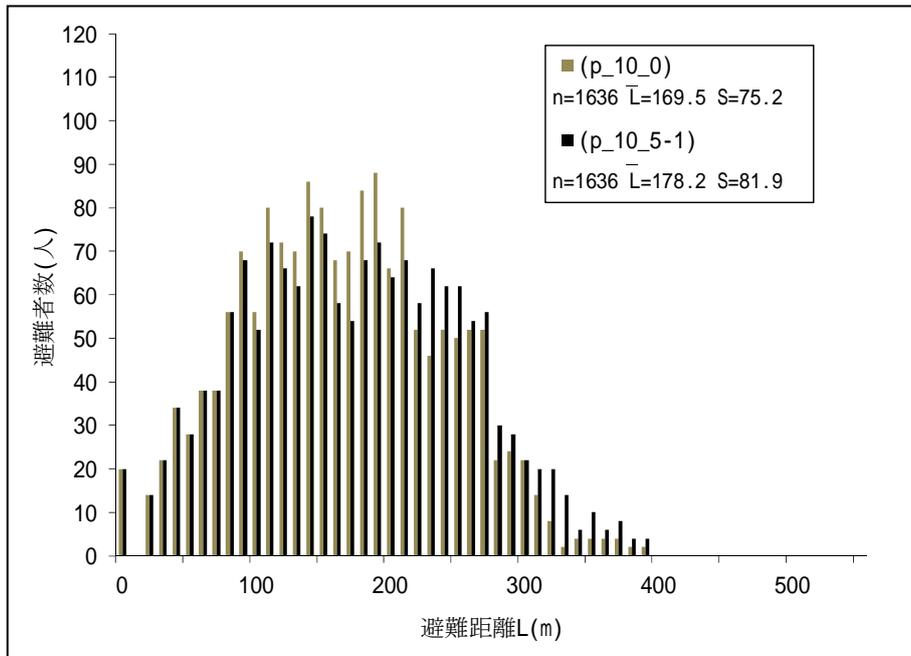
付録図-6.7 ケース(p_8_0)及び(p_8_5-2)



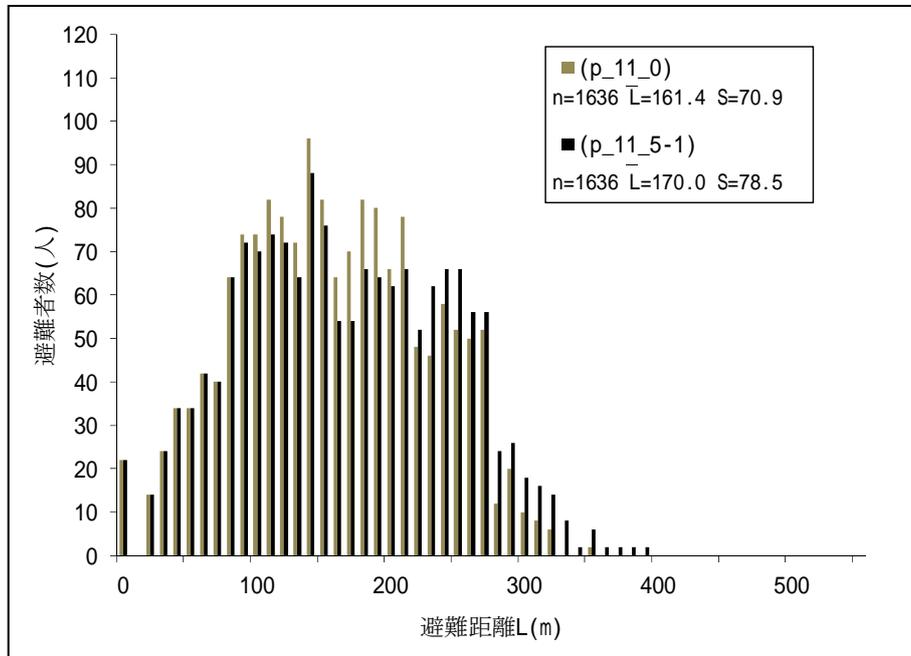
付録図-6.8 ケース(p_8_0)及び(p_8_5-3)



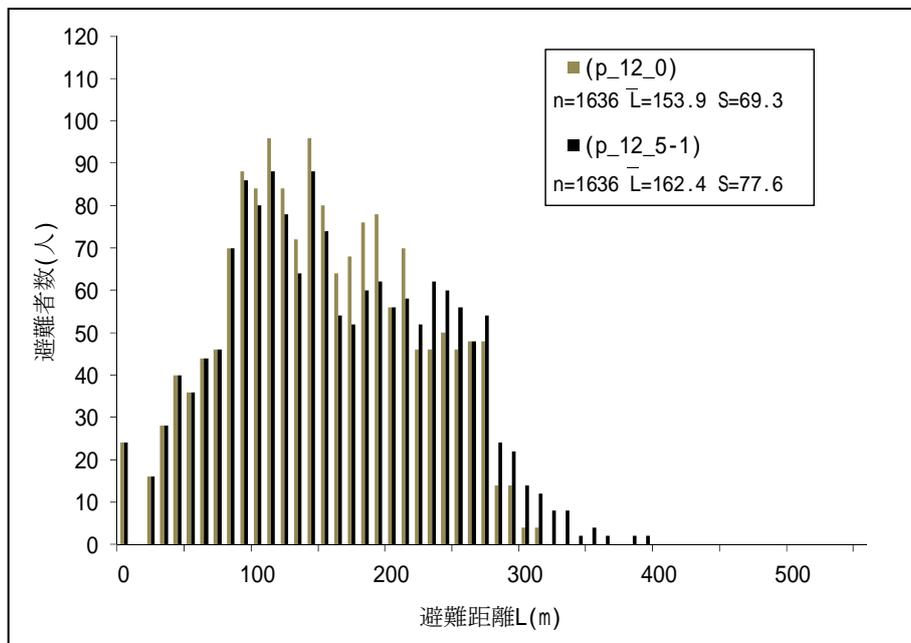
付録図-6.9 ケース(p_9_0)及び(p_9_5-1)



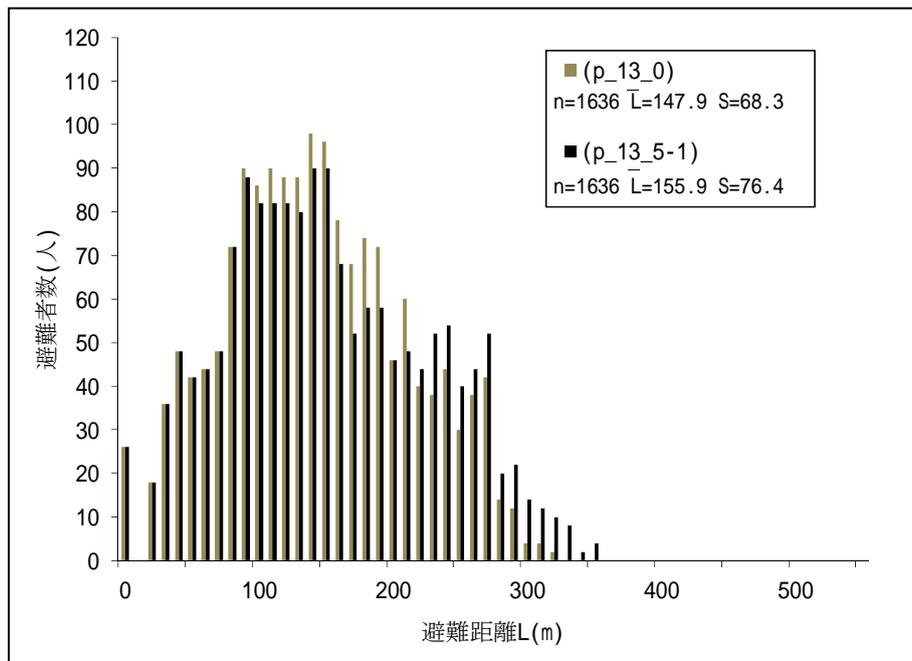
付録図-6.10 ケース(p_10_0)及び(p_10_5-1)



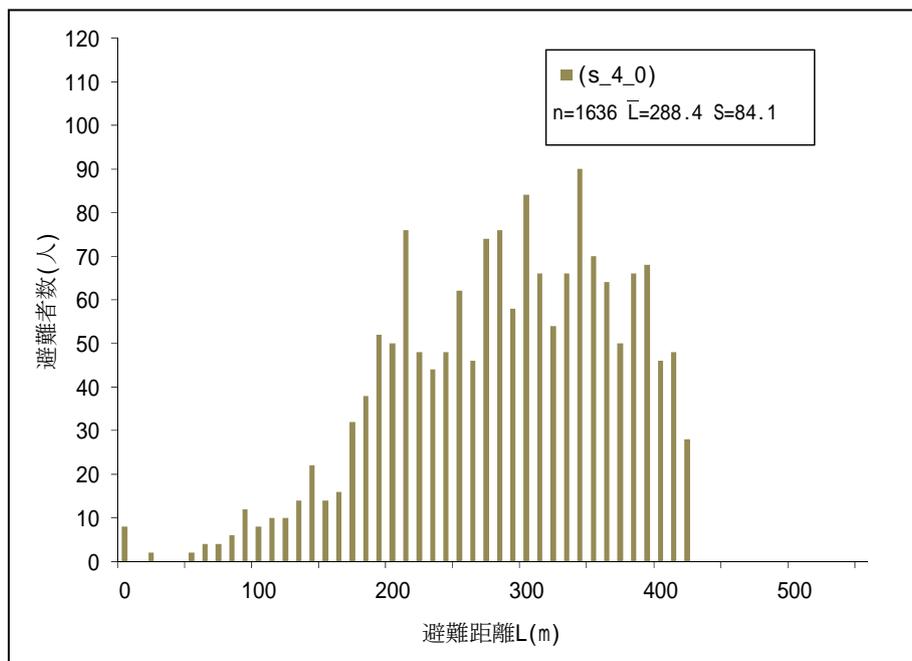
付録図-6.11 ケース (p_11_0) 及び (p_11_5-1)



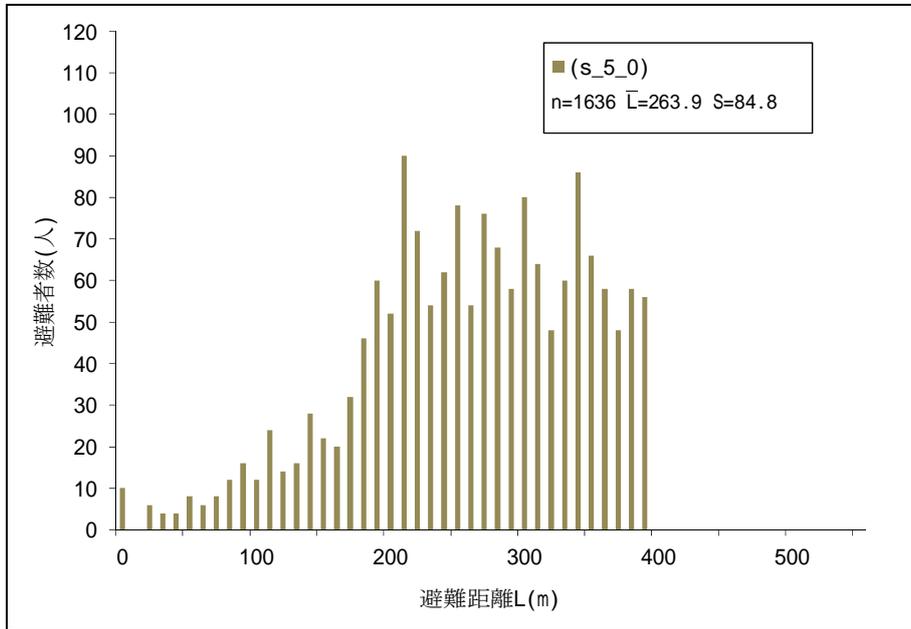
付録図-6.12 ケース (p_12_0) 及び (p_12_5-1)



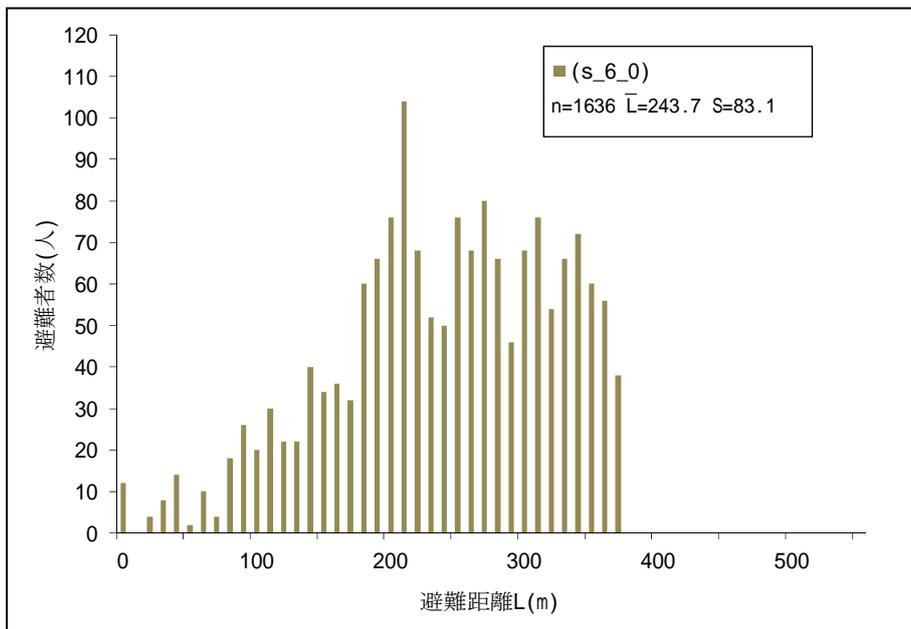
付録図-6.13 ケース(p_13_0)及び(p_13_5-1)



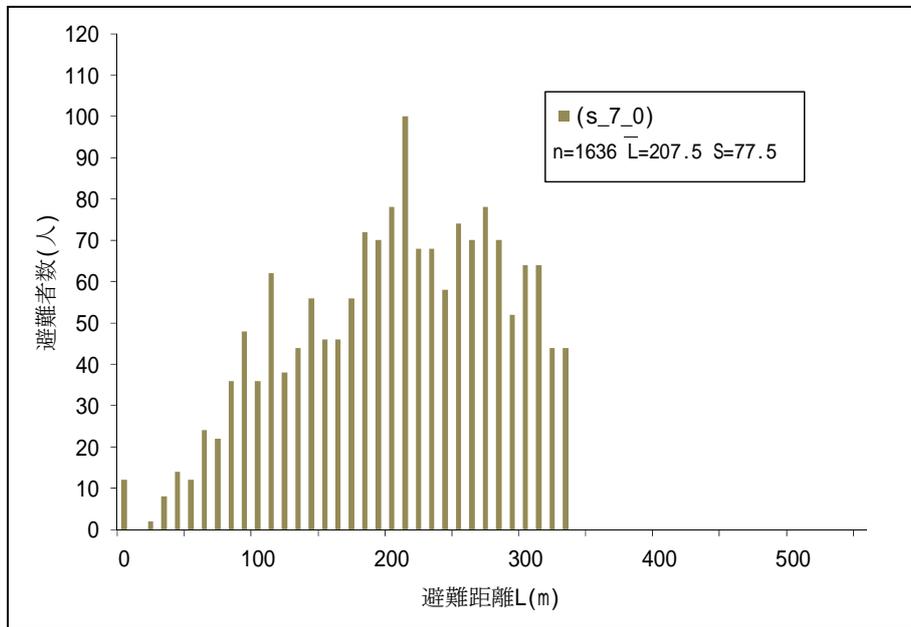
付録図-6.14 ケース(s_4_0)



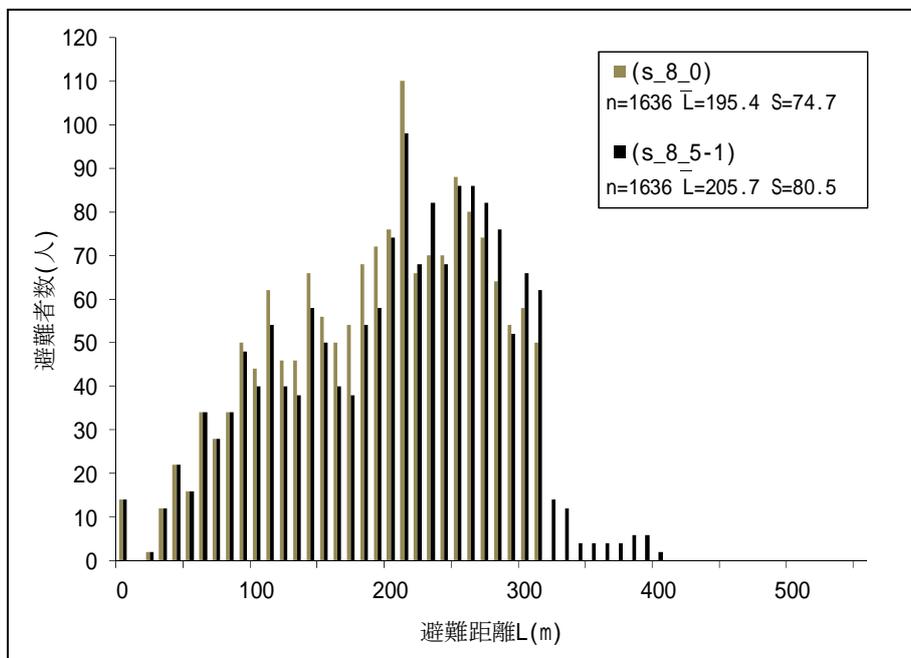
付録図-6.15 ケース(s_5_0)



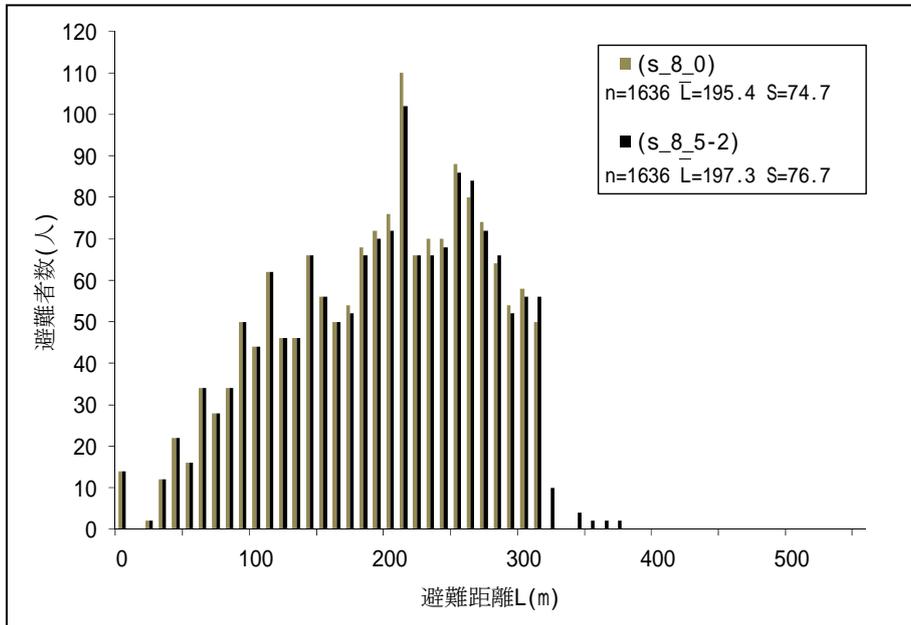
付録図-6.16 ケース(s_6_0)



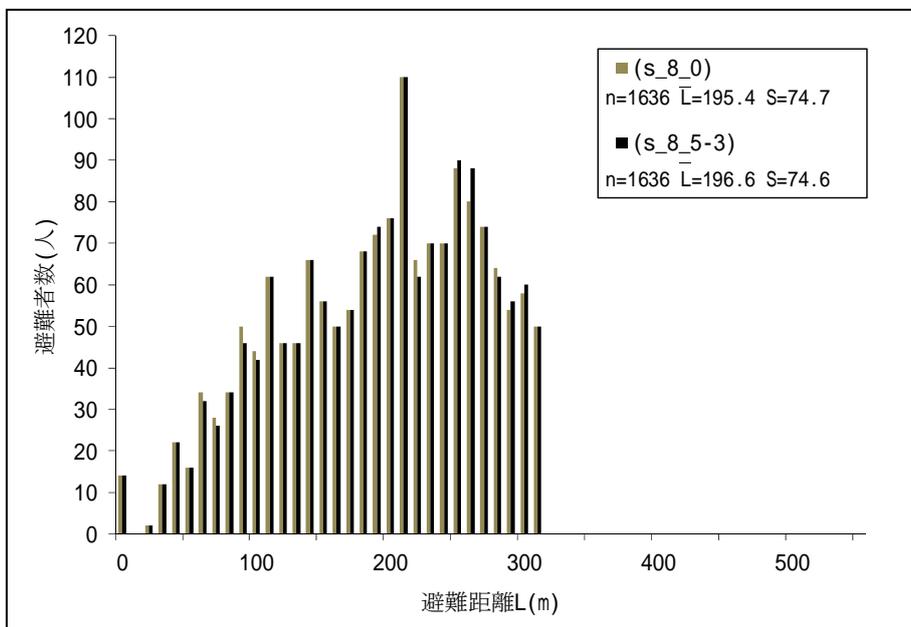
付録図-6.17 ケース(s_7_0)



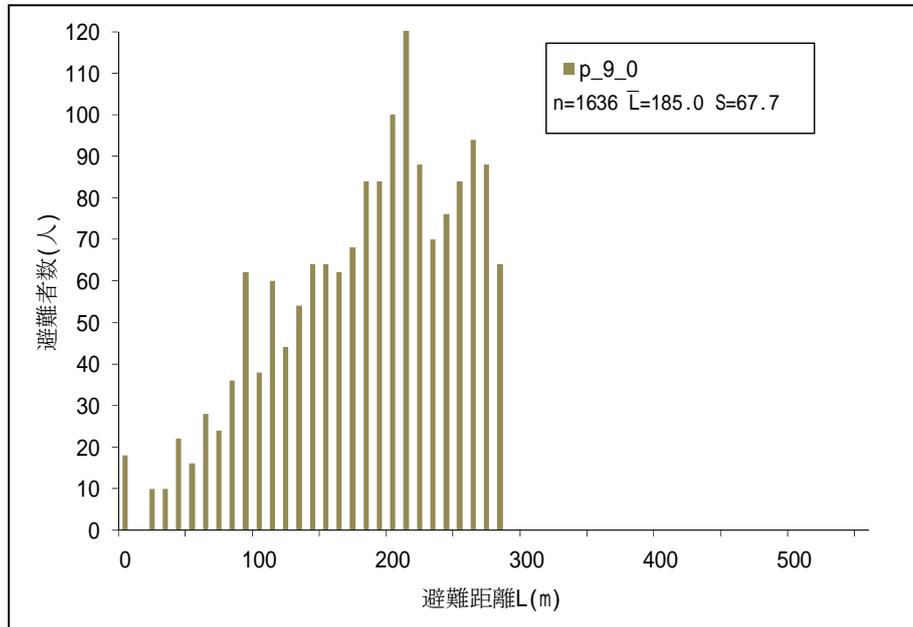
付録図-6.18 ケース(s_8_0)及び(s_8_5-1)



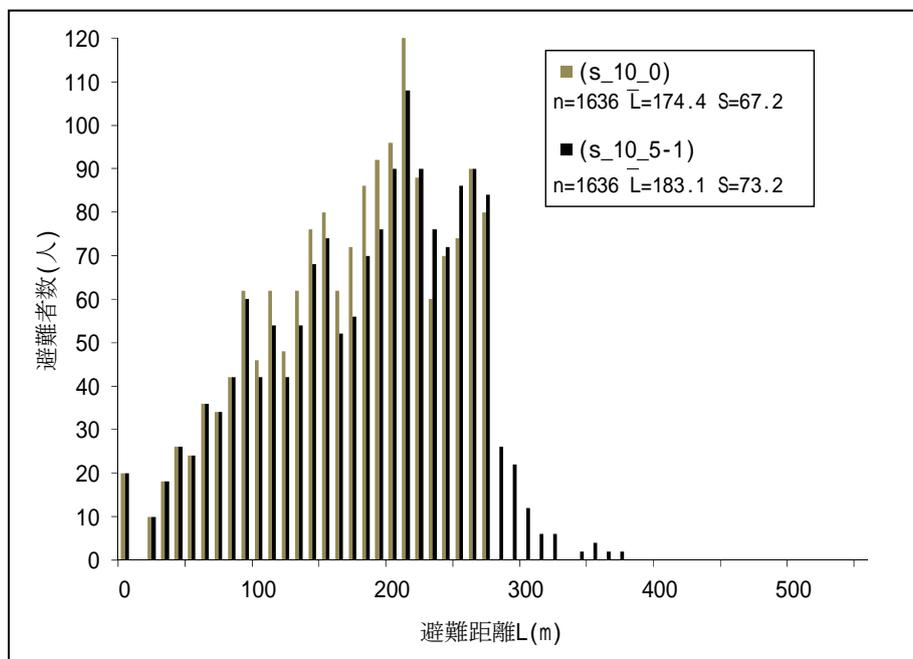
付録図-6.19 ケース(s_8_0)及び(s_8_5-2)



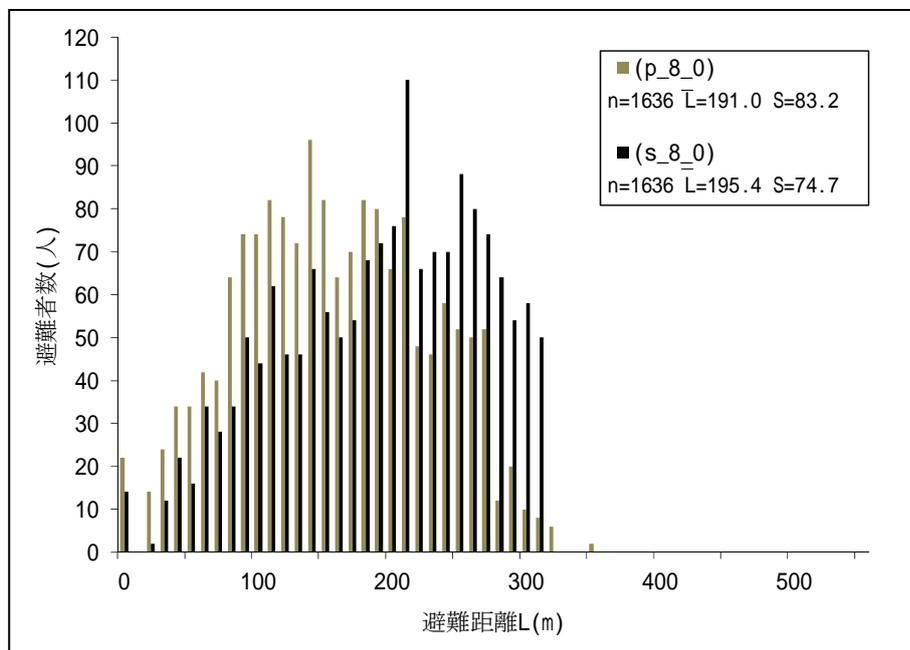
付録図-6.20 ケース(s_8_0)及び(s_8_5-3)



付録図-6.21 ケース(s_9_0)



付録図-6.22 ケース(s_10_0)及び(s_10_5-1)



付録図-6.23 ケース(p_8_0)及び(s_8_0)

付録-7 津波避難施設配置プログラムによる
計算所要時間

3.3(3)の津波避難施設配置プログラムによる、pモデル及びsモデルの津波避難施設数ごとの津波避難施設配置及び津波避難施設への避難者の割り当ての解が求まるまでの計算所要時間(秒)を付録表-7に示す。なお、PCのOSはWindows Vista™HOME Premium(64bit)、プロセッサはIntel(R)Core(TM)i7、CPU950 @3.07GHz、メモリ(RAM)9.00GBである。

付録表-7 津波避難施設配置モデル及び
津波避難施設数と計算所要時間(秒)の関係

津波避難施設数	津波避難施設配置モデル	pモデル	sモデル
3		15	11
4		155	12
5		302	14
6		302	15
7		302	12
8		301	130
9		302	12
10		302	13
11		301	
12		120	
13		41	

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 675 March 2012

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019