

地震による道路区間閉塞を考慮した避難経路の分析

- 須崎市を事例として -

An analysis of the refuge route considered the road section blockade by the earthquake

- A Case Study in Susaki - *

竹内光生**・近藤光男***

By Teruo TAKEUCHI **・Akio KONDO ***

1. はじめに

筆者等は地震津波を想定した避難場所の選定に関する研究^{1), 2)}を進めている。本研究では、道路網の各ノードから高台へ避難移動する状況を想定し、地震による道路区間閉塞を考慮した避難経路の分析をおこなった。

堀井³⁾は、自然災害時の迂回度を用いて道路網の代替性の評価をおこなっている。李等⁴⁾は、到達不能率と整備コストによる弾力性係数を用いて街路網構成の評価をおこなっている。

本研究では、道路網における避難経路の評価のために、到達率と到達時の総移動距離を用いた。総移動距離は、施設配置計画の指標として用いられる。

2. 閉塞率と到達率

街路が閉塞する危険性として、道路網のノード間リンクの閉塞率を用いた。

一般に、直列している閉塞率 p_i の道路リンク n 個の道路区間を通過する到達率 P_s は、いずれのリンクも通過できる各リンクの到達率の積であるとして、次のようになる。

$$P_s = (1 - p_i) \dots (2.1)$$

また、この道路区間の閉塞率 P_b は、次のようになる。

$$P_b = 1 - P_s = 1 - (1 - p_i) \dots (2.2)$$

また、並列している n 個の閉塞率 p_i の経路のいずれも閉塞している閉塞率 P_b は、各経路の閉塞率 p_i

*キーワード：地震、高台、避難経路、閉塞率、総移動距離

**正員，工修，高知工業高等専門学校

(高知県南国市物部乙200番1，

TEL088-864-5587，FAX088-864-5581)

***正員，工博，徳島大学大学院工学研究科

(徳島県徳島市南常三島町2-1，

TEL088-656-7339，FAX088-656-7341)

の積であるとして、次のようになる。

$$P_b = p_i \dots (2.3)$$

従って、この道路区間のいずれかの経路を通過出来る到達率 P_s は、次のようになる。

$$P_s = 1 - P_b = 1 - p_i \dots (2.4)$$

本研究では、到達率および移動距離を求めるため一様乱数を用いた。上記の式(2.1)~式(2.4)は、一様乱数による計算結果の検算に用いた。

3. 格子モデルによる避難経路の分析

図3.1は、縦60m×2，横100m×2の格子状道路網ネットワークの各ノードから、左上隅の高台に向かって避難する格子モデルである。ノード数9，リンク数12である。

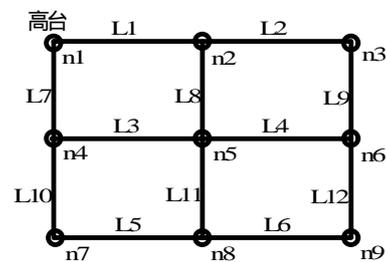


図3.1 格子モデル

(1) 最短経路探索

避難経路は、閉塞していない道路網リンクのうち最短経路とした。閉塞した場合は往復通行不可とし、閉塞していない場合は往復通行可とした。本研究では、最短経路探索にダイクストラ法を用いた。

(2) シミュレーション分析

各リンクの閉塞率は0.1から0.8まで0.1刻みとした。また、反復回数は各1万回とした。

(a) 到達確率

図3.2に、横軸を閉塞率、縦軸を高台への到達確率(%)として示す。この到達確率は、高台に到達できるノード数を、高台を除くノード総数で割った値である。

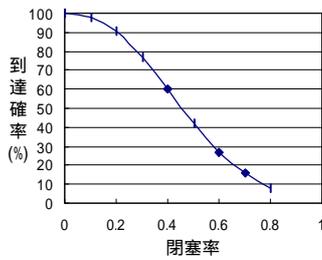


図3.2 到達確率

(b) 最大移動経路

図3.3に、1万回計算時の各ノードから格子モデルの左上隅の高台に向かう最大移動経路を示す。

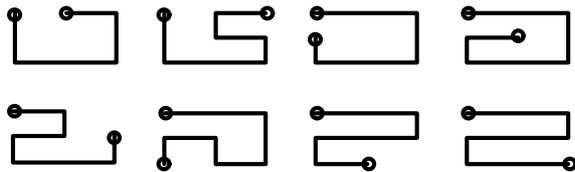


図3.3 最大移動経路

(c) 迂回度

図3.4に、各ノードの平時の最短距離に対応した、閉塞率0.4のときの到達時の迂回度(被災時/平時)を示す。高台に近いノードほど迂回度が大きくなる傾向が示されている。

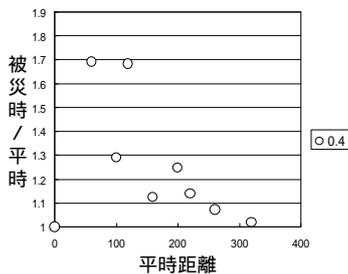


図3.4 迂回度(閉塞率0.4被災時/平時)

(d) 総移動距離

図3.5に、横軸を閉塞率、縦軸に被災時と平時の比として総移動距離を示す。総移動距離は、各ノードから高台までの最短移動距離の総計である。避難不可能な場合は移動距離の総和から除いている。

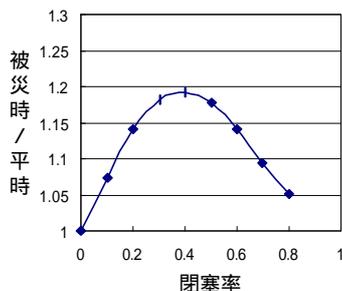


図3.5 総移動距離(被災時/平時)

総移動距離は、放物線の形状となっている。閉塞率0から0.4付近までの総移動距離の増加は、

迂回しながら避難する傾向を示している。

また、閉塞率0.4付近以後の総移動距離の減少は、閉塞率の増加によって、大きく迂回して避難することが困難となる状況を示している。

図3.6として、閉塞率0.8の場合の迂回度を示す。閉塞率0.4の場合の迂回度と比較して、高台近辺のノードの迂回度も大きく減少している。

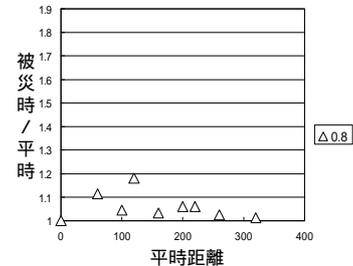


図3.6 迂回度(閉塞率0.8被災時/平時)

(3) 避難路の設定

図3.7に示すように、Case1~3の避難路の配置位置が異なる3通りを設定し、到達確率や総移動距離への効果を比較検討する。その比較を明確にするために避難路の閉塞率は0、長さはいずれも同じとする。異なる点は、Case1は高台に直接接続している。Case2とCase3は高台に直接接続していない。また、Case2はノードの中央位置であり、Case3は高台から最も離れた位置である。

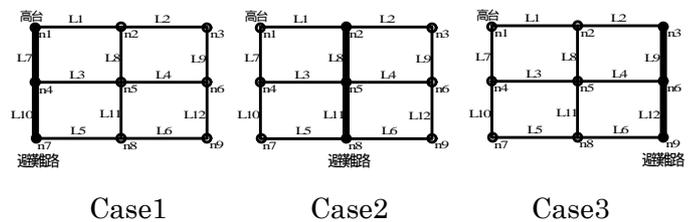


図3.7 避難路の設定

(a) 到達確率

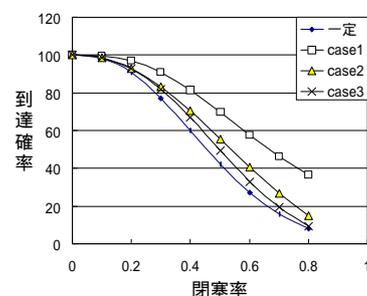


図3.8 到達率

図3.8に示すように、Case1~3のいずれも高台への到達確率は改善される。閉塞率0の避難路を経路として避難可能となる件数が増加する。

Case1, Case2, Case3の順に到達確率は高くなって

おり、避難路を高台近くに設定するほど、閉塞率0の避難路を利用できる件数が多くなる。

(b) 総移動距離

図3.9として、総移動距離の変化を示す。

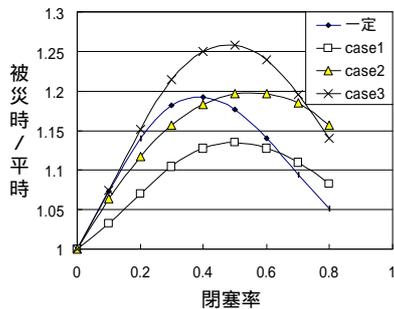


図3.9 総移動距離

迂回しても避難困難となる状況が現れる放物線のピーク点は、Case1~3のいずれの場合も、閉塞率0.4付近から閉塞率0.5付近にまで移動し、改善されている。

放物線の高さは、Case1は低くなり、逆にCase3は高くなり、Case2はその中間である。

Case1は、高台に向かって避難可能となる件数が増加し、総移動距離は減少している。Case2は、高台向きと迂回の両方向において避難可能となる件数が増加し、総移動距離の変化は少ない。Case3は高台と反対側の迂回において避難可能となる件数が増加し、総移動距離は増加している。

4. 須崎市を事例とする避難経路の分析

(1) 高台と道路網

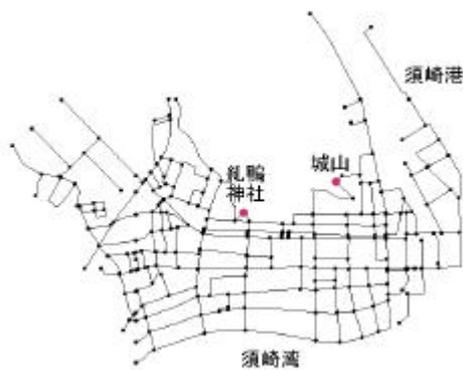


図4.1 高台と道路網

高台は、城山と糺鴨神社の2つとした。各道路ノードから到達可能な近い高台に移動するものとする。なお、閉塞率は、リンク長を考慮していない。

データは、数値地図2500(空間データ基盤)である。解析の対象とする道路網は、道路幅員3m以上、道路ノード数249、道路リンク数358である。各リンクは閉塞していない場合往復通行可とし

て、最大リンクID数716である。

(2) 避難路の設定

図4.2に示すように、閉塞率0の避難路の設定は6通りとした。まず、(a)は須崎市の主要道路である国道と県道を避難路とし、次いで、(b)はその主要道路から高台までの接続路(アクセス)を追加した。以下、(b)に追加する海岸に延びる直線の経路(海岸線1から海岸線4)を避難路として、(c)から(f)の4通りを設定した。

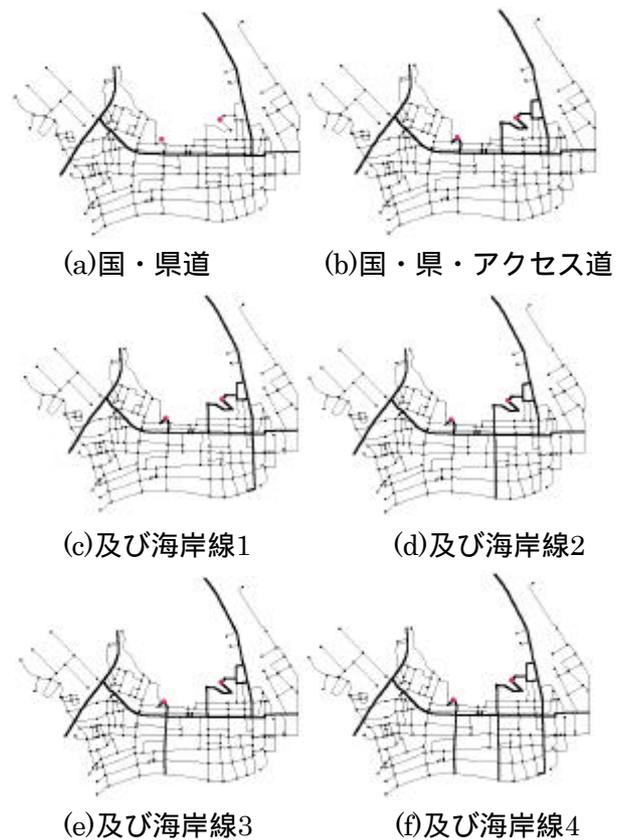


図4.2 避難路の設定

(3) 到達確率

図4.3に、一定(全てのリンクの閉塞率が一樣に増加する)の場合と、閉塞率0の避難路を6通りに設定した場合の合計7通りの到達確率を示す。

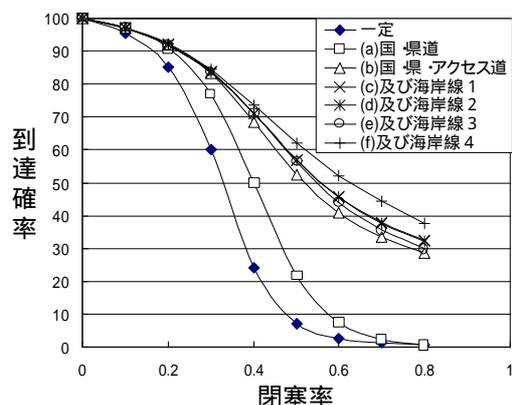


図4.3 到達確率

以下、7通りの区別は「一定」および図4.2の(a)から(f)の記号を用いる。

図4.3では、「一定」の場合と比較して、(a)の到達確率は大きく増加しており、主要道利活用の効果の大きいことを示している。しかし、閉塞率の高い領域では、到達確率は厳しい値を示している。(b)の場合、閉塞率が高い領域も含めて、到達確率は大きく改善されることを示している。(c)から(f)の到達確率は、(e) < (d) (c) < (f)である。

(1) 総移動距離

図4.4に、同様の7通りの総移動距離を示す。

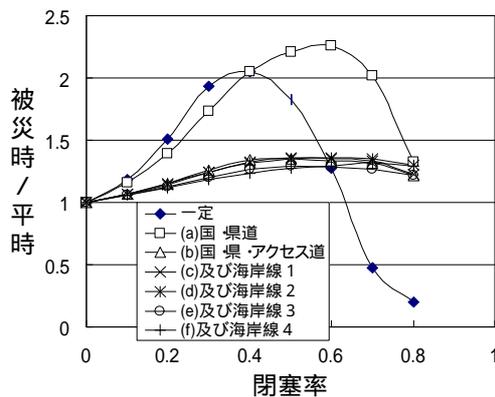


図4.4 総移動距離

図4.4では、「一定」の場合の総移動距離が、閉塞率0.6を越えると、平時のときよりも減少している。1万回の計算過程では到達件数0のノードが増加している。「一定」の場合と比較して、(b)場合の総移動距離の放物線は、図3.9のCase2と似た傾向を示し、高台向きと迂回の両方向において避難可能となる件数が増加していると言えよう。閉塞率が高くなると、やや図3.9のCase3の迂回傾向を示している。

(b)の場合、図3.9のCase1の傾向を示し、高台に向かって避難可能となる件数が増加していると言えよう。

(c)から(f)の場合、迂回しても避難困難となる総移動距離の放物線のピーク点对応する閉塞率の高さは、(e) < (c) < (d) < (f)である。特に、(f)は、(e)、(c)、(d)と比較して、図3.9のCase1の傾向を示している。

5. まとめ

本研究では、道路網の各ノードから高台へ避難移動する状況を想定し、地震による道路区間閉塞を考慮した避難経路の分析をおこなった。

本研究により得られた結果はつぎのようである。

シミュレーションにより、閉塞していないリンクのうち最短経路を探索し、被災時の迂回度（被災時/平時）が、高台に近い道路網ノードほど大きくなる傾向を示した。

施設配置計画の指標として用いられる総移動距離を求め、総移動距離は、道路リンクの閉塞率に対応して放物線になることを示した。

総移動距離の放物線のピークを境に、低い閉塞率の領域は、迂回することによりなんとか高台への避難を可能とする状況を示し、高い閉塞率の領域は、迂回することも困難となる状況であると言えよう。本研究でのモデルと須崎市の事例では、全ての道路リンクの閉塞率を一様とした場合、総移動距離の放物線のピークは、閉塞率0.4付近となる。

安全な（本研究では閉塞率0）避難路を、高台に直接接続する位置に設定した場合、総移動距離の放物線は比較的の平時に近づき（低くなり）、高台と切り離して設定した場合、総移動距離の放物線は比較的の平時から離れる（高くなる）と言えよう。

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

参考文献

- 1) 竹内光生, 近藤光男: 地震津波発生時の避難場所の選定に関する基礎的研究 - 須崎市を事例として -, 第24回土木計画学研究発表会講演集, 2001, 講演番号412
- 2) 竹内光生, 近藤光男: 地震津波発生時の避難場所の選定に関する研究 - 須崎市を事例として -, 土木計画学研究・論文集, No.19, 2002, (投稿中)
- 3) 堀井雅史: 迂回度を用いた自然災害時における道路網の代替機能に関する評価方法, 第31回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.769-774, 1996
- 4) 李燕, 塚口博司: 街路網の防災性指標および街路網構成に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.361-370, 1997