



Title	避難距離と避難障害による避難経路の信頼度低下を考慮した避難安全性の定量的評価に関する研究
Author(s)	鄭, 軍植
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23447
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

避難距離と避難障害による避難経路の信頼度低下を
考慮した避難安全性の定量的評価に関する研究

2008 年

大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻

鄭 軍 植

避難距離と避難障害による避難経路の信頼度低下を
考慮した避難安全性の定量的評価に関する研究

2008 年

大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻

鄭 軍 植

第1章 序論

1.1	研究の目的	3
1.2	研究の意義と社会的背景	5
1.3	避難安全性の側面からみた火災事例	6
1.3.1	避難施設の不備による人命損失の事例	7
1.3.2	避難施設および設備の誤った使用による人命損失の事例	8
1.4	避難安全性の定量的な評価に関する既往の研究	9
1.4.1	ネットワークモデルを用いる研究	9
1.4.2	信頼度概念を用いる研究	10
1.4.3	避難距離の概念を用いる研究	10
1.4.4	避難障害概念を用いる研究	11
1.5	研究の方法	12
1.6	論文の構成	13
1.7	用語の定義	14
■	注	17
■	参考文献および URL	17

第2章 避難安全性に対する建築計画的対応

2.1	本章の目的	21
2.2	空間的対応と設備的対応	21
2.2.1	避難安全性に対する建築施設・設備・器具	22
2.2.2	避難安全性と区画	26
2.3	避難計画と避難経路	29
2.3.1	避難経路の円骨化	31
2.3.2	避難経路の明快化	31
2.3.3	避難経路の並列化	31
2.3.4	避難経路の分割化	32
2.4	防災計画書と建築防災計画評定委員会	32
2.5	まとめ	34
■	注	35
■	参考文献および URL	36

第3章 避難安全性の定量化と信頼度

3.1	本章の目的	39
3.2	信頼度の定義	39
3.3	辺の信頼度とネットワーク信頼度	39
3.3.1	辺の信頼度とネットワーク信頼度の定義	40
3.3.2	辺の信頼度の変化	40
3.3.3	ネットワーク信頼度の変化	42
3.4	ネットワーク信頼度の計算概念	42
3.4.1	建設省の住宅防火安全性能評価法の避難安全性能の評価方法	42
3.4.2	確率の加法整理とネットワーク信頼度	44
3.5	ネットワーク信頼度の計算プログラム	46
3.5.1	信頼度計算プログラムの概要	46
3.5.2	「Keiro_v6」プログラムを用いたネットワーク信頼度の計算方法	47
3.6	まとめ	52
■	注	52
■	参考文献	52

第4章 避難経路の信頼度の距離減衰を考慮した避難経路の形態と 避難施設の配置の検討

4.1	本章の背景と目的	55
4.1.1	既往の研究	55
4.1.2	研究の方法	55
4.2	信頼度の定義とネットワーク信頼度の計算方法	56
4.2.1	信頼度の定義	56
4.2.2	建築空間のネットワークモデル化	56
4.2.3	ネットワーク信頼度の計算方法と種類	57
4.3	避難距離と辺の信頼度の関係	58
4.3.1	避難距離によって低下する辺の信頼度関数の提案と検討	58
4.3.2	辺の信頼度低下関数に関する理論的な考察	60
4.4	ネットワークモデルを用いた避難安全性の検討	62
4.4.1	規模によるネットワーク信頼度への影響の比較	62

4.4.2	避難経路の形態と避難施設の配置に対する検討	63
4.5	まとめ	71
■	注	72
■	参考文献	75
第5章 避難障害による避難経路の信頼度の低下を考慮した 避難安全性の定量的な評価について		
5.1	本章の背景と目的	79
5.2	研究の方法	79
5.3	避難障害と辺の信頼度との関係	80
5.3.1	避難障害と通過信頼度	80
5.3.2	距離減衰と避難障害による辺の信頼度の変化	80
5.4	扉による避難障害があるネットワークモデルの信頼度	82
5.4.1	計算の方法と避難経路の選択	82
5.4.2	扉による避難障害を考慮するネットワーク信頼度計算	83
5.4.3	経路選択法の違いによるネットワーク信頼度の差の検討	84
5.5	まとめ	87
■	注	88
■	参考文献	91
第6章 ネットワーク信頼度計算を用いた実在建物の避難安全性検討		
6.1	本章の構成と目的	95
6.2	実際平面のネットワークモデル化	95
6.2.1	実在平面のネットワークモデル化の条件	95
6.2.2	実在平面のネットワークモデルの構成	96
6.2.3	実在平面のネットワークモデル化手順	96
6.2.4	辺の有向化と簡略化	97
6.3	病院の病棟部のネットワークモデルを対象にした信頼度計算	98
6.3.1	対象となる病院の概要	98
6.3.2	建築空間のネットワークモデル化	100
6.3.3	計算の種類	102

6.3.4	結果の考察	102
6.3.5	病院の病棟部のネットワーク信頼度計算のまとめ	108
6.4	超高層集合住宅のネットワークモデルを対象にした信頼度計算	109
6.4.1	対象となる超高層集合住宅の概要	110
6.4.2	建築空間のネットワークモデル化	112
6.4.3	計算の種類	112
6.4.4	結果の考察	115
6.4.5	超高層集合住宅のネットワーク信頼度計算のまとめ	121
6.5	ホテルのネットワークモデルを対象にした信頼度計算	122
6.5.1	対象となるホテルの概要	122
6.5.2	建築空間のネットワークモデル化	125
6.5.3	計算の種類	125
6.5.4	結果の考察	128
6.5.5	ホテルのネットワーク信頼度計算のまとめ	137
6.6	まとめ	137
■	注	138
■	参考文献	138
 第7章 結論		
7.1	各章のまとめ	141
7.2	今後の課題と展開	143
■	研究の業績と謝辞	147
■	付録	153

第 1 章 序論

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

第 1 章 序論

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

1.1 研究の目的

科学技術の発展と都市の過密化により、建物の大型化・複合化・高層化・複雑化がますます進行している。それは、一面においては、人間生活をより便利で豊かにしたとはいえ、一方、火災や地震などの災害に対しては脆弱になるという問題点があるため、建築基準法や消防法で規定された安全基準以上の安全対策が望ましい。例えば、避難安全性に有効な対策としては、水平避難区画や避難バルコニーの設置などがあるが、これらのような建築基準法や消防法などによって規定されていない、あるいは防災計画手法として一般化していない対策の効果を定量的に評価する方法はまだ確立されておらず、設計者の経験と勘に頼っている面があるのが実状である。

住宅に対しては、国(旧・建設省、現・国土交通省)と民間が緊密な協力の基で計画的、組織的に研究を進行しており、その一環として「住宅性能総合評価システムの開発」というプロジェクト研究が1973年から77年まで5年間実施され、「住宅防火安全性能評価法」が提案された¹⁾。しかし、この評価手法で用いるネットワークモデルは、ネットワークの辺上に新たな頂点を加えれば、全体のネットワークの形態や避難距離および規模に変化がなくても評価値が変わるという問題がある。避難経路上の辺の枝が少ない、または避難距離が相対的に短い小規模の住宅を評価する場合は、この問題点は無視できるが、避難経路上の辺の枝が多くなる大規模かつ複雑な建築平面をネットワークモデル化する場合は、頂点の付加により評価値が低下する影響が無視できないほど大きくなるため、この評価方法を用いることは不適當である。

本研究の先行研究である吉村英祐の評価法²⁾は、評価指標として ①避難経路の明快性、②二方向避難の可能率、③避難距離 の三つを評価指標としているが、③を考慮することで、評価対象の規模が小さいほど安全性が高くなる評価手法となっている。一方で、この評価手法は、避難経路上の障害を考慮していないため、ネットワークが相似形であれば、避難距離が短いほど安全性が高いという結果が得られるが、避難距離は短い避難障害が大きい場合と、避難距離は長い避難障害が小さい場合の比較ができないという問題点がある。

また、避難安全性の評価や検証手法の一環として、コンピュータによる避難シミュレーションが活用されるようになったが、シミュレーションによる評価手法は、より現実的で正確な結果を求めるために、正確な扉幅、廊下幅、壁や扉の位置などの細部までデータ化し入力しなければならないため、基本計画がある段階まで具体化していないと使えず、また結果のフィードバックが難しい。しかし、シミュレーションを用いて避難安全性を評価

する前段階で、設計にフィードバックできる、信頼性の高い評価手法があれば、基本設計の段階で、まず大局的な避難安全性を確保したのちに、細部の設計に進むことができる。

本研究は、避難施設の配置、避難経路の形態、避難距離、避難障害が避難安全性に及ぼす影響を同時に考慮した、建物の避難安全性を合理的かつ客観的に評価する定量的評価手法を提案し、実在の建築平面に適用することで、建物の基本計画段階での適用性を検討することにより、安全な建築都市空間の実現が目的とする。

1.2 研究の意義と社会的背景

人間がつくるシステムを100%安全にすることは不可能であるが、システムの多重化や冗長性の付加により100%に近づけることはできる。避難安全性を高めることは人命の安全を確保するために重要である。

火災により人が命を失う事例は数えられないほど多い。建築計画時は火災に対して十分に考慮していたのに、使用上の利便性や効率を優先して避難経路上に物を放置したり、避難階段を倉庫がわりに使うことで、被害を拡大した事例も少なくない。したがって、災害に対して建物の安全を確保するためには、建物の所有者や管理者、設計者、施工者、利用者などそれぞれの立場からの努力が不可欠であるが、防災に対する配慮は、法規さえクリアすればいいという意識を持っている設計者や施主がいるともいわれる。このような状況においては、建築物の設計者が、安全に対する哲学や技術者としての倫理観を持つことがより重要となる。

建物の安全に関する法律（建築基準法、消防法など）は、人間がその経験に科学的知見を加えて作りあげたものであるが、災害全体に関する人類の経験と知見は氷山の一角にすぎず、既存の法規定が未経験の災害発生に対して効力を発揮することは保証できない。

建物の安全性向上のための対応は、「建築自体の空間的な対応」と「建築に付加される設備的な対応」に大きく分けられる。「空間的な対応」とは、災害要因に対抗したり、それを避けるために災害を封じ込める、排除する、回避することを可能にする空間計画のことであり、「空間的な対応」をサポートするのが設備的な対応と定義できる^{注1)}。現在の防災計画は排煙設備、防火戸、スプリンクラーなどの防災設備に頼る傾向が年々強まっているが、建物自体の計画的な対応による建物の避難安全性の確保が第一であり、防災設備に頼るのはあくまでも次善の策であるべきである。

1.3 避難安全性の側面からみた火災事例

火災により人間の大切な命を亡くす、財産を失うなどの事例は数えられないほど多い。東京消防行政研究会編の「火災の実態から見た危険性の分析と評価－特異火災事例112－」³⁾では、昭和7年及び昭和27年以降、日本国内で発生した建物火災のうち、次の事項に該当するものを用途別に分類し調査対象としている。

- ① 焼損面積1000平方メートル以上の火災
- ② 焼損面積500平方メートル以上1000平方メートル未満で死者の出た火災
- ③ 焼損面積500平方メートル未満で死者3名以上出た火災
- ④ 火災の延焼経路が特異な火災
- ⑤ 火災原因の特異な火災
- ⑥ その他火災予防対策上参考となる火災

また、岡田光正は日本国内外の重要な火災の89事例を選定して、事例の分析と考察を行った⁴⁾。

このような火災事例に対する分析資料は、これからの人命の安全に関する問題点の解明に重要な資料として活用されると考えられる。

しかし、数多い事例からの教訓を基に安全対策に関する研究が蓄積されているにもかかわらず、総務省の統計資料によると火災などの災害による人命の被害は増加する傾向にある⁵⁾。

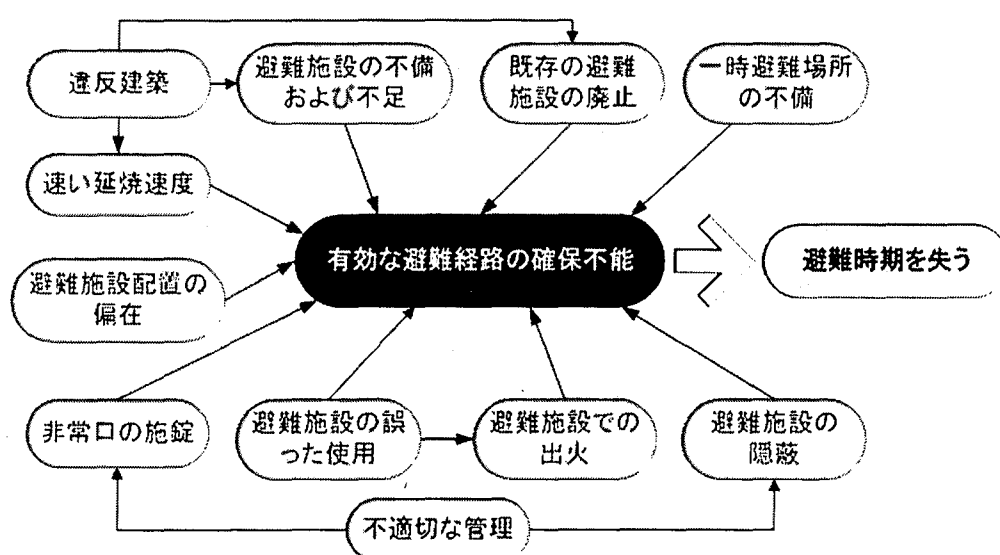


図1-1 火災事例の分析による人命損失の原因

人命の損失があった火災事例の原因を文献から調査・分析すると、①違反建築による速い延焼、②避難施設の不備および不足、③一時避難場所の不備、④既存の避難施設の廃止、⑤避難施設配置の偏在、⑥非常口の施錠、⑦避難施設の誤った使用による避難施設からの出火、⑧避難施設の隠蔽 等が挙げられる。これらは、大きく分けて①計画・管理面での不備状況、②施設・設備などの活用面での不適事項、③施設・設備などの未設置・欠陥の三つの原因に大別される（図1-1）。人命の損失が生じた火災事例は、これら三つの原因が複合的に作用したものが多い。

1.3.1 避難施設の不備による人命損失の事例

ここでいう避難施設の不備というのは、避難安全の最低条件である二方向以上の避難経路が確保されなかったか、確保されてもなんらかの理由で計画された避難経路での避難が不可能になった場合を意味する。

代表的な事例としては、韓国の大然閣ホテルの火災がある(図1-2)。1971年12月25日午前10時頃、韓国のソウルに位置している21階の超高層ホテルである大然閣で発生した火災は163人の死者を出した。死者の内訳は、121名が内部に閉じこめられて死亡、38名が窓から飛び降りて死亡、2名がヘリコプターから墜落、2名が病院で死亡したものである。結局、助かったのは、シーツをつないでロープにして脱出した人たちと、低層部から飛び降りたか、消防隊のハシゴ車などにより救出された人々、ヘリコプターで救出された6名であった。

2階のホテルロビーのコーヒーショップでLPGボンベの爆発が原因であるこの火災は、建物の低層部が出火点であるため、建物の上層部の宿泊客は安全な避難経路の確保が不可能であった。もし、避難に有効なバルコニーが設置され一時的な避難場所が確保されていたら、またバルコニーからの垂直避難経路が確保されていたら、このような大きい惨事は防ぐことができた可能性がある。



左. ホテルの窓からシートでロープをつくって脱出する人々
(図の出典：文献3、p. 79の図3. 1)

下. マットレスにつかまって飛び降りる人
(図の出典：www.cafe.naver.com/kmbfire)



図1-2 大然閣火災の写真

1.3.2 避難施設および設備の誤った使用による人命損失の事例

避難経路上に物を放置したり、他の用途に転用して使う事例は少なくない。

2001年9月1日未明に起きた新宿・歌舞伎町ビル火災⁶⁾では、地下2階・地上4階建ての雑居ビルの3階から出火し、3階で16人、4階で28人の死者が出た。特に4階では、出火時に居合わせた全員が亡くなった。

被害を大きくしたのは、3階から4階の階段に、可燃物などが大量に置かれ延焼拡大の原因になって、一つしかいない避難経路が断たれたことと、3階及び4階の店舗と屋内階段とを防火区画するための防火戸が有効に閉鎖されなかったことが原因と考えられている。

1.4 避難安全性の定量的な評価に関する既往の研究

避難安全性の定量的な評価に関する研究に関する吉村英祐の論文²⁾では、大きく「避難シミュレーションを用いる研究」と「避難シミュレーションを用いない研究」とに分類している。しかし、避難シミュレーションを用いる研究の場合は、パソコン能力の飛躍的な発展に従いシミュレーションシステムのブラックボックス化をもたらしており、与えられた仮定条件により結果が大きく変わるという問題点や、モデルの精密な入力のためには膨大な入力データが必要になるため、フィードバックが難しいなどの避けられない問題点があることを指摘している。避難安全性の向上を目的とする「避難シミュレーション」は本研究と関連性が深いが、現在は研究段階から実用段階に移行しているため、関連する既往の研究の対象外にする。

避難シミュレーションに頼らず、比較的容易に評価を行える、実用的な評価方法を開発する研究は、「避難シミュレーションを用いない研究」として位置づけられる。このような研究の代表としては、グラフ理論を基礎としたネットワーク分析法に基づく研究が挙げられる。ネットワーク分析は、工学・理学・社会学など様々な分野において応用でき、建築関連分野においても住宅の平面構成や都市の街路網などの分析に、たびたび利用されてきた。特に、避難安全性の定量的な評価に使われる場合は、「空間のつながり」に関するトポロジカルなデータと「空間間の距離」を含む幾何学的データが併用される。本研究は、この二つのデータと経路上の避難障害を評価指標として扱い、各指標の定量的な表現に基づき、避難安全性を定量的に評価する研究として位置づけられる。

1.4.1 ネットワークモデルを用いる研究

建築平面を定量的に解析するためには、建築空間を数値データ化できる形にモデル化する必要がある。グラフ理論を基礎にした空間構成に関するネットワーク分析は、空間構成の性質を定量化する一つの手段であり、様々な空間に対して適用可能である。

建築平面をネットワークモデル化して扱った初期の研究としては、建築空間を頂点(ブロック)と辺(ブロックの連結)で示し、建築平面の数学的な解析を試みた太田利彦の研究⁷⁾、グラフ形態の分類のために隣接行列の固有値を用いることが実用上可能であることを示した吉田勝行の研究⁸⁾、この研究の延長上にある原 広司の研究⁹⁾があげられる。つづいて、ネットワーク化による平面の分類や分析を試みる寺田秀夫の研究¹⁰⁾や高木幹郎の研究¹¹⁾、¹²⁾、¹³⁾がある。特に高木は、計量地理学の指標を道路網のネットワークモデルに取り入れ分析を行っている。また、実在平面のネットワークモデル化の基本概念や手法を整理した上で、

平面の明決さ・二方向避難率・最大歩行距離という三つの評価指標を用いて避難安全性の定量的な評価を試みた吉村英祐の研究^{14)、15)、16)}と、この概念に基づき、信頼度概念を評価表として用いて実在病院平面の定量的な評価を試みた横田 郁らの研究¹⁷⁾は、本研究の先行研究として位置づけられる。

最近では、以下に示すようなネットワーク分析法に信頼度の概念を用いる研究、避難距離や避難障害の概念を用いる研究も行われている。

1.4.2 信頼度概念を用いる研究

本来、信頼度という概念は確率として表される値^{18)、19)}である。この信頼度概念を用いる研究は、災害時を含む非常時における道路網の連結性およびサービス水準に関する研究がある^{20)、21)、22)、23)}。若林の研究²⁴⁾は、これらの研究らを踏まえて、阪神・淡路大震災の交通システム問題を対象に、その問題点と広域道路網の連結信頼性を計算し、信頼性を向上する観点から重要な区間を確率重要度で評価する方法を示している。また、李 燕・塚口博司の研究²⁵⁾は、道路網の防災性能に関する評価指標として到達可能ノード率(ネットワークモデルのリンクの閉塞確率)を用いているが、これは、本研究の辺の信頼度(ネットワークモデルのリンクの通行可能率)と関連性が深い。

しかし、本研究の先行研究¹⁷⁾における信頼度とは、建設省の「住宅防火性能評価法」¹⁾の考え方を参考に、避難における安全性を表す相対的な序列を表す順序尺度の値として扱っている。本研究もこの概念に基づいている。

1.4.3 避難距離の概念を用いる研究

信頼度の確率的な指標の中で具体的な要素である距離概念を用いる研究では、吉村の研究^{14)、15)、16)}とそれに続く野竹宏彰・海老原 学・矢代嘉郎の研究^{26)、27)}がある。野竹らは、避難経路の明解性評価の指標として、建築平面内での迷う可能性を考慮した避難距離の分布の代表値として「避難距離期待値」という指標を提案し、建築平面の定量的な評価を試みた。野竹らは、平面図から確認できる物理的な距離を評価指標として用いているが、「時間距離」という物理的な距離よりは避難時間の方に多少近い概念である評価指標を用いる研究としては、加藤拓道・宮田紀元の研究²⁸⁾がある。加藤らは、空間相互のつながりにかかわる障害要素を時間距離によって定量化し、ネットワーク指標の整理検討を行った。この研究の時間距離という指標と障害と関係は、本研究の避難距離による避難可能率と関連性が深く、避難障害を評価指標の要素として扱う考え方は本研究と同じである。

避難距離を安全性評価の様々な要素の一つとして距離による安全性の変化を線形として

扱っている研究には、ネットワークに関する指数をまとめて地下街の分析を行った高木幹朗らの研究²⁹⁾、ニューラルネットワークモデルを用いてウエイトの自動修正を行うシステムを提案する青木義次らの研究³⁰⁾、避難危険度概念をネットワークに適用した岡田成幸らの研究³¹⁾がある。その他に、青木らは避難安全性の向上と経済性を同時に考慮する最適化の手法に対する基礎的な研究も行っている³²⁾。

1.4.4 避難障害概念を用いる研究

本研究で定量的な評価の指標としてあつかう避難障害概念と関連性が深い研究には、「時間距離」の算出のため建具など連結性の強さのコントロール要素を障害要素として考慮する方法を試みた加藤拓道・宮田紀元の研究²⁸⁾がある。また、避難者の避難能力などにより変わる避難障害の程度に関する研究としては、病院を対象に患者の運動能力や移動形態を建物の火災危険度の評価に考慮した志田弘二らの研究³³⁾がある。また、村井裕樹ら³⁴⁾は、安全な避難のための条件を「人的条件」、「建築条件」、「各種器具(避難器具等)条件」、「防災訓練での経験」にわけて調査及び考察を行っているが、このうち、「人的条件」と「建物条件」は、本研究でいう通過信頼度との関連が深い。なお、日本建築学会の建築設計資料集成³⁵⁾には、障害の程度による水平歩行速度と階段歩行速度が整理されている。

1.5 研究の方法

本研究の内容は、文献調査に基づく部分と、理論的な研究の二部で構成されている。

文献調査では、建物の安全性向上のための現行規定と、実際に計画され利用に供されている施設および防災設備、防災器具に対する文献に基づく考察を行い、避難安全性の向上と密接な関係が考えられる項目を分類し、考察を行う。

また、ネットワーク分析法を利用した避難安全性の評価手法に対する基本的な考察、本研究の避難安全性の評価手法への応用のための数学的な理論を整理し、それを応用した計算法を整理し、計算の正確性と迅速性をめざした計算プログラムを開発する。

理論的な研究としては、既存のネットワーク分析法を利用した避難安全性の評価指標であるネットワークの連結性に、避難距離と避難障害を付け加える理論的な考察を行い、避難障害の要因になる諸要素を調査・分類し、避難障害が避難安全性に及ぼす影響を提示し、ネットワークの連結性・避難距離・避難障害が避難安全性に及ぼす影響を単純ネットワークモデルを用いた計算を通して、本研究の避難安全性の評価手法の妥当性を検討する。

最後に、実在する病院の病棟部、超高層集合住宅、ホテルという公共性が高く、利用者及び居住者の中に子供や高齢者のような避難弱者が含まれている用途の建物をネットワークモデル化し、これらに対する避難安全性の評価を行い、本研究の避難安全性の評価手法の実効性と適用性を検討する。

1.6 論文の構成

本論文は7章で構成されている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は、序論であり、本研究の目的と背景、研究方法などを論じている。また、火災事例の調査と分析に基づく問題点の提示、既往の研究に対する調査を通して本研究を位置づけている。

第2章は、避難安全性向上のための現実的な対応を理解するため、建物の安全性向上のための建築計画及び設備的な面と制度的な面に関する調査及び分類を行っている。

第3章は、既往のネットワーク解釈法を利用した避難安全性の評価手法と、避難安全性の定量化の基準である信頼度の概念に対して論じている。また、ネットワーク信頼度計算の正確性と迅速性の向上のため、機械的な計算方法と計算プログラムの開発及び計算結果について述べている。

第4章は、既往のネットワーク分析法を利用した避難安全性の評価手法が持っている問題点を解決し、より現実的な評価手法のため、避難距離によって辺の信頼度が指数関数的に減衰すると仮定した場合の理論的な考察を通して、その一般性を検討している。また、単純ネットワークモデルを用いて、ネットワークモデルの規模・ネットワークモデルの形態・避難施設の位置によるネットワーク信頼度の変化の計算結果をもとに、本研究の評価手法の妥当性を検討するとともに、最適な避難経路の形態と避難施設の配置を検討している。

第5章は、避難経路上の避難障害が辺の信頼度に及ぼす影響に対して理論的な考察を行い、ネットワーク信頼度計算において避難距離と避難障害を同時に考慮する手法を提案する。また、既往のネットワーク信頼度計算で主に利用した経路選択法の問題点を解決するため、不必要な迂回路を排除する経路選択法に基づき、単純ネットワークモデルを用いて本研究の評価手法の計画への適用性を検討している。

第6章は、実在建物の平面のネットワークモデル化方法について説明し、現実する病院の病棟部、超高層集合住宅、ホテルのように、使用者及び居住者に多数の避難弱者が含まれている用途の建物をネットワークモデル化し、第4章と第5章の避難距離と避難障害を同時に考慮する評価手法を適用することで、実効性と適用性を検討している。

第7章は、各章のまとめを通して研究の成果を紹介した後、残された課題や今後の発展可能性について述べている。

1.7 用語の定義

本研究で用いる用語は、以下に規定する意味で用いる。

1.単純ネットワークモデル

各頂点と各辺が正方格子状にあり、各辺の長さが等しく、かつお互いに直交するネットワークモデル。

2.信頼度

本研究における「信頼度」の意味は、災害の発生時、避難開始場所から安全な避難場所までの避難経路が確保される確率と定義する。ただし、ここでの「信頼度」は、ただ安全らしさの程度を表すための相対的尺度であり、信頼度が2倍になったとしても2倍安全であるというわけではない。

3.辺の信頼度 $r(e_k)$

建築物の平面をネットワークモデル化する時、避難経路の辺（図 1-3 の e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 、 e_5 、 e_6 、 e_7 ）が持っている信頼度を辺の信頼度 $r(e_k)$ ($k=1, 2, 3, \dots, n$) とする。

4.ネットワーク信頼度 R_{ij}

任意の出発頂点から到着頂点までの避難経路上の全ての辺の信頼度を考慮して計算した合成信頼度をネットワーク信頼度 R_{ij} と定義する。

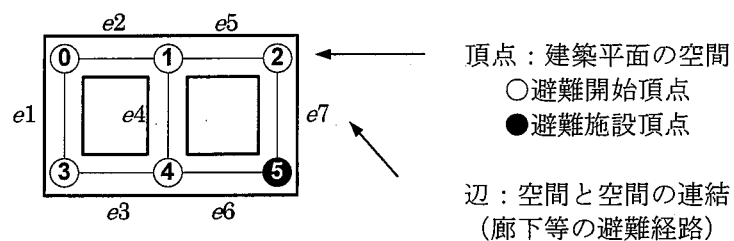


図1-3 建築空間のネットワークモデル化

5.避難施設

一般的には、屋外避難階段・特別避難階段とその附室、屋外避難階段、避難スロープを指すが、本研究では屋外への出口・避難上有効なバルコニー・屋外通路・屋上広場も難施設とする。なお、本研究のモデルでは、避難階段と避難上有効なバルコニーを避難施設として扱う。

6.避難弱者

火災などの災害発生時に、自ら判断し、一人で避難するのが困難である人。子供、老人、妊娠婦、自力避難が困難または不可能な患者など。

7.頂点

建築空間上に人の避難が予想される空間および避難施設、通路上の分岐点や行き止まり部分、頂点間の任意の部分に与えられた点。避難開始位置や避難完了位置は、頂点とする。

8.辺

頂点間の通路部分を表す線分。この辺それぞれに辺の信頼度を与えたり、あるいは通行不可にしたりすることで、全体としての避難経路の信頼度を計算する。辺は、避難経路上の避難方向の現実性を高めるために有向化する場合もある。

9.通行不可辺

火災などの災害の発生により、辺の一部または全部が通行不可能になり、避難経路としての機能を失った辺。

10.全平均

各々モデルのネットワーク信頼度の変化を示す本文の表で、各々避難開始頂点数 m 、通行不可辺数 n のとき、 $m \times n$ のネットワーク信頼度の平均値。

11.代表値

ネットワークモデルの全ての辺が通行可能である場合のネットワーク信頼度。

12.減少率

ある避難開始頂点についてみた時、各辺を通行不可にした時のネットワーク信頼度が代

表値からどれだけ減少したかを示す値であり、次式で与えられる。

$$\{(\text{代表値} - \text{最小値}) \div \text{代表値}\} \times 100 (\%)$$

13.避難障害

避難経路上の扉の通過、段差、廊下の有効幅、火災による熱や煙の拡散などを避難障害と定義する。本研究ではこの中で、扉による障害を避難障害として計算に用いる。

14.通過信頼度 (h)

避難条件(避難者の避難能力及び避難形態)別の扉の通過可能率を通過信頼度(h 、 $0 \leq h \leq 1$)と定義する。

15.パスマトリックス

各避難経路において通過する辺を列挙し、その経路で通過する辺には「1」、しない辺には「0」を入力してマトリックスで示したもの（第3章の3.5.2 (1) の内容参照）。

16.信頼度マトリックス

ネットワーク信頼度の計算過程で、各辺の信頼度をマトリックスで示したもの。

■ 注

注 1) 防災システム研究会：建築防災の基本計画、オーム社、1977.11 から引用

■ 参考文献およびURL

- 1) 日本建築学会編：安全計画Ⅱ 安全性の評価手法、彰国社、pp.28-35、昭和62年10月
- 2) 吉村英祐：建築空間における避難安全性の定量的評価に関する研究、大阪大学博士学位論文、1991.10
- 3) 東京消防行政研究会編：火災の実態から見た危険性の分析と評価、全国加除法令出版刊、1981.9.20
- 4) 岡田光正：火災安全学入門、学芸出版社、1985.11.15
- 5) 2007年8月29日現在の総務省のホームページ：<http://www.stat.go.jp/>、
- 6) 火災：日本火災学会誌 51巻 5号（進巻254号）、pp.5-11、2001.10
- 7) 太田利彦：動線計画の数学的解析(第1報)、日本建築学会論文報告集 第69号、pp.293-296、1961.10
- 8) 吉田勝行：長方形分割図をもつグラフの同型性判定に関する数量化IV類の適用性について、日本建築学会大会学術講演梗概集 計画系、pp.543-544、1975.10
- 9) 原 広司：計画学におけるグラフ理論適用に関する研究 その1 原理編、日本建築学会計画系論文報告集 第334号、pp.117-127、1983.12
- 10) 寺田秀夫：平面パターンの類似性を求める方法について、日本建築学会大会学術講演梗概集 E、pp.569-570、1987.10
- 11) 高木幹郎：グラフ・ネットワーク理論による建築平面の分析法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 E、pp.571-572、1987.10
- 12) 高木幹朗、谷口汎邦、金 鍾石：グラフ・ネットワーク指数の検討とその適用による地下街街路構成の分析—グラフ・ネットワーク理論と指数の適用による動線計画の分析法に関する研究 その1—、日本建築学会計画系論文報告集 第422号、pp.37-44、1991.4
- 13) 高木幹朗、谷口汎邦、天野克也：大規模集合住宅団地の道路構成に関する分析的研究、日本建築学会計画系論文集 第541号、pp.109-114、2001.3
- 14) 吉村英祐：迷路空間からの脱出しやすさの計量化について—建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その1—、日本建築学会計画系論文報告集 第375号、pp.49-56、1987.5
- 15) 吉村英祐：目標計画法による避難施設配置の有効性の定量的評価方法について—建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その2—、日本建築学会計画系論文報告集 第403号、pp.9-19、1989.9
- 16) 吉村英祐：層間分析による評価指標の重みの推定に基づく建築平面の避難安全性の定量的評価について—建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その3—、日本建築学会計画系論文報告集 第437号、pp.87-96、1992.7
- 17) 横田 郁、柏原士郎、吉村英祐、横田隆司、阪田弘一：「避難経路の信頼度」を用いた避難経路の冗長性の定量的評価について、日本建築学会近畿支部研究報告集、第40号・計画系、pp.213-216、2000.3
- 18) 三根 久、河合 一：信頼度・保全性の基礎数理、日科技連出版社、p.2、1984.2
- 19) 近藤次郎：システム工学、丸善、pp.157-196、1970.8
- 20) 小林正美：道路網・ネットワークシステムの信頼性解析法に関する研究、都

-
- 市計画別冊 No.15、pp.385-390、1980
- 21) 飯田俊郎・若林拓史：ODパターンと道路網パターンの相違による道路網信頼性のマクロ的考察、交通工学 Vol.23 No.3、pp.9-19、1988
 - 22) 枝村俊郎、森津秀夫、土井元治、中川勝一郎：交通ネットワークにおける対災害信頼性の最適配分、第3回土木計画学研究発表会公演集、pp.391-403、1980
 - 23) 朝倉朝夫、柏谷増男、為広哲也：災害時における交通処理能力の低下を考慮した道路網の信頼性評価モデル、土木計画研究・論文集 No.12、pp.475-484、1995
 - 24) 若林拓史：阪神・淡路大震災における道路網連結信頼性と確率重要度による重要区間の評価、土木計画学研究・論文集 No.13、pp.391-400、1996
 - 25) 李 燕、塚口博司：到達可能ノード率による街路網防災性評価について、阪神大震災に学ぶ一阪神・淡路大震災調査研究論文集、土木学会土木計画学研究委員会、pp.425-432、1997
 - 26) 野竹宏彰、海老原 学、矢代嘉郎：避難距離期待値を用いた避難経路の明解性の評価に関する研究、清水建設建久報告 第64号、pp.77-86、1996.10
 - 27) 野竹宏彰、海老原 学、矢代嘉郎：避難距離期待値に基づく避難経路の明解性の定量的評価-百貨店等の避難通路を対象にした検討結果に基づく考察-、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2、pp.91-92、1997.9
 - 28) 加藤拓道、宮田紀元：建築空間における移動の時間距離を用いた空間構成の分析手法-ネットワーク指標による空間の関係性評価 その1-、日本建築学会計画系論文集 第606号、pp.71-78、2006.8
 - 29) 高木幹朗、谷口汎邦、金 鍾石：グラフ・ネットワーク指0数の検討とその適用による地下街街路構成の分析、日本建築学会計画系論文報告集、第422号、pp. 37-44、1991.4
 - 30) 青木義次、藤井晴行、木下芳郎：防災計画についてのエキスパートジャッジのモデル化、日本建築学会計画系論文集、第546号、pp. 149-154、2001.8
 - 31) 岡田成幸、黒田誠宏：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第563号、pp. 83-89、2003.1
 - 32) 金子弘幸、青木義次、富松太基、上原茂男、森山修治、山田 茂：安全性と経済性のバランスを考慮したGAによる建築防災計画の最適化手法、日本建築学会計画系論文集 第594号、pp.47-52、2005.8
 - 33) 志田弘二、柳澤 忠：火災発生時に伴う人命危険の評価法、日本建築学会計画系論文報告集 第368号、1986.10、pp.69-77
 - 34) 村井裕樹、志田弘二、八藤後 猛、野村 歡：特別養護老人ホーム・介護老人保健施設における火災時の避難安全性に関する研究、日本建築学会計画系論文集 第551号、pp.181-187、2002.1
 - 35) 日本建築学会：建築設計資料集成[人間]、丸善株式会社、p.143、2003.1

第 2 章 避難安全性に対する建築計画的対応

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

2.1 本章の目的

避難安全性を定量的に評価するためには、避難安全性に影響を及ぼす要因の抽出とその考察が必要である。本章では、文献を中心に建築計画面および建築設備面からの避難施設と避難設備、避難器具などを調査・整理する。また、避難弱者の避難に有効性が高い区画の概念と種類に関する調査・分析を行い、避難安全性との関係について考察する。それらをふまえて、実際の建物の火災時の安全性を担保するための制度としての建築防災計画評定委員会と、委員会への提出資料としての防災計画書の概要を整理する。

2.2 空間的対応と設備的対応

防災システム研究会の建築防災基本計画¹⁾では、避難安全性を向上するための建築計画的な対応を空間的な対応と設備的な対応に分け、空間的な対応と設備的な対応の相関関係に対しては、設備的な対応が空間的な対応を補助する役割として言及している。

このような考え方は、研究をする立場により違うが、本研究は建築計画的な側面からの避難安全性を論じるため、この考え方に従う。

表2-1は、空間的な対応の対抗性・回避性・逃避性と設備的な対応の対抗性・逃避性に関する内容を要約整理したものである。

表2-1 安全性に対する対応として検討する項目（文献2参照）

空間的対応	炎や煙に対抗したり、それを避けるというように災害空間から場所的に離れようとする対応		
	対抗性	火災事象と対抗し抵抗する性能または抗力	耐火性能、防災性能、防火区画の細分化、火災防御対応性(消防隊活動性)、初期消火対応力など
	回避性	出火、誘発、拡大などを低減させようとする予防的装置または状況	不燃化、難燃化、内装制限、区画の細分化、防火訓練、火の用心など
	逃避性	火災時、その事象と空間との対応関係の中で人間が窮地に追い込まれことなく、より安全に災難から逃避、避難できる空間性のシステムなどの性状	
設備的対応	建築の空間的対応をサポートするという立場での対応		
	対抗性	防煙性能	排煙設備
		防火区画性能	防火戸・防火シャッターなど
		初期消火対応力	自動火災報知設備・自動消火設備(スプリンクラー)など
	逃避性	避難誘導設備などで補充	
設備対応のもう一つの重要な要素として、防災センターにおいて総合的に各種の防災情報を検出し、送信して判断処理するなどの機能			

2.2.1 避難安全性に対する建築施設・設備・器具

建築大辞典²⁾によると、建築施設、建築設備、建築器具の定義は以下のようなものであるが、この定義からは、施設と設備の差を明確に区分するのは難しい。

- 施設： ある目的のために、建物などの設備をすること。また、その設備
- 設備： ある目的の達成に必要なものを備えつけること。また、その備え付けられたもの。
- 器具： 道具。うつわ。しくみの簡単な機器。

本研究では、避難に有効な避難施設、避難設備・器具を文献³⁾ および建築基準法と消防

法⁴⁾などを対象に調査・分類し、その内容の整理と考察を行う。文献調査による内容を表2-2に示す⁵⁾。

ただし、本研究では避難器具を避難施設の一部として分類する。

表2-2 避難施設と避難設備

避難 施設 ^{注1)}	避難の際に必要とされる施設と定義する。避難施設には避難扉、階段、バルコニーなどがある。これらの施設は、人命の安全を目的として建築空間のなかでシステム化して配置されるべきものである ^{注2)} 。		
	避難扉	避難方向の次の区画の安全度を守るのが目的	
		位置	避難経路をたどる場合に有効な場所
		扉幅と個所数	適切な時間内に在住人口を提出させられる程度
		性能	火や煙を完全にその部分で食い止める程度
	階段	火災時、最も大切な縦方向の避難経路。また、消防隊の救出活動や消火活動の拠点	
		位置や構造	避難上の必要条件を満足するような計画で、防煙的には最大の配慮が必要
		種類	階段の取り付け位置や法的な設置基準により、避難階段、特別避難階段、屋外階段、直通階段等
		問題点	日常に使われる階段は、配置や機構上の弱点が出やすくなり、専用階段は、位置の確認の不徹底ということが起こりやすいので、配置計画に十分な配慮が必要
	バルコニー	避難階段に直通して連結できるバルコニーは病院、ホテル、アパートなどで特に有効であり、救助待ちの一時待機場所としても有効。また、直通階段に連結できない場合はタラップやその他の避難器具の設置でそれに替えることも可能	
		種類	バルコニーの形態により、全周バルコニー・連続バルコニーなどに分類される

防災設備 (避難設備)	出火予防と初期発見の設備、初期消火設備、避難設備、排煙設備、本客消火設備、防災センター等があり、消防法では避難設備を火災・地震・水害の時に、建物から脱出避難するために用いる機械器具もまた避難設備と定義		
防災設備 (避難設備)	防煙 ・ 排煙設備	火災時に発生した煙が通路、廊下、ロビー、階段等に侵入しないように、避難経路を安全に守ること、また消防隊が火災階までスムーズに進入できることが目的	
		防煙区画	不燃材料以上で防煙垂れ壁または間仕切り壁で分けた区画
		排煙設備	自然排煙方式 窓やその他の開閉口(排煙口)から直接屋外へ排煙する方式
			機械排煙方式 排煙機を駆動し、排煙風道等により外部へ強制的に排煙する方式
	避難器具	避難計画上および避難上安全に設計された建物に対しては、法令において避難器具設置の減免措置を講じているが、正規のルートによる避難ができなかった人に対して、最後の脱出手段として使用されるもの	
		種類	避難はしご、緩降機、すべり台、すべり棒、避難ロープ、避難橋、避難用タラップ、救助袋、誘導灯、誘導標識等
		設置上の 注意事項	①見やすい場所に設置し、使用方法の表示、②容易に接近でき、他の避難施設と適当な距離を維持、③基準に適合するものを使用
	避難 誘導 設備	火災及びその他の災害が発生したとき、建築物内の人々を快速かつ安全に避難させるために設ける設備	
		種類	避難口誘導灯、通路誘導灯、客席誘導灯、誘導標識
		設置上の 注意事項	①法令上の基準に適合し、人の目にふれやすい個所に、所要の大きさと明るさを有し、明確な誘導表示のあるもの、②通路誘導等は煙の発生を考慮して、床面から高さ1.0m以下の低い個所に設置、③煙の発生を考慮して、フリッカーランプや音を発生する装置を付置するなどの配慮も望まれる。

「新建築学大系12-建築安全論」⁶⁾では、避難路(廊下など)も避難施設としている。またこれ以外に、非常時の脱出・救出施設や避難を助ける施設として屋上広場と非常用進入口、非常用エレベーターをあげているが、この施設は自力避難よりは救出待ちの概念に近いので、本研究の避難施設・設備・器具には含まない。

その以外にも、重度障害者の避難のための車椅子用の担架や階段避難器具としてイギリスで開発されたイーバックチェア(EVAC+CHAIR)^{注3)}がある。

避難施設および避難設備は、各々の性能が発揮できるように規定されていると考えられるが、建物の大型化・複合化・高層化・複雑化に対する避難施設と避難設備の総合的かつ有効的な配置や設置の基準はまだ十分に整備されていない。



図2-1 階段避難器具であるイーバックチェア (EVAC+CHAIR)
(出典：イーバックチェアのパフレット)

2.2.2 避難安全性と区画

避難施設の中で、空間を分割することで火災時の延焼拡大の防止および被害の最小化や避難に有効な区画について考察を行う。

まず、区画の種類には法律上に規定されている防火区画と防煙区画がある。これらを避難者および避難行動時の安全確保に有効である安全区画や水平避難区画、待機区画、籠城区画に分類し、その特性と避難安全性との関係を整理する。

(1) 防火区画

防火区画は耐火性能を有する建物部位によって構成され、建物の一部分に火災を封じ込めることによって拡大を防止し、被害を限定するほか、避難路および消火活動の場を火災盛期においても確保することを目的としている。

また、防火区画の種類は、①上階延焼防止のための防火区画、②火災規模限定のための防火区画、③特殊な用途部分の保護・隔離のための防火区画、④避難路と消火活動の場の確保のための防火区画 に分類されている（表2-3）。避難安全性と関係があるのは原則的には全ての種類であるが、その中でも③と④項目の内容が関係が近いと考えられる。

表2-3 防火区画の種類（文献6をもとに作成）

区画の種類	内 容	区画の事例
①上階延焼防止のための防火区画	主として防火区画設置上の原則は、まず各階単位に区画して上階延焼を防止する。	床スラブ、堅穴区画 ^{注4)} 、外壁のスパンドレル部分 ^{注5)}
②火災規模限定のための防火区画	上階延焼防止も火災規模限定の一種であるが、ここでいう防火区画は一つの階の中での限定を目的としたものである	面積区画 ^{注6)} と防火壁 ^{注7)}
③特殊な用途部分の保護・隔離のための防火区画	主として不特定多数の利用する用途の部分（集会場・飲食店・病院など）や、危険物を扱う部分は、他の用途の部分と区画する。これは、異種用途区画と呼ばれている。	
④避難路と消火活動の場の確保のための防火区画	①から③までの各項目の区画が、結果的なこの目的にこたえることになるのである。	特別避難階段の付室、非常用エレベーターの乗降ロビー、病院の水平避難のための区画

表2-3は「新建築学大系12-建築安全論」の内容を参考して、区画の種類によるその内容と区画事例の項目で整理したものである。

防火区画の構成は、①建物本体による防火区画、②開口部の防火区画、③設備貫通部の防火区画 に分類できる。防火区画は、建物本体による区画が最も基本的なものである。これに出入口などの開口部が必要場合は、その部分に防火扉や防火シャッターを設置し、火災時に閉鎖できるようにしておく。外壁面の窓についてはスパンドレルあるいは庇を設ける。しかし、防火扉においては、ドアチェックなどで完全閉鎖が困難になるほか、沓摺が必要となり、利用頻度の高い扉ではかえって日常使用に危険となるなどの問題もある。

また、防火シャッターにおいても、シャッターの下降面内に物品が置かれていると床面まで閉鎖することができなくなる。また防火シャッターを閉鎖してしまうと通過できる部分は狭いくぐり扉だけとなってしまう、多量の避難者の流入に応ずることができない。

また、防火区画を貫通する設備類においては、ダクトなどには防火ダンパーを設け、パイプ、ケーブルなどには貫通部周辺の耐火処理を行う。

(2) 防煙区画

防煙区画は、排煙設備の一部として、防火区画の内部をさらに細分化して、防煙・排煙の効果を高め、煙の建物内の他の部分への拡散を防ぐことを目的とした設備である。防火区画は防煙区画を兼ねる。防煙区画として認められるのは、防火区画と防煙壁である。ここでいう防煙壁は、不燃材料で造りまたは覆われた間仕切壁、あるいは天井から50cm以上下方に突き出した垂れ壁のことである（建令126条の2）。

(3) 安全区画と水平避難区画

「新建築大系12 建築安全論」では、法律には規定されていないが、避難に有効な概念として安全区画を提示し、その概念と計画手法について説明している。安全区画の役割としては、以下の四つがあげられる。

- ①避難中の人々を火や煙から守る。
- ②逃げ遅れた人を一時的に保護する。
- ③階段室への煙の侵入を防止する。
- ④消火活動の拠点にもなる。

また、日本建築センターの「新・建築防災計画指針」⁷⁾では、避難弱者の避難時間が長すぎる場合を考慮して、階段の手前に火煙から守られた安全区画を設けて、避難者を一定時間保護する考え方が示されている。また、平面を複数のゾーンに防火区画し、非出火ゾー

ンを出火ゾーンに対する安全区画として機能させる考え方もあり、この方法によって避難安全の確保を図ることを水平避難方式として定義している。

しかし、水平避難方式は、建築基準法や消防法等によって規定されていないため、採用の可否や水平避難区画の設置場所は、設計者の経験と勘に頼っているのが現実である。

(4) 籠城区画

火災発生時に、手術中や手術後間のない患者、集中治療室・救急救命室・分娩室・新生児室・未熟児室・人工透析室の患者を、緊急に移動させなくてもすむよう、区画外からの炎・熱・煙の侵入をあらゆる面で遮断し、かつ区画内からの出火の可能性を皆無にした区画である。外部からの消防隊進入経路と区画から外部への脱出経路の確保も重要である。

(5) 一時待機場所

自力や支援を受けての水平移動は可能であるが、階段の自力降下が困難あるいは支援を受けても労力が多大な場合に、垂直避難経路の手前で、自力避難者との合流を避けながら、一時的に滞留するのを目的とした避難区画である。一時待機場所の計画には、米国のADA (The Americans with Disabilities Act) のガイドライン (ADA.AG) に示されたAreas of Rescue Assistanceや英国のBS (BRITISH STANDARD) 5588のrefugesに示された考え方が非常に参考になる。この区画の建築的な基本要件は、垂直避難経路（直通階段、非常用エレベーター、避難に利用可能なエレベーター）に隣接した区画であること、一步手前までの避難経路（安全区画側）とは防火防煙区画されていること、滞留場所と他の避難者の動線が重ならないことである。特別避難階段付室や非常用エレベーター乗降ロビーをうまく活用すれば十分に実現可能である。

以上の区画は、全てが避難安全性の向上のため有効な建築計画・設備的な対応として活用可能であるが、これらの区画をより効率的に活用するためには、区画の仕様の面に対する規定だけでなく、全体的な活用方法に対する基準が必要である。建築空間をこれらの区画に分割する場合、建物の用途と規模はもちろん、建物の使用者の安全性を優先にして、区画の場所や性能の定量的評価に基づいた配置計画に関する規定が必要である。

本研究では、避難経路上の避難障害として扉の通過を考慮した計算および評価法を提案している。

2.3 避難計画と避難経路

建物内に火災が発生したとき、火と煙がどのように拡大し、人間がどのように逃げるかは、建築計画による影響が大きい。火災は建物の形状に応じて進展拡大し、居住者も階段の位置やこれに至るまでの経路形状に従って移動するためである。したがって建築計画のうち、避難経路の計画においては、日常の便利性及び必要性のみでなく、火災時の対応も同時に配慮する必要がある。このような観点からとらえたとき、経路の計画で考慮することは「避難路の配置」、「避難路の容量」、「避難路の安全確保」のこれら 3 点を検討立案することを避難計画という⁶⁾。表 2-4 は、この内容を整理したものである。

志田弘二は⁸⁾、避難経路上の障害を「通過のバリア」、「理解のバリア」、「場所のバリア」、「時間のバリア」に分類し、そのバリアの解決概念を図 2-2 のように説明している。また、避難経路の容量と安全確保の基準は、現存の規定でも、ある程度まで整備されているが、避難経路の配置に対しては、まだその規定が明確に提示されていないため、その定量的な基準の構築が必要である。

表2-4 避難計画の検討立案

検討立案	条 件	備考
避難路の配置	①日常の動線が非常時にもそのまま避難路となるのが理想である。 ②避難階段は平面の一部に偏ることなく、しかも分かりやすい配置とする。 ③避難施設まで至る避難路も明決な形状とする。 ④一方の経路が利用不可能となったときのため、別の経路を用意する。 ⑤廊下の末端には必ず非常口を設置し、袋小路としない。	人間の避難行動特性の面を考慮
避難路の容量	非難群集が効率よく円滑に行動することができ、短時間で安全な場所まで避難できるようにする。これは主として、各部の出入口・通路・階段などの幅員によるところが大きい。また、非難群集の流れのネックとなる部分では、発生する待ち人数を一時的に収容するスペースの面積を十分に確保する。	
避難路の安全確保	①火災を閉じ込めるための防火・防煙対策を行う。 ②非常照明や初期消火設備などの適正配置、内装不燃化を行う。 ③また、通路に物品などが放置されたり、施錠されている場合は、やはり避難に支障をいたすことになるので、日常の防火管理への配慮も必要である。	

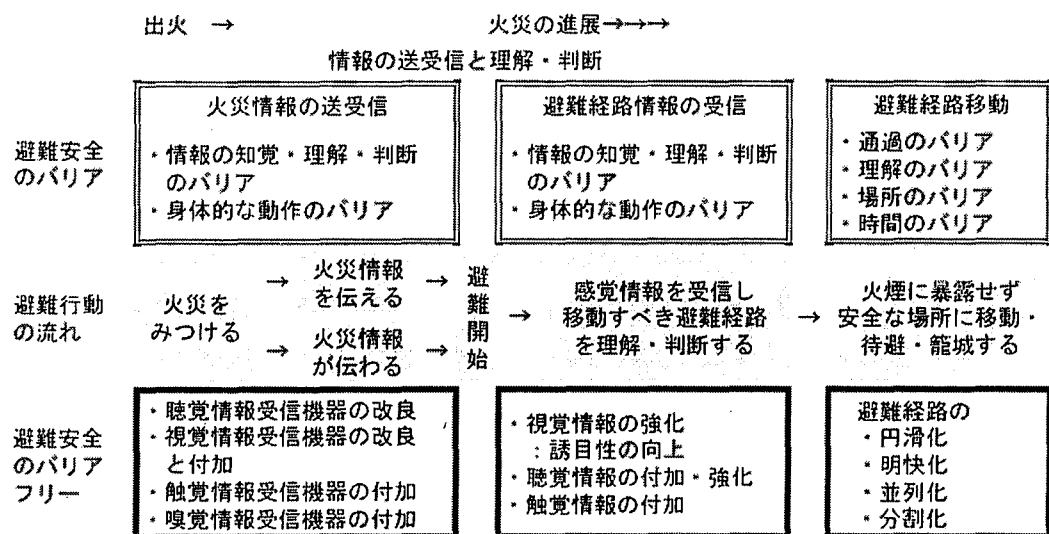


図2-2 避難行動の時間的な流れと避難安全のバリアフリーの概略(文献8より)

2.3.1 避難経路の円滑化

避難経路（居室扉、廊下、付室、階段、バルコニー）上の移動を円滑化することは、バリアフリーの基本である。段差の除去、扉や廊下の幅、扉の開閉方式、階段の幅・蹴上げ・踏面寸法、手すりの設置、床仕上げについては、ハートビル法の基準（平成6年6月29日法律第44号）が基となる。避難という時間に迫られた不慣れな空間での不慣れな行動の場合は、扉開閉のしやすさ（パニックオープン方式）、階段蹴上げの一定化や踊り場の段差除去などのフルプルーフ的なバリアフリーも重要である。

2.3.2 避難経路の明快化

避難経路上のバリアの存在や避難経路の明快性（分かりやすさ）を定量化することは難しい。避難計画の原則としては、避難経路の単純化や短縮化、避難経路を日常の移動経路と一致させることが重要である。また、避難経路の明快さの向上を補助するものとしては、避難誘導灯や避難誘導放送設備がある。

2.3.3 避難経路の並列化

避難経路の並列化は火災時に、火や煙の影響により、同時に使用不能とはならない二つ以上の経路を設置する（冗長性をもたせる）ことである。

(1) バルコニー避難

水平避難経路で最も信頼性の高いのは、内部廊下と外部バルコニーの並列設置である。避難終了前に内部廊下が通過不能となっても、同時に避難不能とはならないバルコニーへの別の経路が確保されていれば、一時的な滞留場所となり、避難階段に接続していれば、屋外避難経路としての活用も可能である。居室を防火防煙区画にして緩衝的な空間とすれば、バルコニーでの長時間の待機も可能となる。避難開始が遅れがちな宿泊施設や、移動に膨大な時間が必要な避難弱者が就寝する医療福祉施設では、極めて有効である。

(2) エレベーター利用避難

避難階段が通過不能となった場合には、並列垂直避難経路となる。車いす使用者など階段での自力避難が困難な在館者の場合は、日常動線がそのまま避難動線となるので、円滑化・明快化を併せもつという効果も期待できる。非常時の常用エレベーター利用は、法規制（建築基準法・消防法）では制限がなく、エレベーター協会の標準規格で運転が制限されているが、現在、日本建築学会（エレベーター利用避難特別研究委員会）で以下のような設計・運用の計画方法が検討され始めている。

- ・火災シナリオの想定方法
- ・避難シナリオの想定方法
- ・エレベーター及び昇降路の計画
- ・昇降路の隣接施設の計画
- ・避難者制御の方法
- ・情報制御の方法

また、過去の実例としては、以下がある。

- ・国際障害者交流センター（設計：国土交通省・日建設計）
- ・港区立障害保健福祉センターヒューマンプラザ（設計：類設計室）
- ・川崎市立川崎病院（設計：日本設計）

2.3.4 避難経路の分割化

設計実務で採用されてきた分割化の手法としては、避難区画(避難用に設置された防火防煙区画や不燃区画)である安全区画・水平避難区画・籠城区画のほか、あまり普及していないが一時待機場所がある。

2.4 防災計画書と建築防災計画評定委員会

防災計画書は、建築物の計画が単に防災関係法規に適合するというだけでなく、総合的な見知から安全を確保していることを示す計画書として、「防災計画書の作成に関する通達(1981年7月30日の高層建築物等に係る防災計画の指導について、1982年5月20日の旅館及びホテルの防災計画書の指導等について)」により、財団法人日本建築センターの建築防災計画評定委員会において指導されるようになった⁹⁾。

設計者や建築物のオーナーなどが防災や安全などを真剣に考え、防災対策を一つのシステムとしてまとめて防災計画書に盛り込むことで、火災に対する安全を単に設計だけではなく、維持・使用まで含めてとらえるようになることに、その意義がある。

防災計画書は、自治体により対象となる建物の規模や用途、計算書提出の有無など、防災計画書の作成指導の可否については差がある。

防災計画書の作成指導を行わない主な自治体には、東京都と千葉県がある。これらの自治体は、建築基準法等の改正による性能規定化の基準も整備されつつあり、申請者の負担軽減及び時間短縮等の理由で、防災計画書の作成指導は行わないようにした(東京都は平成13年4月2日、千葉県は平成16年3月31日をもって廃止)。一方、防災計画書の作成指導を行

っている自治体は、大阪府をはじめとして埼玉県、京都市、神戸市、尼崎市、明石市、広島市、福井市などがある。

文献10と文献11を基に、防災計画書と建築防災計画評定委員会に関する内容を整理したものを、表2-6に示す。

表2-6 防災計画書と建築防災計画評定委員会

防災 計画書	制定の背景	1970年の建築基準法の改正により、①絶対高さ制限の廃止、②容積率制限が全面的に適用で、超高層ビルの建設が可能になる。
	制定	建設省(当時)が1972年に通達を出し、超高層ビルなど基準法第38条の大臣認定を取得しようとする場合には「防災計画書」の作成を義務化する。
	構成	①建築物の概要、②防災計画基本方針、③火災の発見、通報および避難誘導、④避難計画、⑤排煙及び消防活動、⑥管理・運用、⑦付図、⑧その他
	対象建築物 (大阪府)	○大阪府内における高さが31メートルを超える建築物（但し、特定行政庁が不要と認めたものを除く。） ○大阪府内における高さが31メートル以下の大規模建築物・複合建築物等で、下記に該当するもの。 1、旅館、ホテルの用途に供する建築物で、5階以上の階又は地階におけるその用途に供する部分の床面積の合計が2,000㎡を超えるもの。 2、建築基準法施工令第147条の2各号に掲げる用途に併せて供する複合建築物で、5階以上の階、又は地階におけるその用途に供する部分の床面積の合計が2,000㎡を超えるもの。 3、劇場等における収容人員の合計が、2,000人を超えるもの。 4、3階以上の階において不特定多数が利用する建築物で、床面積の合計が10,000㎡（駐車場の床面積を除く。）を超えるもの。 5、その他、特定行政庁が必要と認めたもの。
建築 防災 計画 評定 委員会	制定と背景	1981年、建築指導課長通達「高層建築物等に係る防災計画書の指導について」が出され、高さ31mを超える建築物や大規模あるいは複合用途の建築物等(次の年、一定規模以上のホテル、旅館等を追加)については、建築確認に際して特定行政庁が防災計画書の作成することになった。また、それまで建設省で直接に防災計画書の内容審査が行われたが、これ以降は日本建築センターに設置された「建築防災計画評定委員会」でその内容が審査されることになった。

	活動内容	火災安全上、非常に重要ではあるが、法令規定の条文には表現しきれないことがらについて計画内容を審査し、設計者への指導・助言を行う。
建築 防災 計画 指針	制定	総合的な防災計画の必要性から説いた教本であり、1975年初版が刊行され数回改訂

表2-6の防災計画書作成の対象建物には、大阪府の規定を一例として示している。自治体により対象建物の規定には差があるのはやむをえないが、建築基準法や消防法などが建物の安全のための最小限の規定であることを考えれば、この規定を上回る対策が必要な最近の現状に対して、防災計画書の廃止は時代の要請に逆行しているともいえる。

また、防災計画書の作成が義務付けられていても、その作成法やその後の利用方法により、その効果は大きく変わる。例えば、防災をあまり考えずに基本設計を行った後で、規定に合わせて防災計画書を作成したり、維持管理者が防災計画書を業務上うまく活用しなければ、その作成の意義は失われる。したがって、防災に関する全ての人々が防災計画書の意義を十分に理解し、それをうまく活用するために努力することで、はじめて建物の安全性向上にその効力を発揮できる。

2.5 まとめ

本章では、建築物の避難安全性に影響を及ぼす要因を、空間的対応と設備的対応に分けて考察を行った。

空間的対応については、火煙の拡散防止、避難経路安全性の向上など、避難安全性を高めるのに有効であると判断される区画の種類を調査し、避難安全性との関連性が深い項目を整理した。

設備的対応については、避難施設と避難設備および避難器具の種類と機能について調査を行い、避難安全性との関連性が深い項目を整理した。

さらに、制度的な対応である防災計画平定委員会と、設備的対応と空間的対応の具体的な提示である防災計画書に対して考察を行った。

■ 注

- 注 1) 建築大辞典では、避難施設を避難の際に必要とされる都市施設と定義している。避難施設には最終避難地、避難路、公園、緑地、学校施設、救護施設、消防署などの防災施設が含まれる。これらの施設は、人命の安全を目的として都市空間のなかでシステム化して配置されるべきものである。
- 注 2) 本研究での避難施設の定義
- 注 3) エレベーターが使用できないような非常時や災害時に避難弱者(身体の不自由な人や歩行が困難な人等)を上層階から階段を使用して、安全・円滑・快速に避難階における出入口を通じて安全な避難場所まで避難させることができる避難器具。階段では補助キャスタをたたみ、スキー部のエンドレスゴム V ベルトですべり、平坦なフロアでは補助キャスタを引き出して 4 輪で移動する方式である。

○仕様

寸歩(cm) : 50×19×100(収納時)

質量 : 9.0kg

最小荷重～最大荷重 : 10～150kg

材質 : アルミニウム、スチール、ゴム、合成繊維

- 注 4) 堅ダクトやパイプシャフトなどのように、各階の床を貫通する堅穴を耐火構造の壁によって囲まれた層間の区画。
- 注 5) 外壁スパンドレル部分 : 十分な高さを確保するかまたは庇状の張出しを設けることによって、窓から噴出する火炎による上階の窓を通じての延焼を防止する。
- 注 6) 面積区画 : 各階において一定の面積以内ごとに区画を設けることである。区画する面積は建物の構造・規模および階の位置その他に応じて、法によって定められている。また、スプリンクラーなどの自動消火設備が設置されていたり、内装材の不燃化が計られている場合は、1 区画の面積を大きくすることができる。
- 注 7) 防火壁 : 大規模の木造建物では、一定面積以内ごとに棟を分割するかたちで、耐火構造の自立式の壁によって区画を行うものである。

■ 参考文献および URL

- 1) 防災システム研究会：建築防災の基本計画、オーム社、pp.9-11、1977.11
- 2) 建築大辞典 第2版、彰国社、1993.6
- 3) 防災システム研究会：建築防災の基本計画、オーム社、pp.44-80、1977.11
- 4) 建築法規チェックリスト2001年度版、彰国社、pp.137-150、2000.9
- 5) 防災システム研究会：警報・避難施設の実務、オーム社、p.8、1997.9
- 6) 新建築学大系編集委員会：新建築学大系12－建築安全論－、彰国社、1983.3
- 7) 建設省住宅局建築指導課、日本建築主事会議：新・建築防災計画指針-建築物の防火・避難計画の解説書-、日本建築センター、1995.7
- 8) 日本損害保険協会：2004予防時報216、pp.30-35、2004.1
- 9) 建設省住宅局建築指導課：新・建築防災計画指針 1985年版、日本建築センター、1985.7
- 10) 日本建築防災協会：20世紀の災害と建築防災の技術、技報堂出版社、pp.506-512、2002.7.30
- 11) <http://www.okbc.or.jp/hyoutei/main.html>

第 3 章 避難安全性の定量化と信頼度

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

3.1 本章の構成

本章は、本研究で提案する避難安全性の定量的な評価手法の理論的基礎となる信頼度の定義、および評価手法の計算結果であるネットワーク信頼度を定義し、その計算方法について説明する。

また、ネットワーク信頼度の計算の正確性と迅速性を求めるために開発されたネットワーク信頼度の計算プログラムについて紹介し、使用方法を説明する。

3.2 信頼度の定義

システムエンジニアリング分野では、信頼度を「(1)対象になる製品またはシステムが、(2)一定の環境(一定の使用状態)のもとで、(3)一定期間(または一定の使用回数)、(4)故障なしに、(5)その能力を発揮する(使命を達成する)、(6)確率」と定義(1957年、アメリカ国防省の電子装備品の信頼性に関する諮問委員会(AGREE))¹⁾している。また、信頼性工学の分野では²⁾「対象とする製品が規定された条件のもとで、定められた時間、所期の機能を果たす確率」と定義している。すなわち、両方とも信頼度を確率という概念で扱っていることがわかる。

この概念を基に、本研究での信頼度は、「災害の発生時、避難開始場所から安全な避難場所までの避難経路が確保される確率」と定義する。ここでいう「避難経路の確保」の程度は、避難距離および経路上の扉の形式・仕様・管理状態、経路上の放置物による廊下の有効幅員の減少による避難障害、避難経路の形態および避難施設の配置などに依存する。

3.3 辺の信頼度とネットワーク信頼度

グラフは、いくつかの点と、それらの点を結んだ線からできたものと定義されている³⁾。本研究のネットワークモデルも一種類のグラフであるが、グラフ化の対象を建物にし、その形がネットワークであるため、本研究ではネットワークモデルとよぶ。本研究のネットワークモデルは建物の区間中、避難開始と避難完了が予想される場所を、それぞれ避難開始頂点(○で示す)、避難完了頂点(●で示す)とし、その空間間の連結性を辺で表したものと定義する。

3.3.1 辺の信頼度とネットワークと信頼度の定義

建築物の平面をネットワークモデル化する時、避難経路の辺が持っている通行可能率を辺の信頼度とし、任意の出発頂点から到着頂点までの避難経路上の全ての辺の信頼度を考慮して計算した合成信頼度をネットワーク信頼度と定義する。

3.3.2 辺の信頼度の変化

辺の信頼度は、その一つの辺を通じて建築空間のある場所からある場所まで移動する時のさまざまな条件、すなわち、移動距離、避難障害により変化する。たとえば、建設省の住宅防火安全性能評価法⁴⁾では、辺の信頼度の変化を主に経路上の障害を基準として定義している(表 3-1)。ただし、この辺の信頼度は相対的尺度に過ぎず、信頼度が2倍だから2倍安全であるとは言えない。

表 3-1 個別経路信頼度(文献4より抜粋)

分 類	図 解 断 面 平 面	信 頼 度	備 考
内部空間 ↓ 内部空間	1. 開口	0.8	カーテン等あっても適用可
	2. 2枚引違い戸	0.6	2枚以上ドアがある場合も適用可
	3. 1枚ドア	0.5	ヒンジドア、引違い戸共適用可
	4. 階段	0.1	
内部空間 ↓ 戸 中間地帯外	1. 2枚引違い戸	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 0.8 \times \left(1 - \frac{W}{2}\right) \left(1 - \frac{h}{5}\right) \\ 0 \end{cases}$	W (m) h (m)
	2. 手摺付2枚引違い戸	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 0.8 \times \left(1 - \frac{W}{2}\right) \left(1 - \frac{h}{6}\right) \\ 0 \end{cases}$	W (m) h (m)
	3. 1枚戸	0.7	
中 間 地 帯 内	1. バルコニー	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 1 - \frac{0.4}{b} \\ 0 \end{cases}$	b (m)
	2. フラット屋根	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 1 - \frac{0.5}{b} \\ 0 \end{cases}$	
	3. 傾斜屋根	下記のうち大なる方 $\begin{cases} \left(1 - \frac{0.6}{b}\right) (1 - \tan \theta) \\ 0 \end{cases}$	θ : 角度
中 間 地 帯 ↓ 戸 外	1. バルコニーから直接地上へ	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 0.8 \times \left(1 - \frac{h}{6}\right) \\ 0 \end{cases}$	h (m)
	2. バルコニーから直下のバルコニーへ	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 0.8 \times \left(\frac{h}{4}\right) \\ 0 \end{cases}$	
	3. バルコニーから隣のバルコニーへ	境壁有 0.6 境壁無 1.0	
	4. フラット屋根から直接地上へ	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 0.8 \times \left(1 - \frac{h}{8}\right) \\ 0 \end{cases}$	
	5. フラット屋根から階段を経て地上へ	手摺有 1.0 手摺無 0.6	
	6. フラット屋根からはしごを経て地上へ	0.6	
	7. 傾斜屋根から直接地上へ	下記のうち大なる方 $\begin{cases} 0.5 \times \left(1 - \frac{h}{8}\right) \\ 0 \end{cases}$	

3.3.3 ネットワーク信頼度の変化

3.3.1 で示したネットワーク信頼度の定義からわかるように、ネットワーク信頼度は避難経路上の各辺の信頼度の変化により影響を受ける。たとえば、ある辺の通行不可(辺の信頼度が 0 になる場合)や避難施設の位置(避難経路の変化)、ネットワークモデルの形態の変化によりネットワーク信頼度は変化する。

3.4 ネットワーク信頼度の計算概念

避難に対する安全性の代表的な評価指標としては、戸川喜久二の群集流動理論式に基づく避難時間がある。これは以後の研究にも多大な影響を及ぼし、またこの考え方は避難シミュレーションにも応用されている。また、建設省の住宅防火安全性能評価法の中には避難安全性能の評価方法が示されている。本論文は、後者の考え方を参考にし、避難時間とは異なる避難安全性の評価指標を提案する。

3.4.1 建設省の住宅防火安全性能評価法の避難安全性能の評価方法

建設省の住宅防火安全性能評価法の避難安全性能の評価方法は、対象とする建築空間(避難開始頂点)から安全域(避難完了頂点)までの避難経路をネットワークモデル化し、各頂点間の経路に 0~1 の信頼度を与えて、ネットワーク全体の連結性による信頼度を算出するものである。

辺の信頼度からネットワーク信頼度を算出する計算方法は、

- ① 経路 i 、 j が直列のとき

$$R_{ij} = r_i \times r_j \quad (1)$$

- ② 経路 i 、 j が並列のとき

$$R_{ij} = 1 - (1 - r_i)(1 - r_j) \quad (2)$$

R_{ij} : 経路 i と j の合成信頼度 (ネットワーク信頼度)

r_i : 経路 i の信頼度

r_j : 経路 j の信頼度

で表される。しかし、ネットワークモデルが複雑で、式 (1) と式 (2) では計算ができない場合は、確率の加法定理により各辺の信頼度を合成する。

本論文で提案する手法は、

- ① 実際の避難安全設計において重要であり、かつ設計者が設計時に念頭に置く評価指標を用いる
- ② 避難階段や避難バルコニーの配置や避難経路形状による避難安全性の変化を、合理的かつ客観的に評価する
- ③ 避難距離と避難障害による避難安全性の変化が明確に確認でき、定量的に表すことができる
- ④ 基本計画の段階で計画案の評価結果が短時間で得られ、計画案へのフィードバックが容易である

ものを考えている。今までの評価手法は、総合的かつ精密な評価をするために計算過程が煩雑であり、容易に結果を得ることができない。またシミュレーションは人の挙動などを細かく計算するために、そのデータ入力や計算に時間を費やす。

一方、建設省の住宅防火安全性能評価法は比較的計算過程が簡便であり、フィードバックが容易になるという利点がある。したがって、この評価手法が一般的になれば、一般計画段階から十分に防災計画を練ることが容易になり、より一層安全な建築を実現するための一助となると考える。

しかしながら、この手法には、以下のような問題点がある。

- ①他の建築との比較のために個別経路信頼度やグレーディング^{注1)}を行っているが、それぞれの個別信頼度の値や、どの程度の信頼度を得ることができれば安全であるという基準を決定することは、現段階ではきわめて困難である。
- ②新しい頂点の付加により、ネットワークモデルの規模や辺の長さが変わらなくてもネットワーク信頼度が低下するという矛盾がある。

①の問題を解決するためには、個別経路の信頼度を算出するために必要なデータを揃えること、また安全基準となる信頼度の値を決めるためのデータを収集することが必要となる。また、②の問題を解決するためには、頂点を付加してもネットワーク信頼度が変化しない信頼度関数を定める必要がある。

本研究の評価手法は、以上の問題点を解決するものであり、実際の計画段階での適用性が一層高くなるところに特長がある。

3.4.2 確率の加法整理とネットワーク信頼度

数学分野では、確率の加法定理を以下のように定義している。

n 個の事象があるとする。

$A_1 \sim A_n$ が排反事象でないとき、 $A_1 \sim A_n$ のうち少なくとも一つが起きる確率は、

$$\begin{aligned} & P_r(A_1 + A_2 + \cdots + A_n) \\ &= \sum P_r(A_i) - \sum P_r(A_i A_j) + \cdots + (-1)^{n-2} \sum P_r(A_1 A_2 \cdots A_{n-1}) \\ &+ (-1)^{n-1} P_r(A_1 A_2 \cdots A_n) \end{aligned}$$

である。

ネットワークの信頼度の計算は、基本的には確率の加法定理にしたがって計算を行うが、計算を機械的に行いかつ見落としのしないようにするために、以下の計算過程に従う。図 3-1 を用いた計算過程を以下に示す(図 3-2 参照)。図 3-2 は、頂点 0 から頂点 5 まで、最短経路を選択する場合の計算メカニズムを一例として示している。

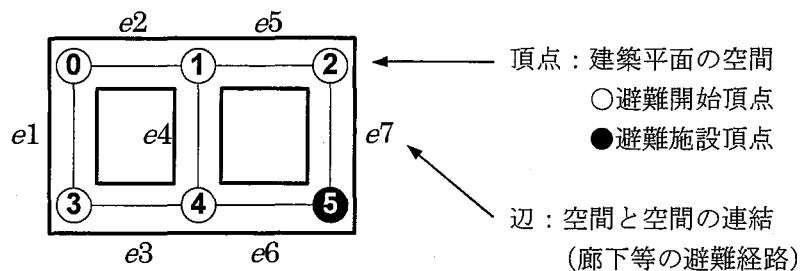


図 3-1 建築空間のネットワークモデル化

計算過程 1：各辺と、各経路に番号をふる(図 3-1 参照)。

計算過程 2：各経路において通過する辺を列挙し、その経路で通過する辺には「1」、しない辺には「0」を入力する（パスマトリックスの生成）。

計算過程 3：経路の組み合わせを列挙し、その組み合わせに含まれる経路には「1」、含まれない経路には「0」を入力する。

計算過程 4：計算過程 3 における経路の組み合わせの時に通過する辺を列挙し、通過する辺には「1」、しない辺には「0」を入力する。同じ辺を複数の経路が通るときも「1」として表示する。

計算過程 5：各組み合わせにおける辺の信頼度の積を求める(項が偶数個の時「負」、奇数個の時「正」)。

計算過程 6：計算過程 2～5 において求められた値の和を求める。このとき各項の正負

に注意する。ここでは、各辺の信頼度 0.8 と仮定したので、計算されたネットワーク信頼度は 0.8282 である(図 3-2 参照)。

経路数を n とするとき経路の組み合わせは $2^n - 1$ となる (どの経路も含まない場合を除く)。

計算過程 2(パスマトリックス)

		辺番号						
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
経路 番号	P1	1	0	1	0	0	1	0
	P2	0	1	0	1	0	1	0
	P3	0	1	0	0	1	0	1

計算過程 3

組番号	2 進数	経路番号		
		P1	P2	P3
1	0001	0	0	1
2	0010	0	1	0
3	0011	0	1	1
4	0100	1	0	0
5	0101	1	0	1
6	0110	1	1	0
7	0111	1	1	1

計算過程 4

辺番号							正負
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	
0	1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1	-1
1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	1	1	-1
1	1	1	1	0	1	0	-1
1	1	1	1	1	1	1	1

計算過程 5・計算過程 6

辺番号							積
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	
1	0.8	1	1	0.8	1	0.8	0.5120
1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.5120
1	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	-0.3277
0.8	1	0.8	1	1	0.8	1	0.5120
0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	-0.2621
0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.8	1	-0.3277
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.2097
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8282
各辺の信頼度							計

図 3-2 ネットワーク信頼度の計算メカニズム

3.5 ネットワーク信頼度の計算プログラム

従来は、ネットワークの連結性の計算に表計算ソフトである Excel を用いて計算を行った。しかし、この計算法には次のような三つの問題点がある。

- ① Excel の計算能力の限界
- ② 計算速度の限界
- ③ データの誤入力および計算時間の発散の問題

従って、本研究では計算時間の短縮化や効率性の向上および正確性の向上を図る同時に、使用性等をより向上させる計算プログラムを自力開発した。従来の計算法と異なっているのは、Excel を使った計算では、避難経路数が 16 個以上で計算不可能になるが、本研究では、C 言語で計算プログラムを自作した。このプログラムは Excel と比べて以下の特長を有する。

- ① 避難経路の数も 64 個まで計算可能である
- ② 計算の速度が格段に速くなる
- ③ データ入力が簡単で誤入力の発生を防ぐのが容易である

3.5.1 信頼度計算プログラムの概要

ネットワーク信頼度の計算プログラムの概要は次の通りである。

- 信頼度計算プログラム名 : Keiro_v6(6 回の修正補完を行う)
- 使用言語 : C
- 計算アルゴリズム : 確率の加法定理
- データファイルの入力形式 : テキストファイル
- 入力データの内容 : パスマトリックス(keiro_data.txt)と信頼度マトリックス(shinraido_data.txt)
- 結果ファイルの出力形式 : テキストファイル
- 出力データの内容 : 入力データの内容、計算の過程、計算の結果
- 開発期間 : 2003 年 5 月～現在

このプログラムの開発目的である計算能力・速度・正確性の向上を満足させるためには、強力なデータ処理能力を持っている C 言語が適していると判断した。また、データの入出力には、Microsoft 社の Windows に基本搭載されているテキストデータの編集が可能なソフ

トウェアの使用を考慮してデータの形式をテキストファイルと指定した。

こういう配慮により、誰でもこのプログラムを使うのが可能になることでプログラムの活用性がよくなると考えられる。また、C 言語が持っている能力や発展性を考えると、プログラムの計算能力や速度の向上が、今後も期待される。

3.5.2 「Keiro_v6 プログラム」を用いたネットワーク信頼度の計算方法

ネットワーク信頼度の計算は、大きく分けて手作業の部分と機械的な作業の部分に分けられる。機械的な作業というのは、ネットワーク信頼度の計算プログラムの実行に伴うパソコンの演算処理を意味する。

手作業の部分では、ネットワークモデルの作成とパスマトリックスと信頼度マトリックスを作成する。この段階で作成されたパスマトリックスと信頼度マトリックスを Text ファイル化して、ネットワーク信頼度の計算プログラムと同じフォルダーに置くことで手作業は終了する。その後、ネットワーク信頼度の計算プログラムを実行する。

機械的な作業が行われるためには次の条件が必要である。

- ① Keiro_v6 プログラムと Keiro_data.txt&Shinraido_data.txt ファイルは、同じフォルダーの中にあること。
- ② Keiro_data.txt のコラムの数と Shinraido_data.txt のコラムの数が同じであること。ただし、ラインの数は同じでなくてもかまわない。
- ③ Keiro_data.txt の作成は、コラムの間に空白がないこと。
- ④ Shinraido_data.txt の作成は、コラムの間に空白を開けること。

図 3-3 に、ネットワーク信頼度の計算過程の順序を示す。

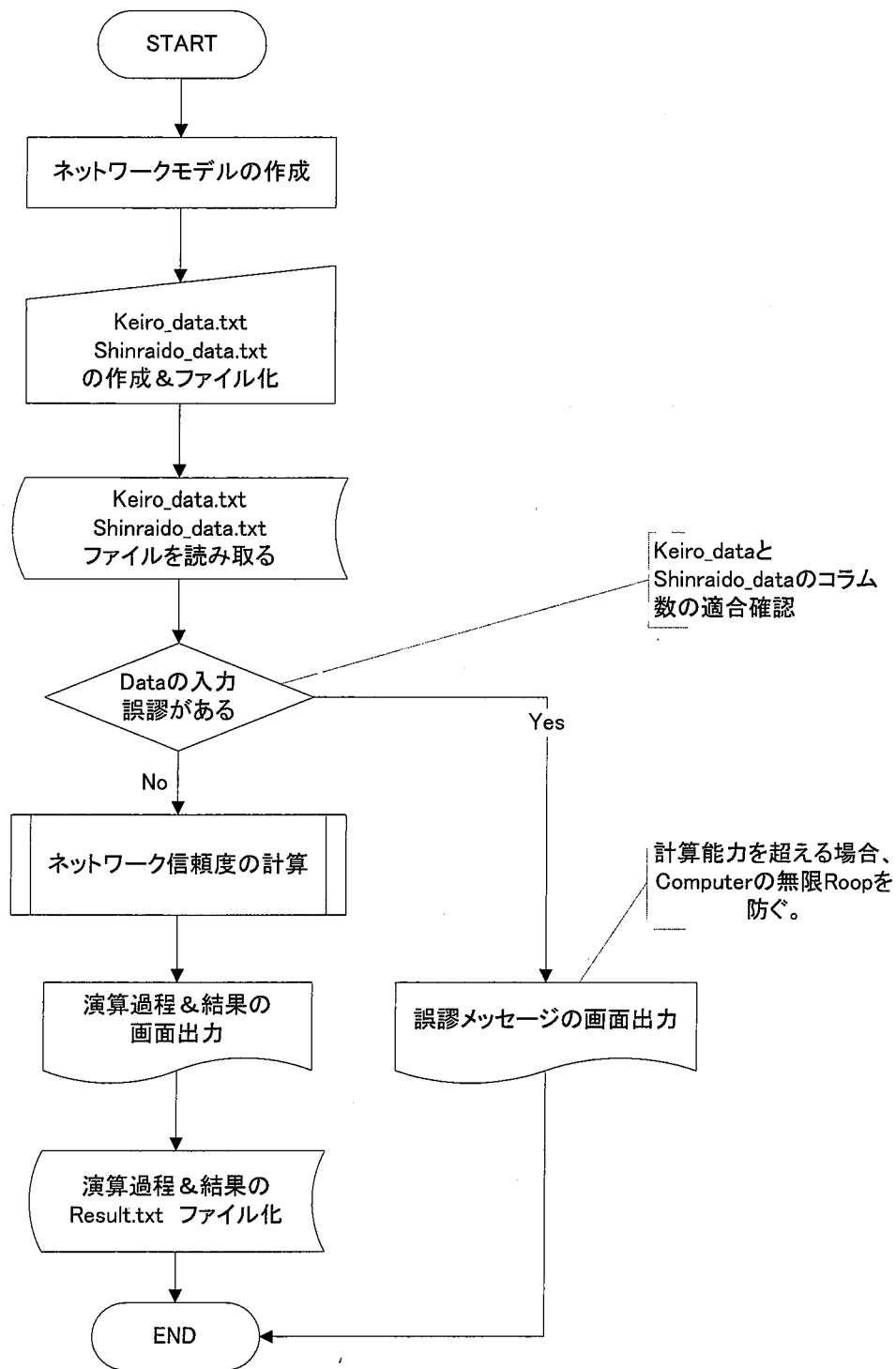


図 3-3 ネットワーク信頼度の計算過程の順序図

(1) モデルのパスマトリックス⁵⁾

パスとは連結グラフにおいて、頂点から頂点へ無理なくつながった道である。図 3-4 で v_1 から v_5 へ、たとえば e_1 、 e_5 、 e_7 という辺を通って行くのは一つのパスである。ある辺があるパスに属しているかどうかでマトリックスをつくることができる。属していれば1、属していなければ0という要素から成るマトリックスである。

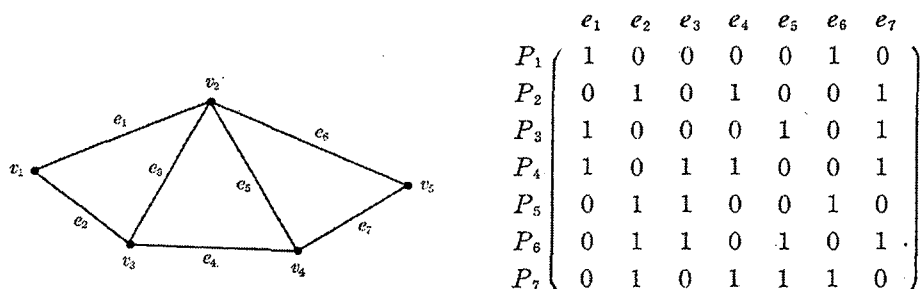


図 3-4 モデルのパスマトリックス(文献 5 から)

図 3-4 のパスマトリックスをファイル化したのが Keiro_data.txt ファイルである。

(2) 信頼度マトリックス

信頼度マトリックスとは、ネットワークモデルの各辺の信頼度を入力するマトリックスである。辺の信頼度を 0～1 まで、辺の長さや避難障害の有無などに応じる特定の値を与えることでネットワークモデルが持っている特性を最大限に生かして計算することができる。また、辺の信頼度を 0 とすることで辺の通行不可を計算することもできる。さらに、信頼度マトリックスは、1 種類の計算だけでなくモデルに関わる全ての計算を 1 回の入力で行える利点も持っているので、計算の精密度と速さが Excel を使って計算を行う時より一層向上された計算能力の発揮ができる。

図 3-5 は辺の数が 12 個であるネットワークモデルの信頼度マトリックスの一例である。この信頼度マトリックスをファイル化したのが Shinraido_data.txt ファイルである。

マトリックスの入力上の注意事項は次の通りである。

- ①必ず[]の中に辺の信頼度を記入する。
- ②コラムの間に空白を開けること。
- ③辺の信頼度のコラム数は、パスマトリックスの辺の数と同じであること。

[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	← 代表値の計算
[0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	各 辺 の 通 行 不 可 の 計 算
[0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0.8]	
[0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0]	

図 3-5 信頼度マトリックスの例

(3) 計算結果である Result.txt File の出力内容

Result.txt ファイルの出力内容は次の通りである。

- ① 入力したパスマトリックスと信頼度マトリックスの内容(入力の確認のため)
- ② 計算の過程(計算の客観性のため)
- ③ 計算の結果

図 3-6 は、あるネットワークモデルの計算結果 Result.txt の内容である。

```

inputed keiro..
[P1] 100000000000
[P2] 010010000100
[P3] 011011100000
[P4] 010011110011
[P5] 011010111010
[P6] 010010101001
[P7] 000100100100
[P8] 001101000000
[P9] 000101010011
[P10] 000100001001
[P11] 001100011010

inputed shinraido..
[E1] 0.8
[E2] 0.8
[E3] 0.8
[E4] 0.8
[E5] 0.8
[E6] 0.8
[E7] 0.8
[E8] 0.8
[E9] 0.8
[E10] 0.8
[E11] 0.8
[E12] 0.8

[ 1 ] 000000000001 000000000001 001100011010 1...[0.327680]
[ 2 ] 000000000010 000000000010 000100001001 1...[0.512000]
[ 3 ] 000000000011 000000000011 001100011011 -1...[-0.262144]
[ 4 ] 000000000100 000000000100 000101010011 1...[0.327680]
[ 5 ] 000000000101 000000000101 001101011011 -1...[-0.209715]
[ 6 ] 000000000110 000000000110 000101011011 -1...[-0.262144]

----- 省略 -----

[ 2045 ] 011111111101 111111111101 111111111111 -1...[-0.068719]
[ 2046 ] 011111111110 111111111110 111111111111 -1...[-0.068719]
[ 2047 ] 011111111111 111111111111 111111111111 1...[0.068719]

result.....[ 0.980189 ]

```

図 3-6 計算結果 Result.txt File の出力内容の一例

3.6 まとめ

本章では、

- (1) 避難安全性の定量的な評価の策度として信頼度の概念を導入し、他の分野の信頼度の定義を元にして、本研究の信頼度の定義を行った。
- (2) ネットワーク解析法を用いる信頼度の計算法として、確率の加法整理を基本概念にした。
- (3) ネットワーク信頼度の計算の正確性と迅速性の向上および使用の便宜性を図るため、計算プログラムを開発し、計算プログラムの運用方法について述べた。

しかし、今の段階では信頼度の客観的な数値は未知であり、それを求めるためには実験やシミュレーションなどを通じた客観的かつ多量のデータが必要である。本研究は、避難安全性の定量的な評価手法の方法的な面に対する考察を通じた提案を目的にする研究であるため、信頼度の数値の根拠になる具体的なデータについては、今後の研究の成果に期待する。

また、ネットワーク信頼度の計算プログラムは、既存の表計算用プログラム（例えば、Excel など）に比べて、性能（演算速度や計算能力）と使用性の向上は確かであるが、まだ両方とも満足できるレベルとはいえないため、今後も専門家などによる持続的な改良が求められる。

■ 注

注1)建設省の住宅防火安全性能評価法では、出火防止性能、初期拡大防止性能、延焼拡大防止性能、類焼防止性能、避難安全性能の評価方法としてグレードを分ける手法を行っている（文献4参照）。

■ 参考文献

-
- 1) 近藤次郎：システム工学、丸善、pp.157-196、1970.8
 - 2) 三根 久、河合 一：信頼度・保全性の基礎数理、日科技連出版社、p.2、1984.2
 - 3) 奥平耕造：都市工学読本—都市を解析する、彰国社、1976.6
 - 4) 日本建築学会編：安全計画Ⅱ 安全性の評価手法、彰国社、pp.28-35、1987.10
 - 5) 奥平耕造：都市工学読本—都市を解析する、彰国社、pp.149-169、1976.

第4章 避難経路の信頼度の距離減衰を考慮した避難経路の 形態と避難施設の配置の検討

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

4.1 本章の背景と目的

災害時の人間の安全確保は、建築物の重要な基本性能の一つである。しかし、建築物の大規模化・超高層化・複雑化・複合化等により、災害時の人命の安全確保はより難しくなる一方で、人口の高齢化などにより、火災の発生に伴う人的被害は減っていない^{注1)}。

建築物の安全性に関する研究は数多く、また一定の成果をあげているが、まだ十分とはいえない。避難安全性に有効な対策として水平避難区画や避難バルコニーの設置などがあるが、建築基準法や消防法等によって規定されていない、あるいは防災計画手法として一般化していない事項に対しては、設計者の経験と勘に頼っているのが現実である。

本章では、建物の室内をネットワークでモデル化し、ネットワークの信頼度に避難距離の概念を導入した避難安全性の評価手法の開発を目的とする。

4.1.1 既往の研究

避難安全性に関する研究は数多くあるが、ここでは本研究と関連が深いと判断される研究について整理する。代表的な既往の研究としては、建設省の住宅防火安全性能評価法¹⁾がある。また、ネットワークに関する指数をまとめて地下街の分析を行った高木らの研究²⁾、ニューラルネットワークモデルを用いてウエイトの自動修正を行うシステムを提案する青木らの研究³⁾、避難危険度概念をネットワークに適用した岡田らの研究⁴⁾、避難経路の明決さの定量的評価を試みた吉村の研究^{5), 6), 7)}などがある。

文献 1、5、6、7 は、ネットワークの同一辺上であれば、避難距離による辺の信頼度が、どの部分でも一律としているが、現実には避難距離が長くなるほど障害物や維持管理の不完全さにより信頼度が低下する(信頼度の距離減衰)。また、文献 2、3、4 は、避難距離を安全性評価の一つの要素とし、距離による信頼度の変化を線形として扱っている。本研究は、4.3.1 で後述する理由により、距離による信頼度が指数関数的に低下すると仮定している^{注2)}。

4.1.2 研究の方法

まず、建物の避難経路の平面形状と避難施設の位置のつながりをネットワークで表現し、避難経路の信頼性の定量的な評価手法を示し、その適用性を確認する。

次に、その結果を踏まえ、単純なネットワークモデルを対象に、避難経路の連結形態と避難施設の位置、ネットワークの規模の差の影響を調べるためにケーススタディを行い、評価方法の計画への適用性を検討する。

本研究は、建設省の住宅防火安全性能評価法に基づく避難安全性の定量的な評価の研究⁸⁾に、距離により信頼度が指数的に低下すると仮定した距離減衰の影響を考慮する点に新規性がある。

4.2 信頼度の定義とネットワーク信頼度の計算方法

4.2.1 信頼度の定義

第3章で述べたように、信頼性工学やシステムエンジニアリングの分野では、信頼度を「対象になる製品が規定された条件の下で、決まった時間、所定の機能を発揮する確率」と定義している^{9),10)}。これをふまえて、本研究での信頼度を「災害の発生時、避難開始場所から安全な避難場所までの避難経路が確保される確率」と定義する。ここでいう「避難経路の確保」の程度は、避難距離および経路上の扉の形式・仕様・管理状態、経路上の放置物による廊下の有効幅員の減少による避難障害、避難経路の形態および避難施設の配置などに依存する。

4.2.2 建築空間のネットワークモデル化

建物の物理的な側面を定量的に表現するために、建築空間を平面上の空間の配置と空間の連結性を、頂点と辺とから成るネットワークにモデル化する(図4-1)^{注3)}。ネットワークモデルの避難経路は、任意の頂点を避難開始頂点(○で示す頂点。建物内で、要避難者が存在しうる空間の平面を代表する)としてそこから避難を開始し、避難施設頂点(●で示す頂点。避難階段や避難バルコニーを代表する)を終点として、避難経路として考えられる全ての経路(ただし、同じ頂点は一度しか通らない)を想定してネットワーク信頼度の計算を行う。この全ての避難経路をマトリックスで表したものを、パスマトリックス^{注4)}とする。

また、第3章に述べたように、建築物の平面をネットワークモデル化する時、避難経路の辺(図4-1の $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7$)が持っている信頼度を辺の信頼度 $r(e_k)$ ($k=1, 2, 3, \dots, n$)とし、任意の出発頂点から到着頂点までの避難経路として考えられる全ての移動経路(ただし、同じ頂点は一度しか通らない)上の全ての辺の信頼度を考慮して計算した合成信頼度をネットワーク信頼度 R_{ij} と定義する。

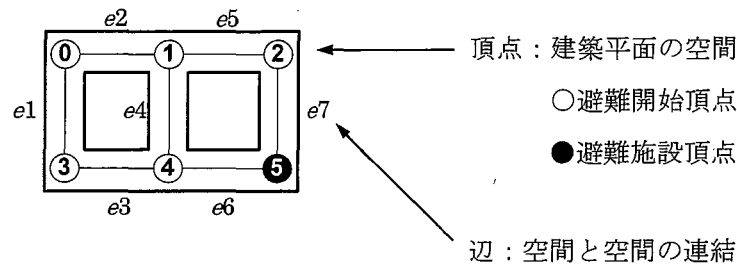


図 4-1 建築空間のネットワークモデル化

4.2.3 ネットワーク信頼度の計算方法と種類

ネットワーク信頼度 R_{ij} の計算方法は、建設省の住宅防火安全性能評価法を基にしている。評価法は、各頂点間の経路に 0～1 の信頼度を与えて、ネットワーク全体の信頼度を算出するものである。ネットワークの信頼度は、辺の信頼度を基にして

$$\text{①経路 } i, j \text{ が直列のとき} \quad R_{ij} = r_i \times r_j \quad (1)$$

$$\text{②経路 } i, j \text{ が並列のとき} \quad R_{ij} = 1 - (1 - r_i)(1 - r_j) \quad (2)$$

で求まることを考慮して順次計算していく。しかし、ネットワークモデルが複雑で、式(1)と式(2)では計算ができない場合は、「確率の加法定理」^{註5)}により各辺の信頼度を合成する。

ネットワーク信頼度の計算は、ネットワークを構成する全ての辺が通行可能な場合(計算 1)と、特定辺が通行不可能な場合(計算 2)の二つの場合を行う。計算 1 により求められたネットワーク信頼度を代表値^{註6)}と称する。ネットワークの代表値は、他のネットワークモデルと安全性の優 劣を評価する指標となる。また、計算 2 により求められたネットワーク信頼度の値の比較から避難時にネックになる辺を検出する。

ネットワークの避難経路と辺の信頼度を、それぞれパスマトリックスと辺の信頼度マトリックス^{註7)}としてデータ化し、これを計算プログラムから呼び出して入力すれば、自動的にネットワーク信頼度が計算され結果ファイルに出力される。使用言語は普遍性と拡張性に優れる C 言語である。また、データの入力の誤りのチェックが可能であり、結果のフィードバックも容易に対応できるようにしている。

4.3 避難距離と辺の信頼度の関係

建設省の住宅防火安全性能評価法で紹介しているネットワーク上の任意の2頂点間のネットワーク信頼度の計算は、住宅等の小規模の建築物を対象にしているので、避難距離による辺の信頼度の低下を考慮せず、避難経路上の「扉の通過」などの避難障害のみが避難経路の信頼度を左右するとしている。しかし、1本の辺が長くなるネットワークに適用するためには、避難距離による辺の信頼度の低下を無視できない。また、この方法は、各辺の信頼度が1未満では、ネットワーク上に頂点を付け加えるごとにネットワーク信頼度が低下するという矛盾がある。このような問題点を解決するため、

[条件 1] 相似のネットワーク^{注 8)}の規模が大きくなればネットワーク信頼度が低下する。

[条件 2] ネットワークの辺上に頂点を付加してもその辺の信頼度は変化せず、またネットワーク信頼度も変化しない。

という二つの条件を満足させる辺の信頼度の変化関数を検討する。

4.3.1 避難距離によって低下する辺の信頼度関数の提案と検討

条件 1 を満たすためには、単調減少関数でなければならない。また、条件 2 を満たす関数は、距離 L の二つの頂点 A、B 間の経路信頼度を $R(L)$ とすると、 I_1 と I_2 を任意に分割する頂点 $C(L = I_1 + I_2)$ を介する信頼度は

$$R_1 \times R_2 = R(I_1) \times R(I_2) = R(I_1 + I_2) = R(L)$$

でなければならない(図 4-2)。これを満たす単調減少関数としては、指数関数がある。

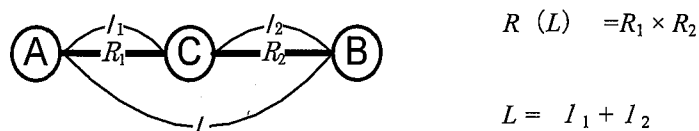


図 4-2 辺の信頼度と距離の関係

次に、辺の信頼度を導出するため、基準距離 d_0 を決める。ここでは、建築基準法による直通階段までの歩行距離の最大値である 60m とする($d_0=60\text{m}$)。 d_0 に対する辺の信頼度を基準辺の信頼度 r_0 ($0 \leq r_0 < 1$) とすると、避難距離 d に対する辺の信頼度 $R(d)$ は、

$$r(d) = r_0^{d/d_0} \quad (3)$$

と表される。 $r_0=1$ のとき、 $R(d)=1$ である。

図 4-3 に、基準辺の信頼度 r_0 を 0.1 から 0.9 まで 0.1 刻みで変化させた場合の距離による辺の信頼度の低下を示す。これより、 r_0 が小さいほど初期の信頼度の低下割合が大きい(微分係数が小さい)ことがわかる。

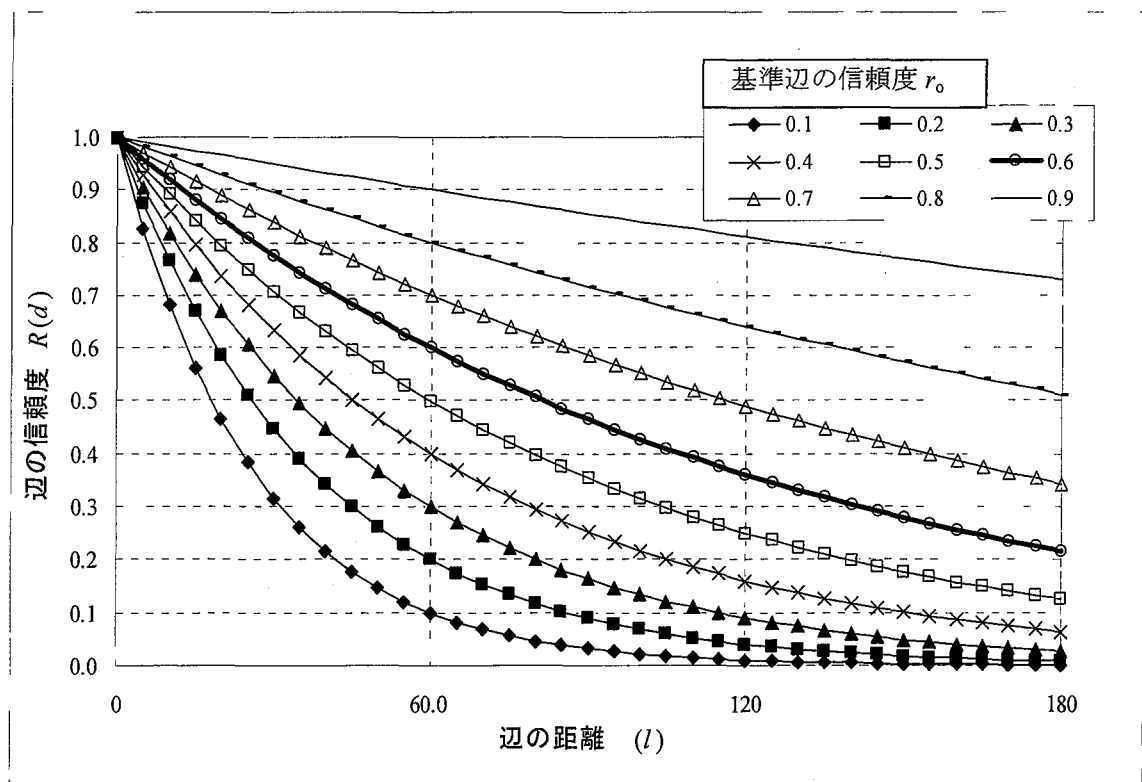


図 4-3 避難距離による辺の信頼度の低下 ($d_0=60\text{m}$)

4.3.2 辺の信頼度低下関数に関する理論的な考察

経路上に障害物がなく通過可能な確率を $r(x)$ とする。このとき、以下の仮定が成り立つとする。

[仮定1] 距離 x を移動した以降の経路での障害発生現象は距離 x まで過去の現象と独立である。

[仮定2] 任意の距離 x と $x+\Delta x$ の間の障害発生確率は、どの距離 x においても同一である。

このとき、 $r(x) = \theta^x$ ($0 < \theta < 1$) が得られる。ここで、正のパラメータ λ を導入することで、 $\theta = e^{-\lambda}$ と表記できるので、 $r(x) = e^{-\lambda x}$ となる。これは、指数関数であり、数学的に式(3)と同等である^{注9)}。

図4-4のModel 1、Model 2を用いて、距離による辺の信頼度の低下を考慮しない場合と考慮する場合のネットワーク信頼度の変化を比較する。Model 1とModel 2は、各モデルの頂点0と n の間の任意の位置に0側から $n-1$ 個の頂点を順次付加したもので、全体の長さ L は同じである。Model 1は $R_i=1$ 、Model 2は $0 < R_i < 1$ である。

Model 2に示すように、頂点0と n 間の距離 L のネットワーク信頼度を $R(L)$ とすると、頂点0と頂点 n 間に頂点を付加していくと、ネットワークの信頼度が確率の加法定理により階段状に低くなっていく(図4-4のA)。頂点を付加するほど $\prod R(l_i)$ が小さくなり、付加する頂点数が多くなるほど $R(L)$ と $\prod R(l_i)$ の差が拡大するが、Model 1のように各辺の信頼度が全て1の場合は頂点を付加しても、ネットワークの信頼度は変わらない。しかし、現実には辺の信頼度が1にはならないので、以下本研究では対象外とする。

図4-4のBは、式(3)の指数関数にすると、任意の頂点を付加しても常に $\prod R(l_i) = R(L)$ が成り立つことを示している。これは、頂点0と n の間に頂点を付加しても辺の信頼度は影響を受けないことを意味する。指数関数は、避難距離を考慮した辺の信頼度変化をいかして、建築物の避難安全性を評価できる点で、より合理的な評価関数とみなせる。

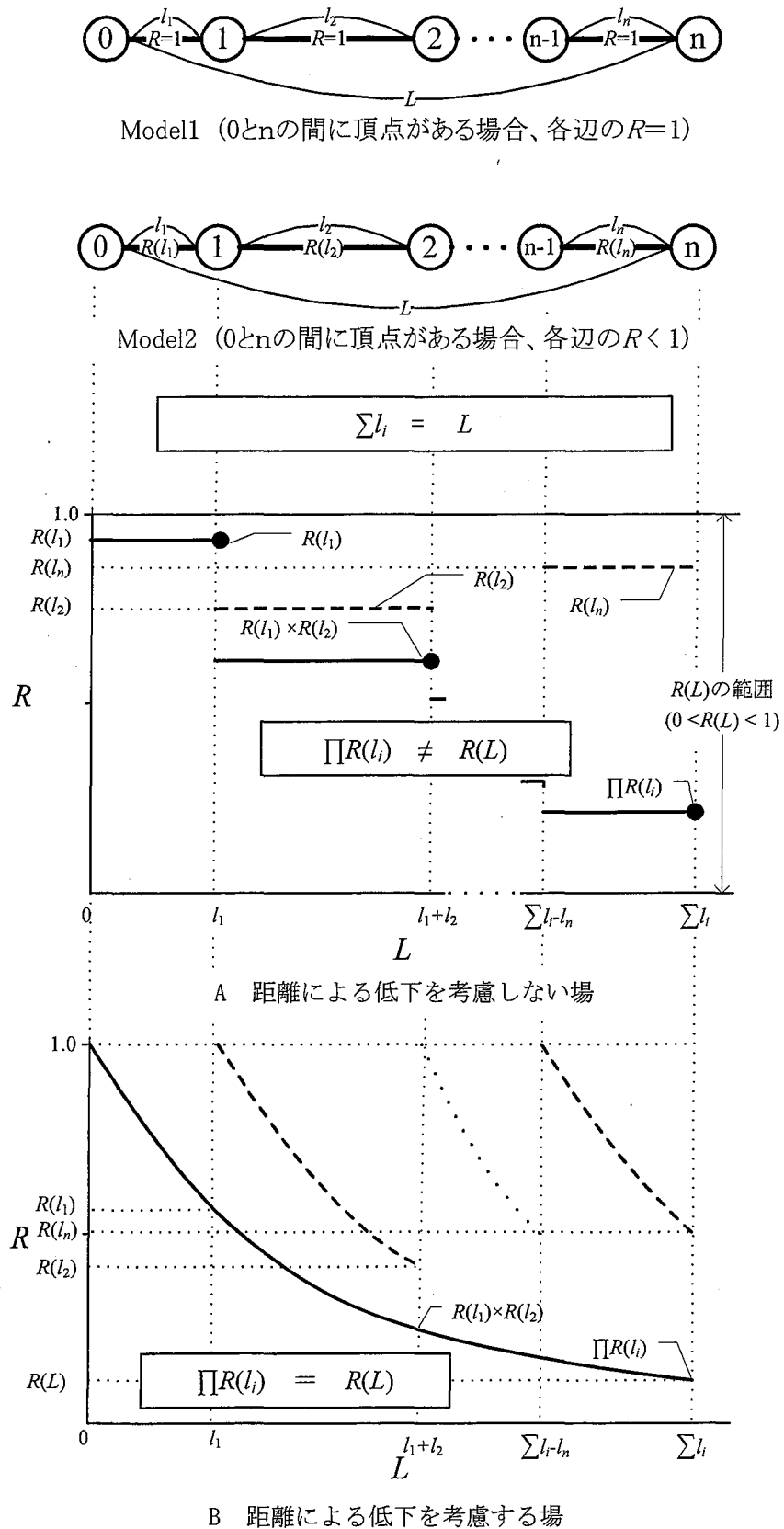


図 4-4 避難距離の考慮有無によるネットワーク信頼度の変化

4.4 ネットワークモデルを用いた避難安全性の検討

4.4.1 規模によるネットワーク信頼度への影響の比較

ここでは、単純なネットワークモデルを用いて、規模によるネットワーク信頼度の変化の傾向を確認する。

計算に使われるネットワークモデルは、同じ長さの辺を組み合わせて頂点が 2×3 の単純な正方格子のネットワークモデル(2×3Model)を利用する(図 4-5)。このモデルの頂点 0 から頂点 5 までの避難経路として通行可能な全ての経路を考慮し(ただし、同じ頂点は1度しか通らない)、元の規模から辺の長さを $n(\geq 1)$ 倍したときのネットワーク信頼度の変化を考察する(d_0 は図 4-3 と同じく、 $d_0=60\text{m}$ とする)。また、 r_0 は距離による信頼度の低下がとらえやすいよう、 $r_0=0.6$ とする。

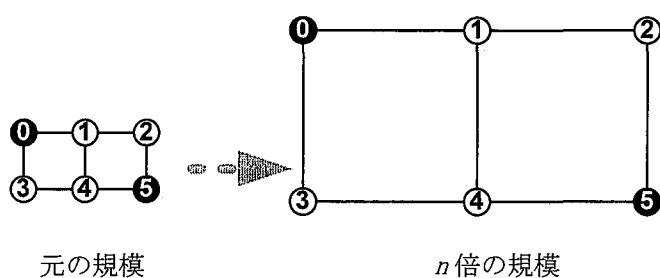


図 4-5 規模の差を示すネットワークモデル(2×3 モデル)

図 4-6 に、ネットワークモデルの規模の変化による 0~5 間のネットワーク信頼度の変化を示す。ネットワーク信頼度が片側正規分布状に低下していることが分かる。この図は、同じ形態のネットワークモデルであっても、規模の拡大によってネットワーク信頼度がどのように低下するかを表している。

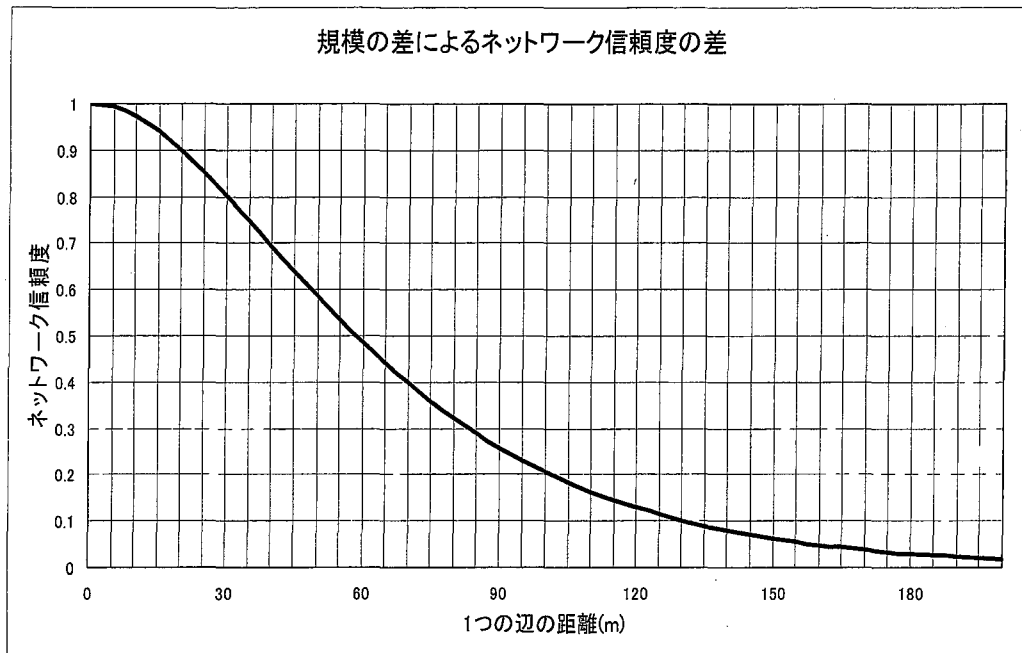


図 4-6 規模の差によるネットワーク信頼度の差

4.4.2 避難経路の形態と避難施設の配置に対する検討

ここでは、図 4-7 に示す 3 種類のネットワークモデル^{注 10)}を用いて避難経路の形態別ネットワーク信頼度の変化の計算を行う。また、このネットワークモデルの避難施設頂点(●で示す頂点)の位置を図 4-8 と図 4-9 のように変化させてネットワーク信頼度の変化をみる。

なお、計算を容易にするため、ここでは各辺の長さを全て l_i 、辺の信頼度 $R(l_i)$ は全て 0.8 とする。

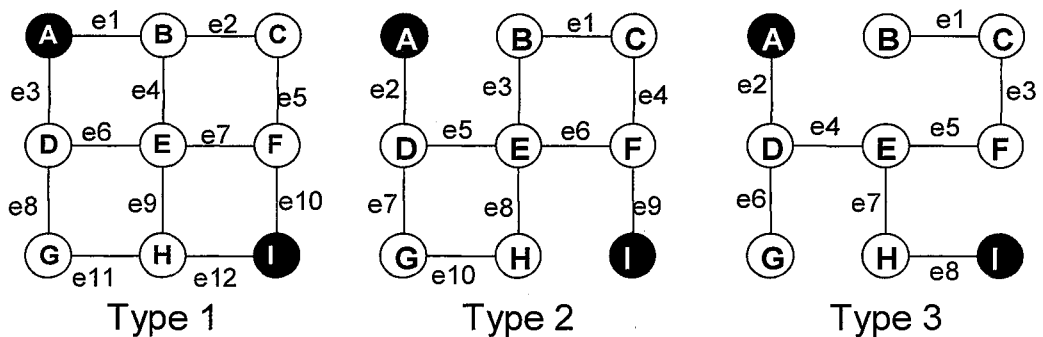


図 4-7 避難経路の信頼度検討のための 3 種類のネットワークモデル

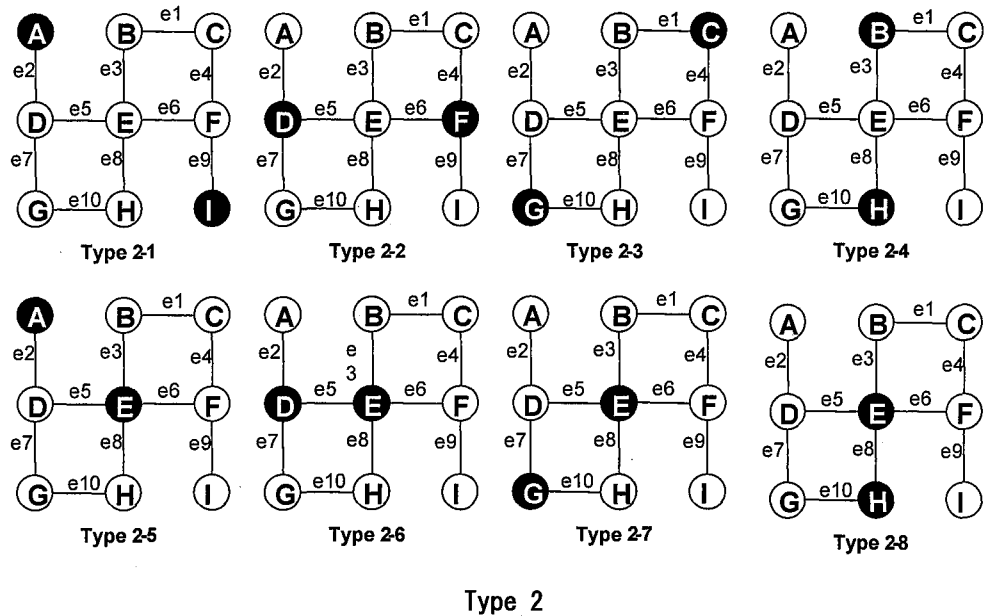
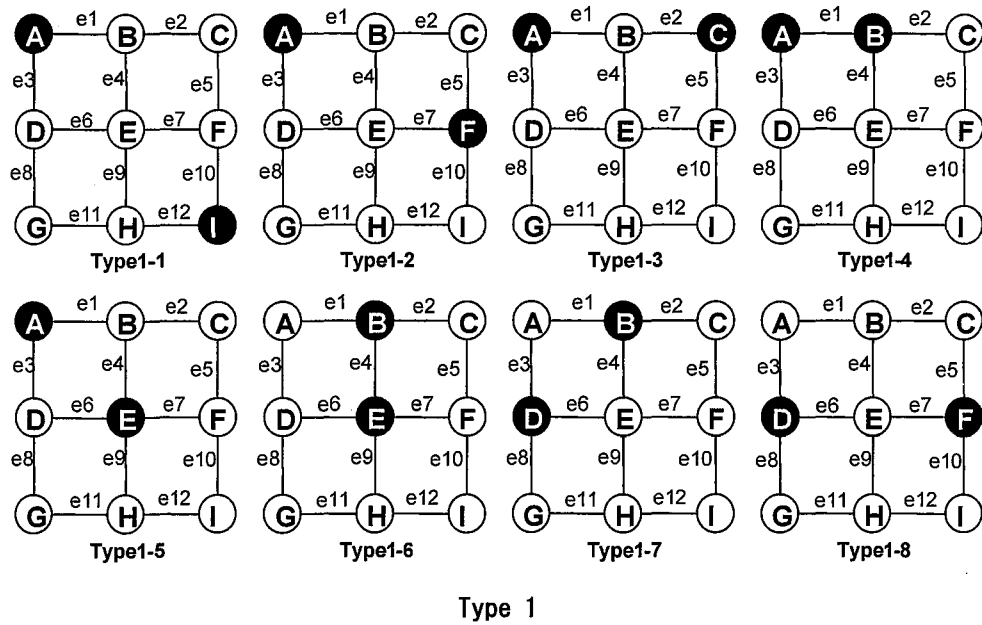


図 4-8 各 Type モデルの避難施設の位置変化

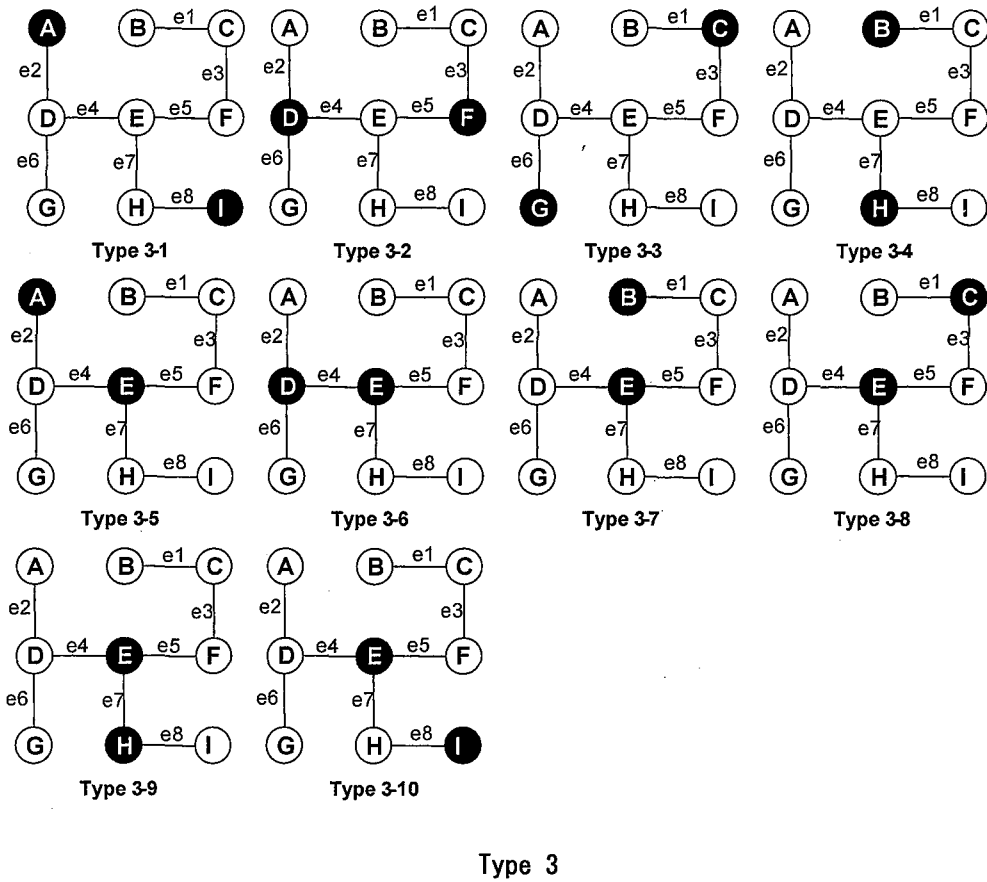


図 4-9 各 Type モデルの避難施設の位置変化

(1) 避難経路の形態別ネットワーク信頼度の変化

ネットワークモデルの形態別ネットワーク信頼度を比較分析することで、より避難安全性に有利な避難経路の形状と避難施設配置の傾向をみる。ここでは、避難経路として現実的な Type1(完全回路型)、Type2(中間型)、Type3(ツリー型)の3種類のネットワークモデル(図 4-7)を用いてネットワーク信頼度の計算を行い、その結果を考察する。

表 4-1、表 4-2、表 4-3 に Type1、Type2、Type3 のネットワーク信頼度計算の結果の一例を示す。計算結果の表現は全ての結果データを、行を通行不可辺、列を避難開始頂点としてマトリックスで表し、それらをレーダーチャートで表すことで、全体のバランスを視覚的に表現している(図 4-10、図 4-11、図 4-12)。

各モデルの最大代表値^{注 11)}は Type1 が 0.990624、Type2 が 0.930292、Type3 が 0.9024 である。

表 4-1 Type1 のネットワーク信頼度の変化

		避難開始頂点									
Type 1		B	C	D	E	F	G	H	最大値	最小値	平均
代表値		0.980189	0.942012	0.980188	0.990624	0.980189	0.942012	0.980189	0.990624	0.942012	0.970772
通行不可辺	e1	0.900942	0.897640	0.971976	0.973073	0.963004	0.934217	0.971976	0.973073	0.897640	0.944690
	e2	0.954423	0.763538	0.978704	0.987451	0.954423	0.940603	0.978704	0.987451	0.763538	0.936835
	e3	0.971976	0.934217	0.900942	0.973074	0.971976	0.897641	0.963004	0.973074	0.897641	0.944690
	e4	0.920897	0.912018	0.971976	0.973073	0.972920	0.934217	0.971976	0.973073	0.912018	0.951011
	e5	0.954423	0.763538	0.978704	0.987451	0.954423	0.940603	0.978704	0.987451	0.763538	0.936835
	e6	0.971976	0.934217	0.920897	0.973073	0.971976	0.912018	0.972920	0.973073	0.912018	0.951011
	e7	0.972920	0.912018	0.971976	0.973073	0.920897	0.934216	0.971976	0.973073	0.912018	0.951011
	e8	0.978704	0.940603	0.954423	0.987451	0.978704	0.763538	0.954423	0.987451	0.763538	0.936835
	e9	0.971976	0.934217	0.972920	0.973073	0.971976	0.912018	0.920897	0.973073	0.912018	0.951011
	e10	0.963004	0.897640	0.971976	0.973073	0.900942	0.934216	0.971976	0.973073	0.897640	0.944690
	e11	0.978704	0.940603	0.954423	0.987451	0.978704	0.763538	0.954423	0.987451	0.763538	0.936835
	e12	0.971976	0.934217	0.963004	0.973073	0.971976	0.897640	0.900942	0.973073	0.897640	0.944690
最大値		0.978704	0.940603	0.978704	0.987451	0.978704	0.940603	0.978704	最大代表値 0.990624 全平均 0.944179 最小値 0.763538		
最小値		0.900942	0.763538	0.900942	0.973073	0.900942	0.763538	0.900942			
平均		0.959327	0.897039	0.959327	0.977866	0.959327	0.897039	0.959327			
減少率		8.1	18.9	8.1	1.8	8.1	18.9	8.1			

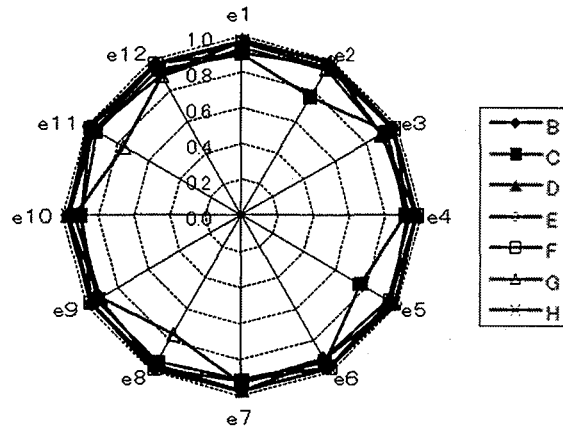


図 4-10 Type1 のネットワーク信頼度の変化

表 4-2 Type2 のネットワーク信頼度の変化

		避難開始頂点									
Type 2	B	C	D	E	F	G	H	最大値	最小値	平均	
代表値	0.859878	0.862377	0.930292	0.922672	0.930292	0.862377	0.859878	0.930292	0.859878	0.889681	
通行不可辺	e1	0.719913	0.732406	0.915507	0.899891	0.915507	0.846438	0.841318	0.915507	0.719913	0.838711
	e2	0.696320	0.721920	0.651461	0.721920	0.800000	0.628359	0.651461	0.800000	0.628359	0.695920
	e3	0.585925	0.732406	0.915507	0.899891	0.915507	0.846438	0.841318	0.915507	0.585925	0.819570
	e4	0.719913	0.575930	0.915507	0.899891	0.915507	0.846438	0.841318	0.915507	0.575930	0.816358
	e5	0.789119	0.801612	0.873925	0.835822	0.873925	0.806330	0.793838	0.873925	0.789119	0.824939
	e6	0.793838	0.806330	0.873925	0.835822	0.873925	0.801612	0.789119	0.873925	0.789119	0.824939
	e7	0.841318	0.846439	0.915507	0.899891	0.915507	0.575930	0.719913	0.915507	0.575930	0.816358
	e8	0.841318	0.846439	0.915507	0.899891	0.915507	0.732406	0.585925	0.915507	0.585925	0.819570
	e9	0.651461	0.628359	0.800000	0.721920	0.651461	0.721920	0.696320	0.800000	0.628359	0.695920
	e10	0.841318	0.846439	0.915507	0.899891	0.915507	0.732406	0.719913	0.915507	0.719913	0.838712
最大値	0.841318	0.846439	0.915507	0.899891	0.915507	0.846438	0.841318	最大代表値 0.930292 全平均 0.799100 最小値 0.575930			
最小値	0.585925	0.575930	0.651461	0.721920	0.651461	0.575930	0.585925				
平均	0.748044	0.753828	0.869235	0.851483	0.869235	0.753828	0.748044				
減少率	31.9	33.2	30.0	21.8	30.0	33.2	31.9				

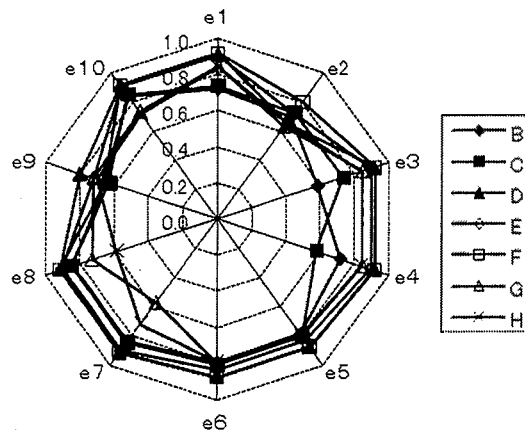


図 4-11 Type2 のネットワーク信頼度の変化

表 4-3 Type3 のネットワーク信頼度の変化

		避難開始頂点									
Type 3	B	C	D	E	F	G	H	最大値	最小置	平均	
代表値	0.445645	0.557056	0.902400	0.870400	0.696320	0.721920	0.902400	0.902400	0.445645	0.728020	
通行不可辺	e1	0.000000	0.557056	0.902400	0.870400	0.696320	0.721920	0.902400	0.902400	0.000000	0.664357
	e2	0.327680	0.409600	0.512000	0.640000	0.512000	0.409600	0.800000	0.800000	0.327680	0.515840
	e3	0.000000	0.000000	0.902400	0.870400	0.696320	0.721920	0.902400	0.902400	0.000000	0.584777
	e4	0.327680	0.409600	0.800000	0.640000	0.512000	0.640000	0.800000	0.800000	0.327680	0.589897
	e5	0.000000	0.000000	0.902400	0.870400	0.000000	0.721920	0.902400	0.902400	0.000000	0.485303
	e6	0.445645	0.557056	0.902400	0.870400	0.696320	0.000000	0.902400	0.902400	0.000000	0.624889
	e7	0.327680	0.409600	0.800000	0.640000	0.512000	0.640000	0.800000	0.800000	0.327680	0.589897
	e8	0.327680	0.409600	0.800000	0.640000	0.512000	0.640000	0.512000	0.800000	0.327680	0.548754
最大値	0.445645	0.557056	0.902400	0.870400	0.696320	0.721920	0.902400	最大代表値 0.902400 全平均 0.575464 最小置 0.000000			
最小置	0.000000	0.000000	0.512000	0.640000	0.000000	0.000000	0.512000				
平均	0.219546	0.344064	0.815200	0.755200	0.517120	0.561920	0.815200				
減少率	100.0	100.0	43.3	26.5	100.0	100.0	43.3				

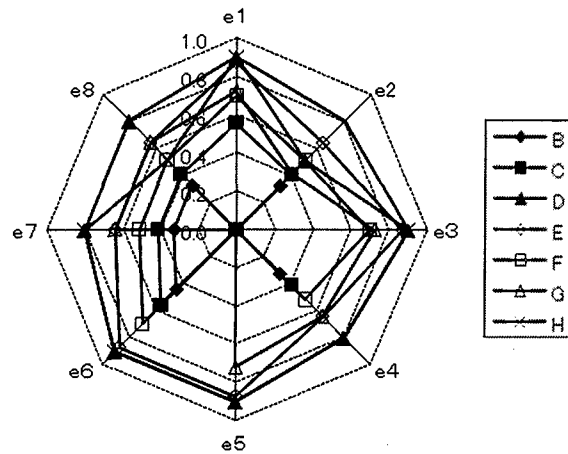


図 4-12 Type3 のネットワーク信頼度の変化

また、通行不可辺の発生によるネットワーク信頼度の変化をみると、Type3 は頂点 B、C、F、G のように二方向避難が確保できない頂点からは、辺 e1、e3、e5、e6 が通行不可のときに、避難施設に避難することができなくなる(ネットワーク信頼度=0 となる)ことが分かる。また、ネットワークの経路上に直列的要素¹²⁾が多いほどネットワーク信頼度が小さくなるので、Type2 は Type1 より全体的に安全性が低くなっている。Type1 は全ての頂点においてネットワーク信頼度の値が大きく、レーダーチャートの形状が正多角形に近い。これは全ての頂点において、接続する辺が 2 本以上あること、また避難施設頂点に 2 方向から逃げ込めるようになっているためと考えられる。実際の建築平面において避難施設に 2 方向から逃げ込めるような計画は少ないが、可能であるならば避難施設への進入口を 2 ヶ所設ける(例えば、避難階段への進入口を廊下の側と、外部のバルコニー側からの 2 ヶ所に設ける)ことで、全体の避難経路の信頼度を高めることができる可能性を示している。

(2) 避難施設の位置変化によるネットワーク信頼度の変化

図 4-8 と図 4-9 に示すように、Type1・Type2・Type3 の各々のモデルから避難施設の位置を変化させて Type1 から 8 個、Type2 から 8 個、Type3 から 10 個の計 26 個の配置パターンを作り、各モデルのネットワーク信頼度の計算を行い、その結果を比較する。

比較項目は、最大代表値、全平均¹³⁾、最小値¹⁴⁾を基本にし、これで判断が立たない場合は最小減少率¹⁵⁾と最大減少率¹⁵⁾も比較項目に加える(表 4-4)。

表 4-4 に、Type1-1 から Type3-10 の最大代表値・全平均・最小値などの一覧を示す。この中からそれぞれの項目についてよい値、悪い値の上位 3 位までをピックアップした。その結果、Type1-1 と Type1-8 が相対的に評価が高く、Type1-4 と Type1-6 が相対的に評価が低いという結果が得られた。次いで、Type2-2、Type2-3、Type3-2、Type3-5、Type3-8、Type3-10 が相対的に評価が高く、Type2-6、Type2-8、Type3-6、Type3-9 が相対的に評価が低いという結果が得られた。

相対的に評価が高いネットワークモデルは、避難施設がバランスよく配置されており、相対的に評価が低いネットワークモデルは、避難施設の配置に偏りがみられ、また、偏りが著しいものほど信頼度が低くなっている。避難施設の配置に偏りがある場合、複数の避難経路があっても、直列的な要素が多くなるため、結果として避難経路のネットワーク信頼度が低くなる。このことは、ネットワーク信頼度を高めるためには、単に避難施設を増やすだけではなく、二つの避難施設に向かう避難経路の重複部分を少なくし、経路の冗長性を高める必要があることを示唆している。

表 4-4 Type3-10 の代表値・全平均・最小値

タイプ	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8
最大代表値	0.990624	0.993144	0.989606	0.977326	0.983504	0.970338	0.992362	0.996311
全平均	0.944179	0.937046	0.925847	0.900779	0.924638	0.913471	0.922682	0.932244
最小値	0.763538	0.728966	0.723166	0.695946	0.734503	0.734084	0.723452	0.739601
最小減少率	1.8	2.8	4.2	9.3	6.7	12.2	3.1	1.5
最大減少率	18.9	22.9	22.0	25.9	21.7	22.5	23.4	22.0

タイプ	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
最大代表値	0.930292	0.990474	0.983204	0.990474	0.980480	0.928000	0.960000	0.928000
全平均	0.799100	0.839006	0.843539	0.808843	0.815634	0.792960	0.794149	0.772754
最小値	0.575930	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
最小減少率	21.8	3.8	3.0	3.8	8.0	26.5	16.7	26.5
最大減少率	33.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

タイプ	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8
最大代表値	0.902400	0.960000	0.902400	0.902400	0.960000	0.800000	0.928000	0.960000
全平均	0.575464	0.653600	0.644101	0.628887	0.605714	0.582857	0.651429	0.637143
最小値	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
最小減少率	26.5	16.7	26.5	26.5	16.7	100.0	31.0	16.7
最大減少率	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

タイプ	3-9	3-10
最大代表値	0.800000	0.960000
全平均	0.551429	0.582857
最小値	0.0	0.0
最小減少率	100.0	16.7
最大減少率	100.0	100

値の上位3位

値の下位3位

4.5 まとめ

頂点を付加しても辺の信頼度が変化しない、避難距離による辺の信頼度の低下を表す関数としての指数関数の妥当性を理論的に検討した。次に、単純なネットワークモデルを用いて以下のことを確認した。

- (1) 辺の信頼度の距離減衰を考慮することで、建物平面の規模によるネットワークの信頼度が片側正規分布状に変化する。
- (2) 避難経路のネットワーク信頼度を高めるためには、Type 1(完全回路型)のように避難経路をサイクル状に構成して冗長性を高めること、また避難施設をバランスよく配置することが有利である。
- (3) 避難開始頂点に繋がっている辺が通行不可になることがネットワーク信頼度の低下に最も大きい影響を及ぼす。

今後の課題としては、以下のことが考えられる。

- (1) 本章の結果は、常識的な判断とよく一致するが、より大規模かつ複雑なネットワークでも一致するか否かを検証する必要がある。
- (2) 本報で使うモデルは一種のパラメータスタディであるため、より一般性のあるネットワークモデルを用いて、より多くのパターンにおける評価を行う必要がある。
- (3) 本章は、避難経路の信頼度が避難距離のみに依存して減衰すると仮定しているが、実際の避難経路の信頼度は、避難距離に依存しない要因(扉の形式・仕様・施錠管理の状況、通路床面の段差、避難者の特性等)にも左右されるが、本章では考慮していない。

■ 注

- 注 1) 総務省統計局・統計研究所の資料によると、平成 8 年から平成 15 年の間に火災発生件数は少々減少しているが、火災による死亡者の数は逆に増加している。
- 注 2) 図 4-3 からわかるように、通常の建物内避難距離である 60m（建築基準法による歩行距離の最大値）以内であれば、避難距離による信頼度の低下は基準辺の信頼度が高くなるほど文献 2、3、4 で用いられている線形に近似される。
- 注 3) 図 4-1 は、避難経路としての廊下のみをモデル化したものである。実際の建築平面のモデル化においては、各室間を代表する頂点が廊下の辺から枝分かれする。
- 注 4) 第 3 章の 3.4.2 のネットワーク信頼度の計算過程部分を参照。
- 注 5) 第 3 章の 3.4.2 の確率の加法定理に関する部分を参照。
- 注 6) 代表値：ネットワークモデルの全ての辺が通行可能である場合のネットワーク信頼度。
- 注 7) 信頼度マトリックス：ネットワーク信頼度の計算過程で、各辺の信頼度をマトリックスで示したもの。
- 注 8) 図 4-5 のように頂点の数・連結状況は同じであるが、規模が違うネットワークを、ここでは相似と呼ぶ。
- 注 9) この部分は主として「建築計画・都市計画の数学」¹¹⁾、及び東京工業大学の青木義次教授に御教示いただいた内容に基づいている。

移動中に経路上に障害物がなく順調に通行可能な確率を $r(x)$ とする。このとき、以下の仮定が成立していると思える。

仮定 1：距離 x を移動した以降の経路での障害発生現象は距離 x まで過去の現象と独立である。

仮定 2：任意の距離 x と $x+\Delta x$ の間の障害発生確率は、どの距離 x においても同一である。

以上の仮定のもとで通行可能確率 $r(x)$ が導出できる。

まず、1 単位距離を n 等分する。このとき、間隔 $1/n$ の任意の区間での通行可能確率 $r(1/n)$ は、仮定 2 より、どこでも等しく、仮定 1 より、各区間での現象は独立事象とみなせるので、 n 個に分割された単位距離での通行可能確率 $r(1)$ は、

$$r(1) = (r(1/n))^n \quad (4)$$

となる。ここで、単位距離での障害が発生しない確率を θ とおく。

つまり、

$$r(1) = \theta \quad (0 \leq \theta \leq 1) \quad (5)$$

とおくと、

$$r(1/n) = \theta^{1/n} \quad (6)$$

が得られる。上記の単位距離の代わりに距離 k を n 等分して同様の議論をするこ
とで、

$$r(k/n) = (r(1/n))^k = \theta^{k/n} \quad (7)$$

を得る。ここで通行可能確率 $r(x)$ は距離 x について非増加関数であることから、

$$(k-1)/n < x < k/n$$

なる距離 x について、

$$r((k-1)/n) \geq r(x) \geq r(k/n)$$

を満足している。つまり、

$$\theta^{(k-1)/n} \geq r(x) \geq \theta^{k/n}$$

が成立しており、分割数 n が無限大に近づくとき k/n と $(k-1)/n$ はともに x に近づ
く。したがって、上式の右辺、左辺はともに θ^x に収斂する。したがって、

$$r(x) = \theta^x \quad (8)$$

が得られる。

ここで、 $\theta = 0$ のとき、通行障害が一切発生しないことを意味し、 $\theta = 1$ のとき、
通行障害が必ず発生する通行不可能なルートの意味する。両ケースともにわれわ
れの検討対象から除外してよいので、ここで、 $\theta = 1$ のとき、通行障害が一切発
生しないことを意味し、 $\theta = 0$ のとき、通行障害が必ず発生する通行不可能なル
ートを意味する。両ケースともにわれわれの検討対象から除外してよいので、

$$0 < \theta < 1 \quad (9)$$

q と考えてよい。このとき、正のパラメータ λ を導入して、

$$\theta = e^{-\lambda} \quad (10)$$

と表記できるので、式(6)は、以下のように表すことができる。

$$r(x) = e^{-\lambda x} \quad (11)$$

得られた結果(11)は、式(3)と数学的に同等であるが、ここでの議論の方が、ど
のような仮定のもとで成立しているかが明快で、パラメータの意味が分かりやす
いように思われる。

注 10) 図 4-7 のモデルは、Type1 が建物平面の全ての避難経路上から二方向避難が可能
な完全回路型、Type3 が袋小路のみで構成されたツリー型、Type2 が一部袋小路
を含んでいる中間型を表している。これらは、実在する建物の避難経路として使
われている平面形態を調査し、トポロジ的な空間の繋がり方という視点から分
類している論文¹²⁾を参考にして作成した。

注 11) 最大代表値：ネットワーク信頼度の代表値の中で最大の値。

注 12) ここでいう直列的要素とは、二つの避難施設に向かう避難経路に重複する辺が多
いことを意味する。

注 13) 全平均値：各々モデルのネットワーク信頼度の変化表(本文の表 4-1、表 4-2、表 4-3)で、各々避難開始頂点数 m 、通行不可辺数 n のとき、 $m \times n$ のネットワーク信頼度の平均値。

注 14) 最小値：ネットワーク信頼度の変化表で、ネットワーク信頼度の最小値。

注 15) ネットワーク信頼度の(最大値－最小値)/最大値 $\times 100\%$ の最小値と最大値。

■ 参考文献

- 1) 日本建築学会編：安全計画Ⅱ 安全性の評価方法、彰国社、pp.28-35、1987.10
- 2) 高木幹朗、谷口汎邦、金 鍾石：グラフ・ネットワーク指数の検討とその適用による地下街街路構成の分析、日本建築学会計画系論文集、第 422 号、pp.37-44、1991.4
- 3) 青木義次、藤井晴行、木下芳郎：防災計画についてのエキスパートジャッジのモデル化、日本建築学会計画系論文集、第 546 号、pp.149-154、2001.8
- 4) 岡田成幸、黒田誠宏：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 563 号、pp.83-89、2003.1
- 5) 吉村英祐：迷路状空間からの脱出しやすさの計量化について 建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その 1、日本建築学会計画系論文集、第 375 号、pp.49-56、1987.5
- 6) 吉村英祐：目標計画法による避難施設配置の有効性の定量的評価法について 建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その 2、日本建築学会計画系論文報告集、第 403 号、pp.9-20、1989.9
- 7) 吉村英祐：階層分析による評価指標の重みの推定に基づく建築平面の避難安全性の定量的評価について、建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その 3、日本建築学会計画系論文報告集、第 437 号、pp.87-96、1992.7
- 8) 横田 郁、柏原士郎、吉村英祐、横田隆司、阪田弘一：「避難経路の信頼度」を用いた避難経路の冗長性の定量的評価について、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 40 号・計画系、pp.213-216、2000.3
- 9) 三根 久、河合 一：信頼度・保全性の基礎数理、日科技連出版社、p.2、1984.2
- 10) 近藤次郎：システム工学、丸善、pp.157-196、1970.8
- 11) 青木義次：建築計画・都市計画の数学、数理工学社、pp.9-12、2006.1
- 12) 吉村英祐：二方向避難からみた建物内避難経路形状と避難施設配置の関係について、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 27 号・計画系、pp.385-388、1986.5

第 5 章 避難障害による避難経路の信頼度の低下を考慮した
避難安全性の定量的な評価について

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

5.1 研究の背景と目的

第4章では、建物の避難安全性の評価手法として、避難距離による避難経路の信頼性の低下の概念を提示し、それに基づき、ネットワークでモデル化した平面における避難施設頂点の位置や各ネットワークの形状の連結性に対する避難安全性の評価手法の妥当性を検討した。

しかし、より現実に近い避難安全性の評価とするためには、距離以外の要素も考慮する必要がある。距離以外の要素としては、避難経路上の扉の通過、段差、廊下の有効幅、火災による熱や煙の拡散などによる避難障害がある。一般に、建築が大規模化・複合化するほど、施設管理のための扉や火災時の延焼防止や煙の拡散防止のための防火・防煙区画としての扉(防火扉、防煙扉、スクリーンシャッター、くぐり戸など)が必要になる。施設管理上の扉はセキュリティ上施錠されることが多く、また防火区画として設けられる扉も避難障害になる。

したがって、本章では上記の避難障害のうち、扉による障害を評価要素として加え、扉の存在がネットワーク信頼度にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることとともに、扉による信頼度の低下と等価な避難距離の増分をモデル的に示すことで、距離減衰と扉による避難障害の両方を同時に考慮した評価手法を新たに提案し、その妥当性と実効性を検討することを目的とする。

5.2 研究の方法

避難経路上に存在する扉を避難障害としてネットワーク信頼度の計算に考慮するため、扉による辺の信頼度の変化を理論的に考察した後、その概念をネットワーク信頼度の計算に適用する。また、単純ネットワークモデル^{注1)}を対象にしてネットワーク信頼度の計算を行い、結果の考察を通して評価手法の計画への適用性を検討する。

5.3 避難障害と辺の信頼度との関係

5.3.1 避難障害と通過信頼度

扉による避難障害(以下、避難障害)をネットワーク信頼度の計算に考慮するためには、避難障害を定量的に表す必要がある。ここでは、避難条件(避難者の避難能力及び避難形態)別の扉の通過可能率を通過信頼度(h , $0 \leq h \leq 1$)と定義する。通過信頼度は、同じ扉であっても健常者と車いす歩行者、年齢、体格により扉の通過可能率が異なる状況を考慮する点に特長がある。

志田弘二ら²⁾は病院を対象に患者の運動能力や移動形態を建物の火災危険度の評価に考慮している。村井裕樹ら³⁾は、安全な避難のための条件を「人的条件」、「建築条件」、「各種器具(避難器具等)条件」、「防災訓練での経験」にわけて調査及び考察を行っているが、このうち、「人的条件」と「建物条件」は、本研究でいう通過信頼度との関連が深い。なお、建築設計資料集成〔人間〕⁴⁾には、障害の程度による水平歩行速度と階段歩行速度が整理されている。

5.3.2 距離減衰と避難障害による辺の信頼度の変化

図 5-1 は、距離減衰のみを考慮する場合の辺の信頼度の変化(太い破線)と、距離減衰と扉の通過時の避難障害を同時に考慮する場合の辺の信頼度の変化(太い実線)の違いを表している。

扉を通過する間の移動距離は扉の厚み分であるが、これは避難施設までの距離に比べて十分小さいので、扉の通過による辺の信頼度は扉の前後で不連続的に変化するとみなすことができる。

頂点 1～2 間の避難経路上にある k 番目($k=1,2,\dots, n$)の扉の通過信頼度を $h_k(0 \leq h_k \leq 1)$ とすると、扉を通過した直後の地点での辺の信頼度は $R(\Sigma L_k)$ から $R(\Sigma L_k) \cdot h_k$ に不連続的に低下する。同様に、頂点 1 と頂点 2 の間の k 個の扉の通過による辺の信頼度低下は $R(L) \cdot \prod h_k$ である(図 5-1)。

図 5-1 より、地点 A の辺の信頼度は 1 番目の扉の通過により低下した辺の信頼度と同じ値であるが、これは扉の通過により距離減衰のみを考慮する場合と比べて $L_A - L_1$ だけ歩行距離が伸びることと同等である。

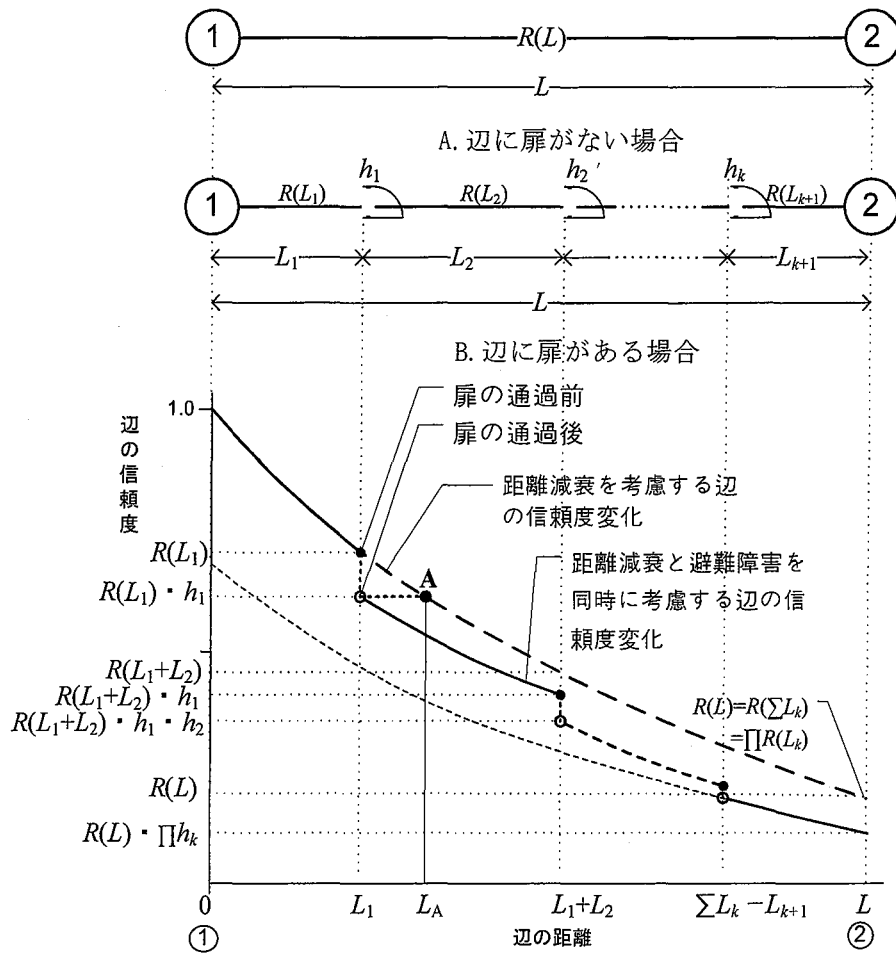


図 5-1 距離減衰と通過信頼度による辺の信頼度

避難距離による辺の信頼度が式(1)のように指数減衰すると仮定する^{注2)}。

$$r(d) = r_0^{d/d_0} \quad (1)$$

$r(d)$: 基準頂点から距離 d の点における辺の信頼度

r_0 : 基準距離 d_0 に対する基準辺の信頼度(本報では一律 0.6 とする)

d_0 : 辺の信頼度を導出するための基準距離(本報では 60m とする^{注3)})

式(1)より、避難距離と通過信頼度(h_k)も同時に考慮する場合、 k 番目の扉の通過後の辺の信頼度は、式(2)で表される。

$$r(d) = r_0^{d/d_0} \cdot \prod h_k \quad (\text{ただし、} k=1,2,3,\dots,n) \quad (2)$$

$r(d)$: 通過信頼度と避難距離を同時に考慮する場合の辺の信頼度

h_k : 避難経路上の k 番目の扉の通過信頼度($0 \leq h_k \leq 1$)

5.4 扉による避難障害があるネットワークモデルの信頼度

5.4.1 計算の方法と避難経路の選択

図 5-2 に示すように、頂点 1 と頂点 10 の 2 ヶ所に避難施設、即ち避難完了頂点(●で示す)を配置し、各避難開始頂点(頂点 2～頂点 9)からの避難経路を基にパスマトリックス^{注 4)}を作成する。また、各辺上の通過扉の有無を考慮してその辺の信頼度を計算し、信頼度マトリックス^{注 5)}を作成する。

パスマトリックスを計算する方法には、各避難施設頂点までの最短経路のみを選択する方法(経路選択法 1)^{注 6)}と、選択可能な全ての経路(ただし、同じ頂点は二度以上通らない)を選択する方法(経路選択法 2)^{注 7)}がある。しかし、これらの経路選択法には、それぞれ以下の問題点がある。

経路選択法 1 の問題点：避難開始頂点から実際に選択される避難経路の一部しか計算に反映されないため過小評価になる。

経路選択法 2 の問題点：ネットワークが大きくなるにつれて選択経路数が幾何級数的に増加する。その結果、人が明らかに選択しないと思われる非現実的な避難経路を多数含むため過大評価になる。また、演算時間も膨大になる^{注 8)}。

以上の問題点を解決し、より現実的な人間の避難行動を評価に反映する一つの方法として、出発頂点に繋がる全ての辺を最初の経路とし、以後は、各避難施設頂点までの最

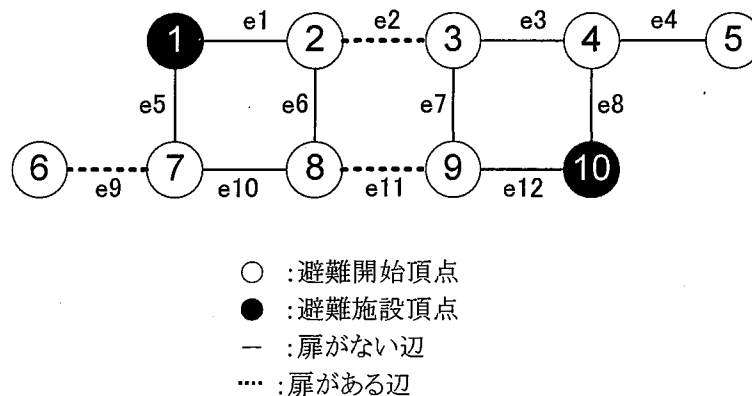


図 5-2 扉による避難障害を考慮した単純ネット

短避難経路のみを計算の対象にする避難経路の選択方法を検討する。ただし、現実平面においては、避難を開始する部屋の扉を介して繋がっている廊下の側の頂点に連結している全ての辺を最初に通る最短経路を選択する(例えば、第6章の図6-2の頂点3からの避難者は、頂点11に連結する辺e11、辺e12を通る最短経路を選択する)。この経路選択法を経路選択法3とする^{注9)}。

経路選択法3は、同じ辺を一度しか通らないという条件を付加することで、逆戻りやループ状の避難経路を排除している。ただし、避難経路上に行き止まりに繋がる分岐頂点がある場合は、行き止まり部分までの経路の往復を許す。なお、現実平面のネットワークモデルにおいては、図面や現場の状況から判断して、明らかに避難経路として選択されない経路を評価の計算外とする。また、避難階段の直前の頂点からは、必ず避難階段に向かうよう、辺を有向化^{注10)}する。

5.4.2 扉による避難障害を考慮するネットワーク信頼度計算

5.3.2で示した避難障害によるネットワーク信頼度の変化と、5.4.1で示した三つの経路選択法(経路選択法1、2、3)を図5-2の単純ネットワークモデルに適用した場合の、ネットワーク信頼度の変化を調べる。

頂点2～頂点9を避難開始頂点(○で示す)、頂点1と頂点10を避難施設頂点(●で示す)とする。避難施設頂点は、避難階段や避難上有効なバルコニーを表わし、ここに来ればひとまず階避難を完了するとする。

辺e2、辺e9、辺e11上に扉をそれぞれ1ヵ所ずつ設ける。ただし、扉の通過信頼度は全て同じで $0 \leq h \leq 1$ とする。なお、頂点間に扉がない辺を実線で、扉がある辺を破線で表している。

簡単のため、辺の信頼度は全て0.8とし、扉がある辺は扉による通過障害を考慮して信頼度を0.8から0.1(即ち、通過信頼度はそれぞれ1.0、...、0.2/0.8、0.1/0.8となる)まで0.1ずつ減少させて、それぞれについてネットワーク信頼度を計算する。また、扉による通行不可($h=0$ 、 $r>0$)と扉による通過障害がない辺が通行不可能($h=1$ 、 $r=0$)になる場合のネットワーク信頼度の変化におよぼす影響を計算する。ただし、扉がある辺の信頼度を0.6(即ち、 $h=0.6/0.8=0.75$)、扉がない辺の信頼度を0.8とする。

ネットワーク信頼度は、①経路選択法1、②経路選択法2、③経路選択法3の三つの方法で計算し、結果を比較考察する。

一例として、図5-2の単純ネットワークモデルを対象に、避難障害を有する辺e2・

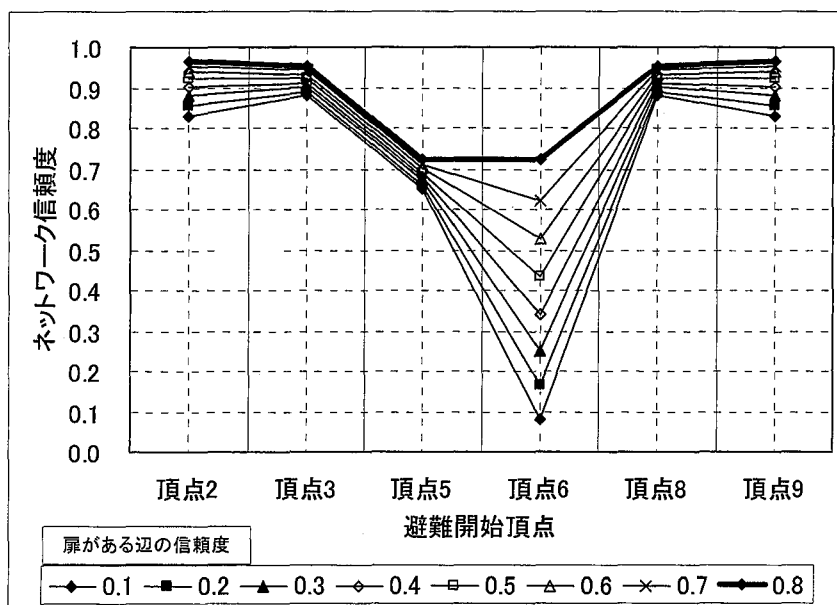


図 5-3 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化
(経路選択法 1 の場合)

辺 e9・辺 e11 の信頼度をそれぞれ同様に 0.1 から 0.8 まで 0.1 ずつ増加させてネットワーク信頼度の計算を行った結果を図 5-3 に示す。

頂点 5 と頂点 6 の結果を比較すると、両方は図形的には点対称の位置にあるが、それぞれの接続辺 e4、e9 の信頼度の差がネットワーク信頼度の差となって現れている。このことは、袋小路の頂点に繋がる辺の信頼度を高めることの重要性を示唆している。

辺の信頼度低下の影響が最も大きいのは頂点 6 であり、次いで頂点 2、頂点 9 である。辺 e2 と辺 e11 は避難上のクリティカルパスでないため、これらの辺の信頼度の低下によるネットワーク信頼度への影響は小さい。

5.4.3 経路選択法の違いによるネットワーク信頼度の差の検討

経路選択法 1・2・3 によるネットワーク信頼度の変化は、いずれも類似のパターンを示す。特に、経路選択法 2 と経路選択法 3 によるネットワーク信頼度の変化はほぼ一致している。

図 5-4 は、避難障害を有する辺の信頼度が 0.1 の場合(経路選択法によるネットワーク信頼度の差が最も小さい場合)の各頂点から、経路選択法 1・2・3 により避難施設頂点までのネットワーク信頼度の結果と差を比較したものである(目盛は左側)。経路選択法 2 と経路選択法 3 による結果の差(目盛は右側)はほぼ 0 に近いが、経路選択法 1 と 2、

経路選択法 1 と 3 の結果の差はいずれも頂点 2、頂点 5、頂点 9 を避難開始頂点とするときのネットワーク信頼度の差が大きい。また、いずれの経路選択法においても、頂点 6 からの避難が最も不利(経路選択法 1 の時 0.0813)で、次いで頂点 5 からの避難が不利(経路選択法 1 の時 0.65)になり、他はネットワーク信頼度が 0.8 以上である。

このように、経路選択法 3 は、経路選択法 2 と比べて計算対象とする経路数や計算量が大幅に減少するにもかかわらず、経路選択法 2 の結果とほぼ一致する結果が得られた。

次に、経路選択法 3 の場合の通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化の一例を図 5-5 に示す。

袋小路部分である頂点 5 と頂点 6 は、他の頂点と比べて相対的にネットワーク信頼度が低く、また、辺 e4 と辺 e9 の通行不可により、頂点 5、頂点 6 からの避難自体が不可能になる。頂点 6 からの避難は辺 e9 に扉があるため、全般にわたり頂点 5 よりネットワーク信頼度が低い。これは、袋小路部分の通路の信頼性を高めておくことの重要性を示唆している。

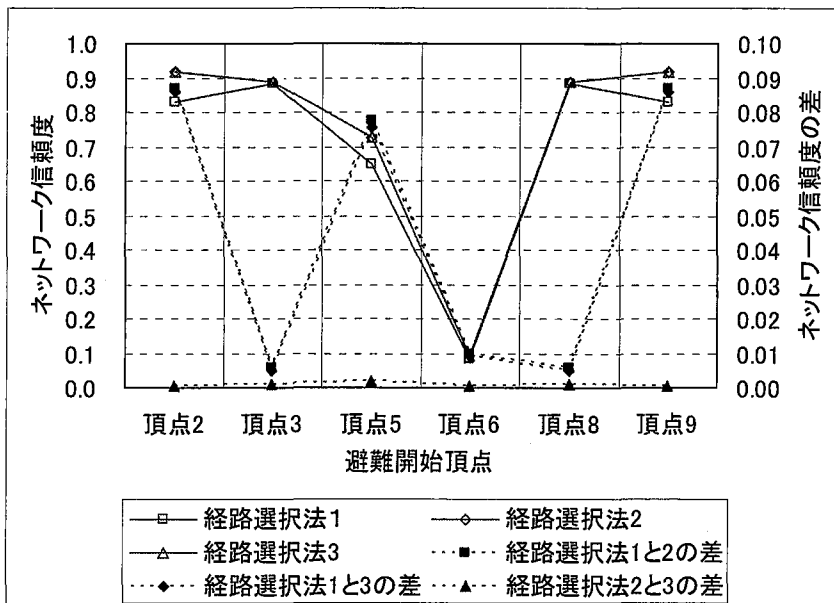


図 5-4 経路選択法によるネットワーク信頼度の差

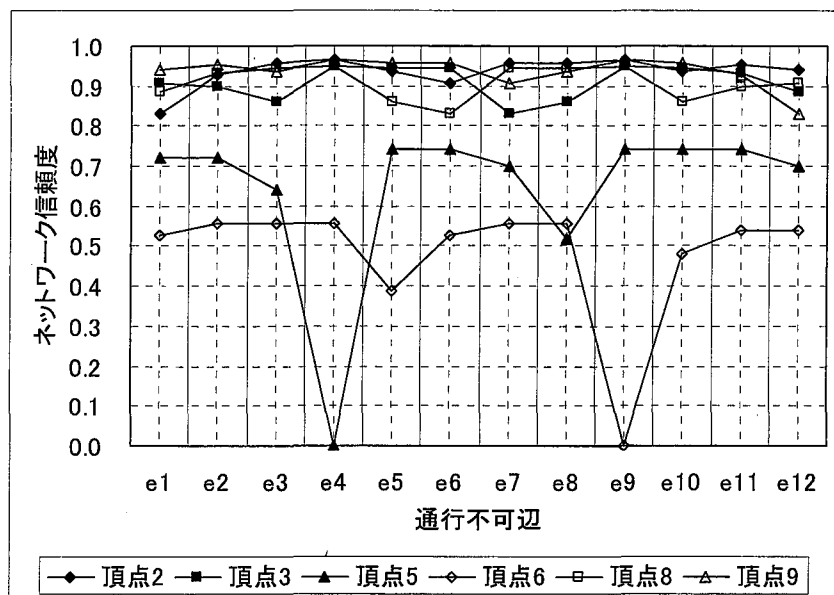


図 5-5 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変

5.5 まとめ

本章の内容は、以下のようにまとめられる。

- (1) 第4章で示した避難距離を考慮する辺の信頼度の指数関数モデルを基本に、避難障害が存在する位置で辺の信頼度が不連続的に低下する現象を新たにモデル化し、両者を同時に表す辺の信頼度関数モデルを提案した。
- (2) 考えられる全ての経路を選択する方法(経路選択法 2)で生じる非現実的な迂回路を排除する経路選択法(経路選択法 3)を提案した。この方法は、経路選択法 2 と最短経路選択時(経路選択法 1)の問題点を改善するとともに、演算時間の大幅な短縮が可能であり、かつ計算の結果がほとんど変わらないという利点がある。

また、今後の課題としては以下のことがあげられる。

- (1) より多くの単純ネットワークモデルを対象にした比較考察とモデルの改良を重ねることが必要である。
- (2) 防火区画または防煙区画としての性能を有する扉による、火災進展等の避難経路の信頼性低下の遅延効果を勘案し、ネットワーク信頼度の経時変化を組み込んだモデルにする必要がある。
- (3) 本章で用いる単純ネットワークモデル以外のネットワークモデルでも経路選択法 2 と経路選択法 3 の差が十分小さいことを確認する必要がある。

以上のように、本モデルは火災による避難経路の信頼度の低下は考慮していないが、火災の進展により順次避難経路の信頼度が低下する状態をモデル化すれば、防火・防煙区画としての扉は避難経路の信頼度低下を遅らせるのに大きな効果を期待できる。すなわち、本研究は火災による煙や熱を考慮するための中間段階にあると位置づけている。

■ 注

注 1) 各頂点と各辺が正方格子上にあり、各辺の長さが等しく、かつお互いに直交するネットワークモデル。

注 2) 文献 1 で、頂点間に新しい頂点を加えても全体のネットワーク信頼度の変化には影響がない、避難距離による辺の信頼度の低下関数として指数関数の妥当性を理論的に検討している。

注 3) 吉村英祐の研究⁵⁾と同様、建築基準法第 120 条 2 項で認められている最大歩行距離である 60m を基準距離とする。

注 4) 各避難経路において通過する辺を列挙し、その経路で通過する辺には「1」、しない辺には「0」を入力してマトリックスで示したもの。

注 5) ネットワーク信頼度の計算過程で、各辺の信頼度をマトリックスで示したもの。

注 6) 経路選択法 1 の方法は、文献 6 で提案したものである。

注 7) 経路選択法 2 の方法は、文献 1 で提案したものである。

注 8) 経路数が幾何級数的に増えることは、モデルの大きさとは関係なくモデルの連結性に依存している。例えば、図 5-7 の 2×3 モデルの頂点 0 から頂点 5 までの避難経路は経路選択法 2 で 4 通りある。しかし、経路選択法 2 によると同じ規模の 3×3 モデルの場合は 2×3 モデルに比べて交差点が三つ増えるだけで、頂点 0 から頂点 5 までの避難経路は 12 通りに増える。

ネットワークモデルにおいて、1 個の経路に対するネットワーク信頼度の演算量を 1 とするとき、 n 個の経路数に対する演算量は $2^n - 1$ 倍になる。例えば、図 5-7 の 2×3 モデルの経路数 3 通りに対する理論的な演算量は $2^3 - 1 = 7$ 倍、3×3 モデルの経路数 12 通りに対する理論的な演算量は $2^{12} - 1 = 4095$ 倍に増大する（第 3 章の 3.4.2 を参照）。

注 9) 例えば、図 5-6 のネットワークモデルの頂点 3 からの避難の場合、避難経路選択法 1 では、頂点 1 と頂点 16 までの避難経路数は 5 であるが、経路選択法 2 では、避難経路数が急増し、ネットワーク信頼度の計算時間が膨大になる。一方、経路選択法 3 では、避難経路数が 16 で、ネットワーク信頼度の計算時間は激減するが、経路選択法 2 の結果とほとんど差がないことが確認できる。

注 10) 辺の有向化：避難経路の計算の際、一段病室から廊下に避難したら、人は

再び病室内に戻ることや、廊下から他の病室に避難することを防ぐため、各病室から廊下への辺とナースステーションから廊下への辺を有向化し、避難施設の前を通り過ぎるのを防ぐため避難施設頂点の直前の頂点から避難施設頂点への辺を有向化する(文献 10 による)。また図 5-6 では、頂点 2、5 からは必ず頂点 1 に、頂点 12、15 からは必ず頂点 16 に向かうようにすること。現実的には、そのために避難階段自体や避難口の誘導灯が確実に視認できなければならない。

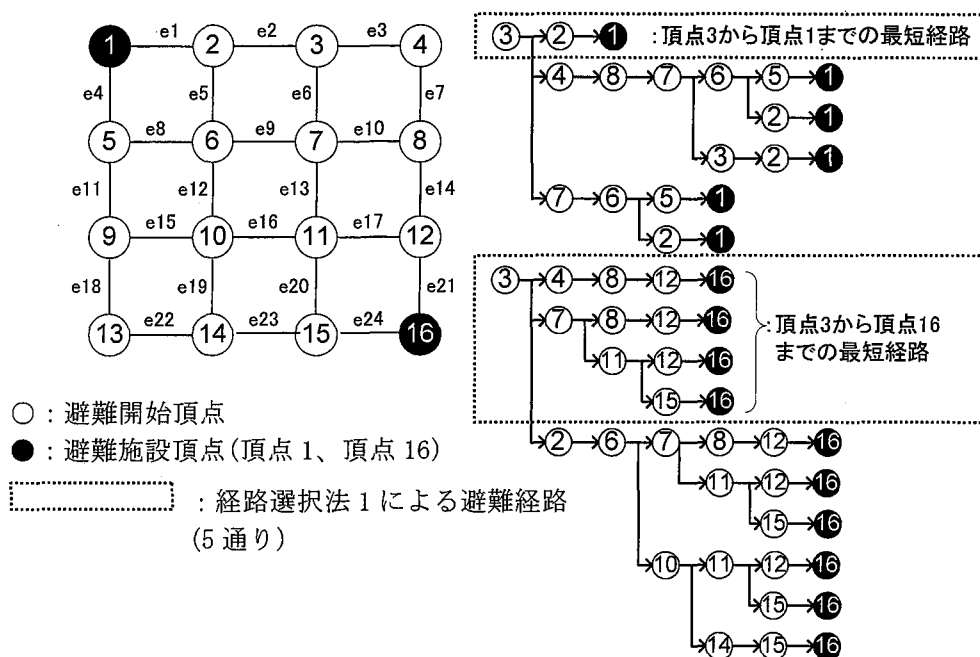


図 5-6 経路選択法 3 による頂点 3 からの避難経路

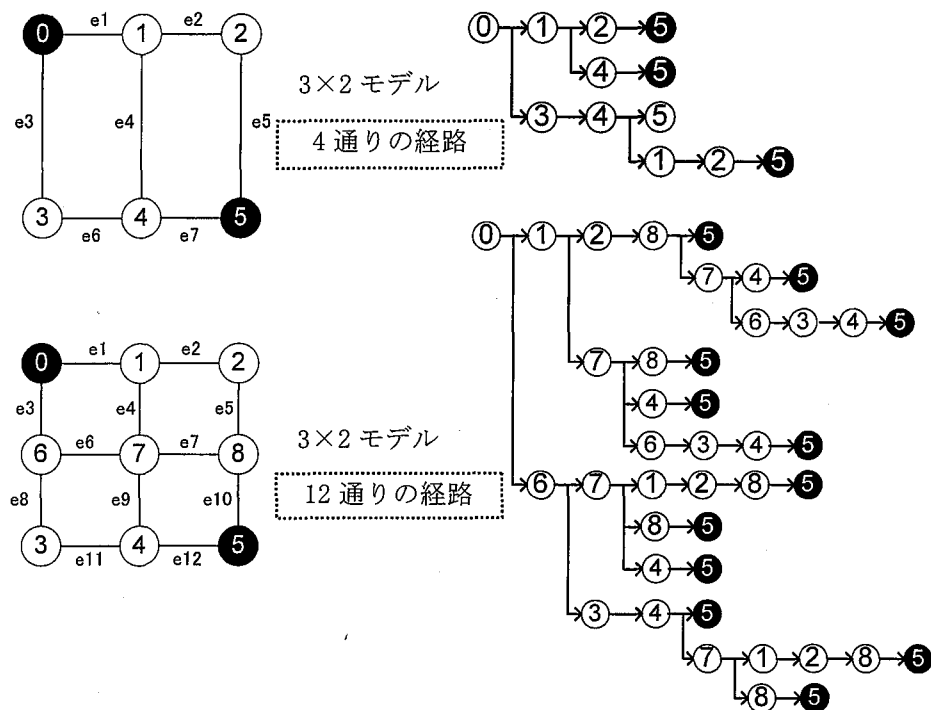


図 5-7 モデルの連結性の変化による経路数の変化

■ 参考文献

- 1) 鄭 軍植、吉村英祐：避難経路の距離減衰を考慮した避難安全性の定量的評価についてーネットワークモデルを用いた避難経路の信頼度の分析法(その1)ー、日本建築学会計画系論文集 第 616 号、2007.6、pp.71-76
- 2) 志田弘二、柳澤 忠：火災発生時に伴う人命危険の評価法、日本建築学会計画系論文報告集第 368 号、1986.10、pp.69-77
- 3) 村井裕樹、志田弘二、八藤後 猛、野村 歡：特別養護老人ホーム・介護老人保健施設における火災時の避難安全性に関する研究、日本建築学会計画系論文集 第 551 号、2002.1、pp.181-187
- 4) 日本建築学会：建築設計資料集成[人間]、丸善株式会社、2003.1、p.143
- 5) 吉村英祐：目標計画法による避難施設配置の有効性の定量的評価方法についてー建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その2ー、日本建築学会計画系論文報告集 第 403 号、1989.9、pp.9-20
- 6) 横田 郁：「避難経路の信頼度」を用いた避難経路の冗長性の定量的評価について、日本建築学会近畿支部研究報告集 第 40 号・計画系、pp.213-216、2000.3
- 7) 大阪建築防災センター：防災計画書作成要領、平成 17 年 5 月
- 8) 吉村英祐：階層分析による評価指標の重みの推定に基づく建築平面の避難安全の定量的評価についてー建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その3ー、日本建築学会計画系論文報告集 第 437 号、1992.7、pp.87-96
- 9) 日本建築学会：安全計画Ⅱ 安全性の評価手法、p.34 の表 9、1987.10
- 10) 吉村英祐：階層分析による評価指標の重みの推定に基づく建築平面の避難安全の定量的評価についてー建物内における避難施設の配置計画に関する研究 その3ー、日本建築学会計画系論文報告集 第 437 号、1992.7、pp.87-96

第 6 章 ネットワーク信頼度計算を用いた 実在建物の避難安全性検討

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

6.1 本章の構成と目的

本章では、実在平面のネットワークモデル化の方法について、平面とネットワークモデルの辺や頂点との関係や、計算上の特性を考慮して整理する。

また、第4章と第5章で提案した、避難距離と避難障害を同時に考慮する避難安全性の評価手法を、実在平面のネットワークモデルを対象にネットワーク信頼度計算を行い、本研究の避難安全性の評価手法の妥当性、適用性、実効性を検討する。

実在平面のネットワークモデル化は、不特定多数の人が利用し、自力避難が困難な人（避難弱者）が含まれている建物のうち、就寝系施設である病院の病棟部、超高層集合住宅、ホテルの基準階を対象にする。これらの就寝系施設は、就寝時の火災からの避難といった災害の覚知、通報、連絡などが困難であるため、避難開始が遅れるなどの避難上の問題が発生しやすい点が共通している。

6.2 実在平面のネットワークモデル化

6.2.1 実在平面のネットワークモデル化の条件

ネットワークモデルは、建物平面上の空間を代表する頂点と空間間の連結性を示す辺で構成される。ネットワークモデルの作成目的は、建物内での人間の避難安全性を評価することなので、ネットワークモデル上に、

- ①避難開始が予想される場所
- ②避難障害が予想される場所
- ③避難施設の位置
- ④空間間の連結性(経路上の交差点や行き止まり等)

を明示する必要がある。ただし、避難者がいない場所(機械室や倉庫など)や人間が選択しないと考えられる経路は、ネットワークモデル化の対象から除く。

6.2.2 実在平面のネットワークモデルの構成

ネットワークモデルは、基本的に空間を表す頂点とその空間間の連結性を示す辺で構成される。

(1) 頂点

頂点は建物平面において空間を代表する。頂点には以下の3種類がある。

①避難開始頂点

避難開始が予想される場所。日常的に要避難者が存在しうる場所(病院の場合は事務室、病室、ナースステーション、デイルームなど)で、避難対象者が存在する部分を代表する。ネットワークモデルでは○で表す。

②避難施設(避難完了頂点)

水平避難が完了する場所で、避難階段が該当する。避難者の避難条件(要介護避難、車いすやストレッチャなどの避難)によって避難バルコニーや非常用エレベーターホールなども避難完了頂点になる場合がある。ネットワークモデルでは●で表す。

③経路上の頂点

避難開始頂点以外の平面上の交差点や行き止まりを代表する頂点。ネットワークモデルでは○で表す。

(2) 辺

空間の連結性を表すため、頂点と頂点のを連結する線で表現する。辺の長さは空間相互の距離を代表し、避難開始頂点から避難完了頂点までの全ての辺の長さの総和が避難距離になる。頂点間の連結性と距離を表し、辺を実線(—)で示す。避難障害(防火扉など)を含んでいる辺を破線(……)で表す。

6.2.3 実在平面のネットワークモデル化手順

(1)避難開始頂点と避難完了頂点の位置決定

平面図をもとに避難完了頂点と避難開始頂点の位置を決める。避難開始頂点は避難完了頂点から最も距離が長い位置にする。避難完了頂点は、避難施設に入る扉を通過した位置にする(扉の通過後の辺の長さは0になる)。各頂点には番号をつける。

(2)平面状の交差点と行き止まり

避難経路上の交差点と行き止まりを頂点とする。

(3)頂点間に辺を付ける

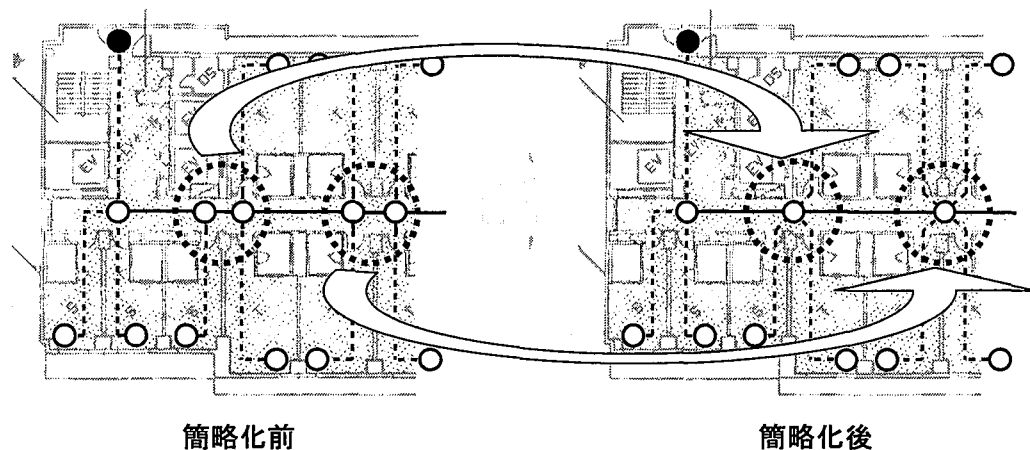
避難障害の有無を基に辺の種類を確認した後、辺の位置は通路・廊下・扉などの有効幅員の中央とする。

障害物の種類や程度、避難方向によって、辺の通過信頼度は変わるが、本研究では計算の利便性のため、全ての辺の通過信頼度は同じであると仮定する。

6.2.4 辺の有向化と簡略化

：避難経路の選択時に、①避難者が選択しない方向の経路の選択を防ぐため、②避難施設の前を過ぎる場合を防ぐため、③必要だと判断される場合、辺を有向化する。

また、計算の結果に影響がない場合は、ネットワークモデルを簡略化することができる（図 6-1）。



簡略化前の図（左）は、廊下上の頂点（表示部分）を各室の頂点ことに示しているが、簡略化後の図（右）は、各室の頂点から繋がっている廊下上の頂点のうち、互いに近くて計算の結果に影響がないと判断される二つの頂点を一つに統合している（表示部分）。

図 6-1 ネットワークモデルの簡略化の一例

6.3 病院の病棟部のネットワークモデルを対象にした信頼度計算

病院建築は、不特定多数の人々が日常的に利用する公共性とともに、自ら避難が困難か不可能な避難弱者が多数宿泊する施設である点で、避難安全性の確保が非常に重要な建物である。

6.3.1 対象となる病院の概要

表 6-1 に、対象建物の概要と避難安全性にかかわる防災計画上の特徴を示す。

6-1 建物の概要と避難安全性にかかわる防災計画上の特徴

		内容	備考
建築概要		地域・地区の指定 市街化調整区域 (建ぺい率：70%、 容積率：400%) 主要用途 病院(消防法施行令別表第一(6)項イ) 敷地面積 6,871.74 m ² 建築面積 2,256 m ² (建ぺい率：32.83%) 延床面積 8,252.00 m ² 容積対象面積 8,202.00 m ² (容積率：119.36%) 階数 7 階(7 階は洗濯室、エレベーター機械室、 ボイラー室) 高さ 29.90m 構造種別 鉄筋コンクリート造 病床数 200 床(療養型 150 床、一般 50 床) 5 階以上の階の床面積 2,362.00 m ² 建築基準法施行令第 147 条の 2 第 2 項に該当	建築物中央部に 6 層の吹き抜け、エントランスホール上部に 2 層の吹き抜けを設けている。
設備計画概要	非常用発電機設備	自家発電機を設置している。	
	防災設備	自動火災報知設備、自動火災通報設備、非常放送設備、ガス漏警報設備、非常用の照明装置、誘導灯、避雷針設備	
	消火設備	スプリンクラー設備、連結送水管設備、消火器	消防活動に役に立つバルコニーと非常用エレベーターを設置

設備 計画 概要	排煙設備	吹き抜けと廊下：自然排煙、居室：自然排煙と建設省告示 33 号	
	非常用エレベーター	なし。一般用エレベーターは、非常時に最寄階(地震時)・避難階(火災時)に直行	
防災計画 基本方針	防災計画上の特徴	・出火防止・初期消火を重視することで、全館スプリンクラー設備を設置。 ・病棟は回廊型とし、2方向避難の確保を重視する。 ・水平避難を可能にするため、2ブロックに防火区画し、水平区画毎に独立した縦シャフト(PS/EPS/DS)を設けることで、区画壁の貫通をなくしている。 ・水平避難の補助経路としてバルコニーを各病室に設ける。 ・排煙性能の高い階段の設置 ・病棟の防災拠点としての病棟のほぼ中央部にナースステーションを設置する。 ・避難用廊下に面する扉は、常時閉鎖式不燃扉にすることで、避難用廊下の安全性を高める。 ・吹き抜け部分は防火区画をする。 ・手術室および人工透析ゾーンは二重の防火区画による籠城区画にする。	
	敷地と道路	・消防隊は南側から進入することが可能。 ・敷地と道路に高低差はない。	
	避難階の位置	1 階	
	防火区画	・(面積区画)各階はスプリンクラー設備を設置により、床面積 3000 m²以内ごとに防火区画 ・(堅穴区画)エレベーター昇降路、階段室、給気ダクト(コンクリートダクト)、ESP、PS、DS は水平区画、待合室の吹き抜け	
	防煙区画	・ 500 m ² 以内ごとに防煙区画	
	安全区画	廊下は第一次安全区画とし、2 階以上の階は水平避難を可能とする防火区画が形成されているので、隣接ゾーンをさらに安全性高い安全区画と位置づける。	
避難誘導	非常用照明	居室、廊下、階段に設置	
	誘導灯	消防法施行令第 26 条の規定に基づき、避難口誘導灯、通路誘導灯を設置	

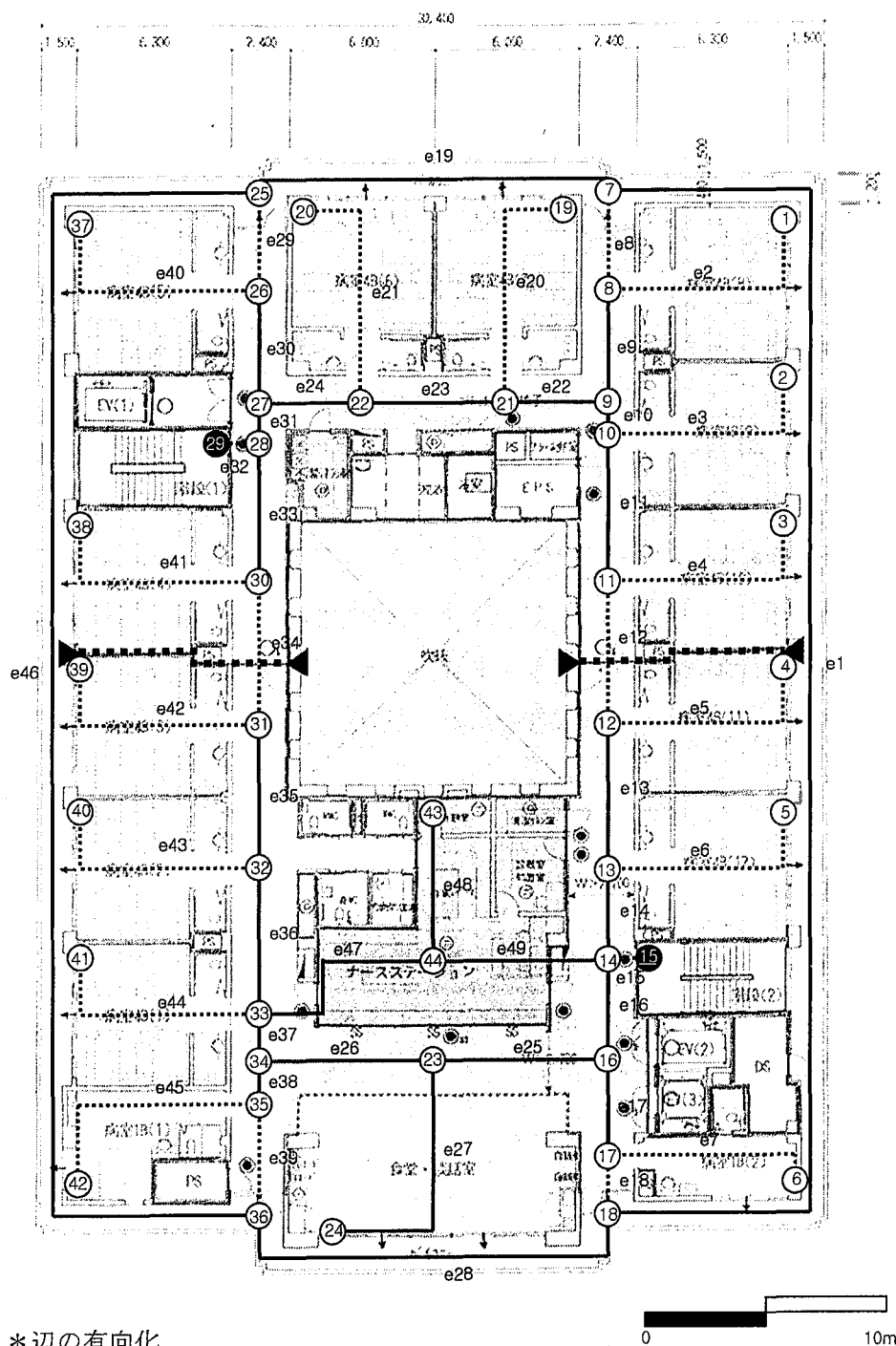
消火計画	バルコニー	バルコニーにはトラップも設けられ、避難時の一時待機場所としての役割も期待できる。	
	非常用エレベーター	なし。一般用エレベーターは、地震時に最寄階、火災時に避難階に直行する。	
避難計画	避難計算	・「新・建築防災計画指針 - 建築物の防火・避難計画の解説書 -」の計算法に従う。	
管理・運営	防災センサー	外部との連絡を考慮して1階に設置。	

6.3.2 建築空間のネットワークモデル化

ネットワークモデル化する病棟は、防災対策として水平避難区画と全周バルコニーの両方を採用している、実在する病院の病棟部基準階である。

図 6-2 に、評価対象の病院病棟部の基準階平面のネットワークモデルを示す。日常的に要避難者が存在しうる場所(○避難開始頂点)は事務室、病室、ナースステーション、食堂・談話室とする。また、避難施設の位置(●避難完了頂点)は、避難階段室内とし、ここに入れば階避難を完了するとする。

ネットワークモデルとしての特徴は、①回路が含まれていること、②避難経路上に水平避難区画の扉があること、③バイパスとしての全周バルコニーがあること、④ほぼ点対称であり、計算結果と直感的な判断との比較がしやすいこと、⑤避難能力が低い入院患者が主な避難対象であること、⑥避難距離、扉の設置による信頼度の影響が大きいことなどが挙げられる。



*辺の有向化

: 各病室とナースステーションから廊下への辺(病室とNS→廊下)と辺
e15(頂点14→頂点15)、辺 e32(頂点28→頂点29)

*辺 e12、辺 e34 上に水平避難区画()

図 6-2 病棟部のネットワークモデル化

6.3.3 計算の種類

現実平面のネットワーク信頼度計算は、①通過信頼度の変化、②廊下とバルコニーを示す辺の通行不可 の2種類を想定した計算を行う。ここで、屋内経路のみ避難経路とする場合を経路考慮範囲 A、屋内経路とバルコニーを経由する経路を避難経路とする場合を経路考慮範囲 B、屋内経路を避難経路とし、バルコニーに出れば階避難完了とみなす場合を経路考慮範囲 C とする。

なお、図 6-2 のネットワークモデルにおいては、ネットワークの特性や辺の有向化により、経路選択法 2 と 3 による結果が一致する^{注1)}。また、経路選択法 1 によるネットワーク信頼度の全平均 (0.321529、表 6-2) と経路選択法 2 と 3 によるネットワーク信頼度の全平均 (0.388190、表 6-3) の差は 0.066661 で、経路選択法 2 と 3 に比べて経路選択法 1 が約 17.14%低い値を示す。

一方、経路考慮範囲 B の計算では、最初に避難を開始した屋内から避難バルコニーへ出て、再び屋内に入る避難経路においては、避難開始時にいた屋内避難経路と再び屋内に戻った後の屋内避難経路が異なる水平避難区画にある場合に限って有効な避難経路とみなし、計算を行う。計算の便宜性のため、基準距離(d_0)は 60m、基準辺の信頼度(r_0)は 0.6 とする。

6.3.4 結果の考察

(1) 通過信頼度(h_k)の変化によるネットワーク信頼度の変化

避難者の避難能力に応じた通過信頼度の差によるネットワーク信頼度の変化を確認するため、通過信頼度(h_k)の変化によるネットワーク信頼度の変化を計算した結果を、経路考慮範囲 A・B・C 別にみた結果を図 6-4 に示す。

通過信頼度(h_k)を 0.1 から 1.0 まで 0.1 ずつ増加させた時のネットワーク信頼度は、避難経路の考慮範囲に関係なく類似の変化パターンを示しながら増加する。また、他の避難開始頂点と違って、扉がない辺に繋がっている頂点 24(食堂・談話室)と頂点 43(ナースステーション)から避難を開始する場合のネットワーク信頼度が他の避難開始頂点より高い値を示している。頂点 19、頂点 20 は、頂点 24 と線対称的な位置にあるが、廊下に出る時の扉の有無が、頂点 24 のネットワーク信頼度との差となって表れている。

図 6-3 に、通過信頼度が 0.3 の場合の各頂点からの避難時の経路考慮範囲 A・B・C の計算結果とそれぞれの差を示す。全体的に、避難経路の信頼度は考慮範囲 $A < B < C$

となることがわかる。また、他の頂点よりネットワーク信頼度が低い行き止まり部分の頂点(頂点1、頂点6、頂点37、頂点42)からのネットワーク信頼度の値の伸びが相対的に大きくなる結果を得た。

しかし、頂点4、頂点5、頂点38からの避難の場合は、避難バルコニー経由を考慮しても、屋内経路のみを考慮する場合と比べてネットワーク信頼度の伸びが小さい(図6-3の経路考慮範囲AとBの差が0に近い)。これは、ネットワークの冗長性の増大による信頼度の向上よりも、バルコニーを経由する避難距離が長いことと、バルコニーを経由する避難経路上の扉の通過回数が多いため、辺の信頼度が低くなることによる影響が大きいこと、また、これらの避難頂点は避難階段から近い位置にあるため、もともとネットワーク信頼度が高かったためである。

以上のことは、不利な避難条件の地点ほど避難バルコニーを避難経路として使うことで、ネットワーク信頼度を高めることができることを示唆している。

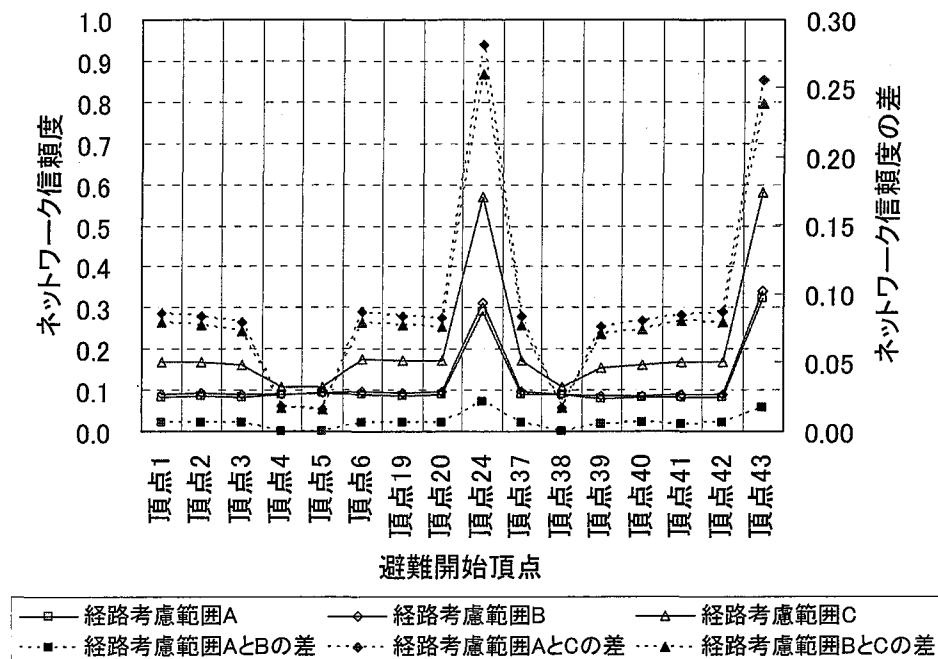


図6-3 経路考慮範囲によるネットワーク信頼度

表6-2 通過信頼度の変化による各頂点別ネットワーク信頼度の変化（経路選択法1）

		避難開始頂点															平均	最大値	最小値	
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点19	頂点20	頂点24	頂点37	頂点38	頂点39	頂点40	頂点41	頂点42				頂点43
h	0.1	0.008237	0.008524	0.008174	0.009011	0.009416	0.009113	0.008811	0.009203	0.087509	0.009131	0.009233	0.007641	0.007956	0.008298	0.008225	0.099348	0.019239	0.099348	0.007641
	0.2	0.035067	0.036346	0.035103	0.038101	0.039578	0.038246	0.037341	0.038765	0.184919	0.038310	0.038809	0.033110	0.034209	0.035422	0.035031	0.208496	0.056678	0.208496	0.033110
	0.3	0.082561	0.085681	0.083241	0.089194	0.092198	0.089012	0.087578	0.090463	0.288573	0.089108	0.090431	0.079113	0.081223	0.083600	0.082528	0.32334	0.113615	0.323340	0.079113
	0.4	0.151308	0.157195	0.153491	0.162667	0.167441	0.161577	0.159977	0.164534	0.394817	0.161617	0.164324	0.146879	0.149984	0.153584	0.151377	0.439778	0.190034	0.439778	0.146879
	0.5	0.240411	0.250004	0.245207	0.257344	0.263921	0.254661	0.253449	0.259678	0.499991	0.254447	0.259228	0.236152	0.239995	0.244642	0.240793	0.553703	0.284602	0.553703	0.236152
	0.6	0.347498	0.361678	0.356197	0.370506	0.378705	0.365542	0.365372	0.373059	0.600441	0.364731	0.372405	0.345197	0.349278	0.354563	0.348543	0.661014	0.394671	0.661014	0.345197
	0.7	0.468707	0.488238	0.482719	0.497882	0.507310	0.490053	0.491583	0.500299	0.692510	0.488122	0.499635	0.470799	0.474377	0.479653	0.470943	0.757605	0.516277	0.757605	0.468707
	0.8	0.598701	0.624157	0.619484	0.633656	0.643708	0.622581	0.626383	0.635485	0.772542	0.618793	0.635220	0.608262	0.610352	0.614739	0.602866	0.839373	0.644144	0.839373	0.598701
	0.9	0.730658	0.762358	0.759653	0.770460	0.780320	0.756072	0.762533	0.771165	0.836880	0.749436	0.771977	0.751406	0.750783	0.753168	0.737734	0.902215	0.771676	0.902215	0.730658
	1.0	0.856272	0.894218	0.894841	0.899381	0.908021	0.882023	0.891258	0.898349	0.881868	0.871266	0.901243	0.892574	0.887769	0.886802	0.867523	0.942012	0.890964	0.942012	0.856272

避難開始頂点×通過信頼度(h)の全平均：0.321529

表6-3 通過信頼度の変化による各頂点別ネットワーク信頼度の変化（経路選択法2と3）

		避難開始頂点															平均	最大値	最小値	
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点19	頂点20	頂点24	頂点37	頂点38	頂点39	頂点40	頂点41	頂点42				頂点43
h	0.1	0.007583	0.007832	0.000796	0.008368	0.008808	0.008543	0.008159	0.008587	0.081340	0.008561	0.008641	0.000821	0.000781	0.007618	0.007572	0.090209	0.016514	0.090209	0.000781
	0.2	0.030331	0.031329	0.006366	0.033472	0.035231	0.034173	0.032636	0.034346	0.162679	0.034243	0.034562	0.006572	0.006249	0.030473	0.030288	0.180418	0.045211	0.180418	0.006249
	0.3	0.068245	0.070491	0.021485	0.075311	0.079269	0.076888	0.073432	0.077279	0.244019	0.077047	0.077765	0.022180	0.021091	0.068564	0.068147	0.270626	0.086990	0.270626	0.021091
	0.4	0.121325	0.125318	0.050928	0.133888	0.140924	0.136691	0.130547	0.137385	0.325360	0.136972	0.138250	0.052575	0.049993	0.121891	0.121151	0.360836	0.142752	0.360836	0.049993
	0.5	0.189569	0.195809	0.099469	0.209199	0.220193	0.213580	0.203979	0.214664	0.406699	0.214018	0.216015	0.102686	0.097642	0.190455	0.189299	0.451045	0.213395	0.451045	0.097642
	0.6	0.272980	0.281965	0.171883	0.301246	0.317078	0.307554	0.293729	0.309116	0.488039	0.308186	0.311061	0.177441	0.168725	0.274254	0.272590	0.541253	0.299819	0.541253	0.168725
	0.7	0.371555	0.383786	0.272943	0.410030	0.431578	0.418615	0.399798	0.420741	0.569379	0.419475	0.423389	0.281769	0.267928	0.373291	0.371025	0.631462	0.402923	0.631462	0.267928
	0.8	0.485297	0.501271	0.407425	0.535549	0.563693	0.546763	0.522185	0.549539	0.650718	0.547886	0.552998	0.420600	0.399940	0.487563	0.484605	0.721671	0.523606	0.721671	0.399940
	0.9	0.614204	0.634422	0.580104	0.677804	0.713424	0.691996	0.660891	0.695511	0.732058	0.693418	0.699888	0.598862	0.569446	0.617072	0.613327	0.81188	0.662769	0.811880	0.569446
	1.0	0.758277	0.783237	0.795754	0.836796	0.880772	0.854317	0.815914	0.858654	0.813399	0.856071	0.864059	0.821484	0.781132	0.761818	0.757195	0.902089	0.821311	0.902089	0.757195

避難開始頂点×通過信頼度(h)の全平均：0.388180

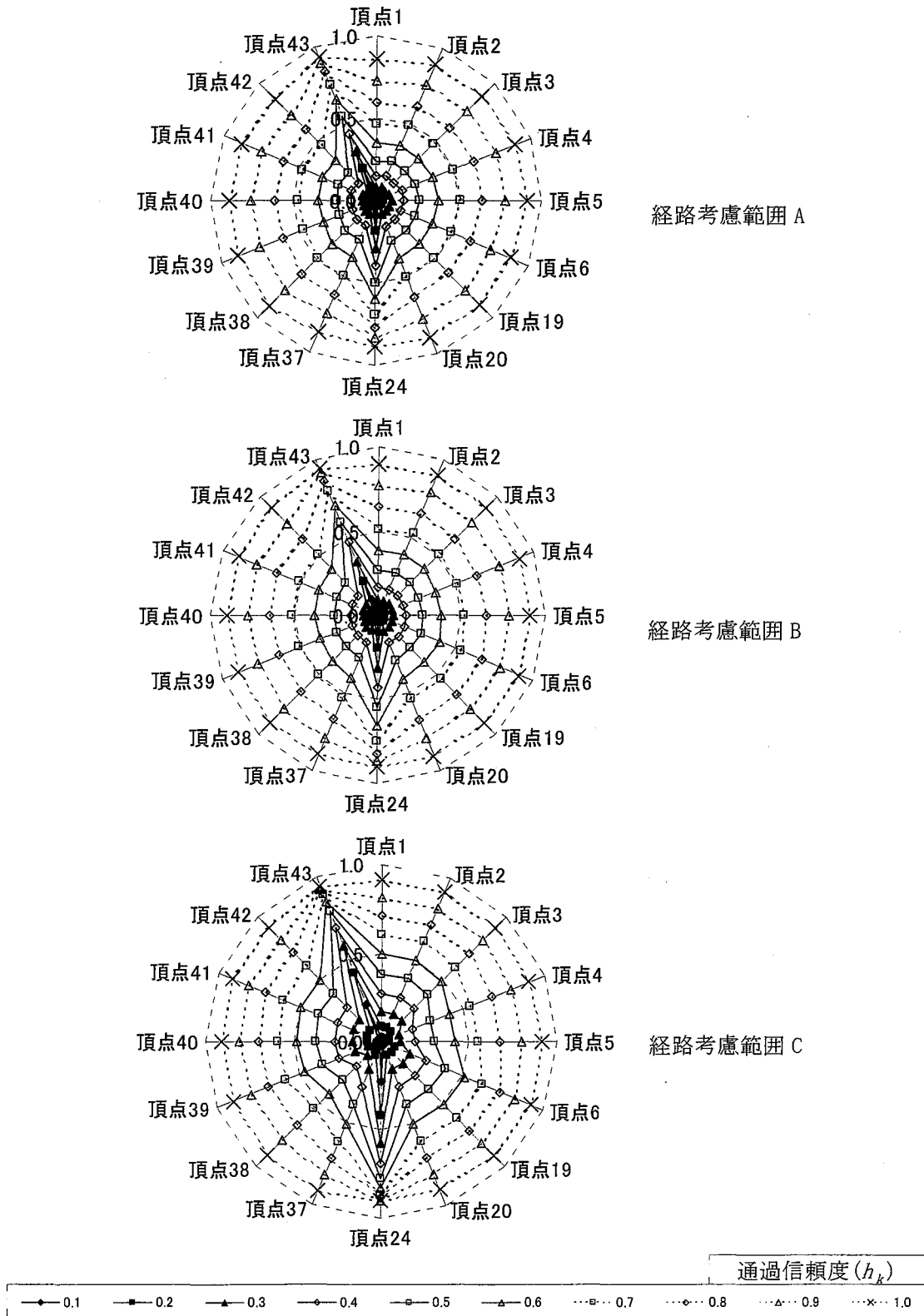


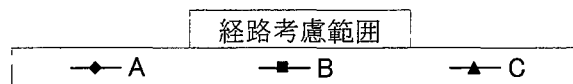
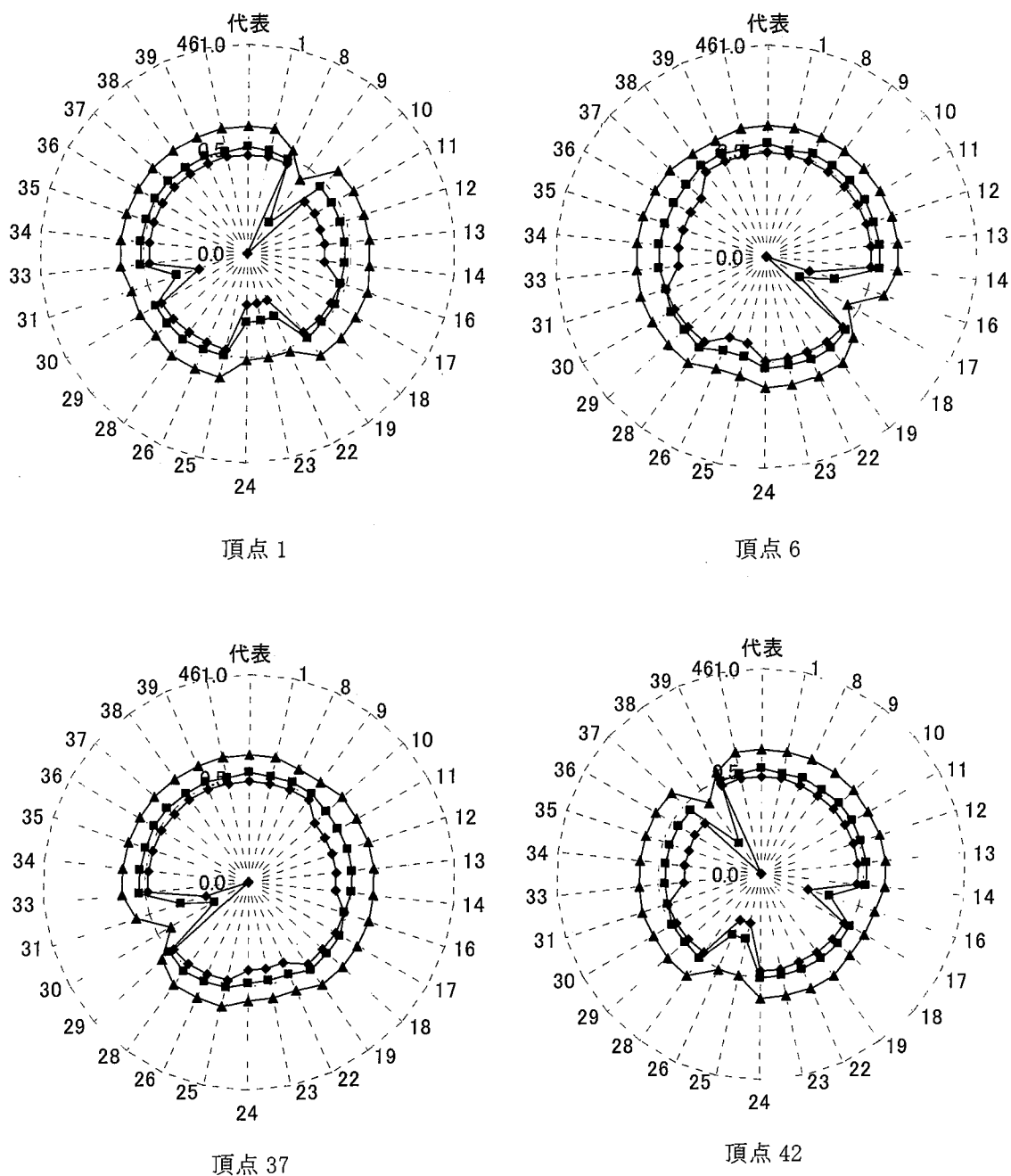
図 6-4 経路の考慮範囲別ネットワーク信頼度の変化

(2) 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化

この計算は、辺の通行不可による各頂点のネットワーク信頼度の変化を確認することが目的である。ただし、各室から廊下に出る扉(辺 e2～辺 e7、辺 e21 と辺 e22、辺 e27、辺 e40～辺 e45、辺 e47～辺 e49 の通行不可)は通行不可能とはしない。なお、ここでも、基準距離(d_0)を 60m、基準辺の信頼度(r_0)を 0.6、通過信頼度(h)を 0.7 とする。

屋内避難経路のみを考慮する場合(経路考慮範囲 A)、行き止まり頂点 1、頂点 6、頂点 37、頂点 42 は、それぞれ辺 e9、辺 e17、辺 e30、辺 e38 が通行不可辺になると避難不可能になる。図 6-5 に、経路考慮範囲 A・B・C によるネットワーク信頼度の変化の違いを示す。経路の選択範囲を避難バルコニー経由(経路考慮範囲 B)や避難バルコニーも避難施設とする経路(経路考慮範囲 C)まで広げることで、行き止まり部分が避難不可能になる状況を解消できるが、辺 e9、辺 e17、辺 e30、辺 e38 が通行不可になったときのネットワーク信頼度の低下が相対的に大きいことには変わりがない。この結果は、単純ネットワークモデルを用いたケーススタディ¹⁾と同じく、避難開始地点に近い経路および扉の信頼度を高い状態に維持管理しておくことの重要性を示唆している。

また、経路考慮範囲に関係なく、頂点 2、頂点 3、頂点 4、頂点 5、頂点 38、頂点 39、頂点 40、頂点 41 からの避難開始は、それぞれ辺 e10、辺 e11、辺 e13、辺 e14、辺 e17、辺 e30、辺 e33、辺 e35、辺 e36、辺 e37 が通行不可能になると、ネットワーク信頼度が顕著に低下する(図 6-6)。特に、代表値では相対的に高いネットワーク信頼度値を示した頂点 5、頂点 38 からの避難の場合、辺 e14、辺 e33 が通行不可能になるとネットワーク信頼度が大幅に低下する結果が得られた。これは、同じ水平避難区画内にある避難階段に通じる辺が通行不可能になることにより、隣の防火区画への水平避難が必要になり、結果として避難階段までの避難距離が長くなること、および避難障害となる扉の通過回数が増えるためであると考えられる。



*グラフの数字は通行不可辺の番号を、代表は代表値

図 6-5 経路考慮範囲別ネットワーク信頼度の変化

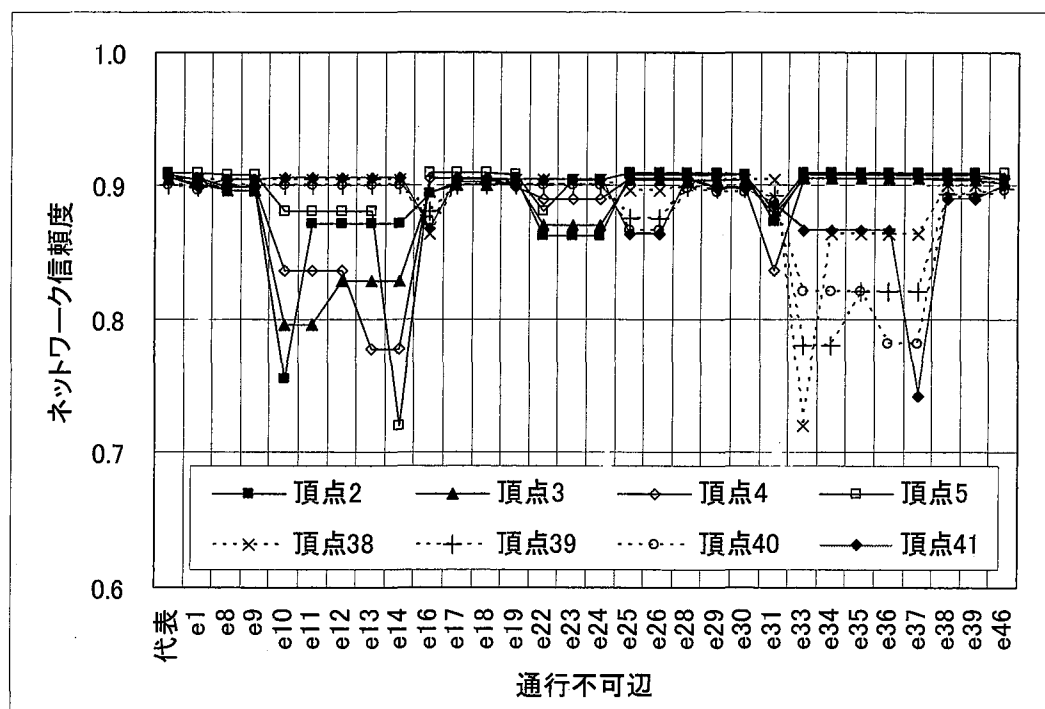


図 6-6 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化
(経路考慮範囲 B)

6.3.5 病院の病棟部のネットワーク信頼度計算のまとめ

経路選択法 3 を用いるネットワーク信頼度の計算法を病院の病棟部に適用して、経路選択法 2 と最短経路選択時(経路選択法 1)の問題点を改善するとともに、演算時間の大幅な短縮が可能であり、かつ計算の結果がほとんど変わらないという利点があるのを確認した。

また、全周バルコニーと水平避難区画を有する病院の病棟部は、バルコニーを避難施設とした場合のネットワーク信頼度が向上すること、場所によって向上の程度に差があることを確認した。

6.4 超高層集合住宅のネットワークモデルを対象にした信頼度計算

ここでは、超高層集合住宅を対象にネットワーク信頼度の計算を行い、本研究の避難安全性の評価手法の妥当性と適用性の検討を試みる。

超高層集合住宅の火災時の問題点としては、次の項目が挙げられる。

- ① 住棟が搭状で、廊下が閉鎖的な形態を持つものが多い。これは、消防隊が火元に近付くときの空間的または時間的制約となる。
- ② 高層特有の風の影響を受けやすく、ドラフト効果の影響も大きくなる。
- ③ 強風等による噴出火炎が大きくなる恐れがあり、上層延焼のリスクが低層の場合と比べて大きくなる。

上述以外にも、上層に残される人が発生しやすいこと、バルコニーに非常用タラップが設置されてあっても、子供や高齢者などの避難弱者の使用上の危険性が高いこと、健康者でも怖くて降りられないこと、上階には消防隊のはしご車が届かないという問題点が指摘される。

6.4.1 対象となる超高層集合住宅の概要

表 6-4 に、対象建物の概要と避難安全性にかかわる防災計画上の特徴を示す。

表 6-4 建物の概要と避難安全性にかかわる防災計画上の特徴

		内容	備考
建築概要		地域・地区の指定 商業地域、準防火地域、一部防火地域、駐車場整備地区、日影規制なし (建ぺい率：100%、容積率：708%) 主要用途 集合住宅(分譲) 敷地面積 4,009.12 m² 建築面積 2,203.89 m²(建ぺい率：55.77%) 延床面積 52,369.92 m² 容積対象面積 36,858.81 m²(容積率：899.19%) 階数 地下1階、地上43階、PH2階 高さ 軒高さ 141.350m 最高部 141.950m PHの高さ 148.750m 基準階高 3.200m(一部3.350m) 構造種別 鉄筋コンクリート造 施設規模 集合住宅 370戸 駐車台数 223台 60.2%(住戸×60%) バイク台数 74台 20%(住戸×20%) 駐輪台数 740台 200%(住戸×200%) 駐車場緩和面積 52,369.92×1/5=10,473.98>6,322.88 m² 福祉対応 メインエントランス 出入口扉 有効幅員 W=900以上 福祉対応エレベーター 1基 階段 連続手摺付き 各階エレベーターホール、共用廊下、段差なし 2階便所 身障者対応用	総合設計制度の適用を受け、容積率をアップすることで最大限の有効土地利用を図り、良質な住宅を多く供給すると共に、周囲に公開空地を設けることによる周辺環境の改善を意図している。
設備計画概要	非常用発電機設備	非常用発電設備、非常コンセント、排煙設備、消防用水、非常用エレベーター、連結送水管	
	防災設備	集合住宅用自動火災報知設備、非常放送設備、非常用の照明装置、誘導灯、非常電話設備	
	消火設備	集合住宅用スプリンクラー設置、屋内消火栓、消火器	消防活動に役に立つ、バルコニーと非常用エレベーターを設置
	排煙設備	自然排煙：管理盤室 機械排煙：非常用エレベーター乗降ロビー、特別避難階段附室、共用通路、2Fホール、通路、1階エントランスホール、B1F駐車場	

設備 計画 概要	非常用エ レベータ ー	防災センターに監視盤を設け、原則として防災センタ ーの操作により管制運転にはいる。	
防災 計画 基本 方針	防災計画 上の特徴	・長方形の平面形状の中央に共用通路を配置、その両 端に特別避難階段を各1ヵ所。 ・バルコニーは、上下操作式避難器具(700 角)と消防 隊専用通路を適正配置、各住戸から2方向避難と消 防活動時の2方向からのアプローチを容易にする。 ・搭屋屋上には、ヘリコプター着陸場を設け消防隊の 活動を容易にする。 ・全ての住戸に集合住宅用スプリンクラー設備設置。 ・屋内共用通路は火災時の煙による汚染を最小限にす るため、13F 以上防火戸で二分されている。	
	敷地と道 路	・消防隊は西側から進入することが可能。 ・はしご車は東・西・南の3面の道路から寄り付きと する(12F まで)。 ・13F 以上については各階に消防隊専用通路を設置。	
	避難階の 位置	避難階は1階である。	
	防火区画	・(堅穴区画)特別避難階段の階段室、附室、非常用エ レベーターシャフトについては防火区画。ESP、PS および MB 内は水平区画、給排気 DS は耐火構造の 壁および特定防火設備で区画。 ・(層間区画)耐火構造のスラブで防火区画する。 ・(その他)共用部(通路、階段室、エレベーター乗降 路、消防隊専用通路、中間ポンプ室など)と住宅部 分および住宅~住宅間は耐火構造および、特定防火 設備または防火設備にて区画。	
	防煙区画	なし	
	安全区画	第一次安全区画は廊下、第二次安全区画は特別避難階 段の附室。	
避難 誘導	非常用照 明	予備電源内装器具とする。	
	誘導灯	消防法施行令第26条、消防法施行規則第28条3に基 づき設置。	
消火 計画	バルコニ ー	バルコニーにはタラップも設けられ、避難時の一時待 機場所としての役割も期待できる。	バルコニーは、 入居者が専用使 用権を持つ共用 部分の扱いとな り、個人の管理 に依存する。

消火計画	非常用エレベーター	1 台。地震時管制運転、火災時管制運転、乗降ロビー呼び戻し、防災センター呼び戻し、一時消防運転、二次消防運転。	
避難計画	避難計算	・「新・建築防災計画指針－建築物の防火・避難計画の解説書－」の計算法に従う。	
管理・運営	防災センター	1 階管理室にて防災設備の監視を行うほか、入居者管理組合による日常監視の体制を確立し全入居者の意識を深める。	

平面上の特徴は、避難階段への進入は廊下からのみであり、バルコニーを経由する避難の場合は、非常用エレベーターのホールに近いところに配置されている。

6.4.2 建築空間のネットワークモデル化

図 6-7 は、実在の超高層集合住宅の平面をネットワークモデル化したものを示している。避難開始頂点は、住戸の最も奥の方に位置し、避難完了頂点は、特別避難階段の附室と非常用エレベーターの乗降ロビーとする。

ネットワークモデル上の避難開始頂点は頂点 1～頂点 11 であり、避難完了頂点は頂点 19・頂点 20・頂点 36 である。

室内廊下を経由する避難経路は辺 e23～e31、辺 46、辺 47 であり、避難障害を含んでいる辺は辺 e1～e22、辺 e32、辺 e33、辺 47、辺 48 であり、避難障害を含んでバルコニーを経由する避難経路は辺 e34～e45 である。また、有向化する辺は避難施設に繋がっている辺 32、辺 33、辺 48 であり、頂点 21、頂点 25、頂点 35 から各々頂点 19、頂点 20、頂点 36 の方に有向化する。

6.4.3 計算の種類

防災計画書上では、各住戸から最寄の避難階段までの最短経路を避難経路として避難計算に考慮しているが、ここでは、階段からの避難が難しい避難弱者(下肢障害者など)の避難も考慮し、非常用エレベーターを利用する避難経路も避難経路とし、ネットワーク信頼度の計算を行う。

非常用エレベーターを利用する避難経路は、室内廊下を通じる場合(この場合は辺の有向化の影響を受けない。)とバルコニーを通じる場合の2種類の経路を考慮する。

また、室内経路のみを考慮する避難経路の計算に、辺の有向化の影響を受けない頂点6からの避難は、経路選択法3により、避難完了頂点19と避難完了頂点20をともに計算に考慮する。

以上から、ネットワーク信頼度の計算に考慮する避難経路の種類は次の通りである。

経路①：室内経路を通じる避難階段までの経路

経路②：室内経路を通じる非常用エレベーターまでの経路

経路③：バルコニーを経由する非常用エレベーターまでの経路

経路④：経路②・③を同時に考慮する経路

経路⑤：経路①・②・③を全て考慮する経路

超高層集合住宅のネットワーク信頼度計算は、上述の五つの経路選択法を基に、次の2種類の計算を行う。

① 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化計算：

この計算は、通過信頼度の変化による、各住戸の避難安全性の差の確認と、避難経路の種類によるネットワーク信頼度の差を確認できる。

② 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化計算：

この計算は、避難時に通行不可になることで最も避難が不利になる辺の検出が可能である。

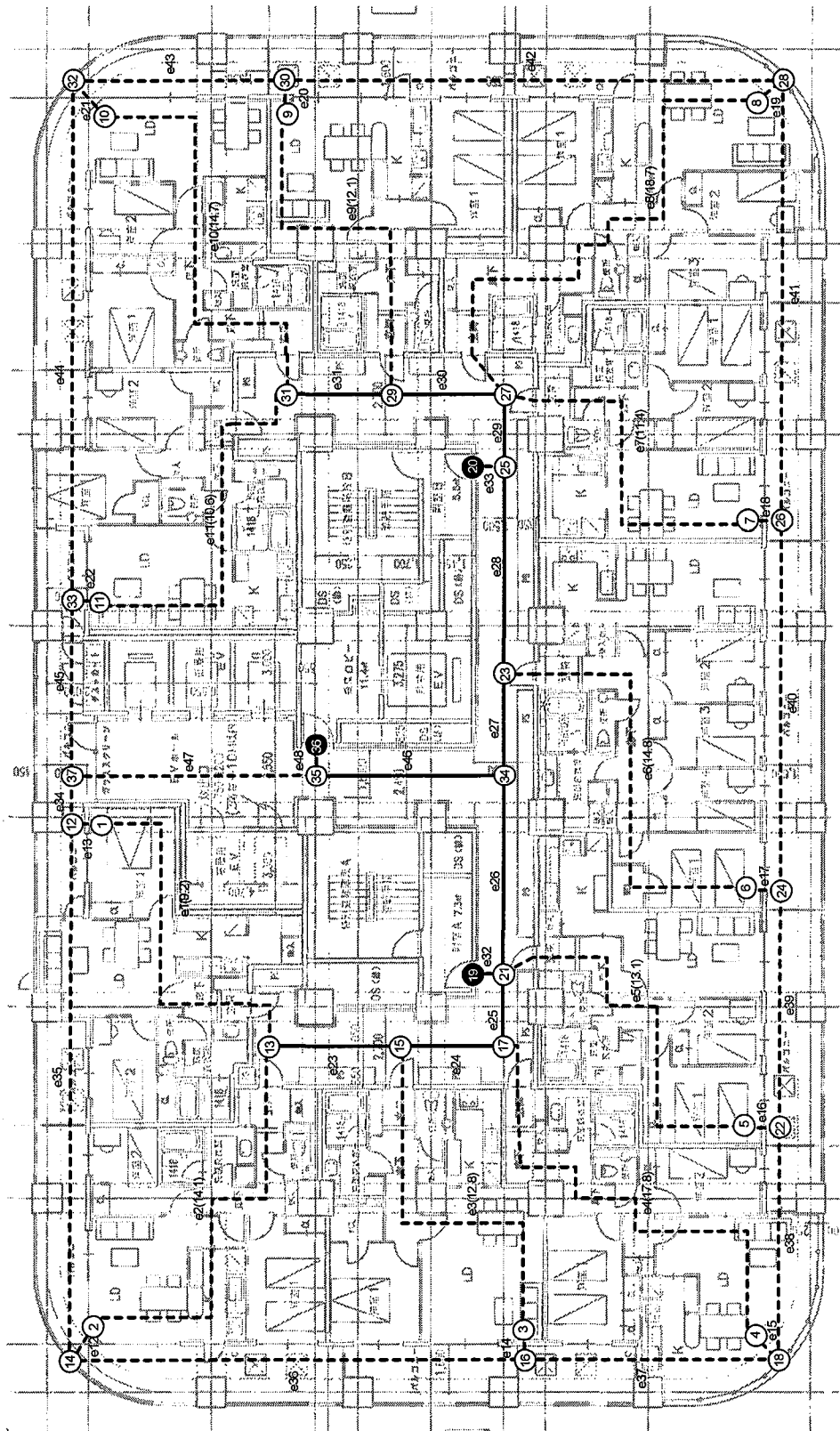


図 6-7 U 超高層集合住宅のネットワークモデル

6.4.4 計算の結果

(1) 通過信頼度(h_p)の変化によるネットワーク信頼度の変化計算

避難障害を含んでいる辺 e1~e22、辺 e32、辺 e33、辺 47、辺 48 の通過信頼度を 0.1 から 1.0 まで 0.1 ごとに増加させることによる、ネットワーク信頼度の変化を確認する。また、特定の通過信頼度と辺の信頼度の場合、避難経路の考慮範囲別(6.4.3 の避難経路①~⑤)のネットワーク信頼度の変化の計算から、避難形態(自由歩行や車いす使用など)による選択可能な避難経路別の避難安全性の検討が可能になる。

計算の便宜のため、基準辺の信頼度 $r_0=0.6$ 、基準距離 $d_0=60\text{m}$ とする。

表 6-5 と図 6-8 は、通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化を示す一例として、室内経路を通る避難階段までの経路を考慮する場合の結果を示している。通過信頼度が 1.0(避難障害なし)以外には実在図面上の中心に近い位置している頂点 6 を基準に避難階段から遠い順にネットワーク信頼度が段々低くなっていき、ほぼ同じ変化パターンを維持しながら変化していくのがわかる。

また、通過信頼度が 0.1 に近くなっていくにつれてネットワーク信頼度の差が小さくなり、通過信頼度が高くなると各頂点別のネットワーク信頼度の差が明確になる傾向がある。この傾向は、第5章の単純ネットワークモデルを用いるネットワーク信頼度の結果と同じ傾向である。

表 6-6 は、通過信頼度の変化による各避難開始頂点からのネットワーク信頼度が、大きい順に頂点を並べたものである。この結果より、避難障害がない場合は頂点 5 からの避難が最も有利であり、次に頂点 7、頂点 6 の順であるが、避難障害を考慮すると頂点 6 からの避難が最も有利であり、次に頂点 5、頂点 7 の順に有効であることがわかる。このように、避難障害の考慮有無により変わる原因として、例えば、他の頂点からの避難より避難経路の選択枝が 1 つ多い頂点 6 からの避難経路の冗長性が他の頂点のそれより大きいことがあげられる。これは、冗長性が大きくても避難障害による辺の信頼度の低下がある程度以上になれば、ネットワーク信頼度の低下に及ぼす影響が大きいことを定量的に示す事例である。

表8-5 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化

		避難開始頂点											最大値	最小値
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10	頂点11		
通過信頼度(h)	0.1	0.008302	0.007972	0.008373	0.008233	0.008777	0.015350	0.008728	0.008147	0.008368	0.007943	0.008173	0.015350	0.007943
	0.2	0.033207	0.031890	0.033492	0.032934	0.035108	0.058437	0.034911	0.032588	0.033473	0.031772	0.032694	0.058437	0.031772
	0.3	0.074715	0.071753	0.075356	0.074101	0.078993	0.124820	0.078550	0.073322	0.075313	0.071487	0.073560	0.124820	0.071487
	0.4	0.132827	0.127560	0.133966	0.131734	0.140431	0.210056	0.139645	0.130350	0.133891	0.127089	0.130773	0.210056	0.127089
	0.5	0.207542	0.199313	0.209321	0.205835	0.219423	0.309702	0.218196	0.203672	0.209204	0.198576	0.204334	0.309702	0.198576
	0.6	0.298860	0.287010	0.301423	0.296402	0.315970	0.419316	0.314202	0.293288	0.301254	0.285950	0.294241	0.419316	0.285950
	0.7	0.406782	0.390653	0.410270	0.403436	0.430070	0.534455	0.427664	0.399197	0.410040	0.389209	0.400493	0.534455	0.389209
	0.8	0.531306	0.510240	0.535863	0.526937	0.561725	0.650676	0.558582	0.521400	0.535562	0.508355	0.523093	0.650676	0.508355
	0.9	0.672435	0.645773	0.678202	0.666905	0.710933	0.763538	0.706955	0.659896	0.677821	0.643386	0.662041	0.763538	0.643386
	1.0	0.830167	0.797251	0.837287	0.823340	0.877695	0.868597	0.872784	0.814687	0.836817	0.794305	0.817334	0.877695	0.794305

表8-6 各避難開始頂点からのネットワーク信頼度の大きさの順位

通過信頼度(h)	順番	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	0.1	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.2	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.3	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.4	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.5	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.6	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.7	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.8	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	0.9	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点7	頂点5	頂点6
	1.0	頂点10	頂点2	頂点8	頂点11	頂点4	頂点1	頂点9	頂点3	頂点6	頂点7	頂点5

また、この計算をもとに、防災計画書上の結果と比較すると、防災計画書の避難計算では避難時間をもっとも短いのが頂点5であるのは、避難障害を考慮しないネットワーク信頼度の計算結果と同様であるが、次に頂点4、頂点9の順になるのは、防災計画書の計算結果と異なる。その原因は、防災計画書が避難時間と避難許容時間の比較により評価するのに対し、ネットワーク信頼度の計算は、避難距離と避難障害を同時に考慮するという、評価指標の違いによると考えられる。

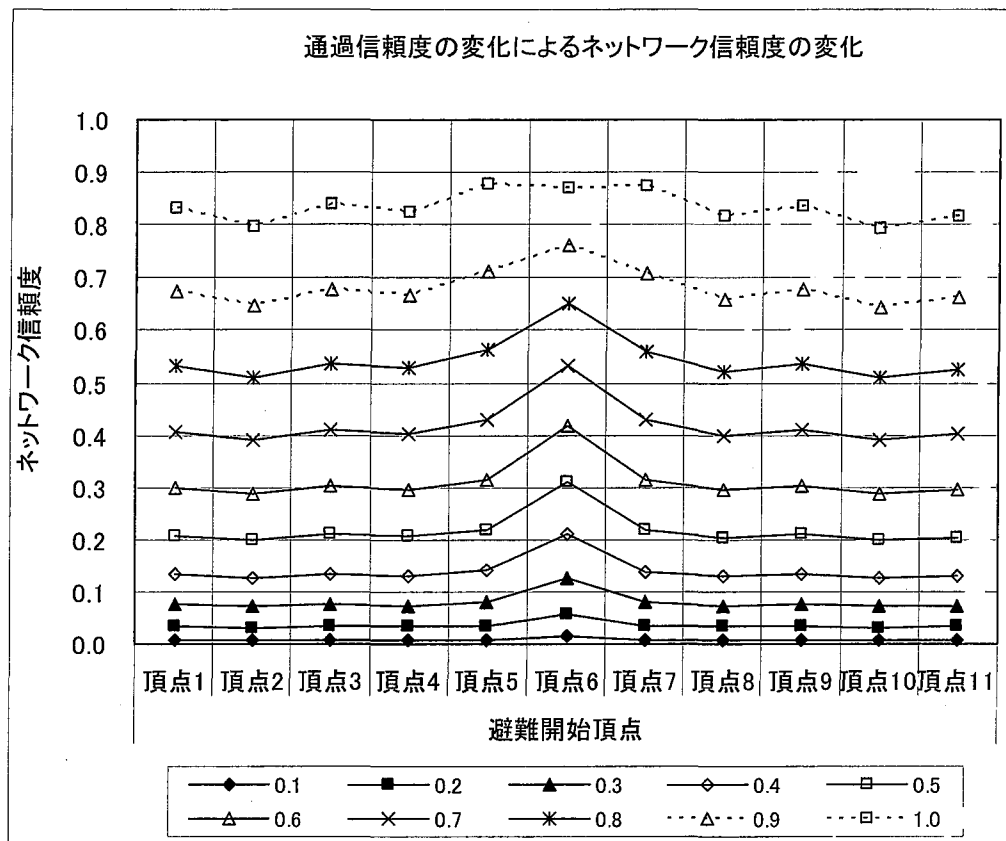


図 6-8 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化

表 6-7 と図 6-9 は避難経路の考慮範囲別(6.4.3 の避難経路①～⑤)のネットワーク信頼度の変化を示している。この計算から、避難者の避難条件(下肢障害者と正常人など)による避難安全性の差が確認できる。計算の便宜性のため、避難障害を含んでいる辺の通過信頼度 $h=0.7$ 、基準辺の信頼度 $r_0=0.6$ 、基準距離 $d_0=60\text{m}$ とする。

表 6-7 避難経路の考慮範囲別ネットワーク信頼度の変化

		避難開始頂点										平均	最大値	最小値
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10			
経路考慮範囲	経路①	0.406782	0.390653	0.410270	0.403436	0.430070	0.534455	0.427664	0.399197	0.410040	0.389209	0.418388	0.534455	0.389209
	経路②	0.363641	0.349223	0.360534	0.360650	0.384460	0.390145	0.370558	0.345891	0.355286	0.337238	0.360422	0.390145	0.337238
	経路③	0.312979	0.189787	0.120469	0.084509	0.065072	0.057864	0.062547	0.082561	0.124715	0.184084	0.301757	0.144213	0.057864
	経路④	0.512548	0.443463	0.418389	0.401222	0.413466	0.415464	0.399692	0.387284	0.416124	0.431826	0.497815	0.430663	0.387284
	経路⑤	0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	0.585885	0.542250
平均		0.449908	0.391430	0.377306	0.360141	0.373394	0.400430	0.365463	0.351437	0.375830	0.383996	0.437721	0.387914	0.351437

□ 高い値 ■ 低い値

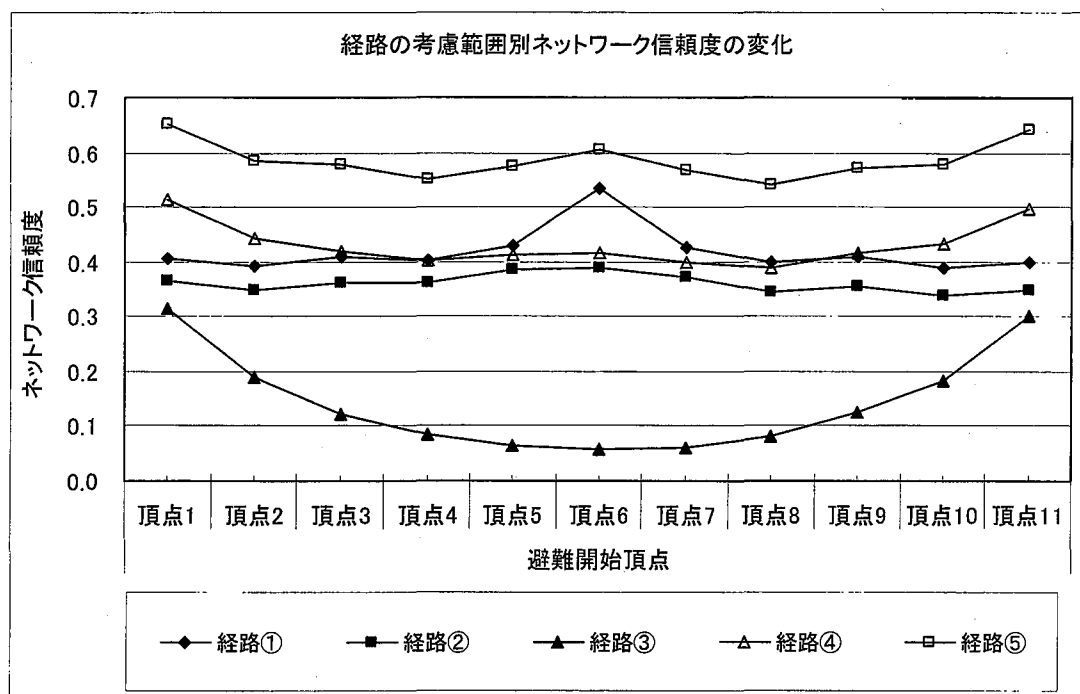


図 6-9 避難経路の考慮範囲別ネットワーク信頼度の変化

計算の結果によると、室内経路を通して避難階段に避難する場合のネットワーク信頼度がもっとも高い値を示しており、避難階段を通る避難が不可能と判断される避難弱者の場合を想定した非常用エレベーターまでの避難経路が、室内経路を通して避難階段に避難する避難経路より低い値を示している。

また、バルコニーを経由して非常用エレベーターホールに避難する経路が最も低い値を示している。この結果は、バルコニー上の避難障害により、バルコニーを経由する避難経路による避難安全性の向上は期待できない場合もあることを示唆すると考えられる。

(2) 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化計算

辺の通行不可による各頂点からのネットワーク信頼度の変化を確認することで、各頂点別の避難上に最も重要な辺の検索が可能である。ただし、各戸から廊下に出る扉と特別避難階段の附室の扉および非常用エレベーターホールの出入口、バルコニー経由経路は通行不可としない。また、この計算に用いる経路は、各戸からの避難が不可能にならないよう、室内経路およびバルコニー経由経路を通る全ての経路を考慮する場合とする。計算の便宜性のため、避難障害を含んでいる辺の通過信頼度を 0.7、基準辺の信頼度 $r_0=0.6$ 、基準距離 $d_0=60\text{m}$ とする。

表 6-8 と図 6-10 に、通行不可辺による各頂点のネットワーク信頼度の変化を示す。

頂点 1～頂点 4 は辺 23～辺 25 の通行不可の場合に最も信頼度が低くなり、頂点 7～頂点 11 は辺 29～辺 31 の通行不可の場合に最も信頼度が低くなる。これらは全て、室内避難経路の辺である。

この結果は、上記の辺が通行不可となることにより、室内から避難階段に避難する経路が不可能になるため、室階経路に比べて比較的避難障害が大きい、避難距離が長い連続バルコニーを経由する避難経路を選択することが原因であると考えられる。

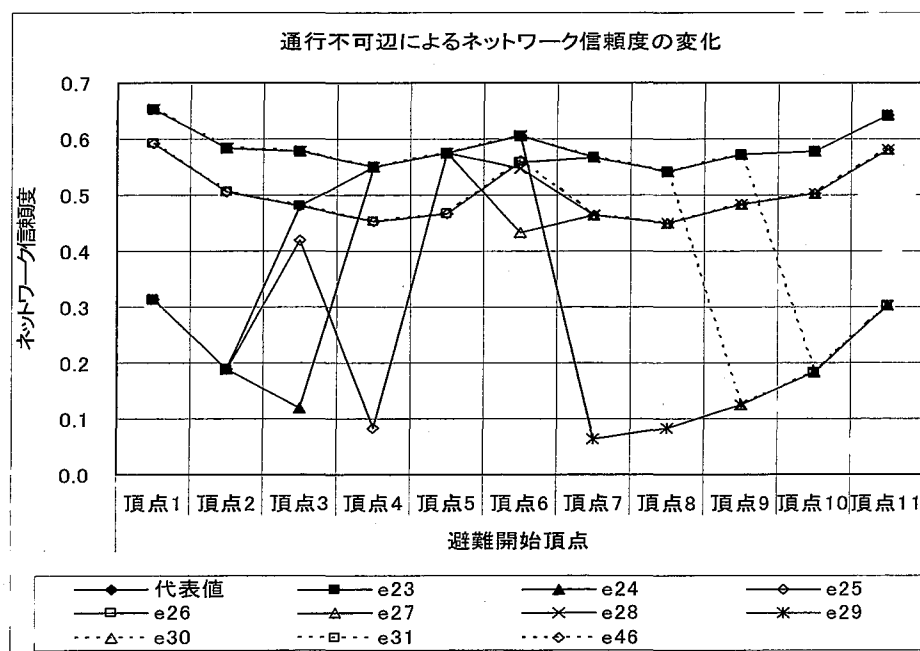


図 6-10 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化

表6-8 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化

		避難開始頂点											平均	最大値	最小値
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10	頂点11			
代表値		0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	0.585885	0.653592	0.542250
通行不可辺	e23	0.312979	0.189787	0.481314	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	0.510393	0.641524	0.189787
	e24	0.312979	0.189787	0.120469	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	0.477589	0.641524	0.120469
	e25	0.312979	0.189787	0.418389	0.084509	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	0.462275	0.641524	0.084509
	e26	0.592446	0.506299	0.481314	0.453851	0.467157	0.558362	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	0.541879	0.641524	0.453851
	e27	0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.434323	0.463462	0.448800	0.483616	0.501646	0.581399	0.532047	0.653592	0.434323
	e28	0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.547682	0.463462	0.448800	0.483616	0.501646	0.581399	0.542353	0.653592	0.448800
	e29	0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.604223	0.062547	0.082561	0.124715	0.184084	0.301757	0.390833	0.653592	0.062547
	e30	0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.124715	0.184084	0.301757	0.478469	0.653592	0.124715
	e31	0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.184084	0.301757	0.519221	0.653592	0.184084
e46		0.592446	0.506299	0.481314	0.453851	0.467157	0.561393	0.463462	0.448800	0.483616	0.501646	0.581399	0.503762	0.592446	0.448800
平均		0.539179	0.450207	0.486715	0.484843	0.552552	0.572710	0.485406	0.468246	0.456520	0.436768	0.521556			
最大値		0.653592	0.584023	0.576870	0.550888	0.573901	0.604223	0.566855	0.542250	0.572984	0.577622	0.641524	全平均 0.495882		
最小値		0.312979	0.189787	0.120469	0.084509	0.467157	0.434323	0.062547	0.082561	0.124715	0.184084	0.301757			

通行不可辺の最小値

6.4.5 超高層集合住宅のネットワーク信頼度計算のまとめ

ここでは、実在の超高層集合住宅を対象に、避難経路の考慮範囲別・避難障害の通過信頼度の変化・通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化の計算を行った。

その結果、次のことが分かった。

- ① 入居者のうち、下肢障害者が含まれている場合は室内を通って非常用エレベーターにたどり着く避難経路の信頼性に比べて、バルコニーを経由する避難経路の信頼性が顕著に低い。バルコニーを経由する避難経路が実際の避難に有効性を発揮するためには、バルコニー上の避難障害を減らして通過信頼度を高めるための対策が必要である。
- ② 避難障害の考慮有無により、避難開始頂点のネットワーク信頼度の優劣順番が変わる場合があることを確認した。
- ③ 室内経路が通行不可になる場合、バルコニーを通る避難の有効性が期待しにくいという結果は、室内経路の維持管理による避難経路確保の重要性を示している。

集合住宅は、他の用途の建物のバルコニーに比べて、バルコニー上に存在する避難障害を最小限にするための維持管理が難しい。さらに、各住戸のバルコニーは各戸の専用部分^{注2)}であるため、避難障害であってもバルコニー上の隣戸間の隔壁の撤去は不可能である。今回の結果は、バルコニーの避難障害が大きい集合住宅においては、室内廊下を通る避難経路の安全確保が非常に重要であることを示唆している。

6.5 ホテルのネットワークモデルを対象にした信頼度計算

ここでは、ホテルを対象にネットワーク信頼度の計算を行い、本研究の避難安全性の評価手法の妥当性と適用性の検討を行う。

ホテルの特徴は、第2章の2.5節で言及したとおりに次の項目が挙げられる。

- ① 無計画的な増改築により迷路のような廊下になっている場合がある。
- ② 大部分の上下移動がエレベーターによって行われるため、階段の位置が客には認識されにくい。
- ③ 寝タバコなどが原因で家具などの可燃物による出火可能性が高い。

6.5.1 対象となるホテルの概要

表 6-9 に、対象建物の概要と避難安全性にかかわる防災計画上の特徴を示す。

このホテルの平面上の特徴は、北側に 8 室、南側に 14 室の客室を配置し、東と西の両端部に避難階段とエレベーターを配置していることである。東側の階段室は、中廊下から直接進入可能であり、北側の面連続バルコニー側からの進入も可能である。また、西側の階段室は、中廊下からいったんバルコニーに出ないと進入できない（バルコニー経由型特別避難階段）。北側のバルコニーは連続であり、東側と西側の避難階段に直接進入が可能であるため、ネットワーク信頼度の計算上に有効な避難経路として考慮する。

南側のバルコニーは二カ所で途切れており、避難階段にもつながっていないため、一時避難場所と消防隊の進入拠点としての有効性は期待できるが、避難経路にはならないため、今回のネットワーク信頼度の計算では避難経路に考慮しない。

表 6-9 建物の概要と避難安全性にかかわる防災計画上の特性

		内容	備考
建築概要		地域・地区の指定 商業地域、準防火地域 (建ぺい率：80%、容積率：600%) 主要用途 ホテル 敷地面積 $-m^2$ 建築面積 $-m^2$ 延床面積 $-m^2$ 容積対象面積 $-m^2$ 階数 地上 20 階、塔屋 2 階 高さ 軒高さ 82.70.m 最高部 83.30m 塔屋高さ 83.30m 基準階高 $-m$ 構造種別 鉄筋コンクリート造、鉄骨構造、一部鉄骨鉄筋コンクリート造 施設規模 客室数 348 室	店舗、映画館、ホテル、事務所、駐車場の総合開発の一部としてのホテルであるため建築概要の情報が不十分なところがある。
設備計画概要	非常用発電機設備	防災用として、ディーゼル用発電設備	
	防災設備	自動火災報知設備、ガス漏れ火災警報設備、誘導灯、非常コンセント設備、非常電話、非常放送設備	
	消火設備	スプリンクラー設備、泡消火設備、火炎伝送防止装置、連結送水管、消火器	消防活動に役に立つ、バルコニーと非常用エレベーターを設置
	排煙設備	各階の排煙は、建築基準法による、自然排煙・機械排煙および告示第 33 号による排煙免除により対応する。	
	非常用エレベーター	防災センターに監視盤を設け、原則として防災センターの操作により管制運転にはいる。1 台有。	
防災計画基本方針	防災計画上の特徴	・3 階レベルに避難階に準ずる性能を持つ人工地盤を構成。 ・人工地盤には、避難者の一時滞留スペースとして十分な広さを持たせる。 ・全館にスプリンクラー設備を設置 ・客室階の各面にバルコニーを設け、各バルコニーに 2 ヶ所ずつ避難タラップを設置。	

防災計画基本方針	敷地と道路	・道路と建物の間は歩道状の公開空地とし、消防車の寄りつきとともに消防活動が容易に行えるよう十分なスペースを確保している。	
	避難階の位置	1 階	
	防火区画	・(堅穴区画)階段室、エレベーターシャフト、OA シャフト、EA シャフト、煙突、ダクトスペースなど。ESP、PS は水平区画。 ・(層間区画) ー ・(その他) ー	
	防煙区画	・原則として 500 m ² 以内ごと	
	安全区画	第一次安全区画は廊下、第二次安全区画は非常用エレベーター乗降ロビー兼特別避難階段の附室。	
避難誘導	非常用照明	予備電源内装器具とする。	
	誘導灯	消防法施行令第 26 条、消防法施行規則第 28 条 3 に基づき設置。	
消火計画	バルコニー	客室階の各面に避難バルコニーを設置。	
	非常用エレベーター	1 台。地震管制運転、自家発管制運転、乗降ロビー呼び戻し、防災センター呼び戻し、一時消防運転、二次消防運転。	
避難計画	避難計算	・「新・建築防災計画指針□建築物の防火・避難計画の解説書□」の計算法に従う。	
管理・運営	防災センター	1 階に設置する。	

6.5.2 建築空間のネットワークモデル化

図 6-11 は、実在のホテルの平面をネットワークモデル化したものである。避難開始頂点は、客室の最も奥に位置する頂点であり、避難完了頂点は、避難階段と特別避難階段の附室兼非常用エレベーターのホールに配置している。

ネットワークモデル上の避難開始頂点は頂点 1～頂点 22 であり、避難完了頂点は頂点 23、頂点 24、頂点 25 である。

室内廊下を経由する避難経路は辺 e23～e29 であり、避難障害を含んでいる辺は辺 e1～e22、辺 e29、辺 e30、辺 31、辺 35 である。また、有向化する辺は避難施設に繋がっている辺 29、辺 30、辺 31、辺 35 であり、頂点 26、頂点 32、頂点 33、頂点 36 から各々頂点 23、頂点 25、頂点 23、頂点 24 の方に有向化する。

6.5.3 計算の種類

頂点 1～頂点 8 からの避難は、廊下を通して避難階段への避難経路、またバルコニーを通して避難階段に至る避難経路が考えられるが、頂点 9～頂点 22 からの避難は、バルコニーが不連続であるため、バルコニーを通る避難を考慮せず、廊下を通る避難階段までの避難経路のみネットワーク信頼度の計算に考慮する。防災計画書上は、バルコニーに避難タラップが 2 カ所ずつ設置されていると明記しているが、避難施設ではないので、ネットワーク計算の対象外とする。

図 6-12 は、頂点 9 を避難階段とし、南側のバルコニーを連続バルコニーとして仮定した場合のホテルのネットワークモデルを示す。

頂点 9～頂点 22 からの避難は非常に不利なネットワーク信頼度の結果が予想されるため、ネットワークモデルを、

- ① 頂点9を避難階段に改修
- ② 南側のバルコニーを連続バルコニーに改修

した場合のネットワークモデルに変更し、各頂点からのネットワーク信頼度の計算を行い、変更前のネットワークモデルを用いた計算と比較し、変更による信頼度の変化をみる。

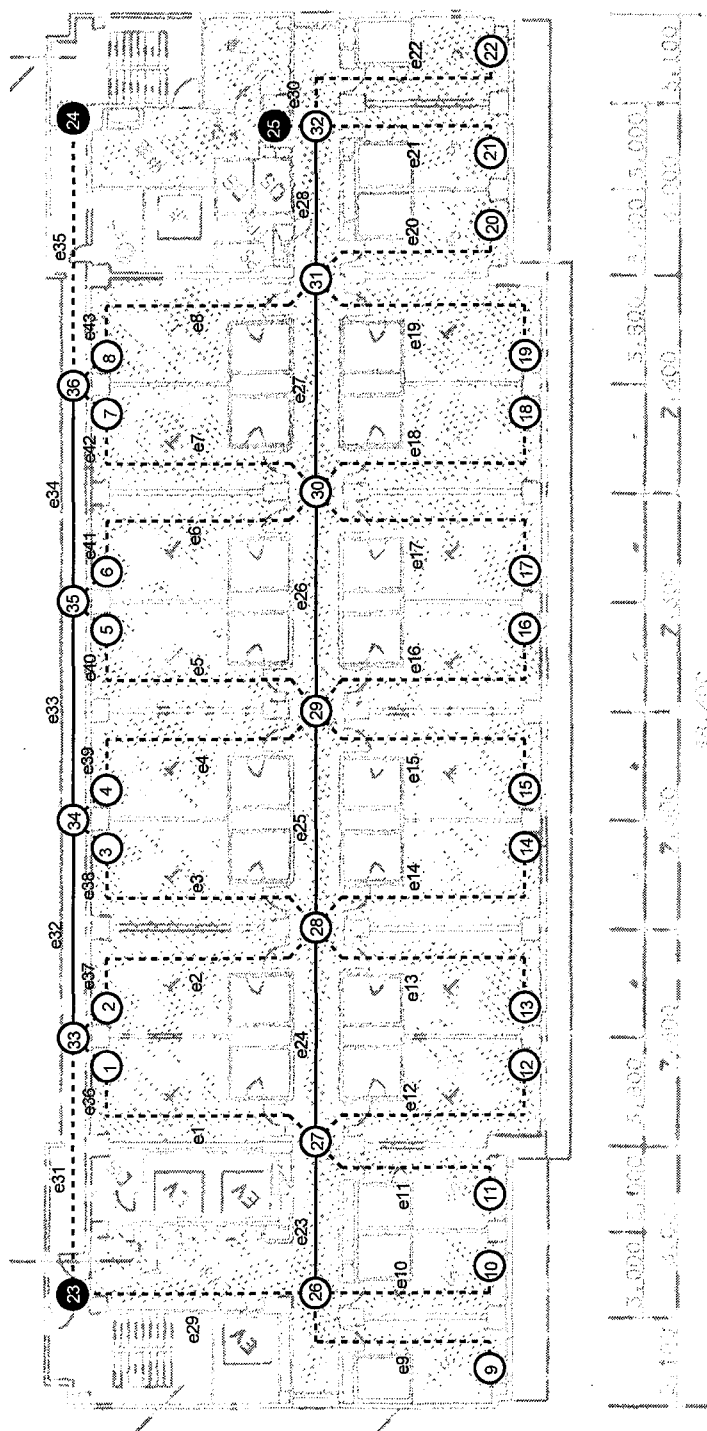


図 6-11 変更前のネットワークモデル

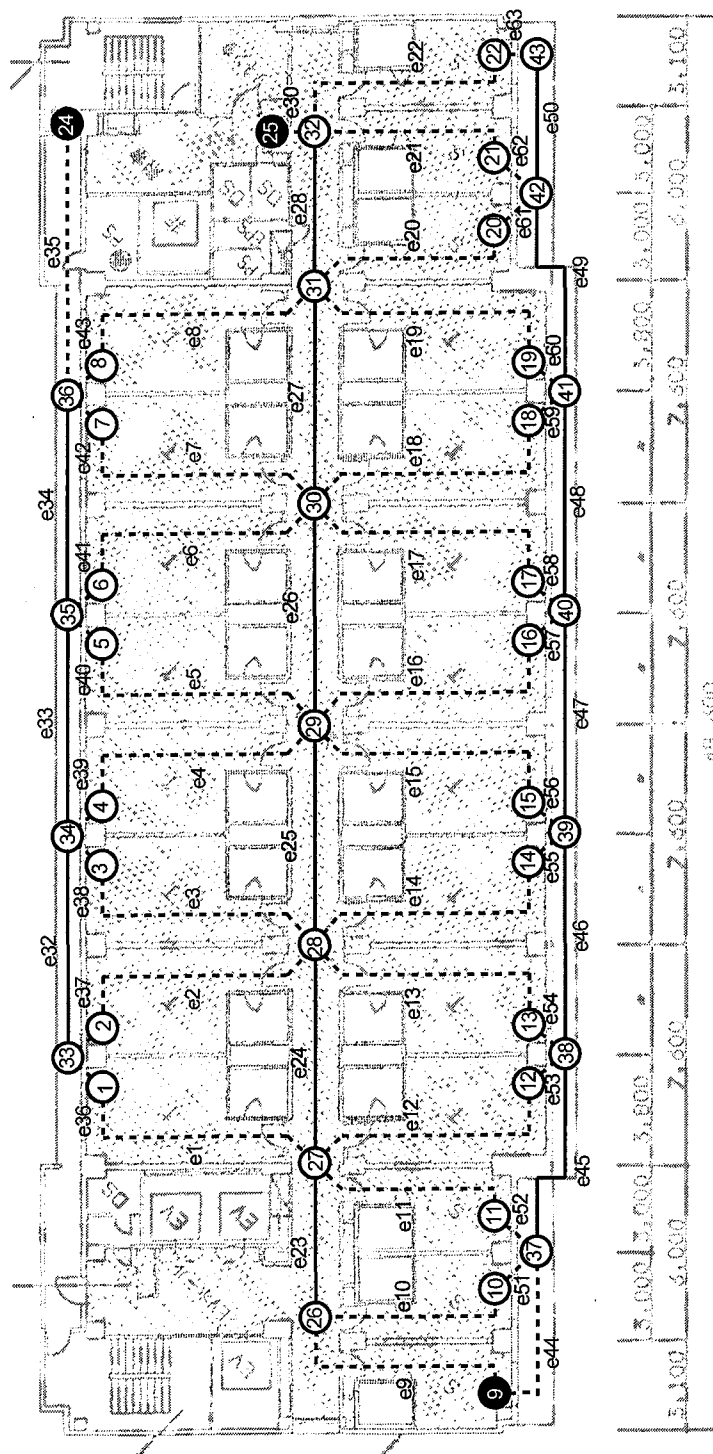


図 6-12 変更後のネットワークモデル

ホテルのネットワーク信頼度計算は、次の2種類の計算をネットワークモデルの変更前後に分けて行う。

- ① 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化の計算：
各客室の避難安全性の差によるネットワーク信頼度の差を確認する。
- ② 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化の計算：
避難時に通行不可になることで最も避難が不利になる辺を検出する。

6.5.4 結果の考察

(1) 通過信頼度(h_k)の変化によるネットワーク信頼度の変化計算

この計算により、避難障害を含んでいる辺 e1~e22、辺 e29、辺 e30、辺 31、辺 35 を 0.1 から 1.0 まで 0.1 ごとに増加させることによる、ネットワーク信頼度の変化を確認する。

表 6-10 と表 6-11、図 6-13 と図 6-14 は、ネットワークモデルの変更前後、各室から避難階段までの通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化を示している。計算の便宜性のため、基準辺の信頼度 $r_0=0.6$ 、基準距離 $d_0=60\text{m}$ とする。

1) 変更前ネットワークモデルの結果

頂点 9 と頂点 10 からの避難時のネットワーク信頼度が最も低く、次いで頂点 21 と頂点 22 からの避難時のネットワーク信頼度が続く。また、全体的なネットワーク信頼度の変化は、頂点 1~頂点 8 に比べて頂点 11~頂点 22 からの避難開始の信頼度が低い。

これは、頂点 9 と頂点 10、頂点 21 と頂点 22 の場合、頂点 26 から頂点 23 への辺 e29 と、頂点 32 から頂点 25 への辺 e30 が有向化されているため、各々一つの避難経路のみ選択できることで、他の頂点からの避難に比べて選択可能な経路数が少なくなるためである。このことは、選択可能な経路が少ないほど冗長性が小さくなるため、結果的に冗長性が小さい頂点からの避難が不利になることを示唆している。

また、頂点 11~頂点 22 までの頂点から避難時のネットワーク信頼度が、頂点 1~頂点 8 までの頂点から避難時に比べて低いのは、北側の客室に面したバルコニーだけが東と西に配置されている避難階段に直接に繋がっているため、頂点 11~頂点 22 からの避難経路が頂点 1~頂点 8 に比べて相対的に冗長性が小さいためである。

表6-10 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化
(ネットワークモデル変更前)

修正前		避難開始頂点(北側)								避難開始頂点(南側)				
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10	頂点11	頂点12	頂点13
通過信頼度	0.1	0.023332	0.023269	0.029902	0.029899	0.029898	0.029958	0.023300	0.023418	0.008629	0.008205	0.014630	0.014337	0.014274
	0.2	0.089449	0.089206	0.112023	0.112014	0.112010	0.112237	0.089326	0.089788	0.034518	0.032822	0.056076	0.054954	0.054701
	0.3	0.190674	0.190153	0.232558	0.232540	0.232531	0.233004	0.190415	0.191405	0.077664	0.073849	0.120672	0.118257	0.117689
	0.4	0.317368	0.316505	0.376000	0.375972	0.375958	0.376711	0.316948	0.318587	0.138070	0.131288	0.204754	0.200657	0.199646
	0.5	0.458584	0.457366	0.526821	0.526783	0.526764	0.527780	0.458005	0.460321	0.215734	0.205137	0.304655	0.298559	0.296980
	0.6	0.602734	0.601208	0.670859	0.670813	0.670790	0.671995	0.602027	0.604930	0.310656	0.295397	0.416710	0.408372	0.406098
	0.7	0.738231	0.736520	0.796386	0.796339	0.796314	0.797578	0.737457	0.740712	0.422838	0.402069	0.537255	0.526505	0.523410
	0.8	0.854150	0.852469	0.894904	0.894861	0.894836	0.895981	0.853399	0.856604	0.552278	0.525150	0.662623	0.649365	0.645323
	0.9	0.940889	0.939555	0.961618	0.961587	0.961567	0.962377	0.940278	0.942831	0.698978	0.664644	0.789149	0.773360	0.768244
	1	0.990815	0.990264	0.995623	0.995615	0.995603	0.995840	0.990481	0.991561	0.862935	0.820548	0.913168	0.894897	0.888581

頂点1~頂点8の全平均 0.540217

修正前		避難開始頂点(南側)									全ての避難開始頂点		
		頂点14	頂点15	頂点16	頂点17	頂点18	頂点19	頂点20	頂点21	頂点22	平均	最小値	最大値
通過信頼度	0.1	0.014274	0.014272	0.014272	0.014332	0.014332	0.014452	0.014698	0.009297	0.009199	0.017826	0.008205	0.029958
	0.2	0.054701	0.054692	0.054692	0.054933	0.054933	0.055413	0.056357	0.037188	0.036798	0.068129	0.032822	0.112237
	0.3	0.117689	0.117669	0.117669	0.118212	0.118212	0.119291	0.121322	0.083672	0.082795	0.145361	0.073849	0.233004
	0.4	0.199646	0.199610	0.199610	0.200576	0.200576	0.202494	0.205942	0.148751	0.147192	0.243312	0.131288	0.376711
	0.5	0.296980	0.296923	0.296923	0.298433	0.298433	0.301430	0.306563	0.232423	0.229988	0.355527	0.205137	0.527780
	0.6	0.406098	0.406017	0.406017	0.408191	0.408191	0.412507	0.419531	0.334689	0.331183	0.475682	0.295397	0.671995
	0.7	0.523410	0.523299	0.523299	0.526258	0.526258	0.532133	0.541194	0.455548	0.450776	0.597900	0.402069	0.797578
	0.8	0.645323	0.645178	0.645178	0.649043	0.649043	0.656716	0.667897	0.595002	0.588768	0.717004	0.525150	0.895981
	0.9	0.768244	0.768061	0.768061	0.772952	0.772952	0.782664	0.795990	0.753049	0.745160	0.828737	0.664644	0.962377
	1	0.888581	0.888355	0.888355	0.894394	0.894394	0.906384	0.921815	0.929690	0.919951	0.929902	0.820548	0.995840

頂点10~頂点22の全平均 0.383128

全平均 0.437938

表6-11 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化
(ネットワークモデル変更後)

修正後		避難開始頂点(北側)								避難開始頂点(南側)				
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10	頂点11	頂点12	頂点13
通過信頼度	0.1	0.014319	0.014257	0.022141	0.022140	0.022669	0.022730	0.023287	0.023406	-	0.017437	0.023802	0.022951	0.022890
	0.2	0.054888	0.054639	0.084883	0.084878	0.086907	0.087144	0.089280	0.089746	-	0.068831	0.091226	0.087994	0.087755
	0.3	0.118121	0.117563	0.181082	0.181072	0.185332	0.185842	0.190327	0.191325	-	0.151433	0.194355	0.187627	0.187112
	0.4	0.200436	0.199443	0.301888	0.301872	0.308743	0.309590	0.316819	0.318470	-	0.260662	0.323233	0.312468	0.311614
	0.5	0.298248	0.296697	0.437321	0.437297	0.446729	0.447935	0.457849	0.460182	-	0.390105	0.466542	0.451884	0.450672
	0.6	0.407974	0.405740	0.576843	0.576811	0.588288	0.589818	0.601863	0.604786	-	0.531516	0.612283	0.594616	0.593086
	0.7	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	-	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	0.8	0.648828	0.644856	0.826643	0.826605	0.838800	0.840582	0.853286	0.856514	-	0.808091	0.863781	0.845646	0.843900
	0.9	0.772791	0.767763	0.918214	0.918179	0.928274	0.929808	0.940215	0.942787	-	0.917602	0.948291	0.933957	0.932495
	1	0.894329	0.888122	0.977601	0.977577	0.983585	0.984484	0.990466	0.991554	-	0.987772	0.994108	0.986865	0.986093

頂点1~頂点8の全平均 0.482185

修正後		避難開始頂点(南側)									全ての避難開始頂点		
		頂点14	頂点15	頂点16	頂点17	頂点18	頂点19	頂点20	頂点21	頂点22	平均	最小値	最大値
通過信頼度	0.1	0.022346	0.022344	0.021836	0.021897	0.021426	0.021546	0.021316	0.015964	0.015626	0.020778	0.014257	0.023802
	0.2	0.085668	0.085663	0.083713	0.083951	0.082146	0.082615	0.081714	0.063105	0.061788	0.079930	0.054639	0.091226
	0.3	0.182729	0.182719	0.178624	0.179138	0.175349	0.176365	0.174456	0.139170	0.136337	0.171242	0.117563	0.194355
	0.4	0.304545	0.304528	0.297923	0.298784	0.292677	0.294386	0.291317	0.240407	0.235695	0.286929	0.199443	0.323233
	0.5	0.440968	0.440944	0.431877	0.433117	0.424741	0.427216	0.423073	0.361559	0.354847	0.418086	0.296697	0.466542
	0.6	0.581280	0.581249	0.570217	0.571815	0.561639	0.564859	0.559994	0.495870	0.487351	0.555138	0.405740	0.612283
	0.7	0.714776	0.714741	0.702687	0.704561	0.693473	0.697300	0.692329	0.635080	0.625329	0.688285	0.522988	0.748465
	0.8	0.831358	0.831321	0.819600	0.821595	0.810863	0.815026	0.810807	0.769431	0.759475	0.807953	0.644856	0.863781
	0.9	0.922117	0.922083	0.912382	0.914257	0.905468	0.909537	0.907117	0.887660	0.879046	0.905240	0.767763	0.948291
	1	0.979923	0.979901	0.974131	0.975549	0.970499	0.973868	0.974405	0.977006	0.971872	0.972367	0.888122	0.994108

頂点10~頂点22の全平均 0.495770

全平均 0.490595

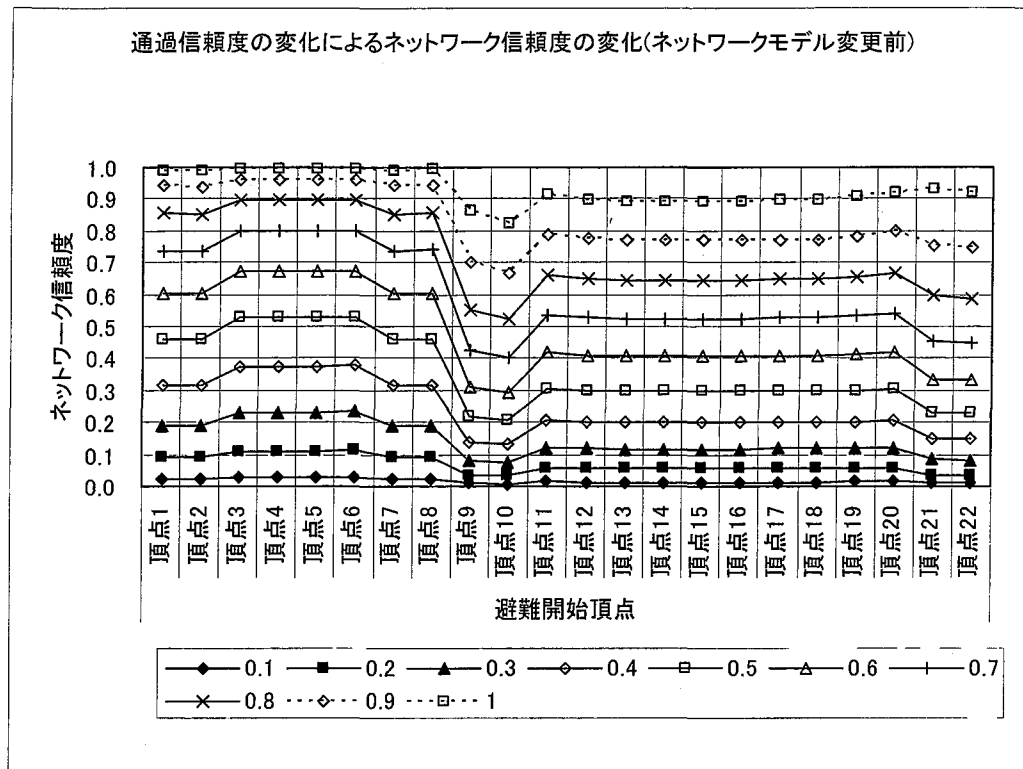


図 6-13 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化(ネットワークモデル変更前)

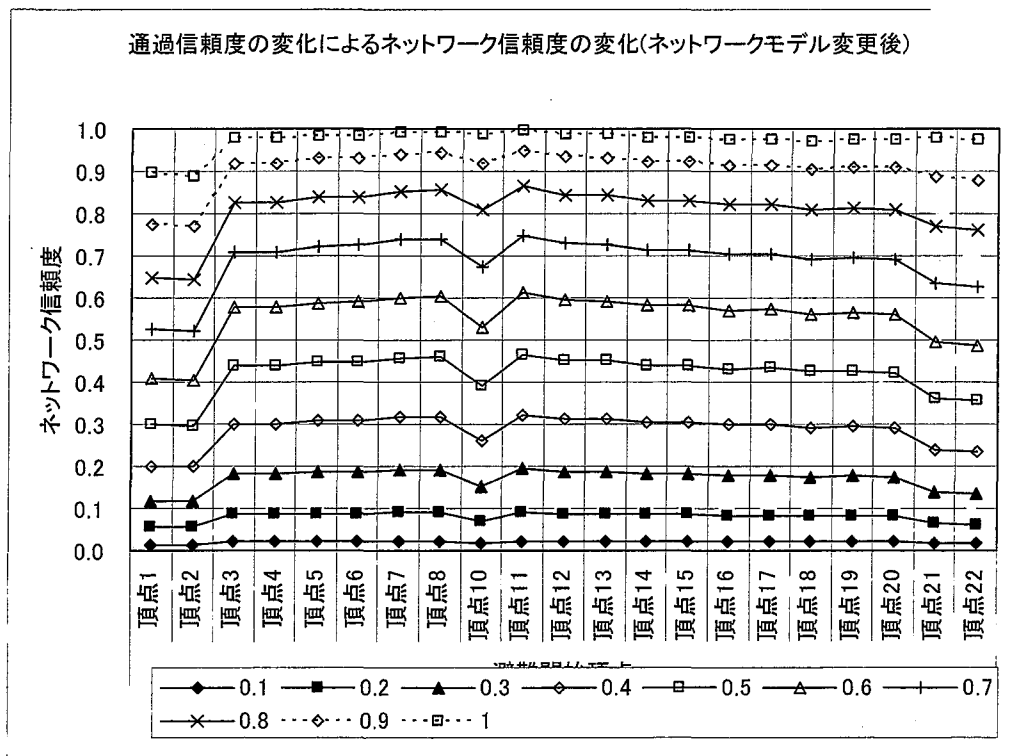


図 6-14 通過信頼度の変化によるネットワーク信頼度の変化(ネットワークモデル変更後)

2) 変更後ネットワークモデルの結果

頂点 9 を避難階段、南側のバルコニーを連続バルコニーに改修し、さらに頂点 9 の避難階段に直接繋がった場合のネットワーク信頼度の結果を表 6-11 と図 6-14 に示す。

頂点 1 と頂点 2 が最も低いネットワーク信頼度を示しており、次いで頂点 10、頂点 21、頂点 22 の順に低い。

これは、頂点 10、頂点 21、頂点 22 の場合、頂点 26 から頂点 9 への辺 e_9 と頂点 32 から頂点 25 への辺 e_{30} の有向化により、他の頂点からの避難に比べて相対的に選択可能な避難経路の数が少なくなり、避難経路の冗長性が小さくなるためである。また、頂点 1 と頂点 2 は、頂点 24 と頂点 25 から最も遠い位置にあるためである。

変更前のネットワークモデルに比べて、全平均が変更前の 0.437938 (表 6-10) から 0.490595 (表 6-11) に上昇している。

特に、頂点 9 以外の南側のバルコニーに接している頂点 11 から頂点 22 までの頂点からのネットワーク信頼度の全平均が 0.383128 から 0.495770 に上昇した。反面、頂点 1 ～頂点 8 からの避難の場合の全平均は、バルコニーを経由する避難経路が減るため、0.540217 から 0.482185 に低下する。

しかし、全般に改修することによるネットワークモデルの変更により、頂点 1 から頂点 22 まで(頂点 9 を除く)のネットワーク信頼度の分布が均一化されている。

(2) 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化計算

避難障害を含んでいない辺(変更前ネットワークモデル：辺 $e_{23} \sim e_{28}$ 、辺 $e_{32} \sim e_{34}$ 、変更後ネットワークモデル：辺 $e_{23} \sim e_{28}$ 、辺 $e_{32} \sim e_{34}$ 、辺 $e_{45} \sim e_{50}$)の通行不可によるネットワーク信頼度の変化を考察することで、各頂点からの避難時に最も不利になる辺を確認する。

ネットワークモデルの変更前後の通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化を、表 6-12 と表 6-13、図 6-15 と図 6-16 に示す。計算上の便宜性のため、基準辺の信頼度 $r_0=0.6$ 、基準距離 $d_0=60\text{m}$ 、通過信頼度 $h=0.7$ とする。

1) 変更前ネットワークモデルの結果

通行不可辺によるネットワーク信頼度の全体的な変化は、頂点 9 から頂点 22 までの頂点からの避難が、頂点 1 から頂点 8 までの頂点からの避難に比べて顕著に低い。

頂点 1 から頂点 8 までの場合は、頂点 1 からの避難時に辺 e23 の通行不可が、頂点 2 からの避難時に辺 e28、辺 e24、辺 e23 の通行不可が、頂点 7 からの避難時に辺 e28、辺 e27 の通行不可が、頂点 8 からの避難時に辺 e28 が通行不可になる場合のネットワーク信頼度が低くなる。

これらの辺は、避難開始頂点に近い辺、また避難施設に繋がっているという共通点があるが、この結果は単純ネットワークモデルを用いるネットワーク信頼度の計算結果と同じである。

2) 変更後ネットワークモデルの結果

ネットワークモデルの変更後は、全体的に均等なネットワーク信頼度の分布を表していることが図 6-16 から確認できる

避難時、不利になる辺は、頂点 1 と頂点 2 からの避難時に辺 e23 と辺 e24 が通行不可の場合最も低いネットワーク信頼度を表しており、頂点 21 と頂点 22 からの避難時に辺 e49・辺 50 が通行不可の場合が次の順である。

代表値に対する減少率の平均をみると、変更前ネットワークモデルは、頂点 1 から頂点 8 までの平均減少率が 7.9%であり、頂点 10 から頂点 22 までの平均減少率が 14.1%であったが、変更後ネットワークモデルでは、それぞれ 7.7%、8.6%と小さくなっている。これは、ネットワークモデルの変更により、各頂点からのネットワーク信頼度の分布の偏りを補完した結果を定量的に示すことであると考えられる。

表6-12 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化
(ネットワークモデル変更前)

修正前		避難開始頂点(北側)								避難開始頂点(南側)				
		頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10	頂点11	頂点12	頂点13
代表値		0.738231	0.736520	0.796386	0.796339	0.796314	0.797578	0.737457	0.740712	0.422838	0.402069	0.537255	0.526505	0.523410
通行不可辺	e23	0.629630	0.641652	0.723074	0.733086	0.733053	0.743823	0.667736	0.682281	0.422838	0.402069	0.336761	0.330023	0.351774
	e24	0.669319	0.641652	0.723074	0.733086	0.733053	0.743823	0.667736	0.682281	0.422838	0.402069	0.410033	0.401828	0.351774
	e25	0.669319	0.655586	0.733841	0.733086	0.733053	0.743823	0.667736	0.682281	0.422838	0.402069	0.410033	0.401828	0.376982
	e26	0.669319	0.655586	0.733841	0.723782	0.723748	0.743823	0.667736	0.682281	0.422838	0.402069	0.410033	0.401828	0.376982
	e27	0.669319	0.655586	0.733841	0.723782	0.723748	0.714242	0.629369	0.682281	0.422838	0.402069	0.410033	0.401828	0.376982
	e28	0.669319	0.655586	0.733841	0.723782	0.723748	0.714242	0.629369	0.618080	0.422838	0.402069	0.410033	0.401828	0.376982
	e32	0.738231	0.736520	0.710153	0.710086	0.722618	0.724339	0.737457	0.740712	0.422838	0.402069	0.537255	0.526505	0.523410
	e33	0.738231	0.736520	0.723084	0.723020	0.722618	0.724339	0.737457	0.740712	0.422838	0.402069	0.537255	0.526505	0.523410
平均		0.687880	0.679468	0.726426	0.725192	0.725122	0.729413	0.682450	0.694625	0.422838	0.402069	0.444299	0.435409	0.420190
減少率		6.8%	7.7%	8.8%	8.9%	8.9%	8.5%	7.5%	6.2%	0.0%	0.0%	17.3%	17.3%	19.7%

頂点1~頂点8の全減少率 7.9%
頂点1~頂点8の全平均 0.712434

修正前		避難開始頂点(南側)									全ての避難開始頂点		
		頂点14	頂点15	頂点16	頂点17	頂点18	頂点19	頂点20	頂点21	頂点22	平均	最小値	最大値
代表値		0.523410	0.523299	0.523299	0.526258	0.526258	0.532133	0.541194	0.455548	0.450776	0.597900	0.402069	0.797578
通行不可辺	e23	0.351774	0.375215	0.375215	0.400425	0.400425	0.426675	0.433940	0.455548	0.450776	0.503082	0.330023	0.743823
	e24	0.351774	0.375215	0.375215	0.400425	0.400425	0.426675	0.433940	0.455548	0.450776	0.511480	0.351774	0.743823
	e25	0.376982	0.375215	0.375215	0.400425	0.400425	0.426675	0.433940	0.455548	0.450776	0.514894	0.375215	0.743823
	e26	0.376982	0.353431	0.353431	0.400425	0.400425	0.426675	0.433940	0.455548	0.450776	0.512068	0.353431	0.743823
	e27	0.376982	0.353431	0.353431	0.331180	0.331180	0.426675	0.433940	0.455548	0.450776	0.502685	0.331180	0.733841
	e28	0.376982	0.353431	0.353431	0.331180	0.331180	0.310805	0.316097	0.455548	0.450776	0.489143	0.310805	0.733841
	e32	0.523410	0.523299	0.523299	0.526258	0.526258	0.532133	0.541194	0.455548	0.450776	0.583380	0.402069	0.740712
	e33	0.523410	0.523299	0.523299	0.526258	0.526258	0.532133	0.541194	0.455548	0.450776	0.584556	0.402069	0.740712
	e34	0.523410	0.523299	0.523299	0.526258	0.526258	0.532133	0.541194	0.455548	0.450776	0.583455	0.402069	0.740712
平均		0.420190	0.417315	0.417315	0.426982	0.426982	0.448953	0.456598	0.455548	0.450776			
減少率		19.7%	20.3%	20.3%	18.9%	18.9%	15.6%	15.6%	0.0%	0.0%	全平均 0.538264		

頂点10~頂点22の全減少率 14.1%
頂点10~頂点22の全平均 0.439962

全平均 0.538264

表6-13 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化（ネットワークモデル変更後）

修正後	避難開始頂点(北側)								避難開始頂点(南側)					
	頂点1	頂点2	頂点3	頂点4	頂点5	頂点6	頂点7	頂点8	頂点9	頂点10	頂点11	頂点12	頂点13	
代表値	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675	
通行不可辺	e23	0.329990	0.351739	0.605792	0.620045	0.636468	0.651134	0.667736	0.682281	—	0.674814	0.639818	0.617469	0.629888
	e24	0.400923	0.351739	0.605792	0.620045	0.636468	0.651134	0.667736	0.682281	—	0.674814	0.679130	0.657973	0.629888
	e25	0.400923	0.376133	0.620626	0.620045	0.636468	0.651134	0.667736	0.682281	—	0.674814	0.679130	0.657973	0.643818
	e26	0.400923	0.376133	0.620626	0.606337	0.623353	0.651134	0.667736	0.682281	—	0.674814	0.679130	0.657973	0.643818
	e27	0.400923	0.376133	0.620626	0.606337	0.623353	0.610436	0.628974	0.682281	—	0.674814	0.679130	0.657973	0.643818
	e28	0.400923	0.376133	0.620626	0.606337	0.623353	0.610436	0.628974	0.617710	—	0.674814	0.679130	0.657973	0.643818
	e32	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e33	0.526029	0.522988	0.522988	0.522928	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e34	0.526029	0.522988	0.522988	0.522928	0.522928	0.525934	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e45	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.526082	0.523040
	e46	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e47	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e48	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e49	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
	e50	0.526029	0.522988	0.709929	0.709892	0.722432	0.724181	0.737307	0.740586	—	0.674814	0.748465	0.729411	0.727675
平均	0.471258	0.460993	0.647304	0.646283	0.672123	0.676319	0.704310	0.712959		0.674814	0.718110	0.684580	0.678633	
減少率	10.4%	11.9%	8.8%	9.0%	7.0%	6.6%	4.5%	3.7%		0.0%	4.1%	6.1%	6.7%	

頂点1~頂点8の全減少率 7.7%
頂点1~頂点8の全平均 0.627083

修正後	避難開始頂点(南側)									全ての避難開始頂点			
	頂点14	頂点15	頂点16	頂点17	頂点18	頂点19	頂点20	頂点21	頂点22	平均	最小値	最大値	
代表値	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.693473	0.697300	0.692329	0.635080	0.625329	0.688285	0.522988	0.748465	
	e23	0.612359	0.626376	0.610589	0.626302	0.612276	0.629251	0.620597	0.635080	0.625329	0.605016	0.329990	0.682281
通行不可辺	e24	0.612359	0.626376	0.610589	0.626302	0.612276	0.629251	0.620597	0.635080	0.625329	0.612194	0.351739	0.682281
	e25	0.626948	0.626376	0.610589	0.626302	0.612276	0.629251	0.620597	0.635080	0.625329	0.615420	0.376133	0.682281
	e26	0.626948	0.612895	0.596538	0.626302	0.612276	0.629251	0.620597	0.635080	0.625329	0.612832	0.376133	0.682281
	e27	0.626948	0.612895	0.596538	0.582699	0.567036	0.629251	0.620597	0.635080	0.625329	0.604818	0.376133	0.682281
	e28	0.626948	0.612895	0.596538	0.582699	0.567036	0.553889	0.541157	0.635080	0.625329	0.594371	0.376133	0.679130
	e32	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.693473	0.697300	0.692329	0.635080	0.625329	0.688285	0.522988	0.748465
	e33	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.693473	0.697300	0.692329	0.635080	0.625329	0.670480	0.522928	0.748465
	e34	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.693473	0.697300	0.692329	0.635080	0.625329	0.651540	0.522928	0.748465
	e45	0.523040	0.522981	0.522981	0.525987	0.525987	0.531906	0.540963	0.455548	0.450776	0.593615	0.450776	0.748465
	e46	0.523040	0.522981	0.522981	0.525987	0.525987	0.531906	0.540963	0.455548	0.450776	0.613042	0.450776	0.748465
	e47	0.714776	0.714741	0.522981	0.525987	0.525987	0.531906	0.540963	0.455548	0.450776	0.631304	0.450776	0.748465
	e48	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.525987	0.531906	0.540963	0.455548	0.450776	0.648365	0.450776	0.748465
	e49	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.693473	0.697300	0.540963	0.455548	0.450776	0.664216	0.450776	0.748465
	e50	0.714776	0.714741	0.702688	0.704561	0.693473	0.697300	0.692329	0.635080	0.450776	0.679973	0.450776	0.748465
	平均	0.652135	0.651131	0.627097	0.631729	0.610299	0.620951	0.607885	0.575236	0.555508			
減少率	8.8%	8.9%	10.8%	10.3%	12.0%	10.9%	12.2%	9.4%	11.2%		全平均	0.635860	

頂点10~頂点22の全減少率 8.6%
頂点10~頂点22の全平均 0.641261

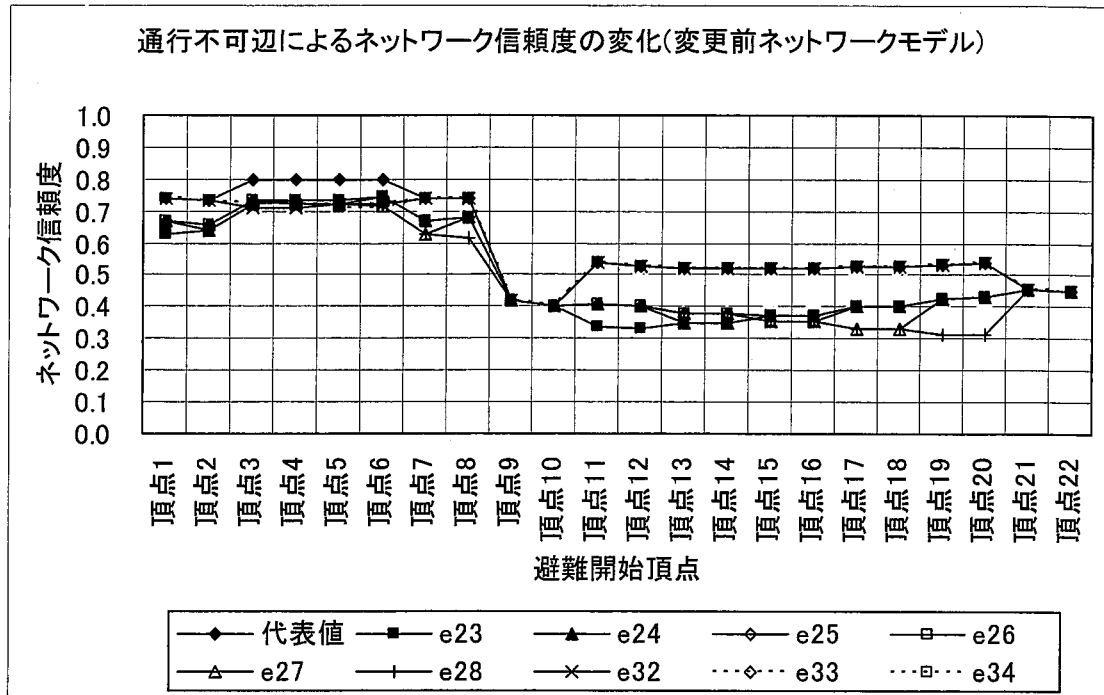


図 6-15 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化(ネットワークモデル変更前)

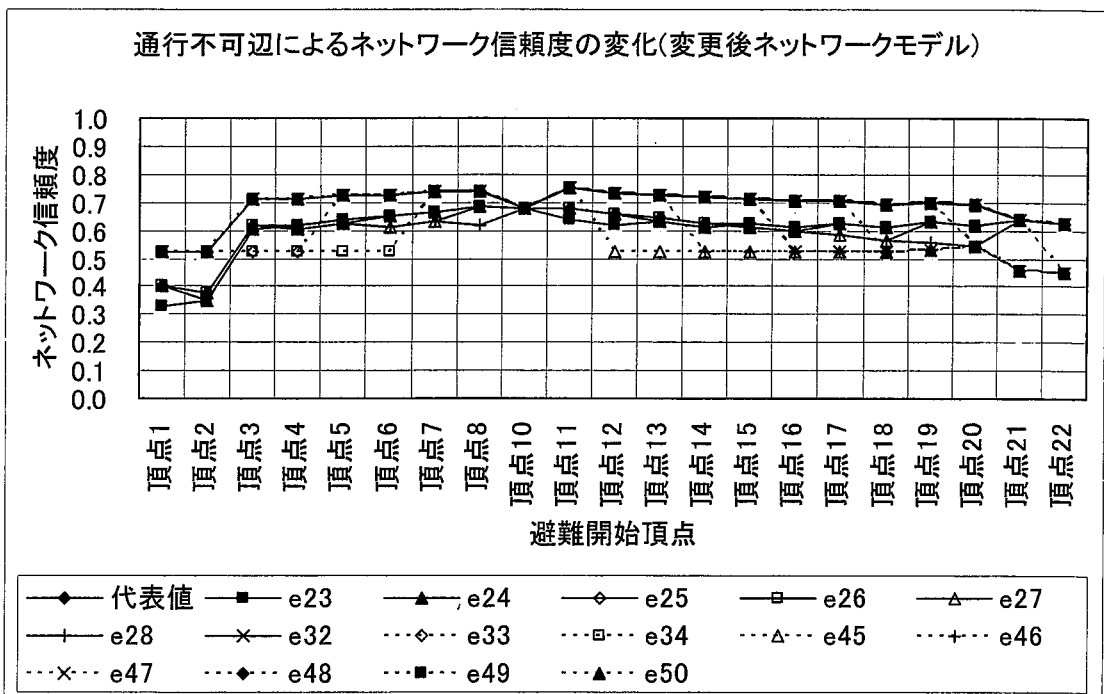


図 6-16 通行不可辺によるネットワーク信頼度の変化(ネットワークモデル変更後)

6.5.5 ホテルのネットワーク信頼度計算のまとめ

実在のホテルを対象に、避難施設の配置(連続バルコニーと避難階段の配置)の変化によるネットワーク信頼度の変化を通過信頼度の変化と通行不可辺を想定したネットワーク信頼度の計算から、避難に有効な避難施設の配置方による避難安全性の上昇を定量的に確認した。

バルコニーは、避難経路の冗長性を大きくする有効な手段の一つである。その効果を発揮させるためには、そのバルコニーが連続であること、直接避難階段へ繋がっていることなどの条件が必要である。

6.6 まとめ

第4章と第5章の避難距離と避難障害を同時に考慮する避難安全性の評価手法を実在平面のネットワークモデルに適用して、次のことを検討した結果、明らかになったことは、以下の通りである。

- (1) 全周バルコニーと水平避難区画を有する病院の病棟部の基準階平面を対象にして、経路選択法3の有効性について確認し、バルコニーを避難施設とした場合のネットワーク信頼度が向上すること、および、場所によって向上の程度に差があることを確認した。
- (2) 超高層集合住宅を対象にして、バルコニー上の避難障害による避難安全性の低下と非常用エレベーターホールを避難場所とした場合のネットワーク信頼度の向上を確認した。また、超高層集合住宅ではバルコニーを経由する避難の難しさ、室内経路の維持管理による信頼性の確保の重要性を定量的に示した。
- (3) ホテルを対象にして、連続バルコニーの配置と避難階段の配置との関係による避難安全性の差と、バルコニーの連続化、避難階段の適切な配置によるネットワーク信頼度の向上を定量的に示した。

以上、本章の実在平面のネットワークモデルに限ってではあるが、計算の結果は、避難距離と避難障害を同時に考慮するネットワーク信頼度の評価手法の妥当性と実効性を確認した。

今後の課題としては、以下のことがあげられる。

- (1) より多くの建築平面を対象にした比較考察とモデルの改良を重ねることが必要である。
- (2) 本章で用いる実在の建築平面以外のネットワークモデルでも経路選択法 2 と経路選択法 3 の差が十分小さいことを確認する必要がある。

■ 注

注 1) 一般に、有向化された辺が多いほど経路選択法 2 と経路選択法 3 の結果の差は小さくなる。

注 2) 区分所有された建物の「専有部分」と「共有部分」一つの建物が区分所有されているとき、区分された部分を所有する権利を「区分所有権」、その権利を所有する人を「区分所有者」、その所有された部分を「専有部分」、専有部分以外を「共有部分」という。マンションでは、原則として、壁やサッシ、ドアで区切られた内側が専有部分となり、それ以外の柱や壁のコンクリート部分やバルコニーは共用部分となる。

■ 参考文献

¹⁾ 大阪建築防災センター：防災計画書作成要領、平成 17 年 5 月

第 7 章 結論

CHAPTER 1

CHAPTER 2

CHAPTER 3

CHAPTER 4

CHAPTER 5

CHAPTER 6

CHAPTER 7

本章では、これまでの各章における内容を総括するとともに本研究の成果を整理し、全体の結論とする。

7.1 各章のまとめ

第1章では、建物の大型化、複合化、高層化、複雑化により、設計者の勘や経験だけでは避難安全性を確保する建築計画が困難になっている現状をふまえ、その解決策の一環として建物の避難安全性を定量的に評価する手法の開発が必要であることを示した。また、関連する既往の研究について概観し、研究の方法および構成を示すとともに、重要な用語の定義を行った。

第2章では、避難安全性に対する空間的対応と設備的対応の整理と、避難計画における避難経路の要求条件に対する文献調査に基づき、防災計画書と建築防災評定委員会の果たす役割について述べた。

第3章では、本研究の避難安全性評価手法の基本概念であるネットワーク信頼度に関する理論に基づき、空間を連結する辺の信頼度および辺の連結性に依存するネットワーク信頼度を定義し、ネットワーク信頼度の計算方法を示した。また、既往の計算に比べて計算の正確性と迅速性を高めるために開発したネットワーク信頼度の計算プログラムの概要を述べた。

第4章では、距離が長くなることによって辺の信頼度が指数関数的に低下すると仮定し、それに対する理論的考察を行った。次いで、辺の信頼度が指数形態に減衰すると仮定することで、既往のネットワーク信頼度の計算が持っていた問題点が解決できることを示した。

この概念を基にするネットワーク信頼度の計算法を単純ネットワークモデルに適用し、規模の差によるネットワーク信頼度の差を定量的に示した。また、ネットワークモデルの連結形態による避難安全性の変化と避難施設の配置による避難安全性の変化を定量的に評価することで、避難安全性に有効な避難経路の形態と避難施設の配置の定量的評価の可能性を検討した。

第5章では、より合理的かつ現実的な避難安全性の評価手法の開発のため、扉の通過

という避難障害が避難経路上に存在する時に、辺の信頼度が扉の前後で不連続的に低下するという概念を追加したモデルの有効性を理論的に考察した。このモデルは、避難距離と避難経路の連結性だけを評価要素として考慮したネットワーク信頼度の計算に比べて、避難障害がネットワーク信頼度におよぼす影響を定量的に示すことができるため、より現実的かつ合理的な評価の可能性を提示したと考えられる。

また、既往の避難安全性評価法で使われる経路選択法である最短距離選択法(経路選択法 1)と、考えられる全ての経路選択法(経路選択法 2)の問題点を解決するため、非現実的な迂回路を排除する経路選択法 3 を提案し、単純ネットワークモデルを用いるネットワーク信頼度計算を通じて、その有効性と実用性を確認した。

第 6 章では、まず実在建物の平面のネットワークモデル化方法について述べ、次いで、不特定多数の人が利用し、かつ避難弱者が使用する公共性が高い用途の建築物である、病院の病棟部、超高層集合住宅、ホテルの宿泊棟の基準階の平面をネットワークモデル化し、第 4 章と第 5 章で示した避難距離と避難障害を同時に考慮する避難安全性評価手法を適用し、その実効性、妥当性、適用性を検討した。

7.2 今後の課題と展開

本研究で解決できなかったり、十分に検討できなかった事項を、以下に示す。

(1) 評価手法の実用化に向けたパラメータの設定について

本研究で提案する避難安全性の評価手法は、辺の信頼度と通過信頼度をパラメータとする評価手法であるため、実際の建築計画に適用するためには、辺の信頼度に影響を与える避難距離の定量的な数値や通過信頼度の影響を与える定量的な数値を実験やシミュレーションなどにより定める必要がある。

(2) 避難安全性と火災による熱や煙に対する検討について

本研究では、火災により避難経路の信頼度が低下する現象を考慮していないが、現実の火災を反映させて、火災の進展により順次避難経路の信頼度が低下する状態をモデル化する必要がある。防火・防煙区画としての扉は、避難障害になる一方で、避難経路の信頼度低下を遅らせる効果が期待できるため、この観点から火災の進展による避難経路の信頼度の時間的変化をネットワーク信頼度の計算に反映するための理論的な考察とモデルの拡張が必要である。

(3) 経路選択法の妥当性の検討について

経路選択法 3 の一般性を確認するためには、より多様な実在の建築平面のネットワークモデルを対象に、経路選択法 2 と経路選択法 3 の差が十分小さいことを確かめる必要がある。

(4) 評価手法を適用する対象の拡大について

病院・超高層共同住宅・ホテル以外の、より多くのビルディングタイプの建築平面を対象にしたネットワーク信頼度の計算を通じた比較考察と、モデルの改良を重ねることが必要である。

(5) ネットワーク信頼度の計算プログラムの改良

現在使用中のネットワーク信頼度計算プログラムは、計算能力に限界があるため、より大規模なネットワークに十分対応できない。また、使用法を簡単にすることで、操作性や汎用性を高める必要がある。

研究の業績と謝辞

研究の業績

謝辞

■ 研究業績

「審査付論文」

- ・ 鄭軍植、吉村 英祐：避難経路の信頼度の距離減衰を考慮した避難安全性の定量的評価について－ネットワークモデルを用いた避難経路の信頼度の分析法(その 1)－、日本建築学会計画系論文集、No.616、pp. 71-76、2007.6
- ・ 鄭軍植、吉村英祐：避難障害による避難経路の信頼度の低下を考慮した避難安全性の定量的評価について－ネットワークモデルを用いた避難経路の信頼度の分析法(その 2)－、日本建築学会計画系論文集、No.625、pp.551-557、2008.3

「海外発表」

- ・ Gunsik JEONG, Hidemasa YOSHIMURA : QUANTITATIVE ESTIMATION METHOD OF ESCAPE SAFETY IN BUILDINGS USING NETWORK MODEL、The 6th International Symposium on Architectural Interchange in Asia、pp.133-138、Daegu、2006

「研究発表会梗概」

- ・ 鄭軍植、吉村英祐：距離減衰と避難障害を同時に考慮した場合のネットワーク信頼度の考え方について、日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1、pp.1165-1166、2007
- ・ 崔ジュンヨン、鄭軍植：韓国の共同住宅のリーモデリング現況の避難安全面での考察について、日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1、pp.13-14、2007
- ・ 鄭軍植、吉村英祐：避難距離による辺の信頼度の低下がネットワーク信頼度に及ぼす影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1、pp.1111-1112、2006
- ・ 鄭軍植、柏原士郎、吉村英祐、横田隆司、飯田匡：防火区画のつながり方からみた避難経路の信頼度の定量的評価方法について、日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1、pp.1017-1018、2005

- ・ 鄭軍植、柏原士郎、吉村英祐、横田隆司、飯田匡：モデルを用いる避難経路の信頼度の定量的評価方法に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集 第 45 号・計画系、pp.257-260、2005
- ・ 鄭軍植、山内幸治、柏原士郎、吉村英祐、横田隆司、飯田匡：防火・避難に関する建築法規を考慮したファサードデザインの手法の分類、日本建築学会近畿支部研究報告集 第 44 号・計画系、 pp.469-472、2004

■ 謝 辞

本研究を進めるにあたり、長期にわたるご指導と暖かな励ましを賜り、日本での生活も深い関心を持って見守って下さいました大阪工業大学工学部建築学科 吉村英祐教授に心から感謝を捧げます。同様に、本研究のとりまとめにあたり、有益なご助言とご支援をいただいた大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 横田隆司教授と飯田匡講師の綿密なるご指導とご鞭撻を賜りましたことを、心より感謝いたします。

大阪大学大学院 奥俊信教授、大阪大学大学院 阿部浩和教授には、本研究の審査を通じて、多くの的確なご指摘とご助言を賜りましたことを、心より感謝いたします。

また、留学の際に、建築・都市人間工学領域の研究室に暖かく受け入れていただき、強力なご支援とご援助を賜りました大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻 柏原士郎名誉教授（現、武庫川女子大学教授）に深い感謝を捧げます。

さらに、避難距離による信頼度の低下の理論的考察におきまして、貴重なご教示を頂きました東京工業大学 青木義次教授にこの場を借りて感謝の意を表します。

韓国から有益なご助言と支援をいただき、研究室の先輩でもある啓明大学都市工学科 金漢洙教授、啓明文化大学建築科 崔竣營教授、韓国海洋大学海洋科学技術大学海洋空間建築学部 李明權教授に深く感謝を捧げます。

留学を決心するさいに、有益な情報とご支援を頂きました東西大学建築土木システム工学部建築工学科 全大翰教授、東西大学建築土木システム工学部建築設計学科 李商俊教授、東亜大学建築学部 金基守教授、匠人建築設計事務所 鄭春國所長に深く感謝を捧げます。

研究に関する情報・意見交換を行う機会を与えていただいた、博士後期課程の河野 学さんと Hamzaoui Talal さんにこの場を借りて心から感謝いたします。また、建築・都市人間工学領域の研究室の先輩である佐野こずえ博士、中島佐智子博士、西岡絵美子博士、崔容準博士に深い感謝を捧げます。同様に、建築・都市人間工学領域で共に研究を行った博士後期課程・博士前期課程・学部学生皆様にも深くお礼を申し上げます。

また、留学生として異国での生活を支えて下さいました河北信幸おじさんと、私の転進に対して深い理解を示してくれて、精神的・経済的に私の留學生活を支援してくれた父、母、弟、弟嫁にも、心から感謝いたします。

最後に、後ろで自分を犠牲しながら私を支援してくれた愛する妻に感謝いたします。

付録

Keiro_v6 Program

```

#include "keiro.h"

int main(void)
{
    FILE* l_fp; //load file pointer
    FILE* s_fp; //save file pointer
    char save_file_name[FILE_NAME_LEN_MAX] = "result";
    //char save_file_type[FILE_TYPE_LEN_MAX] = ".txt";
    //char save_file_num[FILE_NUMBER_MAX] = "0";
    //char save_file_partition_num[FILE_NUMBER_MAX] = "0";
    //C3TABLE c3table[C3_TBL_MAX];
    WDATA w_data;
    float shinraido;
    float input_shinraido[INPUT_SHINRAIDO_TBL_MAX];
    unsigned int input_keiro[INPUT_KEIRO_TBL_MAX];
    unsigned _int64 input_keiro2[INPUT_KEIRO_TBL_MAX];
    unsigned int thurosu; //E 通路数
    unsigned int keirosu; //P 経路数
    unsigned int pattern_num;
    unsigned int file_load_cnt = 0; //信頼度ファイルの読み込み回数
    unsigned int file_partition_num = 0;
    unsigned int need_keta = 0;
    unsigned int shinraido_data_cnt = 0;
    //unsigned int file_partition_flag = 0;
    unsigned int progress = 0;
    unsigned _int64 j;
    unsigned int work_cnt = 0;
    unsigned int work_file_line_cnt = 0;
    //double progress01 = 0;
    //double progress02 = 0;
    float shinraido_sum = 0.0;

    //変数の初期化-----
    w_data.sign = 0;
    w_data.work_keiro = 0;
    //
    memset(shinraido_table, 0, sizeof(shinraido_table));
    memset(input_shinraido, '¥0', sizeof(input_shinraido));
    memset(input_keiro, '¥0', sizeof(input_keiro));
    memset(input_keiro2, '¥0', sizeof(input_keiro2));
    //変数の初期化-----

    //入力-----
    printf("処理を始めます。キーボードを押してください¥n press ANY KEY to  

    continue..¥n");
    while(!wait());

    if((l_fp = fopen("keiro_data.txt", "r")) == NULL)

```

```

{
    //open for read only
    printf("[keiro_data.txt] FILE is not exist.¥n ファイルが存在し
    せん¥n programe is terminated¥n press ANY KEY to continue..¥n");
    while(!wait());
    return 0;
}
//file_load(input_keiro, &keirosu, &thurosu, l_fp); // load data from
file
file_load2(input_keiro2, &keirosu, &thurosu, l_fp); // load data from
file
fclose(l_fp);

if((l_fp = fopen("shinraido_data.txt", "r")) == NULL){
    printf("[shinraido_data.txt] FILE is not exist.¥n ファイルが存在
    しません。¥n program is terminated¥n press ANY KEY to
    continue..¥n");
    while(!wait());
    return 0;
}

for(file_load_cnt = 1; shinraido_data_cnt != FILE_END; file_load_cnt++){

    shinraido_data_cnt = float_file_load(input_shinraido, l_fp);

    if(shinraido_data_cnt != FILE_END){

        if(thurosu != shinraido_data_cnt){
            printf("-----¥n");
            printf("[%d] 番目信頼度¥n", file_load_cnt);
            printf("入力した通路数[%d]    入力した信頼度データ
            数[%d]¥n", thurosu, shinraido_data_cnt);
            printf("入力した信頼度データの数が合いません。信頼
            度データの数を確認してください¥n");
            printf("プログラムを終了します¥n");
            printf("-----¥npress ANY KEY to
            continue..¥n");
            while(!wait());
            return 0;
        }

    }

//入力-----
    pattern_num = get_pattern(&keirosu);
    //経路数から全てのパターンの数を求める

    if( pattern_num > FILE_LINE_MAX ){
        file_partition_num = (int)pattern_num /
FILE_LINE_MAX;
        //ファイル分割数を求める
        file_partition_num -= 1;
    }
}

```

```

        if( (signed)file_partition_num < 0 ){
            file_partition_num = 0;
        }

    }else{
        file_partition_num = 0;
    }
    progress = pattern_num;
    //progress01 = (double)pattern_num * (double)keirosu;
    //処理に必要なループ回数を求める
    //progress02 = (double)pattern_num * (double)thurosu;
    //処理に必要なループ回数を求める
    file_naming(save_file_name, &file_load_cnt,
    &file_partition_num);

    if((s_fp = fopen(save_file_name, "w+")) == NULL) {
        //open for write
        printf("save FILE open error¥n");
        exit(EXIT_FAILURE);
    }else{
        //file_save(input_keiro, &file_load_cnt,
        input_shinraido, c3table, shinraido_table,
        &thurosu, &keirosu, &pattern_num, &shinraido_sum,
        s_fp);
        //head_write_to_file(input_keiro, input_shinraido,
        &keirosu, &thurosu, s_fp);
        head_write_to_file2(input_keiro2, input_shinraido,
        &keirosu, &thurosu, s_fp);
    }

//処理-----
    for(work_cnt = 1; work_cnt <= pattern_num; work_cnt++,
    progress --){
        w_data.sign = -1;
        for(j=0; j < keirosu; j++){
            if( ( (work_cnt) >> j) << 63) >> 63 ){
                //w_data.work_keiro |=
                input_keiro[(keirosu-1) - j];
                w_data.work_keiro |=
                input_keiro2[(keirosu-1) - j];
                w_data.sign *= -1;
            }
            //progress01 --;
            //printf("p_1->%12.0f¥n", progress01);
        }

        shinraido = 1;
        for(j=0; j < thurosu; j++){

```

```

        if( ((w_data.work_keiro >> j) << 63) >> 63) {
            shinraido *=
            input_shinraido[(thurosu - 1) - j];
        }

        //progress02 --;
        //printf("p_2->%12.0f¥n", progress02);
    }

    shinraido *= w_data.sign;
    shinraido_sum += shinraido;

    work_write_to_file2(&work_cnt, &w_data, &shinraido,
    &pattern_num, &thurosu, s_fp);
    work_file_line_cnt++;

    if(work_file_line_cnt > FILE_LINE_MAX) {

        work_file_line_cnt = 0;
        file_partition_num ++;

        fclose(s_fp);
        file_naming(save_file_name, &file_load_cnt,
        &file_partition_num);
        if((s_fp = fopen(save_file_name, "w+")) ==
        NULL) { //open for write
            printf("save FILE open error¥n");
            exit(EXIT_FAILURE);
        }
    }

    w_data.sign = 0;
    w_data.work_keiro = 0;
    printf("progress -> %lu¥n", progress);
/*
*****
    }//for pattern_num

    result_write_to_file(&shinraido_sum, s_fp);
    fclose(s_fp);

//処理-----

//出力-----

    printf("¥n");
    printf("結果-----
    ");
    printf(" [ %f ]¥n", shinraido_sum);
    if(file_partition_num){

```

```

        printf("[result%02d_%02d.txt]->", file_load_cnt,
        file_partition_num);
    }else{
        printf("[result%02d.txt]->", file_load_cnt);
    }
    printf("%d data saved¥n", work_file_line_cnt);
//ファイルへ出力
//出力-----
} //IF ! FILE END
//変数の初期化
//shinraido_data_cnt = 0;
work_file_line_cnt = 0;
pattern_num = 1;
need_keta = 0;
//memset(c3table, '¥0', sizeof(c3table));
//memset(shinraido_table, 0, sizeof(shinraido_table));
memset(input_shinraido, '¥0', sizeof(input_shinraido));
shinraido_sum = 0.0;
} //FOR FILE_END

printf("処理が終わりました。キーボードを押してください¥npress ANY KEY to
continue..¥n");
while(!wait());
fclose(l_fp);
return 0;
}
//main 関数の終わり
=====

int num_input(void)
{
    char in_buf[255];
    int inkey = 0;

    while(!inkey){
        rewind(stdin);
        scanf("%s", in_buf);
        inkey = atoi(in_buf);
    }
    return inkey;
}
//-----
//-----
int str_to_binary(char* in_buf) //文字列を2進数に変換
{
    unsigned int binary_num = 0x0000;
    int start_pos;
    int i;

```

```

        start_pos = strlen(in_buf) - 1;

        for(i=start_pos; i >= 0; i--){
            if(in_buf[i] == '1' ){
                binary_num |= 0x0001 << (start_pos - i);
            }
        }
        return binary_num;
    }
}

_int64 str_to_binary2(char* in_buf)                //文字列を2進数に変換
{
    unsigned _int64 binary_num = 0;
    unsigned _int64 mask = 0x0000000000000001;
    int start_pos;
    int i;

    start_pos = strlen(in_buf) - 1;

    for(i=start_pos; i >= 0; i--){
        if(in_buf[i] == '1' ){
            binary_num |= mask << (start_pos - i);
        }
    }
    return binary_num;
}

//-----
//-----
int binary_input() {
    char in_buf[255];
    rewind(stdin);
    scanf("%s", in_buf);
    return str_to_binary(in_buf);
}

//-----
//-----
void num_to_binary_str(unsigned long number, char* p_str, int keta)
{
    int i;
    for(i=0; i < keta; i++){
        if( ((number >> i) << 63) >> 63 ){
            p_str[keta-(i+1)] = '1';
        }else{
            p_str[keta-(i+1)] = '0';
        }
    }
    p_str[keta] = '\0';
}

```

```

}

void num_to_binary_str2(unsigned _int64 number, char* p_str, int keta)
{
    int i;
    for(i=0; i < keta; i++){
        if( ((number >> i) << 63) >> 63 ){
            p_str[keta-(i+1)] = '1';
        }else{
            p_str[keta-(i+1)] = '0';
        }
    }
    p_str[keta] = '¥0';
}
//-----
//-----
char* binary_output(int number, int keta)
{
    char out_buf[255];
    num_to_binary_str(number, out_buf, keta);
    return &out_buf[0];
}
//-----
//-----
int get_binary_keta(int number)
{
    int need_keta;
    for(need_keta = 1; number > 1; need_keta++){
        number /= 2;
    }
    return need_keta+1;
}

int get_binary_keta2(_int64 number)
{
    unsigned _int64 mask = 0x8000000000000000;
    for(int i=0; i < 64; i++){
        if(number & (mask >> i)){
            break;
        }
    }
    return (64-i);
}
//-----
//-----
void file_load(unsigned int* input_keiro, unsigned int* p_keirosu, unsigned int*
p_thurosus, FILE* l_fp)
{

```

```

int end_flg = 0;
int cnt = 0;
unsigned int* p_start;
char in_buf[255];

p_start = input_keiro;

while(!end_flg) {
    if(fscanf(l_fp, "%s", in_buf) != EOF) {
        //printf("load->%s\n", in_buf);
        //printf("to binary->%x\n", str_to_binary(in_buf));
        *p_thurosu = strlen(in_buf);

        *input_keiro = str_to_binary(in_buf);
        //文字列を2進数に変換
        //printf("in_k[%d]->%x\n", cnt, input_keiro[cnt]);
        cnt++;
        input_keiro++;
    }
    else{
        end_flg = 1;
    }
} //while
if(*p_start == '\0') {
    printf("data is not exist\n");
}
*p_keirosu = cnt;
}

void file_load2(unsigned _int64* input_keiro, unsigned int* p_keirosu, unsigned
int* p_thurosu, FILE* l_fp)
{
    int end_flg = 0;
    int cnt = 0;
    unsigned _int64* p_start;
    char in_buf[255];

    p_start = input_keiro;

    while(!end_flg) {
        if(fscanf(l_fp, "%s", in_buf) != EOF) {
            //printf("load->%s\n", in_buf);
            //printf("to binary->%x\n", str_to_binary(in_buf));
            *p_thurosu = strlen(in_buf);

            *input_keiro = str_to_binary2(in_buf);
            //文字列を2進数に変換
            //printf("in_k[%d]->%x\n", cnt, input_keiro[cnt]);

```

```

        cnt ++;
        input_keiro++;
    }
    else{
        end_flg = 1;
    }
} //while
if(*p_start == '¥0'){
    printf("data is not exist¥n");
}
*p_keirosu = cnt;
}
//-----
//-----
void work_write_to_file(unsigned long* p_cnt, WDATA* p_wdata, float* p_shinraido,
unsigned long* p_pattern_num, unsigned int* p_thurosu, FILE* s_fp)
{
    char out_buf01[255];
    char out_buf02[255];
    char out_buf03[255];

    num_to_binary_str2( *p_cnt, out_buf01, get_binary_keta(*p_pattern_num) );
    num_to_binary_str2( *p_cnt, out_buf02, ( get_binary_keta(*p_pattern_num)
- 1) );
    num_to_binary_str2( p_wdata->work_keiro, out_buf03, *p_thurosu );
    fprintf(s_fp, "[ %d ] %s %s %s %2d... [%f]¥n", *p_cnt, out_buf01,
out_buf02, out_buf03, p_wdata->sign, *p_shinraido);
}

void work_write_to_file2(unsigned int* p_cnt, WDATA* p_wdata, float* p_shinraido,
unsigned int* p_pattern_num, unsigned int* p_thurosu, FILE* s_fp)
{
    char out_buf01[255];
    char out_buf02[255];
    char out_buf03[255];

    num_to_binary_str2( *p_cnt, out_buf01, get_binary_keta(*p_pattern_num) );
    num_to_binary_str2( *p_cnt, out_buf02, ( get_binary_keta(*p_pattern_num)
- 1) );
    num_to_binary_str2( p_wdata->work_keiro, out_buf03, *p_thurosu );
    fprintf(s_fp, "[ %d ] %s %s %s %2d... [%f]¥n", *p_cnt, out_buf01,
out_buf02, out_buf03, p_wdata->sign, *p_shinraido);
}
//-----
//-----
void head_write_to_file(unsigned int* p_input_keiro, float* p_input_shinraido,
unsigned int* p_keirosu, unsigned int* p_thurosu, FILE* s_fp)
{

```

```

    unsigned int cnt;
    char out_buf[255];
    fprintf(s_fp, "inputed keiro..%n");

    for(cnt = 1; cnt <= *p_keirosu; cnt++, p_input_keiro++){
        num_to_binary_str((unsigned long)*p_input_keiro, out_buf,
            *p_thurosu);
        fprintf(s_fp, "[P%d] %s%cn", cnt, out_buf);
    }

    fprintf(s_fp, "%n%cinputed shinraido..%n");
    for(cnt = 1; cnt <= *p_thurosu; cnt++, p_input_shinraido++){
        fprintf(s_fp, "[E%d] %2.1f%cn", cnt, *p_input_shinraido);
    }

    fprintf(s_fp, "%n");
}

void head_write_to_file2(unsigned _int64* p_input_keiro, float*
p_input_shinraido, unsigned int* p_keirosu, unsigned int* p_thurosu, FILE* s_fp)
{
    unsigned int cnt;
    char out_buf[255];
    fprintf(s_fp, "inputed keiro..%n");

    for(cnt = 1; cnt <= *p_keirosu; cnt++, p_input_keiro++){
        num_to_binary_str2(*p_input_keiro, out_buf, *p_thurosu);
        fprintf(s_fp, "[P%d] %s%cn", cnt, out_buf);
    }

    fprintf(s_fp, "%n%cinputed shinraido..%n");
    for(cnt = 1; cnt <= *p_thurosu; cnt++, p_input_shinraido++){
        fprintf(s_fp, "[E%d] %2.1f%cn", cnt, *p_input_shinraido);
    }

    fprintf(s_fp, "%n");
}
//-----
//-----
void result_write_to_file(float* p_shinraido_sum, FILE* s_fp)
{
    fprintf(s_fp, "result.....[ %f ]", *p_shinraido_sum);
}
//-----
//-----
unsigned int float_file_load(float* p_shinraido, FILE* l_fp)
{
    unsigned int cnt = 0;

```

```

char in_buf[255];

if( fscanf(l_fp, "%s", in_buf) != EOF){
    if(!strcmp(in_buf, START_CHAR)){
        fscanf(l_fp, "%s", in_buf);
        while(strcmp(in_buf, END_CHAR)){
            *p_shinraido = (float)atof(in_buf);
            p_shinraido ++;
            cnt++;

            if(cnt > SHINRAIDO_TBL_MAX){
                printf("テーブルの範囲を超えました(カウン  
ト→%d)¥n", cnt);
            }
            fscanf(l_fp, "%s", in_buf);
        }
    }
    return cnt;
}
} //IF ! EOF
return FILE_END;
}

int wait()
{
    int inkey;
    inkey = getch();
    return inkey;
}

int get_pattern(unsigned int *p_keirosu)
{
    unsigned int i;
    unsigned int pattern_num = 1;

    for(i=0; i < *p_keirosu; i++){
        pattern_num *= 2;
    }
    return pattern_num - 1;
}

//-----
//-----
void file_naming(char* save_file_name, unsigned int* p_file_load_cnt, unsigned
int* p_file_partition_num ){
    //char save_file_name[FILE_NAME_LEN_MAX] = "result";
    char save_file_num[FILE_NUMBER_MAX] = "0";
    char save_file_partition_num[FILE_NUMBER_MAX] = "0";

    strcpy(save_file_name, "result");

```

```

        _itoa(*p_file_load_cnt, save_file_num, 10);

        if(*p_file_load_cnt < 10){
            strcat(save_file_name, "0");
        }

        strcat(save_file_name, save_file_num);

        if(*p_file_partition_num){
            _itoa(*p_file_partition_num, save_file_partition_num, 10);
            strcat(save_file_name, "_");

            if(*p_file_partition_num < 10){
                strcat(save_file_name, "0");
            }
            strcat(save_file_name, save_file_partition_num);
        }

        strcat(save_file_name, ".txt");
    }

/*
void file_save(unsigned int* input_keiro, unsigned int* flie_load_cnt, float*
input_shinraido, C3TABLE* c3table,
               float* shinraido_table, unsigned int* thurosu, unsigned
int* keirosu, unsigned int* pattern_num, float* shinraido_sum, FILE* s_fp)
{
    char out_buf[255];
    char out_buf01[255];
    char out_buf02[255];
    char out_buf03[255];
    int end_flg = 1;
    unsigned int cnt;
//    int keta;

    fprintf(s_fp, "inputed keiro..¥n");

    for(cnt = 1; cnt <= *keirosu; cnt++){
        num_to_binary_str(input_keiro[cnt-1], out_buf, *thurosu);
        fprintf(s_fp, "[P%d] %s¥n", cnt, out_buf);
    }

    fprintf(s_fp, "¥n¥ninputed shinraido..¥n");
    for(cnt = 1; cnt <= *thurosu; cnt++){
        fprintf(s_fp, "[E%d] %2.1f¥n", cnt, input_shinraido[cnt-1]);
    }
}

```

```

    fprintf(s_fp, "¥n");

    for(cnt = 1; cnt <= *pattern_num; cnt++){
        num_to_binary_str(cnt, out_buf01,
get_binary_keta(*pattern_num));
        num_to_binary_str(cnt, out_buf02,
(get_binary_keta(*pattern_num) - 1));
        num_to_binary_str(c3table[cnt-1].work_keiro, out_buf03,
*thurosu);

        //num_to_binary_str(cnt, get_binary_keta(pattern_num);
        fprintf(s_fp, "[%2d] %s %s %s %2d [%f]¥n", cnt,

            out_buf01,

            out_buf02,

            out_buf03,

            c3table[cnt-1].sign,

            shinraido_table[cnt-1]);
    }
    fprintf(s_fp, "result.....[ %f ]", *shinraido_sum);
    printf("%d data saved¥n", cnt-1);
}
*/

```

