

地震時における細街路単位でのリンク通行確率 ならびにノード到達確率の提案～密集市街地での脆弱性の評価と防災対策の向上を目指して～

白柳 博章¹・北村 幸定²

¹正会員 摂南大学理工学部都市環境工学科 博士（工学）（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8）

E-mail: smk1-gflbn3_nsdshcsal4@maia.eonet.ne.jp

²フェロー 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム学科 都市環境コース 教授

（〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町26-12）

E-mail: kitamura@osaka-pct.ac.jp

大阪府寝屋川市は第二次世界大戦後、大阪のベットタウンとして急速に発展し、人口が急増した。そのために地震時等に著しく危険な密集市街地が形成され、地震時において建物が倒壊し、消防車が目的地に到着できない地区が多数ある。さらに倒壊が激しく道を完全に遮った場合には人さえ通れずに、避難所へ避難できない、最悪の場合孤立してしまう恐れもある。

そこで本研究では、地震時における細街路単位、区画単位で細かく脆弱性を定量化するための指標であるリンク通行確率ならびにノード到達確率を提案する。そして寝屋川市内の木造住宅密集地域を対象として、車両ならびに人のリンク通行確率を定量的に評価することにより、細街路の脆弱性の観点から、地区の脆弱な箇所を可視化するとともに、地区の脆弱性評価・防災対策の向上のために必要だと思われる事項について整理したい。

Key Words : *Densely built area, Evaluation of vulnerability, Link's passable possibility, Node's reachable possibility, Earthquake, Disaster prevention's policy*

1. 研究の背景と目的

大阪府寝屋川市は第二次世界大戦後、大阪のベットタウンとして急速に発展し、高度成長期に急激に人口が増加したため、社会インフラの整備が追いつかず、狭隘な道路や木造住宅密集地域（木密地区）のような密集市街地が形成された。その結果、地震や水害といったさまざまな災害に対して脆弱な都市が形成されている状況にある。

それでは、この脆弱性というのは定量的にどのように評価できるものであろうか。交通工学の分野においてはネットワークの信頼性と呼ばれる概念がある。その中に災害発生時における信頼性をどのように確保するのか、それを表した指標として提案されているのが連結信頼性と呼ばれているものである¹⁾。連結信頼性は一般的には「ネットワークの構成要素がある確率をもって途絶する場合、あるノードペア間が連結されている確率」と定義されている。

では、実際のネットワークにおいてこの連結信頼性を

いかに評価できるものであろうか。その解析法については様々な方法が提案されているが、ネットワーク規模の拡大に伴って、計算量が指数的に増加するという問題点を有する。その原因はノードペア間の全ての経路を探索する必要があるため、ネットワークを構成するリンクの数が1増えればその計算量は2倍になるためである。そのため計算を行う際には効率的な近似計算法の開発が必要になってくる。

まず、実際に密集市街地での道路ネットワークの脆弱性評価において必要な要素は何であろうか。連結信頼性を評価する上ではノードペア間が連結されている確率、すなわち、ノードペア間のある経路が連結されている確率、さらにはあるリンクが連結されている確率をどう評価するかという問題がある。そこで本研究では、ノードペア間が連結されている確率を「ノード到達確率」、ノードペア間のある経路が連結されている確率を「経路到達確率」、あるリンクが連結されている確率を「リンク通行確率」と定義する。その上でこれらを定量的に評価

する方法について提案し定義することを第1の目的とする。

具体的には、第2章で簡単な仮想ネットワークを対象として「リンク通行確率」を与えたときの「経路到達確率」ならびに「ノード到達確率」を算出する方法を明示する。その上で連結信頼性を考える際には、上記のような確率だけでなく所要時間に関する指標も必要ではないのかということについて述べる。そして、第3章で、実際のネットワークを対象としたときの各種指標の定義式を明示する。

次に、「経路到達確率」ならびに「ノード到達確率」を算出する上で必要となる「リンク通行確率」についてどのように考えればよいだろうか。密集市街地において「リンク通行確率」を決定づける要因としては、リンクそのものが被害を受け通行できなくなるということもあるが、その他にはリンク周辺の環境、例えばリンク周辺に立つ建物の崩壊の有無に大きく左右されるものと考えられる。またリンクを通る主体が消防車両といった車両なのか、それともバイクや人なのか、ということによっても大きく左右される。それは建物の崩壊により、物理的に通れる幅が大きく制約されるためである。その辺については東京消防庁により消防車両の通行確率に関する指標の提案がなされているものの²⁾、リンクを通る主体までは考慮されていない。

そこで本研究では、この地震時における「リンク通行確率」について、木造建物の倒壊確率、車道幅員、リンクの片側にある木造建物の軒数とその建ち方により決定されるものとして、簡便な考え方で簡便に算出する式について提案することを第2の目的とする。

具体的には、第4章で地震時における「リンク通行確率」について車両・人それぞれの「リンク通行確率」の定義式の提案を行うものとする。

そして、現状における地区の脆弱な箇所を可視化する、さらに脆弱性を緩和するような施策がとられたときに、その脆弱性がどれほど緩和されるかを可視化して示すことを第3の目的とする。

具体的には、第5章で寝屋川市における密集市街地である木密地区（香里地区）を対象として、まず地区状況を概説した上で、第6章で現状における「リンク通行確率」を図示する。そして緩和施策として区内を通る京阪本線の連続立体交差化事業が完成した場合において「リンク通行確率」がどのように変化するか、また上記で述べたような各指標が定量的にどの程度変化するかについて定量的に示すものとする。そして最後に、第7章では本研究のまとめを行うとともに、今後の課題について整理する。

2. 仮想ネットワークでの「経路到達確率」ならびに「ノード到達確率」の算出と所要時間に関する指標の必要性

(1) 仮想ネットワークの設定

図-1のような田の字の仮想ネットワークにおいて脆弱性指標を考えてみる。なお、1~9と番号付けしているのはノードの番号を表し、所要時間はすべてのリンクで1分、通行確率は強いリンク（二重線=）が1.00、弱いリンク（一本線-）が0.50と設定する。

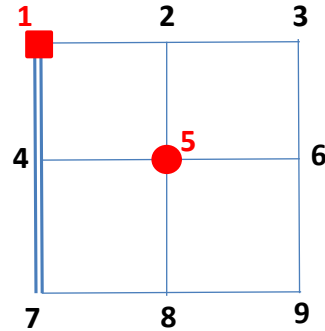


図-1 仮想ネットワークの設定

(2) 「経路到達確率」ならびに「ノード到達確率」の算出

このとき、ノードペア間、例えばノード番号1 (■) から5 (●) まで行く経路を考える。合理的な行動として同じノード・リンクは二度と通らないものとする経路は8通りとなり、そのときの経路所要時間と経路到達確率は表-1のように表される。

表-1 図-1での経路到達確率と経路所要時間

経路	経路順序	経路所要時間	経路到達確率
経路1	1 → 4 → 5	2分	0.50000
経路2	1 → 2 → 5	2分	0.25000
経路3	1 → 4 → 7 → 8 → 5	4分	0.25000
経路4	1 → 2 → 3 → 6 → 5	4分	0.06250
経路5	1 → 4 → 7 → 8 → 9 → 6 → 5	6分	0.06250
経路6	1 → 2 → 3 → 6 → 9 → 8 → 5	6分	0.01563
経路7	1 → 4 → 7 → 8 → 9 → 6 → 3 → 2 → 5	8分	0.01563
経路8	1 → 2 → 3 → 6 → 9 → 8 → 7 → 4 → 5	8分	0.00781

これからノード番号1→5へのノード到達確率は、経路1で到達できる確率=0.5000、経路2で到達できる確率=経路1で到達できない確率×経路2で到達できる確率=(1-0.5)×0.25=0.1250、…、経路8で到達できる確率=経路1で到達できない確率×…×経路7で到達できない確率×経路8で到達できる確率=0.001871、となることから

$$0.5000+0.1250+\dots+0.001871=0.762343$$

と求めることができる。

またノード番号 1→5 への所要時間の期待値は条件付き確率の考え方をを用いると

$$(2 \times 0.5000 + 2 \times 0.5000 + \dots + 8 \times 0.001871) / 0.762343 = 2.443 \text{ 分}$$

と求めることができる。

(3) 所要時間に関する指標の必要性

出発ノード (■) を消防署, 到着ノード (●) は脆弱な地区内にあるノードをイメージする. このとき強いリンクの配置を変化させていったときに, 各パターンでの「経路到達確率」「ノード到達確率」「所要時間の期待値」はどのように算出できるであろうか. その結果を表-2に示す. ただし, ノードペアにおける対称性を考慮して, 重複するものは除外している.

表-2 各パターンでの各種指標の算出

	パターンと図	到達確率	経路		所要時間の期待値	
			所要時間	到達確率		
2本強い	2A	0.76234	2分	0.62500	2.443分	
			4分	0.11133		
			6分	0.02034		
			8分	0.00567		
4本強い	4A	0.88401	2分	0.75000	2.376分	
			4分	0.10938		
			6分	0.01703		
			8分	0.00760		
	4B	0.88401	0.88401	2分	0.62500	2.748分
				4分	0.19922	
				6分	0.04807	
				8分	0.01172	
4C	0.81666	0.81666	2分	0.62500	2.668分	
			4分	0.12891		
			6分	0.04422		
			8分	0.01853		
6本強い	6A	0.95290	2分	0.75000	2.554分	
			4分	0.15625		
			6分	0.03223		
			8分	0.01442		
6B	0.95290	0.95290	2分	0.62500	2.985分	
			4分	0.21094		
			6分	0.09229		
			8分	0.02467		
8本強い	8A	0.99609	2分	0.75000	2.635分	
			4分	0.18750		
			6分	0.04688		
			8分	0.01172		

結果として, 強いリンクの数が増えれば「ノード到達確率」は上昇するが, その配置によりその値は変化する. 可視的に見ても脆弱性とその値とはリンクしているように思われる. しかしながら, パターン6Aと6Bを比較した場合には, 可視的にはパターン6Aの方が強いように思われても, 実は「ノード到達確率」が0.95290で同値になるケースも存在する. そのような場合には「ノード到達確率」だけでなく, 「所要時間の期待値」といった所要時間に関する指標が必要である, ということがこの事例からも明らかになったと言える.

3. 実際のネットワークでの「経路到達確率」ならびに「ノード到達確率」の算出方法と定義式

(1) ノード間の全経路の探索

リンク L ($L = 1, 2, \dots, TLNet$) の所要時間 $TL(L)$ を設定する. 次にリンクごとに On・Off を設定し, パターンごとに, ノード間の所要時間に関する最短経路探索を行

い, 重複しないように経路 R ($R = 1, 2, \dots, NumR$) を収録する.

$TLnet$ 本のリンクなら On・Off のパターンは 2^{TLNet} 通りとなることから, リンク数が増えるにつれ計算数は膨大となる.

(2) 経路 R における経路到達確率 $RP(R)$ の算出

リンク L ($L = 1, 2, \dots, TLNet$) ごとにリンク通行確率 $PL(L)$ を設定する. そして経路 R において L 番目に通るリンクを $RL(R, L)$ ($L = 1, 2, \dots, NumRL(R)$) とするとき, 経路 R におけるリンクの所要時間を $RT(R)$ は式(1)のように表される.

$$RT(R) = \sum_{L=1}^{NumRL(R)} TL(RL(R, L)) \quad (1)$$

また, 経路 R における経路到達確率 $RP(R)$ は式(2)のように表される.

$$RP(R) = PL(RL(R, 1)) \cdot PL(RL(R, 2)) \cdot \dots \cdot PL(RL(R, NumRL(R))) \\ = \prod_{L=1}^{NumRL(R)} PL(RL(R, L)) \quad (2)$$

(3) ノード到達確率 P の算出

ノード到達確率 P は式(3)のように表される.

$$P = RP(1) + (1 - RP(1)) \cdot RP(2) \\ + (1 - RP(1))(1 - RP(2)) \cdot RP(3) \\ + \dots + (1 - RP(1)) \dots (1 - RP(NumR - 1)) \\ \cdot RP(NumR) \\ = RP(1) + \sum_{R=2}^{NumR} \left\{ \prod_{I=1}^{R-1} (1 - RP(I)) \right\} \cdot RP(R) \quad (3)$$

(4) ノードペア間での所要時間の期待値 ET の算出

また, ノードペア間での所要時間の期待値 ET は, 式(4)のように表される.

$$ET = [RP(1) \cdot RT(1) + (1 - RP(1)) \cdot RP(2) \cdot RT(2) \\ + (1 - RP(1))(1 - RP(2)) \cdot RP(3) \cdot RT(3) + \dots \\ + (1 - RP(1)) \dots (1 - RP(NumR - 1)) \\ \cdot RP(NumR) \cdot RT(NumR)] / P \\ = \left[RP(1) \cdot RT(1) + \sum_{R=2}^{NumR} \left\{ \prod_{I=1}^{R-1} (1 - RP(I)) \right\} \cdot RP(R) \cdot RT(R) \right] / P \quad (4)$$

4. 地震時におけるリンク通行確率の算出方法

(1) 車両のリンク通行確率

リンク L における車の通行確率 $PL(L)$ は、木造建物の倒壊確率 α 、車道幅員 W 、リンクの片側にある木造建物の軒数 N とその建ち方により決定されるものとした。

なお、鉄筋コンクリート造などの木造以外のすべての建物を非木造建物として倒壊しないものとした。また、リンクの沿道にある建物以外のもの（駐車場、田畑、空き地等）については、リンクの車両通行に影響を与えないものとした。さらに木造建物がリンクの両側に立っている場合、木造建物がリンクをはさんで対に立っているものとした。

a) 車道幅員が $W < 5.5$ のとき (1車線道路以下)

a-1) リンクの両側が木造建物の場合

木造建物が1箇所でも倒壊すると車は通れなくなるものとする、 $2N$ 軒の木造建物がすべて倒壊しない確率は $(1 - \alpha)^{2N}$ であるから、式(5)のように算出する。

$$PL(L) = (1 - \alpha)^{2N} \quad (5)$$

a-2) リンクの片側が木造建物・もう片側が非木造建物の場合

木造建物が1箇所でも倒壊すると車は通れなくなるものとする、 N 軒の木造建物すべて倒壊しない確率は $(1 - \alpha)^N$ であるから、式(6)のように算出する。

$$PL(L) = (1 - \alpha)^N \quad (6)$$

a-3) リンクの両側が非木造建物の場合

木造建物がないので、沿道にある建物は倒壊せず車は通れるものとして、式(7)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (7)$$

b) 車道幅員が $5.5 \leq W < 13.0$ のとき

b-1) リンクの両側が木造建物の場合

1箇所でも両側倒壊すると車が通れなくなるものとする、1箇所が両側倒壊する確率は α^2 なので両側倒壊しない確率は $1 - \alpha^2$ となるから、 N 箇所の木造建物が両側倒壊しない確率は $(1 - \alpha^2)^N$ となるため、式(8)のように算出する。

$$PL(L) = (1 - \alpha^2)^N \quad (8)$$

b-2) リンクの片側が木造建物・もう片側が非木造建物の場合

沿道にある木造建物がどのように倒れても、片側にしか木造建物がなく、道路幅に余裕があり、車は通れるものとして、式(9)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (9)$$

b-3) リンクの両側が非木造建物の場合

木造建物がないので、沿道にある建物は倒壊せず車は通れるものとして、式(10)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (10)$$

c) 車道幅員が $13.0 \leq W$ のとき

沿道にある木造建物がどのように倒れても、幅に余裕があり車は通れるものとして、式(11)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (11)$$

(2) 人のリンク通行確率

a) 車道幅員が $W < 3.0$ のとき

a-1) リンクの両側が木造建物の場合

木造建物が1箇所でも倒壊すると人は通れなくなるものとする、 $2N$ 軒の木造建物がすべて倒壊しない確率は $(1 - \alpha)^{2N}$ であるから、式(12)のように算出する。

$$PL(L) = (1 - \alpha)^{2N} \quad (12)$$

a-2) リンクの片側が木造建物・もう片側が非木造建物の場合

木造建物が1箇所でも倒壊すると人は通れなくなるものとする、 N 軒の木造建物すべて倒壊しない確率は $(1 - \alpha)^N$ であるから、式(13)のように算出する。

$$PL(L) = (1 - \alpha)^N \quad (13)$$

a-3) リンクの両側が非木造建物の場合

木造建物がないので、沿道にある建物は倒壊せず人は通れるものとして、式(14)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (14)$$

b) 車道幅員が $3.0 \leq W < 5.5$ のとき

b-1) リンクの両側が木造建物の場合

1箇所でも両側倒壊すると人が通れなくなるものとする、1箇所が両側倒壊する確率は α^2 なので両側倒壊しない確率は $1 - \alpha^2$ となるから、 N 箇所の木造建物が両側倒壊しない確率は $(1 - \alpha^2)^N$ となるため、式(15)のように算出する。

$$PL(L) = (1 - \alpha^2)^N \quad (15)$$

b-2) リンクの片側が木造建物・もう片側が非木造建物の場合

沿道にある木造建物がどのように倒れても、片側にしか木造建物がなく、幅に余裕があり、人は通れるものとして、式(16)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (16)$$

b-3) リンクの両側が非木造建物の場合

木造建物がないので、沿道にある建物は倒壊せず人は通れるものとして、式(17)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (17)$$

c) 車道幅員が $5.5 \leq W$ のとき

沿道にある木造建物がどのように倒れても、幅に余裕があり人は通れるものとして、式(18)のように算出する。

$$PL(L) = 1 \quad (18)$$

以上、式(5)~(18)のリンク通行確率についてまとめたものを表-3に示す。

表-3 リンク通行確率(車両・人)のまとめ

種別	沿道状況	車道幅員			
		W<3.0	3.0≤W<5.5	5.5≤W<13.0	13.0≤W
車両	リンクの両側が木造建物	$(1-\alpha)^{2N}$	$(1-\alpha)^{2N}$	$(1-\alpha^2)^N$	1
	リンクの片側が木造建物・もう片側が非木造建物	$(1-\alpha)^N$	$(1-\alpha)^N$	1	1
	リンクの両側が非木造建物	1	1	1	1
人	リンクの両側が木造建物	$(1-\alpha)^{2N}$	$(1-\alpha^2)^N$	1	1
	リンクの片側が木造建物・もう片側が非木造建物	$(1-\alpha)^N$	1	1	1
	リンクの両側が非木造建物	1	1	1	1

(3) 木造建物の倒壊確率 α の設定

2016年に発生した熊本地震の益城町での新耐震の建物の倒壊確率として算出されている $\alpha = 0.09^3$ を用いることとした。

(4) 沿道状況と木造建物の軒数Nの算定

1/2500の都市計画図を用いて、リンクの沿道状況と木造建物の軒数Nを算定した。

5. 寝屋川市の現状把握

(1) 寝屋川市の概要

本研究で評価対象とする大阪府寝屋川市は、大阪平野の北東部に位置する面積24.53km²、人口約235,388人(平成30年3月1日現在)⁴⁾の京都市や大阪市の間に位置する大都市近郊地域である。

当市は大阪中心部から10km~20km圏内に位置することから、高度成長期にベッドタウンとして人口が急増し、1960年には5万人程度であった人口が1975年には25万人を超えるまでになった。その結果、道路狭隘な密集市街地が形成され、防災面や安全・安心面で課題を抱える状況となっている。

次に寝屋川市の交通状況を図-2に示す。鉄道については市の南北を貫く京阪本線と東側にJR学研都市線が通っており、京阪本線の駅を中心として商業地・市街地ならびに住宅地が形成されている。また、道路については国道1号、163号、170号を軸とし大阪府内や京都・奈良方向への移動の結節点となっており混雑が激しい。さらに2010年3月20日に市東部に第二京阪道路(自動車専用道と国道1号バイパス)が開通すると、周辺に大規模店舗が立地するなど、市街地ならびにその周辺での開発・再開発が数多く行われている。その結果、人口のピークは1995年の約25.8万人でありそれから10年後の2005年には

約24.2万人まで人口が減少したものの、それ以降は人口の減少幅が小さくなっている状況である。しかしながら2005年におけるDID地区の人口密度は1km²当たり12,170人と大阪府内の市町村の中でも高い水準となっている。

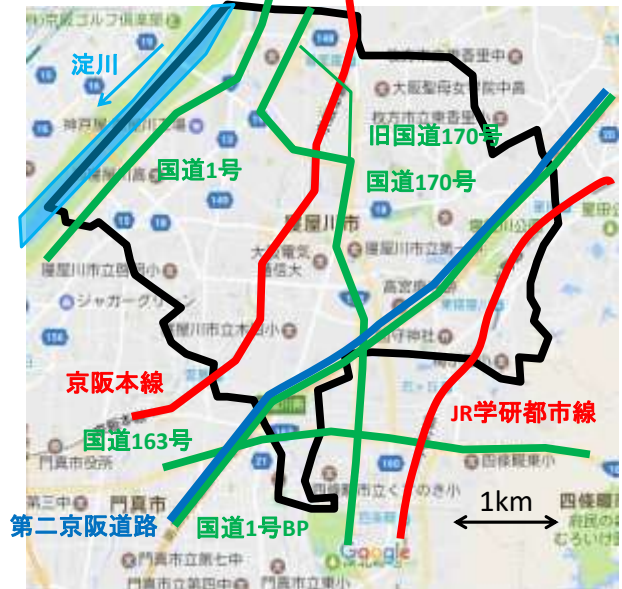


図-2 寝屋川市の交通状況

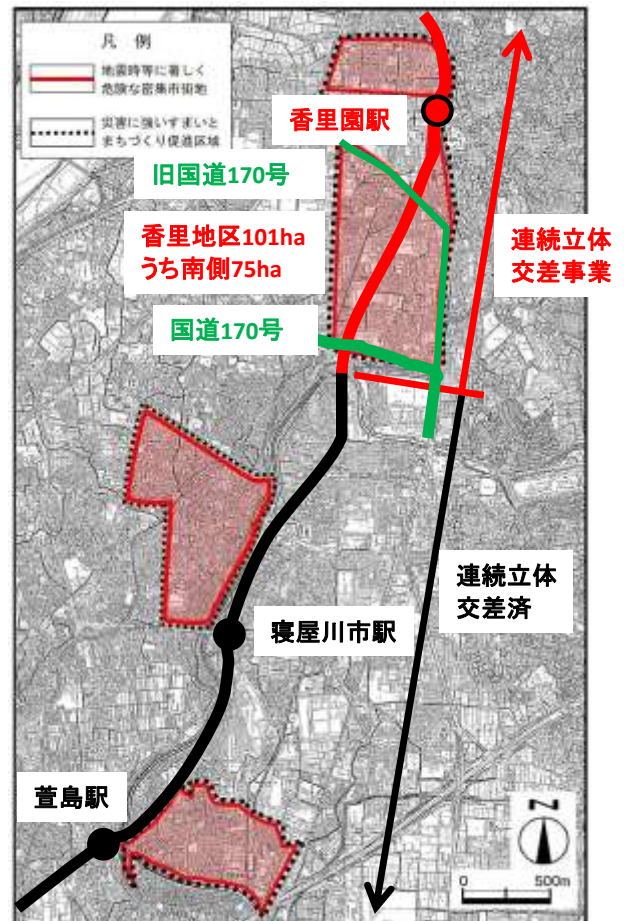


図-3 「地震時等に著しく危険な密集市街地」の区域(寝屋川市)大阪府密集市街地整備方針³⁾の資料より加筆

(2) 隣接する密集市街地の状況

寝屋川市は、高度成長期において急激に人口が増加したため、社会基盤整備が住宅開発に追い付かなかった。そのため今なお道路狭隘な密集市街地が残っている状況にあり、上節で述べた連続立体交差事業の区間内に隣接して密集市街地が形成されている。

特に香里園駅周辺においては、国土交通省都市局・住宅局においてとりまとめられた「地震時等に著しく危険な密集市街地」の区域として香里地区（101ha）が指定されている。その位置図を図-3に示す。この「地震時等に著しく危険な密集市街地」とは、密集市街地の中でも「延焼危険性又は避難困難性が高く、地震時等において最低限の安全性を確保することが困難である著しく危険な密集市街地」である。このような地区は全国で197地区5,745ha、内大阪府では11地区2,248haが指定されており、全国の約4割を占めている状況にある⁹⁾。

6. 密集市街地における脆弱性評価の可視化

(1) ノードとリンクの設定

寝屋川市の香里地区の細街路と交差点ごとに、現況のノードとリンクを設定した。また脆弱性の緩和施策として地区内を通る京阪本線の連続立体交差化事業が完成した場合における効果を測るために、将来の側道と京阪本線横断部のデータを付加した。対象となるリンクは1,842でありそれを簡略化して390リンクにまとめた。

(2) 経路探索における工夫

390リンクにおいて、1つのノードペア間の経路を厳密に探索すると、 $2^{390} \approx 10^{117}$ というオーダーとなる。そこで、経路については木密地区外の幹線道路から木密地区内へ入る進入路を40本設定し、40通りの経路に限定した上で最短経路探索を行った。

(3) 現況における「リンク通行確率」の可視化

現況における「リンク通行確率」を可視化したものを図-4に示す。

(4) 緩和施策後における「リンク通行確率」の可視化

緩和施策後における「リンク通行確率」を可視化したものを図-5に示す。

(5) 「ノード到達確率」ならびに「所要時間の期待値」の評価地点

「ノード到達確率」の評価地点としては、図-6に示すように、地区の中央を南北に縦断している京阪本線の踏切付近の11点を抽出し、地区における最寄消防署から各ノードへの「ノード到達確率」ならびに「所要時間

の期待値」を算出した。



図-4 現況における「リンク通行確率」の可視化

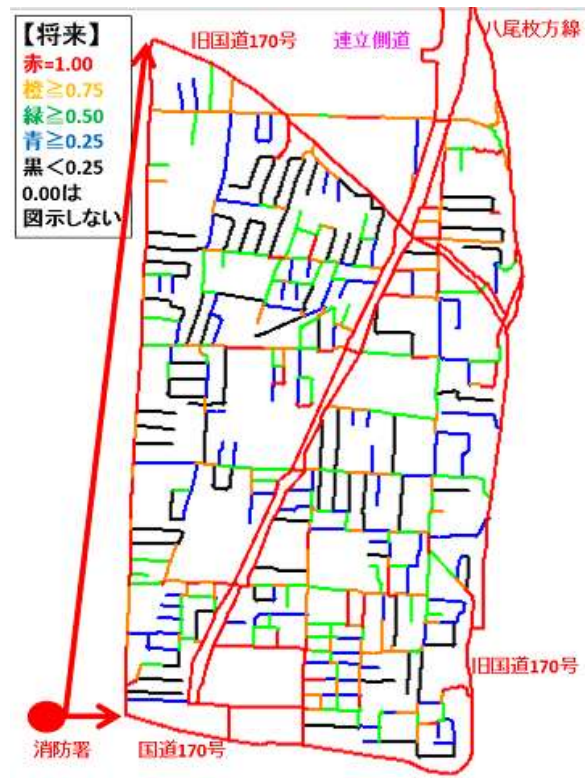


図-5 緩和施策後における「リンク通行確率」の可視化



(6) 現況と緩和施策後における「ノード到達確率」ならびに「所要時間の期待値」の評価値

現況と緩和施策後における「ノード到達確率」ならびに「所要時間の期待値」の評価値を示したものを表4に示す。

表4 現況と緩和施策後における「ノード到達確率」ならびに「所要時間の期待値」の評価値

評価地点	「ノード到達確率」			「到達時間の期待値」		
	現況	施策後	差	現況	施策後	減少率
※1 Y00	0.201	1.000	79.9%	197.6	52.2	73.6%
※1 Z168	0.689	1.000	31.1%	153.3	84.0	45.2%
※1 Y04	0.444	1.000	55.6%	97.2	83.1	14.5%
※1 Z163	0.018	1.000	98.2%	205.0	113.4	44.7%
※1 Z017	0.054	1.000	94.6%	157.6	116.8	25.9%
※2 Z033	0.200	1.000	80.0%	282.4	224.7	20.4%
※2 Z161	0.164	1.000	83.6%	278.8	146.0	47.6%
※3 Y27	0.287	1.000	71.3%	277.3	174.0	37.3%
※3 Z157	0.021	1.000	97.9%	274.2	224.4	18.2%
※2 Z037	0.908	1.000	9.2%	233.3	198.0	15.1%
※2 Z038	0.908	1.000	9.2%	231.5	200.6	13.3%

※1 現況は車両通行不可の踏切に位置するノード
 ※2 現況は立体交差であり高架道路と接続していないノード
 ※3 現況は車両通行可の踏切に位置するノード

その結果、地区の中央部に位置するノードについては、現況では災害に強い道路が走っておらず「ノード到達確率」がかなり低いエリアであったが、施策後はその値がすべて1になり、連続立体交差化事業による側道整備の結果、脆弱性が解消されたと言える。またそれらのノードについては「到達時間の期待値」の減少率も大きく、到達時間の短縮にも寄与していることが伺える。

今回は連続立体交差化事業による側道整備の効果を見るため踏切前後のノードのみを抽出したが、さらに、評価ノードをネットワーク全体に広げていけば、このエリアではノード到達確率が小さいといったような可視化を行うことが可能となる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、まず「災害時における密集市街地での脆弱性の評価」という観点から、交通工学におけるネットワークの信頼性理論に基づき、ノードペア間が連結されている確率を「ノード到達確率」、ノードペア間のある経路が連結されている確率を「経路到達確率」、あるリンクが連結されている確率を「リンク通行確率」として定義した。その上で、脆弱性を評価する上では「所要時間の期待値」といった所要時間に関する指標も併せて必要である、ことを示した。次に、実際のネットワークでの定義式を示した上で、「リンク通行確率」をリンクを通行する主体（車両・人）、ならびにリンク周辺の環境条件から、具体的に提案した。さらに寝屋川市における密集市街地である木密地区（香里地区）を対象として、現在ならびに連続立体交差化事業後それぞれについて、脆弱性評価の可視化を行い、その変化について考察を行った。

今後の課題として、まず「リンク通行確率」をどのように定義するか、という問題がある。地震のレベルにより建物の倒壊確率は異なるものとなることから、そのあたりをどのように加味していくか、ということが挙げられる。また、密集市街地における脆弱性評価の可視化が、実際そこに住む人々にとってみてあてはまっているものなのか、ということは重要な視点であると言える。そのような問題を克服した上で、これらの指標の活用が、災害の応急・復旧計画や防災計画の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 飯田恭敬・北村隆一：交通工学, pp273-284 (8.7 道路ネットワークの信頼性), オーム社, 2008
- 2) 東京消防庁 HP : <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/kk/pdf-data/21k-st03.pdf>
- 3) 新建ハウジング DIGITAL記事 (2016年6月30日) : <https://www.s-housing.jp/archives/90641>
- 4) 寝屋川市HP : <http://www.city.neyagawa.osaka.jp/>
- 5) 大阪府密集市街地整備方針：大阪府住宅まちづくり部建物防災課 密集市街地対策グループ, 2014
- 6) 白柳博章, 北村幸定：鉄道の連続立体交差事業における空間の利活用が周辺地域に及ぼす効果・影響に関する基礎的研究～密集市街地における延焼危険性の低減に着目して～, 第53回日本地域学会年次大会, Web, pp1-6, 2016

(20●●●受付)