

街路網の防災性指標および街路網構成に関する研究

A Basic Study on the Index and Structure of Road Network Concerning Disaster Prevention

李 燕* 塚口博司**

Yan LI, Hiroshi TSUKAGUCHI

1. はじめに

阪神・淡路大震災において、道路をはじめとして、鉄道、港湾、空港といった交通基盤施設は大きな被害を受けた。特に、市街地における一般街路が寸断され、緊急車両がスムーズにアクセスできないエリアが広範囲にわたって発生し、救援・救助活動に大きな支障を与えた。このため、人々の住居に直接アクセスする街路を含めた街路網が、非常時における避難経路や緊急車の通路として重要な役割を果たしていること、およびその防災性向上の緊急性が再認識されたと言える。

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しては、従来、信頼性の概念を中心として、多くの研究がなされている^{1)~11)}。これらの研究は広域や都市幹線レベルの道路網における重要区間についての評価を想定しており、地区レベルの街路網防災性に関する研究は少ない。実務における街路網計画も、避難経路の配置、緊急車両進入のための幅員の確保などに関しては、小規模の災害を想定したものがほとんどであり、大地震のように、街路そのものが機能しない可能性があることを想定してはいない。したがって、街路網の防災性を評価する基本である街路網の防災性指標およびその基準値について検討することが必要となっている。

震災から2年経過した今現在、多くの研究が報告

されている。家田ら¹²⁾は三宮等の4地区において調査を行い、幅員別にみた道路の被害状況には地区によってかなり差があり、幅員8m以上の道路では自動車が通行不能になることが少ない区域と、より被害が大きい地域があったことを示している。塚口ら^{13) 14)}は灘区六甲地区における道路の閉塞状況を空中写真から判読し、その閉塞の要因を分析した上、幅員12m以上の道路はほぼ自動車の通行が可能であったが、8m以下では通行ができない場合が多かったことを明らかにした。さらに、震度、幅員、沿道の木造家屋延長率、歩道の有無などの要因を変数として、震災時街路の通行可否を判別するモデルを作成した。小谷ら¹⁵⁾は東灘区東部地域において調査・分析を行い、同様な結果を得ている。徳永ら¹⁶⁾は長田区の国道2号線沿道の区域を取り上げ、幅員8m以上であれば、自動車が通行可能であったと報告している。また、萩野・黒田・竹林¹⁷⁾は現地調査と空中写真の両方から道路の被災状況の分析を行い、空中写真判読による道路被災調査の信頼性を調べた。

阪神・淡路大震災における交通問題をネットワークの視点から捉えた研究も、いくつか発表されている。若林¹⁸⁾は震災における交通システムの問題点を議論した上で、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。飯田・宇野ら¹⁹⁾は、道路網容量およびゾーン間交通の迂回率を用いて、震災後広域道路ネットワークの機能低下について分析を行った。また、青木・石田・大野²⁰⁾は街路幅員と閉塞状況を調査し、避難行動を想定した街路網の安全性をシミュレーションの方法で考察した。

災害時に強い街路網整備の考え方として、大地震で一部分の街路が不通になっても、緊急車両がスムーズにアクセスできないようなエリアが発生しな

キーワード：防災計画、街路網計画

* 正員、工博、福山コンサルタント本社調査部

(住所：北九州市小倉北区片野新町1-11-4

Tel:093-931-3101 Fax:093-932-1282)

**正員、工博、立命館大学理工学部

(住所：滋賀県草津市野路東1-1

Tel:0775-61-2735 Fax:0775-61-2667)

い程度の整備水準が一つの目安となると考えられる。このような視点から、本研究は、激震を受けた神戸市灘区の一部の市街地を対象とし、こうした自動車の到達不能エリアを示した上で、街路網構成の視点から防災性に関わる指標を考察し、災害に強い街路網構成に関する知見を得ることを目的とする。以下では、本研究で用いられるいくつかの概念について述べる。

(1) 街路網の範囲

本研究は、大規模な災害が発生した後、緊急車両が人々の住居に直接アクセスすることを想定し、都市幹線道路で囲まれたエリアにおける、幅員4m以上の街路で構成された街路網を対象とする。

(2) 閉塞エリア

閉塞エリアとは、街路網の中で、緊急車両が到達できないエリアのことをいう。このため、本文で述べる閉塞エリア（あるいは到達不能ノード）は、特記しない限り、交通手段は車両であることを意味する。緊急車両の出発地点は被災地以外の地域とする。また、物理的な閉塞と渋滞などによって事実上到達不可能の2種類の閉塞が考えられるが、本研究では、物理的な閉塞を対象とする。

前述のように、今回の大震災においても幅員12m～16m以上の道路はほとんど通行可能であったことが明らかにされており、幹線道路で構成された道路網は被災地との物理的な連結性が保たれていたと考えられるから、作業上は、対象エリアを囲む都市幹線道路の任意点から各エリアへの物理的連結性でそのエリアが閉塞しているか否かを判断することにした。

(3) 閉塞エリアの扱い方

街路網における各エリアへの到達可能性を考えるためには、街路網を構成する各街路（リンク）の沿道各地点への到達可能性を判断することが必要になるが、リンクをいくつかの区間に細分することは作業上難しい。しかし、あるリンクの沿道へのアクセスの可能性は、そのリンクの両端にあるノードへのアクセスの可能性で置き換えることができる。したがって、本研究では、リンク沿道ではなく、各ノードへの到達可能性を分析することにする。

(4) リンクの閉塞確率

本研究でのリンクの閉塞確率とは、災害時におい

て、リンクの状況を通行可能と通行不能の2レベルで捉え、通行不能の状況が発生する確率のことを指す。ここでの通行不能とは、街路（リンク）そのものの損傷および沿道の構造物の倒壊に起因する自動車での通行不能に限る。本研究では、5.で示すように、同じ属性のリンクを母集団とし、その中に今回の地震で通行不能となったリンクの割合を当該属性のリンクの閉塞確率とする。

(5) 到達不能率

ノードの到達不能率とは、到達不能ノード数が街路網のノード総数（幹線道路上のノードは閉塞しないと考える）に占める割合を指す。したがって、ノードの到達不能率はある特定のノードの確率到達可能性に関する指標ではなく、街路網全体の防災性に関する総合的な指標であると考えられる。

2. 対象街路網及びその閉塞状況

本研究の対象地区としては、今回の地震で震度7の被害を受けた神戸市灘区東部の山手幹線、将軍通り、国道2号線、主要地方道山麓線で囲まれた市街地を設定した（東西約1300m、南北約600m）。このエリアにおける幅員4m以上の街路のすべてを取り上げて街路網を構成した（図1）。街路の閉塞状況は車両が通行可能と通行不可能の2レベルに分け、1995年1月18日にアジア航測によって撮影された空中写真から判読した¹³⁾。対象街路網及びそのリンクの被災状況、そしてノードの閉塞状況は図2に示すとおりである。周囲の都市幹線道路上のノードを除く合計119個のノードの内21個のノード（17.6%）が幹線道路から自動車で到達不能なノードである。到達不能ノードのすべてがそのノードに結合しているリンクの閉塞によるものであることがこの図から読みとれる。

3. 防災性指標の抽出

ノードが到達不能になった直接的な原因は結合しているリンクのすべてが建物の倒壊等によって通行不能になったことであるが、このような状況が街路網構成によって影響されるか否かを分析することも必要である。ノードの到達可否に関係がある

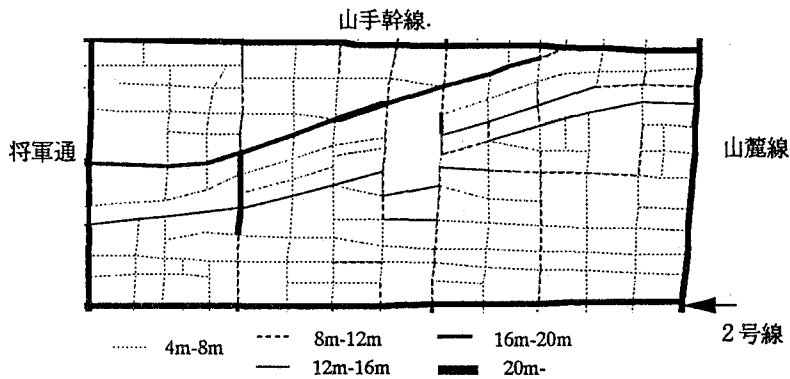


図1 対象街路網

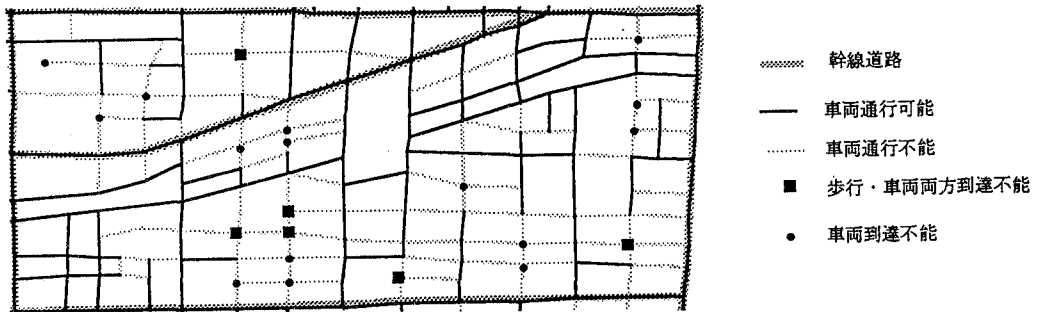


図2 対象街路網の閉塞状況

と思われる指標として、次に示す3つの視点から計11個の指標を考える。

1) ノードに起終点をもつリンクの特徴

- 指標1 リンク数
- 指標2 最長リンクのリンク長
- 指標3 最短リンクのリンク長
- 指標4 リンク長の総和
- 指標5 リンク長の平均
- 指標6 リンクの最大幅員
- 指標7 リンクの最小幅員
- 指標8 幅員の総和

2) ノードに起終点をもつリンクの土地利用の特徴

- 指標9 リンク木造家屋延長率の平均値

3) ノードと幹線道路との位置関係

- 指標10 ノードから幹線道路までの経路距離
- 指標11 ノードから幹線道路までの直線距離

対象街路網のノード(幹線道路上のノードを除く)を到達可能ノードと到達不能ノードとの2グループに分け、上述の指標それぞれについて、両グループの平均に差があるかを検定によって調べた。それぞれの t 値およびその有意性を表1に示す。

同表から分かるように、ノードに起終点をもつリンクの特徴に関する指標のうち、幅員に関する3つの指標すべて(指標6~8)および木造家屋延長率の指標(指標9)において両グループの間に統計的に有意な差がある。これに対して、リンク数や長さに関する指標(1~5)および幹線道路との距離を示す指標(10, 11)は有意でないという結果が得られた。

理論的には、結合リンクの数(指標1)が多ければ多いほど閉塞しにくい、対象街路網のほとんどのノードの結合リンク数が4になっており、結合リンク数に極端な差がないことが、ノードの到達可否に影響がないと判定された理由であると思われる。リンク長に関する指標が有意でないことも同様の理由であると考えられる。

表2は両グループ間において統計的に有意な差

表2は両グループ間において統計的に有意な差

表1 到達可能ノードと不能ノードの差の検定

指標	t値	境界値(5%)
1 リンク数	1.082	2.06
2 最長リンク	0.961	2.017
3 最短リンク	-0.51	2.064
4 リンク総長	1.061	2.045
5 リンク長平均	0.338	2.04
6 最大幅員	6.686	1.981
7 最小幅員	3.422	1.984
8 幅員総和	5.609	1.989
9 木造家屋延長率	-2.713	2.035
10 幹線経路距離	-0.003	2.056
11 幹線直線距離	0.319	2.048

表3 木造家屋延長率別内訳

木造家屋延長率	到達可能	到達不能	到達不能率
0-20%	13(13.27%)	0(0%)	0%
20-40%	33(33.67%)	4(19.05%)	10.8%
40-60%	33(33.67%)	9(42.86%)	21.4%
60-80%	17(17.35%)	6(28.57%)	26.1%
80-100%	2(2.04%)	2(9.52%)	50%
合計	98(100%)	21(100%)	17.6%

表2 幅員に関する指標のランク別ノード数

最大幅員	到達可能	不能	不能率	最小幅員	到達可能	不能	不能率	幅員総和	到達可能	不能	不能率
4-6m	11	4	26.7%	4-6m	67	19	22.1%	0-8m	0	1	100%
6-8m	27	11	28.9%	6-8m	22	2	8.3%	8-16m	9	1	10%
8-10m	12	5	29.4%	8-10m	4	0	0%	16-24m	30	14	41.2%
10-12m	8	1	11.1%	10-12m	2	0	0%	24-32m	21	5	19.2%
12-16m	22	0	0%	12-16m	3	0	0%	32m-	38	0	0%
16m-	18	0	0%	16m-	0	0	0%	合計	98	21	17.6%
合計	98	21	17.6%	合計	98	21	17.6%				

があると判定された最大幅員、最小幅員、幅員総和のそれぞれの指標について、幅員ランク別の到達可能ノード数と到達不能ノード数を求めたものである。これより、次のことが分かる。

- 1) 最大幅員の指標を見てみると、当然のことながら最大幅員ランクが大きくなるほど閉塞しにくくなる。最大幅員が12m以上であればすべてのノードが到達可能ノードであった。言い換えれば、幹線道路から幅員12m以上の街路でつながっている地域は閉塞しにくいということが言える。
- 2) 最小幅員の指標を見てみると、最小幅員が4～6mのノードは閉塞する割合がかなり高くなる。しかし、最小幅員が6～8mになれば閉塞率が小さくなり、幅員8m以上の街路で構成されたノードは閉塞しにくいことが言える。
- 3) 幅員総和の指標を見てみると、幅員総和が32m以上であればほぼ閉塞しないと言える。

表3は、2種類のノードの木造家屋延長率別の内訳を示している。到達不能ノードの80%強（網かけ部分の合計）が木造家屋延長率が40%以上を占

めたノードであることが分かる。木造家屋延長率の各レベルごとに到達不能率を見てみると、木造家屋延長率が高いほど閉塞しやすい傾向があることが分かる。

4. シミュレーションによる街路網構成の考察

前章の分析では、ノード属性の視点から、対象街路網におけるノードを到達可能ノードと到達不能ノードの2グループに分け、統計的な分析によって、ノードの到達可否状況がノードに結合するリンクの幅員構成および沿道の木造家屋延長率によって影響されることを示した。本章では、ネットワークの構成に着眼し、災害時における到達可能性を向上させるために、どのような街路網構成が望ましいかについてシミュレーションを行って考察する。

研究対象地区（図1）の街路網構成を念頭において、図3のような基本的形状をもつネットワークを考えた。周囲の太いリンクは都市幹線道路で、閉塞しないリンクとし、研究の対象から除く。これらの道路で囲まれているエリアにおける東西、南北の道

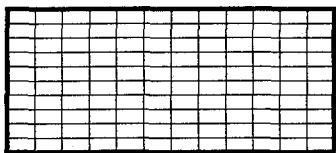


図3 仮想ネットワークの基本形状

路の間隔は上記の地区の現状の平均値を用いて、それぞれ110mと60mとする。

図4のように、2ランクの街路で構成されている12個の街路網を考える。南北には1本から数本（それぞれおよそ600m、400m、300m、200m間隔）、東西には0本から2本（それぞれおよそ600m、300m、200m）の防災性の高い街路（ランク2）を設置する。各街路網の名称は「南北のランク2の街路の本数－東西のランク2の街路の本数」のように表示している。リンクの防災性の程度は閉塞確率で表す。また、ランク2のリンクの閉塞確率はランク1のそれより高くないとする。街路網の防災性は到達不能率（到達不能ノード／ノード総数）で表す。ランク1とランク2のリンク閉塞確率が等しい場合は、各街路網構成の到達不能率が同じであることが明らかである。

なお、リンクの閉塞確率は多くの要因に影響され、あるリンク閉塞確率に対応するような街路はどのような形態（幅員や木造家屋延長率など）になり、

その形態を維持するためにトータルしてどれだけの経済・社会コストになるかについては、ここでは議論しないが、ランク2のリンクのコストがランク1のリンクのコストより高いと仮定する。このように、同じリンクの閉塞確率の組み合わせに対して、各街路網のコストはランク2のリンクの総延長の増加につれて、(1)街路網1-0、(2)街路網2-0、(3)街路網3-0、(4)街路網1-1、(5)街路網2-1、(6)街路網5-0、(7)街路網3-1、(8)街路網1-2、(9)街路網2-2、(10)街路網5-1、(11)街路網3-2、(12)街路網5-2の順に高くなる。

(1) 到達不能率の計算

街路ランクごとにリンクの閉塞確率を仮定した上で、次で示す方法を用いて到達不能率を計算する。なお、リンクの閉塞確率は0～0.8の範囲で0.1の間隔で変化させた。ここで、0.8以上を設定していないのは、現実のデータから見れば、4m以上の街路の場合、リンクの閉塞確率が80%を越えることは少ないからである（5.で説明する表6を参照）。

a) 各リンクごとに、0.0～1.0の間の一様乱数を与え、リンクの閉塞確率に基づいて、通行の可否を決める。ここでは、乱数が当該リンクの閉塞確率より等しいか小さい場合は、通行不可とし、大きい場合は通行可能とする。

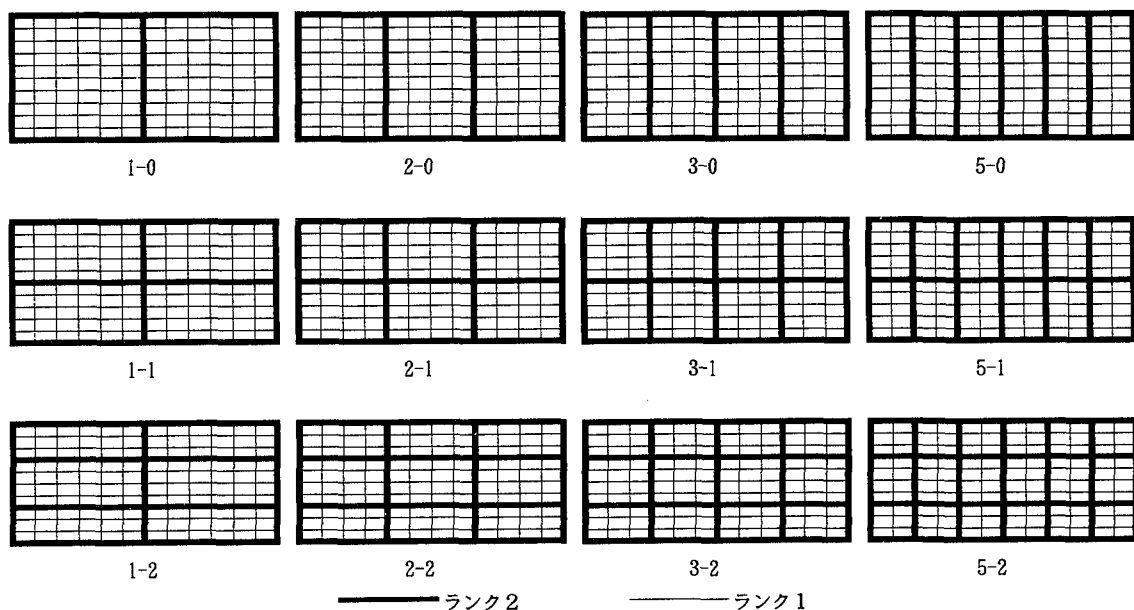


図4 仮想ネットワーク

b) 幹線道路から到達できないノード(到達不能ノード)の個数を計算し、ノード総数で割って、到達不能率を計算する。

c) 以上のような作業を 2000 回繰り返す。

d) 2000 回の到達不能率の平均を取って、ネットワークの到達不能率とする。

ここで、2000 回計算したのは、2000 回程度繰り返せば、到達不能率が十分安定しているからである。

(2) 計算結果の分析

図 4 の 1 つの街路網に対して、横軸にランク 2 のリンク閉塞確率、縦軸にランク 1 のリンク閉塞確率をとると、到達不能率は 1 つの等値線図として示することができる。例えば、街路網 5-2 について到達不能率の計算結果を用いて作成した等値線図は図 5 になる。このように、各リンクの閉塞確率が与えられた場合は、以上で示す方法でリンクの閉塞確率と街路網の到達不能率の関係が等値線図を書くことによって一目瞭然となる。

本研究の目的は図 4 に示す 12 ケースの街路網の防災性の比較であるので、1 つ 1 つの街路網の等値線についての説明は省略する。図 6 はこれらの 12 個の街路網それぞれについて到達不能率の 5%、25%、45%、65% の等値線図を書いた後、12 枚の等値線図を重ねて表したものである。見やすくするため、この図では、街路網 1-0 と 5-2 以外の線種は区別していない。この図から次のことが分かる。

- 1) 各街路網の到達不能率は対角線(ランク 1 と 2 のリンク閉塞確率が等しいとき)で一致する。それは前でも述べたように、この場合は各街路網が同じ街路網になるので、当然のことである。
- 2) どの値の等値線を見ても、街路網 1-0 と街路網 5-2 が境界となって、他の街路網の等値線がこの両者に挟まれた範囲にあり、また、各街路網の同じ値の等値線の傾きが異なる。等値線の傾きの大きい街路網は、同じリンクの閉塞率の組み合わせ(すなわち対角線の上方)における任意の点に対して、到達不能ノード率が小さいことになる。街路網 1-0 の傾きが最小、街路網 5-2 の傾きが最大となっている。
- 3) さらに、ほぼ重なっている街路網はあるが、計算結果をチェックしたところ、同じリンク閉塞確率

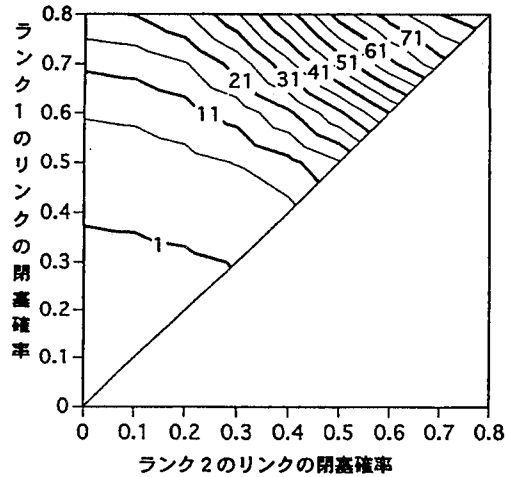


図 5 街路網 5-2 の到達不能率 (%) の等値線図

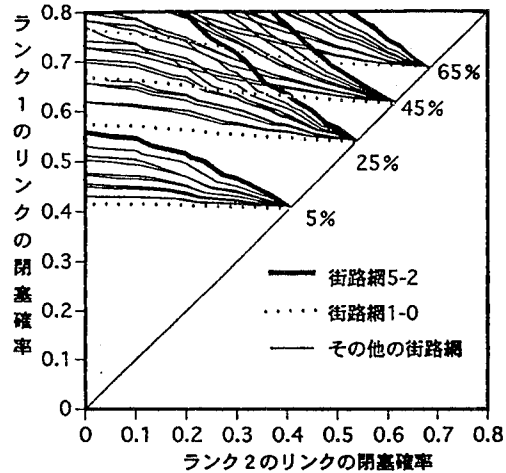


図 6 12 個の街路網の到達不能率の等値線図を重ねた図

表 4 各街路網のコストと到達不能率の順番の比較

街路網	1-0	2-0	3-0	1-1	2-1	5-0	3-1	1-2	2-2	5-1	3-2	5-2
コスト**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
到達不能率*	1	2	5	3	4	10	7	6	8	11	9	12

*大から小の順番

**小から大の順番

の場合、各街路網の到達不能ノード率の大きさの順番が変わらない。それは、街路網 1-0、2-0、1-1、2-1、3-0、1-2、3-1、2-2、3-2、5-0、5-1、5-2 の順で等値線の傾きが高くなる。その順番をそれぞれの街路網のコストの順番と比べてみると、表 4 のように、必ずしもコストの順番に一致していない。このことから、到達不能率は街路ストックだけでなく、街路網の構成にも関係していることが分かる。

以下では、街路網構成の比較をしてみる。ここで、例として、ランク1のリンクの閉塞確率は0.5、ランク2のリンク閉塞確率は0.3の場合を取り上げることにする。表5は各街路網構成を到達不能率の順で並べ替えて示している。コストはランク2のリンク総長に係数 α ($\alpha \geq 1.0$ 、ここでは2.0とする)をかけてからランク1のリンク総長に合計したものである。

また、減少率や増加率は同表の注で説明している通り、その街路網の値と左の街路網における同じ値との比較である。ここで、同表では、各街路網を到達不能率の順で並べ替えているので、左の街路網の値との比較は、12個のケースの内より閉塞しにくいケースに移行する場合におけるその値の変化を見ることになる。項目(6)は左の街路網から移行する場合、到達不能率の変化ペースとコストの増加率の変化ペースの関係を示す値であり、経済学における弾力性の概念と類似するので、ここでは弾力性係数と呼ぶことにする。弾力性係数が大きいほど到達不能率の減少のためのコストが高いことになる。

この表から分かるように、多くの街路網の弾力性係数(項目6)の値が正になっている。つまり、左の街路網に比べると到達不能率は減少しているが、コストが増加していることを意味する。

それに対して、街路網3-0、3-1、5-0の弾力性係数の値が負で、特に、3-1の場合が非常に小さい値になっている。値が負であることは、この3つの街路網は左の街路網に比べると到達不能率が減少しているに対して、コストの方も減少していることを意味する。つまり、これらの街路網は左の街路網に比べると、低いコストで高い防災性を得られることになる。特に街路網3-1は街路網1-2に比べると、

コストはほぼ同じであるのに、到達不能率が12.9%も減少していることから、街路網3-1が最も効率的であると言える。

以上はコスト係数 α を2.0とした場合の結果であるが、他の α 値で計算してみても、弾力性係数の値は α の増大につれて大きくはなるが、負の値で他の街路網の同値に比べると非常に小さいことに変わりがないことが分かった。

等値線図(図6)の分析で分かったように、同じリンクの閉塞確率の組み合わせに対して、各街路網の到達不能率の順番や変化の傾向は変わらないので、他のリンクの閉塞確率の組み合わせにおいても、街路網3-1が最も効率が良いことが推定できる。

上の分析で、街路網の到達不能率は、基本的にはリンクの閉塞率によって決められるが、その中で、ランク2の街路が300m間隔で整備するケース(街路網3-1)が街路網の構成上最も効率的であることが分かった。

5. 街路閉塞確率の実測値を用いた分析

以上の分析では、リンクの閉塞確率という概念を用いて、街路網の到達不能率の観点から各街路網の比較を行った。本章では、3章の知見および現実の対象街路網のデータを用いて、リンクの閉塞確率と街路の属性との関係を明らかにした上で、具体的にどのような街路網が望ましいかを考察する。表6は研究対象地区のリンク数に対する木造家屋延長率と閉塞状況のクロス表である。次のことが分かる。

a) 合計欄を見れば、4m-6mと6m-8mの2ランクのリンク数が圧倒的に多い(84.4%、254/301)。木造家屋延長率が40%以上の場合は両ランクの閉塞

表5 各街路網の比較(ランク1、2のリンク閉塞確率はそれぞれ0.5と0.3で、 $\alpha=2.0$ の場合)

(1)	街路網	1-0	2-0	1-1	2-1	3-0	1-2	3-1	2-2	3-2	5-0	5-1	5-2
(2)	到達不能率	71.30	58.04	57.61	47.73	47.42	45.22	39.40	38.17	31.86	28.16	23.95	19.92
(3)	コスト	18180	18780	19400	20000	19380	20620	20600	21220	21820	20580	21800	23020
(4)	(2)の減少率*		0.186	0.007	0.171	0.006	0.046	0.129	0.031	0.165	0.116	0.150	0.168
(5)	(3)の増加率**		0.033	0.033	0.031	-0.031	0.064	-0.0010	0.030	0.028	-0.057	0.059	0.056
(6)	(5)/(4)		5.635	0.224	5.545	-0.210	0.725	-132.7	1.037	5.847	-2.044	2.522	3.007

*-(到達不能率-左の街路網の到達不能率)/左の街路網の到達不能率

**((コスト-左の街路網のコスト)/左の街路網のコスト)

表6 リンク数の木造家屋延長率と閉塞状況のクロス表

木造家屋率%	4m-6m未満		6m-8m未満		8m-10m未満		10m-12m未満	
	総数	内閉塞	総数	内閉塞	総数	内閉塞	総数	内閉塞
0-20	15	6(40%)	21	2(10%)	11	4(36%)	5	0(0%)
20-40	39	20(51%)	35	22(63%)	12	2(17%)	6	0(0%)
40-60	45	32(71%)	28	21(75%)	4	2(50%)	4	2(50%)
60-80	39	31(79%)	15	11(73%)	0	*	2	0(0%)
80-100	10	7(70%)	7	4(57%)	0	*	3	0(0%)
合計	148	96(65%)	106	60(57%)	27	8(30%)	20	2(10%)

率がほぼ同じであると言える。木造家屋延長率が20-40%の段で両ランクの閉塞確率が逆転しているが、40%以下の2ランクを合計で見ると、閉塞確率は4m-6mの場合は48% (26/54)、6m-8mの場合は43%(24/56)であることから、木造家屋延長率が40%以下の場合でも2ランクの幅員の街路の閉塞状況においてもさほど差がないと言える。

b) 8m 以上の2ランクの街路に関しては、木造家屋延長率の増加と閉塞率の相関関係が読み取れない。平均値で見れば、8m-10m ランクの閉塞確率は30%、10m-12m ランクのそれは10%となっている。

以上の2点を総合すると、幅員8m以下のリンクの閉塞確率は幅員とほぼ関係なく、主に沿道の木造家屋延長率に左右される。木造家屋延長率が40%以下の場合には45%前後、木造家屋延長率が40%以上の場合には平均して74%の割合で閉塞している。それには道路の幅員が8m以下の場合、沿道の建物が倒れていれば、瓦礫などで4mの道路も8m未満の道路でも同じく閉塞するという理由が挙げられよう。

一方、8m以上のリンクについては、沿道の木造家屋延長率と閉塞率には明らかな相関関係は見られない。サンプル数が少ないことも理由であろうが、幅員が広いので、片側の家屋が倒れても車の不通にはなりにくいという理由も考えられる。したがって、幅員8m-10mと10m-12mの2ランクの道路については、全体的に30%と10%の割合で閉塞すると考えればよい。

以上の道路幅員と木造家屋延長率の組み合わせとリンクの閉塞確率の関係に基づいて、表7で示す6ケースの街路網の到達不能率を考察してみる。

表7の各ケースの到達不能率を効率の最も良いと考えられる街路網3-1の等値線図にプロットす

表7 幅員と木造家屋延長率の組み合わせと閉塞確率

ケース名	ランク2のリンク			ランク1のリンク		
	幅員	木造率	閉塞率	幅員	木造率	閉塞率
No.1	4-8m	0-40	0.45	4-8m	40-100	0.74
No.2	8-10m	*	0.30	4-8m	0-40	0.45
No.3	8-10m	*	0.30	4-8m	40-100	0.74
No.4	10-12m	*	0.10	4-8m	0-40	0.45
No.5	10-12m	*	0.10	4-8m	40-100	0.74
No.6	10-12m	*	0.10	8-10m	*	0.30

*特に制限がない

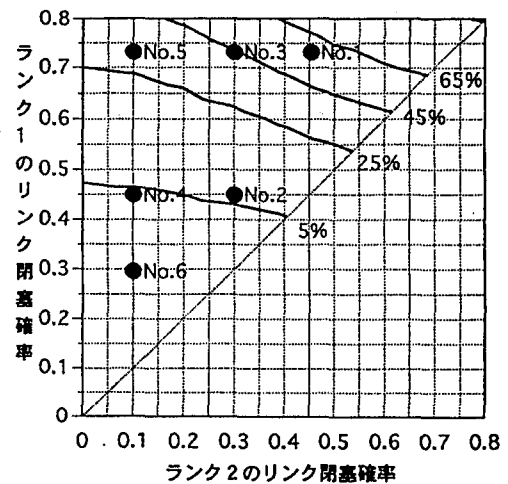


図7 各ケースの到達不能率のプロット図

ると、図7になる。

この図から分かるように、ケース No. 1、3、5 はすべて 25%の到達不能率等値線以上になっている。この3ケースの街路網の共通の特徴としては、ランク1のリンクの幅員が4-8mで、木造家屋延長率が40%以上であり、閉塞確率が非常に高いことである。

街路網のデータ(表6)を見ると、現実の街路網においては、街路の54.0%(太線内の部分/リンク総数)はこのような街路であることから、対象エリアの幅員4-8mの街路沿道の建物の堅牢化あるいは拡幅が必要と思われる。一方、同図から分かるように、ケース No. 2、4の到達不能率は5%前後になっている。この2ケースはランク2の街路が幅員8-12mで、ランク1の街路の木造家屋延長率が40%以下となっている。したがって、ランク2の街路が幅員8m以上、ランク1の街路が幅員8m以下の場合には、到達不能率を5%の水準にするために、ランク1の街路の木造家屋延長率を40%以下にする必要があると考えられる。到達不能率をさらに下げた

めには、ケース No.6、すなわち、ランク2の幅員が10-12m、ランク1の幅員が8-10mの街路網が望ましいであろう。この場合はリンクの木造家屋延長率には特に制限はない。

以上の分析により、対象街路網に限っていえば、300m 間隔で東西、南北方向でランク2の街路を整備することが効率的であると考えられる。このとき、ランク2の街路の幅員を8m 以上12m 未満、ランク1の幅員を8m 以下の場合には、ランク1の街路の木造家屋延長率を40%に抑える必要がある。また、木造家屋延長率が40%以上を含める場合は、ランク2の街路の幅員を10-12m、ランク1の街路の幅員を8-10mにすることが望ましいであろう。

6. おわりに

本研究は神戸市灘区の一部の地区における幅員4m以上の街路網を対象として、激震を受けた後のノードの到達可否状況に関する指標について統計的分析を行った。その分析によって、ノードの到達可否は結合リンクの数、長さ等には関係なく、結合リンクの幅員構成およびリンクの木造家屋延長率に関係していることが分かった。具体的に、結合リンクの幅員総和が32m、あるいはその中の1本の幅員が12m以上の場合、あるいはすべてのリンクが幅員8m以上の街路で構成される場合、または木造家屋延長率が40%以下の場合、到達不可になる可能性が低いことが明らかとなった。さらに、2ランクのリンクをもつ仮想街路網でのシミュレーションによって、ランク2の街路を300m 間隔で整備するケース（街路網3-1）が街路網の構成上最も効率的であることが分かった。また、シミュレーションの結果および現状の街路網のデータを用いて、対象街路網について、震災時に閉塞しにくい街路網のための整備方向を示した。

本研究の結果は現実の街路網から抽象した仮想街路網の比較によるものである。この結果の一般性に関してはさらに検討していかなければならない。また、本論では、骨格となる街路網の量的な検討を行ったものであり、街路網の形状やリンク長については特に対象とはしていない。これらを今後の課題にする。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 岡田憲夫・若林拓史・多々納裕一：レビュー研究、社会基盤整備の計画・管理のためのリスク分析的アプローチ、水利用と道路利用問題を対象として、土木学会論文集、No.464/IV-19、pp.33-42、1993。
- 3) 川上英二：道路交通システムの機能上の耐震性の一評価方法、土木学会論文報告集、No.327、pp.1-12、1982。
- 4) 榎谷有三：震災時における道路網の機能性能の評価法、交通工学、Vol.19、No.5、pp.3-17、1984。
- 5) 若林拓史：道路網の信頼性解析に関する基礎的研究、京大大学学位論文、1989年12月。
- 6) 飯田恭敬・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。
- 7) 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講演集、pp.391-403、1980。
- 8) 高山純一：異常気象時における道路網の連結性能評価法、土木計画学研究・講演集12、pp.559-565、1989。
- 9) 木俣昇・石橋聡：地震時緊急路網のシステム信頼性評価に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集6、pp.145-152、1988。
- 10) 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、土木計画学研究・論文集、No.12、pp.475-484、1995。
- 11) Fennes, S.J. & Law, K.H. (1979): Expected Flow in a Transportation Network, Proceedings of the 2nd U.S. National Conference on Earthquake Engineering.
- 12) 家田仁・上西周子・猪股隆行・鈴木忠徳：阪神大震災における街路機能障害に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.18、1995。
- 13) 塚口博司・戸田哲男・中辻清恵：阪神・淡路大震災における道路の被害状況と発災直後の自動車流動状況、土木計画学研究・講演集、No.18、1995。

- 14) 塚口博司・戸田哲男・中辻清恵：阪神・淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究、IATSS Review、1996。
- 15) 小谷通泰・前野達也・伊藤美由紀：震災による地区道路網の閉塞状況に関する分析、交通工学研究発表会論文集、1996。
- 16) 徳永幸久・武政攻・細見隆：被害状況に関する基礎的分析、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1996。
- 17) 萩野啓・黒田勝彦・竹林幹雄：航空写真を用いた道路被災状況の分析、土木学会第51回学術講演会講演概要集(4)、pp. 42-43、1996。
- 18) 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、1996。
- 19) 飯田恭敬・宇野伸広・牛場高志：阪神・淡路大震災時の道路網機能低下に関する一考察、土木計画学研究・講演集、No. 19(2)、pp. 343-346、1996。
- 20) 青木英輔・石田東生・大野栄治：震災時の街路閉塞による避難迂回からみた街路網の安全性、土木計画学研究・講演集、No. 19(2)、1996。

街路網の防災性指標および街路網構成に関する研究

李 燕 塚口博司

災害時に強い街路網整備の考え方として、大地震で一部分の街路が不通になっても、緊急車両がスムーズにアクセスできないようなエリアが発生しない程度の整備水準が一つの目安となると考えられる。このような視点から、本研究は、激震を受けた神戸市灘区の一部の市街地を対象とし、こうした自動車の到達不能エリアを示した上で、街路網構成の視点から防災性に関わる指標を考察し、災害に強い街路網構成に関する知見を得た。

A Basic Study on the Index and Structure of Road Network Concerning Disaster Prevention

Yan LI, Hiroshi TSUKAGUCHI

In this paper, using the data read from air photos taken after the earthquake, we find out that the road network with nodes which have widest link greater than 12 meters or have their total link width greater than 24 meters is desirable from the view of disaster prevention. By comparison, we propose the road network with high rank road at intervals of 300m is efficient form the view of costs.
