

機能性能からみた道路交通システムの耐震性評価法

榎 谷 有 三*

Evaluation Methods of System Serviceability of Road Network System During Seismic Disaster

Yuzo MASUYA

要 旨

本研究は、震災にともなう道路交通システムの耐震性評価法を機能性能の面から考察したものである。はじめに、クラスター分析の成果を踏まえた地震時の道路交通システムの視覚化の手法について考察した。次に、各ゾーンの耐震性評価指標をアクセシビリティ指標の考え方を基礎に考察した

Synopsis

This paper presents a methodology for evaluation of system serviceability of road network system subjected to possible destructive earthquakes. First we propose an algorithm to visualize the structure of road system considering the existing road network pattern. Secondly, a procedure for evaluating the zonal serviceability is developed from the viewpoint of accessibility measures. A numerical example of 10-nodes network model is executed to examine the validity of the method.

1. ま え が き

震災に伴う道路交通システムの被害は、道路の亀裂・段差、橋梁構造物等の損壊あるいは交通信号機の損壊などの道路施設の物理的損傷によって各リンクの通行不能あるいは交通容量の減少という形で発生し、これに従属して交通混雑や渋滞の発生などのシステムの機能低下というシステムの損傷をもたらす。すなわち、道路交通システムのようなネットワークシステムは構造物の震害という点の被害から線の被害、ひいては面の被害を受ける。したがって、道路交通システムの場合は、震災に伴って機能低下したシステムを早急に回復させるための各種の復旧戦略を考えることのみならず、交通処理能力が低下した道路網において各OD交通が交通混雑・渋滞に遭遇することなく円滑な走行状態を確保するためには、道路網の運用面からはどのような対策を施すべきかについても考える必要がある。

著者等は、すべてのOD交通量がその上限に達したときの道路網容量である極限道路網容量の考え方を基礎に、システムの機能性能の耐震性評価法を考察してきた。¹⁾そして、この極限道路網容量の算定手法を通して震災時における道路網全体の交通処理能力のみならず、各OD交通が抑制対象となる頻度(確率)などを求めた。また、この各OD交通が抑制対象となる確率を用いて震災に伴って交通混雑・渋滞に遭遇する頻度の高いOD交通を数量的に、視覚的に把握するためにクラスター分析による耐震性評価を試みてきた。しかし、このクラスター分析による樹形図(デンドログラム)作成だけでは、震災に伴う道路交通システムの構造を視覚的に十分に把握することができない。すなわち、震災に伴うシステムの構造の空間的な配置に関する視覚化が必要となってくる。従来、このシステムの構造を空間的に配置する方法としては、多次元尺度構成法²⁾あるいは数量化理論III類³⁾などによる方法があるが、本研究ではまずクラスター分析の成果を踏まえて、既存道路網を構成するリンクのみからなるSpanning Treeの

* 土木工学科 助教授

作成を試みた。そして、この作成された Spanning Tree を基に各 OD 交通が抑制対象となる確率から各ゾーンの座標値を算定して、各ゾーンを空間的に配置してシステムの構造を視覚化する手法について考察した。

また、本研究においてはアクセシビリティ指標の考え方を基礎に各ゾーンの耐震性評価法についても考察した。耐震性評価法は、ゾーンを発生・集中する各 OD 交通が抑制対象となる確率とゾーンを発生・集中する OD 交通のうち、ある確率以内で発生・集中可能な交通量の累積比率を用いて図示化する方法を通して試みた。さらに、これらの2つの要因から各ゾーンの耐震性評価指標の算定方法についても考えた。

そして、これらの評価法は震災に伴ってシステムの機能が低下したとき、道路網の運用面から各 OD 交通あるいは各ゾーンに対してそれぞれの様な対策手法を施すべきかを事前に考えるうえでも有用な情報を提供することができるものと思われる。

2. 震災に伴う道路交通システムの構造の視覚化

2.1 Spanning Tree の作成手法

クラスター分析によって樹形図を作成すると、樹形図の縦軸の距離の値が各 OD 交通の抑制対象となる確率を表すことから、震災に伴って交通混雑・渋滞に遭遇する頻度の高い OD 交通を数量的に、そしてある程度視覚的に把握することができる。しかし、樹形図作成だけでは既存道路網における各ゾーンの空間的な位置づけを損なうことなく、震災に伴う各ゾーンの空間的な配置に関する視覚化については行うことはできない。そこで、本研究においてはクラスター分析における樹形図作成の過程で得られる各クラスター同士の融合を基に、まず Spanning Tree の作成を試みる。クラスター分析で求められる樹形図もひとつの Spanning Tree を形成しているが、この樹形図の場合はクラスター間（ゾーン間）が既存道路網を構成しているリンクによって結合されているかどうかについては考慮していない。したがって、作成される Spanning Tree は必ずしも既存道路網を構成しているリンクのみから作成されているとは限らないことから、前述の既存道路網における各ゾーンの空間的な位置づけについて十分に考慮できない。本研究では、クラスター間が逐次融合さ

れる過程を踏まえて、既存道路網を構成するリンクのみから形成される Spanning Tree の作成手法について考察する。

いま、 n 個のゾーン（ノード）と m 本のリンクからなる既存道路網の隣接行列 $\mathbf{L}$ ($\mathbf{L}$ は $(n \times n)$ 行列) とする。ここで、行列 $\mathbf{L}$ の要素は、ゾーン間にリンクが存在すれば 1、そうでないとき 0 を取る。また、クラスター分析に必要な非類似度行列 $\mathbf{D}$ ($\mathbf{D}$ は $(n \times n)$ 行列) の要素である各 OD 交通が抑制対象となる確率 d_{ij} は、極限道路網容量を評価要因とする耐震性評価法を通して既に得られているものとする。そうすると、Spanning Tree の作成手法は以下となる。

(1) 各 OD 交通が抑制対象となる確率を要素としてもつ非類似度行列に対してクラスター分析を行う。 n 個のゾーンからなる道路網においては $(n-1)$ 回、クラスター同士の融合が逐次行われる。なお、クラスター間の距離を求める方法としては、最長距離法を用いる。

(2) クラスター同士の逐次融合する過程における、 i 回目のクラスター p_i, q_i にそれぞれ含まれているゾーンの集合を $\mathbf{P}_i, \mathbf{Q}_i$ とする。

(3) $\mathbf{P}_i$ に含まれているゾーンと $\mathbf{Q}_i$ に含まれているゾーン間において、隣接行列 $\mathbf{L}$ の要素が 1 を取るもの、すなわち既存道路網を構成しているリンクで結合されているゾーン間をすべて取り上げる。

(4) 取り上げられたゾーン間のうちで、行列の要素が最も大きいゾーン間を求める。そして、このゾーン間を結合されるリンクが Spanning Tree を構成するものとする。

(5) クラスター分析の過程で得られた $(n-1)$ 個のゾーン集合 $\mathbf{P}_i, \mathbf{Q}_i$ に対してそれぞれ手順 (3)、(4) を繰り返す。

(6) そして、手順 (4) を取り上げられた $(n-1)$ 本のリンクによって n 個のゾーンを連結させる Spanning Tree を作成する。

このような Spanning Tree の作成手法を通して、既存道路網における各ゾーンの空間的な位置づけを損なうことなく、震災に伴う各ゾーンを空間的に配置することが可能となってくる。なお、手順 (4) で行列 $\mathbf{D}$ の要素、すなわち各 OD 交通の抑制対象となる確率が最も大きいゾーン間としたことは、手順 (1) で述べたようにクラスター間の距離を求める方法として最長距離法を用いるためである。

2.2 システムの構造の視覚化

ここでは、2.1 で求められた Spanning Tree を基に、震災に伴う各ゾーンを空間的に配置するために、すなわちシステムの構造の視覚化を図るために震災に伴う各ゾーンの新たな座標値を算定する方法について考える。いま、2.1 の手順 (3)、(4) で非類似度行列の要素が最も大きいゾーン間として取り上げられたゾーン間の要素のみからなる行列を **E** (**E** は $(n \times n)$ 行列) とする。行列 **E** は $(n-1)$ 個の要素のみが d_{ij} を取り、他の要素はすべて 0 である。また、既存道路網における各ゾーンの座標値を (X_i, Y_i) とする。そうすると、座標値算定手法は以下となる。

(1) 震災に伴う各ゾーンを空間的に配置するために、既存道路網における各ゾーンのうち基準とするゾーン (いずれのゾーンでもよい) a の座標値を (X_a, Y_a) とする。

(2) Spanning Tree 上を走行して、あるゾーン i からゾーン a へ到達するために通過するゾーンの集合 R_i を行列 **E** から求める。

(3) 震災に伴うゾーン i の新たな座標値 (X'_i, Y'_i) は、各 OD 交通が抑制対象となる確率 d_{ij} を用いて式 (1) ~ (3) で求められる。

$$L_{n_i^{j+1}, n_i^j} = \sqrt{(X_{n_i^{j+1}} - X_{n_i^j})^2 + (Y_{n_i^{j+1}} - Y_{n_i^j})^2} \quad (1)$$

$$X'_i = X_a + \sum_{n_i^j \in R_i} \left\{ \frac{(X_{n_i^{j+1}} - X_{n_i^j})}{L_{n_i^{j+1}, n_i^j} \times d_{n_i^{j+1}, n_i^j}} \right\} \quad (2)$$

$$Y'_i = Y_a + \sum_{n_i^j \in R_i} \left\{ \frac{(Y_{n_i^{j+1}} - Y_{n_i^j})}{L_{n_i^{j+1}, n_i^j} \times d_{n_i^{j+1}, n_i^j}} \right\} \quad (3)$$

ここで、

n_i^j, n_i^{j+1} : 集合 R_i に含まれている j 番目及び $j+1$ 番目のゾーンの番号

$L_{n_i^{j+1}, n_i^j}$: 既存道路網上におけるゾーン n_i^{j+1} と n_i^j 間の距離

$d_{n_i^{j+1}, n_i^j}$: ゾーン n_i^{j+1} と n_i^j 間の OD 交通が抑制対象となる確率

(4) (3) で求められた各ゾーンの座標値を基に、各ゾーンを空間的に配置するとともに、各ゾーン間を既存道路網を構成するリンクで結合してシステムの構造の視覚化を図る。

このような手順を通して、既存道路網における各ゾーンの空間的な位置づけを損なうことなく各ゾーンを空間的に配置することができる。すなわち、システムの構造の視覚化を図ることができる。

また、各ゾーンを結合するリンクのうち、前述の 2.1 で Spanning Tree を構成するとしたリンクの長さは、当該ゾーン間の OD 交通が抑制対象となる確率を示すことから、震災に伴う各ゾーン間の移動困難性を容易に把握することができる。このように、システムの構造の視覚化によって、震災に伴って交通混雑・渋滞に遭遇する頻度の高い OD 交通を視覚的に、そして数量的に把握することができる。また、機能低下した道路網の運用面から早急に規制・抑制を含めた各種の対策を施すべき OD 交通等についても考えることができる。さらに、各ゾーン間も既存道路網を構成しているリンクによって結合されていることから、システムの機能を向上させるためにはいずれのリンクより早急に復旧対策等を施すべきか、あるいは震災時の交通機能信頼度を高めるためにはいずれのリンクを整備促進を図るべきかなどについても検討することができる。

3. ゾーンに対する耐震性評価法

ゾーンに対する耐震性評価法としては、従来著者等が考察した各ゾーンの発生・集中可能な交通量の期待値あるいは抑制すべき交通量の平均値を求める方法がある。¹⁾ これらの指標を通して、震災に伴って各ゾーンにおいてはどの程度の交通量が発生・集中可能であるか、あるいは抑制すべきかの量的な評価は可能である。しかし、各ゾーンを発生・集中する OD 交通のうち、各 OD 交通はどの程度の頻度で抑制対象となるか、あるいはいずれの OD 交通を対象に規制・制御を含めた各種の対策を施すべきかなどについては言及できない。そこで、本研究においてはアクセシビリティ指標の考え方を基礎にゾーンに対する耐震性評価法を考察する。

アクセシビリティ指標は、一般にあるゾーンの他のゾーンへの機会 (Opportunity) に対する近接性を表すものと定義されている。この指標については従来からも数多くの指標が提案されているが、⁴⁾ 本研究においてはアクセシビリティが図示的に表現でき、また指標の算定も容易な Black 等⁵⁾ の方法を用いることとする。Black 等はアクセシビリティを図示的に表現するため、横軸にはアクセシビリティを求めるゾーン i から他のゾーン j への当該ゾーン間の時間 (あるいは距離) を、縦軸にはゾーン i の総機会のうちある時間以内に到達可能な機会の累積比率をそれぞれ用いてい

る。したがって、このアクセシビリティの図示化は、ゾーン i から他のすべてのゾーン j 間の時間を求め、この時間でゾーン j を小大順に並び換えて各ゾーンへの累積比率をプロットすることによって容易に行うことができる。また、ゾーン i のアクセシビリティ指標は、横軸としての時間軸と累積比率を表す曲線で囲まれた面積として求められる。

本研究においては対象とする問題を考えて、横軸には耐震性評価を行うゾーン i から他のゾーン j への当該ゾーン間の OD 交通が抑制対象となる確率を、縦軸にはゾーン i を発生・集中するすべての交通量のうち、ある確率以内に他のゾーン j へ到達可能な交通量の累積比率を用いることとする。そして、このゾーン i の耐震性評価の図示化は Black 等の方法と同様に、 i ゾーンと他のすべてのゾーン j 間の OD 交通が抑制対象となる確率を求め、この確率でゾーン j を小大順に並び換えてプロットすることによって行うことができる。図-1 は、 n 個のゾーンからなる道路網を対象に、あるゾーン i の耐震性評価を図示化した概念図である。ここで、図-1 の各記号は以下の通りである。

d_{ik} : 耐震性評価を行うゾーン i 以外の他のすべてのゾーン j を、ゾーン i 間との OD 交通が抑制対象となる確率で小大順に並び換えたときの、 k 番目のゾーンとゾーン i 間の確率

r_{ik} : ゾーン i を発生・集中する交通量のうち、 k 番目のゾーンまでに発生・集中可能な交通量の累積比率

なお、この累積比率 r_{ik} は次式(4)で求められる。

$$r_{ik} = \sum_{j=1}^k q_{ij} / \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (4)$$

ここで、 q_{ij} : ゾーン i と j 間の OD 交通量

そして、この図からゾーン i を発生・集中する各 OD 交通がどの程度の頻度で抑制対象となるかを視覚的に把握することができる。また、この図を通してたとえば、ゾーン i を発生・集中する交通量のうち抑制対象となる確率が d_{ik} 以下である交通量の比率、あるいは $r_{ik}(\times 100)\%$ の交通量が抑制対象となる確率なども容易に把握できる。さらに、 d_{in} の値を通して、ゾーン i を発生・集中する交通量がすべて発生・集中可能な確率 $(1 - d_{in})$ などをも理解することができる。

次にゾーン i の耐震性評価指標は、Black 等の

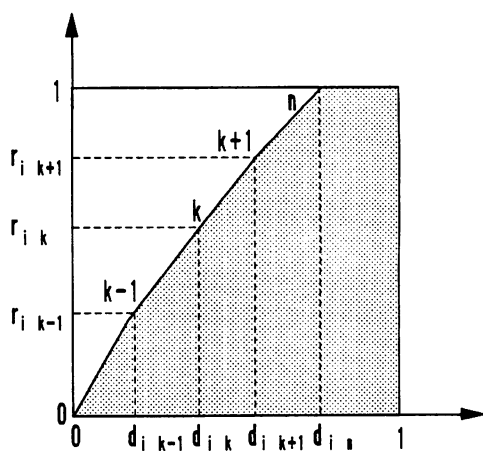


図-1 ゾーン i の耐震性評価の概念図

アクセシビリティ指標と同様に求めると、図-1 の横軸としての OD 交通が抑制対象となる確率、交通量の累積比率を表す曲線及び確率が 1.0 である軸とで囲まれた面積として求めることができる。そうすると、ゾーン i の耐震性評価指標 Z_i は式(5)で求められる。

$$Z_i = \sum_{k=1}^n \{0.5 \times (d_{i, k+1} - d_{i, k}) \times (r_{i, k+1} + r_{i, k})\} + (1.0 - d_{i, n}) \times 1.0 \quad (5)$$

この Z_i は 0.0 と 1.0 の間の値を取ることから、 $Z_i = 1.0$ のときには震災が発生したとしても、当該ゾーン i を発生・集中するすべての交通量が発生・集中可能であり、0.0 のときにはすべての交通量が発生・集中不可能となることを意味する。したがって、この Z_i の値が 1.0 に近いゾーン程震災に対して耐震性が高い、すなわち多くの交通量が発生・集中可能となる。このように、この耐震性評価指標から震災に対する各ゾーンの耐震性を比較検討することができることから、この指標は震災に伴って道路網の交通処理能力が低下したとき、いずれのゾーンを対象に各種の対策を施すべきかを考えるうえでも有用な情報を提供することができるものと思われる。

4. 計算例

簡単な適用例を通して、機能性能の耐震性評価法について考察する。図-2 の道路網(リンク上の数字はリンク番号、()内はリンク距離(km))、表-1 の各 OD 交通の需要交通量(右上半分)を与えて行う。また、震災に伴って各 OD 交通が抑

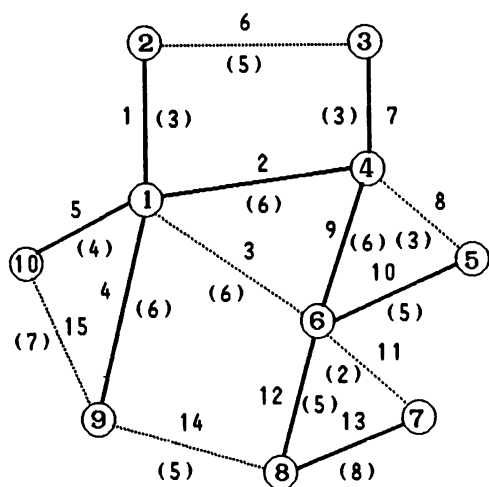


図-2 既存道路網

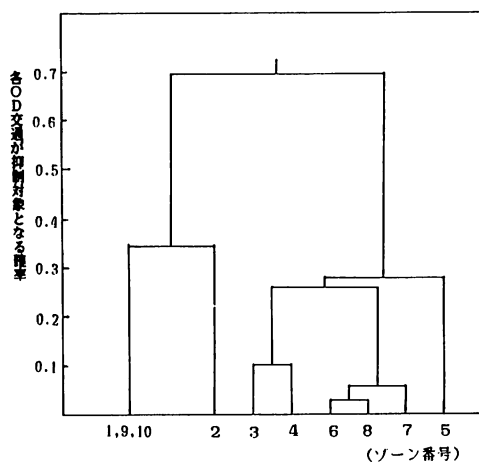


図-3 クラスタ分析による樹形図

表-1 各OD交通の需要交通量(右上半分)と抑制対象となる確率(左下半分)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		5700	4620	5700	5040	6240	3360	840	1020	300
2	0.343		2280	1320	720	780	360	0	1440	60
3	0.615	0.328		3000	960	900	300	300	0	180
4	0.587	0.396	0.102		1740	1320	420	290	1200	60
5	0.694	0.530	0.275	0.190		4080	780	180	0	0
6	0.531	0.452	0.230	0.138	0.246		1920	180	240	120
7	0.546	0.474	0.260	0.173	0.277	0.039		780	300	60
8	0.515	0.341	0.252	0.163	0.268	0.026	0.054		660	60
9	0.0	0.343	0.466	0.419	0.527	0.343	0.363	0.326		240
10	0.0	0.343	0.615	0.587	0.527	0.343	0.363	0.326	0.0	

制対象となる確率 (d_{ij}) は、すでに極限道路網容量を評価要因とする耐震性評価法を通して表-1 (左下半分) のように得られているものとする。¹⁾ さらに、各ゾーンの既存道路網上における相対的

な位置づけとしての座標値を表-2に示す。

表-1 (左下半分) の各 OD 交通が抑制対象となる確率を用いてクラスター分析を行って得られた樹形図が図-3である。また、表-3には樹形図作成におけるクラスター同士を逐次融合する過程を示した。そして、このクラスター分析の結果を基に、2.1で述べた手順(1)～(6)を行うことによって、表-3に示す既存道路網のリンクで結合されているゾーン間のうちで、 d_{ij} の値が最も大きいゾーン間及び当該ゾーン間を結合するリンクすなわち Spanning Tree を構成するリンクが求められる。表-3の結果が示すように、樹形図作成で取り上げられたゾーン間と本研究の手順で取り上げられたものとは、6、7、9回目でのゾーン間で異なっている。そして、表-3のリンクで構成される Spanning Tree が図-2 (及び図-4) に示す太線のリンクである。次に、この Spanning Tree を基に、ゾーン1を基準として2.2で述べた手順(式(1)～(3))を行うと表-2に示す震災に伴う各ゾーンの座標値が求められ

表-2 各ゾーンの座標値

ゾーン	各ゾーンの座標値			
	X_i	Y_i	X'_i	Y'_i
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	23.0	0.0	17.1
3	33.0	23.0	29.0	7.7
4	34.0	3.0	29.2	2.6
5	50.0	-10.0	38.5	0.0
6	26.0	-18.0	26.8	-3.9
7	41.0	-33.0	29.0	-4.2
8	20.0	-41.0	26.5	-5.1
9	-8.0	-33.0	0.0	0.0
10	-19.0	-10.0	0.0	0.0

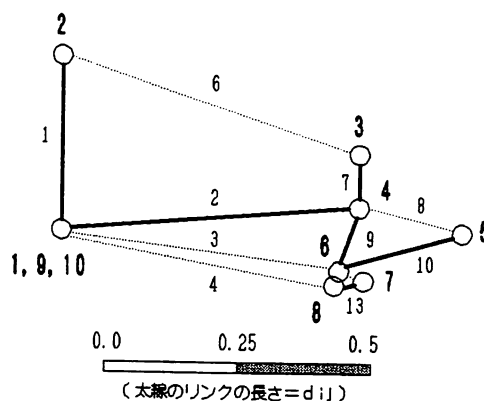


図-4 震災に伴うシステムの構造の視覚化

表-3 クラスター分析の融合過程と Spanning Tree を構成するリンク

回	i 回目のクラスター p_i, q_i に含まれているゾーンの集合		クラスター分析で取り上げられたゾーン間と d_{ij} の値	本研究の手順で取り上げられたゾーン間と d_{ij} の値	Spanning Tree を構成するリンク番号
	p_i	q_i			
1	1	9	1-9 (0.0)	1-9 (0.0)	4
2	1,9	10	1-10(0.0)	1-10(0.0)	5
3	6	8	6-8(0.026)	6-8(0.026)	12
4	6,8	7	7-8(0.054)	7-8(0.054)	13
5	3	4	3-4(0.102)	3-4(0.102)	7
6	3,4	6,7,8	3-7(0.260)	4-6(0.138)	9
7	3,4,6,7,8	5	5-7(0.277)	5-6(0.246)	10
8	1,9,10	2	1-2(0.343)	1-2(0.343)	1
9	1,2,9,10	3,4,5,6,7,8	1-5(0.694)	1-4(0.587)	2

た。そして、この座標値を用いて各ゾーンを空間的に配置し、さらに各ゾーン間を既存道路網のリンク(太線が Spanning Tree を構成するリンク)で結合したネットワークが図-4 である。この図で、特に太線の Spanning Tree を構成しているリンクの長さは、当該リンクで結合されているゾーン間の OD 交通が抑制対象となる確率を表すことから、震災に伴う各 OD 交通の移動困難性を容易に比較検討することができる。すなわち、このシステムの視覚化によって、震災に伴って各 OD 交通が交通混雑・渋滞に遭遇する程度を視覚的に把握することができる。また、機能低下した道路網の運用面から規制・制御を含めた各種の対策を施すべき OD 交通(たとえば、ゾーン 1, 9, 10 及び 2 を発生・集中する OD 交通)あるいは早急に復旧対策等を施すべきリンク(たとえばリンク 1, 2, 3 等)などをも容易に把握できる。

次に、表-4 はゾーン 1 を例として、各ゾーンをゾーン 1 との OD 交通が抑制対象となる確率で小大順に並びかえるとともに、ゾーン 1 を発生・集中する OD 交通量のうち、当該ゾーン間の交通量の比率 d_{ij} 及び累積比率 r_{ij} を求めたものである。そして、この表の d_{ij} を横軸に r_{ij} を縦軸に取り、 d_{ij} の順にゾーンをプロットすると図-5 に示すようにゾーン 1 の耐震性評価が図示化できる。なお、図中の数字はゾーン番号である。さらに、これら d_{ij} 及び r_{ij} から式(5)の各ゾーンの耐震性評価指標 Z_i を求めた結果が図-6 である。この図の Z_i よりゾーン 1 が他のゾーンに比べて耐震性が低いことが窺えることから、道路網の運用面からゾーンを対象に何んらかの対策を施すときにはゾーン 1 を中心に行うべきことが理解できる。

表-4 ゾーン 1 を発生・集中する OD 交通量の比率及び累積比率

ゾーン	OD 交通量		q_{ij} の累積比率 r_{ij}	
	d_{ij}	q_{ij}	比率	率 r_{ij}
1	0.000	0	0.000	0.000
9	0.000	1020	0.031	0.031
10	0.000	300	0.009	0.040
2	0.343	5700	0.173	0.213
8	0.515	840	0.025	0.239
6	0.531	6240	0.190	0.429
7	0.546	3360	0.102	0.531
4	0.587	5700	0.173	0.705
3	0.615	4620	0.140	0.846
5	0.694	5040	0.153	1.000
		32820	1.000	

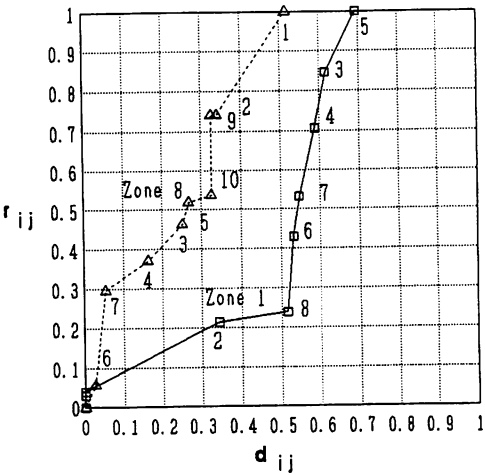


図-5 ゾーン 1 及び 8 の耐震性評価

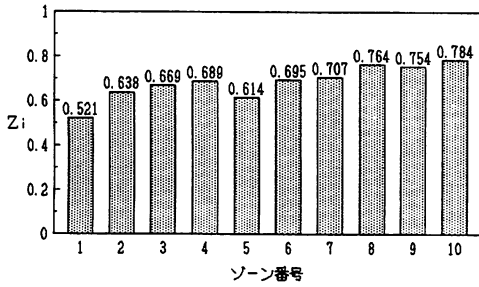


図-6 各ゾーンの耐震性評価指標

図-5には Z_i の小さいゾーン1と大きいゾーン8を図示化しているが、この図からも Z_i の違いによる各ゾーンの耐震性を比較検討できる。また、この図よりゾーン1を発生・集中する交通量のうち d_{ij} が0.5以下のものが20%、すなわち80%近くの交通量が0.5以上の確率で抑制対象となること、あるいはゾーン8では全てのOD交通の発生・集中可能な確率が0.5程度であることなども容易に把握できる。

6. あ と が き

以上、本研究は機能性能からみた道路交通システムの耐震性評価法を考察した。本研究の結果をまとめると以下となる。

(1) 震災に伴うシステムの構造の視覚化を図るために、まずクラスター分析の融合過程を踏まえて既存道路網のリンクから構成される Spanning Tree の作成手法について考察した。

(2) そして、この作成された Spanning Tree を基に、各OD交通が抑制対象となる確率から各ゾーンの座標値を算定することによって、既存道路網上における各ゾーンの相対的位置づけを損なうことなくシステムの構造を容易に視覚化することができた。

(3) ゾーンに対する耐震性評価法は、アクセシビリティ指標の考え方を基礎に考察した。その結果、各ゾーンの耐震性評価が図示的に表現できるとともに、評価指標も算定できることから震災にともなう各ゾーンの耐震性を容易に比較検討できる。

本研究で考察した評価法は、震災に伴って交通処理能力が低下した道路網において各OD交通あるいはゾーンに対して各種の対策手法を考えるうえで有用な情報を提供できるものと思われる。

最後に、本研究を進めるに当たり御助言をいた

だいた New South Wales 大学の J. A. Black 教授に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 梶谷・斉藤：道路交通システムの機能性能に関する耐震性評価法，交通工学 Vol. 24 No. 3，1989
- 2) 川上英二：道路交通システムの機能上の耐震性の一評価法，土木学会論文報告集，第327号，1982
- 3) 山田・野田：地震時のライフライン系の信頼度と供給機能の解析，建築学会論文報告集，第342号，1984
- 4) S R Jones : ACCESSIBILITY MEASURES : A LITERATURE REVIEW, TRRL No. 967, 1981
- 5) J Black・M Conroy : Accessibility measures and the social evaluation of urban structure, Environment and Planning A, Vol. 9, 1977

(平成2年11月27日受理)

