

道路交通網の最適な震後復旧過程の評価*

EVALUATION OF THE OPTIMUM RESTORATION PROCESS FOR TRANSPORTATION SYSTEMS AFTER SEISMIC DISASTER

山田善一**・家村浩和***・野田 茂****・伊津野和行*****

By Yoshikazu YAMADA, Hirokazu IEMURA, Shigeru NODA and Kazuyuki IZUNO

To repair lifeline systems, especially transportation systems, immediately after the seismic disaster, is very important for the whole restoration process. This paper presents and evaluates the optimum restoration process for damaged transportation systems. The theoretical optimum restoration process is calculated by using the average running time of all cars in the transportation network. And the procedure is applied to the real network system of Izu-peninsula, which was damaged by Izu-Ohshima-kinkai earthquake (1978). The relationship between the characteristics of the roads and the proposed optimum restoration process is also analyzed, using Hayashi's quantification scaling (type 2).

1. 序 論

本論文は、被災した道路交通網の震後復旧過程に関して、詳細な検討・考察を行ったものである。

都市の発達に伴い、地震災害による都市機能の低下が日常生活に及ぼす影響ははかりしれないものになってきた。なかでも交通網は、都市機能に果たす役割がきわめて重大であるのみならず、被災した場合、避難・救援・復旧活動に大幅な遅れをもたらすという性質をもっており、防災対策上非常に重要である。したがって交通網の被害を最小にとどめるよう努力をすることはもちろん、被害を受けた場合の復旧戦略についても検討しておく必要がある。

従来、平常時における交通網のもつさまざまな交通現象に関しては、交通工学の分野で非常に多くの研究がなされている^{たとえ(1)}。また、耐震工学の分野でも、道路網

の物理的被害予測に関する研究が行われてきた^{2),3)など}。さらに、交通網をライフライン網としてみた場合、地震時および地震後の機能性に関する研究も多い^{4)~7)など}。しかしながら、従来のライフラインに関する研究は、おもに水道管路網や電気・ガスの供給システムに関するものが多かった^{8)~15)}。同じライフラインでも交通網は水道管路網と比較して次のような特徴がある。

- ① 水道管路網は、同時に一方向にしか水が流れない。交通網は、一方通行など特殊な場合を除いて、同時に両方向に人や車が流れる。
- ② 水道管路網では各接点における連続条件が満たされればよく、どこから流れてきた水かは一般に問題にならない。それに対して交通網では、行き先の違う車が同じリンクを流れるため、制約条件が発源地・目的地ごとに与えられる。その結果、連続条件式の数が多く複雑になる¹⁶⁾。
- ③ 水の流れは自然界の物理法則に従う。それに対して交通網では、経路の選択に人の意志が関係するため厳密な予測が困難である。

このように、一口にライフラインといっても、交通網は他のものと性格的にかなり異なり、復旧戦略も当然違ってくるであろう。そこで、交通網の震後復旧過程について検討を加えることは有意義であると考えた。

* 本論文は、第39回土木学会年次学術講演会(1984)および第21回自然災害科学総合シンポジウム(1984)で一部発表した内容に、加筆しまとめたものである。

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科
(同上)

**** 正会員 工修 京都大学助手 工学部土木工学科(同上)

***** 正会員 工修 京都大学助手 工学部土木工学科(同上)

さて、被災した交通網をどこから復旧するかという問題を考えたとき、数理解析的手法だけを利用するのは十分とはいえず、現場における工学的判断も、地震時の緊急性を考えれば重要である。そのため、たとえ理論上最適な復旧手順を算出し得たとしても、それをそのまま現実の問題に適用することは不可能に近いであろう。そこで本論文では、理論上最適な復旧過程を現実の問題に活かす手段として、被害の大きさや交通量などが復旧順序に与える影響について解析を行った。その結果たとえば「交通量の多い路線を優先すると最適な復旧になりやすい」という一般的な傾向が求められれば、復旧戦略を工学的に決定する際に参考となり、また防災の面からも大いに有用であると考えられる。

本論文ではまず、被災した道路交通網に対して、復旧に要する作業量を基準とした被害評価を行った。次に交通ネットワーク上を走行する全車の平均走行時間を用いて、交通網の機能性を評価した。そして、ある時点の復旧状況に応じて、次の復旧手順を決定するという手法を用い、理論上最適な復旧過程を求めた。この手法を、伊豆大島近海地震によって被災した伊豆半島の道路網に適用し、本手法の妥当性を検討した。次に、その理論をもとにして、コンピュータによる被災交通網の復旧シミュレーションを行った。その結果得られた最適な復旧順序のデータに対して、数量化理論Ⅱ類を用い、理論上最適な復旧順序と各種要因との相関性を解析した。

2. 被害評価と機能性の評価

(1) 解析にあたっての初期条件

地震によって亀裂・段差・崩土・落石などが起こった場合、緊急復旧工事の方針としては、通行不能となっている箇所における最低1車線の確保を目標とするのが避難・救援活動から考えても当然であろう。そこで本論文では、通行不能の道がなくなって1台ずつでも通れるようになった状態を解析の初期条件とした。そして、本復旧工事に対する復旧戦略を検討することを解析の目的とした。

また、起終点の対ごとに与えられる交通量（OD交通量）を、交通網に分配する方法としては、走行時間が最少のルートに少しずつ配分していく分割配分法¹⁶⁾を用いた。そして問題を簡単にするため、被害を受けても交通需要に変化はないと仮定した。実際には観光はもちろんのこと、日常的な目的の交通は減少し、復旧・避難・救援を目的とした交通が増加すると考えられる。しかし、もしこの緊急時のOD分布を考慮に入れると、被災後の経過時間および復旧の割合によって制約条件が変化し、過度に複雑なモデルとなる。また解析結果の妥当性の評価も非常に困難となることが予測される。そのため

本研究では、緊急時の特別なOD分布を考慮しなかった。

(2) 被害の評価

地震によって道路の受けた被害の程度を定量化することを考える。これにはいろいろな方法があるが⁶⁾など、本研究では、被害の復旧にどのくらい努力・時間を要するかということで被害の程度を表わした。具体的には、被害を受けた道路（以下リンクとよぶ）が、完全に復旧するまでにどのくらいの作業量が必要かを、作業日数や作業人数をもとにして、資料や経験などから作業の復旧段階数（以下ステップ数とよぶ。）で評価した（たとえば1日の復旧や1か所の復旧を1ステップと仮定する）。

次に、復旧に従って各リンクの走行時間が短くなることに着目して、復旧過程の表現を試みた。平常時の出発地から目的地までの所要走行時間 T_i に対して、完全に復旧するまであと S ステップの作業が残っている場合、リンク i の走行時間 T_{si} を次式で定義した。

$$T_{si} = T_i \cdot (1 + \alpha S) / (1 + S) \dots \dots \dots (1)$$

α は、被害がどれだけ大きくても、走行時間は平常時の α 倍にしかならないという仮定である。前節で述べたように、本論文では道路の完全な通行止めは考えていないので、このような仮定は妥当だと考えられる。式(1)は、復旧の初期段階における交通流の改善が、あまり期待できず（走行時間の変化も少ない）、復旧が進むにつれて改善される割合が大きくなっていくことを考慮したものである。

ここで、平常時の走行時間 T_i についても定義を行う。走行時間を交通量の関数として考え、両者の間に線形関係仮定した。次式で定義する。

$$T_i = L_i (\beta Q_i / Q_{0i} + 1 / V_{0i}) \dots \dots \dots (2)$$

T_i : リンク i の所要走行時間 (h)

L_i : リンク i の長さ (km)

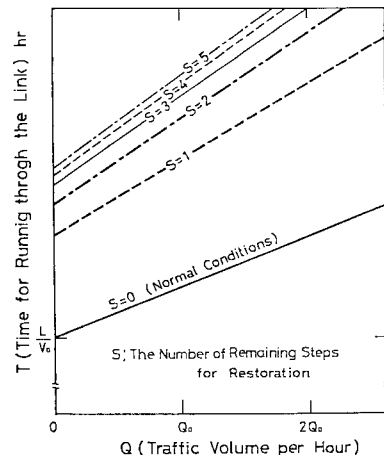


Fig. 1 Model of running time with traffic volume.

- Q_i : その時点におけるリンク i の交通量 (台/h)
- Q_{0i} : リンク i の交通容量 (台/h)
- V_{0i} : $Q_i \rightarrow 0$ の極限を考えた場合、つまりリンクが非常にすいていて、各車が最も速く走れる場合、リンク i の走行速度 (km/h)
- β : 走行時間関数の傾き (h/km)

この式(2)を用いた場合、走行時間関数はFig.1になる。

(3) 復旧過程における道路交通網の機能評価

(1)で述べたように、本論文ではすべてのリンクが連結された状態を初期条件としている。そのため、連結性によって地震時の機能性を評価することはできない。そこで機能評価にあたっては、ネットワーク上を走行する全車の平均走行時間が、復旧に伴って短くなっていくことに注目した。時刻 t における平均走行時間 $\tau(t)$ は次式で表わされる。

$$\tau(t) = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i(t) \cdot T_i(t)}{\sum_{i=1}^N Q_i(t)} \dots\dots\dots (3)$$

- $Q_i(t)$: 時刻 t におけるリンク i の交通量 (台)
- $T_i(t)$: 時刻 t におけるリンク i の所要走行時間 (h)
- N : ネットワークのリンク数

復旧開始時点を t_0 、復旧終了時点を t_E として、時刻 t におけるネットワークの機能性を、次式で定義する復旧度 (Restoration Ratio) $RR(t)$ で表わすことにする。

$$RR(t) = \frac{\tau(t_0) - \tau(t)}{\tau(t_0) - \tau(t_E)} \dots\dots\dots (4)$$

3. 復旧戦略による復旧過程の違い

あるネットワークシステムが被災した場合、リンクの復旧順序が異なると、たとえ全リンクの復旧が終わるのに要する時間は同じでも、途中の復旧過程にはかなり違いがあると予想できる。このとき、なるべく早い時期に復旧度が100%に近づくような復旧が最適だといえよう。このような最適復旧を得るためには、各復旧段階で最も復旧効果の高いリンクを選んで復旧すればよいであろう。しかしながら、各リンクの復旧効果は、復旧が進むに従って変化することが予想される。

これについて多少詳しく説明を行うことにする。ある2地点を結ぶ2本の道路があったとし、2本とも地震によって壊滅的な被害を受けたものとする。この場合どちらか一方の道が復旧されたあとでは、もう一方の道の復旧効果は最初より低下するであろう。このため、はじめからネットワーク全部の復旧順序を決めてしまうと、最適な復旧とはなりにくいと予測される。そこで、復旧段階ごとに、各被災リンクの復旧効果の評価し、そのつど次に復旧するリンクを選定するという手法を用いること

Table 1 Index at each restoration stage.

RESTORATION STAGE	INDEX (x 10 ⁻³)		
	LINK 1	LINK 2	LINK 3
1	5.0	12.5*	10.7
2	5.0		10.7*
3	5.0*		

* ; Maximum Index at Each Stage

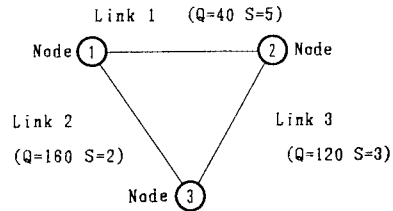


Fig. 2 Simplified transportation network.

にした。この手法によって、被災リンクを1本ずつ復旧していく場合の、理論上最適な復旧過程が得られると予測できる。実際の復旧工事においては同時に数本のリンクを復旧するため、その際の最適な復旧過程が、この手法で得られるとは限らない。しかし本研究結果より、復旧が優先される可能性がきわめて高いリンク、その可能性が低いリンクを判断することができ有用であると考えた。

次に復旧効果の評価法であるが、そのリンクを復旧することによって、ネットワーク上を走行する全車の、平均走行時間が変化することに着目した。その変化量を、復旧に要する作業のステップ数 S で割ったもの (単位復旧時間当たりの復旧度の増分) で評価した。そしてこれを、復旧する際の指標 (Table 1 の INDEX) として用いた。

計算例として Fig. 2 に示した簡単なネットワークについて解析を行った。リンク2というのは、平常時の交通量が最も多く160台であり、復旧に要する作業のステップ数は2ステップと最も被害の小さいリンクである。逆にリンク1は交通量が最も少なく40台であり、被害は最も大きい(5ステップ)。リンク3は、交通量120台、復旧に要する作業のステップ数は3ステップと、両者の中間の値を仮定した。

復旧順序のすべての組合せを考え、復旧度 $RR(t)$ の時間的変化をみると Fig. 3 となる。復旧順序によってその復旧過程にかなり差のあることがわかる。前述の指標に基づいて、ステップごとに最も効果の高いリンクを選んでいく。復旧段階1において、Fig. 3の左下からのびる3本の太線で示される3通りの選択が可能である。こ

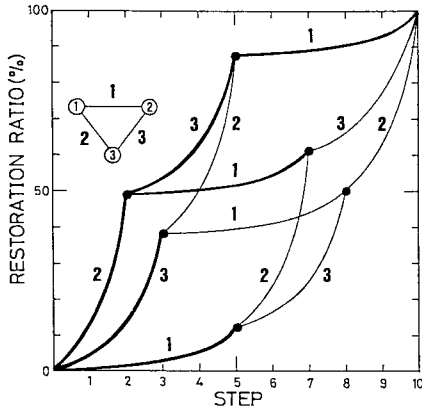


Fig. 3 Restoration ratio at each restoration step.

ここで Table 1 の INDEX の値が最も大きいリンク 2 を選んで復旧する。次にリンク 1 とリンク 3 (図中の太線) を比較して、Table 1 の INDEX が大きいリンク 3 を選び復旧する。そして残ったリンク 1 を復旧する。Fig. 3 に示すとおり、これが最適な復旧順序であることがわかる。これは、本手法の妥当性のある程度表わしているものといえよう。なお、この手法をより具体的かつ複雑なネットワークに適用した場合の妥当性について、次章で検討を行う¹⁷⁾。

4. 実際問題への適用

本章で解析の対象としたのは、1978 年伊豆大島近海地震により被災した伊豆半島の道路交通網である。この地震は 1978 年 1 月 14 日に、伊豆半島の近海で発生し、マグニチュードは 7.0 であった。本震と、翌朝に起きた最大の余震により、伊豆半島中南部の国・県道は各所で

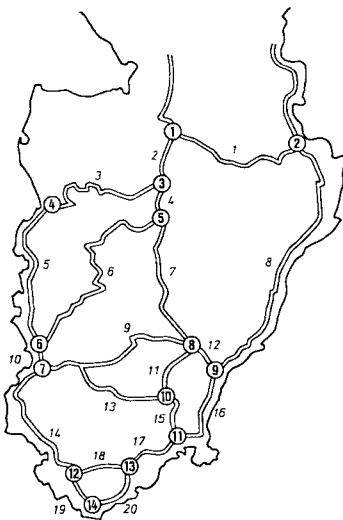


Fig. 4 Simplified traffic network system of Izu-peninsula.

Table 2 Damaged condition of the links (after ref. 18)).

Link	被害箇所数	Link	被害箇所数
1	0	11	43
2	0	12	6
3	2	13	9
4	0	14	2
5	6	15	0
6	79	16	0
7	43	17	1
8	28	18	0
9	28	19	0
10	0	20	0
		計	247

崩土・落石・亀裂などの被害を受け、一時は下田市に通じるすべての陸上交通が閉ざされてしまうという事態が生じた¹⁸⁾。

伊豆半島の交通網を Fig. 4 のようにモデル化した。また、それぞれのリンクの伊豆大島近海地震による被害状況を Table 2 に示す。OD 表は、各ノードにおける発生・吸収交通量から重力モデル、フレータ法によって作成されたもの⁶⁾を用いた。これは平常時の OD 分布であるが、問題の簡単化のため、地震後もこの分布が変化しないと仮定した。この仮定のもとで解析を行った結果は実際の現象の近似解として有効であると考えた。

さて、リンクの被害評価だが、被災後応急復旧にかかる際に得られる情報としては、被害箇所数ぐらいであろう。そこで、1 か所復旧するのに 1 復旧単位 (これを、1 ステップとよぶ。) 必要だと仮定し、各リンクの被害評価を行った。走行時間関数式 (2) の係数は、次のような値を用いた。まず L は各リンクの長さであり、実際の近似値を用いた。そして、平常時の OD 交通量を各リンクに配分した場合、国道における交通量の最大値が約 1000 台/時になることから、国道に対して Q_0 は一律 1000 台/時とした。 V_0 と β は、非常にすいているときに 50 km/h、 Q_0 台/時のときに 40 km/h で走ることが可能なように決定した。主要地方道や、一般県道では、それぞれ国道に対する値をもとに仮定を行った。これらの値を Table 3 に示す。また、どれだけ被害が大きくても所要時間は平常時の 2 倍にしかならないと仮定して、 α は 2 とした (本研究では、復旧順序という相対的尺度を取り扱っているため、 α の値によって結果は左右されない)。

これらのデータを用いて計算を行った結果、最適な復旧順序およびそれに伴う復旧度 $RR(t)$ の変化は、Fig. 5 のようになる。リンクを 5 本復旧した時点で復旧度は約 90 % に達しており、本手法の妥当性を示しているといえよう。

なお実際の復旧にあたっては、このようにリンクを 1

Table 3 Parameters for eq. 1 and eq. 2.

Link	L	Q ₀	V ₀	S
1	22.5	800	50	0
2	6.5	1000	50	0
3	25.0	1000	50	3
4	5.0	800	50	0
5	23.5	1000	50	8
6	37.0	500	40	79
7	20.0	800	50	58
8	36.5	1000	50	30
9	31.5	500	40	28
10	2.0	1000	50	0
11	11.0	800	50	56
12	6.0	800	50	6
13	20.5	800	50	9
14	26.5	1000	50	2
15	7.5	800	50	0
16	14.5	1000	50	0
17	9.0	1000	50	1
18	7.5	1000	50	0
19	6.0	800	50	0
20	9.5	800	50	0

Constants ; $\alpha = 2$, $\beta = 1/200$

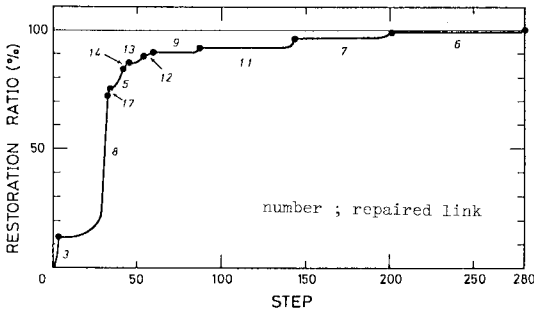


Fig. 5 Restoration ratio at each restoration step.

本ずつ復旧するというのはあまり現実的ではないと考えられる。しかし、最適な復旧順序を見つけることができれば、その順序で上位を占めるリンクの復旧作業に重点をおくなどの対策が可能である。そのために、最適な復旧順序で上位を占めるリンクの特徴をつかんでおくことが、非常に重要である。次章では、その点について解析を行う。

5. 最適な復旧過程に影響を与える要因の分析

(1) 復旧過程のシミュレーション

要因分析を行うためには、かなり多くの復旧例が必要であるが、詳しい震災データを数多く集めることは非常に困難である。そこで、まずコンピュータによる被災交通網の復旧シミュレーションを行うことによって復旧例を集めることにした。その際、最適な復旧過程に影響を与える要因としては、交通量、被害の程度、ネットワークの形状などが考えられる。そこでそれらの影響を均等化するため、次のような手順に従った。

- ① Fig. 6 (A) のような正方形を考える。これを縦横それぞれ 4 等分し、内部に 24 本の線分を作る。
- ② 0 以上 1 未満の一樣乱数を 24 個発生し、①の線分に対応させる。その乱数が 0.5 以上ならば、その

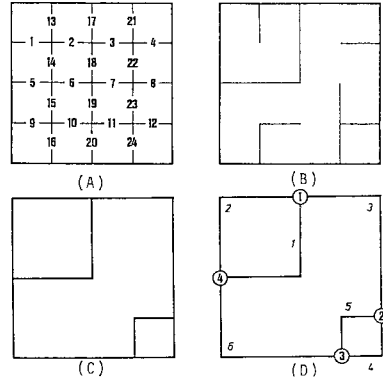


Fig. 6 The process how to generate network systems for simulation.

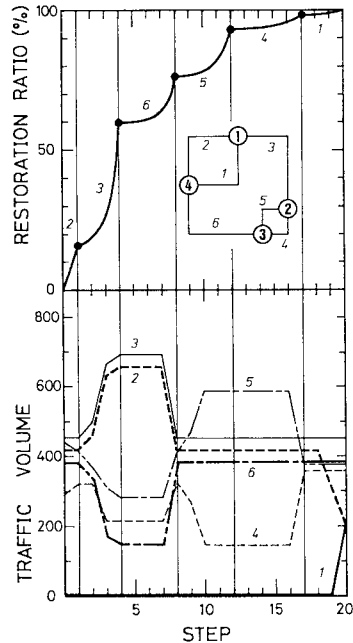


Fig. 7 Example of the simulation (restoration ratio and traffic volume).

線分の場所に道路が存在し、0.5 未満なら道路がないとする (Fig. 6 (B)).

- ③ 行き止まりの道路を除く (Fig. 6 (C)).
 - ④ 道が 3 本以上集まった点をノードとし、そこで交通が発生すると考える (Fig. 6 (D)).
 - ⑤ 交通発生量を乱数によって決め、重力モデルで交通分布量を仮定し、フレータ法を用いて OD 表を作成した。また、リンクの被害(復旧)に要するステップ数も乱数から決定する。
- ①~⑤の手順によって、被災した交通網を作り、そのネットワークに対して前述の手法による最適な復旧順序

を計算した。Fig. 7 にその一例を示す。各リンクの交通量がステップごとに変化し、はじめから最適な復旧順序を予想するのはかなり困難であることがわかる。シミュレーションの結果、ネットワークの形状が「回」の字形になった場合など、不適切なものを除き、本研究では、214 ケースについて解析結果を得ることができた。なおシミュレーションにあたっては、計算時間の関係上、リンク数は5~12に、交通発生量は100~500台に、復旧に要するステップ数は1~5ステップに、それぞれ制限した。また式(1)の $\alpha=2$ とした。ここで得られたネットワークは、「外周が常に存在する形状」という制限はあるが、十分ばらつきのある形状をしたサンプルとなった。

(2) 数量化理論Ⅱ類による解析

数量化理論Ⅱ類は、判別分析を定性的変数を用いる場合に拡張したものである。外的基準(分類)として、前述の手法による最適復旧の順序という定性的なもの考えたため、この理論を用いることにした。

ここで数量化理論Ⅱ類の概略を示す¹⁹⁾。まず基礎となるのは、アイテム・カテゴリ反応とよばれるものである。いま、アイテムという定性的な分類がR種あり、アイテムjが k_j 個の分類カテゴリをもっているとす。個体iが、アイテムjのカテゴリkに反応しているかどうかで、 $\delta(j, k)$ を次式で定義する。

$$\delta(j, k) = \begin{cases} 1: \text{反応しているとき} & \dots\dots\dots(5) \\ 0: \text{反応していないとき} \end{cases}$$

そして個体iの特性値(尺度)として、次のような合成変数を用いる。

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{k_j} \delta(j, k) X_{jk} \dots\dots\dots(6)$$

この α_i によって、個体iが、どの外的基準(本論文では、最適復旧の順序)に属しているかを判別する。 X_{jk} は重み係数である。判別効果の尺度として、相関比(Correlation Ratio)という指標を考え、これが大きくなるよう個々の変数の項目に重み係数を与える。つまり、式(6)の X_{jk} は任意の値をとり得るが、なるべく外的基準のグループどうして、 α_i が違った値となるように、

X_{jk} を決めるわけである。したがって重み係数の大小で、その項目が外的基準にどのような影響を与えるかもわかる。

また、どのような特性が外的基準の各グループの差異に強い効果を与えているのかは、偏相関係数(Partial Correlation Factor)によって知ることができる。最適な復旧順序の一般的傾向を明確にするという本論文の目的から考えて、項目(アイテム)としては、遅くとも被災直後に得られる情報を選ぶのが適切であろう。そこで各リンクに対するアイテムとして次の3つを考えた。

- ① 平常時の交通量
- ② 被害の程度(復旧に要するステップ数)
- ③ リンクの長さ

そして、①の交通量というアイテムに対しては、そのネットワークにおける、交通量の多い方からの順序を分類のカテゴリとした。他のアイテムに対しても同様に、大きい方、長い方からの順序とした。外的基準としては、先ほども述べたように、3.の手法で求めた最適復旧の順序を考えた。Table 4に、アイテムおよびカテゴリについてまとめたものを示す。前節(1)での制限より、交通量とリンクの長さについては12カテゴリ、被害については5カテゴリを設けた。

前節(1)でのシミュレーションによって「どのようなリンクから優先的に復旧されたか」というデータが数多く得られたので、これに対してSPSS統計パッケージの林の数量化理論Ⅱ類²⁰⁾を用いて解析を行った。このパッケージを用いると、何組もの重み係数 X_{jk} を求めることができる。先ほど述べたように、相関比が大きいほど判別効果は高いので、まず最大の相関比を示す組について検討を行った。

その重み係数の組合せを図化すると、Fig. 8になる。最も判別効果が高いということは、つまり最適な復旧順序に与える影響が最も大きい要因の組合せを表わしているわけである。外的基準に与えられた値をみると、値の大きいものほど優先度の高いグループに入ることがわかる。そして、重み係数の値からわかるように、「平常時の交通量が多くて被害の小さい、長いリンクを優先する」

Table 4 Items and categories for Hayashi's quantification scaling.

		ア イ テ ム			外的基準
		交通量	被害	リンクの長さ	最適な復旧における早いほうからの順序
カ テ ゴ リ	1	もっとも多い	もっとも大きい	もっとも長い	1位
	2	2番目に多い	2番目に大きい	2番目に長い	2位
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	k	k番目に多い	k番目に大きい	k番目に長い	k位
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	k_j	もっとも少ない	もっとも小さい	もっとも短い	最下位

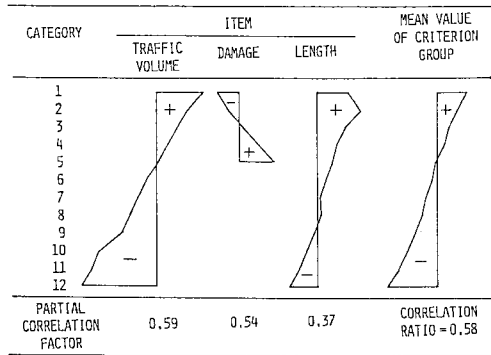


Fig. 8 Numeric values for the 1st factor assigned to item-categories.

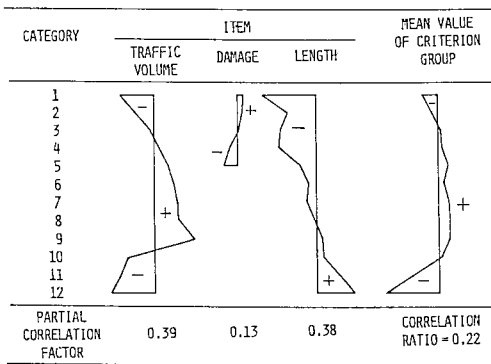


Fig. 9 Numeric values for the 2nd factor assigned to item-categories.

ことが最適な復旧になりやすい。一般的に長いリンクというのは、他の道路との分岐や交差の少ない路線に多い。たとえば、自動車専用道路や、代替道路の少ない地方道である。これらの路線は、交通量が増えてきた場合に、非常に渋滞が起りやすい性質をもっている。このように、ネットワークの形態的な面のみでクリティカルとなる可能性の高い道路で、しかも口頃の交通量が多い場合（渋滞も起りやすい路線であるが）被害が軽微であれば、優先的に復旧を行うことが望ましいということがわかる。

次に、2番目に大きな相関比を示す重み係数の組について検討する（3番目に大きな相関比は0.08であり、これ以上の検討は行わなかった）。これを図で表わすと、Fig. 9になる。大きな特徴は、外的基準グループの値と交通量に対する重み係数とが、ともに中間付近で大きい値をとり、上下で小さくなっていることである。これは次の2つのことを表わしている。

- ① 平常時の交通量が多く長いリンクは、復旧にあたって優先されやすい。これは、最大の相関比を示すものと同じ傾向である。

- ② 平常時の交通量が少なく長いリンクは、復旧の際優先されることが少ない。

Fig. 8 および Fig. 9 の結果をまとめると、他の道路とあまり交差しないう路線で被害が小さい場合、平常時の交通量が多ければ優先するが、通常すいている道路であればあとまわしにした方が最適な復旧になりやすいということがわかる。Fig. 9 では被害に関する偏相関係数が小さいことから、被害の程度にかかわらず、すいている道の復旧はあとまわしにされる傾向があるといえよう。これは常識的判断とも一致する結果である。

なお、偏相関係数はどちらの場合もあまり高くないが、これは外的基準として最適復旧の順序という定性的なものを用いたためだと考えられる。

次にこの結果を、防災的見地から検討を行った。優先度の高いリンクというのは、いいかえれば復旧効果の高いリンクである。同程度の被害を受けた場合、復旧効果の高いリンクが多いネットワークほど、地震後の交通流が平常に戻るのが早い。そのことから考えて、あまり他の道路と分岐や交差をしない、交通量の多い路線は、特に防災対策をしっかりと行うことが望ましい。このような道路の被害を最小限にいとめることが、地震後の復旧を考えた場合重要である。

6. 結 論

本論文では、平均走行時間に関する指標を用いた最適な復旧過程について提案、考察を行った。そのうえで復旧過程のシミュレーションによる結果を用いて数量化理論で解析し、平常時の交通量や被害の程度が最適な復旧順序に及ぼす影響を調べた。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 復旧度がある水準に達する早さは、復旧戦略によってかなりの違いがある。復旧段階のある時点において、最も効果が高いと判断されたリンク（復旧度の単位復旧時間当たりの増分が大きいリンク）を、次のステップで復旧することによって、最適な復旧順序を求めることができた。

- (2) コンピュータにより、被災した交通網の復旧シミュレーションを行った。そして、最適な復旧順序と各要因との関係についてのデータを数多く得ることができた。

- (3) 数量化理論による解析の結果、最適な復旧順序の大略の傾向として「平常時の交通量が多く、他の道路とあまり交差しないう路線が、軽微な被害を受けた場合はこれを優先的に復旧すべきである」ということがわかった。また、このような路線の防災対策も重要である。さらに、被害が小さくても、平常時の交通量が特に少ない路線は、復旧をあとまわしにしてもよい。

今後の課題としては、緊急時のOD分布を考慮に入れたモデルを開発することが必要であろう。また、交通量と被害の関係についても、より詳細かつ現実を反映したモデルの開発が望まれる。

最後に本研究を実施するにあたって文部省科学研究費自然災害特別研究(1)の補助金を受けたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 米谷栄二 監修：新訂版交通工学，国民科学社，pp.225～242，1977年5月。
- 2) 岡本舜三：耐震工学，オーム社，1971年。
- 3) 久保慶三郎・片山恒雄：都市施設の震災予測手法について，生産研究，第29巻，第12号，pp.626～631，1977年12月。
- 4) 山田善一・家村浩和・野田 茂・伊津野和行：地震により被災した交通網の復旧シミュレーションと要因分析，第21回自然災害科学総合シンポジウム，pp.82～85，1984年10月。
- 5) 小林正美：道路交通網の地震時信頼度解析に関する研究，日本都市計画学会学術研究発表会論文集，第16号，pp.205～210，1981年11月。
- 6) 川上英二：道路交通システムの機能性の一評価方法，土木学会論文報告集，第327号，pp.1～12，1982年11月。
- 7) 岩崎敏男・中島威夫・後藤勝志：地震後の道路交通の確保に関する事例研究，第17回地震工学研究発表会，pp.363～366，1983年7月。
- 8) 研究代表者 志賀敏男：大地震時における都市生活機能の被害予測とその保全システムに関する研究，自然災害特別研究成果 No. A-58-1，1984年3月。
- 9) 山田善一・家村浩和・野田 茂・小笠原洋一：反復分割法による震災後の上水供給系の時変信頼性解析，土木学会論文報告集，第326号，pp.1～13，1982年10月。
- 10) Noda, S., Yamada, Y. and Iemura, H. : Restoration of serviceability of a pipeline system, Proceedings of the Specialty Conference on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, pp.225～240, August 1981.
- 11) 磯山龍二・片山恒雄：大規模水道システムの地震時信頼度評価法，土木学会論文報告集，第321号，pp.37～48，1982年5月。
- 12) Kameda, H., Goto, H., Sugito, M. and Asaoka, K. : Seismic risk and performance of water lifelines, Probabilistic Method in Structural Engineering, ASCE, pp.179～195, October 1981.
- 13) 亀田弘行・後藤尚男：水道管路網の震害予測と地震時信頼度解析，第19回自然災害科学総合シンポジウム，pp.187～190，1982年10月。
- 14) 高田至郎・上野淳一：直下型地震を受ける都市供給施設の耐震信頼性解析，建設工学研究所報告，第23号，pp.25～35，1981年11月。
- 15) Toki, K. and Sato, T. : Estimation of damage of water distribution systems by earthquakes, Recent Advance in Lifeline Earthquake Engineering in Japan, ASME, pp.89～96，1980.
- 16) 越 正毅・明神 証：土木学会編新体系土木工学61 道路Ⅰ，技報堂出版，1983年。
- 17) 山田善一・家村浩和・野田 茂・伊津野和行：地震被害をうけた交通網の最適な震後復旧過程に関する研究，第39回土木学会年次学術講演会，第Ⅰ部，pp.867～868，1984年10月。
- 18) 日本道路協会・道路震災対策委員会：道路の震災対策に関する調査報告(Ⅰ)——1978年伊豆大島近海地震災害——，1979年3月。
- 19) 亀田弘行・池淵周一・春名 攻：土木学会編新体系土木工学2 確率・統計解析，技報堂出版，1981年11月。
- 20) 三宅一郎・山本嘉一郎：SPSS統計パッケージ(Ⅰ)(Ⅱ)，東洋経済新報社，1976年11月。

(1985. 6. 28・受付)