

京都大学工学部 正員 伊津野和行
 京都大学工学部 正員 山田 善一
 京都大学工学部 正員 家村 浩和
 京都大学工学部 正員 野田 茂

1. はじめに

地震後、被災したライフライン、特に交通網の機能を効率よく復旧することは、^(1,2) 避難・救援・復旧活動を円滑に行なうためにも重要である。同じライフライン系でも水道管路網などと比べると、交通網は①両方向に物が流れる②制約条件が出発地、目的地ごとに与えられ、連続条件式をたてにくい③人の意志が関係するため厳密な予測が困難、などの特徴がある。本研究では、被災した道路交通網の復旧過程に関して、ある時点の復旧状況に応じて次の最適な復旧手順を決定する手法を提案し、その手法を用いて最適な復旧過程を求めることを考えた。さらに、実際問題への適用について、1978年伊豆大島近海地震によって被災した道路網を例として検討・考察を行なった。

2. 復旧度の定義

まず、被災した道路（以下リンクと呼ぶ）の被害度は、そのリンクが完全に復旧するまでにどれ位の作業量が必要かで表し、これを作業のステップ数で評価した。復旧に従って各リンクの走行可能時間が短くなることに着目し、平常時の所要走行時間 T に対して、復旧までにあと S ステップ作業が必要な場合の走行時間を $T \cdot (1 + \alpha S) / (1 + S)$ で表わす。 α は、どれだけ被害が大きくても走行時間は平常の α 倍にしかならないことを意味する係数である。本研究では $\alpha = 2$ と仮定し、道路の通行止は考えていない。交通量 Q と走行時間 T の間には、問題を単純化するために線形関係を仮定する。これをFig. 1に示すが、 $S = n$ から $S = 0$ へと復旧が進むにつれて、関数を表す直線間の差が大きくなっているのがわかる。これは、復旧初期における所要走行時間の改善があまり望めないことを考慮した結果である。なお本研究では、被害をうけても交通需要に変化はないと仮定し、緊急時のOD分布というものは考慮していない。また交通量の配分は、最短ルートに少しずつ配分していく分割配分法⁽³⁾を用いた。ある地点から出発して目的地に到達するまでに要した時間を、ネットワーク上の全車について平均したものを MT と表すと、この値は復旧に従って短くなる。この平均走行時間 MT を用いてネットワーク全体としての復旧の進み具合を表すのは妥当だと考えられる。時刻 t におけるネットワークの復旧度 $RR(t)$ を次のように定義する。

(但、 t_0 : 復旧開始時点 t_E : 復旧終了時点)

$$RR(t) = (MT(t_0) - MT(t)) / (MT(t_0) - MT(t_E))$$

3. 復旧度に関する指標に基づいた最適復旧

全リンクの復旧が終わる時間は同じでも、途中の復旧過程にはかなり違いがあると予想できる。なるべく早い時期に復旧度が100%に近づく復旧が最適だといえよう。(特に復旧の初期段階は、そのあとの作業効率にも影響を与えるためこの時期の復旧度が高い復旧はかなり有効だと考えられる。)そこで、はじめから復旧順序を全部決めてしまうのではなく、ステップ毎に最も復旧効果の高いリンクを選んで一本ずつ復旧する方針を考える。なぜなら復旧に従って各リンクの交通量が増減することにより、リンクの復旧効果もステップ毎に変化するからである。復旧効果は、そのリンクを復旧することに

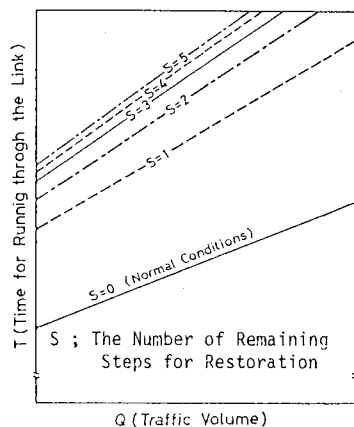
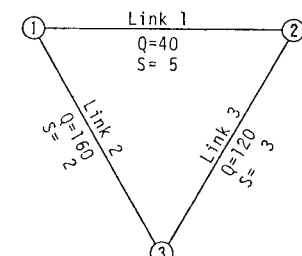


Fig. 1 Running Time Function



Q; Traffic Volume
 S; The Number of Remaining Steps for Restoration
 Fig. 2 Model Network System for Transportation

よる平均走行時間の変化量を、復旧に要するステップ数で割ったもの（単位復旧作業時間あたりの復旧度の増分）で表し、これを復旧する際の指標とした。例として、Fig. 2のネットワークを考える。リンク2は交通量が多く被害は小さいとし、リンク1は交通量が少なく被害は大きいと仮定した。リンク3にはその中間的な性質を与えた。復旧順序のすべての組合せを考え、復旧度の変化を計算すると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、ステップ毎に最も効果の高いリンクを選んでいくと2→3→1となるが、Fig. 3よりこれが最適な復旧順序であることがわかる。

4. 実際問題への応用

本手法を実際の問題に適用する場合、被災リンクを一本ずつ復旧するという前述の仮定はあまり現実的でない。工事中、どんな突発事故がおこるかわからず、必ずしも計画どおりに進むとは限らないため、一本ずつ作業を進めるのはリスクが非常に大きい。そこで、より現実的な案として、いくつかのリンクに重点をおいて労力を配分し、全被災リンクの復旧を同時に行なうことを考えた。その際どのリンクに重点をおくか決定するために、前述の指標を用いた最適な復旧過程を利用する。例として1978年伊豆大島近海地震によって被災した伊豆半島の道路網をとりあげ、Fig. 4のようにモデル化した。実際に復旧に要した日数⁽⁴⁾から、各リンクの復旧に必要な作業のステップ数Sを求めた。その際、被災リンクが複数存在すれば、労力はそれらのリンクに均等に配分すると仮定した。このように、労力を均等に配分した復旧を UNIFORMと呼ぶ。次に前述の指標を用いて最適な復旧順序を求めこれに従った復旧を OPTIMUMと呼ぶ。さらに、その最適な復旧順序の上位を占めるリンクの作業に重点をおいた復旧も考え、それぞれの復旧過程の比較を行った。これをFig. 5に示す。約9割復旧が終了する時期で比べると最適な復旧(OPTIMUM)で12ステップ、重点をおいた復旧で25ステップ、均等に労力を配分した復旧で38ステップ必要であった。作業に重点をおくことによってほぼ復旧が終了する時期を、重点をおかない場合の約2/3に短縮することができた。このように指標に基づいた最適復旧の手法を、重点をおくリンクの選定に活かすことで、かなりの効果が期待できる。

これをFig. 5に示す。約9割復旧が終了する時期で比べると最適な復旧(OPTIMUM)で12ステップ、重点をおいた復旧で25ステップ、均等に労力を配分した復旧で38ステップ必要であった。作業に重点をおくことによってほぼ復旧が終了する時期を、重点をおかない場合の約2/3に短縮することができた。このように指標に基づいた最適復旧の手法を、重点をおくリンクの選定に活かすことで、かなりの効果が期待できる。

5. 結論

- 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違いがある。
- ②復旧段階のある時点において、最も効果が高い（単位時間あたりの復旧度の増分が大きい）リンクを次のステップで復旧することによって、最適な復旧順序が得られた。
- ③実際問題に対して、重点をおくリンクの選定に本手法を活かすことができる。本研究例では復旧が約9割終了する時期を、均等に労力を配分した場合に比べて約2/3に短縮することができた。

6. 参考文献

- (1)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，1984年 3月。
- (2)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，p.1-12,1982年11月。
- (3)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 4月。
- (4)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。

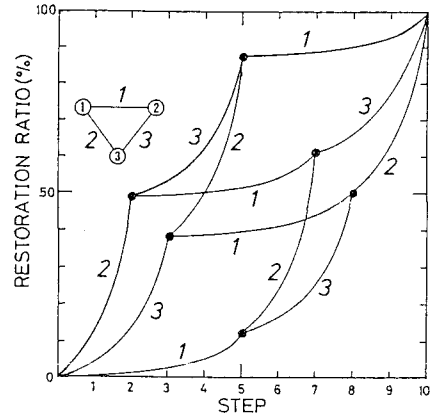


Fig.3 Restoration Ratio at Each Step

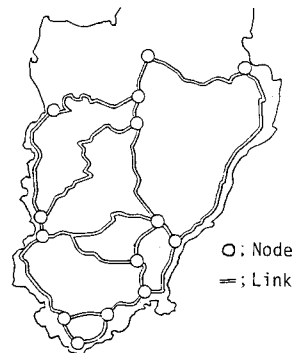


Fig.4 Simplified Transportation System in Izu-Peninsula

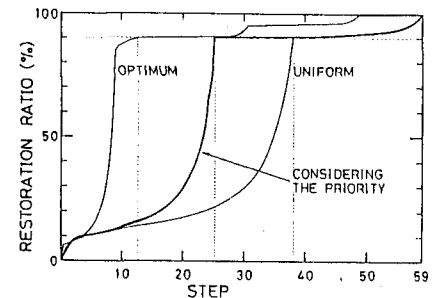


Fig.5 Restoration Ratio at Each Step of Three Restoration Strategies