

広域震災を受けた道路ネットワークの 復旧過程予測システムの開発

川島 一彦, 杉田 秀樹

1. まえがき

震災が生じた場合には、速やかな復旧が必要とされるが、震災復旧に果たす道路の役割はきわめて大きく、道路の復旧が進まなければ他の施設の復旧はできないといっても過言ではない。これは、道路が医療品や食料、復旧資機材の運搬に欠かせないだけでなく、道路に埋設された各種ライフライン施設の復旧にも関連しているためである[1]。

したがって、震災が発生した場合には、何よりも優先的に道路を復旧することが求められるが、震災が広域的に、かつ、複雑な被害をともなって発生した場合には、復旧の優先度の選定を含めて限りある復旧資機材の有効活用等、非常に複雑で高度な判断が求められる。

本文は、地震発生後の道路の震災状況をインプットとして、これに対してどのような順序で復旧を講じれば、おおよそどのようなプロセスで道路を復旧できるのかを各種の制約条件のもとで解析できるシステムを開発したので、この概要について紹介する。

2. 広域震災後の道路ネットワークの 復旧予測

大規模な震災が大都市圏に発生し、広域的に複雑な被害を生じた場合には、道路管理者には迅速な復旧が求められる。迅速といっても、どのような考え方にもとづいて復旧を進めるかによって復旧の方策も異なってくる。震災の特性によって何を最適にするかという目的関数が異なってくるからである。復旧資機材や人員の確保には制限があり、これをどのように有効に活用するかが最も基本的な判断であるが、道路をひたすら復旧すればよいのではなく、道路管理者には他にもいろいろな制約条件があることに配慮しておかなければならない。たとえば

過去の災害の例からみると代表的な制約条件としては以下のものがある[2]~[4]。

1) 社会的な条件、資機材の調達、他施設の復旧、行方不明者の搜索活動等により、限られた期間内に復旧を完了する必要がある場合や、反対に一定期間は復旧に着手できない場合がある。

2) 道路の不通は沿道住民の生活に大きく影響する。住民生活への影響を最小に抑えるためには、1車線でも復旧できれば、とりあえず一般解放することが望ましいが、一度、一般解放してしまると、その後の復旧資機材や人員の輸送に支障が生じる恐れがある。したがって、部分的に復旧できた段階での一般解放の影響を検討しておく必要がある。

3) 道路の復旧とライフライン施設等の占用物件や沿道施設の復旧は競合する場合が多い。クリティカルパスではない路線とその時期を知ることは、復旧の時期を調整するのに欠かせない。

したがって、復旧に関する各種の判断を支援するためには、開発すべきシステムは上記の各種の社会的な制約条件の下で使えるものでなければならない。復旧の予測には、後述するようにネットワーク解析を用いるが、震災状況がかなりリアルタイムに近く把握できなければ、ネットワーク解析を行なうことはできない。従来の地上からのパトロールでは、道路自体の被害や交通渋滞等により被害情報を得るのに時間を要し、かつ、収録される情報の精度が低かったり、さらに視覚的な情報が少ないという問題が指摘されている。しかし、これに対してはヘリコプター等を用いた上空からの震災状況の把握技術や電子野帳の開発、さらには通信衛星を用いたデジタル通信技術の飛躍的な進歩により、情報の量、質ともに大幅に改善され、また、情報伝達に要する時間も短縮されつつある[5]~[8]。こうしたハイテク技術を利用して、ネットワーク解析に用いる震災状況の初期入力データを取得するのである。

もう1つ、こうしたシステム開発の重要な前提条件は常時からこのシステムを活用していなければ、地震発生

かわしま かずひこ, すぎた ひでき

建設省土木研究所 地震防災部 耐震研究室

〒305 つくば市旭1

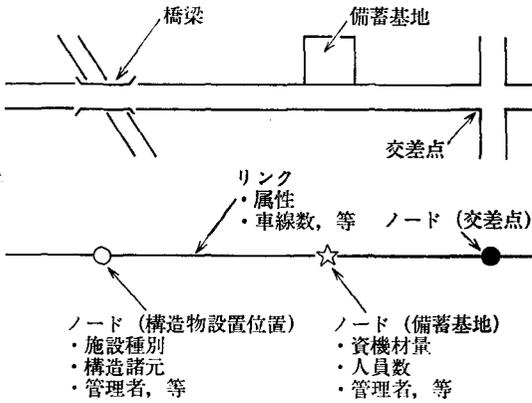


図1 ネットワーク解析に用いる道路のモデル化

直後にこのシステムを有効に使いこなせないという点である。常時の利用形態としては、以下のものが考えられる。

- 1) 道路網に予想される震災をあらかじめ何通りか想定して復旧過程をシミュレーションする。これにもとづき備蓄しておくべき資機材量とその位置を検討する。
- 2) 予想される何通りかの地震被害に対して、復旧過程のシミュレーションを行なうことにより、復旧上のボ

トルネックとなる道路施設および路線を絞り込む。これらは、震災対策の優先箇所として、震前対策に反映できる。

3. ORを利用した予測システムの開発

ネットワーク解析に際しては、図1に示すようにリンクとノードの集合として道路網を表わす。ノードは構造物や交差点、資機材の備蓄基地等に設ける。地震被害はこうしたリンクもしくはノードに生じるものとし、あらかじめどのようなタイプの被害が生じ得るか、また、どの程度の被害度があるかを分類しておかなければならない。被害のタイプとしては、盛土や斜面の被害、橋の被害等に分けられている。また、被害の度合いは、たとえば橋を例にとれば、構造的な耐力からの分類（被害なし、小被害、中被害、大被害、落橋）と、さらに橋面の段差等にもとづく走行性からの分類（被害なし、走行注意、走行不可）に応じて、図2のように分けられている[9]。また、こうした被害のタイプやその度合いに応じて、たとえば表1のように、復旧に必要な資機材（これを原単位と呼ぶ）が想定されている。

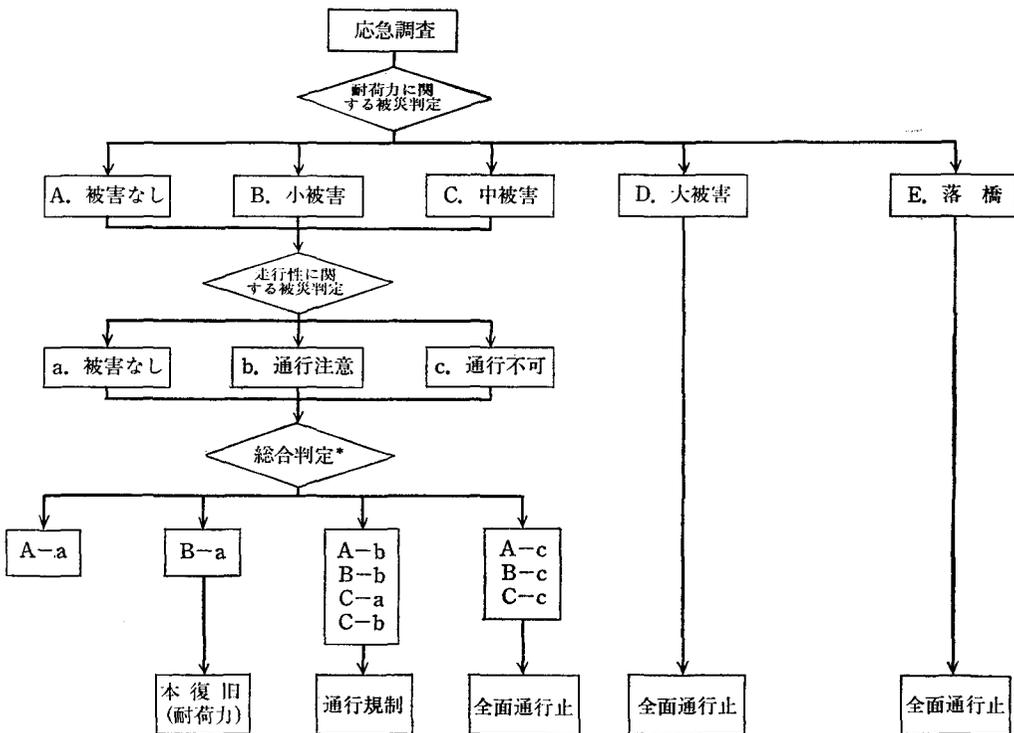


図2 被害の種類および程度分類の例（橋梁の場合）

表 1 復旧資機材の原単位 (橋梁が被害を受けた場合)

被災部位		上部構造	橋脚	支承部	伸縮装置	取付盛土
耐荷力から見た被災度		E	D	D	C	—
走行性から見た被災度		—	c	c	b	c
資材	H鋼B (tf)	100	50	30	10	—
	H鋼C (tf)	100	50	30	10	—
	支保工 (tf)	—	100	50	—	—
	鋼板 (tf)	300	20	20	10	20
	土砂 (tf)	—	—	—	—	200
	アスファルト (tf)	—	30	30	10	30
機材	ブルドーザー (台)	2	2	2	2	5
	タイヤショベル (台)	—	—	—	—	5
	ダンプトラック (台)	70	50	50	30	20
	クレーン車 (台)	10	5	5	3	—
	ローラー (台)	—	5	5	3	5
	ジャッキ (台)	10	5	5	3	—
復旧人員 (人)		100	70	50	20	20
復旧日数 (日)		5	4	3	2	1

(注) 耐荷力から見た被災度 (C:中被害, D:大被害, E:落橋)
走行性から見た被災度 (b:走行注意, c:通行不可)

以上のようなモデル化をもちいて、ネットワーク解析を行なう。解析の基本的な考え方は、以下のとおりである。

1) 復旧開始からの時間を追って、被災した道路施設を順次復旧していく。ただし、復旧を行なうためには被災施設に資機材と人員を供給できることが必要であり、連続して複数の地点で被災した場合には、代替路線を設けない限り、いきなり中間地点の復旧に着手することはできない。

2) ある地点の周辺の道路がすべて被災し、外部から到達不可能となった状態を孤立と呼ぶ。孤立には、ある

1カ所が復旧すれば孤立が解消される場合 (これを、1層の孤立と呼ぶ) と、図3に示すように何段階にもわたって復旧を進めなければならない場合がある。後者をn層の孤立と呼び、次のように表わす。

$$n(k_1, k_2, \dots, k_n) \quad (1)$$

ここに、nは孤立地区の規模(層)、 k_i は第i層めに位置する被災施設を復旧して、孤立の規模をi層から(i-1)層にするのに要する時間(日)である。したがって、孤立度がnの地区の復旧に要する時間 T_n は、次のようになる。

$$T_n = \sum_{i=1}^n k_i \quad (2)$$

2) 復旧資機材および人員は、輸送が可能な地点に移動させて繰り返して使用できる。ただし、一度ある地点の復旧に投入された復旧資機材および人員は、その復旧が終了するまでは他の地点には移動させないものとする。

3) 輸送路が確保されていれば、ある箇所の復旧を行なうために複数の備蓄基地から復旧資機材および人員を供給できる。このため、どの備蓄基地から、どのような配分で復旧資機材および人員を投入するか、の判断が重要となる。特に、震災が広域的に生じた場合には、限られた復旧資機材および人員を、どの地域に優先的に投入するかは、基本的な復旧戦略としてきわめて重要な判断となる。

4) 孤立地区の解消、緊急物資輸送路の確保等のために優先的に復旧すべき路線がある場合には、これを制約

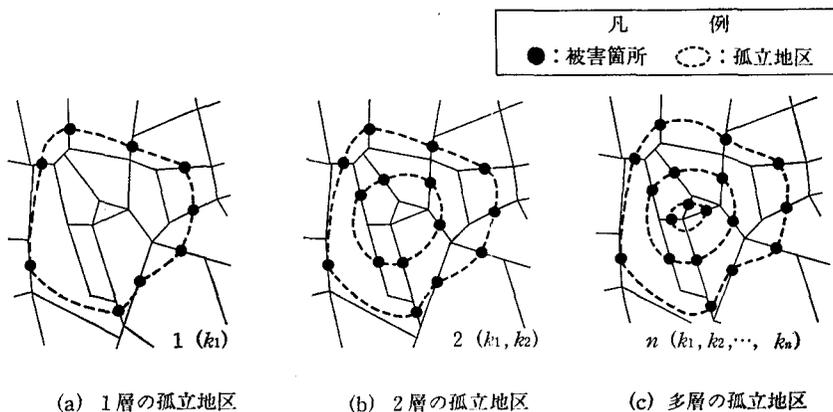


図 3 多層の孤立地区の定義

条件として解析に反映させる。

ネットワーク解析には、数学的な方法の利用も考えられるが、本解析のように多くの制約条件がある場合には、適当な解析法がない。このため、ここでは、総あたり法を用いることとした。目的関数としては、

①復旧開始から完了までに要する時間の最小化、②特定の路線、あるいは地区の復旧に要する時間の最小化、③投入する復旧資機材および人員の最小化、等が考えられる。

ただし、解析を行なってみると、ノード数によっては計算時間が長くなりすぎたり、また、いかに目的関数を複数選択しこれらの中の優先度を調整しても道路管理からみれば突飛としか映らない解が得られる場合がある。このため、本解析では自動モード以外にマニュアルモードを導入することにした。これは、震後の時間経過とともに新しい情報が入手でき、時々刻々被災状況が更新されていくことを解析に取り入れるためにも必要な措置であった。さらに、道路管理者からみれば地震発生から完全復旧までを一時にシミュレートするよりも、重要な判断を迫られる個々の時点で自分の判断を交えて復旧していく方が実用的であるという点からもマニュアルモードの方が優れている。

4. 解析例

解析の一例として、千葉県に広域的に震災が発生した場合を想定して、自動モードにより復旧過程のシミュレーションを行なった結果を紹介しよう。解析では、どのレベルの道路までを考慮するかが重要であるが、ここでは県内の国道および県道を考慮することとし、合計160本のリンクと103個のノードにより表現した。地震被害は、図4に示すように、平地盛土および橋梁が各30カ所で被災したと想定した。このため、3層の孤立地区が野島崎と勝浦の2カ所に生じた。復旧資機材および人員は、図4に示す千葉、酒々井、木更津、柏、船橋の5カ所に備蓄されているものとした。

いろいろの解析を行なったが、ここに示すのは最も基本となる場合で、各種の制約条件を設けず、また、十分な復旧資機材を投入できるとした場合、復旧資機材の量が限られるとした場合である。図4の被災を同時復旧するためには、復旧人員としては最大で2200人/日、ま

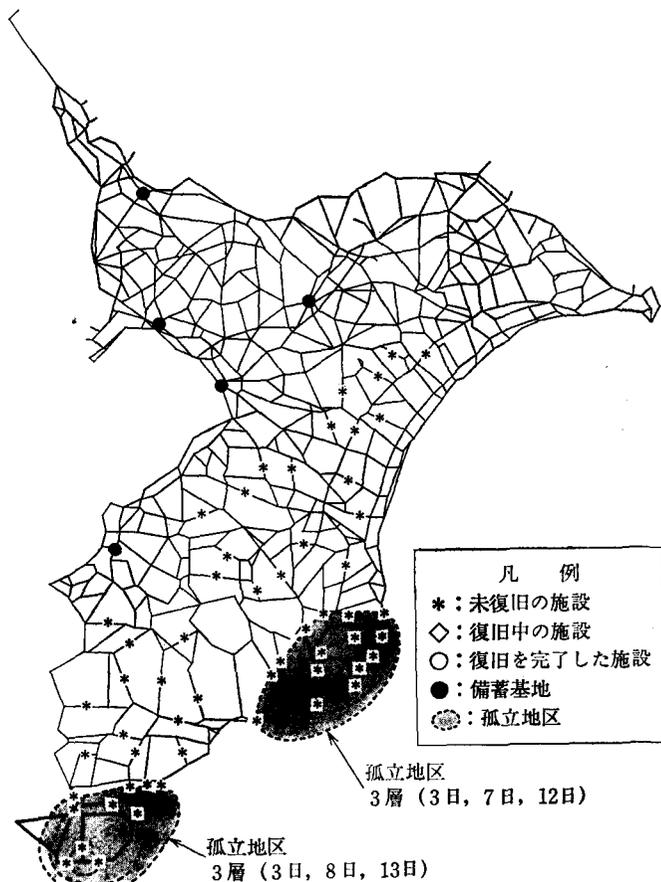


図4 解析対象とした被災状況

た、復旧資機材としては、たとえばブルドーザーを例にとれば最大で267台/日必要になる。これだけの復旧人員と復旧資機材を投入できれば、図4の被災は13日で復旧できることになる。

これに対して、投入できる復旧人員が上記の12.5%に当たる275人/日、また、ブルドーザーが上記の15%に相当する40台しかないとした場合には、被災後13日経過した段階でも、図5に示すように、まだ多数の地点で復旧が完了していない。この場合には、復旧までには全体で49日を要し、上記の3.8倍の時間がかかることになる。

こうした解析によれば、資機材を直接投入できない孤立地区の存在が、完全復旧に要する時間を大きく左右する重要な要素であることがわかっている。

5. まとめ

本システムを開発したことにより、現状から、たとえば2日後にはおおむねどのような復旧状況になっている

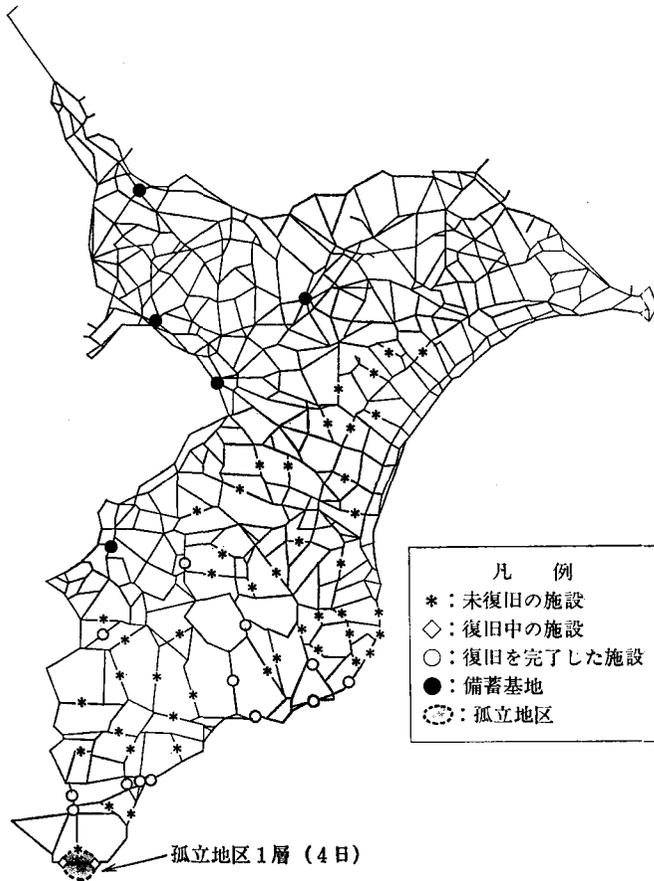


図5 復旧資機材に制約がある場合の震災後13日（復旧資機材に制約がなければ完全復旧できる日数）の復旧状況

かを即座に知ることができ、従来、経験と勘にしか頼れなかった広域的な道路ネットワークの震災復旧予測に判断を助けるビジブルな情報提供が可能となった。しかし、震災復旧という大きなシナリオ・レスの“ドラマ”の中では、どのような事態が生じるか予想がつかない、臨機応変な対応が重要な“火事場”で役立つシステムと

していくためには、試用を通じた今後の各種の改良が必要であろう。

参 考 文 献

[1] 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），昭和63年2月

[2] 川島一彦，大日方尚巳，後藤勝志，加納尚史：昭和59年長野県西部地震における震後対応，土木技術資料，Vol.28—9，昭和61年9月

[3] 川島一彦，大日方尚巳，加納尚史：地震災害が地域経済に与える影響，土木技術資料 Vol.29—3，昭和62年3月

[4] 川島一彦，大日方尚巳，加納尚史：長崎水害および山陰水害における路上放置車両の除去，土木技術資料，Vol.1. 29—9，昭和62年9月

[5] 建設省土木研究所：基幹施設の災害情報システム・ガイドライン(案)，土木研究所彙報，第45号，平成4年

[6] 川島一彦，杉田秀樹，加納尚史：ヘリコプターから撮影したビデオ映像による地震被害状況の把握，土木技術資料，Vol.33—1，平成3年1月

[7] 川島一彦，杉田秀樹，加納尚史，飯田寛之：震災情報の収集に対する熱赤外線ビデオの適用性，土木技術資料，Vol.33—1，平成3年1月

[8] 寺川 陽，野口 正，小栗ひとみ，松木功：災害情報地上検知システムの開発，土木技術資料，Vol.34—12，平成4年12月

[9] 建設省土木研究所：土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)，土木研究所彙報，第45号，昭和61年12月

