

# ISM 法と GIS に支援された大地震時の緊急路整備計画策定支援システムの構築\*

## ISM-GIS Based Decision Support System for Emergency Road Network Improvement Planning

林 良嗣\*\*、オマール オスマン\*\*\*、木俣 順\*\*\*\*  
Yoshitsugu HAYASHI, Omar OSMAN and Jun KIMATA

### 1. はじめに

「いつどこで大地震が発生してもおかしくない」と言われ続けていた我が国であったが、先般の阪神淡路大震災ではその備えの脆弱さが露呈してしまった。震災後、様々な機関が行った交通問題に関する調査・研究は、特殊な需要の増加と極端な供給の減少によって交通に多大な障害が生じ、そのことがさらに被害を大きくしたことを指摘している<sup>1)</sup>。

神戸では、倒壊した建造物や路上散乱物による道路の閉塞、落橋、路盤の崩壊、沿道建造物の火災等によって道路網が寸断された。このことは、自家用車による避難に起因した渋滞と相まって、発災直後の救急救命活動や消火活動など緊急活動の大きな障害となった。消防車は火災現場に辿り着けず、レスキュー隊は生き埋め現場に向かう手段がなく、被害の拡大を防ぐことができなかった。これらの調査・研究は、もっとスムーズに初期緊急活動が行えたならばより多くの人命を救うことができたであろうと報告している。

このため、緊急活動拠点から市内各所へ確実かつ迅速に到達することを可能とするような緊急路の安全性の確保が急務となっており、各都市とも重要な防災施策として取り組み始めている。しかし、いつ来るか分からない地震に対する整備においては、時間と費用が問題となり、整備の優先順位付けが必要である。しかも、ネットワークへの整備効果を考慮しなければならない。

本研究は、緊急路整備計画策定時に整備順位を付けることができ、かつネットワークへの整備効果の分析を

可能とし、策定者にも市民にも分かりやすく必要な情報を表示できる計画策定支援システムを構築することを目的とするものである。

### 2. ISM 法と GIS による整備計画策定支援

#### (1) ISM 法による支援

地震災害は、地盤破損に端を発する様々な震害よりなる複合災害である。従って、緊急路の安全性評価に関しては、これらの個別震害を総合化しなければならない。これには、人間が持つ総合的判断力を活用することが望ましい。木俣は、J. N. Warfield によって提案された ISM 法(Interpretive Structuring Method)<sup>2)</sup>を活用した避難路の安全性に関する評価支援システムを開発した<sup>3)</sup>。本研究でも、この ISM 法を支援ツールとして採用する。

ISM 法の魅力は、この人間の総合判断力の活用というところにある。一対比較を基本とした ISM 法の適用は、i)“Intent Structure”に代表されるような主観的な認識や主張の構造化と、ii)“Priority Structure”のような計画案や選択肢の比較または順位付けの2つに大別できる。

前述のシステムでは、まず安全性の規定要因について i)の領域の使用法で ISM 法を適用して整理し、より適切な規定要因を選択している。つぎに選択された要因によって避難路の特性カードを作成し、ii)の領域の使用法で ISM 法を適用し、避難路の安全性順位図を得る。そして、その主観的評価結果を3群判別関数モデルを用いて数値化している。数値化に AHP 法を用いているものもある<sup>4)</sup>。

ISM 法の階層構造図による表現は、説明力があり、かつ比較・検討時に有用である。また、階層構造図を検討しブレインストーミング・一対比較を繰り返すことにより主観を基準とする ISM 法の弱点を補っている。本研究でもこのシステムを緊急路の整備に適用している。

\*キーワード 計画情報、防災計画

\*\*フェロー 工博 名古屋大学大学院教授 地圏環境工学専攻  
(〒464-01 名古屋市千種区不老町)  
(TEL:052-789-3828, FAX:052-789-3837)

\*\*\*正会員 工博 名古屋大学大学院助手 地圏環境工学専攻

\*\*\*\*学生員 名古屋大学大学院 博士前期課程 地圏環境工学専攻

## (2)GIS による支援

前述のシステムは1本1本のリンクを比較し ISM 法によってその整備優先順位を求めている。しかし、緊急路はネットワークであり、リンク単体の整備効果だけではなく、地理的特性や空間的效果をも考慮する必要がある。そこで著者らは地理情報システム (GIS : Geographical Information System)に注目し、本システムへの導入を図っている。GISは、空間を扱うデータベースであり、分析ツールである。

本システムでは、GIS の導入により ISM 法で決定された整備優先順位の空間的評価を試みる。GIS のネットワーク分析機能を用いることにより、整備のネットワークへの効果を分析する。

Layer	Feature	Class	Attributes
	緊急路network	Lines	道路幅員 交通量 橋梁特性
	路側面構造物	Polygons	ビルの高さ 木造/堅牢 危険物取扱所
	地盤	Polygons	地盤タイプ
	土地利用	Polygons	
	河川	Lines	
	地形	???	

図-1 GIS で管理している都市情報のレイヤー群

また、元システムでは、リンクの属性データをリンクごとにカード化して管理していたため、属性の取得・更新・変更が困難であった。しかし、GIS では、様々な都市のデータをそのタイプごとにレイヤー(Layer)として管理しており(図-1)、これらのレイヤーをリンクに重ね合わせる(Overlay)ことによって属性カードを自動的に作成でき、データの管理・更新が簡便になっている。データの修正・変更が容易なため、計画代替案の分析をインタラクティブに行うことができる。

加えて、GIS は優れた表現能力を有しており、分析結果のプレゼンテーション及び検討にも有用である。

## 3. 本システムの概要

本システムは、前述の機能を実装するため、(1)安全

性規定要因構造化モジュール、(2)整備順位付けモジュール、(3)整備計画策定モジュール、(4)空間効果評価モジュールの4つのモジュールより構成されている。

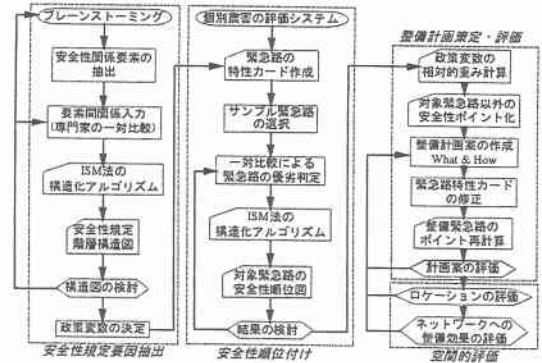


図-2 本システムの概要

### (1)安全性規定要因構造化モジュール

まず、緊急路の安全性はどのような要因によって規定されているか把握する必要がある。規定構造を的確に理解することができれば安全性向上のために必要な整備項目を選択することができる。

システムに入る前に、専門家によるプレインストーミングで緊急路の安全性に関係する要素を抽出する。

つぎにシステムを起動し、安全性関係要素抽出モードに入る。プレインストーミングで抽出された要素をGISの各レイヤーから選択する。GIS データベースにないものはキーボードより入力する。

要素入力後、一対比較モードに入る。ユーザーに対しシステムは、全要素に関し、「要素 i と要素 j」の従属関係を質問してくる。ユーザーは、「i は j に従属」、「j は i に従属」、「i と j は無関係」を判断して入力する。

システムは、ユーザーによって入力された従属関係を収納した関係行列  $B_{ij}$  (i が j に従属するするとき  $B_{ij} = 1$ 、無関係のとき  $B_{ij} = 0$ ) から ISM 法のアルゴリズムを用い、可達行列  $R_{ij}$  を求め、緊急路安全性規定要因の階層構造図を作成する。

ユーザーは、階層構造図を検討し、問題があればプレインストーミングや一対比較にフィードバックする。

完成した階層構造図(図-3)から整備項目とする要素を抽出する。ここで抽出した要素が GIS データベースにないときは、データの整備が必要となる。

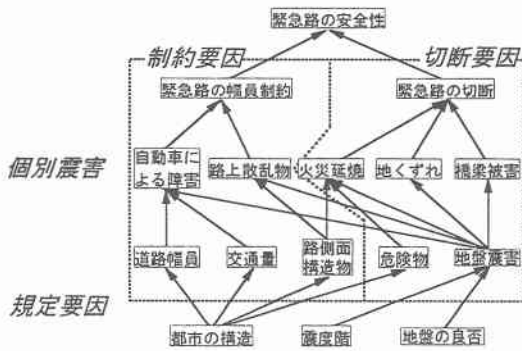


図-3 緊急路安全性規定要因の階層構造図

(2)整備順位付けモジュール

つぎにどのリンクから整備しなければならないかを決定する。多数のリンク間の順位付けを直接行うことは困難であるが、2つのリンク間でどちらを優先すべきかを判断することは比較的容易である。ここにISM法を用いる。

まず、リンクごとに(1)で抽出された項目に関する属性カードを(表-1)作成する。これは、前述のようにGISのオーバーレイ機能を用いることにより容易に作成することができる。

表-1 リンクの属性カード

サンプル緊急路No.20 桜橋付近			
個別震害	規定要因	内容	ランク値
自動車による障害	1 道路幅員	7-14m、片側1車線+歩道	3
	2 交通量	渋滞時間: 5min/h	1
路上散乱物	3 路上散乱物	住宅街、倒壊	4
地くずれ	4 地盤タイプ	硬(第2種)	1
橋梁被害	5 橋梁特性	単純桁、径間数4、RC、	3
火災延焼	6 危険物の数	1	2
	7 木造建物の密集度	大	3

つぎに整備順位を決めるために一対比較を行うが、全てのリンクに関して一対比較を行うのは非常に困難である。よって20から30のサンプルリンクを抽出してそれらの順位付けを行い、(3)のモジュールでその結果の他のリンクへの拡張を試みている。この拡張や整備効果を評価するために(1)で抽出された項目を個別震害に対する評価基準(表-2)によってランク化する。

サンプルリンクは、GISのディスプレイ上のマウスの操作によって簡単に選択することができる。

サンプルリンク抽出後、一対比較モードに入る。ユーザーに対しシステムは、全サンプルリンクに関し、属性カードを提示して「リンクiとリンクj」の安全性の差異を質問してくる。ユーザーは、「iはjより危険」、「jはiより危険」、「iとjは無判別」を属性カードから判断する。

表-2 個別震害の評価基準

要因	基準	ランク	
1 道路幅員	2.0 ~ (m)	1	
	1.4 ~ 2.0	2	
	0.7 ~ 1.4	3	
	~ 0.7	4	
2 (交通量) 渋滞時間	~ 5 (min/h)	1	
	5 ~ 10	2	
	10 ~ 20	3	
	20 ~	4	
3 路上散乱物	住宅街	小被害	1
		中被害	2
		大被害	3
		倒壊	4
	ビル街	~ 7 (m)	1
		7 ~ 12	2
		12 ~ 20	3
		20 ~	4
4 地盤タイプ	硬 (I・II種)	1	
	中 (III種)	2	
	軟 (IV種)	3	
5 橋梁特性	橋がない	1	
	桁落下せず	2	
	桁落下直前	3	
	桁落下	4	
6 危険物の数	0	1	
	1	2	
	2	3	
	3	4	
7 木造建物 密集度	小	1	
	中	2	
	大	3	

システムは、(1)と同様に関係行列よりISM法のアルゴリズムを用い可達行列を求め、サンプルリンク間の安全性階層構造図を作成する。上位に位置するリンクほど危険

であり、整備の優先順位が高いとしている。

ユーザーは、階層構造図を検討し、問題があればサンプルリンク抽出や一対比較にフィードバックする。

### (3)整備計画策定・評価モジュール

整備計画の策定では、どこのリンクのどの項目を改善するかを決定しなければならない。

まず、サンプルリンク以外に拡張するために(2)でランク付けした整備項目の間の重みを求める。(2)で得た可達行列より骨格行列が求まり、AHP 法と同様に項目のランク間の重みが計算される<sup>9)</sup>。この重みは、その項目をランク1だけ改良したときのリンクの安全性の改善を表す。

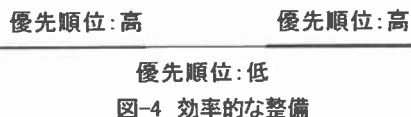
全リンクについて、この重みとランクをかけ全項目で足し合わせてリンクの安全性を数値化することにより、ISM法で付けられたリンクの安全性の優劣をサンプルリンク以外に拡張する。

ポイント化された安全性の順位より、整備計画案を作成し、どのリンクのどの項目をどれだけ整備するかを決定する。整備計画案に合わせ、リンクの属性カードの該当項目のランクを修正する。

修正された属性カードから安全性ポイントを再計算する。ポイントの改善と費用・所要時間等を比較し、計画案の良否を検討し、問題があれば整備計画案の作成にフィードバックする。

### (4)空間的評価モジュール

(2)、(3)での評価では、リンクの地理的重要度やリンク間のトポロジー(ネットワーク性)が入らないため、空間的評価を別に行う必要がある。



例えば、末端の比較的整備の必要のないリンクの優先順位を高く、幹線を低く評価してしまう可能性がある。ま

た、図のような場合、中間のリンクも同時に整備してしまう方が効率が良いときもある。

そこで GIS のディスプレイに安全性ポイントごとにリンクを色分けし、その上に他の都市情報を重ねて表示し、整備計画案を再検討する。

また、ネットワーク信頼性解析法を援用し、リンクの整備のネットワークへの効果を計算する。

これらの検討の良否から問題があれば(3)の計画案の作成にフィードバックしよりよい計画を策定する。

## 4. おわりに

本研究では、複合災害である震害を ISM 法によってその構造を階層化し、緊急路の安全性に関して整備順位付けを行った。また GIS によって視覚的に結果を理解でき、フィードバックを基本とするシステムを構築した。このような複雑な対象に対しては、人間の経験・総合性の導入が有効であったと考える。

今後の課題としては、対象地区を定めてデータを収集し、実際に本システムを適用することがあげられる。

## 参考文献

- 1)林 良嗣、富田安夫、中川 大ら：「緊急対応・復旧」分科会報告、土木計画学研究・講演集 18(1)、1995
- 2)Warfield, J. N : Binary Matrices in System Modeling、IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, VOL. SMC-3、1973 など
- 3)木俣 昇：ISM 法に支援された大震時避難路の安全性評価システムに関する基礎的研究、Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol. 28, No. 1、1985
- 4)竹村 哲、木俣 昇、磯村隆司：社会基盤整備計画のための ISM-AHP 連動化支援システムの開発、土木計画学研究・講演集 16(1)、1993