

地震防災のための道路網および緊急施設整備計画に関する研究

Development of road networks and regional facilities for prevention of disaster

近藤 光男*1・廣瀬 義伸*2・綾 貴穂*3・山根 丈*4
 By Akio KONDO, Yoshinobu HIROSE, Takao AYA, Joe YAMANE

1. はじめに

兵庫県南部地震によって道路交通は大きな被害を受け、激しい交通渋滞が発生した。この震災の経験より、災害時においても一定レベル以上で機能するような道路ネットワークの構築が求められるようになった。従来の研究においても、稼働停止関数を用いた手法¹⁾、確率重要度を用いた信頼性解析²⁾、並列多重化システムとしての道路ネットワークの代替性評価³⁾、自然災害を考慮した道路網評価に関する基礎的考察⁴⁾等がある。本研究では、徳島県において、大地震が発生した場合に生じる道路網の被害、およびそのときの交通状況をシミュレーションし、その結果に基づいて、効果的な緊急施設配置計画および道路整備計画を作成し、GISを用いて表現することによって考察を行う。

2. 研究対象地域および想定地震の設定

本研究では、方法論とその適用事例について述べるが、以下では具体的な適用地域において方法論を説明し、同時に分析結果について考察を行っていく。本研究で対象とした地域は、徳島県全域であり、国道、主要地方道、一般県道および1級2級市町村道からなる道路網を用いる。図-1に道路網を示す。

次に、本研究では、表-1に示すような3種類の地震を想定し、これを事例として用い、分析を進める。

表-1 想定地震の種類

想定地震1	北緯33° 東経135°を震源とする 南海地震 (マグニチュード8.4)
想定地震2	中央構造線による 断層型地震 (マグニチュード7.7)
想定地震3	鮎喰川断層による断層型地震 (マグニチュード7.7)



図-1 分析対象とした道路網

3. リンク信頼度推計手法

地震によって道路網に被害が生じるが、まず、道路網リンクの切断の有無を決定するためにリンク信頼度指標を用いて、次のような方法で分析を行う。リンク信頼度の評価指標にリンク長さ、車道幅、地盤特性値の3つの指標を用いる。リンク長さについて考えると、リンク長さが l のときリンクの残存確率は、式(1)に示すような指数分布の確率密度関数に従うものとする。そうすると、地震災害が生じた

キーワード 防災計画、GIS

*1 正会員、工博、
 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻
 (〒770 徳島市南常三島町 2-1、
 Tel.0886-56-7339 / FAX.0886-56-7341)

*2 正会員、工修、徳島大学工学部建設工学科

*3 学生員、
 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

*4 工修、(株)間組

とき、道路のリンクの長さがL (m)までは残存すると保証される確率は、図-2の斜線部分の面積となる。この確率をリンク信頼度とする。

$$p(l) = \frac{1}{\mu} \exp\left(-\frac{l}{\mu}\right) \quad (1)$$

μ : 平均損壊リンク長さ

$p(l)$: リンク長さが l のときリンクの残存確率

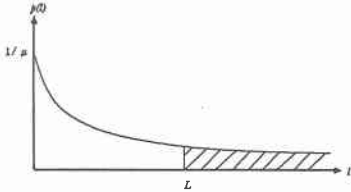


図-2 リンク長さと残存確率

よってリンク長さによるリンク信頼度 $P(L)$ は、式(2)で与えられる。

$$P(L) = \int_L^{\infty} p(l) dl = \exp\left(-\frac{L}{\mu}\right) \quad (2)$$

以上、リンク長さについて述べたが、車道幅、地盤特性値についても同様にして定義することができる。この3つの指標から乱数を用いて、図-3に示すような方法で切断リンクを抽出する。

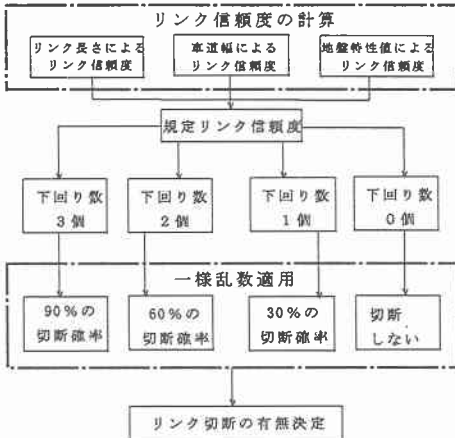


図-3 乱数による切断リンク抽出法

まず、各リンクの3つの指標についてのリンク信頼度を算出する。そのリンク信頼度があらかじめ定めておいた規定リンク信頼度（本研究では0.5とし

た）を下回る個数によって一様乱数により抽出される確率を定める。その後、乱数によって切断リンクを抽出することによって災害時道路網を作成する。

4. 道路網信頼度解析

(1) 計算パターン

平常時道路網と災害時道路網に対してゾーン間のOD交通量を道路網に配分する。各計算パターンを表-2に示す。なお、OD交通量は平常時と災害時それぞれ用意した。また、ゾーンは小学校区を基本として設定した。

表-2 評価分析計算パターン

想定局面	通行規制の有無	分析ケース
平常時	規制なし	1
想定地震1	規制なし	2
	1次通行規制	3
	1.2次通行規制	4
想定地震2	規制なし	5
	1次通行規制	6
	1.2次通行規制	7
想定地震3	規制なし	8
	1次通行規制	9
	1.2次通行規制	10

注) 1次通行規制：大臣管理の国道の通行規制
2次通行規制：県管理の主要な道路の通行規制

(2) 重量路線抽出

災害時においては、避難、緊急車両、救援物資の輸送など、人の移動が激しくなるために、交通量が増えるリンクがある。それらのリンク中で増加量の激しいリンクを防災計画の面からみて重要となるリンクと考える。この重要路線の抽出については、各パターンの配分計算を行い、各想定地震のリンク評価値と交通量増加量を平常時と比較することによって求めた。その結果、どの想定地震においても重要路線として抽出された道路は、県内の主要幹線道路の迂回路となりうる路線であり、平常時の交通を代替させる経路が抽出された。また、徳島県の地形の特徴として吉野川をまたぐ路線についても、重要路線となることが多い。このような観点より、国道や主要地方道など平常時交通量の大きい路線同士を接続している路線および迂回路の整備が必要となる。また、吉野川にかかる橋梁および周辺の道路整備は不可欠である。

5. 緊急施設配置計画

災害時には、交通は至る所で遮断され、緊急物資を輸送することは困難となる。このため、地震災害時の緊急施設配置問題の重要性は高い。ここでは、表-2に示す10ケースについて、望ましい緊急施設配置計画を検討する。

(1) 配置法

救助対象ゾーン*i*の人口を*P_i*、施設ゾーン*j*から*i*への時間距離を*t_{ij}*とする。ただし、総ゾーン数は*n*である。この問題の目的関数として式(3)を設定し、これに対して以下の制約条件を考えた。

目的関数

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i t_{ij} \delta_j \rightarrow \min \quad (3)$$

ただし、
$$\delta_j = \begin{cases} 0 \cdots \text{ゾーン}j\text{に施設がない} \\ 1 \cdots \text{ゾーン}j\text{に施設がある} \end{cases}$$

制約条件

- ・条件1 孤立ゾーンには無条件で施設を配置する
- ・条件2 孤立ゾーンがある市町村は、条件1の施設配置で終了する
- ・条件3 孤立ゾーンがない市町村には当該市町村内の1ゾーンに1つの施設を配置する

(2) 配置結果と考察

分析ケース1, 2, 4の施設の配置計画を、図-4に示した。図の◎は孤立ゾーンでの配置であり、Yが表示されている施設は条件3での配置である。各市町村において、当該市町村に立地した施設への所要時間が最短であるゾーン数の比率を式(4)で算出した。この式で算出される値*SD_i*を市町村*i*でのカバー率と呼ぶ。さらに、各市町村のカバー率の徳島県全体における平均値を求めた。

$$SD_i(\%) = \frac{N_g}{N_i} \times 100 \quad (4)$$

SD_i : 市町村*i*のカバー率
N_g : 市町村*i*にある全ゾーン数のうち当該市町村の施設への所要時間が最短のゾーン数
N_i : 市町村*i*の全ゾーン数



(a) 分析ケース1



(b) 分析ケース2



(c) 分析ケース4

図-4 緊急施設配置計画

各市町村のカバー率は、表-3の通りである。なお、全市町村の平均値は、61.6%である。表-3を見ると、都市部では高い比率を示し、都市部以外では多くの地域で50~70%にとどまった。県内の大部分を占める都市部以外の数字および平均値を見る限り、消防等の防災活動は町村同士の連携が重要だと考えられる。

表-3 各市町村の緊急施設のカバー率 (%)

市町村	率	市町村	率	市町村	率	市町村	率
徳島市	95.7	上那賀町	50	上板町	66.7	一字村	50
鳴門市	94.4	木沢村	50	吉野町	66.7	穴吹町	50
小松島市	95	木頭村	50	土成町	66.7	木屋平村	50
阿南市	91.7	由岐町	50	市楽町	66.7	三野町	66.7
勝浦町	50	日和佐町	50	阿波町	66.7	三好町	66.7
上勝町	50	牟岐町	50	鴨島町	66.7	池田町	75
佐那河内村	100	海南町	50	川島町	66.7	山城町	50
石井町	80	海部町	50	山川町	66.7	井川町	66.7
神山町	50	穴喰町	50	美郷村	50	三加茂町	50
那賀川町	50	松茂町	66.7	脇町	66.7	東祖谷山村	50
羽ノ浦町	50	北島町	80	美馬町	50	西祖谷山村	50
鶯敷町	50	藍住町	80	半田町	50		
相生町	50	坂野町	66.7	直光町	50		

6. 道路整備計画の指針を示すための効果分析

(1) 整備対象路線と計測手順

ここでは、高速道路を含む主要国道を対象とする。また、計測手順は、図-5の通りである。災害時の道路網をベースとし、それに対して、被害によって通行できない区間が生じたであろう高速道路や国道を強化し、通行可能な状態にすることによって生じる効果（回復する効果）を計量し、道路整備における重要路線を指摘する。なお、時間価値は、3,000円/時間・台とする。

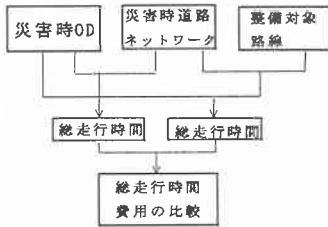
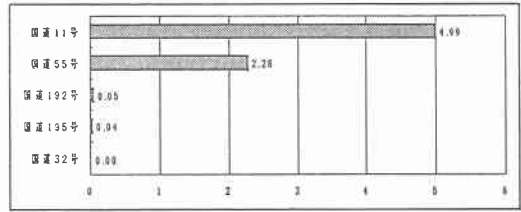


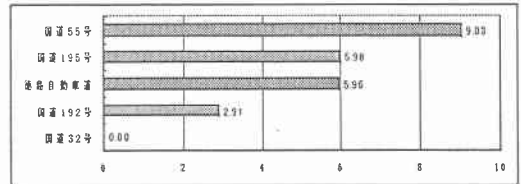
図-5 道路整備効果の分析手順

(2) 結果と考察

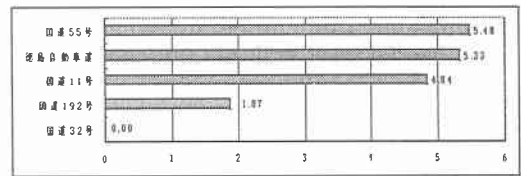
結果を図-6に示す。道路整備効果をより多くもたらす路線順に総走行時間費用の減少額を示した。(a)では、国道55号が上位になっており、南海地震により県南部が大きな被害を受ける状況がよく示されている。(b),(c)では、各断層に沿う道路網が被害を受けるため、徳島自動車道、国道192号が大きな効果をもたらしている。全体的に見て、国道55号は災害に備えて信頼性をもった路線にする必要がある。



(a) 想定地震1



(b) 想定地震2



(c) 想定地震3

図-6 道路整備効果額 (単位: 億円)

7. おわりに

本研究では、地震災害時の道路網の評価と道路網の整備、および緊急施設の配置について検討してきた。その結果、地震災害は交通への影響が非常に大きく、国道11号、192号、55号とその迂回路の重要性があらためて明らかとなった。また、緊急施設配置計画では、防災のために事前に配置しておくべき施設の計画をネットワークの利用可能性と住民の救済の迅速性の視点から立案することができた。

[参考文献]

- 1) 若林 拓史: 地震災害時の道路網連結信頼性と確率重要度による区間の評価・阪神間道路網を例として, 土木計画学研究・講演集, No.18(2), pp.613-616, 1995.
- 2) 藤原健一郎, 朝倉康夫, 柏谷増男: 交通ネットワークにおける災害時のフローの変化を考慮したODペア間の信頼度の指標, 土木計画学研究・講演集, No.18, pp.737-740, 1995.
- 3) 南 正昭: 都市間道路ネットワークの代替性評価に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.14, pp.295-300, 1991.
- 4) 嶋田喜昭, 加藤哲男, 本田義明: 自然災害を考慮した道路網評価に関する基礎的考察, 日本都市計画学会学術研究論文集, No.30, pp.97-102, 1995.
- 5) 大村 平著: 信頼性工学のはなし, 日科技連, pp.45-75, 1988.
- 6) 土木学会: 交通需要ハンドブック, 技報堂出版, 1981.