

緊急車両ルートおよび 救援物資流通経路の探索

高橋 誠¹・栗田哲史²・福島誠一郎³・嶋田昌義⁴・高橋 聡⁵

¹ 正会員 工修 東電設計株式会社 地震技術部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

² 正会員 工博 東電設計株式会社 地震技術部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

³ 工修 東電設計株式会社 地震技術部 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

⁴ 正会員 東京電力株式会社 電力技術研究所 (〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

⁵ 正会員 工修 東京電力株式会社 電力技術研究所 (〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

本研究は、建物被害、火災等を要因とした道路の交通障害領域を特定し、緊急車両、被災地域への復旧支援部隊・救援物資流通のための最適なルート探索機能を構築するものである。

道路ネットワークをノード(交差点)とリンク(交差点を結ぶ経路)で表し、リンクの長さ(距離や通過時間に対応)から最適なルートの探索を行う。探索方法としてダイクストラ法を採用し、複数のリンクを組み合わせて目的地までの所要時間が最も短いルートを評価する。

Key Words : route search, road system, building damage, burned-out region, delay factor

1. まえがき

地震災害を受けた被災地への緊急対応は、その後の二次的な被害拡大を防ぐためにも重要であると考えられる。しかしながら、被災地に到着してからの取るべき行動などは検討されているものの、被災地へ向けた移動についてはあまり検討されていないのが現状である。

本研究では、このような現状に鑑み、地震後の建物被害、火災等を要因とした道路の交通障害領域を特定し、緊急車両、被災地域への復旧支援部隊・救援物資流通のための最適なルート探索機能を構築する。

2. 最短ルート探索の評価方法

(1) 手法の概要

道路ネットワークを考慮して、移動の開始から目的地に到着するまでの最短な所要時間の評価を行う。所要時間はリンク(交差点と交差点を結ぶ経路)の通過時間を累計することで求められる。なお、リンクの通過時間には、建物倒壊、火災、斜面崩壊、トンネル封鎖、落橋などの通行障害要因も考慮する。なお、道路ネットワークのモデルは、格子分割した地表上に構築する。各格子(メッシュ)は、地震による建物などの被害を評価する単位である。

ルート探索は、ダイクストラ法¹⁾を用いて、目的地までの所要時間が最も短いルートを探索する。ダイクストラ法は、道路ネットワークをノード(交差点)とリンクで表し、リンクの通過時間から最短時間のルートを求めるものである。

(2) リンクの通過時間

リンクの通過時間は、移動速度とリンク長さから評価し、移動速度に格子の被害率、焼失率の状況、道路幅員に応じた影響を反映した。また、斜面崩壊、トンネル封鎖などの個別被害による遅延効果も考慮している。本手法では、この影響を遅延係数として考慮し、次式のように移動時間を評価した。

$$T_m = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{v / C_i} + T_{sup} \quad (1)$$

ここに、 T_m はリンク通過時間、 L_i はリンクを構成するセグメント i の長さ、 v は移動速度、 C_i はセグメント i の遅延係数、 T_{sup} は個別被害による所要時間である。

リンクが複数の格子にまたがる場合には、格子境界でセグメントを分割して通過時間を評価した。個別被害による所要時間は、例えば、道路規制による付加時間等を反映するために導入したものである。また、この値に大きな数値を与えることで、斜面崩壊、落橋等の通行不能を表すことができる。

(3) 遅延係数の設定

遅延係数は次式で与えた。

$$C = C_1 \times (1 - R_f) + C_2 \times R_f \quad (2)$$

$$R_f = n_f / N \quad (3)$$

ここに、 C は遅延係数、 R_f は焼失率、 n_f は延焼棟数、 N は建物棟数である。また、 C_1, C_2 は次式で評価した。

$$C_i = a_i \cdot D^{b_i} + c_i \quad (i=1,2) \quad (4)$$

$$D = D_w \cdot R_w + D_{nw} \cdot (1 - R_w) / 2 \quad (5)$$

ここに、 D_w は木造全壊率、 D_{nw} は非木造全壊率、 R_w は木造率である。また、係数 a_i, b_i, c_i は、図-1 に示すコントロールポイントを通して与えた。

遅延係数は、評価結果を左右する非常に重要なパラメータである。適切な遅延係数を設定する事により、現実に即した状況下の評価が可能となる。しかし、現状では理論的に遅延係数を設定する手段が無く、また、関連する情報も十分では無いことから、工学的判断に頼らざるを得ない。本研究では、この遅延係数の設定を試みた。

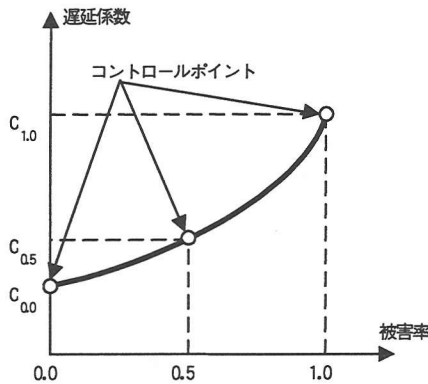


図-1 遅延係数と被害関数の関係

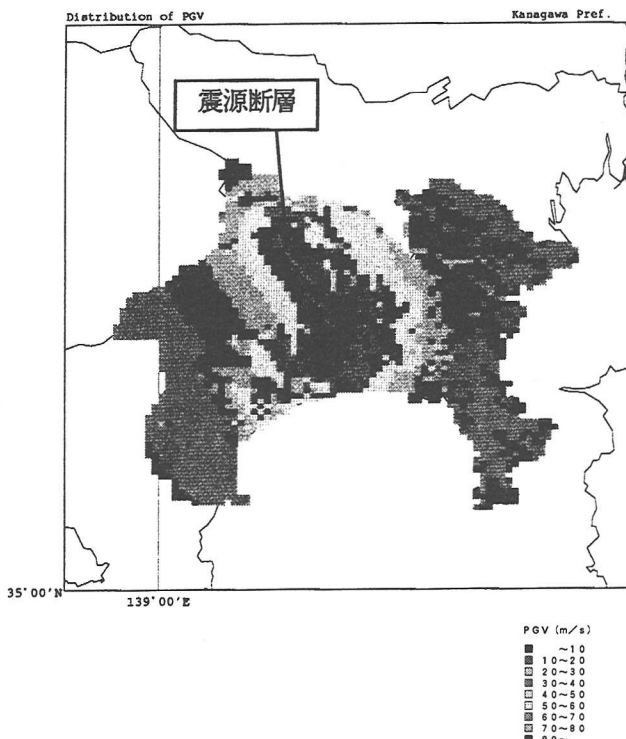


図-2 伊勢原断層を震源とする地震の PGV 分布

3. 解析条件

(1) 地震動の想定

建物被害の推定を行う上で必要な地表の地震動強さは、地表における加速度応答スペクトルからその他の地震動強さに変換する手法³⁾を応用して、最大速度 (PGV) の形で与えた。地表位置での加速度応答スペクトルは、工学的基盤上で与えられる経験式により得られる値に、表層の増幅率を掛け合わせるによって得られる。

本研究では、神奈川県中央部にある伊勢原断層（確実度：I，活動度：B）を震源とした地震が発生した場合を想定した。断層モデルとしては、長さ：21km，幅：10km， M_j ：7.0とした。図-2 に神奈川県全域に対して、3次地域メッシュ単位に求めた PGV の分布を示す。ここで、表層地盤の増幅率は、神奈川県の地震被害想定⁴⁾で用いている地盤モデルを用いて計算した。

(2) 建物被害の想定

建物被害は木造および非木造建物を対象とした。木造・非木造建物の被害想定は、Miyakoshi *et al.*⁵⁾が提案する fragility 曲線を用いて、地域メッシュ単位で全壊棟数の期待値を得ることによって行った。

被害率の算定には、各メッシュにおける建物種別毎の建物棟数が必要となる。現存する建物棟数のデータは入手が困難である。本検討では既存の評価手法に倣って建物棟数の推定を行った。具体的には、木造建物は長谷川・翠川[1997]⁶⁾，非木造建物は長谷川・翠川[1999]⁷⁾の推定手法を採用した。

(3) 火災による被害の想定

焼失率の算定に必要な火災・延焼領域および焼失建物棟数の推定は、

$$\text{建物焼失率}(\%) = \text{木造建物全壊率}(\%) \times 0.1 \quad (6)$$

として計算した。これは、自治体の地震被害想定などで採用されている既往の検討結果⁸⁾より、建物の焼失が木造建物全壊率との間に高い相関が有ることに基づいて仮定している。

(4) 道路データ

道路ネットワークのモデルは、国土地理院発行の国土数値地図情報“KS-713-1”および“KS-714-1”を用いて作成した。ここで、“KS-713-1”には一般道路位置の情報、“KS-714-1”には、一般道路ノードの情報が収録されている。

上記情報より、2次メッシュ毎に収録されたリンク番号、ノード番号、ノード座標、補間点座標、道路幅員を抽出し、道路のモデル化を行った。なお、ノード座標、補間点の座標は正規化座標で入力されているため、経緯

度座標の変換を行った。座標変換は「(財)日本地図センター 数値地図ユーザーズガイド(改訂版)」⁹⁾に示されている方法で行った。

今回対象とした地域は、神奈川県の大和市、座間市、綾瀬市、海老名市、藤沢市、茅ヶ崎市、寒川町を含む標準 2 次地域メッシュ番号 533903, 533913 とした。モデル化した道路ネットワークを図-3 に示す。対象地域は主に幅員 3.0~5.5m の道路で構成されている。

4. 解析結果

本検討では移動手段を車両によるものとして、移動速度は 30km/h に設定した。また、本検討で用いた遅延係数を表-1 に示す。遅延係数の決定に際しては、前述の通り様々な要因を勘案して試行的に与えている。表-1 では、道路の幅員が広いほど建物被害の影響を受け難い事

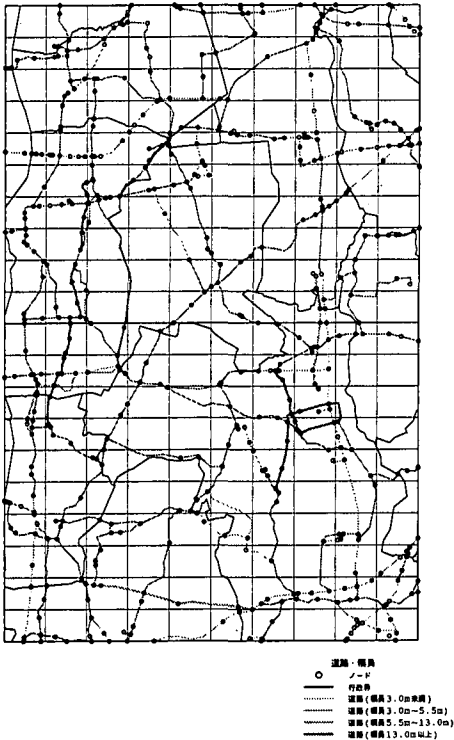


図-3 道路ネットワークのモデル

表-1 遅延係数設定のコントロールポイント

道路幅員 (m)	火災の 有無	被害率		
		D=0.0	D=0.5	D=1.0
13.0 以上	無	1.0	1.0	1.2
	有	1.2	1.2	1.2
5.5 以上 13.0 未満	無	1.2	1.1	1.4
	有	1.4	1.4	1.4
3.0 以上 5.5 未満	無	1.4	2.0	5.0
	有	5.0	5.0	5.0
3.0 未満	無	1.6	3.0	9.0
	有	9.0	9.0	9.0

から遅延を小さくしている。また、火災が交通障害に与える影響は大きいものと考えている。

図-4 に伊勢原断層を震源とする地震における木造建物の全壊率分布図、図-5 に非木造建物に対する同様の図を示す。非木造建物の全壊率は非常に小さいため、このシミュレーションでは解析結果に及ぼす影響は小さい。

図-6 に平常時のルート探索結果を示す。平常時はほぼ最短ルートに近いが、若干道路幅員の影響も考慮されたルートが選ばれている。

次に、地震時のルート探索を行った結果を図-7 に示す。ここでは、平常時の最適ルート上に個別被害による不通区間を 2 箇所設定している。従って、解析結果は不通区間を迂回した中で最適なルートを探している。特に、木造建物被害率が大きいメッシュが集中している図-4 の左側の地域を通らず、被害率の小さい中央部の地域を選択している事が分かる。本研究で対象とする車両は、できるだけ早く到着する事を意図しているが、それ以上に安全性を確保した通行が重要であると考えている。

以上の結果より、本研究で設定した遅延係数が妥当なものであることが示された。

5. まとめ

緊急車両、被災地域への復旧支援部隊・救援物資流通のための最適なルート探索機能の構築を行い、神奈川県内の市町を対象とした解析を実施した。検討結果より、以下に示す所見を得た。

- ・本研究で示した手法を用いることにより、地震時における建物被害、火災、道路幅員などの影響を考慮したルート探索を行うことができる。
- ・適切な遅延係数を設定することにより、被害の集中した危険地域を避けつつ、できるだけ短時間に目的地に辿り着ける最適ルートを探ることが可能となった。

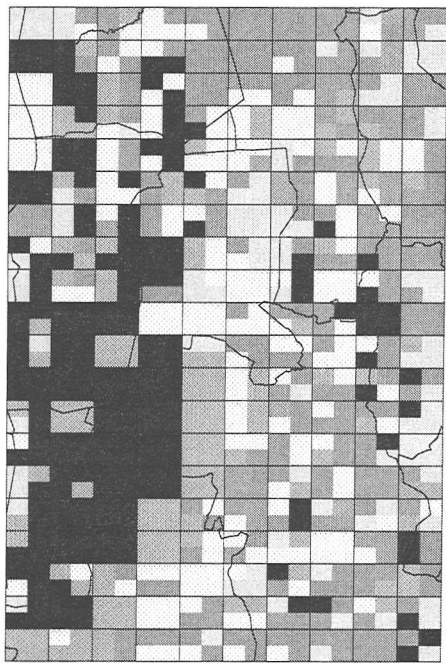
参考文献

1) Fukushima, S. and Yashiro, H. : Estimation of assembling time for emergency action, Risk Analysis II, pp.150-156, WIT Press, 2000.
2) 栗田哲史・高橋聡・嶋田昌義：加速度応答スペクトルに基づく SI 値の推定と地盤のせん断応力推定への応用, 第 35 回地盤工学研究発表会 平成 12 年度発表講演集, pp.2291~2292, 地盤工学会, 2000 年 6 月。
3) 栗田哲史・高橋聡・嶋田昌義・安中正：応答スペクトルを用いた計測震度推定と震源断層推定への応用, 応用力学論文集, Vol.3, 土木学会, pp.547-557, 2000 年 8 月。
4) 神奈川県：神奈川県地震被害想定調査報告書（地質地盤），昭和 60 年 3 月。
5) Miyakoshi, J., Hayashi, Y. and Tamura, K. : Damage ratio functions of buildings using damage data of 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake, Structural Safety and Reliability, Balkema, pp.349-354, 1998.

- 6) 長谷川浩一・翠川三郎：地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測 -その 1 建築年代別の木造建築物棟数の推定-, 日本建築学会構造系論文集 No.497, pp75-80, 1997.7
- 7) 長谷川浩一・翠川三郎：地域メッシュ統計を利用した広域での非木造建築物群の震害予測, 日本建築学会構造系論文集

No.521, pp41-48, 1999.7.

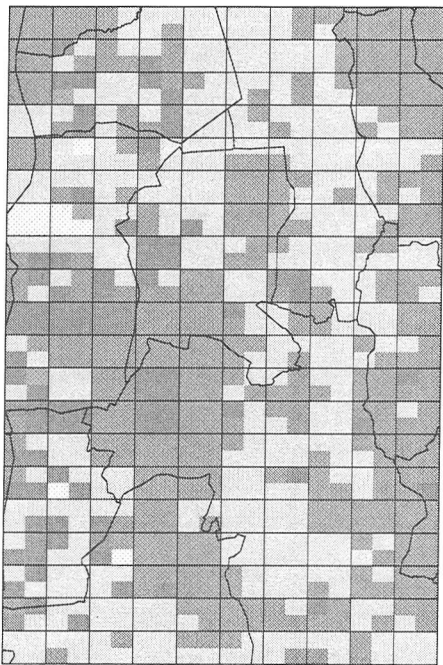
- 8) 損害保険料率算定会：延焼および焼失建物の予測，地震被害想定資料集，pp.3-81～3-101，平成 10 年 9 月．
- 9) 建設省国土地理院 監修：数値地図ユーザーズガイド(改訂版)，(財)日本地図センター，1992．



木造全壊率 (%)

20 -
15 - 20
10 - 15
5 - 10
1 - 5
なし

図-4 木造建物の全壊率分布



非木造全壊率 (%)

20 -
15 - 20
10 - 15
5 - 10
1 - 5
なし

図-5 非木造建物の全壊率分布

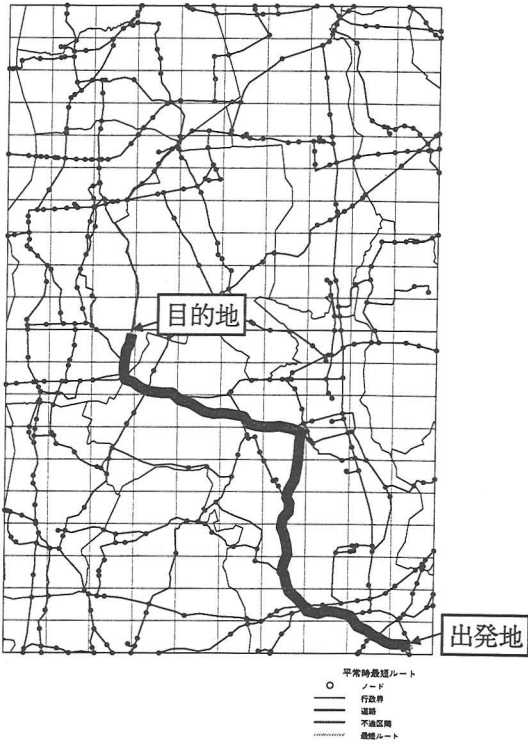


図-6 平常時のルート探索結果

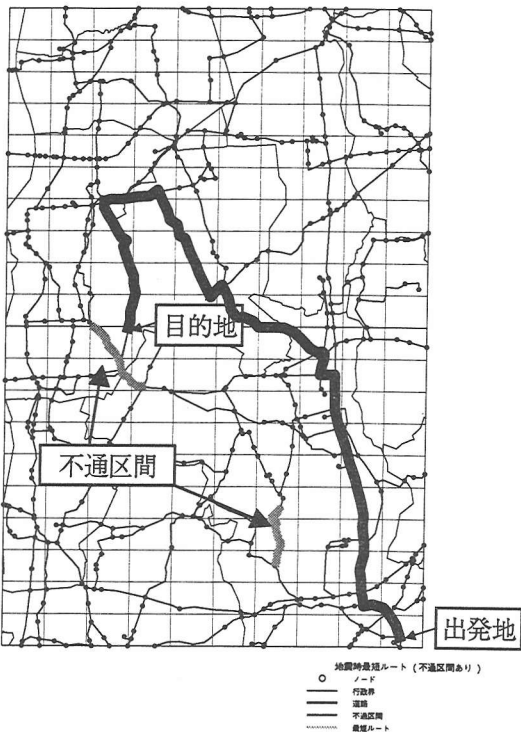


図-7 地震時の最適ルート