

神戸大学工学部 フェロー

高田 至郎

神戸大学大学院 学生員

鍬田 泰子

神戸大学工学部 学生員

○森田 典和

1. はじめに

道路は災害直後に負傷者を病院へ搬送する大切なライフラインであるため、物理被害の及ぼす経済損失評価だけでなく、人命損失への影響の評価手法を示し、人的被災軽減に焦点をあてた道路網の防災対策に役立てることは重要である。本稿では、地震発生直後の負傷者搬送の状態をシミュレートすることにより、道路被災による搬送への影響を分析した。そして、人的被災への影響指標を用いることで、緊急搬送路として確保すべき道路リンク重要度を評価する手法を提案した。さらに、その手法を尼崎市に適用した例について示す。

2. 搬送シミュレーションと機能評価手法

(1) 解析手法

1 地点における負傷者の搬出作業、搬送作業をシステムダイナミクス法(SD 法)をベースにモデル化し(図-1)、その集合システムとして都市全域での搬出・搬送作業をモデル化した。

①搬出レート $R_q(T)$ の算出

兵庫県南部地震の際の東灘区の救出記録のデータを分析し、搬出活動量 $P(\text{人} \cdot \text{h})$ と地震発生からの経過日数 t および搬出人数 $N(t)$ の関係を算出した.

$$N(t) = 0.275P \cdot \beta(t) \quad (1)$$

ここで、 $N(t)$ ：地震発生から t 日目の搬出人数、 P ：搬出活動量(人・h)、 $\beta(t)$ ：地震発生から t 日目の搬出効率の減少率

また、 t 日目の減少率 $\beta(t)$ は実データにもとづいて図-2 のように算出された。 $N(t)$ を単位時間あたりに換算することにより、搬出レイト $R_o(T)$ を決定した。

②搬送レート $R_b(T)$ の算出

搬出作業の仮定として、搬送ルートは負傷者が治療を受けるまでの時間が最短である経路を常に選択すること、搬送車は負傷者が搬送待ちの状態である限り、時々刻々更新されていく最短の経路を往復して搬送し続けるとした。地点 i の負傷者が治療を受けるまでの最短時間を T_i とすると、 T_i は式(2)で表される。

$$T_i = \min(\min_{j \in A, i \in A} (T_{ij}) + Tw_j) \quad (2)$$

ここで、 T_{ij} : 作業地点 i から病院 j への搬送時間、 Tw_j : 病院 j での待ち時間、 A : ネットワーク集合

道路は橋梁の損傷がない限り法定速度で通行し、損傷した場合は全体交通の渋滞の影響を考慮した通行時間で走行するものと考えた。また、病院での待ち時間は、負傷者の到着率と病院の処理率から待ち行列理論より算出する。病院での待ち時間をリンク通行時間として道路ネットワークに組み込み、2種類のリンク通行時間を持つネットワークを解析することにより、最短時間 T を算出できる。 T は2種類のリンク通行時間を持つネットワークに対し最短経路探索のアルゴリズム *Dijkstra* を用いて算出した。上記の値と、1回の搬送で運べる人数を n 人とすると搬出レイトは式(3)で算出できる。

$$R_b(T) = n / 2T_i \quad (3)$$

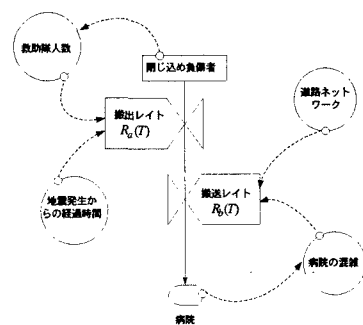


図-1 SD による *i* 作業地点
搬出・搬送のモデル化

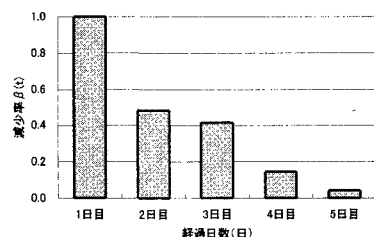


図-2 t 日目の搬出効率の減少率 $\beta(t)$

(2) 道路網機能評価手法の提案

地震発生直後の負傷者搬送シミュレーションを行い、経過時間ごとの搬送人数を算出し、経過時間による生存率¹⁾を乗じることで救命可能人数を算出する。道路網が健全の時の値と比べた被災ケースごとの救命可能人数の減少値 $\Delta death$ と、道路網の被災ケースの発生確率 $prob.(R)$ を用いて、1 回あたりの地震における救命可能人数差の期待値 $E(death)$ を救命影響指標として評価する。

$$E(death) = \Delta death \cdot prob.(R) \quad (4)$$

3. 尼崎市への適用例

尼崎市の道路網を図-3 のようにモデル化し、負傷者搬送シミュレーションを行い道路網を評価した。シミュレーションの入力諸元を以下に示す。

- ①道路：幅員 12m 以上の市内の道路全てをモデル化した。
- ②閉じ込め人数・位置：防災カルテ²⁾ で想定されているシナリオ地震で有馬・高槻構造線地震が午前 3~4 時に発生した場合の負傷者発生予測の負傷者人数から決定した。負傷者発生が多い 37 箇所を閉じ込め発生ノードとした。
- ③搬出要員：兵庫県南部地震の際の東灘区と同値の搬出活動量を経過日数ごとに与えた。
- ④病院：市内の緊急告示病院 19 棟を対象とし、その病床数を用いた。
- ⑤リンク通行不能確率と渋滞度：リンク通行不能確率は市内の幹線道路網をモデル化し(図-4)、橋梁の機能損傷確率から通行不能リンクを推定したものを用いた³⁾

4. 検討結果

救命人数差の値を道路網被災ケースごとに図-5 に示した。リンク 12 が突出して大きい値を示している。リンクが不通になると、単位時間に通行可能な交通量が減少し、通常時と同じ交通量が市内に発生するためには、速度が激減することになる。これより、リンク 12 の機能損傷の影響が大きかったと考えられる。つぎに、渋滞の影響と救命可能人数差 $E(death)$ の値の関係を算出した(図-6)。渋滞度(通常時の交通流に対する速度比)が大きいにもかかわらず $E(death)$ が小さいリンクや、渋滞度が小さいにもかかわらず $E(death)$ が大きいリンクが存在した。前者の特徴として、そのリンク周辺に代替になる搬送ルートが複数あるケースであり、近くに負傷者発生地点の数が少なかった。後者の特徴は、そのリンク周辺に代替となる搬送ルートが少ないか、病院が少ない地域であり、病院の選択肢が減ってしまうことが挙げられる。道路リンクの通行不能がもたらす交通流への影響と、搬送時の人命への影響は必ずしも同じとは言えないことが知られる。

(参考文献)

- 1) 鎌田泰子, 高田至郎: 地震時人的被災に関わる救助能力に関する考察~東灘区の救出活動をベースにして~, 第 4 回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp.351-355, 1999.
- 2) 尼崎市: 尼崎市防災カルテ, 1999.
- 3) 高田至郎, 中山学, 高津昌也: 地震時道路網機能障害による経済損失推定と橋梁補強優先度, 平成 13 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, pp.96-97, 2001.

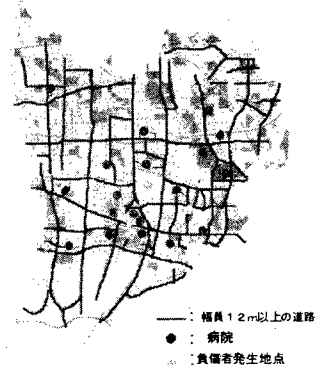


図-3 尼崎市のモデル化

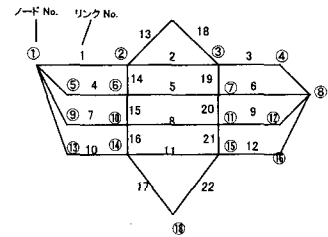


図-4 幹線道路網モデル

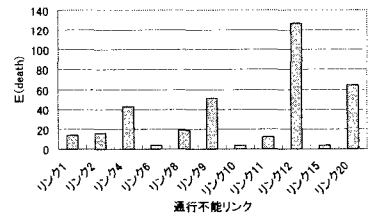


図-5 リンク損傷による救命可能人数差

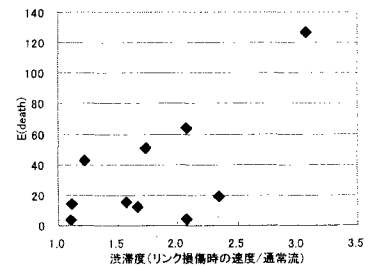


図-6 救命可能人数差と渋滞の関係