大地震発生時における災害拠点病院へのアクセシビリティ評価 田頭まき*・大佛俊泰**

Accessibility Assessment for Disaster Base Hospitals after a Large Earthquake

Maki TAGASHIRA* and Toshihiro OSARAGI**

Abstract: To reduce human casualty at the time of a large earthquake, it is important to secure routes from hospitals or fire stations to arbitrary locations. The authors have proposed the accessibility indices that enable to extract the vulnerable roadside areas that are difficult to reach by emergency vehicles. In this paper, to identify the appropriate seismic scenario for the accessibility assessment, we assess the accessibility to the disaster base hospitals in Tokyo Metropolitan after a large earthquake under multiple seismic scenarios. Moreover, we quantatively discuss the effect of different seismic scenarios on the accessibility assessment.

Keywords: 大地震(large earthquake), アクセシビリティ評価(accessibility assessment), 災害拠点病院(disaster base hospital), 緊急輸送道路(emergency transportation road)

1. はじめに

首都直下地震の発生が切迫する中,救急消火活 動などの災害時活動を支える緊急輸送道路の通行 機能の確保は,喫緊の課題である.筆者らは,こ れまで,災害時に活動拠点へのアクセシビリティ が脆弱となる沿道区域を抽出する方法(図-1)を 提案した(田頭・大佛,2020).さらに,分析対 象である東京都全域が震源地付近と同程度に強く 揺れるという想定の下,アクセシビリティ評価を 行い,提案手法の有用性を示した.しかし,地震 動の想定の違いがアクセシビリティ評価に及ぼす 影響についての検討は,これまで行っていない.

本稿では、想定が大きく異なる地震動のもと で、これまでに構築したシミュレーションモデル (図-2)を実行し、東京都内における緊急車両の 移動を想定した災害拠点病院(東京都防災会議、 2019)へのアクセシビリティ評価を行う.これに より、地震動の想定の違いがアクセシビリティ評 価に及ぼす影響について、定量的な検討を行う.

2. アクセシビリティ指標の構築

本稿で用いるアクセシビリティ指標を図-1に 示してある.リンク孤立率(以下,LI値)およ びネットワーク孤立率(以下,NI値)は、大地 震時に緊急車両の通行機能が阻害される可能性 の高い沿道区域を抽出するための指標である.LI 値は「全シミュレーション試行(K回)の内,緊 急車両が活動拠点から道路リンクjへ到達困難で ある回数の割合」,NI値は「活動拠点へ到達困 難な道路リンクが活動圏域A内の道路網の総延 長に占める割合」である.

$$\begin{split} & \prod_{j} = 1 - \sum_{k \in K} \delta_{j,k} / \sum_{k \in K} 1 \\ & NI_{A} = 1 - \sum_{k}^{K} \sum_{i \in R_{A}} l_{j} / \sum_{k}^{K} \sum_{j \in R_{A}} L_{j} \\ & K : : \mathfrak{b} \exists \iota - \mathfrak{b} \exists \iota - \mathfrak{b} \exists \iota + \mathfrak{b} \exists \mathfrak{b} \exists \mathfrak{b} \exists \mathfrak{b} d f d \mathfrak{b} d$$

* 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院(Tokyo Institute of Technology)
〒 152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Email: tagashira@arch.titech.ac.jp
** 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院(Tokyo Institute of Technology)

3. 緊急車両シミュレーションモデルの概要

3.1 地表面応答モデル

地表面応答モデルの1つとして司・翠川(1999) による地震動強さの距離減衰式が知られている (図-3(a)).このモデルでは、想定地震 E の断 層タイプおよび対象地点 B における地盤条件を 考慮することで、地表面最大速度 PGV(B, E)を推 定することができる.しかし、想定地震 E の断 層形状に関する詳細なパラメーターを設定する必 要があるため、任意に設定した震源地(以下、震 央 P) へ適用することは困難である.

そこで、震央 P を任意に設定した場合の、対象 地点 B における地表面最大速度 PGV(B, P)の簡易 推定式を作成する.具体的には、東京湾北部地震 および首都直下地震検討委員会(内閣府,2013) において検討対象となった地震(19 地震)のう ち、計測震度が円状に分布する地震(10 地震, 図 -3(b))について、その近似円を目視でプロッ トする(図 -3(c)).その上で、震央距離 X'(B, P) と地表面最大速度 PGV(B, P)の関係式を推定する (図 -3(d)).本来、計測震度分布は、偏心円状 に広がるが、本稿では簡単のため、同心円状に広 がると仮定する.

3.2 道路閉塞モデル

道路閉塞モデルとして実績のある既往モデル (村尾・山崎,2000;国土交通省,2003)を統合し, 建物・道路単位で物的被害を推定する.各道路リ ンクは,前面道路境界線から4.0m未満に存在す る建築物(沿道建築物,図-4(b)(c))の倒壊によ り,有効幅員が4.0m未満となった場合に,緊急 車両の通行が不能である(閉塞)と想定する. 3.3 緊急車両移動モデル

緊急車両移動モデルでは,道路閉塞状況を考慮 した上で,グラフ探索アルゴリズムを用いて,出 発地点(各道路リンク)から目的地点(活動拠点) への到達可否を推定する.このとき,活動拠点へ の到達可能な経路が存在しない道路リンクについ ては,到達不能であると判断する.道路閉塞モデ ルおよび緊急車両移動モデルの詳細は田頭・大佛 (2020)を参照されたい.



図-3 地表面最大応答モデルの概要

4. 緊急車両シミュレーションでの想定

東京都全域を分析対象地域とし,緊急車両シ ミュレーションを実行する.使用する道路データ および建築物データの概要を図-4に示してある. 本稿では、3種類の地震動を想定する(表-1). 具体的には、東京湾北部地震(想定1),震央を ランダムに多数想定する場合(想定2),全ての 地点で計測震度6.2の揺れを想定する場合(想定 3)である.各想定について、緊急車両シミュレー ションを用いて、緊急輸送道路の閉塞状況を推定 した.緊急車両は、緊急輸送道路を用いて災害拠 点病院(計80拠点、図-4(a))へ移動すると想定 し、アクセシビリティ指標を算出した.



図-4 災害拠点病院および道路データの想定

表-1 本稿における地震動の想定

想定	説明 :①地震動の想定, ②シミュレーション試行回数	
想定1	1	東京湾北部地震を想定し、地表面最大応答モデル(図 -3(a))を用いて、 各地点における地震動*を推定する.
	2	同じ地震動について,異なる物的被害を 100 ケース作成し,各 1 回ず つシミュレーションを実行する.(シミュレーション試行回数は 100 回)
想定 2	1	震央をランダムに多数想定し,簡易推定式(図-3d))を用いて,各地 点における地震動を推定する.具体的には、東京都全域を基準地域メッ シュ(およそ1km四方)で分割し,各メッシュの中心座標を震央とし て想定する(計1,865個).
	2	異なる地震動(1,865 ケース)について、それぞれ物的被害を1ケース 作成し、各1回ずつシミュレーションを実行する。 (シミュレーション試行回数は1,865回)
想定 3	1	全ての地点において一律の揺れを想定する.具体的には、東京湾北部 地震,並びに,都心南部直下地震の地震被害想定結果を参考に,計測 震度 6.2 (PGV 66cm/s [※])に設定する.
	2	想定1と同様.
※ 木穂では 藤木・翌川(2005)の毛法を用いて 計測震度から地表面最大速度を推定する		

5. 東京都内の緊急輸送道路を用いた災害拠点病 院へのアクセシビリティ評価

5.1 東京都全域におけるアクセシビリティ指標

全ての災害拠点病院(計80拠点)が連携し, 東京都内の医療救護活動を分担するという想定の 下,アクセシビリティ指標を算出する(図-5).

想定1では、震源位置に近い地域において、 LI値が深刻な値を示している(図-5(a)).想定 2では、LI値が全体的に低い値を示している(図 -5(b)).これは、東京都全域の平均値を用いて LI値を算出しているため、震央を中心とした大 きな被害が平滑化されたためである.一方、想定 3は、東京都全域が震央付近と同程度に強く揺れ るという想定であるため、地震強度の地域差は反 映されにくく、他の想定と比較して被害が広範囲 に分布する(図-5(c)).つまり、想定1は、具 体的な想定地震がアクセシビリティに及ぼす影響 を直接的に評価することができるが、多くのパラ メータ設定が必要であるため、広域な分析対象地 域におけるアクセシビリティ評価には不向きであ る.また、想定2・想定3は、それぞれ被害を相





図 -6 東京都全域におけるメッシュごとの NI 値 (想定 3)

対的に過小評価・過大評価する可能性がある.

東京都全域においてアクセシビリティ評価を行 う方法として、想定2の結果を平滑化せずに用い る方法について考える.具体的には、まずメッ シュごとに算出された NI 値からアクセシビリ ティが脆弱な地域(NI 値が高いメッシュが集積 する地域)を特定する(図-6).その上で、そ れらの地域内で地震が発生した場合についてのみ アクセシビリティ指標を集計し、LI 値を算出す れば、脆弱アクセシビリティ沿道区域を抽出する ことが可能となる.

5.2 二次医療圏ごとのアクセシビリティ指標

一般に、災害時における医療体制は、二次医療 圏(病院等における入院に係る医療を提供可能な 地域単位)単位で整備され、各災害拠点病院は、 当該圏内において医療救護活動を行う.本節で は、災害時における医療救護活動は、該当する二 次医療圏内の災害拠点病院が担うと仮定し、アク セシビリティ指標を算出する(図-7,図-8).

想定1および想定3におけるLI値の空間分布は, 二次医療圏の境界部分において前節よりも僅かに 低いLI値を示す道路リンクが存在するものの, 概ねの傾向は一致している(図-5(a)(c),図-7(a) (c)).想定2の場合,震央を含む二次医療圏内に おいては,ほぼすべての地点で計測震度6強の揺 れとなるため,アクセシビリティ評価は,想定3 と概ね同様の値を示す(図-7(b)~(d)).つまり, 分析対象地域の空間範囲が二次医療圏程度の規模 であれば,計算不可の小さい想定3であっても, 想定2と同程度のアクセシビリティ評価が可能で あるといえる.

6. おわりに

本稿では地震動の想定方法として3種類設定 し、大地震時の緊急輸送道路を用いた災害拠点病 院へのアクセシビリティ評価を行った.また、地 震動の想定の違いがアクセシビリティ評価に及ぼ す影響について検討した.その結果、分析対象 地域の空間範囲が二次医療圏程度の規模であれ ば、信頼性の高いシミュレーション結果を得るた



図 -7 二次医療圏ごとのアクセシビリティ指標 (想定1~想定3)



図 -8 二次医療圏におけるメッシュごとの NI 値 (想定 3)

めに,計算負荷の小さい想定3の下でシミュレー ションの試行回数を増やすことが望ましいことが 判明した.

参考文献

- 田頭まき・大佛俊泰(2020)大地震時における脆 弱アクセシビリティ沿道区域の抽出方法.「日 本建築学会計画系論文集」,85(775),1965-1973.
- 東京都防災会議(2019) 東京都地域防災 計 画 震 災 編. <https://www.bousai.metro. tokyo.lg.jp/_res/projects/default_project/_ page _/001/000/359/2019honsatu_1.pdf>.
- 司宏俊・翠川三郎(1999)断層タイプ及び地盤条 件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰 式.「日本建築学会構造系論文集」,**523**,63-70.
- Midorikawa, S., Matsuoka, M., and Sakugawa, K. (1994) Site effects on strong motion records observed during the 987 Chiba-Ken-Toho-Oki. Proceeding of 9th Japan Earthquake Engenerring Symposium.
- 藤本一雄・翠川三郎(2005)近年の共振記録に 基づく地震動強さ指標による計測震度推定法. 「地域安全学会論文集」,7,241-246.
- 内閣府(2013) 首都直下地震の被害想定と対策 について(最終報告). < http://www.bousai.go.jp/ jishin/syuto/taisaku_wg/>.
- 村尾修・山崎文雄(2000)自治体の被害調査結果 に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数.「日 本建築学会構造系論文集」,65(527),189-196.
- 国土交通省(2003)国土交通省総合技術開発プロジェクト まちづくりにおける防災評価・対策 技術の開発(防災まちづくり総プロ)報告書.
 http://www.nilim.go.jp/lab/jdg/soupuro/0.pdf>.