

7

地震時の高速道路復旧時間予測手法の高精度化に向けた検討

13T0202A 五十嵐 翼  
 指導教員：丸山 喜久

1. 研究背景と目的

2004 年新潟県中越地震, 2011 年東北地方太平洋沖地震, そして 2016 年熊本地震など日本では, 大規模な地震が多数発生しており, そのたびに多大な人的被害や建物被害等が発生した. これらのような大規模な地震では, 人的被害や建物被害に加えて道路ネットワークやライフライン等にも多大な被害が発生している. また, 内閣府の中央防災会議では, 南海トラフ地震や首都直下地震の発生が予測されており関東から西日本の広い範囲で大きな揺れに見舞われ, 人的被害や建物被害のみならず, 高速道路等へも多大な被害が見込まれる. 道路ネットワークの地震発生後の復旧状況を予測することで被災地への緊急対応を司る重要なライフラインの地震後の状況がわかり, 災害対策の立案に貢献することができる.

既往研究<sup>1)</sup>では, 震度曝露道路延長を説明変数として, 既往地震の際の高速道路の復旧状況にもとづき, 統計手法の多変量解析のロジスティック回帰分析を用いて復旧日数の予測モデルが構築されている. しかし, この既往研究の予測モデルでは説明変数に震度暴露道路延長を用いているため, それぞれのインターチェンジ (IC) 間の延長の差が, 復旧予測モデルに大きく影響を与えていた. また, IC 間の延長は, 区間ごとでも大きく差があり, 隣接する区間でも予測された復旧日数に大きな差が生じ, 予測日数が現実に即さない部分が発生していた.

そこで, 本研究では既往研究で構築されている復旧予測モデルの再検討を行い, 予測モデルを改良することで, 精度の向上を図る. さらに, 盛土や橋梁・高架, トンネルなどのように, 高速道路の区間を細分化することで, 高速道路の道路構造を考慮した復旧予測モデルを検討し, より現実に即した予測モデルの構築を目指す. そして得られた予測モデルをもとに今後発生が予測されている南海トラフ地震の際の高速道路復旧日数の予測を試みる.

2. データ説明

本研究は地理情報システム (GIS) を用いて行った. 本研究が対象としている既往地震は, 2004 年新潟県中越地震, 2007 年新潟県中越沖地震, 2008 年岩手・宮城内陸地震, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 2016 年熊本地震の 5 地震である. 各地震の震度分布については地震動マップ即時推定システム (Quick estimation

system for earthquake maps triggered by observation records)<sup>2)</sup>より入手し, 作成した高速道路データと重ね合わせることで, 震度曝露道路延長の算出等を行い, 本研究を進めた. 本研究で作成した熊本地震における震度分布図と高速道路の復旧時間<sup>3)</sup>を図-1 で示す.

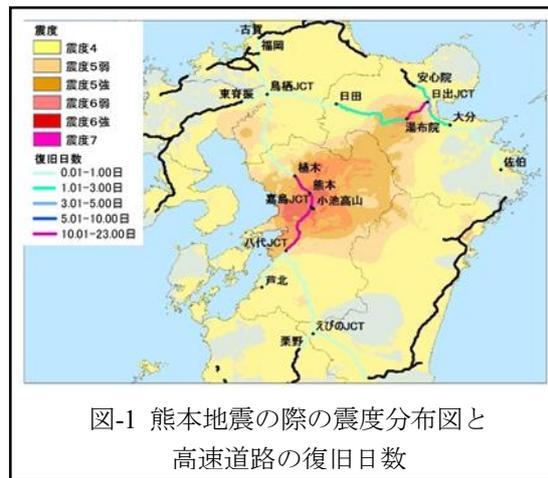


図-1 熊本地震の際の震度分布図と  
 高速道路の復旧日数

3. 復旧予測モデルの構築

本研究は既往研究による復旧予測モデルを再検討し, 予測精度の向上を目指している. 予測モデルの改良として説明変数 $x_1$ を IC 間ごとの震度 5 弱および震度 5 強の震度暴露道路延長の割合,  $x_2$ を IC 間ごとの震度 6 弱以上の震度暴露道路延長の割合とした.  $x_M$ はモーメントマグニチュード (Mw),  $x_t$ は実際の高速道路の復旧日数である.  $b_0 \sim b_2, b_M, b_t$ は回帰定数である (式(1)).

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{- (b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_M x_M + b_t x_t)\}} \quad (1)$$

表-1 式(1)のロジットモデルの回帰定数

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_M$	$b_t$
16.0	-2.25	-4.59	-2.00	0.41

本研究により得られた式(1)の関数形のロジスティック回帰分析の結果を, ROC (Receiver Operating Characteristics) 曲線を用いて検証した結果AUC (Area Under the Curve) の値は0.95となり, 既往研究のAUCは0.93であったため, わずかではあるが判別能力は向上した.

図-2は本研究式(1)と既往研究の復旧予測日数、実際の復旧日数についてIC区間ごとに取りまとめたグラフである。

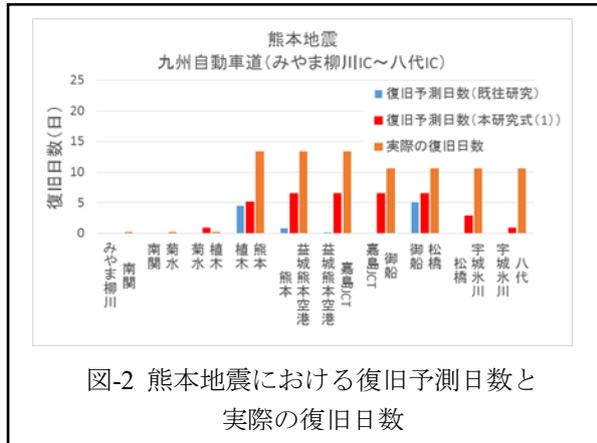


図-2 熊本地震における復旧予測日数と実際の復旧日数

#### 4. 道路構造を考慮した復旧予測モデルの構築

道路構造を考慮したロジットモデルの構築を行った。新たなロジットモデルは式(2)で表される。説明変数である $W_1$ はIC間ごとの震度5弱および震度5強の盛土等の震度曝露道路延長の割合、 $W_2$ はIC間ごとの震度5弱および震度5強のトンネルの震度曝露道路延長の割合、 $W_3$ はIC間ごとの震度5弱および震度5強の橋梁・高架の震度曝露道路延長の割合、 $W_4$ はIC間ごとの震度6弱以上の盛土等の震度曝露道路延長の割合、 $W_5$ はIC間ごとの震度6弱以上のトンネルの震度曝露道路延長の割合、 $W_6$ はIC間ごとの震度6弱以上の橋梁・高架の震度曝露道路延長の割合、 $x_M$ はモーメントマグニチュード(Mw)、 $x_t$ は実際の高速道路の復旧日数である。 $b_0 \sim b_6$ 、 $b_M$ 、 $b_t$ は回帰定数である。

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-(b_0 + b_1W_1 + b_2W_2 + b_3W_3 + b_4W_4 + b_5W_5 + b_6W_6 + b_Mx_M + b_tx_t)\}} \quad (2)$$

表-2 式(2)のロジットモデルの回帰定数

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
17.5	-2.24	-2.71	-3.28	-4.45
$b_5$	$b_6$	$b_M$	$b_t$	
-26.3	-4.17	-2.19	0.44	

式(2)のAUCは0.954となり式(1)のロジットモデルよりも判別能力の高いモデルが構築できた。対象とした区間内の震度6弱以上のトンネルの震度曝露道路延長の割合が非常に小さかったため変数 $W_5$ (IC間ごとの震度6弱以上のトンネルの震度曝露道路延長の割合)の係数 $b_5$ が大きくなっている。

#### 5. シナリオ地震への適用

式(1)、式(2)を用いて今後発生が予測されている南海トラフ地震の際の地震後の復旧予測日数の推定を試みた。ここでは式(1)による推定結果を示す。

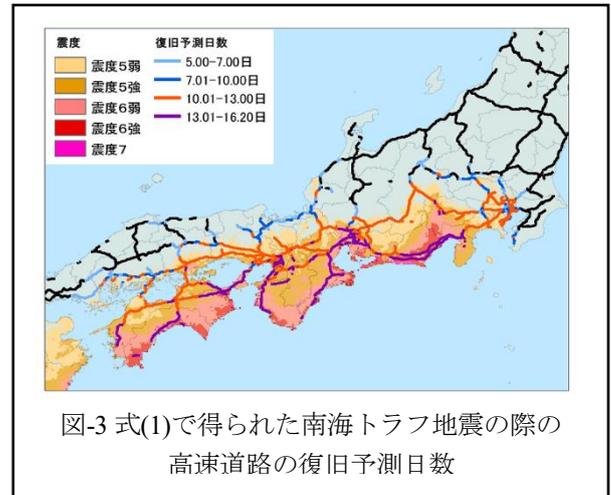


図-3 式(1)で得られた南海トラフ地震の際の高速道路の復旧予測日数

東京、名古屋間では震源域に近い東名高速道路では13日から16日程度復旧にかかるの見込まれる。やや内陸側の新東名高速道路でもほぼ同じ予測日数が得られた。中央自動車道が10日程度と東名高速道路よりも早く復旧する見込みとなるため、中央自動車道を利用しての迂回輸送が可能である。

#### 6. まとめ

本研究は、既往研究<sup>9)</sup>によって構築された復旧予測モデルの検証を行い、問題点を明らかにした。さらに、モデルの改良、道路構造を考慮した復旧予測モデルを検討し、精度の向上を図った。予測モデルの判別能力は既往研究よりも高く、既往地震に適用した際も実際の状況に近い復旧予測日数が得られた。道路構造を考慮したモデルではIC間に含まれるトンネルや、橋梁・高架の割合が小さいため係数が大きくなりトンネルや橋梁・高架が含まれる際の経過日数に対する復旧確率の感度が大きくなった。今後は、説明変数を再検討することなどでさらに優れた復旧予測モデルの構築が見込まれる。

#### 参考文献

- 1) 上原康平, 丸山喜久: 既往地震データに基づく高速道路の復旧予測に関する統計分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 4, pp. I-110-116, 2016.
- 2) 地震動マップ即時推定システム, <https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/index.html>
- 3) 内閣府: 防災情報のページ: 熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について, <http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/>