

地震の揺れに起因した道路の機能的被害 の確率論的評価モデルに関する検討

A Study on Stochastic Model to Evaluate Road Functional Damage Caused by Earthquake Ground Motions

○鳥澤 一晃¹, 佐土原 聡²
Kazuaki TORISAWA¹ and Satoru SADOHARA²

¹ 鹿島技術研究所

Kajima Technical Research Institute

² 横浜国立大学大学院

Graduate School, Yokohama National University

The business interruption due to the disruption of supply chain attracted attention in the Great East Japan Earthquake and one factor of the problem was the stagnation of distribution caused by road damages. In the road damage prediction, formerly direct damage was mainly evaluated, but there is not much example which evaluated impacts of road closure as functional damage. In this research, the data of road closure in the Great East Japan Earthquake is collected and the stochastic model to evaluate road functional damage is studied for the purpose of contribution to the development of an effective business continuity plan.

Keywords : the Great East Japan Earthquake, road functional damage, road closure, supply chain, business continuity plan

1. はじめに

震災時の道路網寸断は、被災直後の救援救助に大きな影響を及ぼすだけでなく、その後の復旧活動や経済活動にも支障を来す。東日本大震災ではサプライチェーン途絶による事業中断が注目されたが、道路や港湾の被害による物流の停滞はその一因となった¹⁾。震災での教訓を踏まえて、事業継続計画（BCP）の策定や見直しに取り組む企業も増えており、例えば、製造業では代替拠点の配置や在庫量の増強などの対策が検討されている。地震時の道路の通行支障の可能性やその影響期間を定量的に予測できれば、それらの対策の検討に有効と思われる。しかし、従来の道路の被害予測²⁾では物的被害が中心で、それに起因した通行支障による影響を機能的被害として評価した例はあまりない。

そこで、本研究では企業のBCP策定に資することを目的に、東日本大震災での通行止めデータを収集し、それに基づき地震時の道路の機能的被害予測モデルについて検討した。

2. 収集した被害データ

本研究では、道路の全面通行止め事象を道路の機能的被害と定義した。

道路の通行規制に関しては、規制区間の位置、規制理由、規制開始日時・解除日時等の情報が道路管理機関からインターネットで逐次公表されたため、全面通行止めを対象にそれらを収集し、データ化した。本稿ではそのうち、国交省東北地方整備局・関東地方整備局^注の直轄国道および岩手県の管理道路（県管理国道・主要地方道・一般県道）における振動被害に起因した全面通行止めを分析対象とした。直轄国道および岩手県管理道路の全面通行止めデータについて、振動被害・津波被害の割合と振動被害による規制理由の内訳を図1に示す。直轄国道は32件、岩手県管理道路は31件の振動被害による全面通行止めをデータ化した。また、振動被害による規制理由の内訳は、直轄国道は陥没・段差・亀裂等の路面損傷が11件、橋梁被害による路面段差が14件、法面崩落が7件であり、岩手県管理道路は道路損傷が10件、橋梁損傷が8件、法面崩落が7件であった。

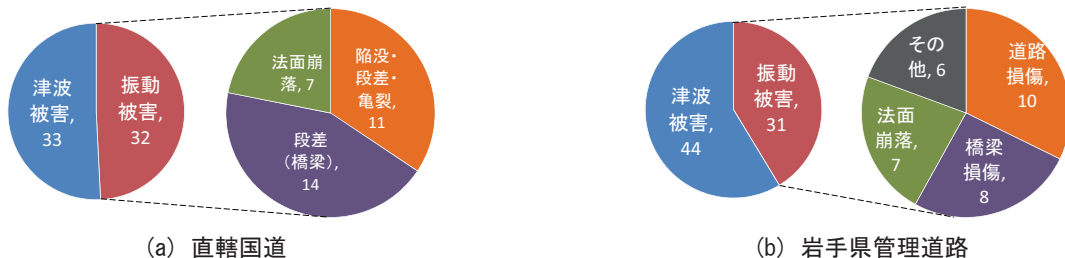


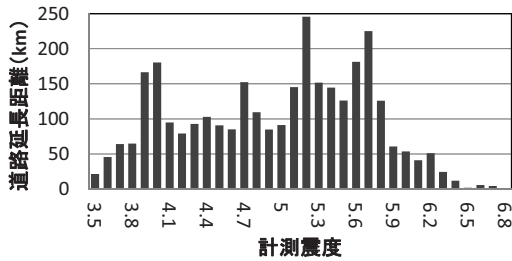
図1 全面通行止めデータの被害内訳

3. 被害データ分析と道路の機能的被害予測モデルの検討

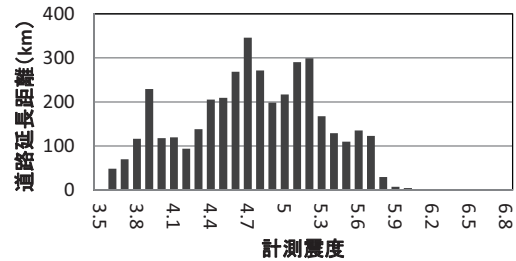
本研究で考える道路の機能的被害予測モデルは、地震動強さに基づく全面通行止め発生率の評価モデルと全面通行止めが発生した場合の通行止め期間の条件付き確率分布の評価モデルの2つで構成される。これらの組合せで、対象とする道路ネットワーク内で地震時に発生する全面通行止め件数とそれらの通行止め期間の確率論的な評価が可能である。

なお、ここでは、地震動強さと通行止め期間の関係は独立と仮定した。その理由は、地震動強さが大きければ被害は大きくなり、通行止め期間も長くなると思われるが、実際には重要度が高い道路の復旧が優先的に行われる場合も多く、必ずしも地震動強さの大きさと通行止め期間の長さは対応しない、と考えたためである。

まず、道路の全面通行止め発生率と地震動強さの関係を分析するため、気象庁発表の各地の計測震度を用いて、1kmメッシュ単位での地盤増幅と工学的基盤上での線形補間に基づく簡易な方法³⁾により、1kmメッシュ単位で計測震度の面的な分布を推定した。推定した計測震度0.1ごとに1kmメッシュ内の道路延長距離および全面通行止め件数を集計した結果をそれぞれ図2および図3に示す。

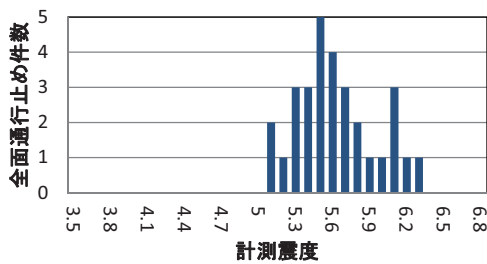


(a) 直轄国道

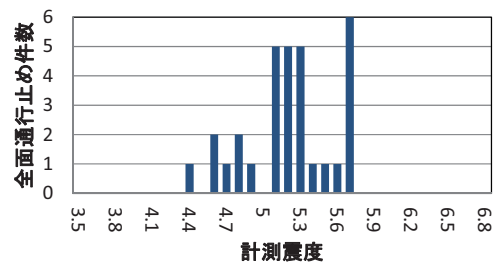


(b) 岩手県管理道路

図2 計測震度ごとの道路延長距離

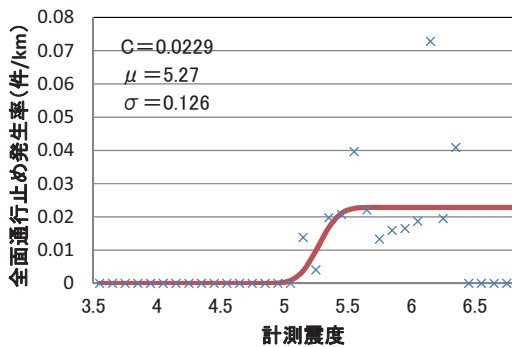


(a) 直轄国道

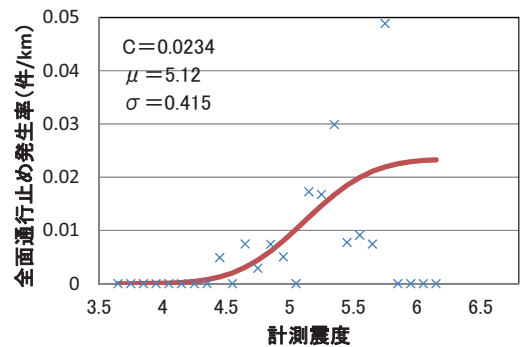


(b) 岩手県管理道路

図3 計測震度ごとの全面通行止め件数



(a) 直轄国道



(b) 岩手県管理道路

図4 全面通行止め発生率関数の回帰結果

図3より、直轄国道は計測震度5.1~6.3の範囲、岩手県管理道路は計測震度4.4~5.7の範囲で、全面通行止めが発生している。

本研究では既往の高速道路(盛土)の被害率関数⁴⁾を参考にして、計測震度 x による全面通行止め発生率 $R(x)$ を、標準正規分布の累積分布関数 Φ を用いて(1)のようにモデル化することにした。

$$R(x) = C \cdot \Phi \left\{ \frac{x - \mu}{\sigma} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $R(x)$ は全面通行止め発生率 [件/km]、 μ および σ は全面通行止めが発生する計測震度 x の平均値および標準偏差、 C は係数である。また、 μ 、 σ 、 C は(2)式に示す ε を目的関数とした道路延長距離の重み付き最小二乗法によって求める。

$$\varepsilon = \sum [L(x) \cdot \{N(x)/L(x) - R(x)\}^2] \quad (2)$$

ここで、 \sum は計測震度 x (=3.5~6.8)による総和、 $L(x)$ および $N(x)$ はそれぞれ計測震度 x の1kmメッシュ内の道路延長距離および全面通行止め件数である。

求めた全面通行止め発生率関数と回帰に用いたデータを図4に示す。得られた結果は、直轄国道は計測震度5.0、

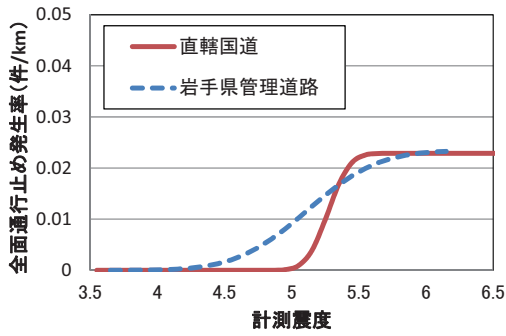


図5 全面通行止め発生率関数の比較

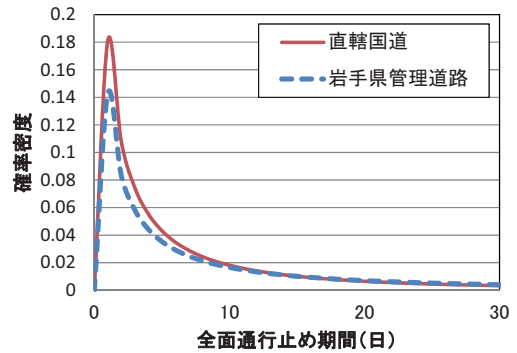
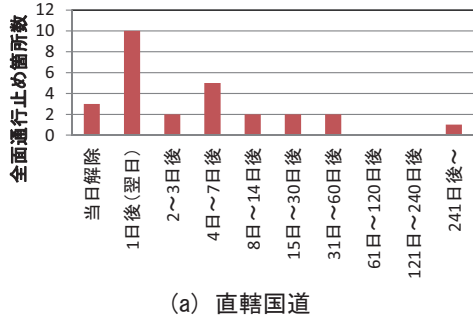
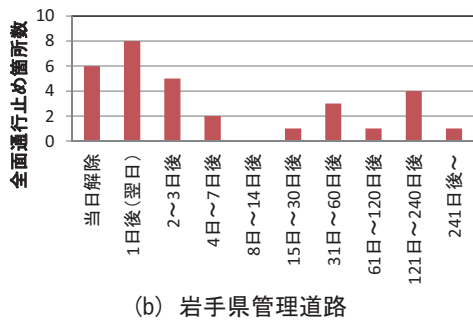


図7 全面通行止め期間の確率密度関数の比較



(a) 直轄国道



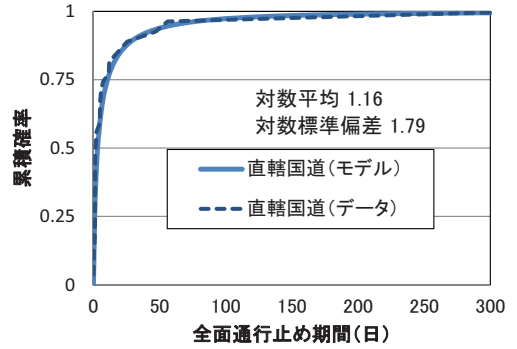
(b) 岩手県管理道路

図6 規制解除時期による全面通行止め箇所数

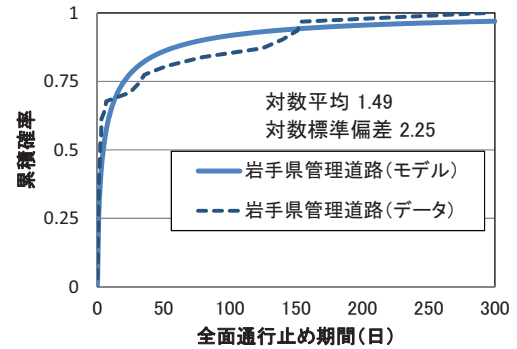
岩手県管理道路は計測震度 4.5 付近で立ち上がり、両者とも全面通行止め発生率 0.02～0.03 件/km で頭打ちする。また、被害データは 0～0.07 件/km の範囲に分布している。東日本大震災での道路被害分析の先行研究例⁵⁾では被害データは 0～0.12 件/km の範囲に分布し、それと比較するとデータの分布上限はやや小さめであるが、本研究では全面通行止めを対象としていることを考慮すれば、概ね整合していると思われる。直轄国道と岩手県管理道路の結果の比較を図 5 に示す。直轄国道に比べて岩手県管理道路は曲線全体の傾斜が緩やかである。

次に、全面通行止め期間の分析を行なった。規制解除時期による全面通行止め箇所数を図 6 に示す。ここで、横軸の規制解除時期の区間については、対数軸上ではほぼ等間隔になるように設定した。図 6 は単純な分布形状ではないが、ここでは簡単のため、全面通行止め期間是对数正規分布に従うと仮定し、全面通行止め期間の確率密度関数を求めることにした。対数正規分布のパラメータを最尤法により求めた結果を図 7 に示す。曲線のピークはどちらの道路も 1 日付近にあるが、ばらつきは岩手県管理道路の方が大きい。

上記の結果の累積分布関数を被害データから得られる累積確率と比較して図 8 に示す。これより、直轄国道は求めたモデルと被害データがよく整合しているが、岩手県管理道路は整合していない部分も見られる。図 6 を見ると、岩手県管理道路に関しては対数正規分布から外れ



(a) 直轄国道



(b) 岩手県管理道路

図8 全面通行止め期間の累積分布関数と被害データによる累積確率の比較

る部分も大きいために、このような結果になっていると思われる。

4. 考察

(1) 得られたモデルについて

全面通行止め発生率が図 5 のように岩手県管理道路の方が緩やかな傾斜となっている原因は、県管理道路には県管理国道・主要地方道・一般県道が混在しているためと考えられる。道路種別による道路環境の多様性が全面通行止め発生率のばらつきに表れた可能性がある。また、回帰には係数 C により頭打ちするモデルを用いているが、頭打ちの上限値については、今後被害データを拡充してモデルの信頼性向上を図る必要がある。

全面通行止め期間については、例えば図 8 の累積確率 0.75 での値と比較すると、直轄国道は約 10 日であるのに対して岩手県管理道路は約 20 日であり、大きな差が見られる。東日本大震災では、一般に県管理道路の方が通行止め解除に時間を要したが、振動被害に起因した全面通行止めでの通行止め期間の違いが定量的に示されている。

(2) 阪神大震災での被害に基づくモデルの妥当性検討

これまでに地震動強さと道路の通行止め発生率を統計的に分析した例はあまりない。自治体の地震被害想定²⁾では道路被害予測手法の一つとして、震度別・地盤種別の道路被害発生率が用いられている。これは過去の震災における路面亀裂や法面崩壊等の被害を基に設定されたもので、道路延長距離に対する被害発生数(箇所/km)を評価するものである。一方、被害が発生してもそこが通行止めになるとは限らないため、被害発生率をそのまま通行止め発生率とすることはできない。そこで、本研究では、阪神大震災の調査報告⁶⁾に示されている県管理道路での被害発生件数と全面通行止め件数を用いて、被害発生件数に対する全面通行止め件数の比率を求め、それを前述した文献2の被害発生率に乗じて全面通行止め発生率に換算して、本研究のモデルと比較することにした。

文献2には震度別(震度4以下, 5弱, 5強, 6弱, 6強, 7)および地盤種別(1種・2種, 3種, 4種)で道路被害発生率が示されている。基本的にはどの自治体の値でも大差はないため、ここでは、各震度に被害発生率が設定されたもの(青森県・札幌市・川崎市の設定値)を用いることにした。また、文献6によると、阪神大震災における兵庫県管理道路での被害発生箇所(公共土木施設災害復旧事業採択箇所数)は182箇所、全面通行止めの規制箇所は46箇所であったことから、兵庫県管理道路での被害発生件数に対する全面通行止め件数の比率は0.25と仮定した。以上に基づき換算した震度別の全面通行止め発生率を、本研究による岩手県管理道路での全面通行止め発生率に重ね書きしたものを図9に示す。本研究のモデルは、文献2から換算した1種・2種地盤と3種地盤での全面通行止め発生率のほぼ中間にあり、過去の震災と概ね同等な傾向であると考えられる。

また、文献6には、県管理道路の全面通行止め箇所が規制解除時期とともに整理されており、通行止め期間の分析も可能である。そこで、文献6に基づき阪神大震災における兵庫県管理道路での通行止め期間の累積確率を求め、本研究による岩手県管理道路での通行止め期間のモデルと比較する。結果を図10に示す。東日本大震災での岩手県管理道路に比べて、阪神大震災での兵庫県管理道路の方が通行止め解除までに長い期間を要した道路の割合が多い。その原因として、兵庫県は震度7のエリアがあり、最大震度が6弱の岩手県に比べて被害も大きく、通行止め箇所の対応に時間を要した可能性が考えられる。前述のように、本研究では地震動強さと通行止め期間の関係は独立と仮定したが、対象地域の震度の大きさが通行止め期間の長さに影響を与えることも考えられ、今後さらに検討を行なう必要がある。

5. まとめ

地震時の全面通行止めを道路の機能的被害と定義し、東日本大震災での被害データに基づき、被害発生とその影響期間の確率モデルについて検討した。今後は他地域の被害データも加えて、モデルに影響する要因の分析を行ない、それを踏まえた被害予測モデルを構築する。

また、構築した道路の機能的被害予測モデルを用いて、地震時の通行支障によるサプライチェーンへの影響評価手法を開発する。

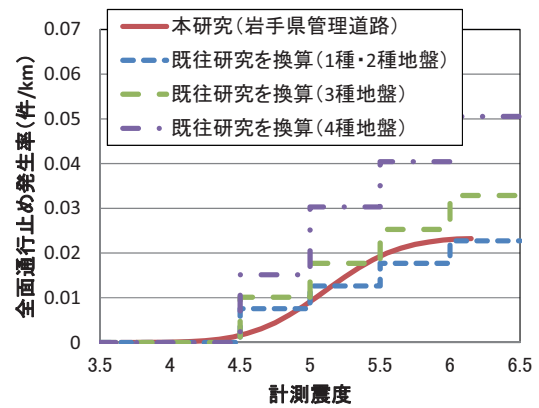


図9 本研究による全面通行止め発生率関数と既往研究²⁾から換算した震度別全面通行止め発生率との比較

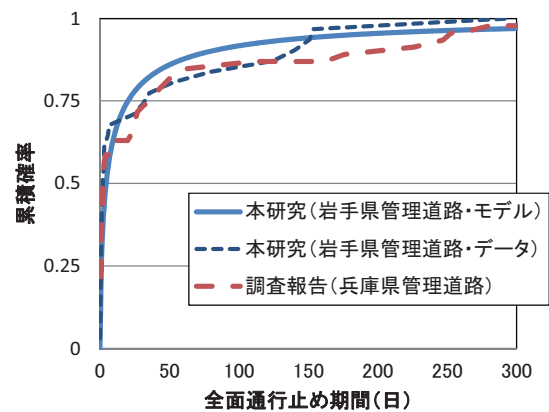


図10 本研究による全面通行止め期間の累積確率と阪神大震災の調査報告⁶⁾に基づく結果との比較

補注

東北地方整備局は青森、岩手、三陸、仙台、郡山、磐城、福島、秋田、湯沢、能代、山形、酒田の各(河川)国道事務所、また、関東地方整備局は常陸、宇都宮の各(河川)国道事務所を対象とした。

参考文献

- 1) (社)東北経済連合会：東日本大震災の影響に関するアンケート調査結果，2011。
- 2) 損害保険料率算出機構：自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査，2006。
- 3) 神田克久，宮村正光，山本佳史：地震被災情報表示システムの構築—地盤増幅検討と被災度評価—，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，B-2分冊，pp.125-126，2006。
- 4) 丸山喜久，山崎文雄，用舎比呂之，土屋良之：新潟県中越地震の被害データに基づく高速道路盛土の被害率と地震動強さの関係，土木学会論文集A，Vol.64，No.2，pp.208-216，2008。
- 5) 庄司学，高橋和慎，中村友治，櫻井俊彰：2011年東北地方太平洋沖地震において地震動が主要因と考えられる道路構造物の被害，第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集，No.6-161，2011。
- 6) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会(土木学会)：阪神・淡路大震災調査報告，土木・地盤⑩，交通施設と農業施設の被害と復旧，1998。