

鉄道沿線地震動に対するベイズ更新手法を用いた安全スコアの算出

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○岩田 直泰
細川 雄太

1. はじめに

鉄道では一般に、沿線に設置された地震計が予め定めた基準値を超過する揺れを観測した場合、予め設定した区間の施設を点検し安全を確認する。2018年6月18日の大阪府北部の地震(Mj6.1)では、比較的広範囲に点検が発令され、駅間に停止した列車は点検が終了するまで移動できない状況となった¹⁾。このような事例は、2021年10月7日の千葉県北西部の地震(Mj5.9)などでも報告されている。この際、駅間停止列車を次駅まで移動できれば安全性や利便性を改善できるが、移動可否判断が課題となっており、その決定を支援する情報の提供が望まれている。このような課題を受け、地震が発生する都度、更新・蓄積される推定沿線地震動データと被害有無データを利用し、ベイズ更新手法に基づき、新たに発生した地震に対する各区間の施設の安全性を地震直後にスコア化する手法を開発した。ここでは、安全スコアの試算とその情報の活用方法について述べる。

2. ベイズ更新手法を用いた安全スコアの試算

鉄道総合技術研究所は、地震発生後に対象路線沿線の地震動を推定し即時的に配信するシステム(鉄道地震被害推定情報配信システム、DISER)を運用している²⁾。なお、DISERは図1の通り、地震が発生するたびに面的地震動を推定し、それに基づき対象路線の地震動を抽出するシステムである。ここでは、防災科学技術研究所のKiK-net観測点を接続して作成した図1に示す仮想路線において、2019年6月から2021年5月までの期間で推定された沿線地震動データを用いて試算を行った。この期間において、対象の仮想路線において34地震が観測されている。ここでは、図2の通り33地震を既往地震として設定し、1地震を新たに発生した地震(2021年5月1日 宮城県沖の地震、Mj6.9)として設定した。また、既往地震として扱う2021年2月13日の福島県沖の地震(Mj7.3)において、強い揺れとなった区間に仮想的に被害が発生した地点を設定した。

ベイズ更新手法による無被害率の確率分布の算出に向けて、ある区間(本テーマでは10km)の各震度階における構造物ごとの被害有無の回数をカウントする。仮想路線のキロ程78.61kmから88.6kmにおいて被害有無をカウントした例を図3に示す。なお、ベイズ更新において、ベルヌーイ試行(被害有り無しといった2つに分類される試行)を仮定した場合、事前確率をベータ分布とすると、共役分布としてベイズ更新後の確率分布もベータ分布となる³⁾。ベイズ更新では事前分布の設定が重要となるが、ここでは事前分布を一様分布と仮定している。カウントした被害有無の回数により累積ベータ分布関数を算出した例を図4に示す。この分布より、ここでは超過確率が95%となる無被害率を信頼性95%安全スコアとして算出した。

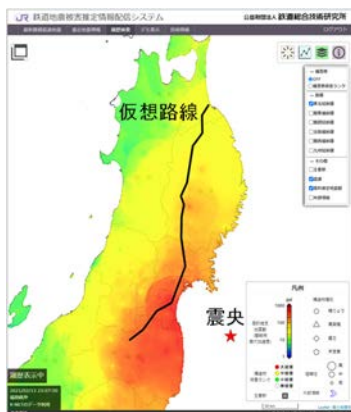


図1 地震動推定例(2021年2月13日 福島県沖)

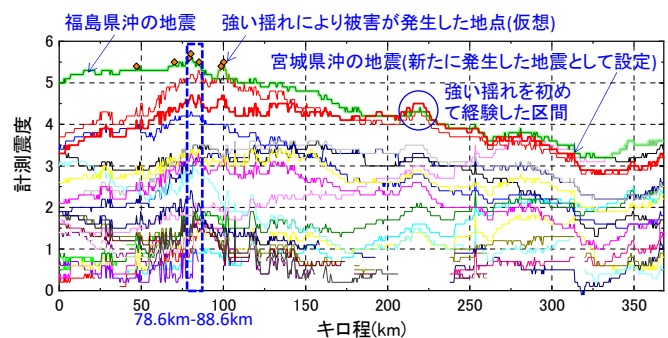


図2 既往地震と新たに発生した地震の設定

キーワード 沿線地震動データ, 被害有無データ, ベイズ更新, 安全スコア

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所・地震解析研究室 TEL 042-573-7273

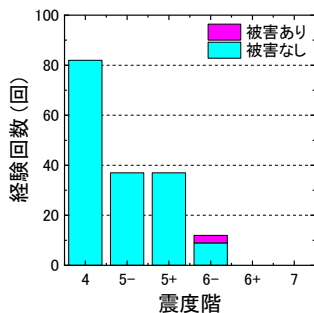


図3 揺れに対する被害有無回数のカウント例

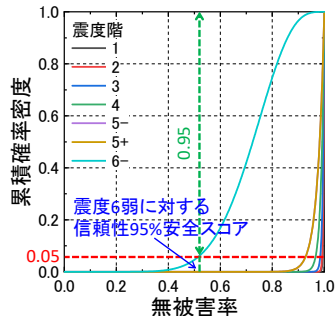


図4 無被害率の累積ベータ分布関数例

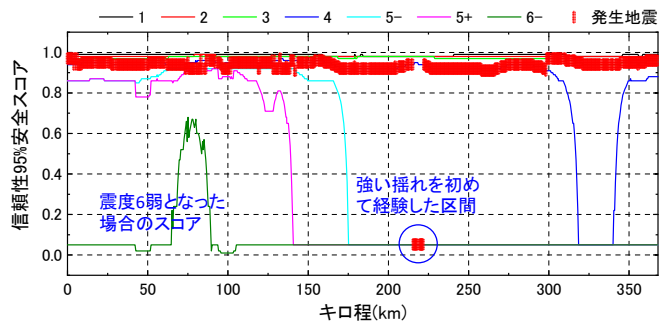


図5 安全スコアの算出例
(2021年5月1日 宮城県沖)

新たに発生した地震に設定した宮城県沖の地震に対する信頼性95%安全スコアの算出例を図5に示す。図2の通り、宮城県沖の地震ではキロ程70kmから130km程度の区間で震度5弱の揺れとなっているが、震度5弱の地震では過去に無被害であることを経験しているため、安全スコアは0.9以上の高い値となっている。一方、キロ程220km前後において、安全スコアが0.05程度となっている区間(図5中の青丸印箇所)があるが、この区間では、宮城県沖の地震における揺れ(図2中の青丸印箇所)を超える地震動の経験がないため、安全スコアは低い値となっている。

3. 安全スコア情報の活用方法

本章では安全スコア情報の活用方法を提案する。点検の優先順位を検討する場合、2章で例示した通り、初めてその揺れを経験して安全スコアが低くなった区間の点検の優先順位を高くすることは合理的であると考え。また、列車停止位置から次駅までの列車の移動に対し、ここで示した安全スコアの情報を活用することができる

考える。具体的には、図6に示すように地震計Yの観測値yが点検基準値を超過している場合、通常その地震計の受け持ち区間内の列車Aは点検が終了するまで走行できない。その際、仮に推定地震動が次駅まで点検基準値を連続して下回っている場合には、次駅までの列車の移動が可能と考えることもできる(推定沿線地震動を適用したこの判断手法は、一部の事業者で既に導入されている⁴⁾)。ただし、列車Bのように推定地震動が点検基準値を上回っている場合、上記の判断は適用できない。一方、過去に幾度も点検基準値を超える地震動を経験しながらも、これまで被害を受けなかった区間が存在する場合を考える。このような区間で過去と同等レベルの地震動が新たに観測された場合、その揺れが点検基準値を超えていたとしても、今回も無被害である可能性が高いと考えるのが合理的である。このような区間では安全スコアが高くなることから、この情報を駅間停止列車の次駅への移動判断の支援情報として活用できると考える。

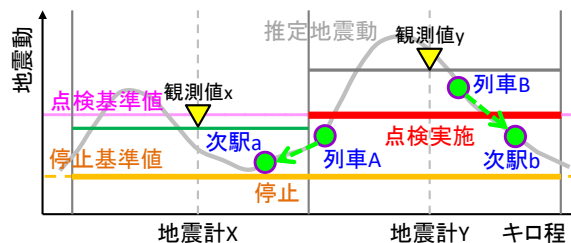


図6 駅間停止列車の次駅までの移動の概要

4. おわりに

本研究では、過去に経験した沿線地震動データと被害有無データに基づき、新しく発生した地震動に対する無被害の可能性を、ベイズ更新手法によりスコア化する手法を提案した。このスコアは、地震時における施設点検の優先順位付けや、駅間に停車した列車の次駅までの移動の判断支援に活用できると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省：大阪府北部地震における運転再開等に係る対応に関する連絡会議資料，資料5-4-7，2018，<http://www.mlit.go.jp/common/001247910.pdf> (参照2022-02-22)
- 2) 岩田直泰，坂井公俊，山本俊六，室野剛隆，青井真：鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)を利用して素早く運転を再開する，RRR，Vol.77，No.2，pp.12～15，2020
- 3) 豊田秀樹編著：基礎からのベイズ統計学，朝倉書店，2015
- 4) JR西日本 News Release：地震発生時に乗車されているお客様への迅速なご案内に向けた取り組みを行っています，https://www.westjr.co.jp/press/article/2021/10/page_18683.html (参照2022-02-22)