

対震列車防護システムの定量的評価モデル

東日本旅客鉄道株式会社 安全研究所 正会員 露木 寿
東日本旅客鉄道株式会社 安全研究所 正会員 島村 誠

1. はじめに

陸上を高速で走行する鉄道にとって地震時の走行安全性の確保は重要な課題である。地震被害軽減対策のひとつとして、震源近くの地震計により地震動をリアルタイムに観測、伝達することにより地震動の到達前に列車を停止させることを目的とした対震列車防護システムがある。耐震列車防護システムは、有害地震発生時における列車走行の安全性を向上させるという利点をもつ反面、より多くの無害な地震に対する誤警報や不必要な運転規制の原因ともなるという問題点がある。

本研究では、耐震列車防護システムの導入にともなう安全性の向上と誤警報コストのトレード・オフに着目し、地震動評価指標や警報しきい値の変更がもたらす影響を定量的に評価しうるモデルの構築を試みた。

2. システムのモデル化

2.1 地震活動度

東日本エリアでの地震活動度のモデルとして、図 - 1 に示すように 194 のエリアに分割し、エリア中央に仮想震源を想定した。ある震源エリアにおいて、あるマグニチュード M よりも大きい規模の地震が起きる発生回数 $N(M)$ は、Gutenberg-Richter 式により、

$$\log_{10} N(M) = a - bM, \quad M < M_{\max}$$

と、表される。 a, b および $M_{\max}$ はそれぞれの震源域の地震活動度によって決まる定数であり、歴史地震データによる統計的解析によって $a, b, M_{\max}$ を算出した。

2.2 地震動の距離減衰

次に発生した地震の距離減衰を考慮する。地震動の距離減衰についてはいくつかの研究があるが、本研究においては地震動評価指標を最大加速度 (PGA) からスペクトル強度 (SI) に変更することも検討するため、87 式加速度強震計による多くのデータに基づいた Molas(1995)らの研究による距離減衰式を採用した。

2.3 評価対象損失事象

地震発生に伴う損失事象 ε として次の 4 つを想定した。

- 緊急停止：警報後緊急停止を行うが、地震動レベルにより、線路点検は行わない。数分の遅延が発生。
- 車上点検：警報後緊急停止を行い、さらに地震動レベルによって車上点検を行うため 2 時間前後の遅延が発生。
- 地上点検：警報後緊急停止を行い、さらに地震動レベルによって徒歩点検を行うため 4 時間前後の遅延が発生。
- 安全損失：損傷した高架橋区間への列車の進入。

事象 ε が システム W の下で発生する期待列車本数 $\mu(\varepsilon | W)$ を計算する一般的な手順は、

$$m(e|W) = \int_M \int_x \sum_s I(M, x) E(n_s) P(e|M, x, s, W) dx dM$$

と表すことができる。ここで、 $\lambda(M, x)$ は震源位置 x において大きさ M の地震が発生する回数、 $E(n_s)$ はある瞬間にある線路区間 s 内を走行する列車の期待本数、 $P(\varepsilon | M, x, s, W)$ は M の地震が、震源位置 x で発生し、ある警報システム W のもとで事象 ε がある区間 s の列車に対して発生する確率である。

2.4 警報の発生確率

緊急停止、車上点検、地上点検に対する警報の発令は、それぞれの区間を制御する地震計に到達した地震動の大きさがそれぞれの警報しきい値を超過した瞬間に発生すると仮定した。

2.5 鉄道構造物の地震時被害関数

路線は様々な鉄道構造物により構成されているが、今回は、均一構造、スパンのコンクリート高架橋からなる路線を想定した。また、地震動の規模と高架橋の単スパンが損傷を受ける確率との関係式として、兵庫県南部地震のデータに基づき PGA と SI の両方の指標を使用して一般的な RC 造建物に対して算定を行った山口ら(2000)の被害関数を採用した。また、被害は地震の主要動が線路に到達した瞬間に発生すると仮定した。

キーワード： リスク分析，地震，警報システム，高速鉄道

連絡先：東京都千代田区有楽町 2 - 10 - 1 TEL03-3211-1118 FAX 03-5219-8678

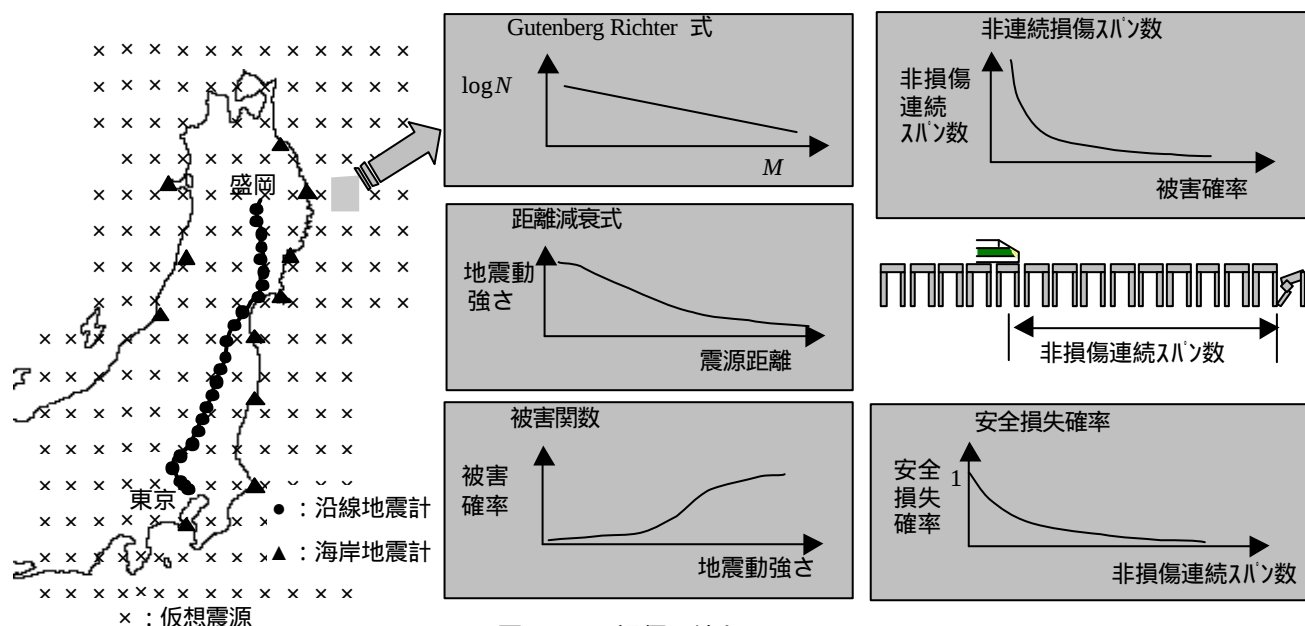


図 - 1 評価の流れ

2.6 安全損失事象の発生確率

同一規模の地震動強さを受けた高架橋の各スパンが独立かつ同一確率で被害を受けると仮定すると、走行する列車前方の被害を受けていない高架橋の連続スパン数は幾何分布であらわすことができる。この分布パラメータとして、前節で求めた構造物の被害確率を用い、安全損失は地震波到着後に列車が走行する距離が非損傷連続区間長を超えた場合に発生すると仮定して、その発生確率を求めた。

3. 計算結果

図 - 2 に、東北新幹線をモデルとした計算結果を示す。

【海岸地震計の効果】

東日本エリアでは地震の約 8 割は太平洋沖合で発生しており、それらに対する早期検知を目的として海岸地震計が設置されている。しかし、それらは距離減衰の効果により無害な地震であることが多く、かつ早期検知の段階で被害程度を正確に判定して警報を発することが困難なため、海岸地震計の設置により安全損失の減少効果以上に緊急停止の頻度が増大することが分かる。

【地震動強さの評価指標】

沿線地震計の地震動評価指標を PGA から構造物被害との相関が高い SI に変更すると、安全損失、緊急停止の頻度をほとんど増やすことなく、車上、地上点検回数を半減以下にすることができる。地震時の車上、地上点検は、新幹線の定時運行の主要な阻害要因のひとつであることから、沿線地震計の地震動評価指標の変更は、メリットの大きい対震列車防護システムの改良オプションであることが分かる。

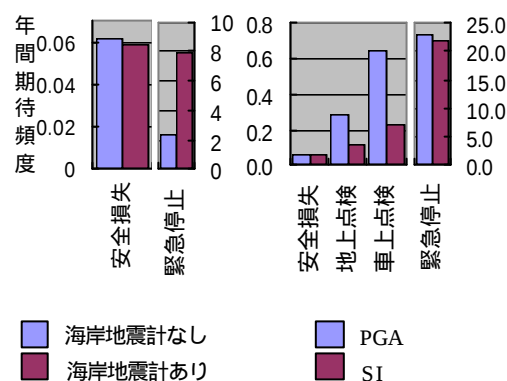


図 - 2 計算結果の一例

4. まとめ

本研究では、構築した対震列車防護システムの有効性に関する定量的評価手法は、警報発令基準値や地震動評価指標の最適化等の一助として活用できるものと考えられる。

【参考文献】

- 山口直也, 山崎文雄: 西宮市の被災度調査に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, no.2, pp.129-138, 2000, 11
- G.L.Molas, F.Yamazaki: Attenuation of Ground Motion in Japan including Deep Focus Events, Bulletin of the Seismological Society of America, 85, 5, pp.1343-1358, 1995