

地震影響評価システムの開発

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○三須 弥生
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 山村 啓一
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 島村 誠

1. 目的

高速で走行する新幹線にとって、地震に対する安全の確保はきわめて重要な課題であり、そのための効果的な地震対策の策定には地震リスクの定量的な把握が必要である。そこで、新幹線沿線の地震活動度モデルや地震動の距離減衰特性、車両の地震時走行安定性、高架橋の耐震性能、地震早期検知システムの警報性能等を評価パラメータとし、それらを適切に組み合わせることにより、新幹線に対する地震影響を評価できるシステムの開発を行っている。

2. 評価パラメータの検討とリスク計算手法

2.1. 地震活動度モデル

地震活動度モデルとは、被害を与える可能性のある地震の潜在発生源における地震活動度のデータ（地震規模（マグニチュード）と発生頻度の関係）からなるモデルである。今回使用している地震活動度モデルは面震源モデル、ランダム地震域震源モデルおよび線震源モデルの3つの震源モデルから構成され、約45,000個の潜在的な地震の震源位置座標とマグニチュードおよび発生頻度のデータにより日本全域の地震活動度を表現することができる。

2.2. 地震動距離減衰式

本システムでは、Molasら(1995)¹⁾の研究による距離減衰式を準用した。これは従来の加速度計より優れているとされる87式加速度強震計による日本での多くの地震観測データに基づいて地震動の減衰関係を導き出した式(1)である。

$$\log y = b_0 + b_1 M + b_2 r + b_3 \log r + b_4 h + c_i + \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 y は地震動計測値（SI値）、 M は地震のマグニチュード、 r は震央距離、 h は震源深さを表し、 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 および b_4 は回帰係数、 c_i は地点係数、 ε は回帰誤差を表す。

2.3. 高架橋の損傷確率

大規模地震によって構造物が損傷し、その軌道上を列車が走行した場合には、脱線が発生する恐れがある。そのような構造物の損傷による脱線の確率を明らかにするため、脱線確率計算の基礎となる地震動規模（SI値）と高架橋累積損傷確率の関係を求めた。

はじめに、歴史上の代表的な地震波形11波を標本地震動群とし、それらの振幅を一定倍率で拡大、縮小することにより、SI値が10, 15, 20, …, 100(kine)となるような19の相似なサン

プル地震動を作成した。高架橋についても基礎および上部構造形式、柱高、せん断耐力などを考慮して評価対象とする6タイプの代表的な高架橋を選定し、その高架橋モデルに対して11×19種類のサンプル地震動を与える。その揺れによる構造物の変位が事前に計算した耐震性能の基準値を超えた場合に損傷が発生すると仮定し、その構造物の累積損傷確率（フラジリティカーブ）を求めた。（図-1）

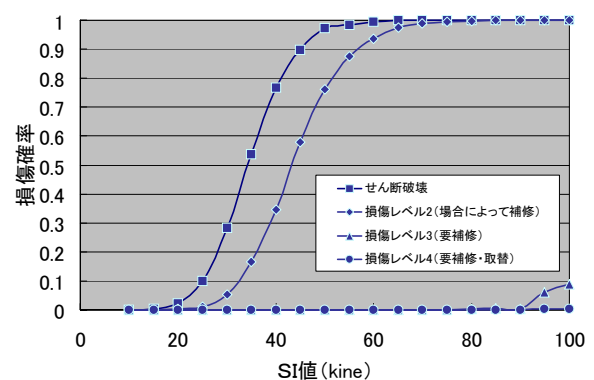


図-1 構造物の累積損傷確率曲線（一例）
（フラジリティカーブ）

2.4. 車両の走行安定性

車両の走行安定性については、『鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計』²⁾に示された列車走行安全限界値との比較により評価を行った。構造物を模擬したモデルに対し前節でも使用した11×19種類のサンプル地震動を与え、その応答から速度応答スペクトル強度を計算する。その速度応答スペクトル強度と耐震設計標準で求められている車両の限界スペクトル強度との比の自然対数を求め、その標本集団が正規分布に従うとみなして走行安定限界超過確率を計算している。（図-2）

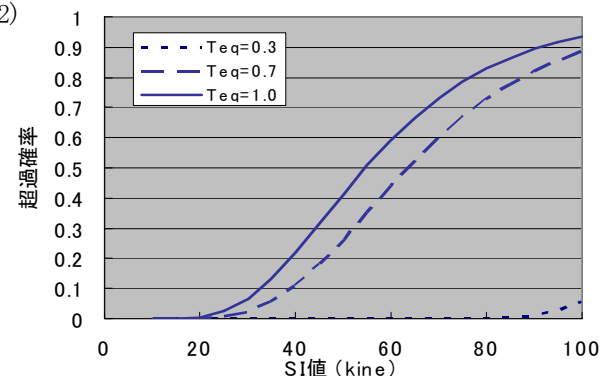


図-2 新幹線走行安定限界超過確率

キーワード リスクアナリシス、地震、距離減衰式、フラジリティカーブ、イベントツリー

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目0番地 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター 防災研究所 Tel. 048-651-2693

2.5. 地震早期検知システムの検知特性

地震による被害を低減させるため、JR 東日本では地震早期検知システムを導入している。地震波のP波とS波の伝播速度の差を利用することによって地震の主要動が到達する前に警報を発し、新幹線のブレーキを作動させる。そのため警報発報時刻や警報確率が、新幹線が地震の主要動にさらされる時間や走行距離に大きく影響する。前節で求めた高架橋の破損による脱線の確率は主要動到達後の走行距離に依存するため、地震影響評価システムでは、地震早期検知システムの警報特性を考慮し脱線確率を求めている。

2.6. リスク計算のための評価パラメータの構成

前節までに検討を行った新幹線沿線の地震活動度、地震動の距離減衰特性、構造物の耐震特性、車両・構造物の振動応答特性、地震早期検知システムの検知性能、および列車のブレーキ性能等を図-3に示す構成で評価することにより、地震の揺れによる車両の脱線と損傷した高架橋へ新幹線が進入することによる脱線のリスク、および列車の緊急停止からの復帰や構造物の点検にかかる遅延の発生確率を計算する。

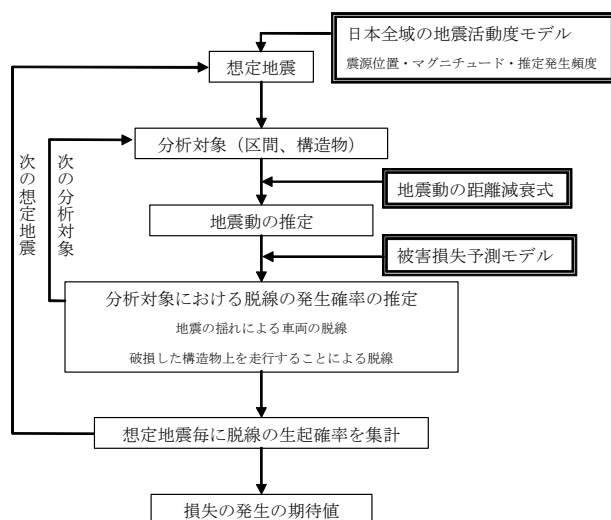


図-3 新幹線地震影響評価システムの構成

3. 新幹線ネットワークに対する分析手法の開発

実際に新幹線運行時間中に大規模地震が発生した場合、新幹線ネットワーク上には多くの新幹線がさまざまな軌道構造物上に存在し、ほぼ同時に地震動にさらされることになる。たとえば、地震により脱線が発生した新幹線に対し、対向列車が接近した場合には、列車衝突の可能性がある。このような新幹線ネットワーク上で起こりうる事故をより正確に考慮したうえでリスク計算を行うために、「ネットワーク分析手法」を開発した。この手法では実際の時刻表のデータや構造物台帳のデータを参照することによって、地震発生時に線路上に存在するすべての新幹線について、どのような地震動にさらされ、どの程度の脱線のリスクがあるかを計算することができる。さらに安全に停止するまでに通過する構造物の性

質の違いや対向列車の有無などを考慮したイベントツリーを検討し、考えられる被害のシナリオを検討する（図4）。イベントツリー上の各ブランチに前述の脱線の発生確率や地震早期検知システムの検知確率、軌道条件や構造物種別等の該当区間での存在割合を適用し、各シナリオの発生確率を求める。

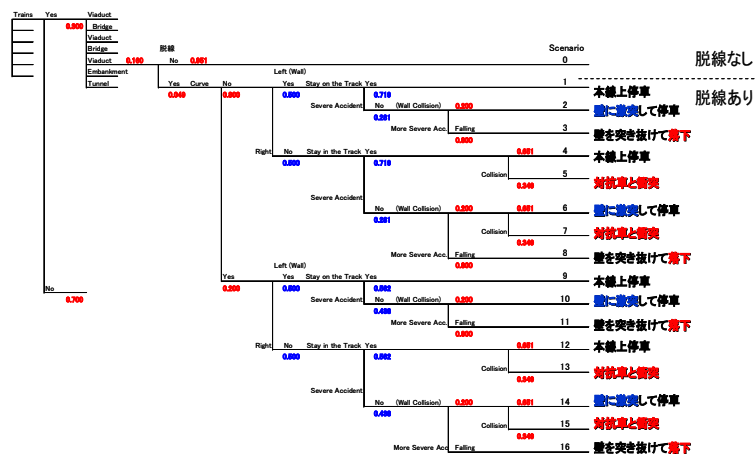


図-4 脱線事故に対するイベントツリー

4. 被害の重大性評価手法の開発

地震災害に対するより効果的な対策を事前に行うためには、被害の発生確率の評価とともに、その被害の大きさを評価する必要がある。ここでは地震によって発生する脱線に着目し、脱線による被害の大きさの違いを評価するため、過去の脱線事故の発生状況と被害状況を分析した。過去米国内で発生した脱線事故について、走行速度と脱線後の二次災害の状況、線路状況といった評価要素に対し、統計手法である Logit Analysis を適用し、回帰分析を行うことでモデル化を行った。

求められた被害の状況を前章のイベントツリーに反映することで、各シナリオでの被害の期待値を求めることができる。

5. 今後の取り組み

今後の新幹線地震影響評価システムの高度化への取り組みとして、新たな脱線モデルの構築と地震影響評価システムに内在する不確実性の評価を行うこととしている。さらに本システムをインターフェイスも含めた一体のソフトとして完成させることにより、研究としてだけのリスクアナリシスにとどまるのではなく、新幹線全線に対する地震対策策定に寄与できるより現実的で詳細なリスク評価が可能なシステムの構築を目指している。

参考文献

- 1) Molas L. Gilbert, Fumio Yamazaki : Attenuation of Earthquake Ground Motion in Japan Including Deep Focus Events, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 5, October 1995
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震技術, 1999