

鉄道における早期地震情報の減災効果の定量的評価方法

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○岩田 直泰
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 芦谷 公稔
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 佐藤 新二
 (財)鉄道総合技術研究所 是永 将宏

1. はじめに

地震に対する鉄道の防災性能を向上させるためには、耐震補強などのハード対策の他に、早期地震情報による列車制御などのソフト対策も重要である。この早期地震警報を活用したシステムは、地震発生時に大きな揺れが到達する前に推定された震源情報を得ることによって減災対策などを行うものであり、警報を受信してから大きな揺れが到達するまでの時間差(ここでは「余裕時間」と呼ぶ)を可能な限り多くとることに意義がある¹⁾。本報告では、早期地震情報の鉄道における減災効果の定量的評価方法を提案し、地震時に走行する列車のリスク評価を行う。

2. 車両の制動特性

列車制動などの減災対策を行うには余裕時間が多い方が有利である。しかしながら、これまで余裕時間の増大の効果を定量的に評価する議論はあまり行われてこなかった。ここでは、地震発生時に列車がブレーキをかけることにより、余裕時間に対して走行する列車の危険性がどの程度低下するかを考察する。図1に700系新幹線の速度-減速度関係²⁾を示す。この関係を定式化すると、式(1)の微分方程式で表せる。

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\alpha \cdot \frac{dx}{dt} - \beta \quad \text{式(1)}$$

ここで、 t は走行時間(秒)、 x は走行距離(m)、 α と β は車両の制動特性による任意の定数である。式(1)に、車両の制動特性(例えば図1)を入力することにより、走行時間(停止するまでの時間, 秒)・走行距離(停止するまでに走る距離, m)・列車速度(km/h)を算出できる(図2と3)。図2によると270km/hで走行している700系新幹線は停止するまでに約90秒を要することが分かり、図3によると270km/hで走行している700系新幹線は停止するまでに約4000mを走ることが分かる。

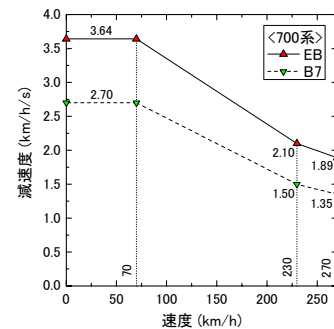
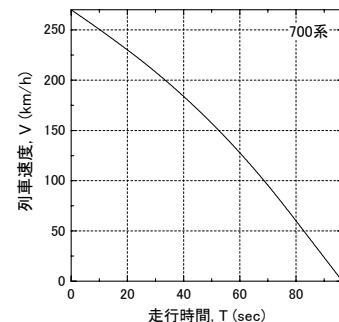
図1 速度-減速度関係²⁾

図2 走行時間-列車速度関係

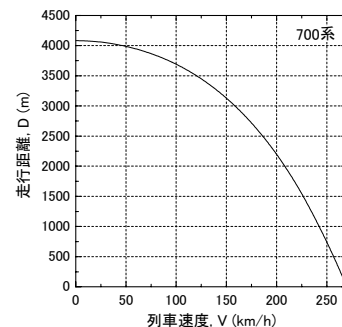


図3 列車速度-走行距離関係

3. リスク低減効果の評価方法

2章で示した制動特性を用いて、地震時に走行する列車の危険性と余裕時間の関係を検討する。図4には地震時のP波警報およびS波警報による制動開始のタイミングなどの概念を示す。本報告で示す評価手法の定量的な値は、基準速度 V_{std} (km/h)で走行中の列車のS波警報による制動と、速度 V_0 で走行中の列車のP波警報による制動の特性から求めるものである。

キーワード リスク評価, 早期地震情報, 余裕時間, 制動特性, 危険率

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 地震防災 TEL:042-573-7273

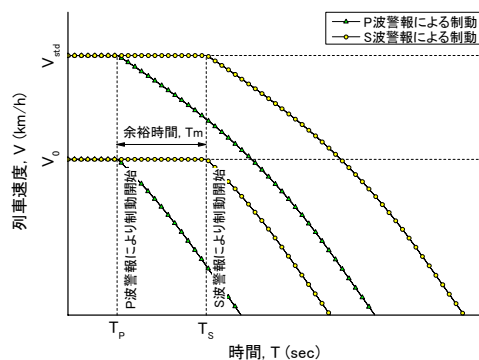


図4 P波・S波警報による制動の概念

S波警報のみの場合と比較して、P波警報を取得した場合にはより早く制動を開始できることから、S波が到達してから停止するまでに走行した距離を短くすることができる。ここで、S波警報時に対するP波警報時の走行距離比は、走行する列車が危険な構造物(破壊した構造物など)に遭遇する確率に比例すると考えられる。さらに、列車速度に関しては、S波に対するP波の走行速度比の2乗は走行する列車が危険な構造物に遭遇したときの運動エネルギーに比例すると考えられる。なお、走行する列車がどの速度で危険な構造物に遭遇するかを事前に把握することはできないため、ここで用いる列車速度はS波が到達した時点から停止までの平均速度としている。本報告で提案する、地震時に走行する列車のリスク評価の指標を式(2)に示す。

$$Rp(Tm) \propto \left(\frac{Dpv_0}{Dsv_{std}} \right) \cdot \left(\frac{\overline{Vpv_0}}{\overline{Vsv_{std}}} \right)^2 \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $Rp(Tm)$ はS波警報に対するP波警報の走行列車の危険率、 Dsv_{std} は基準速度 V_{std} のときのS波警報による走行距離(m)、 Dpv_0 は速度 V_0 のときのP波警報による走行距離(m)、 $\overline{Vsv_{std}}$ は基準速度 V_{std} のときのS波警報後の平均列車速度(m)、 $\overline{Vpv_0}$ は速度 V_0 のときのP波警報後の平均列車速度(m)を表す。

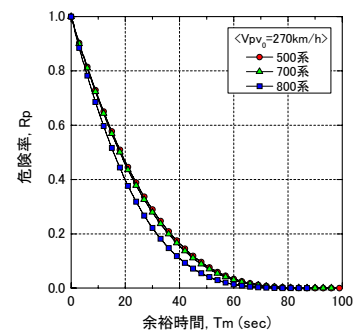
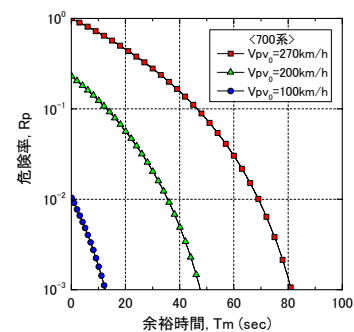
4. 地震時に走行する列車のリスク評価

図5には、500系・700系・800系の各新幹線の余裕時間に対する危険率($V_{sv_{std}}=270\text{km/h}$, $V_{pv_0}=270\text{km/h}$)を示す。なお、500系の制動特性は文献3)、800系は文献4)に基づいている。

700系新幹線に着目した場合、 270km/h で走行する車両の危険率が0.5となる余裕時間は約20秒である。さらに、同図の各新幹線車両の違いに着目すると、同じ余裕時間に対して800系新幹線の危険率が最も大きく低減している。これは、各新幹線の中で800系新幹線のブレーキ性能が最も高いためであると考えられ、

この評価手法により車両のブレーキ性能の違いによるリスク評価も可能であると考えられる。

図6には700系新幹線の速度の違いによる危険率($V_{sv_{std}}=270\text{km/h}$)を示す。余裕時間を10秒とすると、列車速度 270km/h の場合は危険率が0.70、 200km/h では0.12、さらに、 100km/h では0.0018となっており、地震の主要動が到達した時の列車速度は、地震のリスク評価を行う上で重要な要素である。

図5 車両特性の評価($V_{sv_{std}}=270\text{km/h}$, $V_{pv_0}=270\text{km/h}$)図6 列車速度の評価($V_{sv_{std}}=270\text{km/h}$, 700系)

5. まとめ

早期地震情報を導入する事により主要動が到達するまでの余裕時間を得る事ができるが、この余裕時間に伴う減災効果を定量的に評価する手法を提案した。ここで提案する手法により、余裕時間が多く、かつ車両のブレーキ性能が高いほどリスク低減の程度を大きくできることを定量的に示した。また、走行速度の違いによる危険性の差異についても定量的に示した。

参考文献

- 1) 岩田直泰, 芦谷公稔, 佐藤新二, 是永将宏: 早期地震警報による余裕時間の検討, 土木学会第62回年次学術講演会(CD-ROM), 1-638, pp.1271-1272, 2007.9
- 2) 伊藤順一・坂東重樹・上林賢次郎・上野雅之, JR東海・JR西日本700系新幹線電車(量産先行試作車)の概要, 車両技術, pp.4-26, 215, 1998.2
- 3) 則直久・影山真佐富・浜辺真篤, JR西日本500系新幹線電車, 車両技術, pp.3-18, 210, 1996.6
- 4) 小林宰, JR九州800系新幹線電車, 車両技術, pp.9-23, 227, 2004.3