

揺れの大きさを早期に推定するための地震動指標利用法

防災技術研究部 地震防災研究室

室長 山本 俊六

1. はじめに

新幹線の早期地震防災システムでは、地震発生時の安全を確保するために、沿線、海岸などに設置された地震計で地面の揺れ（地震動）を捉え、これらの波形を解析することで列車の運転規制判断を行っている。新幹線のように高速で走行する列車を対象とした場合、運転規制判断の迅速性はシステムを設計する際の重要な条件と考えられる。したがって、ここでは、特に新幹線沿線付近で発生した地震に対してより早く運転規制の判断を行なうための、新しい地震動指標の利用法について検討する。

2. 現在用いられている運転規制判断の手法

現在用いられている運転規制判断手法として、『推定地震諸元情報（P波情報）を用いた判断手法』と、『地震動指標値（S波情報）を用いた判断手法』の2種類が存在する。このうち、前者の推定地震諸元情報を用いた判断手法は、地震計で観測された地震波（P波）の初めの数秒間のデータから地震諸元（震央位置やマグニチュードなど）を推定¹⁾して、その地震による影響範囲を素早く予測し、大きな揺れ（S波）が来る前に影響範囲内の列車に対して運転規制判断を行なうというものである。一方後者の地震動指標値を用いた判断手法は、JR用水平2成分合成加速度（事業者により3成分合成加速度）の振幅の大きさをを用いて直接的に地震時の運転規制判断を行なうものである。

地震動指標値を用いた判断手法で用いられるJR用水平2成分合成加速度とは、観測された加速度に鉄道構造物への影響を考慮したフィルタ（JR用フィルタ）による処理を施し、水平2成分をベクトル合成して得られる値である。新幹線沿線に設置された地震計においては、このJR用水平2成分合成加速度値が閾値（40gal）を超えた場合に運転規制の判断が行われ、あらかじめ決められた規制範囲内の運転規制が実施される。なお、JR用フィルタは漸化式で表現することが可能なため、JR用水平2成分合成加速度をリアルタイムで計算し利用することができる。JRフィルタの周波数特性を図1に示す。

地震動指標値を用いた判断手法は、地震計設置箇所付近にある程度大きな揺れが来てから運転規制の判断を行う手法であるため、一般に推定地震諸元情報による判断手法を用いた方が、早く運転規制判断を行なうことができる場合が多い。しかし、鉄道沿線に近い場所で大きな地

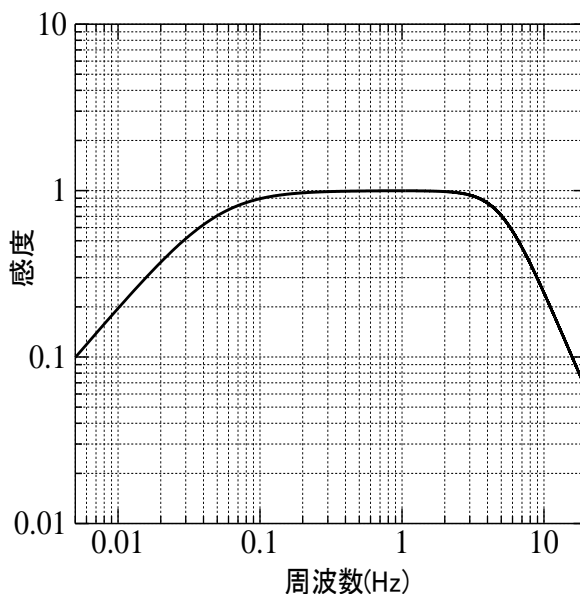


図1 JR用フィルタの周波数特性

震が発生した時には、P 波が到達後、瞬時に大きな揺れが到達することなどがあり、地震動指標値による手法を用いた方が早く運転規制判断を行なえる場合もありうる。そこで、ここでは、この手法の更なる迅速化を検討する。

3. 各種地震動指標の関係

一般的に、P 波初動部分では地震波の上下動成分が卓越し、特に震央に近い場所では、大きな上下動が観測される。そこで、地震動の上下成分に注目した地震動指標値に注目し検討を行なうものとする。地震動の上下成分に注目した運転規制判断の手法には、他谷ら（2008）による単独観測点での早期震度予測手法²⁾などが存在するが、ここでは、前述の JR 用フィルタを地動加速度の上下動成分に適用し、この値（JR 用上下動加速度）を用いた運転規制判断を考える。

はじめに、JR 用上下動加速度値と一般的に用いられる地震動指標との関係を分析する。図 2～4 に、（独）防災科学技術研究所の強震ネット（K-NET）観測点で得られた地震波形（約 13 波形）を用いた JR 用上下動加速度値と SI 値、計測震度、JR 水平平 2 成分合成加速度値との関係を示す。図より、JR 用上下動加速度値と各地震動指標の間には、比較的高い正の相関があることが分かる。また各指標間で相関性の顕著な違いは認められず、結果として、JR 用上下動加速度が増加するにしたがって、各指標も大きくなるように増加する関係が示された。

4. 新しい地震動指標の利用法

4.1 空振りを見逃し

次に、JR 用上下動加速度を運転規制の判断に用いることを想定し、規制に使用する閾値の検討を行う。具体的には、JR 用

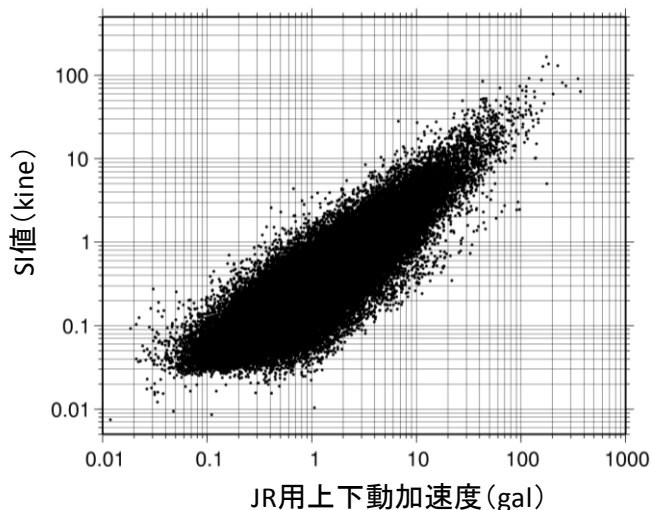


図 2 JR 用上下動加速度と SI 値との関係

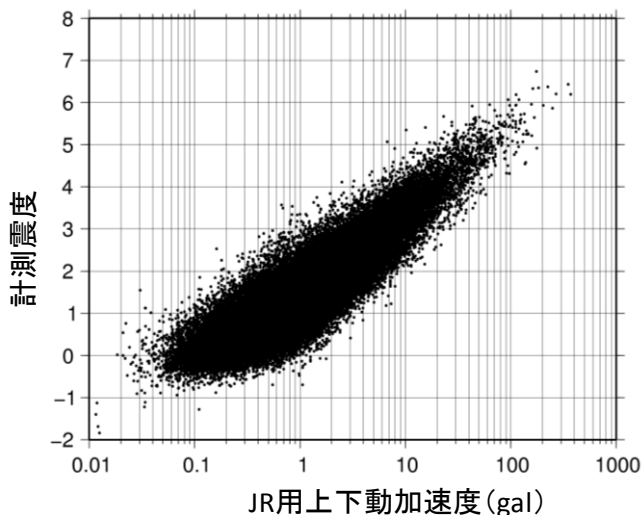


図 3 JR 用上下動加速度と計測震度との関係

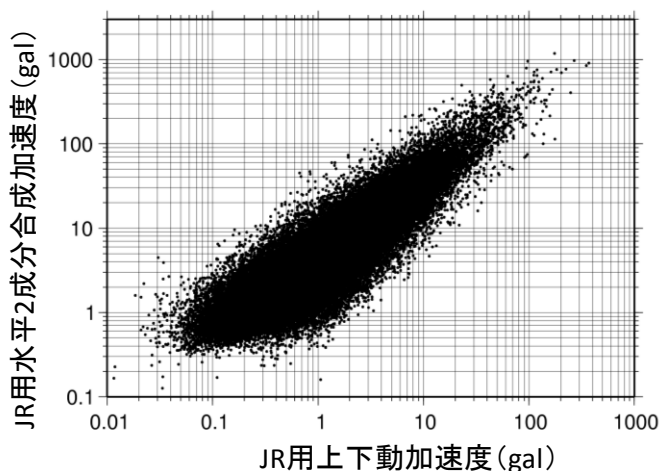


図 4 JR 用上下動加速度と JR 用水平 2 成分合成加速度との関係

上下動加速度の閾値を変化させ、従来の地震動指標による運転規制判断との差異に関して解析を行うものとする。一般的に、閾値を小さく設定すれば、運転規制の判断を早く行なうことができるが、閾値を小さく設定し過ぎてしまうと、本来運転規制を行なう必要のない、鉄道に被害が出ないような小さな揺れに対して不要な規制を行なってしまう可能性が高くなる（以下、これを『空振り』と呼ぶ）。逆に、閾値を適切な値よりも大きく設定してしまうと、運転規制を行なうべき大きな揺れに対して、規制を行わない可能性が生じる（以下、これを『見逃し』と呼ぶ）。運転規制の見逃しは安全性の面から、空振りによる不要な運転規制は利便性の面から、その割合を少なくすることが求められる。

今回は、JR 用上下動加速度が閾値を超過した一方で、JR 用水平 2 成分合成加速度値が 40gal を超過しなかった場合を運転規制の空振りとし、JR 用水平 2 成分合成加速度値が 120gal を超過したにもかかわらず JR 用上下動加速度が閾値を超過しなかった場合を運転規制の見逃しと定義する。ここで、JR 用水平 2 成分合成加速度値 120gal とは、一般的に鉄道構造物に被害が出る下限値とされる計測震度 4.5 に相当するものとして、鉄道総研が提案している換算式を用いて求めた値である。

運転規制の空振りと見逃しの検討を行なうための JR 用上下動加速度の閾値を、図 4 の相関図に基づき、10gal、15gal、20gal、25gal、30gal と仮に定め、それぞれの場合の空振りと見逃しの割合を確認した。その結果を表 1 に示す。表 1 には、比較のために、SI 値と JR 用 3 成分合成加速度値についての空振りと見逃しの割合も併せて示す。この際、SI 値のしきい値は 3.0kine、3.5kine、JR 用 3 成分合成加速度のしきい値は 40gal とした。表より、閾値を小さくすると運転規制の空振りの割合が増え、閾値を大きくすると見逃しの割合が増えることが分かる。したがって、閾値を設定する際には、空振りと見逃しの割合が双方なるべく小さくなるように適正な値を考える必要がある。

表 1 各地震動指標による空振りと見逃しの割合

	JR用上下動加速度					SI値		JR用3成分 加速度
	10gal	15gal	20gal	25gal	30gal	3kine	3.5kine	40gal
空振りの割合(40gal) N=3419	37.8%	7.0%	1.6%	0.7%	0.4%	32.5%	19.9%	1.1%
見逃しの割合(120gal超過) N=616	1.0%	3.7%	14.0%	21.9%	32.3%	0.0%	0.0%	0.0%

4.2 迅速性

次に、JR 用上下動加速度について、運転規制判断の迅速性に関する検討を行った。ここでは迅速性が強く望まれる、沿線近傍で発生する比較的大きな地震を仮想ターゲットとし、震央距離が 50km 以内で、かつ地震動が到達してから 1 秒以内に JR 用水平 2 成分合成加速度が 40gal を超過するデータについて、JR 用上下動加速度が閾値を超過するまでの時間を求めた。今回、JR 用上下動加速度の閾値は 20gal、SI 値の閾値は 3.0kine、JR 用水平 2 成分合成加速度の閾値は 40gal、JR 用 3 成分合成加速度の閾値は 40gal とした。図 5 に、各指標が閾値を超過するまでの時間と、その平均値（図中の大きいシンボル）を示す。

図 5 より、閾値を超過するまでの平均の時間は、JR 用上下動加速度を用いた場合が最も早く、現在運転規制判断に用いられている JR 用水平 2 成分合成加速度に比べても、平均値で 0.3 秒程度早く閾値を超過することが分かる。ただし、個々のデータを見ると、JR 用上下動加速度より

も他の地震動指標値の方が早く閾値を超過する場合もある。また、表 1 より、JR 用上下動加速度の閾値を 20gal とした場合の運転規制の見逃しの割合は 14.0%であり、無視できない程度の割合であることも分かる。この際、JR 用上下動加速度の閾値を小さくすれば、より早く閾値を超過するようになり、さらに運転規制の見逃しの割合も減るが、同時に空振りの割合も増加するという問題が発生する。したがって、より早く、かつ確実に運転規制を行なうためには単一の地震動指標の利用だけでは限界があることが分かる。

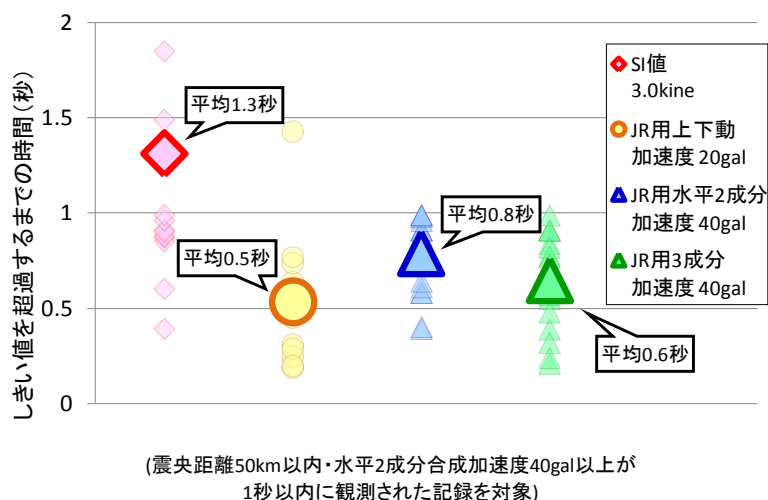


図 5 各地震動指標が閾値を超過するまでの時間

以上を鑑み、空振りの割合の少ない閾値を設定した JR 用上下動加速度と、従来の閾値を設定した JR 用水平 2 成分合成加速度を組み合わせ、どちらかの指標が閾値を超過した際に運転規制を行うことが効果的な対応方法と考える。この方法により、空振りを最小限に抑えつつ、一つの手法のみを用いた時よりも確実に早く、見逃しのない運転規制の判断を行うことが期待できる。

5. まとめ

鉄道の直近で発生した地震に対して安全性を向上させることを目指して、より迅速に列車の運転規制を行なうための判断手法についての検討を行った。その結果、地震動の上下成分に注目した地震動指標を用いることで、より迅速な運転規制の判断を行なえることが分かった。さらに、従来から用いられている JR 用水平 2 成分合成加速度の閾値超過による判断手法と、新しい上下動成分指標値による判断手法とを組み合わせ、どちらかの指標が閾値を超過することを判断基準とすることで、より早くかつ確実に運転規制を行なえるようになることが期待される。ただし、新しい指標値を実際の運転規制判断に用いる場合には、運転規制の空振りや見逃しなどを考慮に入れた閾値の設定を行なうことに加えて、列車振動など地震以外のノイズによる影響についての事前の検討が必要である。

参考文献

- 1) 東田進也, 小高俊一, 芦谷公稔: 早期検知における新しい地震諸元推定方法, 鉄道総研報告, Vol.16, No.8, pp.1-6, 2002
- 2) 他谷周一, 中嶋繁, 下野五月: 単独観測点での早期震度予測手法, 日本地震学会秋季大会講演予稿集, pp.310, 2008