

沿線地震計による地震警報に関する一考察

東海旅客鉄道㈱ 他谷 周一、中嶋 繁、荒鹿 忠義

1. はじめに

東海道新幹線の地震防災システムは、遠方で発生する大地震の早期検知を目的とした「早期地震警報システム（TERRA-S：テラス）」と、沿線での実際の揺れを把握することを主目的とした「沿線地震計」とで構成される（図1）。遠方地震計をはじめとする早期地震警報システムの部分については、これまでに何度か報告^{1) 2)}しているので、詳細は既往の文献に譲ることとし、本文では沿線地震計による地震警報機能について、警報発信を早めるための当社の取り組みをご紹介します。

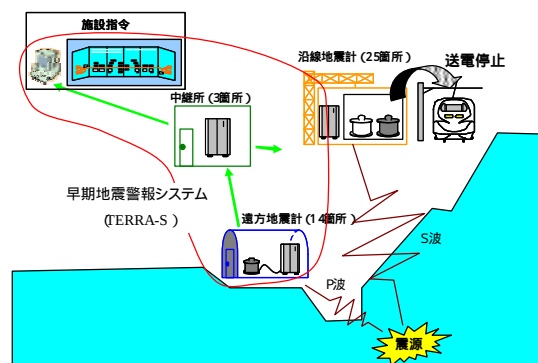


図1 東海道新幹線地震防災システムの構成

2. 沿線地震計の概要

沿線地震計は、沿線約20km間隔で25箇所を設置され、1箇所あたり、電気式と機械式の2種類の地震計を設置している。電気式（図2）は表示用地震計とも言い、東海道新幹線では、昭和60年より設置されているものである。電気式は水平合成加速度が40galを超えたことを検出すると、列車への送電を停止するための制御出力を行う。感度特性は、高周波成分の影響を除去するため、高周波側コーナー周波数を5Hz³⁾としている。



図2 電気式沿線地震計（左：処理装置 右：センサ）

機械式（図3）は制御用感震器とも言い、東海道新幹線では、開業直後の昭和40年より設置されている。機械式は電気式同様、水平合成加速度が40galを超えたことを検出すると、制御出力を行う。感度特性は当初高周波側のコーナー周波数を10Hzとしていたが、感度特性を変更し、7Hzに下げる改良³⁾をしている。



図3 機械式沿線地震計（内部）

3. 警報判断指標

前述のとおり、機械式も電気式も警報判断指標は水平合成加速度を使っている。最終的な最大加速度で見た場合、上下動の大きさはあまり寄与しないということ、機械式が開発された昭和40年代の技術では、上下動を計測できる地震計は非常に高価であったということ、の2点から、沿線地震計での警報判断は水平合成加速度で行うものと定められた。その後、技術は進化し、上下動を計測できる地震計も安価になったが、特別な必要性が見出されなかったため、最近まで警報判断指標は水平合成加速度のままであった。

4. 警報基準値

機械式導入当時、警報基準値を40galとした理由は、過去の文献⁴⁾によると、1)1つの感震器の担当区間内の施設物が損傷する最低の加速度である。2)地震の主要動と初期微動の関係から感震器自身の性能を考慮して設定。3)感震器自身の機械的誤差を考慮することによる。とされている。すなわち、警報の早期性を考慮しつつ、震度1や2といった小さな地震に対しては作動しないようなレベルで、かつ感震器自身の性能の許す限り低い値として、40galという値を設定したことが伺える。電気式の基準値についても、基本的な考え方は同様である。

5. 成分数と警報の早期性の関係について

水平合成加速度と3成分合成加速度とで、同じ閾値とした場合、上下動を評価している分、3成分合成加速度の方が先に閾値を超えるであろうことは想像に難くない。しかし、地震波が到達してから、水平なら何秒で、3

キーワード：地震、地震警報、地震計、地震防災システム、最大加速度

連絡先：〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-9-1 東海旅客鉄道㈱ Tel(03)5218-6269

成分なら何秒で閾値を超えるか、という定量的な議論はこれまでになされたことはなかった。そこで今回、震央から地震計が近く（30km 以内）最終的に震度 5 弱となるような K-NET 地震波形 58 波形を使用し、各波形での地震波到達からある閾値（今回は 40gal）を超えるまでの時間を求めてみた。なお、本解析を行う前に、各波形について、高周波側コーナー周波数を 5Hz とするデジタルフィルタ処理を実施している。解析の結果、水平よりも 3 成分合成の方が概ね 1 ～ 2 秒ほど警報タイミングが早くなり、特に地震計から震央までの距離が 10km 以下となるような直下型地震に対しては、その改善効果は大きく、3 成分化により、地震到達後概ね 2 秒以下、場合によっては 1 秒以下で警報が出るようになることが分かった（図 4）。また、水平と 3 成分とで、最終的な最大加速度値を比較すると、当然 3 成分の方が大きな値となるが、今回使用した 58 波形について、水平と 3 成分での最大加速度を比較した結果、その差は平均 1% に留まることが分かった（図 5）。

以上の検討結果から、警報発信レベルを 40gal のまま 3 成分化することで、警報回数を増やさずに早期性だけを向上させることができる、ということが分かった。

6. 閾値と警報の早期性の関係について

5 で得た知見から、3 成分化と閾値の引き上げとをセットにすれば、早期性を現状のままとし、警報回数を減らすこともできるのではないかと考え、閾値別に警報の早期性を検証する解析を行った。解析対象波形は 5 と同じ K-NET 地震波形 58 波形で、同じフィルタ処理を行っている。その結果が図 6 であり、3 成分の場合、閾値を 50gal まで引き上げても、水平 40gal の警報タイミングと同程度にすることができる。なお、図 7 によれば、閾値を 50gal に引き上げることで、警報回数は 2/3 程度に減らせる。

しかし当社では、この結果を踏まえた上で、最終的には、警報回数の低減よりも、警報時間の短縮の方を取ることとし、現在の沿線地震計は 3 成分加速度 40gal を超過した場合に警報が出る仕組みとした。

7. まとめと今後の展望

今回の検討により、特別なコストをかけることなく、沿線地震計による地震警報を早期化することができた。地震警報の更なる早期化については、現在、沿線地震計の増設に取り組んでおり、平成 18 年度末までに完了する計画である。この取り組みにより、地震計と地震計の中間で直下型地震が発生した場合に、従来よりも震源に近い位置に地震計があることになるため、最大約 1 秒地震警報を早めることができる。また、地震後のゆれ情報を詳細に得ることができるようになるため、地震後の安全確認時間の短縮も可能となる。

【参考文献】 1)他谷・他 東海道新幹線の早期地震警報システムの構築（土木学会年次学術講演会概要集 2005） 2)荒鹿・他 東海道新幹線の地震防災システムの機能強化について（JREA VOL.48 No.12 2005） 3)中村 国鉄における地震警報システム（鉄道技術 42-10 1985） 4)鉄道通信協会 気象情報総合監視システムに関する研究報告書（1971）

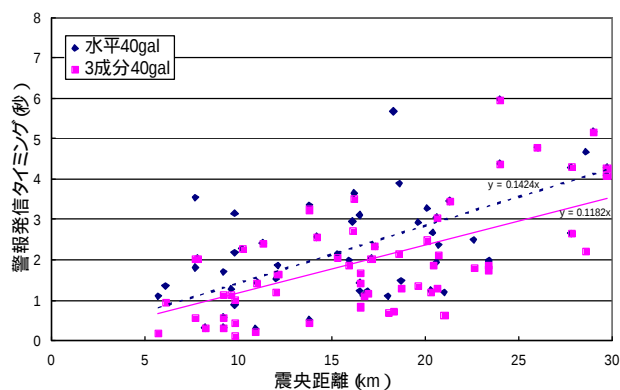


図 4 成分別震央距離と警報発信タイミングの関係

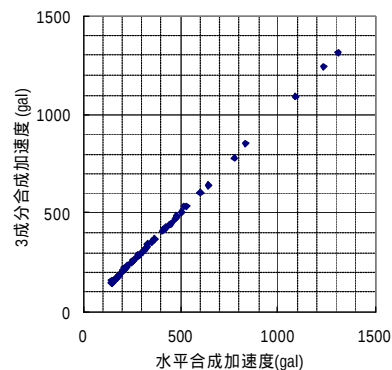


図 5 水平合成加速度と 3 成分合成加速度

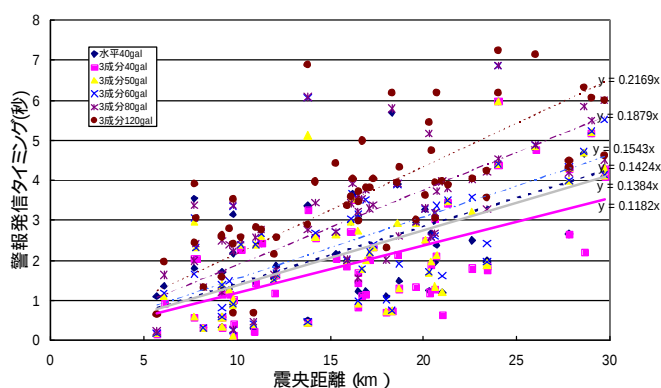


図 6 閾値別の震央距離と警報発信タイミングの関係

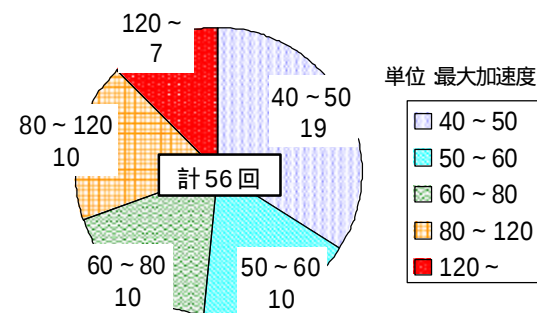


図 7 東海道新幹線沿線の最大加速度別警報回数
(1986～2004)