

## 5-2

# 鉄道における早期地震警報システム

芦谷公稔 ASHIYA Kimitoshi

正会員

(財) 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 研究室長

室野剛隆 MURONO Yoshitaka

正会員 博(工学)

(財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 副主任研究員

## 鉄道における地震警報システムの経緯

鉄道では、耐震設計や耐震補強により事前に地震動による鉄道施設の被害を最小限に止める対策を施すとともに、地震時には迅速に列車運行を制御し、列車走行に伴う事故を未然に防ぐことによって乗客の安全を確保することが使命である。

鉄道における地震時の自動列車制御システムは、東海道新幹線の開業とともに導入された。約 20 km 間隔で沿線に地震計を配し、その最大加速度値(主要動)を指標として警報の要・不要を判断していた。同様のタイプの警報システムは現在でも引き続き稼働している。その後、新幹線網が拡大し、列車のスピードアップが図られていく中で、より早い時点(初期微動)で警報判断を行う可能性が検討された。高速列車の場合、主要動が鉄道施設に到達する前に列車を減速させることができれば、事故率の低減に大きく寄与する。早期地震検知・警報システム(ユレダス)はこのコンセプトに基づいて開発されたものであり、1観測点単独のP波初動部数秒間のデータから、地震の位置や規模を推定し、その後の主要動による影響を判断するシステムである。

ユレダスが実用化され約10年になるが、近年、地震学が進展し早期地震検知に対する貴重な知見が蓄積されつつある。また、気象庁をはじめとする公的機関の地震観測網が飛躍的に整備され、その即時地震情報(ナウキャスト地震情報)や約1 km メッシ

ユの面的推計震度情報を配信しようという計画が進められている。そこで、現在、こうした最新の技術を応用した汎用的な早期地震警報システムの研究開発を気象庁と共同で進めている。

## 新システムの概要

図-1 に新システム全体のイメージ図を示した。活用する主な地震情報は、気象庁が配信を計画しているナウキャスト地震情報(全国約 180 か所の地震観測網による情報)および面的な推計震度情報(全国約 3 000 か所の計測震度計による情報)である。

### 列車制御システム

鉄道側では、逐次配信されるナウキャスト地震情報から鉄道施設への影響度合いを推定し、影響が及ぶ施設、また、その区間を走行している列車に対し、主要動が到達する前に警報を発信する。本システムではこの機能を担う部分を列車制御システムとよんでいる。ここでは、ナウキャスト地震情報の地震の位置と規模の情報から鉄道施設に影響を与えるエリアを即座に判断しなければならないが、これには現行のユレダスと同様に、過去の被害地震の事例を基に求めたマグニチュード M と震央から被害が及ぶ施設までの距離に関する経験式を用いている。

また、走行列車の制御方法は、列車運行システムに依存するが、現在試作しているプロトタイプシステムでは、列車制御が必要なエリアを判断(エリア制御)し、その情報をネットワーク内の任意の施設に配信できるように設計しており、さまざまな列車運行システムの列車制御に対して柔軟に対応できるようにしている。

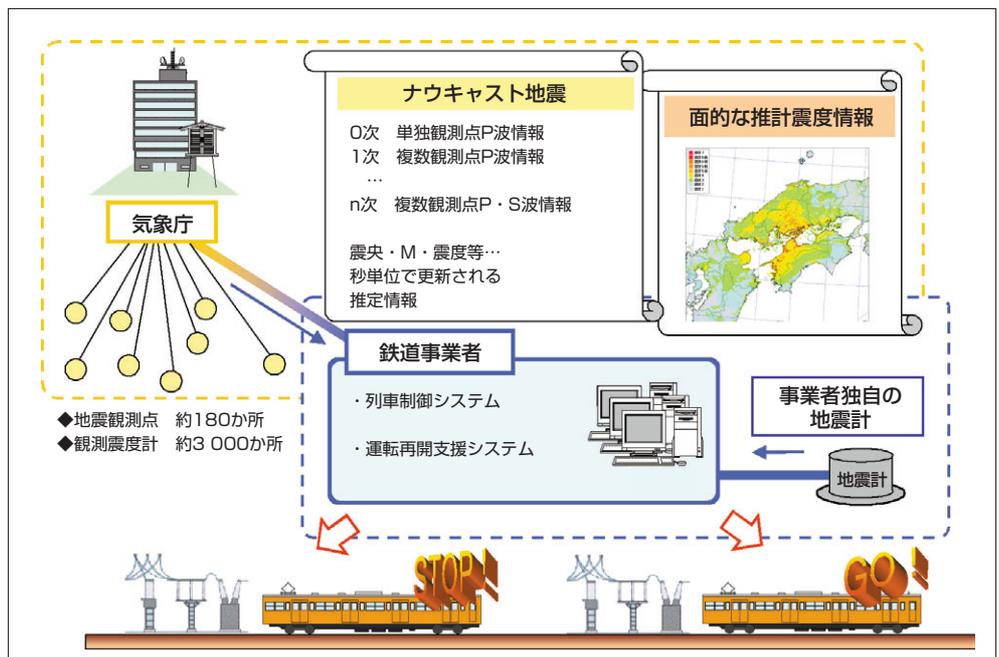


図-1 ナウキャスト地震情報および独自地震情報を活用した早期地震警報システムの概念図

## 運転再開支援システム

鉄道の場合、地震時の列車制御は常に安全側に判断して動作させるため、鉄道施設に重大な損傷が発生しない場合でも列車を停止することがある。この場合は、地震後、迅速に鉄道施設の安全を確認し、速やかに運転を再開することが鉄道の安定輸送にとって重要である。そこで、この運転再開を支援するためのシステムも合わせて開発している。

ここでは、まず第1のステップとして、気象庁が配信予定の約1 km メッシュの面的推計震度情報を活用し、鉄道施設への影響度合いを判断することを考えている。この情報のみでも、鉄道自前の地震動情報に比べて情報量は各段に増えるため、安全・迅速な運転再開への寄与は大きい。さらに、気象庁は、将来的には震度情報のみならず地震動の最大加速度や最大速度などの情報を付加して配信することを想定している。そこで、第2ステップとして、さらに詳細な構造物の被害推定を行うための検討を行っている<sup>1)</sup>。この中で、種々の地震動に対する1自由度系モデルの非線形応答解析の結果を、正規化周期(地震動の卓越周期/構造物の降伏周期)と正規化加速度(地震の最大加速度/構造物の降伏加速度)という指標を用いて整理すると、どのような地震動、構造物条件においても、被害の程度(応答塑性率で分類)が同一の曲線で分類できることがわかった(図-2)。この結果を、被害推定ノモグラムとして整理し、さらに、鉄道構造物の耐震性能に関する情報をデータベース化しておけば、個々の地震ごとに、構造物の被害ランクを個別に識別できるため、地震後の安全確認やそれに基づく列車運転再開等をよりの確に実施できるものと期待している。

### 早期警報用地震計

以上は、気象庁が配信する地震情報を活用した新しい警報システムの概要であるが、すでに自前の地震観測点を有している場合は、この観測点にP波検知機能(ここでは、単独観測点のP波初動部数秒のデータから地震の概略の位置と規模を推定する機能のことを意味する)をもたせ、気象庁の情報と相互補完的に活用することで、さらに早期地震警報のレベルアップを図ることができる。そこで、P波検知機能を備えた新しい地震計も試作している<sup>2)</sup>。

ここで用いているP波検知のアルゴリズムは、P波振幅のエンベロープ(包絡線)の傾きが、地震の規模によらず伝播距離に依存するという特徴を適用している<sup>3)</sup>。この特徴を定量化するために、地震波エンベロープに関する数式  $Bt \cdot \exp(-At)$  ( $A, B$  は未知パラメータ,  $t$  はP波到着時を基準にした時間) をフィッティングさせ、初動部の振幅の傾きに対応するパラメータ  $B$  から震央距離を推定し、得られた震央距離とP波初動部の最大振幅値からマ

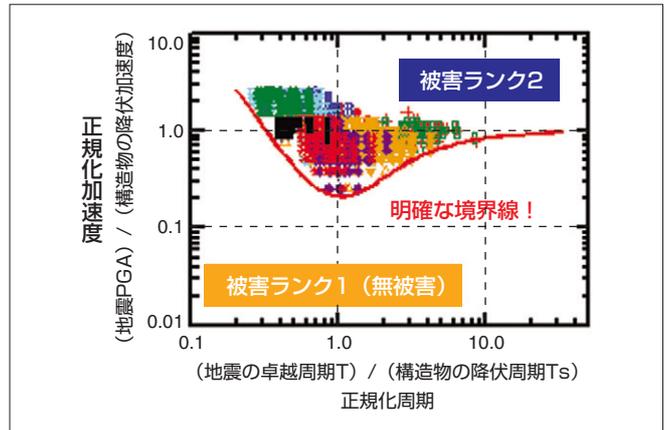


図-2 橋梁・高架橋の地震時被害推定ノモグラム

種々の地震動、構造物条件に対して非線形応答解析を行い、得られた応答塑性率が1~2のケースを被害ランク2(軽微な被害)に分類し、正規化周期・正規化加速度の図にプロットした。印の違いは地震動もしくは構造物条件の違い、中被害や大被害についても同様なノモグラムが作成できる。



写真-1 早期警報用地震計の試作機(左から速度計, 加速度計, 処理装置)

グニチュードを推定している。この手法は気象庁のナウキャスト地震情報でも採用される予定である。

また、地震計の演算処理部には組み込み型OSを用いて大幅な小型化を実現しているほか、並列処理を行うことにより処理動作の安定化を図っている(写真-1)。

## 今後の計画

現在、新システムのプロトタイプにより検証試験を行っている。また、2003年秋からは気象庁からの実データを用いた常時稼働試験を実施する予定である。

### 参考文献

- 1- 室野剛隆・芦谷公稔: 早期被害予測のための鉄道構造物の地震被害ランク推定方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.16, No.8, pp.7-12, 2002.8
- 2- 佐藤新二・他谷周一・芦谷公稔: 新しい地震諸元推定アルゴリズムを用いた警報用地震計の開発, 鉄道総研報告, Vol.16, No.8, pp.13-16, 2002.8
- 3- 東田進也・小高俊一・芦谷公稔: 早期地震検知における新しい地震諸元推定法, 鉄道総研報告, Vol.16, No.8, pp.1-6, 2002.8