

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

ネットワークを活用した 早期地震警報

新幹線に代表される鉄道の早期地震警報システムでは可能な限り早く警報を出力するため、沿線の地震計の情報だけでなく、沿線から離れて配置された地震計や他機関の地震情報などを通信ネットワークを経由してリアルタイムに活用しています。ここでは、新幹線の早期地震警報システムを対象に、海岸地震計の情報、気象庁の緊急地震速報、防災科学技術研究所（以下、防災科研）の海底地震計の情報など、通信ネットワークを介して送信されるさまざまな地震情報の活用効果とその利用の仕組みについて紹介します。

はじめに

鉄道では、地震による被害を最小限におさえるために、構造物、軌道、車両などハードウェアの地震対策とともに、ソフト的な地震対策として早期地震警報システム¹⁾が利用されています。早期地震警報システムは、地震発生時に地震計が観測した地震動を素早く解析し、その地震が鉄道に被害を与える可能性があるかと判断した際に、自動的に警報を出力し、速やかに列車を停止させるものです。

複数の地震計の情報を即時的に活

用して効果的な早期地震警報を行うために、通信ネットワークはシステムの構成要素として不可欠といえます。図1 (a) に新幹線の早期地震警報システムの基本構成と情報の流れを示します。これは、沿線の変電所に設置された沿線地震計が自ら地震波を検知し、運転規制の要否を判断した後、変電設備にき電停止信号を送信する最もシンプルなものです。図1 (b) にこれを拡張した構成と情報の流れを示します。この構成では、沿線地震計がシステム内のほかの地震計や他機関の地震



山本 俊六
Shunroku Yamamoto
鉄道地震工学研究センター
地震解析研究室
室長
[専門分野] 地震工学



岩田 直泰
Naoyasu Iwata
鉄道地震工学研究センター
地震解析研究室
主任研究員
[専門分野] 地震工学



是永 将宏
Masahiro Korenaga
鉄道地震工学研究センター
地震解析研究室
副主任研究員
[専門分野] 地震工学



野田 俊太
Shunta Noda
鉄道地震工学研究センター
地震解析研究室
副主任研究員
[専門分野] 地震工学

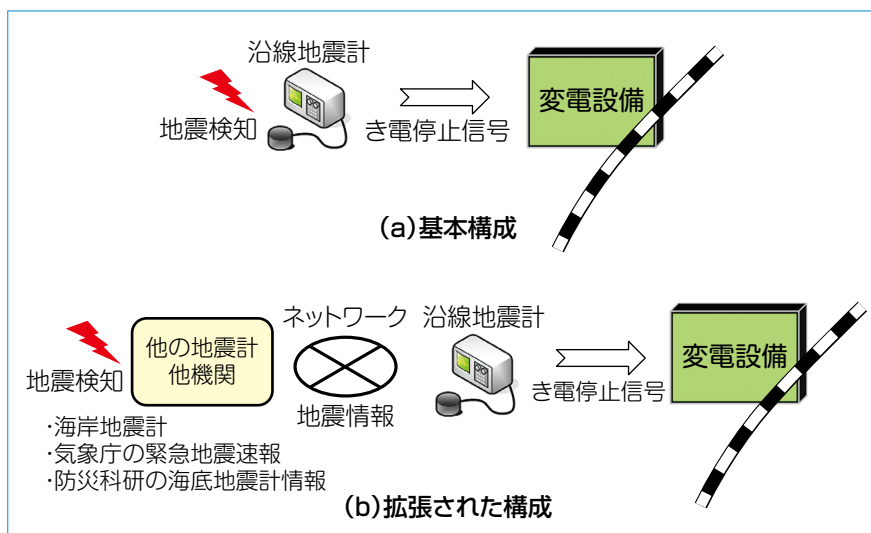


図1 早期地震警報システムにおける情報の流れ

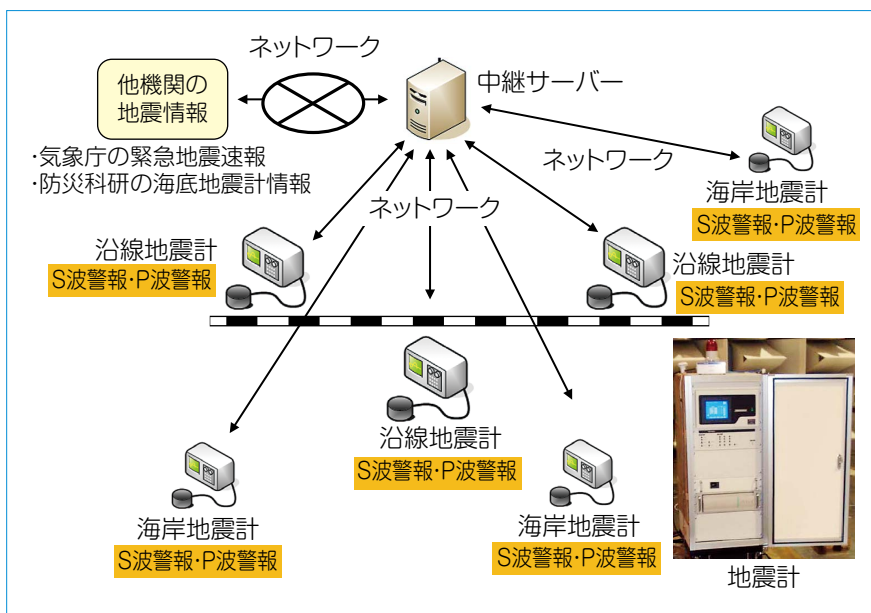


図2 早期地震警報システムの全体構成イメージ

情報を通信ネットワーク経由で受信し、運転規制の要否を判断した後、き電停止信号を送信するものです。ネットワークを活用した構成をとることにより、当該地震計が自ら観測した地震の情報だけでなく、ほかの地震計や他機関の地震情報を瞬時に利用することができるようになるため、さらに早期に警報を出力したり、システムの冗長性を高めたりすることが可能となります。

このように通信ネットワークは、早期地震警報システムの性能や信頼性を向上させるために重要な役割を果たしています。ここでは、新幹線の早期地震警報システムの概要を紹介した後、システムにおいて、現在通信ネットワークを経由して活用されている3種類の情報（海岸地震計の情報、気象庁の緊急地震速報、防災科研の海底地震計の情報）を対象に、活用効果や利用の仕組みについてそれぞれ説明します。

早期地震警報システムの概要

図2に新幹線の早期地震警報システムの一般的な全体構成イメージを示します。システムは沿線地震計、海岸地震計、中継サーバーから構成されています。

沿線地震計は、おもに沿線付近で発

生する地震を早期検知して、運転規制の要否を判断し、変電所にき電停止信号を送信する役を担い、通常、線路に沿って10～20km間隔で設置されています。この地震計は地震後に点検の要否を判断するために、揺れの最大値を記録する目的でも利用されています。

一方、海岸地震計は図1(b)に示したように、海域の地震など線路から離れた場所で発生する地震を早期に検知して、その情報を沿線地震計に伝達するために設置されています。この地震計は海岸線付近だけではなく、陸域の地震を対象に内陸部に設置されることもあります。

上記の各地震計は通信ネットワークで接続されていますが、中継サーバーはネットワークの要として各地震計の情報を中継して地震情報を伝達する役割と、気象庁や防災科研の地震情報（緊急地震速報や海底地震計の情報）をシステム内に取り込む役割もっています。

また、早期地震警報システムは上記のシステム構成のもと、2種類の警報により沿線地震計が運転規制の判断を行います(図3)。ひとつは、地震計で観測された地震動の振幅があらかじめ定められた規定値を超過したかどうか監視するものです。これをS波警報と

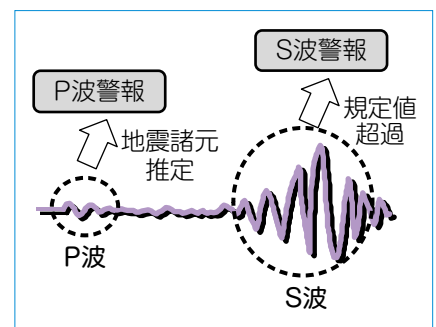


図3 S波警報とP波警報

よびます。もうひとつは、観測されたP波の初動部から地震諸元（震央やマグニチュード）を推定し、沿線で被害が発生する可能性が高いかどうか判断するものです。これをP波警報とよびます。

以上のように、沿線の地震計が自ら観測した地震の情報だけでなく、通信ネットワークで接続された海岸地震計や気象庁や防災科研の地震情報をあわせて利用し、さらに2種の警報で監視することで、より早くより確実な運転規制を目指しています。

海岸地震計の情報の活用

はじめに、早期地震警報システムにおける海岸地震計の情報の活用について説明します。

前章で述べたように海岸地震計は、線路から離れた場所で発生する地震をより早く検知することを目的に設置されています。その効果は海岸地震計と線路の離隔の長さで評価可能です。たとえば、図4に示したように海岸地震計が線路から約70km離れた場所に設置されている場合、沿線地震計のみを利用するケースと比較して、地震波の伝搬速度(参照)を考慮すれば、S波

地震波の伝搬速度

地震波が岩盤内を伝わる速度。地震波の種類や岩盤の物性によっても異なりますが、一般に疎密波として伝わるP波の伝播速度は毎秒5～7km、せん断波として伝わるS波の伝播速度は毎秒3～4km程度です。

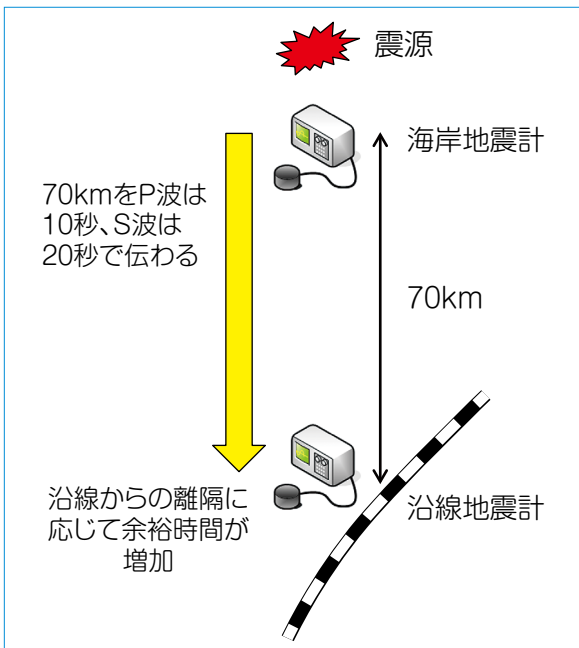


図4 海岸地震計の効果

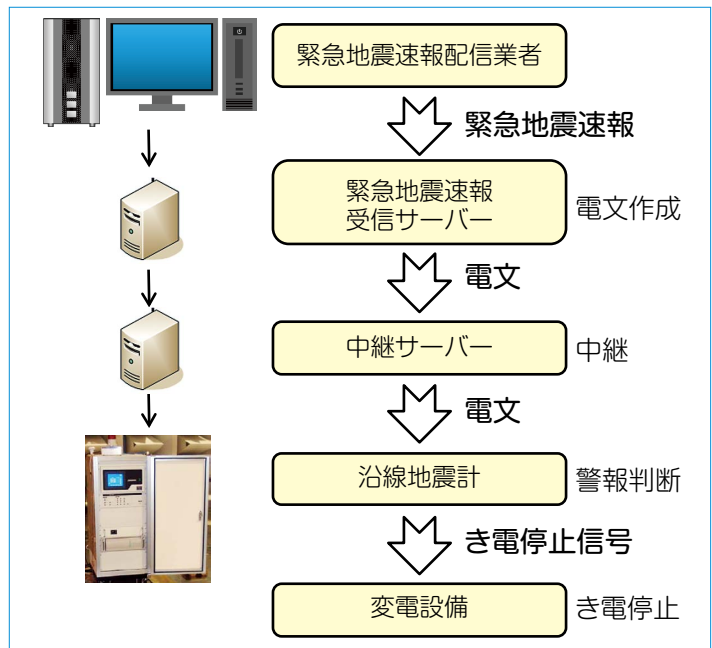


図5 緊急地震速報の活用のしくみ

で約20秒、P波で約10秒早く地震波を検知することが可能です。このように距離が長くなるほど警報のもつ余裕時間(☞参照)が長くなります。地震発生後のきわめて短い時間内で地震を検知し運転規制の判断を行う早期地震警報システムにとって、10～20秒程度の余裕時間の増加は、きわめて効果的といえます。

また海岸地震計は沿線地震計に比べてより静かな設置環境を選ぶことが可能です。その結果、P波の検知率を向上させたり、P波警報の精度を高めたりすることが可能となります。

一方、各地震計間で情報を伝達するためには、情報通信に関するプロトコルやフォーマットを統一する必要があります。このため、必要な情報をコンパクトにまとめ効率よく伝送できる仕様を整備しました²⁾。現システムではすべての情報電文がこの仕様に従って作成され、伝送が行われています。

以上のように沿線付近で発生する地

☞ 余裕時間

早期地震警報システムにおいて、システムが警報を発してから、対象地点にS波が到達するまでの時間。

震に対して効果を発揮する沿線地震計と線路から離れた場所で発生する地震を対象とした海岸地震計をネットワークを介して組み合わせることにより、早期地震警報システムの総合的な性能が大きく向上します。

気象庁の緊急地震速報の活用

緊急地震速報は気象庁や防災科研が全国展開した約1000点の地震計の記録を、気象庁がリアルタイムに集約・解析し、地震諸元や震度を推定して即時に公開するものです。公開される情報は、“警報”と“予報”に分類されます。“警報”は最大震度5弱以上が予測される場合に1地震につき基本的に1回発表されるもの、“予報”はさらに小さな地震(揺れ)も対象に加え、より多くの情報を1回の地震について複数回発表するものです。鉄道の早期地震警報システムでは、上記のうち情報量の多い“予報”を利用しています。

緊急地震速報活用のメリットとして、a) 早期地震警報システムの地震計が設置されていない領域で発生する地震に対してより早く警報を出せる可能性があること、b) 複数の地震計情報を使って分析することから、より正確な

警報を出せる可能性があること、などがあげられます。

一方で、緊急地震速報では、一般に複数の地震計が地震波を検知するまで情報が出力されないため、単独地震計で処理をする早期地震警報システムと比較して警報時間がやや遅れる傾向があります。ただし、より安全側の運転規制を行うために情報源の多様化、冗長化は重要であり、緊急地震速報を利用する価値は高いと考えます。

図5に鉄道の早期地震警報システムにおける緊急地震速報活用の例を示します。システムでは受信した緊急地震速報を前章で述べた電文の形に変換し、中継サーバー経由で沿線地震計に送信します。この電文を沿線地震計は、システム内のほかの地震計からの情報と同様に扱い、より早い情報を用いて警報判断を行います。

防災科研の海底地震計の活用

太平洋プレート、フィリピン海プレート沈み込みの影響を受け、日本列島周辺ではしばしば海域で巨大地震が発生します。このような地震を早期にとらえて、速やかに運転規制をかけるためには、海底に設置された

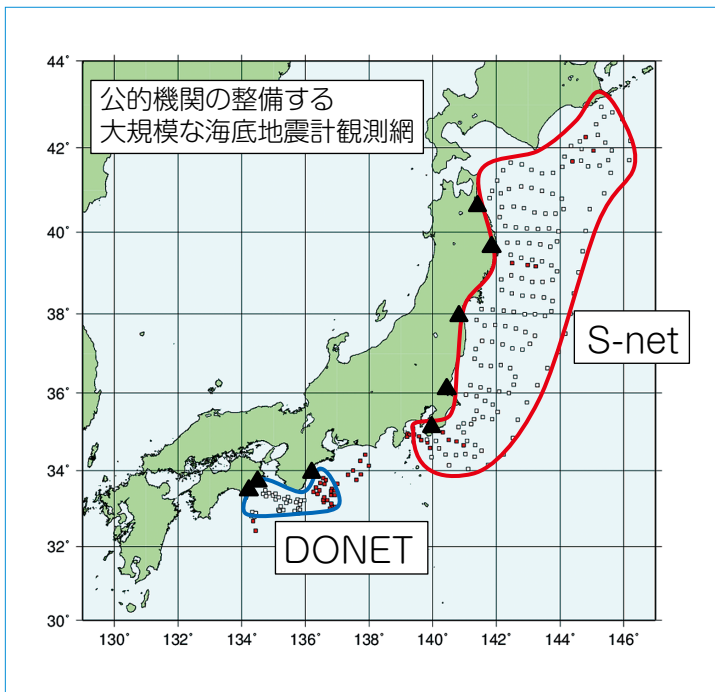


図6 海底地震計観測網の整備状況

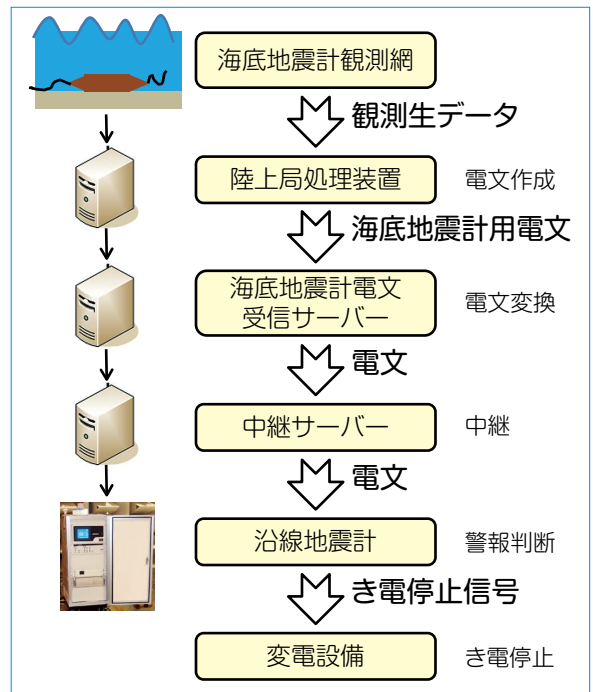


図7 海底地震計情報の活用のしくみ

地震計情報を利用することが理想的といえます。ただし、これまで早期地震警報でを使用することを前提に海域に設置された地震計はごくわずかで、鉄道では直接これらの情報を使って地震警報を出力していませんでした。

このような状況のもと、近年、海洋研究開発機構や防災科研が南海トラフ周辺や日本海溝周辺を対象に大規模な海底地震計観測網 (DONET, S-net) の整備を行いました (図6)。DONETでは約50点、S-netでは約150点の地震観測点が設置されて海底ケーブルで接続されています。これらの観測点のデータはリアルタイムで陸上に送信されます。これを鉄道の早期地震警報システムが直接活用することができれば、海域で発生する地震に対する警報の余裕時間を大幅に増加させることが期待されます。

以上の背景から、鉄道事業者、鉄道総研、防災科研は連携をとりながら、上記の海底地震計観測網のデータを新幹線の早期地震警報システムで活用する仕組みづくりを進めてきました。その結果2017年11月より、一部の新幹線の早期地震警報システムで房総沖の

海域のS-net情報を用いた運転規制が開始されています³⁾。

海底地震計情報の活用における情報や処理の流れを図7に示します⁴⁾。海底地震計のデータは防災科研の陸上局内の処理装置で、鉄道用の地震動指標に変換され、海底地震計用電文として鉄道の海底地震計電文受信サーバーに送信されます。上述の受信サーバーは、この電文を常時監視し、規定値超過が確認された場合に沿線地震計宛てに電文を送信します。この電文を受け、沿線地震計がき電停止信号を送信することにより、最終的に海底地震計データによる運転規制が可能となります。

おわりに

ここでは鉄道の早期地震警報システムの概要と現在システムで活用されているさまざまな地震情報について、通信ネットワーク活用の観点から紹介しました。通信ネットワークを経由して多様な地震情報を利用することにより、警報の余裕時間を増加させたり、システムの冗長性を高めたりすることが可能となります。地震のように発生予測が困難で変化に富む特性をもつ自然現

象を対象とする場合、さまざまな情報を用いた多重防護の概念はシステム設計上重要と考えます。

今後も鉄道の早期地震警報システムの性能と信頼性のさらなる向上を目指して、個別の処理方法の即時性・精度をこれまで以上に高めるとともに、利用する情報の多重化も考慮したシステムの開発を進めて行きたいと考えています。【RRR】

文献

- 1) 岩橋寛臣, 岩田直泰, 佐藤新二, 芦谷公稔: 早期地震警報システムの実用化, 鉄道総研報告, Vol.18, No.9, pp.23-28, 2004
- 2) 佐藤新二: 地震防災システムにおける新たな情報通信方法の提案, 鉄道総研報告, Vol.21, No.1, pp.43-48, 2007
- 3) 防災科学技術研究所, 鉄道総合技術研究所, 東日本旅客鉄道, 東海旅客鉄道, 西日本旅客鉄道: 海底観測網データが初めて鉄道の地震防災対策に活用開始へ, プレス発表資料, 2017
- 4) 宮腰寛之, 山本俊六, 祇園昭宏, 神山真樹, 他谷周一, 渡辺篤, 功刀卓: 鉄道の早期地震警報への海底地震計情報活用に向けたデータ処理, 鉄道総研報告, Vol.29, No.1, pp.35-40, 2015