

衛星放送を利用した移動体用の 緊急地震速報受信装置の開発

是永 将宏* 岩田 直泰* 芦谷 公稔**

Development of an on-board Earthquake Early Warning Receiving Unit using Satellite Broadcasting

Masahiro KORENAGA Naoyasu IWATA Kimitoshi ASHIYA

We have developed an on-board Earthquake Early Warning receiving unit using satellite broadcasting, and have confirmed the reception performance and proper system action. As a result of the various tests executed by us, there has been detected nothing wrong with the basic technology, so, it is considered that we can put the developed device to practical use. In case the developed receiving unit is installed on a vehicle, the relevant information can be expected to be conveyed to train, without installup a ground equipment along the railway route. Although S band satellite broadcasting used for our tests has been stopped since March, 2009, this device can be made use of after restart the S band satellite broadcasting.

キーワード：緊急地震速報，移動体，衛星放送，列車制御，Sバンド防災放送，GPS

1. はじめに

緊急地震速報とは、地震波初動数秒間のデータから推定される震源位置や地震規模などの、気象庁から配信される地震情報である。鉄道では、この緊急地震速報を用いた早期地震防災システムの導入が進められている。鉄道で用いられている緊急地震速報システムの多くは、地上通信回線や衛星放送を通じて指令所などに設置されたサーバなどの受信装置で情報を受信し、地震の影響範囲を素早く判断したうえで、影響がある場合には列車無線などの方法により情報を伝達して列車を停止・減速させるという構成になっている^{1) 2)}など。

一方、地方の線区などでは、列車無線や防護無線と言った素早く列車に情報を伝達する手段がない場合がある。そのような線区において、走行する列車で緊急地震速報を直接受信することができれば、指令等から列車に対して情報を伝達するための設備が不要となり、低いコストで緊急地震速報システムを導入することが可能となる。そこで、Sバンド帯と呼ばれる周波数帯域を利用した衛星放送を用いて、走行する列車（移動体）で緊急地震速報を直接受信するためのシステムを試作し、営業列車での情報の受信試験を行なった。

なお、今回試験を行なったSバンド帯の衛星放送は、2009年3月をもって放送を停止している。そのため、今

回試作、試験を行なったシステムを直ちに実用化することはできないが、将来の放送再開を想定した実用化に向けた取り組みとして試験結果について報告を行なう。

2. 衛星放送波を用いた緊急地震速報の受信

2.1 緊急地震速報³⁾

緊急地震速報は、2006年8月から鉄道事業者等の特定利用者向けに先行配信され、2007年10月からは一般向けの配信が行われている。

緊急地震速報の概念図を図1に示す。このシステムでは全国に地震計が設置され、震源近傍の1つの地震計が地震波をとらえた直後から震源の位置や地震の規模などの地震情報の推定を開始し、地震の規模や予測される地震動の大きさがある基準を満たした段階で緊急地震速報の第1報を発表する。その後、時間が経過するとともに地震波をとらえる地震計の数が増え、推定の処理に用いるデータの数が増加することで、地震情報がより精度の高いものに更新され、第2報、第3報と逐次情報が発表される。

緊急地震速報のシステムでは、1つの地震計のデータで地震諸元を推定する手法として、B-Δ法などが用いられている。また、複数地震計の情報をを用いた推定方法として、テリトリ法、グリッドサーチ法、着未着法などがある。緊急地震速報の配信開始により、鉄道では、緊急地震速報を利用した早期地震防災システムの導入が進められている。このシステムは、地震発生直後に緊急地

* 防災技術研究部（地震防災）

** 防災技術研究部

特集：防災技術

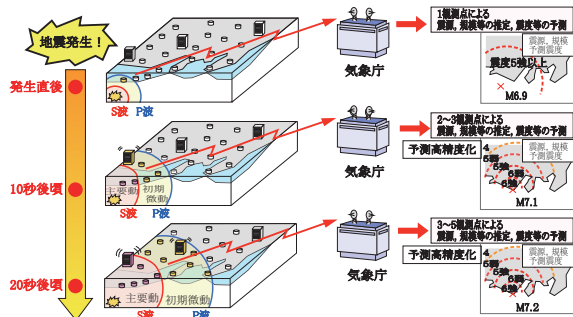


図1 緊急地震速報の概念 (気象庁 HP より)

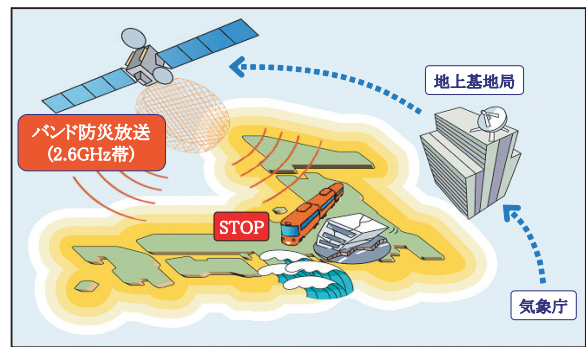


図2 Sバンド防災放送の概念

震速報を受信し、その地震諸元推定情報から、地震による鉄道の影響範囲と列車制御の要・不要を即座に判断して、列車を停止させるものである。この列車制御の判断方法として、過去の被害地震の事例から、マグニチュードと被害が発生する最大震央距離との関係式を用いる手法 (M- Δ 法⁴⁾)がある。また、加速度や震度の距離減衰式を用いて、マグニチュードと震央距離の関係から対象地点、線区の最大加速度や最大震度を推定し、その値があらかじめ定めた基準値を超えるか否かで列車制御の有無を判断する手法などもある。この判断方法は、地震後の安全確認の方法や従来の地震時の列車制御方法とも関係するため、各鉄道事業者が異なる判断方法を使用することもある。

2.2 Sバンド防災放送とGPS

Sバンド防災放送は、Sバンドと呼ばれる周波数帯域 (2.6GHz帯域) の衛星放送波を利用して緊急地震速報を配信するサービスとして運用されたものである。地上の放送センターから、人工衛星を通じて地上各所に送信されており、放送エリアは離島を含む日本全国をカバーしている (図2)。Sバンド波はBSやCSの衛星放送 (Kuバンドと呼ばれる、13GHz帯域) と比べて、長周期かつ高出力であるため、降雨などによる地上付近での信号の減衰が少なく、悪天候の影響を受けにくい。このため、鉄道、自動車、バス、船舶、飛行機などの移動体での受信が可能である。また、受信アンテナもBSやCSで用いられるようなパラボラアンテナは不要で非常に小型であり、受信装置が簡素化できるメリットがある。ビルの陰など、衛星からの電波が直接届かないところには、衛星放送波の再送信装置 (ギャップファイラー) を設置することも可能である。

このSバンド防災放送とGPSの位置情報を同時に受信することで、緊急地震速報と自らの位置をもとに、M- Δ 法や距離減衰式から自列車の地震に対する影響を評価し、列車制御の必要性の有無を判断することが可能となる。

3. 受信状況確認試験⁵⁾

3.1 受信装置の概要

まず、先行的な試験として、走行する営業列車でのSバンド防災放送とGPSの受信状態などの基礎的なデータ収集を行なった。

試験に用いた受信装置を図3と図4に示す。

受信装置は、Sバンド防災放送の小型受信アンテナ (マイクロアンテナ)、衛星放送受信機、防災情報処理・表示装置 (ノートPC)、GPSアンテナ、バッテリー、モニターからなる。これらの受信装置を営業列車最後尾の車掌室



図3 受信状況確認試験に用いた受信装置

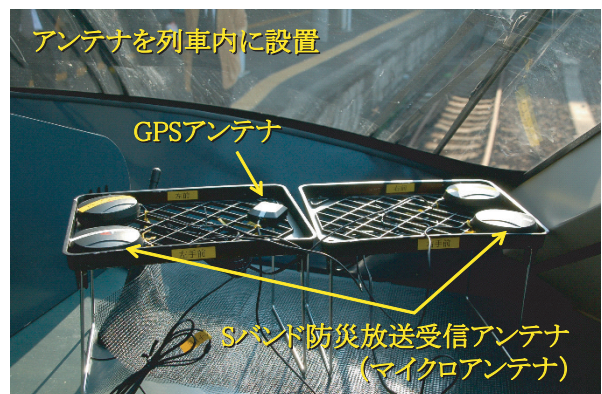


図4 受信状況確認試験に用いた受信装置 (アンテナ)

に設置した。アンテナは車内に設置しており、衛星放送波とGPSの信号を列車の窓越しに受信することになるため、アンテナを車外に設置する場合に比べて受信条件は悪いと考えられる。

3.2 試験の概要

試験は、営業列車において、片道約2時間の路線を2往復、計4行程で実施した。

試験を実施した路線は、平坦な地形の区間が長いが、断続的にトンネルが連続する区間も数か所ある。また、路線周辺には衛星放送波の再送信装置（ギャップフィルター）が設置されていないため、人工衛星から直接送信される電波のみを受信する状態にある。

本試験のために、模擬的な緊急地震速報を人工衛星から1分間隔で送信し、受信状況を確認した。同時に、GPSの受信状況についても1分間隔で確認を行なった。

表示装置の画面には、受信した地震位置とマグニチュード、および自列車が走行する位置を地図上に表示させた。また、受信した情報をもとに、震度の距離減衰式から、自列車の走行位置における予想最大震度と、主要動が到達するまでの余裕時間を演算して画面に表示させた。

3.3 試験結果

Sバンド防災放送とGPS信号の受信結果を表1～4に示す。

Sバンド防災放送の受信状況は、トンネルが連続する区間以外では良好であった。Sバンド防災放送を送信する人工衛星が南南東（東京での仰角は約45度）にあることから、列車が南南東に走っている時に最後尾になる車掌室で受信状況が悪くなるのが懸念されたが、影響は見られなかった。

また、GPSの受信状況については、平坦な区間では比較的良好であるが、トンネル連続区間ではSバンド防災放送の受信感度に比べて若干悪かった。この原因として、アンテナを列車内に設置したことが影響している可能性が考えられる。

4. 実用化を念頭に置いた受信試験

4.1 受信装置の概要

次に、実用化を念頭に置いたSバンド防災放送受信システムの基本仕様の検討を行なうために、受信装置を試作し、営業列車に搭載して検証試験を行なった。試験に用いた受信装置を図5と図6に示す。

受信装置は、Sバンド防災放送の受信アンテナ（マイクログアンテナと船舶用の受信アンテナ）、Sバンド防災放送受信機、GPSアンテナ、GPS受信ユニットからなる。Sバンド防災放送受信機は、受信アンテナの種類による受信感度の比較を行うために2台用意した。Sバンド防災放送受信機は、車両の起点方の運転台に設置し、受信アンテナおよびGPSアンテナは車外の屋根部分に治具で固定して設置した。装置の電源は列車内の電源から取った。また同時に、ログ取得用のノートPCと受信端末の表示を記録するためのビデオを設置した。

今回設置したSバンド防災放送の受信アンテナはダイバーシティアンテナとしても使用できる。ダイバーシティアンテナとは、受信機に複数のアンテナを接続し、受信状況の良いアンテナの信号を優先的に用いること等により、通信の質や信頼性の向上を図る仕組みのことである。比較のために、試験行程の途中でSバンド防災放送受信アンテナの設定を変更し、ダイバーシティアンテナ使用時と非使用時の受信感度についても確認した。

表1 受信状況確認試験結果（1往復目往路）

				受信率
往路1	Sバンド 防災放送	有効送信数	96	99.0%
		有効受信数	95	
	GPS受信確認回数		84	87.5%

表2 受信状況確認試験結果（1往復目復路）

				受信率
復路1	Sバンド 防災放送	有効送信数	76	100.0%
		有効受信数	76	
	GPS受信確認回数		65	85.5%

表3 受信状況確認試験結果（2往復目往路）

				受信率
往路2	Sバンド 防災放送	有効送信数	88	100.0%
		有効受信数	88	
	GPS受信確認回数		77	87.5%

表4 受信状況確認試験結果（2往復目復路）

				受信率
復路2	Sバンド 防災放送	有効送信数	83	100.0%
		有効受信数	83	
	GPS受信確認回数		72	86.7%

特集：防災技術



図5 試験に用いた受信装置

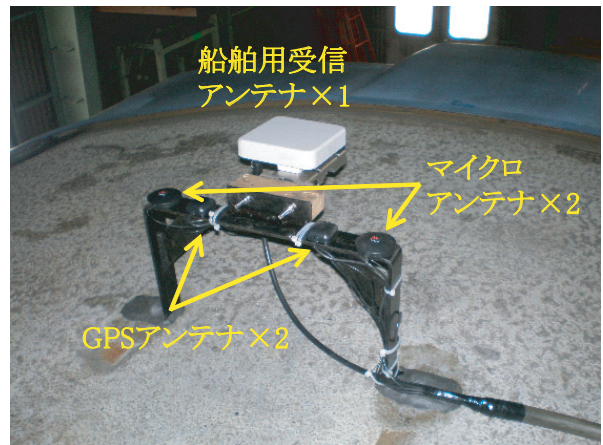


図6 試験に用いた受信装置（アンテナ）

4.2 試験の概要

試験は、営業列車において、片道約1時間の路線を3往復、計6行程で実施した。

試験を実施した路線は、平野から山間部を含む区間である。トンネルは一か所のみであるが、跨線橋が数か所ある。また、路線周辺には衛星放送波の地上再配信アンテナ（ギャップフィラー）が設置されている箇所がある。人工衛星のある南南東方向に山がある区間があり、ここでは受信アンテナが山影に入り、受信感度に影響を及ぼす可能性が考えられる。

本試験のために、2007年能登半島沖地震の際に実際に発表された緊急地震速報をもとにして、模擬的な緊急地震速報を作成し、人工衛星から送信した。2007年能登半島沖地震での緊急地震速報は、第1報が発表されてから地震情報が順次更新、発表され、最終的に発表された情報（最終報）までに計11回の地震情報が発表された（図7）。今回は、第1報から最終報（第11報）までを1セットとし、震央位置を補正して4パターン（パターンA～D）の模擬緊急地震速報を作成した。パターンAは2007

年能登半島沖地震時の実際の震央位置、パターンBは震央位置を試験実施路線内の主要駅に補正したもの、パターンC、Dは試験実施路線からそれぞれ北西側と南東側に約30km離れた場所に震央位置を補正したものである。

1往復目の往路は、パターンCの模擬緊急地震速報を1分間隔で繰り返し送信し、受信状況を確認した。1往復目の復路以降は、あるパターンの第1報から最終報までを3秒または5秒間隔で送信し、セットの間隔を20分空けて、1行程で3セットの模擬緊急地震速報を送信し、その受信状況を確認した。Sバンド防災放送の受信と同時に、GPSの受信状況についても確認を行なった。

受信機では、受信した地震情報と自列車の位置をもとに、震度の距離減衰式から、自列車の走行位置における予想最大震度と、主要動が到達するまでの余裕時間を算出する。4パターンの模擬緊急地震速報は、それぞれ路線（列車）からの震央距離が異なるため、算出される予測最大震度や余裕時間がパターンにより異なることになる。今回試作した受信機では、路線沿線での地盤の地震動増幅率をデータベース化して保持しており、GPSによる緯度経度情報から、列車が走行している場所の地震動増幅率を取得して計算を行なうことで、列車位置での最大予測震度をより適正に算出することを試みている。受信機画面には、受信した地震位置（震央の区域名）と、自列車の走行位置における予想最大震度、および主要動が到達するまでの余裕時間をカウントダウン形式で表示させた。また、予測最大震度に応じて受信機画面の背景色を変更し（例えば、計測震度4.5以上で背景色赤色）、より視覚的に危険性を伝えるように試みた。さらに、緊急地震速報受信時には受信機から音を出して危険性を伝えるようにした。

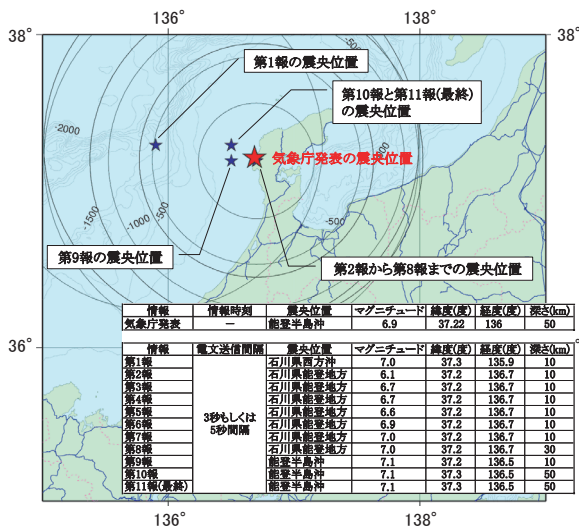


図7 2007年能登半島沖地震の際の緊急地震速報

4.3 試験結果

本試験でのSバンド防災放送の受信の有無と受信感度、およびGPSの受信状況の結果のうち、1往復目復路

表5 受信試験結果（1往復目復路）

【1往復目 復路】

試験装置:受信装置1

(船舶用アンテナ 1本:ダイバーシティアンテナ不使用)

緊急地震速報パターン	電文	電文送出時刻	地震情報受信	Sバンド防災放送受信感度	GPS受信	予測到達震度	備考
A1	第1報	10:42:00	○	×	○	1.8	ギャップファイラーの影響
	第2報	10:42:03	○	×	○	1.3	
	第3報	10:42:06	○	×	○	1.9	
	第4報	10:42:09	○	×	○	1.9	
	第5報	10:42:12	○	×	○	1.8	
	第6報	10:42:15	○	×	○	2.1	
	第7報	10:42:18	○	×	○	2.2	
	第8報	10:42:21	○	○	○	2.3	
	第9報	10:42:24	○	○	○	2.2	
	第10報	10:42:27	○	○	○	2.5	
	第11報	10:42:30	○	○	○	2.4	
A2	第1報	11:15:00	○	○	○	1.8	
	第2報	11:15:03	○	○	○	1.3	
	第3報	11:15:06	○	○	○	1.9	
	第4報	11:15:09	○	○	○	1.9	
	第5報	11:15:12	○	○	○	1.8	
	第6報	11:15:15	○	○	○	2.1	
	第7報	11:15:18	○	○	○	2.2	
	第8報	11:15:21	○	○	○	2.3	
	第9報	11:15:24	○	○	○	2.2	
	第10報	11:15:27	○	○	○	2.5	
	第11報	11:15:30	○	○	○	2.4	
A3	第1報	11:36:00	○	○	○	1.8	
	第2報	11:36:03	○	○	○	1.3	
	第3報	11:36:06	○	○	○	1.9	
	第4報	11:36:09	○	○	○	1.9	
	第5報	11:36:12	○	○	○	1.8	
	第6報	11:36:15	○	○	○	2.1	
	第7報	11:36:18	○	○	○	2.2	
	第8報	11:36:21	○	○	○	2.3	
	第9報	11:36:24	○	○	○	2.2	
	第10報	11:36:27	○	○	○	2.5	
	第11報	11:36:30	○	○	○	2.4	

表6 受信試験結果（1往復目復路）

【1往復目 復路】

試験装置:受信装置2

(マイクロアンテナ 2本:ダイバーシティアンテナ使用)

緊急地震速報パターン	電文	電文送出時刻	地震情報受信	Sバンド防災放送受信感度	GPS受信	予測到達震度	備考
A1	第1報	10:42:00	○	○	○	1.8	
	第2報	10:42:03	○	○	○	1.3	
	第3報	10:42:06	○	○	○	1.9	
	第4報	10:42:09	○	○	○	1.9	
	第5報	10:42:12	○	○	○	1.8	
	第6報	10:42:15	○	○	○	2.1	
	第7報	10:42:18	○	○	○	2.2	
	第8報	10:42:21	○	○	○	2.3	
	第9報	10:42:24	○	○	○	2.2	
	第10報	10:42:27	○	○	○	2.5	
	第11報	10:42:30	○	○	○	2.4	
A2	第1報	11:15:00	○	○	○	1.8	
	第2報	11:15:03	○	○	○	1.3	
	第3報	11:15:06	○	○	○	1.9	
	第4報	11:15:09	○	○	○	1.9	
	第5報	11:15:12	○	○	○	1.8	
	第6報	11:15:15	○	○	○	2.1	
	第7報	11:15:18	○	○	○	2.2	
	第8報	11:15:21	○	○	○	2.3	
	第9報	11:15:24	○	○	○	2.2	
	第10報	11:15:27	○	○	○	2.5	
	第11報	11:15:30	○	○	○	2.4	
A3	第1報	11:36:00	○	○	○	1.8	
	第2報	11:36:03	○	○	○	1.3	
	第3報	11:36:06	○	○	○	1.9	
	第4報	11:36:09	○	○	○	1.9	
	第5報	11:36:12	○	○	○	1.8	
	第6報	11:36:15	○	○	○	2.1	
	第7報	11:36:18	○	○	○	2.2	
	第8報	11:36:21	○	○	○	2.3	
	第9報	11:36:24	○	○	○	2.2	
	第10報	11:36:27	○	○	○	2.5	
	第11報	11:36:30	○	○	○	2.4	

表7 受信試験結果（3往復目復路）

【3往復目 復路】

試験装置:受信装置1

(船舶用アンテナ+マイクロアンテナ:ダイバーシティアンテナ使用)

緊急地震速報パターン	電文	電文送出時刻	地震情報受信	Sバンド防災放送受信感度	GPS受信	予測到達震度	備考
A1	第1報	17:23:00	○	○	○	1.8	
	第2報	17:23:05	○	○	○	1.3	
	第3報	17:23:10	○	○	○	1.9	
	第4報	17:23:15	○	○	○	1.9	
	第5報	17:23:20	○	○	○	1.8	
	第6報	17:23:25	○	○	○	2.1	
	第7報	17:23:30	○	○	○	2.2	
	第8報	17:23:35	○	○	○	2.3	
	第9報	17:23:40	○	○	○	2.2	
	第10報	17:23:45	○	○	○	2.5	
	第11報	17:23:50	○	○	○	2.4	
A2	第1報	17:44:00	○	○	○	1.8	
	第2報	17:44:05	○	○	○	1.3	
	第3報	17:44:10	○	○	○	1.9	
	第4報	17:44:15	○	○	○	1.9	
	第5報	17:44:20	○	○	○	1.8	
	第6報	17:44:26	○	○	○	2.1	
	第7報	17:44:31	○	○	○	2.2	
	第8報	17:44:36	○	○	○	2.3	
	第9報	17:44:41	○	×	○	2.2	跨線橋の影響
	第10報	17:44:46	○	○	○	2.5	
	第11報	17:44:51	○	○	○	2.4	

(パターンA)と3往復目復路(パターンA)のものを表5～8に示す。

ダイバーシティアンテナ使用時については、マイクロアンテナと船舶用受信アンテナのいずれの場合も、トンネルを除く区間でのSバンド防災放送の受信状況は比較的良好で、すべての地震情報を受信することができた。しかし一部の区間でSバンド防災放送の受信感度が悪化した。これは、路線南側にある山の影響や、線路をまた

表8 受信試験結果（3往復目復路）

【3往復目 復路】

試験装置:受信装置2

(マイクロアンテナ 1本:ダイバーシティアンテナ不使用)

緊急地震速報パターン	電文	電文送出時刻	地震情報受信	Sバンド防災放送受信感度	GPS受信	予測到達震度	備考
A1	第1報	17:23:00	×	×	○	—	ギャップファイラーの影響
	第2報	17:23:05	×	×	○	—	
	第3報	17:23:10	○	×	○	1.9	ギャップファイラーの影響
	第4報	17:23:15	○	×	○	1.9	ギャップファイラーの影響
	第5報	17:23:20	○	○	○	1.8	
	第6報	17:23:25	○	○	○	2.1	
	第7報	17:23:30	○	○	○	2.2	
	第8報	17:23:35	○	○	○	2.3	
	第9報	17:23:40	○	○	○	2.2	
	第10報	17:23:45	○	○	○	2.5	
	第11報	17:23:50	○	○	○	2.4	
A2	第1報	17:44:00	○	○	○	1.8	
	第2報	17:44:05	○	○	○	1.3	
	第3報	17:44:10	○	○	○	1.9	
	第4報	17:44:15	○	○	○	1.9	
	第5報	17:44:20	○	○	○	1.8	
	第6報	17:44:26	○	○	○	2.1	
	第7報	17:44:31	○	○	○	2.2	
	第8報	17:44:36	○	○	○	2.3	
	第9報	17:44:41	○	×	○	2.2	跨線橋の影響
	第10報	17:44:46	○	×	○	2.5	跨線橋の影響
	第11報	17:44:51	○	○	○	2.4	

ぐ高架による影響で、衛星放送波が受信し難かったためと考えられる。

また、ダイバーシティアンテナ不使用時のSバンド防災放送の受信状況については、使用時に比べて受信感度が悪化する傾向が見られた。これは、跨線橋による影響や、人工衛星からの直接波と地上のギャップファイラーか

特集：防災技術

らの再送信電波の干渉による影響のためと考えられる。

これらのことから、実用化に向けては、マイクロアンテナと船舶用受信アンテナのいずれの場合でも、ダイバーシティアンテナを使用することが望ましいと考えられる。また、事前に、運用区間の電波状況（ギャップフィルターによる干渉の影響など）を確認する必要があると考えられる。

GPSについても、跨線橋の箇所などで受信状況が悪い場合があったが、おおむね信号を受信できていた。ただし、トンネル区間などではGPS信号を受信できないため、より正確に列車の走行位置を把握するために、列車の速度情報の取得などのGPSによる測位以外の手法を補助的に導入することが望ましい。

また、受信装置に記録されたログより、受信したSバンド防災放送と列車の位置情報から予測震度の算出を行っていることを確認した。算出された予測震度の値を表5～8に示す。

以上のように、Sバンド防災放送とGPSは、移動する列車においてもおおむね良好に受信することができ、そのうえで列車位置における最大予測震度を適正に算出できることが確認された。また、試作した受信装置は、特段問題なく車両に設置することができ、約9時間の連続走行試験においても問題なく稼働することが確認された。

実用化に向けては、さらに受信装置の耐振動性の確認や、外部に設置する受信アンテナやケーブルの耐候性の向上などを検討する必要があるが、今回の試験結果から、列車上での情報受信や列車走行位置での予測震度算出などは、基本技術として実用化の目途が得られたものと判断する。

5. まとめ

Sバンド防災放送と呼ばれる衛星放送を利用して、走行する列車にて緊急地震速報を直接受信するための受信装置を試作し、試験を行なった。試験の結果、基本技術としては問題なく、実用化に向けた目途が立ったものとする。試験の結果をまとめると、以下の通りである。

- (1) Sバンド防災放送の受信感度は、トンネルなどを除く明かり区間ではおおむね良好である。
- (2) Sバンド防災放送の受信アンテナは、列車の屋根など車外に設置することが望ましい。また、受信感度を保つためには、ダイバーシティアンテナを使用することが望ましいと考える。
- (3) GPSについても、アンテナを車外に設置すれば、受信感度はおおむね良好であり、この条件においては、Sバンド防災情報と自列車位置の位置情報を用いた予測震度、余裕時間の算出や自列車への影響の有無

の判断は問題なく行えることを確認した。

- (4) 試作した受信装置は約9時間の連続走行試験においても問題なく稼働することを確認した。

また、実用化に向けたさらなる課題として、以下のようない事項があげられる。

- (1) トンネル区間などでは、Sバンド防災放送を人工衛星から直接受信することができないため、ギャップフィルターの設置などを検討する必要がある。
- (2) Sバンド防災放送を導入する線区においては、事前に受信状況を確認する必要がある。
- (3) 列車位置についてより正確さを求めるためには、GPS以外の手法と組み合わせて測位を行なう手法を検討する必要がある。
- (4) 列車内で長期間、安定稼働させるために、より耐久性に優れた受信装置を開発する必要がある。

今回の試験に用いたSバンド防災放送は、2009年3月から放送を停止している。しかしながら、列車無線など列車に自動で情報を伝える地上設備を持ち合わせていない路線などでの通信手段としての要望もあり、再開した場合には、今回開発した受信装置をプロトタイプとする機器の活用が期待される。

なお、本試験は国庫補助金を受けて実施した。

謝 辞

本試験に際してご指導ご協力いただきました関係各位に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 芦谷公稔, 大竹和生, 佐藤新二, 中村洋光: 緊急地震速報を活用した地震防災システムの実用化, 鉄道総研報告, Vol.19, No.10, PP.5-10, 2005
- 2) 芦谷公稔, 佐藤新二, 岩田直泰, 是永将宏, 中村洋光: 鉄道の地震警報システムにおける緊急地震速報の活用, 物理探査, 第60巻第5号, PP.387-397, 2007
- 3) 気象庁資料: 緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料, 2008
- 4) 中村洋光, 岩田直泰, 芦谷公稔: 地震時運転規制に用いる指標と鉄道被害の統計的な関係, 鉄道総研報告, Vol.19, No.10, PP.11-16, 2005
- 5) 岩田直泰, 芦谷公稔, 佐藤新二, 是永将宏: 営業列車を用いた人工衛星からの緊急地震速報の受信試験, 日本地震工学会・大会一梗概集 2007, PP.358-359, 2007