

## (129) 新幹線の新しい地震警報システム UrEDAS (ユレダス) について

国鉄・鉄道技術研究所 美藤恭久  
国鉄・鉄道技術研究所 中村 豊  
国鉄・鉄道技術研究所 富田健司

### 1. はじめに

新幹線の沿線には、地震時の旅客の安全を確保するため、ほぼ20kmの間隔で警報地震計が設置されている。地震の検知は40Gal以上の地震動加速度で行っているが、検知した地震の諸元が不明のため、地震後の対応は必ずしも適切ではない。しかし、東海道新幹線では、1985年6月より、沿線警報地震計による最大加速度と気象庁による各地の震度階とに基づいて検知地震の加害性を判断し、地震警報後の対応を合理的に行う方式に改めた。

ここでは、これまでの新幹線の地震警報システムの概要とともに、東海道新幹線の新しい地震警報システムの考え方と予想される効果などを述べる。

### 2. 東海道新幹線の地震警報システムの変遷

東海道新幹線への地震警報装置の設置が検討され始めたのは、開業前の昭和39年6月16日に発生した新潟地震直後の事である。地震計の機種、設置位置、起動レベルの設定などの検討を重ねた後、起動レベルを40Galにした器械式の警報地震計を図1に示す沿線25箇所の変電所に設置し、昭和40年11月に仮使用を開始した。機器動作後の運転取り扱い、機器の取り扱いなどのマニュアルを整備した上で昭和41年12月に正式に運用が開始された。その後これらの地点にはSMAC-B<sub>2</sub>型強震計が併設(昭和41年10月)され、80Galで起動する警報地震計が増設(昭和43年)されている。すなわち、今回のシステム更新以前の警報地震計システムは、40Gal用および80Gal用の警報地震計と波形記録用のSMAC-B<sub>2</sub>強震計から成っていた。

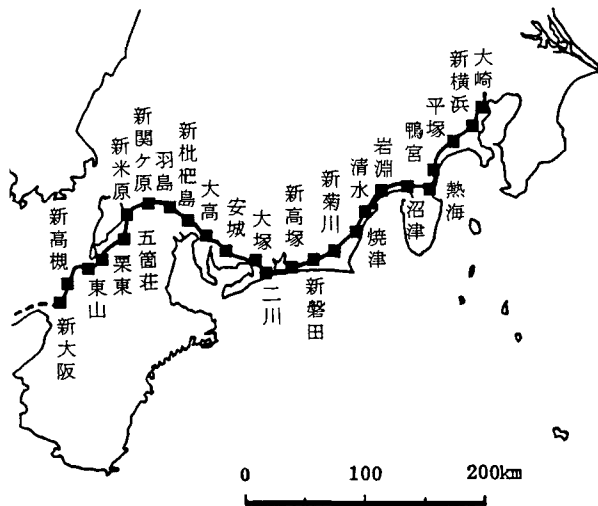


図1 東海道新幹線沿線の警報地震計設置地点

警報地震計の起動加速度40Galは、できるだけ早く警報を出したいが、不必要な警報は極力少なくしたいという原則的な考え方に則り、器械式地震計の精度、起動加速度の設定誤差などを考慮して定められた。また、警報加速度80Galは、震度階と加速度の対応関係によれば震度階IVと震度階Vの境界にあたり、鉄道被害が生じ始める地震動加速度に対応するとして設定された。

これらの警報地震計が動作した後の運転再開手順は当初、次のようなものであった。80Gal未満の地震動の場合には、係員が運転席に添乗して70km/hで徐行しながら軌道周辺に異常がないことを確認(添乗巡回)した後、160km/hで車体の異常動揺がないことを確認(車上動揺試験)してから210km/hの平常運転に復帰する。80Gal以上の地震動の場合には、係員が軌道周辺を歩きながら運転に支障がないことを確認(地上巡回)した後、添乗巡回、車上動揺試験を経て210km/hの平常運転に復帰する。

警報地震計が動作する地震は1年に5、6割の割合で発生しているが、この内、80Gal未満のものは2/3を超えている。上記の再開手順を実行すれば、80Gal未満の地震動の場合でも運転再開までには、1時間半(昼間)から3時間(夜間)程度を要する。しかし、少なくとも新幹線が経験してきた程度の地震規模の場合、80Gal未満の地震動では新幹線構造物が損傷する可能性は極めて低いことがわかってきた。そこで、警報地震計が80Gal未満の地震動を検知した場合の運転再開手順を昭和58年1月から改めた<sup>1)</sup>。これは、80Gal未満の地震動をもたらした地

震の加害性を調べた上で、添乗巡回の必要性を判断するものである。この場合、80Gal未満の地震動では地震被害はほぼ発生しないが、震央付近のみに影響を与えるような小さな地震が地震検知点（変電所）から離れた線路近傍に発生した場合には被害を受ける可能性があると考えた。警報地震計によって検知された地震が線路近傍に発生したものでどうかは、80Gal未満の地震動を検出した警報地震計の個数とこれらの地震計に近い位置にある気象庁測候所の震度階を用いて判断する。

今回の改正（昭和60年6月）は上述の改正の流れに沿ったものであり、その考え方は§4で述べる。

なお、山陽新幹線の警報システムは更新以前の東海道新幹線のそれと同様である。

### 3. 東北・上越新幹線の地震警報システム

東北新幹線沿線は東海道新幹線沿線にくらべて地震活動度が高い。したがって、東北新幹線の沿線の警報地震計は、東海道新幹線のものより多くの地震に対して警報を発することが予想された。さらに、東北新幹線の場合には、東北地方東方沖に発生する大規模地震群に対処するための海岸線検知点が8箇所設けられており、これらの検知点周辺の地震に対しても警報が出される。これらを考慮して、警報地震計が動作しても被害がないと判断される地震については、直ちに運転を再開して列車運行への支障を最小限度に抑えるようにシステムが設計されている。被害有無の概略判定を最大加速度で行うために、警報発令機能の他、地震終了後に最大加速度を表示・通報する機能を持つ警報地震計（表示用地震計）を採用した。上越新幹線も東北新幹線と同種の地震警報システムを採用している。

東北・上越新幹線は少なくとも200Gal程度までの地震動に耐えられるように耐震設計がなされており、検知点の警報地震計が80Gal未満を表示している時には、検知点と沿線地点の地震動増幅特性の相違を考慮しても、新幹線構造物にはなんら影響がないと考えてよい。しかし、地震警報が遅くならないように地震の検知は従来どおり40Galで行い、80Gal未満であった場合には直ちに210km/hの平常運転に復帰する。このような手順によれば、80Gal未満の場合、平常運転に復するのに5分程度を要するのみであり、東海道・山陽新幹線と比較して極めて短時間のうちに運転を再開することができる。このため、開業以来月平均1回以上警報地震計が動作しているにもかかわらず、列車運行にはほとんど支障していない。なお、80Gal以上120Gal未満の場合は添乗巡回を行い、120Galを超えた場合は地上巡回を行うことになっている<sup>1)</sup>。

### 4. 東海道新幹線の新しい地震警報システム

#### 4・1. 背景と基本的な考え方と予想される効果

前述のように東海道新幹線の旧警報地震計は昭和40年～43年に設置されたもので、既に20年近くを経過していた。このため警報地震計の更新が計画されたが、この際、運転再開のマニュアルも見直して新しく合理的なものに改めることとし、更新する警報地震計については、さらに将来的な地震警報システムへの発展を考慮した。

地震計更新に伴う新しい運転再開マニュアルの基本原則は次のとおりである。

- (1) 地震警報を遅くしないように、地震の検知レベルは従来どおり40Galとする。
- (2) 検知した地震の加害性を直ちに判断し、被害の可能性のある時には可能性に応じて巡回点検を行ない、被害の可能性がなければ速やかに運転を再開する。

検知地震の加害性の判断は、検知点での最大加速度ならびに沿線近傍にある気象庁測候所（または気象台）の震度階を用いて行う。この詳細は文献2)に譲るが、その基本的な考え方は次のとおりである。

まず、検知点とその受け持ち区間の地盤の地震動増幅特性の相違と、東海道新幹線の主要構造物が盛土であることを考慮して、検知点での最大加速度が120Galを超えた場合は危険と判断する。地震動が120Gal未満の場合には次のように考える。

鉄道地震被害の経験によれば、地震被害が生じる領域の震央を中心とした半径は、地震の規模によってある程度定まっていると考えられる。したがって、逆に検知した地震が警報対象（この場合は新幹線）を中心とした領域（地震規模によって定まる危険ゾーン）内に存在するかどうかで、その地震の加害性が判断できる。また、発表された最大の震度階がⅤ以上の地震（1898～1982、震源深さ $h \leq 40$ km）について、震度階を発表した地点の震央距離を震度階別に調査したところ、例えば、マグニチュード5.5から6.5の地震規模の場合、震度Ⅲと発表した地点を中心として半径40km以内には、最大震度階がⅤ以上になる地震は存在しなかった。このように震度階

発表地点を中心にして、発表震度階毎に危険地震の不存在範囲を推定することができる。この危険地震の不存在範囲が、動作警報地震計が受け持つ危険ゾーンを覆いつくせば、動作した警報地震計が受け持つ区間はその地震によって被害を受けていないと判断される。このような考えを東海道新幹線に適用した結果、警報地震計が動作しても、近接する新幹線沿線の気象庁測候所ないしは気象台の震度階が原則としてIII以下であれば、新幹線構造物は安全であることがわかった。

表1はこのような考え方でまとめられた新しい運転再開マニュアルである。

表2は、昭和44年3月から昭和58年12月までに旧警報地震計が動作した82個の地震に対して、これまでの運転再開マニュアル3種を適用した場合に、各種の再開手順に振分けられる地震の数と検知点の数を示したものである。地震毎の代表再開手順は、その地震で最も大きい最大加速度を検知した地点の運転再開手順とした。表2によれば、新型警報地震計が動作する地震の数はほぼ半減し、地上巡回を要する地震は1/3近くまで減少するなど、地震後の迅速な運転再開が期待できる。

表2 各種マニュアルによる運転再開手順の比較

旧警報地震計の加速度		80Gal以上		80Gal		40Gal以上	
当初マニュアル		地上巡回 3 3 (6 7)		添乗巡回 4 9 (1 4 3)			
山陽新幹線 現行マニュアル 1983年1月から		地上巡回 3 3 (6 7)		添乗巡回 震度階≧IV 1 2 (6 6)		70km/h再開 震度階≦III 3 7 (7 7)	
UrEDASの加速度		120Gal		80Gal		40Gal以上	
東海道新幹線 現行マニュアル 1985年6月から	地上巡回 震度階≧V又は 120Gal以上 1 2 (1 6)	部分巡回 震度階=IV 4 (1 3)	30km/h再開 震度階≦III 7 (1 1)	30km/h再開 震度階≧IV 8 (4 2)	70km/h再開 震度階≦III 1 5 (4 9)		

注) 数字 (数字) は各手順に属する地震 (検知点) の数。UrEDASが40Gal未満のもの: 3 6 (7 8)

表1 新しい運転再開マニュアル

		最大加速度		
		40Gal以上	80Gal以上	120Gal以上
JMA* 震度階	III以下	70km/h再開	30km/h再開	地上巡回
	IV	30km/h再開	部分巡回	
	V以上		地上巡回	

\* ) 正しくは各検知点毎に定められた判定表を用いる。

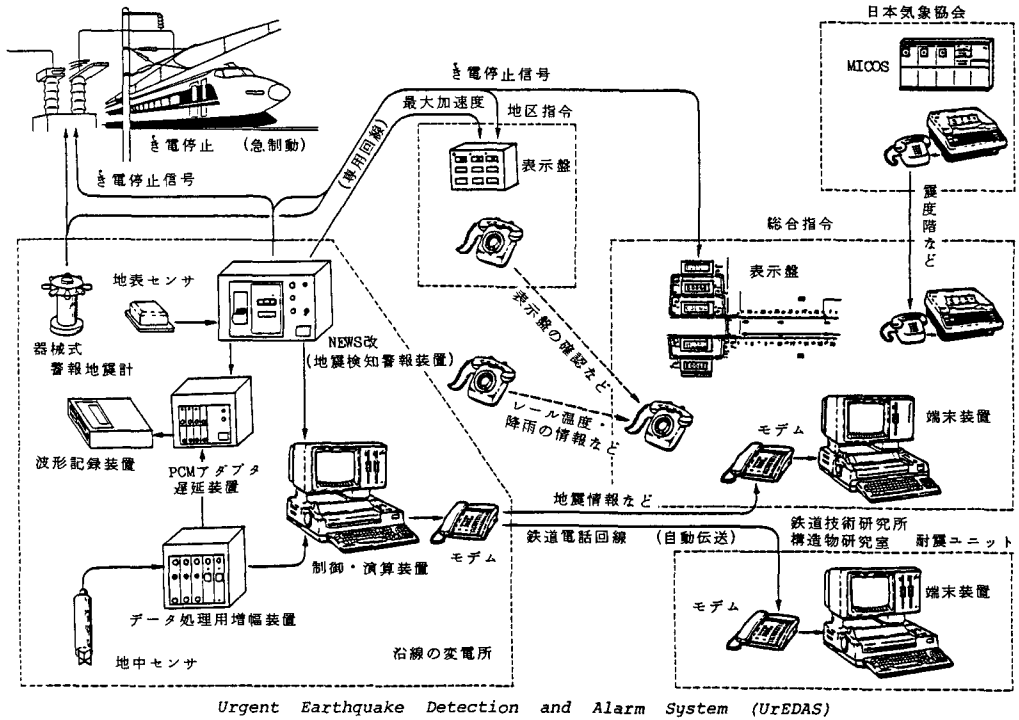
#### 4・2・新しい警報地震計システムの構成

変電所の地震計が捉えた地震動は前後20km区間の地震動の代表と考えている。地震動は表層地盤の影響を強く受けているので、変電所地点の地震動の代表性を検討するにはこの20km区間の表層地盤の地震動特性を知る必要がある。東海道・山陽新幹線沿線の表層地盤については、建設時のボーリングデータに基づいて地域区分を行い、それぞれの地震動特性を検討した。この時得られた地震動特性はボーリングデータに基づく推定で、推定の妥当性については観測などにより確認することが問題点として残されていた。全区間について確認観測することはできないが、地震検知の拠点となる変電所においては表層地盤の地震動特性を観測によって把握し、推定結果と比較する必要があると考え、N値50以上の基盤と考えられる地盤内と地表面において地震を同時観測することとした。地震警報は地表地震計の最大加速度に基づいて発令する。

地表と地中それぞれ3成分ずつの地震動波形とタイムコードなど計8成分の波形を、40秒の遅延回路を通してVTRデジタルデータレコーダ(16ビットA/D変換器使用)に記録している。なお、警報は0.1~5Hzで平坦な特性の加速度出力を使用し、記録する波形は0.1~10Hzで平坦な特性の加速度出力である。警報に前者を用いるのは、高い周波数成分を含む人工的な振動ノイズや小地震をいたずらに検知しないためである。

地表の警報地震計による40Gal以上の警報と地震計システムの故障信号は専用回線を用いて総合指令に表示され、これらの情報と最大加速度は専用回線を使って地区指令に表示される。総合指令への最大加速度の通報なら

びに故障内容の通報は鉄道電話回線を経由して自動的に行われる。以上が東海道新幹線に新しく設置した警報地震計の主な機能で、図2がこれを模式的に表したブロック図である。



Urgent Earthquake Detection and Alarm System (UrEDAS)

図2 UrEDAS のブロック図

地震被害が生じる可能性のある地域は、震央を中心とした領域でおおまかに表せる。もちろんこの領域の大きさは地震の規模によって異なるが、この地域だけに警報が出せれば合理的な地震警報となる。このためには、検知した地震の規模、発生位置(震央、深さ)などを推定する必要がある。また、地震警報はできるだけ早く出すことが重要である。このような機能を実現するために、国鉄では、地震の早期検知システムを研究している。この詳細は別途報告するが、システムをパソコンで構成することが可能になったので、地中地震計の出力を鉄道電話回線の通信制御に用いるパソコンに入力して早期検知システムを動作させ、システムが検知した地震情報については最大加速度などとともに鉄道電話回線を通じて鉄道技術研究所に通報させることとした。今回の地震警報システムの名前である UrEDAS (ユレダス) は、Urgent Earthquake Detection and Alarm System (早期地震検知警報システム) に由来する。

### 5. おわりに

ここでは昭和60年6月から運営を開始した新しい地震警報システム UrEDAS の概要を述べた。UrEDAS は山陽新幹線にも採用される予定である。UrEDAS は発展する地震警報システムであり、盛り込まれた機能が発揮されるようになると新幹線のみならず、広く一般の地震警報システムとして役立つものと考えられる。UrEDAS がこれから収集するデータを分析して、より良い警報システムに育てていくつもりである。UrEDAS の動作状況については適宜報告していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 新幹線運転研究会編:「新版 新幹線」、日本鉄道運転協会、PP. 79-86、1984年10月。
- 2) 美藤・中村・富田:「東海道・山陽新幹線のための地震時ダウンタイム短縮化対策」、鉄道技術研究報告No. 1294、1985年3月。