



## 新幹線の対震列車防護装置について

石沢 應彦\*, 望月 迪男\*\*, 芦田 雄太郎\*\*\*  
Masahiko ISHIZAWA Michio MOCHIZUKI Yutaro ASHIDA

### 1. まえがき

周知のように、日本は世界でも有数の地震国である。なかでも東海道メガロポリスと言われる地域は、相模湾付近、東海道沖、南海沖などいわゆる日本列島の地震の巣と呼ばれる震源の密集分布地域に接し、今日まで多数の地震の発生が記録されている。この東海道メガロポリスに昭和39年10月新幹線が登場して以来今日12年目を迎える。この間1人の乗客の人命をも失うことなく、すでに利用乗客数は10億人、列車の走行距離は約3億5000万km(地球と月を約450往復)に達するまでに急成長し、現在1日列車本数250本、1日利用客(東京～博多間)50万人を運ぶ日本列島の大動脈の役割りを果たしている。読者にとって、210km/hの高速運転を行う新幹線が地震に対してどのように安全を保証しているかという問題は関心の深いところであろう。この誌上において、地震時の安全に関してどのような装置が設置されているか、また開業以来今日までの地震に対して採られた対策ならびに実績などについて概要を紹介することとしたい。

### 2. 対震列車防護装置について

一般に地震動に対処する鉄道防災の方法には、次の3種類があると考えられる。

- (1) 地震動自体を制御する。
  - (2) 地震動に抵抗し得るように土木構造物など地上施設の強度を確保する。
  - (3) 地震時に装置の機能を一時的に制御する(列車を緊急停止させる)。
- (1)の方法は現在ではまだ実現され得ない。(2)の

方法は構造物の設計段階に震度法により強度をチェックされているが、複雑な地震動に現実に遭遇したときに耐え得る破壊の限度は必ずしも明確ではない。しかしながら、経済性の範囲において耐震強度をできる限り強めることが重要であるの言うまでもない。(3)は地震動を初期の微動においてはあくし、その情報にもとづいて列車走行という機能を一時的に制御(列車停止)する方策であり、新幹線において初めて採用されることになった。国鉄において、地震時に最高速度210km/hの高速運転にある新幹線の安全を確保するために、地震検知と同時に可能な限り早く列車を自動的に停止させることが決定されたのは昭和39年6月16日に発生した新潟地震の直後であった。このとき検討された列車制御システムは、線路構造物の被害に結びつく地震動の大きさを即時に判断する性能を有する特殊な地震計から制御信号を送り、制御信号出力と変電所のしゃ断器とを連動させて、キ電を停止し、列車に非常制動をかけるという内容であった(東海道対震列車防護装置)。当時、制御用感震器と言われるものは、原子力発電所の原子炉本体に取付けられたものがある程度であったが、国鉄では新たに改良を行い、AJA-2形制御用感震器を開発し、東京大学生産技術研究所に性能試験などについての研究を委託した。性能試験に続いて昭和40年8月から制御用感震器の設置工事を行い、同11月から対震列車防護装置として使用することとなった。

### 3. 制御用感震器について

**3・1 水平動加速度地震計** 地震動のもつ種々の性質(振幅、周期、継続時間、方向)がどのくらいの規模になったときに線路構造物にどのような震災が生じるかを定めることはきわめて困難ではあるが、構造物は地盤動の上下動よりも水平動に起因して破壊されるとされているところから制

\* 正員、日本国有鉄道新幹線総局(〒100 東京都千代田区丸の内1-6-5)。

\*\* 日本国有鉄道施設局。

\*\*\* 日本国有鉄道新幹線総局。

御用感震器として使用する地震計は水平動加速度タイプのもので結論された。加速度比例の出力が得られる地震計としては、加速度形振り子に検出接点を設ける方式を採用したがこの方式は振り子の固有周波数が高く長周期大振幅の地震動まで使用可能で低サイクルの性能がよい。また電気式に比べて故障が少なく、高周波の振動に対して感度が下がっているため雑振動による誤動作防止性能がよいなどの利点をもつものと思われる。

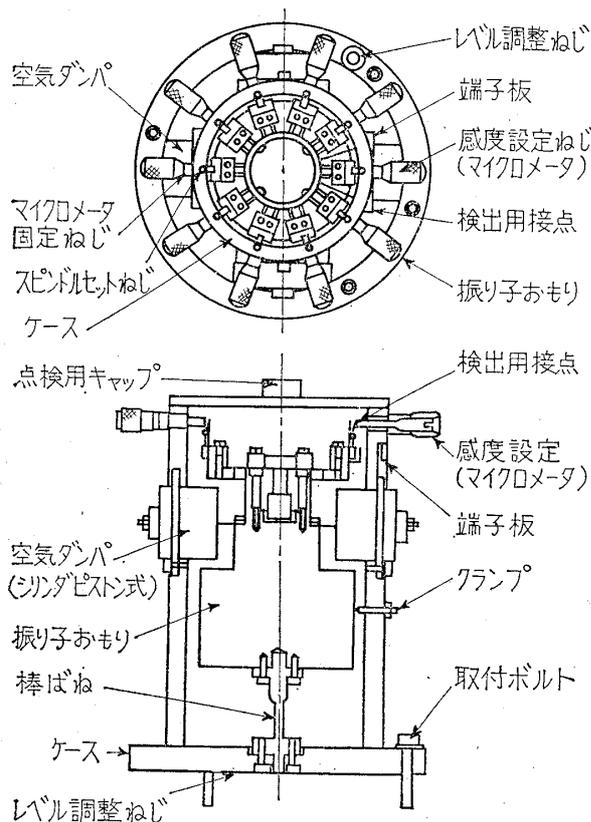


図 1 制御用感震器

AJA-2形の構造は、地震の方向を全く予想できないために、水平全方向に自由に動くことのできる等方性倒立振り子を使用している。振り子の上には 10 個の検出接点を等間隔に設けて方向性の誤差を最少限にしている。またこの全方向形振り子に対しては、どの方向の動きに対しても均一な制動力のかかる減衰器が必要であり、これを実現するために特殊な空気減衰器を設計している (図 1)。

**3・2 周波数および設定加速度の範囲** 構造物に被害を生じる地震動は通常 10 c/s までと考えられているが、加速度計振り子ではこの周波数範囲において  $\pm 10\%$  程度の精度を有する。また機械式加速度計の場合、設定加速度範囲は機械的な限界 (たとえば振り子固有振動数、振り子拡大倍率、検出接点の間隔などの限界) や、減衰器の能力によって決まるが、AJA-2 形では 40~300 gal の範囲である。制御用感震器として使用するにあたっては、検出接点の間隔を調整することにより、この間の任意の加速度値に設定することができる。

**3・3 制御回路など** 感震器の検出接点が閉じたときの信号を一定時間自己保持し自動復帰する機能に対応してトランジスタとリレーの組合せ回路が付属している。

以上、制御用感震器の構造の概要を述べたが、新幹線における実用のシステム (対震列車防護装置) を図式化したものが図 2 である。新幹線東京~博多 (約 1069 km) の沿線約 20 km ごとに 48 箇所ある変電所ならびにキ電区分所内に AJA-2 形制御用感震器 (加速度設定値 40 および 80 gal) 2 個と、地震記録用の SMAC 形強震計 (SMAC

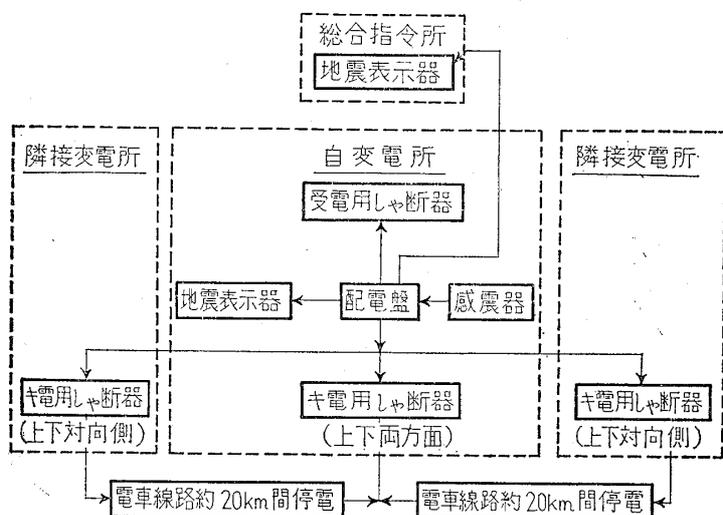
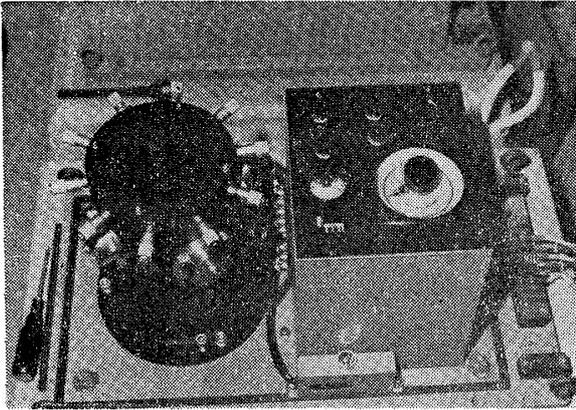


図 2 新幹線対震列車防護装置のシステム

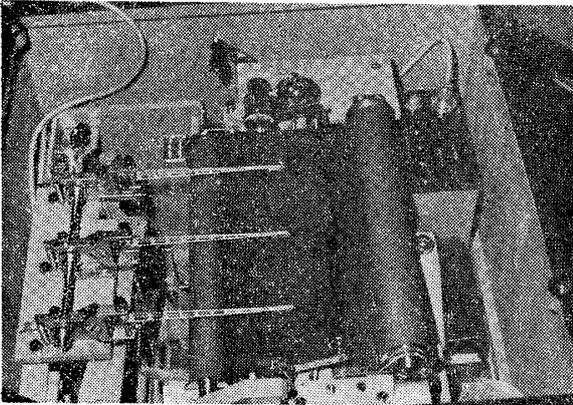
とは Strong Motion Accelerometer Committee の略) 1 台が格納される建屋 (耐震ハット) がある (図 3, 4, 5)。感震器すえ付けのための基礎は、変電所の原地盤に約 2 m 貫入する鉄筋コンクリートくいで支持する厚さ約 1 m のコンクリート (0.5 m は地盤内に入れる) であり、原地盤の地震動に連動して感震器が作動することを期待している。地震動が 40 gal に達すると感震器が作動して、リレーを介して制御信号を発する。この信号を受けて自変電所ならびに両側の隣接変電所のしゃ断器は解放され、約 40 km 間の線路が停電する。停電と同時に列車には非常制動が作動して列車は停



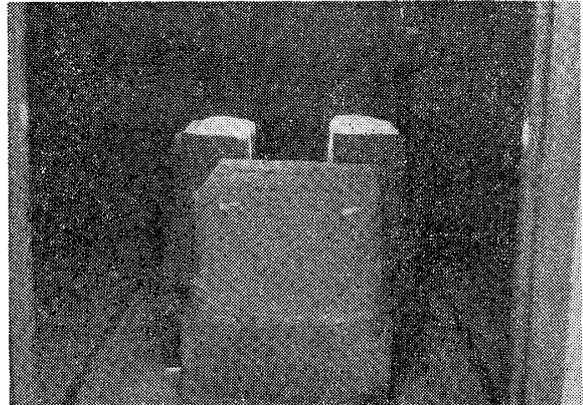
(a) 制御用感震器内部



(a) 対震ハット外観



(b) 強震計内部



(b) 対震ハット内部（向こう側感震器2台，手前側強震計）

図 3 制御用感震器および強震計

図 4 対震ハット



図 5 新幹線制御用感震器 (AJA-2 形) および強震計 (SMAC 形) 配置図

止する。また、総合指令所には地震発生とその区間の情報が伝達され表示することとなっている。なお、80 gal 感震器が作動したときも、その発生が総合指令所に伝達される。40 gal 感震器だけが作動した場合は、停電5分間経過後地震動の終了を確認して列車運転を再開し、定常の運転に復帰することになっている。しかしながら、80 gal 感震器が作動したときは、線路などに異状が発生していることも危ぐされるので線路、電気などの地上保安職員が所要の区間を目視巡回する規則になっており、点検により異状のないことを確認したのち列車運転を再開する。

#### 4. 対震列車防護装置の実績

昭和40年設置以来今日まで(昭和51年3月)の感震器作動の実績を表1に示す。SMAC形強震計による主要な地震動の記録は表2に示す。

80 gal 感震器が作動する場合は、隣接変電所の感震器が作動するケースが多いが、局所的な地震では一変電所だけが単独に作動する。平均すれば、80 gal 以上の地震動は6箇月に一度発生している。昭和40年11月以来80 gal 以上の地震動は15回であり、このうち7回の地震動は、2箇所以上の変電所において80 gal 以上が記録された(表2)。新幹線の震害の最大のものは、対震列車防護装置設置以前の昭和40年4月20日に静岡県大井川河口を震源とするM(マグニチュード)=6.1の地震があり、静岡鉄道管理局庁舎内のSMAC形強震計が110 galの加速度を記録したときに発生した線路および築堤の変状である(軌道狂い20 mm, 路盤沈下80 mm, 橋りょうのブロック高欄倒壊90 m)。このときは、送電線などの障害により、受電用しゃ断器が自動しゃ断となり停電したために列車に対する支障は発生しなかった。表2に示すように、地震動の最大値は昭和49

年5月9日下田沖地震のときの沼津変電所の217 galである。この地震動のP-S時間(地震動の初動から主要動までの初期微動継続時間)は8.8 sで、卓越周期は0.3 sであった。このとき線路にわずかな軌道狂いが生じた。地震動により線路などの地上設備に異状が発生したことは、今日までこの2回である。

対震列車防護システム運営上現在の問題点の一つは、80 gal 感震器作動時に行われる地上巡回に時間を要する(1回あたり所要時分の平均値150分)のために、地上巡回の間列車が現地に停車することである。このために、輸送障害が大きくなり、混乱が連鎖的に波及することになる。これに対しては、過去の地震時の地上巡回の技術経験を生かして、地上巡回の方法の能率化をはかるなどして、できるだけ早期に列車運転を再開することが必要となってきている。

#### 5. 今後の新幹線地震対策の方向について

現行の新幹線の地震対策(対震列車防護装置)については、すでに述べたところであるが、今後の全国新幹線鉄道網の建設にあたって地上施設ならびに高速走行の安定性についての研究をさらに深めることを目的として、国鉄においては、昭和48年度から新幹線の地震対策に関する研究委員会を設けている。この研究委員会は、地震早期検知分科会、地盤動分科会、構造物設計分科会、走行安全分科会の四つの分科会から構成され、地震動と新幹線の高速安全走行との間に介在するすべての技術的研究テーマをとり上げ、最大限の技術的解明と対策について検討を行っている。

地震動の早期検知の技術は、現在研究開発途上にある地震予知システムの成果によって達成される可能性があるが、早期検知分科会においては、現行の対震列車防護システムの拡大と改良を試み

表1 感震器作動の実績

地震動の回数(年度)	昭和40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	計
40 gal 以上 80 gal 未 満	1	10	6	7	0	3	3	5	3	3	1	42
80 gal 以上	—	—	—	—	1	2	1	3	2	4	2	15
気象庁発表の震度 V	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
気象庁発表の震度 IV	—	—	—	1	1	1	1	2	0	2	0	8

ている。地震時に列車運転を早期に制御するために線路沿いの変電所以外の、震源地により近い地域に検知地震計を設置して、線路からの距離に相当する地震波の走時の差だけ時間的に早く地震を検知する。それと同時に、この検知地震計によって記録される地震波の初期微動波形を瞬時に判定することによって、線路に影響を与える地震動であるかどうか、また線路地点における地震動の主要動の規模はどの程度のものであるかを判別しようとする試みである。この早期検知システムは、

試験的に東北新幹線において太平洋を震源とする地震を対象として、岩手県宮古付近の太平洋岸に検知地震計を設置する計画である。地震動の初期波形の解析データを搬送して、早期列車制御の指令と結びつけるという構想であるが、現在のところ地震動の初期判別に取り組むべき種々の課題がある状態である。

地震動を受けたときの土木構造物の挙動については、いまだ解明されない点は少なくないが、地震動に対してより安全な構造物の合理的設計法を

表2 主要な地震動の記録

年月日・時間	震源地	震度(気象庁発表)	規模M	感震器の作動状況
43. 7. 1 19°45'	埼玉県中部 N36°E139° h=50 km	IV 東京, 三島 III 銚子, 長野 II 名古屋, 大島 I 浜松, 松代	6.1	80 gal 以上 大崎, 平塚 (95) (89) 40 gal 以上 熱海, 沼津 (40) (55)
46. 1. 5 6°09'	渥美半島付近 N34.5°E137.04° h=40 km	IV 名古屋 III 浜松, 大阪, 岐阜 II 東京, 京都, 三島 I 横浜	6.1	80 gal 以上 新高塚, 二川, 大塚 (98) (80) (166) 40 gal 以上 新菊川, 安城 (40) (55) 大高, 新批把島 (64) (56)
47. 2. 29 18°23'	八丈島付近 N33.3°E141.3° h=40 km	IV 東京, 横浜 III 静岡 I 大阪	7.2	80 gal 以上 熱海, 沼津 (105) (84) 40 gal 以上 大崎, 平塚, 鴨宮 (49) (50) (40) 岩渕 (52)
49. 2. 10 17°52'	愛知県西部 N35°E136.9° h=20 km	III 名古屋, 彦根, 奈良 飯田, 敦賀, 津 II 大阪, 岐阜, 伊良湖 甲府 I 東京, 京都, 浜松 福井, 尾鷲	5.3	80 gal 以上 新批把島, 新関ヶ原 (84) (156) 40 gal 以上 大塚, 安城, 大高 (73) (74) (56) 新米原, 五箇荘 (76) (68)
49. 2. 24 13°15'	天竜川下流 N34.9°E137.9° h=20 km	II 浜松, 御前崎 I 名古屋, 静岡	4.6	80 gal 以上 新菊川, 新磐田 (88.5) (195) 40 gal 以上 なし
49. 5. 9 8°33'	下田沖 N36.1°E139.9° h=20 km	V 石廊崎 IV 三島, 横浜, 静岡 III 東京, 浜松	6.8	80 gal 以上 熱海, 沼津, 新菊川 (122.6) (217.5) (119) 40 gal 以上 鴨宮, 岩渕, 清水 (77.4) (44) (60) 焼津 (58)
50. 3. 14 22°58'	愛知, 岐阜県境 N35.3°E136.8° h=40 km	III 名古屋, 敦賀, 四日市 福井, 京都 II 静岡, 津, 甲府 I 大阪, 浜松, 網代 御前崎, 前橋, 東京	5.3	80 gal 以上 大高, 新批把島, 新関ヶ原 (81) (76.3) (112.5) 40 gal 以上 羽島, 新米原 (41.3) (41.3)

確立することが地盤動分科会, 構造物設計分科会の目的である。

橋りょうは, 一般にくいなどの土中構造物で支持される橋台, 橋脚, 高架橋柱と, これらの上部に位置する橋げたなどから構成されている。地震動くいなど土中構造物(基礎構造物)の変位との関連は, 地盤の物理的な特性値, 土中構造物の物理的, 形状的要素(たとえば, くい形状, 剛度など)によって決定されると思われる。

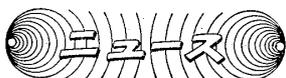
地盤条件を前提として設計された既存の基礎構造物をみると, 地震動に対しては定性的に抵抗形と追従形に区別されるが, 今後の研究テーマは理論解析のみならず, 実験ならびに過去の地震記録を活用して, 地震動と基礎構造物の挙動の定量的関係を確立することとされている。基礎構造物上部の橋脚, けたなどの構造体は一般に剛ではあるが, スレンダーで高い橋脚などにあっては, 振動時に高さ方向の振動分布が一様でなく, 加速度, 部材応力も著しく複雑な分布状態になると思われ

る。構造物設計分科会においては, 各種構造物の振動実験例を集めて解析することによって, 構造形式別振動モデルの作成と構造物の振動体質とも言うべき構造物固有周期目安表の確定を試みている。これらの作業の最終的な目標は, 複雑な地震動が発生したとき, 当該構造物の耐震限度(構造物の安定度, 応力度などの対震応答)がどこにあるかを究明することである。

走行安全分科会においては, 高速走行中地震に遭遇した車両の挙動解析を行うため, 振動軌道ならびに変形軌道を走行する1/5の模型装置を製作する予定である。現在装置製作中であるが実験によって, 新たな成果が生まれることが期待される。

以上, 地震対策研究のアウトラインであるが, 今日の新幹線の役割りを考えるとき, 今後さらに研究を進展させ, 地震という自然現象に対しても, より高い信頼度を得るように前進することが重要であると認識されるしだいである。

(原稿受付 昭和51年4月13日)



### 通産省・重要技術研究開発補助金決定(その3)

(818 ページより)

環境保全対策技術=▽金属クロムの無公害プロセス(東洋曹達工業), ▽一体成形の電解槽製造の企業化開発(弘進ゴム), ▽鋳業廃棄物の資源化技術(秋田県パイプ流送鋳業公社), ▽熱分解による廃水スラッジの無公害化処理プロセス(月島機械), ▽脱硝プロセスを備えたセメント焼成技術(三菱重工), ▽低NOxボイラ(三井造船), ▽光化学反応によるCOD, BOD原因物質の除去方法(東洋興産), ▽管形逆浸透膜による下水高度処理装置(日本揮発油), ▽プロセスの転換による省排水茹めんシステム(トーキョーメユキ, 尾久葉鉄工所), ▽塩基性物質を捕捉する石炭をベースとした交換吸着剤の開発(北炭化成), ▽ポリウレタンフォーム廃棄物の溶解及び原料再生(第一工業製薬), ▽環境監視のための多成分自動計測器(東芝), ▽静電浄油プラント試作並びに静電浄油機の实用化試作(クリーンテック), ▽マイクロファイバ複合体を使用した廃水処理システム(三菱レイヨン), ▽石油化学コンビナート排水のクローズドシステム(三菱油化), ▽工場排ガス中の有害成分(有機ガス粉じんタール)状物質の同時処理技術(松下電器), ▽無公害原木くん蒸システム(日立造船), ▽活性炭

素繊維製造(東洋紡績), ▽りん酸系産業廃棄物の処理技術(丸善ファインケミカル), ▽ピッチ含有耐火製品の炭化促進処理方法(日空工業), ▽ヘドロ(底質)の化学的処理(日本揮発油, 佐伯建設), ▽新規キレート樹脂処理による廃水(焼却場)中の重金属除却技術(ユニチカ), ▽非水系染色化クローズドプロセス(鐘紡, 三菱化成), ▽加熱炉から発生する窒素酸化物技術開発(日本スピンドル), ▽アーク炉による下水スラッジの処理(大同製鋼), ▽モミ穀廃棄物の人工培工化(トピー工業), ▽高熱ジェット廃棄物処理装置(安永理研, 三研工業), ▽廃水の高度処理(岩尾磁器, 大機ゴム), ▽石油タンクなどの油性スラッジ処理(三菱重工), ▽乾式触媒による小形硝子溶解炉用脱硝技術(三菱化工機, 日本硝子製品工業会), ▽短時間硬化の無公害紫外線硬化エナメルコーティングシステム(日本ペイント), ▽産業廃棄物(廃ガラス繊維, 廃脱石こう)を再利用した建築用板材の企業化開発(朝日特殊合板), ▽廃棄ガラスからカレット(ガラスくず)を回収するシステムの機械設備の試作(山村硝子), ▽燃焼器具排ガス測定器の企業化研究(堀場製作所)。  
[服部 敏夫]