

J R東海における地震防災計画

宮内 政信

東海旅客鉄道(株) 新幹線鉄道事業本部 施設部工事課長

1. はじめに

当社では、国鉄時代から東海地震対策として、強化地域内の構造物等の耐震強化工事を行うとともに、警戒宣言の発令を想定した列車の運転規制方法や警戒および復旧体制などの整備を図ってきた。兵庫県南部地震以降は、大規模地震を想定し全線を対象にして、高架橋の柱補強や橋桁の落下を防止する落橋防止工などの構造物の耐震補強、電柱の取替・補強、変電諸設備の補強及び第2指令の建設や列車無線回線の2重化を進めてきた。また、地震時の情報伝達確保のため、衛星通信の利用の強化や、情報通信機器を搭載した移動通信車の配備を行った。新幹線では、平成4年3月から地震動早期検知情報システム(ユレダス)を導入しており、また、在来線にも平成9年度から導入した。これらの施策により、地震時の安全を図っている。本稿では、これらのうち構造物の耐震強化とユレダスについて記述する。

2. 東海地震対策における構造物の耐震強化

東海道新幹線の土木構造物は、土構造物を除いて一応の耐震設計(震度法)がなされているが、ルート選定上、軟弱地盤上の通過を避けられなかったものがあったり、多くの箇所道路との立体交差のため高い盛土・高架橋となったものがある。昭和43年の十勝沖地震において、東北本線の軟弱地盤上の盛土が大きな被害を受けたため、土構造物の耐震性を検討する必要性が生じた他、その後の研究により、地盤種別を考慮した構造物の加速度、変位等の影響を検討する必要性が生じた。

そのため、国鉄では、学識経験者を含めた委員会「新幹線の地震対策に関する研究」(昭和48年~昭和52年)、「鉄道土木構造物耐震強化の研究委員会」(昭和53年~昭和62年)を設置し、軟弱地盤上の盛土の破壊機構など未解明な問題を解決し、耐震補強方法の検討を進めた。

この間、昭和51年に駿河湾地震説が発表されたことを契機に、その対応に対する社会的な機運が高まったことを受け、昭和53年6月には「大規模地震特別措置法」が制定され、昭和54年8月には地震防災強化地域が静岡県全域を含む6県169市町村に指定されることになり、東海道新幹線も新横浜・豊橋間のうち214km区間が対象となった。これを受けて、国鉄本社内に「大規模地震対策委員会」が設けられて「日本国有鉄道防災業務計画」(東海地震編)において耐震強化対策の基本的な考え方が制定された。

(1) 東海地震対策の基本的考え方

東海地震対策の基本的考え方は以下のとおりである。

- a) 警戒宣言発令中に地震防災強化地域内を運行中の列車が徐行によって安全に域外に脱出可能なレベルまで必要な設備強化を実施する。
- b) 発災時、復旧（徐行解除）に長時間を要する構造物については事前の設備強化を実施する。
- c) 耐震補強終了後には、現在、新幹線に適用されている運転規制値をさらにアップさせ、地震時の安定輸送を確保する。

(2) 土木構造物の耐震補強

東海地震の震源地を駿河湾に想定し、サイスミックマイクロゾーニングにより、強化地域内各地点ごとの地表面地震動、最大加速度を推定し、これをもとに耐震評価および耐震補強の設計を行った。構造物別の主な対策概要を図1に示す。

a) 盛土

盛土対策は、軟弱地盤上の盛土、液状化地盤上の盛土に区分される。過去に発生した地震被害の調査および大型振動台による実験等により検討を重ねた結果、軟弱地盤上、液状化地盤上のいずれの盛土に対してもシートパイル締切工法が盛土の破壊防止、沈下の抑制に極めて効果的なことがわかり、「盛土の耐震補強工の手引き」として取りまとめ、補強工事を実施している。

b) 橋台裏盛土

軟弱地盤上の橋台裏盛土は震害例が多く、特に折れ角の関係から列車の走行上危険であることから、模型振動実験等により研究が進められ、「橋台裏耐震補強工設計の手引き」として取りまとめた。対策としては、円弧滑りに対してはシートパイル締切工、沈下に対してはシートパイル締切工と橋台前面のストラット工および橋台裏盛土への薬液注入を実施している。

c) 斜面・トンネル坑口

一般論の適用が困難な斜面对策については、昭和54年～56年度にかけて第一次～第三次の専門家による現地踏査の結果などを行い、これらをもとに、施工順位および対策工法の検討を行っている。対策としては、格子砕工、落石覆工、土留擁壁、落石防護網、トンネル坑口のフード工などを実施している。

d) ラーメン高架橋

東海道新幹線のラーメン高架橋は、端部はね出し式になっており、左右、上下の目違いが発生しやすい。特に軟弱地盤上の高架橋は、地震時の変位が大きく、走行安全上問題となることから、はね出し端部を互いにP C鋼棒で斜めに連結し、左右の相対的変位を拘束する方法を実施している。

e) 土留壁

模型実験をもとにして転倒危険度による評価基準を作成し、現場の施工条件等により、

アースアンカー工、タイロッド工、底面拡幅、注入工等により対策を実施している。

f) 橋台・橋脚

昭和 53 年の宮城沖地震による東北新幹線の被害状況から、構造物のじん性不足が指摘され、この対策として、躯体の鉄筋コンクリートまたは鋼板による巻きたて補強を実施している。

g) トンネル

過去の地震による被害の分析および専門家による現地踏査をもとに強化の方針が検討され、震源から 50km 以内のトンネルで、問題となる変状がみられる区間、土被りの浅い区間などを対象に裏込注入、ロックボルト補強等を実施している。

h) 落橋対策

昭和 51 年度より、鉄桁、合成桁から対策を始め、その後の宮城沖地震の被害例をもとに検討を加え、対策を実施している。コンクリート桁に対しては桁座拡幅、桁移動防止工（横移動防止）、鉄桁に対しては連結工、桁座拡幅、下路トラスに対しては桁移動防止工（ストッパー）を基本としている。

種別	盛土対策	橋台裏対策	トンネル対策
略図	<p>シートパイル締切工</p>	<p>ストラット工 シートパイル締切工</p>	<p>ロックアンカー工 セントル工</p>
			土留対策
種別	斜面对策	高架橋対策	橋脚橋台対策
略図	<p>土留よう壁 のり面防護工</p>	<p>目違防止工</p>	<p>橋脚橋台対策</p>
			<p>アースアンカー工</p>

図 1. 構造物別地震対策工法略図

3. 地震動早期検知警報システムの導入

(1) 対震列車防護装置

開業当初からの東海道新幹線の対震列車防護装置としては、制御用感震器が沿線の各変電所に設置されている。制御用感震器とは、ある一定の値を超えた水平加速度を感知した段階で、変電所からの電源供給をストップさせ、これにより地震発生時に列車を停止させるものである。

この装置は、地震の主要動であるS波が沿線まで到達して初めて地震として検知する装置であるため、新幹線が高速運転中に主要動を受けることとなり、より早く地震発生を検知し、地震の主要動が沿線に到達する以前に列車に警報を送るようなシステムが大規模地震対策として必要であると判断された。

(2)ユレダスシステム

昭和50年代半ばから、当時の国鉄技術研究所にて地震動早期検知警報システムの開発が進められ、昭和62年頃には実用化の段階まで開発が進んだ。

このシステムは大規模地震における鉄道の地震防災システムとして早期検知・警報を目指し、次の特徴を持っている。

- ① S波に先行して到達するP波を処理し、地震規模(M)、震源位置等の地震諸元を推定する。
- ② 1点の検知点において、すべての処理は単独で行う。
- ③ 地震諸元と鉄道路線への震央距離との関係から被害想定を行い、必要な箇所に警報を発する。

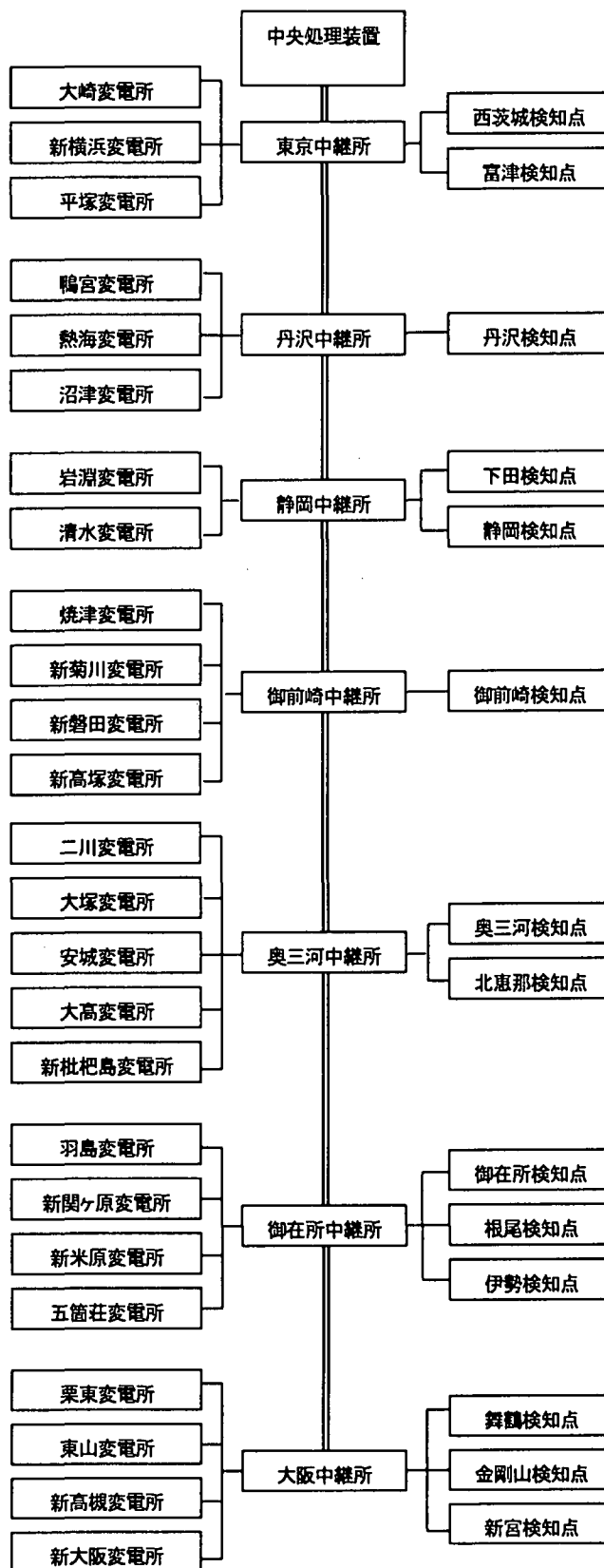


図-2ユレダスネットワーク概要

(3)ユレダスの導入

JR東海は、このユレダスを東海道新幹線の地震防災システムとして導入することとし、昭和63年からシステムの構築に着手した。JR東海のユレダスは、地震動を観測し警報を判断するための検知点と、列車を停止させるための変電所機器、運転再開を判断する中央指令の装置から成り、これらの設備間を地震情報伝送ネットワークとして結ぶことで、東海道新幹線全線の地震防災システムとなっている。(図-2)

検知点は、プレート型地震や過去に大きな地震の震源となった地域(地震の巣)を狙い、東海道新幹線を取り囲むように14箇所設置した。また、変電所は沿線の25箇所にあり、一つの変電所の制御担当区間は、概ね20kmである。

まず、平成2年9月に東海地震への備えとして、御前崎検知点および周辺の4変電所で構成される部分的な運用を開始し、平成4年3月には全体の運用を開始した。

(4)東海道新幹線ユレダスの特徴

東海道新幹線ユレダスは、P波一点検知による早期検知警報で高速運転する新幹線の安全輸送を確保するとともに、地震後の安全確認手順を効率的に行い、高頻度運行における安定輸送の確保にも大きな効果を発揮している。従来の加速度値を用いた運転規制方式では、地震後の安全確認における細かな対応に限界があり、地震後の安全確認に要する時間(ダウンタイム)を如何に短縮するかが大きな課題となっていた。ユレダスでは、検知点単独で警報判断を行うが、これは発生した地震が新幹線の軌道・構造物に何らかの影響を及ぼす可能性があるかどうかを判断根拠としている。また、各検知点の検知情報は中央指令で統合処理され、必要な安全点検の手順を自動的に出力する。このため、地震後の安全確認を的確かつ迅速に行うことができるようになり、中規模地震を含めて地震発生時のダウンタイムも、ユレダス導入前と比較して大幅に短縮されている。

ユレダスは、P波とS波の到達時間差を利用して早期検知するシステムであるため、どちらかといえば沿線から遠方で発生した大地震に対する早期検知システムとすることができる。沿線周辺を震源とする直下型地震に対しては従来から設置されている制御用感震器が有効であり、現在は両者を併せて当社の対震列車防護システムとして運用している。

4. 兵庫県南部地震以降の大規模地震対策

平成7年の兵庫県南部地震による鉄道構造物の被害は、山陽新幹線や東海道本線、各私鉄のラーメン高架橋・橋台、開削トンネルの崩壊にまで及んだ。地震発生翌日、運輸省では学識経験者や鉄道事業社などで構成する「鉄道施設耐震構造検討委員会」が設置され、被災原因の調査、分析、復旧方法の検討、既存施設への対応方針、今後の耐震構造のあり方などの検討を開始した。この委員会の提言に基づき、運輸省より各鉄道事業社に「鉄道施設耐震構造検討委員会の提言に基づく鉄道構造物の耐震性能に係わる当面の措置について」(平成7年8月10日付)の指示がなされ、大規模な地震に対しても構造物が崩壊

しないことを目標として、緊急に補強を行うこととなった。

当社でも、復旧以降、大規模災害など緊急時の危機管理の重要性を再確認し、ハード・ソフト両面にわたる体制強化を図るために「災害等に対する即応体制強化委員会」を社内
に設置し、①土木構造物の耐震強化、②指令所の強化、③通信手段の強化、④電気設備の
強化、⑤即応体制の強化、を行う方針を決定した。

(1) 緊急耐震補強

土木構造物の耐震強化に関しては、運輸省の指導に基づき、「せん断力に対する安全度
が曲げモーメントに対する安全度より小さいものについて、柱のせん断耐力、じん性を強
化し、大規模な地震に耐えうるように緊急に補強する」とするラーメン高架橋の倒壊防止
と、「橋梁、高架橋のうち、落橋防止工の設置されていないものにあつては、桁座の拡幅、
連結工の設置等の対策を緊急に実施する」とする橋桁の落下・横ずれ防止を実施すること
とし、新幹線は概ね3年、在来線は5年で完了することとした。

a) ラーメン高架橋

ラーメン高架橋柱部材がせん断破壊する高架橋を抽出し、柱の鋼板巻立てによる耐震補
強を実施した。工法の採択に当たっては、これまでの研究に加え、標準的なラーメン高架
橋柱をモデル化して載荷試験を実施し、工法やその補強効果の確認を行ってきた。

b) 落橋対策

橋脚の桁座拡幅、桁の横ずれを防止するための桁移動防止工を設置した。なお、こうし
た落橋防止対策は、東海地震強化地域内では既に実施されており、緊急耐震補強では、未
施工の箇所に対策を講じた。

この結果、東海道新幹線については、平成11年3月、当初計画したラーメン高架橋柱
補強9,000本、落橋防止対策600連の緊急耐震補強を完了した。

(2) 今後の耐震補強

ラーメン高架橋や橋桁のうち、高架下や桁下が店舗などに利用されていて、速やかに対
策を実施することが困難であり、緊急耐震補強の対象外となった箇所については、引き続
き条件の整ったところから随時、柱の耐震補強、橋桁の落橋防止工事を実施してゆくこと
としている。

5. 今後の地震対策

当社では、国鉄時代の東海地震対策から運輸省の指導による緊急耐震補強に至るまで、
構造物の耐震強化を実施してきたが、緊急耐震補強以外の橋脚や盛土をはじめとする構造
物についても、大規模地震による大崩壊を防止する観点から耐震評価を実施し、現在、補
強の検討を行っている。

新幹線の緊急耐震補強は完了したが、鉄道輸送の根幹である安全を確保するため、貴重
な災害の教訓を忘れることなく、今後も地震の防災対策を確実に進めてゆく。