

各種地震対策の現状について JR-EAST's Approach for Earthquake-Resilience

玉川 岳洋^{*1}

Takehiro TAMAGAWA



Senior Executive Officer of Railway Operations Headquarters (Facility),
& Department Director of Railway Operation Division (Facility)

桜庭 武^{*2}

Takeshi SAKURABA



Department Director of Shinkansen Electrical
& Signal Network System Department,
Shinkansen General Management Department

Abstract

JR-East regards "safety" as the most important factor of business management and aims for "ultimate safety" in both physical and applicational aspects. Currently, massive earthquakes such as the Tokyo Inland Earthquake is pointed out to be imminent. Our service area has been frequently damaged by earthquakes. By lessons learned from past disasters, JR-East continues to implement Seismic Reinforcement, Emergency Train Stop measures, and Measures to prevent secondary accidents after derailment in occurrence of earthquakes.

●**Keywords:** Earthquake countermeasures, Seismic reinforcement, Emergency train stop measures, Measures to prevent secondary accidents after derailment, Viaduct reinforcement, Embankment reinforcement, Overhead catenary pole reinforcement, Great East Japan earthquake, 2021 Fukushima earthquake / 2022 Fukushima earthquake

*東日本旅客鉄道株式会社 常務執行役員 鉄道事業本部副本部長(設備) 鉄道事業本部設備部門長兼務
*東日本旅客鉄道株式会社 新幹線統括本部 新幹線電気ネットワーク部長

1. はじめに

当社は、会社発足以来、安全を経営の最重要課題と位置づけており、「究極の安全」にむけて自然災害への対策をハード・ソフト両面から推進しています。

様々な自然災害の中でも大規模地震については発生予測が困難な上に、一たび発生すると数多くの構造物の損傷や列車の脱線を招く可能性があります。また、復旧には長期間を要します。実際に、当社では新潟県中越地震、東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)、2021年・2022年福島県沖地震において、これらの事象を経験しています。

そのため、お客さまや高架下利用者の安全を確保し、当社の収入を維持する観点から、大規模地震対策は当社の企業経営の一つの重要な柱と言えます。

また、大規模地震は発生の都度多くの課題を顕在化させ、工学的な知見を得る機会を我々に提供します。地震による被害は、地震発生箇所、地盤の状況、構造物の種類によって形態はさまざまであり、個別に精度の高い予測を行うことは現状困難です。そのため、被害の都度原因を分析し、得られた知見を踏まえた新たな対策を行うことが重要となります。

当社では、過去の地震を教訓に、今後発生が予想される首都直下地震等の大規模地震に備えて、「構造物が大きく壊れないようにする耐震補強対策」、「走行中の列車を早く止める列車緊急停止対策」、および「脱線後の被害を最小限にする逸脱防止対策」を3つの柱として各種対策に取り組んできました。本稿ではこれまでの地震被害について振り返るとともに、これらの取り組みについて報告します。

2. 構造物が大きく壊れないようにする耐震補強対策について

2・1 阪神淡路大震災以降の耐震補強

1993年度から南関東エリア（南関東地域直下の地震対策に関する大綱：中央防災会議）で落橋防止工を施工してきましたが、1995年1月に発生した阪神淡路大震災によって、鉄道構造物においてはせん断破壊による高架橋柱の倒壊や橋桁の崩落などの甚大な被害が発生しました。このため、大きな被害が発生する恐れのあるせん断破壊先行型の高架橋柱、橋りょうの落橋防止工、開削トンネル中柱を対象に、新幹線および在来線の南関東・仙台エリア、および活断層近接区間について緊急耐震補強を実施しました。

その後、三陸南地震、新潟県中越地震などの大規模地震の経験を経て、せん断先行型の高架柱の補強エリアを順次拡大するとともに、橋脚の補強を実施してきました。また、2009年度からは一層の安全性向上を目指し、せん断破壊先行型の高架柱に加えて強い地震動により被害の生じる恐れのある曲げ破壊先行型の高架橋柱についても耐震補強を進めました。

一方、駅舎については1998年度より対策を開始し、乗降1万人以上および南関東・仙台エリアのすべての駅舎で耐震診断を実施し、対策が必要な駅について耐震補強工事に着手しました。

2・2 東日本大震災以降の耐震補強

2011年3月に発生した東日本大震災において、補強を実施していない箇所でも広範囲に様々な構造物が被害を受けました。このため、近い将来高い確率で発生することが懸念されている首都直下地震等の大規模地震に備えて、当社エリア内の耐震補強を集中的かつ重点的に行うこととし、2012年度から総額約3,000億円規模の補強工事に着手しました。

土木構造物としては、被害リスクの高い南関東エリア、仙台等エリア（活断層近接区間含む）に加え、その他エリアにおいても、従前から取組んできた高架橋柱・橋脚の耐震補強を前倒しすることになりました。加えて、首都圏の構造物は建設年代が古く、盛土などの土構造物の割合が高いことや無筋コンクリート橋脚やレンガ橋脚など、耐震性の評価が不確実な旧式の構造物が散在することから、南関東エリアのうち特に優先度の高い線区（強い揺れの可能性が高く、輸送量が多い9線区：約220km）を対象に、盛土、切土、無筋コンクリート橋脚などの耐震補強に新たに着手しました。

建築構造物はこれまで実施してきた駅舎の対象範囲拡大に加え、駅の天井や壁などの耐震補強を実施することになりました（図1、写真1）。

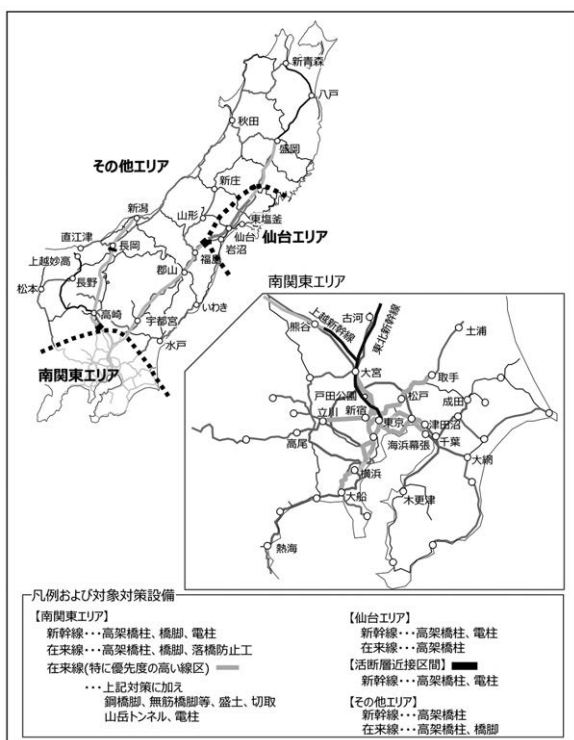


図1 駅舎の耐震補強の対象範囲

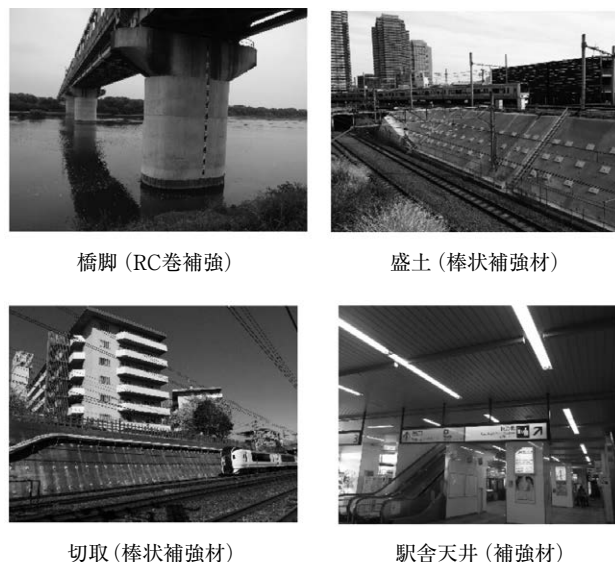


写真1 主な構造物の耐震補強後の状況

高架橋上のコンクリート製電柱については、東日本大震災では約810カ所の折損・傾斜が発生しました。

そのため、地震の揺れに対するじん性を高める「高じん性補強」(写真2)を開発するとともに、「倒壊防止装置」(図2)と電柱上部の鋼製ビーム結合によって、東日本大震災発災後の10年間で、南関東エリアと仙台等エリアにおいて、約2,200本の補強を実施してきました。

これらの耐震補強工事は、2023年3月時点で計画していた対策数に対して約99%が完了しており、駅改良工事に合わせて対策を行う一部箇所など除き、計画どおり2024年3月末に完了する予定です。



写真2 高じん性補強

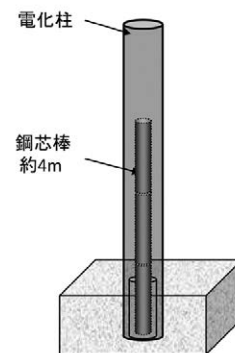


図2 倒壊防止装置

2・3 さらなる耐震補強

(1) 当初の計画

2017年度からは、首都直下地震の想定震度が上昇したエリアがあることや、新たな活断層が顕在化したことなど最新の知見に基づき、これまで実施している対策のエリアを拡大するとともに、これまでの地震被害の分析を踏まえた新たな対策を進めることとしました。2017年3月より順次工事に着手し、概ね10年程度での完了を目標に総額約3,000億円規模の追加の工事を進めました。

新幹線では、文部科学省の地震調査研究推進本部資料で都度発表されている活断層において、最新の調査などにより顕在化した情報を踏まえ、対策エリアを拡大させることとしました。在来線では、首都圏直下地震により、今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が南関東エリア全域に拡大していることを踏まえ、エリアを拡大させることとしました。また、対象構造物についてもこれまで対策が未着手であった構造物についても新たに対策の対象に加えることとしました(図3)。

① 対策エリアの拡大

新幹線：高架橋柱、橋脚、山岳トンネル覆工等

在来線：高架橋柱、橋脚、盛土(高さ6m以上)等

② 新たな対象対策設備

新幹線：山岳トンネル路盤、桁支点部、電柱(砂詰め基礎)等

在来線：盛土(高さ4~6m)、ホーム上屋等

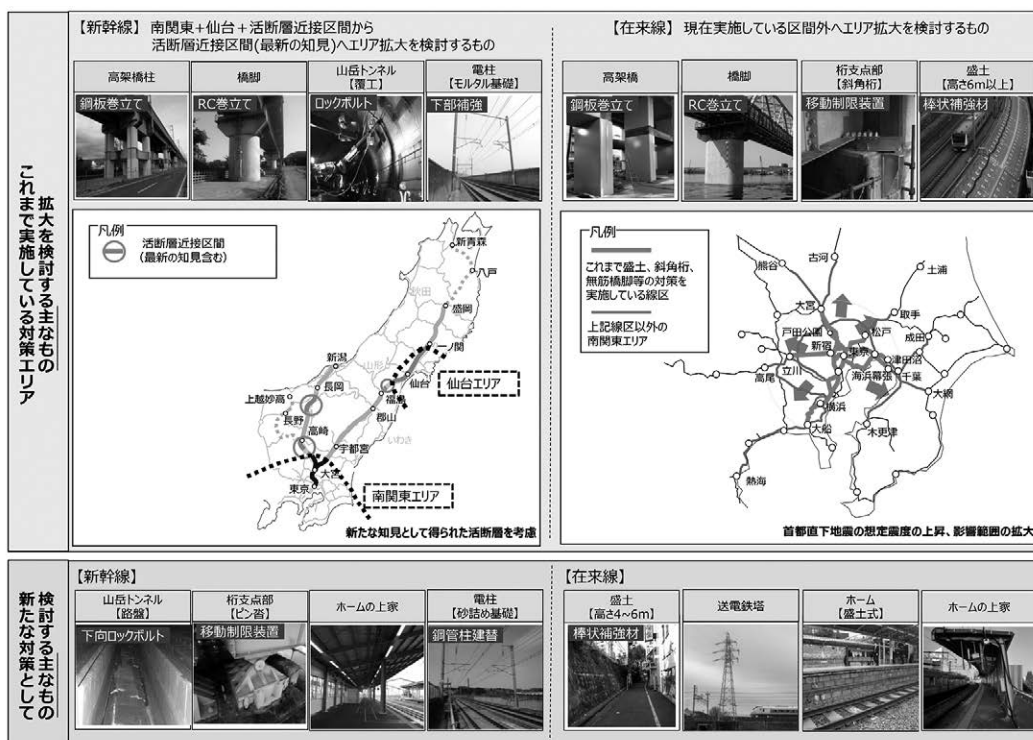


図3 さらなる耐震補強の概要

(2) 2021年福島県沖地震を踏まえた新幹線電柱耐震の見直し

2021年2月に発生した福島県沖地震によって、これまで対策を行ってきたエリア以外の箇所において、新幹線のコンクリート製電柱の折損、傾斜の被害が20カ所発生しました。また、変電所周辺の複数の柱が鋼製ビームで連結されたコンクリート製電柱(ストラクチャ)では、電柱表面剥離等が多数発生し、復旧に長期間を要しました(写真3)。この状況を踏まえ、これまでの「地震の発生しやすさ」に加え、「地盤や構造物の揺れやすさ」という新たな指標を導入して、優先度の高い設備の地震対策を推進していく方針を見直しました(図4)。また、2022年3月に電柱建替用車両を導入し、これまでの地震対策に加え、コンクリート製電柱を鋼管柱に建て替える新たな地震対策を推進しています。対策のスピードアップを目指し、新たな工法等の検討や電柱建替車両の増配備を行い、今後、高架橋上のコンクリート製電柱全箇所(約2万本)の対策を推進し、そのうち、2021年度~2027年度までに優先順位の高い約4,000本の対策を行うこととしました。



写真3 福島県沖地震後の状況

地震の発生しやすさ × 地盤や構造物の揺れやすさ
⇒ これまでの指標 ⇒ 新たな指標

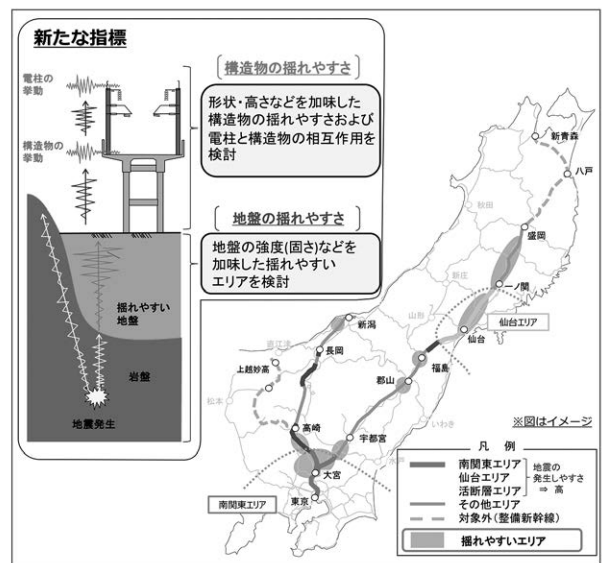


図4 2021年福島県沖地震を踏まえた新たな指標による地震対策優先順位の見直し

(3) 2022年福島県沖地震を踏まえた見直し

2022年3月の福島県沖地震により、補強計画中の一部の新幹線ラーメン橋台柱が損傷して桁の沈下が発生しました。この橋台は特徴的な構造形式・荷重条件を有しており、柱損傷時には桁が沈下、傾斜する可能性があり、復旧に時間を要することが分かりました(図5)。また、新幹線電柱のうち、未対策のコンクリート製電柱に損傷及び傾斜の被害が確認されました。

そのため、2017年度から進めていた対策の全体優先順位を見直すとともに、補強計画を拡大しました。この見直しにより、2017年度から進めていた地震対策の全体工事費を約4,500億円に拡大し、2033年度を目標期限としました(図6)。



【特徴】
構造形式：一般的な高架橋※1と比べ柱の本数が少ない
荷重条件：重い桁荷重を支える

※1 一般的な高架橋(柱本数が多い) ※2 一般的な高架橋(損傷事例)

柱が損傷した場合、桁が沈下・傾斜する可能性があり、復旧にも時間を要する

図5 2022年福島県沖地震におけるラーメン橋台の被害と特徴

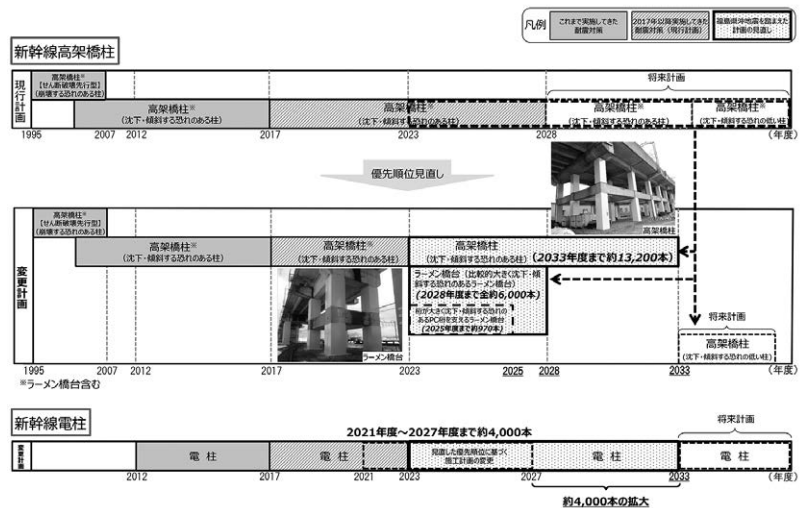


図6 2022年福島県沖地震を踏まえた耐震補強計画の見直し

①新幹線高架橋柱

新幹線高架橋柱のうち、全てのラーメン橋台約6,000本は前倒して2028年度までに補強対策完了を目指します。このうち、桁が大きく沈下・傾斜する恐れのあるPC桁を支えるラーメン橋台約970本は省令などに基づき2025年度までに補強対策を行うこととしました。ラーメン橋台以外の高架橋柱は、補強計画を拡大し、2033年度までに約13,200本の補強対策を目指していきます。これらにより、2033年度までに沈下・傾斜する恐れのある新幹線高架橋柱の補強対策が完了する予定です。

②新幹線電柱

これまでの補強計画を拡大して、2028年度～2033年度までに約4,000本の対策を目指すこととしました。また、対策箇所を従来の「地盤が揺れやすいなど地震の影響を受けやすい区間」に加え、「運行頻度が高い区間といった被害による影響の大きさなど高い整備効果が得られる箇所」も考慮のうえ、施工を進めています。

3. 走行中の列車を早く止める列車緊急停止対策について

高速で走行する新幹線は、自社の沿線、海岸、内陸部に配備した135箇所の地震計による早期地震検知システムを構築しています。これは伝播速度が速い地震の初期微動を捕らえ、大きな揺れが線路沿線に到達する前に警報を出して列車を止める仕組みとなっています。同様の仕組みである気象庁の緊急地震速報の情報も用いるとともに、2017年11月からは国立研究開発法人防災科学技術研究所が太平洋側に設置した海底計地震計情報を活用するなど、社内外の様々な情報を活用して大規模地震時に列車を少しでも早く安全に停止させる仕組みを構築しています。

一方、在来線においては、大規模な地震を観測した場合、走行中の列車に自動的に緊急停止警報を知らせる防護無線・列車無線連動システムを阪神淡路大震災後に首都圏線区に導入しました。その後、この仕組みを全ての在来線に拡大するとともに、新幹線早期地震検知システムと連動し広く大規模地震情報を取り入れる仕組みとしました。今後は、新幹線と同様に海底地震計情報の活用も検討しています(図7)。

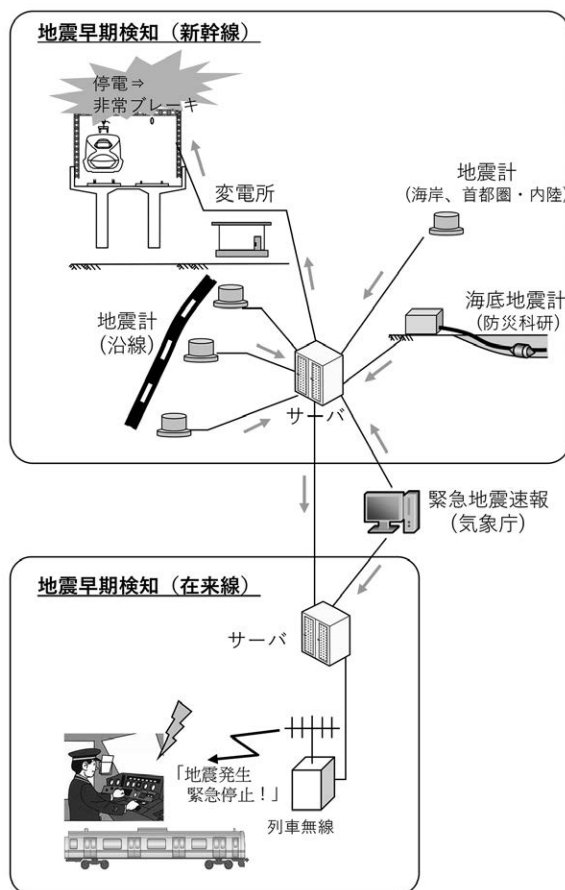


図7 地震早期検知システムの概要

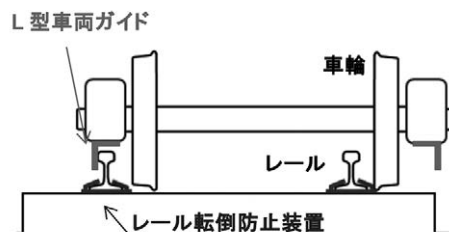
4. 脱線後の被害を最小限にする逸脱防止対策について

列車の逸脱防止対策は、地震の規模によって万が一列車が脱線した際も脱線後の被害拡大を防ぐため、新潟県中越地震以降、新幹線に対して進めています。

具体的には、新幹線の車両にL型車両ガイド(写真4、図8)を整備するとともに、レール転倒防止装置の設置を進め、脱線した車両をレールに沿って誘導できる構造としています。レール転倒防止装置は、2009年度からスラブ軌道への設置を開始し、順次バラスト軌道などへ設置対象を拡大して進めています(写真5)。



写真4 L型車両ガイド



※ L型車両ガイドがレールに当たり、車輪が線路から逸脱することを防止する

図8 逸脱防止対策の概要



スラブ軌道用



バラスト軌道用

写真5 レール転倒防止装置

5. おわりに

当社では、大規模地震対策を阪神淡路大震災以降本格的に着手し、今日まで継続して補強工事などを進めてきました。これにより、これまで当社管内で発生した新潟県中越地震や東日本大震災などの大地震に対して、高架橋などの大崩壊などを防止することができ、鉄道輸送の安全を確保し続けてきたところです。

しかしながら、首都直下地震発生の逼迫度が高まり、新たな活断層が明らかになるなど、地震対策の必要性はますます高まっています。また、福島県沖地震では一部のラーメン橋台において桁が沈下する被害が発生することもわかりました。今後も引き続き、耐震補強工事などを計画的かつ着実に進めるとともに、これまでの大規模地震による被害状況の検討や国や専門機関の最新の知見を取り入れ、さらなる耐震性の向上を図り、「究極の安全」に向けて、地震による列車走行のリスクの低減に努めてまいります。