

2209 新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策について

フェロー[機] ○森村 勉 (東海旅客鉄道) フェロー[土] 関 雅樹 (東海旅客鉄道)

Seismic measures of Tokaido-Shinkansen after the Niigata Chuetsu Earthquake

Tsutomu Morimura, Central Japan Railway Company, 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi

Masaki Seki, Central Japan Railway Company 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi

The train derailment of Joetsu-Shinkansen was caused by Niigata chuetsu Earthquake in 2004. Thus, Central Japan Railway Company has examined the seismic measures with the object of the prevention of damage expansion by the derailment at the earthquake. In this paper, the idea and outline of measures, the results of the effect confirmation and so on are described on each measure to execute to the structures, the tracks, and the vehicles.

keyword : earthquake, derailment prevention, dislodgment prevention

1. はじめに

東海道新幹線の地震対策については、これまでに、高架橋柱等の土木構造物の耐震補強や早期地震警報システムの導入等に取り組み、現在、これらは概ね完了する段階となっている。

しかし、平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震により、上越新幹線の浦佐～長岡間を走行中の「とき 325 号」が、ロッキング脱線により脱線するという事象が発生した。「とき 325 号」は長岡駅停車のため減速しており、約 200km/h で走行中に 10 両編成中の 8 両が脱線した。先頭車両は、脱線した車輪と台車部品の間でレールを挟み込んだ状態でレールに沿って走行したが、最後尾車両は、反対線側に大きく傾いた状態で停止した。¹⁾

この事故を受け、平成 16 年 10 月 25 日に国土交通省鉄道局が設置した「新幹線脱線対策協議会」に当社も参画し、施設、車両の両面から対策の検討を進めてきた^{2)～7)}。具体的には、実験、解析及び試験敷設を行い、各対策の機能確認等を実施した。これらの検討結果に基づき、当社では、地震時の脱線・逸脱防止に有効であり、保守上においても支障のない対策を確立した。そこで、本報告では、各対策の目的と概要、及び機能確認の結果について述べる。

2. 東海道新幹線の地震対策の基本的な考え方

東海道新幹線の地震対策は、図 1 に示す 4 つの観点から検討を進めてきた。また、具体的な対策の検討に際しては、新潟県中越地震での上越新幹線の脱線状況、及び東海道新幹線の軌道や構造物の形式等を考慮した。

その結果、従来から取り組んできた土木構造物の耐震補強、早期地震警報システム(テラス)や非常ブレーキ性能を向上した N700 系の導入に加え、地震時の構造物の大きな変位を抑制した上で、脱線防止ガードにより脱線を極力防止し、万一脱線した場合に逸脱防止ストッパで逸脱を極力防止する、二重系の脱線・逸脱防止対策を確立した。

2.1 新潟県中越地震での上越新幹線の脱線状況

新潟県中越地震の震源付近は震度 7 で、地表面の左右加速度は 802gal であった。一方、脱線現場は震源から約 10km 離れており、地表面の左右加速度は距離減衰により

389gal であったが、これが高架橋により 700gal 程度まで増幅され、脱線が生じたと考えられる。また、脱線現場の高架橋や軌道には、直接脱線に結びつくような損傷は残っておらず、脱線原因は、左右動を主要因とするロッキング脱線であったと推定されている。^{1), 8), 9)}

2.2 新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策

新潟県中越地震での上越新幹線の脱線状況を踏まえた東海道新幹線の新たな地震対策として、以下の 3 点を考慮し、表 1 に示す、構造物、軌道及び車両に対する 7 つの脱線・逸脱防止対策を確立した。

- ・新潟県中越地震と同等以上の地震(L2 地震)が発生する可能性は、東海道新幹線の全線にある。
- ・東海道新幹線はバラスト軌道を採用しており、盛土等の変位が出やすい構造物が多いことから、構造物の大きな変位を抑制する対策を検討する。
- ・地震時の脱線と逸脱による被害の拡大防止を目的に、二重系の脱線・逸脱防止対策を検討する。

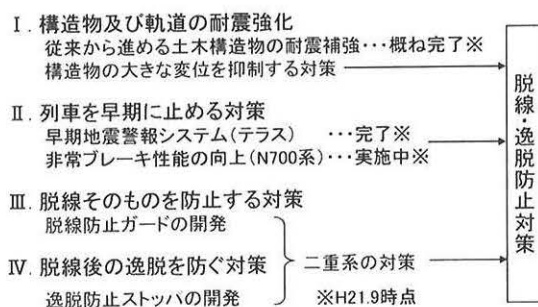


図 1 基本的な考え方

表 1 脱線・逸脱防止対策の内容

対象	考慮した具体的な事柄	対策の内容
軌道	・バラスト流出による軌道狂い	➡ ① バラスト流出対策
盛土	・盛土沈下による軌道狂い ・橋台裏部での段差	➡ ② 盛土沈下対策 ➡ ③ 橋台裏対策
高架橋	・高架橋間の水平目違い ・高架橋での揺れの増幅	➡ ④ 高架橋目違い対策 ➡ ⑤ 高架橋変位対策
軌道 車両	・脱線そのものを極力防止 ・脱線後の逸脱を極力防止	➡ ⑥ 脱線防止ガード ➡ ⑦ 逸脱防止ストッパ

3. 東海道新幹線の地震対策の内容

以下に、図1及び表1に示す各対策について、その概要と機能等の確認結果を示す。

3.1 検討対象とした地震動

各対策の仕様の策定には、図2に示すL2設計地震動（SpCⅡ・G3地盤・地表面）、及び図3に示す想定東海地震波（G3地盤・地表面）を基本に、対策の適用箇所に応じ、図4に示すような高架橋応答波を算定して用いた。なお、脱線防止ガードは、上記以外の観測波等に対しても、実験や解析による機能確認を実施した。

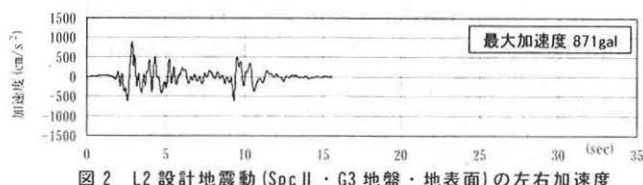


図2 L2設計地震動（SpCⅡ・G3地盤・地表面）の左右加速度

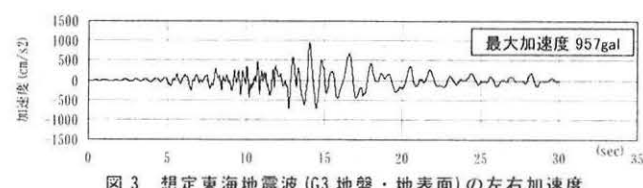


図3 想定東海地震波（G3地盤・地表面）の左右加速度

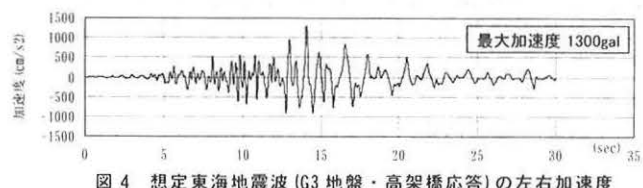


図4 想定東海地震波（G3地盤・高架橋応答）の左右加速度

3.2 対策の内容

1. 構造物及び軌道の耐震強化

(1) 従来から進める土木構造物の耐震補強

阪神・淡路大震災で発生した高架橋柱のせん断破壊等、地震による構造物の大きな損傷の防止を目的に、これまでに、高架橋柱の鋼板巻き補強、落橋防止工、盛土や橋脚の耐震補強等を進め、現在、概ね完了する段階となっている。

(2) 構造物の大きな変位を抑制する対策

新潟県中越地震では、高架橋や軌道に大きな損傷が無いにも拘わらず上越新幹線で脱線が生じた事、及び東海道新幹線の軌道や構造物の形式等を考慮し、地震時の脱線と逸脱による被害の拡大防止を目的に、新たに構造物の大きな変位を抑制する対策を実施する必要がある。

① バラスト流出対策

○ 目的と概要

バラスト軌道の外側に壁を設けることで、地震によるバラストの流出を防ぎ、軌道形状を維持する。対策には従来から実施してきたRC製のバラスト止めと、コスト低減を目的に開発したジオテキバッグ（ジオテキスタイル素材でできた網目袋）を用いた工法があり、施工箇所の状況に応じて使い分ける。（図5）

○ 機能確認の結果

実物での加振試験により、L2地震や東海地震に対し、バラストの流出を防ぎ、軌道形状が維持できることを確

認した。なお、図5に示す2つの工法は、同等の耐震性能を有している。

ジオテキバッグ製バラスト止め



鉄筋コンクリート製バラスト止め

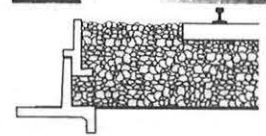
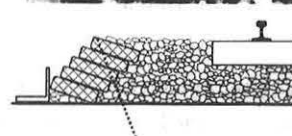


図5 バラスト流出対策の概要

② 盛土沈下対策

○ 目的と概要

盛土ののり面を、地山補強土工等で補強することで、地震により盛土が横方向に広がることで発生する不等沈下を抑制する。（図6）

○ 機能確認の結果

模型での加振試験により、L2地震や東海地震に対し、盛土の沈下量が20cm未満に抑制できることを確認した。バラストの流出を防ぎ、さらに、盛土の沈下量をまくらぎ高さ相当の20cm未満に抑制することで、まくらぎ端面の露出を極力防止し、軌道狂いの発生を抑制できる。

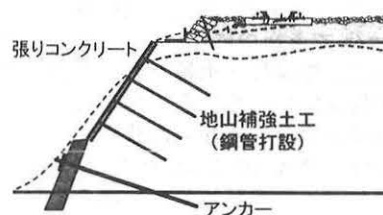


図6 盛土沈下対策の概要

③ 橋台裏対策

○ 目的と概要

橋台裏注入や翼壁補強工を施工することで、地震による橋台裏部の盛土沈下に伴い生じる段差や折れ角を抑制する。（図7）

○ 機能確認の結果

解析により、橋台裏盛土の沈下量に応じた対策を実施することで、L2地震や東海地震に対し、橋台裏部の段差を3cm以内に、折れ角を11.5/1000以内に抑制できることを確認した。

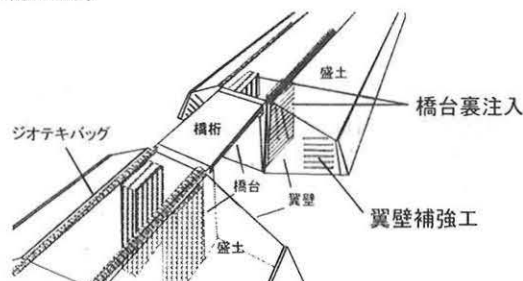


図7 橋台裏対策の概要

④ 高架橋目違い対策

○ 目的と概要

隣接する高架橋間をPC鋼棒で連結することで、地震

時に高架橋間で生じる水平目違いを抑制する。(図 8)

○機能確認の結果

模型での加振試験及び解析により、L2 地震や東海地震に対し、高架橋間の水平目違いが約 1/3 に低減され、3cm 以内に抑制できることを確認した。

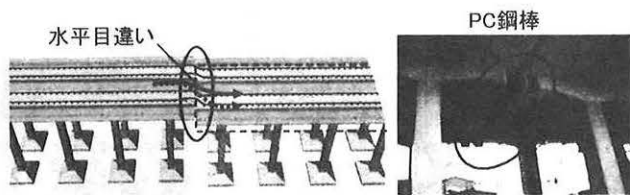


図 8 高架橋目違い対策の概要

⑤高架橋変位対策

○目的と概要

高架橋の柱の間に X 型ブレース工法を施工することで、地震時の高架橋での揺れの増幅を抑制する。(図 9)

○機能確認の結果

模型での加振試験及び解析により、L2 地震や東海地震に対し、高架橋での揺れの増幅を約 1/8 に抑制できることを確認した。例えば、東海地震の場合、地表面での約 30cm の揺れに対し、高架橋上での揺れの増幅を約 26cm から約 3cm へと抑制される

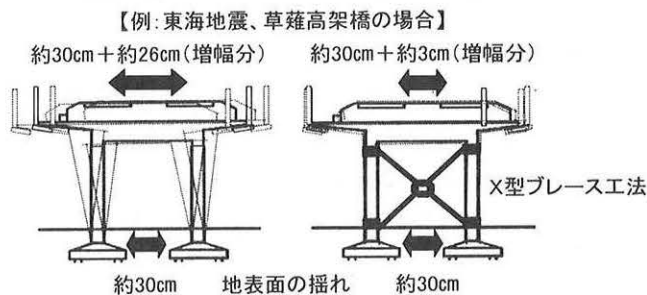


図 9 高架橋変位対策の概要

II. 列車を早期に止める対策

(1) 早期地震警報システム (テラス)

早期地震警報システム (テラス) を導入し、警報時間を 3 秒から 2 秒に短縮するとともに、地震計の増設を実施した。また、緊急地震速報の活用も行っている。

(2) 非常ブレーキ性能の向上 (N700 系)

新形式車 (N700 系) において、ブレーキ力を増大した上で、増粘着剤の使用、更には空圧滑走制御の採用により粘着を確保し、非常ブレーキ距離の短縮を図っている。

III. 脱線そのものを防止する対策

⑥脱線防止ガード

○目的と概要

レールの内側に並行して脱線防止ガードを設置することで、地震時の脱線そのものを極力防止する。また、保守性を考慮し、転換式を採用した。(図 10)

○機能確認の結果

脱線防止ガードの機能確認は、地震時のロッキング脱線に対する有効性の確認と、試験敷設による施工性や保守性等の確認の両面から実施した。

・ロッキング脱線に対する有効性の確認

実台車や模型での加振試験及びシミュレーション解

析を実施した結果、上越新幹線の脱線原因であるロッキング脱線に対し、脱線防止ガードが有効に機能することを確認した。(図 11)

実台車での加振試験では、様々な地震波に対し、脱線防止ガードの有効性を確認した (図 12)。例えば、図 4 に示す想定東海地震波 (G3 地盤・高架橋応答) では、変位振幅波形の 1.0 倍である最大左右加速度 1300gal、最大左右変位 333 mm 相当まで試験を行い、脱線防止ガードの有効性を確認した。

さらに、実物では装置の制約上不可能な揺れに対する有効性を確認するため、1/5 模型での加振試験を実施した。(図 13) 例えば、図 4 に示す想定東海地震波 (G3 地盤・高架橋応答) では、変位振幅波形の 1.4 倍まで脱線防止ガードが有効に機能することを確認した。

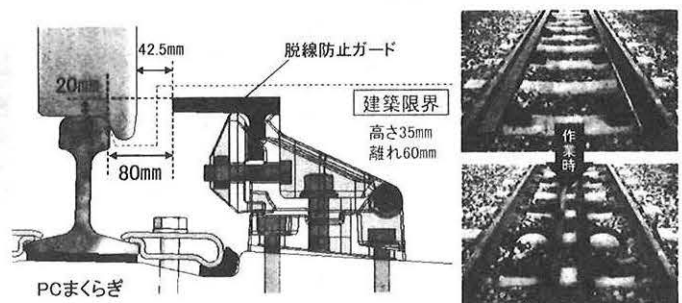


図 10 脱線防止ガードの概要

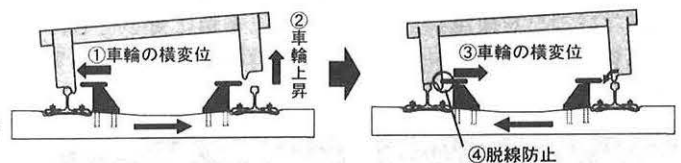


図 11 ロッキング脱線に対する脱線防止ガードの有効性

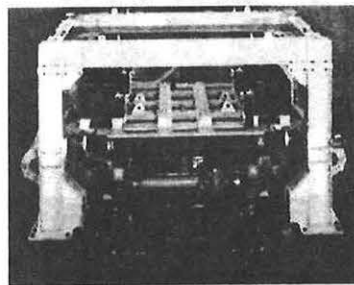


図 12 実台車加振試験

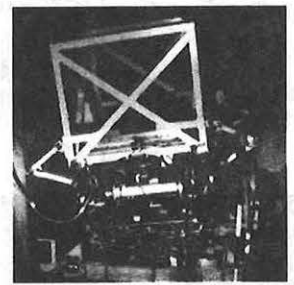


図 13 1/5 模型加振試験

ここで、実台車や 1/5 模型での加振試験は、停止状態で実施している。そこで、走行速度が脱線メカニズムに与える影響を確認するため、軌条輪を採用した 1/10 模型を用いた車輪回転状態での加振試験を実施した。(図 14) その結果、速度の増加に伴い車輪/レール間が滑りやすくなるため、脱線現象そのものは生じやすくなるが、高速走行時も停止時も地震時の脱線メカニズムに差はないことを確認した。

さらに、実台車や模型での加振試験で得られたデータを活用してシミュレーションモデルを構築し、これにより、地震時の脱線メカニズムの影響因子に関する評価を実施した。(図 15) その結果、例えば、地震時のロッキング脱線は上下動ではなく左右動が主要因であることを、シミュレーション解析でも確認した。

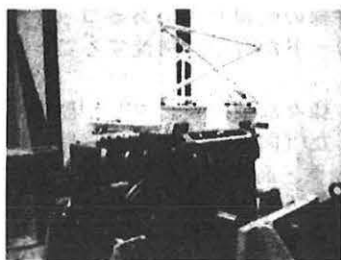


図 14 1/10 模型加振試験

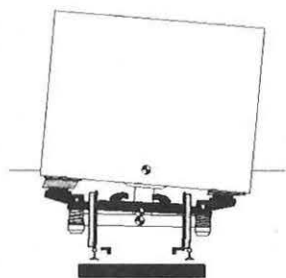


図 15 シミュレーション解析

・試験敷設による施工性や保守性等の確認

脱線防止ガードのロッキング脱線に対する有効性が確認されたのを受け、平成 18 年 10 月から、脱線防止ガードの本線敷設試験を実施した。(図 16) 本線敷設試験では、走行速度の低い箇所から敷設を開始し、その後、走行速度の高い箇所、曲線、トンネル区間等へと順次展開し、平成 20 年度末までに約 3000m を敷設した。その結果、脱線防止ガードの施工性や敷設後の列車走行に問題がないこと、脱線防止ガードの転換・復位等により、通常の方法で保守作業や検査が可能であることを確認した。(図 17)

また、敷設後の脱線防止ガードの状態確認を 1 年以上にわたり定期的に行った結果、列車振動等による位置変動は生じないことを確認した。(図 18)

なお、本線敷設試験に先立ち、車両所構内に約 400m の脱線防止ガードを敷設し、実際の軌道回路に与える影響がないことを確認した。また、地上子類に対しても、実物を用いた試験を実施し、機能上の問題がないことを確認した。(図 19)

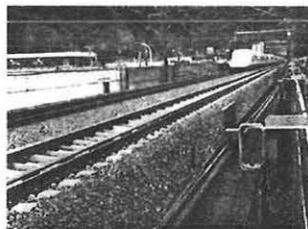


図 16 本線敷設試験



図 17 マルタイ作業の実施確認



図 18 敷設後の状態確認



図 19 軌道回路への影響確認

IV. 脱線後の逸脱を防ぐ対策

⑦逸脱防止ストッパ

○目的と概要

車両の台車中央部に逸脱防止ストッパを設置し、万一に脱線した場合には、脱線防止ガードの背面で逸脱防止ストッパをガイドし車両の逸脱を極力防止する。(図 20)

○機能確認の結果

脱線後を想定した試験車両による走行試験（最高速度 60km/h）を実施し、逸脱防止ストッパにより、脱線した

車両が軌道から大きく逸脱することなく、安定した姿勢が維持されることを確認した。(図 21)

また、逸脱防止ストッパを営業列車の台車に長期間（約 1 年間）取り付けて状態確認を実施し、台車各部に影響を与える振動等は発生しないことを確認した。

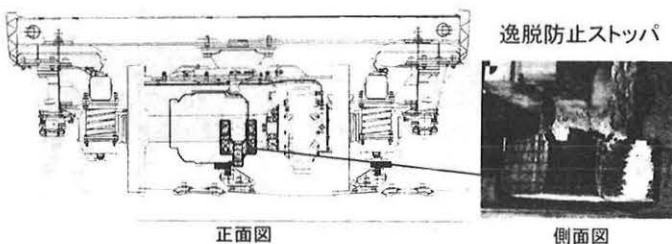


図 20 逸脱防止ストッパの概要



図 21 脱線後を想定した試験車両による走行試験

4. おわりに

平成 19 年 11 月 30 日に航空・鉄道事故調査委員会が上越新幹線の脱線に関する鉄道事故調査報告書⁷⁾を公表した。その所見には、現行の鉄道システムでは、大きな地震に遭遇した際の列車脱線を完全に防ぐことは難しく、これを防止するための方策として、脱線防止対策の検討、逸脱防止対策の推進、構造物の耐震補強の継続の必要性が述べられている。図 1 及び表 1 に示す東海道新幹線の地震対策は、これと一致する。

しかし、地震は自然現象であり、線路直下で断層が大きくずれる場合等、対策を実施しても構造物が大きく損壊する可能性はあり、あらゆる地震に対し列車脱線を完全に防止することは難しい。だからこそ、地震時の脱線と逸脱により生じる被害拡大の双方に対し、これらを極力防止する二重系の脱線・逸脱防止対策が必要であると考える。今後も東海道新幹線の安全性をさらに高める研究、開発に努めていく。

○参考文献

- 1) 航空・鉄道事故調査委員会：鉄道事故調査報告書 上越新幹線浦佐駅～長岡駅間 列車脱線事故、H19.11.30
- 2) 新幹線脱線対策協議会：新幹線脱線対策に係わる中間とりまとめについて、H17.3.30
- 3) 新幹線脱線対策協議会：中間とりまとめのフォローアップについて、H17.10.19
- 4) 新幹線脱線対策協議会：新幹線脱線対策に係わるフォローアップについて、H18.3.29
- 5) 新幹線脱線対策協議会：新幹線脱線対策の進捗状況について、H18.10.20
- 6) 新幹線脱線対策協議会：新幹線脱線対策の進捗状況について、H19.12.7
- 7) 新幹線脱線対策協議会：新幹線脱線対策の進捗状況について、H21.3.18
- 8) 東日本旅客鉄道：上越新幹線脱線調査報告書、H20.1.31
- 9) 鉄道総合技術研究所：新潟県中越地震新幹線脱線シミュレーション解析、H20.12