

## 構造物の耐震に関する最近の研究開発

構造物技術研究部  
部長 舘山 勝

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9.0(Mw)という未曾有の巨大地震であったが、土木構造物の被害は限定的であり、これまでの耐震対策に関する取り組みが効を奏したと考えられる。一方、沿岸部における甚大な津波被害、電柱や駅舎天井など付帯構造物の被害、度重なる余震による被害など、これまで余り注目されていなかった事象も散見され、今後の現象解明が待たれる。

本報告は、鉄道総研で研究開発を進めている耐震技術、特に、今回のような巨大地震も視野に入れた最近の研究開発に関する取り組みについて紹介する。

### 2. 東北地方太平洋沖地震の概況

東北地方太平洋沖地震では、東北新幹線の高架橋柱や中層梁などに一部被害<sup>1)</sup>が生じたが、巨大地震の割には地震動被害は局所的であり、橋梁の落橋、高架橋の崩落などの甚大な被害は生じなかった(図1)。このように被害が少なかった要因としては、当該地区では1978年宮城県沖地震や1995年兵庫県南部地震による被害を教訓に、優先度の高いものから順次、RC構造物のせん断破壊対策や落橋防止工などの補強が継続的に行われてきたことによる成果と考えられる(図2)。

一方、比較的大きな余震が長期にわたって発生したこと、地震動の影響が広い範囲に及んだこと、震源から遠方においても震度は小さかったが長周期長継続地震動が生じたことなどが影響して、余震による再被害、首都圏における地盤液状化、広域多所での電柱折損被害など、これまでに見られない被害<sup>2)</sup>も生じた。これらの特徴的被害については、被害発



図1 土木構造物の地震動被害(新幹線)



図2 土木構造物のこれまでの地震対策



図3 沿岸部の津波被害

生メカニズムの解明や、簡便で効果的な対策工の提示などが求められている。

一方、今回の地震は沿岸部において甚大な津波被害が発生した。現行の設計標準では、津波のような随伴事象に対する考え方は明記されておらず、今後、その取扱いについて検討する必要がある。しかしながら、いずれにせよハードだけの対策には限界があり、避難誘導などのソフト対策との組合せによる減災が求められている。

### 3. 鉄道の震災復旧・復興に向けた技術提案

鉄道総研では、兵庫県南部地震など過去の地震被害を教訓として、耐震に関する研究開発を進めて来た。そこで、これまでの研究成果を基に、今回の地震被害地区における復旧・復興、ならびに既存施設の耐震化を進めるにあたっての参考となるよう、この12月に技術提案書<sup>3)</sup>をまとめた。例えば津波被害については、現時点において発生メカニズムや対策工の効果などが十分に解明されているとはいえないが、本報告書では早期の復旧・復興を技術的に支援するとの立場から、現時点で直ちに活用できそうな技術については、あえて紹介することとした。また、遠からず発生が懸念されている首都直下型地震など都市近郊での大規模地震を想定し、既存鉄道施設の耐震化技術についても紹介することとした。

#### (1) 津波被害地区での復旧技術

本報告書では、津波被害地区においては二つの復旧・復興方法を想定している。第一は、**図4**左側に示すように海岸に沿って平地部が広がり甚大な被害が生じた箇所であり、海岸防潮堤に加えて、鉄道も多重防御施設とする活用する際の復旧技術の紹介である。この場合には別線復旧を想定し、越流抵抗が大きな補強土構造物を基本とする津波に強い鉄道施設構造を提案している。

第二は、**図4**右側に示すように平地が狭く住居などを高台に移転不可能な箇所や、トンネルが多く現位置復旧とせざるを得ない箇所であり、再度の津波に対して被害が生じにくい構造、もしくは復旧しやすい構造を基本とする津波対



図4 沿岸部津波被害地区における復旧・復興技術

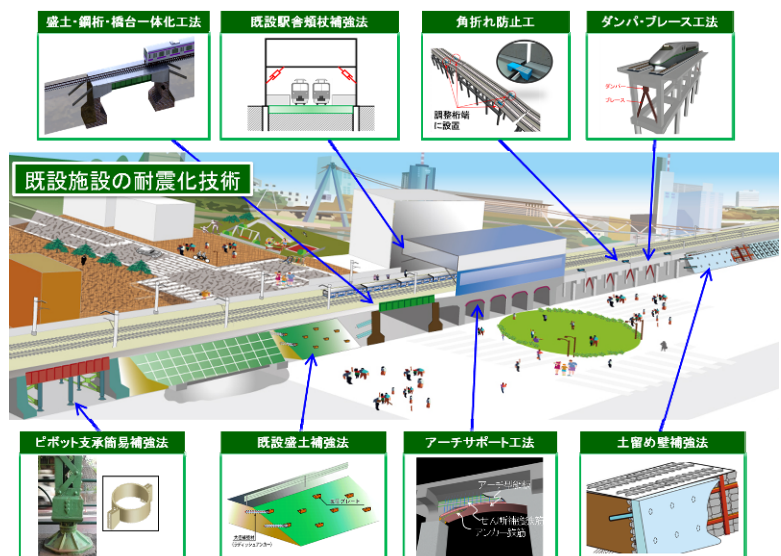


図5 都市部既設鉄道施設に対する耐震化技術

策に適用できる復旧・復興技術の提案である。また、当該地区における駅舎の復旧については、万が一の避難場所としての機能を有する構造を提案している。

## (2) 既設鉄道施設の耐震化技術

特に都市部の鉄道は、盛土や擁壁、高架橋、橋梁、駅舎、電力設備などが連なる線状構造物であるが、どれか一箇所が破壊してもシステム全体が機能不全に陥るため、同一の指標で耐震性を評価し、バランスよく補強することが重要となる。ここでは、想定する地震に備えて事前に対策を施すという観点から、はじめに、補強方法や補強の優先順位が妥当であるかどうかの耐震補強戦略支援ツールについても紹介している。また、大都市であればあるほど鉄道整備がいち早く行われてきたため、耐震性能が小さい盛土や、レンガや石積み、無筋コンクリートなどの旧式構造物、老朽化構造物が多数存在する。このような構造物に対しては、図5に示すような安価で効率的な対策工の技術提案を行っている。さらに、地震時における列車の走行安全性の向上対策についても紹介している。

## 4. 地震への備え方

地震に対して鉄道の安全を確保するためには、地震前～地震後に至るまで、段階的に対処することが肝要<sup>4)</sup>である(図6)。特に巨大地震では影響が広範に及ぶことから、効率的に対応するためには、地盤や構造物の特性を考慮して崩壊の可能性が高い施設や列車走行上の弱点箇所を、極力精度良く抽出することが求められる。その結果、崩壊が予想される箇所については、車両の落下や第三者被害などの人身被害が想定されるため、速やかに補強する必要がある。

次に、崩壊しなくても構造物には地表に対して増幅された応答が生じるため、揺れが大きな箇所では車両が脱線に至ることもある。これに対しては、剛性を高めたり制振材を設置するなどをして構造物の応答を低下させ、車両の地震時走行安全性を高める必要がある。一方、構造物対策を施しただけでは限界があるため、脱線・逸脱防止ガードなどを併用することが考えられる。さらに、早期に地震を検知し緊急停止や徐行などの列車制御によって安全性を高める方法も併用する。また、地震後においては速やかに損傷を診断し、2次被害が生じないようにすることも必要もある。

このように、地震時、特に巨大地震における被害を軽減するためには、「予測・評価技術」、「ハード対策」、「ソフト対策」の3つをうまく組み合わせ、鉄道システム全体で減災に努める必要がある。

なお、以降の発表は、これらに対する最近の研究成果について紹介している。

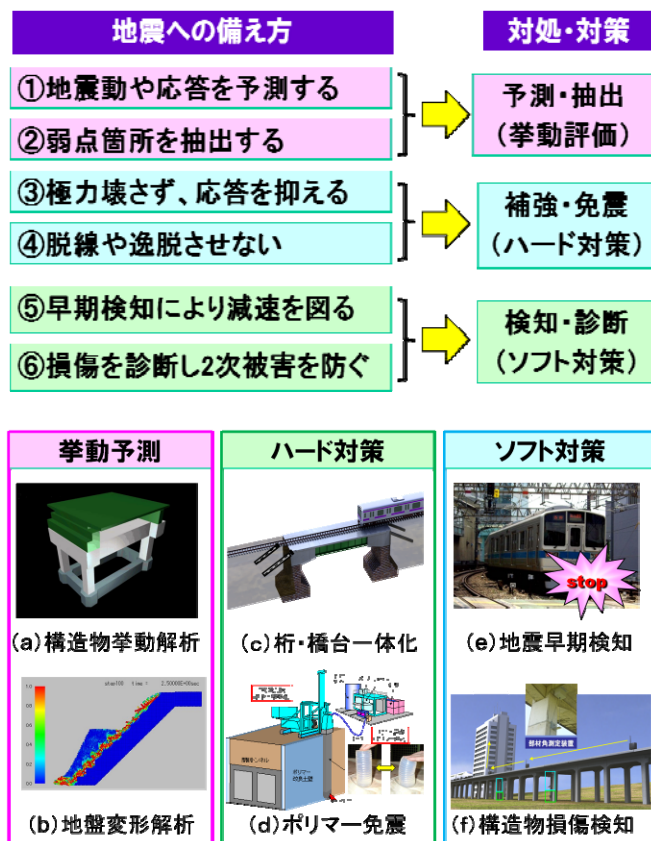


図6 巨大地震への備え方と研究開発の例

## 5. 今後の取り組み

今回のような巨大地震に対して、現行の枠組みで構造物や車両の安全性を評価すると性能不足と判断されてしまう可能性が高い。そこで、現有構造物の耐震余裕度や残存耐力を適切に評価し、走行安定性に関しては制振デバイスなどを用いた新しい対策法を提示することを目標として、鉄道総研では昨年、「地震に対する安全性向上」についての研究開発に取り組んでいる（図7）。

本テーマでは、巨大地震動の予測システム、構造物や車両の限界挙動評価、電車線柱や駅舎上家などの付帯構造物対策、免震などを用いた抜本的対策法の提示、の4つを目標としている。

一方、巨大地震に対しては、施設や車両などに対するハード対策だけでは対応には限界があり、早期地震検知システムなどのソフト対策を併用することが、より一層求められる。そこで鉄道総研では、コンピュータ上にバーチャル線区を構築し、気象庁のリアルタイム地震情報などを活用し、瞬時に鉄道施設の被害予測を行う地震災害シミュレータの開発を行っている（図8）。これにより、地震発生時の被害想定や点検箇所絞り込み、様々な地震シナリオに対する施設全体の耐震性評価や地震時列車走行安定性評価などが可能となる。

今後は所定の成果が得られ、地震時における鉄道の安全性向上に寄与できるよう、心して取り組む所存である。

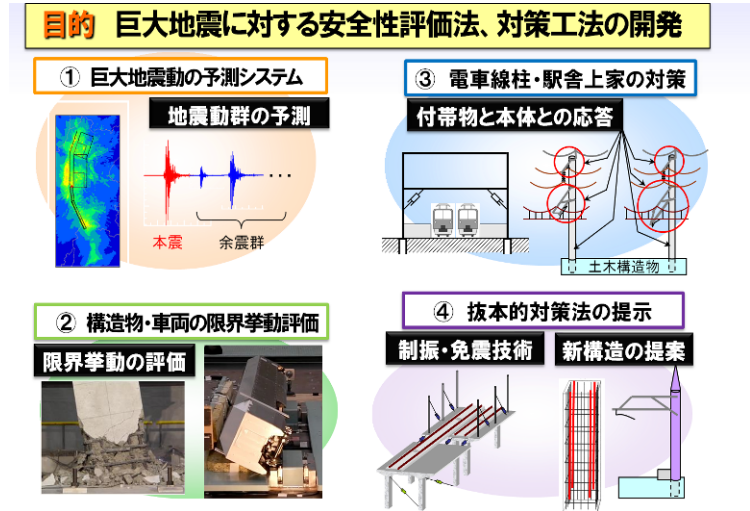


図7 巨大地震に対する安全性向上

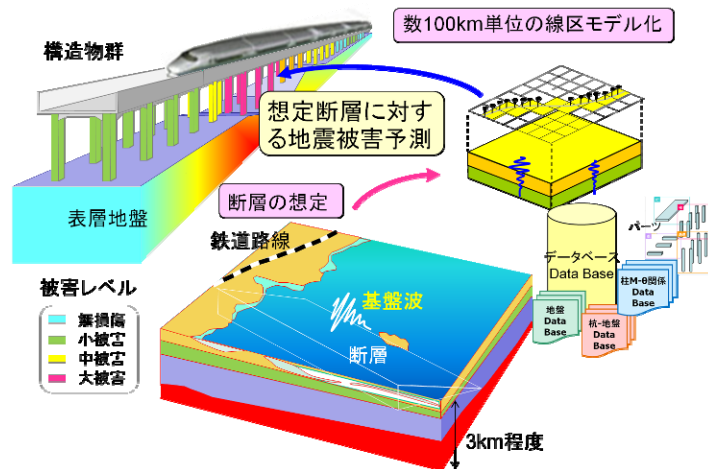


図8 地震災害シミュレータ

## 参考文献

- 1) 舘山勝：地上設備の耐震技術、第24回鉄道総研講演会要旨集、2011.11
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社 HP、<http://www.jreast.co.jp/press/earthquake/index.html>
- 3) 公益財団法人鉄道総合技術研究所、鉄道の災害復旧・復興に向けた技術提案、2011.12
- 4) 舘山勝：地震に備える、第22回鉄道総研講演会要旨集、2009.11