

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

鉄道施設の 震災復興・耐震化に向けて

東北地方太平洋沖地震によって甚大な被害が生じた津波被災地においては一日も早い復旧・復興が望まれております。また、首都圏直下など都市近郊での大規模地震を想定した耐震化は喫緊の課題となっております。そこで鉄道総研では、これまでの研究成果に基づき「鉄道の震災復旧・復興に向けた技術提案」を冊子としてまとめました。ここではその中から、鉄道施設の震災復興・耐震化に向けた技術提案について紹介いたします。



舘山 勝
Masaru Tateyama
構造物技術研究部
部長
【専門分野】地盤工学

復旧・復興に向けた技術提案

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、鉄道施設にも甚大な被害が生じました。地域社会や経済活動の再建にとって交通網の復旧は欠かせませんが、その一端を担う鉄道の復旧・復興は重要で緊急性の高い課題であります。一方、今後起こりうる類似の災害への対策、新たな街づくりとの連携、低コスト・省エネルギーへの配慮など、復興に際しては考慮すべき制約条件が多く、震災前と同様の機能を回復するだけでなく、安全性や利便性などを高めた復興が期待されております。また、地震や津波による被害は、今回の被災地以外でも想定されることから、この震災を教訓に、他の地域に対しても対策を講じていく必要があります。

鉄道総研では、鉄道の復旧・復興や耐震化において活用可能な具体的な構造・工法やシステム技術を紹介した冊子「鉄道の震災復旧・復興に向けた技術提案」¹⁾を平成23年12月に発行しました(図1)。本冊子では、東北地方太平洋沖地震の被害を総括した上で、津波被災地区における鉄道施設の復興技

術、ならびに遠からず発生が懸念されている首都直下地震などの大規模地震に対する耐震化技術について取りまとめております。以降は、それらの概要について紹介いたします。

この他、地上設備ができるだけ少ない無線を利用した信号システム技術や、省エネルギータイプのバッテリー駆動電車、高台の街への小規模輸送にも適したLRTシステムなどについても紹介しておりますので、詳しくは冊子をご一読頂ければ幸いです。

鉄道の震災復旧・復興 に向けた技術提案



平成23年12月
公益財団法人鉄道総合技術研究所

図1 技術提案書¹⁾の表紙

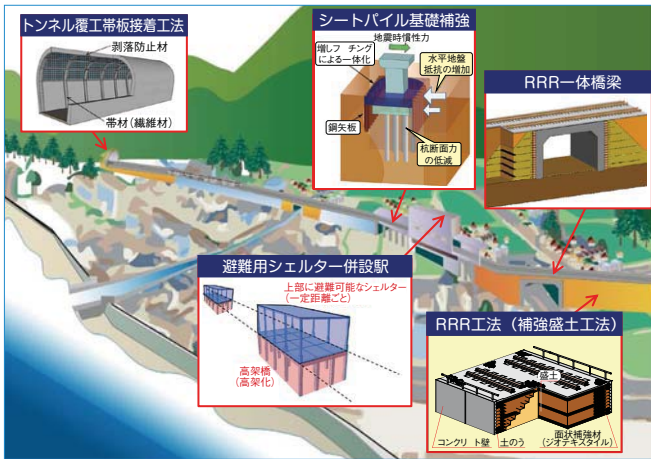


図2 津波に強い施設構造による鉄道の復興技術
(線形変更, 多重防御構造)

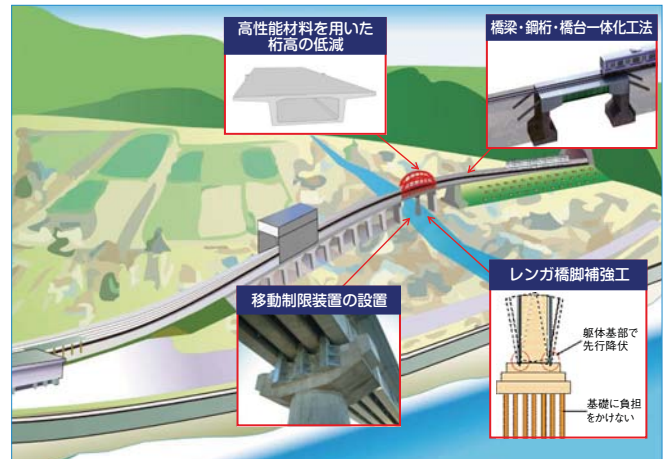


図3 鉄道の津波対策に適用できる復旧技術
(現位置復旧, 対津波対策)

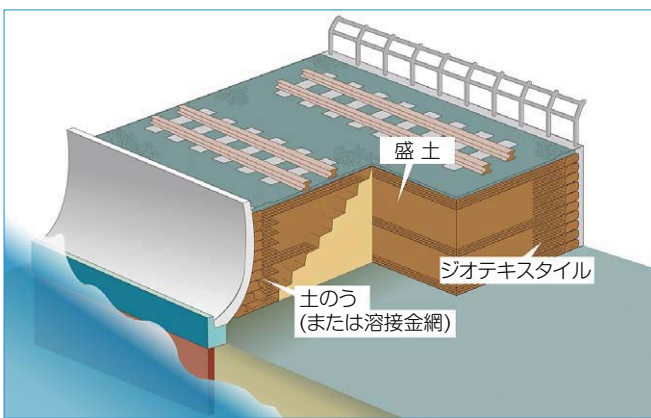


図4 RRR工法を用いた防潮鉄道盛土のイメージ

津波被災地区の復旧・復興技術

津波被災地区における復旧・復興技術の提案にあたっては、復興のイメージを大きく二つに分類しました。第一には、津波によって甚大な被害が生じた箇所に対して、線形変更を前提として、鉄道を津波の多重防御施設の一つとして復旧・復興する際に適用できる技術であります(図2)。ここでは、津波の越流抵抗が大きな補強盛土構造を基本とし、橋梁についても、極力、津波に対しても押し流されたり、倒壊したりしない構造とするものであります。第二には、トンネルが多かったり、何らかの理由で住居地などを高台に移転不可能であったりする箇所に対して、現位置で復旧とせざるを得ない状況を想定して、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

を基本とした対策技術であります(図3)。以降に、一部ではありますが特徴的な提案を紹介いたします。今回の沿岸被災地の津波被害は甚大であり、その復旧・復興は緒に就いたばかりであります。ここで、津波被災地区の復興に際しての基本的な考え方については、国や学協会などにおいて各種提言がなされており、例えば復興構想会議²⁾では、「巨大津波による被害を防ぐための具体的な方策として、避難システムとともに多重津波防御施設が有効である」としております。この案に対して、地盤工学会³⁾では、「従来の盛土形式の防潮堤では、津波の越流による浸食・洗掘、越流に対する耐力が特に低いこと、防潮堤には一定の高さが必要となるが、のり面が緩い通常の盛土では堤体幅と土工量が非常に大

きくなること」を課題として挙げ、これらの課題を克服する方法として、「のり面が急勾配の盛土をジオテキスタイル等で補強して安定化させる盛土補強土工法によって建設し、防潮堤の壁面は、津波波力や越流による浸食・洗掘等に対抗できるように補強材と一体化した剛な鉄筋コンクリート壁面工で被覆するなどの技術的工夫で対応する必要がある」ことが提言され、いわゆる鉄道総研が開発したRRR(剛壁面補強土壁)工法の適用が推奨されております。図4は、RRR工法を用いて鉄道盛土を津波の多重防御施設として再構築する際のイメージを示します。本工法の耐震性の高さについては兵庫県南部地震において実証されております。また、防潮堤として使用された事例は無いものの、2007年9月の台風9号による波浪によって西湘バイパスが被災した際に、転倒崩壊した重力式護岸堤防の復旧工事において約1kmに亘り建設された実績があることから、津波抵抗性も高いことが期待されております。一方、鉄道を多重防御施設として盛土主体で復旧した場合においても、図2に示すように、河川や道路の交差部においては橋梁構造とする必要がありま

す。図5は津波被災地区における従来橋梁の被災状況を示しますが、支承部が弱点となり桁が流出した箇所が多数見受けられました。また、落橋防止工が施された箇所などにおいては、桁は流されませんでした。代わりに橋台背面盛土が流出しており、いずれにしても従来橋梁は津波に対して弱点となっております。



図5 従来形式の橋梁における津波被害の例

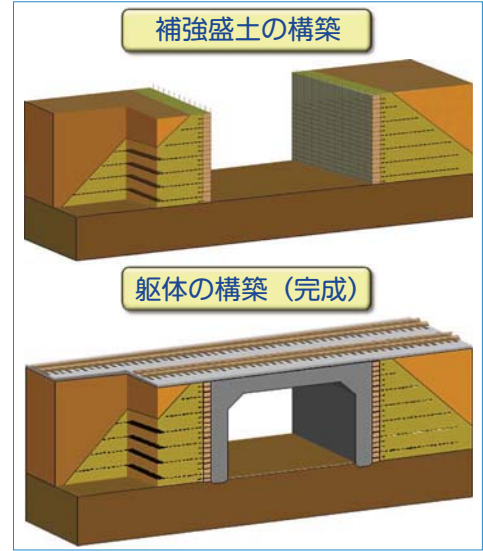


図6 補強土併用 (GRS) 一体橋梁の構築手順

これに対して、図6に示す鉄道総研が開発を進めている補強土併用 (GRS) 一体橋梁は、支承が無い構造であることから高い維持管理性、経済性を有するだけでなく、高い津波耐力を有することが示唆されております。つまり、本工法は、桁と橋台躯体が支承を用いずに一体化されていて、ラ-

メン構造であることから桁高が小さくなり、さらに背面盛土は躯体に連結されたジオシンセティックで補強してあるところに構造上の特徴があります。これにより、桁が津波に流されにくいだけでなく、橋台背面の盛土も津波に対して耐力を持つことになります。このため、津波被害があった鉄道や道路の従来橋梁の復旧に、最適な構造形式であることが期待できます。実際、三陸鉄道の北リアス線の橋梁流出箇所の復旧工事において、本工法の適用が計画されております。

都市部鉄道の耐震化技術

大規模地震への備えとして、既設鉄道施設の耐震化技術の重要性が増しております。鉄道施設は、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ため、どれか一箇所が損傷してもシステム全体が機能不全に陥ることがあります。そのため、各施設間においてバランスのとれた耐震性を付与することが肝要となります。

図7に鉄道施設の耐震性能のイメージを示します。例えば、異種構造物が連なる実際の線区においては、耐震性能は均一ではなく連続的に変化した状態にあります。線区全体の耐震性は最も耐震性の低い箇所に依存するため、当該線区において耐震性を高めるためには、相対的に耐震性の劣る箇所を順に補強する必要があります。また、補強対象箇所に対しては、一般には現行の耐震基準に準拠した補強が行われるため、その箇所だけは線区の平均的な

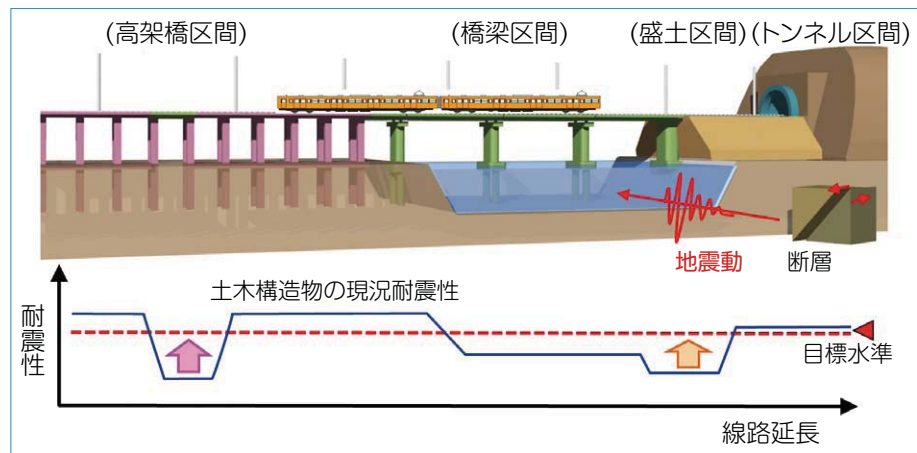


図7 鉄道施設の耐震性能のイメージ

耐震性能に比べて、かなり高め性能が付与されることになります。

しかしながら、このような方法は補強対象が多数となることが想定される場合には得策とは言えません。このような場合には、当面の耐震性の目標水準を線区の平均値レベル程度に低めに設定し、耐震性が相対的に劣る多くの箇所に対して、平均値レベルまで引き上げることが肝要となります。

図8は、都市部における既設鉄道施設の耐震化のイメージを示します。大都市ほど鉄道の整備がいち早く行われてきたため、レンガや石積み、無筋コンクリートなどの旧式擁壁や、耐震性能が小さい土構造物が多数存在し、対策箇所も莫大な数となります。このため、安価で効率的な対策技術が有用と

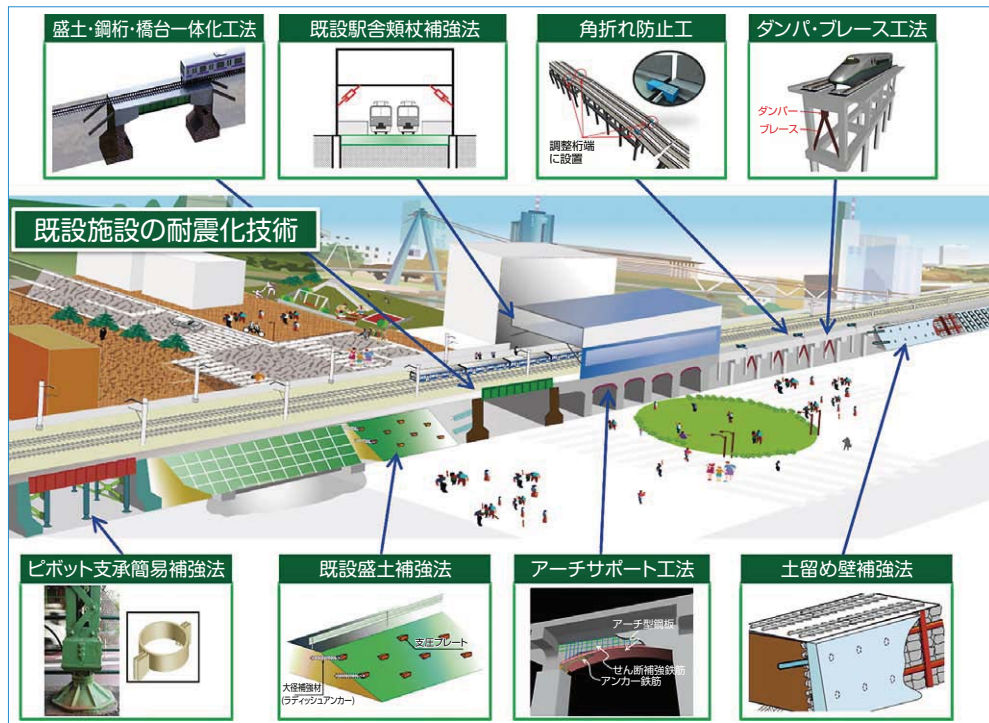


図8 都市部における既設鉄道施設の耐震化技術

なります。また、前述したように、限りある予算の中で効率的・効果的に補強を進めるためには、対策箇所を絞り込んで100点満点の補強を行うよりは、広い範囲に対して70点の補強を行う方が得策と考えられます。本冊子では、この目的に適う具体的な補強法として、擁壁や盛土に補強材を配置し、地震に対して破壊を延性的とする補強方法について紹介しております。

一方、高架橋については兵庫県南部地震において、柱のせん断破壊により大きな被害をもたらされたことを契機に、せん断破壊が生じて崩壊する可能性の高いものから順に、鋼板やコンクリートなどを巻立てる補強が、順次、進められております。そこで本冊子では、例えば、高架橋の上層梁や旧式鋼桁、鋼製橋脚支承部など、高架橋の柱以外の耐震性が小さい部位に対する各種補強法を紹介しております。

また、鉄道において、地震時における列車走行性の確保は重要な要求性能の一つですが、高架構造物に対してダンパーやブレースを配置し、構造物の応答を抑えることによって列車

の走行安定性を高める方法も紹介しております。これらの装置と、脱線防止ガードや逸脱防止ガード等の軌道対策と組み合わせることにより、地震時の列車走行性を総合的に高めることができると考えております。

更なる安全性の向上に向けて

今回の東北地方太平洋沖地震では、震源近くにおいては現行のL2地震動を超える揺れが発生し、震源から遠く離れた地域においても、長周期・長継続時間の揺れが作用しました。このような巨大地震に対して、現行の枠組みで既設の鉄道施設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くなり、補強の規模も大がかりとなってしまいます。したがって巨大地震に対して、ハード対策だけで対応することに関しては限界があり、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こととなります。とりわけ津波に対しては、ハード対策だけの対応には限界があり、例えば、沿岸部に復興する駅舎については、津波の際の避難空間の確

保、もしくは避難経路を確保するための機能を保有させることなども考える必要があります。

鉄道総研では現在、将来指向課題として「巨大地震に対する安全性向上」に関して研究開発を進めております。本テーマでは、巨大地震動の予測システム、構造物の本震後の残存耐力評価、免震など高性能振動制御手法、電車線柱などの付帯構造物の被害軽減対策の4つを目標としております。

今後も、鉄道施設の地震に対する更なる安全性向上のための研究開発に努める所存であります。[RRR]

文献

- 1) 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
- 2) 東日本大震災復興構想会議：復興への提言～悲愴のなかの希望～, 内閣府, 2011.6
- 3) 平成23年度学会提言の検証と評価に関する委員会：地震時における地盤災害の課題と対策「2011年東日本大震災の教訓と提言（第一次）」, 地盤工学会, 2011.7