

構造物技術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

鉄道総研では構造物技術に関して、「建設費節減」、「耐震設計・耐震補強」、「構造物の維持管理」、「環境対策」、「技術基準整備」などに関する研究開発を進めている。ここでは、最近の研究開発状況¹⁾と、10月末に竣工した大型振動試験装置について紹介する。

2. 最近の研究開発

近年、環境対策や維持管理、耐震などをキーワードにした多くの研究開発が行われている。以下に代表的な研究事例について紹介する。

(1) 鋼橋の騒音・振動対策

都市内における鋼鉄道橋の構造物騒音対策として、軌道構造にフローティング・ラダー軌道を敷設し、さらにその下のコンクリート床版を弾性支持したサイレント鋼橋の開発²⁾を行っている。鋼橋は架設性に優れるものの、騒音・振動が大きな課題となっている。既に、各種対策が実施されているが、レールからの加振力を遮断することや、制振コンクリートを薄くする研究は見られなかった。そこで、レールから桁に加わる騒音・振動を低減するために、軌道とコンクリート床版と鋼桁を各々弾性支持とするダブルフローティング構造のサイレント鋼橋を開発した(図1)。所内の試験線に敷設し走行時の騒音を測定した結果、12.5mの位置において、約10dBの騒音低減効果があることを明らかにした(図2)。

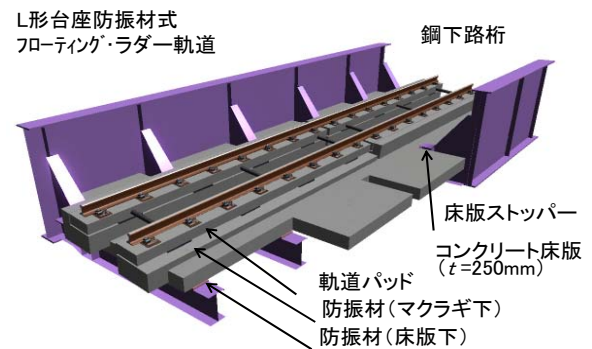


図1 サイレント鋼橋の概要

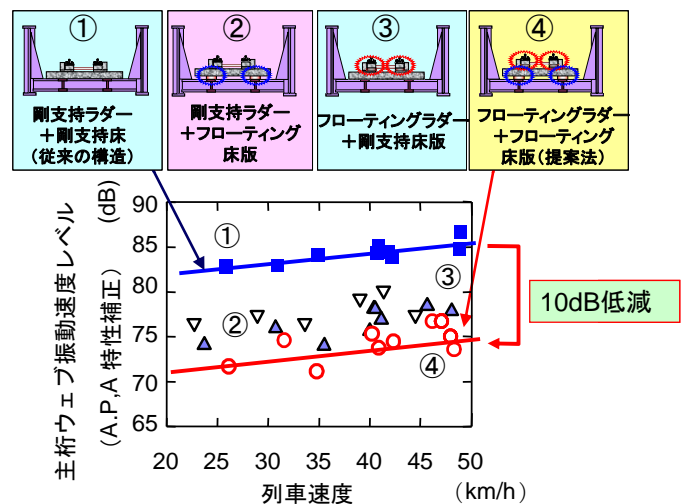


図2 構内走行試験による振動低減効果の確認

(2) 耐震設計、補強に関わる研究

鉄道のような線状構造物では、構造物の耐震性能や列車走行安全性を評価する上で、地震動の空間変動の影響が大きいと予想される。そこで、断層を含む広域地盤の地震動シミュレーション手法³⁾を開発した(図3)。開発した手法は、地盤は水平成層に、断層の破壊は地盤に作用する外力としてそれぞれモデル化し、断層を含む広域の地震動波形を理論的に合成する手法である。横ずれ断層を対象とした場合、渦を巻きながら地震動が地表面を伝播し、非常に複雑な空間分布となることが判明した。

一方、緩い砂地盤では地盤の液状化が問題となるが、この対策工として、良質な粒度調整砕石をセメント安定処理し、ジオテキスタイルなどの引張材を併用すると、鉄筋コンクリートに近い性能が期待できる。そこで、このジオテキスタイルを併用したセメント改良礫土の曲げ特性を評価し⁴⁾、盛土建設の際の液状化地盤などの軟弱地盤対策工を提案した⁵⁾。図4に模型盛土に対する液状化試験状況を示すが、セメント改良礫土を用いることにより地盤改良率が5%程度の低改良率であっても、液状化時に盛土はほとんど沈下せず（盛土高さの0.6%程度の沈下に抑制）、十分な沈下抑制効果があることを確認した。また、地盤改良が無い場合（改良率0%）でも盛土高さの3%程度の沈下に抑制できることから、従来の液状化対策工と比較して大幅な工事費削減が期待できる。

(3) トンネルの変状監視システム

導電材料を用いたひび割れ検知システムは、コンクリート表面に導電材料を塗布して、導電材料が破断して電気を通さなくなることを利用したもので、一度に広範囲を計測できるメリットがあるが、回路内のどの位置でひび割れが発生したかを特定することができない。そこで、回路シミュレーション解析による抵抗値と測定値を比較する機能を追加して、ひび割れの発生位置を特定できる技術とした。また、ひび割れ変位計や導電材料を用いたひび割れ検知計の計測出力を無線化する技術も開発し、安全かつ経済的なトンネルの変状監視システムの開発を行った（図5）。

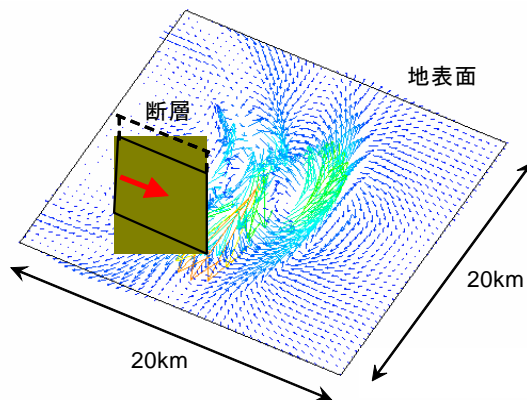


図3 地震動広域シミュレーション

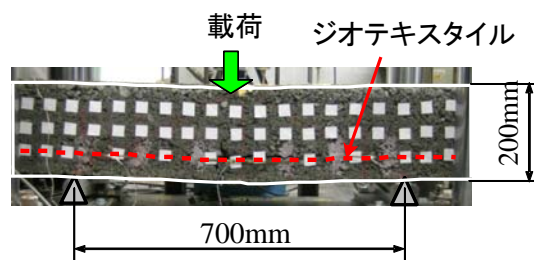


図4 セメント改良礫土による液状化対策効果に関する振動実験

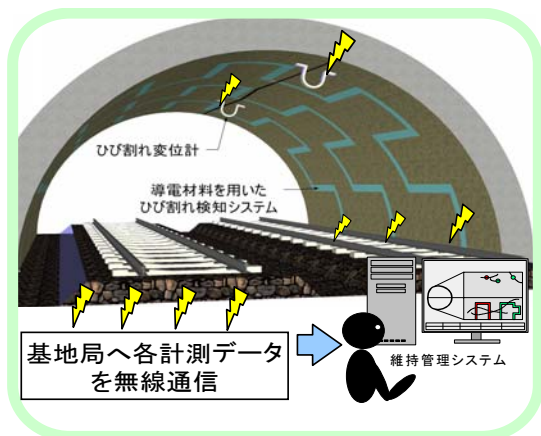


図5 ひび割れ検知システムのイメージ

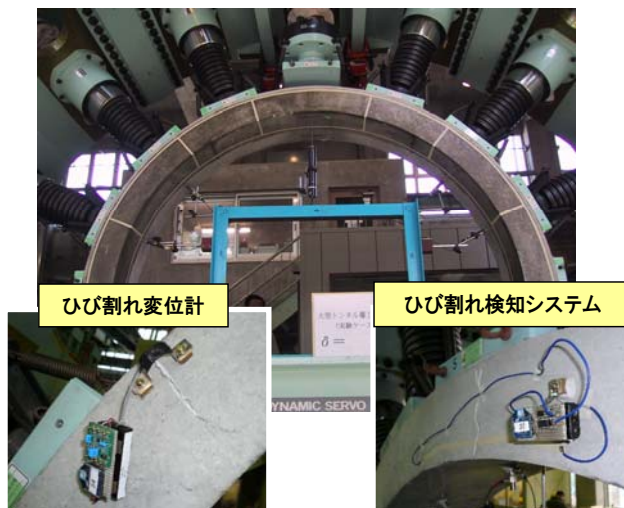


図6 覆工载荷実験状況

小型，小電力であり，計測器とレコーダーの配線の作業が不要となるため，列車間合いの短い場所でも計測器の設置が容易となる．このシステムの検証を覆工載荷試験によって実施した(図6)．

3. 技術基準の整備状況

鉄道総研では，各種構造物の設計や維持管理を行なう上で参考となる鉄道構造物等設計標準および維持管理標準の整備を行っている．また，これらの標準と関連する設計の手引き，各種構造物の計算例，設計プログラムなどの設計ツールの整備も行っている．平成20年度は，既に改訂委員会が終了した，鋼・合成構造物設計標準ならびに基礎構造物設計標準についての通達・発刊の準備を精力的に行っている．これらの改訂にあたっては，性能照査型設計法への移行や合理的な照査法を示すとともに，新技術の導入として，高性能材料(高耐候性鋼，橋梁用高性能鋼厚板)，連続合成桁，免震支承の適用，シートパイル基礎，回転杭，機械式鋼管継手の適用法について示した．また，今年度が最終年度となる耐震設計標準の改訂委員会の審議が鋭意，進められている．ここでは，近年の地震観測実績や被害事例を踏まえ，設計地震動の検討や応答値の算定，照査法の見直しを行うとともに，実務に対応した適合見なし規定についても検討を行っている．

4. 大型振動試験装置

兵庫県南部地震においては，高架橋などの鉄道構造物に大きな被害が生じた．さらに平成16年10月に発生した新潟県中越地震では，営業列車としては初の新幹線脱線事故が発生し，構造物のみならず軌道・車両の地震時挙動についての解明や脱線対策の提案が急務となっている．そこで鉄道総研内において，

震度7クラスの地震動の模擬や鉄道台車の載荷が可能な大型2次元振動試験装置⁶⁾の作製・設置工事に着手し，平成20年10月末に完成した．

本装置はレベル2地震動における高架橋上の変位を加えた加振を模擬することが可能で，構造物模型および実軌道，実台車の搭載が可能となるように，加振ストローク±100cm，加振加速度2G，載荷重量500kNの仕様とした(図7)．なお，国内において同様の変位振幅で加振が行えるのは，防災科学技術研究所が所有するEディフェンスだけである．



機能	性能
加振方向	水平2方向
最大積載重量	50トン
振動台寸法	7m×5m
最大変位	X: ±100(cm) Y: ±25(cm)
最大加速度	X: 1000(gal) Y: 2000(gal)
加振周波数	0.01～30(Hz)

実験対象：実台車、実軌道、1/2スケールの高架橋柱、1/5スケールの地盤

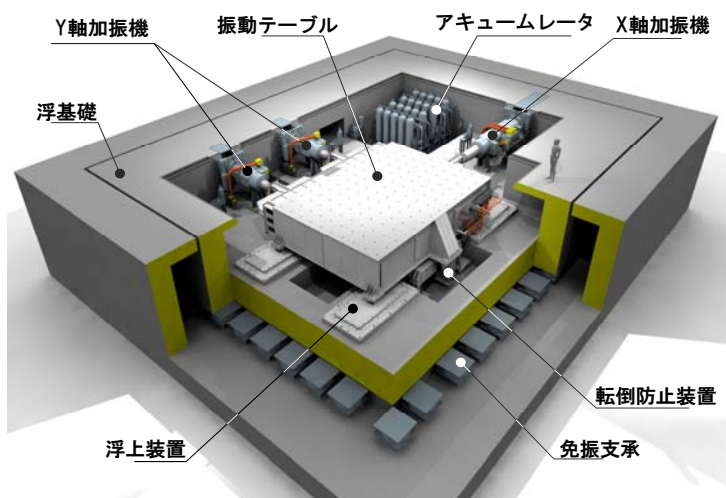


図7 大型振動試験装置

例えば、大地震に対する車両の挙動（図8）や、構造物や地盤の破壊現象（図9）を取り扱う実験では、供試体の固有周期が逐次変化するため、振動台は非線形な特性を有する供試体からの揺り戻しの影響を受けて地震波形の再現性が低下する。そこで、地震波形の再現精度の影響を抑制するために反力補償制御技術を導入した。本振動台は、地震時の車両の動的挙動の解明や、軌道・電車線柱・建築上家・構造物などの連成挙動、耐震対策等における研究への活用が見込まれ、その成果が期待されている。なお、本試験装置は、国土交通省の補助金を受けて作製したものである。



図8 台車の加振実験



図9 セン断土槽を用いた加振実験

5. おわりに

鉄道総研ではこれまで、構造物に係わる技術開発について多くの実績を上げてきたが、既設構造物の延命化や大地震に対する対応など、まだまだ取り組むべき課題も多い。今後も鉄道事業者や関連する企業の皆様のお役に立つ技術開発を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 小西真治：構造物技術に関する研究開発の現状と展望，鉄道総研報告，Vol.21，No.8，pp1-4，2007. 8.
- 2) 渡辺勉，曾我部正道，浅沼潔，涌井一：ダブルフローティング型鋼鉄道橋を用いた構造物騒音低減効果の推定，土木学会鉄道力学論文集，2008.7
- 3) 川西智浩，室野剛隆：剛性マトリックス法とFEMを結合させた広域な時振動評価方法，鉄道総研報告，Vol.22，No.1，pp35-40，2008.1
- 4) 渡辺健治，松丸貴樹，水野進正，舘山勝，内村太郎：セメント改良礫土の曲げ特性に及ぼすジオグリッド補強材の効果 ジオシンセティックス論文集、第21巻、No.3、pp.229-236、2006
- 5) 磯野純治，松丸貴樹，渡辺健治，舘山勝，内村太郎：セメント改良礫土を用いた軟弱地盤対策工の模型振動実験，第42回地盤工学研究発表会，2007.7
- 6) 舘山勝：大型振動試験装置，RRR，第65巻，11号，p.47，2008.11