

構造物に関する最近の実験技術

構造物技術研究部

部長 舘山 勝

1. はじめに

近年、鉄道構造物の基準の性能規定化が進展し、要求性能に応じた合理的な設計や施工、新材料・新工法の導入が容易となっている。一方、性能設計においては、部材性能や材料特性、応答値や限界値などを精緻に求める必要があることから、これまでも増して、実験による性能の検証が重要となっている。特に、異種部材が混合した構造物、免振や制振効果、地震時の地盤の非線形挙動などを精緻に評価する場合には、実験による検証が重要となる。

本発表では、鉄道総研が所有するユニークな実験装置、実験技術¹⁾について紹介する。

2. 構造物に関する実験装置

構造物の部材性能や応答特性を把握する際には、模型や実物大供試体を用いて、各種の载荷試験や振動実験、水理実験などを実施することが有効である。鉄道総研では特徴のある試験装置や実験技術を多数、有している。図1は地盤・トンネル関係の試験装置・実験技術を示す。いずれも、地盤材料やトンネル模型、斜面模型を対象としたもので、装置そのものや実験方法に特徴のあるものばかりである。

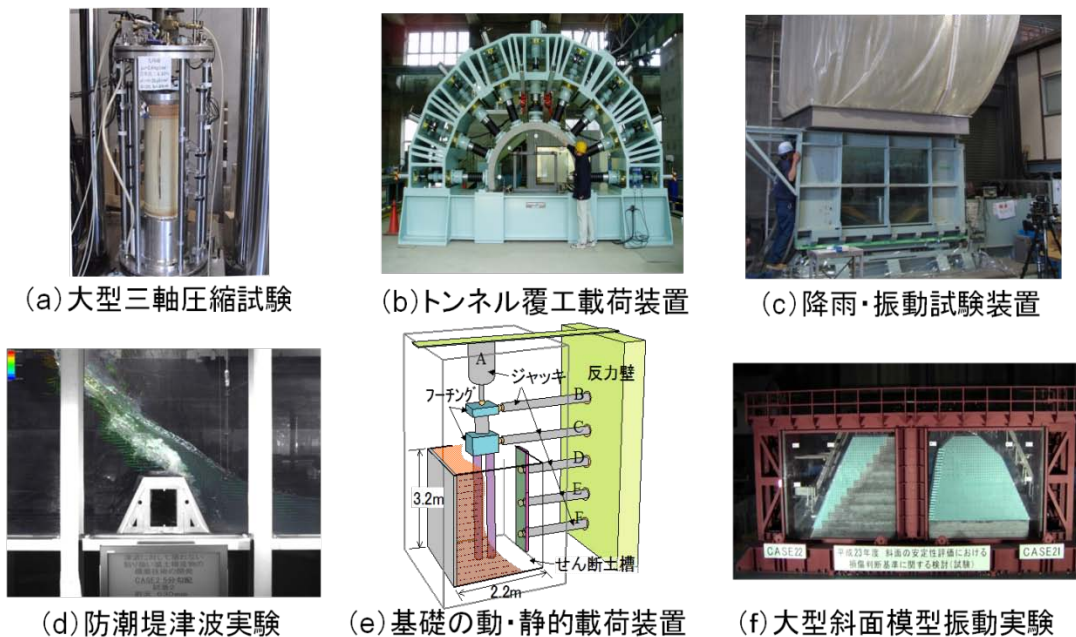


図1 試験装置・実験技術（地盤・トンネル関係）

次に、図2は上部工や駅舎に関する試験装置・実験技術を示す。例えばRC構造物や支承部に関しては、その抵抗特性を把握することを目的に载荷試験（図2(a)(b)(d)(e)）が実施されるが、鉄道総研では実験手法や画像解析において多くのノウハウを有する。一方、これら構造物の地震時の応答や駅舎における非難誘導などを研究対象とする場合には、実構造物に対する計測（図2(c)）や、実駅や模擬駅において被験者試験（図2(f)）を行う必要がある。

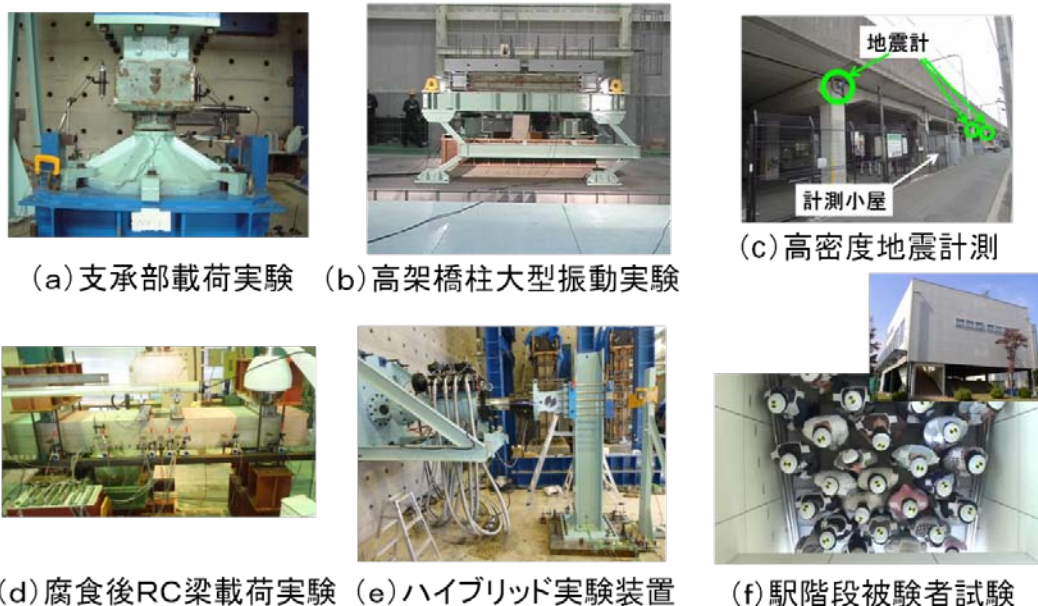


図2 試験装置・実験技術(上部工関係)

以上のうち、図1(b)(d)(c)ならびに、図2(a)(c)(d)(f)については、この後の発表で詳細に紹介する。ここでは、それ以外で特徴ある試験装置、実験技術について紹介する。

3. 大型振動試験装置を用いた実験

2004年新潟県中越地震における新幹線脱線事故を受け、構造物、軌道、車両等の地震時挙動解明や脱線対策の開発を目的に、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次元振動試験装置が、国土交通省の補助を受けて平成20年11月に完成した(図3)。

本装置はレベル2地震時における高架橋上の応答変位に相当する地震を模擬することが出来、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の性能を有する。図3は、せん断土槽を用いた液状化試験の全景であるが、この他、地震時の車両の動的挙動解明や、軌道・電車線柱・建築上家・構造物などの連成挙動等に関する研究、免振デバイスの効果解明など、広い研究分野で活用されている。



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



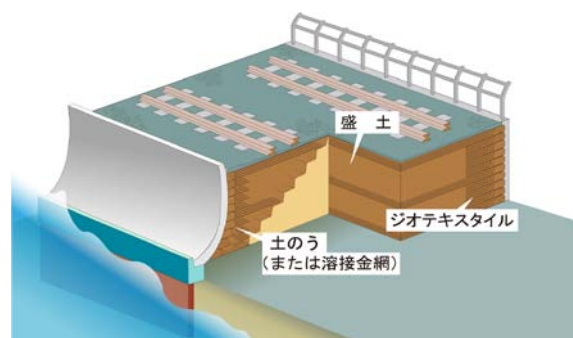
図3 大型振動台の性能と実験状況

4. 津波抵抗性に関する模型実験

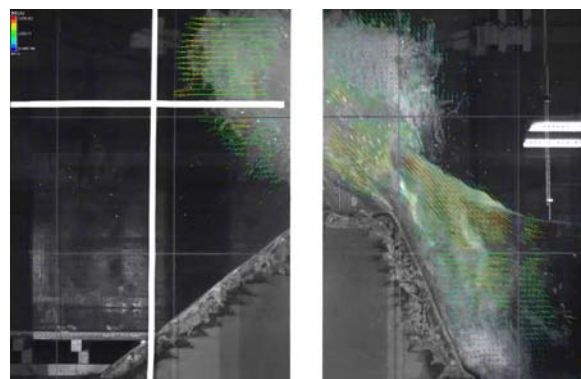
東北地方太平洋沖地震での津波被害は甚大であり、津波被害のメカニズム解明や合理的な対策法の検討が各機関において進められている。このうち復興構想会議では、「巨大津波による被害を防ぐための具体的な方策として、避難システムの構築とともに多重津波防御施設が有効である」

としている。そこで鉄道総研では、補強盛土 (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方法について提案²⁾し、農村工学研究所、東京理科大学、複合技術研究所との共同で研究開発を進めている (図 4 (a))。本工法は防潮堤として使用された事例は無いものの、海岸や河川護岸の復旧工事において適用された実績があり、津波抵抗性も高いことが期待されている。現在、農村工学研究所所有の実験装置を用いて、津波越流実験を実施し、耐津波抵抗性について検証しているところである。

図 4 (b)は実験状況を示すが、本実験においては、比重が近く分散性がよいイオン交換樹脂を水中に混入させ、鉄道総研が有する画像解析システムによって、越流波の速度ベクトルを可視化した例である。これらの成果に基づき、本構造については、現在、三陸鉄道の北リアス線の復旧工事において採用され、工事が進められている。



(a) RRR 工法の適用イメージ



(b) 津波越流実験の画像解析例

図 4 防潮機能を有する鉄道盛土

5. 降雨・振動試験装置

2004 年新潟県中越地震では、多くの山岳地の盛土が崩壊したが、3 日前の台風 23 号の影響が大きいことが指摘されており、これまで単独で取り扱われてきた、降雨と地震の複合災害と言われている。

図 5 は中型振動台において、降雨散水装置が併設された特殊な振動試験装置である。この装置を用いて 1/10 模型盛土に対して降雨散水後に振動を加えた実験によると、散水を行わないケースに比べて、5 割程度、耐震性能が低下することが確認されている。今後は対策工に関する性能確認実験を行う予定である。

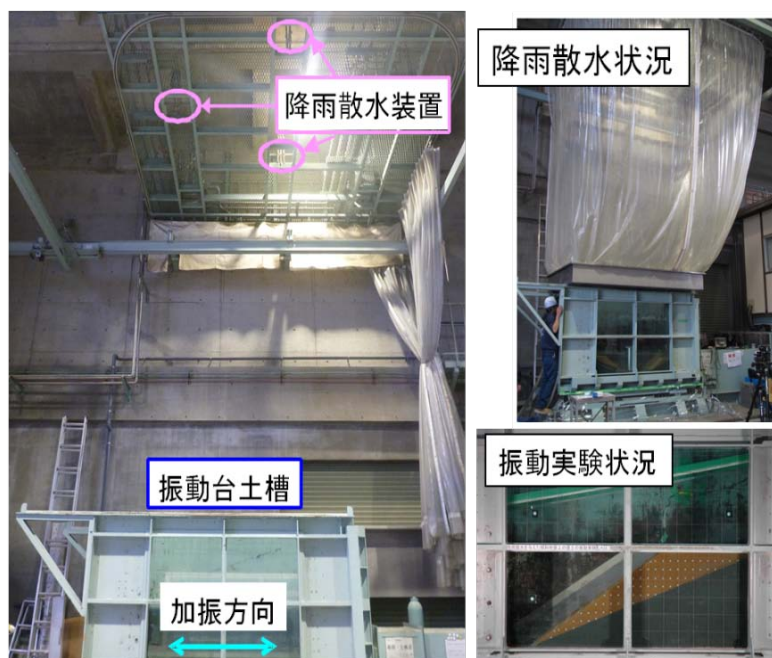


図 5 降雨・振動試験装置

6. ハイブリッド実験システム

近年、東海・東南海地震をはじめとした大規模地震の発生が懸念されており、鉄道構造物においても、列車走行や構造物の安全性を確保するため従来以上に耐震性の高い構造が望まれている。

こうした大規模地震時においては、トンネルや高架橋、基礎や土構造物は、構成要素単体の非線形性と、要素間の相互作用が連成して複雑な応答が生じる。しかしながら、これまでの実験的検討においては、構造単体の挙動把握を主眼として、あらかじめ与えた荷重パターンに従って荷重を行うこととしているため、構成要素同士の相互作用という重要な境界条件を考慮できていない。この問題を解決する方法として、構造要素の実験を計算機により再現した境界条件と連動させて行うハイブリッド実験装置の開発に着手している。

図6は、手始めとして製作した動的アクチュエータを用いたハイブリッド実験システムの概要である。本システムでは、地盤や基礎の応答を地震応答計算によって、橋脚躯体や柱の挙動に関してはアクチュエータを用いた荷重試験によって再現し、その結果を実時間でフードバックすることによって、相互作用下における地震時挙動を再現しようとするものである。

鉄道総研ではこの他、トンネル覆工荷重装置や基礎の静・動的荷重装置などを有しているため、将来的にはこれらの装置をLAN等で相互に接続し、互いに荷重状況・計測データをやりとりする分散実験システムの構築することにより、トンネルや盛土、高架橋、橋りょうなど、隣接する構造物群の全体挙動を把握できる装置の開発を目指している。

鉄道総研は、これらの試験装置・実験技術を用いて、鉄道施設の安全性向上に寄与できるように研究開発に取り組む所存である。

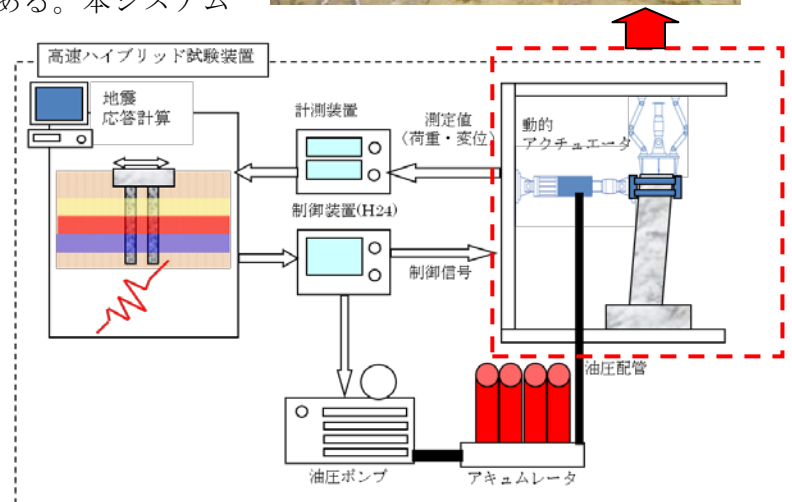


図6 ハイブリッド実験システムの概要

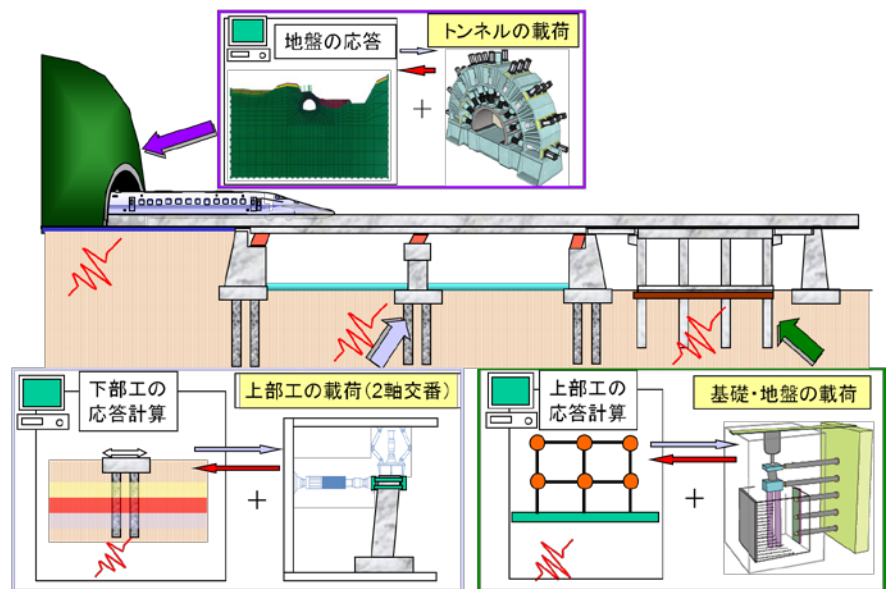


図7 統合化されたハイブリッド実験システム

参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：構造物技術研究部パンフレット（試験設備・解析技術の紹介）、2012.7
- 2) 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