

構造物における可視化技術

伊積 康彦
同
(建築 研究室長)

谷村 幸裕
同
(コンクリート構造 研究室長)

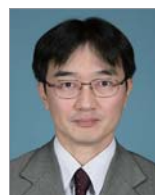
室野 剛隆
同
(耐震構造 研究室長)

神田 政幸
同
(基礎・土構造 研究室長)

杉本 一朗
構造物技術研究部
(鋼・複合構造 研究室長)



いづみ やすひこ



たにむら ゆきひろ



むろの よしたか



こうだ まさゆき



すぎもと いちろう

はじめに

科学技術の進歩に伴い、少し前までは夢物語であったことがいろいろと実現されてきています。技術の進歩は世の中を豊かにし、人々の暮らしに欠かせなくなった技術も数多く挙げられます。

鉄道総研においても、従来は困難であった解析、実験や測定などにおいて新しい技術を積極的に取り入れ、鉄道構造物の安全性や快適性の向上を図ってきました。今後もさらに新しい技術を積極的に取り入れていく予定ですが、鉄道構造物は大規模で、構造物の内部の状況も把握し難いことから、特に可視化に関する技術開発も強く求められています。

可視化技術は、各種現象の解明や視覚的な把握のために極めて大事な技術です。可視化という言葉を見えないものを見えるようにすると解釈した場合、シミュレーションによる可視化、実験における可視化、構造物診断における可視化など、様々な方法が挙げられます。データベースにより傾向の分析を行うことも可視化の一つかもしれません。このように考えますと、可視化には非常に広い事柄が含まれることになります。

ここでは、構造物技術研究部が研究開発を進めている技術の中で、可視化に関連する技術を紹介します。

駅的环境シミュレーション

列車に乗るとき、私たちは駅を利用します。駅は利用者が列車を乗り降りする際には必ず利用する施設であり、中には街の顔にもなっている由緒ある駅も多数あります。普段何気なく利用している駅ですが、昨今では、エレベーターやエスカレータの設置、ICカードの普及、列車遅れの際の情報案内など、快適性を高めるための様々な取り組みがなされています。また、駅構内でのショッピングなど、駅は列車の乗り降りや通過点としてだけでなく、利用者に

魅力ある空間を提供することで、駅に行けば色々なサービスを受けることができるような事例も出てきました。

このように様々な利用者が集まる駅構内ですが、従来の駅構内は、建設の合理性や多くの人を効率良く通過させることに力点が置かれていたこともあり、環境面での様々な課題を抱えています。

そのような環境面での改善を支援するツールとして、鉄道総研では、様々な可視化技術の開発を進めています。図1の温熱環境シミュレーションは、特に夏場において暑くなる場所を目に見えるようにすることで、温熱環境の実態把握と対策の効果をわかりやすく表示することができます。また、自然換気を用いた新しいシステムなど地球環境

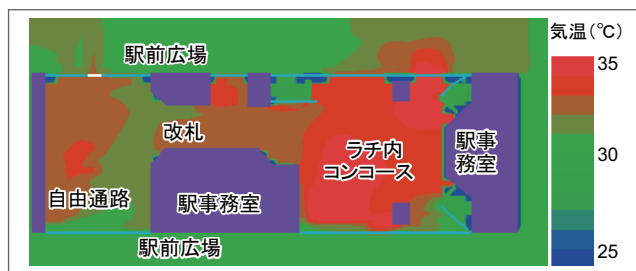


図1 駅の温熱環境シミュレーション

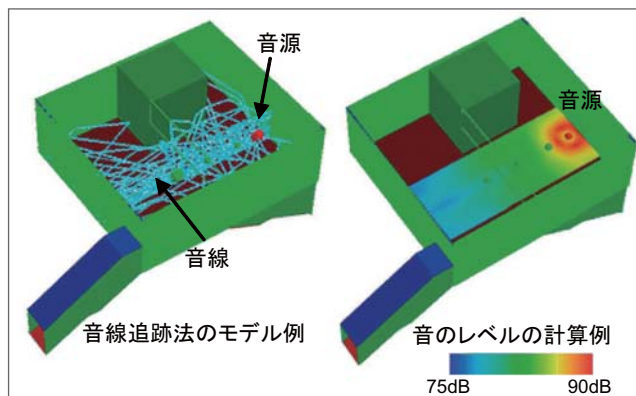


図2 駅の音環境シミュレーション

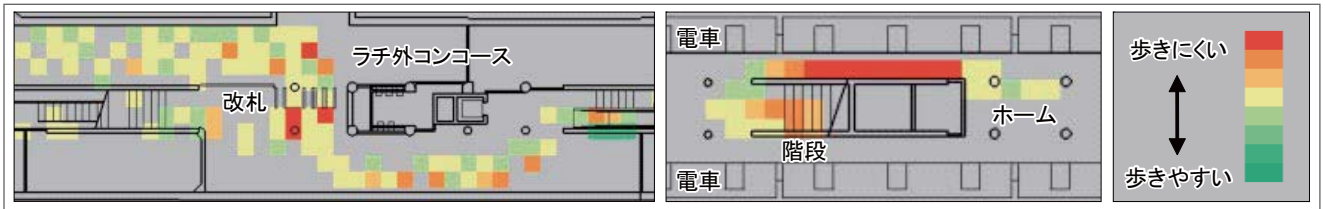


図3 駅の歩行環境シミュレーション(旅客流動評価シミュレーション)

にやさしい温熱対策の検討にも役立ちます。図2の音環境シミュレーションでは、音線追跡法と呼ばれる技術を用いて、駅構内での音の伝わり方を見ることができます。これにより、利用者に大切な情報を伝えるために必要な放送の大きさや効果的なスピーカの配置の検討をすることができます。また、静かで放送の聞き取りやすい駅を作るために、天井や壁、床の材料の選定する際にも役立てることができると考えています。図3の歩行環境シミュレーションでは、従来のシミュレーション手法による全体的な利用者の流れの把握に加えて、実物大の模型駅舎での実験で得られたコンコースやホーム、階段での歩きにくさの評価指標を基に、駅構内で利用者が歩きにくいと感じる箇所をわかりやすく表現することが可能となります。様々な駅の計画案をシミュレーションにより比較することで、利用者にとって、より歩きやすく、移動負担の少ない駅の施設計画に役立てることが可能となります。

地震災害シミュレータ

近年では、地震活動期に我が国全体が入ったとされています。一方、鉄道システムは、路線延長が長く、また構成要素が多岐にわたり、“どこにどのような震災リスクが潜んでいるのか”を想像するのが難しいのが現状で、鉄道システムに対して適切な地震対策を行うためには、地震被災シナリオ／地震リスクを想定すること、および利用者を含めて様々な主体が震災リスクに対する共通認識を構築し、様々な尺度で震災リスクを評価可能な仕組みを作ることが重要になります。そこで、数100kmの延長に及ぶ線区全体を評価できるような大規模なシミュレータを開発し、適切な可視化を施して、地震災害リスクの軽減を図るための有効なツールを構築しています。

地震災害シミュレータを構築するために、モデル線区を設定し、鉄道沿線の地盤や構造物の各種条件をデータベースとして揃えます(図4)。そして、データベースを元にして、地盤—構造物のモデルを作成します。基本的には、条件を選択することにより、構造物群のモデルができていくようになります(図5)。このようにして作成された構造物群モデルを用いて地震応答解析を行うことにより、線区全体の耐震性を評価することが可能となります。このとき、

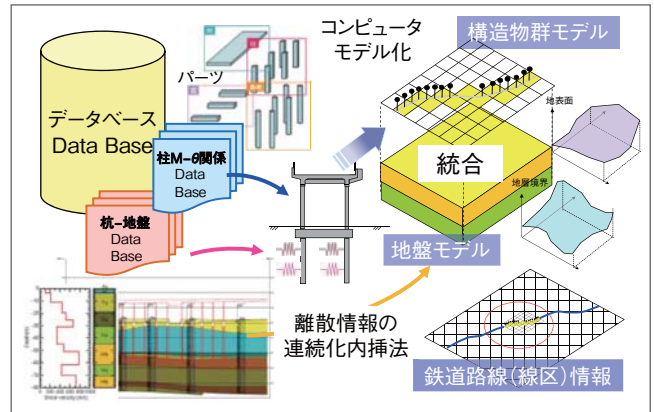


図4 地盤・構造物群モデルデータベース

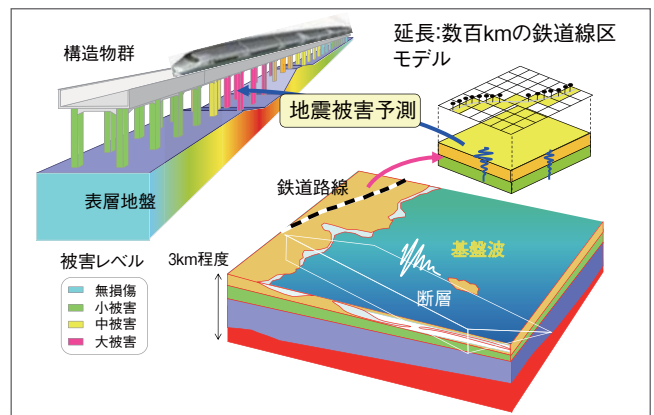


図5 地震災害シミュレータ

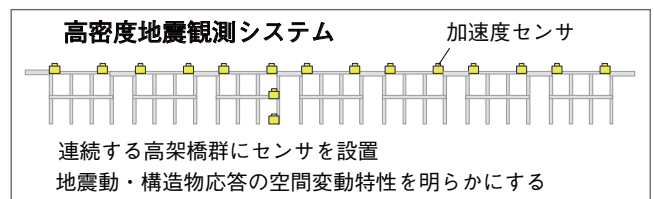


図6 シミュレータ検証用の高密度地震観測システム

図6に示すようなシミュレータ検証用の高密度地震観測システムと併用することにより、予測精度の向上が図れます。本シミュレータを用いることにより、地震が発生したときにどんなことが起こりうるのか被災シナリオを示すことがこれにより可能となります。対策の優先順位を明らかにすることができるのと同時に、効果的な対策工を講じることが可能になります。さらに、構造物が保有するリスクを考慮すれば、今後の補修投資計画にも非常に役立つようになると考えています。

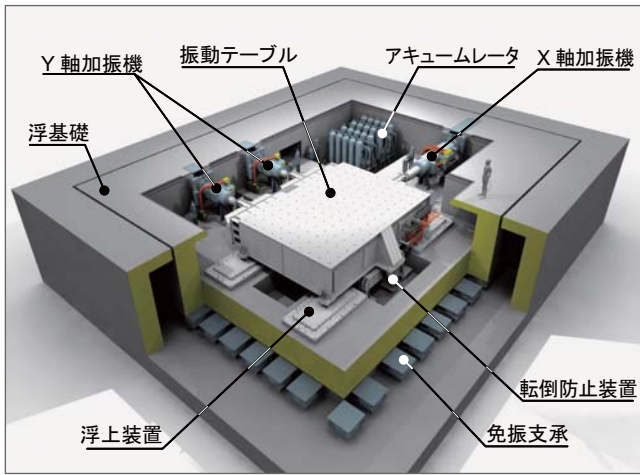


図7 大型振動試験装置

表1 大型振動試験装置の仕様

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 : ±1000mm Y : ±250mm
最大加速度	X : 1000gal Y : 2000gal
加振周波数	0.1 ~ 20Hz

実験対象：実台車, 実軌道, 1/2 スケールの高架橋柱, 1/5 スケールの地盤など

大型振動試験装置

鉄道総研では、昭和43年の十勝沖地震以降、大型盛土振動台を導入し、安全な盛土構造の開発に大きく寄与してきました。しかしながら、平成7年の兵庫県南部地震以降、高架構造物のさらなる耐震性向上が求められ、さらに平成16年の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ます。

このような中で、震度7クラスの地震動を模擬して鉄道台車や構造物を加振させる、大型振動試験装置を新たに構築しました。図7に大型振動試験装置の構成図を示します。装置は、振動テーブル、加振機、浮上装置、転倒防止装置などから構成されています。また、周辺へ振動が伝わらないように、総重量30,000kNの外基礎の上に、52台の空気バネによる免震支承で支持した浮基礎(20×16×4m:総重量26,000kN)としています。

加振ストロークは±1000mmあり、兵庫県南部地震で記録された±500mmを超えますが、これは、高架橋上の変位を考慮したためです。試験装置の主な仕様は表1に示すとおりです。

本装置では、構造物模型、実軌道、実台車の加振が可能

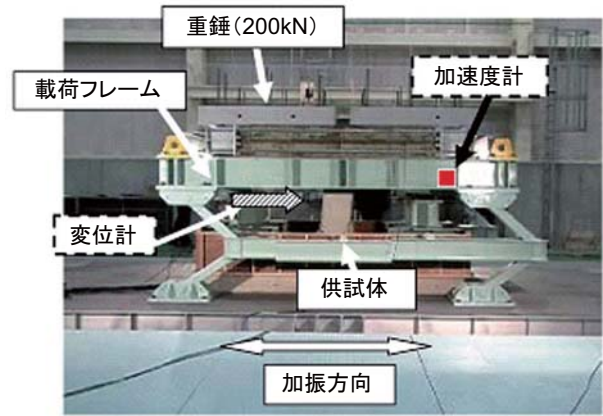
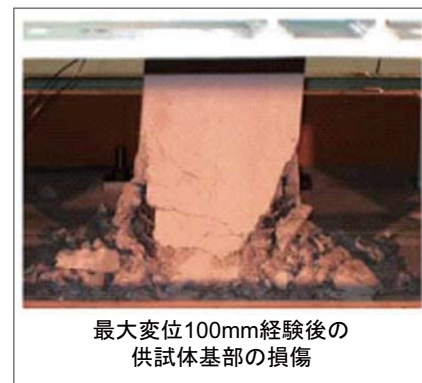


図8 大型振動試験装置を用いたRC部材の試験の例



最大変位100mm経験後の供試体基部の損傷

図9 試験体破壊状況の例

です。大地震に対する車両の脱線問題や、構造物の破壊現象を扱うことから、試験体の固有周期が変化することが考えられ、揺り戻しの影響により、地震波形の再現性が低下する恐れがあります。そこで、入力波に対する反力を把握して、所定の地震波が入力できるように反力補償制御技術を導入しています。

鉄道構造物の高架橋に用いられる鉄筋コンクリート部材(RC部材)に大規模な地震力が作用すると、一般に軸方向鉄筋が屈曲した後、徐々に耐力が低下します。これまで、このような耐力低下域におけるRC部材の挙動には不明な点が残されていましたが、本試験装置を用いた、大変形領域および破壊領域における試験を実施することが可能となりました。図8、図9に大型振動試験装置を用いた試験状況の例を示します。このように、大型振動試験装置を用いることによって、従来未解明であった構造物の破壊現象を明らかにすることも可視化の一つと考えられます。

本試験装置は国土交通省の補助金を受けて作られました。

高架橋のひび割れ診断⁶⁾

線路は、橋、トンネル、盛土など多くの土木構造物によって支えられています。鉄道土木構造物は他の交通基盤施設と比べて、比較的早期から整備されたため、構造物の老朽

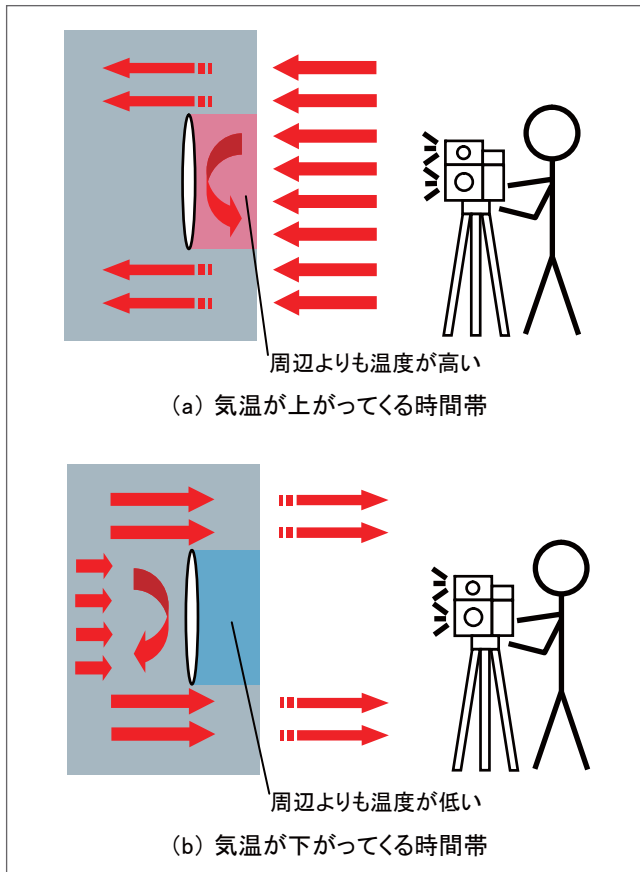


図10 赤外線法の原理

化が課題となっています。例えば、コンクリート高架橋ではひび割れの発生に伴う、コンクリート破片の落下による第三者への影響が問題となっています。既にハンマーで叩いて調べるなどの検査法が用いられていますが、検査範囲が限られるなど難しい面もあるようです。ここでは、構造物診断における可視化の例として、赤外線を用いた調査法についてその概要をご紹介します。

一般に、コンクリートと空気では熱の伝わる程度が異なります。空気は熱が伝わりにくく、コンクリートは空気に比べて熱が伝わりやすいため、コンクリート表面に浮き(空気層)があると、表面温度に差が生じます。この原理を利用したものが、赤外線法です(図10)。赤外線法とは、構造物を赤外線カメラで撮影することで温度差を構造物表面から放射される赤外線量として捉える手法です。

赤外線カメラによる撮影した例を図11、図12に示します。赤外線を用いる場合には、赤外線を照射するアクティブ法と太陽光を利用して構造物表面の温度を測定するパッシブ法がありますが、鉄道総研では、パッシブ法を採用して、コンクリート表面の浮きを調べる診断システムを構築しています。

現在では、より精度向上を目指して、レーザー加振による非破壊検査法などの開発も進めています。

このような手法を用いることにより、第三者被害を軽減

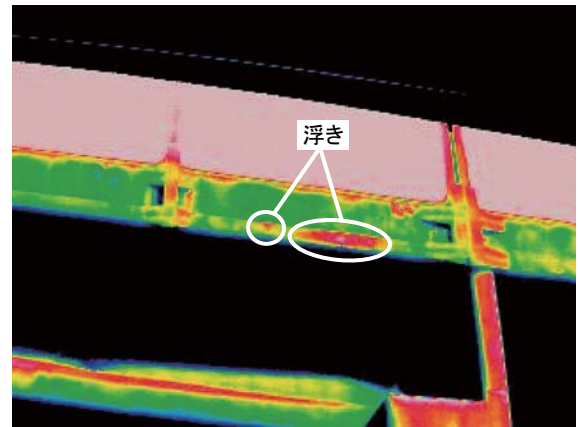


図11 パッシブ法による撮影例



図12 アクティブ法による撮影例

することが可能となり、構造物の安全性向上、検査の省力化などが期待できます。

おわりに

以上、構造物に関連する事柄としてシミュレーション、実験、維持管理の面で開発されている可視化に関する技術をご紹介しました。実構造物の測定や実構造物における実験では、多くのデータを集めることが難しい面があります。今回、ここで示したような手法を用いることにより、室内で事前に各種検討を行うことが容易となり、今後の方針を検討する上で非常に有益なツールとなります。可視化の解釈にもよりますが、鉄道総研で取り組んでいる各種技術は、可視化につながる研究が多く、可視化に関連する技術開発が重要であることを示していると考えられます。引き続き、現場のことも考えながら、各研究の深度化を図っていきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 伊積：環境に配慮して駅コンコースの温度上昇を抑える，RRR，2009.12
- 2) 山本，石突：駅の歩きやすさを向上する，RRR，2010.1
- 3) 伊積：駅の音環境を改善する，RRR，2010.11
- 4) 涌井，石田：鉄道シミュレータの構築，RRR，2011.1
- 5) 館山：大型振動試験装置，RRR，2008.11
- 6) 大村，篠田：高架橋のひび割れを診断する，RRR，2009.11