

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

構造物データベースで地震リスクを求める

鉄道構造物は線状かつ広域にわたり広がっています。そのため、地震後早期に鉄道機能を回復させるためには事前に路線全体の地震リスクを把握し、対策を講じておくことが重要です。鉄道総研では、構造物データベースを用いて路線全体の地震被害を推定する「インベントリー法」を新たに開発しました。本手法では、従来のような詳細な解析モデルを構築することなく被害推定に必要な情報を容易に入手することが可能です。ここでは、インベントリー法とその活用方法について紹介します。

はじめに

日本は活発な地震活動にさらされており、国内に網の目のように発達した鉄道交通網はつねに地震リスクを抱えています。最近では、2018年6月18日の大阪北部地震(M6.1, 最大震度6弱)、2018年9月6日の北海道胆振東部地震(M6.7, 最大震度7)において、鉄道の運行が一時停止し、復旧までに時間を要しました。こうした鉄道機能の喪失が企業活動や利用者の生活に与える影響は非常に大きく、地震後の鉄道機能の早期回復に対する社会的ニーズは高まっています。

一方、鉄道は広域をカバーしており、地震が発生したときの影響範囲もまた広大です。したがって、鉄道機能を早期に回復させるためには、事前に路線全体の被害状況を推定しておき、限られた人員の配置や、点検の優先順位などを定める復

旧対策を講じておくことが重要となります。

こうした事前の被害推定には路線全体の地震被害シミュレーションが有効な手段であり、鉄道総研ではすでに「鉄道地震災害シミュレーター¹⁾」を開発しています。ここでは、このシミュレーターを活用し、入手可能な情報の多寡によらず路線全体の被害推定が可能な「インベントリー法」を新たに開発しました。ここでは、開発した被害推定手法とその活用方法について紹介します。



小野寺 周
Meguru Onodera
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室
研究員
【専門分野】耐震工学



和田 一範
Kazunori Wada
前 鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室
副主任研究員
【専門分野】地震工学



坂井 公俊
Kimitoshi Sakai
鉄道地震工学研究センター
地震動力学研究室
主任研究員
【専門分野】地震工学



室野 剛隆
Yoshitaka Muroto
鉄道地震工学研究センター
研究センター長
【専門分野】地震工学

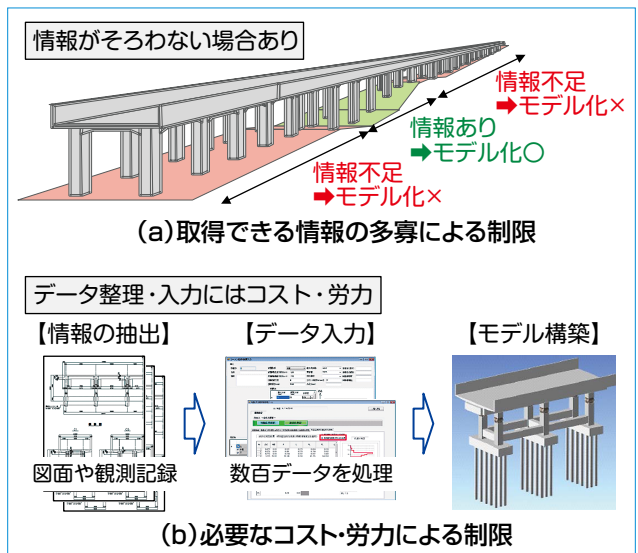


図1 従来のシミュレーターによるモデル化の課題

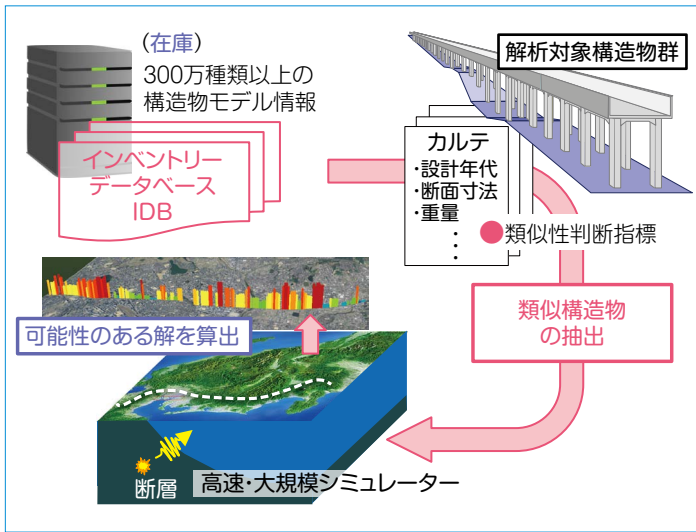


図2 インベントリー法の概要

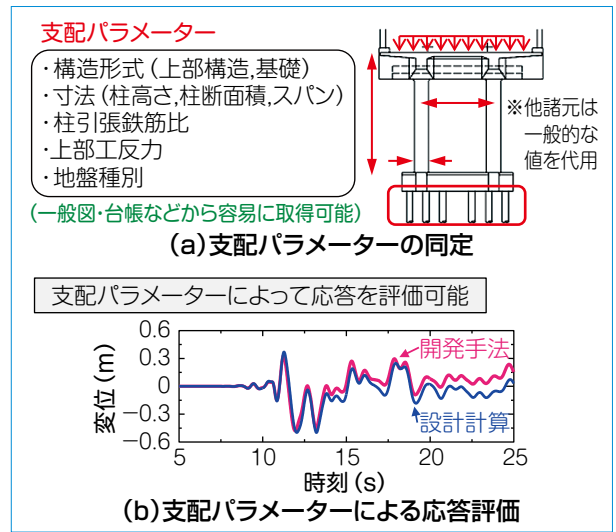


図3 支配パラメーターの同定

鉄道地震災害シミュレーター

鉄道総研では、路線全体にわたる多数の構造物群に対して地震被害推定が可能な「鉄道地震災害シミュレーター」を開発しています。本シミュレーターによって、断層・深層地盤から表層地盤、構造物の詳細な情報を基に、断層破壊から構造物応答までを路線全体にわたり評価することが可能となりました。

ただし、シミュレーターで被害推定を行うためには、地盤の層構成や物性値、構造物の部材寸法や断面諸元など、構造モデルを構築するための情報を設計計算書や観測記録から取得する必要があります。しかしながら、図1(a)に示すように、路線の中にはこうした情報が十分にそろわない場合も多くあります。たとえば建設年代の古い構造物では、設計計算書が存在せず台帳に記載されている情報や一般図程度の簡易な情報しか手に入らないこともあります。情報が不足している場合には、構造モデルが構築できず本シミュレーターによる被害推定を行うことはできませんでした。また、図1(b)に示すように、仮に情報が十分そろっていたとしても、各構造物をモデル化するためのデータ整理・入力には相当なコスト、労力が必要でした。

そこで、従来のシミュレーターより

も容易に構造物群をモデル化可能で、かつ入手できる情報量の多寡によらず路線全体の地震被害シミュレーションが可能な「インベントリー法」を開発しました。

インベントリー法による地震被害推定

インベントリー法の概要を図2に示します。「インベントリー (Inventory)」という言葉には“在庫”や“在庫調べ”という意味があります。すなわち、インベントリー法とは、“在庫＝データベース”を調べることで、構造物の被害推定に必要な情報を抽出し、被害推定をする方法です。インベントリー法の詳細については以下に述べます。

構造物の設計計算には数百もの情報を整理する必要があり、非常に時間がかかる上、情報がすべてそろわないこともあります。そこで、まずは限られた情報のみを用いて効率的に構造モデルを構築するために、構造物の地震応答に支配的なパラメーター（以下、支配パラメーターとよびます）を選定しました（図3）。選定した支配パラメーターは以下の通りです。

- 構造形式 (上部構造, 基礎)
- 寸法 (柱高さ, 柱断面積, スパン)
- 柱引張鉄筋比

- 上部工反力
- 地盤種別

これらの情報はいずれも台帳や一般図から容易に取得できるものです（図3(a)）。

支配パラメーターによる応答解析結果を図3(b)に示します。青線は設計計算によって構築した構造モデル、赤線は支配パラメーターのみを入力してその他の諸元は一般的な値で代用した構造モデルの結果です。両者の最大応答はよく一致しており、支配パラメーターのみから構造物の被害を推定できることがわかりました。

続いて、支配パラメーターの値を網羅的に組み合わせることで、300万ケースにおよぶ構造モデル群を構築しました。パラメーターの値は一般的な橋りょう・高架橋の諸元を包含するように決めています。そして、この構造モデル群と支配パラメーターとを紐付けたデータベース「地震災害シミュレーションのためのインベント

等価固有周期と降伏震度

構造物の揺れ方を評価するためのパラメーターで、被害推定を行う際に必要となります。通常は設計計算をしたうえで構造物の数値解析モデルを構築し、静的非線形解析を実施することで算定します。

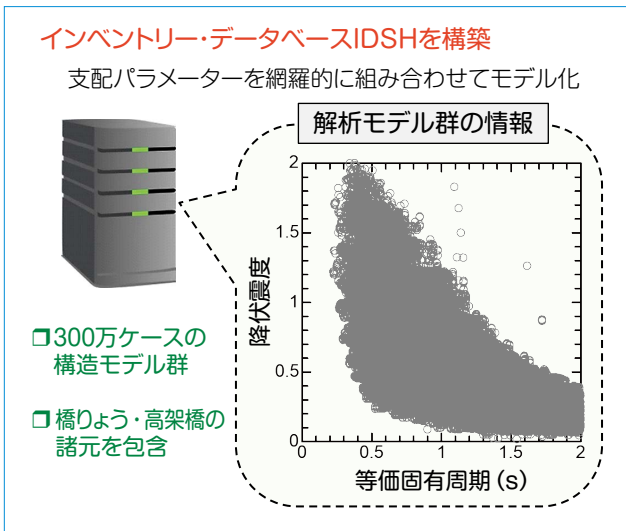


図4 データベースIDSHの構築

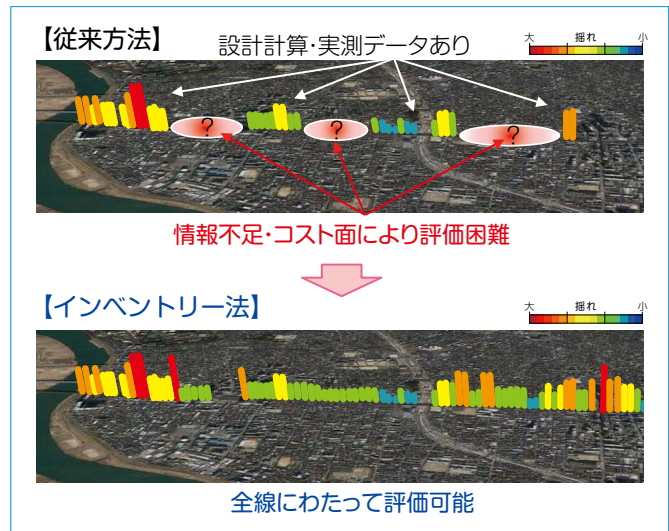


図6 路線全体の地震被害シミュレーション

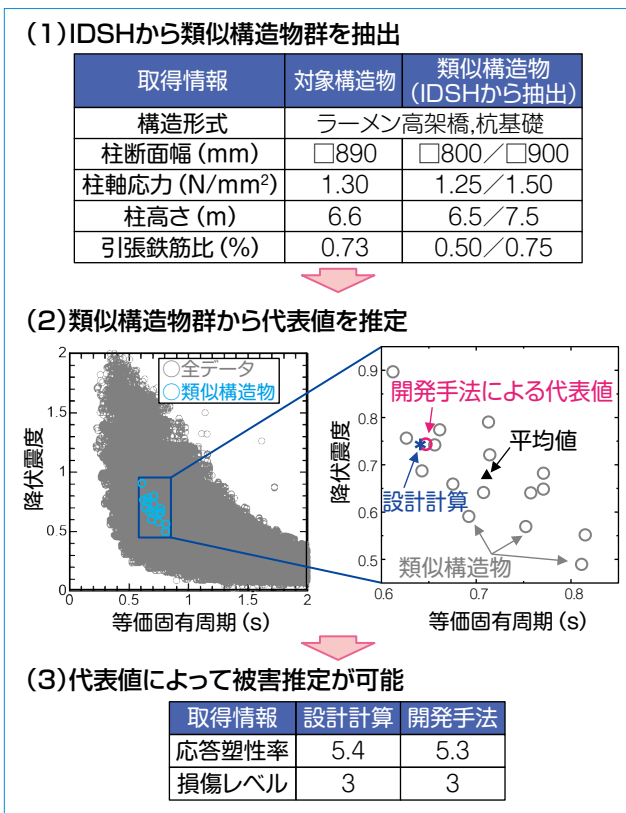


図5 インベントリー法による被害推定

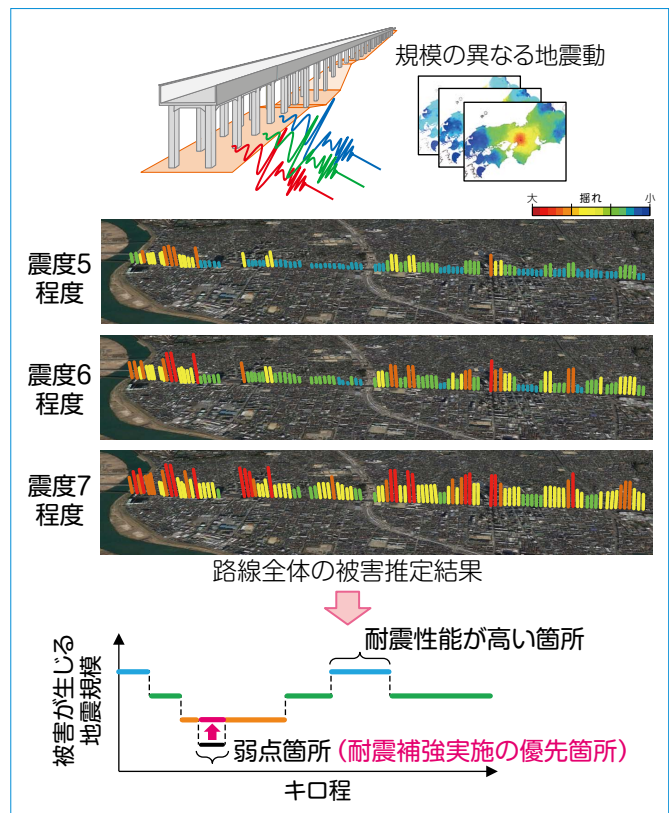


図7 地震ストレステストによる耐震診断

リー・データベースIDSH (Inventory Database for Seismic Hazard analysis)」を構築しました。図4にはIDSHに格納された構造モデル群の等価固有周期と降伏変位(参照)の分布を示しており、支配パラメーターの組み合わせごとにさまざまな特性を持つ構造モデルがあることがわかります。データベースIDSHを活用したインベントリー法による被害推定方法に

ついて図5に示します。まず、評価対象とした構造物とIDSH上の構造物群の支配パラメーターを比較し、各パラメーターの値に近い類似構造物群を抽出します(図5(1))。図5(2)には、類似構造物群の等価固有周期と降伏変位を示しています。抽出された類似構造物群がある範囲にまとまって分布していることがわかります。続いて、入手した支配パラメーター

を基に類似構造物群から一つの代表値を推定します。そこで、実際の支配パラメーターの値に対して、IDSH上にある構造物群と対象構造物の類似度に応じた重み付けによって代表値を推定する手法を開発しました。その結果、図5(2)に示すように、代表値は単純な平均値よりも設計計算による算定結果に近い値が得られます。この等価固有周期・降伏変位の代表値を用いた応

答解析によって、開発手法によって設計計算と同じ損傷レベルを評価できました(図5(3))。

以上より、インベントリー法によって、支配パラメーターのみから構造モデル・地震被害を評価可能となりました。そのため、図6に示すように、これまで詳細な情報が入手できなかった区間や、情報があるにもかかわらずコスト面でモデル化が困難だった区間も含めて、路線全体にわたって従来よりも低コスト・短時間で路線全体の被害推定が可能となりました。このインベントリー法はすでに複数の鉄道事業者への路線評価に活用されています。

続いて、インベントリー法の活用方法について紹介します。

地震ストレステストによる耐震診断・弱点箇所抽出

開発したインベントリー法によって、想定した地震に対する被害推定が可能となりました。一方、日本国内には地震を引き起こす活断層が密に分布しており、路線内のさまざまな地域で地震が発生する可能性があります。そこで、路線全体の構造物がそれぞれどの程度の大きさの地震まで耐えられるか、またどこが弱点箇所となるかを事前に把握しておくことが重要になります。

こうした目的には「地震ストレステスト」が有効です。これは図7に示すように、路線全体の構造物群に対して震度5弱、震度5強、震度6弱…と一律で地震規模を大きくした応答解析を実施し、それぞれの構造物に対して地震規模と被害程度の関係性を評価する方法です。

この地震ストレステストを行うことで、地震後の路線の揺れの大きさから構造物の被害程度を速やかに把握することが可能となります。

また、路線全体のうち相対的に損傷

が生じやすい弱点箇所を抽出することもできます。そうした弱点箇所を優先的に耐震補強することで、路線全体の耐震性能を向上させることができます。

仮想訓練による耐震戦略の策定

鉄道機能が一時喪失するような規模の地震が発生する頻度は、国内でも数年に一度程度であり、特定の路線ではさらに少ない頻度となります。こうした中で、地震時にどんな対応をすべきかあらかじめ訓練を重ね、事前対応や復旧対応の技術・ノウハウを継承していくことが重要です。そのためには路線全体のシミュレーション技術を活用した「仮想訓練」が有効です。仮想訓練によって、想定する地震に対してどのような事前対応・初動対応をすべきかといった耐震戦略の策定を支援します。

仮想訓練の概要を図8に示します。仮想訓練では、さまざまな想定地震に対するシミュレーションによって路線全体の揺れの分布や構造物の被害状況を推定します。その推定結果を基に、復旧作業スペースの確保や資材の調達経路、作業人員の配置計画などの対応を整備することができます。さまざまな災害シナリオに対する情報を取得し、マニュアルを蓄積しておくことで、地震後の迅速な復旧対応が可能となります。

おわりに

構造物データベースを用いた路線全体のシミュレーション技術とその活用方法について紹介しました。

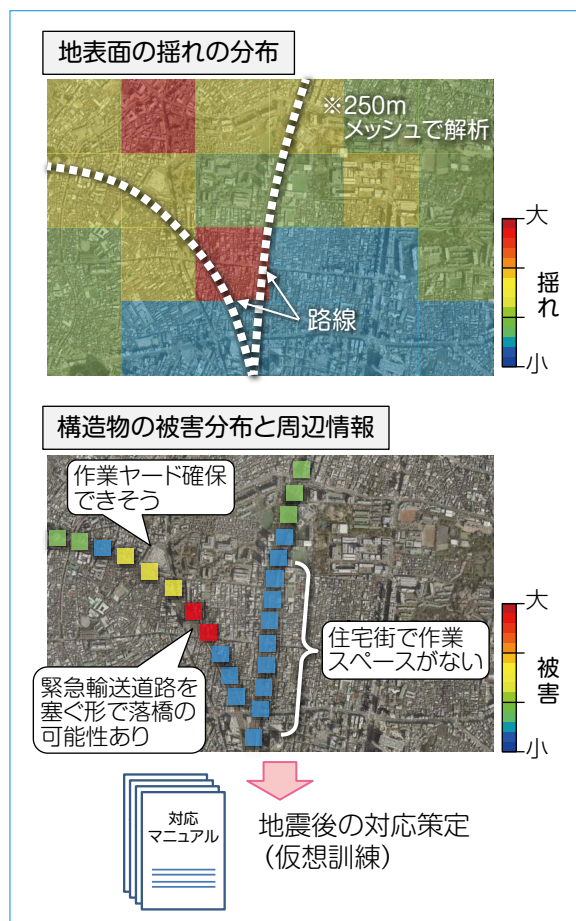


図8 仮想訓練による耐震戦略の策定

膨大なデータベースやシミュレーション技術を駆使することで、広域鉄道路線に潜む地震リスクを事前に求めることができます。そして、頻繁に発生する中小地震から、将来に発生が懸念されている巨大地震に対して、鉄道のレジリエンスを向上させることにつながります。今後もデータベースを拡充していき、さらなる高精度化や適用範囲の拡大を目指します。また、鉄道用地震情報公開システムと連携した地震後の即時被害推定の開発に向けて取り組んでいきます。RRR

文献

- 1) 井澤淳, 坂井公俊, 本山紘希, 室野剛隆: 鉄道地震災害シミュレーターで構造物被害を予測する, RRR, Vol.73, No.3, pp.8-11, 2016