

地震災害シミュレータ

構造物技術研究部 耐震構造研究室
主任研究員 井澤 淳

1. はじめに

現在、鉄道路線全体の地震時安全性評価の実施が可能な地震災害シミュレータの構築を行っている。この地震災害シミュレータは図1に示すような3段階で開発を進めているが、今回、第1段階にあたる簡易地震災害シミュレータの開発を行った。簡易地震災害シミュレータの解析フローの概念図を図2に示すが、鉄道路線全体の地震災害シミュレーションを行う場合、全区間の地盤・構造物情報が必要であったり、膨大な数の解析モデルを作成する手間などが問題となり、これまでは実施困難な状況にあった。そこで、まず緯度経度とキロ程を関連付け、地盤・構造物の情報を管理できる地盤・構造物情報アーカイブスを構築した。さらに、表層地盤の多層1次元非線形解析モデルと構造物の等価1自由度解析モデルを限られた情報のみから算定できるモデリングアルゴリズムを構築するとともに、モデル化に必要な情報をアーカイブスから取り出し解析モデルを自動で作成できる自動モデリングプログラムを開発した。これらにより、断層破壊から約100km区間の構造物の被害までを評価できる簡易地震災害シミュレーションの実施が可能となったので報告する。

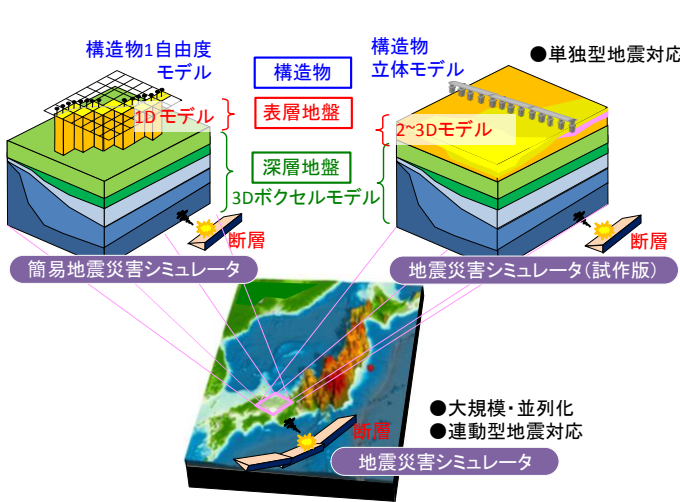


図1 地震災害シミュレータの構想

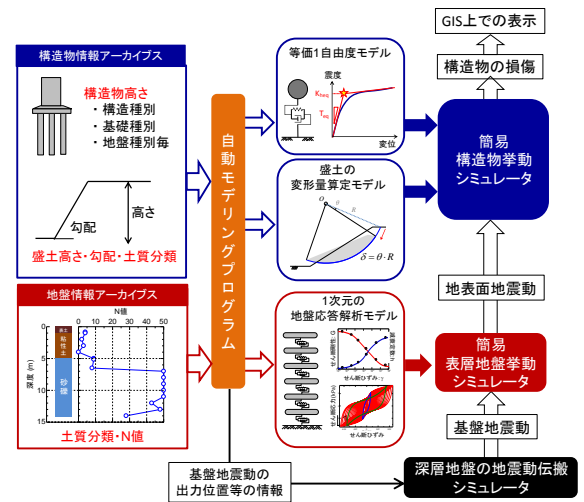


図2 簡易地震災害シミュレーションのフロー

2. 地盤・構造物情報アーカイブス

路線全体の地震災害シミュレーションには全区間の地盤と構造物の情報が必要となる。そこでまず、地盤・構造物の緯度経度とキロ程を関連付けて管理出来る情報アーカイブスを構築した。このアーカイブスは、地震災害シミュレーションだけでなく、様々な用途に対して必要に応じて簡易な情報から詳細な情報までを自由に取り出せるように構築を進めている。

(1) 地盤情報アーカイブス

地盤情報アーカイブスは地盤情報を xml ファイル形式で管理するとともに、3次元表示可能な

GIS ソフトウェア SuperMap との連携を図り、入力や管理を GIS ソフトウェア上で可能としている (図 3)。この地盤情報アーカイブは N 値や土質種別といった簡易なボーリング情報から、PS 検層などの地盤調査結果、室内土質試験結果などの詳細情報までを整理可能としている。

(2) 構造物情報アーカイブ

構造物情報には構造物の形式から各部材の配筋情報等があり、地盤情報と比べて非常に複雑であるとともに、データが大量になることが懸念される。そこで、構造物の部材毎にデータを管理し、複数の構造物でそれらを共有することで、データ量の削減とデータ入力の省力化を図り、アーカイブの構築を行った。この構造物情報アーカイブでは、ラーメン高架橋、橋脚、盛土の詳細情報を管理可能である。また、視覚的に理解しやすいデータ入力システムを構築することで、正確かつ簡易に構造物情報を入力出来るようにした (図 4)。この構造物情報アーカイブも、地盤情報アーカイブで使用している GIS ソフトウェアとの連携を行い、GIS 上で入力および管理できるようにした。

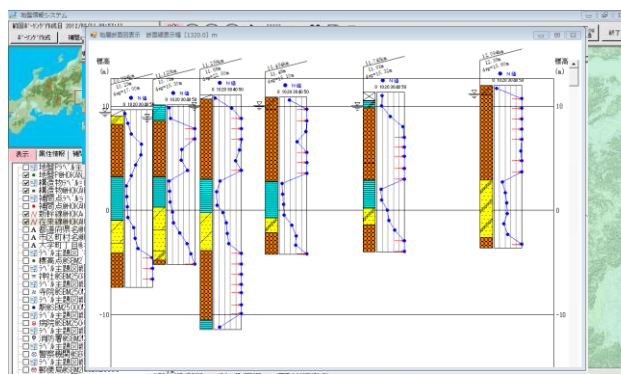
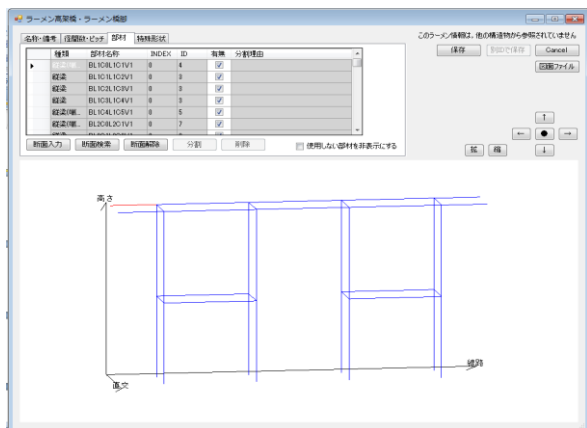


図 3 GIS 上で表示した地盤柱状図



(a) 構造物形状入力画面



(b) 部材の断面情報入力画面

図 4 構造物情報アーカイブの入力画面

3. 解析モデルの自動生成ツール

(1) 地盤の地震応答解析モデルの自動生成アルゴリズム

簡易地震災害シミュレータにおける地盤応答解析では、対象構造物地点の地盤の多層 1 次元非線形応答解析を行う。地盤の非線形モデルには鉄道構造物の設計において標準的に用いられる GHE-S モデルを用いる。従来、GHE-S モデルのパラメータを設定するためには、PS 検層、三軸試験、繰り返し三軸試験などの調査および試験を実施し、試験結果をフィッティングする必要があった。しかしながら、広範囲の路線を解析対象とした場合、モデル化に相当の手間がかかるだけでなく、必要な調査および試験結果が全線で揃うことは考えづらく、この応答解析手法の適用は不可能な状況であった。そこで、これまでの調査・試験結果を整理し、GHE-S モデルの標準パラメータを求めた¹⁾ (図 5)。これにより、ボーリング調査結果があれば、土質種別と N 値情報のみから地盤応答解析に必要なパラメータが設定できるようになった。

(2) 構造物の地震応答解析モデルの自動生成アルゴリズム

構造物の地震時の応答を精度良く算定するためには、多自由度の詳細モデルを適用する必要がある。しかしながら、上述の地盤応答解析モデルと同様に、モデル化に相当の手間がかかること、必要とする詳細な情報が全線で得られないことから、実施は不可能な状況であった。そこで、図6に示すように、多自由度モデルと同等の応答を評価できる等価1自由度モデルを提案した。このモデルで必要となるパラメータは等価固有周期と降伏震度であるが、これらを構造物種別と高さのみから算定できるようにした。なお、盛土の変位量算定モデル²⁾や液状化判定モデルも自動で生成できるようにしている。これらのモデル作成に必要な情報を構築した地盤・構造物情報アーカイブから取り出し、応答解析モデルを自動で作成出来る自動モデリングプログラムを開発した。これにより、路線全体の簡易地震災害シミュレーションに用いるモデル作成が容易に可能となった。

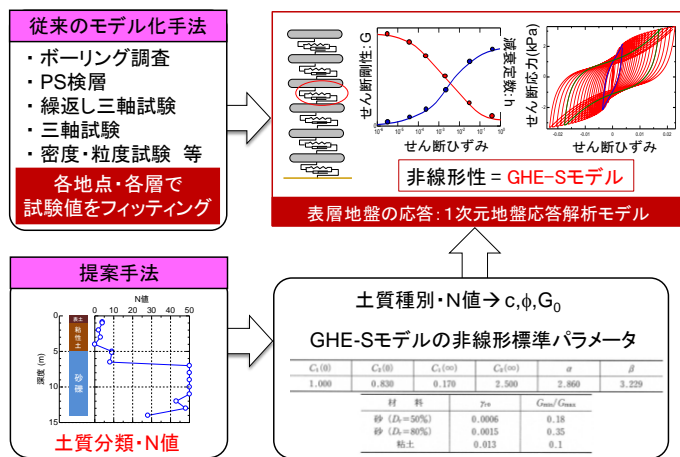


図5 表層地盤の自動モデリングアルゴリズム

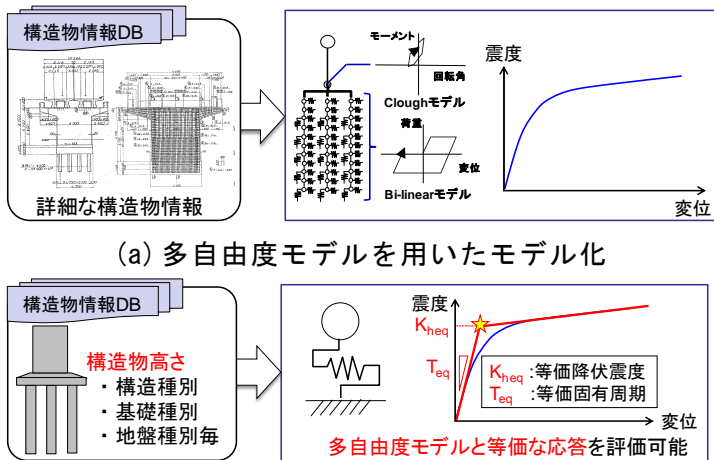


図6 構造物のモデリングアルゴリズム

4. 簡易地震災害シミュレータ

図2に示すように、簡易地震災害シミュレータは地盤・構造物情報アーカイブと、深層地盤の地震動伝搬シミュレータ、簡易表層地盤挙動シミュレータ、簡易構造物挙動シミュレータの3つのシミュレータから構成されており、図7に示すような管理ツールを介して連続的に実施できるようにしている。まず対象路線と解析対象キロ程を設定し、地盤・構造物情報アーカイブより解析対象となる構造物と直近のボーリング情報を選定する。選定した情報を用いて、解析モデルの自動モデリングプログラムで地盤および構造物の解析モデルを作成する。また、構造物地点の緯度経度情報を深層地盤の地震動伝搬シミュレータに受け渡し、基盤地震動の出力箇所として設定する。その後、地震動伝搬シミュレータで算定した基盤地震動を表層地盤挙動シミュレータに受け渡し、作成した地盤応答解析モデルに入力して表層地盤の応答シミュレーションを行い、各構造物位置での地表面地震動を算出する。最後に、得られた地表面地震動を簡易構造物挙動シミュレータに入力することで、等価1自由度解析モデルによる構造物の応答塑性率等が算出できる。また、GISソフトウェア上でシミュレーション結果を確認できるようにするとともに、構造物の損傷状況も確認できるようにした(図8)。この損傷状況画像はグラフィックソフトウェアNavisWorksを構造物情報アーカイブと連携させて立体的な画像を作成した上で、解析から得られる損傷ランク毎に損傷を表示できる(表1)。

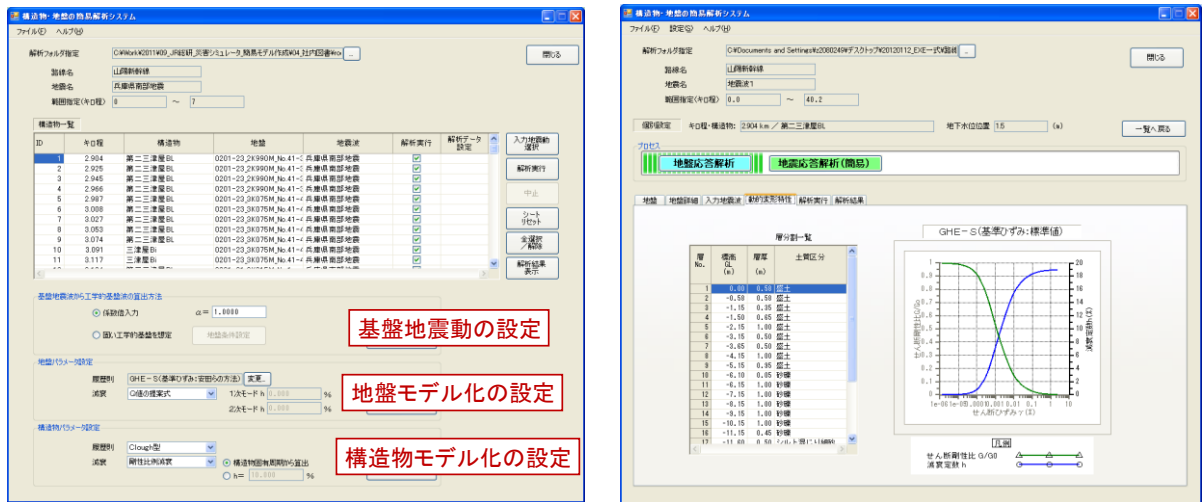


図7 簡易地震災害シミュレータの管理ツール画面

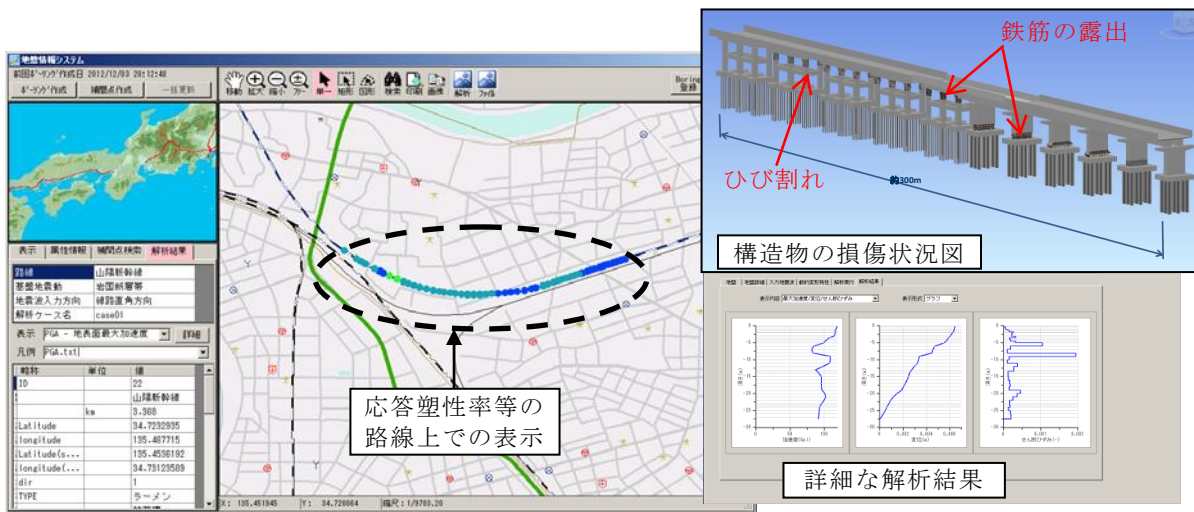
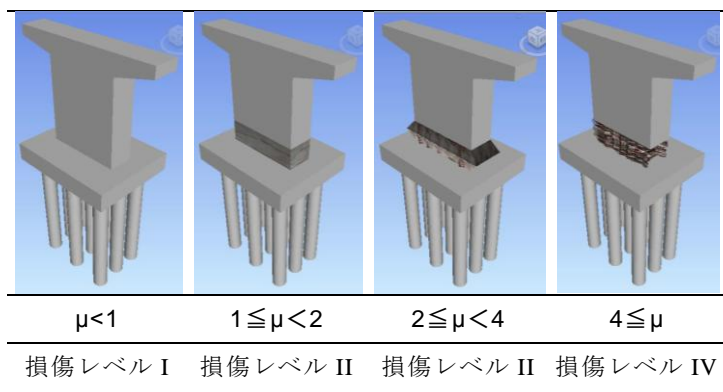


図8 路線全体の地震災害シミュレーション結果のGIS上での表示

5. まとめ

本成果により、約 100km 区間に渡るような路線全体の地震災害シミュレーションの実施が可能となった。今後、鉄道路線の全線評価に有効に利用できると考えている。また、第2段階にあたる詳細解析を実施可能な地震災害シミュレータの構築を進めていく予定である。なお、本研究の一部は国土交通省補助金を受けて実施した。

表1 損傷レベルと被害状況の可視化画像



参考文献

- 1) 室野 剛隆, 野上 雄太, 田上 和也, 坂井 公俊 : GHE-S モデルによる土の動的非線形挙動の評価方法, 鉄道総研報告, 第 25 巻, 第 9 号, pp. 13-18, 2011.
- 2) 坂井 公俊, 室野 剛隆, 京野 光男: 鉄道盛土の地震被害簡易推定手法の提案, 土木学会論文集 A1, Vol. 68, No. 3 pp. 542-552, 2012.