

# 地盤応答を考慮した インフラ施設の地震被害予測システム

副島紀代<sup>1</sup>・江尻讓嗣<sup>2</sup>・大内一<sup>3</sup>

<sup>1</sup> (株) 大林組技術研究所 土木構造研究室 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: soejima.michiyo@obayashi.co.jp

<sup>2</sup> (株) 大林組東京本社 土木技術本部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟)

E-mail: ejiri.joji@obayashi.co.jp

<sup>3</sup> (株) 大林組技術研究所 企画管理部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: ohuchi.hajime@obayashi.co.jp

近年、インフラ施設の老朽化や機能劣化からリニューアルの社会的要請が高まっているが、同時に旧設計基準の構造物が多いことや劣化による耐力低下などから、耐震性も懸念される。しかし対象構造物の数が圧倒的に多いため、個々に耐震診断を行い対策の可否を検討することは現実的ではない。そこで、インフラ施設の地震被害を一括予測するために、GISを利用して、構造物の構造特性データとその位置の地盤情報をリンクさせ、地盤応答を考慮した被害予測を行うシステムを構築した。その結果、線的・面的に分布する施設についても、構造物の位置や深さの違いを考慮した一括被害予測が可能となり、効率的な被害推定に有効であることが示された。

**Key Words :** *underground structures, damage estimation, GIS, ground motion analysis, infrastructures, seismic retrofit*

## 1. はじめに

近年、都市の抱える諸問題に対応するため、都市再生の需要が高まっている。その一因として、高度成長期に建設された多くの都市インフラ施設が供用数十年を迎え、老朽化や機能劣化によるリニューアルの社会的要請が増大していることが挙げられる。

地震防災の観点からリニューアルの必要な都市インフラ施設に着目すれば、旧基準で設計された構造物が少なからず存在し、かつ構造的な老朽化の問題も有していることから、耐震性に関するリスクが大きいことが懸念される。しかしながら、対象となる構造物の数が多く、また都市インフラ施設はその多くが地下埋設物であることから、個々に耐震診断等を行いリスクを評価することは費用・労力の点から現実的ではない。

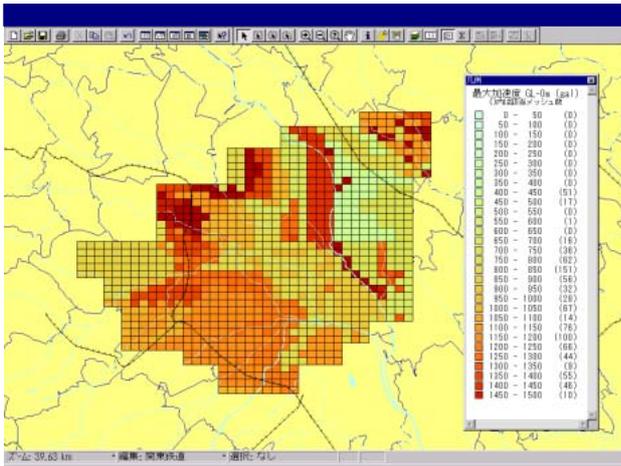
そこで、地理情報システム (Geographic Information System, 以下GISと記す) を用いた土木構造物の地震被害予測システムを構築し、線的あるいは面的な広がりを持つ都市インフラ施設の地震時被害を一括評価することで、当該地域における潜在的な地震災害に対するリスクの評価に役立てることを試みた。以下にシステムの概要を示す。

## 2. システムの概要

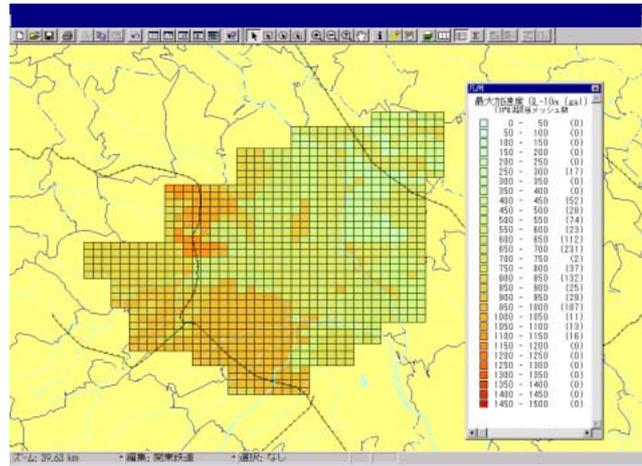
GISを利用した従来の地震被害予測システムは、主に建物(ビルなど)が対象であったため、地下構造物の多い都市インフラ施設の被害推定には不向きであった。地下構造物の被害推定には地盤応答の把握が必要である。

そこで、このシステムでは、地盤条件のデータベースを元に、想定した地震動に対する簡易な地盤応答解析を行うことにより、地表面だけでなく地中の任意の深さにおける地盤応答、すなわち地盤最大応答加速度・速度・ひずみ等の分布や、液状化危険度ならびにそれに伴う側方流動や地盤沈下量の分布といった地盤被害予測を可能にした。さらに、簡易で実用的な被害評価式を導入することにより、構造物諸元等のデータベースから、都市インフラ施設の主幹を成す土木構造物の地震被害をシミュレーションし、その結果を地図上に面的に表示させるようにした。システム全体の構成を図-1に示す。

以上により、当該地域の地震被害予測結果が地図上にわかりやすく表示される仕組みとなっている。



(a) GL - 0m (地表面) での分布



(b) GL - 15m での分布

図-4 最大応答加速度分布の例

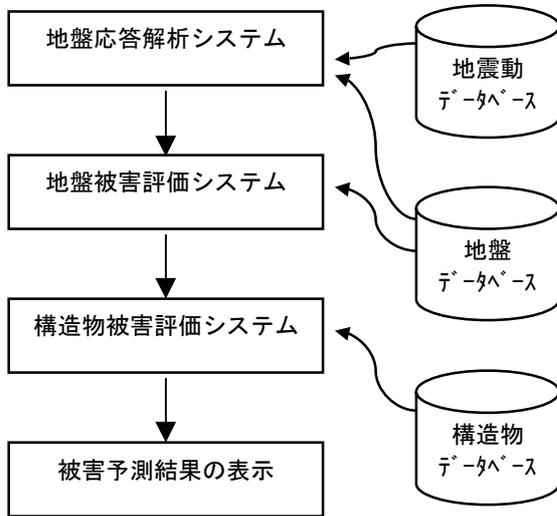


図-1 地震被害予測システムの概要

### 3. システムの特徴

#### (1) 地震波データベースによる想定地震動の設定

想定地震動は、実設計でよく用いられる基盤地震波を集めた地震波データベースから選び、設定することができる。

#### (2) GISを活用した対象地域の選択と結果の表示

解析対象エリアが広いほど解析に時間がかかるため、GISの機能を利用して必要なエリアを解析対象として選択することにより、解析時間の短縮を図ることができる(図-2)。

#### (3) 地盤応答解析による3次元的な地盤の地震時応答の把握

このシステムでは、地図上の単位メッシュ(標準は500m×500m)毎に地盤情報を保有しており、それらをシステム内の地盤データベースに格納してい

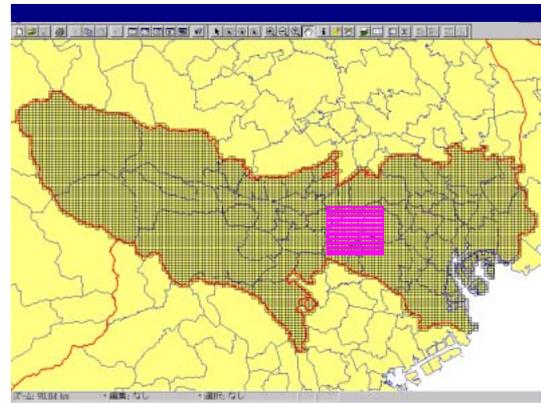


図-2 解析対象エリアの選択例

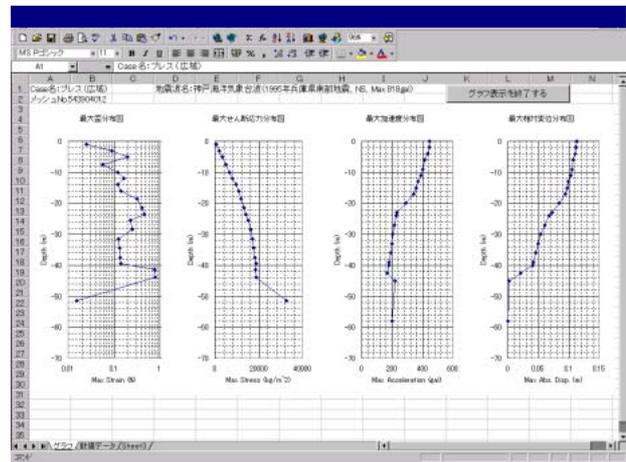
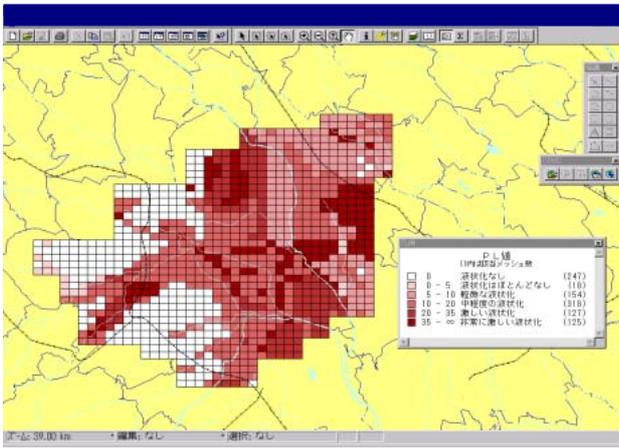
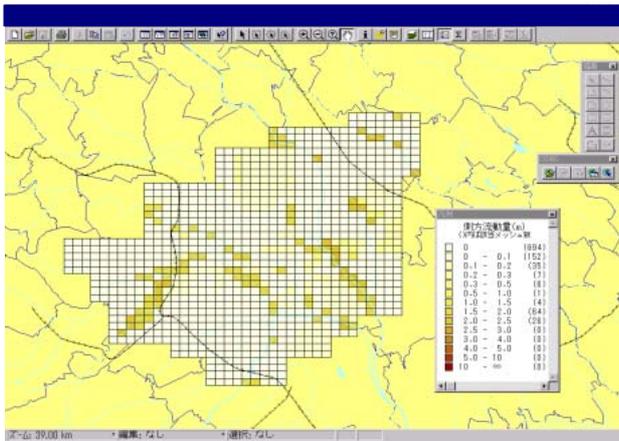


図-3 地盤応答解析結果  
(時刻歴最大値の鉛直分布表示)

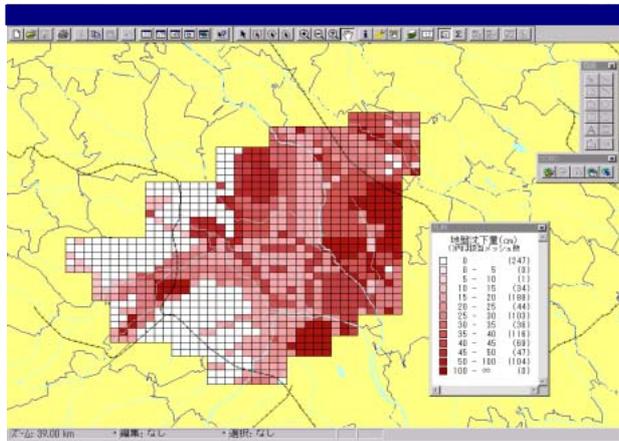
る。そして、選択したエリアの地盤情報を地盤データベースから呼び出し、選択した想定地震動を入力地震波とする簡易地盤応答解析を各メッシュ毎に実施する。その結果、各々のメッシュにおいては、図-3に示すような地盤応答結果が得られる。この各々



(a) 液状化危険度分布図



(b) 側方流動量分布図



(c) 地盤沈下量分布図

図-5 地盤被害評価結果の例

のメッシュにおける地盤応答解析結果から、任意の深さにおける各種地盤応答結果（応答加速度，応答速度，応答ひずみ等）を呼び出すことで，地表面だけでなく，地盤内部の地震時応答についても平面分布図として表示することができる。

図-4に地表面(a)と地下15m(b)のそれぞれにおける最大応答加速度分布図を示す。両者を比較すると，同じ場所でも深さによって地盤応答が大きく異なる場所があることがわかる。こうして，対象エリアの

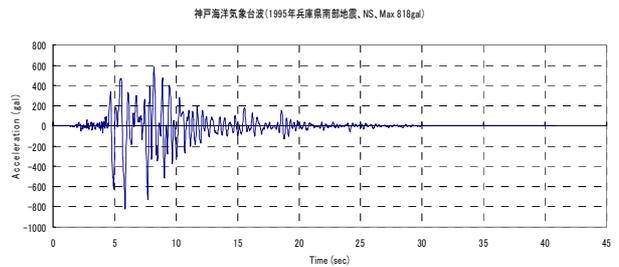


図-6 想定地震動の加速度波形

三次元的な地震時応答を把握することができる。

#### (4) 液状化による地盤被害簡易評価

前述の地盤応答解析結果を用いて，液状化等の様々な地盤被害も定量的に評価することができる。液状化は（PL値）道路橋示方書，側方流動量は鉄道指針，地盤沈下量は下水道指針の評価式にしたがって判定している。判定した結果は地図上に表示することができる。図-5に(a)液状化危険度，(b)液状化による地盤の側方流動量および(c)地盤沈下量の分布表示例を示す。また，ある地点において液状化が予想される土層の位置ならびに程度（FL値）を液状化判定シートとして表示させることができる。

#### (5) 広域なインフラ施設の一括被害評価

地盤応答解析結果や地盤被害評価結果を用いて，構造種別ごとに作成した被害評価式により，各種土木構造物の被害評価を一括して行うことができる<sup>1)</sup>。また，GISを利用しているため，被害予測結果は地図上に面的に表示され，構造物の耐震性をマクロ的に把握することができる。

### 4. インフラ施設への適用例

このシステムを利用して，実際に 1995年兵庫県南部地震の際に，神戸海洋気象台で観測された基盤地震波（最大加速度818gal，図-6）を入力波として鉄道施設を例に評価を行った。

地下鉄3路線とモノレール1路線で構成される鉄道施設を想定し，地震時被害予測を行った。それぞれの構造形式は，表-1に示すように，地下鉄はカルバート形式，モノレールは高架橋と仮定する。また，各路線は建設年代・構造特性が異なっているため，立地地点の地盤構造の違いにより，位置・深さにより構造物の被害状況に差が生じることが予測される。

評価の結果，同じ路線でも構造物の埋設深さにおける地盤応答の差異から，場所によって被害の大きさに差が出ることを予測される（図-7）。この結果から，潜在的な地震に対するリスクが存在する箇所を特定することができる。

同様に広域にまたがる電力・ガス・上下水道・共同溝・道路などの都市インフラ施設についても，このシステムを活用してより経済的・戦略的な地震対策が行えると考えられる。

表-1 各路線の諸元

凡例	施設種別	構造種別	建設年代	備考
■	地下鉄	カルバート	初期	地下3～8m
■	地下鉄	カルバート	中期	地下10～15m
■	地下鉄	カルバート	最近	地下20～28m
■	モノレール	高架橋	初期	許容塑性率2



図-7 地震時被害評価結果の表示例

また、この結果と、インフラ施設としての特性  
(鉄道の場合は輸送量・ネットワークの重要度な

ど)を重ねあわせることで、都市防災と言う観点からの物質的・機能的なリスク評価を、より効率的に行うことができる。

さらに面的な広がりを持ち各種の設備から構成されるプラント系施設や、処理施設のように広域に離散分布する施設群にも、このようなシステムを適用することで効果的な耐震検討が行えると考える。

## 5. まとめ

土木構造物の地震被害予測システムを構築した。このシステムを利用することで、地中構造物を含む広域インフラ施設の地震被害予測を一括して行うことができる。その結果、地震に対して脆弱な箇所、すなわち、潜在的なリスクが偏在する箇所を、俯瞰的に認識することができる。さらに、構造物被害予測にインフラ施設間のネットワークや施設規模等の影響を重ね合わせることで、機能被害を予測することも可能である。

その結果から、限られた原資で最大の投資効果を得るための耐震補強やリニューアル計画を提案することができ、都市の耐震性向上に大いに貢献できると考える。

## 参考文献

- 1) 副島, 江尻, 大内: 土木構造物の地震被害予測システムによる地下構造物の被害推定, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, I-350, 2003

(2003. 10. 10 受付)

## ESTIMATION FOR DAMAGE OF UNDERGROUND STRUCTURES USING A SEISMIC DAMAGE ESTIMATION SYSTEM FOR INFRASTRUCTURES

Michiyo SOEJIMA, Joji EJIRI and Hajime OHUCHI

It has grown to call for renewal of infrastructures by aging in recent years, at once we have concerns about their seismic resistance, because many of them were designed by old standards and decreasing in the bearing force. But there are too many structures to verify their seismic safety individually. Then using GIS-based SEISMIC DAMAGE ESTIMATION SYSTEM, we estimate for damage of underground structures. The result shows that it is effective for estimation to use the system with ground motion analysis method and the simple and practical expressions to evaluate the damage.