

技術紹介 Technical Report

# 土木構造物の地震被害予測システムの開発 Development of Seismic Damage Estimation System for Infrastructures

副島 紀代 Michiyo Soejima  
江尻 譲嗣 Joji Ejiri  
(本社土木技術本部設計第二部)  
大内 一 Hajime Ohuchi

## 1. はじめに

高度成長期に建設された多くのインフラ施設が供用数十年を迎え、近年、老朽化や機能劣化によるリニューアルの社会的要請が高まっている。これらは旧基準で設計された構造物が多く、かつ構造的劣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膨大であるため、個々に耐震診断等を行い対策の要否を検討することは費用・労力の点から現実的ではない。限られた原資で最大の投資効果を得るためには、どこからどのようにリニューアルを行ったらよいのか、判断材料となる指標が必要である。

そこで、リニューアル優先度を耐震性能という観点から判断するツールとして、GIS（地理情報システム；Geographic Information System）を活用し、線的、あるいは面的な広がりを持つインフラ施設の地震時被害予測を一括して行うシステムを開発した。

## 2. 開発の背景

GISを利用した地震被害予測システムは、主に建築分野を中心に広く開発されており、当社も「Quake Mapper」（1995年開発）というシステムを有している<sup>1)</sup>。

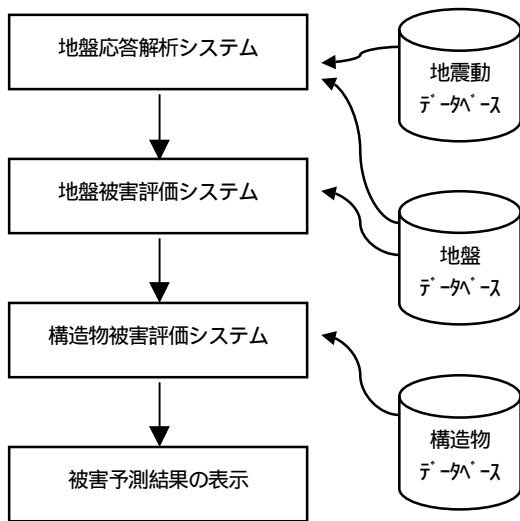


Fig. 1 地震被害予測システムの概要  
Overview System Flowchart

一方、土木構造物の場合は、地中構造物が多いことから、被害予測には地盤応答の把握が必須であるが、構造物の種類が多岐にわたるため、今まで簡易な被害予測システムは存在しなかった。

そこで、既存の都市インフラ施設を対象に、簡易で実用的な被害評価手法を整備し、経済的・戦略的防災対策技術の提案につながるシステムの構築を行った。

## 3. システムの概要

このシステムは、地震動、地盤、構造物という3種類のデータベースと、地盤応答解析、地盤被害評価、構造物被害評価という3種類の演算システムから構成されており、全体の構成はFig. 1のようになっている。

以下にこのシステムの特長について詳しく示す。

### 3.1 想定地震動の設定

想定地震動は、地震動データベースからプルダウンで任意に選ぶことができる。地震動データベースには、実設計で使用される設計地震動（各事業者が提供するもの）や、著名な強震記録の基盤相当波が保存されている。データベースへの新規地震波の追加も容易である。また、選択した地震動波形の表示や保存・印刷も可能である（Fig. 2）。

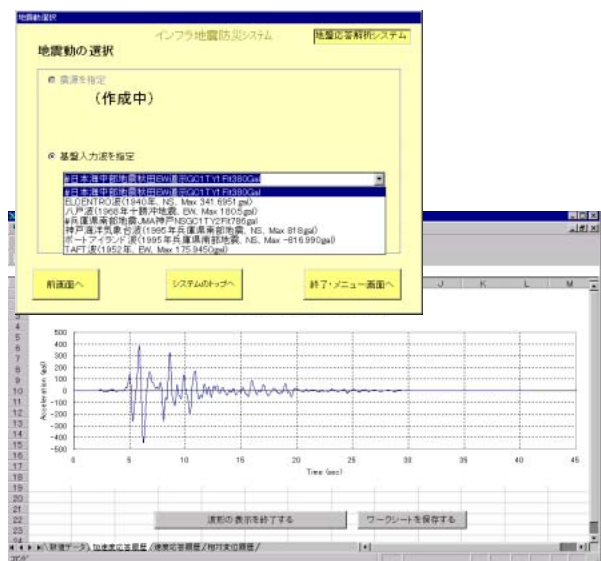


Fig. 2 想定地震動の選択画面と波形表示例  
Choice of Input Motion and View

### 3.2 解析対象地域の選択

単位メッシュ毎に地盤応答解析 (3.3 参照) を実施するため、解析時間はメッシュ数に依存する。そこで、GISの機能を利用し、必要最小限の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 (Fig. 3)。なお、標準は 500m メッシュだが、対象とする施設等の規模に応じて細分化が可能である。

### 3.3 地盤応答解析

このシステムの地盤データベースには、メッシュ毎に地盤情報 (ボーリングデータ) が格納されている。解析時には選択した評価対象地域の地盤情報を地盤データベースから呼び出し、3.1 で選択した想定地震動を入力地震波とする地盤応答解析を、各メッシュ毎に実施する。なお、標準で組み込まれているプログラムは SHAKE であるが、任意のプログラムを組み込むことが可能である。

その結果、地表面だけでなく、地中の任意の深さの地

盤最大応答加速度・速度・ひずみの分布を表示することができ、非線形を考慮した地盤の地震時応答を三次元的に把握することができる (Fig. 4, Fig. 5)。

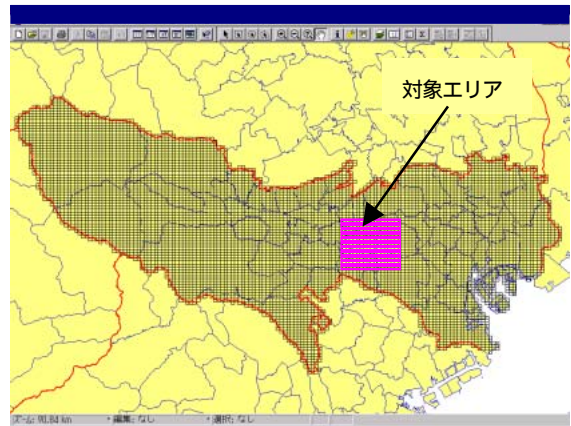
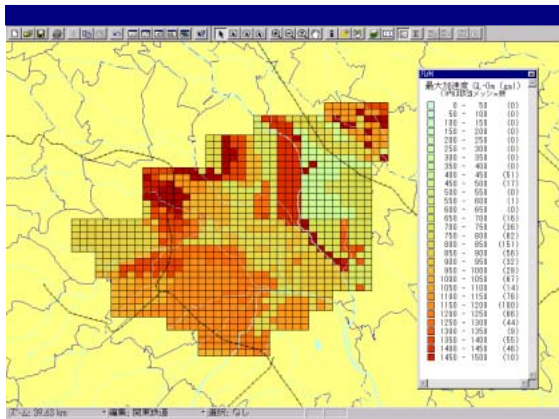
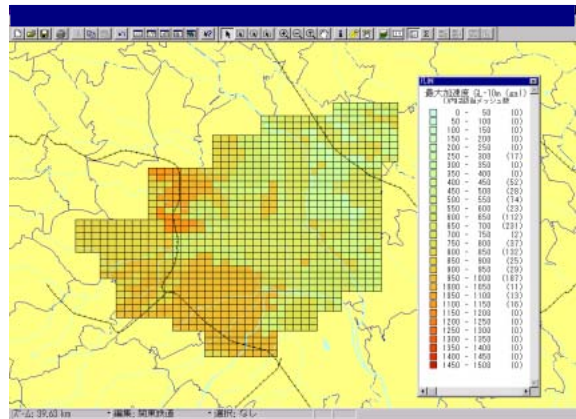


Fig. 3 解析対象エリアの選択例  
Choice of Target Area

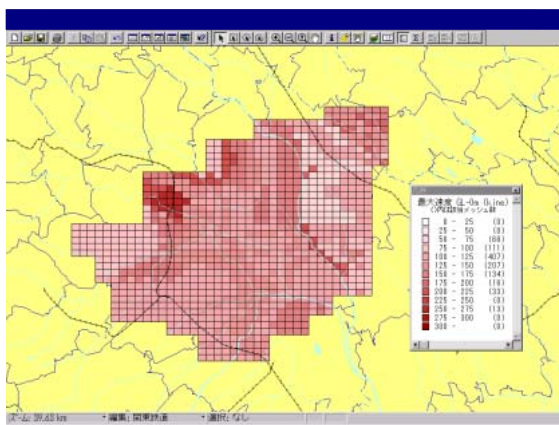


( a ) GL 0m (地表面) での分布

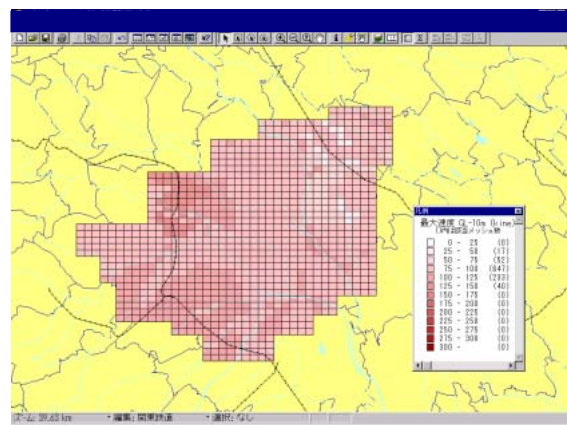


( b ) GL 10m での分布

Fig. 4 最大応答加速度分布の例  
Distribution Map of Maximum Acceleration Response



( a ) GL 0m (地表面) での分布



( b ) GL 10m での分布

Fig. 5 最大応答速度分布の例  
Distribution Map of Maximum Velocity Response

また、地盤応答解析結果を任意の地点での鉛直分布図として表示させたり、そのまま保存・印刷することも容易である (Fig. 6)。

3.4 地盤被害予測

3.3 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予測することができる。メニューは液状化危険度 (PL 値)、液状化による地盤の側方流動量および地盤沈下量の 3 点であり、それぞれ標準の評価式として液状化は道路橋示方書 ('96)、側方流動量は鉄道標準 ('99)、地盤沈下量は下水道指針 ('97) を用いて評価を行っている。判定結果は Fig. 7 のように地図上に表示することができる。他の評価式の導入も可能である。

また、同時に作成される「液状化判定シート」により、任意の地点において、液状化が予想される土層の深さや液状化の程度 (FL 値) を把握することが可能である。

3.5 構造物被害評価

システムには構造種別に応じて、地盤応答解析結果や地盤被害評価結果をパラメータとする簡易評価式を組み込んでいる。そして構造物データベースに登録してある各種構造データに基づき、自動的に被害評価を行う仕組みとなっている。評価式の例として、構造形式がボックスカルバートである場合の評価方法を示す。

ボックスカルバートの場合は、側壁に作用する地盤変位から構造物の被害を推定する式を構築した。Fig. 8 に示すように、カルバート天端および下端位置でそれぞれ  $d_1$ 、 $d_2$  という地盤の変位が発生した場合、下端位置に対する上端位置の相対変位は  $D=d_1 - d_2$  となる。そこで、相対変位の最大値  $D_{max}$  がそのままカルバートの層間相対変位になると仮定して部材回転角  $R=D_{max}/h$  を計算し、その値をパラメータとして被害推定を行った。なお、被害の程度に関する閾値は、Table 1 に示すように定めた。

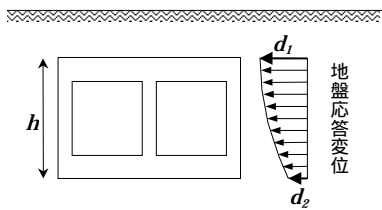


Fig. 8 構造物に作用する地盤変位  
Displacement of Ground for Structure

Table 1 被害程度の閾値  
Threshold Level of Damage

部材回転角 R の範囲	被害指標 Dm	被害の程度
$R < 0.2\%$	0.0	$D_m < 0.2$ 無被害
0.2%	$R < 0.5\%$	0.2 $D_m < 0.5$ 小被害
0.5%	$R < 1.0\%$	0.5 $D_m < 0.8$ 中被害
1.0%	R	0.8 $D_m < 1.0$ 大被害

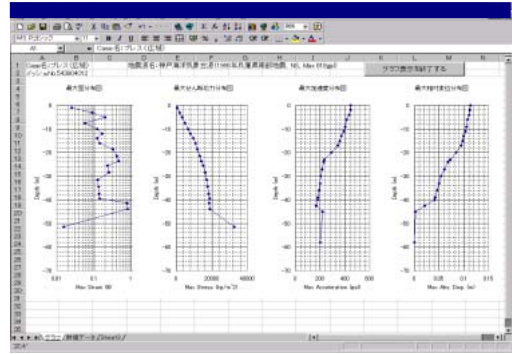
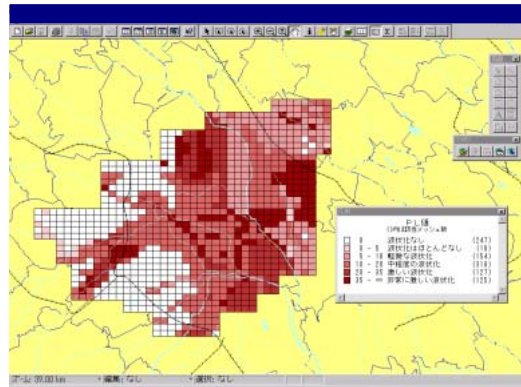
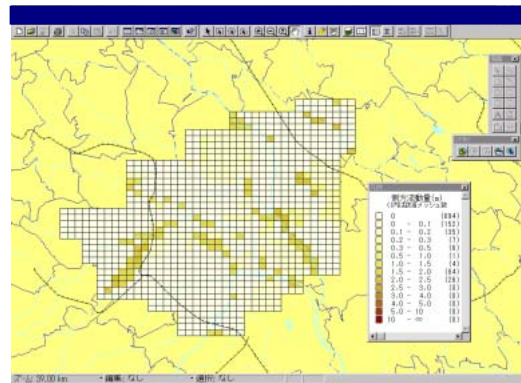


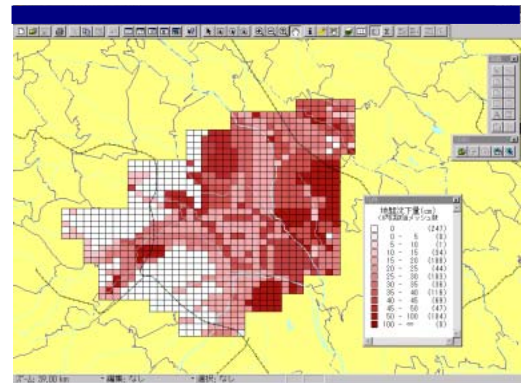
Fig. 6 地盤応答解析結果の表示例  
View of Ground Response



(a) 液状化危険度分布



(b) 側方流動量分布



(c) 地盤沈下量分布

Fig. 7 地盤被害評価結果の例  
Distribution Map of Ground Damage

評価式や閾値は、同じカルバート構造物でも、設計年代による準拠基準の違いや、劣化の程度などによって異なると考えられる。そこで、評価式や閾値の異なる構造物でも、予測される被害の程度を同列に把握するために、被害指標  $D_m$  という考え方を導入した。 $D_m$  は各評価式で用いているパラメータを正規化した値で、 $\sim 0.2$  が無被害、 $0.2\sim 0.5$  が小被害、 $0.5\sim 0.8$  が中被害、 $0.8\sim 1.0$  が大被害と設定した。前述のカルバートにおけるパラメータ  $R$  と被害指標  $D_m$  の関係は次の式の通りである。

$R < 0.002(0.2\%)$  のとき

$$D_m = 100R \quad (1)$$

$0.002(0.2\%) \leq R < 0.005(0.5\%)$  のとき

$$D_m = 100R \quad (2)$$

$0.005(0.5\%) \leq R < 0.01(1.0\%)$  のとき

$$D_m = 60R + 0.2 \quad (3)$$

$R \geq 0.01(1.0\%)$  のとき

$$D_m = 1 - 0.002/R \quad (4)$$

$R$ (部材回転角)と  $D_m$ (被害指標)の関係を図 9 に示す。

被害予測結果は Fig. 10 のように地図上に一括して表示されるため、広域にまたがる構造物の耐震性をマクロ的に把握することができる。また、結果がビジュアルに表現されるため、判断が容易に行えるという利点がある。

#### 4. まとめ - システムの活用に向けて

このシステムを利用することで、埋設構造物の多いライフラインなど、都市インフラ施設の耐震診断を一括して行うことができる。その結果、施設全体を俯瞰して、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特定、認識することができる。

また将来的には、構造物被害予測にインフラ施設としての機能特性を重ね合わせることで、都市の物質的・機能的なリスク分析・評価をより効率的に行うことができる。例えば Fig. 11 に示すように、広域に分布するインフラ施設(例えばごみ処理場や下水処理場など)の施設被害予測に、施設間のネットワークや施設規模等を重ね合わせ、機能被害やその影響度を予測することが可能である。

今後、より精度の高い診断を行うために、各種データベースの精度の向上や、地盤・構造物の挙動を対象に応じて適切に把握できる評価式の導入を進める予定である。それを元に、耐震補強やリニューアルに関する、より費用対効果の高い施設投資計画を提案することができると考えている。最近注目されているアセットマネジメントにも貢献できる技術であり、今後の活用が期待される。

#### 参考文献

1) 奥田, 山田, 近藤, 菊地, 鈴木, 竹本: GIS を用いた地震被害予測システム, 大林組技術研究所報 No.53, pp.125-128, 1996

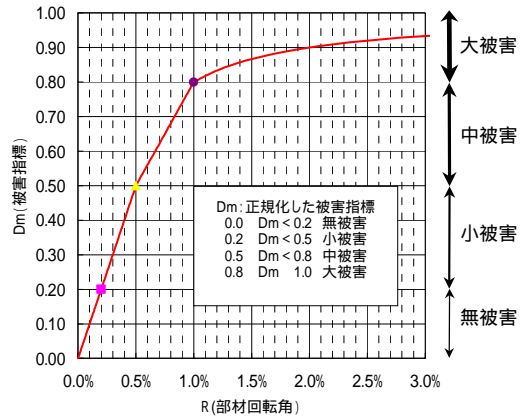


Fig. 9 被害指標と部材回転角の関係  
Relationship between Damage Index and Drift Angle

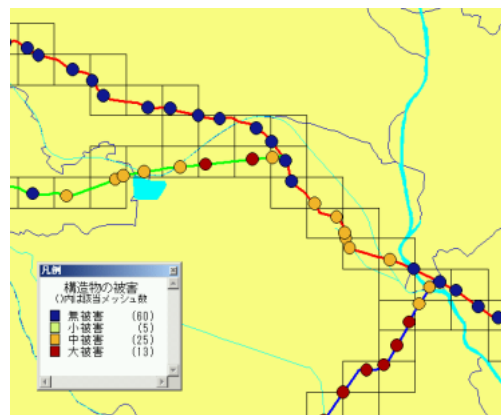


Fig. 10 線状構造物の被害予測結果例  
Distribution Map of Structure Damage

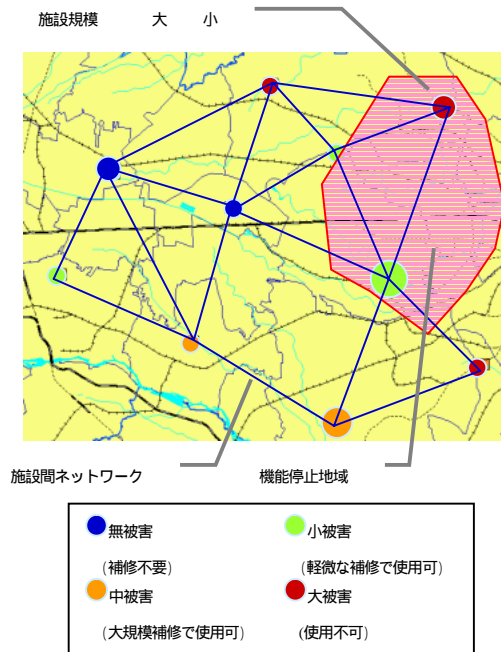


Fig. 11 構造被害と機能被害の予測イメージ  
Concept of Combined Structural and Functional Damage