

## 地震災害早期対応支援システム (EDReSS) の基本構想

水谷 守 (株) 篠塚研究所 主席研究員

篠塚 正宣 南カリフォルニア大学工学部 名誉教授

林 春男 京都大学防災研究所 教授

### 概要

地震被害の発生時にはできるだけ速やかな対応行動が取られることが望まれるが、阪神・淡路大震災の例を見るまでもなく、被害状況が明らかになるまでにはかなりの時間を要するため、的確な対応行動の迅速な策定は困難である。しかし、仮に、震災発生直後の数時間の情報が混乱するタイムフェーズにおいて、地震被害想定に用いられる手法を利用して被害状況を推定することができれば、地震災害に対する早期対応の策定に大きく寄与できると考えられる。但し、この地震直後の被害推定に対しては以下の要件が満たされなければならない。

- 1) 実際に発生した地震を対象としてStock及びFlowの被害推定が可能であること
- 2) 被害推定計算が十分な迅速さで実行できること
- 3) 被害推定の結果を利用しやすいかたちで表現できること
- 4) 地方自治体の防災担当者が使いこなせる簡便さがあること
- 5) 実用可能な被害推定精度を持つこと

ここでStockとは物の被害を示し、Flowとは地震防災機能を示す。

著者らが提案するEDReSS (Earthquake Disaster Response Support System) は地震発生後72時間までの情報が入手しにくいタイムフェーズを対象として前述の実現をめざすものである。本報告ではEDReSSの基本的構想及び現在開発中のプロトタイプシステムに用いている手法の概要を示す。

EDReSSの特徴は、地震被害想定の手法を実際に発生した地震に対して迅速に適用できる点であり、また、被害推定結果を分かりやすく表示する点である。そのため、システム内には通信機能を活用した地震・被害状況収集機能、震源と距離減衰式を選定する地震パラメータ同定機能、被害推定計算機能、及びGISを用いた表示機能を作成し、事前情報、事後情報、推定結果のデータベースを各機能で結びつける構成となっている。

また、同システムでは各地点における地震動の推定に地盤の非線型性を考慮した加速度応答スペクトルを用い、構造物種別毎に応答加速度をパラメータとした地震フラジリティー関数を準備して、様々な振動特性を持つ構造物を対象に損傷評価を行う。この方法によってStock被害に加えてFlowに対する機能被害を取り扱うことを可能としている。

## 地震災害早期対応支援システム (EDReSS) の基本構想

水谷 守 (株) 篠塚研究所 主席研究員

〒160 東京都新宿区新宿6-26-4 Tel. 03-5285-4791 Fax. 03-5285-4793

篠塚 正宣 南カリフォルニア大学工学部 名誉教授

KAP 254, 3620 S. Vermont Ave., Los Angeles, CA 90089-2531 Tel. +1-213-740-9528

林 春男 京都大学防災研究所 教授

〒611 京都府宇治市五ヶ荘 Tel. 0774-32-6483 Fax. 0774-31-8294

### 1. はじめに

筆者らは、兵庫県南部地震が発生した1995年1月当時、地理情報システム (GIS) を用いた地震被害推定システムの研究を実施中であり、関東地域を対象とするそのプロトタイプシステムの開発を終了していた。阪神・淡路大震災に際し、阪神地域を対象として同じようなシステムが存在していれば、いち早く被害状態の空間分布を推定して、より迅速で効果的な対応に役立てたのではないかと想像した。即ち、地震被害想定に用いられてきた方法論を利用して地震発生直後に事後推定を行うことによって、地震被害の低減に寄与できる可能性を認識したのであった。今回提案する地震災害早期対応支援システム (EDReSS) はこの認識を具現化するものである。

一般に地震被害想定の方法とは、特定の地震源を想定し、各地の地震動を推定して、そこに存在する建造物の被害や火災の発生を評価する。また、それらに基づき死者数や被災者数を算定するものである。これまで行われた被害想定は多くは幾つかの特定大地震だけを対象に、比較的大規模な計算によって評価を行うものであった。また、評価結果として死者数ばかりが目され、必ずしも防災に十分に活用されていたとは言い難い。

しかし、被害想定の方法がある程度の精度を持つものならば、現実の地震の発生後にその地震を対象として適用することにより実際に発生している被害を推定した情報を与えることが可能であろう。震災直後の情報の混乱する時期においてはこの推定が対応行動を策定する際に役立つはずである。

図-1は地方自治体を対象として、震災発生後72時間のタイムフェーズでなすべき業務をまとめたものである。一般の地震被害想定はStock被害を中心とした評価に留まるが、震災対応の支援においてはFlowの被害管理の重要性を忘れてはならない。ここでStockとは対象地域内に存在する個人や法人が所有する建物や施設を指し、Flowとはライフラインや防災拠点、避難所等震災時に必要となる都市支持機能を示している。防災担当者はStockの被害状況に応じて、救援策

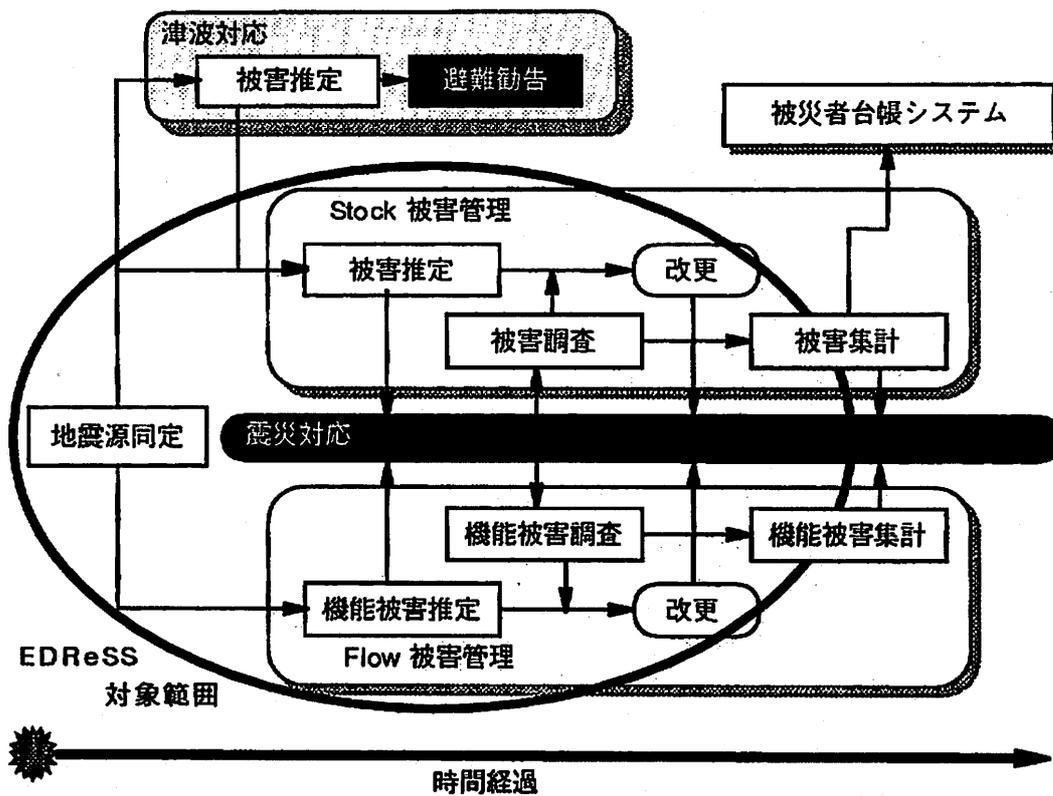


図-1 地方自治体における震災緊急対応（72時間タイムフェーズ）

を講じるが、その時利用できるFlowを知り、その管理方法まで手当てする必要がある。即ち、StockとFlowの両者の地震被害推定が為されていなければ適切な緊急対応を策定することはできない。従って、地震被害想定の方法を震災対応の支援に利用する際には以下に掲げる5つの要求が満たされなければならない。

- 1) 実際に発生した地震を対象としてStock及びFlowの被害推定が可能であること
- 2) 被害推定計算が十分な迅速さで実行できること
- 3) 被害推定の結果を利用しやすいかたちで表現できること
- 4) 地方自治体の防災担当者が使いこなせる簡便さがあること
- 5) 実用可能な被害推定精度を持つこと

これらの要求が克服されれば地震被害想定手法を用いた直後予測が地震災害に対する早期対応を支援する情報として活用できる。

著者らが提案するEDReSS（Earthquake Disaster Response Support System）は地震発生後72時間までの情報が入手しにくいタイムフェーズを対象として前述の実現をめざすものである。このタイムフェーズにおけるEDReSSの寄与する範囲を図-1中に示した。本報告ではEDReSSの基

本的構想及び現在開発中のプロトタイプシステムに用いている手法の概要を示す。

## 2. EDRessの基本構成

前章で掲げた5つの要求に応えるため、EDReSSは図-2に示す様に4つの基本機能と幾つかのデータベースによる構成となっている。

### 2.1 基本機能

#### 1) 地震被害推定計算機能

特定の地震を対象として地震被害を推定する機能であり、EDReSSの中核をなす部分である。手法の概略は次章で述べる。

#### 2) 地震・被害状況収集機能

地震後に得られる様々な情報を受け取って利用可能なかたちでファイル化する機能。事後情報は地震後の経過時間に応じて種類も質も変化するものであるが、地震発生後数時間というフェーズで有益なものとしては気象庁による震源情報や震度情報、科技厅や自治省による地震動情報、また、特に地震被害をモニターするシステムが存在すればそこからの被害情報などがある。

この機能について重要な点はどの様に確実にすばやく情報を組み入れるかという点であるが、情報・通信のデジタル化が進んでいる現状では技術的にはさほど困難ではない。

#### 3) 地震パラメタ同定機能

地震後に得られる情報からその地震固有の性格を設定する機能であり事後推定としての精度を向上するために必須となる部分である。地震の固有情報としては地震源（起震断層）位置や距離減衰、地震動-被害の関係等がある。

地震源の同定については気象庁による震源位置から後述する地震源データベースを参照してある程度震源特定が可能である。さらに各地の地震動情報を加え、距離減衰式を用いた逆解析により起震断層として地震源が同定される。

また、起震断層が同定されれば各地の地震動の推定が行われ、それと実記録との比較検討によって距離減衰式の選定及び修正が行われる。一般に距離減衰式は大きなばらつきを示すが、そのうちある程度の部分は地震毎の性格の差に起因するとされている。上記の修正で個々の地震の特徴によるばらつきの部分を低減できることを期待している。

被害関数については特定地点の被害状況と推定される地震動を用いて被害関数データベース（後述）に納められた地震脆弱性関数を改更する。

#### 4) 表示機能

事前情報、事後入手した情報、推定された情報を利用しやすいかたちで表示、印刷する機能。地震被害が空間的に広く分布すること、都市支持機能との関連が重要であること等

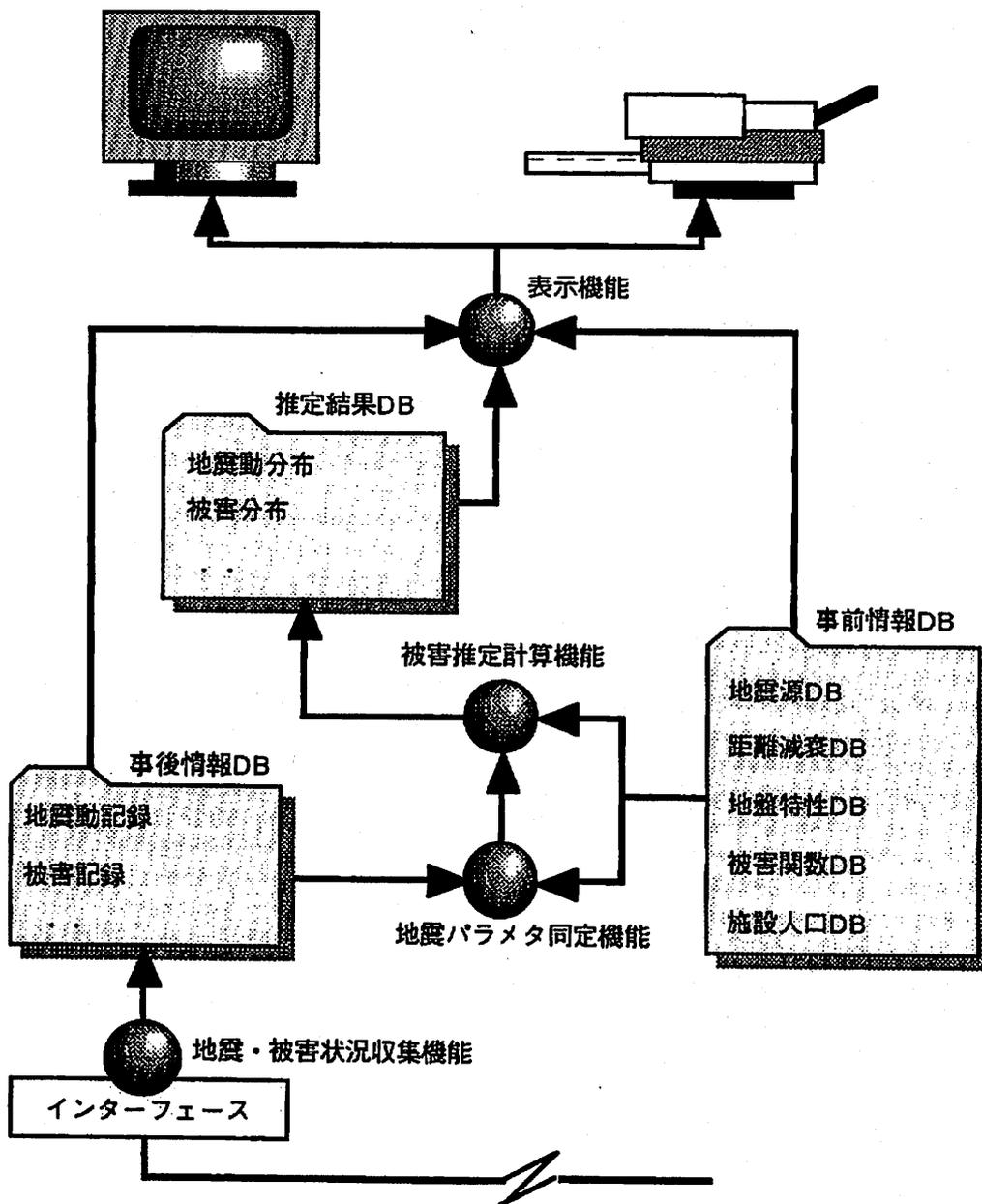


図-2 EDReSSの基本構成

を考慮してこの機能はGIS上に展開される。

表示機能はシステムに納められた各種のデータを単独もしくは重ねて地図上に表現するものである。使用法としては例えば、住宅の被害推定結果や被災者分布と避難所の配置情報を重ねて表示することで、救援の緊急度を直感的に分類できることとなる。また、橋梁の損傷推定と緊急輸送路の道路地図を重ねることで救援ルートの検討も可能となる。

表示機能は防災担当者との直接のインターフェースである。従ってその操作性は慎重に

考慮されなければならない。表示項目、手順等については事前に検討し、マクロプログラム等で設定しておくことが望まれる。

## 2.2 事前情報データベース

図-2中に示したようにEDReSSでは5つのデータベースを事前情報として整備する。事前情報の精度が被害推定精度を大きく支配することは言うまでもない。以下に各データベースについて概説する。

### 1) 地震源データベース

本システムは評価対象地域の周辺の地震源を起震断層群として予めモデル化したデータベースを持つ。起震断層群についてはそれぞれ位置や大きさに自由度を考慮し、また、起震断層の設定が行えない領域についても走向やディップアングル、マグニチュード-断層長さ関係等の情報を整理しておく。地震源データベースの作成については地震学、地球物理学等の専門家の助言をうけて作成する。このデータベースは地震源の事後同定に必須である。

### 2) 距離減衰データベース

地震の規模と各地の地震動の関係を表す距離減衰式については現状で適用可能とされるものを網羅して用意するべきものである。現在開発中のシステムでは工学的地震解放基盤表面の加速度応答スペクトルを評価できる安中の距離減衰式のみを利用しているが、今後その他の距離減衰式も加える予定である。

### 3) 地盤特性データベース

対象地域の各地点の地震動を推定する際には少なくとも表層地盤の増幅特性を考慮することが重要である。本システムでは対象地域の表層地盤を複数の土柱モデル（地盤分類）に当てはめ、各土柱モデルに対して複数の地震動を対象に一次元波動伝播解析に基づく加速度応答スペクトル比を算定し、それを平均化した応答スペクトルの各周期成分に対する振幅比をもって地盤特性データベースとしている。なお、加速度応答スペクトル比は地盤の非線型を考慮して、各地盤分類毎に幾つかの地震動レベルで作成される。

### 4) 被害関数データベース

被害関数データベースは構造物の振動被害や地盤の液状化の発生確率と地震動の大きさの関係を示すものである。本システムでは評価対象とする構造物について、そのカテゴリ分類毎に物理的被害状態を損傷モードとして定義し、地表面に推定される加速度応答スペクトルの特定周期帯成分をパラメタとした地震脆弱性関数を評価して収納する。

被害関数データベースにはStockとしての構造物損傷以外にも震災時に必要と考えられるFlowの機能損傷に対してもその発生確率を評価できる関数を用意しなければならない。Flowの機能被害についてはシステムモデル等を作成して構造物損傷確率から評価すること

が考えられる。

#### 5) 施設・人口データベース

施設・人口データベースは被害を受ける対象の空間的分布のデータである。従って、ここには評価対象となる全ての地震被害を表現する際に必要となる建築物、構造物、施設や機能の分布、また、人的被害を考慮するなら人口の分布等が納められる。これらについてはすべて被害関数が評価されている必要がある。

このデータベースにはStockの地震被害の対象としての施設データベース以外にも、地震災害の発生時に重要となるFlow施設の情報も含める。それらには例えば、避難所分布や防災拠点分布、道路網等がある。

### 2.3 事後情報データベース

事後情報データベースは地震・被害状況収集機能で集められた情報をまとめたものである。このデータベースは地震発生後初期の段階では地震パラメタの同定や推定結果との比較に利用され、その後も実際の被害状況を集約したものとして活用され、最終的に被災者台帳システムへ移管される。

## 3. 地震被害推定の方法

本章では現在開発中のプロトタイプシステムで利用している地震被害推定の手法を簡略に述べる。EDReSSにおける事後推定は事前情報に事後情報を加味して選択されたパラメタを用いて行われる。その手順は以下のようである。

- 1) 地震源データベースを参照し、事後情報から地震源として起震断層を特定する。起震断層は地殻内に3次元的に設定された矩形の領域でその規模は気象庁マグニチュードで特徴づけられる。
- 2) 距離減衰データベースを参照して事後情報により選定修正された距離減衰式を用い、対象領域に於ける工学的地震解放基盤表面での加速度応答スペクトルの空間分布を評価する。ここで用いる距離減衰式は起震断層からの最短距離を減衰距離とし、工学的地震解放基盤表面の加速度応答スペクトルが算定できるものでなければならない。
- 3) 地盤特性データベースの表層地盤増幅特性（加速度応答スペクトル比）を利用して工学的地震解放基盤表面に得られた情報から各地の地表面加速度応答スペクトルを評価する。
- 4) 事後情報により修正された地震脆弱性関数を用い、地点の加速度応答スペクトルから各施設、建築物等の損傷確率を算定する。
- 5) 各地点に存在する施設や建築物等を示す施設・人口データベースを用い、損傷確率との期待値計算を行ってStock及びFlowの被害推定を行う。また、その情報に基づき人的被害も推定する。

地震被害推定手法としての本手法の特徴は主に地震動の推定を加速度応答スペクトルで行う点にある。そのために様々な振動特性を持つ多種多様な施設について一元的に評価することが可能となっている。こうした手法は一般に多くの計算時間を要すると考えられがちであるが、事前情報として様々なパラメタを用意することで計算時間の短縮を可能としている。

#### 4. システムの実効スピードに関する論議

第1章に述べたようにEDReSSでは十分な迅速さで被害推定が行われなければならない。近年コンピュータの演算速度は飛躍的に向上し、また、メモリの低廉化、ハードディスクの大容量化に助けられて、地震被害推定システムの高速度が可能となってきている。著者らの開発実績ではパーソナルコンピュータ上のGISソフトを利用し2,000程度のポリゴンを対象とした地震被害推定でも数分で実行可能である。

但し、要求されるリゾリューションによっては必ずしも十分な迅速性が確保できるとは限らない。アルゴリズムの工夫によりある程度解決可能な部分も残されていると考えられるが、地震被害推定システムの演算時間に支配的であるのはGISの表示データ作成部分であることも注意を要する。

GISは地図上に表現される様々な情報を組み合わせ、加工し、集積する機能を持たせたシステムであり、そのための機能に対応するために重くなっている感がある。EDReSSについては様々な情報のリゾリューションが統一されていれば必ずしもデータの統合や加工を地図上で行う必要はない。従って、演算速度の制約が大きい場合にはGISにこだわることなく単純なグラフィックス表示を用いる方法もあると考える。

一方、このシステムが使用されるのは地震発生後一時間程度経ってからであることを考慮すれば、計算時間として数十分間が許されるとも考えられる。但し、その場合、利用者の心理的な反応も考慮して、時間経過が苦にならないような表示上の工夫も必要であろう。

#### 5. おわりに

EDReSSの開発では地震被害推定の方法を活用して地震被害の低減に資することを念頭においている。しかし、その目指すところは洗練された方法論の開発ではなく、より有益な利用法である。現在著者らが想像しているもの以外にも遥かに多くの利用法が存在すると考える。なるべく多方面からの助言を得て有効性の高いシステムへと成長させて行きたいと願う。

また、このようなシステムに関しては推定精度が大きな問題であることは疑うべくも無い。事前情報が完全であったとしても精確な推定は困難である。精度と使用性に関する検討は阪神・淡路大震災のデータを利用して実施する予定である。そのためもあって、著者らは現在プロトタイプシステムを開発中であるが、その成果は順次公開することとしている。