

原研における地震情報緊急伝達システムの開発

蛸沢勝三¹・阿部一郎²・大井昌弘³・久野哲也³・都筑和久³・柴田勝之⁴

¹正会員 工博 日本原子力研究所地震情報伝達研究特別チーム (〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4)

²正会員 原研 同上 ³原研 同上 ⁴工博 原研 同上

日本原子力研究所では、科学技術庁の「地震総合フロンティア研究」の一環として、既存の地震観測ネットワークのリアルタイム活用を想定し、震源位置・規模の推定や対象地域での地震動分布の推定を迅速に行い、ユーザに提供する「地震情報緊急伝達システム」の研究開発を行っている。これまでに、ユーザが必要とする多様な地震情報の要望に対応できるように、推定地震動パラメータと推定時間及び推定精度との相互関係を考慮した地震動パラメータ推定手法を任意に選択できるシステムの主要部を開発した。また、同システムの試験的適用地として原研東海研究所周辺地域を選び、k-net 仕様の地震計を活用したリアルタイム地震観測ネットワークや詳細な地盤データを整備すると共に、同地域における想定地震発生時の地震動分布を評価した。

Key Words : Real-time information system, Monitoring, Source and ground motion parameters, Preliminary estimation data, Distribution map

1. はじめに

日本原子力研究所（原研）では、科学技術庁の「地震総合フロンティア研究」の一環として、既存の地震観測ネットワークをリアルタイム活用し、震源位置・規模の推定や都市・産業施設立地地域での地震動分布の推定を迅速に行い、ユーザに提供する「地震情報緊急伝達システム」の研究開発に着手した^{1), 2)}。本研究では、迅速に地震動分布を推定する手法の開発・整備を主な目的としている。これまでに、システムの主要部を開発すると共に、システムの試験的適用地として原研東海研究所周辺地域を選び、k-net 仕様の地震計を活用した試験用リアルタイム地震観測ネットワークや詳細な地盤データを整備した。また、同地域における想定地震発生時の地震動分布も評価した。

本報では、システム開発上の基本方針と開発状況、原研東海研周辺地域での地震観測ネットワークと地盤データの整備状況及び地震動分布の評価結果について述べる。

2. システム開発の基本方針

地震情報緊急伝達システム開発の基本方針を次に示す。

① 既存地震観測ネットワークのリアルタイム活用

本システムでは、複数の既存地震観測ネットワークから地震動波形データをリアルタイムで収集できることを前提としている。この前提が、技術的に可能であること

を確認するために、既存の非リアルタイム伝送形式ネットワークの一つを選び、比較的小規模な変更・改良によるリアルタイム伝送方法の一例を示す。

② 推定地震動パラメータと推定時間及び推定精度との相互関係の考慮

ユーザの地震情報に対する要求項目・要求時間・要求精度は、一般に異なると考えられる。このような要望に対応できるように、推定地震動パラメータと推定時間及び推定精度との相互関係を考慮した適切な組み合わせを任意に選択できるようなシステム構成とする。

③ 関連情報の事前準備による推定精度向上

地震情報を推定する上で必要な関連情報が、事前に準備されていることを想定する。関連情報としては、対象地域での詳細な地盤情報（表層地盤の非線形特性や基盤の不整形性等）や地震動の事前予測分布等がある。関連情報を事前に準備し、地震動パラメータ推定処理に活用することによって、推定精度を向上させる。

④ ユーザ環境を考慮した地震情報配信とユーザの地震情報活用方法の考慮

地震情報の受信環境や受信情報の活用方法は、ユーザによって異なると考えられる。このようなユーザ環境に対応できるように、ユーザの多様な地震情報配信環境を考慮したシステムとする。また、GIS の利用等ユーザ側の環境から見て、地震情報を効果的に活用できるよう配慮する。

3. システム構成と機能

地震情報緊急伝達システムは、図-1に示すように6つのサブシステムから構成されている。各サブシステムの概要について述べる。

① 地震動伝送サブシステム

地震動伝送サブシステムは、既存の地震観測ネットワークによる地震動波形データを後述の地震動収集サブシステムへリアルタイムで伝送する。本研究で利用を想定する既存の地震観測ネットワークは、k-net（防災科学技術研究所）と衛星データ受信システム（国公立大学・気象庁等）である。

k-netは、非リアルタイムネットワークであるため、k-net地震計で検知した地震動波形データを、リアルタイム伝送処理プログラムによって地震動収集サブシステムへリアルタイム伝送できる機能を有する。地震動収集サブシステムへの伝送には、RTSフォーマットを採用している。一方、衛星データ受信システムは、リアルタイム地震観測ネットワークであるが、WINフォーマットである。地震動収集サブシステムの共通入力は、RTSフォーマットであるため、フォーマット変換を行う。

② 地震動収集サブシステム

地震動収集サブシステムでは、地震動伝送サブシステムから伝送された地震動波形データのリアルタイム性を損なわずに、ノイズ等の障害を抽出し処理を行う。また、地震動波形の全データの収集を待たずに、必要十分な最初の波形部分をリアルタイムで収集し、震源・地震動パラメータ推定サブシステムへ伝送する。震源・地震動パラメータ推定サブシステムは、全波形データを用いずに、地震動分布を推定する。

③ 震源・断層パラメータ推定サブシステム

震源・断層パラメータ推定サブシステムは、地震動収集サブシステムから伝送される地震動波形（加速度時刻

歴）データを用いて、震源パラメータ及び断層パラメータを推定する。ここでは、一般的な仕様のワークステーションを用いて、震源パラメータ（震源位置・規模）を1分程度で、断層パラメータ（地震モーメント・コーナ周波数）を3分程度で推定する手法を開発している³⁾。

④ 地震動パラメータ推定サブシステム

地震動パラメータ推定サブシステムは、地震動収集サブシステムから伝送される地震動波形データを用いて、地震動分布を推定する。同サブシステムには、後述の6つの地震動分布推定手法を組み込んでいる。これら手法の中には、兵庫県南部地震での“震災の帯”にみられるように、表層地盤の非線形特性や基盤の不整形性の影響⁴⁾による局所的な地震動の増幅特性を考慮できるものを選定している。

地震動分布推定手法は、地震動パラメータ毎にモジュール化しており、ユーザの要求によって適切なモジュールを任意に選択できるようにしている。これまでに、地震後約3分程度で地震動分布を推定できる下記④-1～④-4のモジュールを整備している。

④-1 事前予測地震動分布の観測値による即時補正手法⁵⁾

対象地域での想定地震による地震動分布を基盤の不整形性や表層地盤の非線形特性を考慮して事前に予測しておく。この事前予測地震動分布（特性値）と地震動波形データ（特性値）との差異から補正係数を求め、事前予測地震動分布を補正することで地震動分布（計測震度・最大加速度・最大速度・最大変位・SI値）を推定する。

④-2 増幅率関数による表層地盤特性評価手法⁶⁾

統計的グリーン関数法により作成した地震動と地盤データを用い、等価線形解析（減衰の周波数依存性を考慮）によって表層地盤の非線形特性を増幅率関数として事前に評価しておく。これに地震動波形データによる下記特性値を乗除することによって地震動分布（計測震度・最大加速度・最大速度・最大変位・SI値）を推定する。

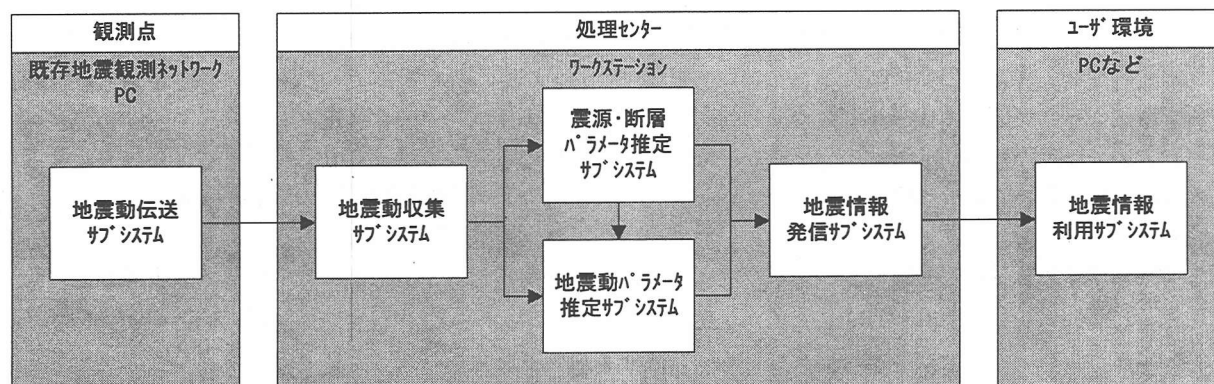


図-1 地震情報緊急伝達システムの構成

④-3 断層モデル地震動予測式手法⁷⁾

震源・断層パラメータ推定サブシステムで推定した断層パラメータ（地震モーメント・コーナ周波数）と理論震源特性から震源特性を求め、対象地域での既知の伝播特性及びサイト増幅特性と線形結合することによって地震動分布（加速度フーリエスペクトル）を推定する。

④-4 地震動距離減衰式手法

震源・断層パラメータ推定サブシステムで推定した震源位置・規模と既存の距離減衰式を用い、地震動分布（最大加速度・最大速度・最大変位・SI 値）を推定する。

④-5 等価線形解析による表層地盤特性評価手法⁸⁾

地震動波形（加速度時刻歴）データを用いて、1 次元等価線形解析によって工学基盤での地震動を求め、工学基盤で空間補間した後に、1 次元等価線形解析によって表層の地震動分布（加速度時刻歴）を推定する。

④-6 基盤不整形構造を考慮した伝達関数による地盤特性評価手法

局所的な不整形基盤構造による地震動の増幅分布を推定する。表層地盤での増幅特性を 1 次元伝達関数で、基盤の不整形性による増幅特性を 2 次元伝達関数で事前に評価しておき、地震動波形データ（加速度フーリエスペクトル）を乗除することで地震動分布（加速度時刻歴）を推定する。

⑤ 地震情報発信サブシステム

地震情報発信サブシステムは、インターネットやファクス等を利用して、震源・地震動パラメータ等の地震情報をユーザへ発信する。現在、地震発生後 3 分程度で、推定地震動分布をホームページに掲載できるよう準備中である。

⑥ 地震情報利用サブシステム

地震情報利用サブシステムは、本来ユーザが各種地震対策や他の支援システムとして整備するものである。そのため、ここではユーザ環境の一例として、データの時空間管理や自律分散管理を考慮した GIS 環境⁹⁾を想定し、インタフェースの仕様を検討している。

3. システムの適用

本システムの全機能を利用するには、対象地域において、リアルタイム地震観測ネットワークや詳細な地盤情報及び地震動事前予測分布等の各種情報が事前に準備されている必要がある。そこで、同システムの機能検証のためには、適用地域を選定し、上記各種情報を事前に試験的に整備する必要がある。以下、適用地域と同地域での上記情報の整備状況について述べる。

(1) 適用地域の選定

適用地域は、図-2 に示す原研東海研周辺半径 30km

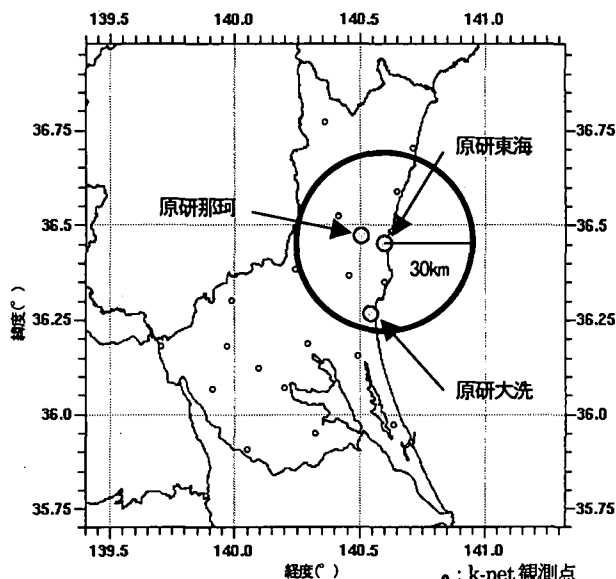


図-2 地震情報緊急伝達システムの適用地域

の範囲としている。選定理由は、原研東海研究所（原研東海）、原研大洗研究所（原研大洗）、原研那珂研究所（原研那珂）には大型の原子力研究施設があり、耐震設計のために詳細な地盤データが整備されていることと、この地域が我が国固有数の地震発生地域である鹿島灘に面しているためである。

(2) 試験用リアルタイム地震観測ネットワークの整備

地震動伝送サブシステムによる地震動波形データのリアルタイム伝送のため、原研東海、大洗、那珂に、k-net 仕様の地震計を活用した試験用リアルタイム地震観測ネットワークを整備すると共に、衛星データ受信システムによる地震動波形データの受信設備を設置している。

(3) 詳細な地盤情報の整備

適用地域内の地盤構造は、浅い地盤と深い地盤に大別される。それぞれの地盤別に詳細な地盤情報を原研の原子力研究施設耐震設計用の地盤データ等に基づき整備している¹⁰⁾。

浅い地盤については、表層地質、微地形区分、地質断面図等から地域に分布する地形、地質、地層構成等を明らかにし、地層構成や地震動の応答が同様となるものを集約して、136 種類の地盤モデルを作成している。一方、深い地盤については、上記耐震設計用地盤データ等から、せん断波速度 $V_s=700, 1,200, 3,000$ (m/s) の 3 層構造の地盤モデルを作成し、各層上面の深度を設定している。

適用地域内を 500m メッシュで分割し、各メッシュの浅い地盤に対しては 136 種類の地盤モデルの卓越周期等に基づき、深い地盤に対しては上記 3 層構造モデルの各層上面深度を割り付けている。 $V_s=1,200$ (m/s) 層の上面深度分布を図-3 に示す。

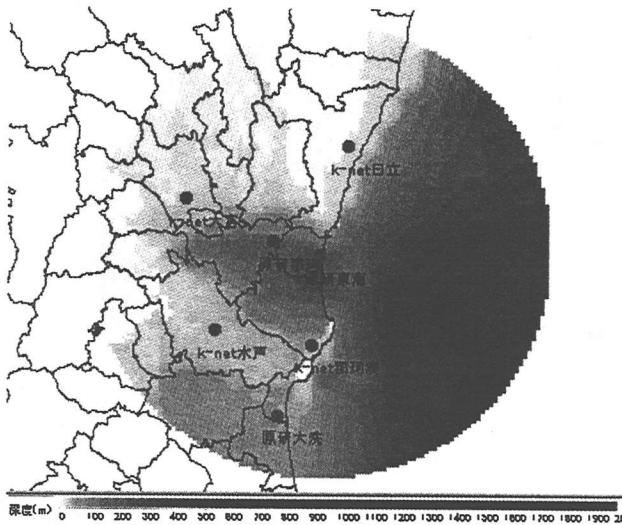


図-3 適用地域の $V_s=1,200$ (m/s) 層上面深度分布

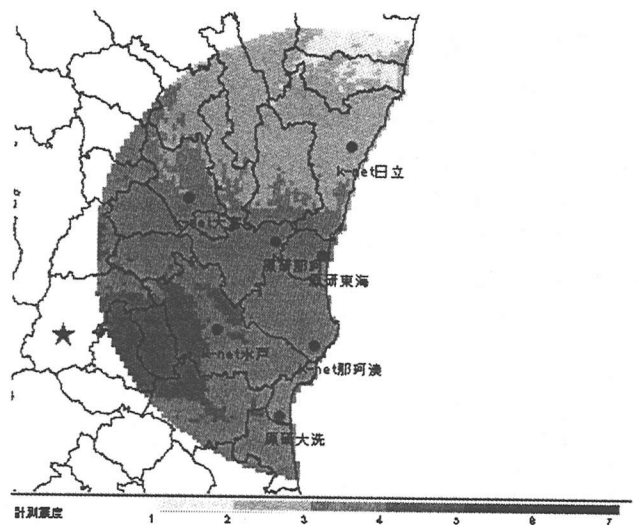


図-4 筑波山東方リニアメントを断層 (☆: 震源) と想定した場合の地震動の事前予測分布 (計測震度)

(4) 地震動分布の事前予測と増幅率関数分布の整備

適用地域周辺の活断層、リニアメント及び歴史地震を対象として、前述の詳細な地盤情報と断層モデルによる強震動予測手法を用いて、同地域における地震動分布の事前予測を行っている。筑波山東方リニアメントを断層と想定した場合の地震動の事前予測分布 (計測震度) を図-4に示す。また、詳細な地盤情報を用いて、④-2 の増幅率関数による表層地盤特性評価手法に基づき、地域内の増幅率関数分布を整備している。

4. おわりに

本報では、地震情報緊急伝達システムの主要部の開発状況と、原研東海研周辺地域を対象とした地盤データや地震動の事前予測分布等の整備状況について述べた。今後は、上記地域で発生した地震を対象として、推定地震動パラメータと推定時間及び推定精度との相互関係を考慮したパラメータスタディー等を行う予定である。

謝辞: 本研究の一部は、防災科学技術研究所との共同研究として進めているものである。また、原研内に「地震情報緊急伝達法等研究専門部会 (部会長: 京都大学防災研究所亀田弘行教授)」を設置し、専門家の意見を反映して進められている。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 蛭沢勝三、柴田勝之、村松健、梅本通孝: 耐震安全・防災フロンティア研究の概要、地球惑星科学関連学会 1998 年合同大会、Ad-008、1998。
- 2) 日本原子力研究所: 地震情報緊急伝達システムの研究開発-原研のリアルタイム地震防災研究-、SEISMO、1998

VOL. 2 NO. 8、1998。

- 3) 堀貞喜、大井昌弘: 波形処理によるメカニズム決定の自動化及び迅速化、日本地震学会講演予稿集 (秋季大会)、P15、1998。
- 4) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神・淡路大震災調査報告共通編-2.1編地震・地震動、pp. 259-301、1998年3月。
- 5) 赤澤隆士、香川敬生: 強震動予測に観測情報を導入した即時地震動分布推定、第2回都市直下型地震災害総合シンポジウム論文集、pp. 329-332、1997。
- 6) 末富岩雄、吉田望、阿部一郎、蛭沢勝三: 断層モデルによる地震波を用いた表層地盤地震応答解析に基づく各種地震動代表値の増幅度評価、第25回地震工学研究発表会論文集、1999。(投稿中)
- 7) 蛭沢勝三、中村晋、田居優、香川敬生、亀田弘行: 断層モデルによる地震動予測式の作成法-概要-、土木学会第51回年次学術講演会概要集、pp. 420-421、1996。
- 8) I. Suetomi and N. Yoshida: Damping characteristics of soil deposits during strong motions, Proceeding of the Second International Symposium on the Effect of Surface Geology on Seismic Motion, Yokohama, pp. 765-772、1998。
- 9) 畑山満則、正賀伸、永井潤、角本繁、亀田弘行: GISを応用した総合防災情報システムの地域防災活動への導入-リスク対応型地域空間情報システムの実現に向けて(3)-、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 7、pp. 37-40、1997。
- 10) 蛭沢勝三、阿部一郎、柴田勝之: 地震動パラメータ推定手法の開発と詳細地盤データの整備、第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集、pp. 123-128、1999。