

気象庁における緊急地震速報関連の最近の技術的動向とビジョン The recent movement and the future plans of the JMA EEW

中村 雅基^{1*}; 小寺 祐貴¹; 溜瀨 功史¹; 相澤 幸治¹; 小上 慶恵¹; 平野 和幸¹; 山田 安之¹; 崎原 裕和¹; 浦谷 純平¹; 森本 雅彦¹
森本 雅彦¹
NAKAMURA, Masaki^{1*}; KODERA, Yuki¹; TAMARIBUCHI, Koji¹; AIZAWA, Koji¹; OGAMI, Yoshie¹; HIRANO, Kazuyuki¹; YAMADA, Yasuyuki¹; SAKIHARA, Hirokazu¹; URATANI, Junpei¹; MORIMOTO, Masahiko¹

¹ 気象庁

¹ JMA

気象庁における緊急地震速報の精度向上、情報発表の迅速化に向けた取り組みについては、これまでも報告しているところであるが(詳細は気象庁 HP 審議会・検討会等のページ参照)、最近の動向について報告するとともに、今後の予定について述べたい。

気象庁は、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震に対して、緊急地震速報(警報)を、最初の地震波の検知から 8.6 秒後に発表した。緊急地震速報(警報)を発表した全ての地域に対して主要動の到達前に発表した。しかし、この時点で推定した M は 7.2 であったため、震度予測が過小となった。緊急地震速報は、第 15 報(最終報)まで発表し、第 14 報以降において M8.1 を推定、最大震度 6 弱を予測、東北地方から関東地方や北陸地方の広い範囲に震度 4 以上を予測した。しかし、緊急地震速報(警報)の発表・更新は、地震波検知から 60 秒後までとして運用しているため、更新報を発表することはなく、例えば関東地方を対象とする緊急地震速報(警報)の発表をしていない。また、現在の緊急地震速報では、揺れの振幅予測式の距離減衰補正に用いる断層までの最短距離として、震源を中心とした推定 M に応じた半径の球面上からの距離を採用している。これが一因となって、この巨大地震の断層面の広がりや正しく評価できず、適切な震度予測ができなかった。さらに、この地震の発生後、全国の地震活動が活発化し、時空間的に近接して複数の地震が発生した場合などに適切な緊急地震速報が発表できない事例が多数あった。

また、平成 25 年 8 月 8 日 16 時 56 分頃、和歌山県北部を震源とする M2.3 の地震に際し、近畿地方を中心に関東から九州までの 34 都府県を対象とする緊急地震速報(警報)を発表したが、震度 1 以上は観測されなかった。過大な緊急地震速報を発表した原因は、和歌山県北部の地震により震源近傍で地震波を検知したのとほぼ同じタイミングで、震源から離れた東南海海底地震計で大きな振幅を観測したとのデータ(システムの不具合による誤ったもの)が得られ、これらを同一の地震によるものとして処理した結果、M7.8 の地震が発生したと推定したためであった。この事態を受けて気象庁では、原因となった海底地震計システムの緊急地震速報への利用を約 2 ヶ月間停止し、ハードウェア・ソフトウェアの改修を行い、慎重に動作確認を行ったのち緊急地震速報への利用を再開した。しかし、全ての機器故障を想定したシステムを構築することは困難であり、このケースの次善策は同一の地震と誤って判断しないようにすることだと考えられる。

これらに対処するため、気象庁では、①震源断層の広がりによる過小評価(M の飽和)による震度の過小予測の克服と、②ほぼ同時に発生する地震を適切に分離できないことによる不適切な情報発表対策を主要課題としてとらえ、これまでも対策を講じてきており報告しているところであるが、処理システムの更新を機に緊急地震速報処理のより一層の高度化を予定している。具体的には、②の対策として、従来型の震源要素に基づく予測の高度化として溜瀨・他(2013, 2014)によるパーティクルフィルタを用いた手法であり、①と②の対策として、実時間震度モニタ型予測と従来型の震源要素に基づく予測のハイブリッド化(小寺・他, 2014)である。前者は、尤度関数として、各観測点における地震波検知時刻だけでなく、最大振幅、B-Δ法、主成分分析法の処理結果、未着情報を用いており、従来の緊急地震速報処理の迅速性と同時多発地震識別におけるロバスト性の両方を兼ね備えた震源推定手法である。後者の実時間震度モニタ型予測は、Hoshiba(2013)の簡易版で、観測された大きな震度をもたらし波動場は四方八方に伝播すると仮定し、予測対象観測点周辺半径 Xkm 以内の観測点における最大観測震度を予測震度とするものであり、これを従来型の震源要素に基づく手法とハイブリッド化する手法である。

また、気象庁では、平成 25 年 3 月から長周期地震動に関する観測情報の発表を、気象庁 HP を通じて試行的に開始した(相澤・他, 2014)。現在、長周期地震動版の緊急地震速報である予測情報の発表について技術的検討を行っているところであり、現行の緊急地震速報と同様の距離減衰式を用いた手法をひとつの候補に考え、評価を行っている(小上・他, 2014)。予測情報の発表については、2~3 年後程度を目途に試行的運用を開始したいと考えている(詳細は気象庁 HP 審議会・検討会等のページ参照)。

引用文献: 相澤・他, 2014, 本大会予稿集, Hoshiba, 2013, DOI: 10.1002/jgrb.50119. 小寺・他, 2014, 本大会予稿集. 小上・他, 2014, 本大会予稿集. 溜瀨・他, 2013, 地震学会予稿集秋季大会. 溜瀨・他, 2014, 地震 2 投稿中。

キーワード: 緊急地震速報, 長周期地震動, 気象庁, 震度, 長周期地震動階級, 震源決定

Keywords: EEW, long-period ground motion, JMA, seismic intensity, intensity scale on long-period ground motion, hypocenter

SSS28-01

会場:312

時間:5月2日 10:00-10:15

determination

実時間地震動予測を併用した緊急地震速報 Earthquake Early Warning system combined with real-time ground motion prediction

小寺 祐貴^{1*}; 山田 安之¹; 平野 和幸¹; 森本 雅彦¹; 干場 充之²; 中村 雅基¹
KODERA, Yuki^{1*}; YAMADA, Yasuyuki¹; HIRANO, Kazuyuki¹; MORIMOTO, Masahiko¹; HOSHIBA, Mitsuyuki²; NAKAMURA, Masaki¹

¹ 気象庁地震火山部, ² 気象庁気象研究所

¹Seismology and Volcanology Department, Japan Meteorological Agency, ²Meteorological Research Institute

簡易版実時間地震動予測法と現行の緊急地震速報とを併用した緊急地震速報（ハイブリッド法）の紹介を行う。また、過去に予測震度が過小評価や過大評価であった事例に対してハイブリッド法を適用した結果を報告する。

現行の緊急地震速報（従来法）は、観測された地震波をもとに震源要素を求めることで予測震度を計算している。初期段階で正確に震源要素を推定できれば、迅速に全国の予測震度が得られ、多くの地区で猶予時間を稼げる。一方で、誤った震源要素を推定した場合は、予測震度を極端に過小評価したり過大評価したりするという欠点がある。

震源要素を介さず揺れの予測を行う手法として、Hoshiba (2013) は実時間地震動予測法を提案している。実時間地震動予測法は、変位に関する境界積分方程式により、波動場から波動場を直接予測する手法である。この手法では実際の揺れの情報をそのまま用いるため、実測により近い値を確実に予測できると期待される。実時間地震動予測法で震度予測を行う場合、以下のアルゴリズムで簡易的に計算できる（簡易版実時間地震動予測法）。

(1) 予測対象点から距離 R 以内にあるリアルタイム震度（功刀・他, 2013）の観測値を集める。

(2) 集めたリアルタイム震度の最大値を、予測対象点の予測震度とする。

このアルゴリズムでは、大きな震度をもたらす波動場が、距離 R だけ減衰せずに四方八方に伝播すると仮定して震度予測を行っている。簡易版実時間地震動予測法では、距離 R 以内にある波動場の情報しか用いないため、迅速性の面ではある程度劣ることが想定される。

従来法と簡易版実時間地震動予測法は、迅速性と確実性においてそれぞれ相補的な特徴を持っている。従って両手法をうまく組み合わせることで、迅速かつ確実な予測手法（ハイブリッド法）が得られると期待される。そこで以下の処理で、ハイブリッド法を実行する。

(1) 通常時は、従来法と簡易版実時間地震動予測法の両予測値の最大値をとる。

(2) 両予測値に整合性が無いときは、従来法が正しくないとして従来法の予測値を棄却する。

入力を気象庁観測点のリアルタイム震度、出力を全国の震度観測点の予測震度、距離 R を 30km として、過去事例に対してハイブリッド法を適用した。東北地方太平洋沖地震に対しては、従来法では関東地方の震度階級を 2 階級以上過小評価したが、ハイブリッド法では概ね ± 1 階級までのずれで震度階級を予測した。最大震度 5 弱の予測時刻は従来法と同じであったが、最大震度 6 弱の予測時刻は従来法よりハイブリッド法が 37 秒早かった。2011 年 4 月 3 日に発生した同時多発地震に対しては、ハイブリッド法による従来法の品質管理を利用することで、予測震度の過大評価を回避できることが分かった。2013 年 2 月 25 日に発生した栃木県北部の地震に対しては、従来法は概ね正しい震源を求めていたのにもかかわらず、1, 2 階級の過大評価をした。そのため、ハイブリッド法も従来法の過大評価に引きずられ、1, 2 階級の過大評価となった。

参考文献：

Hoshiba, M. (2013), *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **118**, 1038-1050.

功刀卓・青井真・中村洋光・鈴木亘・森川信之・藤原広行 (2013), *地震*, **65**, 223-230.

キーワード: 緊急地震速報, 気象庁, 震度

Keywords: Earthquake Early Warning, Japan Meteorological Agency, seismic intensity

高精度・高速の緊急地震速報を目指して - Hi-net 地震計の気象庁地震計への統合処理 -
Achievement of Faster and More Accurate Earthquake Early Warning System - Combining JMA and Hi-net data -

山田 真澄^{1*}; 溜瀨 功史²
YAMADA, Masumi^{1*}; TAMARIBUCHI, Koji²

¹ 京都大学防災研究所, ² 気象庁地震火山部
¹DPRI Kyoto University, ²JMA

Earthquake Early Warning systems (EWS) are designed to quickly determine locations and magnitudes of earthquakes and then provide predictive warnings about the arrival time and amplitude of the strong shaking. Current JMA EWS uses data from two seismic networks: JMA accelerometer network and NIED high sensitive seismometer network (Hi-net). Currently, these two datasets are processed in the different scheme and the results are merged to issue a warning. Combining these two datasets and processing in the same framework should improve the accuracy and speed of the warning.

In this study, we tried to develop a method to use these two dataset in the same framework. A major barrier to do this is that the instrument responses are different in these networks. Hi-net seismometers are velocity-type sensor with the corner frequency of 1Hz, which means that the response of long-period components underestimates ground motions. It also saturates for very large ground motions. We need a special care to use this Hi-net data in the same framework.

We applied time-domain recursive filters to correct instrumental response of Hi-net sensors and adjust them to the response of mechanical seismometers. We successfully developed a method to produce records with the same response to the JMA acceleration data. We evaluated the saturation of the Hi-net data with the data in 2 month after the Tohoku earthquake, and found the effect of saturation was minor. Therefore, we can use Hi-net data and JMA acceleration data in the same scheme theoretically. Speed of the warning improved by 3 seconds in the average for the inland earthquake by combining these two networks.

Keywords: earthquake early warning, Hi-net, saturation, instrument response

人間以上に高精度の地震波自動読み取り システムの開発 (その6) Automatic arrival time picking compared to manual picking (6)

堀内 茂木^{1*}; 堀内 優子¹; 飯尾 能久²; 高田陽一郎 高田陽一郎²; 澤田 義博³; 関根 秀太郎³; 中山 貴史⁴; 平原 聡⁴; 河野 俊夫⁴; 中島 淳一⁴; 岡田 知己⁴; 海野 徳仁⁴; 長谷川 昭⁴; 小原 一成⁵; 加藤 愛太郎⁵; 中野 優⁶; 中村 武史⁶; 高橋 成実⁶

HORIUCHI, Shigeki^{1*}; HORIUCHI, Yuko¹; IIO, Yoshihisa²; TAKADA, Youichiro²; SAWADA, Yoshihiro³; SEKINE, Shutaro³; NAKAYAMA, Takashi⁴; HIRAHARA, Satoshi⁴; KONO, Toshio⁴; NAKAJIMA, Jyunichi⁴; OKADA, Tomomi⁴; UMINO, Norihito⁴; HASEGAWA, Akira⁴; OBARA, Kazushige⁵; KATO, Aitaro⁵; NAKANO, Masaru⁶; NAKAMURA, Takeshi⁶; TAKAHASHI, Narumi⁶

¹ 株式会社ホームサイスモメータ, ² 京都大学防災研究所, ³ 地震予知総合研究振興会, ⁴ 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター, ⁵ 東京大学地震研究所, ⁶ 独立行政法人 海洋研究開発機構

¹Home Seismometer Corporation, ²Disaster Prevention Research Institute Kyoto University, ³Association for the Development of Earthquake Prediction, ⁴Research Center for Prediction of Earthquake and Volcanic Eruptions, ⁵Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ⁶Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに 海底地震計の整備や、安価な地震観測装置の開発に伴い、P波、S波到着時刻の読み取り量が増え、オペレータによる読み取りは、限界を超えつつある。我々は、到着時刻読み取りのための評価関数を定義し、地震の専門家のノウハウを組み込んだP波、S波自動読み取りシステムを開発した。また、P波、S波到着時刻に対応する時刻で、振幅が大きくなる疑似波形を作成し、センブルス解析法を応用した震源決定手法を開発することにより、複数の地震が同時発生する場合にも対応できることを示した。本システムは日本の全リアルタイム地震観測データやローカル観測網を用いた震源決定に利用されるようになりつつある。また、臨時地震観測データを用いた自動震源決定にも適用されている。本発表では、S波読み取りの高精度化のための開発を行ったので報告する。

2. 自動処理システムの改良 S波到着時刻の読み取りが、オペレータに比べ系統的に遅いことが示された(中山他,2013)。調べた結果、rotation成分を用いる限り、系統的遅れを解消することができなかった。そこで、N S成分と、E W成分のそれぞれの絶対値の和を用いるようにした。

一般に、S波が到来すると、卓越周波数が低くなることが知られている。そこで、速度と加速度の振幅比を用いて、卓越周波数の時間変化を求めるようにした。水平動成分について、次式のように、差分と、2回差分、

$$V(t)=u(t)-u(t-\Delta t)$$

$$A(t)=u(t)-2u(t-\Delta t)+u(t+2\Delta t)$$

を計算し、その絶対値の0.1秒移動平均を求め、両者の比に定数を掛けることにより、卓越周波数の移動平均を求めるようにした。ここに、U(t)は観測波形、 Δt は0.02秒とした。この計算方法は、緊急地震速報でマグニチュードの決定に使われている τ_c の計算方法に類似している。式(1),(2)は、差分と2階差分であるため、長周期成分の振幅は小さくなり、S T S等の長周期地震計によるデータでも、脈動の影響を取り除いた卓越周波数の時間変化が計算できる。P波、S波到着時刻読み取りでは、評価関数に、上記から計算される卓越周波数の時間変化を組み込むようにした。この他、波形の自己相関、振動継続時間、コーダ波振幅の減衰特性等のパラメータを抽出し、地震とノイズとの識別機能を強化した。

3. 結果

1) 卓越周波数が顕著に小さくなる時刻と、S波到来時に対応しており、卓越周波数の時間変化の指標が、S波読み取り精度向上に有効であることが示された。P波到来時にも、卓越周波数は小さくなる場合が多いが、逆に大きくなる場合もある。

2) 日本全体の2011年9月3日の連続波形データを用いて、自動処理による解析結果と一元化震源によるそれとを比較した。気象庁一元化震源による震源決定個数はそれぞれ588個、自動震源決定によるそれは1523個で、自動震源決定できた地震数は、一元化の2.6倍であった。P波、S波読み取り数は、それぞれ、35366, 30164で、これは、一元化の2.1倍、1.6倍であった。

3) オペレータによる読み取りと、自動処理によるそれとの時間差の絶対値の平均値は、それぞれ、0.06秒、0.13秒である。この値は、人間と人間との読み取り値の差に近い。

4) 到着時刻の読み取りが正しければ、近傍に位置する2観測点の、P波、S波到着時刻から計算される発震時刻の差は、地下構造の違いの影響を受けにくく、値がほぼ一致するはずである。そこで、観測点間距離が30km以内のすべての観測点の組み合わせについて、P波、S波到着時刻から計算される発震時刻の差を調べた。自動処理の場合の平均的発震時のズレは、0.27秒、一元化のそれは0.26秒であった。

これらの比較から、人間に近い、あるいは、それ以上に高精度の自動読み取りシステムが完成されつつあると結論される。

SSS28-04

会場:312

時間:5月2日 11:00-11:15

キーワード: 震源決定, P波、S波自動読み取り, 評価関数, センブランス, 卓越周波数, 人間と同等

Keywords: Hypocenter location, Automatic P and S wave picking, Evaluation equation, Senblance, Predominant frequency, compatible to manual picking

相対サイト増幅率の広域評価とリアルタイムサイト補正への適用 Real-time site correction based on evaluating relative responses to common reference station for wide area network

青木 重樹^{1*}; 干場 充之¹
AOKI, Shigeki^{1*}; HOSHIBA, Mitsuyuki¹

¹ 気象庁気象研究所
¹ MRI, JMA

Hoshiba (2013a, JGR) は震源や M の推定を介さずに、波動場のモニタリングを用いて地震動を予測する手法を提案している。その手法で用いるサイト補正はリアルタイム処理が可能であることが求められる。青木・干場 (2013, 地震学会) は, Hoshiba(2013b, BSSA) が開発したリアルタイム処理が可能で、相対サイト増幅率と振幅特性が一致する漸化式デジタルフィルタを用いて、隣り合う 2 観測点間でのサイト特性の置き換えに基づく、震央距離 100km 以上の地震 (遠方地震) に対する震度予測実験を行った。その結果、2 観測点間の平均震度差を用いた周波数依存しないスカラー量による補正よりも、周波数依存する相対増幅率を用いた方が、より適切に予測を行うことを示した。

本研究では、青木・干場 (2013) の手法により、近接 2 観測点で同時に観測された複数の遠方地震記録のスペクトル比の平均から、距離減衰や震源の効果を仮定せずに、2 観測点間の相対増幅率を推定した後、これを広域にわたって近接 2 観測点ネットワークで連結して最小自乗法で解く (池浦・加藤, 2011, 地震工学会論文集) ことにより、遠隔観測点も含めて全ての観測点に対して共通の基準観測点をもつ相対増幅率を評価した。ここでは、気象庁震度観測点、防災科学技術研究所の強震観測点 (K-NET, KiK-net (地中点も含む)) のうち観測点間隔 25km 以内のもので観測点ペアを作成し、これらをネットワークで連結することにより、ほぼ本州全域と四国地方をカバーした相対増幅率を評価することができた。

次に、Hoshiba(2013b) の手法により、これらの共通の基準点 (本論では気象庁の千代田区大手町観測点を基準点とした) に対する相対サイト増幅率と振幅特性が一致する漸化式フィルタを作成し、2011 年東北地方太平洋沖地震や 2004 年新潟県中越地震の各加速度時刻歴に適用した。これらの補正された記録は、全ての観測点が基準点と同様のサイト増幅特性となった場合の模擬的な加速度時刻歴とみなすことができる。補正前と補正後の記録から震度分布を作成し比較すると、補正前の地上点震度分布に見られる短波長の空間的な不均質は補正後には解消され、震央からの距離とともに滑らかに震度が減衰する傾向が見られた。また、KiK-net の地中点震度については、補正前は地上点と比較して全体的に震度が小さくなるが、補正後は震度が増大し、その分布は地上点の補正後の震度分布とほぼ一致する傾向があった。これらは、本研究で用いたリアルタイムサイト補正手法が、適切にサイト補正を行っていることを示すものである。

謝辞

本報告では、防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NET, KiK-net) および気象庁の震度観測点の記録を利用しました。記して感謝いたします。

キーワード: サイト増幅率, スペクトル比法, リアルタイム処理, 強震観測網, 地震動予測

Keywords: Site amplification factor, Spectral ratio method, Real-time processing, Strong motion seismograph network in Japan, Prediction of the ground motion

実時間地震動予測 —データ同化手法の実データへの適用と予測— Real-time prediction of earthquake ground motion -application of data assimilation and its application to actual data-

干場 充之^{1*}; 青木 重樹¹
HOSHIBA, Mitsuyuki^{1*}; AOKI, Shigeki¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Res. Inst., JMA

緊急地震速報における迅速化と震度予測の精度を高めることを目指して、新しい処理手法を考察している。これまで、データ同化手法を用いて波動場の実況値を推定し、そこから波動伝播の物理に則り予測することを考察してきた。今回は、東北地方太平洋沖地震（2011年）や中越地震（2004年）などの実データを用いた適用例について紹介する。

提案している手法では、波動場の空間分布の実況値を推定することが鍵となる。そこで、漸化式デジタルフィルタを用いてサイト増幅特性を補正し（青木・干場, 2014, 本大会）、さらに、功刀・他（2008）による震度演算のためのバンドパスフィルタに通し、その3成分合成値のエンベロープを求める。このエンベロープの値から、データ同化手法を用いて地震動強度と伝播方向の詳細な空間分布を求める。

この地震動強度と伝播方向を初期値として、波動伝播の物理に則り未来を予測する。波動伝播の物理として、今回は、輻射伝達理論を用いた。輻射伝達理論は、波形の山谷を無視しエンベロープを考え、波動の伝播をエネルギーの伝播で置き換えて考察するもので、高周波近似の一種である。これまでも、高周波地震波のコーダ部分の形状を考察する際に広く用いられている。今回の発表では、10秒後と20秒後の予測の例を紹介する。

東北地方太平洋沖地震の例では、複数のSMGAから次々と地震動が広がっていく様子が再現され、また、その分布にも方位依存性があることが分かる。震源時からかなり遅れて、福島県沖のSMGAで強震動が発生し、関東地方を伝播し、さらに、甲府付近から名古屋付近に進んでいく様子が見える。これに応じて、10秒後や20秒後の予測も、この方位分布を反映したものとなっている。従来の震源要素（震源位置とマグニチュードなど）を推定しそれらの情報から地震動を予測する方法では、遅れて発生する強震動に対処することは難しく、また、方位分布を精度よく予測することは困難だったが、この方法では、これらの課題を克服している。

中越地震の例では、次々と余震が発生し、地震動が伝播していく様子が見える。特に震源域付近では、揺れが収まる前に次々と新たな地震動が伝播してきている。予測も、この次々と発生する余震による地震動分布を推定している。従来の震源要素を推定する方法では、このように連発する地震に対処することは難しかったが、この方法では、活発な余震活動を伴う場合でも予測を行うことが可能である。

この様に、提案している方法では、従来の方法では困難だった場合にも対処でき、緊急地震速報における迅速化と震度予測の精度向上に資するものと期待できる。

キーワード: 緊急地震速報, データ同化, 地震動即時予測, 輻射伝達理論, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: Earthquake Early Warning, Data assimilation, Prediction of ground motion, Radiative transfer theory, 2011 Tohoku earthquake

長周期地震動に関する予報に向けた距離減衰式の比較 Investigation for earthquake early warnings of long-period ground motion

小上 慶恵^{1*}; 相澤 幸治¹; 崎原 裕和¹; 浦谷 純平¹; 中村 雅基¹
OGAMI, Yoshie^{1*}; AIZAWA, Koji¹; SAKIHARA, Hirokazu¹; URATANI, Junpei¹; NAKAMURA, Masaki¹

¹ 気象庁

¹ JMA

高層ビルにおける地震時の人の行動の困難さの程度や、家具や什器の移動・転倒などの被害の程度は震度では適切に表現できないことがある。そのため、気象庁では高層ビル等における地震後の防災対応等の支援を図るため、長周期地震動による高層ビル内での被害の発生可能性等について知らせる「長周期地震動に関する観測情報（試行）」の提供を気象庁 HP を通じて開始した（相澤・他, 2014）。現在、長周期地震動版の緊急地震速報である予測情報の発表について技術的検討を行っている。予測情報の発表については、2~3年後程度を目途に試行的運用を開始したいと考えている（詳細は気象庁 HP 審議会・検討会等のページ参照）。

長周期地震動の予測に利用する手法は様々なものが考えられるが、その中でも任意の位置の震源で計算でき、かつ算出の早い距離減衰式を取り上げて議論を行う。

検討に用いた距離減衰式は、政府内での各種検討に用いられ、距離減衰式の係数や観測点増幅率の詳細なデータが入手でき、かつ、式のタイプやサイト補正手法の異なる以下の3つの論文で提唱されている式とする。

- ・ 佐藤・他, 2012 及び佐藤・他, 2010
- ・ Morikawa and Fujiwara, 2013
- ・ 横田・他, 2010

これらの距離減衰式について、緊急地震速報（警報）が発表され、かつ最終的に決定した気象庁マグニチュードが5.5以上である地震について、緊急地震速報の計算結果及び最終的に決定した震源要素で速度応答スペクトルの計算を行い、それぞれの結果について波形から計算した絶対速度応答スペクトルと比較し検討を行った。予測観測点は気象庁震度観測点、K-net 観測点及び KiK-net 観測点、予測事項は長周期地震動階級とする。

その結果、いずれの式も傾向を表現でき、特に気象庁一元化震源を用いた場合には、実際の階級と予測階級が±1以内に入る確率は概ね7~8割程度となった。しかし断層までの最短距離として、震源を中心とした推定Mに応じた半径の球面上からの距離を採用しているため、震源近傍では過大評価に、震源から遠い地域では過小評価になる傾向があること、長周期地震動が増幅しやすい地域で過小評価になる傾向があること等の問題点が認められる。また、緊急地震速報の1報毎に計算された震源を用いた場合、計算の精度により距離減衰計算精度も左右されるため、どのタイミングの震源を用いて予測情報を発表するかについては議論が必要である。

引用文献：相澤・他, 2014, 本大会予稿集。佐藤・他, 2010, 日本建築学会構造系論文集 2010年3月号, 2010, p521-530。佐藤・他, 2010, 日本地震工学会論文集 第12巻, 第4号（特集号）, 2012, p354-373。Morikawa and Fujiwara, 2013, Journal of Disaster Research Vol.8 No.5, 2013, p878-888。横田・他, 2010, 日本地震工学会論文集 第11巻, 第1号, 2011, p81-101。

キーワード: 長周期地震動, 気象庁, 緊急地震速報, 距離減衰, 応答スペクトル

Keywords: long-period ground motion, JMA, EEW, attenuation relationship, response spectrum

長周期地震動のための緊急地震速報の高度化 Updating of Earthquake Early Warning for Long-Period Ground Motions

入倉 孝次郎^{1*}; 倉橋 奨¹
IRIKURA, Kojiro^{1*}; KURAHASHI, Susumu¹

¹ 愛知工業大学

¹ Aichi Institute of Technology

はじめに

現在の気象庁による緊急地震速報は、マグニチュード M と震源距離の情報から対象サイトの地盤条件を考慮して地震動を予測する方法をとっている。地震規模が大きくなると震源域の広がりも無視できなくなる。この方法は、破壊が止まるまでは原理的に精度ある情報が決まらないため、長周期地震動による被害が問題になるような大規模地震に対しては、早期に精度ある情報を伝達するのは極めて困難である。従って、長周期地震動のための緊急地震速報の高度化には、 M 、破壊域の広がり、震源距離などを決めることなく、リアルタイムで観測された地震動情報から、大きな揺れがまだ届いていない地域の揺れを予測する方法がこの問題を一気に解決することができる。本研究は、Hoshiba(2013)により提案されている実時間地震動予測方法を長周期地震動の予測のための適用性を検討する。

方法

揺れがまだ到着していない地点 P の地震動は、すでに揺れの到着した地点 r を含む表面 S が P を取り巻く閉空間を構成していると考え、Kirchhoff-Fresnel 積分方程式で式 (1) のように表わせる。

この式の適用は、地震動の波長が u や G の空間的揺らぎよりも小さい、という条件が必要とされる。さらに、地震動の波長が、観測点および予測点の震源からの距離に比べて小さい場合、地震動は平面波で近似できるので、式 (2) のような簡単な式で表わされる。

震源点 r_0 、観測点 r 、および予測点 P が一直線に並んでいると仮定できるとき、予測点 P と観測点 r の相互相関は、式 (3) で表わされる。

(3) の式の T は 2 点間の伝達関数を表わすが、地震動が一次的に伝播する平面波と考えられるときは、予測点 P と観測点 r 間の Green 関数とほぼ同じと考えてもいい (Wapenaar et al., 2010)。ここでは、より一般的な適用可能性を検討するため、伝達関数で定義している。(3) の式の S は、式 (4) のように震源時間関数の自己相関関数として定義される。

予測点 P が強震動観測点である時は、事前に小規模の地震の強震動記録を用いて、(3) の関係から 2 点間の伝達関数を求めておくことができる。その場合、観測点 r で入射方位の検出し、伝達関数は入射方位に応じて事前評価しておく必要がある。観測記録がない場合でも、理論的なシミュレーションから T の推定は可能である。

大規模地震が起こったときには、震源域に近い側の観測点 r での観測記録と伝播方位の情報に基づき、まだ観測されていない地点 P の長周期地震動の予測が可能となる。超高層ビルや大規模石油タンクなどの被害に関係する長周期地震動は、周期が 2 ? 10 秒、その波長は数 km から数十 km と比較的短いため、長周期地震動が問題となる多くの地震で (2) や (3) が適用可能と考えられる。($P ? r$) が ($r ? r_0$) に比べてあまり小さくない場合には、(1) に戻った計算が必要となる。

キーワード: 緊急地震速報, 長周期地震動, 実時間地震動予測方法

Keywords: Earthquake Early Warning, Long-Period Ground Motions, the applicability of the front detection method

SSS28-08

会場:312

時間:5月2日 12:00-12:15

$$u(\mathbf{P}, t) = \int \frac{1}{v(\mathbf{r})} \cdot (\cos \theta + \cos \theta') \cdot G(\mathbf{P} - \mathbf{r}, t) * u(\mathbf{r}, t) dS \quad (1)$$

$$u(\mathbf{P}, t) = G(\mathbf{P}, \mathbf{r}, t) * u\left(\mathbf{r}, t - \frac{|\mathbf{P} - \mathbf{r}|}{v} \cos(\theta' - \theta)\right) \quad (2)$$

$$u(\mathbf{P}, \mathbf{r}_\theta, t) * u(\mathbf{r}, \mathbf{r}_\theta, -t) = T(\mathbf{P}, \mathbf{r}, t) * S(\mathbf{r}_\theta, t) \quad (3)$$

$$S(\mathbf{r}_\theta, t) = s(\mathbf{r}_\theta, t) * s(\mathbf{r}_\theta, -t) \quad (4)$$

緊急地震速報の放送開始条件の現状と課題 Current Status and Issues of the Broadcast Start Condition of Earthquake Early Warning

鷹野 澄^{1*}
TAKANO, Kiyoshi^{1*}

¹ 東京大学 情報学環/地震研究所
¹ III and ERI, the University of Tokyo

緊急地震速報の伝達手段として館内放送は広く利用されているが、その放送開始条件は、それを導入した利用者が導入業者と相談して決めている。例えば、建物内に危険物等がある場合は、予想震度3以上で放送開始し、あまり危険物のない建物では、予想震度5弱以上で放送開始するなど、利用環境を考慮して利用者側が定めているのが現状である。

放送開始条件が適切に設定されているかどうかの判断基準となるものは、2011年4月に気象庁がガイドライン（気象庁、2011）を公表するまでは存在していなかった。このガイドラインでは、特に、不特定多数向けの館内放送に用いる場合は、気象庁が発表する緊急地震速報の警報に整合する放送を行うことが推奨されている。

緊急地震速報の警報は、「地震波が2点以上の地震観測点で観測され、最大震度が5弱以上と予測された場合」に、「強い揺れ（震度5弱以上）が予測される地域及び震度4が予測される地域」に対して出される（気象庁、2007）。これに整合するように、民放テレビや携帯電話会社などでは、気象庁が警報を出した地域に緊急地震速報を放送している。

我々も当初、この気象庁の警報の条件に整合するように、館内放送の放送開始条件を設定した。それに加えて、東北地方太平洋沖地震の時には、緊急地震速報の警報の予想震度が実際よりかなり低くなったことから、予想震度だけでなくマグニチュードも併用した巨大地震向けの放送開始条件を設定して運用してきた。しかし、運用開始から1年間に3回の放送が流れたが、いずれも実際の震度が震度2から3で、結果的に、放送は過剰放送となった（鷹野他、2013）。このことを受けて、緊急地震速報の放送開始条件について改めて見直した結果について報告し、より適切な放送開始条件とそれを実現するための課題について議論したい。

参考文献

気象庁 (2007) 「緊急地震速報のしくみと予報・警報」、気象庁、

http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/eew_naiyou.html

気象庁 (2011) 「緊急地震速報を適切に利用するために必要な受信端末の機能及び配信能力に関するガイドライン」、気象庁報道発表資料、平成23年4月22日

鷹野澄・鶴岡弘・石黒佳彦 (2013) 「緊急地震速報はどのように放送すべきか（2）－構内放送の開始条件はどうあるべきか－」、日本災害情報学会15回大会、A-6-3、2013年10月27日

キーワード: 緊急地震速報, 放送開始条件, 警報条件

Keywords: Earthquake Early Warning, Broadcast Start Condition, Alarm Condition

DONET データのリアルタイム表示システムの開発 New-development of real-time seismic waveform viewing system feeding from DONET

高江洲 盛史^{1*}; 堀川 博紀¹; 末木 健太郎¹; 高橋 成実¹; 園田 朗¹; 三浦 誠一¹; 坪井 誠司¹
TAKAESU, Morifumi^{1*}; HORIKAWA, Hiroki¹; SUEKI, Kentaro¹; TAKAHASHI, Narumi¹; SONODA, Akira¹; MIURA, Seiichi¹; TSUBOI, Seiji¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

独立行政法人海洋研究開発機構では、東南海地震の想定震源域である熊野灘周辺に、地震計・水圧計等を備えた大規模かつ稠密海底観測網を整備し、地震・地殻変動・津波といった物理的諸現象をリアルタイムで観測・監視するシステム(DONET)を構築した。それらを用いた地震学的な成果としての研究情報と防災減災に寄与する情報を積極的に発信するためには、DONET データに加えて、既存地下構造データや地震津波シミュレーション結果などを取り込んだ統合データベースの構築が必要不可欠である。そのため、地震津波・防災研究プロジェクト(地震研究)、地球内部ダイナミクス領域(地下構造研究)、地球情報研究センター(情報発信)からなるデータベース構築チームを立ち上げた。

データベースの利用者は、地震研究者のみならず、地方自治体等の防災担当者を大きなユーザーターゲットとし、それぞれに向けたより利用しやすいデータベースの構築を検討してきた。そのうち、防災担当者向けのコンテンツ提供サービスとして、DONET から送られてくる強震計・水圧計の波形データをリアルタイムにウェブブラウザ(Google Chrome)上で表示するシステムを開発した。

2011年東北地方太平洋沖地震以降、特に南海・東南海巨大地震発生帯に隣接する地方自治体は、国が示す広域的な防災対策を念頭に置きつつ、それぞれの地域に応じた独自の防災対策を構築していくことが求められている。最新の研究で得られた成果や地震減災に関する情報についての地道な広報活動だけでなく、海溝型巨大地震発生帯の直上・直近において稠密展開した観測装置が検知した生の観測波形データを、リアルタイムに防災担当者が確認できることで、より迅速な防災減災対応の判断に資することができる。

現在、平成26年4月の本格稼働を目指し、一部地方自治体に向けて試験運用を行っており、本発表では本システムの概要について紹介する。

キーワード: DONET, データベース, リアルタイム表示, 地方自治体への情報展開

Keywords: DONET, database, real-time trace view, outreach for local government

海底地震計の相対的地盤増幅特性の評価とその実時間補正の検討：防災科研の相模湾 OBS を例として Examination of the relative site amplification factor of OBS and their real-time correction: examples of Sagami Bay OBS

林元 直樹^{1*}; 干場 充之¹
HAYASHIMOTO, Naoki^{1*}; HOSHIBA, Mitsuyuki¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

Hoshiba (2013, JGR) は、次世代の緊急地震速報として、震源やマグニチュードの決定を介さずに、波動場の実時間把握により地震動を予測する手法を提案している。観測点におけるサイト増幅特性の補正はこの手法の重要な要素の 1 つであり、これまでに KiK-net の深井戸観測点 (岩切・干場, 2011, JpGU) や気象庁の震度観測点 (青木・干場, 2013, 地震学会) において、周波数依存する相対的なサイト増幅特性の調査が進められてきた。海域で発生した地震の地震動の早期把握には、海底地震計の活用が重要である。林元・干場 (2013, 地震学会) では、東南海海域に設置されている気象庁の東南海 OBS と JAMSTEC の DONET において、陸上の観測点とのサイト特性の比較を行った。本発表では、OBS 近傍に陸上観測点が多く存在する防災科学技術研究所の相模湾 OBS (Eguchi *et al.*, 1998, MGR) のデータを用いて、OBS の周波数依存する相対的なサイト増幅特性について調査し、サイト増幅特性のリアルタイム補正について検討した結果を報告する。

相模湾 OBS とその周辺の K-NET・KiK-net 観測点について、震央距離が 100km 以上離れた地震の S 波部分のスペクトルを算出し、近接観測点間におけるスペクトル比を相対的なサイト増幅率として推定した。OBS 近傍の基盤相当の観測点 (KNGH23, KiK-net 地中) に対するサイト増幅率をみると、相模湾 OBS では水平動の増幅が上下動に比べ増幅する傾向があり、特に 1~10Hz で水平動の増幅が大きい。また、OBS によっては 1Hz より長周期側でも増幅が大きい観測点が見られる。これらの増幅の特徴は、OBS 直下の堆積層や地震基盤までの深さなどの構造の違いによるサイト増幅特性を反映していると考えられる。

得られた相対的なサイト増幅率を用いて、比較元の観測点での波形を比較先の観測点相当のサイト特性に置き換えることで比較先の震度を予測し、サイト補正に周波数依存性を考慮する効果を検証した。サイト増幅率の補正には、Hoshiba (2013, BSSA) による漸化式フィルタを上下動・水平動それぞれに設計して用いた。また、震度の計算には功刀・他 (2008, 地震 2) のフィルタを用いた。これらはいずれも実時間処理が可能なフィルタである。2 地点間の平均震度差で補正した、周波数依存性を考慮しない予測との比較を行った結果、OBS の記録から陸上の震度を予測する場合においても、陸上同士での予測と同様に周波数依存性を考慮することで予測震度の実震度との残差の RMS が改善することが確認できた。これらの結果は、OBS においても陸域同様にサイト特性を実時間補正することで、波動場の早期把握に活用できる可能性を示している。

謝辞：本報告には防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net のデータを利用しました。

キーワード: 緊急地震速報, 海底地震計, 地震動予測, 地盤増幅特性

Keywords: Earthquake Early Warning, Ocean Bottom Seismograph, Real-time prediction of ground motion, Site amplification factor

地震波伝播の外挿を用いた緊急地震速報の改善:みかけ速度と伝播方向の活用 Improvement of earthquake early warning system using the extrapolation of wavefield with apparent velocity and direction

佐藤 明日花^{1*}; 蓬田 清¹

SATO, Asuka^{1*}; YOMOGIDA, Kiyoshi¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻グローバル地震学研究室

¹ Global Seismology, Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

現在の日本の緊急地震速報は、震源に近い観測点でのP波の到着時間によって推定された震源の情報を利用している。しかし (a) 複数の地震がほぼ同時に起こった場合、(b) 地表でのみかけ速度が非常に速くなるような、震源の深い地震の場合、(c) 震源域が無視できないような規模の地震 ($M > 8$) の場合などにおいて効率的でない。これらはすべて非円形波面が拡大しているためであり、このような場合に対処するために、我々は震源地を決定せずに観測された初期の波動場を単に外挿する新たなアプローチを提案する。従来のマイグレーションの方法は与えられた波面に沿った波動場を利用していたが、緊急地震速報のシステムでは表面上での波動場の拡大の方向とその速度を得る事が出来る。グリーン関数の標準的な表現定理に基づいて、我々は観測波形だけでなくその空間微分を用いて波動場を推定する。このことによって従来の波形のアプローチと比較して、外挿した波動場の分解能と信頼性を向上させる事が出来るだろう。

正確かつ安定した波動場の外挿のために、信頼性の高いグリーン関数が必要である。しかし、P波とS波の伝播は複雑な形で3次元の速度構造に敏感であるため、これを忠実に予測しようとする事は現実的ではない。緊急地震速報のためには、地表面を伝播する波面の到達位置と振幅だけがわかれば良いので、2次元的な波動伝播のみを現象論的に表現する事を試みる。すなわち、P波のみかけ速度による地表の伝播である。このみかけ速度は震源の深さと、地域によって変化する。例えば北海道での震源の浅い地震では見かけ速度は7.1km/sであるが、長野県の浅い地震では5.5km/sである。また、同じ北海道でも震源が浅い場合は7.1km/sであるが、震源が100kmの場合8.9km/sであった。また速度は特に震源が深い場合、震央距離の関数として変化もする。地震が発生した際に波面の外挿に使う適切なグリーン関数(みかけ速度)を求める事が出来るように、我々は異なる深さや地域、震源の見かけ速度の表を作成し、これらを順次改良していく。

さらに、我々は初期の観測波形からみかけ速度や進行方向をリアルタイムにどのようにして推定するかについても考察した。緊急地震速報に波動場の外挿を適用するために重要な事は、初期の入力データとして観測される地震波形の間での良好な相関が必要である。しかしHi-netのデータのような高周波の地震波形は一般的に相関が悪い。隣接する観測点間での相関関係を向上するために、我々は各観測点でのサイト応答を修正する。浅い地震と深い地震の両方を使用して北海道のHi-net観測点で周波数の関数としてサイト補正を推定した。

最後に、ウラジオストクや韓国の下での震深地震では、日本の太平洋側だけが振幅が大きくなる'異常震域'と呼ばれる領域が見られる。2010年2月18日のウラジオストクの下での深さ590kmの震深地震に対して、我々は日本でのP波の伝播方向とみかけ速度を推定し、その異方性を測定した。例えば、北海道北部の宗谷、留萌地方では見かけ速度が約7.5km/sであるのに対し、南部の日高、十勝地方では約13km/sであった。このようなみかけ速度の違いを用いることで、いわゆる異常震域のような一定方向のみに増幅する現象も、本研究の波動場の外挿によって再現、予測することができる。

キーワード: 緊急地震速報, 地震波伝播の外挿, マイグレーション, みかけ速度, サイト補正, 異常震域

Keywords: earthquake early warning system, extrapolation of seismic wave field, migration, apparent velocity, site effect, abnormal seismic intensity

大地震直後のエネルギー輻射関数を用いた早期余震予測の試み Early forecasting of aftershocks from seismic energy release rate immediately after the mainshock

澤崎 郁^{1*}; Enescu Bogdan²
SAWAZAKI, Kaoru^{1*}; ENESCU, Bogdan²

¹ 防災科学技術研究所, ² 筑波大学
¹NIED, ²University of Tsukuba

大地震直後には短時間に大量の余震が発生するため、その一つ一つを地震記録上で区別することは極めて困難となり、地震の検出率は低下する。そのため現行の気象庁の余震予測発表は、地震が十分に検出されるようになる本震発生翌日以降から行われる。最近、Sawazaki and Enescu (査読中) は、Hi-net の連続波形記録を用いて大地震直後からのエネルギー輻射率の時間変化 (エネルギー輻射関数) を見積もることに成功した。この手法では、個々の余震を離散的に決めるのではなく、震源時間関数と似た連続的な時系列として全ての地震からのエネルギーの総和の時間変化を推定する。そのため、本震発生直後における余震の取りこぼしは理論上存在しない。推定したエネルギー輻射関数は、本震発生後 40 秒後以降には改良大森則と似た経過時間のべき乗で減衰し、エネルギー輻射関数をその回帰曲線で割った値は Gutenberg-Richter 則と似たべき乗型の分布を示す。余震予測はこの二つの統計則を用いて行われるため、本震直後の比較的短時間のエネルギー輻射関数を用いることにより、より早期の余震発生予測が可能となると考えられる。

国内で発生した 3 個の内陸地震について、本震発生後 1, 3, 6 時間後までに得られた 8-16Hz 帯域におけるエネルギー輻射関数を用いて、 10^8 J/s 以上のエネルギー放出率 (約 $M_w 4/s$ に相当) の 24 時間後までの発生回数を予測した。その結果、2008 年岩手・宮城内陸地震では、1, 3, 6 時間後時点での予測回数 (分子) と 24 時間後までに実際に観測された回数 (分母) の比が 24/35, 12/20, 20/10 であった。同様に、2004 年新潟県中越地震では 1524/223, 231/99, 113/50、2007 年新潟県中越沖地震では 17/59, 8/59, 30/21 となった。中越地震では 1 時間後時点で 7 倍の過大評価、中越沖地震では 3 時間後時点で 1/7 の過小評価をしている。前者では 1 時間以内に $M_J 5.9$ 、 $M_J 5.8$ 、 $M_J 6.3$ の大規模余震が生じたが、1 時間後以降 24 時間後以内に生じた余震は最大でも $M_J 5.5$ であった。後者では 3 時間後までには 1 度も $M_J 5$ 以上の余震が起こらなかったが、5.4 時間後に $M_J 5.7$ の最大余震が起こった。これら大規模な余震の発生前後における地震活動パターンの変化が、極端な過大評価および過小評価の原因と考えられる。

キーワード: 余震, 早期予測, エネルギー輻射関数, 改良大森公式, Gutenberg-Richter 式
Keywords: aftershocks, early forecasting, energy release rate, modified Omori law, Gutenberg-Richter law

自動 CMT 解決定精度向上のためのパルス状異常波形の除去方法の検討 A method to remove non-seismic long-period pulses for improved estimations of automatic centroid moment tensor solutions

酒井 孝英^{1*}; 熊谷 博之¹; 中野 優²; 前田 裕太¹; 山品 匡史³; プリード ネルソン⁴; 井上 公⁴; Melosantos Arnold⁵; Figueroa Melquiades⁵; Punongbayan Jane⁵; Narag Ishma⁵
SAKAI, Takahide^{1*}; KUMAGAI, Hiroyuki¹; NAKANO, Masaru²; MAEDA, Yuta¹; YAMASHINA, Tadashi³; PULIDO, Nelson⁴; INOUE, Hiroshi⁴; MELOSANTOS, Arnold⁵; FIGUEROA, Melquiades⁵; PUNONGBAYAN, Jane⁵; NARAG, Ishma⁵

¹名古屋大学環境学研究科, ²海洋研究開発機構, ³高知大学理学部, ⁴防災科学技術研究所, ⁵フィリピン火山地震研究所
¹Nagoya University, ²JAMSTEC, ³Kochi University, ⁴NIED, ⁵PHIVOLCS

はじめに：広帯域地震計では非地震性の長周期のパルス状波形が、P 波もしくは S 波が到達したとき発生するという現象が知られている (例えば、Delorey et al., *Bull. Seism. Soc. Am.*, 2008)。このような異常波形は波形インバージョンによるメカニズム解の推定に影響を及ぼすが、その波形を適切に補正あるいは取り除く手法は確立されていない。フィリピン・インドネシア地域に、地震・津波監視のために整備された広帯域地震計ネットワークにおいても、このようなパルス状波形がしばしば記録されている。これらの広帯域地震計ネットワークのデータは、Nakano et al. (*Geophys. J. Int.*, 2008) によって開発された SWIFT 震源解析システムによる自動メカニズム解の決定に用いられている。このシステムは長周期 (50 - 100 s) の波形データから波形インバージョン法を用いて CMT 解とモーメント時間関数を推定しているが、パルス状波形によりメカニズム解が適切に決定できない場合がある。津波監視のためには、適切なメカニズム解を早く決定する必要があるため、このような不適切な解の存在が問題となっている。そこで、本研究では簡便にパルス状波形を取り除く手法について検討した。

手法：各観測点の長周期波形の最大振幅について、表面波を仮定して震源までの距離と非弾性による減衰を補正したものを震源振幅と定義する。フィリピン・インドネシア地域で 2012 年に発生した地震のうち、SWIFT を用いて手動でメカニズム解を決定したイベントについて、各観測点の最大振幅から震源振幅を推定した。地震波の放射パターンにより震源振幅にはばらつきが生じるが、ここでは各イベントの最大の震源振幅を用いた。その最大震源振幅とモーメントマグニチュード (M_w) を比較すると、両者には比例する関係が見られた。この関係は最大震源振幅の常用対数と M_w について 2 次の関数でフィッティングすることができた。この関数からイベントの M_w を用いて最大震源振幅を推定し、観測点までの距離と非弾性による減衰を考慮したものを観測点での波形の最大振幅と考えた。SWIFT はドイツ地球科学研究所 (GFZ) の GEOFON プロジェクトで開発された SeisComP から震源位置とマグニチュード (M) の情報を受け取ると、自動でメカニズム解の推定を始める。最大震源振幅と M_w の比較に用いたイベントについて、 M と M_w を比較すると、 M_w が 4.5 - 8.7 の間で M は M_w とほぼ一致していた。そこで M_w の代わりに M を用いて観測点での最大振幅を推定することとした。

結果：フィリピン地域で 2013 年 6 月から 2014 年 1 月の間に SWIFT が自動でメカニズム解を決定したイベントについて、 M から上記の関係をj用いて各観測点の最大振幅を手動で推定した結果、14 のイベントで最大振幅より大きい振幅を持つ波形が見られた。これらはパルス状の異常波形に対応しており、その波形を取り除いた結果、11 のイベントについて、自動解の推定に必要な波形の数が満たされなかったか、あるいは適切なメカニズムの推定が可能となった。この結果は、この手法がパルス状波形を取り除き、適切な波形の選択を行う上での有効性を示している。しかしながら、SeisComP が実際の地震より小さい M を推定する場合もあり得るため、実際のオペレーションにおいては、この手法とこの手法を使わない従来のやり方を同時に用いて、最終的にオペレーターがより適切なメカニズム解を採用する方法での運用が必要であると考えられる。今回検討した手法は SWIFT の自動解決定の精度向上に貢献すると考えられ、さらに SWIFT 以外の広帯域地震計を用いた自動 CMT 解決定システムにも広く適用できる可能性を持っていると考えられる。

気象庁が発表する長周期地震動に関する情報 Japan Meteorological Agency information on long-period ground motion

相澤 幸治^{1*}; 小上 慶恵¹; 浦谷 純平¹; 崎原 裕和¹; 中村 雅基¹
AIZAWA, Koji^{1*}; OGAMI, Yoshie¹; URATANI, Junpei¹; SAKIHARA, Hirokazu¹; NAKAMURA, Masaki¹

¹ 気象庁地震火山部地震津波監視課

¹ Japan Meteorological Agency

1. はじめに

長周期地震動による高層ビル内の揺れの大きさは震度では認識することが出来ない。過去の地震で、震源域から離れた震度が3や4以下の地域において高層ビル内で大きな揺れが生じた事例があった。このため、気象庁では概ね軒高45m以上の高層ビル内の人の体感や行動の状況や室内の状況について4つに区分した長周期地震動階級を新たに設け、地震計の加速度波形から長周期地震動階級を計算し、気象庁HPでの掲載を試行している。

ここでは、気象庁による長周期地震動に関する観測情報の内容について報告する。

2. 長周期地震動階級

気象庁では、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震等における高層ビル内での揺れの状況に関するアンケート調査や聞き取り調査(肥田・永野(2012)、久保ほか(2012)、相澤ほか(2012)、金子ほか(2012)等)等による人の体感・行動や室内の状況の結果や、周期1~2秒程度以上の人の体感・行動が床応答速度の大きさと関係していると考えられる(肥田・永野(2012)、相澤ほか(2012))ことを踏まえて、長周期地震動階級を新たに設けた。長周期地震動階級とは、固有周期が1~2秒から7~8秒程度の揺れが生じる高層ビル内における地震時の人の行動の困難さの程度や、家具や什器の移動・転倒などの被害の程度から4つの段階に区分した揺れの大きさの指標である。

気象庁では、地震発生直後地上に設置している地震計の観測データから求めた絶対速度応答スペクトル S_{va} (減衰定数5%)の周期1.6秒から周期7.8秒までの間における最大値の階級をその地点の「長周期地震動階級」としている。

3. 長周期地震動に関する観測情報

気象庁では、平成25年3月28日より、長周期地震動に関する観測情報(試行)として、長周期地震動階級や強震解析結果等について、気象庁HPでの掲載を開始した。

気象庁の震度計において震度1以上を観測した場合、その震度を観測した60秒間の加速度波形データが長周期地震動分析システムに送信される。長周期地震動分析システムでは、この波形データについて品質管理と、地震かノイズかの判定を行った上で、地震の場合は、負荷分散を図るため並列処理を用いて、周期1.6秒から7.8秒の間で周期0.2秒幅で4つの減衰定数(0.5%, 2%, 5%, 20%)の絶対速度応答スペクトルおよび絶対加速度応答スペクトル、地動速度時刻歴や地動変位時刻歴について計算し、長周期地震動階級の分布図や、波形/スペクトルグラフ、データのcsvファイルを作成し、HPに掲載する。地震発生から気象庁HPでの公開までは、概ね10~20分程度となっている。

キーワード: 長周期地震動, 強震動

Keywords: long-period ground motion, strong motion

Prediction of long-period ground motion intensity for earthquake early warning Prediction of long-period ground motion intensity for earthquake early warning

DHAKAL, Yadab prasad^{1*}; KUNUGI, Takashi¹; SUZUKI, Wataru¹; AOI, Shin¹
DHAKAL, Yadab prasad^{1*}; KUNUGI, Takashi¹; SUZUKI, Wataru¹; AOI, Shin¹

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

The 2011 Mw 9.1 Tohoku-oki earthquake caused strong shakings of high rise buildings constructed on deep sedimentary basins in Japan. During the earthquake, many people got into difficulty with their movements inside the high rise buildings even on the Osaka basin located at distances as far as about 750 km from the epicentral area. Japan Meteorological Agency (JMA) has started to provide people with information on intensity of long-period ground motions based on the absolute velocity response spectra (1.6 to 7.8 s) of the observed records on the grounds (Aizawa et al., 2013). The intensity scale of long-period ground motions is classified into four: 1, 2, 3, and 4 having spectral values of 5 to 15 cm/s, 15 to 50 cm/s, 50 to 100 cm/s, and more than 100 cm/s, respectively. The spectra were computed at natural periods of 1.6 to 7.8 s using 5% of critical damping. The maximum value of the computed spectra among 1.6 to 7.8 s defines the class of intensity. We have recently constructed empirical prediction equations of absolute velocity response spectra in the period range of 1 to 10s aiming for earthquake early warning application (e.g., Dhakal et al., 2013). The equations use JMA displacement magnitude and hypocentral distance as basic parameters. Earthquakes having JMA magnitude 6.3 or larger and focal depths shallower than 50 km were used. One of the difficulties in empirical prediction of long-period ground motions is to effectively include the effects of local geological structure such as 3-D basin effects in the prediction equations. To simplify this problem, we obtained site correction factors at K-NET and KiK-net strong motion sites as the mean value of the logarithmic residuals. To make predictions possible at sites other than the strong motion observation sites, we derived correction coefficients based on the relationships between the average residuals and depths of deep sedimentary layers, which are available for whole Japan at Japan Seismic Hazard Information Station (J-SHIS). We found that the standard deviations are minimized by corrections using the depth of layer having Vs value of 1.4 km/s.

To define intensity at a site, we obtained the maximum value of the predicted spectra among $T=1.6$ to 7.8 s using the empirical prediction equations explained above. However, we found that the maximum predicted values were somewhat biased against the observed maximum values. Therefore, we applied an additional correction factor to the maximum predicted values to finally obtain the intensities. When a prediction equation was constructed using the maximum value of the observed spectra as the independent parameter, the additional correction factor was eliminated as the resulting residuals were normally distributed; also, the predicted intensities were almost identical to those obtained based on the regression analysis results for each natural period. In this study, we illustrate and discuss the application of empirical prediction equations for the prediction of JMA intensity of long-period ground motions for earthquake early warning application.

References

Aizawa K, Kawazoe Y, Uratani J, Sakihara H, Nakamura M (2013), Japan Meteorological Agency information on long-period ground motions, Abstract S41A-2410 presented at 2013 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 9-13 Dec.

Dhakal Y P, Kunugi T, Suzuki W, Aoi S (2013), Attenuation relation of absolute velocity response spectra (1-10s) in Japan - a preliminary analysis. Proceedings: 2nd Intl Symp. on Earthq. Engg, Japan Assoc. of Earthq. Engg., Tokyo, Nov 11-12, vol 2, pp 39-48.

キーワード: Long-period ground motion intensity, Earthquake early warning, Absolute velocity response spectra, Attenuation relations

Keywords: Long-period ground motion intensity, Earthquake early warning, Absolute velocity response spectra, Attenuation relations

Regional Earthquake Early Warning Applications in Marmara Region Based on KOERI Seismic Network

Regional Earthquake Early Warning Applications in Marmara Region Based on KOERI Seismic Network

PINAR, Ali^{1*} ; COMOGLU, Mustafa¹ ; ZULFIKAR, Can¹ ; TUNC, Suleyman¹ ; ERDIK, Mustafa¹
PINAR, Ali^{1*} ; COMOGLU, Mustafa¹ ; ZULFIKAR, Can¹ ; TUNC, Suleyman¹ ; ERDIK, Mustafa¹

¹Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, Turkey

¹Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, Turkey

KOERI (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute) operates a seismic network in Marmara Sea region (NW Turkey) consisting of 40 broadband and 30 strong motion inland and OBS stations which has a good topology for regional EEW studies. Data transmission between the remote stations and the base station at KOERI is provided both with satellite and fiber optic cable systems. The continuous on-line data from these stations is used to provide real time warning for emerging potentially disastrous earthquakes.

The Virtual Seismologist in SeisComp3 and the PRESTo regional EEW (earthquake early warning) softwares are the two regional EEW algorithms that have been recently setup at KOERI data center to generate the EEW signal. Onsite EEW application are underway for more than a decade.

The early warning signal is communicated to the appropriate servo shut-down systems of the receipt facilities, that automatically decide proper action based on the alarm level. Istanbul Gas Distribution Corporation (IGDAS) is one of the end users of the EEW signal. IGDAS, the primary natural gas provider in Istanbul, operates an extensive system 9,867 km of gas lines with 550 district regulators and 474,000 service boxes. State-of-the-art protection systems automatically cut natural gas flow when breaks in the pipelines are detected. IGDAS uses a sophisticated SCADA (supervisory control and data acquisition) system to monitor the state-of-health of its pipeline network. This system provides real-time information about quantities related to pipeline monitoring, including input-output pressure, drawing information, positions of station and RTU (remote terminal unit) gates, slum shut mechanism status at 581 district regulator sites. The SCADA system of IGDAS receives the EEW signal from KOERI and decide the proper actions according to the previously specified ground acceleration levels. Presently, KOERI sends EEW signal to the SCADA system of IGDAS Natural Gas Network of Istanbul.

The EEW signal of KOERI is also transmitted to the serve shut down system of the Marmaray Rail Tube Tunnel and Commuter Rail Mass Transit System in Istanbul. The Marmaray system includes an undersea railway tunnel under the Bosphorus Strait. Several strong motion instruments are installed within the tunnel for taking measures against strong ground shaking and early warning purposes. This system is integrated with the KOERI EEW System. KOERI sends the EEW signal to the command center of Marmaray. Having received the signal, the command center put into action the previously defined measures. For example, the trains within the tunnel will be stopped at the nearest station, no access to the tunnel will be allowed to the trains approaching the tunnel, water protective caps will be closed to protect flood closing the connection between the onshore and offshore tunnels.

キーワード: EEW signal, Virtual Seismologist, PRESTo, end users, IGDAS, Marmaray

Keywords: EEW signal, Virtual Seismologist, PRESTo, end users, IGDAS, Marmaray