

HDS028-01

会場:302

時間:5月23日 16:30-16:39

地震動予測地図：関連する研究成果の融合と今後 趣旨説明にかえて Seismic Hazard Maps in Japan : purpose of the session

干場 充之^{1*}, 杉山 雄一², 山中 浩明⁴, 森川 信之⁴

Mitsuyuki Hoshiba^{1*}, Yuichi Sugiyama², Hiroaki Yamanaka⁴, Nobuyuki Morikawa⁴

¹ 気象研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 東京工業大学大学院総合理工学研究科, ⁴ 防災科学技術研究所

¹Meteorological Research Institute, ²AIST, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴NIED

阪神淡路大震災を契機に設置された地震調査研究推進本部では、主要な活断層や海溝に沿う領域で将来発生する地震の長期評価を行い、それらの地震が発生した時に各地で生じる揺れの強さを予測する強震動評価を実施してきた。さらに、将来の地震による強い揺れに見舞われる確率やその揺れの強さ等を地図としてまとめ、2005年に「全国を概観した地震動予測地図」を、2009年には高度化版の「全国地震動予測地図」を公表している。一方、各地方自治体でも、それぞれの地域の特色を盛り込んだ地方版地震動予測地図を作成しているところもある。

これらの地震動予測地図は、地震観測および調査研究の進歩により得られた知見とデータの積み上げに基づいて、地震動予測手法の改良、地下構造調査とモデルの改良、主要活断層帯の調査と震源断層モデルの構築等が盛り込まれており、これらの研究成果を融合させた集大成ともいえる。

この地震動予測地図に反映されている技術はどういったもので、どのように融合されたのか。また、新たに認識された課題は何なのか、そして、今後、何をどのように解決していかなければならないのか。さらには、このような地図は現場ではどのように活用されてきているのか。地震防災のための利用促進のカギは何なのか。これらの点を改めて考えてみたい。このような背景のもと、日本地震学会強震動委員会と日本活断層学会、物理探査学会の共同提案をうけて、本セッション「地震動予測地図：関連する研究成果の融合と今後」を開催することとなった。

本セッションでは、招待講演として、全国地震動予測地図の作成や公表についてのレビューをお願いしている。また、予測地図を利用者側から見た場合のレビューについても紹介してもらう予定である。

地下構造、活断層や強震動から利用促進までを含んで、地震防災に関して幅広い議論をしていきたい。

キーワード: 地震動予測, 地図, 活断層, 地下構造, 強震動, 地震防災

Keywords: prediction of strong ground motion, hazard map, active faults, subsurface structure, strong ground motion, disaster prevention

HDS028-02

会場:302

時間:5月23日 16:39-16:54

地震本部が作成・公表する地震動予測地図について The National Seismic Hazard Maps for Japan published by The Headquarter for Earthquake Research Promotion (HERP)

北川 貞之^{1*}

Sadayuki Kitagawa^{1*}

¹ 文部科学省

¹ MEXT

地震調査研究本部（以下、地震本部）は、1995年に起こった阪神淡路大震災で浮き彫りにされた課題を受け、地震対策特別措置法に基づいて設立された。事務局は現在文部科学省に設置されている。地震本部は地震に関する調査研究の成果が、地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資するよう、地震調査研究を推進している。その目標を達成するため、活断層の長期評価、海溝型地震の長期評価、それらの地震による強震動の評価、地震によるハザードを示した地震動予測地図の作成を行っている。

地震動予測地図は、一定の期間内に強い揺れに見舞われる可能性が各地でどの程度あるかあるいは、日本各地が将来発生する地震によってどの程度揺れに見舞われるか、という予測情報を地図上に取りまとめたものであり、「確率的地震動予測地図」と「震源断層を特定した地震動予測地図」の二種類の地図で構成されている。

全国を網羅した地図としては、2005年に「全国を概観した地震動予測地図」として発行され、その後も、新しく評価された長期評価の結果と、確率値の基準となる日の更新による、確率値の更新を行うため、毎年更新してきた。

また2009年には、それまでの地図を大幅に改訂し、「全国地震動予測地図」として公表した。以前は1kmのメッシュで作成していたものを、微地形区分に基づく表層地盤による増幅を考慮して250mと細かくし、地震動を評価している。さらに、確率論的地震動予測地図について、震源断層が特定できる海溝型地震、震源断層を特定できない海溝型地震、陸域活断層による地震の3つのカテゴリーに分類し、それぞれの地震による揺れに見舞われる確率を示している。震源断層を特定した地震動予測地図に関しては、以前は限られた断層のみで地震動の予測を計算されていたが、今回の改訂により、評価されたすべての主要活断層により発生が想定される地震について、予測される震度の詳細な分布地図を作成した。

また、2009年には、地震本部は長周期地震動地図（試作版）と呼ばれる別のタイプの震源断層を特定した地震動予測地図を発表した。想定東海、東南海、宮城県沖地震の3つの地震について、1940年以降発生した地震による揺れを再現することを目標として、周期5秒、7秒、10秒の速度応答スペクトル、長周期地震動の最大速度、および長周期地震動の持続時間を地図で表現している。

本講演では、これらの取組について紹介するとともに、今後の方針について述べる。

キーワード: 地震調査研究本部, 全国地震動予測地図, 新総合基本施策, 地震発生の長期評価

Keywords: HERP, National Seismic Hazard Maps, New Promotion of Earthquake Research, evaluation of long-term earthquake occurrence

HDS028-03

会場:302

時間:5月23日 16:54-17:11

全国地震動予測地図の利活用に向けて Toward utilization of the National seismic hazard maps for Japan

藤原 広行^{1*}

Hiroyuki Fujiwara^{1*}

¹ 防災科研

¹ NIED

「全国地震動予測地図」は、地震発生の長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の2種類の性質の異なる地図から構成されている。

「確率論的地震動予測地図」は、日本及びその周辺で起こりうる全ての地震に対して、その発生場所、発生可能性、規模を確率論的手法を用いて評価し、さらにそれら地震が発生したときに生じる地震動の強さをパラッキも含めて評価することにより作成される。地点ごとに地震ハザード評価を実施し、地震動の強さ・期間・確率のうち2つを固定して残る1つの値を求めた上で、それらの値の分布を示したものが「確率論的地震動予測地図」である。「確率論的地震動予測地図」には、いろいろな種類のものがあるが、代表的なものとしては、今後30年以内に各地点が震度6弱以上の揺れに襲われる確率が地図として示されている。

一方、「震源断層を特定した地震動予測地図」は、ある特定の断層帯で発生する地震について、断層破壊の物理モデルに基づき、複雑な地下構造を考慮した地震波動伝播のシミュレーションを実施することにより、断層近傍域でのリアルティのある地震動予測を示したものである。ここで用いられている予測手法は、その手続きが大変複雑なため、それを標準化したものとして、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」がまとめられている。

地震動予測地図の作成の過程では、長期評価及び強震動評価のために、震源及び地下構造に関する膨大な量の情報が処理されている。これら情報は地震ハザード評価やそれら情報の利活用において大変貴重なものである。このため、「全国地震動予測地図」を最終成果物としての地図そのものだけでなく、その作成の前提条件となった地震活動・震源モデル及び地下構造モデル等の評価プロセスに関わるデータも併せた情報群としてとらえることにより、「地震ハザードの共通情報基盤」として位置づけることが大切だと考えられる。このため、防災科研では、「全国地震動予測地図」に関する情報をインターネットを利用して公開するため、地震ハザードステーション J-SHIS (<http://www.j-shis.bosai.go.jp>) を開発した。J-SHIS では、「全国地震動予測地図」として整備された約250mメッシュの全国版「確率論的地震動予測地図」、主要断層帯で発生する地震に対する詳細な強震動予測に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」、それらの計算に用いられた全国版深部地盤モデル、約250mメッシュ微地形分類モデルなどを、背景地図と重ね合わせてわかりやすく表示する機能が充実した。さらに、住所や郵便番号などによる検索機能により、調べたい場所での地震ハザード情報を、簡単に閲覧することができる。また、より専門的なデータの利活用を可能とするため、地震動予測地図のデータや計算に用いた断層モデル、地盤モデル等のデータをダウンロードすることも可能となっている。

「全国地震動予測地図」では、全国を概観した地震ハザード評価をとりまとめるという当初の目標はほぼ達成できた。一方で、地震災害軽減のためには、「全国地震動予測地図」が単なる地震ハザード評価にとどまるだけでなく、実際の災害軽減のための各種活動の中で活かされるものとなっていくことが望まれる。

2009年4月には、地震調査研究推進本部により、「新たな地震調査研究の推進について - 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策 - 」がとりまとめられた。この中では、地震動予測地図のさらなる高度化に向けての各種調査研究を進めること同時に、「防災・減災に向けた工学及び社会科学研究を促進するための橋渡し機能の強化」が基本目標に掲げられた。このため、これまで主たる研究対象であった地震ハザードのみならず、地震リスク評価までを研究対象に広げた取り組みを推進することが、今後の重要な課題となっている。

キーワード: 地震動予測地図, 強震動, 地震ハザード, 地震リスク, 地震ハザードステーション, J-SHIS

Keywords: National Seismic Hazard Maps, strong-motion, seismic hazard, seismic risk, J-SHIS

民間企業における地震動予測地図の活用事例 The application cases of seismic hazard maps of japan in private enterprises

林 孝幸^{1*}

Takayuki Hayashi^{1*}

¹ 東京海上日動リスクコンサルティング

¹ Tokyo Marine & Nichido Risk Consulting

1995年の兵庫県南部地震による大災害の発生により、我が国の地震防災対策について多くの課題が浮き彫りにされた。その課題を踏まえて、地震調査研究推進本部（以下、地震本部と記す）が設置され、政府が主導して地震に関する調査研究が進められている。この地震本部の大きな成果の一つとして「全国地震動予測地図」（地震本部,2010,以下、予測地図と記す）がある。この予測地図の情報はインターネットのWEBサイト（NIED,地震ハザードステーション）を通じて公開され、誰もが日本国内の任意地点の地震ハザード情報を入手できるようになっており、地震防災活動に大変役立っている。

一方、昨今の企業においては、地震による被災者の生活再建や被災地域の復興・復旧などの観点から、地震に対する企業防災という考え方が重要となっている。このような企業防災活動において企業が予測地図を活用する場面は多く、本報ではその代表的な事例とそのような活動における課題を報告する。

予測地図は、2005年の最初の公開以降、長期評価の新規公開・更新などを踏まえて毎年、更新されてきた。なお、2009年には手法変更などの大きな更新を実施している。予測地図は、地震の発生と強震動の評価を確率的に組み合わせた「確率論的地震動予測地図」（以下、確率予測地図と記す）と特定の地震について、ある想定したシナリオに対する強震動評価を実施した「震源断層を特定した地震動予測地図」（以下、シナリオ予測地図と記す）の2種類の地図から構成されている。

（事例1：事業継続ガイドラインの策定における活用）

事業継続ガイドライン（内閣府,2009）では、はじめに想定する災害として、地震に対して事業継続計画（BCP）を定めることを推奨している。この地震災害のシナリオ設定にあたっては、地震動予測地図を用いてオフィスや工場位置での地震ハザード情報を取得することが多い。また、全国に事業所を展開する企業においては、地震ハザードの大きさから優先的に対処すべき事業所を設定する例なども見られる。そのような場面で活用されるのは確率予測地図が多く、企業担当者が選定した確率に対する震度や、震度の発生確率を多く参照している。しかし、その確率値に対する理解不足や震度における企業被害の状況を具体的につかめないなどの地震ハザード情報の理解不足によって困惑する場面も少なくない。詳細法によるシナリオ予測地図は、震源パラメータの設定ケースにより大きく結果が変わり、どのケースを検討すべきかの判断が困難なことなどもあり、利用頻度は確率予測地図ほど高くない。

（事例2：リスクファイナンスにおける活用）

リスクファイナンスとは、地震などによる事業所の被害に対して金銭的な手当てを施すようなリスクマネジメント手法である。リスクファイナンスでは、十分な内部留保などによるリスクの自己保有や保険などによるリスク移転が行われる。昨今では、先進的にコンティンジェントコミットメントラインと呼ばれる企業金融機関間の契約も見られる。これは、予め定めた条件のリスクが顕在化した場合に、事前に取り決める融資限度枠や金利条件に基づき、企業が資金を機動的に借り入れる契約である。リスクの顕在化条件としては、特定のエリアにおけるある地震規模の地震の発生や、震度観測点におけるある震度の発生をトリガーとして取り決めることが多い。トリガーを震度情報とする場合には、その震度観測点での震度の発生確率が、事前の融資条件の取り決めに大きく影響するため、金融機関が確率予測地図からそのような情報を取得する活用事例も存在する。また、企業側が融資枠の金額を検討するために地震PML（地震による予想最大損失）という考え方から、ある確率に対する地震動による損失額を算出する際にも確率予測地図を参考とする場合がある。しかし、毎年の更新により結果が大きく変わりを認識していなかったため、契約更改時に、情報を再取得し、大きな数値の変更に戸惑う場面も見受けられる。

企業における予測地図の活用事例を報告した。現在の予測地図の情報を有効に活用するには、ある程度の専門知識が必要となる。また、評価結果の不確実性について認識することが必要であると考えられる。今後、予測地図の今後の様々な活用事例や判断事例を示すことで、企業における活用の機会は増加するであろう。

キーワード: 全国地震動予測地図, 地震調査研究推進本部, 事業継続計画, リスクファイナンス

Keywords: Japanese seismic hazard maps, The headquarters for earthquake research promotion, business continuity plan, risk finance

HDS028-05

会場:302

時間:5月23日 17:28-17:45

千葉県での地震動予測図の活用 Application of Seismic Hazard Map in Chiba prefecture

浅尾 一己^{1*}
Kazumi Asao^{1*}

¹ 千葉県総務部消防地震防災課

¹ Chiba Prefecture

千葉県では、平成19年度に東京湾北部地震、千葉県東方沖地震、三浦半島断層群による地震の三つの地震を対象に地震被害想定調査を実施し、地震動の予測や被害量の算出を行った。

地震動予測結果は、県民だより（新聞折り込み各個配布）や新聞各紙、県ホームページ等で公表した。平成20年度には新たに「ちば地震被害想定ホームページ」(<http://www.bousai.pref.chiba.lg.jp/portal/higaisoutei/index.html>)を立ち上げ、250mメッシュ毎の震度、最大速度、最大加速度などをGIS（電子国土Web）で見ることができるようにした。また、市町村には地震動予測のデータを提供し、市町村での活用を促している。

地震動予測図は、県・市町村などの防災関係部局では、橋梁耐震計画、水道配管の耐震化促進など地震防災対策の基礎資料として活用している。県民は、住宅や職場の耐震や住宅購入の参考資料として、住宅・マンション建設事業者も事業の参考にしているようである。

千葉県では、「災害に強い千葉県」を目指し、地震動予測図とともに地震動予測の基礎となった地盤断面（地質、想定標準貫入試験値、想定S波速度等）や特徴ある地層の分布深度図、等深度図などのデータを公表している。これは、県民が足元の地盤や地質、地形に関心を持ち、県民の地震防災に対する意識、自助力の向上を目的としている。

地震動予測図の公表後、講演会や電話・メール等での問い合わせを通じ感じる県民の要望は、自宅、職場、学校等のピンポイントでの地震動予測や情報であり、周辺の情報は必要としていないことである。その場では、県は要望に応える詳細なデータを持ち合わせていないことや地震動予測・データの意味や地盤、ボーリングの重要性を話している。

地震動予測の技術・精度・信頼性の向上、公表の仕方・図面の使いやすさ今後検討することは、情報の発信側として当たり前に必要なことではあるが、活用する側の理解力の向上、知識や判断する力を身につけてもらうことも必要である（防災教育）。

キーワード: 地震動予測図, 千葉県, 防災, 自助, 防災教育, 地震被害想定

HDS028-06

会場:302

時間:5月23日 17:45-18:00

全国地震動予測地図のハザード情報に基づく建物被害リスクおよび人的被害リスクの試算

Seismic risk analysis on building damages and human casualties based on seismic hazard of National Seismic Hazard Maps

小丸 安史^{1*}, 清水智¹, 藤原広行², 河合伸一², 森川信之², 松山尚典³, 早川讓³

Yasushi Komaru^{1*}, Satoshi Shimizu¹, Hiroyuki Fujiwara², Shinichi Kawai², Nobuyuki Morikawa², Hisanori Matsuyama³, Yuzuru Hayakawa³

¹ 応用アール・エム・エス, ² 防災科学技術研究所, ³ 応用地質

¹OYO RMS Corporation, ²NIED, ³OYO Corporation

1. はじめに

今後数十年間における効果的な地震防災対策に資することを目的に、確率論的地震動予測地図による震度ハザードカーブを用いて、全国を対象に揺れによる全壊棟数および死者数のリスクを計算することを試みた。試算にあたっては、今後わが国において総人口の減少、少子高齢化や地方の過疎化の進行という社会環境の大幅な変化に直面することを鑑み、現在だけでなく、15年後の2025年、30年後の2040年におけるリスクを併せて計算した。

2. リスク評価に用いる建物、人口データの推定

現在(2010年)、将来(2025年、2040年)の建物、人口データについては下記に示す内容でそれぞれ推定を行った。

現在(2010年)

全国を250mメッシュ単位で構造別年代別棟数、24時間平均年齢区分別人口を推定した。基となるデータは建物がゼンリンマップを基に防災科学技術研究所で整備している「全国250mメッシュ建物分類データベース」、人口は「2005年国勢調査地域メッシュ統計」である。

将来(2025年、2040年)

将来の建物データ、人口データの推定は、国立社会保障・人口問題研究所が公表した市区町村別年齢区分別将来推計人口(2008年12月推計)を用いて、将来の人口の変遷に応じて現在(2010年)の値を補正することで予測した。

3. リスク評価手法

建物全壊及び死者発生リスクの評価手法は全国を網羅して想定しうるすべての震源を対象に実施するため膨大な計算量となることから、既存の比較的簡便な手法の中から選定した。選定にあたっては、最近発生した複数の被害地震に手法を適用して検証を行った。具体的には、被害地震の観測データを利用して、空間補間法により面的に震度分布を予測し、地震発生時期の住家分布を推定した上で手法を適用し、揺れによる住家全壊棟数および死者数を予測して、実際の全壊棟数と死者数と比較した。なお、将来の予測を実施するにあたって、木造建物の経年劣化や高齢化の進行が被害率に影響を与えることが想定されるため、そうした影響も評価できるように考慮している。

4. 全国を対象としたリスクの試算結果

大地震および地震本部が定義した3つの地震カテゴリー別に250mメッシュ単位で全壊棟数、死者数のリスクカーブを試算した。さらにこれらのリスクカーブを積分して全壊棟数、死者数の発死者数の発生期待値を算定し、全国や都道府県別の値に集計した。試算の結果、全国における2010年時点の全壊棟数の50年期待値は約50万棟、死者の50年期待値は約7千人となった。2025年時点における全壊棟数、死者数の50年期待値は約42万棟、約6千7百人、2040年時点における全壊棟数、死者数の50年期待値は約33万棟、約6千1百人と試算された。将来にかけて、地震ハザードは全国的に高くなるものの全壊棟数、死者数の期待値が下がるのは今後の人口の減少や建物の建替効果が反映しているためである。ただし、これらの期待値は地震動のばらつきの大さに依存し、地震動のばらつきが大きいと期待値も大きくなることから、地震動のばらつきを小さくすることがリスク評価においても課題となる。

5. 今後の展開

確率論的リスク評価手法の検証および長期的なリスク変遷の把握を目的として、過去に遡って明治期の1890年から30年間隔でリスク評価を行うことを計画している。

キーワード: 全国地震動予測地図, 地震リスク

Keywords: National Seismic Hazard Maps for Japan, Seismic Risk

地震防災対策の支援を目的とした応答解析に基づく建物の地震リスク評価手法の検討

Study of Building Seismic Risk Evaluation Method Based on Response Analysis to Support Seismic Disaster Prevention measure

近藤 一平^{1*}, 鱒沢 曜¹, 水越 薫¹, 藤原広行², 河合伸一², 森川信之², 松山尚典³, 早川 譲³

Ippei Kondo^{1*}, Yoe Masuzawa¹, Kaoru Mizukoshi¹, Hiroyuki FUJIWARA², Shinichi Kawai², Nobuyuki Morikawa², Hisanori Matsuyama³, Yuzuru Hayakawa³

¹ 株式会社イー・アール・エス, ² 独立行政法人 防災科学技術研究所, ³ 応用地質株式会社

¹Engineering & Risk Services Corporation, ²NIED, ³OYO Corporation

1. はじめに

被害率曲線に基づく建物被害評価手法は、全国規模の地震ハザード情報や建物分布状況などに基づく広域的な地震リスクの分布および自治体や地震ごとの被害総量などを把握する上で有効である。一方、全国を対象としたマクロ的な地震リスク評価から、自治体による具体的な地震防災戦略の策定、さらに自治体と地域住民らによる実践的な防災・減災活動へと展開するためには、地区や町丁目または建物単位の詳細な地震リスク情報を可視化することができる建物被害評価手法が必要であると考えられる。

建物単位の被害評価を行うためには以下の点を考慮することが必要となる。

- ・ 建物の被害は建物サイトの地盤増幅特性に大きく左右されることから、地震動の周期特性（地盤の周期特性）と建物の周期特性を考慮できるようにする。
- ・ 建物の崩壊に到るまでの弾塑性性状（剛性の低下、履歴減衰による減衰の増加）を適切に反映できるようにする。
- ・ 過去の被害地震における建物被害をある程度網羅的に説明できる。

以上の点を考慮して、自治体や地域住民による効果的かつ合理的な地震防災対策を支援することを目的とした特定シナリオ地震を対象とする地震リスク評価手法として、地震応答計算に基づく被害評価手法の概要と利活用方法を示した。当該手法により長岡市および小千谷市の個別建物データに基づき新潟県中越地震（2004）に対する建物の被害を算定して実被害との比較・検討を行い、今後の課題を抽出した。

2. 建物被害評価手法と利活用形態

建物の応答計算においては、限界耐力計算法で用いられている応答スペクトルに基づく地震応答計算により建物の最大応答層間変形角を求める。一方、一部損壊、半壊、大規模半壊、全壊などの被災度ランクを定義し、各被災度ランクになる限界層間変形角を設定し、それらを中央値としてばらつきを与えて層間変形角と各被災度ランク以上となる損傷確率の関係を表す損傷確率曲線を設定する。応答計算による最大層間変形角と損傷確率曲線により各被災度ランク以上となる損傷確率を求めて、個別建物の被災度ランクの判定や対象領域の被害率の評価を行う。

利活用形態として以下のような事項が考えられる。

行政の視点

- ・ 被害形態の地域的特徴の把握
 - ・ 被害ボリュームの把握（被害認定調査への対応戦略の事前検討、避難所確保など）
 - ・ 救急・救助・救援活動のシミュレーション訓練への活用
 - ・ 要介護者への対応方法の検討
 - ・ 被災者生活再建支援に関する具体的検討
- 市民の視点（公開情報としての活用）

- ・ 被害形態の地域的特徴の把握
- ・ 避難経路の危険度情報

3. 実被害データに基づく検証

Kanno et al. (2006) の距離減衰式に基づく工学基盤の応答スペクトルに先名・翠川 (2009) の地盤増幅スペクトル評価手法による地形地盤分類ごとのスペクトル増幅率を乗じて各市 250m メッシュの地表面応答スペクトルを求め、それを入力地震応答スペクトルとして各市全体を対象とした被害算定を行い、実被害との比較・検討を行った。その結果、被害が少なかった長岡市では、市全体として無被害・一部損壊の被害率が最も大きいといった全体的な傾向は実被害と整合したが、半壊以上の被害率は被害が比較的大きかった小千谷市を含めて過小評価となり、市全体の被害率の分布にも差異が見られる結果となった。

4. 今後の課題

以上の算定結果に基づき、今後検討を進めていかなければならない課題として以下のものが挙げられる。

- ・実被害をより説明する応答計算用建物モデル（復元力特性）や限界変形角等のモデルパラメータの見直し
- ・強震観測波を再現できるより局所的なサイトの地盤増幅特性を反映できる地盤増幅スペクトル評価手法の確立

キーワード: 地震リスク, 建物被害評価, 応答スペクトル, 地震応答解析, 地盤増幅スペクトル評価

Keywords: Seismic Risk Evaluation, Building Damage Evaluation, Response Spectra, Seismic Response Calculation, Ground Amplification Spectrum Evaluation Method

HDS028-08

会場:302

時間:5月23日 18:15-18:30

地震ハザード・リスク情報を活用した地域コミュニティ向け被害想定システムの開発

Development of disaster damage anticipation tool for local community using seismic hazard or risk information

田口 仁^{1*}, 臼田 裕一郎¹, 長坂 俊成¹

Hitoshi Taguchi^{1*}, Yuichiro Usuda¹, Toshinari Nagasaka¹

¹ (独) 防災科学技術研究所

¹NIED

地震などの大規模な自然災害の発生時は、地域コミュニティは地域内外との連携により、自主的・自律的な災害対応を行うことが必要となる。そのためには、平時からリスクコミュニケーションを通じて現状の対策の水準における災害リスクを評価し、地域内外との連携によって、対策・対応の検討や行動が引き起こされること(災害リスクガバナンス)が望ましい。

このような防災のための対策の検討や行動のためには、最新の科学的知見および研究成果が最大限に活用されるべきである。特に最近、地震動予測地図や地震ハザードマップなどの災害リスク・ハザード情報が地理空間情報として整備されてきている。したがって、地域コミュニティ自らがこれらの情報を利用して災害リスクの評価を行い、対策・対応の検討や行動のための支援が行える可能性がある。

地震ハザード・リスク情報を活用できる環境を実現するためには、2つの課題がある。それは、地域コミュニティ自らが情報を利用できる環境と、情報を利用してリスク評価を行う手法である。本発表では、地震ハザード・リスク情報を地域コミュニティ自らが情報を利用できる環境として、分散相互運用方式の有効性について取り上げると共に、分散相互運用環境下でリスク評価を支援するウェブベースのツールとそれを使った実証実験を紹介する。

キーワード: リスク評価, 地理情報システム, ハザードマップ

Keywords: risk evaluation, geographic information system, hazard map

確率論的地震動予測地図の検証 Validation of probabilistic seismic hazard maps for Japan

奥村 俊彦^{1*}, 石川 裕¹, 藤川 智¹, 宮腰 淳一¹, 藤原 広行², 森川 信之², 能島 暢呂³
Toshihiko Okumura^{1*}, Yutaka Ishikawa¹, Satoshi Fujikawa¹, Jun'ichi Miyakoshi¹, Hiroyuki Fujiwara², Nobuyuki Morikawa²,
Nobuoto Nojima³

¹ 清水建設, ² 防災科研, ³ 岐阜大学

¹ Shimizu Corporation, ² NIED, ³ Gifu Univ

1. はじめに

確率論的地震動予測地図の特徴を把握し妥当性を確認することは、地震動予測地図の利活用を進める上で重要である。筆者らは、K-NETでの10年間の震度の観測実績と、対応する10年間の地震動予測地図の結果とを比較し、全体として良好な対応関係にあることを確認した[1]。さらに、1890年以降に発生した地震のデータに基づき推定された揺れの分布と、1890年から30年ごとに時間軸の起点を設定した確率論的地図との比較から、確率論的地図の検証を行った[2][3]。

本稿では、文献[2][3]で作成した「予測」と「実績」の2種類のハザードマップに基づき、両者の定量的な比較を行い、確率論的地震動予測地図の妥当性を示すとともに、これらのハザードマップを地震カテゴリー別に見た場合の特徴を把握し、確率論的地震動予測地図を地震対策に活用する際の、地震カテゴリー分類の有効性を示す。

2. 検討方法

確率論的地震動予測地図は、2010年1月1日を起点としたものに加えて、現時点での知見に基づいて過去に遡り、時間軸の起点を1890年、1920年、1950年、1980年のそれぞれ1月1日とした場合のものを作成し、各時間軸起点における「予測」結果とする。地震活動のモデルならびに地震動評価のモデルは、いずれも全国地震動予測地図の作成手法[4]に準拠しているが、海溝型地震、主要活断層帯及びその他の活断層のうち、非定常な地震活動モデルで表現されている地震については、時間軸の起点の変化に伴う最新活動時期の変化を反映する。

一方、1890年以降の30年後との期間内に実際に発生した地震による地震動強さは、発生した各地震の諸元に基づき、距離減衰式により全国250mメッシュごとに推定する。この際、過去に発生した地震を、確率論的地震動予測地図と同様の地震カテゴリー[5]に分類した上で、カテゴリーI(海溝型巨大地震)は全ての地震、カテゴリーII(海溝型震源不特定地震)はM_s6.0の地震、カテゴリーIII(陸域浅発地震)はM_s5.5の地震を対象とする。地震動強さの推定では、地震動評価のばらつきを考慮し、また、地点周辺での地震発生数の多寡を評価結果に反映させるために、抽出した各地震の30年間の発生確率を1.0とした上で各地点のハザード曲線を算定し、適切な超過確率に対応する地震動の値を読み取った結果を「実績」の地図として表現する。

3. 検討結果

まず、全国の地震ハザードの総量を表す指標として、着目する震度以上の揺れに見舞われる250mメッシュの数の期待値を、「予測」と「実績」で比較した。1890年から30年間で「予測」が「実績」よりやや小さめの評価となっているものの、両者は比較的よい対応を示している。全国の地震ハザードの総量としては、確率論的地震動予測地図はおおむね実績と調和的であると評価できる。

次に、確率論的地震動予測地図において、30年間に震度6弱以上となる確率が高いと予測された地点のうち、実際に強い揺れに見舞われた地点がどの程度の割合であったかを調べた。対象とする期間による変動はあるものの、大まかな傾向として、事前の30年超過確率が高いほど震度6弱以上を経験した割合は高い傾向が認められる。これを最大影響カテゴリー別に整理すると、最大影響カテゴリーがIとIIの地域では、事前の超過確率が高い地点ほど震度6弱以上を経験した割合が多い。このことは、確率論的地震動予測地図の確からしさを示すとともに、確率論に基づくリスクマネジメントを支持する結果である。一方、最大影響カテゴリーIIIの地域では、ハザードの総量としては「予測」と「実績」はおおむね整合しているものの、震度6弱以上を受ける具体的な地域を事前の超過確率の高低から予測することは難しいことが示された。最大影響カテゴリーがIIIの地域では、より小さい確率レベルまで考慮する、事後の保障を手厚く準備するなど、最大影響カテゴリーがIやIIの地域とは異なったリスクマネジメントを考えていく必要があるといえる。

[1] Fujiwara, et al.(2009):SRL, Vol. 80, No. 3, 458-464.

[2] 奥村・他(2010):第13回日本地震工学シンポジウム, 2502-2509.

[3] 石川・他(2010):第13回日本地震工学シンポジウム, 2510-2517.

[4] 地震調査委員会 (2009) : 全国地震動予測地図 技術報告書 (2009) .

[5] 石川・他 (2008): 日本地震工学会大会 - 2008 梗概集, 220-221.

キーワード: 確率論的地震ハザードマップ, 被害地震, 地震カテゴリー, リスクマネジメント

Keywords: probabilistic seismic hazard map, disastrous earthquake, earthquake category, risk management

HDS028-10

会場:302

時間:5月24日 08:45-09:00

地震・活断層・地殻構造データの多変量解析による地震地体構造区分の考案と震源を特定せず評価する地震の規模の推定

Multivariate statistical analysis for seismotectonic zonation by the use of earthquake, active fault and crustal structure

隈元 崇^{1*}, 塚田昌孝¹

Takashi Kumamoto^{1*}, TSUKADA, Masataka¹

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科

¹ Graduate School of Natural Science and Technology

日本列島の主要四島を対象として、予め震源を特定せず評価する地震の予測に向けた客観的かつ定量的な地震地体構造区分図の考案を目的とした。

解析手法として、垣見ほか(2003)の地震地体構造区分図の中で第四紀テクトニクスに基づく島弧区分とされた範囲との比較・検討のために、1/25000の2次メッシュ(約10km四方)を解析の単位として、ブーグ重力異常データ、地震発生層データ、活断層からのモーメント放出量データ、地震活動からのモーメント放出量データから得られるそれぞれのパラメータに対して主成分分析を実行して、主成分の得点を基に分布図を作成するとともに、得られた各主成分に対して地震活動との関連を検討した。さらに、地体区分を定量的に行うために、この主成分得点から群平均法を用いたクラスター分析を行って各メッシュを数種類のクラスターに分類し、その分布図から新しい地震地体構造区分を議論することとした。その結果、重力異常の傾斜や活断層・地震によるエネルギー放出量は同じ正の負荷量を持っており、一方で地震発生層の深さは負の負荷量を持っている第一主成分が得られた。この負荷量から、第一主成分は「活構造の活発度」を示しているものであると考えた。この「活構造の活発度」を用いて地震地体構造区分を続けていくこととし、クラスター分析を行った。

この結果を基にして地震地体構造区を設定し、大区分として3つの地震地体構造区が示された。さらに、上で設定したそれぞれの地震地体構造区に対し、活断層長及び歴史地震から求められる最大Mと、地震本部(2009)の手法により、予め震源を特定せず評価する地震の上限のMを求めた。

キーワード: 活断層, 地震規模, 地震地体構造区分

Keywords: active fault, magnitude, seismotectonic zonation

地震動予測地図の高度化における活断層詳細位置情報の重要性 - 山口県西部・菊川断層を事例として -

Significance of detailed active fault maps for better seismic hazard map- a case study on Kikukawa fault in Yamaguchi pr

中田 高¹, 後藤 秀昭^{2*}, 堤 浩之³, 松田 時彦⁴, 田力 正好⁴, 西澤 あずさ⁵, 伊藤 弘志⁵

Takashi Nakata¹, Hideaki Goto^{2*}, Hiroyuki Tsutsumi³, Tokihiko Matsuda⁴, Masayoshi Tajikara⁴, Azusa Nishizawa⁵, Koji Ito⁵

¹ 広島大学名誉教授, ² 広島大学, ³ 京都大学, ⁴ 地震予知総合研究振興会, ⁵ 海上保安庁

¹Professor Emeritus, Hiroshima Univ., ²Hiroshima Univ., ³Kyoto Univ., ⁴ADEP, ⁵Japan Coast Guard

地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会(2009)は「新たな活断層調査について」の中で、「活断層のごく近傍では、強震動のほかに断層のずれによる被害が生じることが考えられるため、活断層の位置形状の把握が重要であるが、現行の評価で用いられている活断層図の精度は必ずしも十分でない」とし、「全国を概観した地震動予測地図」の高度化及び活断層の詳細位置図に各種調査・評価結果を記した「活断層基本図(仮称)」の作成を掲げている。発表者は海陸の活断層の詳細な位置・形状の把握に努めており、陸域では、日本列島全域の1万分の1空中写真の網羅的系統的に詳細判読作業を進めている。正確な「地震動予測地図」の作成のためには、一括して活動する活断層を見極めることが不可欠であり、既存の活断層情報を統合して便宜的に設定された主要活断層帯について、活断層の詳細な位置・形状に基づいて再検討することが必要である。本報告では、平成22年度に実施した中国地方の活断層詳細判読作業の結果から明らかになった菊川断層を事例に、活断層詳細位置情報の重要性について紹介する。

地震調査委員会(2003)は、菊川断層帯が下関市菊川町から北西に伸び、神田岬の南岸沿いに響灘に至る長さ約44km以上の北東側隆起の左横ずれ断層であり、全体が一括して活動した場合、マグニチュード7.6程度以上の地震を発生すると推定している。最近、響灘においてマルチビーム測深機を用いた地形調査が行われ、菊川断層の延長部及びその北東海域で横ずれ断層変位による変動地形が認められた(伊藤・泉:2009)。菊川断層は海底部で北西に向かって分岐する形状を伴い、神田岬の北西約60km沖まで連続することが明らかになった(杉山ほか:2010)。この活断層の既知の範囲は、「形態単位モデル」(中田ほか:2004)に照合させた場合、左横ずれ断層の北西半部にあたり、南東半部に南西隆起と南東分岐を伴うの未知の活断層が存在すると予測した。

菊川断層の陸域南端部は下関市吉田付近に位置している。詳細な空中写真判読の結果、菊川断層の南方延長部は河谷の系統的な左屈曲を伴う北西-南東走向の断続的な断層として山陽小野田市福田付近まで追跡され、そこから大きく右ステップして山陽小野田市埴生大持付近から僅かに右ステップしながら南東に連なる。河谷の左屈曲は山陽小野田市埴生大河付近では極めて明瞭となる。厚狭港からは瀬戸内海を海底を経て小野田港の南で再び上陸し、竜王山の南西斜面を2条の並行する断層線として南東に伸び、東落ちの断層を横切る場所で多くの河谷が系統的に左屈曲をしている。さらに南の大須恵付近から周防灘に突出する本山岬に向かっては、断層変位地形は認め難くなる。菊川断層は、このように陸域では少なくとも20kmほど南東に連続することが認められる。

一方、菊川断層の南東延長部にあたる宇部沖の周防灘では、海洋情報部(2004)が行った深層音波探査断面をもとに、地震調査委員会(2008)によって宇部南方沖断層帯が新たに認定された。この海底活断層は、横ずれを主体とする概ね南北走向の長さは約22kmの断層の西側隆起の成分を伴う断層とされ、全体が1つの区間として活動する場合、マグニチュード7.1程度の地震が発生する可能性があるとされている(地震調査委員会:2008)。しかしながら、この海底活断層群は、本山岬南方沖の北北西-南南東走向の南部の断層と、宇部市南東沖の陸に近い海底に位置する北部の北東-南西走向のいくつかの短い断層が連続するとして一括されており、本山岬に向かって伸びる断層線は認定されていない。そこで、海上保安庁水路部(1999)による周防灘東部深層音波探査深度変換断面を再検討したところ、地震調査委員会(2008)が宇部南方沖断層帯の一部としたF15断層の約3km西に位置する東落ちの顕著な活断層が発見された。発表者は、宇部南方沖断層群のうちこの活断層が菊川断層の南部延長にあたりと推測しており、これまでの断層の括りは不適切であると考えている。

このように、新たに発見された菊川断層南端部は北東落ちで南東方向に分岐しており、前述の横ずれ断層の「形態単位モデル」にはほぼ合致している。したがって、菊川断層は北西端(北緯34度38分,東経130度17分)から南東端(北緯33度45分,東経131度18分)に連なる長さ130kmを超える長大な左横ずれ活断層であり、断層全体が一括して活動した場合、M8を優に超える大地震が発生する可能性が高い。

活断層詳細判読は短い活断層の発見のみに留まらず、従来の活断層評価を一変させ地震動予測図にも多大な影響を及ぼす。地震動予測地図の高度化のためには、精緻な活断層の詳細位置情報の整備が何よりも重要であり、「活断層基本図(仮称)」のための大縮尺空中写真の網羅的判読という地道な作業を体系的に行うことが不可欠であることが再認識さ

れた .

キーワード: 活断層の位置・形状, 活断層詳細情報, 地震動予測地図, 菊川断層

Keywords: geometry of active fault, detailed information of active fault, seismic hazard map, Kikukawa fault

HDS028-12

会場:302

時間:5月24日 09:15-09:30

南関東M7級地震震央の確率予測について

Probable epicenters of future M7 earthquakes in the southern Kanto region, central Japan

井元 政二郎^{1*}, 藤原 広行¹, 山本 菜穂子¹

Masajiro Imoto^{1*}, Hiroyuki Fujiwara¹, Naoko Yamamoto¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

1. はじめに

政府地震調査委員会報告書(H16)では、南関東におけるM7級地震の今後30年以内の発生確率は70%と試算されている。震源は同報告書(図3)に示された領域内で深さ30-80kmと想定されている。しかしながら、この想定領域はM7級地震の震源域に比べ広範囲であり、南関東における地震動予測の精度向上にむけ、M7級地震震源の特定が大きな課題である。このため、震源を確率予測することとして、仮説に基づいた地震予測モデルの構築をすすめる。モデルを定量的に評価し、有効と判断される場合に、M7級地震の確率予測モデル候補とする。今後、複数モデルが候補に挙がる場合は、論理ツリーの考え方で合成することとした。また、モデルの妥当性は、過去のM7地震震源を用いて対数尤度により定量的に評価することとした。

2. 方法と資料

近年の震央分布図では、過去のM7級地震(5個)の震央は、太平洋プレートと陸側プレートの境界に定常的に発生するプレート間地震(中小規模)震央からは若干ずれている。これを考慮して、M7級地震は太平洋プレートと陸側プレート間の地震(プレート境界地震)によるプレート内応力の変化に起因すると仮定した。この仮説に従って、太平洋プレート境界地震の周辺部にM7級プレート内地震が発生すると想定した。今回は、観測された地震震央の平滑化手法により確率モデルの構築を試みた。地震動予測地図の作成において、断層を特定しない地震については、Frankel(1995)のモデルによる震央位置の平滑化と、地域区分による平均化により、発生期待頻度が計算されている。ここでは、Frankelモデルの組み合わせとして、波長の異なる2種類の2次元正規分布の差分を用いて平滑化し、発生期待頻度を求めた。正規分布の分散として、0.1,0.15,0.2,0.3,0.4(度)の5例を考え、異なる2つの組み合わせにより、10種類の発生頻度の表を得た。

現在の予測地図に採用されているカタログの作成方法などを踏襲し、気象庁震源要素を用いて、南関東地域で太平洋プレートに関わる地震を選択した。この際、太平洋プレート境界面上5kmを上限とした。太平洋プレート地震の中には、プレート内地震も多数含まれており、これを取り除いたカタログを使用することが望まれるが、データの精度を考慮して以下の2種類のカタログを使用した。プレート内地震の活動がプレート間地震より相当低いとし、太平洋プレートにかかわる全ての地震をプレート間地震と見なす。プレート境界から一定の深度範囲(-5kmから10km)にある地震をプレート間地震と見なす。

3. 結果

過去のM7級地震の震央における発生期待頻度を求め、対数尤度によりモデルを評価した。この際、期待頻度の合計に生じた差を補正するため、全領域平均値を基準とした相対頻度を用いる(確率利得)。また、震央位置に誤差が見込まれるので、Imoto, et al.(2010)に従って、震央の誤差を考慮した対数尤度を求めた。

使用したカタログや平滑化の波長により平均確率利得に1~1.5倍の違いがある。Frankelのモデルで計算した平均確率利得に比べ、最大で約1.3倍となっている。このことから、提案するモデルが有効であると考えられる。

キーワード: M7級地震, 地震活動モデル, 地震動予測, 南関東

Keywords: M7 earthquakes, Earthquake forecasting model, Seismic hazard, Southern Kanto

HDS028-13

会場:302

時間:5月24日 09:30-09:45

疑似動力学的なマルチサイクル・シミュレーションに基づいた巨大内陸地震 ($M_w > 7$) の震源特性に関する考察

Study on source characteristic of great inland-earthquakes ($M_w > 7$) generated by the quasi-dynamic multi-cycle simulation

入倉 孝次郎^{1*}, 宮腰 研², Petukhin Anatoly², 香川 敬生³, Somerville Paul⁴, Goo-Song Seok⁵
Kojiro Irikura^{1*}, Ken Miyakoshi², Anatoly Petukhin², Takao Kagawa³, Paul Somerville⁴, Seok Goo-Song⁵

¹ 愛知工業大学, ² 地盤研究財団, ³ 鳥取大学大学院工学研究科, ⁴ URS Corporation, ⁵ ETH Zurich

¹ Aichi Institute of Technology, ² Geo-Research Institute, ³ Tottori University, ⁴ URS Corporation, ⁵ ETH Zurich

RS 摩擦則 (すべり速度 状態依存, Rate- and State-dependent friction law) を基にした擬似動的マルチサイクル・シミュレーション (Hillers et al., 2006; Hillers et al., 2007) と SW 摩擦則 (すべり弱化, Slip Weakening friction law, Ida, 1972; Andrews, 1976) を基にした完全動的シミュレーションの2つを組み合わせることで, 擬似的に発生させた地震サイクルシミュレーションのデータベースを基に, $M_w 7$ 以上の内陸巨大地震の震源特性について検討を行った。

震源特性を抽出するため, 震源パラメータ (最終すべり量, 最大すべり速度, 破壊伝播速度) に着目し, 空間的な相互相関数法 (Song and Somerville, 2010) を用いて各パラメータ間の相関について検討を行った。その結果, $M_w 7$ 以上の巨大地震について, 高速の破壊伝播速度分布と最大すべり速度分布はほぼ一致することを確認した。一方, 最終すべり量分布に対する最大すべり速度分布および破壊伝播速度分布の相関距離は 5 ~ 20km 破壊伝播方向に遷移しており, 両者は一致しない。

これらの結果は, 強震動予測レシピにおいて重要な示唆を与える。すなわち, すべり量の大きな領域をアスペリティとし, そのアスペリティと強震動生成域は一致するとして, 特性化震源モデルに基づいた強震動予測を行ってきた。しかしながら, 本研究のマルチサイクル・シミュレーション結果に基づいた震源パラメータの空間的相互相関の検討では, $M_w 7$ 以上の地震では, 強震動生成域と断層面上での最終すべり分布が必ずしも一致するわけではないことが示された。

強震動予測レシピでは, 活断層調査による地表の変位分布が断層面上での最終すべり分布に繋がること, および最終すべり分布とアスペリティは一致するとしている。しかしながら, 本検討結果は, 地震規模が大きくなると, 強震動を生成するアスペリティ位置 (すなわち, 最大すべり速度に対応) が必ずしも地表の変位分布と一致するわけではないことを示唆している。

ただし, 強震動予測レシピは M_w が 7 以下の中規模地震の解析結果 (Somerville et al, 1999) に基づいている。このため, $M_w 7$ 以下の地震を対象にマルチサイクル・シミュレーションを実施し, 最終すべり量分布に対する最大すべり速度分布の相関距離が地震規模に依存してどのように変化するかについて確認する必要があると考える。

本研究は独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) の委託研究成果の一部である。

キーワード: マルチサイクル・シミュレーション, 動力学的震源パラメータ, 空間的相互相関, 強震動予測レシピ

Keywords: multi-cycle simulation, dynamic source parameters, cross-coherence structures, RECIPE for the prediction of the strong ground motions

HDS028-14

会場:302

時間:5月24日 09:45-10:00

東京湾岸地域における東海地震及び東海・東南海連動型地震の長周期予測波の比較 Comparison of long-periods ground motion in Tokyo Bay area calculated from Tokai and Tokai-Tonankai coupled earthquake

植竹 富一^{1*}, 引間 和人¹, 貫井 泰¹, 早川 崇², 渡邊基史²

Tomiichi Uetake^{1*}, Kazuhito Hikima¹, Yasushi Nukui¹, Takashi Hayakawa², Motofumi Watanabe²

¹ 東京電力, ² 大崎総合研究所

¹Tokyo Electric Power Company, ²Osaki Research Institute

1. はじめに

東京湾周辺の長周期構造物の地震対策上、駿河トラフから南海トラフにかけての巨大地震による長周期地震動の評価は重要である。最近、東海地震の震源と昭和の東南海地震の震源域が連動して破壊する安政東海地震型の地震の発生が指摘されており、中央防災会議の地震被害想定でも連動型のケースが扱われている。しかし、連動タイプの長周期地震動の試算例は少なく、連動の影響は未知数である。一般に地震動の継続時間が延びると低減衰の構造物の応答は大きくなるが、東京湾岸を考えた場合、東南海地震の震源域は、東海地震の震源域に比べて遠く影響が小さい可能性もある。そこで、本研究では、東海・東南海連動タイプの地震動計算を行い、東海地震単独の場合と比較し、その影響度合いを評価した。

2. 計算条件

震源モデルは、中央防災会議による東海地震単独の震源モデル（中央防災会議，2001）と東海・東南海地震連動の震源モデル（中央防災会議，2003）に準拠した。東海地震部分と東南海地震部分の破壊開始地点及び時間差（72.31秒）は中央防災会議と同じである。また、地下構造モデルは、長周期地震動予測地図試作版（地震調査研究推進本部，2009）で公開しているモデルを用いた。

地震動評価手法は、佐藤・他（2006）による手法を用いた。周期9秒以上の長周期成分は、三次元差分法を用いて評価し、周期9秒以下の成分は、アスペリティ中心に仮定した点震源の地震波を三次元差分法で理論的に評価した上で、波形合成を行い評価した。最後に、短周期側と長周期側の地震動にマッチングフィルターを適用して重ね合わせ、広帯域の地震動を評価した。同手法は巨大地震の特性化震源モデルを理論的な手法で評価した際に問題となる周期約10秒以下の地震動の過小評価を回避することができる。なお、評価対象地点は、東京湾岸の17地点を選定した。

3. 計算結果

東京湾岸における東海・東南海地震連動の計算波形と東海地震単独の計算波形を比較すると、波形の経時特性及び振幅レベルは同程度であり、連動の影響は小さく東海地震の震源域の影響が大きい。水平動の最大速度振幅は、いずれのケースでも東京湾の西側で40~60cm/s、西側で20~30cm/sであり、西側の方が大きい。連動の場合が3割程度大きい地点もあるが、逆に単独の方が大きい地点もあり、17地点平均では連動の方が3%程度大きくなる。一方、上下動の最大振幅は、10~30cm/sであり、連動、単独でほとんど変わらない。

速度応答スペクトル（減衰1%）でみると、周期6秒以下では、連動の影響はほとんど認められない。周期6~10秒では連動の方がピークで約2~4割大きい地点もあるが、逆に単独の方が大きい周期帯も存在する。周期10秒以上では大局的には連動の方が大きい、地点によっては単独の方が大きい周期帯もある。

東海地震と東南海地震からの地震波は発生時刻も伝播経路も異なるため複雑に干渉した結果、連動と単独の大小関係が変化すると考えられる。

4. まとめ

東海・東南海連動タイプの地震による東京湾岸の長周期地震動を計算し、東海地震単独の場合の長周期地震動と比較を行った。東京湾岸に対しては東海地震の震源の影響が支配的であることが確認できたが、観測点によっては長周期側で連動の影響が強くなる場合もあり、その要因について、さらなる検討が必要である。

キーワード: 長周期地震動, 東海地震, 東海・東南海連動型地震, 差分法, 東京湾岸地域

Keywords: Long-Period Ground Motion, Tokai Earthquake, Tokai-Tonankai Coupled Earthquake, Finite Difference Method, Tokyo Bay Area

地震基盤における震源近傍まで適用できる応答スペクトル距離減衰式の整備に関する研究 Preliminary Study on Ground Motion Prediction Equation of Response Spectra on Seismic Bedrock

司 宏俊^{1*}, 翠川三郎³, 堤英明², 野田朱美¹, 正月 俊行¹

Hongjun Si^{1*}, Saburoh MIDORIKAWA³, Hideaki TSUTSUMI², Akemi NODA¹, Toshiyuki MASATSUKI¹

¹(株) 構造計画研究所, ²原子力安全基盤機構, ³東京工業大学

¹Kozo Keikaku Engineering Inc., ²Japan Nuclear Energy Safety Organization, ³Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

本研究では、原子力施設の耐震安全性評価に用いる地震動評価手法の高度化に資するため、基準地震動策定等に用いる距離減衰式に関して、地震基盤での入力地震動を評価し、地震基盤又はせん断波速度 2km/s 以上の地盤における地震動を推定する応答スペクトルの距離減衰式を構築する。本報告では、近年発生した比較的規模の大きい地震について震源近傍まで強震記録も含む最新のデータベースを作成し、震源近傍まで適用できる地震基盤での応答スペクトルの距離減衰式の構築を行ったので、その暫定結果について報告する。

2. データ

本研究に用いた地震は、1983年以降、日本国内および周辺で発生した Mw5.5 以上、硬質岩盤上で3点以上の観測記録が得られている地震を対象とした。1998年 KiK-net 稼働以前の地震については、主に電力中央研究所、ダムサイトなど比較的硬い岩盤上で観測された記録を収集した。それ以降の地震については主に KiK-net や F-net のデータを収集した。そのうち、KiK-net のデータについては、地中記録の設置地盤が $V_s=2\text{km/s}$ ないしそれ以上の硬い岩盤上に設置されている観測点を選択して、司・ほか(2006)と同様な考え方で地盤同定を行い、地中記録設置地層における基盤地震波を求め、基盤上応答スペクトルのデータベースを構築した。ただし、このように構築されたデータベースに震源近傍の記録が少ないため、国内主要地震(2000年鳥取西部地震、2003年宮城県北部地震、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震、2007年中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2009年駿河湾地震)における震源近傍の強震記録に対して表層および深部地盤のデータを用いて、基盤上に引き戻して、基盤上応答スペクトルを求めた。引き戻しに用いた深部地盤モデルは独立行政法人防災科学技術研究所により整備された J-SHIS の深部地盤データを用いた。

距離減衰式の強震動パラメータとしては、Boore et al. (2006) により提案された地震計の設置方位に依存しない応答スペクトルの平均値 GMRotD50 を用いた。同時に、GMRotD00、GMRotD100 についても整備を行った。

3. 距離減衰式の推定

整備された応答スペクトルのデータベースに基づき、震源特性、伝播特性などを考慮して基盤上における応答スペクトルの距離減衰式を統計的に求めた。その際に、震源特性について、モーメントマグニチュード、震源深さ、地震タイプ(地殻内地震、プレート境界地震、プレート内地震)をパラメータとした。伝播特性について、地震の深さと震源距離により減衰率が違うによる影響を考慮した。回帰分析は2段階回帰方法により行った。第1段階では、それぞれの地震データに回帰モデルを当てはめ、地震動の強さを示す距離に依存しない係数 b を求めた。第2段階では、係数 b について震源特性パラメータなどとの関係を求めた。その際に、震源深さと地震タイプの相関性を考慮した。回帰分析の結果、上記のパラメータを説明変数とした距離減衰式を構築した。構築した距離減衰式と過去の距離減衰式等と比較し、本研究の結果が、既往の距離減衰式からの結果と整合的であることを確認した。

謝辞: 本研究で使用した強震記録は、K-NET、KiK-net、F-NET(防災科学技術研究所)、電力中央研究所、日本ダム協会、国土交通省国土技術政策総合研究所、宮城県により観測されたものです。また本研究は原子力安全基盤機構の委託により行われたものです。関係者各位に御礼を申し上げます。

キーワード: 地震基盤, 距離減衰式, 応答スペクトル

Keywords: Seismic Bedrock, Ground Motion Prediction Equation, Response Spectra

HDS028-16

会場:302

時間:5月24日 10:15-10:30

TSUBAME2.0 による GPU を用いた大規模波動伝播シミュレーション Large-scale Wave Propagation Simulation using Multi GPU on TSUBAME2.0

青井 真^{1*}, 西沢 直樹², 青木 尊之³
Shin Aoi^{1*}, Naoki Nishizawa², Takayuki Aoki³

¹ 防災科学技術研究所, ² 日本 SGI 株式会社, ³ 東京工業大学

¹NIED, ²SGI Japan, Ltd., ³Tokyo Tech

差分法を用いた波動伝播シミュレーションは、地震ハザード予測の最も重要なツールの一つである。高精度な予測を行うためにはリアリスティックなモデルを用いた超大規模な波動伝播シミュレーションが必要となるほか、将来起こる地震の震源モデルを確定的には想定することが出来ないことに起因する予測のばらつきを評価するには非常に多数回のシミュレーションが必要であるなど、多大な計算機リソース（演算速度・メモリ容量など）が求められる。計算機が高性能化した現在においても計算機リソースがボトルネックの一つであるが、そのブレイクスルー技術として画像処理エンジンである GPU (Graphics Processing Unit) を高速な演算機として活用して数値シミュレーションなどの汎用的な計算を行う GPGPU (General Purpose Computation on GPU) が挙げられる（例えば、青井・他, 2010, 連合大会）。本研究では、プレ処理（モデル作成やパラメタ設定）からポスト処理（フィルター操作や可視化など）を効率的かつ容易に行うことを目的に開発された地震動シミュレーター GMS（青井・他, 2004, 物理探査）を GPGPU に対応させ、東工大の学術国際情報センターが所有する国内最速のスーパーコンピュータである TSUBAME2.0 を用いた大規模なマルチ GPU 環境での計算を試みた。複数の GPU を用いた並列計算を行う際は、モデルを水平二方向に分割して各 GPU に割り付け、差分演算を行う。各分割領域の接続面では隣接する領域の格子点の変数値が必要となるため、袖領域（重複領域）を設け、通信が必要な変数を MPI(Message-Passing Interface) を用いて交換する。GPU の演算速度は極めて高速であるために相対的に通信に要する時間の割合が大きくなることに加え、GPU 同士の直接の通信は出来ないために CPU を介した間接的な通信を行うことになるため、並列計算における通信のオーバーヘッドは極めて大きい。従って GPU における並列計算では、計算と同時に通信を行う「隠蔽」が重要となる。通信の隠蔽を行う際には、袖領域の計算を最初に行い内部領域を計算する間に平行して通信を行う手法がとられることが多いが、このような方法では、GPU が苦手とする不連続なメモリアクセスが生じるために効率が上がりにくい。本研究では、GMS が格子最適化手法として採用している不連続格子（Aoi&Fujiwara, 1999, BSSA）が二つの異なる格子サイズを持つ領域からなることに注目し、一方の領域を計算する間に他方の領域の通信を行うことで袖領域のみの計算を別途行う必要性を回避した。用いる GPU の数に比例してモデルのサイズ（格子数）を大きくする weak scaling による並列化効率のテスト（約 2.2 千万格子からなる単位モデルを使用）では、256GPU（モデルサイズは約 55 億格子）までほぼ並列度に比例した性能が得られた。一方、モデルサイズを 2.2 千万格子に固定した strong scaling による並列化効率のテストでは、4GPU で 3.2 倍程度の性能が出るものの、16GPU では 7.3 倍程度の性能しか出ず、急速に並列化効率が悪くなることが分かった。これは、各 GPU に割り当てられる計算の粒度が小さくなるため、相対的に通信の割合が大きくなり通信の隠蔽が破綻することに加え、各 GPU でのスレッド（GPU 上で計算処理を行う際の実行の最小単位）数が少なくなることにより効率的な計算が行えないことに起因する。通常行われるシミュレーションの時間ステップ数は数万ステップであり、モデルサイズに応じた計算機資源が確保されている場合には計算に要する時間（turn around time）は数分から数十分程度となり、過剰な並列度による更なる高速化の必要性は実用的にはほとんど無いと考えられる。なお、本研究における計算時間には結果の出力時間は含まれておらず、稠密な面的出力や三次元出力など大量な出力が必要な場合には、効率的な並列出力手法の開発が必要となる。

キーワード: GPGPU, TSUBAME2.0, 並列計算, 波動伝播シミュレーション, 差分法, 地震ハザード評価

Keywords: GPGPU, TSUBAME2.0, parallel computing, ground motion simulation, FDM, seismic hazard assessment

HDS028-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

全国地震動予測地図に基づくシナリオ地震の選定に関する検討 Selection of scenario earthquakes based on the national seismic hazard maps for Japan

長谷川 信介^{1*}, 藤原広行¹, 河合伸一¹, 森川信之¹, 小丸安史²

Nobusuke Hasegawa^{1*}, Hiroyuki Fujiwara¹, Shin-ichi Kawai¹, Nobuyuki Morikawa¹, Yasushi Komaru²

¹ 防災科学技術研究所, ² 応用アール・エム・エス

¹NIED, ²OYO RMS

地震被害想定は地震防災対策の基礎資料であり、どのような地震に備えるか、すなわち、地震被害想定における想定地震の選定は、地震防災対策を検討する上で重要な事項である。想定地震は、対象とする地域および周辺の地震活動や、対象とする地域への影響の程度により選定されているが、その判断根拠にはかなりのあいまいさが残されている。近年では、地震調査研究推進本部により全国を網羅する地震ハザードマップ(全国地震動予測地図)が公表されている。全国地震動予測地図は「確率論的地震動予測地図」と「震源断層を特定した地震動予測地図」で構成されている。また、地震は、その特徴別に3つの地震カテゴリーに分類されている。これらの情報を利用することにより、合理的な想定地震の選定が可能となることが期待できる。そこで、本研究では、地方自治体の地震被害想定を支援することを目的とし、全国地震動予測地図の地震ハザード評価に基づき、地震リスクを考慮することにより、想定地震の選定について検討した。

本研究では、簡易な手法による地震リスクの評価結果を考慮し、地域に影響を及ぼす地震を対象に、発生確率が高く喫緊に対応すべき地震、備えておくべき地震、今は備えておかなくても良い地震に分類した。さらに、備えておくべき地震については、大規模な被害を発生させる地震と中規模の被害を発生させる地震に分類した。これは、大規模な地震では被害は広域かつ甚大であり、中規模の地震では被害は災害に対して脆弱な地域に集中し、求められる防災対策が異なるためである。また、地震動特性(発生頻度、周期特性、継続時間など)の違いにより被害形態は異なることから、全国地震動予測地図で用いられている3つの地震カテゴリー別に、上記の分類を適用することとした。そして、防災科学技術研究所と共同研究を実施している藤沢市を対象に、全国地震動予測地図の地震活動モデルを用いて地震の分類を行った。

今後の課題は、選定された想定地震に対する強震動予測計算のためのパラメータ設定の手順を定めること、特に、現在用いられている強震動予測レシピにおける不確定性の定量化と、それに基づいたパラメータ設定の手続きの標準化である。また、想定地震の選定は、意思決定の問題であり、意思決定者との連携が不可欠である。そこで、藤沢市との共同研究を通じて、想定地震の選定方法について、さらに研究を進めていく予定である。

キーワード: 地震動予測地図, 想定地震の選定, 地震リスク, 地震カテゴリー

Keywords: seismic hazard map, selecting method of scenario earthquake, earthquake risk, earthquake category

地震動予測地図作成システムの開発

Development of estimation system for earthquake ground motion by "Scenario earthquake shaking map"

先名 重樹^{1*}, 藤原 広行¹

Shigeki Senna^{1*}, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ NIED

1. はじめに

近年、国家プロジェクトや地方自治体等による地震動予測に関する解析事例が増えてきている。しかしながら、地震動予測の解析や解釈における敷居は未だ高く、多くの研究機関および民間企業においては、結果の正否を判断し地震動予測計算を行うことは難しい。また、現状では地震動予測に関するソフトウェア等の整備および市場への流通状況は良好とはいえず、解析プログラムがあっても、解析にいたるまでの過程の効率化・簡便化を目的とした開発が十分に検討されている状況とはいえない。

防災科学技術研究所においては、当初より地震動予測を目的とした距離減衰式による地震動予測や地震波形を計算するハイブリッド法(詳細法)等を用いて計算作業を行ってきた。これらの地図は広域の面的な震度分布の推定を行う際に、膨大な数の断層面やパラメータの設定を、限られた時間と人数で実施しなければならない為、地震動予測地図作成にかかる作業について全面的に効率化を行わなければならない必要性に迫られた。そこで本報告では、地震調査研究推進本部の長期評価の公表結果において現実的な断層面の設定の実現、および、その断層面における解析パラメータの設定方法、報告書資料の作成および解析結果のデータベースへの登録(防災科学技術研究所 J-SHIS 等)の効率化を目的として、WINDOWS で簡単に使用できる GUI システムの開発についての報告および、このシステムで実施できる内容について、さらにクラウド技術を駆使し、Web を通じて計算を行い、計算結果の相互運用が可能なシステムの検討も行った。

2. 開発したシステムの内容と特徴

開発したシステムは以下の3点である。

1) 想定地震断層面を簡単に設定でき、距離減衰式における地震動予測結果を計算・表示・ファイル出力の出来るシステムの開発(距離減衰式による地震動予測地図作成ツール)で、2008年度に公開した「距離減衰式による地震動予測ツールの開発」(防災科学技術研究所研究資料3 1 4号)のバージョンアップ版の開発

2) 想定地震断層面を簡単に設定でき、地震調査研究推進本部における現状の「強震動レシビ」に基づいたハイブリッド法(詳細法)用のパラメータを自動排出および、計算・表示・結果データの出力・図面の出力等の出来るシステムの開発(震源を特定した地震動予測地図作成ツール)

3) 1)のシステムについて、クラウド技術を駆使した相互運用型のシステムとしての試作・検討。

なお、1),2)については、防災科学技術研究所研究資料3 5 4号「地震動予測地図作成ツールの開発」にて公開している。

上記のシステムは、誰でも簡単にパラメータ設定が出来、地震動予測地図の作成を補助するものである。また、現在地震調査研究推進本部(推本)の震源を特定した地震動予測計算に使用されているシステムでもある。

3. まとめ

本報告では、現状の研究に即した詳細な地震動予測を行う上で、より簡単で分かりやすい GUI システムの開発を実施し、マニュアルとともに防災科研から公開して一般に使用していただくことを目的として作成した。また、そのシステムを、クラウド技術を利用した相互運用システムにおいて運用管理を行うことについても検討した。今後、本システムをより多くの地震動予測地図作成に係る研究者・技術者・学生等に利用していただきたいと考える。

キーワード: 地震動予測地図, 距離減衰式, 地理情報システム, クラウドコンピューティング, 相互運用性

Keywords: Scenario earthquake shaking map, Attenuation Relations, GUI, Cloud computing, Interoperability

HDS028-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-18:45

地震記録を用いた琵琶湖地域における3次元速度構造モデルの構築 その3 3 次元差分法による地盤構造モデルの検証 Estimation of S-wave velocity structure of deep sedimentary layer around Lake Biwa using earthquake ground motion record

鈴木 晴彦^{1*}, 山中 浩明²

Haruhiko Suzuki^{1*}, Hiroaki Yamanaka²

¹応用地質, ²東京工業大学大学院総合理工学研究科

¹OYO, ²Tokyo Inst. Tech.

鈴木・山中(2010)では、微動の位相速度とS波主要動および地震動のH/Vスペクトルを用いた同時逆解析により、琵琶湖周辺のK-NET観測点における1次元の地盤構造モデルの推定を行った。本研究では、基盤層以浅を4層に分け、S波速度を共通として再度同時逆解析を行った。それらの1次元地盤構造モデルを用いて、鈴木ほか(2005)による3次元地盤構造モデルを参考に、3次元地盤構造モデルを構築した。さらに、3次元差分法を用いた中小規模の地震の再現計算を行い、地盤構造モデルの検証を行った。用いた地盤構造モデルは、本研究により構築したモデル(以下、同時逆解析モデルという)、鈴木ほか(2005)による地震動のH/Vスペクトルを用いてチューニングされたモデル(同、HVモデル)、および鈴木ほか(2005)によるボーリングデータなどの地質構造データによるモデル(同、初期モデル)である。計算した地震は、1998年4月22日岐阜県美濃中西部の地震(Mj5.4)、2001年8月25日京都府南部の地震(Mj5.1)などである。再現計算の結果、同時逆解析モデルによる計算波形と観測速度波形の対応が良いことが確認された。EW成分とUD成分の波形の位相特性は観測データを良く説明的できている。HVモデルによる計算結果でも一部の観測点において波形の一致度が向上しているものの、同時逆解析モデルによる計算結果のほうが、波形の経時特性での一致度は高い結果となった。

今後、他の地震による再現計算を行い、モデルの妥当性を定量的に評価する予定である。

謝辞: 防災科学技術研究所のK-NET観測記録およびPS検層データを使用いたしました。関係各位に御礼申し上げます。

参考文献: 鈴木ほか(2005): 地震第2輯, 58, 2, 91 - 106.; 鈴木晴彦・山中浩明(2010): 物理探査(印刷中)

キーワード: 差分法, 位相速度, S波主要動, H/Vスペクトル, 同時逆解析

Keywords: Finite Difference Method, phase velocity, S-wave, horizontal-to-vertical spectra, Joint inversion

広帯域地震動予測のための深部地盤モデルのQ値の設定に関する検討 Estimation of Q in a deep subsurface structure modeling for broadband ground motion prediction

佐藤 浩章^{1*}, 山中 浩明²
Hiroaki Sato^{1*}, Hiroaki Yamanaka²

¹ 電力中央研究所, ² 東京工業大学
¹ CRIEPI, ² TITECH

はじめに

深部地盤のモデル化におけるQ値の設定は、周期1秒以上の長周期帯域では、3次元シミュレーションによる数値モデリングによって行われることが多い[例えば、Olsen et al.(2003)]。一方、実体波が支配的となる高周波数帯域(2Hz以上)では、鉛直アレイ記録の地表/地中の伝達関数やスペクトルインバージョンによるサイト増幅特性を、1次元波動論で説明できるように調整されたQ値の設定方法が有効である[例えば、佐藤・他(2006)]。著者らはこれまで、新潟平野の深部地盤モデル化を検討対象として、スペクトルインバージョンによるサイト増幅特性を、1次元波動論によるQ値の調整でも、速度構造への揺らぎ(不均質性)の導入のどちらでも説明可能であることを示した。また、Q値の大きさ(減衰定数 $h=1/2Q$ の付加量)と速度の揺らぎの標準偏差の大きさ(不均質強度)に相関関係があることを示した[佐藤・山中(2010)]。このことは、深層ポーリングのPS検層結果から推定される不均質強度が、深部地盤のQ値設定のための有用な情報となる可能性を示唆している。

そこで本稿は、関東平野の深層ポーリング地点を対象に、検層結果から不均質強度を推定するとともに、同地点において鉛直アレイ記録の地表/地中の伝達関数からQ値を推定した結果に基づき両者の関係を整理し、深部地盤モデルのQ値と不均質強度の関係について考察する。

検層データに基づく不均質強度の推定

解析に用いた検層データは、鈴木・他(1981,1983,1999)による検層資料をデジタル化した速度検層データ(P波速度)[佐藤・他(2005)]を用い、関東平野中央部を東から西に横切る3地点の成田(CHBH13)、下総(CHBH04)、日高(SITH03)を対象とした。不均質強度の推定方法は、対象データとする検層データの深さ方向に増加する漸増成分を推定し、それを検層データから除去し、平均速度で無次元化することにより、速度の揺らぎ(不均質)データを得る。このデータに対し、自己相関関数を求め、フォンカルマン型の自己相関関数を仮定してフィッティングすることにより、標準偏差(不均質強度)、相関距離 a 、Hurst数 の推定を行った。解析データ区間については、地震基盤以浅の堆積層部分とした。解析の結果は、成田(GL-220m~-850m)で $\sigma=0.018$ 、下総(GL-550m~-1,500m)で $\sigma=0.034$ 、日高(GL-220m~-1,800m)で $\sigma=0.087$ となり、平野西側の山地に近い日高の不均質強度が、平野中央部より2~3倍大きいことが分かった。この傾向は、新潟平野において、新津丘陵に近い地点の不均質強度が平野中央部より大きいことと調和的であった。

1次元波動論に基づく深部地盤のQ値の推定

鉛直アレイ記録の地表/地中の伝達関数を用いたQ値の推定は、バイリニア型周波数依存モデルのQ値を仮定して焼きなまし法による最適化により行った[佐藤・他(2006)]。Q値の推定結果は、CHBH04については木下・大池(2002)による下総のQ値と整合しており、妥当な推定結果が得られたと考えられる。また、3地点の同定結果を福島・翠川(1994)の平均的な深部地盤のQ値と比較すると、CHBH04ではほぼ同程度、CHBH13はそれよりもやや大きい(減衰定数 h が小さい)。一方、SITH03では、平均的な深部地盤のQ値よりも小さい(減衰定数 h が大きい)結果を得た。

深部地盤モデルのQ値と不均質強度の関係

関東平野の3地点で検討した結果を整理すると、平均的な深部地盤のQ値より同程度もしくは大きい成田(CHBH13)と下総(CHBH04)で不均質強度は小さく、Q値が小さかった日高(SITH03)で不均質強度は他の2地点の3倍であり、両者に相関関係があるという結果を得た。以上の結果は、情報の少ない深部地盤のQ値の設定において、不均質強度(標準偏差)の地域的な差異が、地点毎の特徴を反映したQ値の設定における有効な情報となる可能性を期待させる結果といえる。

今後は、関東平野のその他の地点について同様の検討を行い、深部地盤のQ値と不均質強度の関係についてさらなる検討を行う。

謝辞 防災科学技術研究所の KiK-net のデータを使用しました。記して謝意を表します。

キーワード: 減衰, 深部地盤, 速度の揺らぎ, 検層データ, 鉛直アレイ観測

Keywords: attenuation, deep subsurface structural model, random fluctuation of velocity, log data, borehole array observation