

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

プレート境界巨大地震による堆積盆地の広帯域強震動の予測に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-2) 地震破壊過程と強震動

イ．強震動・津波の生成過程

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

東南海地震震源域付近で発生した 2004 年 紀伊半島沖地震において、大阪・名古屋・首都圏で長周期地震動が観測され大きなインパクトを与えた。次の発生が逼迫している東南海・南海地震時には更に強い長周期地震動が人口密集地域を襲うのは確実である。本研究は、これまでの既往の研究成果に基づいて、巨大地震が発生した際の大規模堆積盆地における信頼性の高い広帯域の強震動評価手法を確立することを目的とする。研究対象としては、東南海・南海地震時の大阪堆積盆地を主とする。これまで構築されてきた震源モデル化手法、地殻及び堆積地盤の速度構造モデルをもとに、より広帯域の強震動評価・予測を可能とする地殻・地盤速度構造モデルの高度化をすすめる。具体的には以下の 2 つの項目の研究を行う。

a. 地殻・地盤モデルの改良に関する研究

既存大阪堆積盆地の速度構造モデルと、プレート境界の震源域からサイトにおける地殻速度構造モデルの収集を行い、海域から陸域までを統合化した地殻・地盤速度構造モデルを高度化・広帯域化する。並行して、東南海地震、南海地震の地震動予測シミュレーションの検証のため、長周期地震動が卓越した強震観測記録を高密度に収集する。観測サイトの震動特性を分析し、地殻・プレート構造モデルや大阪盆地内地盤構造モデルとの比較を行って、モデルの適用性の検討と改良を行う。

b. プレート境界巨大地震に対する強震動予測に関する研究

南海地震、東南海地震を想定地震とした、広帯域強震動予測を行って、その方法論の確立を目指す。

a. で取り組まれる構造モデルの精査・改良に加えて、プレート境界巨大地震の広帯域震源モデルを構築する。それらを組み合わせた予測を行うことによって特に甚大な地震被害を引き起こすと考えられる大阪堆積盆地内での地震動の特徴を把握するとともに、震源モデル、地殻・地盤構造モデルそれぞれの予測地震動波形への影響を評価する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、a. に関して、大阪堆積盆地モデル、地殻・プレート速度構造モデルを収集する。また大阪盆地内外での強震記録を収集し、地震動特性の分析を行う。強震観測点のサイト特性評価のための微動調査等を必要に応じて実施する。b. に関して、想定南海地震、東南海地震に関して、想定地震シナリオと 3 次元地下構造モデルに基づく地震動シミュレーションが行われた既往の地震動予測結果を収集し、評価地震動の特徴の把握を行う。

平成 22 年度においては平成 21 年度の解析結果、及び継続解析による観測地震動特性を明らかにするとともに、現時点の地盤構造モデルによる地震動特性を評価し、再現性の悪い観測点の特徴を明らかにする。

平成 23 年度においては、前年度の分析を継続するとともに、特に大阪堆積盆地モデルの観測地震動特性の再現性を向上するためのモデルチューニングを行う。モデルシミュレーションの広帯域化に関する方法を検討する。

平成 24 年度においては、地殻・プレート速度構造モデルと堆積層構造モデルのチューニングを継続し、再現性の定量的な評価を行う。モデルシミュレーションの広帯域化に関する方法検討を継続する。

平成 25 年度においては、改訂地下構造モデルを用いた想定南海・東南海地震による広帯域強震動シミュレーションを行う

(7) 平成 23 年度成果の概要：

今年度は、項目 b それぞれ 3 つの研究テーマを推進した。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の発生を受け、いずれもこの地震に関係した研究となった。本研究は、研究対象地域について大阪平野を主とするとしているが、このため、2 つの研究は震源域に近い関東平野を対象としたものとなった。

1) プレート境界巨大地震による広帯域地震動予測の研究

房総沖の太平洋プレートと北米プレートのプレート境界に M8 クラスの地震を想定し、その関東平野における広帯域地震動を予測する研究を行った。

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震は、この破壊域に隣接するプレート境界面上のせん断応力を高めたと推定される。破壊域のすぐ南側の房総半島沖の領域は、過去数十年の GPS 観測データの解析からは、比較的、固着の弱い場所であるとみられている。しかし、地殻変動の観測の歴史はプレート境界型地震のサイクルに比べて短い上に、現在の応力蓄積レベルがわかる訳ではなく、この情報のみで大地震発生の可能性を否定することはできない。一方、房総半島沖の過去の大地震の発生状況を見ると、明治以降は M7 程度の地震しか起きていないが、1677 年に M8 クラスの地震が発生したことを示唆する歴史資料がある（宇佐美、2003）。そこで、房総沖地震として、房総沖のプレート境界に M8 クラスの地震を想定し、その関東平野における地震動を予測することにした。

地震動予測のための震源モデルには、強い波の発生源となるアスペリティの設定が欠かせない。房総沖地震については、過去の地震の震源像などアスペリティ位置を示唆する情報はないため、1923 年大正関東地震（M8）の震源像（Sato et al., 2005）を借りてモデルを構築する。断層面の向きや位置、すべり方向を房総半島沖のプレート境界面の傾斜角やプレート相対運動の方向に合わせて修正し、さらに、Sekiguchi and Yoshimi (2011) の方法で広帯域震源モデルとした。この広帯域震源モデル作成手法は、昨年度、相模トラフ沿いのプレート境界巨大地震の地震動予測にも適用し、その有効性を確認している。破壊域は、走向方向には東北地方太平洋沖地震の破壊域のすぐ南側とし、傾斜方向には東北地方太平洋沖地震の破壊域の深さ範囲を参考にいくつか異なる位置を設定した。

工学基盤面における低周波数成分（ $< 0.5 \text{ Hz}$ ）を 3 次元差分法、高周波成分（ $> 0.5 \text{ Hz}$ ）は統計的グリーン関数法で行い、これらを足し合わせてから浅層地盤の応答を等価線形化手法で付加する、というハイブリッド法を採る。3 次元差分法計算に用いる関東平野の地盤構造モデルは、内閣府中央防災会議（2004）にて使用されているものを採用し、房総半島東方沖部分については、重力異常データを使ってモデル化した。

計算された地震動の強さは、破壊域位置によって大きく変化する。浅い（遠い）場所で起こる場合、陸域での地震動の PGV や震度は大きくない。破壊域の下端が深さ 40km 程度までであれば、震度は 1987 年千葉県東方沖地震（M6.7、深さ 60km、スラブ内地震）程度以下である。最も陸域に近い（つまり深い）場所で起こった場合は、房総半島の東半分で PGV は 50～70cm/s、震度は 6 弱から 6 強に達する。一方、速度応答スペクトルで見ると、破壊域に近い場合も遠い場合も長周期の地震動は大きく、3 秒以上の長周期帯域では、東北地方太平洋沖地震の際の観測地震動と同等かそれ以上の大きさとなる。

この研究は、産業技術総合研究所と共同で行った。

2) 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震による中川低地帯周辺の地震動

巨大地震の発生による、最大 5km を超える厚い堆積層を持つ関東平野と、最大 60m を超える厚い沖積層を持つ中川低地帯の地震動の、強さや増幅の様子を調べた。

関東平野は、2004 年紀伊半島南東沖地震 (M7.4) や 2004 年新潟県中越地震 (M6.8) の際に、周期 6 10 秒が卓越する長周期地震動が観測され、東海、東南海、関東地震など将来の地震における長周期地震動被害が心配されている。また、中川低地帯を中心とする低地帯では、1923 年大正関東地震の際、距離の割に住家全潰率が非常に高く、低地帯の沖積層による増幅効果が主要な原因ではないかと考えられてきた。このように、長周期でも短周期でも大きな地震動増幅能力を持つと考えられている関東平野であるが、次の大地震の予測計算の精度を上げるためにも、今回の巨大地震時の揺れ方とそのメカニズムを把握する必要がある。そこで、関東平野における強震動観測記録、および、計測震度値データを収集し、中川低地帯・荒川低地帯・利根川中流域低地帯とその周辺部における、計測震度の分布状況や、地震動スペクトルを調べた。

計測震度分布には、低地帯内外の比較的短周期の地震動応答の違いが現れることが期待される。しかし、計測震度の空間変化には、北東から南西へと小さくなる、幾何減衰効果が卓越しており、これを凌駕するような低地帯での増幅は見られなかった。

また、低地帯内外で、自身が行っている強震観測点の記録、および、公開されている強震観測記録 (防災科学技術研究所) の波形や擬似速度応答スペクトルを比較した。この地域の波形には共通して、主要動部分以降に周期 7, 8 秒の後続波が長く続いているのが見られる。これは、この地域の平野堆積層全体による卓越周期として、地下構造モデル等から推定されてきたものと対応する。応答スペクトルでも、対応する周波数帯に共通したピークとして見える。しかし、その増幅の度合いは、過去に長周期地震動が顕著に見られた地震の際の増幅に比べ、小さいように見える。一方、低地帯内外の系統的な違いは、応答スペクトルの 1 秒付近に見られ、このあたりの周期で、低地帯内部は低地帯外を上回っている (最大 2~3 倍)。しかし、この増幅の差も、大正関東地震の大きな被害の差を説明するほどではない。

この調査により、関東平野 (正確には、中川低地帯のある平野北西部) の長周期地震動応答、および、中川低地帯の地震動応答は、過去の観測や被害データから想定されるものより小さい可能性が指摘できる。今後、その主因を探る必要がある。

3) 2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震による大阪平野の地震動

3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震では、震源に近い東日本のみならず、西日本においても広い範囲で有感となった。大阪平野や関東平野において、10 分以上にわたり震動が継続していたという報告もあり、長周期地震動に起因すると考えられる超高層ビルでのエレベーターの長時間停止や内装の損傷等の被害も報道された (例: 大阪旧 WTC ビル)。このような M9 の超巨大地震により励起される大規模堆積盆地の長周期地震動特性を分析した。

対象地域を大阪平野とし、震源域から約 500km 以上離れた大阪平野における観測記録を収集し、長周期地震動特性を調べた。

2011 年東北地方太平洋沖地震の観測強震記録を収集し、周期毎の震動特性を調べた。広域にみれば、岩田・浅野 (2005) で示した 2004 年紀伊半島沖地震時と同様、大阪平野内は周期 6 秒程度で周囲に比べて際だって揺れていたことが分かった。

次に詳細な検討を行った。此花 (OSKH02) における 2004 年紀伊半島沖地震本震と 2011 年東北地方太平洋沖地震の卓越周期は、それぞれ 6 秒及び 6.5 秒であった。またそれらの卓越周期より長周期側では、東北地方太平洋沖地震の震幅が大きかった。このことは、大規模堆積盆地によるサイト固有の「増幅」特性に、巨大地震の震源での「励起」特性によって変わる盆地への入力地震動の特性が加味されることによって、観測される応答のピーク周期が移動したと考えられる。したがって、単にサイトの固有周期のみの議論では長周期地震動対策として不十分である可能性が示唆できる。比較検討を今後も継続していく。

- (8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
浅野公之, 2011, 地震動, 特集・東日本大震災, DPRI Newsletter, 61, 6-7 . http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/dprinews/news61/pdf/news61.pdf
Sekiguchi, H., M. Yoshimi and H. Horikawa, 2011, Broadband ground motion simulation for great inter-plate earthquakes with multi-scale heterogeneous source modeling, 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Strong Ground Motion, #3.8.
木村克己・竹村貴人・関口春子・磯前陽介・石原与四郎・花島裕樹, 2011, 関東平野沿岸域の浅層地盤モデルとその応用, 平成 22 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 159-167 .
- (9) 平成 24 年度実施計画の概要 :
2011 年東北地方太平洋沖地震の記録など, 大阪堆積盆地内において長周期地震動を生成している収集し, その震動特性を分析するとともに, 既存の大阪堆積盆地速度構造モデルによるそれらの特性の再現性について検討する .
- (10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :
京都大学防災研究所 関口春子・岩田知孝
他機関との共同研究の有無 : 有
鳥取大学大学院工学研究科 香川敬生
- (11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名 :
電話 :
e-mail :
URL :
- (12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名 : 関口春子
所属 : 京都大学防災研究所社会防災研究部門