

## 第 I 章 研究の概要

### 1. 背景・目的

首都圏に最も大きな被害をもたらす地震は、1923年に発生した関東地震のような相模トラフを震源域とするマグニチュード8クラスの海溝型地震(以下「関東地震」)である。政府の地震調査研究推進本部(2004)によれば、関東地震の平均的な発生間隔は200年から400年と考えられており、1923年の関東地震から80年余しか経過していない現時点においてはこのタイプの地震の当面の発生確率は高くなく、2004年からの30年間に発生する確率は最大で0.8%、50年間の発生確率は最大で5%と計算されている。

しかしながら関東地震は、地震保険の総支払限度額(1回の地震等によって支払われる保険金の総支払限度額)が決められる際の基準となる地震であるほか、損害保険会社の健全性を示す指標の1つであるソルベンシー・マージン比率を算出する上で、考慮しなければならない地震であり、損害保険業界にとって非常に重要な意味を持っている。

一方、コンピュータの性能の向上とともに、従来と比較し、より実態に近い地震動をより広域に計算することが可能となり、近年、研究や防災を目的として、様々な地震の地震動予測の実績が積み重ねられている。またそれらと連動して、詳細な地震動の計算に必要な地盤の地下構造や関東地震の震源に関して研究・整備が進められている状況にある。

そこで本研究では、地震動予測に関する新しい知見や技術、データ等を集約し、幅広い周期帯域を考慮した時刻歴波形の計算等を行うことで、1923年に発生した関東地震による地震動分布を再現することを目指す。なお、1923年関東地震では比較的多くの地点で震度が報告されていることや、既往研究により、地震による家屋被害の状況から震度分布が推定されており、それらとの比較を行うため、地震動指標として震度を計算することとした。

## 2. 研究の概要

### 2-1. 研究の流れ

本研究では、まず関東地震の震源モデルおよび対象地域の地盤構造に関する現状の知見・技術のレビューを行い、いくつかの要素についてはさらに研究を進めて高度化し、最終的にそれらを統合して、地震動予測計算を実施した。

以下、(1) 地震動計算手法、(2) 関東平野の地下構造モデル、(3) 1923 年関東地震の震源モデル、(4) 1923 年関東地震の震度分布の再現の順に本研究を概説する。

#### (1) 地震動計算手法 (第II章)

震源から工学的基盤上面までと、工学的基盤上面から地表面までの部分にわけて地震動の計算を行う方針の下、震源から工学的基盤上面まではいわゆるハイブリッド合成法により地震動の伝播を計算すること、工学的基盤上面から地表面までは平均 S 波速度と最大地動速度 (PGV) の増幅率との経験的關係等による計測震度の増分を考慮し、地表面の計測震度の分布を計算することとした。

#### (2) 関東平野の地下構造モデル (第III章)

既往の研究等で提唱されているいくつかの関東地方の地下構造モデルを基に、地震基盤以深の構造モデル、深部地下構造モデル、浅部地下構造モデルを作成した。

#### (3) 1923 年関東地震の震源モデル (第IV章)

1923 年関東地震について、最新の研究成果を反映させている Sato et al.(2005)のモデルを出発点とし、地震動の短周期成分を補うために震源断層面上のすべり分布や破壊伝播速度の分布にランダムに短波長の揺らぎを与え、本研究で用いる震源モデルを作成した。

#### (4) 1923 年関東地震の震度分布の再現 (第V章)

作成した 1923 年関東地震の震源モデルを用いて関東地震の震度分布の再現計算を行い、気象庁による震度等との比較を行った。

## 2-2. 研究体制

本研究では、独立行政法人 産業技術総合研究所および当機構の担当者により検討を進めた。

### 【独立行政法人 産業技術総合研究所】

佐竹健治\*<sup>1</sup>、堀川晴央、関口春子\*<sup>2</sup>、吉見雅行、木村克己、宍倉正展、田邊 晋、吉田邦一

### 【損害保険料率算出機構】

丸楠暢男、吉村昌宏、山口 亮、山田和樹、野澤絵美里、野中俊弥、遠山奈々

\* 1 2008 年度から東京大学地震研究所に異動

\* 2 2008 年度から京都大学防災研究所に異動

### 3. 本研究の特徴

1923 年関東地震の広域地震動分布を計算した研究には、本研究以前に、Sato et al.(1999)、壇ほか(2000)、秋山ほか(2005)、Miyake et al.(2006)、松島ほか(2007)などがある(表 I-1)。以下に、これら既往研究と本研究の違いを、震源モデル、地下構造モデル、地震動計算手法の3つの項目に分けて説明する。

#### (1) 地震動計算手法

Sato et al.(1999)および Miyake et al.(2006)は、それぞれ差分法、有限要素法により3次元地下構造モデルにおける地震動を計算している。しかし計算対象としている周期帯域は長周期(それぞれ4秒以上および2秒以上)に限られているため、短周期成分の寄与の大きい震度の評価には向かない。

一方、壇ほか(2000)は、全周期帯の地震動を統計的グリーン関数法で計算している。統計的グリーン関数法では一般的に3次元地下構造(基盤形状や堆積層構造など)が考慮されないため、特に堆積盆地内部で長周期成分の再現が難しい。浅層地盤の応答は PGV の増幅率や震度増分(いずれも定数)によって考慮している。

秋山ほか(2005)、松島ほか(2007)および本研究は、工学的基盤における長周期成分をそれぞれ有限要素法(秋山ほか,2005)、差分法(松島ほか,2007、および本研究)を用いて3次元地下構造モデルを設定して計算し、工学的基盤における短周期成分の地震動を、統計的グリーン関数法を用いて計算している。これらを時刻歴において足し合わせ、浅層地盤の応答を PGV の増幅率や震度増分(いずれも定数)によって考慮している。よって、予測された地震動は、広帯域をカバーしており、長周期成分には関東平野の基盤形状や堆積層構造といった3次元構造の効果が含まれ、かつ浅層地盤の応答も考慮されている。

#### (2) 震源モデル

いずれの研究においても、震源インバージョンより得られた不均質震源モデルを用いているが、採用されている震源インバージョンモデルおよび地震動計算への導入の仕方が異なる。

各研究で用いられている震源インバージョンモデルは表 I-1 のとおりである。ここに挙がっている Wald and Somerville(1995)、Kobayashi and Koketsu(2005)、Sato et al.(2005)は、解析に用いたデータが似ているため、得られているすべり分布も似ているが、後の研究ほど新しいデータが追加されているため、最新の Sato et al.(2005)が现阶段では最も信頼性の高いモデルと考えられる。詳細は第IV章にて説明する。

地震動計算への震源の導入の仕方であるが、長周期成分のみを計算している Sato et al.(1999)、Miyake et al.(2006)およびハイブリッド計算をしている秋山ほか(2005)、松島ほか(2007)の長周期成分の計算では、インバージョンモデルをそのまま模して導入していると思われる。本研究の長周期成分の計算における震源モデルは、関口・吉見(2006)に従って震源インバージョンにより得られた不均質震源モデルに、フラクタル的な操作でさまざまな空間スケールの不均質を付加し広帯域で $\omega^{-2}$ 則に従う地震波を発生させるように改良している。また、地震動の過大評価を防ぐためフィリピン海プレート上面に沿うように移動している。

短周期成分の計算のため統計的グリーン関数法を導入する仕方は各研究で異なっている。壇ほか(2000)および松島ほか(2007)では、統計的グリーン関数法の震源パラメーターであるコーナー周波数や応力降下量を決める際、震源インバージョン解の各小断層の断層運動がそれぞれ独立した地震であると仮定して得られる近似式を用いて算出している。本研究では震源インバージョン解のすべり分布が作る断層面上の応力降下量分布を直接的に計算し、また、ライズタイム（断層面上のある場所ですべりが継続する時間）には震源インバージョン解の各小断層のすべり継続時間の長短を反映させている。

### (3) 地下構造モデル

深部地下構造モデル（地震基盤から工学的基盤までの地下構造モデル）については、用いたデータが異なるため一概には言えないが、物理探査データの蓄積、モデルの検証方法や量の向上により、一般的に新しいものほど地震動再現性能が高くなっていると考えられる。本研究では、近年作成されたモデルの中から、政府の中央防災会議が首都直下地震の被害想定を目的として作成したモデル（中央防災会議,2004）を採用した。

浅部地下構造モデル（工学的基盤から地表面までの地下構造モデル）について、本研究では、広域に作成されている地形・地盤分類データで、最新かつ最も細密な（250mメッシュ）モデルである Wakamatsu and Matsuoka(2006)のものを採用している。

表 I-1 関東地震の広域地震動分布を予測している研究

(その1)

	Sato et al.(1999)	壇ほか(2000)	秋山ほか(2005)
計算周期帯	長周期(4秒以上)	広帯域	広帯域
地震動計算手法	3次元差分法	統計的グリーン関数法×表層地盤増幅率	(3次元有限要素法+統計的グリーン関数法)×表層地盤増幅率
震源モデル	Wald and Somerville(1995)	Wald and Somerville(1995)	Kobayashi and Koketsu(2005)
深部地下構造モデル	Sato et al.(1999)	Sato et al.(1999)	Afnimar(2002)
浅部地下構造モデル 1.地形・地盤分類 2.AVS30 3.増幅率		1.国土数値情報 2.松岡・翠川(1993) 3.松岡・翠川(1993)	1.久保ほか(2003) 2.久保・久田(2004) 鄭ほか(2005) 3.久保・久田(2004)

(その2)

	Miyake et al.(2006)	松島ほか(2007)	本研究
計算周期帯	長周期(2秒以上)	広帯域	広帯域
地震動計算手法	3次元有限要素法	(3次元差分法+統計的グリーン関数法)×表層地盤増幅率	(3次元差分法+統計的グリーン関数法)×表層地盤増幅率
震源モデル	Sato et al.(2005)	Wald and Somerville(1995)	Sato et al.(2005)をマルチスケール不均質化
深部地下構造モデル	Tanaka et al.(2005)	Sato et al.(1998)	中央防災会議(2004)
浅部地下構造モデル 1.地形・地盤分類 2.AVS30 3.増幅率		1.国土数値情報 2.松岡・翠川(1994) 3.藤本・翠川(2003)	1.Wakamatsu and Matsuoka(2006) 2.松岡ほか(2005) 3.藤本・翠川(2006)