

第三章 関東平野の地下構造モデル

1. 概要

本章では、地震動計算の重要な要素である関東平野の地下構造モデルについて述べる。地震動計算を行う場合には、深い方から 1) 地震基盤以深の地殻・マントル構造（地震基盤以深の構造モデル）、2) 地震基盤よりも浅く、工学的基盤よりも深い深部地下構造（深部地下構造モデル）、3) 工学的基盤よりも浅い浅部地下構造（浅部地下構造モデル）の 3 つにわけて考えることが多い。本章においてもこの順番に従って、用いた地下構造モデルについて述べる。

2. 地震基盤以深の構造モデル

地震基盤以深の構造モデルは、大陸地殻、海洋プレート（フィリピン海プレート、太平洋プレート）およびマントルからなる。その概念図を図 III-1 に示す。

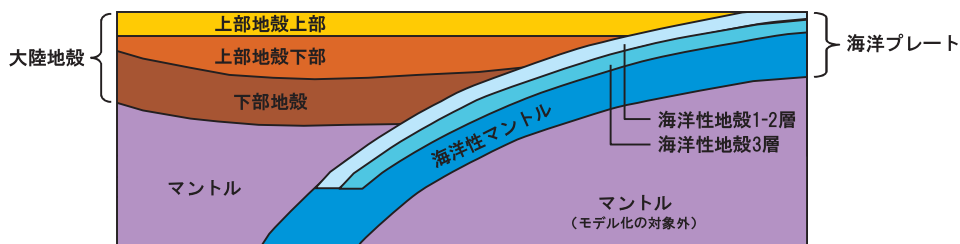


図 III-1 地震基盤以深の構造モデルの概念図

大陸地殻は、上部地殻上部、上部地殻下部、下部地殻に分けた。それぞれの層の境界の深さは次の通りである。上部地殻上部と上部地殻下部の境界の深さは 6km とし、大陸地殻とマントルの境界（モホ面）の深さは、領木(1999)を参照して設定した。また、上部地殻下部と下部地殻の境界（コンラッド面）の深度はモホ面の深度の 42% に設定した。

海洋プレートについては、既往の複数の研究成果を参照し、その調査方法の違いや調査地域を考慮し、組み合わせてモデル化した。具体的には、フィリピン海プレート上面の深さは反射法地震探査による Sato et al.(2005)により設定し、Sato et al.(2005)でモデル化されていない東京湾以北の地域については、微小地震の震源分布に基づく Noguchi(2002)および Ishida(1992)を参考に設定した。太平洋プレート上面深度については、微小地震の震源分布に基づく Ishida(1992)を参考に設定した。

2つの海洋プレートの内部は、海洋性地殻1・2層、海洋性地殻3層および海洋性マントルに分けた。海洋性地殻1・2層の厚さは、古村(2002)を参考に、フィリピン海プレートは2km、太平洋プレートについては2.5kmとした。また、海洋性地殻第3層の厚さは、野口(1998)を参考に、フィリピン海プレートは5km、太平洋プレートについては2.5kmとした。各層の上面の深さの分布図を図III-2に示す。

各層に設定した物性値を表III-1に示す。P波速度およびS波速度は古村(2002)の設定を、密度は澁谷(2001)を用いた。ただし、上部地殻上部の値は、地震基盤から工学的基盤までの深部地下構造モデル(本章3節参照)の地震基盤に対応する値とした。

表III-1 地震基盤以深の地下構造モデルの物性値

層名		P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)
大陸地殻	上部地殻上部	5.5	2.9	2.62
	上部地殻下部	6.0	3.6	2.7
	下部地殻	6.6	3.7	2.8
海洋プレート	海洋性地殻1・2層	5.8+0.0188z	Vp/1.78	3.1
	海洋性地殻3層	6.3+0.0155z	Vp/1.78	3.4
	海洋性マントル	8.1+0.0035z	Vp/1.78	3.2
マントル		7.8	4.2	3.3

*zは深さ、VpはP波速度を表す。

Q値モデルは、Q値の周波数依存性を考慮するため、また計算手法の制約により、差分法による長周期成分の計算と統計的グリーン関数法による短周期成分の計算で異なるモデルを用いた。

差分法で用いるQ値モデルは古村(2002)を参考に設定した。本研究で用いた差分法のQ値モデルは、第II章2節に示したように下式で表現され、Q値は周波数 f に比例する。

$$Q = Q_s(x, y, z) \frac{f}{f_0}$$

一方、古村(2002)のQ値は周波数に依存しないモデルとなっており、注目する周期帯と実際に卓越する周期帯を考慮し、Q値に関する基準周期とそのQ値を設定する必要がある。本研究では、Sekiguchi et al.(2008)と同様に、基準周期を2秒($f_0 = 0.5\text{Hz}$)とし、その周期におけるQ値を古村(2002)による値とした。Sekiguchi et al.(2008)では、

関東地震と同様の海溝型巨大地震である南海地震について同様の周期帯の地震動を計算している。差分法で用いられる Q 値の設定を表Ⅲ-2 に示す。

表Ⅲ-2 差分法による長周期成分の計算に用いた Q 値モデル

	層名	Q 値モデル
大陸プレート	上部地殻上部	$200 \cdot f / 0.5$
	上部地殻下部	$300 \cdot f / 0.5$
	下部地殻	$400 \cdot f / 0.5$
海洋プレート	海洋性地殻 1・2 層	$200 \cdot f / 0.5$
	海洋性地殻 3 層	$300 \cdot f / 0.5$
	海洋性マントル	$1000 \cdot f / 0.5$
マントル		$500 \cdot f / 0.5$

* f は周波数を表す。

また、Q 値の影響を強く受ける短周期成分の計算においては、関東平野の観測記録に基づいて推定された山中ほか(1998)の Q 値モデルを利用した。山中ほか(1998)のモデルは、下式のとおりである。

$$Q = 100f^{0.65}$$

3. 深部地下構造モデル

関東地方では、1960年代から地下構造探査が行われており、1990年代初頭には関東平野で観測される表面波の再現のためにシンプルな3次元速度構造モデルが提案されてきた。本研究では、それら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地下構造モデル（中央防災会議,2004）を選択し、地震動計算を行った。

この地下構造モデルは、反射法、屈折法地震探査やボーリング調査に基づいて作成されたモデルを微動アレイ探査結果等により修正したもので、本研究の対象地域を含む比較的広い範囲がモデル化されている。神津島近海の地震（2000年7月15日発生, M6.3）の再現計算が行われており、実際に観測された時刻歴波形や周期特性と再現計算の比較からモデルの妥当性が確認されている。

S波速度構造は浅層より、0.5km/s、0.7km/s、1.4km/s、2.4km/s および 2.9km/s の5層構造である。各層の上面の深さの分布図を図III-2に示す。また、各層の物性値の設定を表III-3に示す。

表III-3 深部地下構造モデルの物性値

	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)
第1層	1.8	0.5	1.90
第2層	2.1	0.7	1.97
第3層	3.1	1.4	2.13
第4層	4.7	2.4	2.55
第5層	5.5	2.9	2.62

Q値モデルは、地震基盤以深の構造モデルと同様に、差分法による長周期成分の計算と統計的グリーン関数法による短周期成分の計算で異なるモデルを用いた。

ここでも、差分法による長周期成分の計算におけるQ値は、Sekiguchi et al.(2008)の設定に準じて基準周期を2秒（周波数 $f_0 = 0.5\text{Hz}$ ）とし、そのときのQ値を堆積層のQ値の一般的なモデルの1つである下式と一致するように設定した。ただし、 V_s は地盤のS波速度（km/s）を表す。

$$Q = 100V_s$$

設定した Q 値モデルは表Ⅲ-4 の通りとなる。

表Ⅲ-4 差分法による長周期成分の計算に用いた Q 値モデル

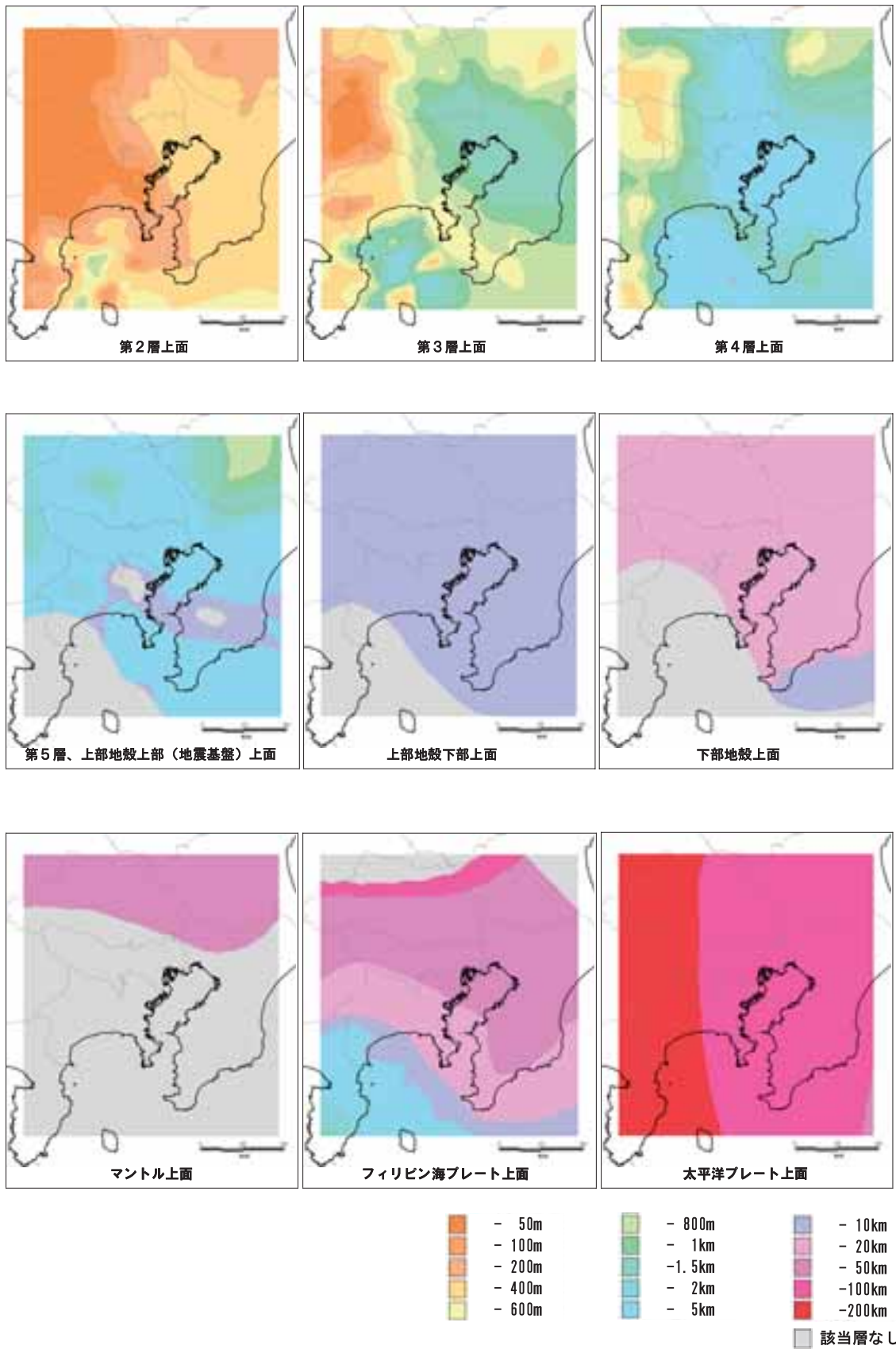
	Q 値モデル
第 1 層	$500 \cdot f/0.5$
第 2 層	$700 \cdot f/0.5$
第 3 層	$1400 \cdot f/0.5$
第 4 層	$2400 \cdot f/0.5$
第 5 層	$2900 \cdot f/0.5$

* f は周波数を表す。

また、統計的グリーン関数法による短周期成分の計算においては、関東平野における鉛直アレイ記録のスペクトル比のインバージョンによって求められた佐藤ほか(2006)の下総における下記の Q 値モデルを利用した。

$$Q^{-1} = 0.044f^{-1.17} \quad (f < 3.4\text{Hz})$$

$$Q^{-1} = 0.011 \quad (f \geq 3.4\text{Hz})$$

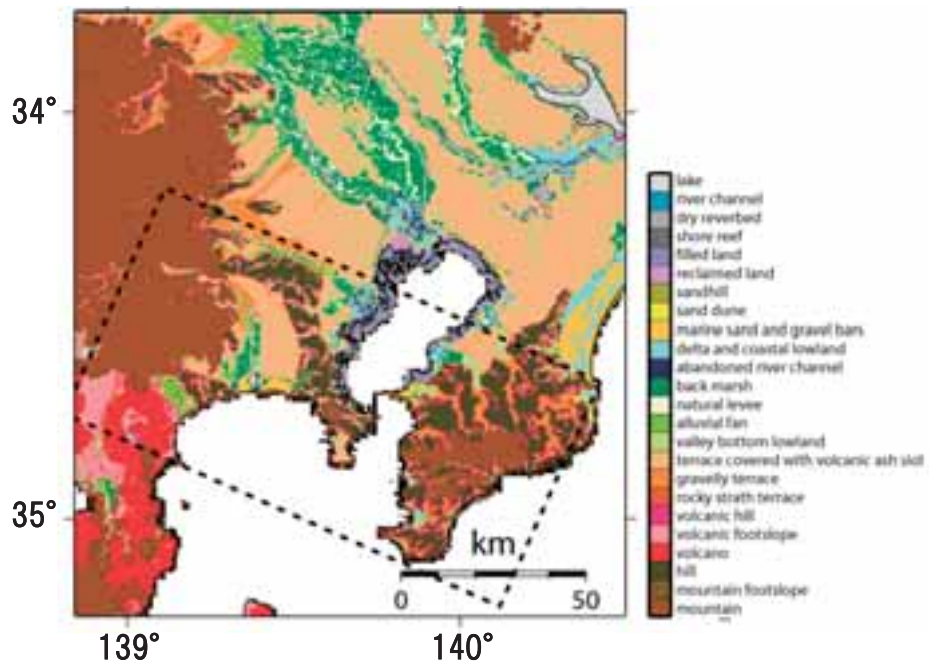


図III-2 地震基盤以深および深部地盤構造の各層の上面深度

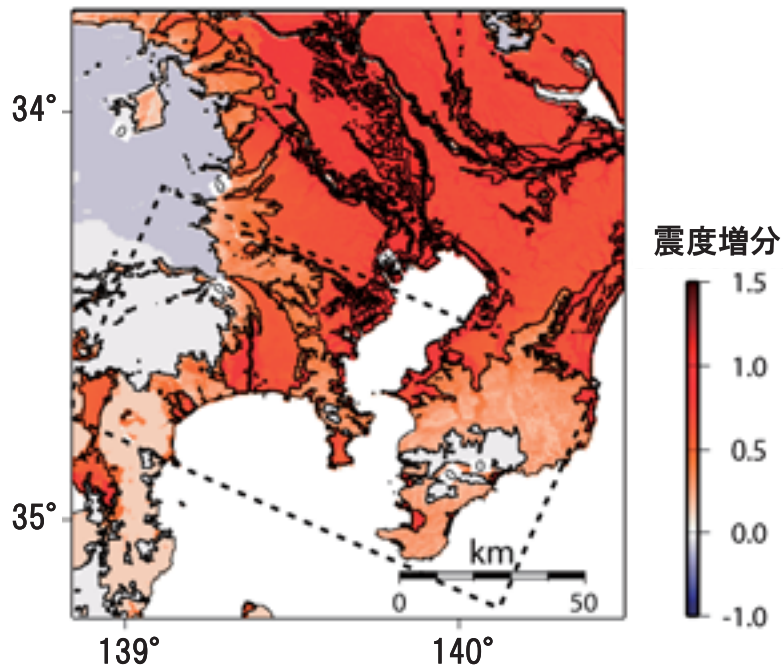
4. 浅部地下構造モデル

第II章3節で述べたように、本研究では松岡ほか(2005)の手法によって推定される地下30mまでの平均S波速度(AVS30)を用いて工学的基盤以浅の地盤(浅部地下構造)による地震動の増幅を計算する。

松岡ほか(2005)は、地形区分、標高、傾斜、古い時代に形成された山地・丘陵からの距離をパラメーターとしてAVS30を推定する方法を提案している。また、Wakamatsu and Matsuoka(2006)は、全国のいくつかの地域について250mメッシュの解像度の地形・地盤分類データ(図III-3)を整備し、そこに松岡ほか(2005)の手法を適用してAVS30の250mメッシュデータを作成している。この浅部地下構造モデルと藤本・翠川(2006)および藤本・翠川(2005)によって求められる計測震度の増分の分布を図III-4に示す。本研究では、このAVS30の250mメッシュデータを浅部地下構造モデルとして利用した。



図III-3 250mメッシュ地形・地盤分類データ
Wakamatsu and Matsuoka(2006)による



図III-4 計測震度の増分の分布 (Vs=600m/s層からの増分)