

関東平野における設計用地震応答スペクトルの提案 (その2: 工学的基盤における地震動)

正会員 川上 洋介*
同 久田 嘉章**

深層地盤構造 設計用応答スペクトル 解放工学的基盤
関東平野 改正建築基準法 増幅率

1. はじめに

(その1)では、プレート境界地震の際に震源となるフィリピン海プレート上面深度により関東地域を ZoneA と ZoneB に分け、両者の間で異なる震源距離を与え、統計的震源モデルを用いてそれぞれのゾーンの解放地震基盤における地震動を策定した。(その2)では、その地震動に関東平野における深層堆積構造を考慮した増幅率を乗じることによって、解放工学的基盤における設計用加速度応答スペクトルとして提案する。

2. 深部地盤構造によるゾーン分け

フィリピン海プレート上面で発生した地震波は、まず地震基盤に到達し、深部堆積地盤により増幅されて工学的基盤に至る。この深部堆積地盤による増幅特性を考慮するためには

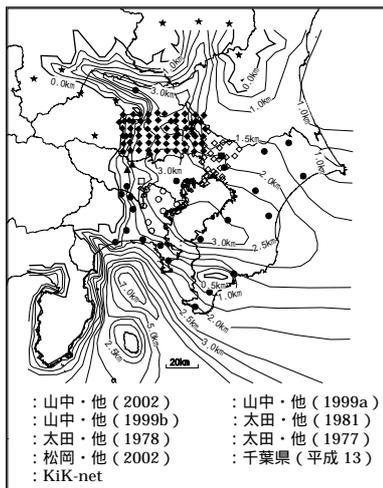


図1 深部 S 波速度調査位置と S 波速度 3km/s 層上面等深度線

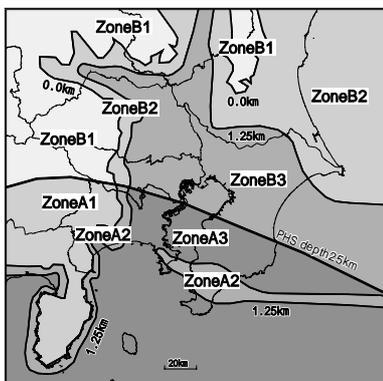


図2 工学的基盤における応答スペクトルのためのゾーンの分類

その地盤情報が必要となり、関東平野内においては太田・他(1977, 1978, 1981)、山中・他(1999a, 1999b, 2002)、松岡・白石(2002)、千葉県(2001)などにより各地点における深部地盤 S 波速度構造が調査されている。図1にそれらの調査位置、および山中・山田(2002)により推定された S 波速度 3km/s 層の地震基盤上面深度を示す。図1によると、地震基盤は地表に露頭しているところから、陸地では最も深くても約 3km まで分布しており地域性がある。この深部地盤の地域性による影響を考慮すれば、工学的基盤において、より詳細な加速度応答スペクトルを

設定することが可能である。そこで、山中・山田(2002)の地震基盤深さを参考に、地震基盤から工学的基盤までの増幅率をゾーン分けし、地震基盤深さがほぼ 0km の岩盤地域を Zone1、地震基盤深さがほぼ 0km ~ 約 1.25km (1km ~ 1.5km の約中間) の地域を Zone2、地震基盤深さが約 1.25km 以上の地域を Zone3 とする。

これにより、関東地域を震源により 2 つ、深部地盤の増幅特性により 3 つ、計 6 つのゾーンに分けたことになる。図2にそれぞれのゾーンを示す。

3. 工学的基盤における加速度応答スペクトル

(その1)で策定した地震基盤における地震動に、深部地盤調査点ごとに 1 次元重複反射理論を用いて計算した増幅率を乗じて工学的基盤における加速度応答スペクトルを設定する。その際、S 波速度構造は各調査結果を使用するのだが、S 波速度が 400m/s より小さい層は取り除いた。また、調査深度が地震基盤まで達しておらず、かつ、その調査深度が山中・山田(2002)による S 波速度 3km/s 層上面深度よりも浅い場合には、山中・山田(2002)を参考に S 波速度 3km/s 層を付加した。ただし、岩盤地域において同様な場合には地震基盤の深さを 100m と仮定した。層密度は Sato et al.(1999)を参考に、その層の S 波速度から推定した。増幅率を計算する際に S 波速度と同じく重要な要素となるのは減衰(Q 値)である。本報ではゾーンごとに異なる Q 値を与えた。Zone1 (岩盤地域)では、福島・翠川(1994)の深さ 100m 以浅の堆積岩に対する平均式を近似し次式とした。

$$Q = 4.27f^{0.51} \dots\dots\dots (1)$$

Zone3 (地震基盤深さが 1.25km 以上の地域)の堆積層では木下・大池(2002)より次式とした。

$$Q = \begin{cases} 25 & (f < 0.5\text{Hz}) \\ 50f & (0.5\text{Hz} \leq f \leq 2.2\text{Hz}) \\ 110 & (2.2\text{Hz} < f) \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

Zone2 (地震基盤深さが 0 ~ 1.25km の地域)の堆積層では福島・翠川(1994)や武村・他(1993)を参考に Zone3 における Q 値の半分を用い次式とした。

$$Q = \begin{cases} 13 & (f < 0.5\text{Hz}) \\ 25f & (0.5\text{Hz} \leq f \leq 2.2\text{Hz}) \\ 55 & (2.2\text{Hz} < f) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、いずれのゾーンも地震基盤の Q 値は佐藤・他(1994)より

$$Q = \begin{cases} 70 & (f < 0.5\text{Hz}) \\ 110f^{0.69} & (0.5\text{Hz} \leq f \leq 2.4\text{Hz}) \\ 200 & (2.4\text{Hz} < f) \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

としている。

以上を踏まえ、深部地盤調査点ごとに工学的基盤における加速度応答スペクトルを算出し、各ゾーンで平均値を取ったものを図3に示す。この平均値を参考に、改正基準法をベースとして表1に示す式を提案し、図3に重ねて示した。ZoneA1では、風化層の影響で、より短周期が卓越するので、改正基準法を短周期側にシフトした。ZoneA2、ZoneA3では、800galレベルは同じであるが、深部堆積層による影響により長周期側を割り増した。ZoneBでは、提案式を更に小さくすることも可能かもしれないが、活断層および浅い震源による地震動の影響も考えられるので、安全を考えた上でそれぞれZoneAの0.9倍に留めた。短周期で平均値が提案式を上回ることもあるのだが、地震動により建物が非線形化して卓越周期がずれるので、これで妥当であると評価した。

4. おわりに

盆地端部のエッジ効果により、周期1秒程度が卓越すること、また、盆地内においては表面波によりやや長周期成分が卓越することが知られているが、本報では周期1秒以下の短周期建物を対象としているので、その影響は評価していない。対象建物によっては別途考慮する必要があり、注意を要する。

謝辞

東京大学地震研究所の工藤一嘉助教授には地盤データに関して貴重な御助言を賜りました。また、本報では防災科学技術研究所により提供されているKiK-netの地盤情報を使用させて頂きました。ここに記して厚く感謝の意を表します。

表1 解放工学的基盤における加速度応答スペクトルの提案式

Zone1 (岩盤地域)		
周期 (sec)	ZoneA1 (m/s ²)	ZoneB1 (m/s ²)
T < 0.08	3.2 + 60T	左の数値の0.9倍
0.08 ≤ T < 0.5	8.0	
0.5 ≤ T	4/T	
Zone2 (基盤深さ0km ~ 1.25kmの地域)		
周期 (sec)	ZoneA2 (m/s ²)	ZoneB2 (m/s ²)
T < 0.16	3.2 + 30T	左の数値の0.9倍
0.16 ≤ T < 0.64	8.0	
0.64 ≤ T	5.60/T ^{0.8}	
Zone3 (基盤深さ1.25km以上の地域)		
周期 (sec)	ZoneA3 (m/s ²)	ZoneB3 (m/s ²)
T < 0.16	3.2 + 30T	左の数値の0.9倍
0.16 ≤ T < 0.64	8.0	
0.64 ≤ T	5.85/T ^{0.7}	

参考文献

内閣府防災部門：地震被害想定支援マニュアル
 太田祐・後藤典俊・塩野計司・高橋博・山水史生・栗原重利：やや深い構造のS波速度
 岩盤3500m地震観測井における測定とその意義：地震2, 30, p415-433, 1977
 太田祐・後藤典俊・塩野計司・高橋博・山水史生・栗原重利：やや深い構造のS波速度
 () 下総2300m地震観測井における測定：地震2, 31, p299-308, 1978
 太田祐・後藤典俊・塩野計司・高橋博・山水史生・栗原重利：やや深い構造のS波速度
 () 府中2750m地震観測井における測定とまとめ：地震2, 34, p465-479, 1981
 山中浩明・佐藤浩章・栗田勝実・瀬尾和夫：関東平野南西部におけるやや長周期微動のアレイ観測 川崎市および横浜市のS波速度構造の推定：地震2, 51, p355-365, 1999a
 山中浩明・栗田勝実・山田伸之・瀬尾和夫：立川断層における深い地盤構造の探査：地震2, 52, p351-360, 1999b
 山中浩明・山田伸之：微動アレイ観測による関東平野の3次元S波速度構造モデルの構築：物理探査55, p53-65, 2002
 松岡達郎・白石英孝：関東平野の深部地下構造の精査を目的とした微動探査の適用性 埼玉県南部地域の三次元S波速度構造の推定：物理探査55, 2, p127-143, 2002
 千葉県：平成12年度地震関係基礎調査交付金千葉県地下構造調査成果報告書：平成13年3月, 2001
 T. Sato, R. W. Graves, and P. G. Somerville：Three-Dimensional Finite-Difference Simulation of Long-Period Strong Motions in the Tokyo Metropolitan Area during the 1978 5.9 Odawara Earthquake (Mj5.1) and the Great 1923 Kanto Earthquake (Ms8.2) in Japan：Bull. Seism. Soc. Am., 89, 3, p579-607, 1999
 福島美光・翠川三郎：周波数依存性を考慮した表層地盤の平均的なQ⁻¹値とそれに基づく地盤増幅率の評価：日本建築学会構造系論文集, 第460号, p37-46, 1994
 木下繁夫・大池美保：関東地域の堆積層-基盤系におけるS波の減衰特性：地震2, 55, p19-31, 2002
 武村雅之・池浦友則・高橋克也・石田寛・大島豊：堆積地盤における地震波減衰特性と地震動評価：日本建築学会構造系論文集, 第446号, 1993
 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明：表層地盤の影響を取り除いた工学的基礎波の統計的スペクトル特性：日本建築学会構造系論文集, 第462号, p79-89, 1994

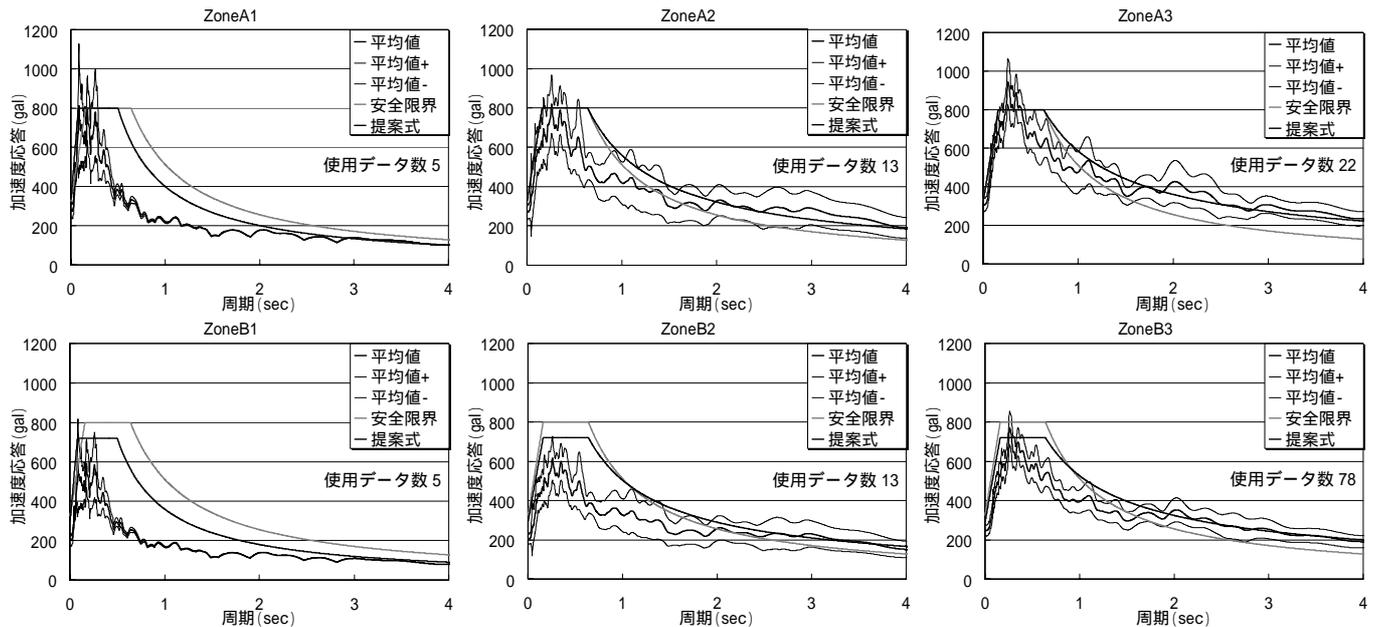


図3 各ゾーンの工学的基盤における加速度応答スペクトル

* 工学院大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程

**工学院大学建築学科 教授・工博

* Graduate school, Dept. of Architecture, Kogakuin University

**Prof., Kogakuin University, Dr.Eng.