

## 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1:地震基盤における地震動)

正会員 久田嘉章\*  
同 川上洋介\*\*統計的震源モデル 深層地盤構造 非線形増幅特性  
設計用応答スペクトル 解放工学的基盤 地震基盤

## 1.はじめに

改正基準法(2000)により、解放工学的基盤における設計用地震応答スペクトルや表層地盤による増幅特性を考慮した新しい耐震設計法が施行された。しかしながらそれらの値は新耐震基準(1980)にレベルを合わせるために設定されており、震源モデルや深層堆積地盤による増幅特性など、最近の強震動研究の成果などが考慮された訳ではない。本研究では関東平野に建つ中低層建物(周期1秒以下)を対象として、強震動研究の研究成果を考慮した設計用応答スペクトル(安全限界検証用を対象)を提案する。まず(その1)では、統計的震源モデルを用いた解放地震基盤における地震動を策定し、(その2)で関東平野における深層堆積構造を考慮した増幅率を考慮し、解放工学的基盤による設計用応答スペクトルを提案する。さらに(その3)では表層地盤における非線形増幅特性を考慮した増幅率を求め、(その4)で地盤特性を考慮した建物の非線形応答への影響を調べる。

## 2.関東平野を対象とした想定震源

関東平野において設計用地震動として考慮すべき震源として、フィリピン海プレート上面におけるプレート境界型巨大地震(M8クラスの関東地震タイプ)や直下型地震(M7クラスの安政江戸地震タイプ)、活断層による地震などがある。このうちM7クラスの直下型地震はM8クラスの巨大地震に包含されるものとし、本研究では後者のみを扱う。一方、活断層に関して文部科学省・地震調査研究推進本部などによる調査結果が公表されており、関東平野では神縄・国府津・松田断層の危険度が比較的高いと指摘されている。活断層近傍の強震動には長周期パルス波や地表断層による大変位などの特徴ある地震動が現れ、長周期建築の入力地震動に配慮する必要である(久田、2000)。本研究では短周期の建物を対象としており、地震の発生確率が高いプレート境界型の巨大地震で地震動を設定する。但し、建物近くに危険性の高い活断層がある場合は、長周期パルスを想定した Near Source Factor(2000 IBCなど)を別途考慮すべきである。

図1に関東平野でのフィリピン海プレート上面の等深度線、及び1923年関東地震の断層面位置を示す(地震調査研究推進本部、Wald and Somerville, 1995)。図には主要な歴史地震の震源位置(M6.7以上)も示しているが、関東平野の地震活動は北部より南部の方が活発である。さらにフィリピン海プレートは相模湾から北向きに沈み込んでいるため、プレート境界の地震を想定すると、南側ほど震源距離は短く、地震動も大きくなる。従って設計用の地震動レベルとして関東平野の南部と北部では異なるゾーンを設定する(図1)。

## 2.統計的震源モデルによる地震基盤の地震動

震源モデルを用いて、関東平野の地震基盤(Vsで3km/s程度)における安全限界検証用の設計用地震動を策定する。統計的震源モデル(2次元モデル)による地震基盤における水平加速度のフーリエ振幅スペクトルは次式で与えられる(Boore, 1983)。

$$A(\omega) = M_0 C \cdot S(\omega, \omega_c) P(\omega, \omega_{\max}) \exp\left(-\frac{\omega \cdot r}{2\beta Q_\beta}\right) \cdot \frac{1}{r} \cdot \sqrt{\frac{\rho_s \beta_s}{\rho_n \beta_n}} \quad (1)$$

ここで $\omega$ は円振動数、 $r$ は震源距離、 $M_0$ は地震モーメント、 $C$ はS波速度と密度であり、下付きのSとNは、それぞれ震源層、地震基盤の最上層を意味する。最後のは、震源層と増幅率計算の基盤となる地震基盤層の物理値が異なることを補正する係数である(壇・他、2000)。また $Q$ はS波のQ値である。またCは次式で与えられる。

$$C = R \cdot F_s \cdot P_{RTITN} / 4^3 \quad (2)$$

ここで、Rはラディエーションパターンであり、短周期における平均値として0.63を用い、一方、 $F_s$ は自由表面による増幅効果で2を用いる。 $P_{RTITN}$ は波動エネルギーを水平2成分に分割するための係数で、1/2である。

また(1)式の $S(\omega, \omega_c)$ は、震源の2次元モデルで、

$$S(\omega, \omega_c) = \frac{\omega^2}{1 + (\omega/\omega_c)^2} \quad (3)$$

で与えられる。ここで $\omega_c$ はコーナー円振動数で、その周波数 $f_c$ は

$$f_c = 4.9 \times 10^6 (\Delta\sigma/M_o)^{1/3} \quad (4)$$

である (Boore, 1983)。ここでの  $\Delta\sigma$  の単位は km/s であり、 $f_c$  は応力降下量 (単位は bar) で、 $M_o$  の単位は dyne/cm<sup>2</sup> である。一方、(1)式の  $P$  は  $\omega_{\max}$  によるハイカットフィルターであり、ここでは

$$P(\omega, \omega_{\max}) = 1/\{1 + (\omega/\omega_{\max})^2\} \quad (5)$$

を用いる。一方、(1)式の震源距離  $r$  には全断層面で均等な短周期地震動が発生すると仮定して、Ohno *et al.* (1993) による等価震源距離  $r'$  を用いる。

$$r' = R / \sqrt{\ln\{1 + R^2/d^2\}} \quad (6)$$

ここで  $R$  は等価断層半径、 $d$  は断層中心からの直上に設定した観測点までの鉛直距離である。半径  $R$  は矩形断層の面積  $A$  から求める。

$$R = \sqrt{A/\pi} \quad (7)$$

断層面積  $A$  は、まず Hanks and Kanamori (1979) のモーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式より

$$A = Mo/\mu D = 10^{1.5(Mw+10.7)}/\mu D \quad (8)$$

を得る。ここで、平均すべり  $D$  は佐藤(1989) を用いる。

$$D = 10^{(0.5M-1.4)} \quad (9)$$

上式を用い、地震基盤における地震動を計算する。震源層の物性値は壇・他 (2000) に習い、 $\rho = 2.6 \text{ (t/m}^3\text{)}$ 、 $V_s = 3.33 \text{ (km/s)}$ 、 $Q = 110 f^{-0.69}$  とし、 $M_w$  を 8、 $\mu = 100 \text{ (bar)}$ 、 $f_{\max} = 10 \text{ Hz}$  で計算する。図 2 に震源距離( $d$ )が 10 ~ 50 (km) での加速度振幅スペクトルを示す。比較のため図には統計的グリーン関数法 (釜江・他、1990) を用いて、1923 年関東地震モデル (Wald, 1995) による小田原と本郷 (東京) におけるスペクトルも示す (ランダム位相で 10 波計算した平均)。震源の直上にある小田原で約  $d = 20 \text{ km}$  レベル、本郷では約  $d = 50 \text{ km}$  レベル以下である。

### 3. おわりに

以上の結果より、図 1 に示すようにフィリピン海プレート上面の約 25 km 深さを境に、関東平野の地震動レベルを Zone A (南部) と Zone B (北部) に分ける。図 2 に示すように、南部 (Zone A) における地震基盤の入力地震動は M 8 地震の  $d = 20 \text{ km}$  レベルとする。一方、北部 (Zone B) では関東地震の場合は  $d = 50 \text{ km}$  レベル以下であるが、直下型地震などの可能性を考慮し、東京におけるプレート深さを規準に  $d = 30 \text{ km}$  に設定する。

### 謝辞

本研究は (その 1) ~ (その 4) を通し、マニュアル改定委員会 (委員長: 广沢雅也・工学院大学教授) による助成を頂いています。また同・WG の国土交通省・国土技術政策総合研究所の小山 信氏に助言を頂きました。

\*工学院大学建築学科・教授 (工博)

\*\*工学院大学大学院工学研究科建築学専攻・修士課程

### 参考文献

- Boore, D.M. (1983), BSSA, 73, 1865-1894  
 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・宮腰淳一・佐藤智美(2000)、日本建築学会構造系論文集、530、53-62  
 久田嘉章(2001)、第 29 回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、99-110  
 Hanks, T.C., and H. Kanamori (1979), J. Geophys. Res., 84, B5, 2348-2350  
 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長(1990)、日本建築学会構造系論文集、416, 57-7  
 Ohno, S., T. Ohta, T. Ikeura, and M. Takemura (1993), Tectonophys., 218, 69-81  
 佐藤良輔 編著(1989)、日本の地震断層パラメータ・ハンドブック、鹿島出版  
 Wald, D.J. and P.G. Somerville (1995), BSSA, 85, 159-177

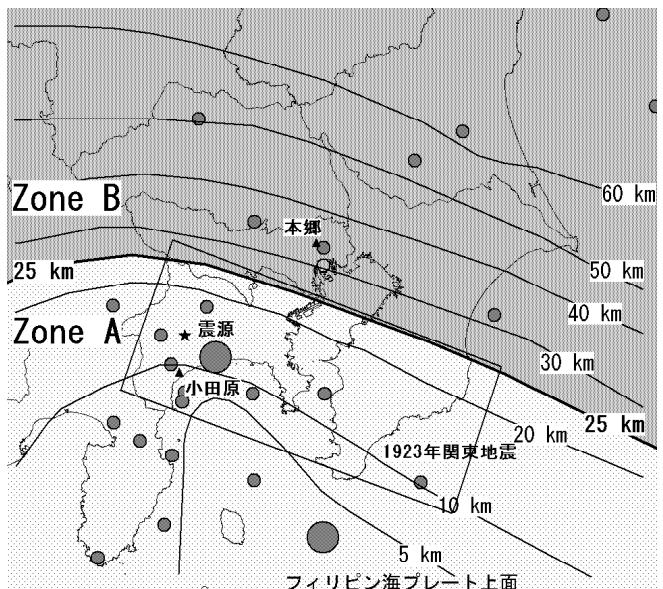


図 1 設計用地震動レベルのゾーン分け、及びフィリピン海プレート上面の等深度図と歴史地震の震源位置 (M6.7 以上)

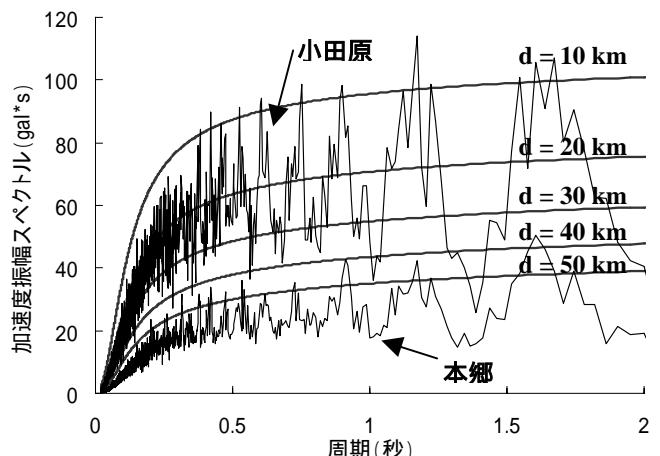


図 2 地震基盤における統計的震源モデル (M 8 地震)による加速度フーリエ振幅スペクトル、

\*Kogakuin University, Dept. of Architecture

\*\* Kogakuin University, Dept. of Architecture