

## 東京低地における平均的応答スペクトルの推定

AN ESTIMATE OF REGIONAL AVERAGE OF RESPONSE  
SPECTRA IN THE TOKYO LOWLANDS

木下 繁 夫\*

By Shigeo KINOSHITA

## 1. ま え が き

荒川河口域を中心として、隅田川および江戸川流域に広がる東京低地<sup>1)</sup>は、過去に大きな地震被害を被ってきた<sup>2)</sup>。この地域には、先新第三紀の基盤層上に厚さ数kmに及ぶ表層地盤が存在する。このため、震源から発せられた地震波は、この表層地盤により大きく増幅され、東京低地での震害を大きくする、とみなされる。したがって、東京低地における強震動の平均的なパターンを、表層地盤の平均的な増幅特性も含めて、あらかじめ見積っておくことは、この地域での地震被害軽減のために必要とされることの1つである。

従来東京低地における表層地盤の増幅特性に関する研究は、沖積層を対象としたものがほとんどであり、洪積層(東京層)を基盤としている。これは、東京低地における沖積層の地域構造が十分調査されていることと、地震動の扱いを短周期領域に限定しているためである。このため、沖積層の地域構造に基づく増幅特性の評価に関する研究は多くなされているが、基盤に相当する東京層でのスペクトル特性をも定量化して、総合して東京低地での地震動特性を評価するところまで至っていないのが現状である。本ノートでは、基盤を先新第三紀層として、そのスペクトル特性を定量化し、東京低地という地域に関する平均的な基盤上堆積層の増幅特性を推定することにより、ここでの地域平均として考えられる非減衰速度応答スペクトル(以下、平均的応答スペクトルと略記する)を評価することを目的としている。

なお、本ノートでは、近地内陸形地震を対象に基盤上堆積層の増幅特性推定が試みられている。また、非減衰速度応答スペクトルは、以下、応答スペクトルと略記されている。

## 2. 推定方法

地表における水平加速度の応答スペクトル  $SV_0(T)$  は、

$$SV_0(T) = G(T) \cdot SV_i(T)$$

で推定される。ここで、 $G(T)$  および  $SV_i(T)$  は、おのおの周期  $T$  秒における表層地盤の増幅特性および基盤における応答スペクトルとする。ただし、本ノートでは、 $SV_i(T)$  を基盤層内加速度の応答スペクトルとして定義する。 $SV_i(T)$  を推定するためのモデルは、首都圏における深層3観測井<sup>3)</sup>(岩槻、下総および府中; 図-1)での水平加速度記録を用いて作成した。

また、 $G(T)$  は、東京低地における表層地盤の平均応答倍率を意味するものである。東京低地においては、基盤層上の表層地盤が、地表近傍での沖積層の細部構造を除いて、ほぼ2層の水平層で構成されていることが報告されている<sup>4)</sup>。この大局的な構造を考慮して、同一地震において東京低地で得られた多くの強震計記録の水平成分の平均応答スペクトルと、モデルから推定される  $SV_i(T)$  との比を用いて平均増幅特性  $G(T)$  の推定を行った。

## 3. 推定結果

## (1) 基盤地震動特性

基盤層内水平加速度の応答スペクトルを、次式でモデル化した。

$$SV_i(T) = 10^{a(T) \cdot M - b(T) \cdot \log_{10} R + c(T)}$$

ここで、 $M$  および  $R$  (km) は、おのおのマグニチュードおよび震源距離とする。また、係数  $a(T)$ 、 $b(T)$  および  $c(T)$  は、各周期  $T$  ごとに、次式:

$$\log_{10} SV_i(T) = a(T) \cdot M - b(T) \cdot \log_{10} R + c(T)$$

\* 正会員 工修 国立防災科学技術センター研究員

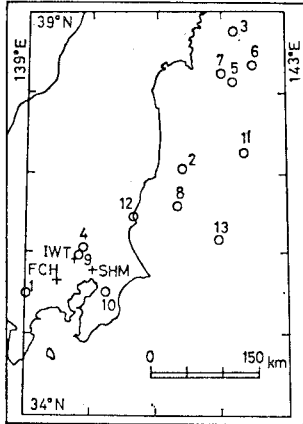


図-1 震源および深層観測井位置

に最小自乗法を用いて決定した。このモデル化は、基底地震動特性の推定において、広く用いられているものである<sup>3)</sup>。

図-2 は、表-1 (および、図-1) に示す地震における観測記録を用いて得た係数の値を示したものである。解析に用いた記録は、マグニチュード5.4以上の13地震における32水平成分である。なお、表-1のIWT, SHMおよびFCHは、おのおの観測点が岩槻、下総および府中であることを示している。また、図-2の係数を用いて推定した $\log_{10}SV_i(T)$ と実測記録の $\log_{10}SV_i(T)$ との残差の平均偏差を図-3に示す。図では、周期0.2sから5sの範囲において0.2程度の安定した平均偏差を示している。

(2) 表層地盤の平均増幅特性

表層地盤の平均増幅特性 $G(T)$ の推定には、千葉県中部地震(表-1のNo.10)において、東京低地で得られた強震計記録<sup>6)</sup>を用いた。この地震は、深さ80kmに震源をもつため、東京低地の20観測点(図-4および表-2)は $R=90\pm 3$ kmの範囲に収まっている。このため、震源距離について補正することなく、20観測点で得られた水平39成分の平均応答スペクトルを、 $M=6.1, R=90$ kmで得られたものとして解釈した。なお、用いた強震計は、すべて地表に設置されているものである。平均応答スペクトルの計算結果を図-5に示す。図-5において、 $SV_0$ は得られた平均応答スペクトルを、 $SV_i$ は $M=6.1, R=90$ kmとしたときの基底地震動の推定応答スペクトルを示している。図-5の結果に基づいて、 $G=SV_0/SV_i$ から求めた平均増幅特性 $G(T)$ の推定結果が図-6である。この図は、周期0.4sから4sに

表-1 地震諸元および観測点

No.	Date	Latitude	Longitude	Depth (km)	Magnitude	Recording Site
1	June 16, 1976	35°30'	139°00'	20	5.5	IWT
2	Oct. 06, 1976	37°04'	141°25'	70	5.9	IWT
3	Feb. 20, 1978	38°45'	142°12'	50	6.7	IWT
4	Mar. 20, 1978	36°05'	139°53'	60	5.5	IWT
5	June 12, 1978	38°09'	142°10'	40	7.4	IWT, SHM
6	June 14, 1978	38°21'	142°29'	40	6.3	SHM
7	June 21, 1978	38°15'	142°00'	50	5.8	SHM
8	July 11, 1979	36°36'	141°19'	40	5.9	IWT, SHM
9	Sep. 24, 1980	35°58'	139°48'	80	5.4	IWT, SHM, FCH
10	Sep. 25, 1980	35°31'	140°13'	80	6.1	IWT, FCH
11	Apr. 13, 1981	37°16'	142°21'	30	5.7	FCH
12	Mar. 07, 1982	36°28'	140°39'	60	5.5	SHM, FCH
13	July 23, 1982	36°11'	141°57'	30	7.0	SHM, FCH

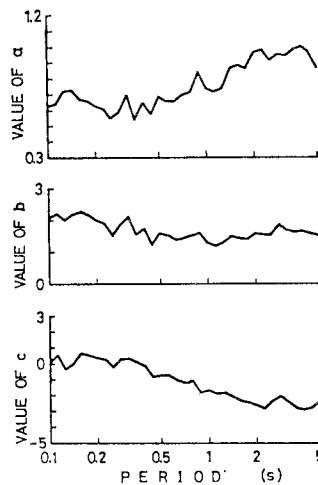


図-2 係数の推定値

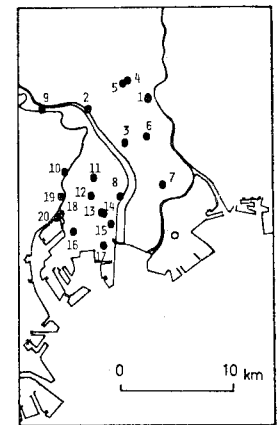


図-4 強震計設置位置

表-2 東京低地における観測点名称

記録番号	設置点名称
1	金町浄水場
2	小菅下水処理場
3	中川護岸観測所
4	中川水管橋・左端
5	中川水管橋・右端
6	上一色橋
7	瑞江舞儀所
8	小名木川排水機場
9	尾久橋
10	厩橋
11	亀戸給水所
12	扇橋閘門
13	南砂町・公園
14	南砂町・ポンプ場
15	江東変電所
16	朝風橋
17	14号地その3地区
18	大島川水門
19	新大橋
20	佃大橋

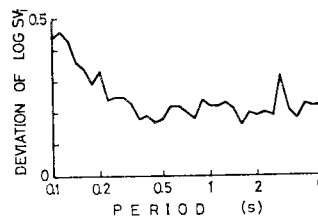


図-3 平均偏差

おいて、表層地盤の平均増幅率が10倍程度であることを示している。また、図-6の平均増幅特性に現われる凸凹は、図-5の $SV_i$ の凹凸にちょうど対応しており、意味のある推定結果と解釈するのは困難である。ただし、図-

5の $SV_0$ でみられる1.2sおよび0.4s付近の2つのピークは、東京低地における沖積層のせん断振動における平均的な基本および2次モードと推察される。したが

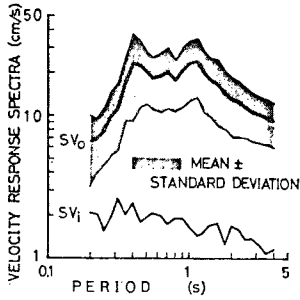


図-5 地表の平均応答スペクトルと基盤の推定応答スペクトル

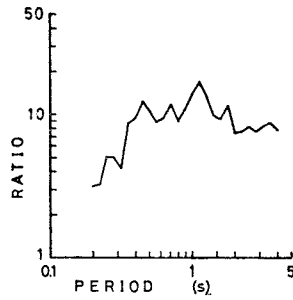


図-6 表層地盤の平均増幅特性

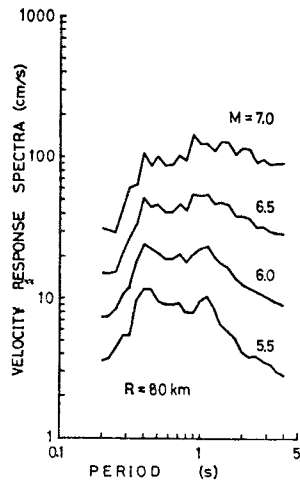


図-7 東京低地の推定応答スペクトル ( $R=80$  km)

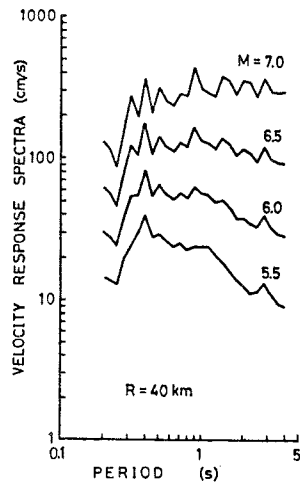


図-8 東京低地の推定応答スペクトル ( $R=40$  km)

って、図-6の結果においても、この2つの周期に対応するピークは意味をもつと考える。

この  $G(T)$  は、震源距離  $R=90 \pm 3$  km にある 20 観測点での平均値ということで推定したものであり、各観測点周辺の沖積層の細部構造による影響を平均化しているとみなされる。したがって、個々の観測点での  $SV_0(T)$  の推定には、この点を留意すべきものである。また、推定に用いる地震により  $G(T)$  の推定結果は、多少異なるのが普通である。本ノートで用いた地震および観測記録は、震源が比較的深く、顕著な表面波もなく、加速度レベルも震度  $V$  に近いものであり、比較的素直な  $G(T)$  の推定に適したものであった。したがって、推定された  $G(T)$  は、首都圏に発生する内陸形近地震に対して適していると推察される。本ノートでは、この結果を表層地盤の平均増幅特性として以下で用いる。

### (3) 東京低地での平均強震動特性

前2節で述べた  $SV_i(T)$  の推定モデルと  $G(T)$  の推定結果とを用いて、 $SV_0(T)$  を推定した結果を図-7

および 8 に示す。図-7 は  $R=80$  km とした場合、図-8 は  $R=40$  km とした場合をおおの対象として、 $M=5.5, 6.0, 6.5$  および  $7.0$  について示している。 $R=80$  km とした結果は、東京低地を中心とした場合、おおむね、千葉県中部あるいは茨城県南西部に震源をもつ地震を意図したものである。図-8 における  $R=40$  km の意味は、図-7 ほど明確ではない。ただし、留意すべきことは、安政江戸地震 ( $M=6.9$ ) が、震源を東京低地直下にもち、その震源深さが  $30 \sim 40$  km より浅いと考えられていることである。この場合、 $R$  の上限は  $40$  km 程度となる。

## 4. あとがき

本ノートは、東京低地における平均的強震動特性を非減衰速度応答スペクトルの領域で推定したものである。推定結果は、おもに、近地内陸形地震を対象としている。また、東京低地での先新第三紀基盤層上の表層地盤の平均増幅特性が、周期  $0.4$  s  $\sim$   $4$  s において、10 倍程度という工学的に興味ある結果もあわせて得られた。

なお、基盤地震動特性推定のために、本ノートで用いた地震記録と比較して、伊豆大島近海地震 (1978 年) 等フィリピン海プレート内部で発生した地震の記録は、本ノートで得られた基盤地震動特性とは異なる特性を示している。このような地震に対する東京低地での強震動特性に関しては、さらに検討を進め、別に報告したい。

おわりに、本研究を行うにあたって、ご協力をいただいた、東京都総務局災害対策部企画課の関係者の方々および東京都土木技術研究所 星野 務氏に深く感謝致します。

### 参考文献

- 1) 貝塚爽平：東京の自然史，紀伊國屋新書，1964。
- 2) 望月利男・宮野道雄：東京における安政江戸地震と関東大地震の被害についての一考察，日本建築学会論文報告集，第 256 号，pp. 47~56，1977。
- 3) 木下繁夫：表層地盤の減衰特性に関する考察，土木学会論文報告集，第 330 号，pp. 15~25，1983。
- 4) 嶋 悦三・柳沢馬住・座間信作：首都圏の基盤構造，第 5 回日本地震工学シンポジウム，pp. 321~328，1978。
- 5) 翠川三郎・小林啓美：地震動の地震基盤からの入射波スペクトルの性質，日本建築学会論文報告集，第 273 号，pp. 43~54，1978。
- 6) 矢崎 忍・木下繁夫・寺島幸造：強震記録数値集，防災科学技術研究資料，第 80 号，1983。