

回帰分析に基づく増幅率及び上下/水平スペクトル比の検討

熊谷組技術本部
熊谷組技術研究所正員 阿部 健一
吉谷 進治

1. はじめに

著者らは、花崗岩サイトにおいて 高密度アレー地震観測システム (KASSEM) を構築し、岩盤内とその露頭で観測された地震波の特性について調査を行っている。¹⁾ 解析の対象としたサイトは、宮城県柴田町にある観測サイトの S-2 および S-4 地点である。システム設置以来、'93.1.15 の 釧路沖地震 ($M_j = 7.8$) などを含めて 38 地震 (諸元を表 1 に示す) が観測された。それらの観測データを用いて同地点の上下/水平スペクトル比の回帰分析を実施したので報告する。

2. 回帰分析

対象とした地震は、図 1 に示すような震源深さ 60 km 以下のもの (表 1 の ■ 部 33 個) である。回帰分析には減衰 0% の速度応答スペクトル SV_0 を用いた (水平動については NS と EW の 2 成分のベクトル和とし、上下動については水平動と同一区間で計算した)。ただし、この SV_0 の解析区間は各観測波の地震のマグニチュード M_j に応じて次のようにしている。

$M_j \geq 6.0$: S 波の立ち上がりから 15 秒

$M_j < 6.0$: " 10 秒

観測点の S 波の加速度フーリエスペクトルについては、震源、伝播経路、観測点近傍の地盤特性の線形結合で表現できると仮定した岩田、入倉²⁾らに従い、 SV_0 が加速度フーリエスペクトルと等価であることから次のように表した。

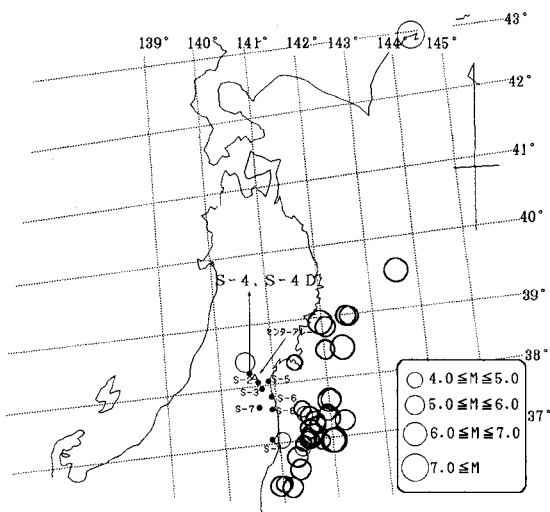


図1 観測点と震央位置

$$SV_{0ij}(t) = S_i(t) \times G(R_{ij}) \times e^{-3.14 \times R_{ij} / (Vs \times Qs)} \times AF_j(t) \quad \dots (1)$$

ここで、 $SV_{0ij}(t)$: j 観測点での i 番目の地震の SV_0 、 $S_i(t)$: i 番目の地震の震源スペクトル項、 $G(R_{ij})$: 幾何減衰項で R_{ij} は j 観測点での i 番目の地震の震源距離、 $Vs(t)$: 伝播経路の平均的な S 波速度、 $Qs(t)$: 伝播経路の平均的な S 波速度の Q 値

また、 $AF_j(t)$ は基準となる観測点の増幅率 $F(t)$ を用いて次のように定義する。

$$AF_j(t) = F(t) \times 10^{Aj(t)} \quad \dots (2)$$

このとき、 $10^{Aj(t)}$ は基準観測点とそれ以外の観測点の増幅率の比を表す。

(2) 式を線形のモデルで回帰分析を行うためにダミー変数 σ_j を導入して常用対数を取り、震源スペクトル項 $S_i(t)$ をマグニチュード M_j を説明変数とすれば、³⁾

$$\log SV_{0ij}(t) = a(t)M_j + c(t) + \log G(R_{ij}) - 1.36 R_{ij} / t Qs(t) Vs + \log F(t) + \sum_{j=1}^{N-1} Aj(t) \sigma_j \quad \dots (3)$$

とする式で回帰分析を行う。(3) 式は、説明変数が M_j, R_{ij}, σ_j で、回帰係数が $a(t), c(t), Qs(t), Aj(t)$ になる。その上下/水平スペクトル比の結果を図 2 および図 3 に一点鎖線で示す。

3. Silva の手法⁴⁾ による解析

堆積層の存在がスペクトル比に及ぼす影響について、深度 4000 m の最下層から S V 波が 30 度で入射する場合のスペクトル比を S-4 地点および S-2 地点について求めた。このとき、基盤を半無限弾性体とし、基盤より上層を非弾性成層構造として扱った Silva の手法を用いた。なお、S-4 地点の地盤構造は表 2 に示す通りである。その結果を図 2 および図 3 にあわせて実線で示す。

表1 地震諸元

No	地震		震源地(度分)		深さ km	規模 M _j
	年月日		北緯	東経		
01	84.06.26	37	31	141	35	4.5
02	84.07.06	44	06	141	47	4.7
03	84.07.10	37	27	141	40	4.5
04	84.07.10	37	27	141	40	4.5
05	84.07.20	33	06	141	37	4.4
06	84.07.27	33	06	141	37	4.4
07	84.08.03	33	06	141	37	4.4
08	84.08.05	33	06	141	37	4.4
09	84.08.05	33	06	141	37	4.4
10	84.08.05	33	06	141	37	4.4
11	84.08.05	33	06	141	37	4.4
12	84.08.05	33	06	141	37	4.4
13	84.08.05	33	06	141	37	4.4
14	84.08.05	33	06	141	37	4.4
15	84.08.05	33	06	141	37	4.4
16	84.08.05	33	06	141	37	4.4
17	84.08.05	33	06	141	37	4.4
18	84.08.05	33	06	141	37	4.4
19	84.08.05	33	06	141	37	4.4
20	84.08.05	33	06	141	37	4.4
21	84.08.05	33	06	141	37	4.4
22	84.08.05	33	06	141	37	4.4
23	84.08.05	33	06	141	37	4.4
24	84.08.05	33	06	141	37	4.4
25	84.08.05	33	06	141	37	4.4
26	84.08.05	33	06	141	37	4.4
27	84.08.05	33	06	141	37	4.4
28	84.08.05	33	06	141	37	4.4
29	84.08.05	33	06	141	37	4.4
30	84.08.05	33	06	141	37	4.4
31	84.08.05	33	06	141	37	4.4
32	84.08.05	33	06	141	37	4.4
33	84.08.05	33	06	141	37	4.4
34	84.08.05	33	06	141	37	4.4
35	84.08.05	33	06	141	37	4.4
36	84.08.05	33	06	141	37	4.4
37	84.08.05	33	06	141	37	4.4
38	84.08.05	33	06	141	37	4.4
39	84.08.05	33	06	141	37	4.4
40	84.08.05	33	06	141	37	4.4
41	84.08.05	33	06	141	37	4.4
42	84.08.05	33	06	141	37	4.4
43	84.08.05	33	06	141	37	4.4
44	84.08.05	33	06	141	37	4.4
45	84.08.05	33	06	141	37	4.4
46	84.08.05	33	06	141	37	4.4
47	84.08.05	33	06	141	37	4.4
48	84.08.05	33	06	141	37	4.4
49	84.08.05	33	06	141	37	4.4
50	84.08.05	33	06	141	37	4.4
51	84.08.05	33	06	141	37	4.4

表2 S-4地点の地盤構造

深さ 観測点	深さ [m]	ρ [t/m ³]	Vs [m/sec]	Vp [m/sec]
S-4 (GL. 0)	0.0			
—	18.5	2.51	1,150	2,950
—	23.5	2.58	1,930	3,930
—	25.0	2.65	2,400	4,500
—	1,000	2.65	2,400	4,500
—	4,000	2.65	3,000	5,500
—		3.00	3,300	6,000

4. 回帰分析とSilvaの手法による解析との比較

図2および図3を見ると、周期 0.07~0.08(sec) 付近で上下/水平スペクトル比に山谷のずれがあるものの、回帰分析の結果はその比が全周期にわたりなだらかに変化しており、Silvaの手法による解析結果の比と著しく異なることはない。つまり、両結果における比は全体的によく一致し、解放基盤相当の堆積層が存在しても、上下/水平スペクトル比にはあまり大きな影響を及ぼさないことがわかる。

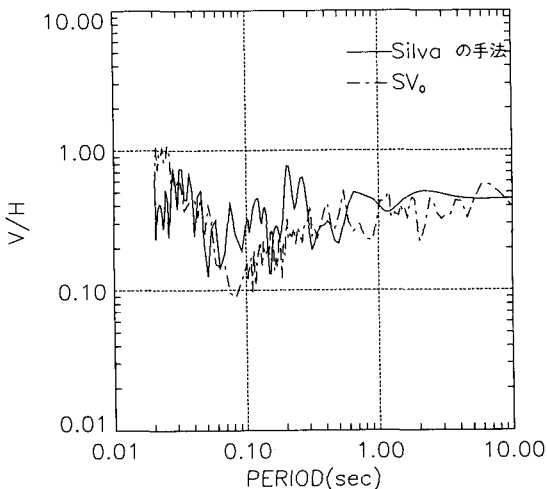


図2 S-4地点

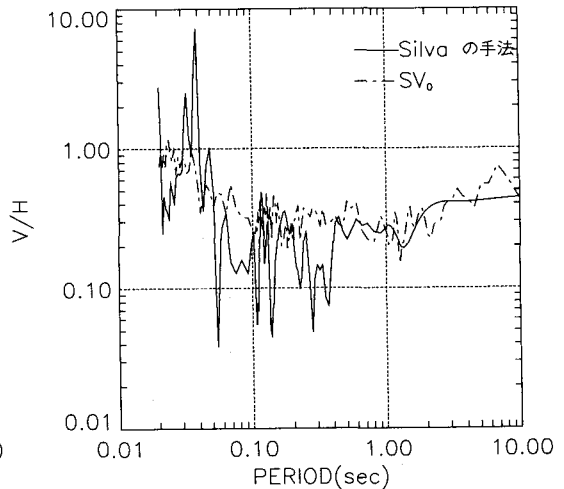


図3 S-2地点

5. まとめ

上下/水平スペクトル比は、S波直達区間の地震動を対象とする場合、サイト特性すなわちこの場合は深部地盤構造と平均的な入射角で決まると考えられる。

【参考文献】

- 1) 岡部 利夫(1992):土木学会第49回年次学術講演会要旨 P.782-783
- 2) 若田 入喜(1986):地震学, 第9巻 P.579-593
- 3) 神田(1985):地盤の動的性質とその予測に関する研究 P.15
- 4) W. SILVA(1976): BODY WAVES IN A LAYERED ANELASTIC SOLID, B.S.S.A Vol1166, No5 P1539-1554