

地震計アレー観測結果の逆解析とその結果の信頼性評価

岐阜大学工学部 学生員 ○澤木 信也  
 岐阜大学工学部 正会員 本城 勇介  
 (株) 竹中工務店技術研究所 正会員 鬼丸 貞友  
 (株) 竹中工務店技術研究所 正会員 吉澤 睦博

1.はじめに

構造物の地震時の安全性や地盤の液化化予測のためには、深い基盤から入力する地震波が、それぞれのサイトでどのように増幅され伝播するかを知ることが極めて重要である。1981年から92年まで、東京都江東区のあるサイトで得られた観測結果の逆解析を行い、地盤を構成する各土層のせん断剛性と減衰比を推定する研究を行っている。この研究の特徴は、逆解析において、振幅スペクトルの情報ばかりでなく、位相スペクトルの情報も取り入れることである(本城・西河原・他)。今回は、まず、地震の観測結果を用い、設置誤差の方位補正を行った。そして、位相を考慮した4つの評価関数を用い、事前情報を導入した拡張ベイズ法によりパラメーターを推定し、その推定精度の信頼性を解析した。

2. 研究内容

2-1 地盤の動的特性と応答解析

地震動解析に必要な地盤の主な動特性は、

- ・質量  $\rho = \gamma / 9.8$  ( $\text{kN} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$ )
  - ・せん断合成  $G (\text{kN} / \text{m}^2)$  または、せん断波速度  $V_s (\text{m} / \text{sec})$ 、またこの2つには、 $G = \rho V_s^2$  の関係が成り立つ。
  - ・減衰定数  $h$
- の3つがあげられる。

また、地盤はもともと非線形材料であって、せん断弾性係数も減衰定数も、ひずみ依存性が顕著である。例えば、中程度のひずみが生じる場合の応答解析では、弾塑性的変形特性を考慮する必要がある。これを弾性モデルで表現し、等価線形解析法を用いることが多い。これについては、電算

プログラム“SHAKE”が開発されている。本研究も、このレベルのひずみを対象にしている。

2-2 解析手法

本研究で用いる動解析手法は、重複反射理論を用いる。つまり、地盤内の任意の2地点間の運動の振幅特性(ある点の振幅特性に関するフーリエ変換とほかの点に関するフーリエ変換の周波数別の比を伝達関数という)を用いて地盤の応答解析を行う。(大崎、1976)

任意の2地点の加速度記録のフーリエ変換は、

$$A(\omega i) = Ar(\omega) + i * Ai(\omega) \tag{1}$$

$$B(\omega i) = Br(\omega) + i * Bi(\omega) \tag{2}$$

これを用いて、伝達関数の振幅スペクトルは、

$$T(\omega) = \sqrt{\frac{Ar^2 + Ai^2}{Br^2 + Bi^2}} \tag{3}$$

また、位相スペクトルは、

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \left[ \frac{ArBr + AiBi}{AiBr - ArBi} \right] \tag{4}$$

そして、事前情報を考慮して、拡張ベイズ法により定式化を行った4つの目的関数の1つを、以下に示す。

$$\begin{aligned} \min J_3(V_s, h | d_1^2, d_2^2) = \\ \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K \frac{1}{\sigma_\epsilon^2} \left[ \{T_{ij}(\omega_k | V_s, h) - T_{ij}^*(\omega_k)\}^2 \right. \\ \left. + \{ \phi_{ij}(\omega_k | V_s, h) - \phi_{ij}^*(\omega_k) \}^2 \right] \\ + d_1^2 (V_s - V_s^*)^T V_{V_s}^{-1} (V_s - V_s^*) \\ + d_2^2 (h - h^*)^T V_h^{-1} (h - h^*) \end{aligned} \tag{5}$$

(5)式は、伝達関数の振幅スペクトル及び、

位相スペクトルの残差 2 乗和と、事前平均と推定値の重み付き 2 乗和の合計の最少化をはかったものである。

3. 実観測地震概要及び解析地盤モデル

東京都、東陽町の(株)竹中工務店における地震観測データを用いる。設置地震計は、G1(GL-3.5m)、G2(GL-11.2m)、G3(GL-44.4m)の3個所に設置されており、観測データは、(N11、N33、N45、N56、N63、N131、N173、N197、N239)の9個のデータを用いた。観測地点の地盤は、典型的な軟弱地盤であり、地盤調査がGL-150mまで詳細に行われている。

4. 方位補正

鉛直アレーで観測された3つの記録の水平面内の軌跡を調べ、設置時の方向誤差の補正を行った。本研究では、EW、NSの各加速度成分を0.1Hz~0.2Hzのバンドパス・フィルターに通したものをを用いた。また、図1に、G1を基準とし、-180°~180°まで変動させた時のN33のG1とG2、G1とG3の残差2乗和を示し、図2に、その関連の値を示す。なお、一般に、地表近くの地震計の方が、正確に設置されていると仮定してG1を基準とした。

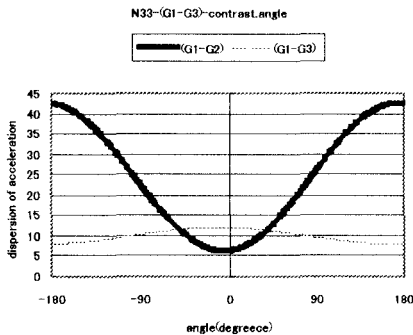


図1 N33の方位による残差変化

(G1-G2)間の比較では、N11~N239の9個のデータにそれぞれ重みをつけることによって、以下の(6)式を用いて計算し、約4.11°の設置

誤差があることが分かった。

$$\theta = \frac{W1_{N11} * \alpha_{N11} + W1_{N33} * \alpha_{N33} + \dots + W1_{N239} * \alpha_{N239}}{W1_{N11} + W1_{N33} + \dots + W1_{N239}}$$

ここに、 $W1 = \max 1 - \min 1$  (6)

また、(G1-G3)間の比較では、補正角度は、地震波ごとに大きく異なり、ノイズが大きく補正は不可能と考え、方位補正は行わずに解析を行った。

	(G1-G2)		$\alpha$		$\beta$	
	min $\theta$	(G1-G3) min $\theta$	360-min $\theta$ (G1-G2)	360-min $\theta$ (G1-G3)		
N11	356	85	4	275		
N33	355	170	5	190		
N45	354	136	6	224		
N56	352	353	8	7		
N63	356	21	4	339		
N131	319	174	41	186		
N173	358	179	2	181		
N197	340	142	20	218		
N239	99	178	-99	182		
$\Sigma$						

	min1	min2	max1	max2
	min(G1-G2) /データ数	min(G1-G3) /データ数	max(G1-G2) /データ数	max(G1-G3) /データ数
N11	2.58	2.99	10.87	3.13
N33	6.35	7.93	42.73	12.06
N45	1.40	1.46	4.92	1.59
N56	0.0024	0.0011	0.051	0.027
N63	0.62	1.21	5.06	1.38
N131	1.73	0.60	2.00	1.22
N173	10.19	7.75	33.46	11.96
N197	2.96	1.97	4.71	2.20
N239	5.68	2.79	5.94	3.27
$\Sigma$	31.50	26.69	109.75	36.84

図2

5. おわりに

解析結果の詳細、評価は、講演時にゆずる。

参考文献

- 1) 大崎順彦(1994)：新・地震動のスペクトル解析入門/鹿島出版会
- 2) 吉田郁政・栗田哲史(1995)：兵庫県南部地震の観測記録を用いたポートアイランド表層地盤の道特性の逆解析、土と基礎、Vol.43、No.9、pp.44~48
- 3) 本城・西河原(1997)：実地震アレー観測に基づいた動的地盤定数の位相を考慮した逆解析、委員会主催シンポジウム、No.105、pp79~86