

I-459

拡張カルマンフィルタによる地盤の伝達関数同定

日本国土開発(株) 技術研究所 正会員
同上○石原 哲哉
三浦 篤

1. はじめに

前回は、拡張カルマンフィルタによる地盤の伝達関数同定に関して、シミュレーション・データを用いて数値精度の検討を行った¹⁾。今回は、これを実測記録に適用した結果とPS検層により得られた結果との比較について報告する。

2. システムの構成

二層から成る水平堆積地盤における重複反射波を対象に伝達関数の同定をおこなう。前回は、地中と地表の二点観測データを基に定式化を行った。今回は、これを地中二点と地表の三点観測データに基づく定式に拡張した。地震記録のフーリエ変換を地表から U_1, U_2, U_3 とすれば、二つの伝達関数 Φ_1, Φ_2 を用いて

$$U_2 = U_1 / \Phi_1 \quad (1) \quad U_3 = U_1 / \Phi_2 \quad (2)$$

と表すことができる。一次元のせん断波動論により、 Φ_1, Φ_2 は次式で表される。

$$\Phi_1 = 2 / \{ \exp(i\kappa_1 H_1) + \exp(-i\kappa_1 H_1) \} \quad (3)$$

$$\Phi_2 = 4 / \{ (1+\alpha_1)\exp(i\kappa_1 H_1 + i\kappa_2 H_2) + (1-\alpha_1)\exp(i\kappa_1 H_1 - i\kappa_2 H_2) + (1-\alpha_1)\exp(-i\kappa_1 H_1 + i\kappa_2 H_2) + (1+\alpha_1)\exp(-i\kappa_1 H_1 - i\kappa_2 H_2) \} \quad (4)$$

上式において α は、複素インピーダンス、 κ は、複素波数である。式(1)、(2)を拡張カルマンフィルタ・アルゴリズムの観測方程式に組込むことにより、未知パラメタ $\alpha_1, \kappa_1, \kappa_2$ を同定することができる。

3. 解析結果と考察

観測地点の地質構成は

GL-12.5mまでがN値7程

度のローム層、GL-54.5m

までがN値50以上の砂礫

層、GL-500~700mまでが

第三紀鮮新世の泥岩層、

それ以深は花崗岩層とな

っている。地震計は速度

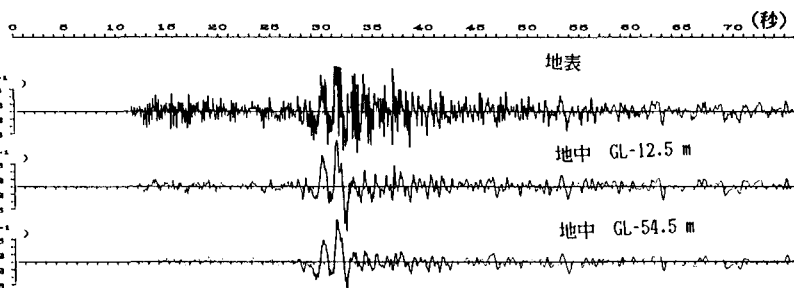


図-1 房総半島南東沖地震の速度記録（NS方向成分 単位 10^{-4} m/s）

型で、GL-54.5mとGL-12.5mおよび地表の三点で観測をおこなっている²⁾。解析に用いた記録は、昭和61年6月24日の房総半島南東沖地震(M6.5)である（図-1参照）。スペクトルをとると速度記録であるため短周期成分が相対的に小さくなる。そこで同定においてはフーリエ変換したデータに ω の重み付けを行った。これは加速度記録で同定を行ったのと同等の意味になる。同定の対象とする波動は、SH波であるからP波および表面波を除いて解析することが望ましい。しかし、地震記録を波動の種類に従って精度良く分離することは、困難な問題である。ここでは、波動の分離は行わずに同定を行った。したがって、同定の結果は、表面波等を等価な重複反射波として、その影響も考慮していることになる。

同定には、時刻20.00~70.24秒の記録を5秒おきに10.24秒ずつ0.01秒間隔で取り出し、後続の零を付加して2048個のデータでフーリエ変換したものを用いた。また、対象とする周期は、同定した伝達関数と地震記録の伝達関数が比較的に良く一致する区間を選定して周期0.16~10秒とした。地震時の地盤および建物の振動に関して対象とする周期は、一般的に0.1~10秒である。したがって、選定した区間は、この大部分を覆っている。同定結果を表-1に示す。また、同定結果のNo.3から求まる伝達関数およびPS検層の結果から求まる伝達関数、地震記録から求まる伝達関数を図-2,3に示す。伝達関数 Φ_1 は、三者がよく一致している（図-2参照）。

伝達関数 Φ_2 の比較はむずかしいが、同定の結果では残差平方和が59%であるのに対して、PS検層の結果を用いると残差平方和は150%となる。この値から判断すれば同定結果の方が地震記録に近いといえる。

比較的SH波が卓越していると考えられる29～37秒の主要動付近の同定結果(No.2,3)をPS検層の結果と比較する。S波速度は、同定の結果では第一層のローム層で $C_1 = 223 \sim 228$ m/s、第二層の砂礫層で $C_2 = 645 \sim 646$ m/sとなる。この値は、PS検層により求めた値、 $C_1 = 230 \sim 260$ m/s、 $C_2 = 620 \sim 680$ m/sと良く一致する。減衰定数は、ローム層で $\beta_1 = 0.03$ 、砂礫層で $\beta_2 = 0.02 \sim 0.08$ となった。PS検層時には減衰定数の測定は行っていないが一般的に表層地盤の減衰定数は、0.01～0.1程度と考えられている。減衰定数が地表地震動強度に及ぼす影響度は、S波速度の影響度に比べて1/2～1/10程度であると考えられる³⁾。したがって、前述の範囲であれば推定精度は十分であると考えられる。複素インピーダンス α_1 は、減衰を無視して算出すると、同定結果では $\alpha_1 = 0.084 \sim 0.087$ となる。PS検層の結果からは $\alpha_1 = 0.386$ となる。複素インピーダンスは、各層の境界における地震波の透過・反射係数を表すパラメタである。この値が小さい方が上昇波の透過係数、下降波の反射係数が大きくなり、より増幅される。同定結果は、PS検層の結果の2割程度の値になっている。この差が図-3の伝達関数 Φ_2 の差になっている。この結果から

すると、理論的に計算される複素インピーダンスに対して補正係数を乗じる必要があると思われる。しかし、この点に関しては、さらに①異なる地震および異なる地盤での地震記録を解析する、②波動の種類に従ってSH波を分離する、ことを行ったうえで結論をだしたい。

4. おわりに

拡張カルマンフィルタを用いて地中と地表の同時地震記録から地盤の伝達関数を同定した。その結果、①伝達関数のパラメタのうちS波速度は、PS検層から求まる値と一致する結果が得られた、②減衰定数もほぼ妥当な値として同定することができた、③複素インピーダンスは、PS検層から求まる値の2割程度の値となる、ことが分かった。

参考文献

- 1) 石原・三浦：拡張カルマンフィルタによる地盤の伝達関数同定、土木学会第41回学術講演会、I-402, S61
- 2) 石原・三浦：日本国土開発における地震観測システムの概要、日本国土開発技術研究報告No.6、pp91-100, S61
- 3) 沢田・平尾・大塚：地盤のQ値が地表地震動強度に及ぼす影響について、土木学会第41回学術講演会、I-408, S61

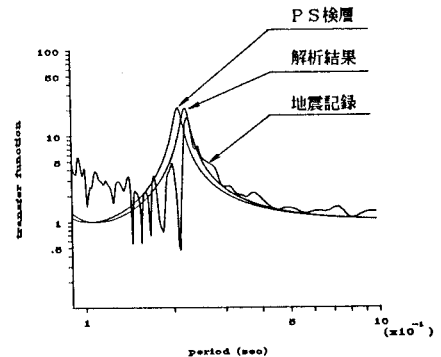


図-2 伝達関数 Φ_1

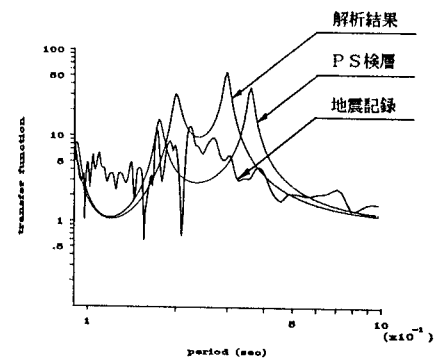


図-3 伝達関数 Φ_2

表-1 同定結果

No	時刻	C_1	C_2	α_1	β_1	β_2	残差%
1	20.00～30.24	229	625	0.040	.046	.033	48.8
2	25.00～35.24	223	645	0.087	.028	.076	36.2
3	30.00～40.24	228	646	0.084	.031	.018	58.9
4	35.00～45.24	230	386	-0.295	.041	.036	36.1
5	40.00～50.24	229	561	0.056	.027	.012	49.8
6	45.00～55.24	224	591	0.066	.047	.060	30.9
7	50.00～60.24	227	511	0.000	.048	.013	20.3
8	55.00～65.24	231	500	0.060	.041	.105	24.0
9	60.00～70.24	223	371	-0.402	.062	.054	18.7