

I-465

強震記録に含まれる位相特性の抽出とそのモデル化に関する研究

(株) 青木建設 正員 松岡 利一
 京都大学防災研究所 正員 土岐 憲三
 京都大学防災研究所 正員 佐藤 忠信

1. まえがき 構造物の耐震設計に用いる入力地震動を模擬する場合には、震源特性、地震波の伝播経路、構造物近傍の表層地盤構造の3つの要因を考慮しなければならない。本研究では地震動の位相特性に及ぼすこれらの要因の影響を、ケプストラム解析¹⁾及び非線形逆解析手法を用いて、観測記録から定量的に抽出し、それらをモデル化することによって位相特性を考慮した地震動の合成法を開発する。さらに、実際の観測波形と比較することにより本手法の有用性と妥当性を示す。

2. ケプストラム解析による理論波形の分離 震源の破壊過程の情報を持つインパルス列を $p(t)$ 、伝播経路の特性を表す時間関数(グリーン関数)を $g(t)$ 、表層地盤での屈折、反射により生じるランダムインパルス列を $r(t)$ とすれば、観測波形 $o(t)$ は次式で表現される。

$$o(t) = p(t) * g(t) * r(t) \quad (1)$$

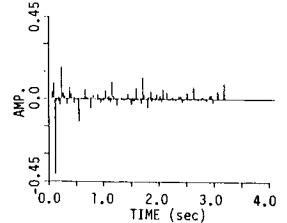
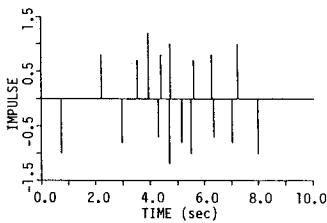
ここに、 $*$ は合成積を表す。伝播経路の特性を1自由度系の線形非定常フィルタと仮定し、 $g(\tau, t)$ を単位インパルスが時刻 τ に入力した時の時刻 t における変位応答関数と定義すると次式で表される。

$$g(\tau, t) = 1/2\pi f_d(\tau) \cdot \exp\{-2\pi f(\tau)h(\tau)t\} \cdot \sin 2\pi f_d(\tau) \\ f_d(\tau) = f(\tau) \sqrt{1-h(\tau)^2} \quad (2)$$

フィルタの固有振動数 f と減衰定数 h は次式のようにインパルスの入力時刻 τ によって変化すると仮定する。

$$f(\tau) = f_a \cdot \exp(f_b \cdot \tau) \quad h(\tau) = h_a \cdot \exp(h_b \cdot \tau) \quad (3)$$

ここで、 $(f_a, f_b, h_a, h_b) = (1.2, -0.04, 0.15, 0.03)$ と決め、図-1に示す $p(t)$ と図-2の実地盤モデルを用いて求めた $r(t)$ から式(1)により理論波形を作成する。ケプストラム解析を用いた波形分離法²⁾によってインパルス列 $p(t) * r(t)$ を分離した結果が図-3である。インパルス入力時刻によって $g(t)$ が変化してもインパルス列の相対的な強度及び到着時刻が正確に分離できている。

図-1 インパルス列 $p(t)$ 図-2 ランダムインパルス列 $r(t)$

3. 理論波形を用いた位相特性の抽出と合成

理論波形から分離されたインパルス列 $p(t) * r(t)$ から $p(t)$ を抽出し、これを用いて非線形逆解析手法により $g(t)$ 、 $r(t)$ を同定する。 $g(t)$ は Powell の手法、 $r(t)$ については Bayes の理論に基づく手法³⁾を用いた。ここで、同定パラメータは $g(t)$ において f_a, f_b, h_a, h_b の4つ。 $r(t)$ は強度が平均値 0、標準偏差 σ の正規分布に従うポアソン白色雑音に指数関数の包絡線に乗ることによってモデル化し、包絡線の形状を表す β 、インパルスの再起時間 T_r を同定パラメータとする。表-1, 2に同定結果を、図-4に同定結果から式(1)により得られた合成波形(太線)と理論波形(細線)との比較を示す。

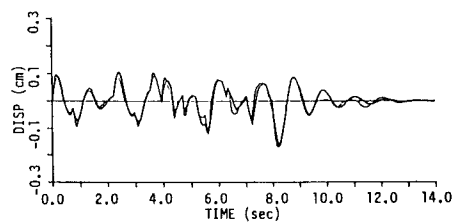
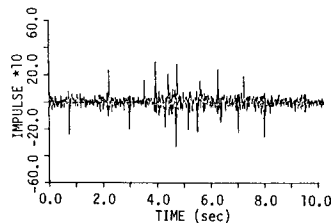


図-3 分離されたインパルス列

図-4 合成波形と理論波形の比較

合成波形は理論波形をよく

再現しており、本研究におけるグリーン関数、及びランダムインパルス列のモデル化の妥当性が示された。

4. 実地震波記録への適用 本手法を1979年 Imperial Valley地震の観測地点E06, E11における記録に適用した。表-3, 4にE06について $g(t)$, $r(t)$ を表すパラメータの同定結果を示す。次に、Harzellら⁴⁾が推定した断層面上のくい違い量分布を用いて断層破壊をモデル化し、断層破壊によって発生するインパルス列 $p(t)$ を模擬した。これはくい違い関数の2階微分形であるから図-5のようになる。さらに、模擬したインパルス列と先に同定した $g(t)$, $r(t)$ を用いて合成波形（太線）を作り観測波形（細線）と比較したのが図-6, 7である。ただし、図中 r は相関係数を表す。波の主要部はその相関係数も比較的大きく、最大値を与える波の到着時刻も観測波形と良く一致している。また、図-8, 9はフーリエスペクトルによる比較であるが、卓越振動数、スペクトルの形状においてほぼ良く一致しているといえる。以上の結果から、本研究におけるケプストラム解析、非線形逆解析を用いた位相特性の抽出法の有用性が確認された。

表-1 $g(t)$ の同定結果

	f_a	f_b	h_a	h_b
初期値	2.00	-0.08	0.30	0.06
収束値	1.21	-0.037	0.137	0.045
厳密値	1.20	-0.04	0.15	0.03

表-2 $r(t)$ の同定結果

	σ	β	T_r
初期値	0.06	-0.5	0.09
収束値	0.05	-0.5	0.08

表-3 $g(t)$ の同定結果 (E06)

	f_a	f_b	h_a	h_b
初期値	0.50	-0.05	0.20	0.05
収束値	0.83	-0.22	0.034	0.404

表-4 $r(t)$ の同定結果 (E06)

	σ	β	T_r
初期値	0.1	-1.2	0.1
収束値	0.078	-1.2	0.13

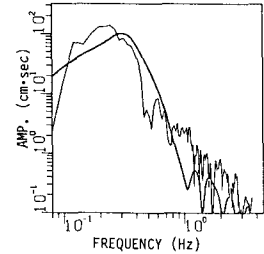
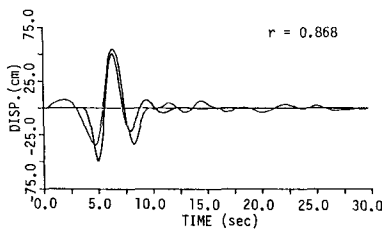


図-6 合成波形と観測波形の比較 (E06) 図-8 スペクトルによる比較 (E06)

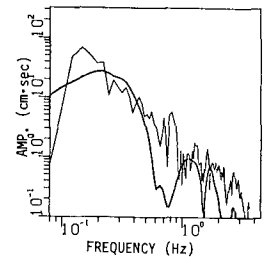
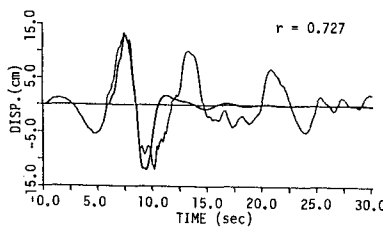
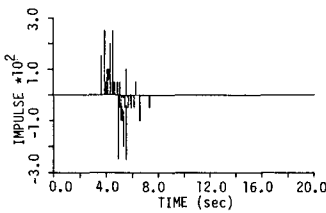


図-5 模擬インパルス列 (E06)

図-7 合成波形と観測波形の比較 (E11) 図-9 スペクトルによる比較 (E11)

参考文献 1) 森下巖・小畑秀文: 信号処理, 計測自動制御学会, pp. 149-173, 1982. 2) 土岐憲三・佐藤忠信・石塚憲: 地震動記録に含まれる多重震源過程の抽出, 第19回地震工学研究発表会, pp. 57-60, 1987. 3) Jacson, D. D. and M. Matsu'ura: A Bayesian Approach to Non-Linear Inversion, J. Geophys. Res., Vol. 90, No. B1, pp. 581-591, January 10, 1985. 4) Harzell, S. H. and D. V. Helmberger: Strong-Motion Modeling of the Imperial Valley Earthquake of 1979, B. S. S. A., Vol. 72, No. 2, pp. 571-596, April, 1982.