

梶谷エンジニア(株)中国支店 正員 ○藤原 豪紀  
 広島工業大学工学部 正員 中山 隆弘

1. はじめに 非定常スペクトルと時間に依存する位相を用いた地震動のシミュレーション法と因数分解に基づく地震動の合成法との比較を試みた<sup>1)</sup>。その過程で、地震動記録とその最小位相推移関数(MPS)や全域通過関数(AP)の各非定常スペクトルを算定した。本報告ではこれらの非定常スペクトルを示し、地震動の帯域波の群遅延時間やその平均値、分散との対応関係を検討することにより、地震動記録に対する MPS や AP の特性を非定常スペクトルによって評価できることを明かにする。

2. 地震動の因数分解 地震動  $x(t)$  のフーリエ変換を  $\bar{X}(\omega)$  とすると、 $\bar{X}(\omega)$  は次のように因数分解できる<sup>2)</sup>。

$$\bar{X}(\omega) = \bar{X}_M(\omega)\bar{X}_A(\omega) \leftrightarrow x(t) = \bar{X}_M(t) * \bar{X}_A(t) \quad (1)$$

ここで、 $M$  と  $A$  の添字はそれぞれ MPS と AP を表し、 $*$  は合成積を表す。また、 $\leftrightarrow$  は互いにフーリエ変換・逆変換の関係を表す。

$\bar{X}(\omega)$ 、 $\bar{X}_M(\omega)$ 、 $\bar{X}_A(\omega)$  は複素数であり、それぞれ位相が定義できる。各位相を順に  $\theta(\omega)$ 、 $\theta_M(\omega)$ 、 $\theta_A(\omega)$  とすると、地震動の群遅延時間  $t_{gr}(\omega)$  について次式が成立する。

$$t_{gr}(\omega) = \frac{d\theta(\omega)}{d\omega} = \frac{d\theta_M(\omega)}{d\omega} + \frac{d\theta_A(\omega)}{d\omega} \quad (2)$$

また、群遅延時間の平均値  $\mu_{t_{gr}}$  と分散  $\sigma^2$  は次式によって求めることができる<sup>3)</sup>。

$$\mu_{t_{gr}} = \frac{1}{2\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} |\bar{X}(\omega)|^2 t_{gr}(\omega) d\omega, \quad \sigma^2 = \frac{1}{2\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \left( \frac{d|\bar{X}(\omega)|}{d\omega} \right)^2 + |\bar{X}(\omega)|^2 \{t_{gr}(\omega) - \mu_{t_{gr}}\}^2 \right] d\omega \quad (3)$$

ここで、 $E = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\bar{X}(\omega)|^2 d\omega$  である。なお、式(3)-2 において右辺第一項を  $\sigma_{dA}^2$  と、第二項を  $\sigma_{tgr}^2$  とすると、 $\sigma^2 = \sigma_{dA}^2 + \sigma_{tgr}^2$  である。

3. 数値計算と考察 MPS と AP の一例として、兵庫県南部地震、Kobe EW の結果を、地震動記録と併せて図-1 に示す。図-2 には、Kobe EW の帯域波(中心周波数  $f_0=0.393\text{Hz}$ 、 $2.054\text{Hz}$ )と同帯域波の MPS、AP の群遅延時間を示す。 $f_0=0.393\text{Hz}$  では MPS の群遅延時間が、 $f_0=2.054\text{Hz}$  では AP の群遅延時間が、帯域波のそれと似た分布を示していることがわかる。また、帯域波の群遅延時間はおおよそ AP のそれと一致している。表-1 に帯域波とその MPS、AP の群遅延時間の平均値と分散を示す。平均値はほぼ、図-2 の結果と一致しており、また両中心周波数に対する群遅延時間の分散も同図と対応する結果を示している。式(2)の関係は  $f_0=2.054\text{Hz}$  で少し差があるが、その他の帯域波ではおおよそ成立している。

図-3 に帯域波とその MPS、AP の各非定常スペクトルを示す。図-3 は図-2 の群遅延時間とよく対応している。現在、群遅延時間の統計モデルでは正規分布が用いられ、単峰的な経時変化が想定されている。このようなモデルでは例えば、MPS の  $f_0=0.393\text{Hz}$  のような経時特性を推定することは難しい。非定常スペクトルのデータを群遅延時間に併せて蓄積することにより、モデルが改善できるものと思われる。特に、AP では振幅の重みが掛かっていないので、非定常スペクトルから包絡線を算定し、包絡線で囲む面積でそれを除した、いわゆる正規化包絡線を群遅延時間の分布形として代用できる可能性がある。

4. おわりに 地震動の MPS、AP の群遅延時間とそれらの非定常スペクトルがよく対応することを示した。また、このことから、地震動記録に対する MPS や AP の特性を非定常スペクトルによって評価できることを明かにした。

**参考文献** 1) 非正常スペクトルの算出法と同スペクトルによる模擬地震動のフーリエ解析による検討, 土木学会論文集投稿予定. 2) 和泉正哲, 勝倉裕, 大野晋: 地震動の因数分解に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第390号, 1988.8. 3) 和泉正哲, 勝倉裕: 地震動の位相情報に関する基礎的研究, 日本建築学会論文報告集, 第327号, 1983.5.

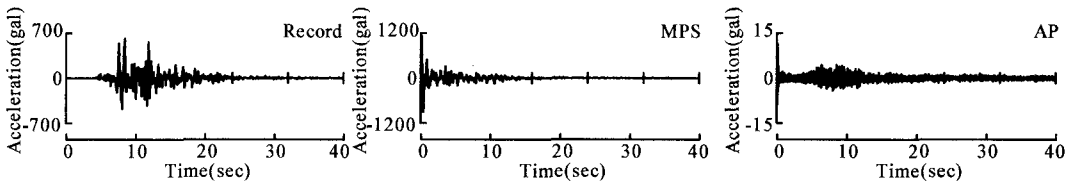


図-1 Kobe EWの地震動記録と最小位相推移関数(MPS), 全域通過関数(AP)

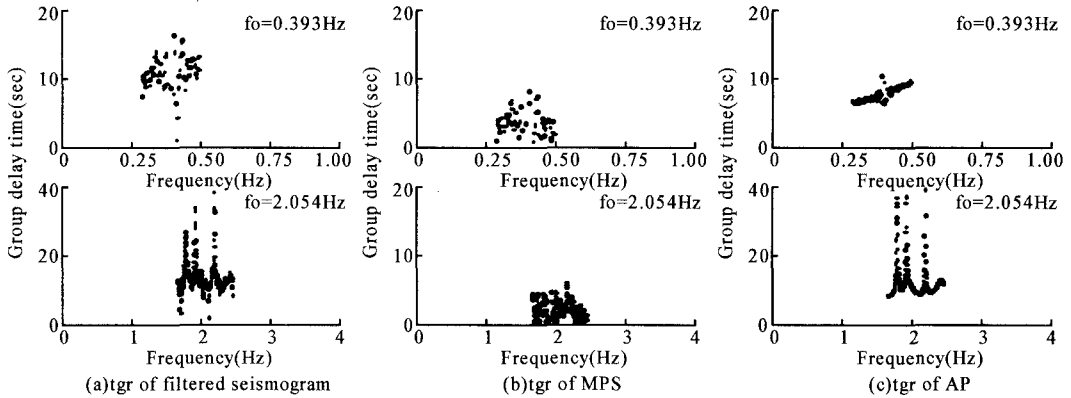


図-2 Kobe EWの帯域波と同帯域波のMPS, APの群遅延時間( $f_0=0.393\text{Hz}$  and  $2.054\text{Hz}$ )

表1 Kobe EWの地震動記録とそのMPS, APの群遅延時間の平均値と標準偏差

中心周波数	地震動記録				MPS	AP	MPSとAP の合計
	$\mu$ tgr	$\sigma$ dA <sup>2</sup>	$\sigma$ tgr <sup>2</sup>	$\sigma$ t <sup>2</sup>	$\mu$ tgr	$\mu$ tgr	
0.393Hz	11.36	29.27	5.60	34.87	3.77	7.66	11.43
2.054Hz	12.50	9.18	7.40	16.58	1.94	13.94	15.88
4.776Hz	11.32	8.38	7.34	15.72	1.85	10.59	12.44

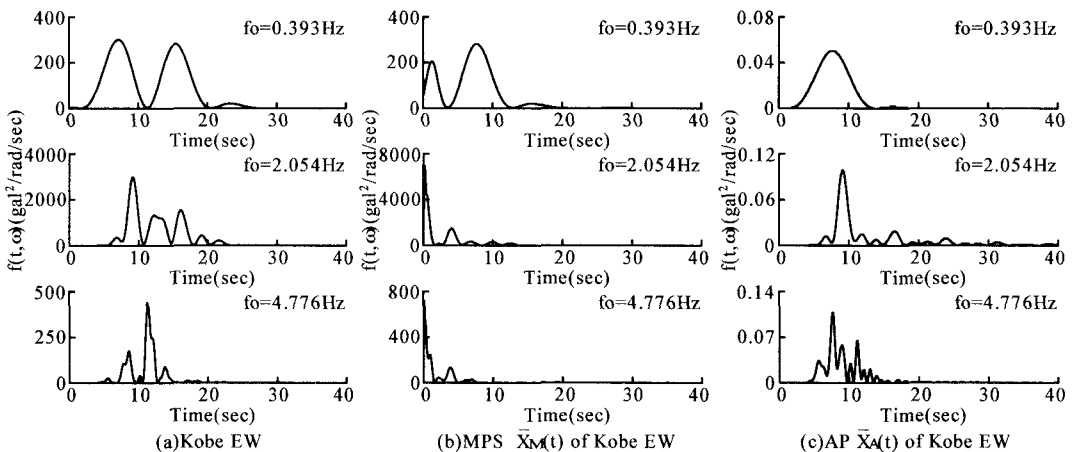


図-3 Kobe EWの非正常スペクトル; 同記録のMPSの非正常スペクトル; 同記録のAPの非正常スペクトル ( $f_0=0.393\text{Hz}$ ,  $2.054\text{Hz}$  and  $4.776\text{Hz}$ )