

地震動の群遅延時間の頻度分布に関する基礎的研究

広島工業大学大学院

学生員 ○竹本 康弘

梶谷エンジニア(株)

正会員 藤原 豪紀

広島工業大学工学部

正会員 中山 隆弘

1. はじめに フーリエ位相の傾きである群遅延時間が地震動の非定常性と密接に関連していることが指摘されている。佐藤ら¹⁾は、観測波を周波数帯域に分割して群遅延時間の統計モデルを提案している。そのモデルでは群遅延時間の頻度分布を正規分布と仮定しているが、まだ検討の余地があると述べている。一方、位相差分の分布と時刻歴包絡線の類似性が指摘されている²⁾。包絡線には位相差分に加えてフーリエ振幅も関係するが、地震動の帯域波の包絡線を議論することは、非定常スペクトルの形状を議論することに他ならない。本文では地震動の非定常スペクトルのモデル化を目的として、群遅延時間の頻度分布に関する若干の検討を行っているが、これは以上のように位相のモデルにも関係している。

2. 群遅延時間の算定法 地震動の群遅延時間の算定法としては、①和泉・勝倉³⁾の群遅延時間 $t_{gr}(\omega) \geq 0$ とする方法、②佐藤ら⁴⁾の波形の前に 0 をつけてフーリエ変換のリンク効果を避ける方法、③澤田ら⁵⁾のヒストグラムを算定し最頻値を中心に $t_{gr}(\omega)$ を $-T/2 \sim T/2$ (T : 地震動の継続時間) に展開し直す方法、が提案されている。著者が検討した限りでは②と③は良好な結果を与えるが、注意が必要な場合もある。やや特殊な例であるが、図 1 に Kobe EW に対する全域通過関数の帯域波の群遅延時間とフーリエ振幅を示す。全域通過関数の帯域波は Ormsby の帯域フィルター(中心周波数 $f_0=5.0\text{Hz}$)を用いて算定した。①ではリンク効果が、②では 0 データの付加による影響がフーリエ振幅に現れ、③が最も良好な結果を与えている。図 2 には Taft EW に対する帯域波 ($f_0=0.815\text{Hz}$) の群遅延時間の頻度分布を示す。この例では③において、事前に求めた $t_{gr}(\omega)$ の最頻値が区間分割数によって異なった値となっている。地震動に対する計算では $t_{gr}(\omega)$ の最頻値は区間分割数によらず安定している。本例のような場合、区間分割数を変えて最頻値の変化を調べる、あるいは最頻値の代りに平均値を用いるなどの対応が考えられる(表 1)。

3. 群遅延時間の頻度分布と帯域波の包絡線の比較 地震動の帯域波の包絡線は、a)包絡線の面積で規準化、b)包絡線の自乗を自乗積分値で規準化した。また、 $t_{gr}(\omega)$ の頻度分布は、i)単純に度数を数える、ii)群遅延時間 $t_{gr}(\omega_i)$ に $|X(\omega_i)|^2/E$ で重みをつけて度数を数える、の 2 ケースとした。ただし、 $X(\omega)$ は地震動の帯域波 $x(t)$ のフーリエ変換であり、 $\Delta\omega$ は $x(t)$ を FFT したときの円振動数間隔である。また、 E は次式で与えられる。

$$E = \frac{1}{2\pi} \sum_i |X(\omega_i)|^2 \Delta\omega \quad (1)$$

なお b)と ii)は、時刻歴波形の重心がそれぞれ包絡線の自乗とフーリエ振幅の自乗に関係する³⁾ことを考慮したものである。

4. 数値計算と考察 図 3 に包絡線 a)と頻度分布 i)の結果を併せて示す。地震動は Portisland NS で、帯域フィルター(矩形フィルター)の中心周波数は、1, 2, 4Hz としている。 $t_{gr}(\omega)$ は③法によって求めた。図 4 には、同じく包絡線 b)と頻度分布 ii)の結果を示している。両図の区間分割数は、図 4 で頻度分布の最大値がおおよそ包絡線のそれと一致するように試行錯誤的に決めた。傾向としては区間分割数を大きくするほどピーク値が大きくなる。両図では包絡線が単峰的な変化を示しており、頻度分布とも比較的一致している。特にフーリエ振幅の自乗による重みを考慮した ii)ではピーク部が強調され、同じく自乗で規準化した包絡線とよく一致している。このような例では、頻度分布を正規分布と、また非定常スペクトルを単峰的なモデルで仮定しても妥当と考えられる。図 5 には、Taft EW に対する包絡線 b)と頻度分布 ii)の結果を示している。本例では包絡線が多峰的な変化を示しており、図 4 ほどの両者の一致が見られない。しかし、頻度分布のおおよ

その傾向を把握することは可能である。なお、 $f_0=4\text{Hz}$ に対する分割数が図 4 の場合と異なっており、中心周波数に対して一律に分割数を決定することは難しいようである。

5. おわりに 地震動の帯域波の群遅延時間を算定する際の留意点を示し、さらに帯域波の包絡線と群遅延時間の頻度分布との対応について計算例を示した。帯域波の包絡線における多峰性と、フーリエ振幅を含めた群遅延時間との関係を明らかにできれば、時間・周波数両領域において一貫した地震動の非定常モデルの作成が可能になるものと思われる。

参考文献 1)佐藤, 室野, 西村: 観測波に基づく地震動の位相スペクトルのモデル化, 土木学会論文集, No.640/I-50, 2000. 2)大崎, 岩崎, 大川, 政尾: 地震波の位相特性とその応用に関する研究, 第 5 回日本地震工学シンポジウム, 1978. 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. 4)佐藤, 佐藤, 植竹, 菅原: 群遅延時間を用いたやや長周期地震動の経時特性評価のための基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 480 号, 1996. 5)澤田, 盛川, 土岐, 横山: 地震動の位相スペクトルにおける伝播特性・サイト特性の分離, 第 10 回日本地震工学シンポジウム, 1998.

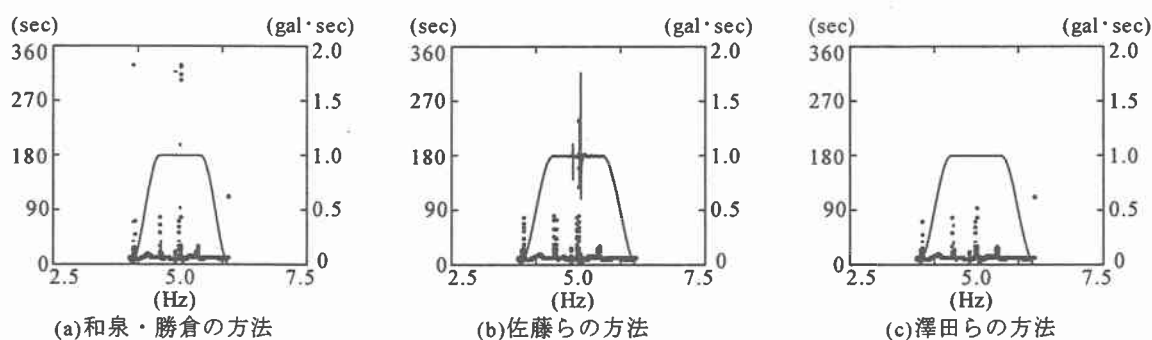


図-1 全域通過関数の帯域波の群遅延時間 (Kobe EW, $f_0=5.0\text{Hz}$)

表-1 ③法による群遅延時間

項目		群遅延時間の 平均値(sec)	同分散 (sec^2)
③法 区間 分割数	50	17.90	239.74
	100	23.83	354.22
	200	17.90	239.74
平均値を用いる方法		17.90	239.74

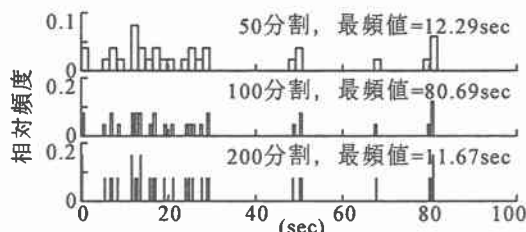


図-2 群遅延時間の頻度分布, 区間分割数による比較
Taft EW, $f_0=0.815\text{Hz}$

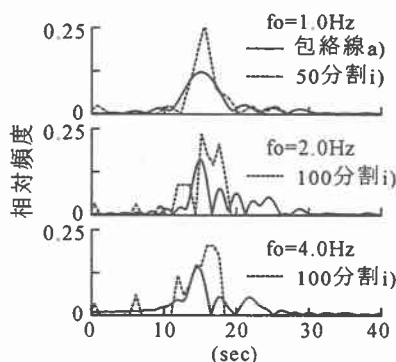


図-3 帯域波の包絡線と群遅延時間の頻度分布の比較 (Portisland NS)

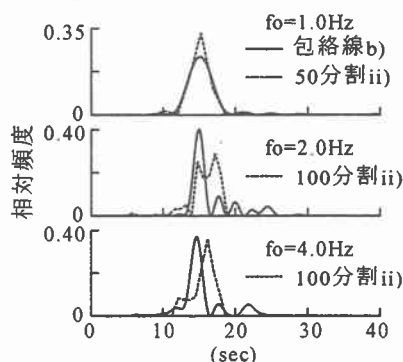


図-4 帯域波の包絡線と群遅延時間の頻度分布の比較 (Portisland NS)

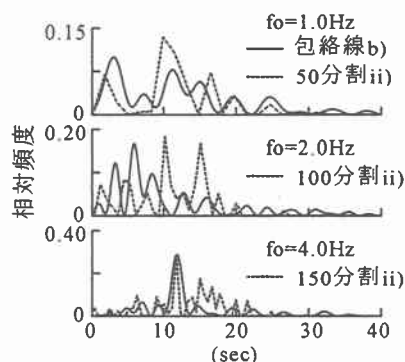


図-5 帯域波の包絡線と群遅延時間の頻度分布の比較 (Taft EW)