

京都大学工学研究科 正会員 土岐 憲三  
 京都大学工学研究科 正会員 盛川 仁  
 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男  
 京都大学大学院 学生会員 ○川崎 久仁生

1.はじめに 震源特性、伝播経路特性などが群遅延時間スペクトル<sup>1)</sup>(以下、 $t_{gr}(\omega)$ )の周波数特性に影響を与えることが分かっている<sup>2)</sup>。 $t_{gr}(\omega)$ の周波数特性が何に起因するかを調べておくことは、震源特性、伝播経路特性などについての理解を深め、ひいては強震動予測において有用な情報を提供しようものと考えられる。そこで本研究は、数値解析・理論解析の両面から  $t_{gr}(\omega)$ の基本的な性質を明らかにしようとするものである。最初に、 $t_{gr}(\omega)$ の扱いを容易にするために導入した平均・分散群遅延時間スペクトル<sup>3)</sup>の演算法の検討を行う。さらに、インパルス列の  $t_{gr}(\omega)$ の周波数特性が何に起因するか、という問題について検討する。

2.基本的性質の検討  $t_{gr}(\omega)$ の周波数ごとのばらつき<sup>3)</sup>の度合いを知るために平均・分散群遅延時間スペクトル ( $\mu_{gr}(\omega)$ ,  $\sigma_{gr}^2(\omega)$ ) を導入し<sup>3)</sup>、 $t_{gr}(\omega)$ の平滑化に関する検討を行った。合積で表現された時系列の  $t_{gr}(\omega)$ はそれぞれの  $t_{gr}(\omega)$ の和として表現できるので、 $\mu_{gr}(\omega)$ ,  $\sigma_{gr}^2(\omega)$ についてもこの線形性が成り立たなくてはならない。そこで、種々のウィンドウ関数を用いて平滑化を行った。図1にその一例を示す。この図より  $\mu_{gr}(\omega)$ ,  $\sigma_{gr}^2(\omega)$ を求める際には、ウィンドウ幅が対数軸上で等しい場合に、線形性を保ったまま  $t_{gr}(\omega)$ の周波数ごとのばらつきを表現できることがわかる。

$t_{gr}(\omega)$ は物理的要請から継続時間内の値を取ることが期待される。ところが、 $t_{gr}(\omega)$ は有界でないため、フーリエ変換を行うために後続のゼロをつけることで、 $t_{gr}(\omega)$ が全く異なる値を取る場合がある。そこで  $t_{gr}(\omega)$ が非有界関数であることに起因する数値計算上の不安定さを取り除くことができるように、 $t_{gr}(\omega)$ の最頻値を中心に継続時間  $T$ でラッピングし直して、 $\mu_{gr}(\omega)$ 及び  $\sigma_{gr}^2(\omega)$ を求めた。その結果、図2に示すとおり後続のゼロの数によらず安定した計算結果を得ることができた。

3.周波数特性について インパルス列がある確率密度関数  $f_j(t)$ にしたがって発生した場合を考え、そのインパルス列  $x(t)=\sum_k \alpha_k \delta(t-t_k)$ の  $t_{gr}(\omega)$ の周波数特性が何に起因するかを検討した。まず、図3に示すようにインパルス列を確率密度関数  $f_j(t)$ と相似な形の平均  $x_m(t)$ とそこからの変動成分  $x_s(t)$ に分離する。平均  $x_m(t)$ と変動成分  $x_s(t)$ それぞれのフーリエ振幅スペクトル、平均群遅延時間スペクトルとインパルス列  $x(t)$ のフーリエ振幅スペクトル、平均群遅延時間スペクトルの関係から、インパルス列  $x(t)$ の平均群遅延時間スペクトルは、平均  $x_m(t)$ と変動成分  $x_s(t)$ のフーリエ振幅スペクトルの大きい方の平均群遅延時間スペクトルを反映していること

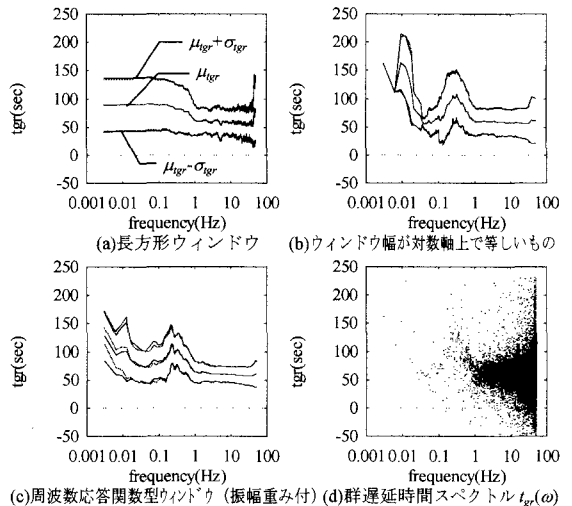


図1 周波数軸上での平滑化ウィンドウの比較

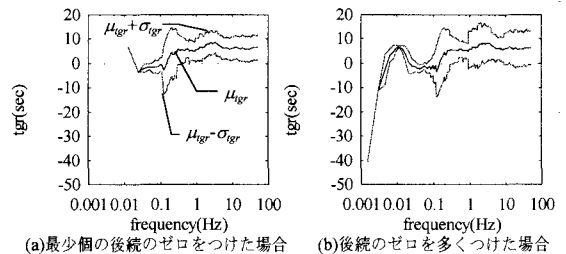


図2 後続のゼロの影響

がわかった (図4)。よってインパルス本数  $N$ 、確率密度関数  $f_T(t)$  が与えられれば、平均が、 $x_m(t) = Nf_T(t)\Delta t$ 、変動成分が、 $x_s(t) = \sqrt{Nf_T(t)\Delta t(1-f_T(t)\Delta t)} \cdot N(0,1)$  となることを用いて、それぞれのフーリエ振幅スペクトル、平均群遅延時間スペクトルを求めることができる。インパルス列  $x(t)$  の  $\mu_{igr}(\omega)$  を求める手順を図5に示す。図6に図5にしたがって求めた  $\mu_{igr}(\omega)$  と、FFTによって直接求めたものを重ねて示す。

4.まとめ 本研究によって得られた成果を以下にまとめる。(1)平均・分散群遅延時間スペクトル ( $\mu_{igr}(\omega)$ ,  $\sigma_{igr}^2(\omega)$ ) を求める際には、ウィンドウ幅が対数軸上で等しいものにより、線形性を保ったまま  $t_{gr}(\omega)$  の周波数ごとのばらつきを表現できた。(2) $t_{gr}(\omega)$  の算出法を工夫することで後続のゼロの数に影響されずに安定して  $\mu_{igr}(\omega)$ ,  $\sigma_{igr}^2(\omega)$  を求めることができた。(3)インパルス列がある確率密度関数  $f_T(t)$  に従って発生した場合、インパルス列を平均  $x_m(t)$  と変動成分  $x_s(t)$  に分けて考えることで、インパルス列の  $\mu_{igr}(\omega)$  の周波数特性は平均  $x_m(t)$  と変動成分  $x_s(t)$  のうちフーリエ振幅の大きい方の成分を反映していることが分かった。(4)インパルス列の発生時刻の確率密度関数  $f_T(t)$  とインパルス本数  $N$  が与えられれば、インパルス列の時刻歴の実現値を用いずに直接インパルス列の  $\mu_{igr}(\omega)$  を求め得ることを示した。

- 参考文献 1) 和泉正哲・勝倉裕：日本建築学会論文報告集，第327号，pp.20-27，1983  
 2) 澤田純男・盛川仁・土岐憲三・小野祐輔：第2回都市直下地震災害シンポジウム，pp.115-118，1997  
 3) 澤田純男・盛川仁・土岐憲三：地球惑星科学関連学会1996年合同大会，1996。

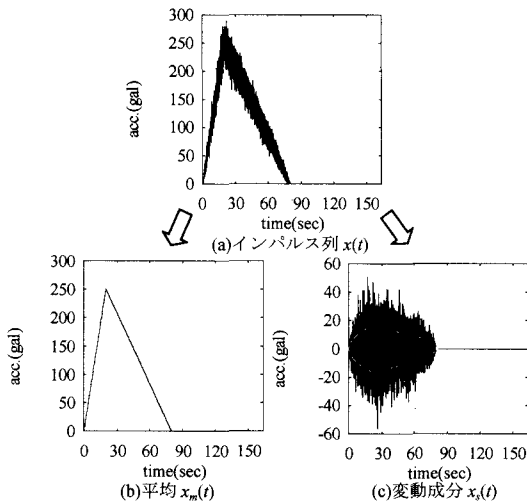


図3 平均と変動成分への分離

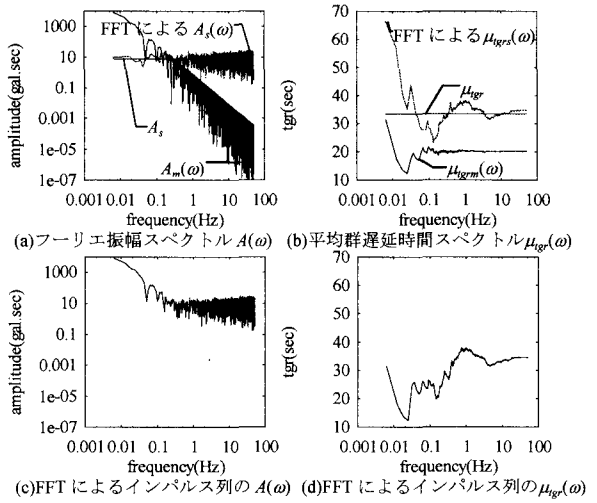


図4 平均と変動成分の  $A(\omega)$ ,  $t_{gr}(\omega)$

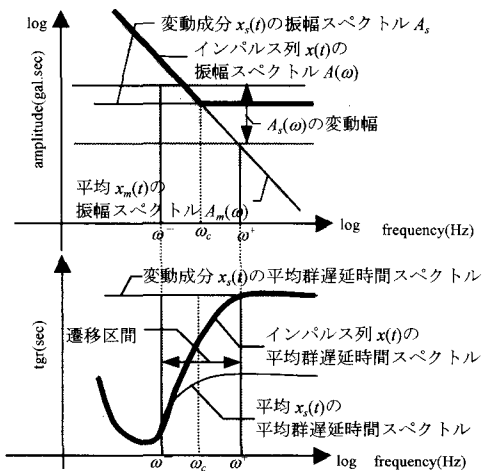


図5 インパルス列の平均群遅延時間スペクトル

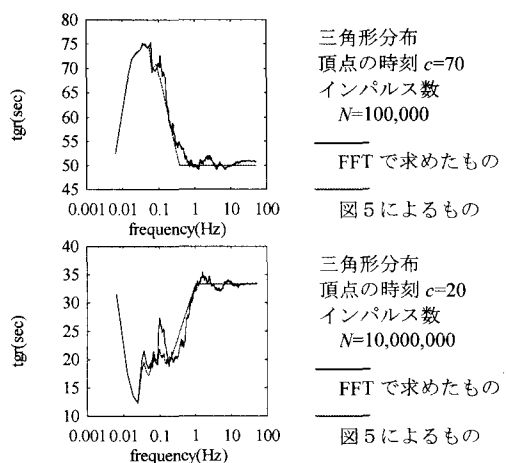


図6 平均群遅延時間スペクトルの例