

実地震動のフーリエ位相特性のモデル化とその応用

徳島大学工学部 正員 澤田 勉  
 徳島大学工学部 学生員 椎野彰浩  
 セントラルコンサルタント 八木 登

1. まえがき 近年、地震動をうける構造物の応答を不規則振動論により理論的に求めようとする研究がなされている。地方、実地震動の特性、とくにその非定常性を明らかにしようとする研究もなされ、そのような特性をもつ地震動モデルが提案されている。<sup>1),2)</sup>このようなモデルは、実地震動の複雑な特性を忠実に反映している反面、非常に複雑であり、それによる構造物の応答を理論的に求めることは難しい。不規則振動論を用いて理論解析を行う場合には、実地震動の特性を反映し、かつなるべく簡潔な形で地震動をモデル化することが必要である。最近、大崎らは<sup>3)</sup>強震記録のフーリエ解析より得られるフーリエ位相の差分の頻度分布(位相差分分布)が地震動の非定常性と密接に関連していることを報告している。本報告では、実地震動の位相差分分布をモデル化し、それを用いて模擬地震動を作成する手法を提案する。とくに、地震動を前半部と後半部に分離して、それぞれを独立にモデル化し、実地震動に見られる非定常性を簡略な形で表現することを試みた。

2. 実地震動の位相差分分布とそのモデル化

地震波をフーリエ変換するとフーリエ振幅とフーリエ位相が得られる。位相差分 $\Delta\phi_k$ は、フーリエ位相 $\phi_k$ の差分として定義され、

$$\Delta\phi_k = \phi_{k+1} - \phi_k, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

となる。位相差分分布は、この位相差分の頻度分布であり、大崎らは、この分布の平均と分散がそれぞれ、時刻歴における強震部を中心時刻およびその広がりに対応することを示した。強震記録の位相差分分布を求め、その累積確率を正規確率紙上にプロットすると、Fig.1の●印のようになり、その形状は、勾配の異なる2つの直線でほぼ近似でき、それらは地震波の前半部および後半部の位相差分分布に対応しているように見える。そこで、本研究では、地震動の位相差分分布を次に示すような2つの正規分布の和として表わした、

$$f(\Delta\phi) = \frac{2}{\sigma_1} f_1(\Delta\phi) + \frac{2}{\sigma_2} \frac{a_i}{\sqrt{2\pi} \sigma_2} \exp\left\{-\frac{(\Delta\phi - \mu_i)^2}{2\sigma_2^2}\right\} \quad (2)$$

ここで、 $a_i, \mu_i, \sigma_2$ はそれぞれ、2つの正規分布でモデル化した場合の係数、平均、および標準偏差を表わす。これらの値は、実地震動の位相差分分布より求めたモーメントと、モデルのそれらが一致するようにして決定した。このようにして求めた $a_i, \mu_i, \sigma_2$ を式(2)に代入してモデルの位相差分分布を求めFig.1に示した(△印)。図より、両者の誤差は小さく、実地震動の位相差分分布が式(2)により近似できることがわかる。

3. 位相差分分布を用いた模擬地震動の作成 筆者らは以前に、位相差分が地震波に含まれる各周波数成分の到着時刻に対応することを報告している。<sup>4)</sup>このことと前節で述べた位相差分分布のモデルを用いて、以下に示すような手法により模擬地震動を作成する。まず、地震波の前半部と後半部が、Fig.1に示すように異なる特性をもつと考え、それぞれの部分を強調するような時間領域でのウィンドーを地震波 $x(t)$ に乗じる。ウィンドーの形としては、位相差分分布が周波数成分の到着数に対応することから、到着数で重み付けをした次のような形のウィンドーを用いた。  $W_i(t) = f_i(\Delta\phi/\Delta\omega)/f(\Delta\phi/\Delta\omega) \quad i=1,2 \quad (3)$  ここで、 $f_i$ および $f$ は式(2)で定義される分布形であり、 $W_1$ および $W_2$ はそれぞれ、地震波の前半部および後半部を強調す

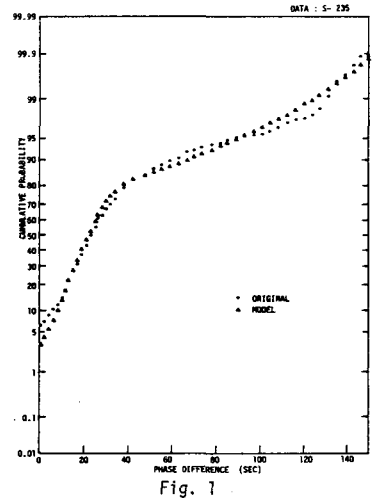


Fig. 1

るウィンドーとなっている。ただし、式(2)の位相差分布  $f(\Delta\phi)$ ,  $f_s(\Delta\phi)$  の変数  $\Delta\phi$  は、式(3)では  $\Delta\phi/\Delta\omega$  の形にして、時間に変換している。Fig. 2には、式(2)の位相差分布のモデルより求めた分布形と、式(3)より得られるウィンドー関数の形状を示す。図より、 $W_1$ ,  $W_2$  がそれぞれ、地震波の前半部および後半部を強調するウィンドーになっていることがわかる。本論では、地震波  $x(t)$  に、ウィンドー  $W_1$ ,  $W_2$  を乗じて、前半部と後半部に分離した後、それらを独立にモデル化する。地震波は、フーリエ振幅とフーリエ位相を与え、それを逆変換することにより作成する。フーリエ位相は、式(2)によりモデル化された位相差分布を用いて、 $i = 1, 2$  の場合に対して、それぞれ独立に発生しうる。また、フーリエ振幅については、次式より求めた振幅を用いる。

$$A_i(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} W_i(t) \cdot x(t) e^{-j\omega t} dt \quad i=1, 2 \quad (4)$$

実際には、 $W_i(t) \cdot x(t)$  を高速フーリエ変換して、振幅  $A_i(\omega)$  を求める。このようにして得られたフーリエ振幅とフーリエ位相を、地震波の前半部、後半部に対して独立に与え、逆変換して合成すると模擬地震動が得られる。Fig. 3には、1968年十勝沖地震の際に青森で得られた強震記録の前半部および後半部を分離した後、それらを独立にシミュレートした場合のフーリエ振幅と応答スペクトルを表わす。実線は前半部、点線は後半部のものである。この図より、前半部では短周期波が卓越し、後半部では長周期波が卓越していることがわかる。Fig. 4には、実地震動および合成波のフーリエ振幅スペクトルと応答スペクトルを示す。これらの図より、模擬地震動と実地震動のスペクトル特性の差異が小さいことがわかる。対象とした地震動は、Fig. 5(a)に見られるように、強震部と減衰部でその周波数特性が異なり、周波数の非定常性が顕著に現われている。このような地震動に対して、振幅の非定常性のみを考慮したモデルでは、モデルと実地震動の特性にはかなりの差異が生じるが、本論で提案したモデルでは誤差が小さく、地震波の前半部と後半部を別個にシミュレートすることの有効性が示された。Fig. 5には、実地震動および模擬地震動の波形とそれらの位相差分布を示す。両者はよく対応していることがわかる。

4. おとがき 本報告では、地震波の前半部と後半部を分離した後、それらを別個にシミュレートし、模擬地震動を作成し、実地震動と比較した。その結果、実地震動に見られる周波数の非定常性も含めた諸特性をある程度再現することができた。本モデルは、地震波の前半部と後半部をそれぞれ、振幅非定常モデルによりシミュレートすることに対応しており、不規則振動論により理論解析しうる可能性があると考えている。本研究で用いた強震記録は、京都大学工学部交通土木工学科後藤研究室所蔵のものである。記して謝意を表します。参考文献 (1)後藤, 亀田, 杉戸; 土木論文集, No. 286, 1979, 6. (2)星谷, 千葉, 草野; 土木論文集, No. 245, 1976, 1. (3)大崎, 岩崎, 大川, 政尾; 才5回日本地震工学シンポジウム, 1978. (4)澤田, 才16回地震工学研究発表会, 1981, 7.

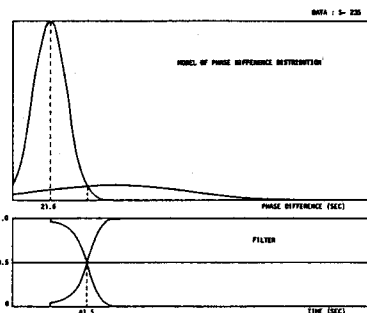


Fig. 2

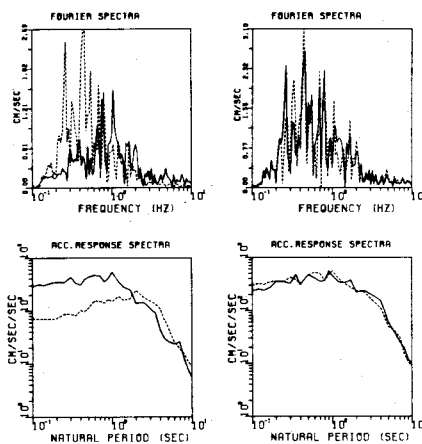


Fig. 3

Fig. 4

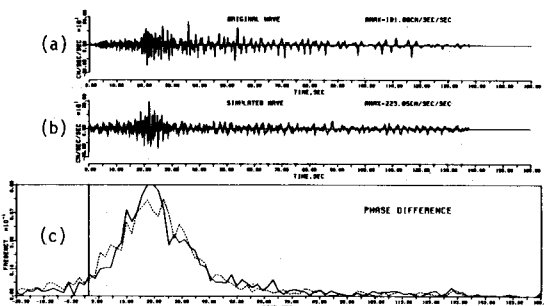


Fig. 5