

長崎大学 工学部 ○学生員 江頭雅人

長崎大学 工学部 学生員 江島 修

1 はじめに 地震動のように振幅の包絡線ばかりか周波数特性も時間的に変化する非定常確率過程に対し、非定常パワースペクトラムによる分析が行われ、その非定常性の構造が明らかになりつつある。一方地震外力を受ける構造物の応答解析のためには、このような非定常性を考慮した地震動をモデル化しなければならない。従来のモデル化は、各時刻におけるパワースペクトラムの大きさのみ変化して、その形状は変化しない。非定常パワースペクトラムの理論を用いると、その形状を変化させるモデル化が可能である。本研究においては、非定常パワースペクトラムと従来のパワースペクトラムおよび、地震波形を直接積分した任意時刻におけるパワーとの関係を示し、さらに、非定常パワースペクトラムのモデル化の手法を説明した。実際の分析は ELCENTRO 1940 NS について行い、2種類のモデル化した非定常波形と比較しモデルの妥当性を検討する。

2 非定常パワースペクトラム $x(t)$ を非定常確率過程とすると、これは次式で表現される。

$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} A(t, \omega) e^{j\omega t} dZ(\omega) \dots (1)$
 ただし、 $A(t, \omega)$ ；狭帯域定常過程を変調する時間関数、 $Z(\omega)$ ；直交過程であり、次の関係がある、 $E\{[Z(\omega)]^2\} = \mu(\omega)$ 。非定常パワースペクトラムは次式で定義される。 $G(t, \omega) = |A(t, \omega)|^2 \cdot f(\omega) \dots (2)$
 ただし、 $d\mu(\omega) = f(\omega)d\omega$ である。実際の非定常過程 $x(t)$ から非定常スペクトラムを求めるためには、 $x(t)$ を狭帯域透過し、その出力のエネルギーを評価する。計算は次の式で行う⁽²⁾

$$\ddot{y}(t) + 2\gamma\omega \dot{y}(t) + \omega^2 y(t) = x(t) \quad \text{--- (3)}, \quad R(t) = \dot{y}(t)^2 + y(t)^2/\omega^2 \quad \text{--- (4)} \quad G(t, \omega) = (2R\omega^2/\pi)E(R^2 t)$$

3 非定常パワースペクトラムと従来のパワースペクトラムの関係 従来のパワースペクトラムの定義として次式を用いる。 $S(\omega) = E\{X(\omega)X(\omega)^*\}$ ただし、 $X(\omega)$; $x(t)$ の Fourier 変換、 $*$ 複素共役を示す記号。非定常過程の直接 Fourier 変換によるパワースペクトラムは、非定常パワースペクトラムの時間平均となり、次式が得られる。 $S(\omega) = 1/T \int_0^T G(t, \omega) dt$ ----- (6) 0.37

次に任意時刻におけるパワー $g(t)$ について考えると、非定常パワースペクトラムの定義より次式になる。

$$g(t) = \int_0^\infty G(t, \omega) d\omega \quad \text{--- (7)}$$

また、パワーの定義より、次式が

成立する, $g(t) \doteq \sum_{i=1}^N \frac{1}{t} \int_{T_i}^{T_{i+1}} x(t)^2 dt$

これらの式を基礎として、ELCE-NTRO 1940 NS について計算した。

非定常パワースペクトラムによる

計算では、 δ を大きくとると、平均化パワースペクトラムが滑らかになり、その反面パワーの時間変化は、鋭くなる。 δ の値は、時間領域と周波数領域において相反性を示す。このことは文献(2)でも指摘されている。本研究においては、従来のスペク

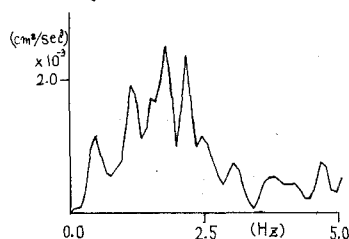


Fig. 4 FFTによるパワースペクトラム

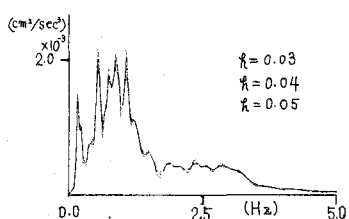
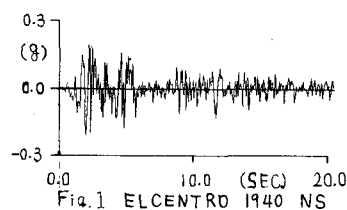


Fig.5 非定常パワースペクトラムの時間平均



1.

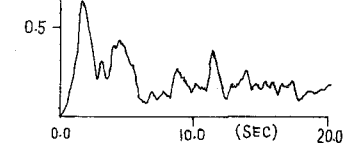


Fig2 形狀関数(Gauss積分)

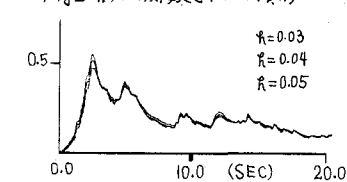


Fig.3 形状関数(非定常パワースペクトラム)

トラムはFFTにより求めたが、これとの比較のために $R=0.03$ を用いた。

4 パワースペクトラムの合成 次に非定常パワースペクトラムのモデル化を行う。近似的に非定常パワースペクトラム $G(t, \omega)$ は次式で表される。 $G(t, \omega) = \sum_{i=1}^N g_i(t) S_i(\omega)$ ---- (8) $S_i(\omega)$ は狭帯域過程

のパワースペクトラム。 $g_i(t)$; $S_i(\omega)$ の時間的変化を示す形状関数で、次のように規格化する。 $\frac{1}{T} \int_0^T g_i(t) dt = 1$ ---- (9)

すると $S(\omega)$ の近似として次式を用いる。 $\hat{S}(\omega) = \sum_{i=1}^N S_i(\omega)$ ---- (10) (cm/sec)

ここで、 $S_i(\omega)$ として次式を用いる。 $S_i(\omega) = 4\beta_i r_i^2 (\beta_i^2 + r_i^2 + \omega^2) / \{(\beta_i^2 + r_i^2 + \omega^2)^2 + 4\beta_i^2 \omega^2\}$ ---- (10) $S(\omega)$ の近似として $\hat{S}(\omega)$ は既

の規格を用いる。(i) $S(\omega)$ と $\hat{S}(\omega)$ の*N*個のピークを一致させる。(ii) $\hat{S}(\omega)$

と $\hat{S}(\omega)$ の面積を一致させる。計算は次式を用いて行う。すなわち、初期値

も逐次修正して上記(i), (ii)の規格を満足させる。 $S(\omega) = \hat{S}(\omega) + 4 S(\omega)$

---- (11) 初期値の決定は、 $S_i(\omega)$ の各々が $\hat{S}(\omega)$ の*i*番目のピークと、外

一点を一致させる。ピークにおける値を S_{i1} , ω_{i1} , 他の値を S_{i2} , ω_{i2}

とし、 $S_i(\omega)$ は $\omega = (\beta_i^2 + r_i^2)^{1/2}$ でピークをもつものとする。と、 β_i^2 , r_i^2 , r_i^2 は次式で与えられる。

$\beta_i^2 = -S_{i2}(\omega_{i2}^2 - \omega_{i1}^2) / 2\omega_{i1}^2 S_{i2} - S_{i1}(\omega_{i1}^2 + \omega_{i2}^2)$ ---- (12-1) $r_i^2 = S_{i1} \beta_i$ ---- (12-2) $r_i^2 = \omega_{i1}^2 - \beta_i^2$ ---- (12-3)

以上の計算の結果はFig. 6に示した。ここで、0 ~ 3.4 Hzまでの面積は、 $S(\omega)$ は 0.3601×10^{-2} , $\hat{S}(\omega)$ は 0.36

03×10^{-2} である。5. 地震動のモデル化 上記(8)式により非定常パワースペクトラムはモデル化

される。ここで、地震動波形モデル化として次の2種を考える。(i) N0.1モデル $f(t) = g(t) \sum_{i=1}^N g_i(t)$ ---- (13)

*N*個のピークをもつ狭帯域過程をパワーの時間的変化を示す形状関数で一様に変調した場合。(ii) N0.2モデル

$f(t) = \sum_{i=1}^N g_i(t) \eta_i(t)$ ---- (14) *N*個のピークをもつ狭帯域過程を各々のパワーの時間的変化を示す形状

関数で変調した場合。前者のパワースペクトラムの形は一樣であるが、後者は変化する。各々のモデルに対する

パワースペクトラムと、実際の波形のパワースペクトラムを下図に示した。N0.1モデルは従来用いされたもので

あるが、実際のパワースペクトラムと比較すると大きな隔があることがわかる。N0.2モデルとの比較では、1.5

Hz, 25 Hz付近で、実際の波形はピークがある。特に25 Hz 付近のピークは125秒以後に生じている。この条件

をも含めて合成しなければならぬ。[参考文献] (1) S.C. Liu, Bull. Seism. Am., Vol. 60, N0.3 June

1970, PP 891 ~ 900. (2) 竜田弘行, 土木学会論文集, 第235, 1975年3月, PP 55 ~ 62

Fig. 6 合成したパワースペクトラム

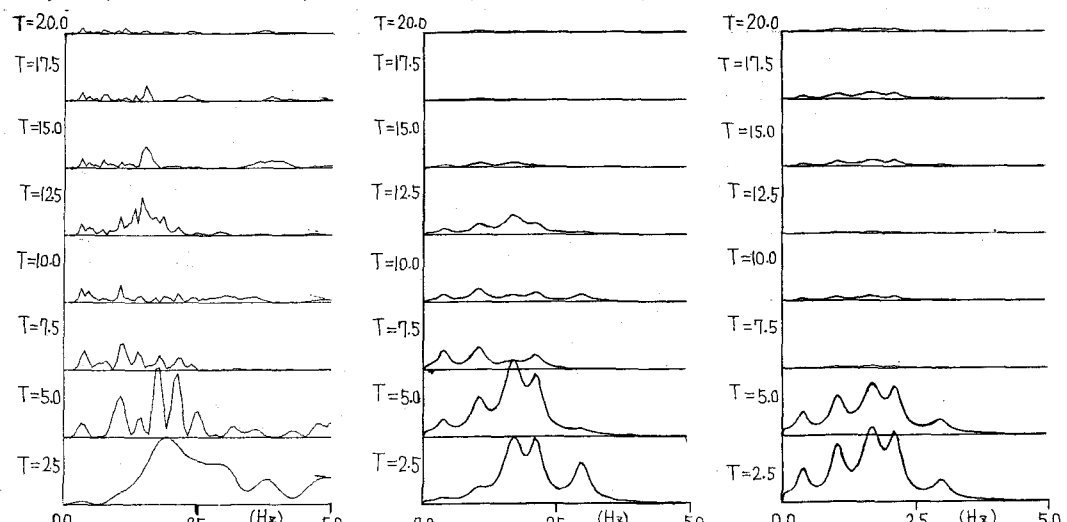


Fig. 6 合成したパワースペクトラム

Fig. 7 非定常パワースペクトラム

Fig. 8 N0.2モデルの非定常パワースペクトラム

Fig. 9 N0.3モデルの非定常パワースペクトラム