

京大工学部 正会員 亀田弘行 京大大学院 学生会員 杉戸真太

1. まえがき 構造物の動的設計用入力地震動としては、実地震記録のほか、予想される統計的性質を備えた人工地震波が用いられる。人工地震波の作成に当っては、目標とする線形応答スペクトルを与えるなどの規範が用いられてきたが、構造物の破壊をも含めた耐震安全性を評価するためには、終局状態における構造物の応答特性を予測することが必要である。そのために、弾塑性系の応答特性を平均的に再現するような地震動のモデル化の方法を提案した¹⁾。そこでは、定常確率過程と確定包絡線関数の積で与えられる、いわゆる擬定常過程で地震動を表わし、等価な継続時間を定義することにより目標とするモデルを得たが、現在これを拡張し、非定常スペクトルを有するモデルを設定する作業を進めている。ここではその中で、非定常スペクトルの時間特性のモデル化について検討を行った結果を報告する。

2. 非定常スペクトルの時間曲線のモデル化

人工地震波 $x(t)$ を次のような非定常過程で表現する。

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{2G_x(t, \omega_k) \Delta\omega} \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 $G_x(t, \omega)$ は非定常パワースペクトル、 $\omega_k = 2\pi f_k + (k-1)\Delta\omega$ 、 $\Delta\omega = 2\pi(f_u - f_l)/(m-1)$ 、 ϕ_k は一様に分布するランダム位相角である。また、振動数の上・下限は、わが国の強震記録の特性を考慮して $f_u = 15\text{Hz}$ 、 $f_l = 0.1\text{Hz}$ とし、また $m = 251$ とした。

非定常パワースペクトル $G_x(t, \omega)$ を次式でモデル表示する。

$$\sqrt{G_x(t, \omega)} = \begin{cases} 0 & ; \quad t \leq t_s \\ \frac{\alpha_m(t - t_s)}{t_p} \exp\left(1 - \frac{t - t_s}{t_p}\right) & \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 $t_s = t_s(f)$ および $t_p = t_p(f)$ は時間パラメーター、 $\alpha_m = \alpha_m(f)$ は $\sqrt{G_x(t, 2\pi f)}$ の最大値で、い

ずれも振動数 f の関数であり、以下のようにして算出する。はじめに、実地震記録 $y(t)$ の非定常パワースペクトル $G_y(t, 2\pi f)$ をマルチフィルターを用いて²⁾算出する。 $G_y(t, 2\pi f)$ の値が最大値の ε 倍(ここでは $\varepsilon = 0.1$)

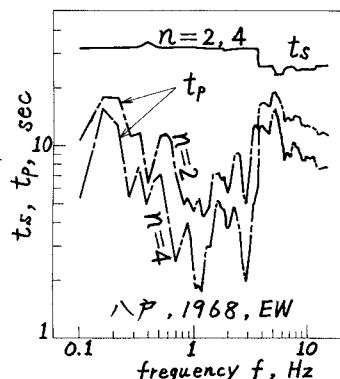


図-1 時間パラメーター t_s, t_p

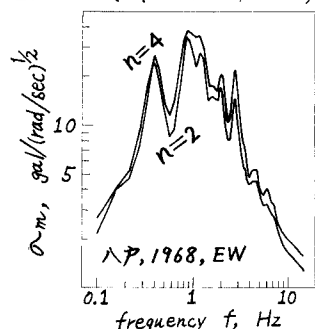


図-2 強度パラメーター α_m

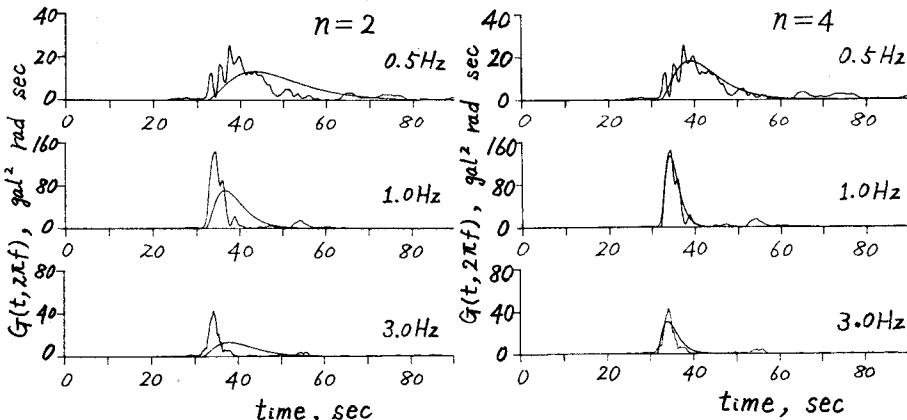


図-3 非定常パワースペクトル (ハブ, 1968, EW)

とする)を初めて超える時刻を $t_s(f)$ とする。さらに、任意定数 n を導入し、次の関係式を満足するように $\chi(f)$ と $\phi_n(f)$ を求める。

$$\begin{cases} \int_0^\infty \{G_x(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt = A_0 = \int_0^\infty \{G_y(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt \\ \int_0^\infty t \{G_x(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt = A_1 = \int_0^\infty t \{G_y(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt \end{cases} \quad (3)$$

この段階ではパラメーター n の値は未定であるが、 $x(t)$ と $y(t)$ に対する非弾性応答が平均的に一致するように n の値を定める。この n は、筆者が用いた継続時間パラメーターと同様の意味を持つもので、 n の最適値を見出すことにより、有効なモデル化を行うことができる。

3. 計算結果と考察

わが国で得られた地震記録10成分(最大加速度は80 gal以上)について上記の方法で $G_x(t, \omega)$ のモデル化を行なった。

パラメーター n は $n=1, 2, 4$ の3通りとした。図-1に時間パラメーター t_s および t_p 、図-2に強度パラメーター ϕ_n 、図-3に非定常パワースペクトルの例を示した。いずれも $n=2, 4$ の2つの場合を示してある。

また、図-4は得られたモデルの模擬地震波である。原加速度記録に対して各1個ずつ模擬地震波を作成し、さらにそれらに対する弾性系の応答解析を行って、与えられた靱性率に対する降伏変形スペクトル V と全履歴エネルギー E を求めた。また、地震動の最大加速度 a 、全パワー P とする。以上について、シミュレーションによる誤差を次のように表わす。

$$V_d = \ln(V_s/V_r), V_e = \ln(E_s/E_r), V_a = \ln(a_s/a_r), V_p = \ln(P_s/P_r)$$

ただし、添字 s, r はそれぞれ模擬地震波、実地震記録を表わす。

これらの諸量の10個の記録に関する平均値と標準偏差を図-5および表-1に示した。表-1の a, P に関しては $\bar{V}, \phi_r$ とともに十分小さく、シミュレーションの精度が十分であることを示している。また、図-5の V, E に関しては、 $\bar{V}$ は $-0.1 \sim 0.5$ 、 ϕ_r は 0.6 以下の範囲にほぼ入っている。このように、 n によってシミュレーション誤差があまり変化しないのは式(2)のような指数関数型包絡線の特徴であるが³⁾、図-3, 4から、波形特性によく追従させるためには $n=4$ 程度をとるのが適當のようである。

- 1) Kameda, Ang; 6 WCEE, 1977, Preprint, Vol. 2. 2) 亀田; 土木学会論文報告集, 235号, 昭.50.
3) 亀田; 土木学会耐震工学委員会資料, 昭.52. 4.

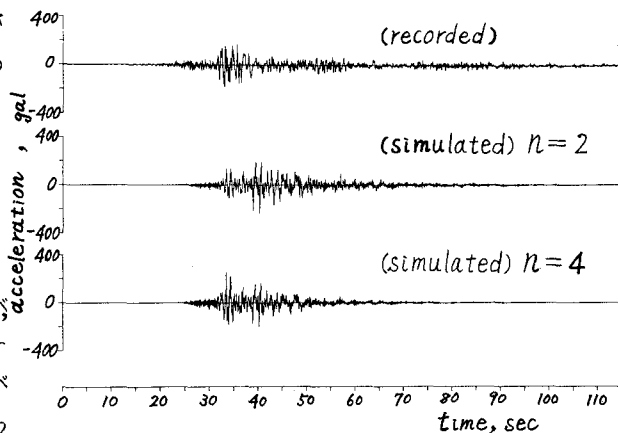


図-4 模擬地震波の例(八戸, 1968, EW)

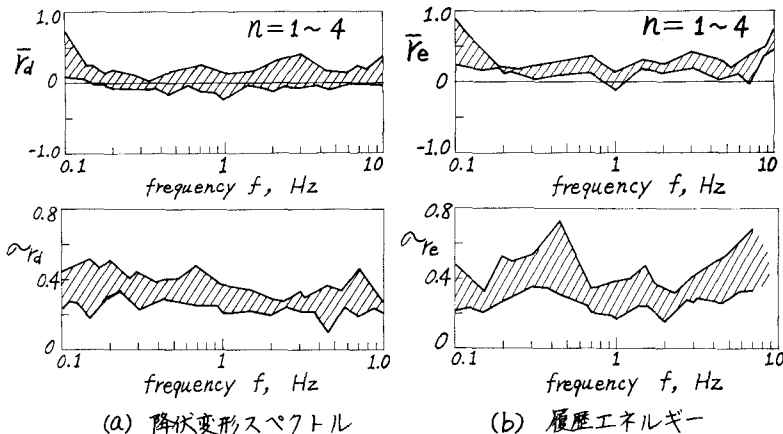


図-5 非弾性応答におけるシミュレーション誤差の平均と標準偏差

表-1 最大加速度および全パワーに関するシミュレーション誤差の平均と標準偏差

	$n=1$	$n=2$	$n=4$
最大加速度			
$\bar{V}_a$	0.04	0.12	0.17
ϕ_{V_a}	0.43	0.30	0.34
全パワー			
$\bar{V}_P$	0.07	0.05	0.08
ϕ_{V_P}	0.16	0.05	0.08