

1. まえがき

地震応答解析を行う場合、入力としての地震動を確率過程でモデル化する事はよく行われるが、構造物は解析可能な確定モデルに置き換えて解析するのが一般的である。しかし構造物は、それを構成する部材強度のばらつきや、施工におけるばらつき等の種々な不確定要素を内在させているのが実情であろう。これら各種構造物のばらつきを確率変動量として取り扱った、確率構造モデルの自由振動については、文献(1)で報告した。今回はこの確率構造モデル(弾性せん断ばりモデル)に、実地震波および非定常模擬地震波を入力させた時の応答量を数値計算してみた。

2. 確率構造モデル

解析に用いた構造モデルは、8自由度系弾性せん断ばりである。各質量 M_i およびバネ定数 K_i はそれぞれ次のように与えられるものとする。

$$M_i = m_i + \alpha_i, \quad K_i = k_i + \beta_i \quad \text{----- (1)}$$

ここで m_i, k_i は確定量であり、 α_i, β_i は平均値 0 で、 m_i, k_i に較べ小さな確率変動量である。

確率変動量 α_i と β_i の相関係数は次式の指数関数で与えられるものとする。

$$\begin{aligned} \rho_{\alpha_r} &= E[\alpha_r \alpha_s] / \sigma_{\alpha_r} \sigma_{\alpha_s} = \exp[-A_1 |r-s|] \\ \rho_{\beta_r} &= E[\beta_r \beta_s] / \sigma_{\beta_r} \sigma_{\beta_s} = \exp[-A_2 |r-s|] \\ \rho_{\alpha\beta} &= E[\alpha_r \beta_s] / \sigma_{\alpha_r} \sigma_{\beta_s} = B_1 \cdot \exp[-A_3 |r-s|] \end{aligned} \quad (r, s = 1, 2, \dots, n) \quad \text{---- (2)}$$

ここで $\sigma_{\alpha_r}, \sigma_{\beta_r}$ は確率変動量 α_r, β_r の標準偏差であり、 A_i および B_1 は相関性の強さを表わす定数である。 $\sigma_{\alpha_r}, \sigma_{\beta_r}, A_i$ および B_1 をどのように決めるか問題になるところであるが、今回の数値計算に使用した確率構造モデルの諸数値を表-1に示す。なお確率構造モデルについての詳細は、文献(1)を参照していただきたい。

3. 非定常模擬地震波

入力として用いた地震波は Taft (N21E, 173.8 gal, July 21, 1952) および非定常確率過程モデルにより作成した模擬地震波(5波)である。この非定常模擬地震波の作成には、次式で与えられる調和関数型モデルを使用した(文献(2)参照)。

$$x(t) = \sum_{k=1}^N a(\omega_k, t) \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad \text{----- (3)}$$

$$a(\omega_k, t) = [4S(\omega_k, t; W) \Delta\omega]^{1/2}$$

$$S(\omega_k, t; W) = \text{Taft 記録の Physical Spectrum}$$

$$\phi_k = 0 \sim 2\pi \text{ の間の一様乱数}$$

$$\omega_k = \omega_L + (1 - \frac{1}{2}) \Delta\omega$$

$$\Delta\omega = (\omega_U - \omega_L) / N$$

$$\omega_U = \text{周波数の上限値}$$

$$\omega_L = \text{周波数の下限値}$$

4. 数値解析例

地震波の時間刻み幅は 0.04 秒であり、Physical Spectrum を求め

表 - 1

i	Mass		Spring	
	$m_i (\pm \frac{\text{sec}}{\text{cm}})$	σ_{α_i} / m_i	$k_i (\pm/\text{cm})$	σ_{β_i} / k_i
8	2.0	0.10	4000	0.15
7	2.5	0.10	4500	0.15
6	3.0	0.15	5000	0.20
5	3.0	0.15	5000	0.20
4	3.0	0.15	5000	0.20
3	3.0	0.15	5000	0.20
2	3.5	0.20	6000	0.25
1	4.0	0.20	8000	0.25

(2) 式: $A_1 = A_2 = A_3 = 2.0$, $B_1 = 0.8$

る際の周波数の範囲は0.1~10 Hz, 分割数は100として計算を行った。乱数 ϕ_s を変えることにより模擬地震波を5波(#1~#5)作成したが, これらの最大加速度がTaftの最大加速度と等しくなるように正規化して応答計算に使用した。応答計算には, モード解析法を利用したが, 各地震波に対し, せん断ばりモデルの確率変動量を乱数により変え, 20回の応答計算を行った。最大応答の平均値および変動係数を奇数番目の質点について示したのが表-2である。図-1~3に各質点の最大応答の平均値(6波平均), (○印)と変動係数(↑)を示す。図中の矢印は最大および最小の変動係数を示す。

構造モデルの変動係数は0.1~0.25としたが, 最大応答の変動係数は変位で0.18~0.38, 速度で0.19~0.29, 加速度で0.18~0.30となっていて, 顕著な差は見られない。繰返し計算回数が20回と少なく, また確定モデルの応答解析も行っていないなど問題は残るが, 構造物に各種のばらつきが存在する以上, 20~30%程度の幅を持たせた応答解析結果の判断が必要のように思える。最後に, 田項御指導をいただいた東大生研・柴田碧教授, および武蔵工業大学・星谷助教授に深く感謝致します。

〈参考文献〉 (1) 星谷・千重 "弾性せん断ばりの自由振動に与える不確定要因の影響" 土木論文集, 1975年2月。 (2) 星谷他, "模地震加速度波の非定常特性とシミュレーション" 土木論文集, 1976年1月

表-2

		1		3		5		7	
		平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数
最大変位 (cm)	Taft	2.68	0.30	10.3	0.18	16.1	0.21	19.9	0.22
	#1	3.60	0.34	13.6	0.21	21.2	0.23	26.4	0.24
	#2	2.62	0.38	9.94	0.28	15.1	0.29	18.6	0.29
	#3	2.23	0.31	8.36	0.24	12.9	0.25	16.0	0.26
	#4	1.90	0.32	7.09	0.21	11.0	0.22	13.5	0.22
	#5	2.70	0.37	10.2	0.27	15.6	0.27	19.3	0.28
最大速度 (cm/sec)	Taft	32.5	0.27	98.0	0.22	145	0.24	177	0.25
	#1	43.6	0.27	132	0.23	190	0.25	234	0.27
	#2	33.9	0.29	98.5	0.25	135	0.27	169	0.27
	#3	29.1	0.22	81.6	0.24	118	0.27	144	0.27
	#4	25.5	0.22	69.0	0.19	99.3	0.21	121	0.22
	#5	34.2	0.29	98.3	0.27	140	0.26	173	0.24
最大加速度 (cm/sec ²)	Taft	803	0.26	1310	0.29	1670	0.29	1820	0.30
	#1	1090	0.20	1790	0.24	2110	0.26	2470	0.27
	#2	937	0.19	1450	0.24	1580	0.27	1860	0.25
	#3	799	0.18	1210	0.25	1410	0.28	1530	0.26
	#4	707	0.21	1040	0.21	1240	0.23	1340	0.20
	#5	879	0.25	1400	0.26	1660	0.24	1860	0.26

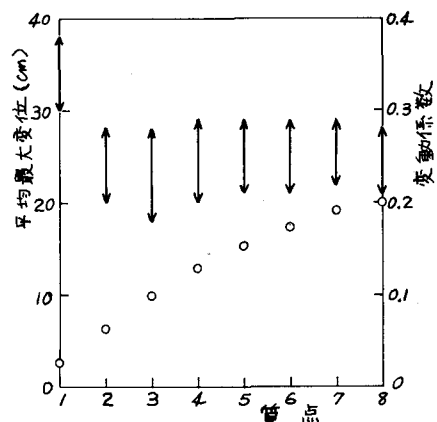


図-1

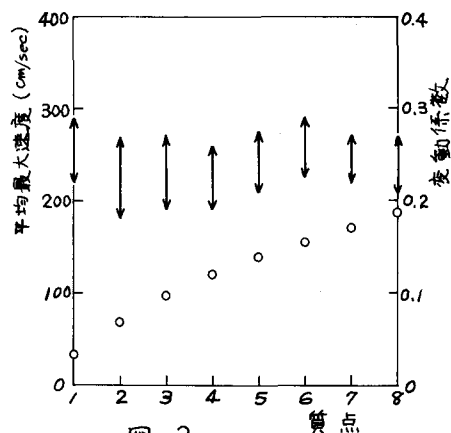


図-2

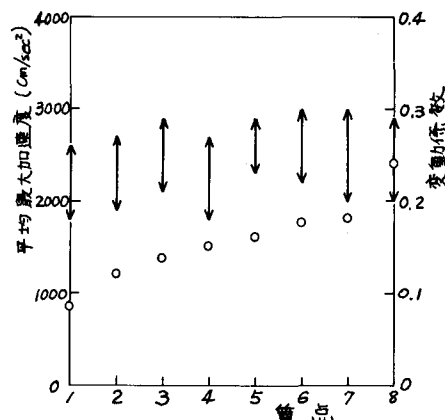


図-3