

株式会社 長 大 正会員 ○足立 敏行

株式会社 長 大 正会員 矢部 正明

(1) まえがき

地震応答解析の1つである応答スペクトル法では、各モード毎の最大応答の二乗和平方根を最大応答とするRMS法が多用されており、簡便さからも有用な手法である。しかしながら多入力系で各入力間に位相差がある場合、位相差の変動による影響を考慮することはできない。本稿ではCQC法を拡張して、位相差の影響を考慮した最大応答値の推定法 (ECQC法) を提案し、その試算例を示す。

(2) 多自由度多入力系の応答

線形多自由度多入力系の応答Uの分散 σ^2 は、(1)式で示すことができる。 ω を円振動数として、

$$\sigma^2 = \sum_K \sum_l \sum_m \sum_n \sigma_{klmn}^2 \quad \text{--- (1) ただし、} \quad \sigma_{klmn}^2 = R e \left[c_{km} c_{ln} \int_0^\infty H_k^* H_l S_{mn} d\omega \right] \quad \text{--- (2)}$$

σ_{klmn}^2 は第m点入力によるk次モード応答 u_{km} と第n点入力によるl次モード応答 u_{ln} との共分散である。 c_{km} はk次モードと第m点入力によるk次モードの刺激係数との積。 H_k はk次の周波数応答関数 (*: 共役) である。 S_{mn} はm点とn点の入力波のクロススペクトルである。m点、n点における入力波が、ある基準波形 $x_0(t)$ より τ_m 、 τ_n だけ位相遅れを持つ時、 S_{mn} は $x_0(t)$ のパワースペクトル S_0 を用いて(3)式で示される。 $\tau_{mn} = \tau_m - \tau_n$ として、

$$S_{mn} = S_0 \cdot \exp(i\omega \tau_{mn}) \quad \text{--- (3)}$$

(3) 最大応答値の推定

ここでCQC法と同様に、応答過程が定常であること、入力波が広帯域 ($S_0 = \text{const.}$) であることを仮定し、応答波形の最大値期待値 $|U|_{\max}$ と標準偏差 σ との比(ピーク係数)が各入力による各次応答波形のピーク係数にほぼ等しいと見なせば、応答の最大値期待値は(4)で示される。

$$|U|_{\max} = \left(\sum_K \sum_l \sum_m \sum_n \rho_{klmn} |u_{km}|_{\max} |u_{ln}|_{\max} \right)^{0.5} \quad \text{--- (4)}$$

$$\text{ただし、} \quad \rho_{klmn} = \sigma_{klmn}^2 / (\sigma_{kkmm}^2 \sigma_{llnn}^2)^{0.5} \quad \text{--- (5)}$$

(2)式に(3)式を代入し、 H_k を変位応答関数として ω で積分すれば、(6)、(7)式を得る。

$$\sigma_{klmn}^2 = C_{klmn} \cdot \exp(h_k \omega_k \tau_{mn}) [A_{kl} \cdot \cos(\omega_k' \tau_{mn}) + B_{kl} \cdot \sin(\omega_k' \tau_{mn})] / K_{kl} \quad (\tau_{mn} \leq 0) \quad \text{--- (6)}$$

$$\sigma_{klmn}^2 = C_{klmn} \cdot \exp(-h_l \omega_l \tau_{mn}) [A_{kl} \cdot \cos(\omega_l' \tau_{mn}) + B_{kl} \cdot \sin(\omega_l' \tau_{mn})] / K_{kl} \quad (\tau_{mn} > 0) \quad \text{--- (7)}$$

ここで、 ω_k 、 h_k を各次固有円振動数、減衰定数として、 $C_{klmn} = 2\pi c_{km} c_{ln} S_0$ 、 $A_{kl} = h_k \omega_k + h_l \omega_l$ 、 $B_{kl} = \omega_k' - (\omega_k^2 + \omega_l^2 + 2h_k h_l \omega_k \omega_l) / 2\omega_k'$ 、 $K_{kl} = (\omega_k^2 + \omega_l^2)^2 + 4h_k h_l \omega_k \omega_l (\omega_k^2 + \omega_l^2) + 4\omega_k^2 \omega_l^2 (h_k^2 + h_l^2)$ である。なお、 $\omega_k' = \omega_k (1 - h_k^2)^{0.5}$ である。

(4) 試算例

図-1に示す3径間連続橋を対象として、図-2に示す3種の地震波を橋軸直角方向に入力する。地震波の伝播速度 V を240m/sおよび480m/sとした時の最大応答変位を時刻歴応答法、RMS法(各入力による各次毎最大応答の二乗和平方根を最大応答とする)およびECQC法で算出し、その結果を図-3に示す。図から明らかな様に、どの入力波に対してもECQC法は時刻歴法に対して良い近似値を与えている。特に $V=480\text{m/s}$ のケースでは、RMS法と比較して位相差の影響を良く表現していると考えられる。

(5) あとがき

CQC法を拡張して、入力位相差を考慮したECQC法を誘導し、その試算例を示した。その結果、近似精度の良い最大応答値が得られ、この手法の有効性が認められた。最後にご指導を頂いた武蔵工業大学の星谷教授に厚く感謝の意を表します。

参考文献 1) Wilson, der-Kiureghian, Bayo: A Replacement for the SRSS Method in Seismic Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.9 (1981)

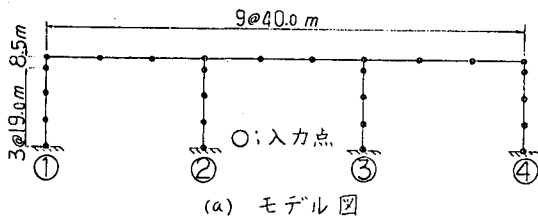
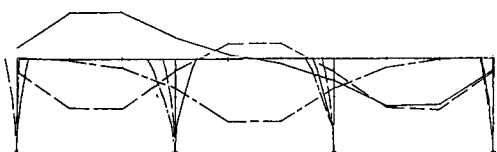
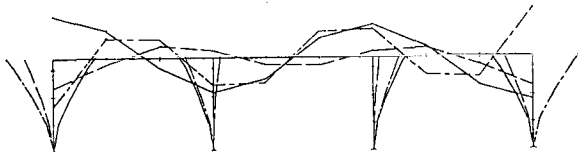


表-1 固有周期と刺激係数

次数	固有周期 (sec)	入力点別刺激係数			
		1	2	3	4
1	0.503	-7.5	-14.9	14.9	7.5
2	0.498	8.4	8.0	8.0	-8.4
3	0.476	-8.4	17.8	17.8	-8.4
4	0.276	-10.9	8.8	-8.8	10.9
5	0.250	13.2	-3.1	-3.1	13.2
6	0.215	8.9	5.1	-5.1	-8.9



(b) 橋軸直角方向モード図 (1~3次)



(c) 橋軸直角方向モード図 (4~6次)

図-1 解析対象橋梁

—— 1, 4次
 --- 2, 5次
 - - - 3, 6次

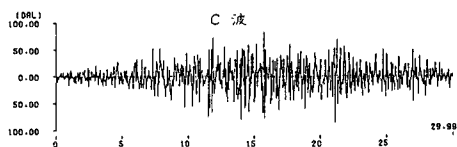
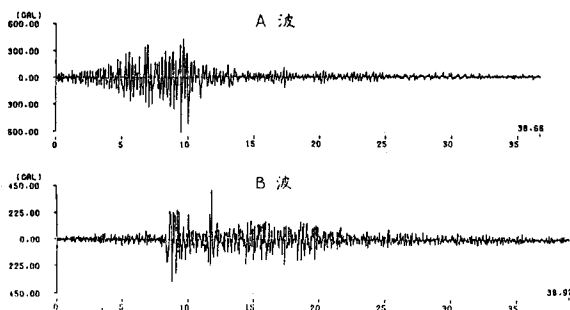
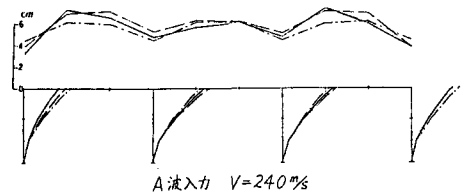
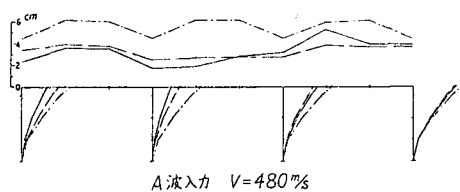


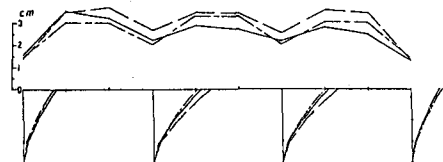
図-2 入力地震波



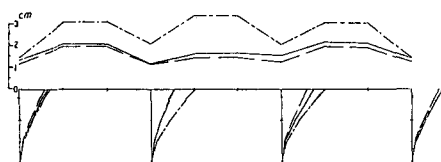
A波入力 V=240%



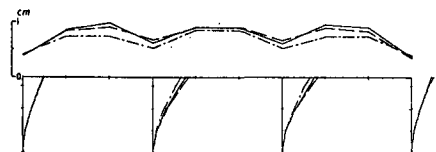
A波入力 V=480%



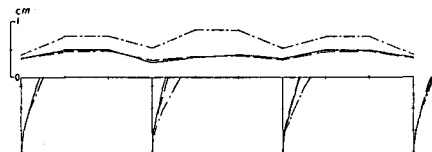
B波入力 V=240%



B波入力 V=480%



C波入力 V=240%



C波入力 V=480%

図-3 最大応答変位分布図 (減衰定数5%)

—— 時刻歴応答法
 --- ECQC法
 - - - RMS法