

前田建設工業株式会社 正員 ○河野一徳

京都大学工学部 正員 亀田弘行

1. はじめに 構造物の被害を支配する地震動特性としては、強度・振動数特性・継続時間の3つが挙げられる。等価加速度¹⁾は、従来の耐震規定には採り入れられていなかった継続時間の設計震度に及ぼす影響を、客観的・定量的に評価するために提案されたものである。本研究は、文献²⁾で開発された、地震動のマグニチュード・震央距離から等価加速度を評価するための統計的予測モデルを用いて、設計震度の設定における等価加速度の意義を検討したものである。具体的には、統計的予測モデルにもとづいて得られる有効応答スペクトルと、直接重回帰分析にもとづいて得られる加速度応答スペクトルとの比較を行なった。また、等価加速度と最大地動（最大地動加速度・最大地動速度・最大地動変位）との関係を調べた。

2. 等価加速度の定義 等価加速度 A_{e1} は地動最大加速度 A_p を用いて

式(1)のように表わされる。式(1)における C_{e1} は、 A_p から A_{e1} へ

$$A_{e1} = C_{e1} A_p \quad \dots(1)$$

の変換係数で等価加速度係数と呼ばれ、式(2)で与えられる。 γ, η_a はそれぞれ最大応答係数、平均有効応答係数で、前者は動的応答の過渡特性の影響を、

$$C_{e1} = \gamma \eta_a \quad \dots(2)$$

後者は構造物の繰返し荷重下での逐次破壊機構の影響をそれぞれ等価加速度に採り入れるための係数である。なお、継続時間 T_d は式(3)の Van-marcke and Lai³⁾の簡略式を用いる。

$$T_d = 7.5 \frac{\int a^2(t) dt}{A_p^2} \quad \dots(3)$$

3. 等価加速度の推定手順 マグニチュード M 、震央距離 Δ (km) の想定地震に対する等価加速度は以下の手順により推定される。まず、最大地動加速度 A_p 、継続時間 T_d がそれぞれ式(4)、式(5)により算定される。ここに $\Delta_0(M)$ は震源域の大きさを表わし、式(6)で与えられる。次に、最大応答係数 γ は式(7)に式(5)の T_d を適用して得られる平均最大応答係数 γ_a をもとに、式(8)を経て、式(9)により算定される。ここに T_0 は固有周期である（ただし適用範囲は 0.1～5秒）。さらに、平均有効応答係数 η_a は式(5)の T_d をもとに式(10)によって与えられる。式(10)の a_n, b_n の値は表1に示されているものを用いる。ここで、 μ は許容塑性率、 η_e は荷重の有効繰返し数であり、これらは、いずれも構造物の耐震性能を表わすパラメータである。以上の結果を式(1)、式(2)に適用すれば、任意の想定地震に対する等価加速度が算定される。また、式(11)に示されているように、 A_{e1} に標準応答倍率 $\xi_A^{(s)}$ を乗じると有効応答スペクトル S_{e1} が得られる。図1に式(11)に適用する $\xi_A^{(s)}$ の値を示した。ここに h は減衰定数を表わす。

4. 有効応答スペクトルと加速度応答スペクトル⁴⁾の比較 Kameda and Ieiri⁴⁾ は、強震記録より得られた加速度応答スペクトルについて、 M, Δ に関する重回帰分析を行ない、想定地震に対する加速度応答スペクトル S_A の推定式を得た。この S_A と式(11)より得られる S_{e1} の数値計算例を示したのが、図2(a)および図2(b)である。図2(a)は、3種類の想定地震A、B、Cについて S_{e1} (実線)と S_A (破線)を計算したものである。図2(a)に現われている S_{e1} と S_A が良く一致することから、線形応答スペクトルの震央距離に対する減衰が短周期領域では大きく長周期領域では小さいというよく知られた傾向が、地震動の振動数成分

$$A_p = \begin{cases} 349 \times 10^{0.232M} / (\Delta + 30)^{0.959} & , \Delta \geq \Delta_0(M) \\ 330 & , \Delta < \Delta_0(M) \end{cases} \quad \dots(4)$$

$$\gamma_a = 0.403 T_d^{0.490} \quad \dots(7)$$

$$C_Y = 1.196 \log \gamma_a \quad \dots(8)$$

$$T_d = \begin{cases} 0.0325 \times 10^{0.168M} \times (\Delta + 30)^{0.572} & , \Delta \geq \Delta_0(M) \\ 0.0336 \times 10^{0.306M} & , \Delta < \Delta_0(M) \end{cases} \quad \dots(5)$$

$$\gamma = (10 T_0)^{C_Y} \quad \dots(9)$$

$$\eta_a = a_n + b_n \log T_d \quad \dots(10)$$

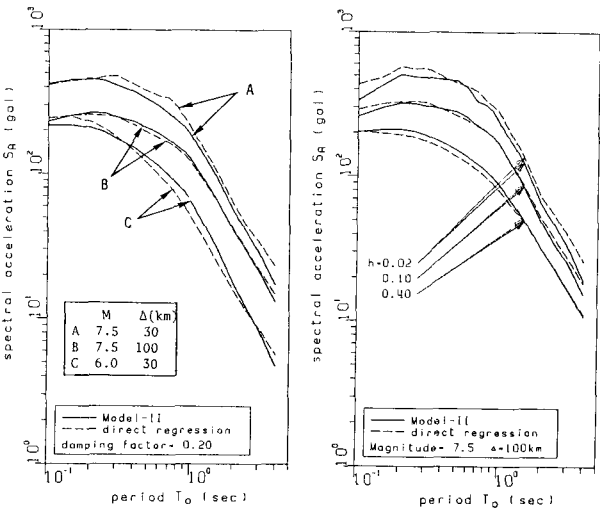
$$\Delta_0(M) = \begin{cases} 1.06 \times 10^{0.242M} - 30 \text{ (km)} & , M > 6.0 \\ 0 & , M \leq 6.0 \end{cases} \quad \dots(6)$$

$$S_{e1} = \xi_A^{(s)} A_{e1} \quad \dots(11)$$

より、継続時間の影響として説明することができる。一方、図2 (b) は、減衰定数の影響を見るためのものである。本研究では S_{el} を求める際に減衰定数の影響は $\xi_A^{(s)}$ のみで考慮している。すなわち、ここでは A_{el} としては減衰定数5%に対する値を用いている。しかしながら、図2 (b) に現われている S_{el} と S_A との良好一致から、この方法でも一次近似的には十分であることがわかる。

5. 等価加速度と最大地動との関係 固有周期が 0.1~ 5秒の領域において、等価加速度と最大地動（最大地動加速度・最大地動速度・最大地動変位）との相関を調べた。その結果、固有周期が長くなるにつれて、等価加速度と強い相関を持つ最大地動が、最大地動加速度から最大地動速度、最大地動変位へと遷移することがわかった（図3）。このことと、構造物の破壊と相関を持つ最大地動が、固有周期が長くなるにつれて加速度から速度そして変位へと遷移していくという、従来より経験的に認識されている知見とを考えあわせると、等価加速度は、地震動の有する破壊特性を表現する加速度であるということが裏付けられる。また、これより、最大地動加速度に比べて利用価値の少なかった最大地動速度・最大地動変位の情報を、等価加速度を介して加速度レベルに変換して用いることが可能となる。この項の詳細は講演時に譲る。

参考文献 1) 亀田・大沢：第6回日本地震工学シンポジウム，1982，12.，pp.1425-1432. 2) Kameda, H., and Kohno, K., to appear in the Mem. of Fac. Eng., Kyoto Univ. Vol.45, Part 2, 1983. 3) Vanmarcke, E.H., and Lai, S.-S.P., BSSA, Vol.70, No.4, Aug., 1980. 4) Kameda, H., and Ieiri, R., to appear in the Kyoto Univ. Civil Eng. Report, 1983.



(a) M, Δの影響 (b) 減衰定数の影響
図2 有効応答スペクトルと加速度応答スペクトル

表1 式(10)に適用する係数の値
(a) 変位応答 (b) 加速度応答

μ	n _e	a _{nD}	b _{nD}	μ	n _e	a _{nA}	b _{nA}
1	1	1.000	0.000	1	1	1.000	0.000
	3	0.923	0.013		3	0.919	0.024
	6	0.802	0.045		6	0.810	0.059
	10	0.667	0.091		10	0.695	0.099
	15	0.537	0.135		15	0.587	0.136
2	1	1.000	0.000	2	1	1.000	0.000
	3	0.850	0.048		3	0.959	0.053
	6	0.713	0.096		6	0.871	0.070
	10	0.606	0.129		10	0.798	0.107
	15	0.507	0.162		15	0.719	0.147
3	1	1.000	0.000	3	1	1.000	0.000
	3	0.799	0.063		3	0.933	0.032
	6	0.634	0.122		6	0.876	0.059
	10	0.518	0.159		10	0.818	0.087
	15	0.427	0.182		15	0.757	0.118
4	1	1.000	0.000	4	1	1.000	0.000
	3	0.776	0.078		3	0.927	0.031
	6	0.592	0.145		6	0.863	0.058
	10	0.468	0.181		10	0.807	0.084
	15	0.379	0.200		15	0.753	0.108

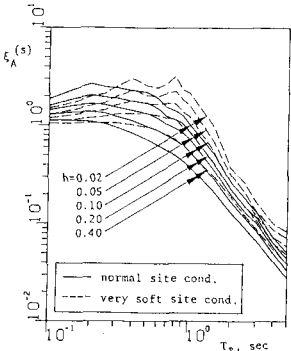


図1 標準応答倍率の値

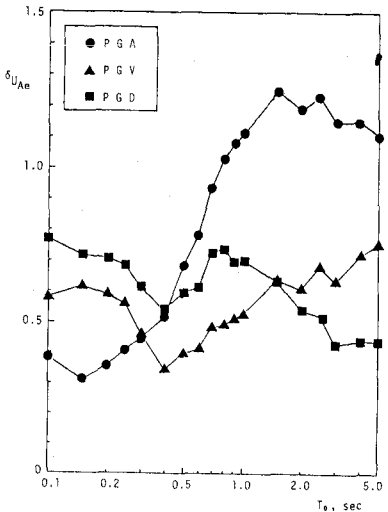


図3 相関度（最大地動に対する等価加速度の
回帰式まわりのデータのばらつき）