

(株)鴻池組 正会員 和田靖之
東京都立大学 正会員 国井隆弘

1. まえがき

地震動の強さを表わす指標は、数多く提案されている。その中で最大加速度、パワー及びバスペクトル強度の三者が独立して地震動の強さを表わしていると考えられる⁽¹⁾。しかし、従来の多くの耐震設計では、地震動の強さを最大加速度で評価することによって設計震度を決定している。耐震設計を行なう場合に、構造物の形式によっては、最大加速度以外の指標をも使用して地震動の強さを評価する必要があるのではなからうか。

そこで本研究では、地震動の強さを表わす指標の一つである地震動のパワーに注目してみた。パワーの変化した種々の人工地震波を1自由度系に刺激として与え、その応答を検討して、地震動のパワーが構造物にどのような影響を与えるのかを調べた。この報告は、入力地震動の最大加速度が一定で、パワーが変化した場合、応答の最大値と応答変位が塑性域へ達する回数及びバスペクトル強度がどの程度変化するかを検討した結果の一部である。

2. 入力地震動の作成

入力地震動 $x(t)$ は、10種類作成した。まずホワイトノイズ $g(t)$ に包絡関数 $f(t)$ (図-1参照)を乗ずることにより、最大加速度一定でパワーが変化した五種類の人工地震波を作成する。(N01~N05; 周波数特性の様な入力地震動)

$$x(t) = f(t) \cdot g(t) \text{-----(1)}$$

次に、表-2に示すパワー・スペクトル密度関数を持つ人工地震波を作成するために、上述のN01~N05を線形フィルタに通し、人工地震波N01'~N05'を作成する(周波数特性を有する入力地震動)。なお、これらの人工地震波の一部は、

図-2に、スペクトル特性は、図-3に示す。また各々の強さは、表-3に示す。

表-1 地震動の強さを表わす指標

指標	式
最大加速度 A_{max}	$ \ddot{y}(t) _{max}$
パワー P_T	$\frac{1}{T} \int_0^T \{\ddot{y}(t)\}^2 dt$
スペクトル強度 $SI_{0.2}$	$\int_{0.1}^{2.5} S_v(h=0.20, T_i) dT_i$

$\ddot{y}(t)$; 地震加速度 S_v ; 速度応答スペクトル
 T ; 経続時間

表-2 入力地震動

入力地震動の種類	特 性
ホワイトノイズ N01~N05	パワー・スペクトル一定 S_0 単純な模擬地震波
線形フィルタ N01'~N05'	パワー・スペクトル密度関数 $S_x(\omega) = \frac{1 + 4\beta^2 (\frac{\omega}{\omega_0})^2}{\{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2\}^2 + 4\beta^2 (\frac{\omega}{\omega_0})^2} S_0$ $\beta = 0.6, \omega_0 = 2.5 \text{ Hz}$

表-3 入力地震動の強さ

(a) 周波数特性の様な入力地震動の場合

N0	A_{max} (gal)	Power (gal ² -sec)	Powerの 比率	$SI_{0.2}$ (cm)	$SI_{0.2}$ の 比率
1	0.91	0.0763	1.00	0.0568	1.00
2	0.91	0.164	2.15	0.760	1.34
3	0.91	0.260	3.41	0.767	1.35
4	0.91	0.385	5.05	0.777	1.37
5	0.98	0.565	7.40	0.811	1.43

(b) 周波数特性を有する入力地震動の場合

N0	A_{max} (gal)	Power (gal ² -sec)	Powerの 比率	$SI_{0.2}$ (cm)	$SI_{0.2}$ の 比率
1'	1.00	15.77	1.00	0.197	1.00
2'	1.00	27.39	1.74	0.262	1.33
3'	1.00	37.88	2.40	0.266	1.35
4'	1.00	50.20	3.18	0.266	1.35
5'	1.00	62.27	3.95	0.266	1.35

表-4. 1自由度系の固有値

(a) 線形1自由度系			(b) 非線形(Bi-Linear型)1自由度系						
固有周期 T (sec)		減衰定数 0.05	線形時の固有周期		線形限界 Δy (cm)			弾塑性傾斜率 0.8	減衰定数 0.05
					$1/4 < (L.d. max)$	$1/2 < (L.d. max)$	$3/4 < (L.d. max)$		
a	0.2		a	0.2	0.000188	0.000376	0.000564		
b	0.4		b	0.4	0.000610	0.00122	0.00183		
c	0.8		c	0.8	0.000915	0.00188	0.00275		
d	1.0		d	1.0	0.00115	0.00230	0.00345		
e	3.0		e	3.0	0.00328	0.00655	0.00983		

3. 1自由度系の応答の最大値と繰返し回数の変化

パワーの変化した入力地震動の刺激を受ける1自由度系は、線形と非線形くBi-line型)の両者を考えた。各々の固有値は表-4に示す。これらは、短周期からやや長周期な固有周期を持つ構造物を想定して決定したものである。

入力地震動のパワーが変化した場合の応答加速度の最大値の変化を固有周期ごとに表わしたグラフの一部を図-4に示す。短周期構造物の場合は、最大加速度はパワーの変化に関係なく一定だが、やや長周期になるにつれてパワーが増大すれば最大加速度も増大する。この傾向は、速度や変位においても同様である。ただし変位の場合は、加速度とは逆に、非線形性の度合が大きくなるにつれて最大値は増大する。

構造材料によっては、地震動の繰返し載荷によって、剛性や減衰性能が時間と共に劣化していく。したがって構造物の免震時の塑性域まで含めた動的解析には、繰返し効果を考慮しなければならない。今回は、入力地震動のパワーが変化した場合、応答変位が塑性域を越える回数を塑性率で図-5の様に示した。短周期構造物の場合は、パワーの増加に比例して繰返し回数は増加する様だ。しかし、やや長周期になるにつれて、その傾向はみだれてくる。ただし塑性域に達している時間は、長周期構造物の方が長くなる様だ。

4. 結論

以上の結果より次のことが明らかとなった。

1)、長周期構造物は、入力地震動のパワーの影響を受け、構造物にとって都合の悪い挙動をする。したがって長周期構造物に対する最悪地震波を作成する場合には、パワーは、重要なパラメータの一つとなり得ると考えられる。

2)、短周期構造物の場合、パワーの増加に比例して変位が塑性域へ達する回数は増加する。長周期構造物の場合は、短周期構造物ほど繰返し回数にパワーの影響は受けていない。代りに塑性域に到達している時間が増加する。

3)、パワーの変化は、スペクトル強度にはほとんど影響を与えなかった。(表-3参照) スペクトル強度が地震動の強さを表すもう一つの方法であることを考えれば、結局パワーの変化だけで地震動の強さを総合的に評価することは不可能であると言える。

<参考文献>

(1). 田中・国井「地震動の強さの表現方法について」土木学会第5回関東支部大会

図-5 パワー
繰返し回数 の変化

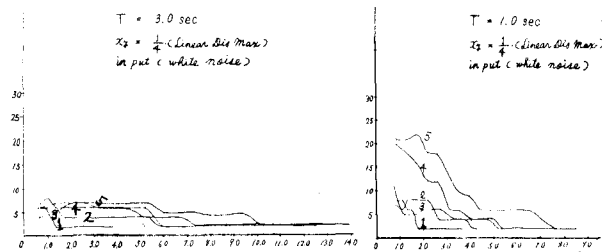


図-1 包絡関数

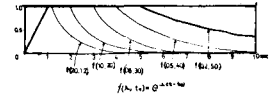


図-2 入力地震動

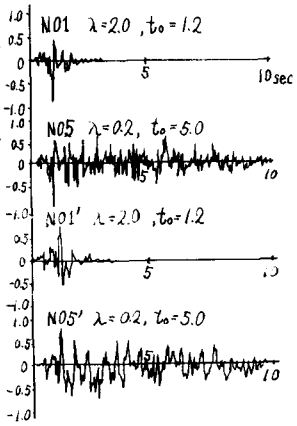


図-3 スペクトル特性

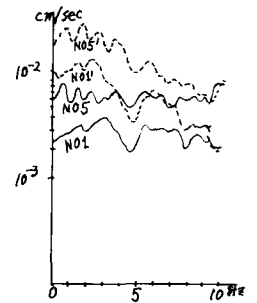


図-4 Power - ACC の変化

