

入力エネルギースペクトルによる地震動強度の評価法

京大工学部 正員 山田善一 塚村浩和 同 学生員 〇茅野 茂

1. 本研究の概要 従来、耐震設計においては震度法、修正震度法が用いられ、また動的設計法として、応答スペクトルを用いた方法等がある。しかしながら構造物の地震被害を検討する時、その最大応答だけでは不十分な場合がある。たとえば、応答変位が構造物の降伏変位を超えるような地震入力を長時間にわたり受ける場合、構造物の塑性疲労が重要となる。すなわち最大応答が小さくとも、繰り返し回数が多くなれば、構造物は大きな損傷を受けると考えられる。これらのことから本研究では、構造物に入力されるエネルギー値というものに注目し、地震動の持つエネルギーがどのようにして構造物に吸収消費されるのかを入力エネルギースペクトルという概念を導入することにより考察した。

2. 弾性系および弾塑性系における入力エネルギースペクトル 構造物が地震動を受けると振動を起こす。これをエネルギーの観点から見ると構造物は地震動からエネルギーを得て、振動応答することによってそれを吸収していると考えられる。このようなエネルギー入力概念を具体的に述べると以下ようになる。

まず1自由度系構造物が1方向の水平地震動を受けるとき、その運動方程式は(1)式のようになる。その両辺に $dx = \dot{x} dt$ をかけて、時刻 t まで積分すると(2)式が得られる。

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + f(x) = -M \ddot{z} \quad \text{--- (1)}$$

$$M \int_0^t \dot{x} \dot{x} dt + C \int_0^t \dot{x}^2 dt + \int_0^t f(x) dx = -M \int_0^t \dot{z} \dot{z} dt \quad \text{--- (2)}$$

ここに M : 質量(本研究ではすべて単位質量 $u.m. = \text{unit mass}$ について考えた) C : 減衰定数

$f(x)$: 復元力 $x, \dot{x}, \ddot{x}$: 質点の相対変位, 速度, 加速度 $\ddot{z}$: 地震加速度

(2)式の左辺第1項は時刻 t における運動エネルギー W_k 、第2項は時刻 t までに粘性減衰機構によって吸収されるエネルギー W_c 、第3項は弾性系の場合は時刻 t における弾性ひずみエネルギー W_e 、弾塑性系では W_e に加え時刻 t までに塑性変形によって吸収される累積履歴エネルギー W_h を表わしている。また右辺は時刻 t までに構造物に入力される総エネルギー量 E である。

Fig.1 に Taft N21E 記録(1952年7月21日 Kern Country 地震最大加速度 152.7 gal (継続時間 50 秒)) による 1 質点弾性系のエネルギースペクトル図を、Fig.2 に絶対加速度応答スペクトル図を示した。そして Fig.3 には入力エネルギーを(3)式によって加速度に変換した E_a と絶対最大応答加速度との相関図を減衰定数 $h=0.0$ と 0.2 について示した。

$$E_a = \omega_0 \sqrt{2E/M} \quad \omega_0: \text{固有振動数} \quad \text{--- (3)}$$

これらの図から(1)減衰が小さくなるほどエネルギー

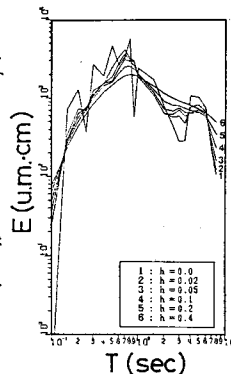


Fig.1 Energy Spectra

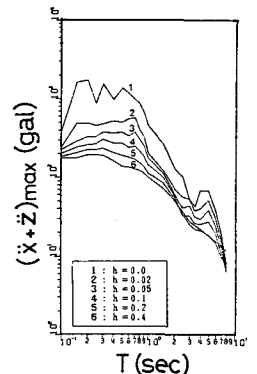


Fig.2 Response Spectra

Yoshikazu YAMADA Hirokazu IEMURA Shigeru KAYANO

ースパクトルにおいて周期による変動が小さくなる, (ii) 減衰定数の差異による入力エネルギーの絶対値の変動は小さい, (iii) 入力エネルギー値と最大応答値との相関は減衰が大きくなるほどエネルギー側に傾く, ことなどがわかる。これを時刻歴から見るため、Fig.4に $h=0.05$, 固有周期 $T=1.0(\text{sec})$ に対する入力エネルギー量の変化を時刻歴によって示した。この図からわかるように、ある程度時刻が経過すると応答に寄与するエネルギー W_k, W_e が W_c に対して非常に小さくなる。そしてこればかりが大きくなる程顕著に現れてくるため、先の(i)のようになると考えられる。また(ii)に関しては、減衰が大きくなり W_c が大きくなり、でも逆に W_e, W_k が小さくなるためその相殺効果により、入力エネルギー総量の変動が小さくなると考えられる。(iii)に関しては、 h が大きくなる程最大応答値がかなり小さくなり、というためだと考えられる。

さらに復元力特性にBilinearを用いた弾塑性系について考察した。弾塑性傾斜率 $P_n=0.8$, 降伏変位 $X_y=0.4\text{cm}$ の時の入力エネルギーースパクトル図, 最大塑性率 $\mu_{\max}$ のスペクトル図, (4)式により変位に変換した E_d と $\mu_{\max}$ との相関図をFig.5~7に示す。

$$E_d = \frac{1}{\omega_0} \sqrt{2E/M} \quad \text{--- (4)}$$

Fig.5を見ると弾塑性系に比べて特に h が小的时候による変動が小さいこと、またFig.7より h が大のとき、著しくエネルギー側に傾いていることがわかる。またFig.8に弾塑性系での時刻によるエネルギー蓄積図を示す。これより、弾塑性系のものに W_H が加わり、 W_k, W_e がかなり小さくなる、ということがわかる。

3. 耐震設計への応用 近年、耐震設計において、非弾性領域におけるエネルギー吸収能を有効に利用するという考え方が用いられて

つある。そして構造物のエネルギー吸収量は一方で劣化振動系の損傷度の指標でもある。Fig.8からわかるように構造非線形性によれば全入力エネルギー中には W_H の割合が非常に大きくなり、 W_H を考慮した合理的耐震設計が必要になると考えられる。

参考文献 秋山宏：構造物の極限耐震設計，東京大学出版会，昭和55.9.

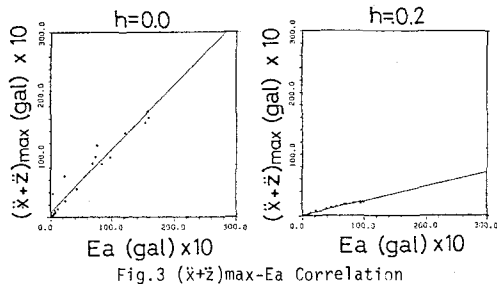


Fig.3 $(\ddot{x}+\ddot{z})_{\max}$ -Ea Correlation

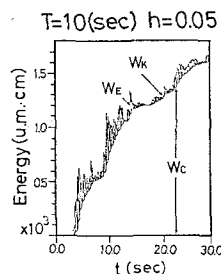


Fig.4 Accumulated Energy

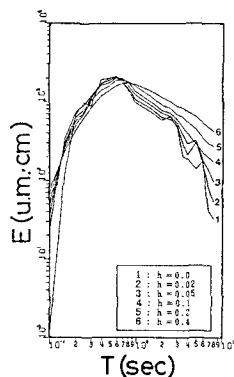


Fig.5 Energy Spectra

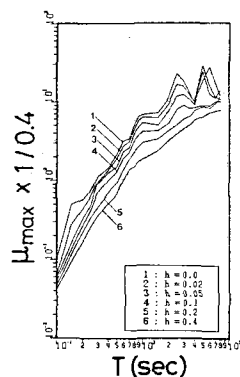


Fig.6 $\mu_{\max}$ Spectra

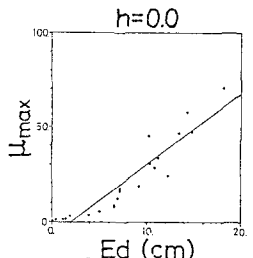


Fig.7 $\mu_{\max}$ -Ed Correlation

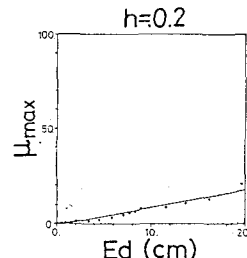


Fig.8 Accumulated Energy