

地震入力単位エネルギーと構造物の破壊指標の関連性および 昨今の地震のエネルギー特性について

長岡工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○ 松田 音羽

長岡技術科学大学

外山 拓道

長岡工業高等専門学校

正会員

井林 康

1. はじめに

本研究では地震動のエネルギー特性のうち、地震動継続時間中のある単位時間に入力される地震入力エネルギー、すなわち地震入力単位エネルギーの特性に着目し、単位時間を変化させた場合に既往の地震動の破壊指標との相関がどのようなかについて検討を行った。また、比較的最近の地震を対象として、地震動や観測地点の違いによるエネルギー特性の違いの検討を行った。

2. 定義

2.1 地震入力総エネルギーと地震入力単位エネルギー

1質点系の運動方程式は(1)のように表される。式(1)の両辺に $\dot{x}dt$ を乗じて、時間 t について地震動の開始 $t=0$ から $t=t_0$ まで積分すると、その右辺は地震終了時の総入力エネルギー量となり、これを地震入力総エネルギー E として式(2)のように定義する。また、ある単位時間 Δt と任意の t_1 に対して式(2)の最大値を地震入力単位エネルギー ΔE と定義し、式(3)のように示す。以降、図中のエネルギーはそれぞれ速度次元に変換して式(4)の V_E 、式(5)の $V_{\Delta E}$ として比較検討を行う¹⁾。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + F = -M\ddot{z} \quad (1) \quad E \equiv \int_0^{t_0} M\ddot{z}\dot{x}dt \quad (2) \quad \Delta E(\Delta t) \equiv \max_{t_1} \left\{ \int_{t_1}^{t_1+\Delta t} M\ddot{z}\dot{x}dt \right\} \quad (3)$$

$$V_E = \sqrt{\frac{2E}{M}} \quad (4) \quad V_{\Delta E} = \sqrt{\frac{2\Delta E}{M}} \quad (5)$$

2.2 破壊指標との関連性

式(5)で求められた地震入力単位エネルギー $V_{\Delta E}$ において、単位時間 Δt を変化させた場合の既往の破壊指標との相関性の検討を行った。単位時間 Δt は、0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1 秒と、1 サイクル, 1/4 サイクルとした。また、破壊指標としてここではスペクトル強度 SI を用いた。スペクトル強度 SI は式(6)のように表される。

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} SvdT \quad (6)$$

3. 解析手法

3.1 SI と各 Δt に対する $V_{\Delta E}$ との相関

解析に用いた地震波は、実地震波として兵庫県南部地震、Imperial Valley 地震、十勝沖地震、釧路沖地震、宮城県沖地震、北海道南西沖地震の計 6 地震のべ 20 種の波形である。また H2 道路橋示方書および H8 道路橋示方書の動的解析照査用模擬地震波それぞれ 3 種と 18 種を用いて、合計 41 地震波で弾性地震応答解析にて算定し、 $V_{\Delta E}$ スペクトルと SI の相関を取ることにによって検討を行った。

3.2 昨今の地震によるエネルギー特性

用いた加速度波形は、(独)防災科学技術研究所の強震ネットワークより入手した地震波加速度データである。それぞれの地震名とその波形の観測地点および最大加速度を表-1 に示す。

表-1 エネルギースペクトルを算定した波形

地震名	観測地点	最大加速度
5月26日宮城県沖地震	牡鹿	1111.6gal
7月26日宮城県北部地震	牡鹿	324.1gal
9月26日十勝沖地震	直別	784.9gal
	広尾	972.6gal

キーワード 地震入力単位エネルギー、単位時間、地震動の破壊指標、スペクトル強度

連絡先 〒940-8532 長岡市西片貝町 888 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 電話 0258-34-9271

4. 結果

4.1 SI と各 Δt に対する V_{AE} との相関

表-2 は、各 Δt に対する V_{AE} と SI との相関をまとめたものである。これより $\Delta t=1/4$ サイクルおよび 1 サイクルとの相関係数がそれぞれ 0.946 と高い結果が得られた。次に、 $\Delta t = 1.0$ 秒とした場合が 0.921 という値が得られた。また、 Δt の値がそれ以外の場合でもどれも 0.9 に近い値となり、いずれも高い相関が見られた。このことからスペクトル強度 SI は V_{AE} と非常に相関が高いと考えられる。また、地震入力単位エネルギーを考慮する際、 Δt として 1 サイクルおよび 1/4 サイクルを用いるのが有用であることがわかる。

表-2 SI と各 Δt に対する V_{AE} との相関

	Δt	SI
V_{AE} の Δt	1sec	0.912
	0.5sec	0.912
	0.1sec	0.883
	0.05sec	0.898
	0.01sec	0.886
	1cycle	0.946
	1/4cycle	0.946

4.2 地震波特性

ここでは、各地震波に対する V_E 、および $\Delta t=1/4$ サイクルとした場合の V_{AE} を算定し、地震波特性の検討を行った。図-1 および図-2 は、5 月 26 日と 7 月 26 日における牡鹿の波形である。図-1、図-2 とともに、短周期において大きな入力があるが、 V_{AE} の入力は V_E の 4 分の 1 程度とそれほど大きくない。また、エネルギーの入力量が多い周期帯域は狭く、衝撃的なエネルギー入力は少ないと考えられる。

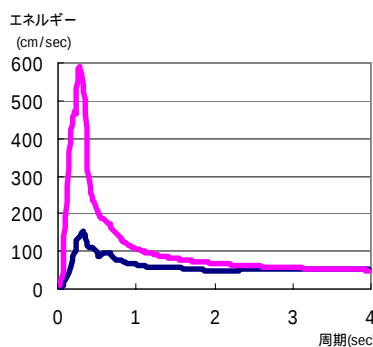


図-1 5月 宮城県沖 牡鹿

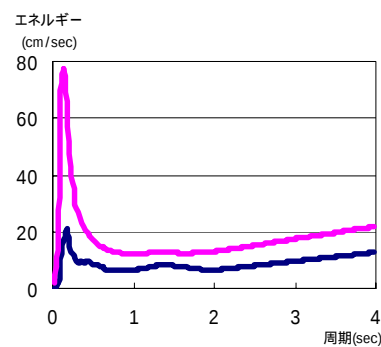


図-2 7月 宮城県北部 牡鹿

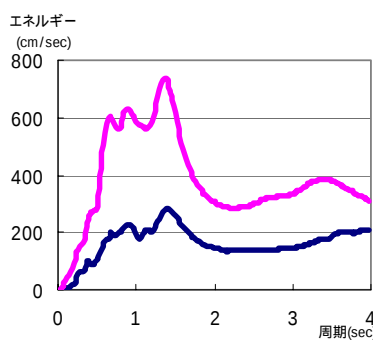


図-3 9月 十勝沖 直別

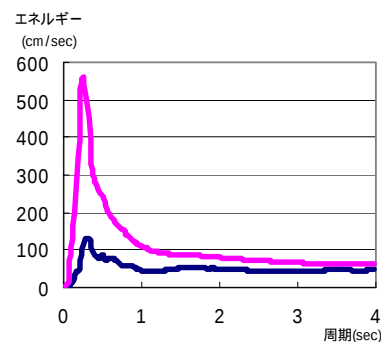


図-4 9月 十勝沖 広尾

図-3 および図-4 は、9 月 26 日の十勝沖地震における直別と広尾における波形である。図-3 は、0.5～1.5 秒付近までの比較的広い周期帯域で、エネルギー入力量が多く、構造物への影響は大きいと見られる。

図-4 は、図-3 と違った形状であり、図-1 と同様に初期に大きな入力があるだけで、入力量の多い周期帯も狭いため、それほど衝撃的ではないと考えられる。またこれは、1993 年釧路沖地震の際に観測された波形から算定されたものとスペクトル形状が酷似していることがわかった。卓越周期は、地震動観測地点の地盤種に依存しているのではないかと考えられる。

5. 結論

- ・ スペクトル強度 SI は V_{AE} と相関性が高いことがわかる。また、破壊指標として地震入力単位エネルギーを考慮する際、 Δt として 1 サイクルおよび 1/4 サイクルを使うのが有用であると言える。
- ・ 同じ地震動でも観測地点の違いにより、波形に大きな違いが生じている。また、違う地震動でも観測地点が同じであれば、似た形状のスペクトルであることから地盤種の影響が大きいと考えられる。

参考文献

- 1) 井林康，中沢正利，尾坂芳夫，鈴木基行；地震入力総エネルギーおよび地震入力単位エネルギーを考慮した RC 橋脚の損傷度評価の提案 土木学会論文集，676/V-51，1-11，2001