

(11) 地震動の最大振幅比 (a/v , ad/v^2) とスペクトル特性及び継続時間の関係

徳島大学工学部 正員 沢田 勉 徳島大学工学部 正員 平尾 潔
 徳島大学大学院 学生員 山本英史 前田建設工業㈱ 川手 訓

1. はじめに

構造物の耐震設計を合理的に行うためには、入力情報である地震動の特性を的確に把握することが必要である。地震動特性は、強度特性、周波数特性及び非定常特性に大別され、これらは最大地動、フーリエスペクトル、応答スペクトル、継続時間等により表現される。耐震設計では、これらの特性を適切に反映した地震荷重を設定することが必要であるが、その際に、上述の地震動の諸特性がなるべく少ないパラメータで表現できれば便利である。従来より強度特性を代表するパラメータとして最大加速度がよく用いられているが、周波数特性と継続時間に関しては、これとは別個に設定される場合が多い。

最近、地震動の最大加速度 a と最大速度 v の比 a/v が周波数特性や継続時間と関係し、 a/v が構造物の弾塑性応答に大きな影響を及ぼすという報告がなされている^{1)・2)}。また、 a/v や ad/v^2 (d は最大変位) と地震のマグニチュード M 、震央距離 Δ 及び地盤条件の關係に言及した研究もいくつか見られる^{3)・4)・5)}。しかし、これらの研究は断片的なもので、地震動の強度特性と周波数特性及び継続時間の關係を詳細に論じた研究はほとんど見当たらない。

このような観点より、本研究では、地震動の加速度、速度、変位の最大振幅比 a/v 及び ad/v^2 とスペクトル特性及び継続時間の關係を検討する。具体的には、以下の3点について検討を行った。

- (1) 地動最大振幅比 a/v とスペクトルの卓越振動数の關係
- (2) 地動最大振幅比 ad/v^2 とスペクトルの拡がりの關係
- (3) a/v と継続時間の關係

2. 有帯域ホワイトノイズにおける a/v 及び ad/v^2 とスペクトル特性の關係

実地震動は、定常確率過程、非定常確率過程、AR過程などによりモデル化されるが、ここでは、最も簡単な有帯域ホワイトノイズによる地震動モデル⁶⁾を用いて、 a/v 及び ad/v^2 とスペクトル特性の關係を検討する。

有帯域ホワイトノイズの片側パワースペクトル $G(\omega)$ を図-1に示す。ここで、 ω_u , ω_l は上下限角振動数、 G_0 はスペクトル振幅である。この地震動モデルの加速度、速度及び変位の rms 値 a_{rms} , v_{rms} 及び d_{rms} は次のように表される。

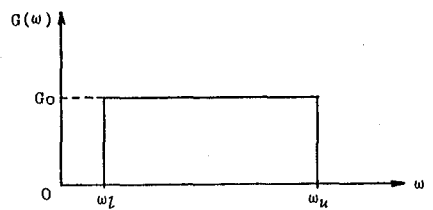


図-1 有帯域ホワイトノイズのパワースペクトル密度関数

$$\begin{cases} a_{rms}^2 = \int_0^{\infty} G(\omega) d\omega = G_0(\omega_u - \omega_l) \\ v_{rms}^2 = \int_0^{\infty} G(\omega)/\omega^2 d\omega = G_0(1/\omega_l - 1/\omega_u) \\ d_{rms}^2 = \int_0^{\infty} G(\omega)/\omega^4 d\omega = G_0(1/\omega_l^3 - 1/\omega_u^3)/3 \end{cases} \quad (1)$$

上式より加速度、速度及び変位の rms 振幅比 (a_{rms}/v_{rms}) として次式が得られる。

$$a_{rms}/v_{rms} = (\omega_l/\omega_u)^{1/2} \quad (2)$$

他方、 $a_{rms}d_{rms}/v_{rms}^2$ は次のようになる。

$$a_{rms}d_{rms}/v_{rms}^2 = \{(\omega_u/\omega_l + 1 + \omega_l/\omega_u)/3\}^{1/2} \quad (3)$$

ここで、 $\omega_u/\omega_1 \gg 1$ のときには、上式は、

$$a_{rms}d_{rms}/v_{rms}^2 \approx (\omega_u/\omega_1)^{1/2}/\sqrt{3} \quad (4)$$

一方、地動加速度、速度および変位の最大振幅 a, v, d と rms 値 $a_{rms}, v_{rms}, d_{rms}$ の比例関係を仮定すると、

$$a_{rms}/v_{rms} \approx a/v \quad (5)$$

$$a_{rms}d_{rms}/v_{rms}^2 \approx ad/v^2 \quad (6)$$

上式を式(2) および(4) に代入し、両辺の対数をとると次式が得られる。

$$\log(a/v) = (\log \omega_u + \log \omega_1)/2 \quad (7)$$

$$\log(ad/v^2) \approx (\log \omega_u - \log \omega_1)/2 - C \quad (8)$$

式(7)、(8) より、振動数を対数で表したとき、 a/v は平均振動数を、また ad/v^2 はスペクトルの広がりに関係することが分かる。

3. 実地震記録による統計解析

前節では、実地震動の最も簡単なモデルである有帯域ホワイトノイズを用いて、加速度、速度および変位の最大振幅比 $a/v, ad/v^2$ とスペクトル特性の関係を説明した。ここでは、多数の地震動記録を用いた統計解析によりこれらの関係を検討する。

解析に用いた記録は、1965年～1978年の間に日本各地で得られた記録の水平および鉛直の253成分であり、長周期および短周期における誤差補正がなされたものである⁷⁾。これらの記録は加速度波形であるので、速度および変位波形は、これを1回および2回積分することにより求めた。そして、これらの波形の最大振幅 a, v, d より、それらの比 a/v および ad/v^2 を計算した。

他方、加速度記録のフーリエスペクトルを求め、それを振動数の対数軸上で表示したときの平均振動数 \bar{f}_a と、平均振動数まわりの標準偏差 σ_{fa} を次式より求めた。

$$\log \bar{f}_a = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \log f \cdot d \log f / \int_{-\infty}^{\infty} G(f) d \log f \quad (9)$$

$$\log \sigma_{fa}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \{ \log f - \log \bar{f}_a \}^2 d \log f / \int_{-\infty}^{\infty} G(f) d \log f \quad (10)$$

また、加速度記録 $a(t)$ の継続時間 T_a は、Trifunac and Brady の定義⁸⁾ より求めた。

$$0.05 \leq \int_0^{T_a} a^2(t) dt / \int_0^{\infty} a^2(t) dt \leq 0.95 \quad (11)$$

図-2には、解析で用いた記録の一例を示す。図中には、最大振幅 a, v, d および継続時間 T_a も示した。図-3は、この記録の加速度フーリエスペクトルであり、図中には式(9)、(10)より得られた平均振動数および標準偏差 \bar{f}_a および σ_{fa} を示した。以下では、このようにして得られた a/v および ad/v^2 と \bar{f}_a, σ_{fa} および T_a の関係を検討する。

図-4には、加速度および速度の最大振幅比 a/v と加速度スペクトルの平均振動数 \bar{f}_a の関係を両対数紙上に示す。この図より、 a/v と \bar{f}_a の間には、両対数紙上で良好な比例関係があることがわかる。図-5には、加速度、速度および変位の最大振幅比 ad/v^2 と加速度スペクトルの \bar{f}_a まわりの標準偏差 σ_{fa} の関係をプロットした。この図より、 ad/v^2 と σ_{fa} の間にはばらつきは大きいがほぼ線形関係のあることがわかる。最後

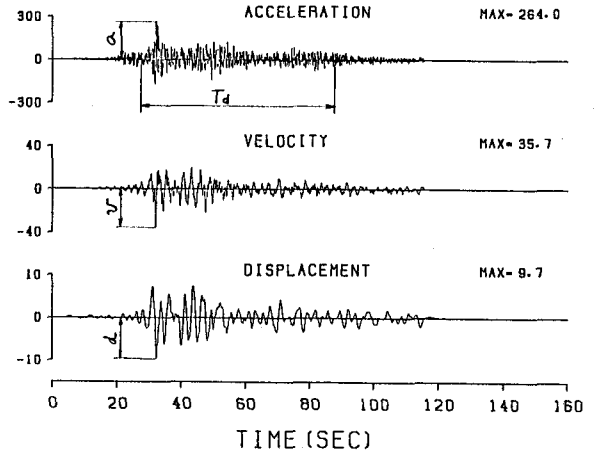


図-2 解析に用いた記録の一例
(1968年十勝沖地震, 八戸港湾)

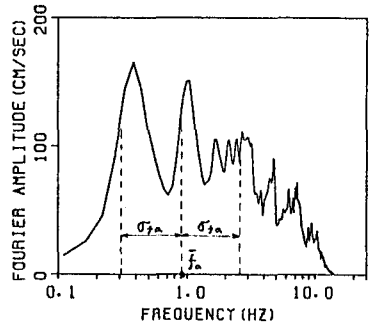


図-3 フーリエスペクトルの一例
(1968年十勝沖地震, 八戸港湾)

に、 a/v と T_d の関係について述べる。図-6は、 a/v と T_d の関係を両対数紙上にプロットしたものである。この図より、 a/v が小さくなるほど T_d が大きくなることがわかる。

以上のことより、最大振幅比 a/v は地震動の卓越振動数および継続時間の情報を含み、 a/v が小さい地震動ほど卓越振動数が低くかつ継続時間が長いこと、また、最大振幅比 ad/v^2 は地震動のスペクトルの拡がりに関係することがわかった。

4. おわりに

地震動の加速度、速度および変位の最大振幅比 a/v および ad/v^2 とパワースペクトルの平均振動数、標準偏差および継続時間の関係を検討した。その結果、 a/v 比はスペクトル特性および継続時間と密接に関係し、 a/v が小さい地震動ほど卓越振動数が低くかつ継続時間が長いことがわかった。 ad/v^2 比については、スペクトルの拡がりとは何らかの関係のあることが分かったが、両者の関係はばらつきのあるものとなった。

地震動の強度特性、スペクトル特性および継続時間をなるべく少ないパラメータで表すという観点から見ると、強度特性は従来より用いられている最大加速度 a で表現し、スペクトル特性と継続時間は a/v で表すのがよいと考える。 a/v は、多数の地震記録の分類や、模擬地震動作成のための情報を与え、ひいては耐震設計のために有用になると思われる。これらについては、今後更に検討していきたい。

謝辞

本研究で用いた地震記録は、運輸省港湾技術研究所並びに建設省土木研究所において収録された記録に対して、基線並びに計器補正を施した加速度記録である⁷⁾。記して、関係者の方々に深甚なる謝意を表わします。

参考文献

- 1) Zhu, T. J., Tso, W. K. and Heidebrecht: Effect of peak ground a/v ratio on structural damage, ASCE,

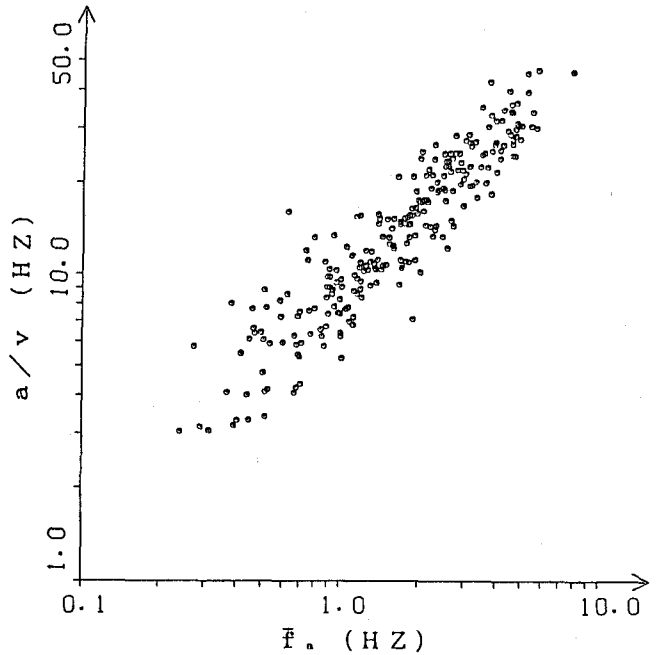


図-4 最大振幅比 a/v と卓越振動数 f_a の関係

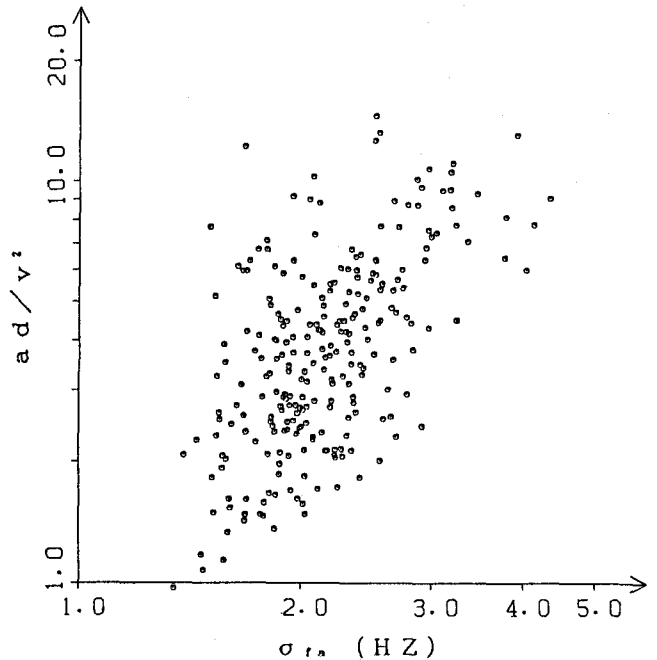


図-5 最大振幅比 ad/v^2 と加速度スペクトルの拡がり σ_{fa} の関係

Vol. ST114, No. 5, pp. 1019-1037, 1988.

2) Loh, C-H. and Ho, R-C.: Seismic damage assessment based on different hysteretic rules, EESD, Vol. 19, pp. 153-171, 1990.

3) Seed, H. B., Murarka, R., Lysmer, J. and Idriss, I. M.: Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from source, and local site conditions for moderately strong earthquakes, BSSA, Vol. 66, No. 4, pp. 1323-1342, 1976.

4) Niazi, M. and Bororgnia, Y.: Observed ratios of PGV/PGA and PGD/PGA for deep soil sites across SMART1 2D Array, Taiwan, proc. of 4th National Conf. on Earthq. Engr., Vol. 1, Palm Springs, 1990.

5) Newmark, N. M. and Rosenblueth, E.: Fundamentals of Earthquake Engineering, pp. 228-236, 1971.

6) 石垣・松木・沢田: 有帯域ホワイトノイズによる模擬地震動の作成とその適用性の検討, 土木学会第38回 年次学術講演会概要集, 第1部, pp659-660, 1983.

7) Design Seismic Load Research Group: Corrected and Integrated Earthquake Motion Accelerograms, Revised Edition, Research Report, No. 84-ST-03, School of Civil Engineering, Kyoto University, 1984.

8) Trifunac, M. D. and Brady, A. G.: A study on the duration of strong earthquake ground motion, BSSA, Vol. 65, pp. 581-626, 1975.

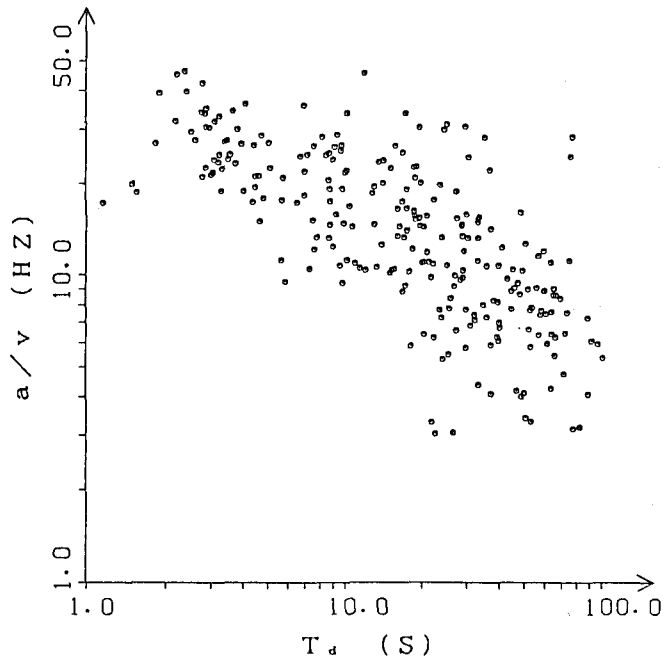


図-6 最大振幅比 a/v と継続時間 T_d の関係