

宮崎大学 大学院 学正員 佐藤敏文

宮崎大学 I学部 正員 原田隆典

1.まえがき 構造物内の機器の応答スペクトルを計算する場合、通常の計算と同じように機器を1質点にモデル化し、この1質点に、構造物の床の地震応答加速度時刻歴を入力する。この1質点系の応答最大加速度を、系の固有周期、減衰定数に対してプロットすると機器に対する加速度応答スペクトルが得られる。しかし、床の加速度時刻歴は、構造物と地震波の組み合わせを考えると多種となり、さらに機器の設置位置などを考慮すると、機器の平均的な応答スペクトルを得るためには、膨大な計算が必要となる。そこで本文では、確率論的方法を採用して通常の構造物設計用加速度応答スペクトルから、図-1のような地下構造物内の機器に対する加速度応答スペクトルを計算する手法とその試算例を報告する。

2.方法の概観 不規則振動理論⁽¹⁾により、加速度応答の最大値を次式によって予測するものとする。

$$A_{TP} = Y_{TP} \cdot \sigma \quad \text{————— ①}$$

A_{TP} は、継続時間 T の非常常ランダム過程の非超過確率 P に対する最大値、 σ は、そのランダム過程の標準偏差である。また、 Y_{TP} は、最大値係数と呼ばれ、色々な式が提案されているが、現在までのところ、厳密な解は得られていない⁽¹⁾。本文では、とりあえず、Vanmarck 博士⁽²⁾のものをを用いる。すなわち

$$Y_{TP}^2 = 2 \ln \{ 2n [1 - \exp(-S_e^{1.2} \sqrt{\pi \ln(2n)})] \} \quad \text{————— ②}$$

$$n = -\omega_0 T / 2\pi \ln P$$

$$S_e = \sqrt{\frac{4h/\pi}{1 - \exp(-2h\omega_0 T)}}$$

A_{TP} を地下構造物内の機器の加速度応答の最大値とすれば、 σ は、機器の加速度応答の標準偏差となるから、構造物、1質点系の周波数伝達関数、入力地震動の片側パワースペクトルをそれぞれ、 $H_s(\omega)$ 、 $H_E(\omega)$ 、 $G_E(\omega)$ とすれば、 σ は、

$$\sigma = \left[\int_0^\infty |H_s|^2 |H_E|^2 \cdot G_E d\omega \right]^{1/2} \quad \text{————— ③}$$

一般に、図-4に示すような地下構造物の周波数伝達関数は、高いピークを持たないので、入力地震動のパワースペクトルとの積 $|H_s(\omega)|^2 \cdot G_E(\omega)$ を $G(\omega)$ とすれば、 $G(\omega)$ は、比格的なだらかなとなる。また、1質点系の周波数伝達関数 H_E は、系の固有振動数 ω_0 のところで高いピークを持つ。これらを考慮すると、③式の積分は、近似的に次のように書き換えられる。

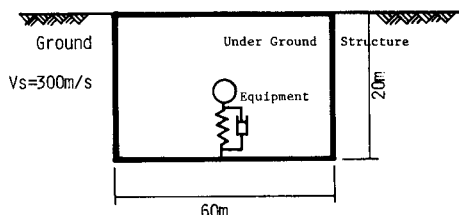


図-1 機器-地下構造物モデル

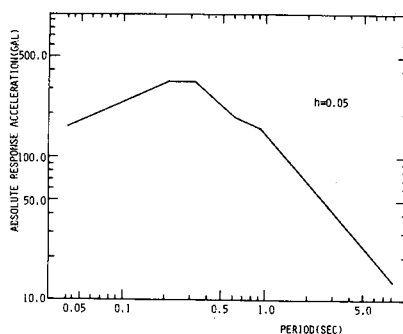


図-2 構造物設計用加速度応答スペクトル

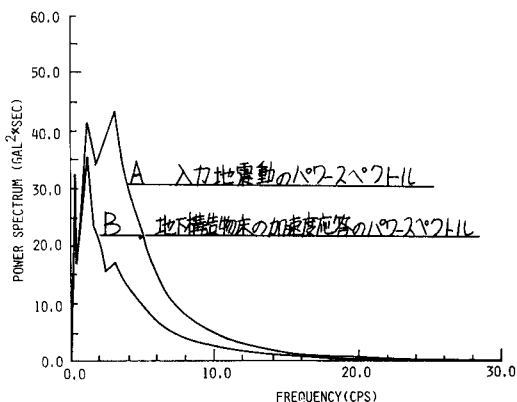


図-3 パワースペクトル

$$\sigma^2 = Q(\omega_0) G(\omega_0) + \int_0^{\omega_0} G(\omega) d\omega \quad \text{--- ④}$$

$$Q(\omega_0) = \left[\frac{1+h^2}{4h} \pi \{1 - \exp(-2h\omega_0 T)\} - \frac{1}{2} \right] \omega_0$$

ここで、 ω_0 , h は、1 質点系の固有円振動数、減衰定数である。従って、地下構造物内の機器の加速度応答の最大値 $A_{T,P}$ 、すなわち、機器の応答スペクトルは、次式より求めることができる。

$$A_{T,P} = \sqrt{Q(\omega_0) \cdot G(\omega_0) + \int_0^{\omega_0} G(\omega) d\omega} \quad \text{--- ⑤}$$

3. 試算例 通常の構造物設計用加速度応答スペクトル (図-2) として片山博士 (2) によるものを用い、入力地震動のパワースペクトルを次式により求める。

$$G_T(\omega) = \frac{1}{Q_T^*(\omega_0)} \left[\left(\frac{A_{T,P}^*}{\gamma_{T,P}^*} \right)^2 - \int_0^{\omega_0} G_T(\omega) d\omega \right] \quad \text{--- ⑥}$$

⑤式の $G(\omega)$ を入力地震動のパワースペクトル $G_T(\omega)$ と考えれば、 $A_{T,P}$ は、与えた応答スペクトル値 $A_{T,P}^*$ となる。したがって⑥式は、⑤式の逆演算により、入力地震動のパワースペクトルを求めたものである。次に、図-4 に示すような地下構造物の周波数伝達関数 H_2 を用いると $G(\omega) = G_T(\omega) |H_2(\omega)|^2$ すなわち地下構造物の床の加速度応答のパワースペクトルは、図-3 の B のように求まり、この $G(\omega)$ と⑤式から、地下構造物内の機器の平均応答スペクトルが図-5 のように求まる。(図-5 は、 $P=50\%$, $T=10$ 秒, $h=0.05$, 0.02 に対して計算されている。)

4. 考察 図-5 に示す地下構造物内の機器に対する加速度応答スペクトル値は、振動数が高い領域 (振動数 2 Hz 以上) では、構造物設計用応答スペクトル値の約 1/3 である。これは、図-4 に示すような 1 種のローパスフィルタの特性を持つ地下構造物の振動特性に起因している。(3) 上述の計算を確かめるために、地下構造物の床の加速度応答のパワースペクトル (図-3 の B) から継続時間 10 秒の定常加速度時刻歴を 20 段人工的に作り (例えば図-6)、各々の波に対する機器の加速度応答スペクトルを計算し、その平均値をプロットした (図-5 の O 印)。図からわかるように確率論的手法で作り出したものとよく一致しており、本手法の有用性が確かめられている。

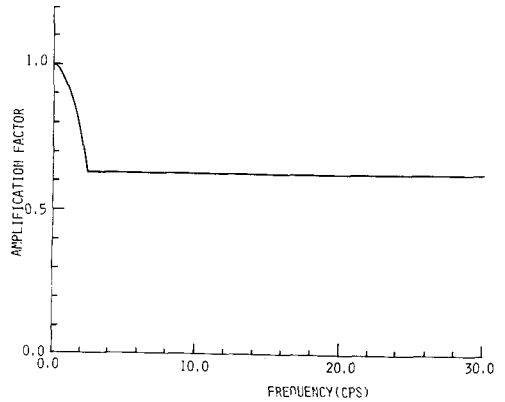


図-4 地下構造物の周波数伝達関数

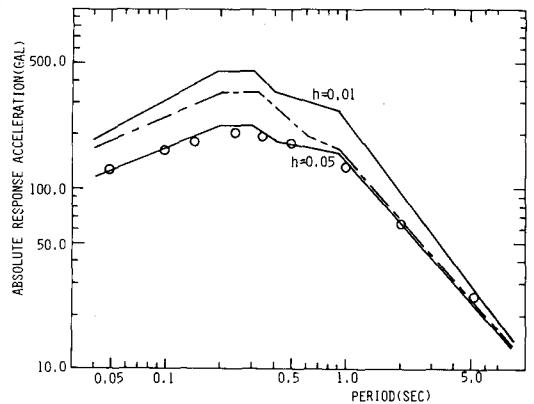


図-5 機器の平均応答スペクトル

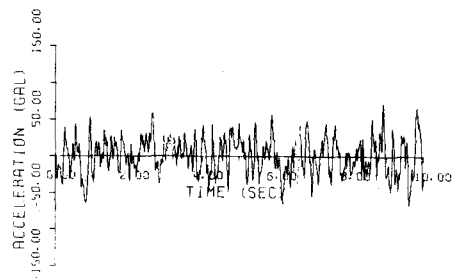


図-6 地下構造物床の加速度時刻歴

- (1) Erik H. Vammarcke: Proc. of ASCE, Vol 98, No. EM2, PP425~446, 1972
- (2) 片山, 岩崎, 佐伯: 土木学会論文報告集, 第275号, PP29~39, 1978
- (3) 原田, 久保, 片山: 東京大学生産技術研究報告 Vol 29, 第5号, 1981