

大成建設 正員 ○藤田 俊英
名古屋大学 正員 島田 静雄

§1 まえがき

地表で観測される地震動の性質は、その観測地点付近の地盤の地形的構造や物理的性質により、大きく影響を受けると言われている。したがって、構造物の耐震性を論ずる場合、構造物建設地点付近の地盤の性質を考慮した擬似地震動を作成して、これを用いて応答計算を実行して、構造物の地震時の安定性を検討することは、重要であると考えられる。本報では、このような観点から、山原の立場にそって、地盤を表層と基盤に分割し、表層を並列2次系モデルと見做して、擬似地震動を作成する方法で得られた擬似地震動の性質を述べるものである。並列2次系モデルの伝達関数を決定するパラメータ（卓越周期、減衰定数など）は常時微動の観測や、杭打ち時の地盤振動測定により決定できるものとする。

§2 並列2次系モデルの伝達関数

地震加速度 $\ddot{Y}(t)$ を、非定常確率過程と見做して、次式のように考える。

$$\ddot{Y}(t) = \psi(t) \times \dot{Z}(t) \quad (1)$$

ここで、 $\psi(t)$ は確率包絡線関数であり、 α 、 β を正の定数として、次式で計算する。

$$\psi(t) = e^{-\alpha t} - e^{-\beta t} \quad (2)$$

$\dot{Z}(t)$ は地震加速度の定常部分であり、並列2次系モデルでは、 n を表層モデルを構成する2次系の総数として、

$$\dot{Z}(t) = p_1 \ddot{Z}_1(t) + \dots + p_n \ddot{Z}_n(t) = \sum_{i=1}^n p_i \ddot{Z}_i(t) \quad (3)$$

で表わされる。 $\ddot{Z}_i(t)$ は、 i 番目の表層の卓越周期を T_i 、この卓越周期をもつ2次系の減衰定数を ZR_i として、

$$\ddot{Z}_i(t) + ZR_i \omega_i \dot{Z}_i(t) + \omega_i^2 Z_i(t) = ZR_i \omega_i \dot{Z}_0(t) + \omega_i^2 Z_0(t) \quad (4)$$

$$\omega_i = 2\pi / T_i \quad (5)$$

を解いて得られる。ここで、 $Z_0(t)$ は、金井の研究から、速度スペクトルが一定である入力（速度型入力）で、

$$\frac{1}{T} \int_0^T \dot{Z}_0(t) \times \dot{Z}(t+T) dt = \delta(T) \quad (6)$$

と表わされる。

並列2次系モデルの速度→加速度を表現する伝達関数 $G(s)$ は、 i 番目の2次系の伝達関数を $G_i(s)$ とすると、 $G(s)$ は、並列接続であるので、 $G_i(s)$ の和として、次式で計算できる。

$$G(s) = \sum_{i=1}^n p_i G_i(s) \quad (7)$$

$G_i(s)$ は、(4)式について、速度型の単位衝撃関数に対する加速度応答を、ラプラス変換して表わされる。

$$G_i(s) = \frac{s(ZR_i \omega_i s + \omega_i^2)}{s^2 + ZR_i \omega_i s + \omega_i^2} \quad (8)$$

§3. シミュレーション技術

一般には、ホワイト・ノイズを入力として、(4)式を積分する方法がとられるが、今回は、(7)式と(8)式から擬似地震動のポワースペクトル $S(\omega)$ を計算して、多くの独立な正弦波の組み合わせで $\ddot{z}(t)$ を作成した。

$$S(\omega) = |G(i\omega)|^2 \quad (9)$$

ポワースペクトル $S(\omega)$ より、対象とする振動数領域を $\Delta\omega$ に分割して、

$$\ddot{z}(t) = \sum_{k=1}^N A_{Rk} \sin(\omega_k t + \phi_{Rk}) \quad (10)$$

$$A_{Rk} = \sqrt{2S(\omega_k)\Delta\omega_k} \quad (11)$$

となる。 A_{Rk} は振動数が ω_k である成分波の振幅、 N は成分波の総数である。 ϕ_{Rk} は位相角であり、実際には無数の組合せが存在するので、 $0 \sim 2\pi$ までの一様乱数として与えた。計算にさいしては、周振数帯域を $0.2 \sim 10.0$ Hz として、この範囲を 0.2 Hz ごとに等分割した。また、擬似地震動の発生間隔は 0.02 秒、最大加速度を 100 gal に統一した。(2)式の確定包絡線関数の定数は、 $\alpha = 0.15$ および $\beta = 0.6$ を選んだ。

(3)式、(4)式の表層パラメータについては、まず $m=2$ として、従来から言われている $0.2 \sim 0.3$ 秒の卓越周期をもつ2次系と周期が1秒以上 (2.25 秒と 5.0 秒を考えた)の2次系からなる表層モデルを想定し、1秒以上の長周期成分が、擬似地震動の性質に及ぼす影響を調べることにした。その他のパラメータについても、種々変化させ、多くの表層条件に応じた擬似地震動を作成した。

§4. 擬似地震動の性質

作成した擬似地震動の性質を調べる手段としては、相関関数、ポワースペクトル、応答スペクトル、平均応答スペクトル、20%減衰スペクトル強度および平均パワーなどを用いた。これらの結果から、本報文で提案した表層モデルに従う擬似地震動は、実地震動と非常によく似た性質をもつことがわかった。すなわち、速度応答スペクトルでは周期1秒以上の領域で、周期に関係なくほぼ一定値をとり、変位応答スペクトルでは、周期に比例してスペクトル値が増加する傾向が得られた。また、これらのスペクトル値は、実地震動 (El Centro, Taft など) から計算したスペクトル値に近い値を示すこともわかった。なお、ポワースペクトル、相関関数の一例を写真-1に、変位応答スペクトルの一例を写真-2に示す。

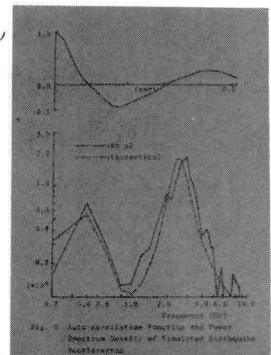


写真-1

§5. あとがき

(8)式で表わされる2次系を並列に組み立てた表層モデルから、ほぼ実地震動の性質をもつ擬似地震動を作成することができた。なお、本報文で用いたシミュレーション技術は、ホワイト・ノイズを発生させて数値積分する方法に比べ、簡単に計算時間も短いことを付け加える。

【参考文献】

- 1) 金井 清; 「地震工学」 共立出版
- 2) 山原 浩; 「地盤の振動特性を考慮した地震時の地動の推定(その2)」 建築学会論文報告集, 第176号, 昭和45年10月

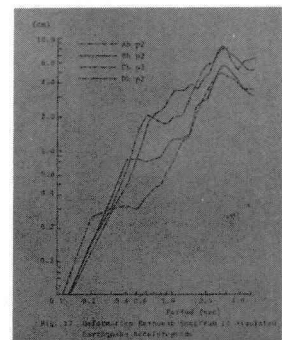


写真-2