

構造物の耐震設計における入力地震波について

京都大学工学部 正員 後藤尚男

京都大学工学部 正員 O土岐憲三

1. まえがき

地震動の諸特性は地盤の状態などによって異なるために、構造物の振動解析における応答計算に当っては構造物の造られる地盤に見合った地震動の記録を用いる必要がある。すなわち、同一の地震であっても地盤によって地震波のスペクトル構造は異なることはよく知られているが、現状では広範囲にわたる地盤あるいは基盤ごとの代表的な地震動の記録は得られるに至っていない。そこで本研究は地震動の周波数特性に注目して、任意のスペクトルを有するランダムプロセスを電子計算機内に自動的に発生させる方法と、得られた結果について実地震記録との比較検討を行なったものである。

2. 人工地震波の合成

人工地震波を表わす時間関数として次式のような確率過程 $x(t)$ を考える。

$$x(t) = a \sum_{n=1}^N \cos(\omega_n t + \phi_n) \quad (1)$$

ここに、 a は加速度の単位を持つ定数、 N は正整数、 ω_n は確率密度 $p(\omega)$ を持つ確率変数、 ϕ_n は $0 \sim 2\pi$ の範囲で一様に分布するランダム位相角である。いま、 $N \rightarrow \infty$ に対する ω_n を ω_k と表わすと、パワースペクトル $S(\omega)$ は次式のごとくになる。

$$S(\omega) = \frac{\pi a^2}{2} \int_{-\infty}^{\infty} p(\omega_k) \{ \delta(\omega_k + \omega) + \delta(\omega_k - \omega) \} d\omega_k = \pi a^2 p(\omega) \quad (2)$$

すなわち、式(1)で表わされる確率過程では周波数の確率密度とパワースペクトルとが相似な関係にあることを示しており、任意のスペクトル密度 $S(\omega)$ を持つような時間関数は $S(\omega)$ と相似な確率密度 $p(\omega)$ を確率変数 ω と $0 \sim 2\pi$ で一様な乱数中から作り出す関数 $\cos(\omega t + \phi)$ で表わすことができる。

3. 計算例

数値計算に用いた周波数の確率密度曲線の例を図1に示した。式(1)で表わされる関数を電子計算機内で自動的に発生させる方法としてはモンテカルロ法の手法を用い、図1を積分して確率分布曲線 $P(\omega)$ を計算させ、しかる後に計算機内に発生させた $0 \sim 1$ で一様な疑似乱数により $p(\omega)$ 分布に従う乱数を計算して所要の確率密度 $p(\omega)$ を持つ ω を得た。

1例として $N = 200$ 、 $a = 10 \text{ cm/sec}^2$ 、計算間隔 0.02 sec の場合を 10 sec までを描いたものが図2である。図3は比較対照のために1952年6月のTaftでの地震記録の3secから13secまでを示したものである。

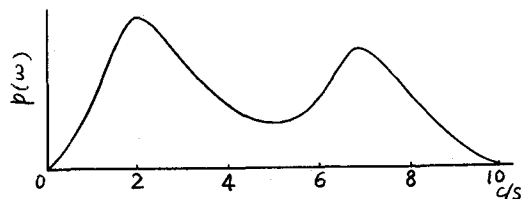


図1 周波数 ω の確率密度

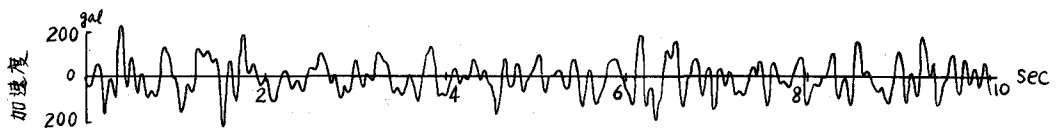


図2 人工地震波の例



図3 実地震記録の例 (Taft, 1952年7月21日, N21E)

図2の人工地震波と図3の Taft での実地震記録とは異なった周波数構造を持っているにも関わらず両者はよく似ており、加速度と時間の関係で表わされた地震記録からは、その地震動の周波数特性は見分けのつかないことを示すものである。また、得られた人工地震記録のスペクトルは図1の確率密度曲線とかなりよい相似性を示している。

4. 速度応答スペクトルと加速度振幅についての検討

上記の方法によつて得た同じ確率密度 $p(\omega)$ を持つ5個の人工地震波についてそれぞれ速度応答スペクトルを計算してその平均値を示したのが図4の実線である。この図によると T_0 が 0.6 sec 以上の範囲では応答速度がほぼ一定になる傾向を示しており、建設省土研や Housner によるものとよく対応している。

実線で示したのは本年6月21日の長野市における最大加速度 94 gal の地震記録についての結果であるが、いわゆる強震記録とはかなり異なった周期特性を持った地震動であることがわかる。また、上記の人工地震波群について加速度振幅の頻度分布を図5に示したが、かなりガウス分布に近い形状をしている。加速度振幅の時間的变化については講演時にゆづり。なお数値計算は京都大学電子計算機 KDC-II によった。

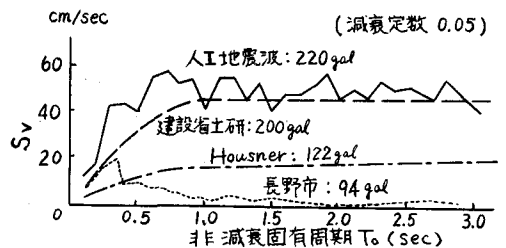


図4 速度応答スペクトル

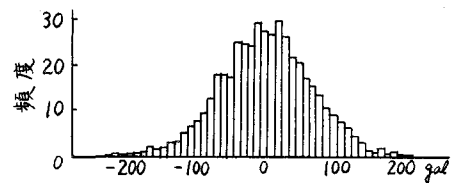


図5 加速度振幅の頻度分布

5. 結び

本研究で取り扱った人工地震波は実地震記録のもつ諸特性を有していることが確かめられたが、さらに同じスペクトルを持ち波形の異なった記録を発生させることができると同時に、完全に同一記録を発生させる再現性をも備えていることは、こうした人工地震波の構造物の動的解析における有用性を示すものである。

参考文献 Housner, G.W., and Jennings, P.C., "Generation of Artificial Earthquakes," Proc. ASCE, Vol. 90, EM1, February, 1964.