

徳島大学 学生員 〇古川 智  
徳島大学 正会員 沢田 勉

1. まえがき、耐震設計においては、地震動をいかに設定するかは重要な課題である。地震動は非定常特性を有し、それは振幅の非定常性と周波数の非定常性に分離される。地震動を確率論手法を用いてモデル化する場合、定常モデルでは解析が容易であるが精度が落ち、振幅のみ非定常とした振幅非定常モデルは、比較的解析が簡単であるため現在でも多く用いられているが、周波数の非定常性の影響が応答にどの程度表われるのかが定量的に評価できない。周波数および振幅の両特性を非定常とする確率モデルは、精度はよいが解析が非常に複雑であるという欠点がある。

本報告は、地震動の非定常性が構造物の応答に与える影響を知ろうとする目的より、振幅非定常確率モデルを用いて応答解析を行い、実地震のそれと比較することにより、周波数の非定常性の影響を定量的に評価しようとした。

2. 振幅の非定常性、地震動を分離可能な非定常過程 $X(t)$ とすると、 $X(t)$ は、その包絡線に相当する閉包 $\sqrt{C(t)}$ と、平均が零で分散 $E[n(t)]$ が1である定常確率過程 $n(t)$ との積、 $X(t) = \sqrt{C(t)}n(t)$ として表わせる。ここで、 $X(t)$ の自乗平均値は、 $E[n(t)] = 1$ を用いて次式で与えられる。 $E[X^2(t)] = \sigma^2(t) = C(t)$ 、 $E[X^2(t)]$ はアンサンブル平均であるが、これを時間平均で考え、実地震の加速度記録から移動平均によって次式のように計算した。<sup>(1)</sup>

$C(t) = E[X^2(t)] = \frac{1}{\Delta T} \int_{t-\Delta T/2}^{t+\Delta T/2} X^2(t) dt$ 、ここで、移動平均幅 $\Delta T$ の決定が問題となるが、図-3(b)(c)に示すように、 $\Delta T = 0.4, 1.0, 2.0$ 秒とした場合の人工地震の平均応答スペクトルには、ほとんど差がなかったため、ここでは、 $\Delta T = 1.0$ 秒を採用した。

3. シミュレーション波の作成、定常確率過程 $n(t)$ は、実地震のパワースペクトル $S_X(\omega)$ を正規化して得られるフーリエスペクトル $C_n$ の位相角に乱数を発生させ、次式のようにシミュレートした。

$n_m = \sum_{k=0}^{N-1} |C_n| e^{i(2\pi f_m t_k + \theta_k)}$ 、ここで、 $|C_n| = \sqrt{\frac{S_X(\omega)}{2\pi T}}$ 、 $\theta_k$  = 位相角で $0 \sim 2\pi$ の一樣乱数、 $T$  = 全継続時間、である。このようにして $C_n$ と $\theta_k$ を決定したのち、高速フーリエ変換を用いて逆フーリエ変換を行ない、離散時刻点 $t_m$ での定常確率過程 $n_m = n(t_m)$ を求める。最後に $n(t) = \sqrt{C(t)}$ を乗ずることにより、人工地震 $X(t)$ を得た。

4. 計算結果、計算に使用した実地震記録の原波形を図-1に、そのパワースペクトルを図-2に示した。図-2(a)には、図-2(b)の実地震のパワースペクトルに対する人工地震の平均パワースペクトルを示すが、両者は、ほとんど同じ形をしてゐる。人工地震は、各実地震に対し10個発生させた。この人工地震を入力として線形1自由度系に作用させ、最大応答値から10個の平均応答スペクトルを求めた。図-3は各実地震の応答スペクトルと人工地震の平均応答スペクトルを減衰定数 $\xi = 0.02$ と $\xi = 0.1$ の場合について図示した。実地震と人工地震に対する応答スペクトルの全体の傾向はよく似ており、固有周期5秒付近までは、その差は約50%以下であるが、それを越える長周期部では差が増大する傾向にあり、周期10秒では約50%~100%大きくなる。

5. 結論および考察、地震動の非定常性について考えると、振動数の非定常性が応答に与える影響は、固有周期約5秒付近を越える長周期構造物には大きく表われる。しかし、それ以外の領域では、振幅の非定常性のみを考慮したモデルでも比較的よい結果が得られており、振動数特性の影響は小さいと考えられる。

参考文献、1). Liu, S.C : Evolutionary Power Spectral Density of Strong Motion Earthquakes, Bull. seism. Soc. Am., Vol. 60, No. 3, June, 1970

2). Goto and Tohi : Structural Response to Nonstationary Random Excitation, WJCEE, Vol. 1, 1969

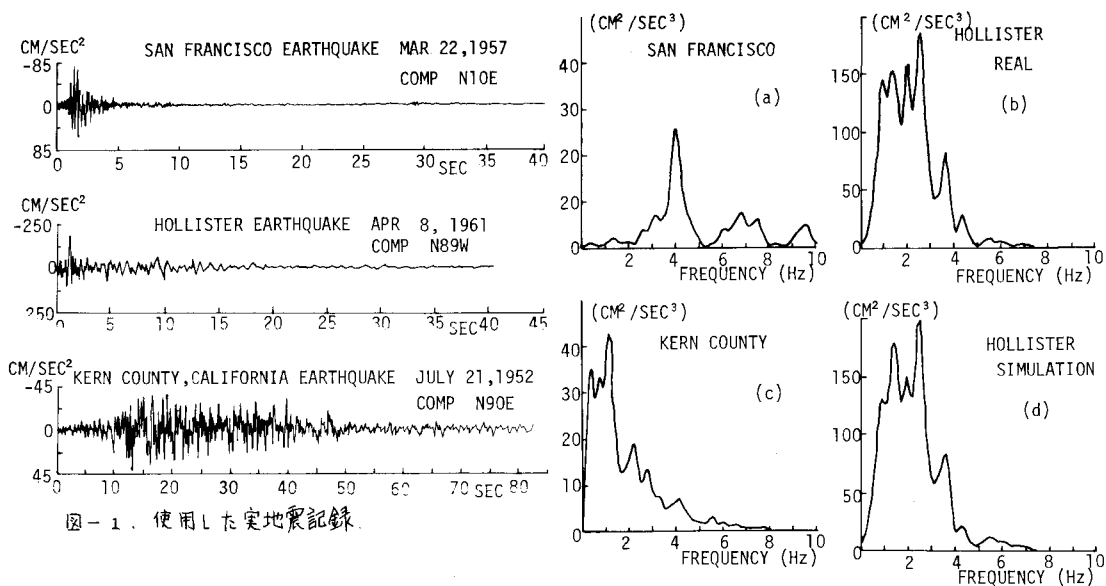


図-1. 使用した実地震記録.

図-2. 実地震と人工地震のパワースペクトル

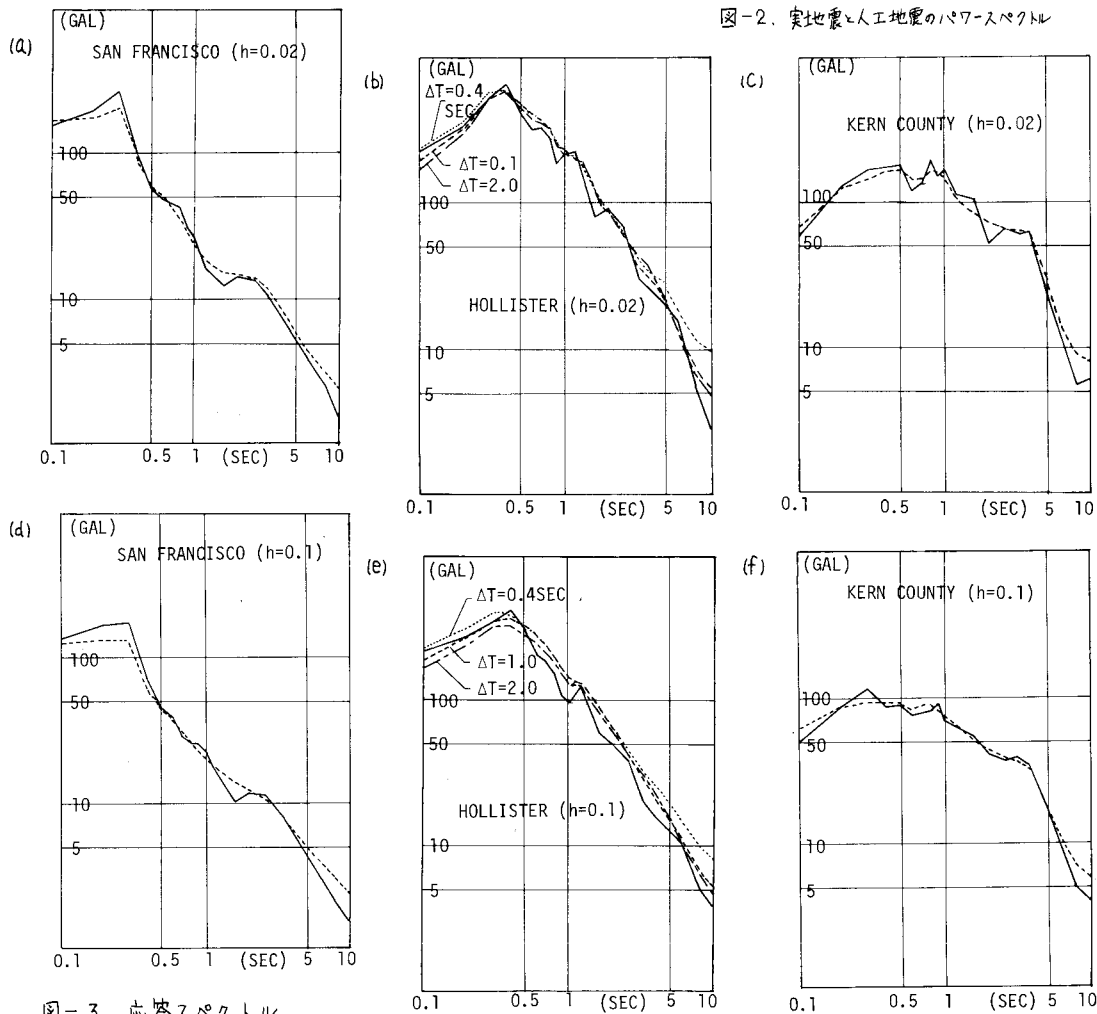


図-3. 応答スペクトル