

地震動の非定常性について

京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三

1. まえがき

構造物の耐震設計に際して地震動を確率過程とする考え方は広く行なわれているが、地震動は本来、非定常な現象であるから、地震波形を確率過程として表現する場合にもこれを非定常確率過程として取り扱うのが妥当であり、またその場合には確率法則、たとえば確率分布関数なども時間とともに変化すると考えざるを得ない。しかしながら、実際の地震動により得られる地震波形は地震動を確率過程とする観点からは単に一つの member function にすぎないから、こうした記録波形だけがこれに属する集合の確率法則の時間的変化を見い出すのは困難である。そこで地震波形を非定常確率過程として取り扱う場合には、地震波形を定常確率過程を表わす関数と時間に関する確定関数との積で与えられる擬定常確率過程としての表現が行なわれている。ここでは地震動へこのような表現が構造物の応答などのような関係にあるが、地震波形がどのような非定常性を持っているかについて若干の検討を行なった。

2. 地震動の非定常性

地震波形は次式のように、時間に関する確定関数 $\psi(t)$ と定常確率過程 $g(t)$ との積で表わされることがある。

$$f(t) = \psi(t) g(t) = a t \exp(-t/t_p) / t_p \cdot \cos(\gamma t + \varphi) \quad \dots (1)$$

ただし、 t_p は $\psi(t)$ が最大になる時間、 a は定数、 φ は $(0, 2\pi)$ で一様分布するランダム位相角、 γ は確率密度 $p(\gamma)$ を持つ確率変数であり、ここでは卓越振動数 γ_p を用いて、 $p(\gamma) = 2\gamma^2 \exp(-2\gamma/\gamma_p) / \gamma_p^3$ とした。線型1自由度の振動系に抽象できるような構造物の、このような入力地震波に対する応答について解析を実施し¹⁾、その数値計算結果を図-1に示した。これは入力加速度 $f(t)$ と応答変位 $x(t)$ の r.m.s および応答変位が ± 1 を越える回数の期待値である。横軸は無次元の時間であるが、入力が最大になる時間と応答が最大になる時間には差があり、この計算例では応答変位が最大になるのは入力が最大になるまでの時間の2倍に達することが認められる。これは $n_0(t^*)$ の曲線は構造物の応答が大きくなるのは一つの地震に対してはごく短い時間にすぎないことを表わしており、応答に及ぼす入力の非定常性の影響を示すものである。

次に、地震動を式(1)のように表わした場合、 $f(t)$ のスペクトルは定常確率過程 $g(t)$ のそれとは当然異なったものになるが、実地震記録についてこの問題を検討した。図-2は TAFT, JULY 21, 1952 の

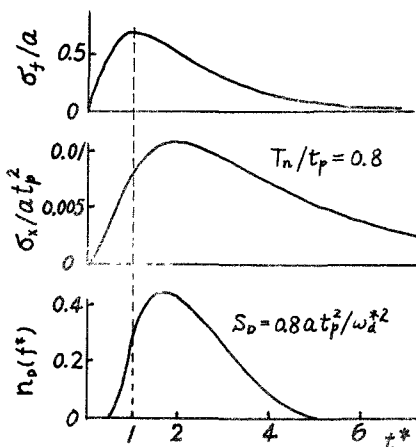


図-1 地震入力と構造物の応答

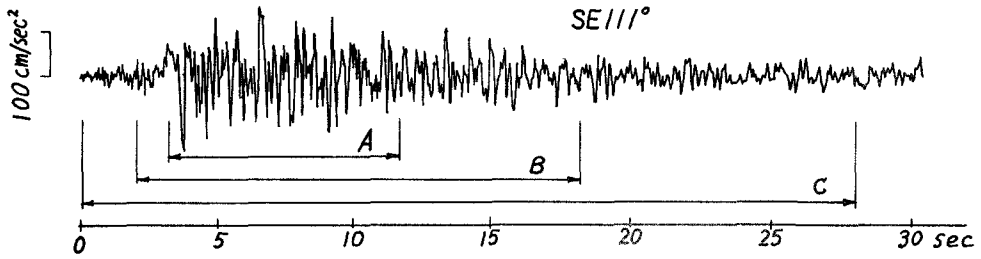


図-2 TAFT, JULY 21, 1952 の地震記録と採取波形

地震波形であり、3～12秒の部分にA波形、2～18秒をB波形、0～28秒をC波形とした。これらの波形についてフーリエスペクトル、自己相関関数の計算結果を図示したが、図-3である。これらの図から一つの地震波形のスペクトル構造は、その振幅が大きく比較的定常な部分の波形で代表せうれることがわかり、定常確率過程に確定関数を求めることによって生ずる周波数特性の変化はそれほど顕著でないことを示している。また、地震動の強さの時間的変化を移動平均の方法を用いて調べてみた。図-4はその一例として、TAFTの記録波形の2乗値について移動平均を行ない、その平方根を示したものである。移動平均時間 T_m が4秒の場合はかなりなめらかな曲線が得られており、その他の地震波形についても同様で計算を行なった結果、原波形の持つ卓越周期の約10～20倍程度の移動平均時間を用いることにより、地震動の強さの時間的変り変わりの推定が可能であることがわかった。その他の実地震記録についての解析結果は講演時に述べる。

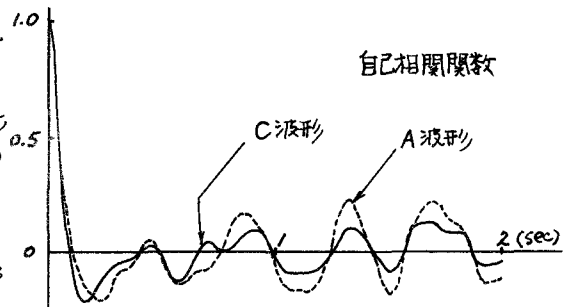
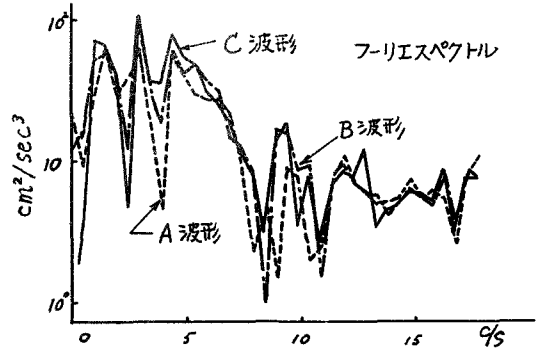


図-3 周波数分析 (TAFT)

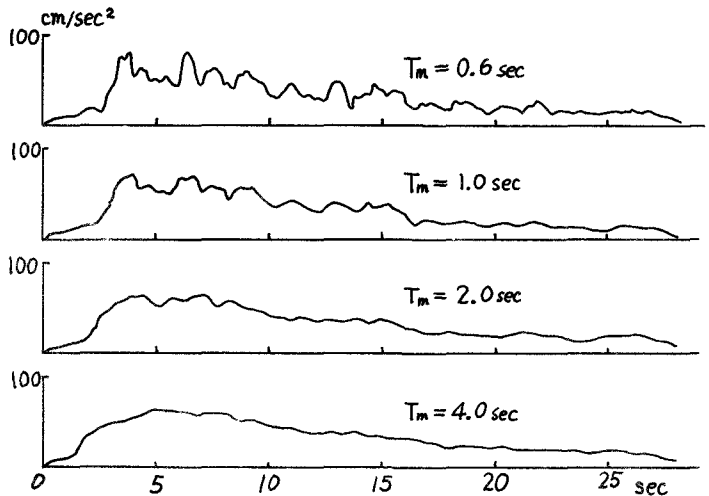


図-4 地震動の強さの時間的消長 (TAFT)

1) 土岐憲三：地震動のシミュレーションと応用、京都大学防災研究所年報、第11号A、昭43.3。