I －19　非定常人工地震波のシミュレーションについて

武蔵工業大学土木工学科　正員　星谷　勝
〃　○正員　千葉利晃

1. 緒言

人工地震波に関するこれまでの研究は多くの場合地震動を定常確率過程として取り扱うか，振幅特性のみの非定常性を考慮した非定常確率過程として取り扱われてきた。しかし地震動の周波数特性も時間の経過につれて変化するものである。したがって現象を正確にモデル化するためには，周波数特性の非定常性をも考慮に入れた非定常確率過程としてモデル化すべきであろう。このような観点から我々は PHYSICAL SPECTRUM の概念を用いて地震加速度波の非定常スペクトル解析を行ない，更に原波形と同じ非定常スペクトル特性を持った人工地震波を作成してきた。その解析の結果，地震波の持つ非定常特性をとらえるのに PHYSICAL SPECTRUM が十分使えることを示した。同時に我々の提案した人工地震波も十分な精度で作成できることを示した。しかし PHYSICAL SPECTRUM を求める際のウインドウ関数の検討や，人工地震波モデルにおける若干の検討を残しているように思える。したがって今回は，これらのことに焦点を当てて検討を加えてみたいと思う。

2. 理論解析

確率過程 $x(t)$ の PHYSICAL SPECTRUM は MARK によって提唱されたもので，次式で定義される。

$$S(\omega, t; W) = E\left[\frac{1}{2\pi}\left|\int_{-\infty}^{\infty} W(t-u)\, x(u)\, e^{-i\omega u}\, du\right|^2\right] \qquad ; -\infty < \omega < \infty \tag{1}$$

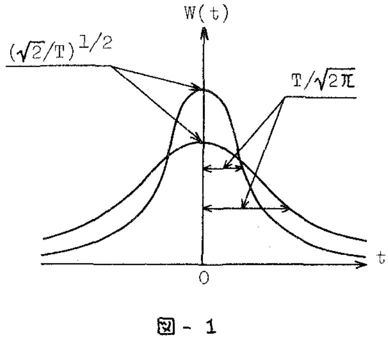
ここで $W(t)$ はウインドウ関数と呼ばれ $\int_{-\infty}^{\infty} W^2(t)\,dt = 1$ を満足し，かつ $t=0$ の近傍で正値をとり，この近傍の外では $|W(t)|$ は非常に小さいものとする。このウインドウ関数は周波数分解において重要な役割をはたす。本研究では次式で定義されるガウス型ウインドウ関数を用いた。

$$W(t) = \left(\sqrt{2}/T\right)^{1/2} \exp\left(-\pi t^2/T^2\right) \tag{2}$$

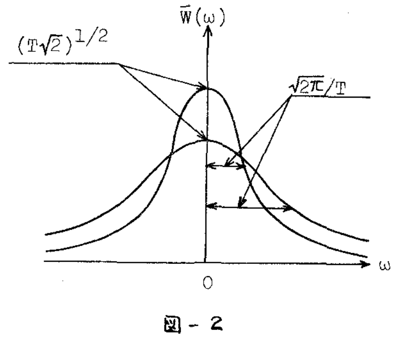
PHYSICAL SPECTRUM におけるこのウインドウ関数は *multi-filtering technique* におけるインパルス応答関数 $h(t)$ に対応する。したがって，ウインドウ関数の形状と周波数領域の分解精度との関係はインパルス応答関数と周波数応答関数 $H(\omega)$ との関係に類似である。周波数応答関数に対応するものは，(2)式をフーリエ変換することによって得られる。これを $\overline{W}(\omega)$ とすれば

$$\overline{W}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} W(t)\, e^{-i\omega t}\, dt = \left(T\sqrt{2}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{\omega^2}{4\pi/T^2}\right) \tag{3}$$

(2), (3)式あるいは図－1，図－2よりわかるように，Tを大きくすれば $\overline{W}(\omega)$ の帯域幅は狭くなり，$x(t)$ の周波数成分の分解精度は良くなる。一方，Tを大きくすると $W(t)$ は平担となり，地震動の時間領域の挙動をぼかすことになる。Tを小さくするとこの逆となる。すなわち，$x(t)$ の時間領域の挙動と周波数分解とは相反した関係になっている。このためにTの決定は，実際



図－1



図－2

の地震波を解析した後，考察を加えて妥協点を見つけなければならない。

3．人工地震波のモデル（調和関数型モデル）

地震加速度の非定常確率モデルは，単一周波数ω_ℓと振幅レベルが$a(\omega_\ell,t)$で与えられる調和関数の重ね合せによって次のように表わせる。

$$x(t)=\sum_{\ell=1}^{N}x(\omega_\ell,t)=\sum_{\ell=1}^{N}a(\omega_\ell,t)\cos(\omega_\ell t+\phi_\ell) \tag{4}$$

ここで (i) ϕ_ℓは$(0\sim 2\pi)$で一様な確率変数でϕ_kとϕ_ℓは互いに独立とする。

(ii) $a(\omega_\ell,t)$は確率過程$x(t)$のPhysical Spectrumを用いて次のように与えられるものとする

$$a(\omega_\ell,t)=\sqrt{4S(\omega_\ell,t;W)\Delta\omega}$$

ただし，$\omega_\ell=\omega_L+(\ell-\frac{1}{2})\Delta\omega$，$\Delta\omega=(\omega_U-\omega_L)/N$，$\omega_U,\omega_L$は周波数の上・下限値

4．数値解析および考察

数値解析には新潟地震記録（NS成分，最大加速度134.75gal，1964年）を使用した（図-3）。さて2節で述べたウインドウ関数の定数Tの決定であるが，文献(1)等ではT=2.5秒として解析を行なっている。しかし図-3に見られるように，約8秒以降には明らかに5秒程度の長周期成分が卓越している。(1)式で定義されるPhysical Spectrumは非定常確率過程$x(t)$を時間tの近傍ではほぼ定常確率過程であるとして，そのPower Spectrumをωおよびtの関数として求めたものである。したがって新潟地震のような特異な波形特性をもつ場合，Tを一定として解析するのは問題が残ろう。次に(4)式中のNの大きさについて述べる。(4)式中のϕ_ℓは$(0\sim 2\pi)$で一様な確率変数であるものとしている。しかし文献(1)等では，N=40と小さく，ϕ_ℓの一様性は保障しがたい。またϕ_ℓの一様性は人工地震波の精度に大きな影響を与える。したがってNの大きさは，ϕ_ℓの一様性を保障し得るに十分な大きさの数としなければならないであろう。また2節で述べた$W(t)$と$\overline{W}(\omega)$との関係をも考え，Physical Spectrumの周波数領域での変動を正しくとらえるに十分な大きさにすべきであろう。図-4に新潟地震のPhysical Spectrumを示しておく。解析結果は講演時にゆずる。最後に武蔵工大の学生である磯山,峯岸,宮前,行木君に感謝致します。

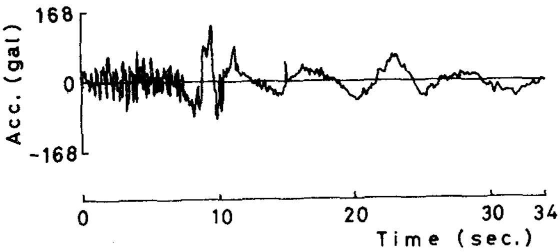


図-3

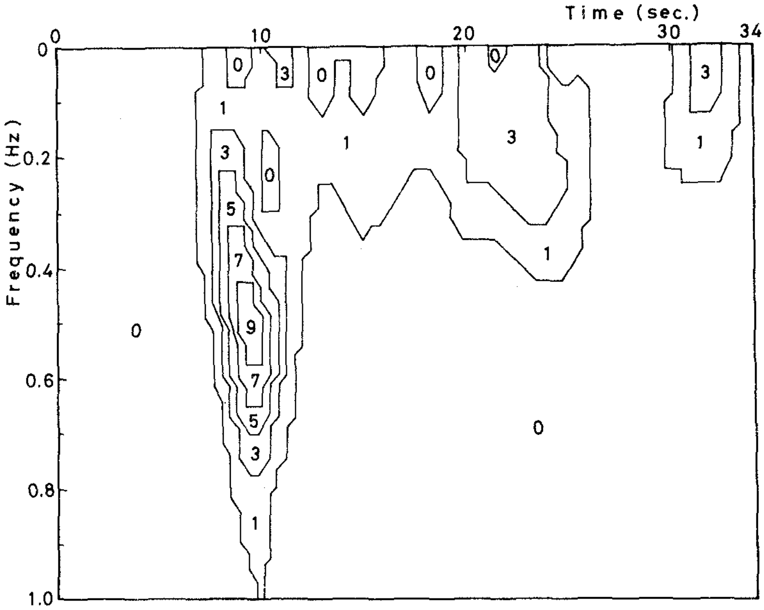


図-4

（参考文献）(1) Hoshiya & Chiba，第4回日本地震工学シンポジウム，1975年11月，(2)星谷，草野，土木学会全国大会，1975年10月，(3)星谷，千葉，土木学会全国大会，1975年，10月