

1. 目的

本研究は観測された地震加速度波形が振幅特性と同波数特性とともに時間方向の関数として変動する点に着目して、(1)その非定常特性を物理的に意味のある非定常スペクトルで捉えること。(2)さらに、原波形と同じ非定常性をもった人工地震波を非定常確率過程を用いて作成すること。の2点を目的としたものである。

地震波形は元来非定常特性をもつものであり、その原因としては地震の発生機構、伝播機構、観測地質周辺の地盤性状によるものと考えられるが、これらの諸機構はほとんど解明されていないのが現状である。したがって、本研究はこれら諸機構の解明への一つの手がかりを与えると同時に、耐震設計上では、より現実によくした人工地震波の作成への一手段として意義あるものとする。

2. 非定常スペクトル

非定常スペクトルの概念は定常確率過程におけるパワースペクトルのような物理的意義がつけにくいことから過去に多くの定義が発表されながら確立されたものがない。しかし近年 PRIESTLEY による EVOLUTIONARY SPECTRUM と MARKI による PHYSICAL SPECTRUM によって、物理的意味を持った定義が発表された。特に後者の PHYSICAL SPECTRUM は原データから直接求められるために非常に有効である。本研究ではこの PHYSICAL SPECTRUM を用いて解析を行った。

3. PHYSICAL SPECTRUM

このスペクトルは次式で定義される。

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

ここで $W(t)$ は WINDOW 関数と呼ばれ次の条件を満足するものとする。

$$\int_{-\infty}^{\infty} W^2(t) dt = 1 \quad (2).$$

$x(u)$ は地震加速度波である。

PHYSICAL SPECTRUM $S(\omega, t; W)$ は $x(u)$ を WINDOW $W(t)$ を用いて、 t の近傍で取りだしたものを、すなわち $f(u) = W(t-u)x(u)$ の平均エネルギーを同波数に分解したものである。したがって、 t をづらしていくことによって、地震波の各時間方向における同波数分布を求めることができる。

さらに、 $x(t)$ の全パワーを次式で定義すれば

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt \quad (3).$$

全パワーの期待値は PHYSICAL SPECTRUM の全種類に一致することがわかる。

$$E[E_x] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega, t; W) dt d\omega \quad (4).$$

PHYSICAL SPECTRUM における WINDOW 関数はインパルス応答関数に対応し、その形状と同波数領域の分解精度との関係はインパルス応答関数と同波数応答関数との関係に類似する。すなわち、 T を大きくすれば、 $x(t)$ の同波数分解精度はよくなるが、 $W(t)$ は平坦となり地震波の時間方向の挙動をぼかすことになる。WINDOW 関

数における T の決定は原データの解析の際に最終的に決定される。

4. 人工地震波の非定常確率モデル

単一周波数 ω_l のみを含む振幅レベルが $a(\omega_l, t)$ で与えられる成分波 $x(\omega_l, t)$ を多く重ね合わせることによって作成する。数学モデルは次式で与える。

$$x(t) = \sum_{l=1}^N x(\omega_l, t) = \sum_{l=1}^N a(\omega_l, t) \cos(\omega_l t + \phi_l) \quad (5)$$

ここで

(i) ϕ_l は $(0 \sim 2\pi)$ で一様な確率変数で、 ϕ_n と ϕ_l は互に独立とする。

(ii) $a(\omega_l, t)$ は $x(t)$ の PHYSICAL SPECTRUM を用いて

$$a(\omega_l, t) = \sqrt{4 S(\omega_l, t; W) \Delta\omega} \quad (6)$$

で与えられる。但し、 $\omega_l = \omega_c + (l - \frac{1}{2}) \Delta\omega$, $\Delta\omega = (\omega_u - \omega_l) / N$

5. 数値解析例

本研究の目的から原データとして周波数成分の時間変動が著しい地震加速度波を選ぶのが適当と思われる。したがって、手持ちのデータの中から新潟地震記録(N-S成分, 最大振幅134.75 gal)を用いた。(Fig. 1) 図から明らかのように $0 \sim 8.0$ sec までは短周期の波が多く、12.0 sec 以降は周期 7.0 sec 前後の長周期の波が卓越している。

PHYSICAL SPECTRUM の解析に先立ち、WINDOW 関数に於ける T の検討を行った。 T を変化させて PHYSICAL SPECTRUM を求め、分解精度を時間方向と周波数方向で同程度にする $T = 2.5$ sec を採用した。

PHYSICAL SPECTRUM を ω 領域 $0 \sim 10$ Hz で解析したが、原波形が長周期成分を含み、且つそのパワーが卓越しているので、区間を $0 \sim 1$ Hz と 1 Hz ~ 10 Hz に分けて算出し、前者のみを Fig. 2 に示す。これより全般中の傾向として長周期成分が 15 sec 以降に大きく、短周期にはるに比べて、その成分は地震の始めの部分に存在することがわかる。

原波形の PHYSICAL SPECTRUM を用い、(5)式により非定常人工地震波を作成した。

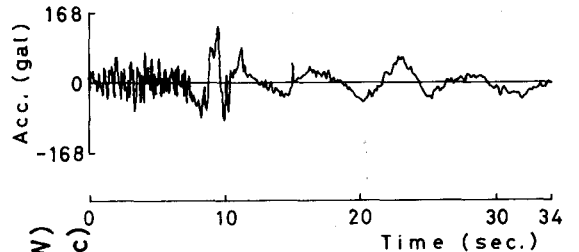


Fig. 1 新潟地震記録

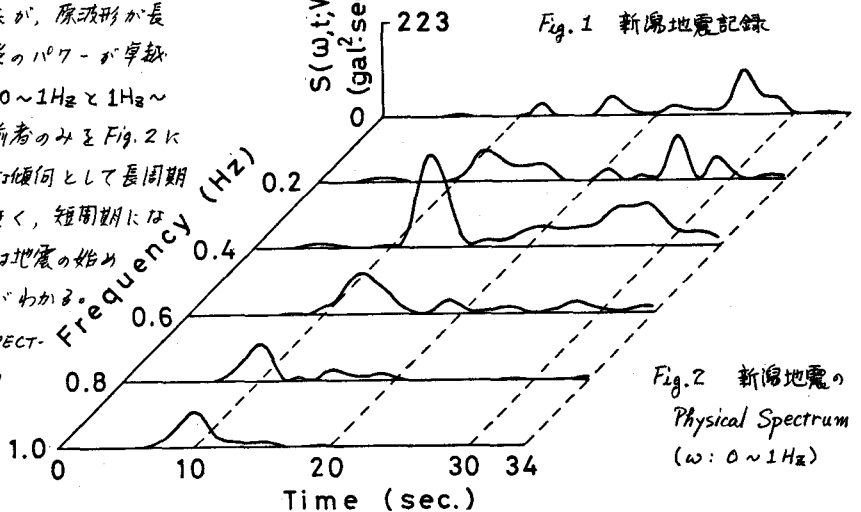


Fig. 2 新潟地震の Physical Spectrum ($\omega: 0 \sim 1$ Hz)

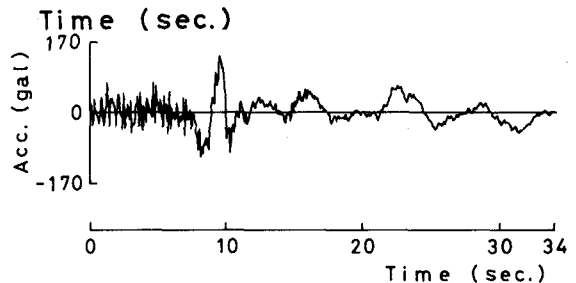


Fig. 3 人工地震波

Fig. 3 に人工地震波を示す。スペクトル特性をはじめとして全てに精度の高い波が作成できた。Fig. 1 と Fig. 2 の対比からも明らかである。