第Ⅰ部門　　　群遅延時間による地震動の非定常性を考慮した応答スペクトルの算定法

京都大学工学部　正会員　土岐憲三　　京都大学工学部　正会員　澤田純男
京都大学工学部　正会員　盛川　仁　　京都大学大学院　学生員○村川史朗

1．はじめに

地震学の分野では，地震動の特性をフーリエスペクトルを用いて議論されることが多く，その分野で得られた成果をそのままの形で土木構造物の設計に活かすことは困難である。そこで，本研究ではフーリエスペクトルを基に，構造物の周波数特性を考慮した設計を行う際の一つの指標として用いられる絶対加速度応答スペクトルを推定するための手法を提案する。その際，地震波の非定常性を表す指標として，これまであまり議論されていなかった位相特性を，群遅延時間[1)]を用いて取り入れると同時に，確率論的手法により波動の不確定性を評価する。

2．群遅延時間と絶対加速度応答の形状

区間 $[0,T]$ で定義された関数 $f(t)$ のフーリエ変換を $F(\omega)$ とするとき，群遅延時間 $t_{gr}(\omega)$ は $F(\omega)$ の位相の傾き $d\phi(\omega)/d\omega$ によって定義される。ただし，$0 \le t_{gr}(\omega) < T$ である。また $t_{gr}(\omega)$ は周波数ごとに大きくばらつくので平滑化することによって得られる $t_{gr}(\omega)$ の平均，分散を，それぞれ平均群遅延時間スペクトル $\mu_{tgr}(\omega)$，分散群遅延時間スペクトル $\sigma_{tgr}(\omega)^2$ として用いる。図1に1982年8月5日に銚子で観測された地震の加速度時刻歴波形，$t_{gr}(\omega)$，$\mu_{tgr}(\omega)$，$\mu_{tgr}(\omega) \pm \sigma_{tgr}(\omega)$ を示す。以下に示す計算はこの地震記録を用いた。

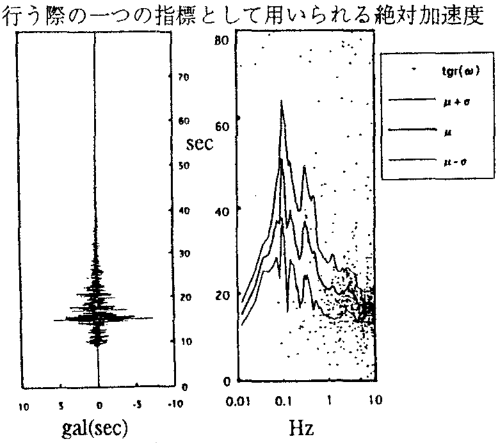

図1 銚子で観測された地震の加速度時刻歴と郡遅延時間

図1より，関数 $f(t)$ の包絡線の重心位置，広がりと，$\mu_{tgr}(\omega)$，$\sigma_{tgr}(\omega)$ との相関が大きいことがわかる。そこで，このような性質に基づき，地震動の絶対加速度応答の包絡線を $\mu_{tgr}(\omega)$，$\sigma_{tgr}(\omega)$ を利用したガウス関数と仮定する。図2 に固有周期 $T_0 = 0.1$ 秒，$T_0 = 0.3$ 秒の一質点系の絶対加速度応答と上で仮定した包絡線を示す。図2より，ガウス関数により応答波形の包絡線を示せることがわかる。

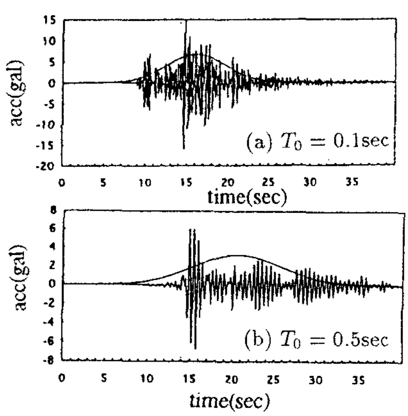

図2 銚子で観測された地震の絶対加速度応答とその包絡線

3．加速度応答を区分的に定常確率過程と考えた応答スペクトルの推定手法

固有周期 T_0 の一質点系の絶対加速度応答の最大値が，その包絡線の重心位置の近くに存在すると考え，区間 $[\mu(\omega_0) - \beta \cdot \sigma(\omega_0), \mu(\omega_0) + \beta \cdot \sigma(\omega_0)]$ において，絶対加速度応答が定常過程であると仮定する。この区間における極大値の個数が求まるので，第一種極値分布の理論より応答の最大値の期待値，標準偏差が計算できる。このような計算を種々の固有周期 T_0 について行うことにより応答スペクトルを推定する。図3 (a),(b)に β=1/2, 1の場合について，応答スペクトルの推定値と標準偏差，及び，線形加速度法によって求めた応答スペクトルを示す。

図3 (a)では，推定値は実際の応答スペクトルの値を少し下回り，(b)ではおおよそ一致している。このよ

Kenzo TOKI,　Sumio SAWADA,　Hitoshi MORIKAWA　and　Shiro MURAKAWA

うにβの値より推定結果が異なるが，これは，βの値が小さい場合，極大値の個数を過小評価する傾向があるためと考えられる。精度の良い応答スペクトルの推定を行い得るβの値の決定法についてはより詳細な検討を行なう必要がある。

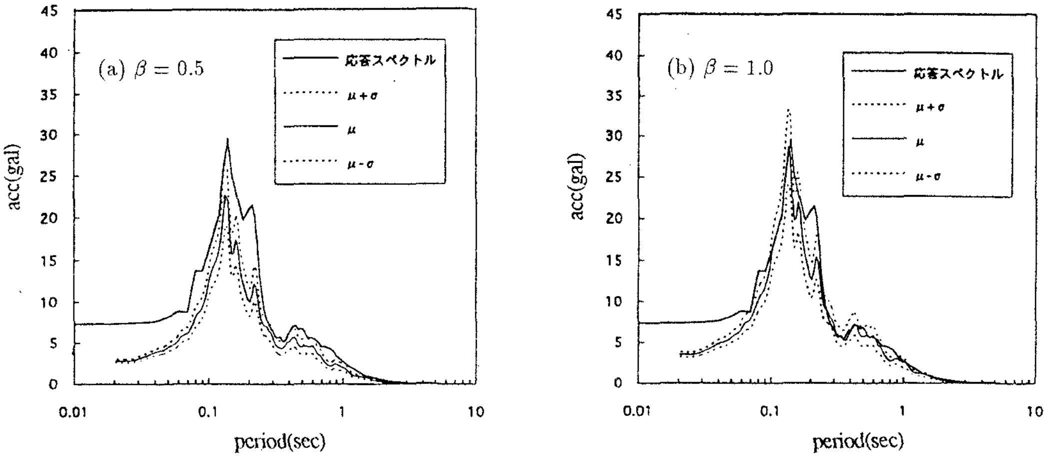

図3 線形加速度法により時刻歴から求めた絶対加速度応答スペクトルと一質点系の加速度応答がその包絡線の最大値付近で定常過程と仮定して推定した応答スペクトルの期待値と標準偏差

4. 加速度応答を振幅変調型非定常確率過程と考えた応答スペクトルの推定手法

一質点系の絶対加速度応答を,狭帯域の振幅変調型非定常過程と考える。$f(t)$が振幅変調型確率過程である場合,$f(t)=w(t)\cdot u(t)$と表せる。ただし,$w(t)$は包絡線で振幅強度の非定常性を表すための確定時間関数であり,$u(t)$は平均値0,分散1なる定常確率過程である。このとき,区間$[0,T]$における$f(t)$の最大値の近似解が解析的に求められている[2)]。そこでその解を用い，固有周期T_0の一質点の絶対加速度応答の包絡線として仮定したガウス関数を$w(t)$として，絶対加速度応答の最大値を求める。そして種々の固有周期T_0について最大値を計算することによって応答スペクトルを推定する。図4に応答スペクトルの推定値の期待値，標準偏差，及び，線形加速度法により直接求めた絶対加速度応答スペクトルを示す。

図4より推定値は実際の応答スペクトルと良い一致を示していることがわかる。この計算では，精度の良い結果が得られているが，他の計算結果より，長周期領域において$\sigma_{tgr}(\omega)$が小さいときには，応答スペクトルの推定値の標準偏差が大きくなる傾向がみられる。これは長周期領域で包絡線と仮定したガウス関数が，実際の包絡線形状を適切に再現できていないことに起因すると考えられる。今後は包絡線形状についても十分な検討を行う必要があると考えている。

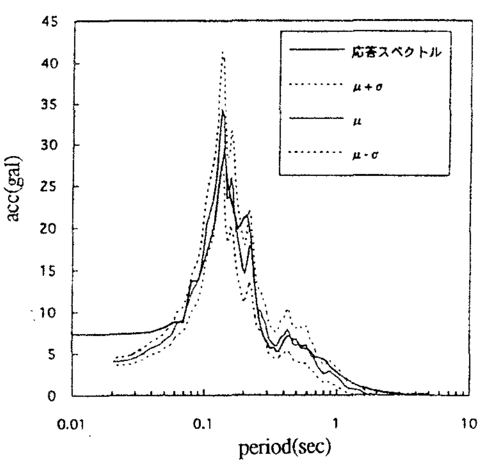

図4 線形加速度法により時刻歴から求めた絶対加速度応答スペクトルと一質点系の加速度応答を振幅変調型非定常過程と仮定して推定した応答スペクトルの期待値と標準偏差

参考文献

1)和泉・勝倉：日本建築学会論文報告集，第327号，昭和58年，pp.20-27.

2)亀田弘行ほか：機械・構造システムの動的信頼解析，通信教育　機械・構造システムのための信頼性工学講座テキスト，1978.

3)D.E.Cartright and M.S.Longuet-Higgins , *Proc. R. Soc. London*, Vol 237, 1956, pp212-232.