

京大工学部 正会員 〇杉戸真太

京大工学部 正会員 亀田弘行

京大大学院 学生員 高木英樹

1. まえがき 構造物の耐震設計のための動的応答解析において、構造物建設地点において予測される地震動の諸特性（最大加速度、速度、変位、スペクトル特性の非定常性、継続時間等）およびそれらのばらつきの程度を情報として含んだ地震動波形を用いることが合理的である。そのために、マグニチュードと震央距離、さらに地盤の伝達特性が与えられた場合の地震動予測モデルを提案したが、その後、地盤の平均 N 値と地震動パワーのばらつきとの相関、およびモデルパラメータのばらつきの振動数軸上での相関を予測モデルに取り入れることによりモデルの信頼性が向上することを確認した。それにより改良されたモデルを提案したので報告する。

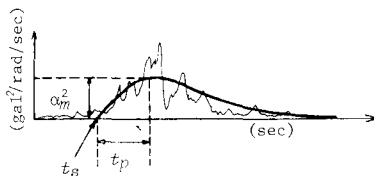
2. 非定常地震動の予測モデル

先の研究においては、実地震動の非定常パワースペクトルの時間特性を、図-1に示すように3つのモデルパラメータで表現できる関数でモデル化し、最大加速度および加速度全パワーに加えて弾塑性系の応答量の再現性を対象としてモデル化の妥当性を確認した。そして、強度パラメータ $\alpha_m(f)$ 、継続時間パラメータ $t_p(f)$ についてはマグニチュードと震央距離、また、立ち上がり時間パラメータ $t_s(f)$ については震央距離に対して、式(1)~(3)に示す形で回帰分析し、各振動数におけるモデルパラメータとマグニチュード、震央距離との関係、および推定式のばらつきの程度を求めた。

$$\log \hat{\alpha}_m(f) = B_0(f) + B_1(f) \cdot M - B_2(f) \log(c + \Delta) \quad \text{--- (1)}$$

$$\hat{t}_p(f) = P_0(f) + P_1(f) \cdot M + P_2(f) \log(c + \Delta) \quad \text{--- (2)}$$

$$\hat{t}_s(f) = S_0(f) + S_1(f) \cdot \Delta \quad \text{--- (3)}$$



式(1)~(3)による回帰分析には、わが国の沖積および洪積地盤で得られた主要な強震記録に基線補正および計器特性の補正を施した補正加速度記録⁵⁾63成分を用いた。マグニチュードと震央距離を設定すれば、式(1)~(3)より各振動数のモデルパラメータが決まり、これより沖積および洪積地盤上での平均的な非定常地震動が得られる。ところが、個々の実地震動のスペクトル特性は、観測地点における表層地盤の震動特性に大きく影響³⁾されることが多く、予測モデルに地盤特性を有効に取り入れる方法を検討した。図-2に、 S 波重複反射理論により地盤の震動特性を求め、これを強度パラメータ $\hat{\alpha}_m(f)$ に適用した結果($\hat{\alpha}_m^*$ で表示)、および実地震動から得られる $\alpha_m(f)$ の一例を示した。地盤特性の導入により、強度パラメータ α_m の振動数軸方向のばらつきが除去されと考えると、先に定義した定数 C_0 で表現される対数振動数軸上における α_m と $\hat{\alpha}_m$ との面積比一すなわち地震動のパワーのばらつきのみが強度パラメータのばらつきとなる。この地盤特性導入により強度パラメータ $\alpha_m(f)$ のばらつきは約20%減少し、モンテカルロ法によるサンプル地震動の地震動パラメータ1最大^{3),4)}加速度、速度、変位、加速度全パワー)のばらつきは約10%前後減少する。

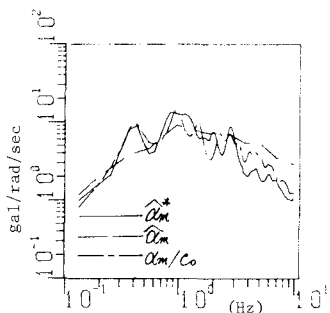


図-2 補正強度パラメータ $\hat{\alpha}_m^*$ 、 α_m 、および α_m/C_0 (S-252, EW, ハブ)

3. 地盤の平均 N 値と強度パラメータのばらつきとの相関

2.において述べた地震動のパワーのばらつきの指標である C_0 には、震源機構および波動の伝播経路に関する

要因と、表層地盤の平均的増幅率の2つの要因が関与しているものと考えられる。そのうち後者の要因を、δ波重複反射理論により地盤の震動特性を算出する際に考慮する基盤までの平均N値と仮定し、各地震動の C_0 と記録地点の平均N値との関係を検討した。図-3は、土質柱状図の得られている13地点における平均N値と、 $\log C_0$ を示したもので、図中の実線は最小2乗法による平均N値と $\log C_0$ との関係の推定式である。推定式は式(4)ようになる。推定式のまわりでのばらつきは、 $\sigma_{\log C_0^*} = 0.237$ となり、平均N値を考慮しない場合のばらつき $\sigma_{\log C_0} = 0.273$ と比較すると、約15%ばらつきが減少する。

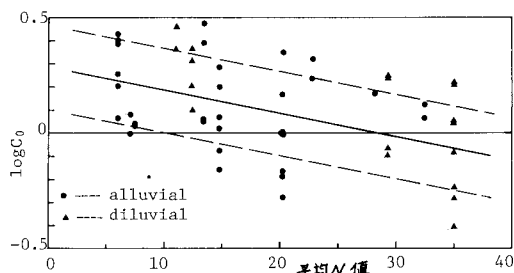


図-3 地盤の平均N値と $\log C_0$ との関係

$$\log C_0 = -0.0099 N^* + 0.283 \quad (N^*: \text{基盤と考えられる深さまでの平均N値}) \quad \text{--- (4)}$$

4. モデルパラメータのばらつきの振動数軸上での相関

先の研究においては、モデルパラメータのばらつきを考慮し、乱数を用いたモンテカルロ法によりモデルパラメータのサンプル値を決定しサンプル地震動を得た。強度パラメータ α_m に関しては地盤特性を考慮し、振動数軸上でのばらつきの傾向が一定であるとして1個の乱数により α_m のサンプル値を決めた。一方、継続時間パラメータ t_p 、立上り時間パラメータ t_s に関しては、各振動数ごとに乱数を発生させてサンプル値を決めた。図-4は、式(1)~(3)を用いて回帰分析した振動数のうち相隣る振動数間での各モデルパラメータのばらつきの相関を示したものである。同図において、強度パラメータ α_m のばらつきの振動数方向の相関は

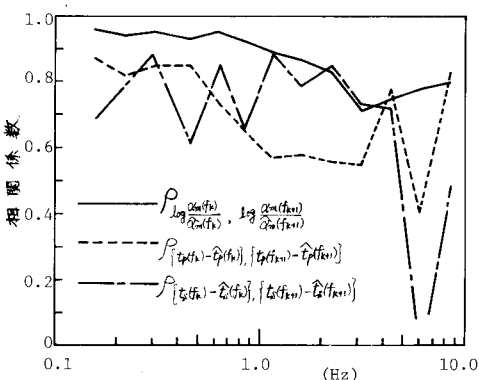


図-4 モデルパラメータのばらつきの振動数方向の相関

きわめて強く、上記の仮定が妥当であることを示しているが、 t_p 、 t_s についても比較的相関が強く、一般に低振動数ほど相関が強い傾向にある。したがって、パラメータ t_p 、 t_s のサンプル値は、振動数軸上の相関を考慮したものとすべきであろう。

5. サンプル地震動

3および4での検討から、地盤の平均N値および継続時間パラメータ t_p 、立上り時間パラメータ t_s の振動数方向のばらつきの相関を予測モデルに取り入れることが妥当と考えられる。地盤の平均N値を考慮することによりモデルの信頼度は向上するが、一方、パラメータ t_p 、 t_s のばらつきの振動数方向の相関を考慮することは、低振動数域では逆にモデルの不確実性をある程度増大させるものと考えられる。図-5に、サンプル地震動を得る過程を示した。なお、得られたサンプル地震動の統計的性質等については当日報告する。

6. 謝辞

本研究の遂行に当り、数値計算等データ処理に関して京都大学大学院生 浅村忠文氏に多くの助力を得た。記して深謝の意を表する次第である。

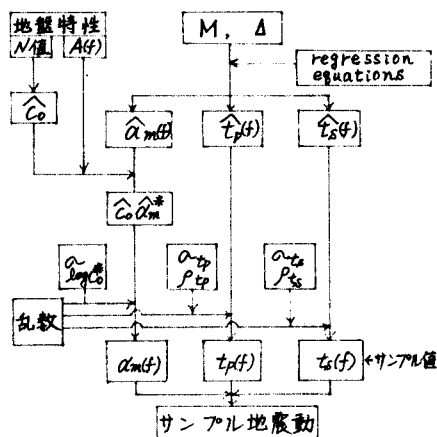


図-5 サンプル地震動発生過程

- 1) 亀田, 杉戸: 第5回日本地震工学シンポジウム, 昭53.11.
- 2) 後藤, 亀田, 杉戸: 土木学会論文報告集, 286号, 昭54.6.
- 3) 亀田, 杉戸, 浅村: 昭和54年度土木学会関西支部, 昭54.6.
- 4) Kameda, Goto, Sugito, Asamura: U.S. Earthquake Engineering Symp 1979.
- 5) 後藤, 亀田, 杉戸, 今西: 土木学会論文報告集, 277号, 昭53.9.