

非定常地震動のシミュレーションにおけるモデル定数のM-Δ 回帰分析

京大工学部 正会員 亀田弘行 京大工学部 正会員 ○杉戸真太

1. まえがき 強震地震動のシミュレーション法の中で、近來注目されるようになった手法の1つに地震動を非定常過程でモデル化するものがあるが、地震動の有効な非定常パワースペクトル算出に関する研究は少なく、またモデル化された地震動の非弾性応答レベルでの検証にまで至る研究は少ないのが現状である。本研究では亀田¹⁾の提案による非定常パワースペクトル算出法により強震地震動の非定常特性を抽出し、それらをモデル化するとともに、モデル化された地震動について各地盤種別に非弾性応答レベルでの検証を行った。さらに、モデルの各パラメーターについて地震規模(マグニチュード)及び震央距離に対する重線形回帰を行い、各振動数領域におけるそれらの諸特性を解明しようとした。なお、使用した地震記録は、後藤・亀田・杉戸・今西の提案による補正法を適用した、日本で記録された87成分^{2),4)}で、ここでは比較的データ数の多い3種地盤の解析結果を中心に報告する。

2. シミュレーションモデルの有意性の考察

模擬地震波 $x(t)$ を式(1)に示す非定常過程で表現する。

$$x(t) = \sum_{k=1}^N \sqrt{2G_x(t, \omega_k)} \cdot \sin(\omega_k t + \phi_k) \quad (1)$$

ただし、 $G_x(t, \omega)$ は非定常パワースペクトル

でこれを式(2)に示す形でモデル表示する。図-1 非定常パワースペクトル(ハブ, 1968, EW)

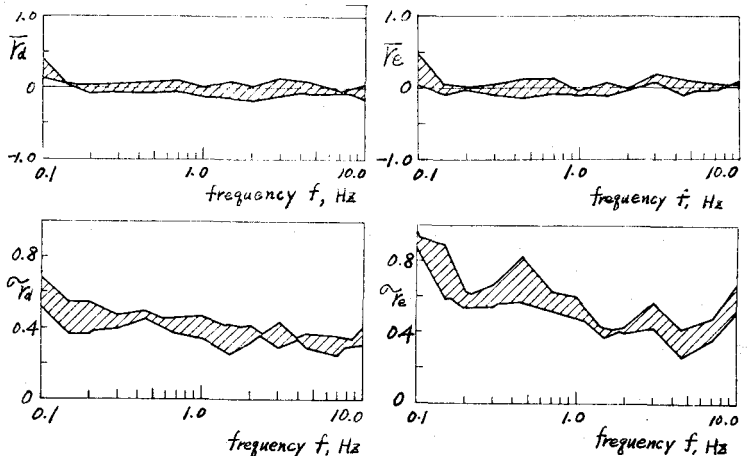
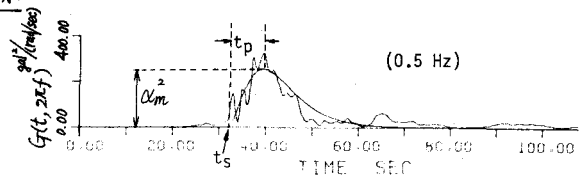
$$\sqrt{G_x(t, \omega)} = \begin{cases} 0 & ; t \leq t_s \\ \frac{\alpha_m(t - t_s)}{t_p} \exp\left(1 - \frac{t - t_s}{t_p}\right) & ; t > t_s \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 $t_s(t)$ 、 $t_p(t)$ は時間パラメーター、 $\alpha_m(t)$ は $\sqrt{G_x(t, \omega)}$ の最大値でいずれも振動数 f の関数である。マルチフィルターによって得られる実地震動の非定常スペクトル $G_y(t, \omega)$ と、 $G_x(t, \omega)$ とを、 $t_s(t)$ および任意実数 n を与えることにより、

式(3)によって整合させる。図-2 シミュレーション誤差と標準偏差(3種地盤, 45成分)

$$\int_0^\infty \{G_x(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt = A_0 = \int_0^\infty \{G_y(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt, \quad \int_0^\infty t \{G_x(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt = A_1 = \int_0^\infty t \{G_y(t, 2\pi f)\}^{\frac{n}{2}} dt \quad (3)$$

本研究では、 $t_s(t)$ を $G_y(t, 2\pi f)$ の最大値の0.1倍を初めて超える時刻とし、前回の研究に基づき $n=4$ を採用した。図-1に原記録とモデルの非定常パワースペクトルの例を示す。式(3)によって得られる非定常パワースペクトルを再合成した模擬地震波45成分(3種地盤)に



ついて、非弾性応答を考慮したシミュレーション誤差を図-2に示す。ただし、 $\bar{V}_d = E[\bar{V}_d]$, $\bar{V}_e = E[\bar{V}_e]$, $\bar{V}_d = \ln(V_d/V_r)$, $\bar{V}_e = \ln(E_s/E_r)$ で V =降伏変形スペクトル, E =全履歴エネルギー, 添字 S, r はそれぞれ模擬地震波, 実地震記録を表わす。図-2から本研究のシミュレーション法の妥当性がわかる。

3. モデルパラメーターの重回帰分析

モデル化における各パラメーターを次の形で重線形回帰分析し, 各係数を求めた。

$$\log \alpha_m = B_0 + B_1 M - B_2 \log(\Delta + 30) \text{----(4)}$$

$$t_p = P_0 + P_1 M + P_2 \log(\Delta + 30) \text{----(5)}$$

$$t_s = t_s - \bar{t}_s = S_0 + S_1 d \text{----(6)}$$

なお, 回帰分析においては独立変数の各領域における分散の変化を考慮し, 特異なデータの影響を小さくすることによって回帰式の信頼性を高めた。回帰式の各係数の値は図-3~図-5に示されるように, 各振動数領域での地震動の特性をよく表わしている。たとえば

図-3においては, α_m が中振動数領域で図-3 式(4)における回帰係数

マグニチュードに敏感に反応し, 高振動数領域で震央距離の増大に伴う α_m の減衰が著しいことがわかる。また図-4においては, 中振動数領域で t_p が震央距離にあまり依存せず, 高振動数領域ではマグニチュードの増大に伴い減少する傾向があることがわかる。図-5において S_1 は約6 Hz以上の高振動数領域で負の値を示しているが, これは高振動数成分の波の伝播速度が大きいことを裏付けている。

図-6はマグニチュード及び図-5 式(6)における回帰係数

震央距離が与えられた場合の式(4)の回帰スペクトルと回帰式の標準偏差を示したものである。各振動数領域でのマグニチュード及び震央距離に対する変動の差を知ることができよう。

他のパラメーターの回帰式の精度及び他の地盤における回帰係数等については当日発表する。

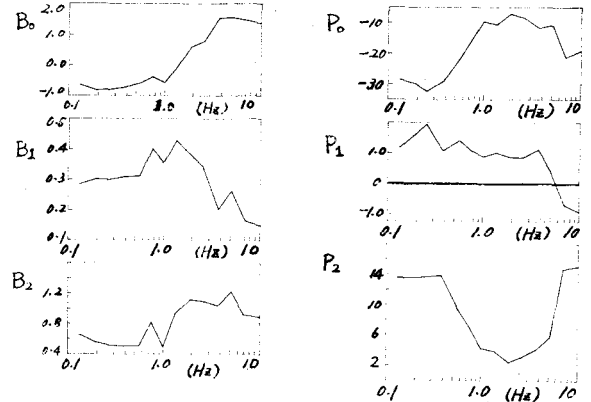


図-4 式(5)における回帰係数

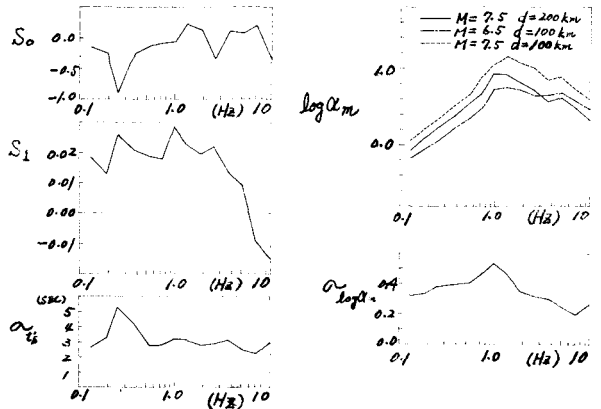


図-6 回帰スペクトル及び標準偏差

- 1) 亀田弘行; 土木学会論文報告集, 第235号, 昭.50.3.
- 2) 星谷 勝; 土木学会論文報告集, 第245号, 昭.51.1.
- 3) Kameda, H; U.S.-South Asia Symposium on Engineering for Natural Hazard Protection, 1977.9.
- 4) 後藤, 亀田, 杉戸, 今西; 土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 昭.53.5.
- 5) 港湾技研資料, 80号~202号, 昭.44.6.~昭.51.12, 6) 土木研究所資料, 317号ほか, 昭.43.3.~昭.52.12.