

(株)大林組技術研究所 正会員 江尻謙嗣
 (株)大林組技術研究所 正会員 後藤洋三

1. まえがき

構造物-地盤系の耐震安全性を照査するために実施される動的な地震応答解析においては、どのような入力地震動を設定するのが、一つの重要な鍵となる。そこで、本研究は、確率統計的手法を用いて、基盤に相当すると考えられる硬質地盤(岩盤と第1種地盤)における過去の地震観測記録^(1,2)から地震動の非定常特性を抽出し時間軸上でモデル化を行ない、それらと地震の規模(マグニチュードM)や震央距離Δとの関係を求め、M・Δが与えられた時に自然地震動の平均的特性を有した耐震設計用の非定常地震動を予測することを試みたものである。

2. 地震動特性の抽出³⁾

地震動は、式(1)に示す1次元自己回帰-移動平均過程(AR-MA)により時間軸上で表現する。

このことは、観測された地震動 y_t と、非定常白色雑音 ε_t が入力する線形フィルター(線形自由度系)の出力と考えることに相当する。

$$y_t = -\alpha_1(t)y_{t-1} - \alpha_2(t)y_{t-2} + \varepsilon_t + \beta_1(t)\varepsilon_{t-1} + \beta_2(t)\varepsilon_{t-2} \quad (1)$$

$\alpha_i(t)$, $\beta_i(t)$ ($i=1,2$) は非定常なAR-MAパラメータであるが、特に $\alpha_i(t)$ については、AR-MA過程と等価な線形自由度系の動的パラメータ $f(t)$, $h(t)$ に、式(2)により変換できるので、これらで非定常特性を表現した。

$$\lambda^2 + \alpha_1\lambda + \alpha_2 = 0 \quad \left. \begin{matrix} \lambda_1^* \\ \lambda_2^* \end{matrix} \right\} = \exp(-2\pi f T_s \pm i 2\pi f T_s \sqrt{1-h^2}) \quad (2)$$

ここに、 $i = \sqrt{-1}$, λ^* は入の共役複素数, T_s (0.02秒)は、サンプリング時間間隔である。

図-1には、AR-MA過程により抽出した地震動の非定常特性の1例を示した。対象記録は、1978年2月20日の宮城東沖の地震(M=6.7)の大船渡防地における加速度記録のN41W成分である。記録には、計器特性の補正とノイズ除去のためのバンドパスフィルター処理がなされている。それぞれ(a)観測波形(b)入力強度 $\sigma(t)$ (c)固有振動数 $f(t)$ (d)減衰定数 $h(t)$ を示している。このように、実地震記録から地震動特性を表現するAR-MAパラメータの非定常特性を調べて、それを簡単な関数形で表現したものが表-1に示してある。地震動継続時間Tは、各記録に対して同一の規準で定めている。

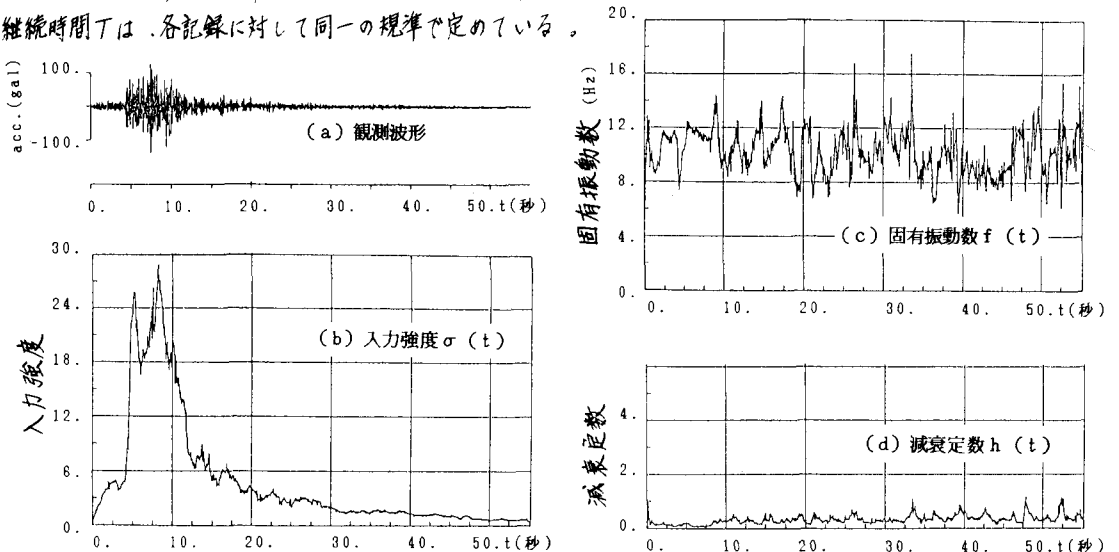


図-1 地震動の非定常特性

3. 地震動予測モデルの作成

1964年から1980年までの17年間に発生した34個の地震から得られた88成分の硬質地盤上の水平加速度記録から表-1に示した各パラメータの非定常特性を規定するパラメータを求め、それら各パラメータとM・Δの関係性を調べて次式に示す回帰式を設定した。

$$\sigma_m, f_A, h_A \text{ について } \log P = B_1 + B_2 \cdot M + B_3 \cdot \log(\Delta + 20) \quad (3)$$

$$\text{その他について } P = B_1 + B_2 \cdot M + B_3 \cdot \log(\Delta + 20)$$

Pは任意のパラメータを、B₁, B₂, B₃は回帰係数を表わす。

表-2には、回帰分析の結果とデータの回帰式に対するばらつきσ_pを示した。

4. 予測される地震動の特性

図-2には、M=6.5でΔ=30~100kmの時に予測される地震動波形を示した。地震動の振幅包絡線は、Δが短い場合には立上りが鋭く減衰も早い、Δが長くなると全体的に平坦になってゆく。図-3は、予測地震動の最大加速度の距離減衰特性を既往の硬質地盤における研究結果と比較したものである。予測地震動の距離減衰特性は、他の結果に比べて減衰が緩やかであり最大加速度も他の結果よりやや大きい。

このことは、硬質地盤では高振動数成分が波動中に卓越することから、計器特性の補正の有無が結果に敏感に影響したためと考えられる。図-4には、M=6.5でΔ=30~200kmとした時の予測地震動の平均応答スペクトルを示した。応答の卓越する周期は、Δに依存せず0.13秒付近にあり既往の研究結果に比較して、やや短周期側にある。図-5にはΔ=50kmでM=5.5~7.5とした時の予測地震動の平均応答スペクトルを示した。Mの変化による加速度応答値の変化は、短周期よりも長周期側で著しく、Mの増加とともに応答値が大きくなることとともに応答の卓越する周期範囲が広がることわかれる。また、Δが100km前後より長くなるとf(t), h(t)などの非定常性がなくなり、継続時間中、ほぼ一定値をとる。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所; 土木構造物における加速度強震記録No.1-8
- 2) 運輸省港湾技術研究所; 港湾地域強震観測年報, 1963-1980年
- 3) 土岐佐藤 江尻若 6回 日本地震工学シンポジウム, pp.385-392, 1992.

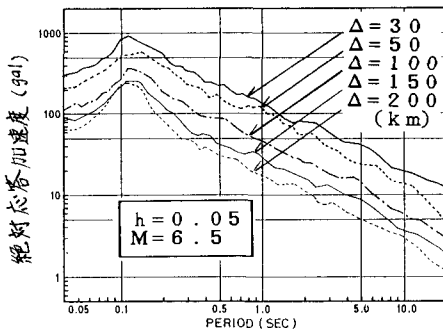


図-4 震央距離別平均応答スペクトル

表-1 非定常特性を表現する関数形

$$\sigma(t) = \sigma_m(t/tp) \cdot \exp(-t/tp)$$

$$f(t) = f_A \cdot \exp(-fB \cdot t), h(t) = h_A \cdot \exp(hB \cdot t)$$

$$\beta(t) = \beta_1 \text{ (const.)}, \beta(t) = \beta_2 \text{ (const.)}$$

表-2 硬質地盤における回帰係数

	B ₁	B ₂	B ₃	σ _p
log σ _m	2.30	0.23	-1.29	0.33
tp	-26.55	2.46	8.70	6.82
log f _A	1.10	0.04	-0.25	0.13
f _B	0.03	0.02	-0.08	0.07
log h _A	-1.00	0.04	0.03	0.29
h _B	0.33	0.02	-0.21	0.12
β ₁	0.37	0.001	-0.007	0.26
β ₂	0.07	0.02	-0.12	0.07
T	-49.51	4.07	22.06	10.41

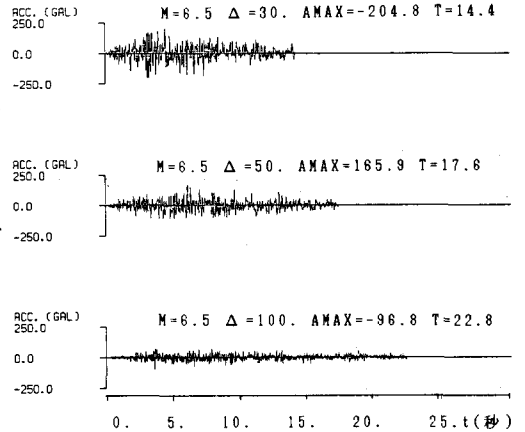


図-2 予測地震動波形

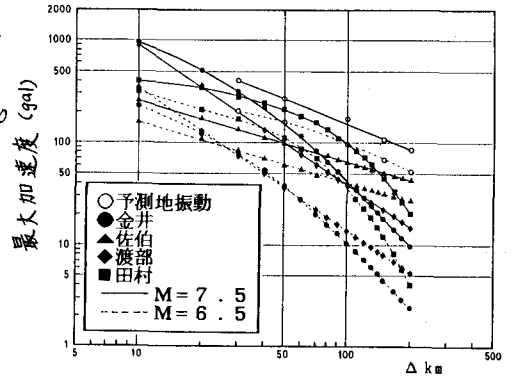


図-3 距離減衰特性の比較

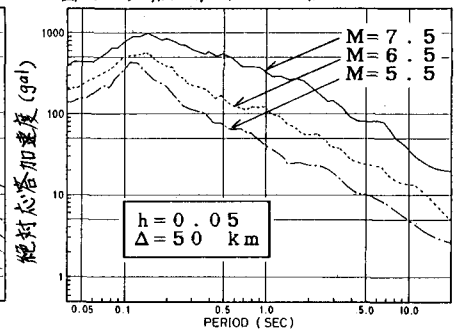


図-5 マグニチュード別平均応答スペクトル