

1. まえがき

地震時における構造物の非線形応答や砂地盤の液状化などでは震動の振幅、スเปクトル特性に加え、震動継続時間が重要な役割を演じる事が指摘されている。これまで、工学的観点から震動継続時間を論じた研究幾つかあるが、その多くは震動継続時間をおもに地震の規模と地震波の伝播経路の長さで考え、統計的に考察したものである。しかし、これまでの地震観測の経験から、観測点の違いにより震動継続時間が大幅に異なることが示されている。本研究は震動継続時間およびこれに関連する震動パラメータについて、特に観測点の地盤条件の影響を考慮して統計解析するとともに、その結果に理論解析を組み合わせて震動継続時間および関連パラメータの半経験式を導いたものである。

2. 震動継続時間及び関連パラメータの定義

これまで、強震記録の震動継続時間の定義については幾つもの提案がなされているが、定義の目的が異なるので、これらの優劣を画一的に論じるのは困難である。ここでは、二つの代表的定義に焦点をあて統計解析した。用いた定義は Bolt<sup>1)</sup> による「bracketed duration」と Trifunac<sup>2)</sup> によるパワーの蓄積時間に基づく継続時間である。ここでは、各々を  $t_b$  と継続時間 ( $t_b$ )、P継続時間 ( $t_p$ ) と略称する。さらに、震動継続時間に関連するパラメータとして次式で全パワー  $P_t$ 、rms 振幅値  $V_{rms}$  を定義し、これらも統計解析した。

$$P_t = \int_0^T a^2(t) dt \quad \text{----- (1)} \quad V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $A(t)$ : 地震記録,  $T$ : 地震記録の記録長。

上で定義した各種のパラメータの例をパワーの蓄積過程とともに図1に示す。

3. 統計解析に用いた強震記録

ここでの統計解析に用いた強震記録は日本で得られている最大加速度20ガル以上の192成分の水平向記録である。これらの記録は後述の重回帰分析における理由から、一観測点でも6成分以上の強震記録が得られている観測点を対象とした。対象とした観測点は図2に示す23地点である。

4. 観測点の影響を考慮した震動継続時間などの重回帰分析

各観測点の地盤条件の影響を陰に組み込んだ重回帰分析として、次のようなダミー変数の概念を導入した重回帰モデルを用いた。

$$y = a \cdot 10^{bM_j} \cdot \Delta^c \cdot 10^{dH} \cdot 10^{\sum_{i=1}^N A_i} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 $M_j$ :  $M_j = \tau_2 - f$ ,  $\Delta$ : 震史距離 (km),  $H$ : 震源深さ (km),  $A_i (i=1, \dots, N-1)$ : ダミー変数,  $a, b, c, d, A_i (i=1, \dots, N-1)$ : 回帰係数,  $y$ : 従属変数。  
なお、式(3)の重回帰モデルでは全観測数を  $N$  と仮定している。  
式(3)は全観測点のうち基準となる観測点を合理的に選択することにより、その基準点を基準とする各パラメータのアダプティビリティ

図-1 パラメータの例

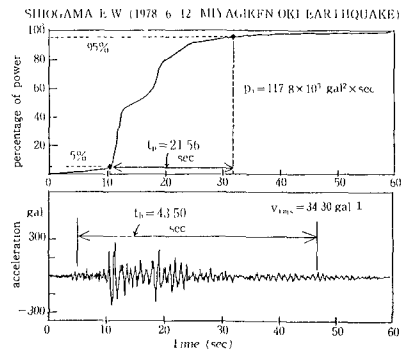
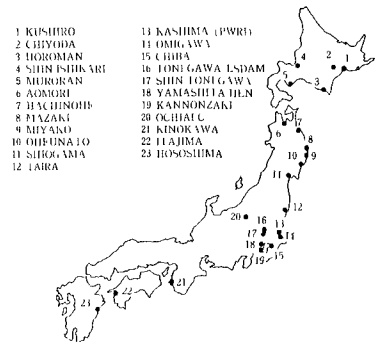


図-2 強震記録観測点



式(7), 各観測点の増幅率を求めたことである。<sup>5)</sup>

図2に示す観測点のうち, Ofunatoを基準として求めた各パラメータの基準アテニュエーション式を式(4)~式(7)に, 各観測点の増幅率を表1に示す。なお, 下式でRは重相関係数である。

$$t_b = 0.738 \times 10^{-0.23M_s} \times 10^{-0.00039H} \times \Delta^{-0.084} \quad (R = 0.88) \text{-----}(4)$$

$$t_p = 0.444 \times 10^{-0.21M_s} \times 10^{-0.0019H} \times \Delta^{0.048} \quad (R = 0.86) \text{-----}(5)$$

$$P_p = 0.614 \times 10^{-0.71M_s} \times 10^{-0.00069H} \times \Delta^{-0.685} \quad (R = 0.85) \text{-----}(6)$$

$$v_{rms} = 0.861 \times 10^{-0.23M_s} \times 10^{-0.0008H} \times \Delta^{-0.34} \quad (R = 0.79) \text{-----}(7)$$

表1 各パラメータの統計的増幅率

Observation site	Statistical amplification			
	$a_{tb}$ (p-duration)	$a_{tp}$ (p-duration)	$a_p$ (total power)	$a_{rms}$ (rms amplitude)
ASUNIRO	2.47	2.26	4.37	1.67
CHUYODA	2.74	2.46	4.67	1.92
MOROMAN	1.03	1.07	1.08	1.39
Sai-I-SHIKARI	2.18	1.88	13.45	3.51
MURORAN	2.29	1.94	2.54	1.83
ADOMORI	2.97	2.73	3.53	1.57
HACHI INOHE	2.86	2.50	2.64	1.26
SAZABI	0.78	0.78	1.96	2.14
MIYAKO	3.86	1.47	3.69	2.02
OHFUNATO	1.00	1.00	1.00	1.00
SHIOGAMA	2.10	1.65	9.31	2.21
SASHIMA(PWRI)	1.82	2.03	3.42	1.55
OMIGAWA	1.51	1.87	8.21	3.03
CHIBA	1.39	2.01	1.73	1.34
TO EGAWA ESDAM	1.49	1.75	5.09	2.96
SHI-I-TONEGAWA	1.83	1.59	1.28	1.67
AMAGI-T-HEN	2.32	1.88	1.72	1.44
KANNO-ZAKI	1.25	1.30	4.07	1.19
OGIPEI-C	1.30	1.33	0.23	2.51
ITONAKA	1.36	2.15	1.32	1.17
ITALIMA	0.02	0.87	1.98	1.28
WONOSAMA	1.14	1.84	3.11	1.53

表1の各パラメータの増幅率をみると, 各観測点の諸条件を反映して, 観測点毎に大幅に変動することおわかる。<sup>5)</sup> 震動継続時間及び関連パラメータの統計解析結果と理論係数の関係

観測点の地盤構造により震動継続時間などのパラメータ<sup>5)</sup>が影響されることが評価する理論係数を次の通り誘導した。

$$\text{パワー係数 } C_p = \int_{0}^{2\pi} |H(\omega)|^2 d\omega, \text{-----}(8)$$

$$\text{震動継続時間係数 } C_{du} = \left( \int_{0}^{2\pi} \left| \frac{dH(\omega)}{d\omega} \right|^2 d\omega / C_p \right)^{1/2} \text{-----}(9)$$

$$\text{rms振幅係数 } C_{rms} = (C_p / C_{du})^{1/2} \text{-----}(10)$$

ここに,  $H(\omega)$  は周波数応答関数。  
代表的観測点の地盤構造を用いて上の理論係数を求め, これを表1に示した統計的増幅率と比較(図3, 図4)はこの結果をP継続時間とrms振幅値の場合について示したものである。このパラメータとも統計的増幅率と理論係数はよく対応して, 良好な相関を有する。そこで, 各パラメータに線形回帰を決定する二次式を求めた。

$$a_{tb} = 1.4 / C_{du} + 1.31 \text{-----}(11) \quad a_{tp} = 1.83 C_{du} + 0.6 \text{-----}(12)$$

$$a_{Pp} = 1.79 \times 10^{-3} C_p + 1.08 \text{-----}(13) \quad a_{rms} = 0.018 C_{rms} + 0.87 \text{-----}(14)$$

上式から, 任意の観測点における各パラメータの増幅率は, その観測点の地盤構造がわかれば求まる。従って, これを先述の基準での各パラメータのアテニュエーション式に代入すれば, 震動継続時間及びその関連パラメータの地震の諸元と観測点の地盤構造を考慮した統計的予測式を得ることになる。

(参考文献) 1) Bolt, B. A.; Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering, 2) Trifunac, M. D. and A. G. Brady; Bull. Seis. Soc. Am. Vol. 65, pp. 581-626 3) 港湾地域震害観測年報, 4) 土木研究所集報, 5) 神山: 東北工業大学紀要第4号, 理工学編。

図3 統計的増幅率と理論係数(P継続時間)

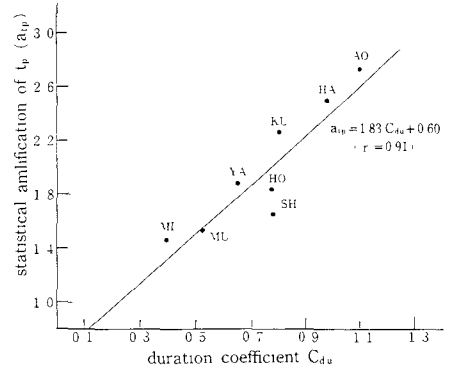


図4 統計的増幅率と理論係数(rms振幅値)

