

強震計の動特性が記録に及ぼす影響に関する1,2の考察

京都大学工学部 正会員 後藤尚男  
 京都大学工学部 正会員 家村浩和  
 技研工業 正会員 ○吉田基毅

1. まえがき 米国でのサンフェルナンド地震(1971.2)の際に、1gを越える加速度記録がパコイマダムで得られた事実は、最大加速度を耐震設計上の入力強度の1つとする考え方にとって、かなり衝撃的であった。しかし米国のAR-240型強震計で得られたこの最大加速度は地震動の高振動数成分に基づくものであり、日本のSMAC-BまたはB2型強震計であれば、かなり小さく記録されたであろうと予想された。本研究は、強震計の動特性が記録の最大値や応答スペクトルなどに、比較的高い振動数領域で及ぼす影響について検討したものである。

Table-1 Characteristics of Strong Motion Accelerographs

Nationality	Strong Motion Accelerograph	Natural Period (in sec.)	Damping Factor (%)
Japan	SMAC B/B2	0.10/0.14	100
U.S.A.	AR-240 RFT-250	0.05	60
New Zealand	MO2	0.03	60
USSR	UAR	0.05	70

2. 各国における強震計の動特性と応答倍率 Table-1には各国で主に用いられている強震計名と、それらの固有周期 $T_n(sec.)$ および減衰定数 $h_n(%)$ を示した。日本のSMAC-BおよびB2は、各国の強震計と比較して固有周期がかなり長く、 $h_n$ も臨界減衰を取るなどの差が見い出せる。一般に強震計は1自由度線形振動系の相対変位応答 $x(t)$ を記録するように設計されている。加速度入力 $\ddot{u} \sin \omega t$ に対する応答倍率 $\Upsilon_a(\omega)$ は周知の次式より得られる。

$$\Upsilon_a(\omega) = \frac{x}{\ddot{u}} = \frac{1}{\sqrt{\{1 - (\omega/\omega_n)^2\}^2 + 4h_n^2 \omega^2/\omega_n^2}} \quad (\omega_n = \frac{2\pi}{T_n})$$

各国強震計の $\Upsilon_a$ を、横軸に振動数 $f(= \omega/2\pi)$ を取って示したのがFig.-1である。SMAC-B2は他の強震計と比較して、高振動数領域での応答倍率が非常に低いことが明瞭である。SMAC-B2にこのような動特性が設定されたのは、同強震計が機械式であり、しかも感度(6.5mm/0.1g)が高いことから、ペン書き記録が高振動数に追いつき出来ないためと考えられる。

3. SMAC-B2とRFT-250で予想される時間記録と最大加速度 日米での主要強震計としてSMAC-B2およびRFT-250を取り上げ、記録に及ぼす影響について考察を

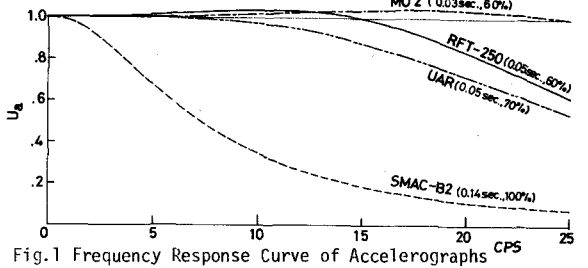


Fig.1 Frequency Response Curve of Accelerographs

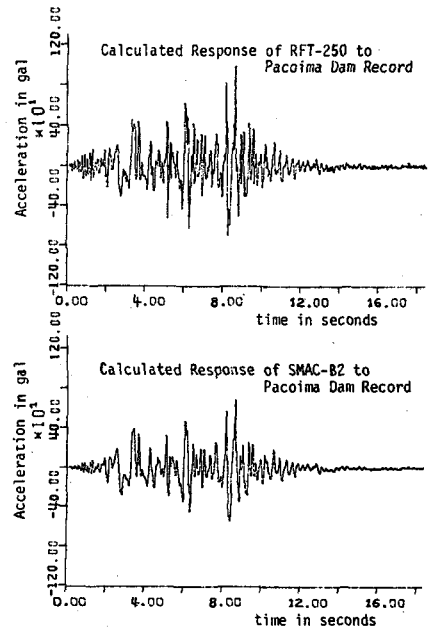


Fig.2 Calculated Earthquake Response of Accelerographs

進めた。まず強震計への入力地震波としては、米国で得られた記録に種々の修正を加えた修正加速度記録を採用し、数値応答計算を実施した。Fig. 2には両強震計がパコイマダムに設置されておれば記録したであろう時間応答を示した。RFT-250の計算結果は入力として用いた修正加速度記録とほぼ同様の時間応答を示したのに対し、SMAC-B2のそれでは高振動数成分がほとんど落ちて滑らかな時間応答を示している。しかし両者の低振動数成分の振幅には、さほどの差は見られぬ。この結果をさらに定量的に把握するため、RFT-250およびSMAC-B2の計算結果のフーリエ変換をそれぞれ  $F_R(\omega)$ ,  $F_S(\omega)$  とし、入力である修正加速度記録のフーリエ変換  $F_0(\omega)$  に対する比  $|F_R(\omega)|/|F_0(\omega)|$  および  $|F_S(\omega)|/|F_0(\omega)|$  を移動平均法で平滑化して図示したのが Fig. 3 である。この図より両強震計で予想される記録の各振動数成分の差を明確に読み取れる。これらの曲線は理論的には式(4)の  $T_a(\omega)$  に等しいはずのものである。Fig. 3におけるRFT-250の値がFig. 1のそれより小さな値となっているが、計算時間間隔を固有周期(0.05秒)と比較して十分に小さく取らなかった(0.005秒を採用)ことなどによるものと考えられる。数種の著名な地震記録について同様の応答計算を実施し、最大応答に及ぼす影響について検討したものがTable-2である。SMAC-B2では最大加速度が非常に小さくなるのがわかる。表中の(2)/(1)の平均値は0.785である。パコイマダムでの計算結果は約650 gal程度となった。

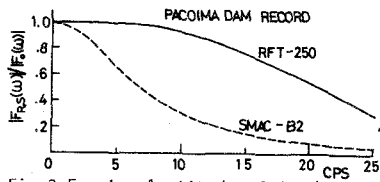


Fig. 3 Fourier Amplitude of Earthquake Response of Accelerographs

Table-2 Maximum Response of Accelerographs

Location of Record (date)	Comp.	Max. Acceleration (1) of Corrected Record (gal)	Max. Response (2) of SMAC-B2 (gal)	Max. Response (3) of RFT-250 (gal)	(2)/(1)	(3)/(1)
E1 Centro (1940.5.)	N00E	341.7	305.6	331.1	0.894	0.969
	S90W	210.1	188.8	206.3	0.899	0.892
Taft (1952.7.)	N21E	152.7	120.0	153.1	0.786	1.003
	S69E	175.9	146.9	171.2	0.835	0.973
Olympia (1949.4.)	N04W	161.6	138.9	156.5	0.860	0.968
	S16E	1148.1	653.4	1004.7	0.569	0.875
Pacoma Dam (71.2)	S74W	1054.9	687.0	981.5	0.651	0.930

この図より両強震計で予想される記録の各振動数成分の差を明確に読み取れる。これらの曲線は理論的には式(4)の  $T_a(\omega)$  に等しいはずのものである。Fig. 3におけるRFT-250の値がFig. 1のそれより小さな値となっているが、計算時間間隔を固有周期(0.05秒)と比較して十分に小さく取らなかった(0.005秒を採用)ことなどによるものと考えられる。数種の著名な地震記録について同様の応答計算を実施し、最大応答に及ぼす影響について検討したものがTable-2である。SMAC-B2では最大加速度が非常に小さくなるのがわかる。表中の(2)/(1)の平均値は0.785である。パコイマダムでの計算結果は約650 gal程度となった。

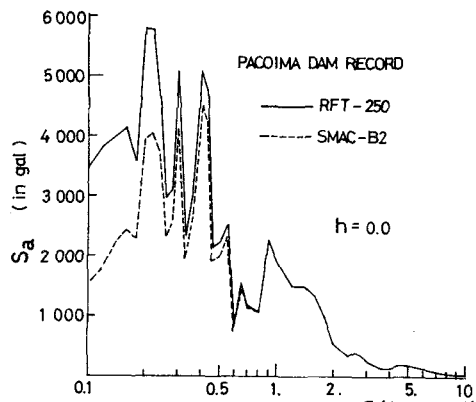


Fig. 4 Response Spectrum of Absolute Acceleration

4. 加速度応答スペクトルと動的係数に及ぼす影響  $h_n=0.0$  の場合の絶対加速度応答スペクトル ( $\beta_a = (\ddot{u} + \ddot{x})_{max}$ ) を Fig. 4 に示した。固有周期 0.5 秒以下の領域で、強震計の差による影響がかなり見られる。Table-2 と Fig. 4 の結果より動的係数 ( $\beta_a = (\ddot{u} + \ddot{x})_{max} / \ddot{u}_{max}$ ) を算出してプロットしたのが Fig. 5 である。SMAC-B2 では  $\ddot{u}_{max}$  が小さく評価されるために、0.2 秒より大きな周期の範囲で  $\beta_a$  が大きく計算される。日本で用いられている  $\beta_a$  が米国のそれよりも大きな理由の1つは強震計の動特性によるものと考えられる。

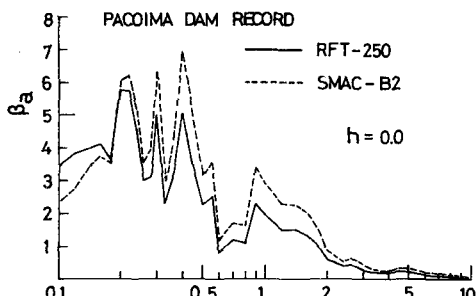


Fig. 5 Response Spectrum of Absolute T Acceleration Normalized by Maximum Ground Motion