

地震動の卓越周期の統計的性質

京都大学工学部 正員 後藤尚男 徳島大学工学部 正員 澤田勉
 京都大学大学院 学生員 藤井元生

1. まえがき 構造物の耐震設計を行なう場合、基本的で重要な問題として、建設地点に未變する地震動の特性といかに評価するかがある。地震動の特性のうち周波数特性は、構造物の応答と関連し、特に地震動の卓越周期と構造物の固有周期とが一致した場合には、構造物の応答が増大し、被害に結びつく可能性が濃くなる。また、地震動の卓越周期は、地点によりほぼ一定であることから建設地点での地盤特性を示すパラメータであるともいえる。ここでは、地震動の卓越周期と、地震規模（マグニチュード M ）、震央距離 Δ 、および地盤条件との関係を定量的に評価し、統計的解釈を加える。

2. 地震動の卓越周期と地盤条件の定量化 解析に用いたデータは、わが国で得られた主要な強震記録に、後藤¹⁾による誤差補正を施したものの中で、地盤条件（ N 値）が既知の観測地点で得られた記録であり、最大加速度は 50gal 以上である。この条件を満足する記録は、34 記録であり、観測地点は 18 地点であった。地震動の卓越周期は、全パワーを最大にする方向（最大主軸方向）の波形のフーリエ振幅スペクトルが最大値をとる周期と定義した。

定量的に、 M 、 Δ および地盤条件と地震動の卓越周期との関係を述べるには、地盤条件といかに定量化するかが問題になる。「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」では、地盤の特性値として、次式で算出される T_H を定義している。

$$T_H = 4 \sum_i (H_i / V_{si}) \quad (1)$$

ここで、 H_i は i 番目の地層の層厚 (m)、 V_{si} はその層内での N 値より推定されるせん断弾性波速度 (%sec) (表-1 参照) である。 T_H は、微小ひずみ領域での地盤の固有周期にほぼ等しい。 T_H と地震動の卓越周期 T_g との関係を図-1 に示した。2, 3 の点を除けば、両者には高い相関があるといえる。

本研究では、上述の T_H と後藤²⁾の研究をもとにして次の様な地盤パラメータ S_c を定義した。

$$S_c = \int_0^h N(x)^{-\gamma_1} \exp\{-\gamma_2(h-x)\} dx \quad (2)$$

ここで、 h は建設基盤（ N 値が 50 以上）までの深さ (m)、 $N(x)$ は深さ x (m) での N 値、 γ_1, γ_2 は係数である。式(2)の積分内第 1 項は、

表-1 に示される N 値とせん断弾性波速度との関係を考慮すれば、層厚 dx を波が通過する時間に相当する量を表わす。第 2 項は、深さ方向の重み関数で建設基盤上面で 1.0、浅くなるに従い小さくなる量であり、建設基盤より浅い地盤の震動性状を考慮したものである。

3. M 、 Δ および地盤条件に対する地震動の卓越周期の回帰分析 一般に地震動の卓越周

表-1 せん断弾性波速度の推定式

せん断弾性波速度 V_{si} (m/sec)	
粘性土層	$V_{si} = 100 N^{0.333}$
砂質土層	$V_{si} = 80 N^{0.333}$
N 値が 0	$V_{si} = 50.0$

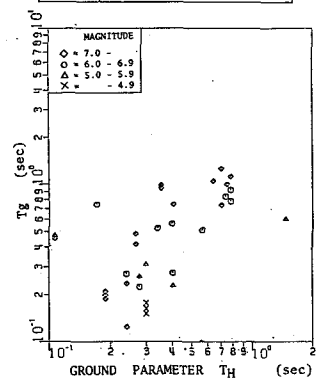


図-1 T_H と T_g の関係

Hisao Goto, Tsutomu Sawada, Motoo Fujii

期は、地盤条件の影響を強くうける。

まず、地盤条件と、地震動の卓越周期 T_g の関係を調べるため、以下の回帰式を設定し、回帰分析を行なった。

$$\log \bar{T}_g = b_0 + b_1 \log S_c \quad \text{--- (3)}$$

ここで、 $\bar{T}_g$ は卓越周期 T_g の予測値である。 S_c に含まれる m, n の値は、式(3)まわりのデータのばらつきを最小にする値とした。解析結果を表-2に示す。また、 S_c と卓越周期 T_g の関係を図-2に示す。図-2において左上の2点のデータは、他のデータとは異なった特性を持つ。これは、これらのデータが表面波と思われる長周期成分の波を多く含むためと考えられる。一般に、表面波は建設基盤以深の地盤条件の影響をうけるとされ、建設基盤より浅い地層から得られる S_c では、これを説明できないと思われる。そこで、表面波が優勢であると思われる記録をデータセットから除去し、残りの29個のデータに対し、前と同様の回帰分析を行なった。解析結果を表-3に、また図-3には S_c と卓越周期 T_g の関係を示した。予測値に対するデータの変動係数は、0.39であり、実体波が優勢である地震動の卓越周期は次式により予測できることがわかった。

$$\log \bar{T}_g = -2.25 + 2.08 \log S_c \quad \text{--- (4)}$$

式(1)の T_H を用いて同様の解析を行なった(結果は表-4参照)が、 S_c の方がばらつきは少なく、式(2)の S_c が地震動の卓越周期の予測には有効であった。

地震動の卓越周期は、地盤条件以外にも、 M, Δ の影響をうける。使用したデータの M と Δ に高い相関があったため、 M と地盤条件を独立変数として、以下の回帰式について回帰分析を行なった。

$$\log \bar{T}_g = b_0 + b_1 \log S_c + b_2 M \quad \text{--- (5)}$$

解析結果を表-4に、 $\bar{T}_g$ と T_g の関係を図-4に示す。この場合の変動係数は0.30となり、地震動の卓越周期を次式により予測することができた。

$$\log \bar{T}_g = -2.90 + 2.13 \log S_c + 0.09 M \quad \text{--- (6)}$$

M の導入により、変動係数が約20%減少した。式(4)(6)より算出される $\bar{T}_g$ は、耐震設計に有益な情報を与えるであろう。

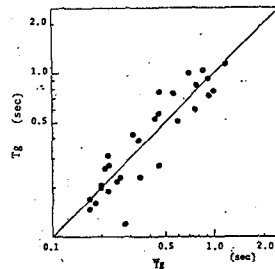


図-4 式(6)の T_g と T_g の関係

表-2 式(3)による回帰分析結果

$\log \bar{T}_g = -1.00 + 0.75 \log S_c$	
相関係数 R	0.63
変動係数 Cv	0.57
$\gamma_1 = 0.36$	$\gamma_2 = 0.0$

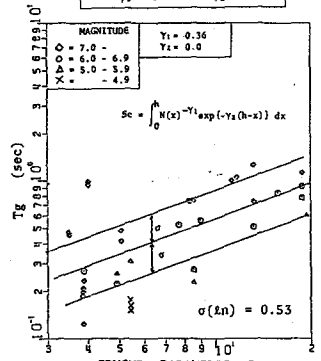


図-2 S_c と T_g の関係

表-3 回帰分析結果 (データ数29)

$\log \bar{T}_g = -2.25 + 2.08 \log S_c$	
相関係数 R	0.83
変動係数 Cv	0.39
$\gamma_1 = 0.16$	$\gamma_2 = 0.05$

表-4 T_H に対する T_g の回帰分析結果

$\log \bar{T}_g = -0.05 + 0.86 \log T_H$	
相関係数 R	0.70
変動係数 Cv	0.51

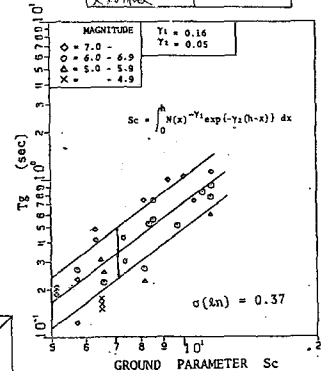


図-3 S_c と T_g の関係 (データ数29)

表-5 式(5)による回帰分析結果

$\log \bar{T}_g = -2.90 + 2.13 \log S_c + 0.09 M$	
相関係数 R	0.90
変動係数 Cv	0.30