

I - B298

不整形性を有する地盤の地震動増幅特性の評価手法

建設省土木研究所 正会員 千葉 光  
 同 正会員 田村 敬一  
 同 正会員 本田 利器

1. はじめに

地形や基盤の深さ、土質定数等の地盤条件が急激に変化する地盤上においては、局所的に顕著な地震動の増幅作用が発生すると予測されている。本研究は、このような不整形性を有する地盤の地震動増幅を定量的に把握するとともに、不整形性に起因する地震動の増幅特性を評価する手法について検討するものである。

2. 地盤モデル及び解析手法

解析に用いた地盤は、図-1(a)及び(b)に示すように軟質層と硬質層の二層からなる片側傾斜基盤と両側傾斜基盤である。これらのモデルにおいて、①基盤の傾斜区間の長さ $L_s$ (20m~1440m)、②両側傾斜基盤軟質層底辺の長さ $L_2$ (50m~600m)、③軟質層の厚さ $H_1$ (10m~40m)、④軟質層及び硬質層の物性、等のパラメーターを変化させてモデルを設定した。地盤モデルにおいて軟質層と硬質層の土質定数のひずみ依存特性については岩崎ら<sup>1)</sup>の値を用いた。入力波形は、茨城県南部の地震(1983年)の際に土木研究所で観測された波形と、宮城県沖地震(1978年)の際に開北橋で観測された波形の2波形を最大加速度が100galになるように調整したものをを用いた。二次元応答解析は、FLUSH<sup>2)</sup>により行った。また、比較のために、水平成層地盤を想定した一次元応答解析をSHAKE<sup>3)</sup>により行った。

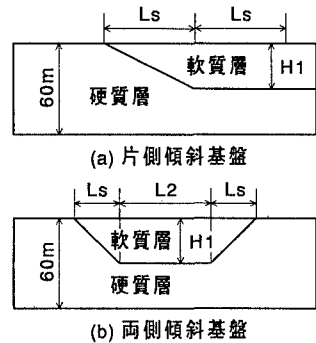


図-1 地盤モデル

3. 増幅程度の評価方法

地盤の不整形性に起因する増幅程度を評価するため、その指標として $R_{max}(S_a)$ を次のとおり定義する。まず、地盤モデル地表上のある任意の地点において、二次元解析及び一次元解析により求められる地震動の加速度応答スペクトルを $S_a(T)_{2D}$ 、 $S_a(T)_{1D}$ とし、両者の比を $R(S_a(T)) = S_a(T)_{2D} / S_a(T)_{1D}$ とする。 $R(S_a(T))$ の固有周期 $T$ を変えた時の最大値を $R(S_a)$ とし、 $R(S_a)$ の地盤上での最大値を $R_{max}(S_a)$ とする。

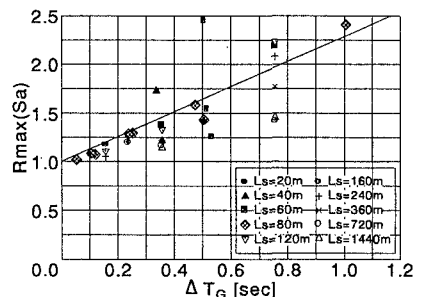
なお、基盤の形状により増幅率 $R(S_a)$ の分布形状が複雑に変化する等の理由から、地震動増幅を簡易に評価する指標としては、 $R_{max}(S_a)$ は必ずしも最適ではない。そこで、増幅率が大きくなると考えられる範囲における $R_{max}(S_a)$ の平均値( $R_{ave}(S_a)$ とする。)を取って増幅の程度を評価する方法についても検討を行った。平均を取る区間は、片側傾斜基盤については基盤が傾斜している区間を軟質層側に $L_s$ だけ延長した区間(図-1(a)の $L_s+L_s$ の区間)、両側傾斜基盤については軟質層の区間(図-1(b)の $L_s+L_2+L_s$ の区間)とした。

4. 解析結果

1) 増幅特性の定式化

過去の検討より片側傾斜基盤の増幅程度について、①基盤の傾斜角度によらない、② $\Delta T_G$ [sec]との相関が高い<sup>4)</sup>ことがわかっており( $\Delta T_G$ とは軟質層が最も厚い地点と硬質層のみの地点の地盤の特性値 $T_G$ <sup>5)</sup>の差である。)、今回さらにケースを追加して増幅率と $\Delta T_G$ の相関を調べた。また、両側傾斜基盤についても同様の検討を行った。

ここで片側傾斜基盤について、 $L_s$ のみが異なるケースについて増幅率の比較を行った結果、 $L_s \geq 360m$ では増幅率が低くなる



(a)  $R_{max}(S_a)$ と $\Delta T_G$ の関係

キーワード：不整形地盤、地震動増幅、評価手法  
 連絡先：〒305 茨城県つくば市大字旭1番 建設省土木研究所振動研究室

ことから、 $L_s \geq 360\text{m}$ のケースは除いて回帰分析を行った。その結果を図-2 (a) (b)に示す。(a)は増幅率 $R_{\max}(Sa)$ と $\Delta T_G$ の関係を示し、(b)は平均値 $R_{\text{ave}}(Sa)$ と $\Delta T_G$ の関係を示している。(参考のため $L_s \geq 360\text{m}$ のケースもプロットしている。) なお、片側傾斜基盤に対する評価式を下記に示す。

$$\left. \begin{aligned} R_{\max}(Sa) &= 1.27 \Delta T_G + 1.0 \\ R_{\text{ave}}(Sa) &= 0.69 \Delta T_G + 1.0 \end{aligned} \right\} (L_s \leq 240\text{m})$$

両側傾斜基盤については、 $50\text{m} \leq L_2 \leq 600\text{m}$ の範囲で $L_2$ のみが異なるケースで増幅率の変化が見られなかったため、全てのケースについて回帰分析を行い、図-3 (a) (b)のような結果が得られた。なお、両側傾斜基盤に対する評価式は下記の通りである。

$$\left. \begin{aligned} R_{\max}(Sa) &= 2.31 \Delta T_G + 1.0 \\ R_{\text{ave}}(Sa) &= 0.99 \Delta T_G + 1.0 \end{aligned} \right\} (L_2 \leq 600\text{m})$$

両地盤モデルともに、 $R_{\text{ave}}(Sa)$ の方が $\Delta T_G$ と良い相関が得られた。

## 2) 増幅の大きい周期帯の評価

周期成分ごとの増幅程度の差を評価するために、増幅率の大きくなる周期帯を検討した。なお、 $R_{\max}(Sa)$ の出現する地点のみ検討を行った。不整形地盤の地震動増幅の大きい周期帯と相関の大きい周期の評価指標としては、下記を用いた。

①軟質層のみから算定される地盤の固有周期 $T_G^{AC}[\text{sec}]$

②レーリー波の群速度が最小となる周期 $T_s[\text{sec}]$

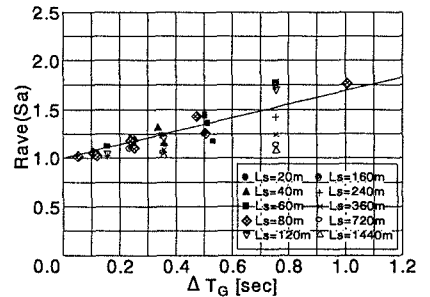
これらの指標の妥当性を確認するために、増幅特性を評価するうえで有意と考えられる $R_{\max}(Sa) > 1.2$ のケースについて、 $R_{\max}(Sa)$ が最大となる固有周期 $T$ と $T_G^{AC}$ 及び $T_s$ の関係を検討した(図-4)。図中の●及び◇は $L_s \leq 240\text{m}$ の片側傾斜基盤と $L_2 \leq 600\text{m}$ の両側傾斜基盤の $T_G^{AC}$ 及び $T_s$ である。×及び+は $L_s \geq 360\text{m}$ の片側傾斜基盤の $T_G^{AC}$ 及び $T_s$ である。上記評価式の適用範囲内にあるケースの $T_G^{AC}$ が広い周期帯で $T$ と良く一致している。

## 5. まとめ

不整形性を有する地盤の地震動増幅特性の評価手法を検討した結果、 $R_{\max}(Sa)$ よりも $R_{\text{ave}}(Sa)$ の方が $\Delta T_G$ と良い相関を示すことがわかった。また、増幅率が最大となる周期は、簡単に算出が可能な $T_G^{AC}$ により評価できる可能性が示された。今後は、評価式の適用範囲について検討を続けるとともに、増幅率が最大となる周期や位置の定式化を検討する予定である。

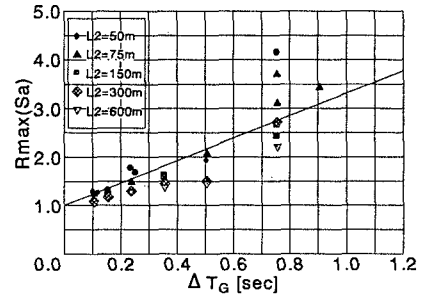
### 【参考文献】

- 1)岩崎ら：地盤の動的変形特性に関する実験的研究(II)、土木研究所報告、第153号の2、昭和55年3月
- 2)岩崎ら：沖積粘性土の動的変形・強度特性について、第15回土質工学研究発表会、昭和55年3月
- 3)J.Lysmer, et al. : FLUSH, A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems, EERC Report No.75-30, UC, Berkeley, Nov., 1975
- 4)P.B.Schnabel, et al. : SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response Analyses of Horizontally Layered Sites, EERC Report No.72-12, UC, Berkeley, Dec., 1972
- 5)本田ら：軟質層厚さの変化する地盤における地震動増幅特性の評価、土木学会第50回年次学術講演会、平成7年9月
- 6)道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、道路協会、平成8年12月

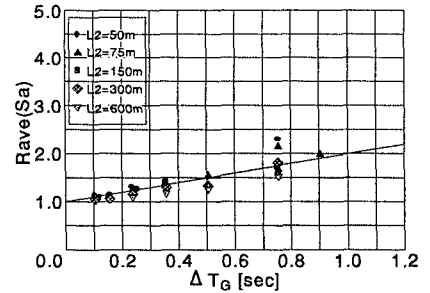


(b)  $R_{\text{ave}}(Sa)$ と $\Delta T_G$ の関係

図-2 片側傾斜基盤



(a)  $R_{\max}(Sa)$ と $\Delta T_G$ の関係



(b)  $R_{\text{ave}}(Sa)$ と $\Delta T_G$ の関係

図-3 両側傾斜基盤

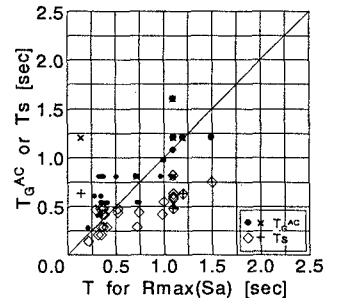


図-4  $R_{\max}(Sa)$ を与える周期 $T$ と $T_G^{AC}$ 、 $T_s$ の関係