

軟弱・不整形地盤の振動特性に関する研究

豊橋技術科学大学 学生員 ○黒岩 敏
 同済大学 蔣 通
 豊橋技術科学大学 正 員 栗林 栄一

1. はじめに

軟弱・不整形地盤、地形が地震動におよぼす影響の問題は地震工学上の重要課題であり、これまで数多くの震災例がその重要性を示している。1985年のメキシコ地震においては、震央から約400キロメートルも離れているメキシコ市に甚大な被害があったことは記憶に新しい。メキシコ地震の例を含めて、地震の被害が地盤と密接な関わりのあることは過去の震災事例からも明らかな事実であり、地震防災上も地盤の振動特性を把握しておくことは極めて重要なことである。そこで、本研究は軟弱・不整形地盤の振動特性を明らかにすることを目的とし、例としてメキシコ盆地の解析を行った。

2. 解析理論¹⁾

解析には、半無限弾性体の基本解を用いた2次元SH波入射問題とし、境界要素法を用いる。

領域を囲む境界上の変位と表面力を関係づける積分方程式は以下のように表される。²⁾

$$u_j(X) = \int U_{ji} t_i d\Gamma - \int T_{ji} u_i d\Gamma \quad (1)$$

この式はSomigliana's identityと呼ばれ、 U_{ji} , T_{ji} は基本解と呼ばれる。 u , t はそれぞれ変位と表面力である。周波数領域において、2次元線形弾性体とみなした半無限弾性体の面外運動(SH波)に対する基本解は以下のように与えられる。

$$U(R, R_0) = i \{ H_0^{(1)}(\kappa r_1) + H_0^{(1)}(\kappa r_2) \} / 4\mu \quad (2)$$

$$T(R, R_0) = -\kappa i \{ H_1^{(1)}(\kappa r_1) \frac{\partial r_1}{\partial n} + H_1^{(1)}(\kappa r_2) \frac{\partial r_2}{\partial n} \} / 4 \quad (3)$$

ここで $\kappa = \omega/c$ κ :波数 ω :角振動数 c :せん断波速度 $i = \sqrt{-1}$
 μ :せん断剛性、 $H_n^{(1)}(\cdot)$ は第1種 n 次のハンケル(Hankel)関数である。また、 $R = (x_1, z_1)$, $R_0 = (x_0, z_0)$ とすると

$$r_1 = \{ (x_1 - x_0)^2 + (z_1 - z_0)^2 \}^{1/2}$$

$$r_2 = \{ (x_1 - x_0)^2 + (z_1 + z_0)^2 \}^{1/2}$$

式(1)を境界上の各要素に対して離散化した式は次式となる。

$$[T] \{u\} = [U] \{t\} \quad (4)$$

上式を2媒質および3媒質モデルに適用し、それぞれの媒質間での連続条件を考慮して以下の式(5)(6)を得る。この式より地表面での変位を求める。式中の記号は図中の記号に対応している。

$$\begin{bmatrix} [T]_{11} & [T]_{12} & 0 \\ [T]_{21} & [T]_{22} & [T]_{23} \\ [T]_{31} & [T]_{32} & [T]_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\}_1 \\ \{u\}_2 \\ \{u\}_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{t\}_1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} [T]_{11} & [T]_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ [T]_{21} & [T]_{22} & [T]_{23} & [T]_{24} & [T]_{25} & [T]_{26} \\ [T]_{31} & [T]_{32} & [T]_{33} & [T]_{34} & [T]_{35} & [T]_{36} \\ [T]_{41} & [T]_{42} & [T]_{43} & [T]_{44} & [T]_{45} & [T]_{46} \\ [T]_{51} & [T]_{52} & [T]_{53} & [T]_{54} & [T]_{55} & [T]_{56} \\ [T]_{61} & [T]_{62} & [T]_{63} & [T]_{64} & [T]_{65} & [T]_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\}_1 \\ \{u\}_2 \\ \{u\}_3 \\ \{u\}_4 \\ \{u\}_5 \\ \{u\}_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{t\}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

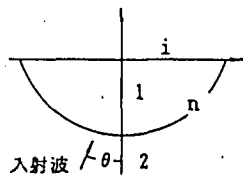


図1 2媒質モデル

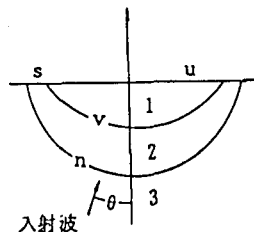


図2 3媒質モデル

3. メキシコ盆地の概要³⁾

メキシコ盆地の地盤構成は、表層500メートルの厚さにわたって第四紀層があり、深さ500~2000メートルまでは第三紀の火山岩層が広がっている。メキシコ市周辺の地質は湖成層、火山岩層、さら

に中間の層に区分される。特に表層の粘土は自然含水比約300%という高含水比で、高い圧縮性を持つ。図3にメキシコ市の周辺の地質図を示す。

日本の軟弱層と比較してみると、生成過程では例えば諏訪湖や琵琶湖周辺などが例としてあげられる。しかしながら、その規模や軟弱層の厚さは、メキシコ市の地盤の方が大きく、メキシコ市の地盤に匹敵するような地盤はほとんどない。

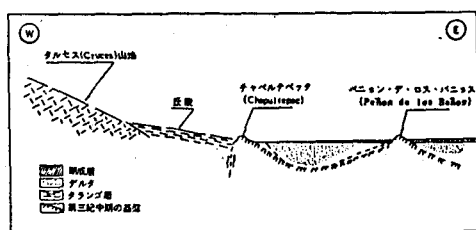


図3 メキシコ市周辺の地質³⁾

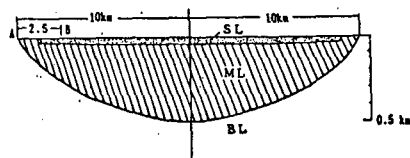


図4 メキシコ盆地地盤モデル

表1 地盤性状諸元

LAYER	V_s (m/s)	γ (t/m^3)	h (M)
SL	70	1.40	8
ML	500	1.80	0
BL	1250	2.18	0

SL: soft layer
ML: middle layer
BL: bed layer

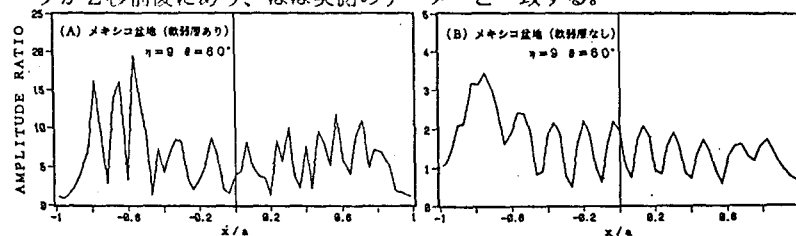


図5 地表面での振幅比

5. まとめ

- 1) 理論による解析と実測値との間で定性的な一致がみられるが、定量的には相違がみられる。
- 2) 不整形地盤、すなわち軟弱層の存在が地震動におよぼす影響は多大であり、解析からも数倍から数十倍の増幅効果が確認された。
- 3) 軟弱・不整形地盤による地震時の地盤振動特性は、地盤の形状および性状（密度、せん断波速度）、入射波の振動数に影響され、入射波の入射角による影響は小さい。

参考文献

- 1) 蔭 通:境界要素法による不整形地盤並びに基礎構造物の地震応答に関する解析的研究, 日本大学学位論文, 昭和63年4月
- 2) Brebbia, C.A.: Progress in Boundary Element Methods, Volumel, pp213-257, 1981.
- 3) 1985年メキシコ地震の被害とその復旧, 土木学会メキシコ地震調査団報告, (財)地震予知総合研究振興会, 昭和61年12月
- 4) 川瀬博: 強震地動の時間変動特性に着目した不整形地盤解析, 第14回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 1986.7.11.

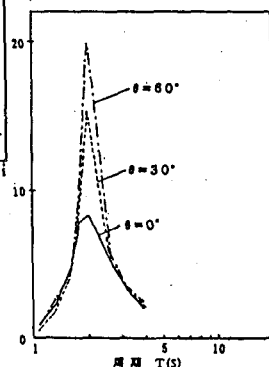


図6 B点での伝達関数