

I-546

FEMとIDBEMによる不整形地盤の震動解析

岡山大学 正会員 竹宮 宏和

岡山大学 学生員○谷口 正昭

(株)西松建設 正会員 菅野 由人

〔まえがき〕 従来、局所的な表層地盤の解析には、半無限基盤(あるいは剛基盤)上の成層地盤構成を採り、各層内の物性は一樣と仮定して、規定された波動種別の下で入射波を与えて、その応答性状を評価することが多く行われていた。しかし、解析対象領域を広域的に採る場合、実際の地形の複雑さが表層地盤の応答にも関わっているため、水平な基盤仮定の解析結果では得られる知見にも限界があり、地盤のモデル化において基盤の不整形性を導入する必要性が生じる。特に最近のように軟弱地盤上に長大土木構造物が建設される状況においては、その耐震解析段階で、入力地震動の評価に対して地形変化を考慮した表層地盤解析が重要となってきている。

〔目的〕

1. 不整形基盤面の存在が表層地盤(特に地表面)に及ぼす影響を明らかにする。

a) 境界要素法(IDBEM)により遠地盤インピーダンスを評価することで、沖積地盤への基盤の動特性を把握する。

b) 有限要素法(FEM)により近傍地盤の動的剛性を求めることで、沖積地盤内の動特性を把握する。

2. 各種の地震波動に対するより厳密な地盤の波動伝播特性を把握する。

〔ハイブリッド法の定式化〕

重み付き残差法によって、次式が成り立つ。

$$\int_s \mathbf{W}_t^T (\mathbf{t}_{BEM} + \mathbf{t}_{FEM}) ds + \int_s \mathbf{W}_d^T (\mathbf{u}_{BEM} - \mathbf{u}_{FEM}) ds = 0 \quad (1)$$

$\mathbf{t}_{BEM}, \mathbf{u}_{BEM}$ は、境界上のBEMによる表面力と変位を、 $\mathbf{t}_{FEM}, \mathbf{u}_{FEM}$ は、境界上のFEMによる表面力と変位をそれぞれ示している。

ここで、図Iのような地層構成を持つ不整形地盤において、図IIのように波動場を考えると、

$\mathbf{t}_{BEM}, \mathbf{u}_{BEM}$ は、つぎのように書き改めることができる。

$$\mathbf{t}_{BEM} = \mathbf{t}^f + \mathbf{t}^s, \quad \mathbf{u}_{BEM} = \mathbf{u}^f + \mathbf{u}^s \quad (2)$$

ここで $\mathbf{t}^f, \mathbf{u}^f$ は、自然地盤応答であり、 $\mathbf{t}^s, \mathbf{u}^s$ は、散乱波による表面力と変位である。

式(2)を式(1)に代入すると

$$\int_s \mathbf{W}_t^T (\mathbf{t}^f + \mathbf{t}^s + \mathbf{t}_{FEM}) ds + \int_s \mathbf{W}_d^T (\mathbf{u}^f + \mathbf{u}^s - \mathbf{u}_{FEM}) ds = 0 \quad (3)$$

また、 $\mathbf{W}_t, \mathbf{W}_d$ の重み関数をそれぞれ

$$\mathbf{W}_t = \mathbf{u}_{(y)}, \quad \mathbf{W}_d = \mathbf{t}_{(y)}^s \quad (4)$$

のように表面力に関するものを変位の分布関数で、変位に関するものを表面力の分布関数で仮定し、さらに $\mathbf{t}^s, \mathbf{u}^s$ の散乱波による表面力と変位をに加振によって生じる表面力と変位により表すと、

$$\mathbf{u}_{(y)}^s = \int_s \mathbf{G}_u(y, x) \mathbf{P}_{(x)} ds' \quad (5)$$

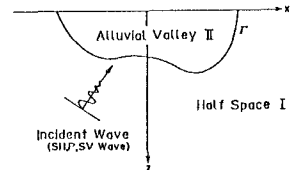
$$\mathbf{t}_{(y)}^s = \int_s \mathbf{G}_t(y, x) \mathbf{P}_{(x)} ds' \quad (6)$$

$$\hat{\mathbf{u}}_{(y)} = \mathbf{N}_{(y)} \hat{\mathbf{u}} \quad (7)$$

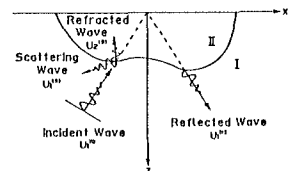
$\mathbf{G}_u, \mathbf{G}_t$: 変位と表面力のグリーン関数、 $\mathbf{N}$: 内挿関数、 $\hat{\mathbf{u}}$: 節点変位式(5)~(7)を式(3)に代入して

$$\mathbf{H}_e^T = \int_s \mathbf{N}_{(y)}^T \sum_e \mathbf{G}_{t_e}(y, e') ds_e(y) \quad (8) \quad \mathbf{G}_e^T = \int_s \mathbf{G}_{t_e}^T(y, e') \mathbf{G}_{u_e}(y, e'') ds_e(y) \quad (9)$$

を設定してマトリックス表示すれば、式(3)は、つぎの二式によって表される。



図I. 地層構成



図II. 波動場

$$H^T P + P^f + D_{bb} \hat{u} = 0 \quad (10)$$

$$G^T P + H \hat{u}^f + H u = 0 \quad (11)$$

式(10),(11)を連立させれば

$$H^T (G^T)^{-1} H (\hat{u} - \hat{u}^f) + P^f + D_{bb} \hat{u} = 0 \quad (12)$$

$H^T (G^T)^{-1} H = K_{bb}^*$ とすれば、

$$(D_{bb} + K_{bb}^*) \hat{u} = K_{bb}^* \hat{u}^f - P^f \quad (13)$$

K_{bb}^* : 遠地盤インピーダンス D_{bb} : FEMの動的剛性 $\hat{u}$: 節点変位 P^f : 自然地盤応答による節点力
以上よりハイブリッド法の最終方程式は、次式となる。

$$\begin{bmatrix} D_{ii} & D_{ib} \\ D_{bi} & D_{bb} + K_{bb}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u}_i \\ \hat{u}_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{P}_i \\ \hat{P}_b \end{bmatrix} \quad (\because \hat{P}_b = K_{bb}^* \hat{u}^f - P^f) \quad (14)$$

〔結論〕本研究では、従来行われてきた基盤面を水平と仮定する解析について再考を与えるために、基盤面を改めて不整形として解析モデルを設定し、基盤形状、入射角の違いによって地表面の変位が震動時に受ける影響を数値シミュレーションによって調べた。

この結果、基盤面形状が、入射波の種類及び、入射角と共に明らかに地表面応答等に対して深く関わっていることがわかる。

本研究で取り扱った台形状の渓谷を有する地盤においては、特に物性の異なった成層から成り立つモデルの鉛直入射に対して、その傾斜面で異常なほどの応答倍率を有する点が存在することがわかった。このことから、本研究のモデルのような地盤を有する地形においては、直下型の地震においての斜面の安全性の検討が重要視されなければならない。

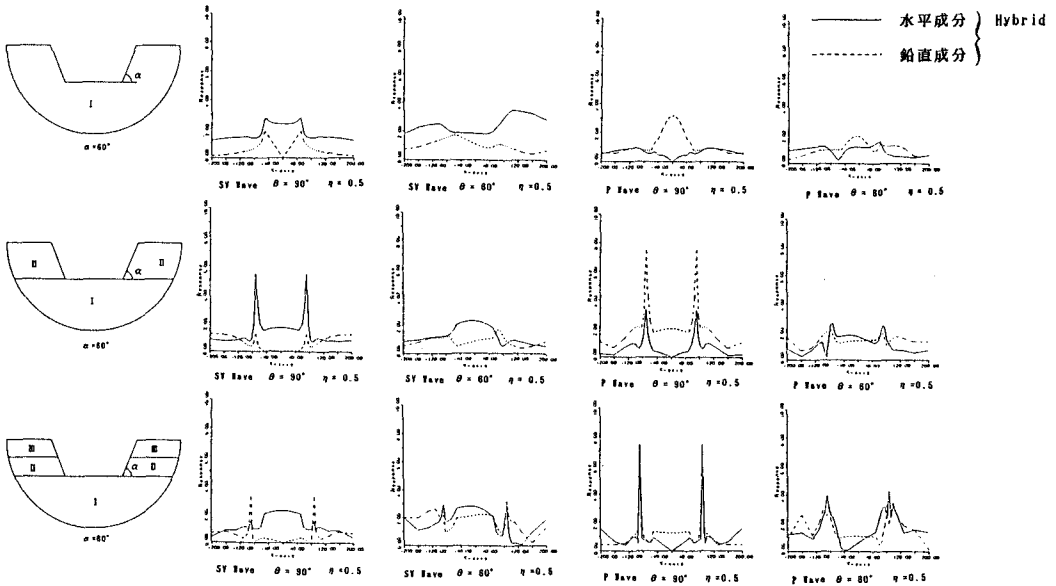


図1. 解析に使用した地盤の形状

	せん断減速度 (α/sec)	単位時間周波数 ($1/\text{sec}$)	減衰定数
i	500.0	2.00	0.01
ii	250.0	1.80	0.1
iii	100.0	1.40	0.1

ポアソン比 0.33

参考文献

1) 竹宮宏和、有岡謙一

: 地中分布加振に対する多層地盤の2次元グリーン

関数の数値計算法 ; 土木学会論文 投稿中(1989.12)

2) 小野正樹

: 不整形基盤層上の表層地盤の地震応答特性に関する研究
; 卒業論文(1988.2)