

## 境界法による不整形地盤の地震応答解析 - 2次元面内問題における代表的な手法の比較 -

Seismic responses of canyons by the boundary methods: comparison of different approaches in two-dimensional in-plane problem

# 大堀 道広 [1]

# Michihiro Ohori [1]

[1] 大林組・技研・振動

[1] Vib. Eng. Dept., Tech. Res. Inst., Obayashi Co.

著者は境界法を用いてどれくらい現実的な不整形地盤の地震応答解析を行うことができるか確かめたいという思いから本研究に着手した。その第一歩として、本報告では、境界法の中でも様々な形状の不整形地盤に適用できて、しかも各手法の組み合わせが柔軟に行いやすいと考えられる、Green関数を利用する解法に焦点をあてて、2次元問題においてその代表的な解法[ソース法、離散化波数境界積分方程式法、間接境界要素法および離散化波数間接境界要素法など]の解析コードを作成し、同一の計算環境のもとで、計算結果を比較している。

著者は境界法を用いてどれくらい現実的な不整形地盤の地震応答解析を行うことができるか確かめたいという思いから本研究に着手した。その第一歩として、本報告では、境界法の中でも様々な形状の不整形地盤に適用できて、しかも各手法の組み合わせが柔軟に行いやすいと考えられる、Green関数を利用する解法に焦点をあてて、その代表的な解法[ソース法、離散化波数境界積分方程式法、間接境界要素法および離散化波数間接境界要素法など]の解析コードを作成し、同一の計算環境のもとで、計算結果を比較している。以下に研究の背景や動機を述べた後に、2次元PSV波問題についての検討結果を報告する。

最近では、不整形地盤の地震応答解析手法は領域法(有限差分法、有限要素法)が主流となり、現実的な3次元地下構造を対象とした研究事例が続々と発表されてきている。一方、これまで領域法に対して相対する手法として位置付けられてきた境界法(境界要素法、境界積分方程式法)は、多くの研究者により創意にあふれた様々な手法が提案されてきたものの、先述したように3次元地下構造に対する応用例は少なく、領域法にはすっかり水を開けられた感がある。また、領域型の解法に比較して境界法は親しみにくい面があり、流布ソフトも見当たらないことから、境界法を身近な解析道具として利用しにくい面がある。しかし、境界法の研究事例の中には読者がフォローしやすい丁寧な記述の論文も多く[本研究で取り上げる2次元PSV波問題に関して例をあげれば、Kawase (1988), Sanchez-Sesma and Campillo (1991), Gaffet and Bouchon (1991)など]、境界法の理論に立ち入らずに、コーディングの技術もさほど必要とせず、比較的短期間に解析コードを手に入れることが可能であると思われる。(これを確かめることは本研究の目的の一つである。)

さて、一口に境界法といっても非常に多くの解法があり、先にあげた三つの文献において提案されている手法も、順に離散化波数直接境界要素法(Discrete Wavenumber Direct Boundary Element Method, DWDBEM)、間接境界要素法(Indirect Boundary Element Method, IBEM)、離散化波数境界積分方程式法(Discrete Wavenumber Boundary Integral Equation Method, DWBIEM)と呼ぶべき異なる解法である。ところで、境界法の一つの解法を提案している論文の多くは、読者に任意の形状の不整形地盤に適用可能であるという印象を与えるが、実際にはある手法を選んでコーディングを行っても、後に自分が実際に解きたい問題には適用できないという不幸が生じてしまう危険性がある。これは、境界法の各手法の特徴が境界法の研究者以外には見えにくいことによるものであり、少なくとも代表的な境界法についてその特徴を明確にしておくことが必要である。また、境界法を用いてできるだけ現実的な不整形地盤を解析するためにはいくつかの異なる境界法をうまく組み合わせることが効果的と考えられるので、一人の研究者が代表的な境界法を一通りそろえて、可能な限り同じ解析条件において、各解法の特徴を確認しておく必要がある。これが本研究の第一の目的である。

具体的には、半円形谷とコサイン形谷について、上記の方法を用いて周波数応答を算出し、計算結果を相互に比較している。ただし、境界法の計算結果は、解くべき積分方程式と使用するGreen関数の両方に依存するので、計算結果に見られる違いがどちらに依るものなのかについても可能な限り検討している。計算結果の比較より、端部が急峻な半円形谷については、ソース法、間接境界要素法および離散化波数間接境界要素法は既往の文献に掲載されている解と調和する結果を与えるが、離散化波数境界積分方程式法は周波数が高くなるにつれて精度が悪化することがわかった。一方、緩やかな傾斜で表されるコサイン形谷については、どの方法を用いても同様な結果が得られることがわかった。計算時間は、ソース法がもっとも短く、以下、離散化波数境界積分方程式法、間接境界要素法、離散化波数間接境界要素法の順に長くなる。従って、これらの手法を複数の不整形性を有する複雑な地盤に適用する際には、不整形性が弱い境界には離散化波数境界積分方程式法を、不整形性が強い境界に

はソース法，間接境界要素法，離散化波数間接境界要素法のいずれかを選択すると効果的であると思われる。今回と同様の検討を3次元問題について検討する予定である。