

不整形地盤の地震応答と地震被害要因に関する波動論的考察

東北工業大学 正会員 ○ 神山 眞
 々 々 松川 忠司

1 はじめに

不整形地盤では地震被害が局部的に集中して生じることが知られている。1995年兵庫県南部地震の際に生じた「震災に帯」はこの代表的な例と考えられる。このような局部的な被害が不整形地盤の地点に生じるメカニズムを明らかにすることはサイズミックゾーニングを始め、将来の地震被害を事前予測する手法を確立するうえで極めて重要である。本報告はこのメカニズムについて若干の波動論的考察を加えたものである。

2 不整形地盤の地震被害メカニズムで考えられる要因

不整形地盤の地点において生じる地震被害メカニズムについて現在筆者らが考えている構図をまとめたのが図1である。図1のように不整形地盤の地震被害に関与する要因は異常な震動振幅の増幅、成層構造地盤では生じ得ない地盤内のひずみ、応力の発生および震動継続時間の増大の三つからなると考えられる。これらはいずれも不整形性の存在によって生じる二次的な波動が他の原因による波動と種々のカップリングをすることにより生じられるものである。このカップリングが同じ位相で生じた場合に上記3要因のうちの震動振幅と地盤内応力、ひずみは異常に大きくなることが予想される。一方、このような干渉は不整形地盤の入射波の周期、位相特性にも強く関係することから図1は入射波の特性を支配する震源の影響も含まれた構図となっている。ここでは紙面の関係から、上記3要因のうち、震動振幅の増幅メカニズムに焦点をあわせ、擬似スペクトル法を用いたモデル不整形地盤の地震応答シミュレーション結果を例示する。

3 擬似スペクトル法による不整形地盤の地震応答シミュレーション

擬似スペクトル法は波動伝播の運動方程式を構成する空間微分を波数領域に変換して（スペクトル変換して）、かつ時間微分を差分近似して数値解を時間領域で求める方法である。この方法は不整形地盤の地震応答解法として一般に用いられるFDM、FEM、BEMなどの方法に対して多くの利点を有している。本文では擬似スペクトル法による面内震動問題（P、SV波）を対象に不整形地盤の地震応答における震動振幅の局部的な増幅現象について検討する。なお、応答解析手法の詳細については別途報告することとして本文では割愛する。

いま、典型的な不整形な地盤構造の影響をみるため図2に示すような局部的に基盤が傾斜して、成層構造地盤に連結するモデル地盤を考える。このような簡単な不整形地盤でも基盤の傾斜度、地盤の物性、スペクトルを含む入射波の入射特性などにより応答は変化すると考えられるので種々のパラメータを設定して応答シミュレーションを行った。ここでは、紙面の関係から図2に示すパラメータの不整形地盤に中心周期0.8秒（水平構造の卓越周期に相当）、最大振幅100galのSV波Ricker waveが垂直入射した時の応答結果を例に震動振幅の増幅メカニズムを考察する。なお、不整形地盤で二次的に発生する表面波と他の波動との干渉では、地盤の減衰特性が重要な影響を及ぼすことが考えられることから、図2の不整形地盤では表面層に $Q=10$ ($h=0.05$)の粘性減衰を導入している。

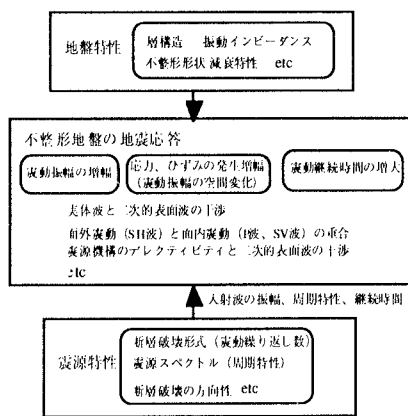


図1 不整形地盤の地震被害要因

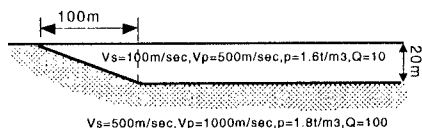


図2 モデル不整形地盤

図3、図4は図2の不整形地盤表面の代表的地点における加速度応答波形をそれぞれ水平成分、鉛直成分について示したものである。両図から成分により応答が異なるとともに、ある地点において震動振幅が極大になることがわかる。ここでの応答はSV波の垂直入射によるものであるが、基盤傾斜の不整形性により鉛直成分の応答が発生する。種々のパラメトリックスタディによると、不整形性により二次的に発生される鉛直成分の大きさは基盤の傾斜度、基盤と表面層のインピーダンス比、入射波の周期成分などにより異なる。この応答シミュレーションの例のように水平成層構造の卓越周期をもつ入射波では鉛直成分は水平成分に比較して小さい。そこで、水平成分の震動振幅の大きさにしばって議論する。

図3によれば水平成分の振幅は傾斜基盤の終点から約100mの地点で極大となっている。この付近の応答波形の地点による変化を更に詳細にみるために傾斜基盤の終点より10mから170mまでの地点(d=10~170m)の応答波形を20m間隔で重ねて示したのが図5である。図5によれば、振幅の大きさはこの付近で大幅に変化することがわかる。しかも、この変化は位相がずれる形で生じている。この理由を明らかにするため用意したのが図6である。図6は水平成層構造による応答(鉛直伝播応答)と基盤傾斜の存在により二次的に発生する水平伝播の応答(水平伝播応答)を別個に計算して同じ時間軸でプロットしたものである。この種類の異なる二つの応答の和が不整形地盤全体の応答を与えることになる。図5と図6の比較から鉛直伝播応答と水平伝播応答が同じ位相で到達する地点と時刻で震動振幅が大きくなることがわかる。

4 むすび

不整形地盤では不整形性の存在により二次的に発生される波動が他の原因による波動と複雑に干渉する現象が生じる。特に、震動振幅の面ではこれらの波動の位相が一致するとき極端に大きな振幅が現われることがわかった。入射波のスペクトル特性などを考慮して、この現象を更に総合的に明らかにする必要がある。

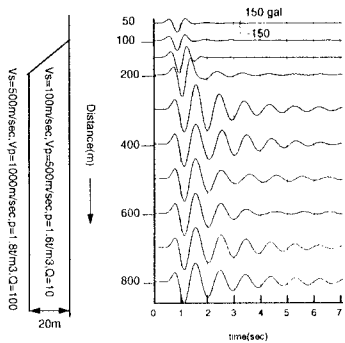


図3 水平加速度の応答波形

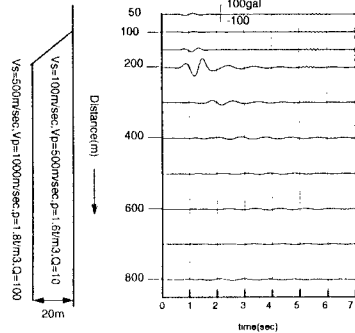


図4 鉛直加速度の応答波形

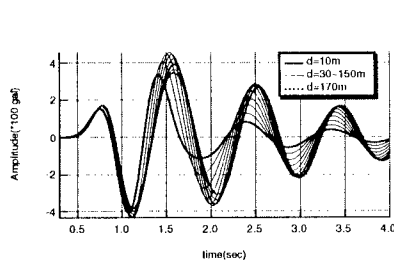


図5 水平加速度応答の局部変化

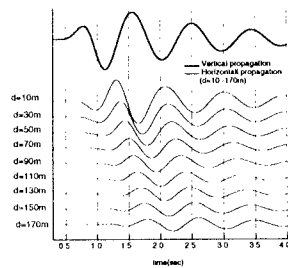


図6 鉛直伝播応答と水平伝播応答