

いわて防災学教室

災害から学び、災害に備える



地震動の表層地盤増幅

岩手大学理工学部システム創成工学科准教授

山本 英和

地震時の被害の大きな原因は強震動です。もちろん、地震断層が地表にまで現れて建造物の破壊をもたらす場合もありますが、多くの場合は強い揺れのために被害が発生します。単純に考えると、地震の震源から近い場所では地震の揺れが大きく、遠くなれば地震の揺れが小さくなるのは自明であるように思えます。しかし、震源から遠い場所で震度が大きく報告されている場合がよくあります。なぜこのようなことが起こるのでしょうか？

地震の揺れは、震源特性、伝播経路特性、地盤特性の3つの特性で決まります。震源特性とは、そもそも、地震が発生した時点でどのような周波数成分をもった揺れであるのかを表しています。伝播経路特性の例としては、プレート内を地震波が伝播するとエネルギーが減衰しにくい、マントルウエッジ内や火山帯直下を通過すると地震波のエネルギーが減衰しやすいなどがあげられます。地盤特性とは、表層地盤の影響により地震動が増幅される現象のことをいいます。地盤がやわらかいと揺れが大きくなることは、この増幅特性のことを表しています。いったいどんなメカニズムで揺れが大きくなるのでしょうか。

この現象を表す単純な理論としてSH波の重複反射理論があります。地盤を単純化すると、かたい岩盤の上に柔らかい堆積層が横たわる2層モデルと考えることができます。岩盤は半無限媒質(深さが無限大)と考えます。この2層モデルの下方から上方に向かって水平に振動するS波(SH波)が入射する問題を考えてみましょう。むずかしい式の導出は省略しますが、下方から入射したSH波は地表面で全反射してまた下方へ伝播します。しかし、堆積層と岩盤の境界では両者の弾性定数の違いにより、かなりの割合で反射します。反射したSH波は再び上昇し、地表面で反射して下降します。このときに、地表面でSH波の位相がタイミングよく揃った場合に振幅が増大します。ちょうど気柱間の共鳴現象と同じように、地下でも共鳴(共振)現象が起こっているのです。この共振現象、すなわち地表面での地震動の増幅が起こるにはある条件が必要です。表層地

盤の地震動増幅の(1次)固有周期は以下の式で表されます。

(固有周期) = $4 \times (\text{堆積層の厚さ}) / (\text{堆積層のS波速度})$
この関係は「四分の一波長則」として知られています。対象となる地震動の波長の四分の一の長さが堆積層の厚さに一致すると共振して揺れが大きくなります。多層構造の場合も、各層の厚さとS波速度の比を合計すれば計算できます。増幅率(入射波の揺れの大きさに対する地表面での揺れの大きさの割合)も、密度と速度の積で定義される「インピーダンス比」から計算することができます。岩盤のインピーダンスに対し堆積層のインピーダンスが小さい場合には、地表で地震動が大きく増幅されます。もちろん、非線形の場合は成立しませんし、水平地盤でない場合や不均質な場合では成立しないこともあります。1次近似的にはたいへんよく使用される公式です。

ただし、通常の建設現場では、ボーリング調査により岩盤までの深度は把握されていても地震波のS波の速度を測定することはあまり多くありません。その場合には、標準貫入試験のN値と土質区分などからS波速度を換算して公式を使用します。道路橋示方書ではS波速度の推定式として、粘性土で $100 \times N^{0.6}$ 、砂質土で $80 \times N^{0.6}$ と示されています。いずれも単位はm/sです。もちろん経験式なのであくまでも換算でしかないのですが、他に情報がない場合にはよく使われています。

地震時の表層地盤の増幅がどの程度なのかを示す観測例をあげてみましょう。基盤強震ネット(KiK-net)は防災科学技術研究所の地中と地表に強震計を設置した観測網です。この観測網で観測された地中と地表の地震動記録を解析すると、明らかに地表の揺れが大きいことがわかっています。例えば、4月16日の熊本地震の本震の際、KMMH16(益城)観測点では、深さ252mの地中の東西成分は最大243ガルでしたが、地表の東西成分は1157ガルの加速度を記録しています。たった250m程度の地盤の影響で4倍以上に増幅していることがわかるでしょう。