

内陸地震に対する強震動予測研究の進展と成果の活用：被害低減に向けての課題

Progress and Application of Research Activity on Strong Motion Prediction for Inland Earthquakes

川瀬 博[1]

Hiroshi Kawase[1]

[1] 九大・人間環境

[1] Faculty of Human-Environ. Studies, Kyushu Univ.

<http://seis.arch.kyushu-u.ac.jp>

兵庫県南部地震で我々が初めて手にした震源域の波形は、震源域外での観測波と異なり、周期1秒前後の大振幅を有する明瞭なパルス状の波群で構成された特徴的なものであった。この大振幅パルス波こそ震災の帯の原因であり、従って内陸地震の被害予測にはこの大振幅パルス波の生成メカニズムの解明が是非とも必要であった。兵庫県南部地震から10年経った今日では、この大振幅パルス波の生成は震源の空間的不均質性（アスペリティ）と破壊伝播効果（ディレクティビティ）によるものであり、それに地下構造の増幅作用（エッジ効果）が加わって特定の領域でパルス振幅が増大し、その結果想定以上の地震動を受けて多くの建物が大破・崩壊に至ったことが解明されている。

震源の不均質性をどう表現するかについては、必ずしも意見の一致が見られているわけではないが、震源域でのコヒーレントなディレクティビティパルスを生成するためには、空間的にコヒーレントなアスペリティが必要である。後述のように、一般構造物の場合、その非線形時の等価周期から、周期1秒前後の「やや短周期帯域」入力が最も危険であり、従って構造物にとって危険なパッチサイズは3~12kmとなる。スケーリング則を前提にすれば、この条件はM7クラスの地震でのみ満足される。またディレクティビティパルスが大振幅であるためにはアスペリティ内のすべりが平均的に高速である必要がある。実際、観測地動速度を再現するためには5~10m/sのすべり速度が必要であることがわかっている（松島・川瀬, 2000; 松尾・川瀬, 2002など）。このすべり速度はパルス振幅に直結しており、その定量化が極めて重要である。

震源で生成されたやや短周期パルスは通常そのままでは0.5m/s・400Gal程度で、建物を壊せるレベルには達さない。しかし地下構造による増幅作用により、兵庫県南部地震の場合では盆地端部から500m~1km離れた「震災の帯」の位置で3~4倍に増幅され、最大1.5~2.0m/s・1,500Galレベルに達したため、構造物の限界を超えて破壊が生じた。この帯状の大振幅領域が生成されたのは、盆地端部で生成されたエッジ生成波と直下から伝播したS波とが増幅的に干渉する「エッジ効果」のためである（Kawase, 1996; 川瀬・他, 1998）。こうした地下構造に関する我々の解析能力は近年著しく向上してきており、残された課題は如何にして正確に三次元地下構造をモデル化するかということに尽きる。

では震源域の地震動がこのようにコヒーレントなやや短周期パルスだとして、どうしてそれが、固有周期が0.1~0.4秒のより短周期である一般的な中低層建物や木造家屋に大きな被害をもたらしたのかが問題となる。これは簡単に言えば大振幅入力による非線形化で見かけの振動周期が増大するためである。ではより長周期ならもっと危険かということ、今度は加速度が大きくならないので、建物は非線形化せず剛体移動するだけとなる。つまり構造物に大被害をもたらすためには「速度も加速度も大きいこと」が必要条件となる。その条件を満たし、かつ地動最大速度にも加速度にも物理的な上限があるとすると、この4条件を満たすことのできる領域は周期1秒を中心とする「やや短周期域」に限られることがわかる。図には横軸に等価振動数 = 最大加速度 / (2π * 最大速度) をとり、縦軸に最大加速度をとって、5地震での観測地震動の等価振動数と最大加速度をプロットするとともに、構造物にとって危険となるやや短周期域を4条件で囲まれた平行四辺形の領域として示した。

さらに我々は、「やや短周期の大振幅パルス」で特徴づけられる震源域の強震動特性に対応した「動的被害予測モデル」を以下のような手順で構築した。まず標準建物モデルを設定し、それを平均モデルとして限界耐力のばらつきを与える。対象地域の観測被害率を求めておき、再現強震動を入力として非線形応答解析を実施して破壊クライテリアを超えた建物は被害建物として計算被害率を求め、それが観測被害率と一致するまで平均耐力を修正する。こうして得られた建物モデル群は観測被害分布をよく再現した。このように適切な応答解析モデルを用いれば、耐力が低い場合構造物は大振幅のやや短周期パルスで容易に壊れることを示すことができる。しかしながら震災後10年を経ても、一般構造物の設計においては、最も危険な大振幅のやや短周期パルスに備えた設計スキームは全く開発されてきておらず、依然として応答スペクトルに基づく1自由度系に置換した等価線形解析が主流となっている。この現状の設計パラダイムのままで果たして震源域の強震動にも耐えられる建物が合理的に設計できるのか、十分な答えは依然得られていないといわざるを得ない。

- Upper PGV bound — Lower PGV bound
- - - Upper PGA bound - - - Lower PGA bound
- Kobe ▲ Taiwan
- ◆ Tottori □ Niigata
- ✱ Tokachi

