



第56話 地震動による波形

今回は、地震動の物理的なお話しをする。建築構造技術者であれば、耐震工学で地震動について既に学んでいる。ここでは知識を復習し、整理しておこう。まず、地球内部あるいは表面を伝わる波を分類する。地震動は**表面波**(surface wave)と**実体波**(body wave)の2種に分類される。

実体波は、媒体内部で粗密やたわみなどの変位が伝播していき、**P波**と**S波**に分類される。P波は、Primary wave (第一波) または Pressure wave (圧力波) の略であり、また Compressional wave (疎密波) あるいは縦波ともいう。波は進行方向に移動する粗密波であり、弾性波である。速度はS波より速く、岩盤中で5-7Km/secとなる。そのため、地震発生時最初に到達する地震波であり、初期微動を起こす。

S波は Secondary wave (第二波) または Shear wave (せん断波) の略であり、固体中を伝わり、進行方向と直角に振動する弾性波である。速度は岩盤中で3-4Km/秒で、P波に続いて到達し、主揺動と呼ばれる大きな揺れを起こす。地震波は光と同様に、境界があると軟らかい地層方向に屈折する。そのため、震源が浅い場合を除いて、地表では地震動は下から進行する。P波を縦波、S波を横波と呼ぶことがあるが、これは進行方向に対しての縦横である。P波で家が上下に揺れる、あるいはS波で家が左右に揺れるとは限らない。ただし、上記の理由より、波の進行方向が地表面に対し垂直になるため、P波は上下成分が、S波は水平成分が卓越する傾向にある。

一方、表面波は、岩盤中を伝わる実体波に対し、個体と固体、固体と気体または液体の境界のみを伝わるため、境界波とも呼ばれる。周期が長く、振幅も大きい。また、P波・S波と比べて減衰しにくい特徴を有する。伝播機構によりレイリー波とラブ波の区別がある。伝わる速度は、S波と同程度かやや遅い。

ラブ波(Love wave)は、水平せん断力を地面に与える表面波である。英国の数学者であり物理学者であるオーガストウス・ラブ (Augustus Edward Hough Love) によって理論的に1911年証明された。地表に対して平行に、進行方向に対して垂直に振動する。一般に、レイリー波に比較してやや早く進む。

レイリー波(Rayleigh wave)は、水面に立つさざ波に似た動きをする表面波で体積変化を伴う波である。第3代レイリー男爵ジョン・ストラット (John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh) によって存在が理論

的に 1885 年証明された。上下動と水平動からなり、地表が上下方向に楕円を描くように振動する。実体波に比較して進みが遅い。

次に、建築構造設計の観点で地震動をみていこう。まず、現在観測され、設計に使用されている標準的な地震波を分類し、以下に示す。

- 1) エル・セントロ波を代表とする地震波形群であり、震源からある程度遠距離で観測された地震波形である。これらは衝撃的な破壊力はないが、靱性に欠ける構造物は進行的な破壊状況となる。
- 2) 一方、近距離で観測される兵庫県南部地震のような直下型地震には、キラパルスなどと呼ばれるやや短周期で卓越し、継続時間が短いものの振幅が非常に大きな指向性の強いパルス状の波が観測される。この種の波は、耐震性の弱い建物をなぎ倒すように倒壊させる衝撃的な破壊力を有している。
- 3) 設計サイト近くに活断層が存在する場合、1999 年台湾・集集地震で観測された長周期成分が卓越するステップ関数状の変位波形（フリリング・ステップ）にも注意しなければならない。地表断層の近傍では、地盤の傾斜や強制変位が生じることになる。
- 4) 関東平野、濃尾平野、大阪平野など大規模な堆積平野では、周辺を固い岩盤や山で囲われた盆地形状となっており、ここに地震波が入射すると長い時間揺れが続くことになる。地震波形の卓越周期は、濃尾平野では 3-5 秒程度、関東平野では 10 秒前後といわれ、このような堆積平野では長周期地震動が発生する。

動的解析で用いる地震動として、**地震動の大きさと周波数特性**を知ることが重要である。入力地震動の大きさは、レベル 1 とレベル 2 に分けられており、静的解析における損傷限界と安全限界耐力に相当する。一般的に前者は最大速度 25cm/sec、後者は 50cm/sec が広く用いられ、設計地震波を上記の最大速度でスケールリングして用いる。

地震に安全な建築を設計するためには、建設地盤の周波数特性を考慮した適切な設計用入力地震動を設定する必要がある。設計用入力地震動として、標準的な強振動特性を有しているとして使用されている標準波に加え、建設サイトの地盤状況を考慮して作成されるサイト波などがある。サイト波は従来工学的な経験的手法が用いられてきたが、現在では、強震動地震学による予測手法が主流になりつつある。さらに、ランダム波形である典型的な 1) の標準波形と、指向性の強いパルス波、フリリング・ステップ、長周期地震波とでは大きく地震特性が異なっている。これらの波形に関する耐震対策も異なる可能性があり、各種地震動に対する構造物の振動特性を、十分に理解する必要がある。