



基礎 144 話 耐震構造と免震・制振構造

最終回となる今回は、読者の知識を構造力学の基礎から応用へ、と導くためのお話である。前回は構造設計の変遷について概略学んだが、ここではさらに、建築構造の設計が、自動車や機械と同様に、振動の制御・抑制に向かっていることを学ぶ。特にここでは、免震・制振構造における振動制御の基本的な考えや、耐震構造との地震対策に対する考え方の違いを学習する。地震や台風などに対し、いずれの構造形式も安全設計は同じであるが、異なる安全対策が成されており、ここではそれらの特徴を概観する。

免震・制振構造の振動制御・抑制の理論的根拠を以下に示す。外乱周期が建物の固有周期に近接すると共振現象を起こし、大きく揺れる。構造物の固有周期を、地震動の応答スペクトルの小さな個所に移動可能であれば、応答は小さくなる。また減衰が大きいと揺れは抑えられるため、構造物の内部に減衰機構を付加することで応答を小さくすることもできる。前者に基づく機構が免震構造であり、後者が制振構造である。これら2種の機構はデバイスとして構造物に組み込まれることになる。

1) 耐震構造

耐震構造は、いわゆる剛構造（超高層建築は除く）であり、これまで主流となってきた構造形式である。強固な基礎により地面に固定されており、地震のエネルギーを、建物を構成する主要構造部材の変形能力(靱性)と強さで吸収する。大地震動を受けた建物は崩壊に至らないが、大きく変形し、上層階ほど大きな加速度が発生する。また下層階では部材は塑性化し、変形が残ることになる。そのため、再利用が難しくなる。

2) 免震構造

免震構造は、基礎部あるいは中間部に、水平方向に柔らかい免震装置を挿入した構造である。免震構造の動特性は柔構造と似ており、固有周期は非常に長い。地震動を受けると、この免震装置が水平方向に大きく変形し、減衰装置によって地震のエネルギーをほとんど吸収する。上部の建物には地震のエネルギーがあまり伝わらず、そのため層間変位もほとんど発生せず剛体的に長周期で揺れることになる。免震装置としてアイソレータとダンパーが用いられる。

3) 制振構造

制振構造は、主要構造体（ブレースや壁パネル）に振動エネルギーを吸収する制振装置（ダンパーや低降伏部材等）を付加するか、もしくは

応答スペクトルは、地震波の特性を表す。地震波によって異なるが、その特性に顕著な定性的傾向が見られる。これについての詳細は、「SPACE で学ぶ構造力学 動的解析編」を参照されたい。

同調型質量などを付加し、地震や強風によって建物に揺れが生じた時、振動を低減する構造である。

図 1 に、標準地震波の一つであるエル・セントロ NS 地震波の加速度応答スペクトルを示す。同図から分かるように応答加速度は、周期が 1.2 秒以下では大きな値を示すが、周期が 2 秒以上になると極端に小さくなる。また、減衰が大きくなると応答値が小さくなる。長周期の外乱エネルギーが小さく、固有周期が長いとこの種の地震動(一般には海洋型地震動と呼ばれる)ではほとんど揺れないことが分かる。

一方、図 2 の地震時の変位応答スペクトルでは、周期が長くなると最大値はそれに伴い大きくなる傾向にある。相対的に免震構造の剛性が小さくなった分、それだけ変形が大きくなっている。しかしながら、周期が長い領域(赤い四角で囲まれた「免震」となっている部分)では、減衰効果が大きく、変形を抑える効果が大きいことも分かる。周期を長くすることによって生じる変形量の増大を、減衰力を付加することで抑制できることを意味している。

以上のように免震構造とは、①水平剛性を小さくし周期を長くすることで応答加速度を下げ、②それにより増加した水平変位を、減衰力を付加することで抑制する構造である。このような免震構造として、アイソレータとダンパーを骨組に組み込むことで実現する。

地震に対し安全な構造物を設計するためには、地震の特徴・特性を学ぶことが大切である。地震動の特性と構造物の動的挙動との関連を学習し十分に理解することが、免震構造や制振構造など新しい構造形式を学ぶための第一歩となる。

耐震工学や免震・制振構造に関する知識の獲得は、**SPACE** で学ぶ**構造力学 動的解析編**を学習し、その後、専門書を読むと良い。

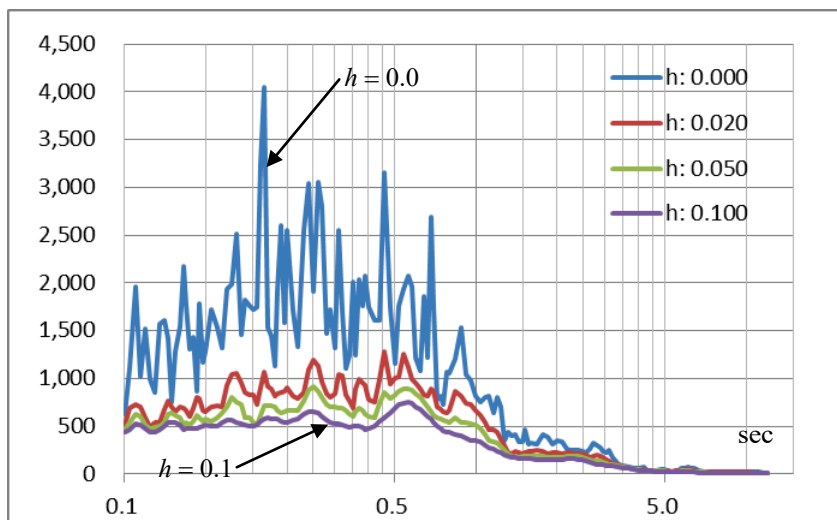


図 1 エル・セントロ NS 地震波の加速度応答スペクトル

横軸：周期 (秒)
縦軸：加速度 (cm/sec²)
h：減衰定数

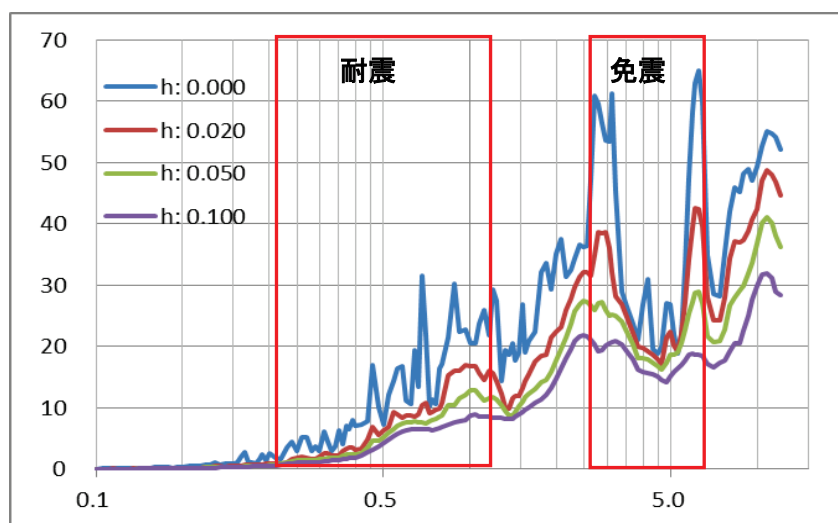


図 2 エル・セントロ NS 地震波の変位応答スペクトル

横軸：周期 (秒)
縦軸：変位 (cm)
耐震：周期 0.1~1.2
免震：周期 3.0~5.5