



第 103 話 免振モデルと履歴特性 No.2

今回も、免振モデルと履歴特性についての話である。前回はアイソレータについてであったが、ここでは、ダンパーについての話から始める。

2) ダンパー(Damper)

天然ゴム系の積層ゴムは減衰能力が小さいため、地震時の免震部位の変位が大きくなってしまふ。変位を抑制するため、免震装置には減衰能力を保有するダンパーが必要である。ダンパーには荷重支持能力を期待しない代わりに、地震により建物に入ったエネルギーを吸収する。ダンパーには、鋼材や鉛などの塑性履歴を利用する弾塑性型ダンパー(図3)、オイルのような粘性材料の粘性抵抗を利用する粘性ダンパーがある。履歴型ダンパーは、ダンパーの降伏せん断力係数などを決定することで、ダンパー全体の復元力特性をバイリニアモデルで表すことができる。

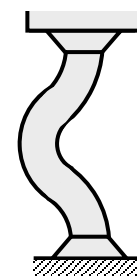


図 3 鉛ダンパー

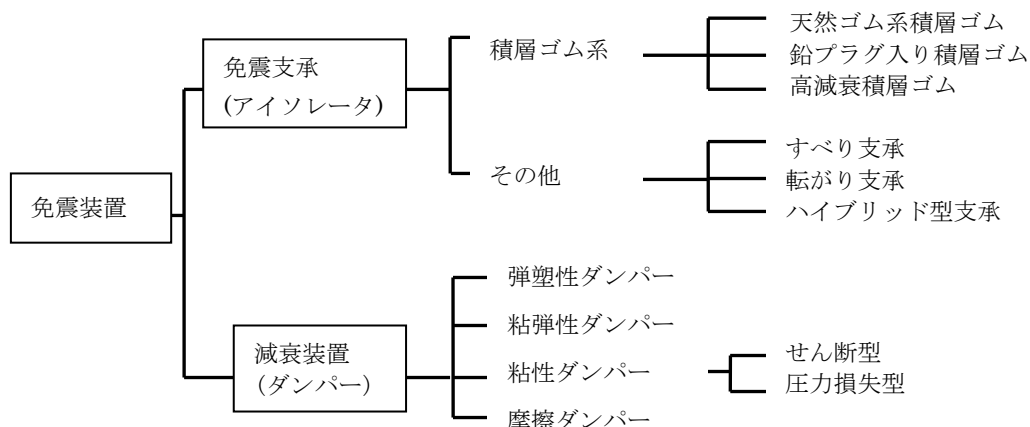


図 4 免震装置の分類

免震装置はおおよそ図 4 のように分類される。免震構造の計画では、設計条件に適合したデバイスを選択することになる。

標準波や告示波を受ける免震構造では、設計目標を満足すれば、多くの場合、上部構造の応力はほぼ弾性範囲内に収まる。ところが、レベル 2 を上回る地震動を受ける場合や、長周期地震動によって長時間共振状態になる場合など、免震層に想定を超える極限状態が発生することがある。ここでは、免震構造あるいは免震デバイスにどのような極限状態が生じるかを考えてみよう。

構造全体の振動状態は免震層で大きく揺れ、その周期は長い。そのため、上部構造は剛体的にゆっくり揺れるが、大きな地震動を受けると、梁・柱に塑性化が進み、急激に層間変位が大きくなる。上部構造が塑性

化することで、主たる固有周期の骨格曲線がソフトニングになり、振幅が大きくなると周期が伸びることになる。耐震構造では、この現象によって入力エネルギーが減少し、しかも主構造の塑性化によって履歴減衰として機能し、有効にエネルギーが消費される。一方、免震構造における主構造の塑性化は、振動状態が免震層によって既に長周期化しており、上部構造自身の長周期化は入力エネルギーの直接的な減少につながらない。上部構造が一旦塑性化すると、周期が長いため静的荷重を受けるように水平変位が進行し、層間変形角が急激に大きくなる。また、免震構造では、耐震構造に比較して上部構造の設計用せん断力係数が小さいため、上部構造が剛体的に振動しなくなると、主構造部材に塑性化が進行し、塑性崩壊につながる可能性がある。つまり、耐震構造では、塑性化は履歴減衰の増大によって変形を抑制する方向に働くが、免震構造では、塑性化すると水平変位の抑制は上部構造の耐力にのみ依存する。

さらに、想定を超える大きな地震動や長周期地震動による共振現象によって、免震層そのものにも大きな影響を受ける。積層ゴムのせん断ひずみは 200%から 350%程度まで生じるようになり、より厳密なせん断ひずみ履歴が求められる。大きな水平変形が発生すると免震層の $P-\Delta$ 効果によって積層ゴムの破断や座屈などを生じることがある。設計上、想定外の外力に対しても免震装置が破壊しないことを確認する。

従来 1 方向加力で限界性能を設定してきたが、2 方向加力時では、ゴム部にねじれを伴い、1 方向加力で評価された場合より、小さなせん断ひずみで破断することが分かってきた。このことから、2 方向の加力に対する実験結果を精度良く評価できる履歴特性が必要となっている。

以上のように、想定外の入力地震動や長周期地震動に対し、免震構造が安全であることを確認するためにも、極力積層ゴムの極限まで表現可能な免震力学モデルを使用し、時刻歴応答解析を実施してその挙動を分析する必要がある。時刻歴応答解析の目的として、さらに以下に示す事項が挙げられる。

1. 基本設計した免震層の実挙動を分析し、初期の目標を達成しているかを検証する。ここでは多くの情報が得られるが、結果が入力地震動に依存することからも、エネルギー釣合による方法や応答スペクトル法と併用して用いることが大切である。
2. 構造物の実挙動は 3 次元的であり、構造の形状によっては、ねじれ振動など立体的な挙動を把握する必要がある。2 方向入力地震動による免震層や上部構造の安全性を確保しなければならない。そのため立体骨組の時刻歴応答解析が必要となる。