



## 第102話 免振モデルと履歴特性 No.1

今回は、免振デバイスを如何にモデル化し、履歴特性を設定するかについてのお話である。日本における免震構造は1980年頃から研究開発が始まり、1983年には日本初の「積層ゴム」を用いた免震建物が実現した。その後の建設件数は年間数棟に留まっていたが、1995年の阪神淡路大震災を契機に、免震構造の利点が広く認知され、建設数が大幅に増加した。その後、免震構造の適用範囲拡大や高性能化を目的として、様々なタイプの免震装置が開発・実用化されるようになった。また、許認可手続きの簡素化の要望も高まり、2000年6月施行の新建築基準法では、一定の条件を満たせば大臣認定は不要になり、一般の建築確認の手続きで免震構造の建設が可能になった。これに併せて建築材料としての免震部材認定制度が発足し、2001年4月から免震装置は国土交通大臣の認定を受けたものが使用されるようになり、今日に至っている。

免震構造を実現する免震デバイスは、建物の重量を支えながら水平方向に対して地震動を吸収するアイソレータと、大きな変形を抑え減衰力を付加するダンパーからなる。以下にその特徴を述べる。

### 1) アイソレータ

アイソレータ(Isolator)は、平常時は建物を支持し、地震時には柔らかく水平方向に大きく変形できることが求められる。この条件を満たすものとして、現在、図1のような薄い鋼板を挟み込んだ積層ゴムがアイソレータとして多く用いられている。それ以外にも、積層ゴム自体にダンパーの代わりとなる減衰能力を付加した高減衰ゴム系積層ゴムや鉛プラグ挿入型積層ゴムがある。

積層ゴムは、薄いゴムシートと薄い鋼板を交互に積層した構造になっている。積層ゴムに圧縮荷重が作用すると、ゴムシートが潰れて横へ広がろうとする際、交互に挟まれている鋼板が拘束することで変形量は非常に小さくなり、高い圧縮性能を示すことになる。逆に水平荷重が加わると、鋼板がゴムシートのせん断変形を拘束しないため、水平剛性は極端に小さくなる。この種の特徴を有する積層ゴムは、免震部材として理想的であるといえる。

積層ゴムの形状を決定するパラメータは、主に直径 $D$ 、ゴム一層厚 $t_R$ 、及びゴム層数 $n$ である。これらは、以下に示す1次形状係数 $S_1$ と2次形状係数 $S_2$ としてまとめられる。

$$S_1 = \frac{D - d_s}{4t_R}; \quad S_2 = \frac{D}{nt_R}$$

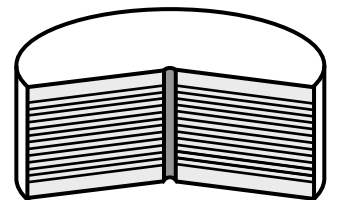


図1 積層ゴムアイソレータ

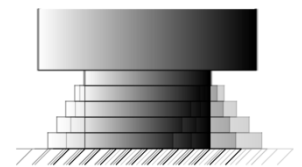


図2 アイソレータの水平変形状態

ここで、 $d_s$  は鉛プラグ挿入中心孔径であるが、鉛プラグ以外でも施工上必要となる小さな中心孔に相当する。形状係数  $S_1$  はゴム 1 層の拘束面積と自由表面積（側面積）の比、 $S_2$  は積層ゴム直径とゴム総厚の比で各々定義されており、 $S_1$  が大きいほど、直径に対するゴムシートの厚さが薄くなり、鉛直剛性や曲げ剛性が高くなる。また、 $S_2$  は耐荷能力や水平剛性に関するパラメータであり、この値が大きくなると積層ゴムは扁平になり、座屈を起こしにくい形状となる。

**天然ゴム系積層ゴム**の履歴曲線は、履歴ループの面積が小さく、エネルギー吸収部材としてのダンパーが必要となるが、軸力の変動や変位履歴による依存性がほとんどなく、微小変形から大変形まで安定したバネ特性を有しており、モデル化が容易である。

**高減衰型積層ゴム**は、粘性を高くした材料を使用し、それ自身がエネルギー吸収する積層ゴムである。ダンパー機能と一体であることから他にダンパーを必要せず、省スペース型である。このデバイスは履歴ループの面積が大きく、エネルギー吸収が大きい。履歴特性は微小変形より非線形性を示し、振動数や変形量、変位履歴に依存する。解析モデルとして、減衰特性を等価粘性減衰として評価し、修正バイリニア型の復元力特性を用いる場合が多い。

**鉛プラグ入り積層ゴム**は、中央部に設けた中空孔に鉛を圧入したものであり、せん断変形時に鉛プラグの塑性変形によってエネルギー吸収を行う。この場合も、応答解析では履歴特性を修正バイリニア型としてモデル化することが多い。

**滑り減衰免震装置**では、上部構造と基礎の間で、両者を滑らせることにより地震力を低減する。この装置は、積層ゴムを直列につないだ弾性滑り支承及び水平変形量を制御する水平バネ材で構成され、滑り支承を受ける滑り板はステンレス鋼材が用いられる。小・中規模の地震では弾性滑り支承が弾性変形し、周期を長くして地震力を低減する。一方、大地震に対しては滑りを生じ、摩擦によるエネルギー消費で地震力を低減する。復元力特性は一般のバイリニア型が多く用いられる。

標準波に対する応答のように積層ゴムのせん断ひずみが 200%程度以下であると修正バイリニア型で十分精度が得られる。しかし、ひずみが 300%を超えるとゴムは硬化する特性があり、これには追従できず試験結果を再現できていない。特に長周期地震に対する応答や想定を超える大きな地震動に対しては、このような状況が発生する。そこで、さらに精度の良い履歴モデル、菊池モデルや山本モデルなどが開発されおり、これらのモデルを使用することになる。