

免震構造に関する初等教育



神奈川大学

島崎 和司

1 はじめに

筆者は、首都圏の中堅私立大学で1年生向けの建築学の入門講座の一つとして「建築の構工法」を2000年から担当しています。これは日本建築学会の「構造用教材」をテキストとして、建築の構造システム、工法、各部構造についての概要を、著者のこれまでの経験を踏まえながら教えています。

この中の一コマ(100分)として「新しい建築構法」として「免震・制震構法」を扱っています。ここで、免震構造を1年生にもわかるように説明しています。初学者対象と言うことで、振動の言葉を使わないようかなり大胆な説明になっているので、物理の先生とか地震学の先生からは「違う!」と叱られそうですが、正確性よりわかりやすさと言うことで割り切っています。その後、自分で学修して正確なことを理解してもらえらるのの第一歩となればと思っています。以下に、その授業の概要を紹介しますが、正確性についてはご容赦いただきたい。

2 地震動と建物

地震の生じる原因は、今はプレートテクトニクスで説明されています。地球の内部には、地球が形成されたときに生じた膨大な熱エネルギーがあります。この熱が放出されるに当たり、マントルに対流を生じさせ、地球表面のプレートを動かしています。地球内部の熱エネルギーの一部がプレートの運動エネルギーになっていると言えます。現在の地球表面は、主要な15個のプレートからなっており、これらがマントルの対流により引き裂かれたり衝突したり、ずれたりしています。日本は、ユーラシアプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピンプレートの4つが衝突しているといわれています。

このうち海側のプレートは、陸側のプレートより重いので、日本の下に潜り込んでいきます。このときプレート間に摩擦力が働き、プレート内部にひずみエネルギー(ポテンシャルエネルギー)として蓄積されます。このひずみエネルギーが限界を超えると、陸側のプレート内で破壊(内陸地震)が生じたり、プレート間の摩擦が切れる破壊(海溝型地震)が生じたり、あるいは海側のプレートが深いところ(深発地震)や潜り込む手前で破壊したりします。この破壊によってプレートが揺れ、ひずみエネルギーが、プレートの運動エネルギーとなります。このエネルギーは、表層地盤に伝わり地盤の運動エネルギーとなります。地盤の運動エネルギーの一部は、地盤内部での摩擦によって熱エネルギーになりますが、地盤の上に立つ建物の運動エネルギーとして建物を揺らすこととなります。

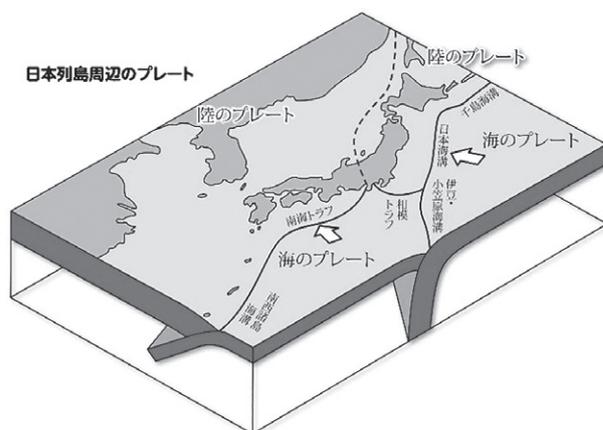


図1 日本列島周辺のプレート
(出典：地震調査研究推進本部 <https://www.jishin.go.jp/>)

建物が地盤から受け取った運動エネルギーにより建物は振動し、運動エネルギーとポテンシャルエネルギー(ひずみエネルギー)の間で、エネルギー

のやりとりをします。一部の運動エネルギーは再び地盤に戻っていきますが、ひずみエネルギーとなった多くは建物内で熱エネルギーとして消費されます。中小地震では、いわゆる減衰として内部摩擦による摩擦熱として変換され、エネルギーが消費されることになります。大地震では、建物が塑性変形(壊れる)事により、塑性エネルギー(熱エネルギー)としてエネルギーが消費されます。塑性変形と熱エネルギーの関係は、針金を曲げてみるとよくわかります。弾性の間は、針金を曲げる(プラスの仕事をする)事で針金内にひずみエネルギーが蓄えられ、力を減少させる(マイナスの仕事をする)ことにより、元の位置に戻ります。ところが塑性変形をすると、元の位置には戻らないので+の仕事と-の仕事の絶対値が異なり、エネルギーがどこかに行ったことになります。これが、熱エネルギーになっているのですが、針金を折れるまで繰り返し塑性変形させると、その折れたところは熱くなっており、熱エネルギーに変換されたことが実感できます。このようにして、大地震の時に建物は自らを壊しながら(元の状態に戻らない)、崩壊しないように頑張っているのです。これを耐震構造と言います。

3 免震・制震構造

耐震構造と比較して、建物自体は弾性のままにして変形するけど、何かしらのデバイスを使って運動エネルギーを熱エネルギーに変換して振動を抑える構造が免震・制震構造です。ここでは、大地震時の建物の振動を制御するという観点から制震構造という言葉を使っていますが、地震を制御する構造という意味ではありません。この観点から言うと、免震構造も制震構造の一部とも言えます。

免震構造は、どこか特定の層(下層)を柔らかくして、その層だけを変形させて、そこで運動エネルギーを熱エネルギーに変換します。この柔らかい層から上の層はゆっくりと揺れるので衝撃的な力(慣性力)が加わりません。これが免震構造と呼ばれるゆえんとなっています。建物の重さを支えつつ特定の層を柔らかくするためには、一般には積層ゴムというのが使われています。ゴムの性質として、圧縮されても体積が変わらないというのがあります。消しゴムをケースから出して親指と人差し指で押しつけると横に膨らみます。ところが、ケースに入れたまま押しつけても、なかなか押し込むことができ

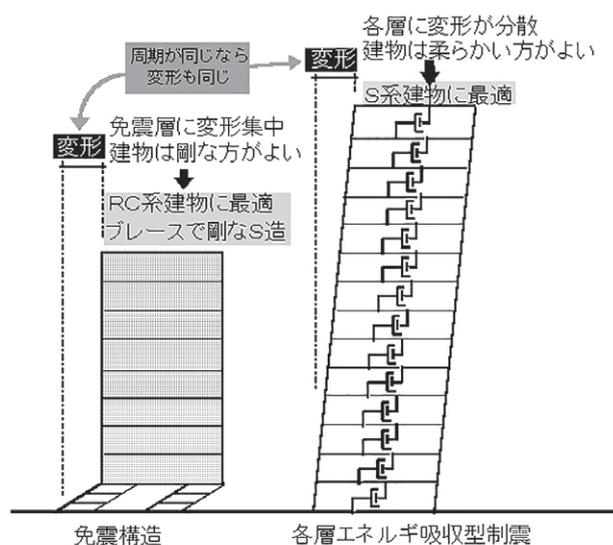


図2 免震構造と制震構造

ません。これは、ケースが横に膨らむことに対して抵抗しているためで、体積が変わらないため縮む事ができなくなっているのです。積層ゴムは、この原理を利用して、ゴムと薄鋼板を交互に重ね合わせたものになっています。建物の重量を受け、ゴムが横に拡がろうとしても、薄鋼板が抵抗するため拡がる事ができず、ゴムは鉛直方向には縮みにくくなっています。ところが、地震を受けて、水平方向に変形しようとするとその薄鋼板は抵抗しないので、容易に変形できます。

この大きく変形する層に、運動エネルギーを熱エネルギーに変換するデバイスを取り付けます。多くの建物で、金属材料の塑性変形を利用した鋼棒ダンパーや鉛ダンパーが用いられてきました。最近では、車のショックアブソーバーと同じ原理のオイルダンパーが多く用いられるようになってきました。免震構造は、特定の層以外は変形しない方がよいので、鉄筋コンクリート構造との相性が良いシステムになります。

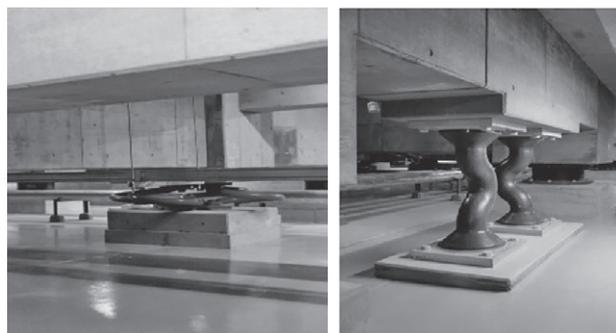


図3 鋼棒ダンパーと鉛ダンパー

大地震に抵抗する制震構造としては、建物は弾性で各層が平均的に変形し、この各層に運動エネルギーを熱エネルギーに変換するデバイスを取り付けます。デバイスとしては、鋼材の塑性変形を利用したダンパーや、オイルダンパーが用いられています。各層が柔らかく、弾性を保つことが必要なため鋼構造と相性が良いシステムになります。

4 おわりに

このような説明の考え方は、建築研究所に在籍されていたころの渡部丹博士が、パークレーの建物群を前にして中学生だったお嬢さんに、「大きな建物は、揺らすのに大きなエネルギーが必要だから、揺れにくいのだよ。」と説明されていて、お嬢さんが納得されていたのを目のあたりにし、「エネルギー」という魔法の言葉が最初のきっかけには有益と感じたことから始まっています。3年生には、応答スペクトルを用いた工学的な説明をしています。