

てこの原理で地震を制する

～トグル機構を用いた建築用制震装置～

Outline of the Toggle Structural Control System

加藤 元
Gen KATO

川田工業㈱航空・機械事業部
トグル制震プロジェクト営業次長

大塚 功一
Hiroichi OTSUKA

川田工業㈱航空・機械事業部
トグル制震プロジェクト次長

江原 栄次
Eiji EHARA

川田工業㈱航空・機械事業部
トグル制震プロジェクト

6 432名の犠牲者を出した阪神・淡路大震災からはや7年が経過しました。約25万棟におよぶ建築物が全半壊し、死者の8割近くが圧死でした。この事実は建築に携わる全ての人々に、大変重い課題を突き付けました。地震の被害を受けた建物を見ると、1981年の新耐震基準施工以前と以後では、はっきりとした差が出ました。対震性能を建物に付加することの有効性が、多くの犠牲の基に立証される結果となりました。

対震の分類

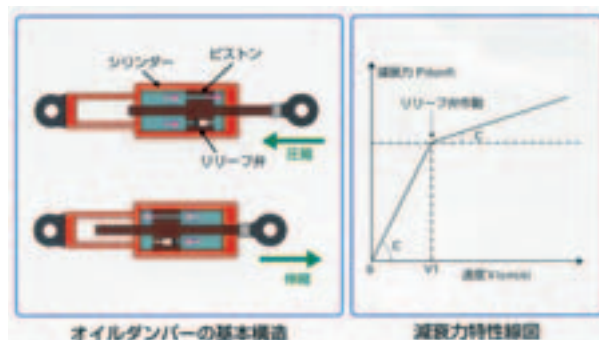
ひと言に対震性能の付加と言っても様々な考え方（構法）があります。建物自体を頑丈にする「耐震構法」、建物と地面の間にエネルギー吸収材を入れ、地震エネルギーを建物に直接伝えさせない「免震構法」、いちど地震エネルギーを建物の中に入れ、柱や梁が受け持っていたエネルギーを数ヶ所に配置したダンパーなどで肩代わりさせる「制震構法」があります。ここでは制震構法を中心に述べることにします。制震構法のメリットとして、建物に応じた配置の柔軟性、敷地の制限を受けないこと、新築のみならず既存建物の耐震改修にも適用が可能なことなどが挙げられます。

エネルギー吸収機構に用いられる減衰材には 履歴減衰型（低降伏点鋼や鉛など）、摩擦減衰型（摩擦ダンパー）、粘性減衰型（シリコンやオイルダンパーなど）、粘弾性減衰型（ゴムやアスファルトなど）があります。

オイルダンパーについて

オイルダンパーを制震装置に用いるという考えは非常にポピュラーで、様々な装置に組み込まれています。オイルダンパーは速度依存型（他には歪依存型があります）で、速度が増加するにつれて抵抗力が増加するので加速度抑制効果が高いという特徴を持っています。この性質はピストン式の水鉄砲を思い浮かべると理解しやすくな

ります。その他の特徴として、温度依存性が小さい、リリース荷重（後述）を設定しやすい点が挙げられます。



オイルダンパーの基本構造

上図に示した基本構造のように、左右の部屋のオイルはピストンが動くにつれピストンに設けられた穴を通して移動し、この孔の径によってピストンの減衰性能が決定されます。リリース弁はあるスピードに達したときにオイルを別の部屋に逃がす働きをします。リリース荷重は弁を押さえるバネの強さで設定します。リリースさせる理由は、ダンパーが棒のように突っ張って、逆に建物を壊すことを防ぐためです。ピストンが往復する際の抵抗が地震（振動）エネルギーを熱エネルギーに変換し、空气中に放出するわけです。

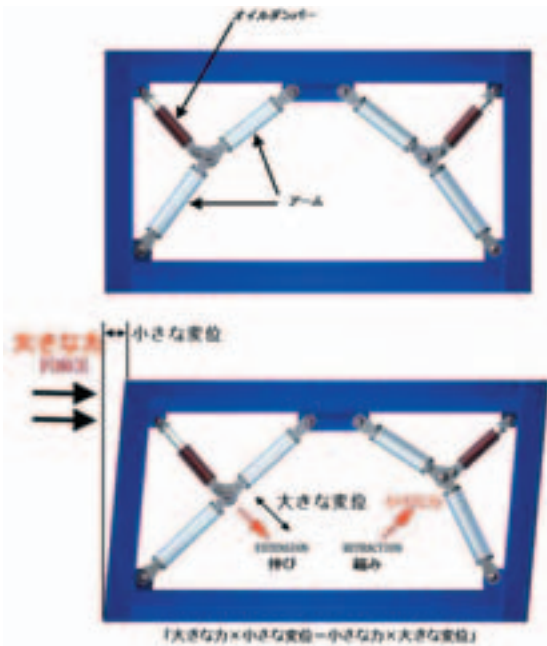
トグル機構

建築物に用いられる制震装置に対する要求事項は次のとおりです。壁に入れることができるようコンパクトであること。経済的理由と設計上の制限から、できるだけ一つ当たりの減衰力を大きくして数を減らすこと。

窓や入り口、配管スペースを確保できること。外に見せる使い方もするので、意匠的に優れていること。太陽に当たる面でも使用できるよう、温度依存性が低いことなどです。

トグル機構は日本大学理工学部建築学科の石丸辰治教

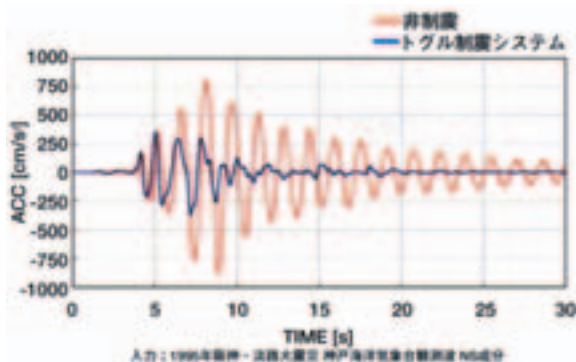
授によって発明された特許で、これらの要求事項を理想的な形で解決することができる制震装置です。2本のアームと1基のダンパーによって構成されており、それぞれピンで連結されています。



トグル機構の概略図

トグルという言葉は機械の分野では広く用いられており、「てこの原理」を利用した倍力機構のことを意味します。トグル制震装置は、地震による上下梁の水平方向の変位をトグル機構によって2~3倍に増幅してダンパーに伝える仕組みになっています。例えば、建物の階高が4 mで、許容変形量が1/100で規定されていた場合、水平方向4 cmの変位はトグル機構を介してダンパー部には8~12 cmとして伝わることになります。

てこの原理では「大きな力 × 小さな変位 = 小さな力 × 大きな変位」という関係が成立します。これは、大きな水平力に対してより小さなダンパーで対抗できることを意味します。既存の制震装置は1:1の関係でしかないので、同じ建物に制震装置を付加する場合、同じ性能のダンパーを使用するならトグルは1/2~1/3の設置数に減らすことが可能になります。あるいは、使用するダンパーのクラスを1/2~1/3に落とすことができることを意味します。



地震波の比較

施工例

トグルの倍率はアームの角度を変えることによって調整が可能です。逆にいえば、角度の管理が重要となります。さらに、微小な変形量を増幅させるのですから、装置全体にガタがあってはなりません。したがって、非常に厳しい精度管理が要求されます。

工場における溶接歪の除去、機械加工精度の管理、施工現場における架設精度の管理に細心の注意が必要です。



トグル数82基 2002年6月竣工
日本大学理工学部船橋校舎8号館



トグル数140基 2002年12月竣工
日本大学理工学部1号館



トグル数208基 2003年12月竣工予定
都市整備公団川崎駅西口ビル

まとめ

地震の際に建物が人に危害を加えることが二度とないよう、建物本来の生命と財産を守るという基本機能が発揮できるように、トグルの技術が少しでも役立つことを願います。