

第30回 コイルばねを鉛直に設置した免震装置

東京電機大学 藤田 聡

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震以降、免震建物の建設数は急増しているが、この要因として以下の二点が考えられる。(1)地震発生時、神戸地区に二棟の免震構造物が存在し、そのいずれにおいても優れた免震効果が観測、実証された。(2)1998年に建築基準法が改正され、2000年から性能規定化に向けた政令、告示などが整備された。

本研究は戸建住宅に適したコイルばねを鉛直配置した新たな免震装置を提案し開発したものである。

2. コイルばねを用いた免震装置の構成

ここで提案する免震装置は、鉛直支持要素としてのリニアベアリング、復元要素として鉛直設置された弾性コイルばね、減衰要素として鉛直設置された弾塑性コイルばねの三要素で構成されている(図1)。

弾塑性コイルばねは通常のばねの設計方法をあえて逸脱し、線材の塑性領域を利用することで入力エネルギーの散逸を目的とした部材である。



図1 コイルばねを鉛直設置した免震建物例

3. 静的加力実験

(1) 実験装置

図2は静的加力実験装置である。本実験装置は本免震構造と同様に、鉛直荷重はリニアベアリングで支持することで鉛直設置されたコイルスプリングには鉛直荷重を与えることなく、水平方向に剪断変形を加えられる構造となっている。

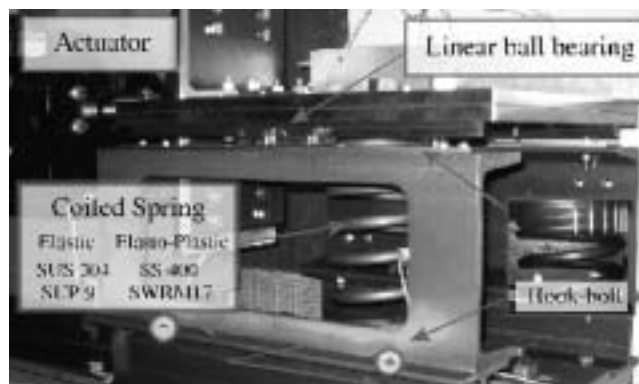


図2 静的加力実験装置

(2) 弾性コイルばね

弾性コイルばねは質量10,000kgに対して、水平固有振動数を0.20Hzとなるように設計し、構成線材にSUS304、SUP9の両ばね鋼線材を用いて製作した。図3は静的加力実験結果の一例で、図中の実線は実験結果を、破線は解析結果(設計値)を示しており、等価横剛性係数は設計値によく一致することが検証された。その誤差は、剪断変形量+200mm時で5%以内であった。JIS B2704(圧縮コイルばねの規格)によれば、ばね定数許容誤差 $\pm 5\%$ (等級:1級)から $\pm 10\%$ (等級:2級)を許容するもので、これにしたがえば本実験での誤差は、等級1級の範囲に属することがわかる。

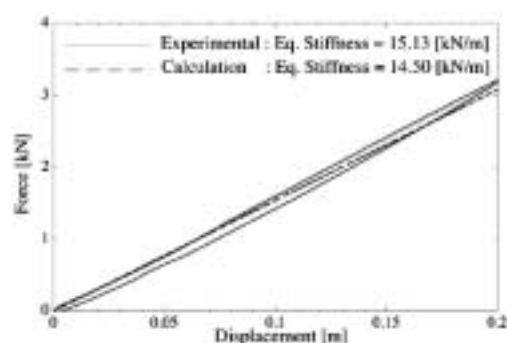


図3 弾性コイルばねの復元力特性

(3) 弾塑性コイルばね

履歴系ダンパの復元力特性をバイリニアとして近似した場合、履歴復元力特性を構成するパラメータは一次・二次剛性係数、降伏変位となり、免震性能はこれらの値に依存することとなる。ここでは弾塑性コイルばねの設計パラメータをエネルギー包絡解析により最適減衰量を導き出し(図4)この最適値を弾塑性コイル

ばねの設計諸元として与えた。設計した弾塑性コイルばねは、構成線材にSS400、SWRM17のそれぞれの軟鋼を用い、質量1,000kgに対して一次剛性係数が固有周期にして1.35s、降伏変位が25mm(降伏剪断力係数 $s = 0.056$)となるように製作した。

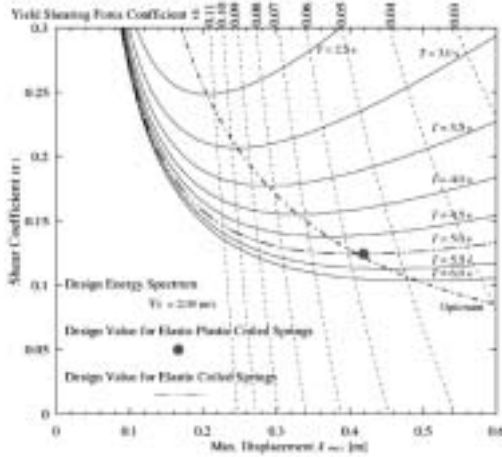


図4 弾塑性コイルばね包絡解析結果例

実験結果の一例として、図5には1～10Cycleの履歴復元力特性と3Cycle時における等価減衰比 heq を示すが、1,000Cycle加力時の履歴復元力特性は引き続き安定しており、等価減衰比も35.6%とほとんど低下しない。本復元力特性より、鉛直設置した弾塑性コイルばねは優れたエネルギー吸収特性を有することで、免震系で必要とされる減衰力を満足するのみならず、風力により免震層に生じる剪断力対策として好ましい力学特性を示したものと評価できる。解析モデルとしては、ここで新たに提案したModified Bouc Wen Modelを用いたが、図5に示すように実験結果を精度良く表現している。

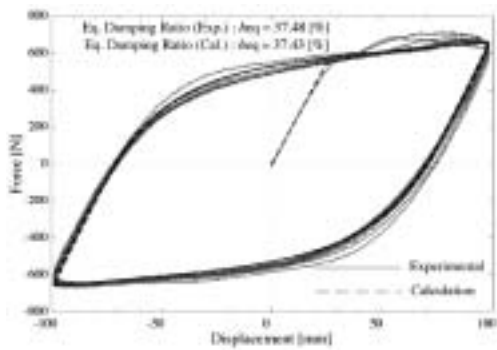


図5 弾塑性コイルばねの復元力特性(SWRM17)

4. 地震応答解析

本免震系の地震時における免震性能を検討するため一質点系解析モデルを用いて地震応答解析を実施した。本解析モデルは支承材、復元材、減衰材の三要素を考慮したモデルであり、復元材(弾性コイルば

ね)と減衰材(弾塑性コイルばね)のパラメータは静的加力実験結果に基づいた。解析に用いた入力地震波は、観測地震動としてEI Centro NS, JMA Kobe NS, Hachinohe EW、模擬地震動としてBCJ-L1・L2(日本建築センター告示波:ランダム位相) Art EI Centro NS, Art. JMA Kobe NS, Art. Hachinohe EW(Art.: 観測地震波の位相を用いて作成した模擬地震動で、目標スペクトルは告示1461号に基づいた) 三の丸NS、EW波(想定東海地震) 以上合計10波を用いた。また観測波の入力速度の大きさは0.5m/sに基準化し、JMA Kobe NS波は実波の速度とした。地震応答解析結果として図6には最大応答加速度を、図7には最大応答変位を示す。解析結果は、各地震波の最大入力加速度に対して応答は大幅に減少しており十分な免震効果が確認された。また、最大応答変位は0.07m～0.18mで、静的加力実験での加力範囲である0.20m以内を満足する応答値となった。

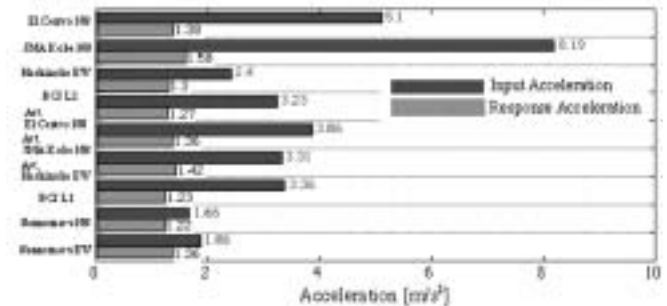


図6 最大応答加速度

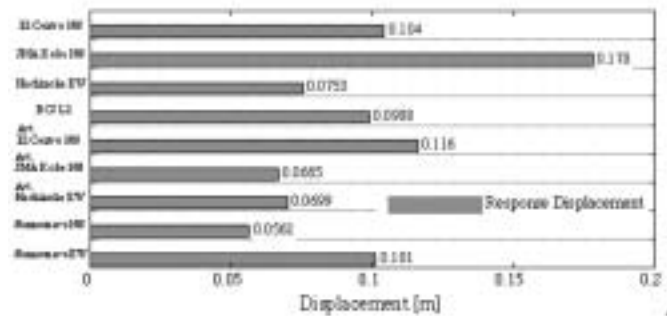


図7 最大応答変位

5. おわりに

以上紹介したように、コイルばねを鉛直設置する本免震装置は、十分な免震性能を有しており、まれに生じる風力に対しても耐風性を有し、免震装置の低コスト化を実現するものであると結論でき、新たな戸建住宅用免震装置としての有用性を示すものである。

参考文献

- (1) 深沢 剛、藤田 聡、倉林 浩、「コイルばねを鉛直設置した戸建住宅用免震装置の研究開発(縮尺モデルを用いた免震性能の検討)」、日本機械学会論文集、73巻、727号、C編、2007年3月、pp 756 - 763 .
- (2) 深沢 剛、藤田 聡、倉林 浩、木下明洋、「コイルばねを鉛直設置した免震装置に関する研究(第1報 弾性コイルばねの静的加力実験)」、日本機械学会論文集、74巻、739号、C編、2008年3月、pp 506 - 512 .
- (3) 深沢 剛、藤田 聡、倉林 浩、木下明洋、「コイルばねを鉛直設置した免震装置に関する研究(第2報 弾塑性コイルばねの準静的加力実験)」、日本機械学会論文集、74巻、739号、C編、2008年3月、pp 513 - 520 .