

鋼管コイルばねを用いた免震緩衝装置の提案と検証実験

Proposal and verification experiment of buffer device for seismic isolation using Steel-tube coil spring

○新井佑一郎¹, 土田堯章¹, 柳田佳伸¹, 石鍋雄一郎²* Yuichiro Arai¹, Takaaki Tsuchida¹, Yoshinobu Yanagita¹, Yuichiro Ishinabe²

Abstract: It is expected by a long period grand motion that excessive deformation occurs in seismic isolation building. It may collide in retaining wall when excessive deformation occurs in seismic isolation building. In today, the method to solve excessive deformation of seismic isolation is developing. This is a step for developing a buffer device to avoid collision. The device uses Steel-tube coil spring and aims at the simple thing with high efficiency.

1. はじめに

近年地震被害が増加している中、防災・減災に対する意識は高まり、建物の揺れを低減できる免震建物を採用するケースが増加している。

免震建物は、建物下部に設置された剛性が低く、エネルギー吸収デバイスを配置した層(免震層)が大きく変形させ、建物に入力する地震エネルギーを集中的に吸収する構造である。そのため、設計では予想される地震動を決定し、時刻歴応答解析により免震層がどの程度変形するかを算定している。

近年発生が予想される巨大地震では、長周期地震動による周期の長い構造物への被害が懸念されている。近年の研究から、固有周期が4秒程度の免震建物も、長周期地震動の影響を受ける可能性が懸念されている。免震建物が設計想定を超える地震動を受けた場合の被害として、fig.1に示すような免震層の過大変形による擁壁への衝突等が考えられ、大きな被害につながる可能性も高い。

擁壁への衝突を考慮した既往の研究では、フェイルセーフとして緩衝機能を付与すれば、衝突時の上部構造における応答加速度を低減できることが示されている¹⁾。しかし、免震層の過大変形に対応した設計事例は少なく、効果的な緩衝装置に対する知見も乏しいのが現実である。

そこで、本論では免震層の過大変形を単純な構造の緩衝装置で防止する方法を提案する。その1では、緩衝装置の基本原理の提案と、効果検証のための実験結果を示す。

2. 耐震建物と免震建物の fragility 関数

ここで、耐震建物と免震建物の地震被害発生確率—地震強さ (fragility 関数) の概念²⁾をfig.2に示す。fig.2に示す概念図は、一般建物に対してある程度高い安全性を持たせるという目標で設計した免震建物を想定している。同図から、耐震建物は設計想定レベルで構造部材の損傷が開始するため、被害発生確率は0となっていない。しかし、免震建物は、設計想定内では基本的に構造部材が弾性範囲内なので、被害発生確率は限りなく0となる。これに対し、

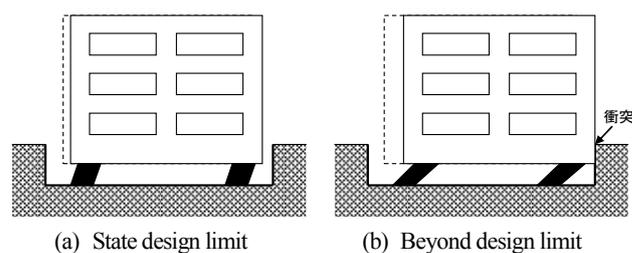


fig.1 Status of seismic isolation building in case of earthquake

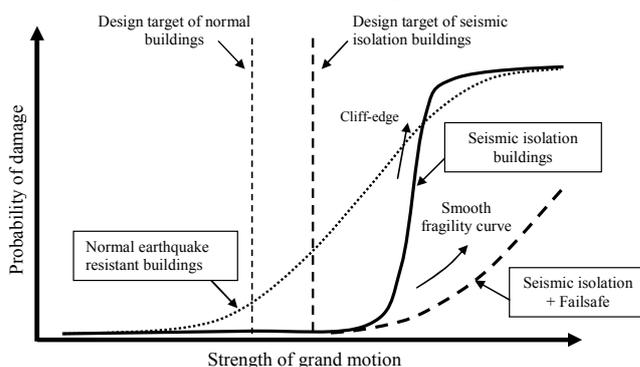


fig.2 Fragility curve of buildings on earthquake

設計想定を上回る地震が発生した場合、耐震建物は地震動レベルが大きくなるにつれて緩やかに損傷確率が増加していく傾向がある。そのため、一般的な耐震建物は余裕度も大きく、想定を超える地震動下でも直ちに構造躯体の終局状態に至らないケースが多い。

一方、免震建物は設計想定を上回る地震が発生した場合、急激に確率が増加し、条件によっては耐震建物よりも被害発生確率が高い領域も出てくる。このようなクリフエッジ性が強い免震建物の特性を緩和し、耐震建物のような緩やかな関数化(スムーズ fragility 化)が可能ならば、免震の課題解決が可能となる。その手段として、緩衝装置のようなフェイルセーフ機能の追加があげられる。

3. 鋼管コイルばねを用いた緩衝装置

3.1 緩衝装置に求められる性能 免震建物の過大変形を抑えるためには、以下に示す2つの機能を持つ装置が必要である。

1) 装置動作時の衝撃荷重を抑えるために、緩やかに荷重

上昇をするような機構であること。

2) 免震層に入力された過大な運動エネルギーを十分吸収可能な機構であること。

1), 2)の機能を実現する緩衝装置の荷重-変形関係概念図をfig.3に示す。緩衝装置に入力されるエネルギー W_0 は、

OABCで囲まれる面積に相当する。これ

に対し、緩衝装置が吸収するエネルギー

W_s は網掛けで示す

OABDで囲まれる面積となる。既往の研究³⁾では W_0 と W_s を用

いて、式(1)に示すヒ

ステリシス比 h_r を定義している。また、装置が吸収しきれ

なかった残留エネルギー W_{re} は式(2)で表される。

$$h_r = W_s / W_0 \times 100 \quad \dots(1)$$

$$W_{re} = W_0 - W_s \quad \dots(2)$$

h_r : ヒステリシス比 W_s : 緩衝装置吸収エネルギー W_0 : 総入力エネルギー

残留エネルギー W_{re} は、緩衝装置が放出する弾性エネルギーであり、小さいほうがよい。また、 h_r が大きいほど吸収効率が良い。一般に高減衰ゴム等で構成された装置のヒステリシス比 h_r は50%程度と言われている³⁾。また、D点の変位が小さいほど装置に残留変形が残りやすく、複数回の衝突に対応しやすいがヒステリシス比 h_r は小さくなる。

3.2 鋼管コイルばねを用いた緩衝装置の概要

性能と生産性を両立した緩衝装置として、鋼管コイルばねを用いた機構を提案する。鋼管コイルばねは、鋼管にらせん状の切込みを入れることで、ばねとして機能するようにした部材である。装置の形状をfig.4に示す。

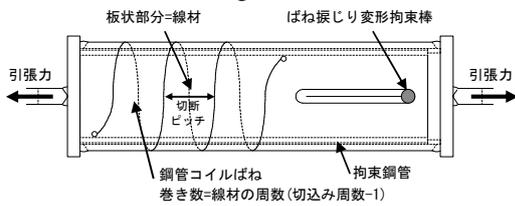


fig.4 Shape of buffer device

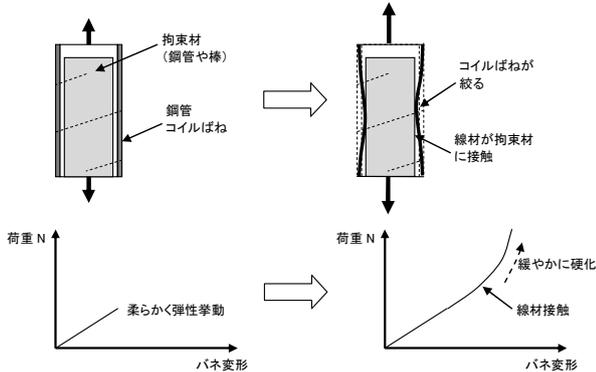


fig.5 Operation principle of buffer effect (schematic)

装置は鋼管コイルばねの内部に拘束鋼管を挿入し、ばね引張時の線材(板状部分)の変形を徐々に拘束できるようにしたものである。メカニズムの概念をfig.5に示す。また、鋼管コイルばねのように線材巻き数 n が少ないばねは、引張力を受けると、捩り変形が生じるため、拘束棒を挿入し回転方向の動きを拘束している。

3.3 鋼管コイルばねを用いた緩衝装置の検証実験

緩衝装置の効果を検証するため、小径鋼管で装置を試作し、静的引張加力実験を行った。試験体は鋼管STK400 ϕ 114.3 \times 8.5に切断ピッチ100mm、3周のらせん切込みを入れ製作した。実験状況Photo1に、実験により得られた軸力 N_s -軸変位 δ_s 関係をfig.6に示す。

実験結果から、初期剛性が小さく変位25mmを超えると緩やかに荷重上昇する履歴関係が得られた。なお、初期剛性は式(3)で示すばねの弾性剛性 K_s とよく対応している⁴⁾。

$$K_s = \frac{G \cdot t^3 \cdot h}{2.79n \cdot D^3 (t^2 + h^2)} \quad \dots(3)$$

G : せん断弾性係数 h : ばね線材高さ(=ピッチ) t : 鋼管厚さ
 n : 線材巻き数 D : 鋼管径

ヒステリシス比 h_r の算出は、荷重240kNのサイクルで拘束棒が鋼管に噛み込んだため、120kNサイクルまでの包絡線で評価した。その結果87%と高い値を示している。また残留変形は、除荷時の低荷重領域で急激に変位が小さくなるような特性がみられた。以上より、エネルギー吸収能力と繰り返し性能の両立が可能な結果が得られた。

4. まとめ

本論では、鋼管コイルばねを用いた緩衝装置を提案し、その効果を実験で検証した。検証実験結果から、十分な性能を発揮できる可能性が示された。今後は装置の改良および、建物に組み込んだ場合の効果の検証を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 中藤, 永谷, 松井: 免震建築物の擁壁衝突時の挙動と緩衝材付設効果に関する基礎的検討, 日本建築学会東海支部研究報告集, 49号, pp.129-132, 2011.2
- 2) 久田嘉章: 地震荷重・地震動想定と工学的判断, 建築防災, 日本建築防災協会, pp.2-5, 2015.2
- 3) 高橋, 穴原, 深堀: 水平変位制御によって免震建物に発生する衝撃力に関する実大実験と応答解析, 日本建築学会構造系論文集, No.573, pp.223-230, 2003.11
- 4) 機械工学便覧 改定第6版, 日本機械学会, 1977

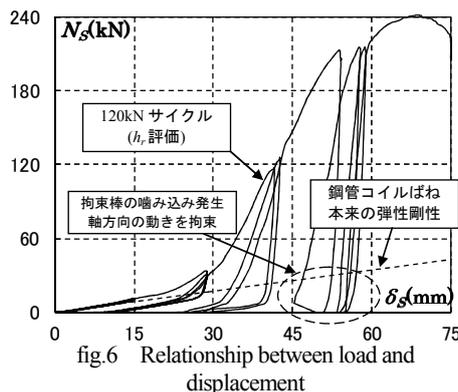


fig.6 Relationship between load and displacement



Photo1 Experiment state