

## 鋼管コイルばねを用いた緩衝機能付き落橋防止装置の提案

青木あすなる建設(株)技術研究所 正会員 ○新井佑一郎 会員外 土田堯章 フェロー 牛島栄  
 日本大学理工学部建築学科 会員外 石鍋雄一郎

### 1. はじめに

スパンが大きな橋梁では、橋桁の収縮や膨張に対応するため、橋脚部分と支承を介して縁が切られているケースが多い。そのため、地震時には橋桁と橋脚間の相対変位が大きくなり、支承部分が損傷する可能性がある。支承部分が損傷すると、橋桁が落下する可能性があり、落橋防止のためのフェイルセーフ機能を設ける必要がある。95年の兵庫県南部地震以降、耐震改修として落橋防止のためのストッパー(落橋防止装置)を追加する工事が行われてきた。落橋防止装置には、単純に橋脚の過大变位を拘束するものから、装置に橋桁が衝突した際の衝撃を吸収する、緩衝機能を有するものがあり、96年の道路示方書V耐震設計編<sup>1)</sup>には、緩衝機能を持つ落橋防止装置の設置が望ましいと記されている。しかし、一般に緩衝機能を持つ装置は、ゴムや合成樹脂などの特殊な材料を使用する傾向があり、製造には高い技術が必要なため、高コストという欠点がある。そこで本論では、一般的な鋼製部材のみで緩衝機能を実現した、落橋防止装置の提案と検証実験について述べる。

### 2. 材料による緩衝特性の違い

緩衝機能を有する装置は多岐にわたり、バリエーションも豊富である。既設橋梁に簡便に取り付けられる装置の一例として、緩衝チェーンがあげられる。緩衝チェーンは、鎖をゴムで被覆したもので、鎖リング間に充填されたゴムが荷重を伝達し、緩やかに装置への作用荷重が上昇する特性を持つ。

安価な鋼管や形鋼、鋼板の形状を工夫することで、ゴムや合成樹脂(粘弾性体)を用いない緩衝装置に関する研究も行われている。既往の研究<sup>2)</sup>では、鋼管や山形鋼、折板を用いた緩衝材とゴム製緩衝材の荷重変形関係を比較している。鋼製およびゴム製緩衝材の荷重-変形履歴の概念図を図1に示す。同図より、ゴム製緩衝材は変位増加に伴って緩やかに荷重増加するのに対し、鋼製緩衝材は傾きが異なる3つの領域に分類することができる。これは、鋼材が荷重を受けると、①剛性が大きい弾性域、②剛性がほぼ0となる塑性域、③変位が増加することに伴う硬化域(主に鋼材に圧縮力が作用する機構の場合)、と鋼材の状態により特性が変化するためである。よって、鋼材は塑性化するためエネルギー吸収能力に優れたものの、ゴム製と比較して耐力に対する初期剛性が大きく、緩衝機能として不利な性質も持ち合わせている。

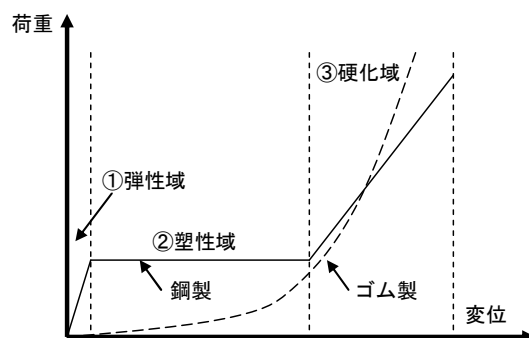


図1 鋼, ゴム製緩衝材の荷重-変形概念図

### 3. 鋼管コイルばねを用いた緩衝装置の提案

**3.1 緩衝装置に求められる性能** 地震時における橋桁の過大变形を抑え、装置接合部および下部工に作用する荷重を最小限に抑えるためには、以下に示す2つの機能を持つ緩衝装置が必要である。

- 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) 衝突時に橋桁が保有する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-変形関係概念図を図2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。建築の免震分野における緩衝装置の研究<sup>3)</sup>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  $W_{rel}$  は式(2)で表される。残留エネルギー  $W_{rel}$  は、緩衝装置が放出する弾性エネルギーであり、橋桁を押し返す方向に作用する。

キーワード 落橋防止, 緩衝装置, フェイルセーフ, エネルギー吸収能力, 鋼管, コイルばね

連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 36-1 青木あすなる建設(株)技術研究所 建築研究室 TEL029-877-1112

$$h_r = W_s / W_0 \times 100 \quad \dots(1) \quad W_{re} = W_0 - W_s \quad \dots(2)$$

$h_r$ : 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

そのため、 $W_{re}$ は小さいほうがよい。また、 $h_r$ が大きいほど効率がよい。一般に高減衰ゴムや合成繊維で構成された装置のヒステリシス比  $h_r$ は40~50%程度と言われている<sup>3)</sup>。また、D点の変位が小さいほど装置の残留変形が少なく、繰り返し荷重に対する寿命が増加する。

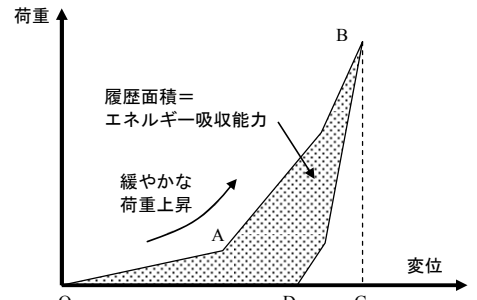


図2 緩衝装置の荷重-変形概念

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。装置の形状を図3に示す。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図4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じり変形が生じるため、拘束棒で回転変形を拘束している。

3.3 鋼管コイルばねを用いた緩衝装置の検証実験

3.2節に示す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、静的な引張加力実験を行った。

試験体は鋼管STK400  $\phi$ -114.3×8.5に切断ピッチ100mm、3周のらせん切込みを入れ製作した。実験状況を写真1に、実験により得られた軸力  $N_s$ -軸変位  $\delta_s$  関係を図5に示す。加力は、750kN疲労試験機を用い、引張軸力を繰り返し作用させた。

実験結果から、初期剛性が小さく変位25mmを超えると、ゴムのように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<sup>4)</sup>。

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

$G$ : 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

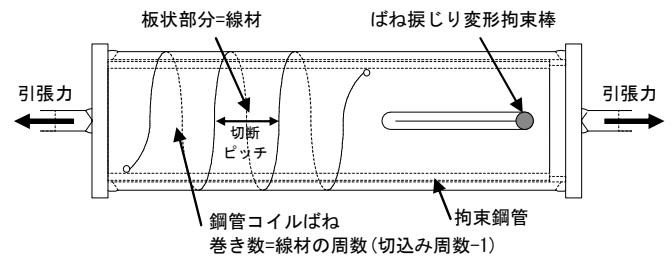


図3 鋼管コイルばねを用いた緩衝装置

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といえる。

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、その効果を検証した。検証実験結果から、

- 1) 緩やかな荷重上昇、
- 2) 高いエネルギー吸収能力の両立が確認され、十分な性能を発揮できる可能性が示された。今後は装置の改良を行い実用化につなげる計画である。

【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会: 道路示方書・解説-V 耐震設計編, 1996
- 2) 田中, 長嶋, 大竹, 都築, 金子: 鋼製緩衝装置の荷重変形特性に関する実験的検討, 土木学会第54回年次学術講演会, pp.424-425, 1999.9
- 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

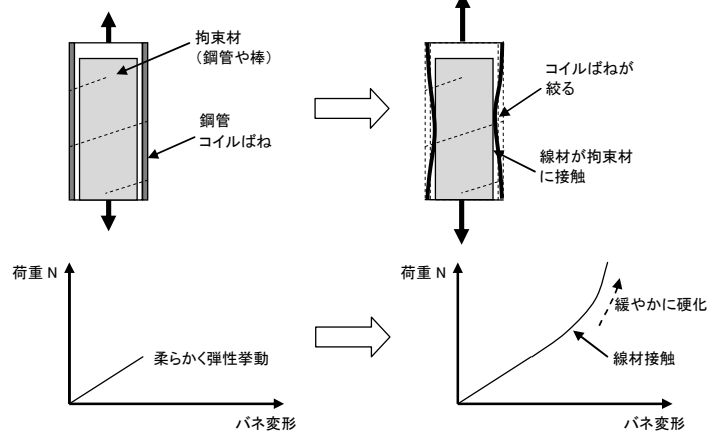


図4 メカニズムの概念図

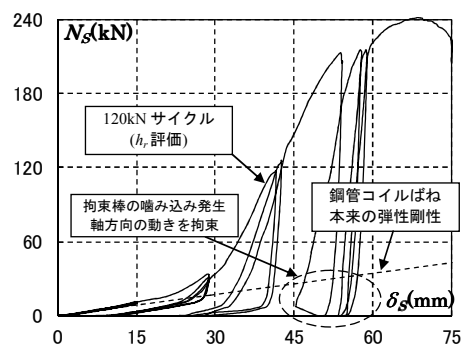


図5 荷重-変形関係



写真1 実験状況