

鋼管コイルばねを用いた落橋防止装置のねじり変形拘束機構に関する研究

青木あすなろ建設（株）技術研究所 正会員 ○新井佑一郎 会員外 柳田佳伸 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

橋脚と橋桁は一般に支承を介して縁が切られた状態になっている。そのため、地震力のような外力が橋桁に生じると、大きな相対変位が生じ、橋桁が落下するといった被害につながる可能性があり、対策として落橋防止装置を取り付けている。落橋防止装置は、機能する際に衝撃荷重が作用するため、緩衝材が取り付けられている。一般に、装置に取り付けられる緩衝材には、ゴムや合成樹脂等の特殊な材料を用いるケースが多い。これに対し、コスト低減や耐候性の向上を実現するために、緩衝材を鋼材で製作するケースもある¹⁾。

本研究では、安価かつ高性能な緩衝機能付き落橋防止装置として、独自部品である鋼管コイルばねを用いた装置を提案している。既報では、基本原理の提案と検証実験の結果について述べた。鋼管コイルばねは、引張力を受けると、周方向にねじりするような変形が生じる。緩衝効果を得るためには、このねじり変形を子薄くする必要がある。そこで本論では、装置の実用化と高性能化を目指すために、鋼管コイルばねで緩衝機能を実現する上で不可欠なねじり変形拘束機構に関する検証実験を行い、その結果について述べる。

ねじり変形拘束機構の性能を高めることにより、複数回の衝撃にも対応可能な装置も実現できるようになるため、従来の落橋防止の機能（繋ぎとめる機能）に、ダンパーのような変位抑制機能も持たせることが可能となる。これにより、災害後の継続使用性を考慮した橋梁の設計や改修につながるものである。

2. ねじり変形拘束機構について

既報の効果検証実験では、ねじり変形拘束機構としてスリットにPC鋼棒（ねじり変形拘束棒）を挿入する方法を用いた。

その結果、高荷重領域で、

PC鋼棒と鋼管に設けたスリットの接触部で支圧による変形が生じ、装置の残留変位回復性能が喪失した。効果検証実験で局所変形が生じた部分を図1、発生状況を写真1に示す。本論では、表1に示す2タイプのねじり拘束機構を考案し、性能検証実験を行った。

ここで、各ねじり拘束機能を持つ試験体の形状を図2に示す。(a)の角棒型は、角鋼棒を拘束鋼管に開けられた角穴に挿入し、穴内で摺動させることで、ねじり変形を拘束するものである。ねじり力は角棒から摺動部を介して、固定された拘束鋼管に伝達する。拘束鋼管にねじり変形拘束機能も担わせるため、材料の節約が可能である。

(b)のカバー型は鋼管コイルばねを角形鋼管内に挿入した構造になっている。引張力を受け、鋼管コイルばねにねじり力が生じると、角形鋼管がねじり変形を拘束する。本機構は、ねじり拘束時の摺動部が面で接触するめ、安定した性能が期待できる。反面、ねじり変形拘束

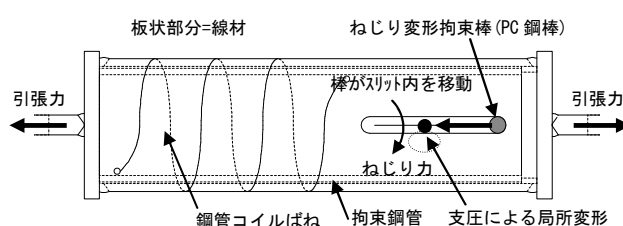


図1 局所変形が生じた部分



写真1 変形状況

表1 提案するねじり拘束機構の概要

	角棒型	カバー型
拘束部品	角鋼棒	角形鋼管
利点	機構を内蔵できる	より高い効果が期待できる
欠点	組み立て工程が複雑	鋼材量が多い

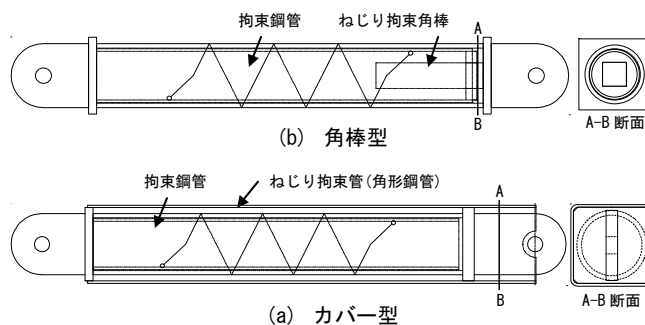


図2 各ねじり拘束機構を取り付けた試験体

キーワード 落橋防止, 緩衝装置, 鋼管, コイルばね, ねじり変形, エネルギー吸収能力

連絡先

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

専用の部材(角形鋼管)が必要となるため、必要鋼材量は多くなる。

3. 検証実験

3.1 試験体概要 各試験体の鋼管コイルばねは同一のSTKM13A材○-150×10を用いた。鋼管コイルばねの諸元を表2に示す。また、表中の降伏強度 N_y 、弾性限変位 δ_{sy} 、弾性剛性 K_s 、終局強度 N_u は式(1)～(4)に示す方法²⁾で算出した。拘束鋼管の径は、効果検証実験の結果を参考に角棒型で125mm(125-B)、カバー型で125mm(125-C)、127mm(127-C)に設定した。

3.2 加力方法 加力は疲労試験機を用い、試験体に引張荷重を静的に作用させた。加力サイクルはばね弾性、ばね降伏荷重で各2回の繰り返し载荷を行った後に、100kN、200kN、300kNと荷重を漸増させた。

3.3 荷重変形関係 加力により得られた荷重 N_s -変形 δ_s 関係を図3に示す。角棒型(125-B)ではばね降伏後に、変位 δ_s が60mmを超えた領域から荷重上昇が始まった。100kNのサイクルでは、除荷時に低荷重で変位が減少し、本装置の特徴である残留変位回復機能が確認された。しかし、200kNサイクル時の荷重上昇域で剛性が上昇し、残留変位の回復が見られなくなった。これは、角棒摺動部が支圧により固着したためだと考えられる。

カバー型(125-C)では、緩衝機能を発揮するまでの変形が大きく、100mm程度変形が進んだのちに荷重が上昇した。そのため、100kNサイクルでカバーがねじりを拘束できる限界変位に近づいたため、当該サイクルの繰り返し回数を10回まで増やした。その結果、2回目以降はほぼ同一の履歴形状となることが確認された。

カバー型(127-C)では、他の試験体と比較して、緩衝装置に要求される履歴形状に近い形となった。また、200kNサイクルまでは、ねじり変形拘束性能が発揮され、除荷時の変位回復が見られた。その後、荷重が250kNに達した時点で、試験体から接触音が発生し、摺動部で固着が発生した。最大荷重は333.3kNだった。

3.4 ヒステリシス比 H_r による評価 装置のエネルギー吸収効率評価としてステリシス比 H_r を用いた評価を行った。各試験体の評価結果を表3に示す。評価結果から、ヒステリシス比は最大で0.8～0.9を超える高い値となった。また、加力2回目でも0.6～0.7程度の値を示しているため、繰り返し加力時でも大幅なエネルギー吸収効率低下は見られなかった。

4. まとめ

本論では、ねじり変形拘束機構を変化させた試験体の加力実験を行った。結果から、カバー型のねじり変形拘束機構を採用した試験体が良好な性能を示すことが分かった。今後は、さらなる性能向上をめざし、装置の改良を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 機械工学便覧 改定第 6 版, 日本機械学会, 1977

表 2 試験体鋼管コイルばねの諸元

ばね鋼管	径D (mm)	板厚t (mm)	降伏強度 (kN)	弾性限 変位(cm)	弾性剛性 (kN/cm)	終局強度 (kN)
○-150×10	150	10	19.8	3.2	6.2	401.0

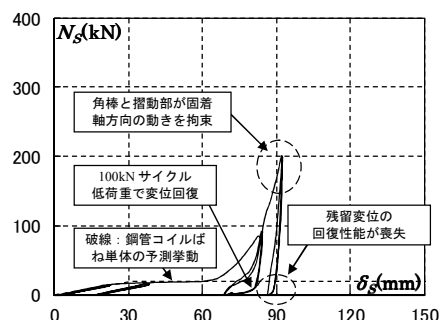
※材料降伏点 $\sigma_y=310\text{N/mm}^2$, 引張強さ $\sigma_u=476\text{N/mm}^2$ を用いて評価

$$N_y = \frac{t^2 \cdot h^2}{0.8\sqrt{3}D(2t+h)} \cdot \sigma_y \quad \dots(1) \quad \delta_{sy} = \frac{3.48n \cdot D^2 \cdot (t^2 + h^2)}{\sqrt{3}G \cdot t \cdot h(2t+h)} \cdot \sigma_y \quad \dots(2)$$

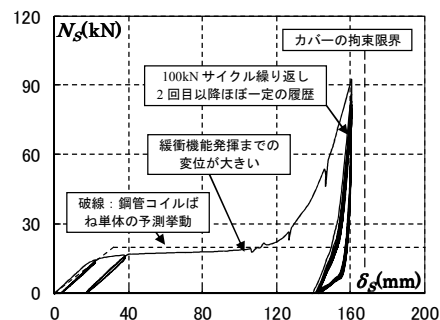
$$K_s = \frac{G \cdot t^3 \cdot h^3}{2.79n \cdot D^3(t^2 + h^2)} \quad \dots(3) \quad N_u = h \cdot t \cdot \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} \quad \dots(4)$$

G: せん断弾性係数
n: 線材巻き数

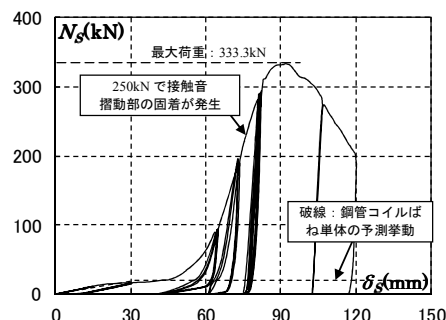
h: ばね線材高さ(=ピッチ) t: 鋼管厚さ
D: 鋼管径



(a) 角棒型 (125-B)



(b) カバー型 (125-C)



(c) カバー型 (127-C)

図 3 荷重-変形関係

表 3 各試験体のヒステリシス比

サイクル荷重	回数	125-B	125-C	127-C
100kN	1回目	0.91	0.94	0.81
	2回目	0.70	0.65	0.60
200kN	1回目	-	-	0.84
	2回目	-	-	0.72