

緩衝機能を有する落橋防止連結板装置の動的応答特性に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 ○和田 直樹 九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨 九州大学大学院 学生会員 宗本 理

1. 緒言

兵庫県南部地震において落橋防止装置の破壊による橋桁の落下事故が顕著に見られ、落橋防止装置に地震動による衝撃的な外力に対する緩衝機能を持たせることが重要であることが指摘された。そのための改善策として、鋼製の連結ピンに高強度の積層繊維ゴムを巻くことで衝撃的な地震動に対する緩衝機能を持たせたゴム緩衝ピンが提案されているが、緩衝機能を与えるためには使用材料や構造形式に種々の選択の余地があると考えられる。そこで本研究では、緩衝材を付加した2種類の新しい鋼製ピンを製作し、落錘式衝撃試験によってそれらの地震時における耐荷性能について検証した。

2. 落橋防止連結装置の耐荷性能に関する検討

2.1 落橋防止装置における緩衝機能

本研究では緩衝機能を有する新開発のピン（以後、緩衝ピンと称する）の耐荷性能を検討する。具体的には、図-1に示すように、レベル2地震動の中でも比較的、応答加速度の小さい地震動が橋梁に作用して桁が橋脚上で振動し、連結板とピンの衝突が繰り返し起こる状態を想定し、そのときの衝突荷重に耐えられることを使用限界として課した。

2.2 落錘式衝撃試験装置における重錘衝突条件の検討

最初に、使用限界に対応した緩衝ピンの衝撃緩衝効果および動的応答特性を実験的に把握するための重錘条件を決定した。具体的には、実験対象の連結板とピン断面で静的な設計計算で支持可能な桁重量（死荷重反力の1.5倍が設計荷重）を求め、想定する地震動の最大応答速度で連結板とピンが衝突することを仮定し、汎用非線形構造解析プログラム MSCMarc2007r1 を用いて衝突解析を行った。図-2に連結板とピンの寸法を、表-1に連結板の構造寸法を示す。地震波形には使用限界レベルとして最大速度50カイン程度の地震波（福岡県西方沖地震）を採用した。解析モデルを図-3に、材料定数を表-2に示す。ここでは、連結板φ62と鋼製ピンの組み合わせを採用した。桁要素は弾性体、連結板およびピンの鋼製要素は von Mises の降伏条件に従う弾塑性体とした。両者が衝突して算出された発生衝撃力を図-4に示す。この波形より、地震時に連結板装置に作用する想定力積量を求め、落錘式衝撃試験において同一力積量（運動量）が連結板装置に与えられるように重錘の質量で除すことで衝突速度を算出し、実験における重錘の落下高さを50(cm)と決定した。

3. 落錘式衝撃実験による衝撃緩衝特性の比較

3.1 実験概要

本実験では鋼製ピン単体を含む3種類のピンを対象に、緩衝ピンに対する繰り返し衝撃実験および使用時状態を想定した単一載荷実験を実施し、緩衝効果の適用限界および動的応答特性を把握した。図-5に示すように連結板に通したピンを固定治具上に単純ばりの状態で支え、重錘を連結板に衝突させることにより実施した。連結板およびピン試験体は、表-3に示すように Type-1 は鋼製ピン、Type-2 はゴムを鋼製ピンに巻いたもの、Type-3 はゴムを鋼製ピンに巻く際にその内

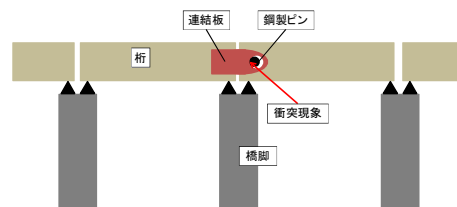


図-1 使用時状態概念図

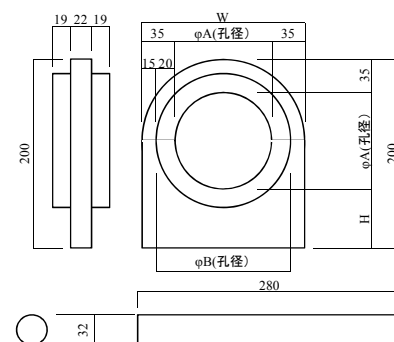


図-2 連結板およびピンの寸法図

表-1 連結板の種類と各寸法

連結板種	A	B	W	H
φ62	62	102	132	103
φ82	82	122	152	83
φ106.3	106.3	146.3	176.3	58.7
φ119.1	119.1	159.1	189.1	45.9

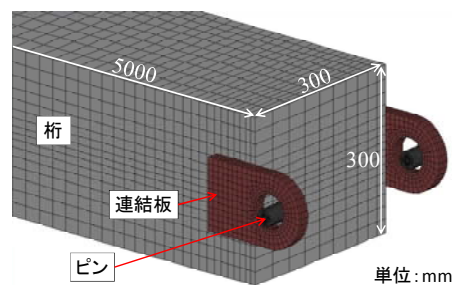


図-3 解析モデル

表-2 材料定数一覧

	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	密度 (g/cm ³)	降伏応力 (N/mm ²)
連結板	2.1×10^5	0.3	7.85	285
ピン	2.1×10^5	0.3	7.85	305
桁	2.1×10^5	0.3	7.85	—

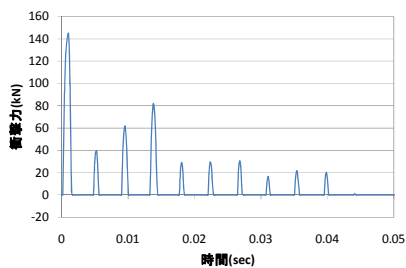


図-4 衝撃力応答図

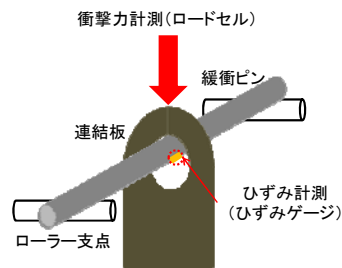


図-5 実験状況概念図

表-3 実験ケース

ピン種	連結板種 (繰り返し載荷)	ピンの形状 (繰り返し載荷)	連結板種 (単一載荷)	ピンの形状 (単一載荷)
Type-1	φ106.3	32	φ62	32
Type-2		10 32	φ82	10 32
Type-3		4.2 13 32	φ119.1	4.2 13 32

単位:mm

縁および外縁に鋼管を設けて荷重分散効果を期待したものである。ゴムの材質は、硬度 65° でナイロン繊維含有率 40%である。連結板およびピンに用いた鋼材は、それぞれ SM400 と S35C で、Type-3 には JIS G 3452 に記載の配管用炭素鋼鋼管を用いた。測定項目は、重錘衝撃力、ピン中央部下面のひずみである。実験条件は重錘の重量を一定 (100kg) とし、繰り返し衝撃実験では落下高さを漸増させながら、単一載荷実験では落下高さ 50(cm)から重錘を落下させた。

3.2 衝撃実験の結果および考察

図-6～図-8 に各衝突速度におけるピンのひずみ応答を示す。これらの図より、鋼製ピンでは衝突速度 15 カイン (落下高さ 4.5cm) で明確な残留ひずみが発生したのに対して、Type-2 は衝突速度 25 カイン (落下高さ 12.5cm), Type-3 では衝突速度 35 カイン (落下高さ 24.5cm) まで残留ひずみが発生しないことから、衝撃緩衝効果によって、顕著に弾性限界が上昇したことが認められる。それぞれを衝突物の力積とエネルギーで評価すると、Type-2 の弾性限界は鋼製ピンに比べて、力積で 1.6 倍、衝突エネルギーで 2.7 倍だけ増加し、Type-3 では、力積で 2.3 倍、衝突エネルギーで 5.4 倍まで増加していることがわかった。次に、図-9 は、3 種類のピンを用いた装置に使用時状態を想定して重錘を落下させた時の発生衝撃力を比較したもので、荷重の起ち上がりに相違は見られるが、重錘と連結板の衝突部に発生する衝撃力の最大値に殆ど差がないことがわかる。一方、図-10 はピンのひずみ応答を比較したもので、3 者で明確な相違が認められた。具体的には、鋼製ピンに比べ Type-2 では約 50%, Type-3 では約 85%, 最大ひずみが低減され、Type-3 が最も緩衝機能が優れており、耐衝撃性能も高いことが確認できる。したがって、緩衝ピン内部の鋼棒に伝達される衝撃力が低減されていることは明白であり、今回対象とした 3 種類のピンの中では、Type-3 が耐荷性能に最も優れていることが確認された。

4. 結言

本研究は落錘式衝撃試験によって地震時の耐荷性能について検討したものであり、本研究から得られた成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 実際に地震が橋梁に作用した場合を想定した緩衝材の適用限界を定義し、FEM 解析を用いて落錘式衝撃試験装置における重錘の衝突条件を決定することで、耐衝撃性能の実験的な評価法を示した。
- (2) 本研究で提案する 2 種類の緩衝ピンは、優れた衝撃緩衝効果を有しており鋼製ピン単体と比べて顕著に弾性限界が向上することが認められた。
- (3) 使用時状態を想定した単一載荷実験の結果、3 種類のピンで発生する衝撃力の最大衝撃力には殆ど差はないが、ピンに発生するひずみには明確な相違があることが確認され、Type-3 が最も耐衝撃性を有することが確認できた。

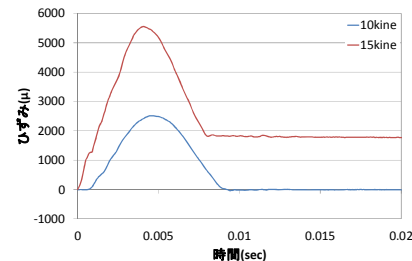


図-6 Type-1 のひずみ応答比較図

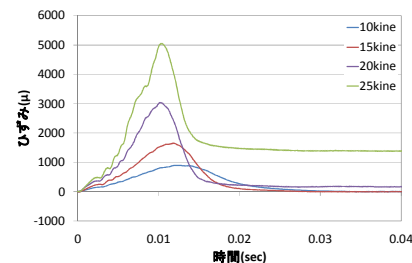


図-7 Type-2 のひずみ応答比較図

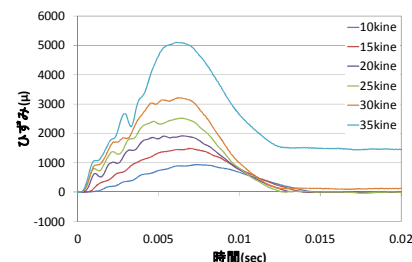


図-8 Type-3 のひずみ応答比較図

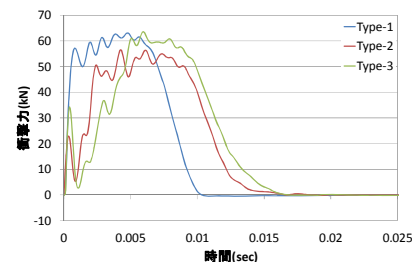


図-9 衝撃力応答比較図

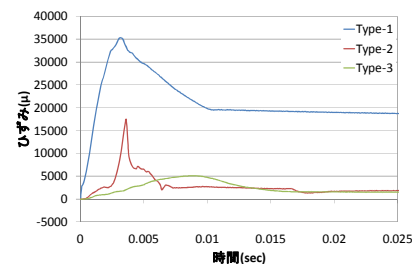


図-10 ピンのひずみ応答比較図