

# ゴム製緩衝材を用いた落橋防止装置の実験的研究及び落橋防止システムの施工事例

シバタ工業株式会社 浮島 徹  
シバタ工業株式会社 正会員 生駒信康

## 1. はじめに

平成7年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震においては、めがね式桁間連結板等の落橋防止装置の損傷や破壊にともない橋桁が沓座から逸脱、また橋桁の横ズレや落橋等が発生し、その後の被災地への復旧作業の妨げとなり市民生活に深刻な影響を与えた。

このような状況を踏まえ、建設省では原因究明等の作業に着手し、平成7年5月には各構造部材の強度を向上させることにより耐震補強対策とした「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)が規定され、さらに平成8年12月には道路橋示方書・同解説-V耐震設計編(以下、「新道示」とする)を改訂した。

新道示では、落橋防止装置の機能を明確化し地震発生時に橋桁の落橋を防止するフェイルセーフ機能として、けたかかり長、落橋防止構造及び変位制限構造等で構成される落橋防止システムが規定され、また地震力の橋桁への伝達を低減するためにゴム等の緩衝材を使用することを推奨している。

ここでは、ゴム等を使用した衝撃緩衝材として開発した緩衝チェーン及び緩衝ピンの実験的研究及び施工事例について報告する。

## 2. 緩衝チェーンの開発

### 2.1 概要

緩衝チェーンは、図-1に示す緩衝効果を有するショックレスチェーン構造を主部材として構成されている。

ショックレスチェーンは、あらかじめゴムの中でチェーンを弛緩させて配列し、隣接するチェーンリンク間にもゴムを充填させて両者を完全に接着した複合構造であり、ショックレスチェーンに引張力を作用させるとチェーンリンク間のゴムには圧縮力として作用し、全体として伸びの変形が発生する機構である。

同複合構造体の特長はチェーンの防食や摩耗対策に加えて、リンク間のゴムによるエネルギー吸収による緩衝効果である。

同構造体は、1994年に運輸省港湾技術研究所で実施された係留実験で鋼製チェーンと比較して1/4程度まで最大発生張力を低減するなど衝撃張力緩衝効果が確認され<sup>2)</sup>、海洋の分野における標識ブイや浮体構造物の係留索及び洋上石油備蓄タンクの漂流船舶等に対するエネルギー吸収索として使用されている。

本実験報告は、落橋防止装置用衝撃緩衝材として使用する緩衝チェーンについて地震時に発生する衝撃力を想定した動的特性を把握するために実施した衝撃実験である。



図-1 ショックレスチェーン断面構造

キーワード：耐震補強、緩衝効果、緩衝チェーン、緩衝ピン

連絡先：〒674-0082 明石市魚住町中尾1058 TEL078-946-1515 FAX078-946-0528

## 2.2 実験

### 2.2.1 実験体

実験体は、従来の落橋防止装置として使用されていたチェーン式及び図-2に示す緩衝チェーンとし、小規模な橋梁で実際に使用されている実機サイズのものとした。

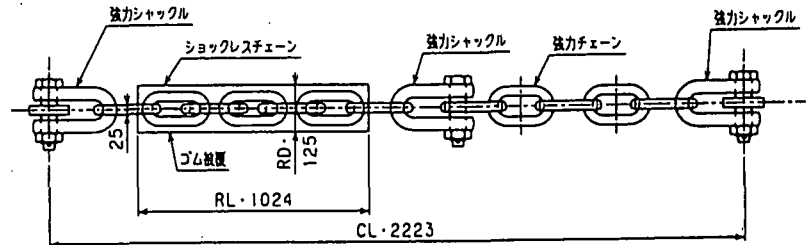


図-2 緩衝チェーン実験体

### 2.2.2 実験方法

本実験は、図-3に示すように重錘の自然落下による衝突エネルギーを実験体の引張方向に作用させる振り子式衝撃実験装置を使用し実施した。

実験は重錘の振り上げ角度を40、50、55、65度とし、順次実験体に載荷させるものとした。また実験体の現場での施工性や設置後の橋桁の温度伸縮量を考慮して実験体の配置方法を、セミ緊張状態及びセミ緊張状態より50mm弛ませた弛緩状態の2種類とした。

実験における測定項目は荷重及びひずみとし、図-3に示すように発生荷重についてはロードセル①、②にて計測し、実験体に発生するひずみについては実験体両端固定部(RA、RB)にて計測した。

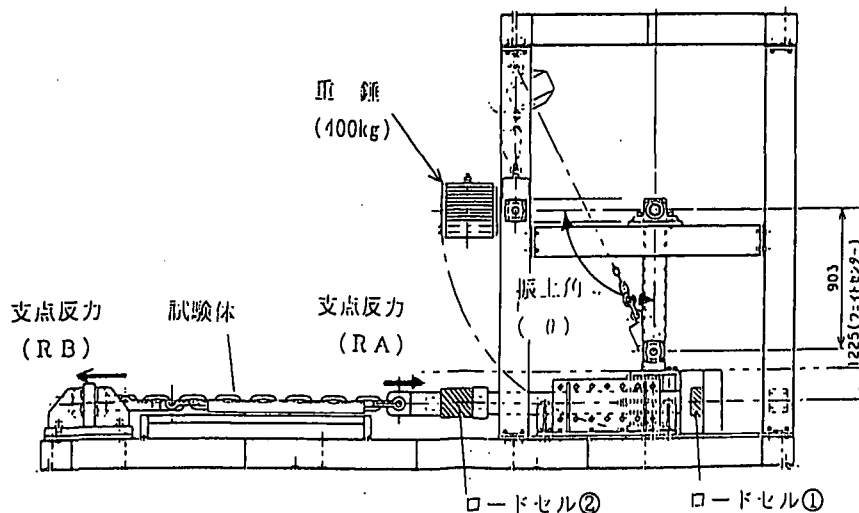


図-3 実験風景

## 2.3 実験結果及び考察

### 2.3.1 発生荷重-時間特性

実験条件を重錘振り上げ角度65度、実験体の配置を弛緩状態としたときの発生荷重-時間特性を図-4に示す。

図-4より緩衝チェーンは、チェーン式と比較して発生荷重のピーク値が小さくなり、荷重の作用時間が長く、衝撃荷重に対する緩衝効果を発揮していることが分かる。

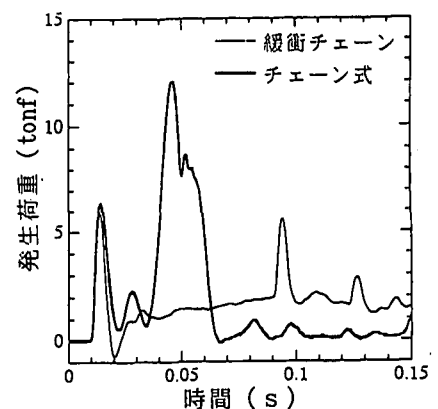


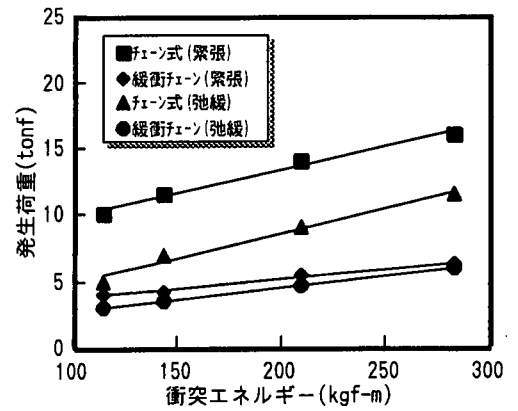
図-4 発生荷重-時間特性

### 2.3.2 発生荷重－衝突エネルギー特性

各実験条件の発生荷重－衝突エネルギー特性を図－5に示す。

図－5より緩衝チェーンは、実験体の配置状態に関係なくチェーン式と比較して各衝突エネルギー条件において発生荷重が40%程度に低減されていることが分かる。

また、実験体の配置状態による発生荷重を比較すると、チェーン式は発生荷重が配置状態に依存するのに対して、緩衝チェーンは配置状態に係わらず発生荷重に大きな差がないことから、安定した緩衝効果を示していることが分かる。

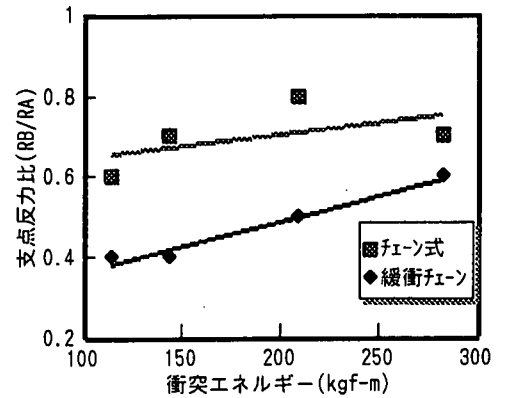


図－5 発生荷重－衝突エネルギー特性

### 2.3.3 支点反力比－衝突エネルギー特性

実験体の配置を弛緩状態としたときの各実験条件について、実験体両端部で測定したひずみより算出した支点反力－衝突エネルギー特性を図－6に示す。

図－6より緩衝チェーンは、作用荷重を伝播する過程においてもチェーン式と比較してより大きな緩衝効果を発揮することが分かる。



図－6 支点反力比－衝突エネルギー特性

## 3. 緩衝ピンの開発

### 3.1 概要

緩衝ピンは、写真－1に示すようなゴム構造体中に繊維を埋設した複合材料（Poly Rubber Fiber、以下PRFと呼ぶ）を従来の落橋防止装置であるめがね式桁間連結装置におけるピンの外周部に付与した図－7に示すような構造であり、ピンと緩衝部であるPRFを完全に一体化することで緩衝部を高バネ特性とし、地震発生時の衝撃エネルギーを吸収する構造としたものである。

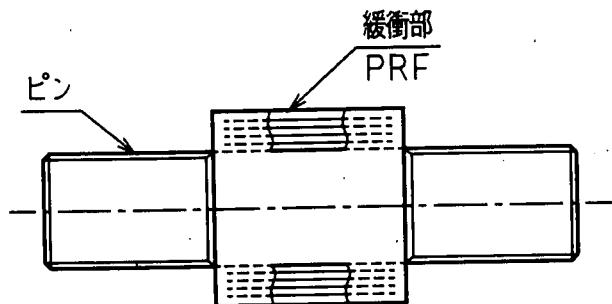
このPRFはすでに漁港や港湾における浮体式係船岸の回転機能付支承材や潜水艦の定期点検時にドックにて艦体を支える支承材として使用されている。

また緩衝ピンはすでに著者<sup>3)</sup>らによって衝撃実験が実施され、従来のピンを使用した場合と比較して、1) 連結板に発生する応力の分散効果に優れ、2) 連結板破壊時の吸収エネルギー量が増加するなど緩衝効果は確認されている。

しかしながら、緩衝ピンを落橋防止装置として使用する場合は、新道示で示された作用外力からピンの断面設計は可能であるが、緩衝部材については規定されていない。



写真－1 PRF断面構造



図－7 緩衝ピン構造

そこで著者らは、橋梁構造物全体の破壊を防止するために落橋防止装置に要求される機能として、明確な破壊荷重が存在し、限界吸収エネルギー量の増大であることと考え、図-8に示すように緩衝ピンの緩衝部についてはピンの設計強度以上で破壊することが適切であると判断した。

よって、本実験では緩衝部の初期破壊荷重に着目して実験を実施し、緩衝部破壊強度予測式を推定した。

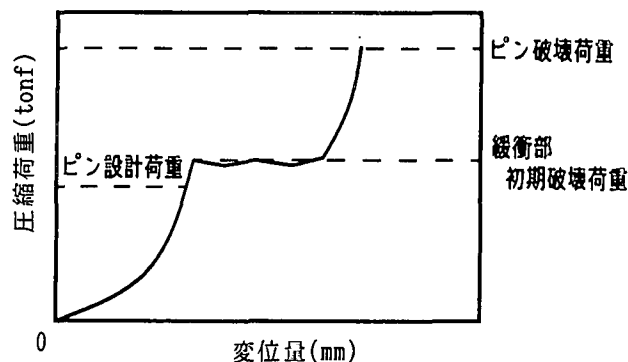


図-8 緩衝ピン圧縮特性概図

### 3.2 実験

#### 3.2.1 実験体

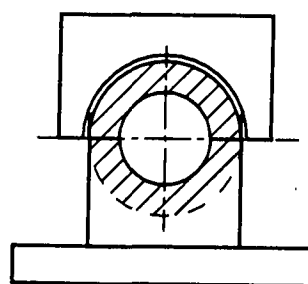
実験体は表-1に示すように、3種類のピンにそれぞれ緩衝材としてピン外径の1.25, 1.5, 2.0倍のPRFを付加した合計9種類のものとした。また表-2に緩衝部を構成する材料の諸元を示す。

表-1 実験体の諸元表

ピン径(d)	外径比(D/d)	緩衝部外径(D)	実験体形状図
φ50	1.25	φ62.5	
	1.5	φ75	
	2.0	φ100	
φ60	1.25	φ75	
	1.5	φ90	
	2.0	φ120	
φ70	1.25	φ87.5	
	1.5	φ105	
	2.0	φ140	

表-2 緩衝部材料の諸元表

項目	ゴム	繊維
種類	クロロプレン	ナイロン
引張強度	1.96kN/cm <sup>2</sup>	4.7kN/3cm
伸び	500%	40%



A-A断面図

#### 3.2.2 実験方法

実験は、緩衝ピンが桁間連結装置に設置され、地震力が作用した場合を想定し、図-9に示すように固定治具に実験体を配置し桁連結板をモデル化した載荷治具にアムスラー型圧縮試験機（圧縮能力：200tonf）で載荷する方法として実施した。

なお、載荷治具は板厚を25, 50, 75mmとした3種類のものを使用し、測定項目は緩衝部に埋設している繊維の初期破壊荷重と圧縮変位量とした。

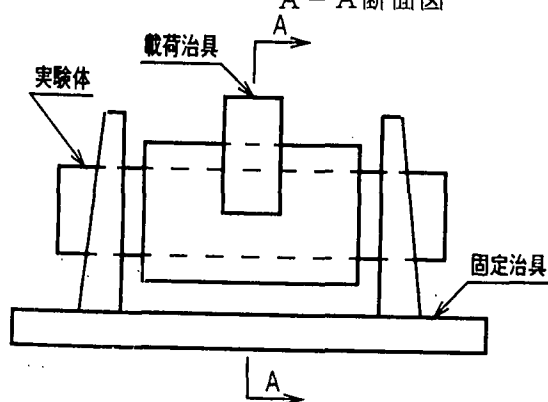


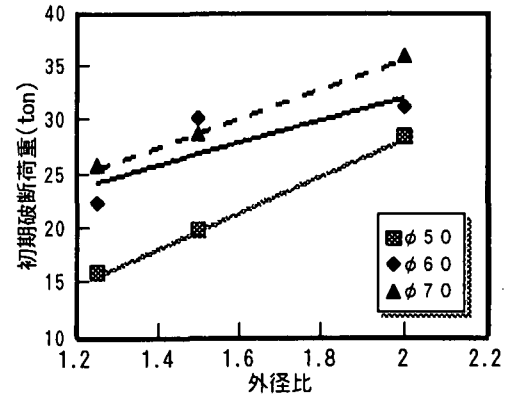
図-9 実験風景

### 3.3 実験結果及び考察

#### 3.3.1 初期破壊荷重－外径比特性

載荷治具の厚さ25mmの場合の初期破壊荷重－外径比特性を図－10に示す。

図－10より各ピン径における初期破壊荷重は、緩衝部の外径比が大きくなるのにしたがい高くなることが分かり、緩衝部を構成する埋設繊維の積層数に依存していることが分かる。

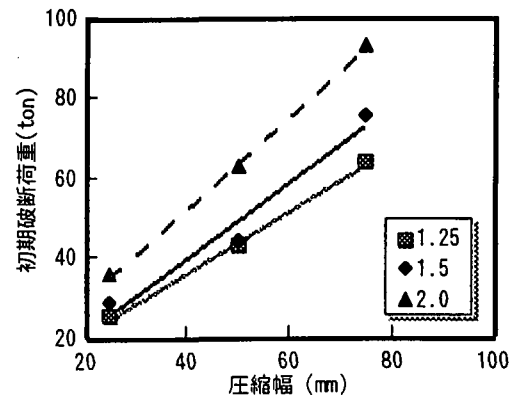


図－10 初期破壊荷重－外径比特性

#### 3.3.2 初期破壊荷重－圧縮幅特性

ピン径φ70における初期破壊荷重－載荷幅特性を図－11に示す。

図－11より各外径比における初期破壊荷重は、載荷幅が大きくなるにしたがい高くなることが分かり、破壊荷重が作用する緩衝部の幅にも依存していることが分かる。



図－11 初期破壊荷重－載荷幅特性

#### 3.3.3 緩衝部初期破壊荷重の推定

緩衝部の初期破壊荷重は、すでに著者ら<sup>4)</sup>によって実施された衝撃実験より緩衝部を構成する繊維の材料強度がひとつの因子であることが確認されており、また本実験より1) 繊維の積層枚数, 2) 緩衝部の荷重作用幅に依存することが確認されたことから、緩衝部初期破壊荷重の予測式を(1)式のように定義した。

$$R = T_b \cdot C_w \cdot N \cdot d \cdot K_f \quad \text{----- (1)}$$

R : 初期破壊荷重(kgf)

T<sub>b</sub> : 繊維の引張強度(kgf/cm)

N : 繊維の積層枚数

C<sub>w</sub> : 緩衝部載荷幅(cm)

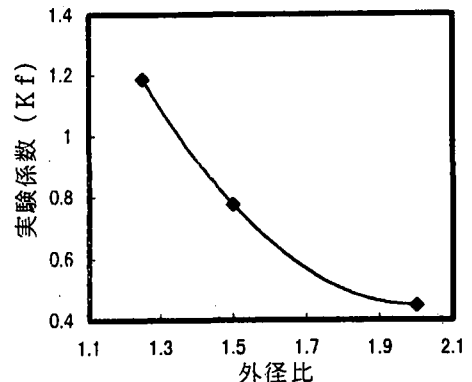
d : ピン径(cm)

K<sub>f</sub> : 実験係数(cm<sup>-1</sup>)

各実験条件における結果を(1)式に代入して実験係数K<sub>f</sub>を算出し、図－12に実験係数－外径比特性を示す。

また、表－3に各実験体について実験条件を圧縮幅25mmとしたときの実験結果及び図－12に示す実験係数を用いて(1)式により算出した緩衝部推定初期破壊荷重を示す。

緩衝部初期破壊荷重について表－3に示す実験結果と推定値を比較すると、一部の実験結果を除いて2,3tonf程度の誤差であることから、(1)式を用いて緩衝部初期破壊荷重を予測することは可能であることが分かる。



図－12 実験係数－外径比特性

表－3 緩衝部初期破壊荷重における実験結果及び推定値の比較

試験体緒元	ピン径	φ 5 0			φ 6 0			φ 7 0		
	外径比	1.25	1.5	2.0	1.25	1.5	2.0	1.25	1.5	2.0
初期破壊荷重 (tonf)	実験結果	15.8	19.7	28.4	22.3	30.0	31.1	25.7	28.7	35.8
	推定値	14.5	15.5	20.7	20.2	21.9	28.2	27.0	31.5	36.9

#### 4. まとめ

本実験より得られた結果を要約し、以下に示す。

- 1) 緩衝チェーンは、衝撃エネルギーに対しての作用時間を長くすることで衝撃力を緩和する。
- 2) 緩衝チェーンは、従来のチェーン式と比較して発生荷重を40%に低減する。
- 3) 緩衝ピンの初期破壊荷重は、荷重が載荷する幅及び緩衝部を構成する繊維の枚数に依存する。
- 4) 緩衝ピンは、緩衝部を構成する材料緒元及び載荷条件を把握することで緩衝部の破壊荷重が予測でき、最適な設計が可能である。

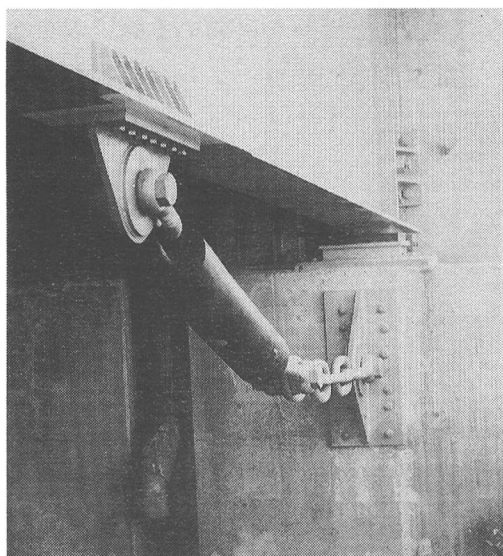
#### 5. 落橋防止システムの施工事例

##### 5.1 緩衝チェーン

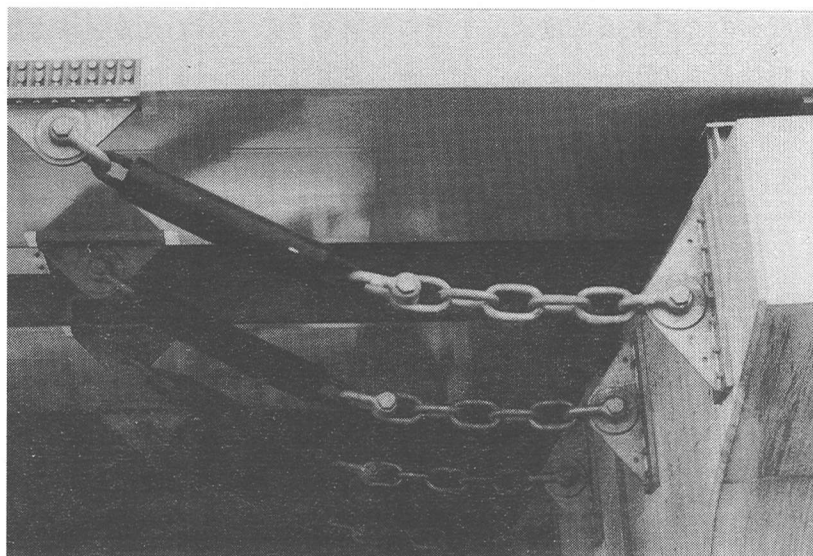
緩衝チェーンは橋台と橋桁、上部工と下部工間の落橋防止構造として適用され特長は以下の通りである。

- 1) 強力チェーンの個数により大きな設計移動量が取れること
- 2) 極めて施工性が高く橋軸直角方向への移動にも追従が可能であること

平成8年3月から平成10年5月現在までに約3700本が施工され、施工事例を写真－2及び写真－3に示す。



写真－2 施工事例



写真－3 施工事例

## 5.2 緩衝ピン

緩衝ピンは、道路橋の橋台と橋桁、上部工と下部工間の落橋防止構造や橋軸方向の変位制限構造として適用され特長は以下の通りである。

- 1) 現場溶接等による既設橋梁への影響が少ないこと
- 2) 極めて施工性が高く、既設落橋防止装置の利用が可能なこと

平成9年3月以来平成10年5月現在までに約150本が施工され、施工事例を写真-4に示す。

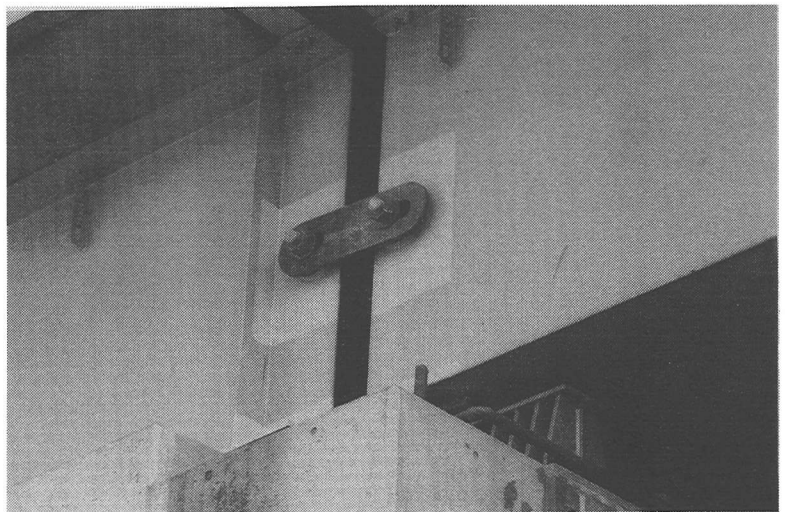


写真-4 高架橋における施工事例

また横断歩道橋における耐震補強は、歩道橋の構造上の制約等により落橋防止装置が設置できるスペースが限られていることから、緩衝ピンが落橋防止構造として施工された事例を写真-5に示す。

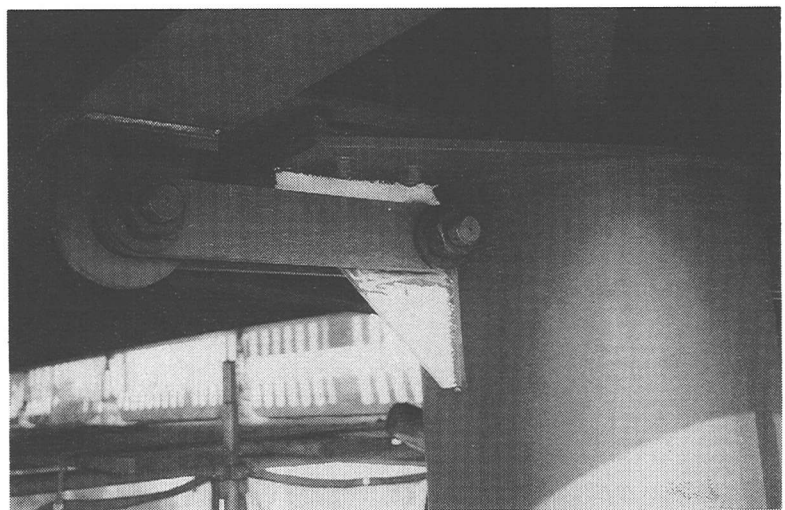


写真-5 横断歩道橋における施工事例

## 6. さいごに

兵庫県南部地震以後耐震補強として緩衝機能を持たせた落橋防止装置が橋梁構造物に設置されつつあるが、緩衝チェーンや緩衝ピンが落橋防止システムの構成材として活用されれば幸いである。

また、緩衝チェーン及び緩衝ピンの実験及び解析等に指導を頂いた防衛大学校土木工学科石川信隆教授・大野友則教授並びに緩衝チェーンの実験方法等に助言を頂いた建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室西川和廣室長、及び緩衝チェーンを共同開発したショーボンド建設(株)・昭和機械商事(株)ほか、関係各位に対し心より感謝の意を表します。

### [参考文献]

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説-V耐震設計編、平成8年
- 2) 平石、富田：係留ブイに作用する衝撃張力の低減法に関する模型実験、港湾技研資料No. 816, 1995.12
- 3) 石川、園田、生駒ら：ゴム緩衝ピンを用いた新しい落橋防止装置の耐震補強効果について、第1回耐震補強・補修技術、耐震診断技術に関するシンポジウム論文集, pp.175~180, 1997.7
- 4) 石川、園田、生駒ら：ゴム緩衝ピンを用いた新しい落橋防止連結板の衝撃緩衝効果について、第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集(土木学会), pp.169~174, 1996.5