

# 緩衝材を用いたアンカーバー構造の緩衝機構に関する実験的研究

Experimental study on shock absorbing system of anchor bar using shock absorber

織田朋哉\*, 西本安志\*\*, 西村佳樹\*\*\*, 別府万寿博\*\*\*\*  
Tomoya Orita, Yasushi Nishimoto, yoshiki Nishimura, Masuhiro Beppu

\*シバタ工業株式会社, 第 2 事業部 建設設計課 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

\*\* 工博, シバタ工業株式会社 技術開発部 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

\*\*\*シバタ工業株式会社 第 2 事業部 建設設計課 (〒674-0082 兵庫県明石市魚住町中尾 1058 番地)

\*\*\*\* 工博, 防衛大学校教授, 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1 丁目 10 番地 20 号)

キーワード: 緩衝材, 繊維積層ゴム, アンカーバー, 横変位拘束構造, 水平力分担構造

Key Words: Shock absorber, Fibre laminated rubber, Anchor bar, Lateral displacement restraint structure, Horizontal force sharing structure

## 1. 緒言

道路橋における落橋防止システム<sup>1)</sup>は、衝撃的な地震力を緩和するために、緩衝材を用いて耐衝撃性を高める構造とする必要がある。園田らの研究<sup>2)</sup>においては、ゴムに繊維を積層埋設させた緩衝材を有するゴム緩衝ピンを用いた落橋防止連結板の静的、動的応答特性<sup>3)</sup>について報告され、落橋防止システムの横変位拘束構造や支承補強の水平力分担構造のアンカーバーとして用いられている。一方、橋梁への取付方法は、写真-1 および図-1 に示すように、桁下に設置された鋼製架台に支持する場合などが存在するが、これらの支持形態における緩衝材付きアンカーバーの挙動は確認されていない。

そこで本研究は、アンカーバーに園田らの研究と同様の性能を有するゴム緩衝材を取り付けた構造について、小規模な橋梁に使用されるアンカーバーと同程度の寸法の供試体を用いて、静的載荷実験および衝撃力が作用する高速度での載荷実験を行い、その性能について評価することで実供用時でも確実に機能を発揮できるかについて考察した。



写真-1 緩衝材付きアンカーバーの桁下への設置事例

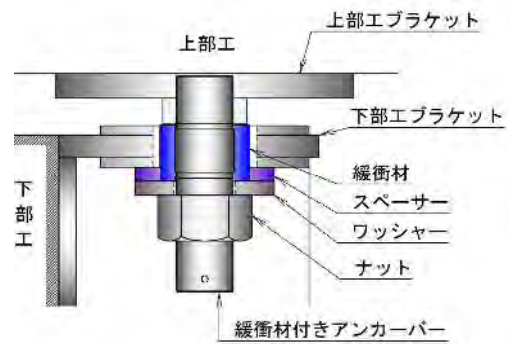


図-1 緩衝材付きアンカーバーの桁下取付図

## 2. 静的および高速載荷実験

### 2.1 供試体の概要

供試体は、図-2 に示すように、ゴムの中に高強度繊維を積層埋設して内部鋼板と加硫接着した構造であり、筒状の緩衝材を鋼棒に差込むことによって、地震時に連結板等に作用する衝撃的な力を緩和できる機能を有している。ゴムおよび埋設繊維の材質規格を表-1、表-2 に示す。

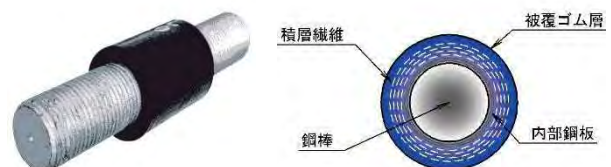


図-2 供試体の構造

表-1 ゴムの材質規格

試験項目	規格値	試験規格	
老化前	引張強さ	16MP a 以上	JIS K 6251
	伸び	350%以上	JIS K 6251
	硬さ	72 度以下	JIS K 6253-3
老化後	引張強さ	老化前値の 80%以上	JIS K 6251
	伸び	老化前値の 80%以上	JIS K 6251
	硬さ	老化前値の+8 度以内 でかつ 76 度以下	JIS K 6253-3
圧縮永久歪	30%以下	JIS K 6262	

表-2 埋設繊維の材質規格

試験項目	規格値	試験規格
引張強さ	3920N/3cm 以上	JIS K 6404-2
伸び	20%以上	

表-3 鋼棒(S45CN)の降伏応力の規格値と実測値

試験項目	規格値	実測値
引張強さ	345 N/mm <sup>2</sup>	409 N/mm <sup>2</sup>

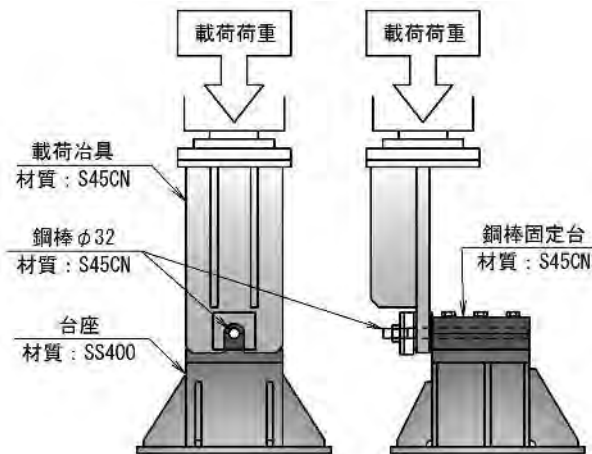


図-3 鋼棒(φ32)を鋼製架台で支持した载荷モデル

供試体の鋼棒の鋼種は S45CN を用い、鋼棒径は実験が可能な外径としてφ32mm を用いるものとした。鋼棒の降伏応力の規格値と実測値を表-3 に示す。

## 2.2 実験条件と測定項目

载荷モデルは、図-3 に示すように上部工側鋼製架台を模擬した鋼棒固定台に供試体を支持し、下部工側鋼製架台のトッププレートに模擬した载荷板により载荷を行った。また、鋼棒固定台から载荷板までの純間隔は5.0mm とし、载荷板と補強板の厚さ 40mm は実機を再現した。

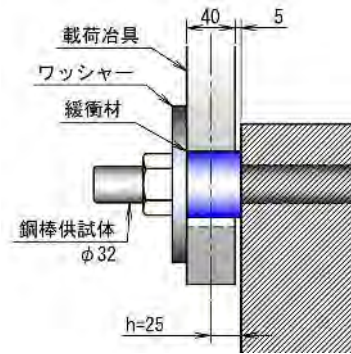


図-4 载荷時の板厚、純間隔、モーメントのアーム長



写真-2 1000kN 中速度高圧载荷装置

静的载荷実験は、降伏荷重の計算値と実験値を比較検討するものとした。なお、計算で求める降伏荷重  $H_F$  は、式(1)より、S45CN の降伏応力実測値  $\sigma=409\text{N/mm}^2$ 、鋼棒径  $\phi 32\text{mm}$  の断面係数  $Z=3217\text{mm}^3$ 、モーメントのアーム長は、図-4 に示すように、鋼棒固定台の表面から载荷治具の板厚中央までの距離  $h=25.0\text{mm}$  として求めると  $H_F=52.6\text{kN}$  となる。

$$H_F = \frac{\sigma \cdot Z}{h} \quad (1)$$

静的载荷実験および高速载荷実験は、写真-2 に示すように 1000kN 中速度高圧载荷装置 (株前川試験機製作所製) を用いた。载荷速度は、静的载荷実験を  $1 \times 10^{-5}\text{m/sec}$ 、高速载荷実験を  $1.0\text{m/sec}$  とした。

測定項目は、ロードセルによる载荷点荷重とレーザー式変位計による载荷点変位とした。また、図-5 に示すように、鋼棒の根元にはひずみゲージを取り付け、载荷時の引張側のひずみを計測し評価するものとした。なお、測定項目のサンプリング間隔は、静的载荷実験では  $1.0 \times 10^{-1}\text{sec}$ 、高速载荷実験では  $1.0 \times 10^{-4}\text{sec}$  と設定した。

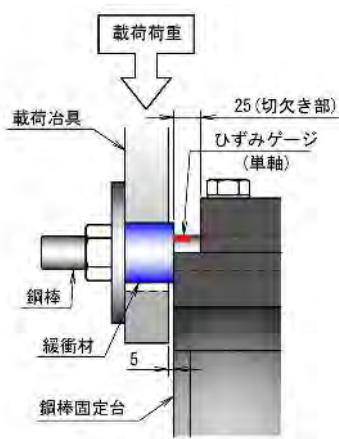


図-5 ひずみゲージ取り付け位置

### 3. 実験結果と考察

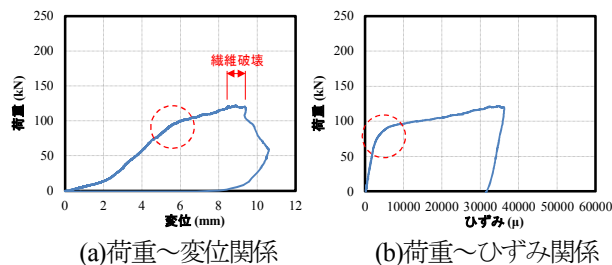
#### 3.1 静的載荷実験

本実験で得られた荷重～変位関係および荷重～ひずみ関係を図-6に示す。図-6より、鋼棒の降伏荷重は、荷重～変位関係において勾配が変化して変位が流れ始めるような変局点が見受けられる荷重<sup>4)</sup>とすると70kN～90kN近傍にあり、降伏荷重の計算値(52.6kN)以上であることを確認した。これは、降伏荷重の計算値は、モーメントのアーム長を載荷板の板厚中央から鋼棒固定台の表面までの距離(25mm)として計算していたが、実際の降伏荷重は計算値の1.3～1.7倍程度であるため、モーメントのアーム長が載荷板の中央より鋼棒固定台側で作用していたためと考えられる。また、供試体は、片端固定構造であるため、鋼棒に曲げが作用し鋼棒が傾き始めると、載荷板との接触面積が減少し作用点が固定側へ移動したことによるものと考えられる。さらに、緩衝部の強度は、繊維の積層枚数と緩衝部の荷重作用幅に依存することが確認されており<sup>3)</sup>、緩衝部初期破壊荷重Rの予測式(式(2))から、埋設繊維の引張強度(実測値) $T_b=156.7\text{N/mm}$ 、載荷板の板厚 $C_w=40\text{mm}$ 、繊維積層数 $N=8$ 枚、鋼棒径 $d=32\text{mm}$ 、実験係数 $K_f=0.0787\text{mm}^{-1}$ として繊維の初期破断荷重を求めると、 $R=126\text{kN}$ において破壊が生じる結果となる。

$$R = T_b \cdot C_w \cdot N \cdot d \cdot K_f \quad (2)$$

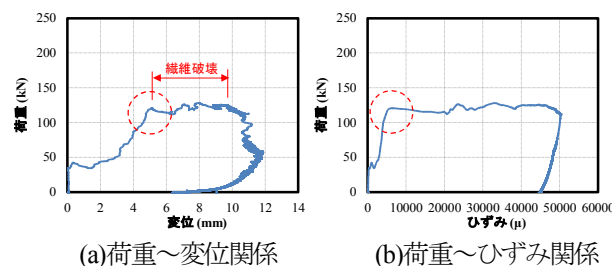
供試体のような繊維積層構造を有する緩衝材は、埋設繊維が順次破壊されていくことによって、変位が進行しても荷重が上昇せずほぼ一定の値を示すような挙動となるため高いエネルギー吸収性能を有することが可能となる<sup>3)</sup>。図-6(a)では、変位9mm付近で除荷しているが、変位8mm以降において120kN近傍で荷重が上がらず変位のみ進行する傾向を確認できるため、荷重レベルにおいては、計算結果とほぼ一致していると考えられる。一方、鋼棒の降伏荷重は、70kN～90kNであるため、鋼棒が降伏した後に繊維の破壊が生じたといえる。このことか

ら、鋼棒の弾性範囲以下である使用レベルでは、緩衝材の弾性範囲内にて挙動し、鋼棒が降伏するような終局レベルでは、緩衝部の埋設繊維が順次破壊することによるエネルギー吸収効果によって、より緩衝効果を発揮できると考えられる。



(a)荷重～変位関係 (b)荷重～ひずみ関係

図-6 静的載荷実験の結果



(a)荷重～変位関係 (b)荷重～ひずみ関係

図-7 高速載荷実験の結果

表-4 吸収エネルギーの比較 (ひずみ 30000μ 時)

	静的載荷	高速載荷
吸収エネルギー(kN-m)	2.95	3.52

#### 3.2 高速載荷実験

本実験で得られた荷重～変位関係および荷重～ひずみ関係を図-7に示す。図-7より、荷重～変位関係における降伏荷重は、静的載荷実験と同様に荷重～変位関係における変局点が見受けられる荷重とすると、120kN近傍であることが確認でき、静的載荷実験(70kN～90kN近傍)と比較して1.3～1.7倍程度の値を示した。それ以降は、変位が進行しても荷重が上昇せずほぼ一定の値を示すような挙動が確認された。これは、静的載荷実験と同様に、鋼棒に取り付けた緩衝材が圧縮されることによって、緩衝材に積層埋設された繊維が順次破断していくことにより生じたもので、鋼棒の降伏荷重と同等かそれ以上の荷重で発生していることが考えられる。このため、静的載荷実験と同様に、使用レベルに加え、終局レベルに至るまで緩衝材の緩衝効果が期待できると考えられる。

さらに、静的載荷実験と高速載荷実験の荷重～ひずみ関係から、鋼棒が降伏するような終局レベルに達しているひずみ30000μ時の吸収エネルギーを計算し比較すると、表-4に示すようになり、高速載荷の方が約1.2倍大きな値を示した。

## 4. 結言

本研究は、橋梁の桁下に取り付ける緩衝材付きアンカーバーの静的および高速載荷実験を行い、その力学特性を評価するとともに、小規模な橋梁に使用される緩衝材付きアンカーバーと同程度の寸法の供試体を用いて、実供用時でも確実に機能を発揮できるかについて評価することを目的としたものである。本研究で得られた成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 静的載荷実験を行った結果、降伏荷重は、計算で求める値より 1.3~1.7 倍程度大きな値が確認され、設計に用いる鋼棒の曲げ応力度の照査の妥当性が検証された。
- (2) また、静的載荷実験では、鋼棒が降伏した後に緩衝材の埋設繊維の初期破壊が始まるため、使用時レベルでは、緩衝材の弾性範囲で挙動し、終局レベルでは埋設繊維が順次破壊することによるエネルギー吸収効果によって、さらなる緩衝効果が期待できると考えられる。
- (3) 実供用下での挙動を評価するための高速載荷実験における鋼棒の降伏荷重は、静的載荷の 1.3~1.7 倍程度の値を示した。
- (4) 緩衝材の埋設繊維は、高速載荷実験においても、鋼棒の降伏荷重と同等かそれ以上の荷重で破壊しており、実供用下においても終局レベルでの緩衝効果が期待できると考えられる。
- (5) 静的載荷より高速載荷の方が鋼棒の耐力が大きくなり、緩衝材においても高速載荷時で機能を発揮できるものと考えられる。以上のことから、静的特性による設計は保守的な評価を与えると考える。

## 謝辞

最後に本研究を実施するにあたり、適切なご指導およびご助言をいただきました九州大学 園田佳巨教授、玉井宏樹助教授、防衛大学校 石川信隆名誉教授、大野友則名誉教授ほか、ご協力いただきました関係者の方々に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成29年11月
- 2) 園田佳巨，衛藤芳昭，石川信隆，生駒信康，彦坂 熙：ゴム緩衝ピンを用いた落橋防止連結板の静的および動的応答特性に関する実験的考察，土木学会論文集 No.598/I-44，pp.333-346，1998.7
- 3) 浮島徹，生駒信康：ゴム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，「第2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」講演論文集 社団法人土木学会 土木施工研究委員会，pp.49-55，平成10年7月
- 4) 多久和勇，石田博，安松敏雄：アンカーバーの耐荷力に関する載荷試験，日本道路公団試験所報告 Vol.26，pp.135-152，1989
- 5) 西本安志，梶田幸秀，石川信隆，西川信二郎：落橋防止システム用緩衝材としての積層繊維補強ゴムの静的特性に関する実験的研究，材料，Vol.50., No.4，pp.432-439，2001.4