

2 段階バネ特性を活用した落橋防止壁用緩衝材の実験的研究

シバタ工業株式会社		浮島	徹
鉄道総合技術研究所	正会員	村田	清満
鉄道総合技術研究所		御船	直人
鉄道総合技術研究所		崎畑	康典
シバタ工業株式会社	正会員	生駒	信康
シバタ工業株式会社	正会員	西本	安志

1. はじめに

兵庫県南部地震の発生による鉄道構造物などの被災事例を受けて、平成8年3月に支承部の耐震補強の手引き¹⁾が発行された。

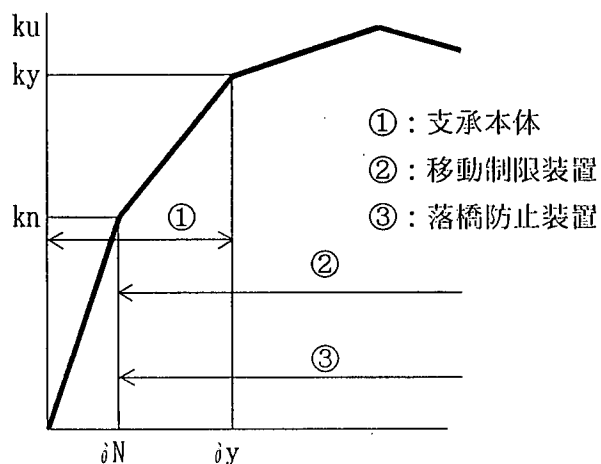
この支承部の耐震補強の手引きにおいては、図-1に示すように鉄道橋における橋梁全体は、原則として中小規模の地震に対しては損傷を許容しないが、それ以上の地震に対しては損傷を許容するとした想定する地震の規模に応じた構造系として保有すべき機能を設定することが重要であると考えられている。また、橋桁に軌道が敷設されている状況から、小及び中規模地震の発生により橋桁の橋軸直角方向への移動にともなう軌道狂いが危惧される。

ここでは、橋軸直角方向用の落橋防止壁として設置される緩衝材について、小及び中規模地震では剛性体により橋桁の移動を抑制し、大規模地震では橋桁の移動にともない発生する水平力に対して剛性体が破壊することにより緩衝材が変形することでエネルギーを吸収する2段階バネ特性を活用した落橋防止壁用緩衝材の実験的研究について報告する。

2. 2段階バネ特性緩衝材の開発

2.1 概要

鉄道橋における落橋防止壁用緩衝材は、図-2に示すように橋梁構造物の設計荷重以内での橋桁の移動並びに振動に対しては剛性体で橋桁の移動を抑制し、また設計荷重以上での桁の移動並びに振動に対しては剛性体の破壊及び弾性体の変形によりエネルギーを吸収する2段階バネ特性を有し、さらに構造物全体の破壊強度以内で緩衝材が自己破壊することが適切であると考えられる。



kn：下部構造が弾性挙動を示すときの水平震度

ky：下部構造の降伏震度

ku：下部工の最大震度

δN：下部構造が弾性挙動を示すときの変位

δy：下部構造の降伏変位

図-1 橋脚の耐震性能と支承部の機能の関係の概図

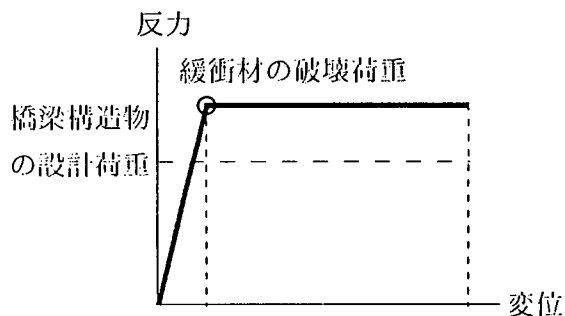


図-2 落橋防止壁用緩衝材の必要性能

キーワード：耐震補強、落橋防止壁、緩衝効果、2段階バネ特性

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

2.2 緩衝材の力学特性の把握

大規模地震発生時において橋桁の落橋を防止するために設置される緩衝材は、地震発生時において橋桁の移動にともない発生する衝撃エネルギーに対して緩衝効果を有する、すなわち高エネルギー吸収性能を有することが必要な条件として考えられる。

よって、本実験における緩衝材の基本形状は、港湾において船舶が岸壁に接舷する際にその両方を保護する目的で設置されるゴム製緩衝材である防舷材のうち、作用荷重に対して座屈変形することでエネルギー吸収量が多いV型構造体を参考に、さらに変位量に対する反力の上昇を目的としたV型充実構造体を実験体として、以下の実験を実施した。

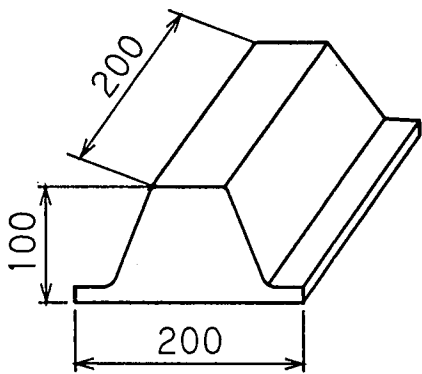
2.2.1 実験体

実験体は、図－2に示すように実機サイズを想定したV型充実総ゴム構造体及びP R F（Poly Rubber Fiber）構造体とし、その形状は100H×200Lとした。

なおP R F構造体は、ゴム構造体中に繊維を埋設積層した構造体であり、その破壊荷重は、埋設する繊維の材料強度、積層数及び受圧面積に依存することがすでに確認されている。²⁾

本実験におけるV型充実P R F構造体は、表－1に示すように構成する繊維積層数を任意に変更した6種類のものとした。また、実験体を構成する材料の諸元を表－2に示す。

また、このP R F構造体は、ピン構造による桁間連結用落橋防止装置の緩衝材として使用されている。²⁾



図－2 実験体形状図

表－2 材料の諸元表

	ゴ ム	繊 維
材 質	クロロプレン	ビニロン
引 張 強 度	100kgf/cm ²	180kgf/3cm
破断時の伸び	600%	20%

表－1 実験体の諸元表

実験体	繊維の枚数
①	—
②	5
③	1 0
④	1 5
⑤	2 0
⑥	3 0
⑦	1 1 0

2.2.2 実験方法

実験は、30tf型アムスラー万能試験機を使用し、圧縮速度を10mm/minで実施する静的載荷実験とした。
なお、実験における測定項目は、作用荷重及び変位量とした。

2.2.3 実験結果及び考察

図－3に反力－変位置の関係を示す。

図－3に示すように各V型充実P R F構造体は、埋設積層された繊維がゴムの変形を拘束することにより総ゴム構造体と比較して作用荷重の初期時におけるバネ特性が高くなり、また全体的には反力が上昇することが分かる。

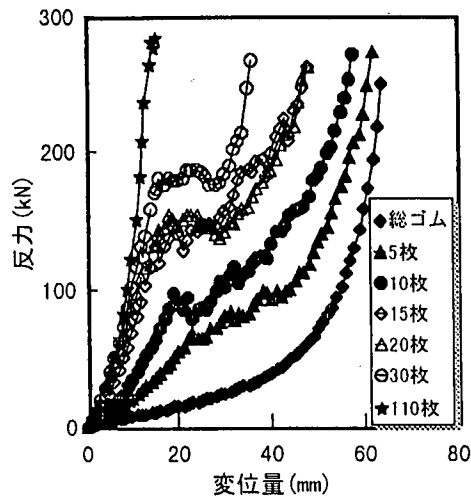
つぎにV型充実P R F構造体に着目すると、V型充実P R F構造体は埋設積層された繊維の枚数に対して破壊荷重が比例して高くなることが分かる。

以上のことから、V型充実P R F構造体は、同形状体であれば橋梁構造物から算出される設計荷重に応じて繊維積層数を変えることにより、任意の荷重で破壊させることが可能であることから最適な設計が可能な構造体であると考えられる。

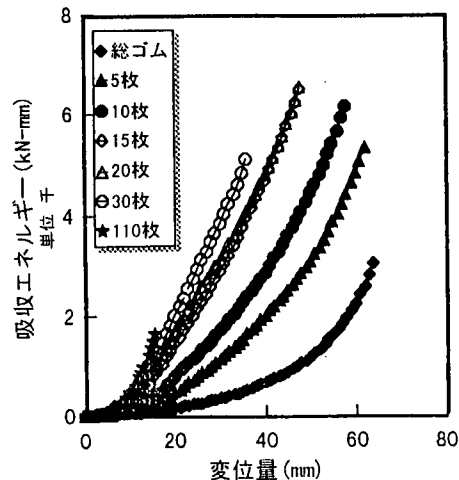
図－4に吸収エネルギー－変位置の関係を示す。

図－4に示すようにV型充実P R F構造体は、総ゴム構造体と比較して反力が全体的に上昇することから吸収エネルギー量が1.6倍程度は増加することが分かる。

以上のことから、V型充実P R F構造体は、1) ゴム構造体中に繊維を埋設積層することにより小変位で高反力が得られる、2) 繊維の積層数を変えることで任意の破壊荷重に設定が可能、3) 高吸収エネルギー性能であることから、落橋防止壁用緩衝材として有効であることが分かる。



図－3 反力－変位置の関係



図－4 吸収エネルギー－変位置の関係

2.3 剛性体の力学特性の把握

小及び中規模地震発生時又は設計荷重作用時での橋桁の移動を抑制するために、剛性体は作用荷重に対して変形量が小さく、また大規模地震発生時には剛性体は破壊し、エネルギーを吸収する構造体であることが必要条件であると考えられる。

よって、本実験における剛性体の材質は、任意の荷重までは微小変形であり、任意の荷重以降は変形又は破壊することで吸収エネルギー量が多いものが適切であるとして選定する。

2.3.1 実験体

実験体は、表－3に示すように鉛、F R P及びアルミニウムの3種類のものとした。

表－3 実験体の諸元表

実験体	剛 性 体	実 験 体 形 状
①	鉛	φ50×5t×110H
②	F R P	φ110×4.5t×110H
③	アルミニウム	φ80×5t×110H

2.3.2 実験方法

実験は、30tf型アムスラー万能試験機を使用し、圧縮速度を15mm/minで実施する静的載荷実験とした。
なお、実験における測定項目は作用荷重及び変位量とした。

2.3.3 実験結果及び考察

図-5に反力-変位量の関係を示す。

図-5に示すように剛性体の初期バネ特性は、アルミニウム>FRP>鉛の順となる。

まず鉛について検討すると、鉛は初期バネ特性が低く変形量が多いことから、本緩衝材における剛性体には適さないことが分かる。

つぎにアルミニウムは、剛性が高く変形量が極めて小さいことから高バネ特性であることが分かる。

一方FRPは、アルミニウムと比較して反力が若干低いものの初期バネ特性はほぼ同等となる。さらにFRPは、任意の荷重において埋設されているガラス繊維の影響により靱性破壊し、変形していることが分かる。

図-6に吸収エネルギー-変位量の関係を示す。

図-6に示すように鉛は、初期バネ特性は低いが変形量は大きいことから一定の吸収エネルギーは得られることが分かる。

つぎにアルミニウムは、初期バネ特性は高いが変形量が極めて小さいことから、吸収エネルギー量が少なく、地震発生時に生じる衝撃エネルギーを吸収することは困難であると考えられる。

一方FRPは、初期バネ特性で比較するとアルミニウムとほぼ同等であるが、任意の荷重で自己破壊する特徴により変形量が大きく、吸収エネルギー量は増加する。

以上のことから、2段階バネ特性緩衝材に最適な剛性体は、初期バネ特性が高く、作用荷重の増加にともない任意の荷重にて靱性破壊することによりエネルギーを吸収する構造体であるFRPが最適であることが分かる。

2.4 2段階バネ特性緩衝材の力学特性の把握

以上の実験より、2段階バネ特性緩衝材における緩衝材はV型充実PRF構造体が、剛性体についてはFRPが最適である結果が得られた。

そこで、2段階バネ特性緩衝材として剛性体と緩衝材の両者を複合化する場合の最適な構造体について検討すると、実際に橋桁などに設置される状況を考慮し、設置スペースの縮小化を目的として、図-7に示すように2段階バネ特性緩衝材は、緩衝材を剛性体により被覆する構造が適切であると考え、以下に示す実験を実施した。

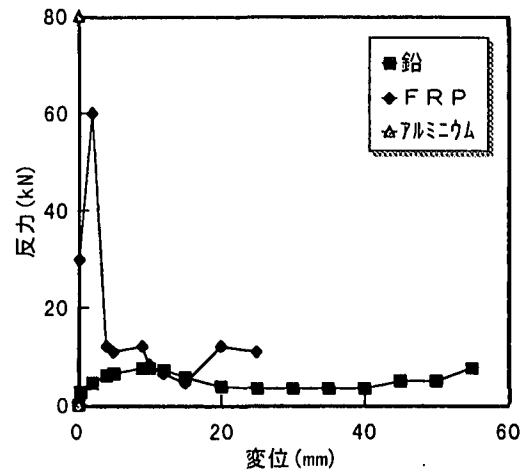


図-5 反力-変位量関係

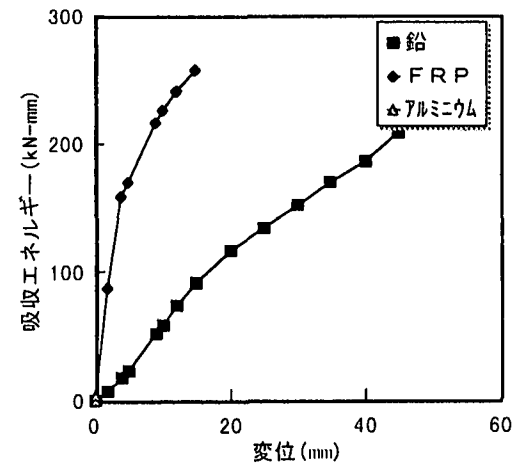


図-6 吸収エネルギー-変位量関係

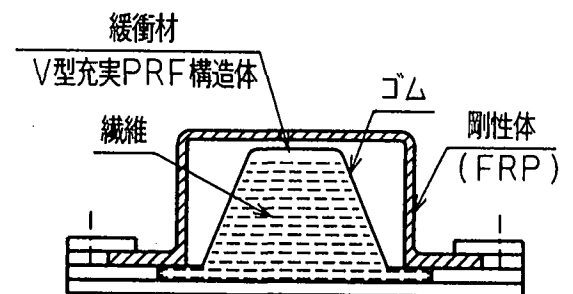
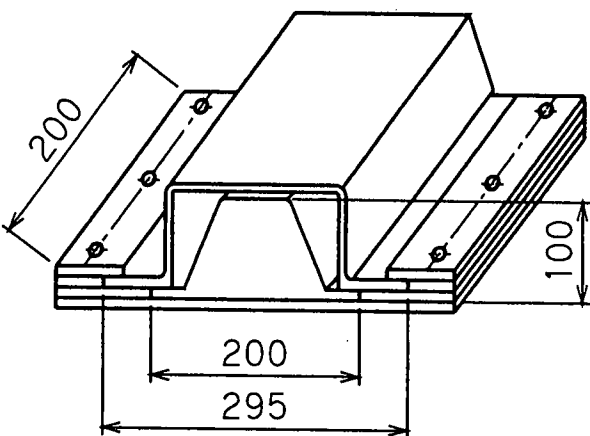


図-7 2段階バネ特性緩衝材の断面模式図

2.4.1 実験体

実験体は、図－8に示すように比較的小規模の橋梁において使用される20tf程度の破壊荷重を想定するものとし、形状を100H×200Lとした。

また、実験において剛性体であるFRPの靱性破壊後の破壊モードを比較するため、V型充実PRF構造体については繊維積層数を10及び20枚とした2種類の緩衝材にFRPを被覆させたものを使用した。



図－8 実験体形状図

2.4.2 実験方法

実験は、30tf型アムスラー万能試験機を使用し、圧縮速度を10mm/minで実施する静的載荷実験とした。なお、実験における測定項目は、作用荷重及び変位置とした。

2.4.3 実験結果及び考察

図－9に荷重－変位置の関係を示す。

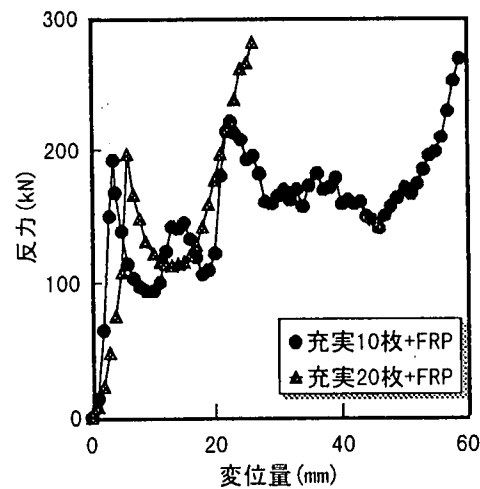
図－9に示すように先に実施した緩衝材単体での実験と比較して本実験における緩衝材の破壊荷重は、繊維積層数が20枚のものについては180kN程度から不破壊に、10枚のものについては100kN程度から180kN程度に上昇していることが分かる。これは、2段階バネ特性緩衝材について緩衝材を剛性体であるFRPにて被覆する構造としたため、作用荷重に対する緩衝材の変形をFRPにて拘束している影響だと考えられる。

また、繊維積層数が10枚の実験体は、25mmから50mmの変位置間において荷重が一定であることが分かる。これは、V型充実PRF構造体に埋設積層されている繊維が逐次破断してる影響だと考えられる。

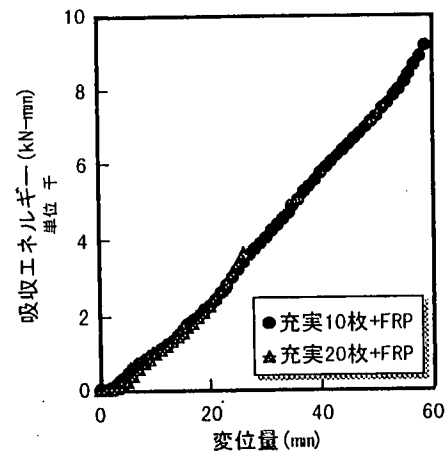
図－10に荷重－変位置の関係を示す。

図－10に示すように繊維積層数が10枚の実験体は、繊維積層数が20枚の実験体と比較して吸収エネルギーが2.5倍程度増加することが分かる。これは、繊維積層数が10枚の実験体は作用荷重に対して埋設積層された繊維が破断することにより定反力域が存在し、変位置もつれて多くなる、すなわち緩衝材が破壊することによりエネルギーを吸収していると考えられる。

以上のことから、破壊荷重20tf相当の2段階バネ緩衝材として最適な構造は、剛性体であるFRPと緩衝材であるV型充実PRF構造体として繊維を10枚埋設積層した構造を複合化したものであることが分かる。



図－9 反力－変位置関係



図－10 吸収エネルギー－変位置関係

3. まとめ

本実験より得られた結果を要約し、以下に示す。

- 1) V型充実P R F構造体は、ゴム構造体と比較して埋設された繊維の拘束力により小変位で反力が上昇する。
- 2) V型充実P R F構造体の破壊荷重は、埋設する繊維の条件により任意に設定が可能である。
- 3) V型充実P R F構造体は、ゴム構造体と比較して吸収エネルギー量が1.6倍程度増加する。
- 4) F R Pは、緩衝材と同様に小変位で反力が上昇し、靱性破壊による変位量が多いことからエネルギーを吸収する。
- 5) 2段階バネ特性緩衝材は、F R P及びV型充実P R F構造体で構成することで破壊荷重が明確になり最適な設計が可能となる。

4. さいごに

兵庫県南部地震以後、耐震補強対策として緩衝機能を有する落橋防止装置が橋梁構造物に設置されつつあるが、本件における緩衝材が活用されれば幸いである。

また、現在の落橋防止装置は、許容応力度法にて設計されているため、緩衝材の評価についても静的実験による評価で設計には対応が可能であると考えられるが、今後はさらに動的解析による最適な設計法を確立するため、衝撃実験による緩衝効果の把握並びに吸収エネルギーの定量化などを実施する予定である。

〔参考文献〕

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：支承部の耐震補強設計の手引き、平成8年3月
- 2) 浮島、生駒：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, pp49~55, 1998.7