

(31) 弾性支持された鋼管支柱の衝撃応答について

IMPACT BEHAVIORS OF CANTILEVER STEEL-PIPE POST WITH SHOCK ABSORBING MATERIAL

喜多龍一郎^{*}, 生駒信康^{**}, 川上千歳^{***}, 小暮幹太^{****}, 藤掛一典^{*****}

Ryuichiro KITA, Nobuyasu IKOMA, Chitose KAWAKAMI, Kanta KOGURE and Kazunori FUJIKAKE

- * 防衛大学校理工学研究科学生 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)
- ** (株)シバタ工業技術開発本部次長 (〒674 明石市魚住町中尾1058)
- *** (株)シバタ工業技術開発本部課長 (〒674 明石市魚住町中尾1058)
- **** 工修 防衛大学校研究員 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)
- ***** 工修 防衛大学校助手 土木工学科(〒239 横須賀市走水1-10-20)

キーワード: ガードレール, 鋼管支柱, ラバーファイバー, 緩衝材

(guardrail, steel-pipe post, rubber fiber, shock absorber)

1. はじめに

道路に設置されている防護柵¹⁾は、走行中に進行方向を誤った車両が路外、対向車線または歩道等に逸脱するのを防ぐとともに、乗員の傷害および車両の破損を最小限にとどめて、車両を正常な進行方向に復元させることを目的とした施設である。一般に、その設計は、車両が防護柵に持ち込む運動エネルギーを防護柵の水平材、支柱および車両の変形によりそのエネルギーを吸収するという考え方に基づき行われている。

しかし、近年、道路整備が進み、自動車の走行性能の向上あるいは車両の大型化により事故発生時における車両のもつ運動エネルギーは、以前と比較してかなり大きなものになっている。そのため、ガードレール等の防護柵を突き破り路肩から転落したり、中央分離帯を越えて対向車線に突っ込み対向車と衝突するケースが増加している。このような状況下で安全性と機能性の両方に対して、ガードレール等の防護柵に要求される性能は以前にも増して厳しいものになってきている。乗員および車両の損傷を極力抑制しようとする防護柵には高い緩衝性が要求される。また、一方、車両の路外逸脱を防止しようとした場合、防護柵には、その衝突時の変形に制限が加えられることになる。これらの、相反する二つの要求性能に対し、人身保護あるいは二次災害の防止という観点から防護柵にはある程度の変形の中で高いエネルギー吸収能力が求められている。

衝撃力を受ける構造物の設計において、衝撃力に対する緩衝効果を期待してゴム材料の持つ固有の圧縮バネ特性を利用することが以前から行われている。例えば、港湾施設においては、船舶の衝撃力を緩和させることを目的として、ゴム材料を用いたフェンダーが用いられている。また、大野ら²⁾は、ゴムを緩衝材として用いた2層RCはりの衝撃実験により、ゴムの緩衝材としての有効性を確認している。これらのことから、ガードレール等の防護柵においても支柱の支持部に高い緩衝効果を有するゴム系の材料を用いることが車両の衝突に対して有効であると考えられる。

そこで本研究は、ガードレール等の支柱を想定した鋼管支柱の埋め込み部の支持条件の違いが衝撃応答に及ぼす影響を把握するとともに支柱埋め込み部の支持材料にゴムと繊維の積層構造をもつラバーファイバーを用いた場合の衝撃に対する緩衝材としての有効性を実験的に確かめるものである。

2. 実験の概要

2. 1 試験体諸元と実験パラメータ

実験に用いた試験体ケースおよび概略図を表-1、図-1に示す。鋼管支柱には実際の防護柵の支柱として使われている一般構造用炭素鋼管（STK400、外径 $\phi=114.3\text{mm}$ 、肉厚 $t=4.5\text{mm}$ ）を用いた。支柱埋め込み部の支持材料の違いが衝撃応答に及ぼす影響を把握するためにラバーファイバーを同心円状に巻いて積層化した試験体（LR-T34-L50）、天然ゴムを巻いた試験体（R-T34-L50）、およびかなり剛な支持条件としてモルタルで支持した試験体（NR-C-L50）を作製した。これらの試験体の支持部の外径は34cmとし埋め込み長は50cmとした。ラバーファイバーを支持材としたものについてはさらに埋め込み長および巻き厚の違いによる応答特性を把握するために巻き厚が34cm、埋め込み長が100cmの試験体（LR-T34-L100）、および、巻き厚が23cm、埋め込み長がそれぞれ50cm、100cmの試験体（LR-T23-L50、LR-T23-L100）を作製した。ラバーファイバーの巻き厚23cmの試験体については試験体固定治具の関係からその周りをモルタルで巻いて外径34cmとなるようにした。試験体ケースは、以上に示した6ケースである。実験では、それぞれの試験体ケースについて衝突体を3種類の衝突速度レベルで衝突させてその衝撃応答を調べるために、それぞれの試験体ケースについて3体、合計18体の試験体を作製した。

実験に用いるラバーファイバーは、天然ゴムとナイロン繊維の積層構造を有し、天然ゴムの間にナイロン繊維を入れることでゴムの変形を拘束することにより高い鉛直バネ特性およびせん断バネ特性を有するものである。ここで、ラバーファイバーおよび天然ゴムの静的一軸圧縮試験の結果を図-2に示す。

2. 2 装置

実験は、図-3に示す防衛大学校所有の水平衝撃荷重装置を用いた。この装置は、衝突体加速装置に取り付けられた合計8本のゴムの弾性ひずみエネルギーを利用して衝突体（重量約100kgf）を加速させるもので、ゴムの変形量を調節することにより衝突体の速度を最高20m/secの範囲で任意に設定することができるものである。

試験体は埋め込み部を鋼製の固定治具で固定し、鋼管支柱の固定端から90cmの位置に衝突体を3種類の速度レベル（速度レベル-1：約5m/sec、速度レベル-2：約10m/sec、速度レベル-3：約13m/sec）で衝突させた。

表-1 試験体ケース

| 試験体ケース | 鋼管埋め込み部の支持材料 | 巻き厚 d (cm) | 埋め込み長 H2 (cm) |
|-------------|--------------|------------|---------------|
| LR-T34-L50 | ラバーファイバー | 34 | 50 |
| LR-T34-L100 | ラバーファイバー | 34 | 100 |
| LR-T23-L50 | ラバーファイバー | 23 | 50 |
| LR-T23-L100 | ラバーファイバー | 23 | 100 |
| R-T34-L50 | 天然ゴム | 34 | 50 |
| NR-C-L50 | モルタル | 34 | 50 |

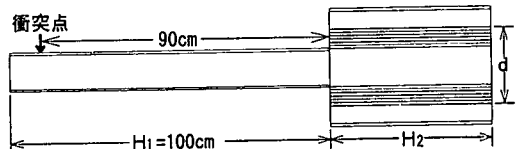


図-1 試験体の概略図

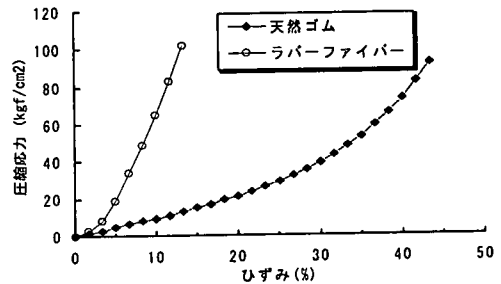


図-2 静的一軸圧縮試験の結果

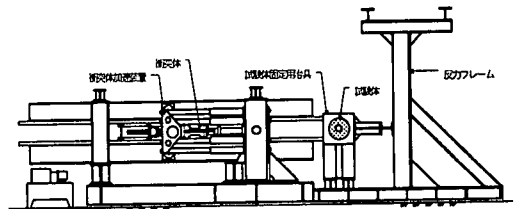


図-3 水平衝撃荷重装置

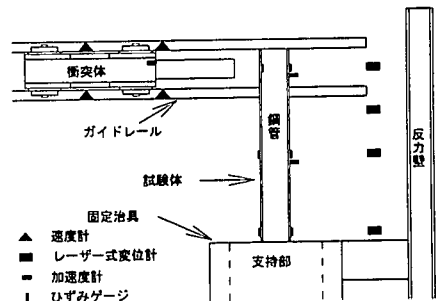


図-4 計測装置設置図

2. 3 計測

実験における計測項目は、衝突体の衝突速度および衝突後の戻り速度、衝突時の衝突体の加速度、鋼管の加速度、ひずみおよび変位である。計測装置の設置図を図-4に示す。衝突体の速度は、ガイドレール上に間隔25cmで設置された2組のレーザー光線を衝突体が切る時間を計測し速度を求める光電式速度検出器を用いた。加速度は、衝突体および鋼管の埋め込み部上面から45cm, 90cmの位置に加速度計(圧電型: 500G~5000G)を設置して計測した。鋼管に発生するひずみは、鋼管の埋め込み部上面から5cm, 45cm および90cmのところに圧縮・引張側それぞれ1枚ずつひずみゲージ(ゲージ長: 2mm)を貼付して計測した。鋼管の変位は、鋼管の埋め込み部上面から5cm, 50cm, 70cm および90cmの位置にレーザー式非接触変位計を設置して計測した。

3. 実験結果および考察

3. 1 試験体の変形・損傷の状況

写真1~3に、支持条件の異なる3種類の試験体に対して、本実験において顕著な差が表れた衝突体の衝突速度レベル3(約13m/sec)で生じた支柱支持部付近の変形状況を示す。モルタルで支持された試験体では、支柱の埋め込み部上面から約4cm程度のところで圧縮側に局部座屈が認められる。これに対して、ラバーファイバー、天然ゴムを用いた試験体では、圧縮側の局部座屈は見られずかなりの長さにわたって鋼材が十分塑性変形をした状況が判る。

また、図-5に、各試験体における衝突速度と実験終了後の鋼管支柱上端の残留変形量の関係を示す。鋼管上端の残留変形量については、速度レベル1では天然ゴムを用いた試験体はモルタルを用いた試験体と比較して約2cm程度小さい値を示しているがラバーファイバーを用いた試験体についてはモルタルを用いた試験体とあまり顕著な差が見られない。しかし、速度レベル3では、天然ゴムおよびラバーファイバーを用いた試験体ともモルタルを用いた試験体と比較して上端の残留変位が約5cm程度小さいことが分かる。これは、衝突体の速度が大きくなると、モルタルで支持された試験体では埋め込み部上面付近の局部変形が卓越するのに対してラバーファイバーおよび天然ゴムを用いた試験体では鋼管の変形が分散されるためである。

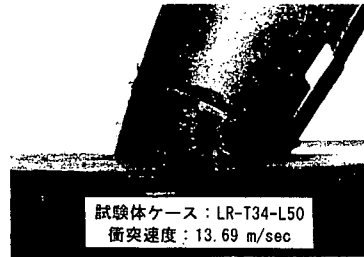


写真-1 支柱支持部付近の変形状況 (その1)

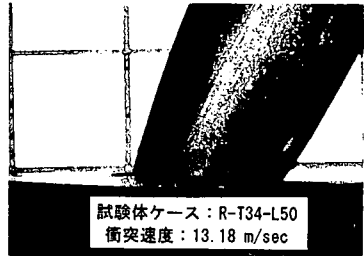


写真-2 支柱支持部付近の変形状況 (その2)

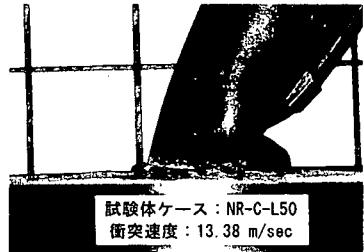


写真-3 支柱支持部付近の変形状況 (その3)

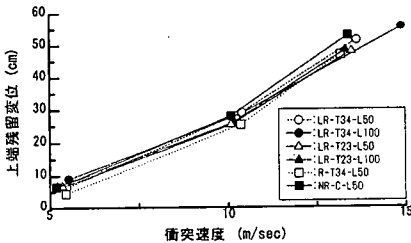


図-5 鋼管上端の残留変位~衝突速度の関係

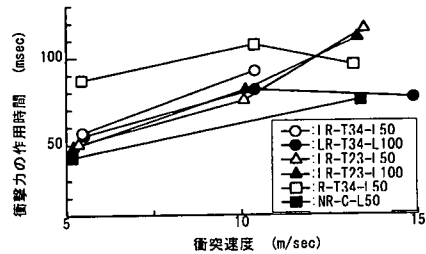
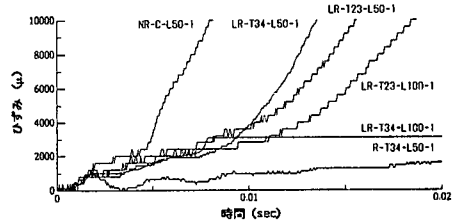


図-6 衝撃力の作用時間~衝突速度の関係

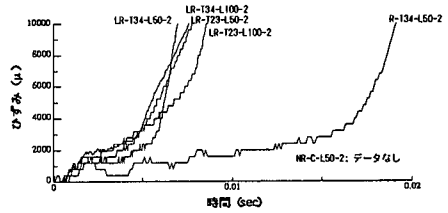
3. 2 衝撃力の作用時間と衝突速度の関係

鋼管支柱の中間部に貼付したひずみゲージの計測値は今回行った実験条件ではすべての実験ケースに対して弾性範囲内の値であった。そこで、このひずみゲージの計測値に基づいて求めた衝撃力の作用時間と衝突速度の関係を図-6に示す。

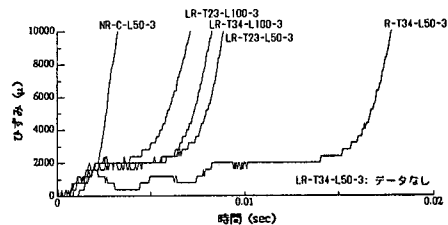
モルタルで支持された試験体に比べてラバーファイバーおよび天然ゴムで支持された試験体では、その衝撃力の作用時間は約1.2~2倍に増加しているのが分かる。しかし、速度レベルが速くなるとゴムの巻き厚の大きな試験体 R-T34-L50, LR-T34-L100 では、衝撃力の作用時間が減少している。これに対して、ラバーファイバーの巻き厚の小さな試験体 LR-T23-L50, LR-T23-L100 では、衝突速度レベルの速い範囲においても衝撃力の作用時間が増加する傾向にあることが分かる。これは、天然ゴムやラバーファイバーの圧縮バネ特性に起因するものと考えられ、最適な巻き厚が存在するように思われる。



(a) 速度レベル 1



(b) 速度レベル 2



(c) 速度レベル 3

図-7 鋼管の埋め込み部上面の引張側のひずみ～時間関係

3. 3 ひずみ～時間の関係

鋼管の埋め込み部上面の引張側の初期のひずみ～時間の関係を図-7に示す。これらのグラフから衝突の極初期のひずみの立ち上がり部分について、速度レベル 1 では約 1000 μ、速度レベル 2 では約 1200 μ、速度レベル 3 では約 1500 μ 程度のひずみレベルまでは支持材料の相違に関わらずほぼ同様な値を示していることが分かる。それ以降の部分については、埋め込み部の支持条件の違いによりひずみの挙動が異なることが認められる。すべての実験ケースにおいて、鋼管の降伏ひずみに相当する約 2000 μ 付近のところからひずみが急激に増加しているのが分かる。速度レベル 2 のモルタルで支持した場合の実験データを得ることができなかったために明確ではないが、速度レベル 1、速度レベル 3 の場合、埋め込み部の支持材料にラバーファイバーを用いたものはモルタルを用いたものと比較して、ひずみが急激に増加する時間が約 2 倍程度長くなっているのが認められる。同様に、埋め込み部の支持材料に天然ゴムを用いたものは、ひずみが急激に増加し始める時間が最も遅いことが分かる。これは、ラバーファイバーおよび天然ゴムの圧縮バネ特性に起因する緩衝効果によるものと考えられる。

3. 4 エネルギー損失

速度レベル 2 における代表的な実験ケースについて、衝突体の衝突速度と跳ね返り速度の記録から衝突によるエネルギー損失を計算した結果を表-2に示す。この速度レベルでは、埋め込み部の支持材料にモルタルを用いた場合のエネルギー損失が 92%と最も大きく、ラバーファイバーを用いた場合のエネルギー損失が約 80%、天然ゴムを用いた場合のエネルギー損失が最も小さく 62%であった。このことから、衝撃力を緩和し、しかもエネルギー損失もかなり大

表-2 速度レベル 2 におけるエネルギー損失

| 試験体ケース | 衝突速度 (m/sec) | 戻り速度 (m/sec) | エネルギー損失 |
|-------------|--------------|--------------|---------|
| NR-C-L50 | 10.09 | 2.84 | 0.92 |
| R-T34-L50 | 10.37 | 6.41 | 0.62 |
| LR-T23-L50 | 10.08 | 4.48 | 0.8 |
| LR-T23-L100 | 10.12 | 4.02 | 0.84 |

きな値が見込めるラバーファイバーを埋め込み部の支持材料として用いる有効性が認められる。

4. まとめ

本研究によって得られた成果をまとめると以下のようになる。

- (1) 鋼管の埋め込み部の支持材料としてラバーファイバーおよび天然ゴムを用いた方が、モルタルを支持材料として用いた場合に比べて鋼管自体の変形を分散できる。
- (2) 鋼管の変形状況やエネルギー損失等からラバーファイバーを埋め込み部の支持材料として用いることは衝撃力に対する緩衝材として有効であると思われる。今後、同様な実験を行いエネルギー損失について定量的に把握する必要がある。
- (3) ラバーファイバーを埋め込み部の支持材料として用いる場合、衝撃力の作用時間～衝突体の衝突速度の関係から最適な巻き厚が存在すると考えられる。

参 考 文 献

- 1) (社)日本道路協会：防護柵設置要綱，丸善，1970年10月
- 2) 大野，他：“緩衝材を有する2層RCはりの耐衝撃性および多質点モデルによる衝撃応答解析”，構造工学論文集，Vol.38A，pp.1565～1575，1992

