# 緩衝材を有するケーブル式落橋防止構造の衝撃緩衝特性に関する実験的考察

九州大学大学院 学生会員 〇字野 まり子 正会員 玉井 宏樹 正会員 園田 佳巨 横河ブリッジホールディングス 正会員 結城 洋一 正会員 春日井 俊博

#### 1. 緒言

落橋防止構造には衝撃的な地震荷重の緩和機能を持たせることが,道路橋示方書により規定されている.しかし,緩衝 材の性能の評価法や諸元の決定方法が確立されておらず,緩衝材の選定は設計者の判断に任せられているのが現状である. 近年新たに開発されたピン定着型ケーブル式落橋防止構造(ピン定着型落防)にも円筒形ゴムが緩衝材として設置されて いるが,その効果は小型サイズの試験体のみで評価されており,需要の多い大型サイズの衝撃緩衝性能は定量的に明らか とされていない。そこで,本研究では、サイズの異なるピン定着型落防を対象に落錘式衝撃実験を実施し、それらの耐衝 撃性能や衝撃緩衝性能を明らかとした。さらに、設計の指標となりうるゴム製緩衝材の最大伝達衝撃力とエネルギー吸収 量の簡易評価式の定式化を試みた。

#### 2. 落錘式衝撃載荷実験による衝撃緩衝特性の検証

#### 2.1 実験概要

実験は、図-2に示すようにロードセル上に設置した試験体に対し落錘式衝撃試験装置を用いて鋼製重錘(重量 200kg) を所定の高さから自由落下させ、試験体の回転枠と一体化した載荷板に衝突させることにより実施した.また本実験では、

図-1 に示すようなケーブル部以外は、忠実に再現した試験体(写真-1)を用いた. 試験体はPCケーブルの降伏荷重値によって大きさが異なる YB260, YB730, YB1300 の3 種類である. なお、PCケーブルの降伏荷重値は、それぞれ 222(kN)、608(kN)、 1092(kN)である. 主軸ピンの周りには写真-2 に示すような円筒形の緩衝ゴムが挿 入されており、本実験では硬度 45 度と 55 度の 2 種類を使用した.

測定項目は試験体を伝達する伝達衝撃力および載荷部の移動量である. 伝達衝撃 力は試験体底面部に設置した3個のロードセル (CLP-500kNB,最大500kN,サンプ リング周波数10kHz) によって測定し,載荷部移動量は載荷版に付けたターゲットを 高速カメラで撮影する (1500フレーム毎秒) ことにより測定した.

実験は、PCケーブルの静的降伏荷重と同程度の衝撃力を作用させた場合(入力A) と、緩衝ゴムが破断するレベルの衝撃力を作用させた場合(入力B)を想定し実施 した.入力Aは、緩衝ゴムの替わりに同じ形状の鋼材を付加した試験体に対し、 最大伝達衝撃力がPCケーブルの降伏荷重を上回る落下高さを $H_Y$ と決定した.入 力Bは、予め実施した静的載荷実験において、緩衝ゴムが破断する変形量までのエ ネルギー吸収量を算定し、これをもとに重錘落下高さ $H_E$ をエネルギー保存則によ り決定した.表-1に実験ケースを示す.実験は3体の試験体に対して、入力Aに おける衝撃力緩衝特性を検証するための単一載荷実験、および入力Bまでの最大衝 撃力とエネルギー吸収量を予測するための漸増載荷実験の2つを実施した.











| =-  | 試験体名           | ゴム<br>硬度 | ゴム厚<br>(mm) | 入力A<br>(単一載荷)        | 入力B<br>(漸増載荷) |
|-----|----------------|----------|-------------|----------------------|---------------|
| ET. |                |          |             | 落下高さ<br>(mm)         | 落下高さ<br>(mm)  |
| Ľ   | ピン定着<br>YB260  | 45       | 46          | H <sub>Y</sub> (70)  | 10220         |
| Ŋ   |                | 55       |             |                      | 10320         |
| Ľ   | ピン定着<br>YB730  | 45       | 48          | H <sub>Y</sub> (260) | 10•••540      |
| Ŋ   |                | 55       |             |                      | 10•••870      |
| ピ   | ピン定着<br>YB1300 | 45       | 48          | H <sub>Y</sub> (930) | 10•••1170     |
| Y   |                | 55       |             |                      | 10•••1710     |

### 2.2 実験結果および考察

入力 A の衝撃力が作用した場合の衝撃力緩衝性能を検証した. 図-3 に YB260 の緩衝ゴム有りと無しの場合の衝撃力応答比較図を, 図-4 に YB260 の衝撃力-載荷部移動量の関係を示す.表-2 に示す各試験体サイズの最大衝撃 力低減率から,入力 A においては,試験体サイズが変わっても同程度の衝撃力 低減率を保持していることが確認された.またエネルギー吸収量は,図-4 に 示すように載荷時に緩衝ゴムが力を受けて変形する際に蓄えられるエネルギ ーと除荷時に解放されるエネルギーの差と見なすことで,荷重-変位曲線に囲 まれた面積で定義できる.この定義を用いて3つの試験体の実験結果から算出 したエネルギー吸収量を表-2 に示す.そして,重錘落下高さから算出した入 力エネルギーと,吸収エネルギーの比で表わされるエネルギー吸収率を定義し, 試験体同士で比較すると,試験体サイズが大きくなるにつれ,エネルギー吸収 率は減少傾向にあることがわかった.これは表-1 に示すとおり試験体サイズ に関わらず,ゴム厚がほぼ一定であることが一つの要因と考えられる.

#### 3. 最大伝達衝撃力とエネルギー吸収量の簡易算定式

入力Bまでの漸増載荷実験から得られた最大伝達衝撃カー入力エネルギー関係より,各入力エネルギーにおける最大伝達衝撃力を算定した.図-5にYB-260の最大伝達衝撃力と入力エネルギーの関係を示す.最大衝撃力は重錘落下高さの関数である入力エネルギーの平方根に比例するような傾向が見受けられ,緩衝ゴム硬度と入力エネルギーをパラメータとして以下の式で最大伝達衝撃力を算定した.

$$P_m = \alpha \times H / H_{45} \times \sqrt{e} \tag{1}$$

ここで、 $P_m$ :最大伝達衝撃力、 $\alpha$ :係数、H:硬度、e:入力エネルギーと 定義した.本実験では、係数 $\alpha$ はYB260、YB730、YB1300でそれぞれ3.4、2.7、 2.0と求められた.

更に,YB260の吸収エネルギーと入力エネルギーの関係を図ー6に示した結果, この2つの物理量は線形的に増加する傾向にあることが分かり,以下の式でエネ ルギー吸収量を簡易に表現することとした.

$$E = \beta \times e$$

ここで, *E*:エネルギー吸収量, β:エネルギー吸収率を表す係数と定義した.本実験では,係数βは最小二乗法を用いて,YB260,YB730,YB1300でそれぞれ0.8,0.63,0.58と求められた.なお,エネルギー吸収量の算定に関しては,ゴム硬度の影響は見られなかった.これらの簡易式より,本実験で対象とした試験体の場合,寸法の異なる各緩衝装置の最大衝撃力とエネルギー吸収率を把握することで簡易にエネルギー吸収能力を予測できることが推察された.

なお、ゴム厚や試験体が異なると最大衝撃力やエネルギー吸収率は変わることが想定されることから、式(1)、(2)を汎用 的に用いるためにはゴム厚や試験体の大きさをパラメータとした数値解析による検討が不可欠であると考えられる.

(2)

## 4. 結言

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) 本研究で対象とした3種類の試験体に関して、入力Aの荷重下では最大衝撃力低減率は試験体サイズに関わらず同程 度であるが、エネルギー吸収率は、試験体サイズが大きくなるとともに減少することが確認された.
- (2) 静的な荷重下でゴムが破断するレベルまでの漸増載荷衝撃実験から、入力エネルギーやゴム硬度をパラメータとして簡易に最大衝撃力とエネルギー吸収量を予測できることが確認できた.しかし、提案した簡易式の適用範囲は明確ではないことから、今後、数値解析による考察を並行し、簡易式を具体化することが課題である.



表-2 衝撃力低減率とエネルギー吸収率



図-6 エネルギー吸収量の算定