# サイズの異なるピン定着型ケーブル式落橋防止構造の衝撃緩衝特性に関する基礎的考察

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,現状として緩衝材の選定は設計者の判断に任せられている.著者らは,落橋防止構造に付加される緩衝材の動的設計法を提案することを最終目的とし,その基礎段階として,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)を対象に落錘式衝撃実験を実施し,それらの衝撃緩衝

性能を明らかにしてきた<sup>1)</sup>.一方,落橋防止装置は橋梁規模に応じて様々なサイズ が存在するが,異なるサイズにおける衝撃緩衝性能に関しては明らかではない。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とした衝撃実験を実施,そ の耐衝撃挙動や緩衝ゴムの衝撃緩衝効果を把握することを試みた。さらに,FEMに よる動的解析を行い数値解析による再現性の検証を試みた。

#### 2. 落錘式衝撃載荷実験による衝撃緩衝特性の検証

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 に示すケーブル、定着ブロック、回転枠の一部以外は、忠実に再現した試験体を 用いた.試験体(写真-1)はケーブルの降伏荷重値によって大きさが異なる N260, N730, N1300 の3 種類であり、装置に定着させるケーブルの降伏荷重値は、それぞ れ 222(kN)、608(kN)、1092(kN)である.また主軸ピン周りには写真-2 に示すよう な円筒形の緩衝材が挿入されており、硬度は 45 度と 55 度の2 種類を使用した.測 定項目である試験体の伝達衝撃力は、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) によって測定した.実験は,緩衝材無しの試験体に対して最大伝達衝撃力がケーブルの降伏荷重と同等となる落下高さを  $H_Y$  と決定した.緩衝材無しの試験体には,緩衝材と同じ形状も持つ鋼材を代替材として使用した.表-1 に実験ケースを示しているが,3 種類の試験体に対し,緩衝材有りと無しの場合において, $H_Y$  まで重錘落下高さを徐々に漸増させながら実施した.

 $H_Y$ 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N260の衝撃力 応答比較図を,  $\mathbf{a}-2$ に各試験体サイズの最大衝撃力低減率を示す. これらの結果 から,本実験で対象とした装置は硬度45度では約88~91%,硬度55度では約86~89% の衝撃力低減率を有し,試験体サイズに関わらず同程度であることが確認された. また, $H_Y$ までの実験結果から得られた衝撃力応答より,各入力エネルギーにおける 最大伝達衝撃力を算定しその関係を,N260の試験体サイズを代表し図-4に示した.

他,2種類の試験体に対して行った実験結果 においても同様の傾向があり,最大衝撃力は 入力エネルギーの平方根に比例する傾向が 見受けられ,それらの物理量には一定の相関 性がある事が推察された.また緩衝材の硬度 による影響が確認された.本実験は,サイズ







表-1 実験ケース				
試験体名	緩衝材 厚さ(mm)	落下高さ (mm)	緩衝材 硬度	
N260-無		~H <sub>Y260</sub>	$\nearrow$	
N260-有-45	23	10••••H <sub>Y</sub> (70)	45	
N260-有-55			55	
N730-無		~H <sub>Y730</sub>		
N730-有-45	24	10••••H <sub>Y</sub> (260)	45	
N730-有-55			55	
N1300-無		~H <sub>Y1300</sub>	$\nearrow$	
N1300-有-45	24	10••••H <sub>Y</sub> (930)	45	
N1300-有-55			55	





の異なる3種類の試験体に対し行ったものであるが、実物大実験が困難である更に大きなサイズの装置に関しても、同様の衝撃緩衝効果や最大衝撃力の傾向が得られるかを確認し、また本実験では考慮していない緩衝材の厚さや体積の影響を評価する為には、数値解析による検討が不可欠であると考えられる.

### 3. 数値解析による衝撃緩衝特性の検証

本解析では、ゴムを超弾性体と仮定し、構成則に用いるひずみエネルギー密度 関数には、圧縮ー引張領域におけるS字状の応力ーひずみ特性を高い精度で表現 するために以下のMooney-Rivlin式(Signiorini形式)を採用した.

$$W = c_{10}(I_1 - 3) + c_{01}(I_2 - 3) + c_{20}(I_1 - 3)^2$$
(1)

ここに、Wはひずみエネルギー密度関数(MPa)、 c<sub>10</sub>,c<sub>20</sub>はMooney-Rivlin定 数(MPa)、I<sub>1</sub>,I<sub>2</sub>は1次および2次の主伸張比の不変量を表わす. Mooney-Rivlin定 数はダンベル型試験片による引張試験結果とシリンダー型試験片による圧縮試 験結果を用いカーブフィットすることで算定した(表-3).解析対象は衝撃実験 で用いたピン定着型落防であり、3次元有限要素を用いて忠実にモデル化した(図 -5).解析モデルは力学的対称性を考慮して1/2部をモデル化しており、8積分点 を有するソリッド要素を用いた.部材間の接触モデルにおいては、主軸ピンとナ ット間、回転枠とゴムプレート間、ゴムプレートと重錘間には完全付着を仮定し、 それ以外の部材間には接触・離反を伴う状態を仮定している.境界条件に関して は、ロードセルを剛体としてモデル化し実験と同様の位置に設置しており、重錘 の全節点に落下高さを換算した衝突速度を初速度として与えた.緩衝材要素は密 度1.2(g/cm<sup>3</sup>)を有する超弾性体とし、それ以外の鋼材要素はヤング率2.1× 10<sup>5</sup>(MPa)、ポアソン比0.3、密度7.85(g/cm<sup>3</sup>)を有する弾性体とした.また、本解析 ではゴムと鋼材の摩擦にはクーロン摩擦モデルを導入し、静止摩擦係数0.5を仮

定した.

図-6に実験ケースのN730-有-55における重錘落下高さをH<sub>Y</sub>(260mm)とした 場合の衝撃力応答を実験結果と比較して示す.これより,初期勾配,最大衝撃力 ならびに衝撃力継続時間は実験結果と概ね一致していることが確認された.よっ てケーブルの降伏荷重と同程度の入力条件下では,本解析手法で実験結果を概ね 再現できることが認められた.更に,実験と同様にH<sub>Y</sub>までの各入力エネルギー において実施した解析結果から入力エネルギーと最大伝達衝撃力の関係を算定 し,実験結果と比較した(図-7)ところ,本解析手法を用いて入力エネルギー と最大衝撃力関係を概ね表現でき,設計の指標として用いることができる可能性 を確認した.

## 4. 結言

- (1) サイズの異なる3種類のピン定着型落防に対する衝撃実験結果より、ケーブ ルが降伏するレベルの荷重下において、最大衝撃力低減率は約86~91%であ り、ほぼ一定の低減率を有する事が確認された.
- (2) 超弾性体を仮定したゴム構成則を用いたFE解析により、衝撃力応答波形と 最大衝撃力ー入力エネルギー関係を概ね再現できることが示された.今後、 緩衝材の寸法や、装置のサイズ等をパラメータとして数値解析を行い、それらの衝撃緩衝効果を定量的に明確にする事が課題である.

参考文献 1) 宇野まり子,玉井宏樹,園田佳巨,和田直樹,結城洋一:ピン定 着型ケーブル式落橋防止構造の衝撃緩衝特性に関する基礎的検討,土木学会西部 支部 研究発表会講演概要集,I-001, 2013.



# 表-2 最大衝撃力低減率 試験体 最大衝撃力(kN) 最大衝撃力低減率(%) 260.4.45 21.3 90.8

N200-11-45	21.5	90.8
N260-有-55	25.0	89.2
N730- <b>有</b> -45	55.9	90.9
N730- <b>有-</b> 55	68.3	88.8
N1300- <b>有-</b> 45	135.8	87.6
N1300-有-55	155.0	85.8









図-5 解析モデル(N730)

表--3 Mooney-Rivlin 定数

