# 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

九州大学大学院学生会員〇字野まり子九州大学大学院正会員玉井宏樹九州大学大学院正会員園田佳巨九州大学大学院学生会員和田直樹(株)横河ブリッジホールディングス正会員結城洋一

#### 1. 緒言

ケーブル式の落橋防止構造は、桁端部に装置を設置する際に、下部工と上部工の位置関係が複雑で装置の取付け箇所や 取付け角度に制約が生じる場合がある.このような問題を解消するため、新たな構造を有するピン定着型ケーブル式落橋 防止構造(以下、新型落防と称す)が開発された.また、開発者らはPCケーブルを供試体の一部として含む新たな実験

方法を考案し、耐衝撃性能を既に確認している.しかしながら、ケーブルを用 いた供試体に対する衝撃実験では、緩衝材の緩衝効果を十分に把握されている とは言い難い.そこで本研究では、新型落防のブラケットを模擬した試験体を 作成し、落錘式衝撃試験装置を用いて衝撃載荷実験を実施し、新型落防の耐衝 撃挙動や緩衝ゴムの衝撃緩衝効果をより詳細に把握するとともに、従来の支圧 定着型ケーブル式落橋防止構造(以下、従来型落防と称す)と比較することを 目的とした.さらに数値解析により、新型落防の衝撃緩衝特性の評価を試みた.

#### 2. 新型落防の構造と特性

PC ケーブルを用いた従来型落防が下部工と上部工とを連結する場合の取付 け例を図-1に示す.従来型落防はPC ケーブル軸方向が橋軸方向と橋軸直角 方向に角度を持つ複雑な取付けとなった場合,施工現場で取付け角度を実測し た上で定着ブラケットの形状を取付け角度に合わせて制作する必要がある.次 に新型落防の構造および取付け例をそれぞれ図-2,図-3に示す.PC ケーブ ル両端の定着部を鉛直および水平軸回転を有するピン定着とすることで2軸 方向の回転が可能となる.また,定着ブラケットのピン周りに緩衝材を取付け ることで衝撃力を緩和でき,さらに図-3に示すように,PC ケーブルに適当量 のサグを付けた状態で上部工および下部工に取り付けることで,温度変化や活 荷重で生じる常時の移動量を装置内で吸収できるという構造を有している.

## 3. 落錘式衝撃載荷実験による衝撃緩衝性能の把握

## 3.1 実験概要

実験は、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.写真-1および写真-2に 新型および従来型落防の試験体設置状況を示す.それぞれの試験体に用いた緩 衝ゴムの硬度は45度と55度の2種類であり、新型落防は円形、従来型落防は矩 形断面を有するものを使用した.なお、後述の実験結果の考察では、緩衝ゴム の有無について論じているが、緩衝ゴム無しの試験体とは、新型落防の場合、 緩衝ゴムと同じ形状を有する鋼材をゴムの代替材として設置したものである.

測定項目は試験体を伝達する伝達衝撃力である. 伝達衝撃力は試験体底面部 に設置した3つのロードセル (CLP-500kNB,最大500kN,サンプリング周波数 10kHz) によって測定した.

実験は最大衝撃力の値が,静的な荷重によってPCケーブルが降伏する荷重値 と同等になる場合(入力A)を想定して,重錘の入力条件を決定した.具体的 には,緩衝ゴムが無い試験体に対して重錘の落下高さを漸増しながら繰り返し



写真-2 従来型落防試験体

衝撃実験を行い、試験体を伝達する衝撃力の最大値がPCケーブルの降伏荷重 (222(kN))を上回る高さをHyと定義した.本研究では新型および従来型のHy

はそれぞれ70(mm), 40(mm)と決定された. 表-1に実験ケースを示す. N260-A-2 およびC260-A-2は緩衝ゴムを付加していないケースであるN260-A-1および C260-A-1と比較することで衝撃力緩衝性能を検証するために実施した.

### 3.2 実験結果

図-4に硬度45度における新型および従来型落防での衝撃力応答比較図を示 す.図より硬度45度の緩衝ゴムを付加した場合、新型落防で約90.8%、従来型 落防で約91.4%、最大衝撃力を低減できることが確認された、同様に、硬度55 度の緩衝ゴムを付加した場合,新型落防で約89.2%,従来型落防で約89.6%,最 大衝撃力を低減できることが確認された. これらより衝撃力緩衝性能に関して は、新型落防と従来型落防では同様の緩衝性能を有していることが認められた.

# 4. 数値解析による衝撃力緩衝特性の検討

## 4.1 解析概要

本研究では、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)、 $c_{10}, c_{20}$ はMooney-Rivlin 定数(MPa), I1, I2は1次および2次の主伸張比の不変量を表わす.

解析対象は衝撃実験で用いた新型落防であり、3次元有限要素を用いて忠実 にモデル化した. 図-5に解析モデルを示すが、力学的対称性を考慮して1/2部 をモデル化した.解析に使用した要素は8積分点を有するソリッド要素である. また、モデル部材間には簡易な接触モデルを導入しており、主軸ピンとナット 間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.また、基本となる接触判定距離には最小要素寸法の1/20を設定した.

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 置に設置した. 緩衝ゴム要素は表-2に示す材料定数を有する超弾性体(密度 は1.2(g/mm<sup>3</sup>))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>)を有する弾性体と仮定した. 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.

#### 4.2 解析結果

図-6に硬度45度の緩衝ゴムを付加した場合の新型落防における衝撃力応答

表-1 実験ケース

ケース名	緩衝ゴムの 有無	載荷方法	落下高さ	ゴム 硬度
N260-A-1	無し	単一載荷	$H_{Y}(70mm)$	-
N260-A-2	有り	単一載荷	H <sub>Y</sub> (70mm)	45
				55
C260-A-1	無し	単一載荷	$H_{Y}(40mm)$	-
C260-A-2	有り	単一載荷	H <sub>Y</sub> (40mm)	45
				55



図-4 衝撃力応答比較図

表--2 Mooney-Rivlin 定数

緩衝ゴム 硬度	Mooney-Rivlin定数			
	C <sub>10</sub>	C <sub>01</sub>	C <sub>20</sub>	
45度	0.229185	0.145213	0.00757827	
55度	0.345591	0.330206	0.00937185	





#### 図-6 衝撃力応答比較図

波形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.また,硬度55度の緩衝ゴムを付加した場合においても同様な傾向が確認された.よってPCケーブ ルが降伏するレベルの衝撃力が作用する入力Aに関しては、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. 5. 結言

本研究では、新たに開発したピン定着型ケーブル式落橋防止構造の耐衝撃挙動や緩衝ゴムの衝撃緩衝効果について、落 ・錘式衝撃試験装置を用いて衝撃載荷実験を行うことで検討し、さらに、数値解析による評価も試みたものである。本研究 で得られた成果を要約すると以下のとおりである.

- (1) PCケーブルの降伏荷重と同等の衝撃力が発生する落下高さから重錘落下させた場合,新型落防と従来型落防では, 硬度45度のゴムで約91%, 硬度55度のゴムで約89%と同程度の最大衝撃力低減効果を有していることが認められた.
- (2) 超弾性体を仮定したゴム構成則を用いたFEMによる数値解析により、実験結果を概ね再現することができ、解析に よっても衝撃緩衝特性の把握が可能であることが示された.