

緩衝材を有するケーブル式落橋防止構造の伝達衝撃力の算定式に関する実験的考察

九州大学大学院 学生会員 ○和田 直樹
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹
(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

落橋防止構造には、衝撃的な地震力を緩和するためゴム材などの緩衝材を用いて耐衝撃性能を高める構造を有しているものが多い。しかしながら、現行の設計では、緩衝材に関する評価方法や設計法は規定されておらず、設計者の判断に任されているのが現状である。本来、落橋防止構造の設計は、使用する緩衝材が有する地震荷重の低減機能やエネルギー吸収機能を考慮して行われるべきであると考えられる。そこで本研究では緩衝材の設計法を確立するための基礎的段階として、図-1に示すピン定着型ケーブル式落橋防止構造（新型落防）を対象に、落錘式衝撃試験装置を用いた衝撃実験を実施し、落橋防止構造の設計の指標となりうる最大伝達衝撃力の予測を試みた。なお、著者らは小型の試験体に対する衝撃実験を既に実施しており、本実験ではさらに2つの異なるサイズの試験体に対して同様の実験を実施し、サイズの違いに着目した緩衝ゴムの衝撃力緩衝効果に関しても検討を行った。

2. 落錘式衝撃载荷実験による衝撃力緩衝特性の検証

2.1 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。図-2に衝撃実験の概要図を示す。また、図-3に新型落防の試験体および寸法を示す。本実験では、図-1に示すような回転枠の一部とせん断キー、定着ブロック、ケーブル部以外は忠実に再現した試験体を用いることとした。試験体はYB260、YB730、YB1300の3種類で、PCケーブルの降伏荷重値によって試験体の大きさが異なる。PCケーブルの降伏荷重値は新型落防YB260、YB730、YB1300でそれぞれ222(kN)、608(kN)、1092(kN)である。図-4に使用する緩衝ゴムの寸法を試験体ごとにそれぞれ示す。緩衝ゴムは硬度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）と緩衝ゴムが完全に破断するレベルの衝撃エネルギーが作用する場合（入力B）を想定し、重錘の入力条件を決定した。入力Aに関しては、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と同程度となる重錘の落下高さを H_Y と定義した。入力Bに関しては、先に実施した静的載

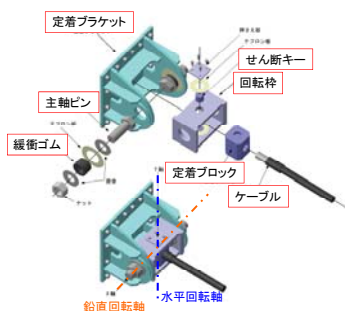


図-1 新型落防の構造

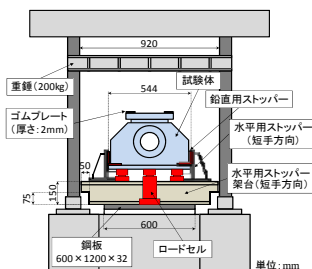
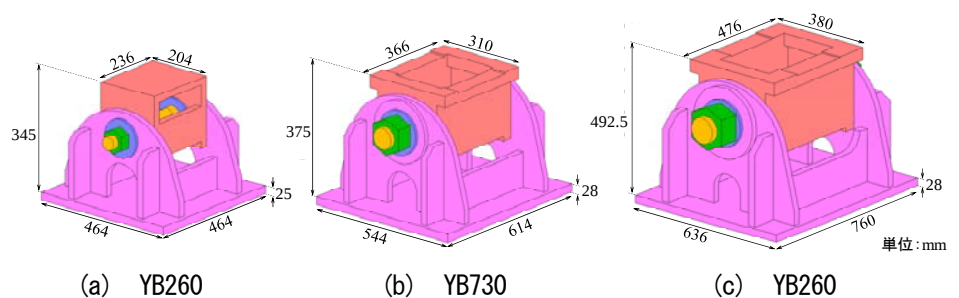


図-2 実験概要図 (YB730)

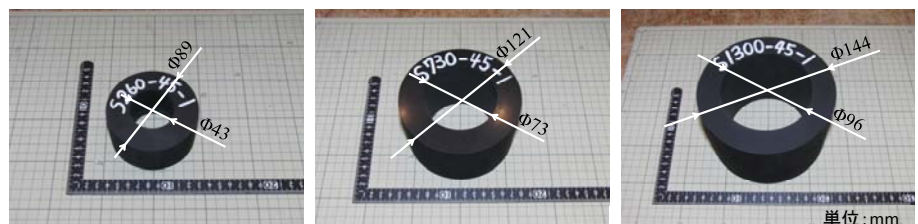


(a) YB260

(b) YB730

(c) YB1300

図-3 新型落防試験体



(a) YB260

(b) YB730

(c) YB1300

図-4 緩衝ゴムの寸法

荷実験より得られた緩衝ゴムの荷重－変位関係から、最初に緩衝ゴムが破断する変形量までのエネルギー吸収量 E を算定し、これをもとに自由落下試験で与えられるべき重錘の落下高さ H_E を以下のエネルギー保存則により決定した。

$$E = mgH_E \quad (1)$$

表－1、2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までの最大伝達衝撃力を予測するための漸増載荷実験の2つを実施した。

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－5に各試験体における最大衝撃力低減率を示す。これより、3つの試験体はどれも約90%最大衝撃力を低減できていることが分かる。また、入力Aよりも小さいエネルギー条件下で漸増載荷衝撃実験を実施した場合においても、それぞれの試験体は入力エネルギーの値によらず、同程度（約88～91%）の最大衝撃力低減率を示すことも確認された。すなわち、入力A以下の衝撃力が作用する場合、3つの試験体は同程度の衝撃力緩衝性能を有していることが確認された。

3. 最大伝達衝撃力の予測

入力Bまでの漸増載荷衝撃実験から得られた最大伝達衝撃力－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－6に各試験体で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1/2乗に比例することから、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に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。

$$P_m = \alpha \times H / H_{45} \times \sqrt{e} \quad (2)$$

ここで、 P_m ：最大伝達衝撃力、 α ：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 α はYB260、YB730、YB1300でそれぞれ3.4、2.7、2.0と求められた。これより、本実験で対象とした試験体に関しては、入力エネルギーとゴム硬度をパラメータとして簡易に最大伝達衝撃力を予測できることが確認された。しかしながら、上式は、本研究で対象とした試験体にしか適用できず、非常に限定的であると考えられる。上式を一般化す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評価式を作成する必要があるため、数値解析による検討が不可欠であると考えられる。

4. 結言

本研究ではケーブルタイプの落橋防止構造に使用される緩衝材の性能評価法を確立するための基礎的段階として、ピン定着型ケーブル式落橋防止構造（新型落防）に対する衝撃実験を3種類のサイズの試験体に対して行い、それらの緩衝性能を把握するとともに、伝達衝撃力の予測を検討した。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。

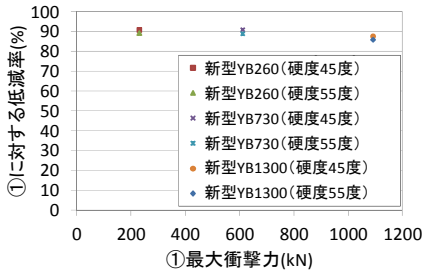
- (1) 本研究で対象とした3種類の試験体に関して、入力A以下の低荷重時における衝撃力緩衝性能は殆ど変わらず、一定範囲の入力エネルギーに対しては同程度の衝撃力緩衝性能が期待できることが確認された。
- (2) 新型落防を対象とした漸増載荷衝撃実験から、入力エネルギーとゴム硬度をパラメータとして簡易に最大伝達衝撃力を予測できることが確認できた。しかしながら、提案した予測式の適用範囲は明確ではないことから、今後、数値解析による考察を並行することが不可欠であると考えられる。

表－1 入力Aの実験ケース

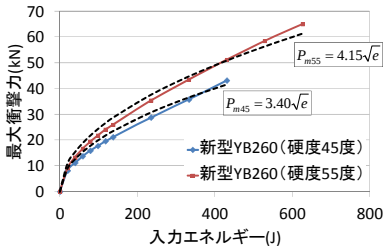
試験体名	緩衝ゴムの有無	載荷方法	落下高さ (mm)	ゴム硬度
新型YB260	有り	単一載荷	$H_V(70)$	45
				55
新型YB730	有り	単一載荷	$H_V(260)$	45
				55
新型YB1300	有り	単一載荷	$H_V(930)$	45
				55

表－2 入力Bの実験ケース

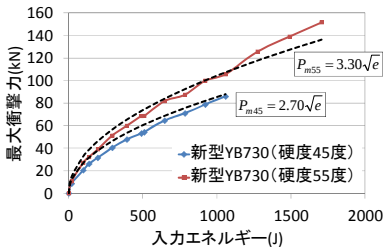
試験体名	緩衝ゴムの有無	載荷方法	落下高さ (mm)	ゴム硬度
新型YB260	有り	漸増載荷	10・・・220	45
			10・・・320	55
新型YB730	有り	漸増載荷	10・・・540	45
			10・・・870	55
新型YB1300	有り	漸増載荷	10・・・1170	45
			10・・・1710	55



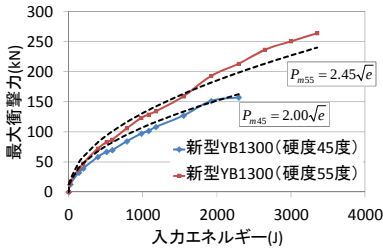
図－5 最大衝撃力とその低減率



(a) 新型落防 YB260



(b) 新型落防 YB730



(c) 新型落防 YB1300

図－6 最大伝達衝撃力と入力エネルギー