

落橋防止構造における緩衝材の効果に関する検討

越峠雅博¹・運上茂樹²・足立幸郎³・長屋和宏⁴

¹正会員 建設省土木研究所 耐震研究室交流研究員（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

²正会員 工博 建設省土木研究所 耐震研究室室長（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

³正会員 工修 建設省土木研究所 耐震研究室主任研究員（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

⁴正会員 建設省土木研究所 耐震研究室研究員（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

1. まえがき

落橋防止構造は、下部構造や支承が破壊し、上下部構造に大きな相対変位が生じた場合にも、けたかかり長をこえるような相対変位が生じないようにするものである。既往の震災事例では、落橋防止構造において衝撃的な地震動が原因と推測される破損が多く見られたことから、落橋防止構造は衝撃的な地震力を緩和するため緩衝材を用いて耐衝撃性を高める構造を用いることが求められている。このような衝撃的な地震力を緩和するための緩衝材および緩衝効果については、現在、実験的あるいは解析的に様々な研究がなされている^{1) 2) 3) 4)}。しかし、緩衝材の持つ変位-荷重の特性が、衝撃荷重あるいは地震応答の低減効果に及ぼす影響については、まだ十分に検討がなされていない。

本論では、緩衝材の変位-荷重特性あるいは緩衝材と上部構造との間隔が、衝撃荷重および応答加速度の低減に及ぼす効果を把握することを目的として、振動台を用いた緩衝材の衝突実験を行った結果を報告するものである。

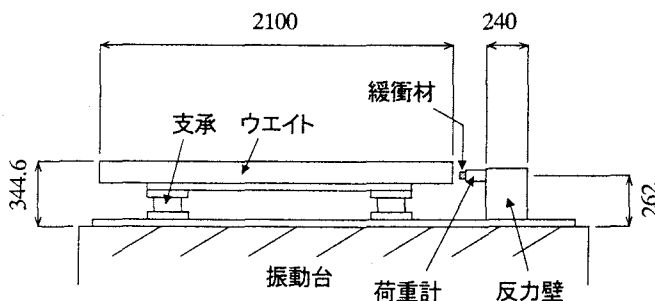


図-1 実験の概要図

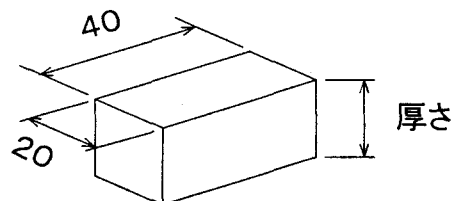


図-2 緩衝材

2. 実験の概要

図-1に示すように、振動台上に設置した支承に上部構造を想定したウエイトを乗せ、振動台を加振することにより、反力壁の前面の左右2個所に取り付けた緩衝材にウエイトを衝突させた。支承は、天然ゴム製のものを用い、ばね定数は 57.2 kN/m である。上部構造の重量は 39.5 kN であり、ウエイトの固有周期は 0.527sec となる。緩衝材は、図-2に示すように縦 20 mm×幅 40 mm の直方体の天然ゴムを用い、ゴム厚さを 10、15、20 mm と変えることにより、変位-荷重特性を変化させた。図-3は、ゴム単体の静的圧縮載荷試

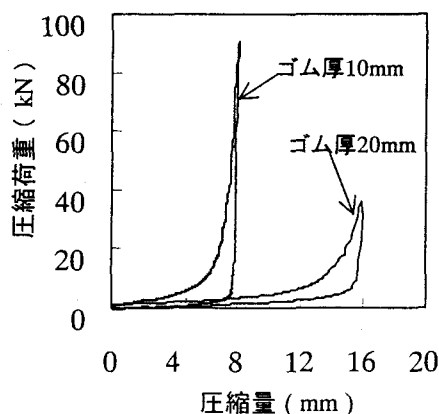


図-3 緩衝材の変位-荷重特性

験により得られた、ゴム厚 20mm とゴム厚 10mm の各緩衝材 2 個分に相当する変位－荷重特性を示している。

図より、ゴムの荷重－変位特性は、初期載荷時には圧縮量が増加しても荷重の増加は緩やかであるが、圧縮量がゴム厚さの 60% を超えると徐々に非線形性が強くなり、圧縮量の増加とともに荷重が指数関数的に増加するハードニングの現象を示すようになる。

また本実験においては、ウエイトと反力壁が緩衝材なしで衝突した場合の加速度あるいは反力壁に生じる衝撃荷重を評価するために、厚さが 1mm 程度のゴムシートを反力壁に取り付けた状態で衝突実験を行った。ウエイトと緩衝材との間隔は、10、15、20、25mm と変化させた。

振動台への入力波形としては、単純な正弦波の 1 波を用いた。表－1 に本実験に用いた波形の一覧を示す。測定項目としては、振動台の上部、ウエイトの上部および左右の反力壁の上部に加速度計を取り付け、各点に生じる加速度を記録した。緩衝材と反力壁の間には、荷重計を取り付けて反力壁に作用する荷重を記録し、レーザー変位計を用いてウエイトの変位量を測定した。

3. 実験結果

緩衝材を取り付けない状態で、正弦波を 1 波、振動台に入力し、その時のウエイトの応答変位量を測定した。表－1 にウエイトの最初の 1 周期における最大応答変位量を示す。次に緩衝材を取り付けた状態で、同じ波形を入力して緩衝材にウエイトを衝突させた。

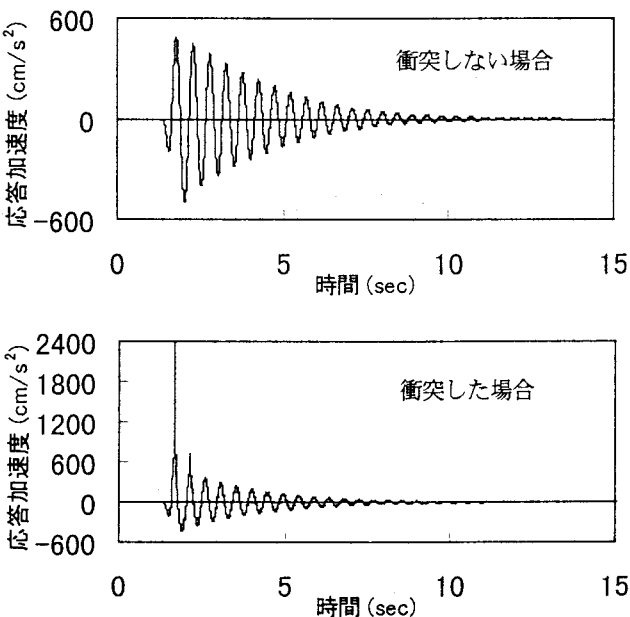
図－4 は、ウエイトが緩衝材に衝突しない場合と緩衝材に衝突した場合におけるウエイトの応答加速度を、時刻歴で示したものである。条件としては、ゴム厚さ 15mm、ウエイトと緩衝材との間隔は 10mm、入力波形 2 であるが、ウエイトと緩衝材が衝突することによりウエイトの応答加速度が 4 倍以上になっている。

図－5 は、本実験により得られた、衝突時におけるウエイトの最大加速度と反力壁の衝撃荷重との関係を各ゴム厚 t_r ごとに示したものである。横軸がウエイトの加速度を、縦軸が反力壁の衝撃荷重を示している。

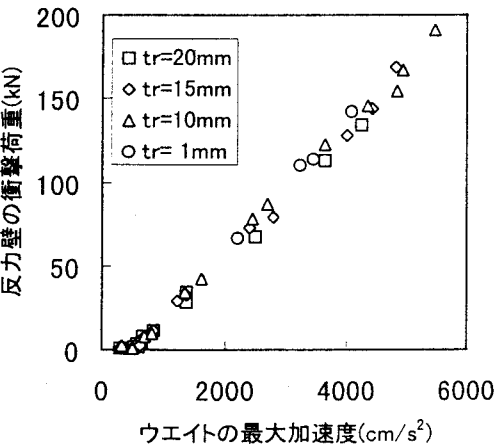
図より、衝突時におけるウエイトの最大加速度と反力壁の衝撃荷重は、ゴム厚 1、10、15、20mm のいずれの厚さにおいても同じ傾きを有する直線関係にあると言える。ウエイトの最大加速度を重力加速度 980cm/s^2

表－1 入力波形

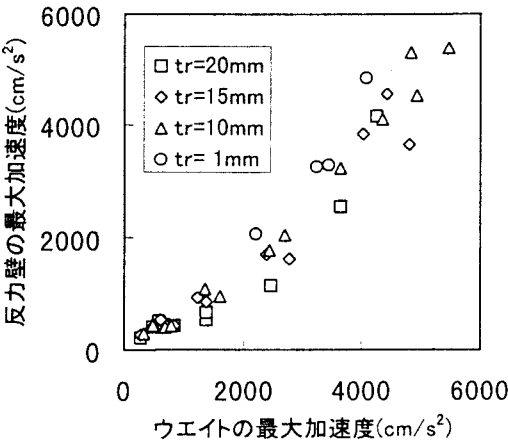
	波形	加振振動数 (Hz)	最大入力加速度 (cm/s^2)	最大応答変位量 (mm)
1	正弦波	3	105	13.0
2	正弦波	3	205	26.1
3	正弦波	3	245	31.0
4	正弦波	3	343	43.5



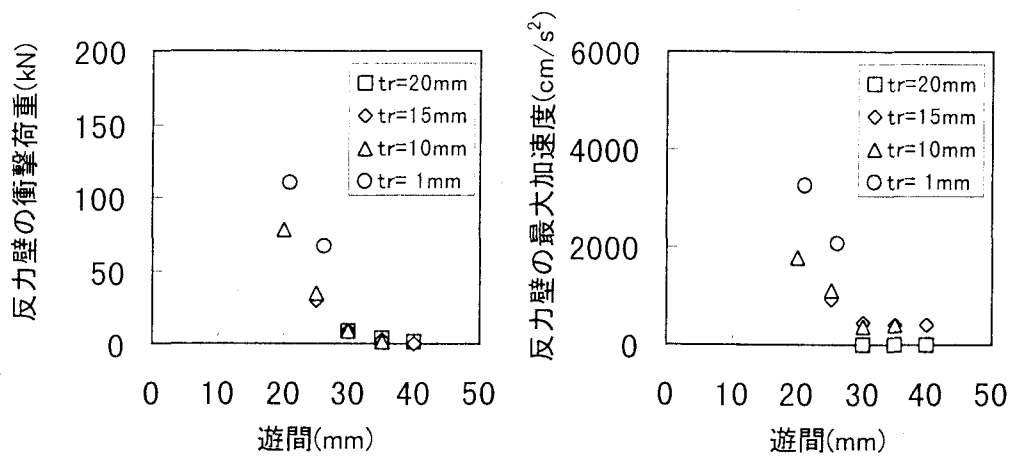
図－4 衝突しない場合と衝突した場合の応答加速度波形



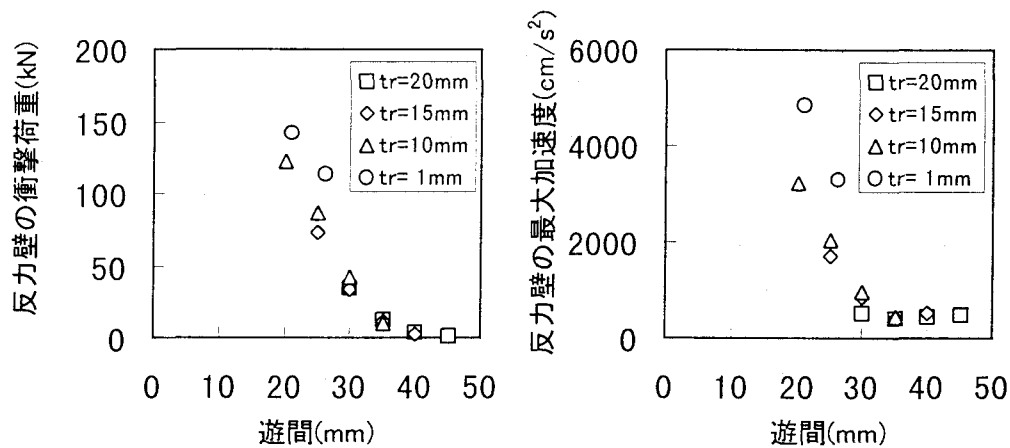
図－5 ウエイトの加速度と反力壁の衝撃荷重の関係



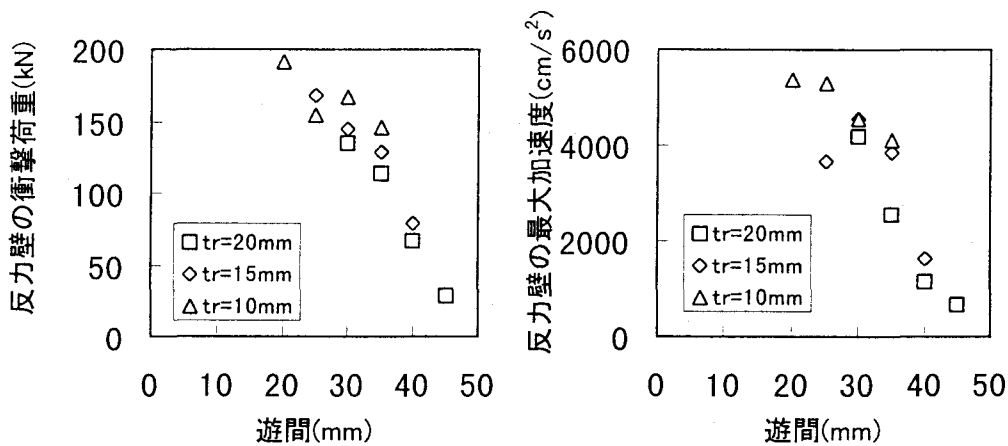
図－6 ウエイトの加速度と反力壁の加速度との関係



(a) 入力波形2 : ウエイトの最大応答変位 26.1 mm



(b) 入力波形3 : ウエイトの最大応答変位 31.0 mm



(c) 入力波形4 : ウエイトの最大応答変位 43.5 mm

図-7 遊間が反力壁の衝撃荷重および加速度におよぼす効果

で除し、反力壁の衝撃荷重との傾きを求めると 36.6 となる。この値は、ウエイトの重量 39.5kN にほぼ等しく、したがって反力壁には、ウエイトの質量 m_0 と衝突によって生じたウエイトの最大加速度 α とを掛け合わせた衝撃力 ($m_0 \times \alpha$) が、作用していることが分かる。

図-6 には、衝突時におけるウエイトの最大加速度

と反力壁で得られた最大加速度との関係を各ゴム厚 tr ごとにまとめて示している。横軸がウエイトの最大加速度を、縦軸が反力壁で得られた最大加速度を表しているが、図より、衝突によって生じたウエイトの最大加速度と反力壁の最大加速度は、ほぼ 1:1 の線を中心に分布している。しかし、ゴム厚 20mm とゴム厚 10mm の比較をすると、同じウエイトの最大加速度において

も、ゴム厚の厚いほうが反力壁の最大加速度が小さくなる傾向にあり、ゴム厚の厚いほうが反力壁の最大加速度の低減効果が大きいことを示している。図-7は、遊間の量と反力壁の衝撃荷重との関係および遊間の量と反力壁で得られた最大加速度との関係を各入力波形ごとにまとめて示したものである。ここで、遊間とはウエイトと反力壁との間の距離を示している。図-7(a)の入力波形2の場合に着目してみると、反力壁の衝撃荷重あるいは最大加速度が遊間量 30mm から急激に上昇している。これは、入力波形2の場合には、緩衝材がない場合におけるウエイトの最大応答変位量が 26.1mm であり、したがって遊間量が 30mm 程度より大きい場合には、ウエイトの最大応答変位時においても、ゴムの変位量はハードニング現象が生じる前になるため、ウエイトとの衝突による力が反力壁に伝わらないことになる。遊間が小さくなり、遊間量が 30mm を下回るようになると、ウエイトの応答変位により、ゴムの変位量がハードニング現象を示すような領域となり、ウエイトとの衝突による力が反力壁に大きく伝わるようになる。以上の状況を図-8に示す。また図-7(a)より、同じ遊間量でもゴム厚が 1mm の場合には、ゴム厚 10mm、15mm の場合に比較して反力壁の衝撃荷重、最大加速度がともに 2 倍程度の値になっており、緩衝材を用いることによって反力壁に作用する衝撃荷重あるいは衝突時の加速度を低減できることが分かる。

図-7(c)に着目し、反力壁の衝撃荷重あるいは最大加速度に及ぼすゴム厚の影響を見ると、反力壁の衝撃荷重については、ゴム厚さの厚いほうが低減効果が大きい。また、反力壁に生じる衝突時の最大加速度についても、ばらつきはあるがゴム厚さの厚いほうが低減効果が大きいことが分かる。

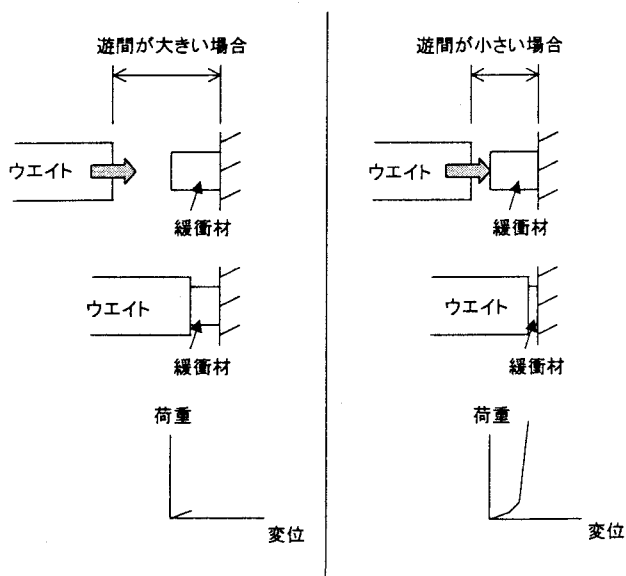


図-8 遊間量と緩衝材の変位-荷重特性の関係

衝突実験後に使用したゴムは、衝突面の中央部分がくぼんでいるのが観察された。これは、実験に用いたゴムは自由表面積が大きい直方体であるために、側面方向への拘束力が小さく、ウエイトから力を受けた場合にゴムが側面に大きく変形する。一方、衝突面はウエイトとの摩擦により変形が抑えられているため、衝突面の中央部分のゴムが引張られることにより、くぼみが生じるものと考えられる。このように、柔らかいゴムに対して過度に自由表面積を大きくすると、ゴムの変形量が大きくなる結果、ゴムの局部ひずみが大きくなり、破壊を生じる可能性も考えられる。したがって、緩衝材を用いる場合には、上部構造の重量と緩衝材の変位-荷重特性を考慮する必要があると考えられる。

4. 結論

緩衝材の力学的特性あるいは緩衝材と上部構造との間隔が、衝撃力および応答加速度の低減に及ぼす効果を把握することを目的として、振動台を用いた緩衝材の衝突実験を行った。本検討結果をまとめると、以下のようなになる。

- ① 上部構造に相当するウエイトとの衝突により反力壁に生じる衝撃荷重は、ウエイトの質量に衝突の際にウエイトに生じる最大加速度を掛けたものと等しく、また反力壁に生じる最大加速度は、ほぼウエイトに生じる最大加速度と等しい。
- ② ゴム製の緩衝材を用いることにより、衝突時に反力壁に作用する衝撃荷重あるいは加速度を低減できる。この場合、ゴム厚の厚いほうが衝突時における最大加速度や衝撃力を低減する効果が高い。今後は、解析的に緩衝材の変位-荷重特性を変化させ、衝撃力および応答加速度の低減に及ぼす効果を検討する必要があると考える。

参考文献

- 1) 窪田, 菅野, 飯東, 堀江: 制振効果を有する緩衝材を併設した落橋防止壁の一提案, 第1回免震・制振コロキウム講演論文集, pp. 217-224, 1996.11
- 2) 孫, 後藤: 免震橋用ダンパーストッパーの設計に関する提案, 第1回免震・制振コロキウム講演論文集, pp. 321-325, 1996.11
- 3) 庄司, 川島: 桁間衝突を低減するための緩衝装置の有効性, 第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 203-206, 1998.1
- 4) 庄司, 川島, 渡邊, 河野: 高面圧化におけるゴム製緩衝装置の地震時繰り返し圧縮特性, 第53回年次学術講演会講演概要集, pp. 320-321, 1998.10