

東海大学大学院 学生会員 ○鈴木 勝也
 東海大学大学院 学生会員 佐久間健一
 東海大学工学部 正会員 近藤 博

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、橋梁にも免震構造を採用する例が増えている。だが、これらの構造物は従来のものよりも振動しやすく、桁同士が衝突しやすくなるという問題が生じてきた。対策の一つとして、桁の間にゴム等の緩衝材を取り付け、衝突力や衝突エネルギーを緩和することが有効とされている。当然、従来の構造物にも、緩衝材を新たに設置することが有効であると考えられ、緩衝効果に関連した様々な研究¹⁾が各機関で実施されている。しかし、それらは試験方法等に問題があり、緩衝効果が正確に把握されていないようである。

本研究は、ゴム材と桁の問題を分離して検討する必要があるとの立場から、波動の特性を捉え易くするために非常に簡易な装置を用いて実験を行った。また、波の合成による問題を解明するため、2点ゲージ法²⁾を適用して桁間衝突の基礎的問題について検討を行ったものである。

2. 2点ゲージ法

時刻 t に、弾性棒の第1ゲージ点①と第2ゲージ点②を伝播する応力波は次式で与えられる。

$$\sigma(①, t) = \sigma_f(①, t) + \sigma_g(①, t) \cdots (1) \quad \sigma(②, t) = \sigma_f(②, t) + \sigma_g(②, t) \cdots (2)$$

ここで、 σ_f は前進波、 σ_g は後退波である。

棒体における任意の点 x の前進波、後退波および応力はそれぞれ次式で与えられる。

$$\sigma_f(x, t) = \sigma_f(①, t - T_{1x}) \cdots (3) \quad \sigma_g(x, t) = \sigma_g(②, t + T_{1x}) \cdots (4) \quad \sigma(x, t) = \sigma_f(x, t) + \sigma_g(x, t) \cdots (5)$$

ここで、 T_{1x} は応力波が第1ゲージ点①から任意の点 x まで伝播するのに必要な時間間隔である。

任意点の粒子速度 v は $\sigma = \rho \cdot c \cdot v$ の関係から次式となる。

$$v(x, t) = 1/\rho c \{\sigma_f(x, t) - \sigma_g(x, t)\} \quad (6)$$

また、衝突面($x=0$)に入射される波動エネルギー E は次式で定義される。

$$E(t) = \int_0^t \{\sigma(0, t) \cdot A \cdot v(0, t)\} dt \quad (7)$$

ここで、 A は棒体の断面積である。

3. 実験装置と実験概要

実験装置：実験は図-1に示すように、直径25mm、長さ100cmの被衝突体と、長さ30cmの衝突体（スチール製丸棒）を吊り下げ、衝突体を自由落下させることにより桁間衝突を再現した。被衝突体の衝突端から10cmと20cmの位置に2点ゲージ解析に利用する半導体ひずみゲージを添付してある。

ゴム緩衝材：ゴム緩衝材は硬度30と硬度50のウレタン素材を使用した。その静的圧縮試験結果を図-2に示す。両者の波動伝播速度はそれぞれ約180m/s、約330m/sである。

4. 実験結果と検討

試験装置の検証：図-3は、緩衝材なしで衝突体を速度140cm/sで衝突させたときのゲージ1での理論波形と測定波形を比較したものである。両者はよく一致しており、本装置により緩衝材による緩衝効果が高い精度で検討で

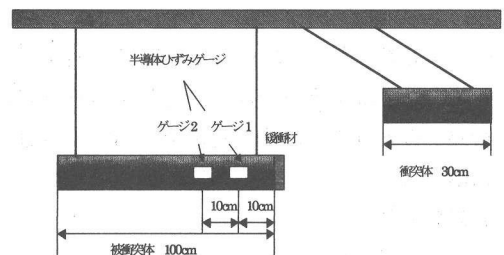


図-1 実験装置の概要

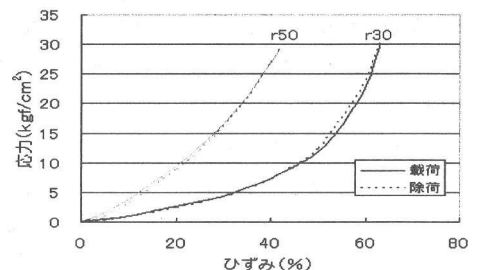


図-2 緩衝材の応力・ひずみ関係

きることがわかる。

測定波形の一例：図-4 は、硬度 30、厚さ 10mm の緩衝材を用い、衝突速度を 3 段階（80、110、140cm/s）と変化させて実験したときのゲージ 1 での測定波形である。図から、衝突速度が 140cm/s のときに、急激に発生応力が大きくなっているのがわかる。しかし、衝突速度 140cm/s での最大応力は、図-3 における緩衝材なしの場合の応力に比べると約 1/20 と非常に小さくなった。また、応力の持続時間は約 8msec で、緩衝材なしの場合と比べ約 67 倍と大きくなるとともに、衝突速度による差はほとんどないことがわかる。

ゲージ 1 での測定波形と打撃端応力：図-5 は、硬度 30、厚さ 10mm の緩衝材を用い、衝突速度 110cm/s で衝突させたときの、ゲージ 1 での測定応力と 2 点ゲージ法により算出した打撃端応力を比較して示したものである。両者はよく一致しており、緩衝材により衝突面での载荷時間が長くなることがわかる。また、この継続時間は緩衝材がない場合の約 67 倍となった。さらに、緩衝材の影響で被衝突体の打撃端は、波動的には自由端として挙動していることがわかる。これにより、式（7）を用いて入射波動エネルギーを計算しても誤差が小さいことがわかる。

入射エネルギーの比較：図-6 は、速度 110 cm/s で衝突させたときの、非衝突体への入射エネルギーを示したものである。緩衝材なしの場合には、図-3 の結果からも明らかなように、98%の入射率を示した。しかし、緩衝材が有る場合には図-4 の応力波形からも推測できるように、非常に小さな入射率となった。また、緩衝材の静的载荷試験結果から推定できるように、硬度 50 の方が硬度 30 に比べ入射率が大きくなった。また、速度が 140cm/s になると、硬度 30、厚さ 10mm の場合で入射率 6.0% となった。今回は、被衝突体に比べて衝突体の長さが小さくなっているが、実際の橋脚では同質量の構造物同士による衝突の方が多いため、衝突体の質量を被衝突体にそろえれば、入射エネルギー率が上昇することが考えられる。

5. まとめ

桁間衝突におけるゴム緩衝材の緩衝効果についての基礎的な実験を行い、次のことが明らかになった。

1. ゴム緩衝材の緩衝効果が非常に大きい。
2. 桁間衝突における、ゴム緩衝材の緩衝効果を入射エネルギーで判断するためには、非常に長い被衝突体を用いる必要がある。しかし、ゴム緩衝材により衝突端面がほぼ自由端として挙動するため、小さな模型で緩衝効果が検討できる。

今後、衝突体を長くした実験を行うとともに、これらの現象のモデル化に努力したい。

参考文献

- 1) 例えば、金光明、梶田幸秀、西本安志、石川信隆：積層繊維補強ゴムを用いた桁間衝突に関する実験的研究、平第 28 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 66-67, 2000
- 2) 柳原直人：一次元弾性応力破壊論による衝撃力測定法、日本機械学会論文集, 第 43 巻, pp. 374-376, 1977

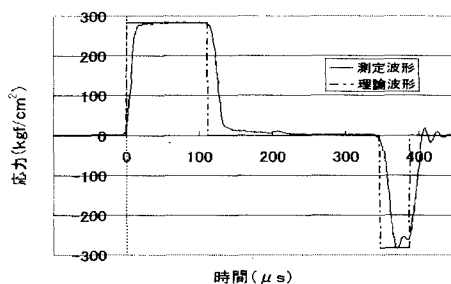


図-3 理論波形と測定

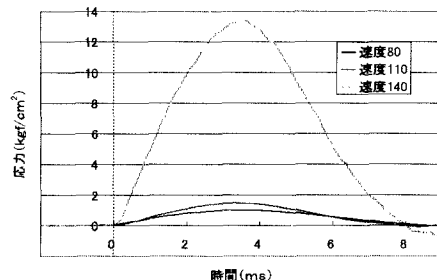


図-4 測定波形の例

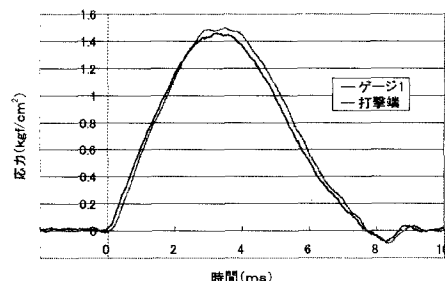


図-5 第 1 ゲージと先端応力の比較

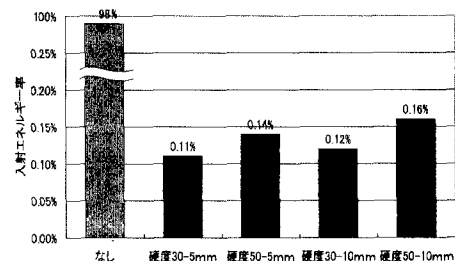


図-6 入射エネルギー率