

質点バネモデルによるくさび型ゴム緩衝装置の衝撃応答解析

防衛大学校	建設環境工学科	○学生会員	石橋	和佳
防衛大学校	建設環境工学科	学生会員	澁谷	一
防衛大学校	建設環境工学科	正会員	香月	智
株式会社エイト日本技術開発		正会員	広瀬	彰則
株式会社ビービーエム		正会員	田中	健司

1. 緒 言

大地震下の衝撃的応答に対する緩衝装置として、建設コスト削減の観点からゴム材の圧縮特性で緩衝するゴム製緩衝装置を使用する研究が進んでいる¹⁾。このような中で、特に橋梁の支承として積層ゴムを用いた衝撃力緩衝装置が数多く提案されている²⁾。本研究では、くさび型ゴム緩衝装置を提案し、その急速載荷実験および重錘落下実験について解析を実施し、その衝撃応答メカニズムについて基礎的に検討するものである。

2. 解析モデル

図-1, 2 に本解析で用いた解析モデルを示す. 急速載荷実験では緩衝装置を 2 質点バネモデル, 重錘落下衝突実験では, 4 質点バネモデルを用いた. なお, 解析パラメータについては, 実際の実験時に用いた器材の材質等の値を直接用いた. 細部は既報³⁾の通りである.

3 急速载荷実験の解析

緩衝装置の積層ゴムをモデル化した要素 1 の剛性を、静的載荷試験から得られたものと同じにした場合、載荷部（要素 2）の荷重と質点 1 の変位の関係が実験値よりも小さくなり、実験結果を再現することができなかった。これは、積層ゴムのひずみ速度効果の影響が考えられる。よって、要素 1 のヤング率 E_1 に、静的載荷試験から得られたヤング率を 1.6 倍にするものとした。これは、積層ゴムはひずみ速度効果を受けないと言われている²⁾が、本解析で対象としている緩衝装置では、積層ゴムが装置内に組み込まれていることで、ひずみ速度効果が影響したものと考えられる。

図-3, 4 に, 解析結果の要素 2 の軸力と質点 1 の変位関係を実験結果と比較して示す. なお, 図-3 は載荷速度 0.5m/s, 図-4 は載荷速度 1.5m/s の結果である. また, 実験結果の縦軸は, 載荷装置上部に設置された 1000kN ロードセルの計測荷重であり, 横軸は緩衝装置の受圧板の垂直変位である.

図-3 より、質点 1 の変位が 5mm および 27mm 付近における軸力の値が実験値よりも約 25kN 大きくなっているものの、全体の挙動を概ね再現できていることがわかる。

また、図-4より、質点1の変位が4mm以下では、解析値が実験値よりも50kN小さく、質点1の変位が15mm～32mmの間においては、解析値が実験値よりも最大で40kN大きくなっている。さらに、質点1の変位が37mm付近において、実験値が解析値よりも150kNも大きくなっており、ピーク荷重の再現性は低いものの、全体の挙動として、概ねその傾向を捉えている。

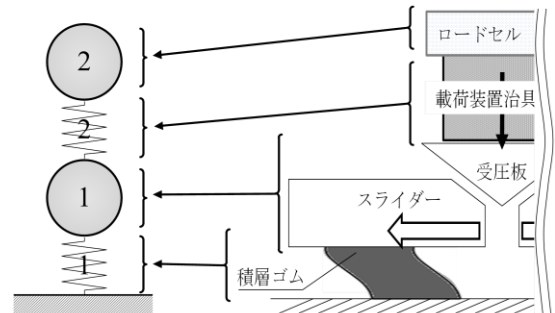


図-1 解析モデル（急速載荷実験）

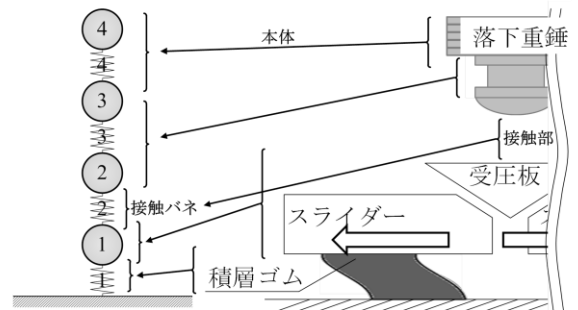


図-2 解析モデル（重錘落下衝突実験）

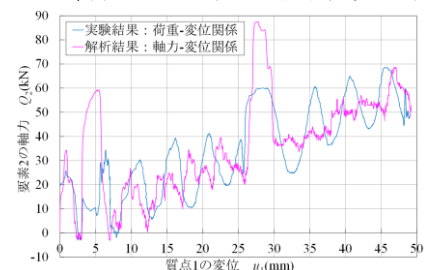


図-3 軸力 Q_2 —変位 u_1 関係(載荷速度 0.5m/s)

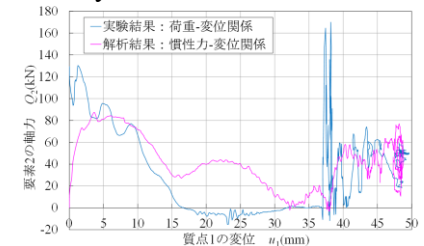


図-4 軸力 Q_2 —変位 u_1 関係(載荷速度 1.5m/s)

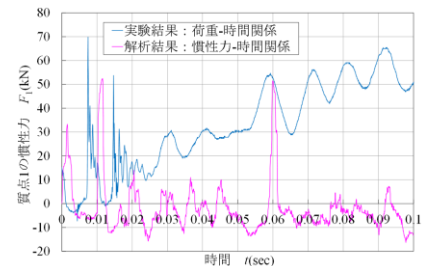


図-5 慣性力 F_i —時間 t 関係(載荷速度 0.5m/s)

キーワード：衝撃応答解析，慣性力，くさび型ゴム緩衝装置，急速載荷実験，重錘落下衝突実験

連絡先 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL: 046-841-3810 FAX: 046-844-5913

図-5, 6 に, 載荷速度 0.5m/s および 1.5m/s における, 質点 1 の慣性力の時刻歴と, 実験で得られる重錘衝撃力と時間の関係を比較して示す. これより, 実験と解析の双方において, 運動開始後に大きなピーク荷重が生じていることがわかる. この原因として, 緩衝装置の受圧板の慣性力の影響が考えられる. ここで, 解析で得られる加速度を用いて慣性力の影響について考察する.

$$F_1 = m_1 \alpha_1 \quad (1)$$

ここで, F_1 : 質点 1 の慣性力 ($=Q_2-Q_1$), m_1 : 受圧板 (質点 1) の質量(175kg), α_1 : 受圧板 (質点 1) の加速度である.

図-5 より, 載荷速度 0.5m/s の場合, 実験結果で荷重のピークが生じるのは, $t=2.5\text{ms}$ 付近である. 一方, 緩衝装置の受圧板 (質点 1) に生起する慣性力 F_1 と比較すると, 大きな慣性力が働く付近において, 実験の荷重も大きな値を示していることがわかる. すなわち, 運動開始直後に生起する荷重のピーク値は慣性力の影響と考えられる. 同様に載荷速度 1.5m/s の場合も解析の $t=2\text{ms}$ 付近で大きな慣性力が生じているのに対し, 実験でも大きなピーク荷重が表れている.

4 重錘落下衝突実験の解析

図-7, 8 に解析結果の要素 3 の軸力と質点 1 の変位の関係を実験結果と比較して示す. なお, 図-7 は落下高さ 8cm, 図-8 は落下高さ 55cm の結果である. また, 実験結果の縦軸は落下重錘に取り付けた重錘ロードセルで計測した重錘衝撃力, 横軸はレーザー式変位計で計測した緩衝装置の受圧板の垂直変位である. これより, 最大荷重について, 解析値が実験値よりも少し大きくなるが, 全体の挙動については, 概ねその傾向を捉えている.

図-9, 10 に, 落下高さ 8cm および 55cm における質点 1 の慣性力の時刻歴を, 実験で得られた重錘衝撃力の時刻歴と比較して示す. これより, 実験結果において, 重錘衝撃力のピークが生じる時間のずれがあるものの, 概ね 8cm 以下の重錘衝撃力の大半がくさび部分の慣性力応答に支配されていることがわかる.

5. 結 言

本研究の成果をまとめると以下ようになる.

- 1) くさび型ゴム緩衝装置モデルを適切に表現することにより, 高速載荷実験および重錘落下衝突実験時の複雑な応答挙動を概ね再現できた.
- 2) 実験で計測した運動直後の衝撃荷重の急激な増加は, 緩衝装置受圧板の慣性力の影響であることを確認した.

参考文献

- 1) 西本安志, 梶田幸秀, 石川信隆, 西川信二郎: 落橋防止システム用緩衝材としての積層繊維補強ゴムの動的特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.1865-1874, 2000.3

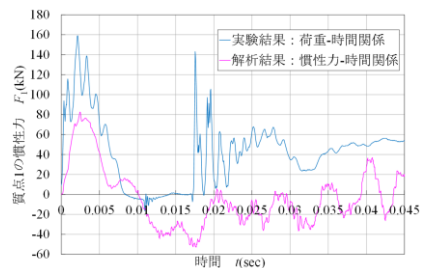


図-6 慣性力 F_1 —時間 t 関係(載荷速度 1.5m/s)

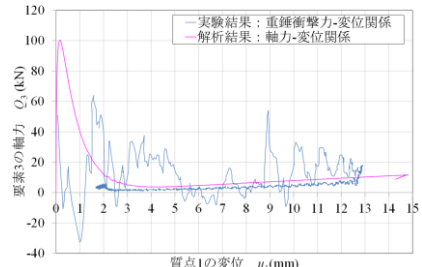


図-7 軸力 Q_3 —変位 u_1 関係(落下高さ 8cm)

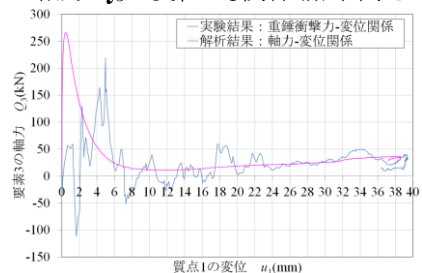


図-8 軸力 Q_3 —変位 u_1 関係(落下高さ 55cm)



図-9 慣性力 F_1 —時間 t 関係(落下高さ 8cm)

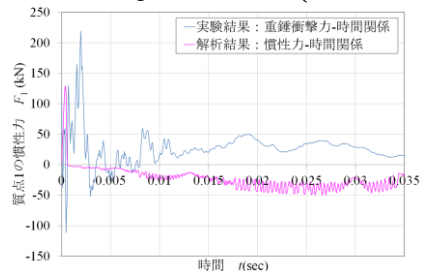


図-10 慣性力 F_1 —時間 t 関係(落下高さ 55cm)

- 2) 金治英貞, 鈴木直人, 家村浩和, 高橋良和, 美濃智広, 高田佳彦: 底摩擦型すべり支承の面圧・速度依存性検証と床組免震構造の設計モデル構築, 土木学会論文集 A, Vol.62, No.4, pp.754-771, 2006.10
- 3) 石橋和佳, 片出亮, 香月智, 廣瀬彰則, 田中健司: クサビ型ダンパーの衝撃実験, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1095-1104, 2011.3