

鋼角柱の衝突実験のシミュレーション解析

九州大学 学生員 坂口和弘
正会員 ○梶田幸秀
フェロー 大塚久哲

1. 目的

筆者らは桁間衝突時に桁端部に作用する最大衝撃力を推定するため鋼角柱の衝突実験を行い、その実験結果を基に最大衝撃力の推定式の作成を行った^{1),2)}。提案した推定式の妥当性の向上および実橋梁への発展を目的とし、汎用有限要素法 (LS-DYNA) を用いて鋼角柱の衝突実験のシミュレーション解析を行った。

2. 鋼角柱の衝突実験の概略

衝突実験は図-1に示すとおり、2つの鋼材を圧縮空気力で浮上させ、ガイドレール上を水平方向にはほとんど摩擦力なしで移動できる状態で行った。初速度を与えた鋼材を衝突鋼材、もう一方の鋼材を被衝突鋼材と呼び、緩衝材(矩形の天然ゴム)を被衝突鋼材の前面に取り付けている。詳細な実験の概略については文献1)を参照していただきたい。

3. 緩衝材の静的载荷シミュレーション

衝突実験のシミュレーション解析を行う前にゴム製緩衝材の静的载荷シミュレーションを行った。この理由は、ゴムの解析を行うにあたり、ゴムの構成則、接触面での摩擦係数、そして接触面のモデル化を確認するためである。緩衝材の大きさは载荷面が 40mm × 40mm の正方形で载荷方向の長さが 10mm である。対称性を利用し、4分の1モデルを 1mm 立方の solid 要素で分割した。要素分割図を図-2に示す。要素数は4000、節点数は4851である。载荷方法としては、ゴム製緩衝材を剛板ではさみ、下部の剛板は固定、上部の剛板に強制変位を与えて荷重～変位関係を得た。ゴムの構成則としては、Ogden-Rubberモデルを用いた。なお剛板とゴム製緩衝材の間に働く摩擦係数はパラメトリックに変化させた。その結果を図-3に示す。これより、摩擦係数が大きくなると荷重～変位関係も大きくなり、図-4に示すとおり摩擦係数0.05の時が最も近い値になった。また、いずれのケースでも圧縮変位が5.7mm程度で要素形状がいびつになり、解析が強制終了することが確認された。

4. 衝突実験のシミュレーション解析

続いて、衝突実験のシミュレーション解析を行った。衝突鋼材、被衝突鋼材はゴムとの接触面がゴムの分割と同じになるように要素分割を行い、緩衝材は1要素の大きさが1mm × 2mm × 2mm となるよう分割した。ゴムの要素数は 1000、節点数は 1331で、鋼材の要素数は 4080、節点数は 5288 となっている。鋼材は弾性体とし、ゴム製緩衝材については静的載

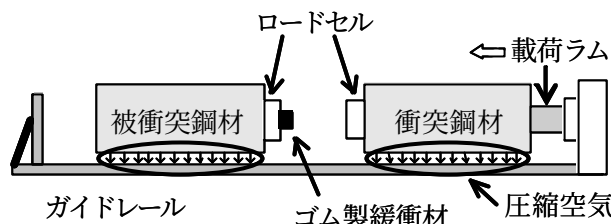


図-1 実験装置の概要図

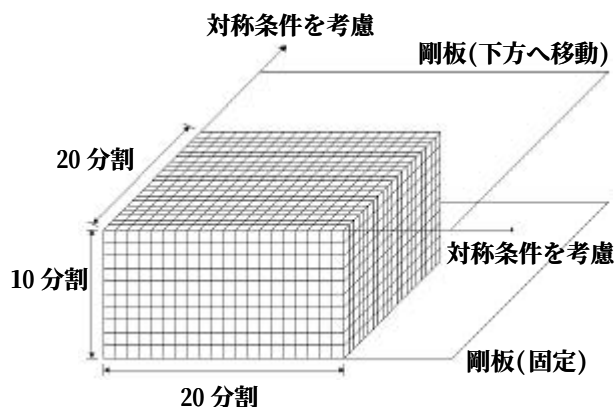


図-2 静的载荷モデル

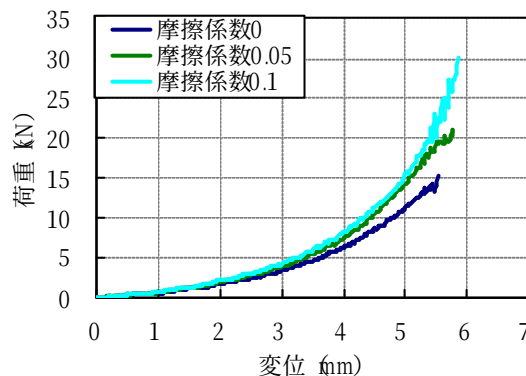


図-3 摩擦係数の違いによる荷重～変位関係

表-1 ゴムの最大圧縮変位量(実験値)

衝突速度(m/s)	最大圧縮変位量(mm)
0.34	2.6
0.68	4.9
0.85	5.7
1.2	5.9
1.7	8.0

キーワード：最大衝撃力、衝突速度、ゴム製緩衝材、有限要素法

連絡先：福岡市東区箱崎6-10-1, 九州大学大学院工学研究院 建設デザイン部門

TEL 092-642-3267

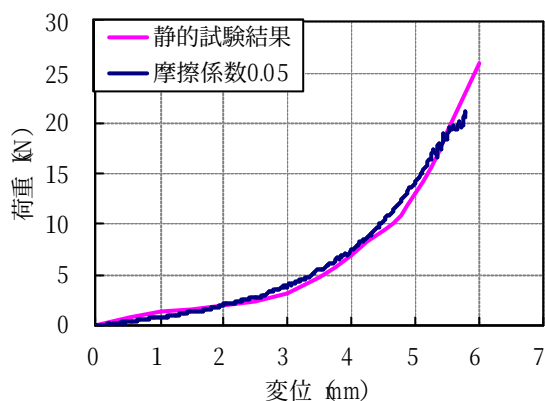
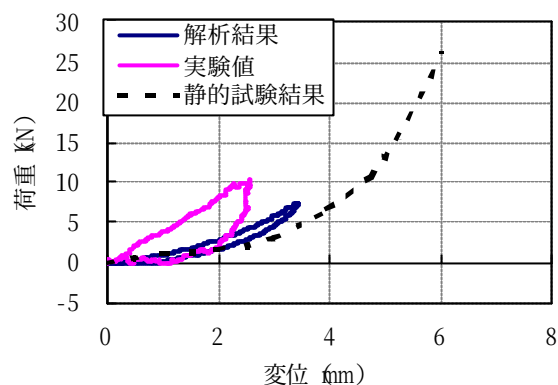


図-4 摩擦係数0.05の解析結果と静的試験結果の比較

図-5 荷重-変位関係
(衝突速度=0.34m/s)

荷シミュレーションと同じOgden-Rubberモデルを用いた。実験と同じく衝突鋼材の全節点に所定の初速度を与え、衝突面に作用する荷重とゴム製緩衝材の変形量の関係を求めた。時刻は応力波が1つの要素を通過する時間の0.6倍より小さい時間で行っている。その結果を図-5～図-7に示す。まず、シミュレーション解析では初速度0.85m/sを超えると圧縮中の要素の形状がいびつになり最大圧縮を迎える前に計算が強制終了した。この理由として、表-1に示すとおり、実験におけるゴム製緩衝材の最大圧縮変位量は衝突速度が0.85m/sを超えると5.7mmを超えており、衝突速度1m/sを超えるような実験結果をシミュレーションするには何らかの工夫が必要と考えられる。図-5～図-7の初速度0.85m/s以下では、実験結果と解析結果の最大衝撃力を比較するとほぼ一致しているが、剛性が約2倍程度異なっている。これはゴムのひずみ速度効果が十分に考慮できていないためと考えられる。また、鋼材の衝突前後の速度の関係を図-8に示す。これより実験と解析では値が異なっていることがわかる。これは、図-5～図-7に示すとおり実験ではゴムの最大圧縮後、荷重が急激に減少し、ゴムがエネルギーを吸収しているが、解析ではゴムによるエネルギー吸収が見られないためである。

5. まとめ

衝突実験のシミュレーション解析により、ゴム製緩衝材の圧縮ひずみが40%程度までなら解析可能であり、最大衝撃力の値はほぼ推定できるが、ゴム製緩衝材の剛性が異なっており、ゴム製緩衝材のひずみ速度効果の考慮や高ひずみ領域での解析手法の開発および荷重除荷時のモデル化が今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 梶田幸秀, 北原武嗣, 西本安志, 香月智: エアフローティング装置を用いたゴム製緩衝材の桁間衝突実験, 土木学会地震工学論文集, 論文 No.316(CD-ROM), 2003.
- 2) 梶田幸秀, 北原武嗣, 西本安志, 大塚久哲: 鋼材衝突実験におけるゴム製緩衝材に作用する最大衝撃力の推定式, 構造工学論文集 Vol.52A, pp.557-564, 2006.3.

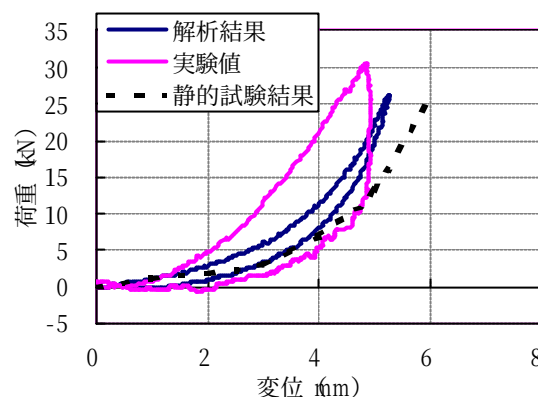
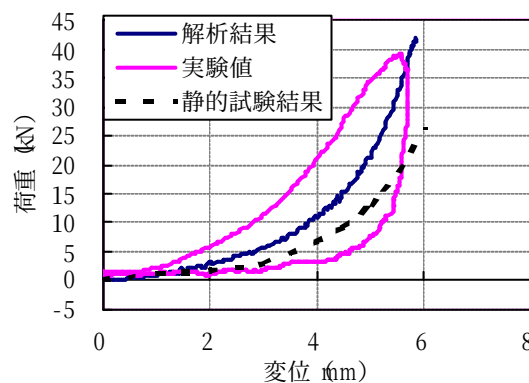
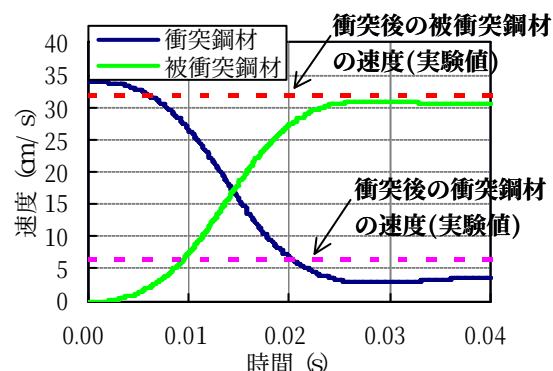
図-6 荷重-変位関係
(衝突速度=0.68m/s)図-7 荷重-変位関係
(衝突速度=0.85m/s)

図-8 衝突前後の鋼材の速度(衝突速度=0.34m/s)