

の異なる3種類の試験体に対し行ったものであるが、実物大実験が困難である更に大きなサイズの装置に関しても、同様の衝撃緩衝効果や最大衝撃力の傾向が得られるかを確認し、また本実験では考慮していない緩衝材の厚さや体積の影響を評価する為には、数値解析による検討が不可欠であると考えられる。

3. 数値解析による衝撃緩衝特性の検証

本解析では、ゴムを超弾性体と仮定し、構成則に用いるひずみエネルギー密度関数には、圧縮-引張領域におけるS字状の応力-ひずみ特性を高い精度で表現するために以下のMooney-Rivlin式 (Signiorini形式) を採用した。

$$W = c_{10}(I_1 - 3) + c_{01}(I_2 - 3) + c_{20}(I_1 - 3)^2 \quad (1)$$

ここに、 W はひずみエネルギー密度関数(MPa), c_{10}, c_{01}, c_{20} はMooney-Rivlin定数(MPa), I_1, I_2 は1次および2次の主伸張比の不変量を表わす。Mooney-Rivlin定数はダンベル型試験片による引張試験結果とシリンダー型試験片による圧縮試験結果を用いカーブフィットすることで算定した (表-3)。解析対象は衝撃実験で用いたピン定着型落防であり、3次元有限要素を用いて忠実にモデル化した (図-5)。解析モデルは力学的対称性を考慮して1/2部をモデル化しており、8積分点を有するソリッド要素を用いた。部材間の接触モデルにおいては、主軸ピンとナット間、回転枠とゴムプレート間、ゴムプレートと重錘間には完全付着を仮定し、それ以外の部材間には接触・離反を伴う状態を仮定している。境界条件に関しては、ロードセルを剛体としてモデル化し実験と同様の位置に設置しており、重錘の全節点に落下高さを換算した衝突速度を初速度として与えた。緩衝材要素は密度 $1.2(\text{g}/\text{cm}^3)$ を有する超弾性体とし、それ以外の鋼材要素はヤング率 $2.1 \times 10^5(\text{MPa})$, ポアソン比0.3, 密度 $7.85(\text{g}/\text{cm}^3)$ を有する弾性体とした。また、本解析ではゴムと鋼材の摩擦にはクーロン摩擦モデルを導入し、静止摩擦係数0.5を仮定した。

図-6に実験ケースのN730-有-55における重錘落下高さを H_Y (260mm) とした場合の衝撃力応答を実験結果と比較して示す。これより、初期勾配、最大衝撃力ならびに衝撃力継続時間は実験結果と概ね一致していることが確認された。よってケーブルの降伏荷重と同程度の入力条件下では、本解析手法で実験結果を概ね再現できることが認められた。更に、実験と同様に H_Y までの各入力エネルギーにおいて実施した解析結果から入力エネルギーと最大伝達衝撃力の関係を算定し、実験結果と比較した (図-7) と、本解析手法を用いて入力エネルギーと最大衝撃力関係を概ね表現でき、設計の指標として用いることができる可能性を確認した。

4. 結言

- (1) サイズの異なる3種類のピン定着型落防に対する衝撃実験結果より、ケーブルが降伏するレベルの荷重下において、最大衝撃力低減率は約86~91%であり、ほぼ一定の低減率を有する事が確認された。
- (2) 超弾性体を仮定したゴム構成則を用いたFE解析により、衝撃力応答波形と最大衝撃力-入力エネルギー関係を概ね再現できることが示された。今後、緩衝材の寸法や、装置のサイズ等をパラメータとして数値解析を行い、それらの衝撃緩衝効果を定量的に明確にする事が課題である。

参考文献 1) 宇野まり子, 玉井宏樹, 園田佳巨, 和田直樹, 結城洋一: ピン定着型ケーブル式落橋防止構造の衝撃緩衝特性に関する基礎的検討, 土木学会西部支部 研究発表会講演概要集, I-001, 2013.

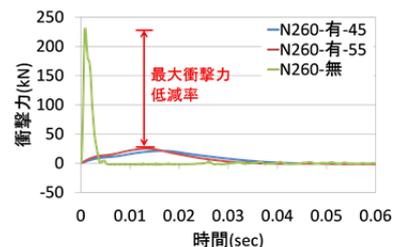


図-3 衝撃力応答比較

表-2 最大衝撃力低減率

試験体	最大衝撃力(kN)	最大衝撃力低減率(%)
N260-有-45	21.3	90.8
N260-有-55	25.0	89.2
N730-有-45	55.9	90.9
N730-有-55	68.3	88.8
N1300-有-45	135.8	87.6
N1300-有-55	155.0	85.8

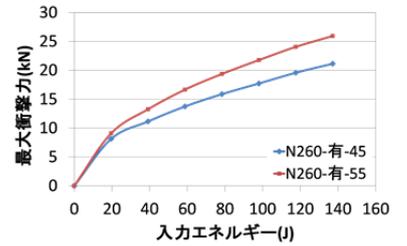


図-4 最大衝撃力の算定

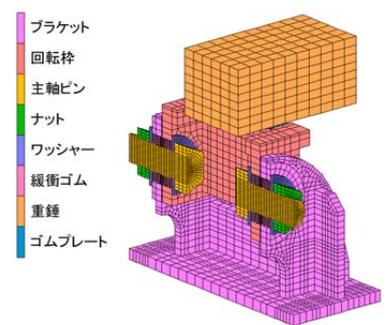


図-5 解析モデル (N730)

表-3 Mooney-Rivlin 定数

緩衝ゴム硬度	Mooney-Rivlin定数		
	C_{10}	C_{01}	C_{20}
45度	0.229185	0.145213	0.00757827
55度	0.345591	0.330206	0.00937185

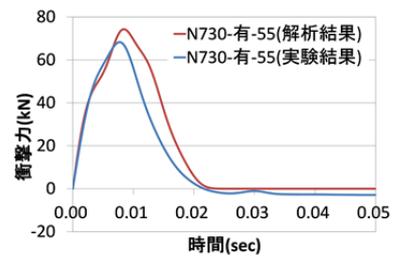


図-6 解析と実験の衝撃力応答比較

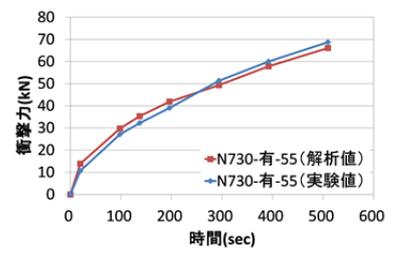


図-7 最大衝撃力-入力エネルギー