

積層繊維ゴム緩衝ピンを有する落橋防止連結板の静的および動的解析

九州大学 学生員 穴水 宏和

九州大学 正会員 園田 佳巨

九州大学 正会員 彦坂 熙

シバタ工業株式会社 正会員 生駒 信康

1. 序論

兵庫県南部地震での多数の落橋事故により、落橋防止装置の見直し¹⁾が行われたが、既設の橋梁には様々な物理的制約のため大規模な補修が困難であり、既存の連結板をベースとした補強が必要である場合も多い。そこで、本研究では、衝撃緩衝特性に優れることが実験的に認められているゴム緩衝ピンの力学特性を解析的に評価することを目的とし、その基礎的段階として積層繊維ゴムが健全な弾性範囲における静的および動的解析を試みた。

2. 解析手法の概要

(1) ゴムのモデル化

ゴムの力学モデルとしては、Mooney-Rivlin 等のひずみエネルギー密度関数を用いた超弾性体²⁾がよく知られており、その有用性についても実証されている。したがって、本研究においてもゴムを超弾性体として取り扱う。超弾性体の構成式は以下の式で与えられる。

$$\sigma_i = 2\lambda_i \left[\frac{\partial W}{\partial \lambda_1} + (\lambda_j^2 + \lambda_k^2) \frac{\partial W}{\partial \lambda_2} + \lambda_j^2 \lambda_k^2 \frac{\partial W}{\partial \lambda_3} \right] \quad (1)$$

ただし、 λ_i =(变形後の長さ)/(变形前の長さ)= $1+\varepsilon_i$ 、

σ_i : 变形前の面積を基準とした公称応力

I_1, I_2, I_3 : 主伸長比 λ_i と関連付けられる右 Cauchy-Green

変形テンソルの 3 不変量

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2, I_2 = (\lambda_1 \lambda_2)^2 + (\lambda_2 \lambda_3)^2 + (\lambda_3 \lambda_1)^2,$$

$$I_3 = (\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3)^2$$

式(1)を実際に用いるためには W の 3 つの不変量に関する偏導関数 $\partial W / \partial \lambda_i$ が既知でなければならない。そこで、本解析では以下に示すような W の式を仮定し、材料試験で得られる応力-伸長比の関係を再現できるように定数の決定を試みた。

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) \quad (2)$$

図-1 にゴム緩衝ピンに用いる積層繊維ゴムの内部構造を示す。本研究で用いた積層繊維ゴムは図-2 の実線に示すような繊維が破断しない 30%程度のひずみ域であれば、ゴム特有の大きな非線形弾性域を有する超弾性体としての特性を失っていない。したがって、繊維ゴスを均質な超弾性体と仮定し、図-2 の実線に示す単軸引張試験に対する同定計算を行い、 $C_{10}=71.94, C_{01}=2.110, C_{11}=1767.0$ の 3 つの材料定数を求めた。

(2) 落橋防止連結板のモデル化

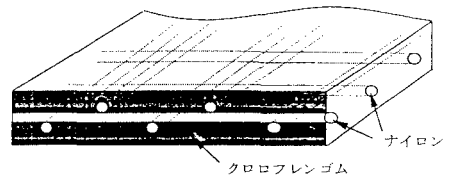


図-1 積層繊維ゴムの内部構造

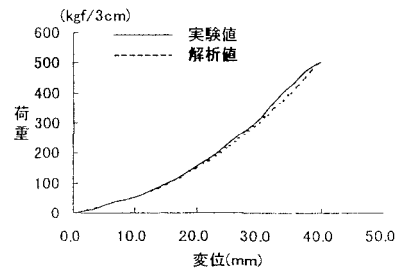


図-2 積層繊維ゴムの同定状況

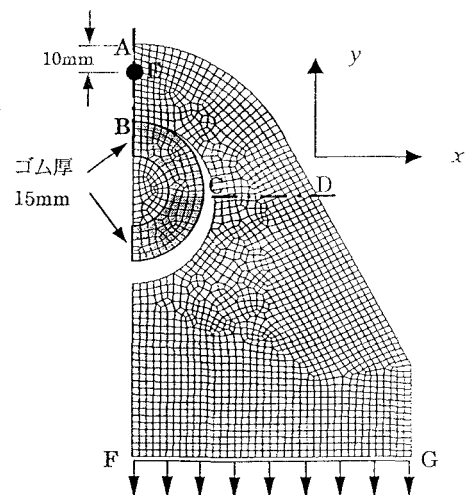


図-3 連結板解析モデル

本解析では、図-3 に示すように対称性を考慮して連結板の半分だけをモデル化し、ピン径 60mm の鋼製ピンと、ピン径 30mm の鋼製ピンの周りに厚さ 15mm の積層ゴムを巻き付けたものの 2 種類を用いた解析を行った。

(3)解析手法

図-3 において、対称軸上の水平変位およびピン中心節点の鉛直変位を拘束し、平面応力状態を仮定した計算を行った。静的解析では、図-3 の FG 辺に鉛直下向きに等分布荷重を与え、動的解析では、連結板モデル最下端要素に重錘重量 100kgf に相当する付加重量を等分布に加え、最下端節点に衝突時の重錘速度 140cm/s(重錘落下高さ 10cm 相当)を初速度として与え、解析を行った。

3.解析結果および考察

(1)静的解析結果および考察

図-4 にゴム緩衝ピンの弾性範囲における荷重-変位関係を示す。この図より、荷重が大きくなるにつれて計算値は変位を小さめに評価する傾向があり、ゴムの破断荷重に近い 5tf において 10%程度の差がみられることが分かる。図-5 は、図-3 の A-B 断面における半径方向応力を、鋼製ピンとゴム緩衝ピンとで比較したものである。この図より、ゴム緩衝ピンがピン支圧直下の B 点において支圧応力を約 30%低減しているが、これは過去に行った実験結果とよく一致しており、本解析で弾性域におけるゴムの緩衝効果を評価可能であることが認められた。

(2)動的解析結果および考察

図-6 および図-7 は、2 種類のピンを用いた場合の E 点(図-3 参照)における半径方向ひずみを実験値と計算値で比較したものである。この図より、両者ともに最大応答ひずみをうまく再現していることが分かる。また、ゴム緩衝ピンが鋼製ピンに比べて半径方向ひずみを約 1/4 に低減可能であることが数値計算からも認められた。以上のことから、ゴムの単軸引張試験データをもとに材料定数を決定し、超弾性体としてモデル化することで積層繊維ゴム緩衝ピンを有する落橋防止連結板の静的および動的挙動を解析的に把握可能であることが認められた。

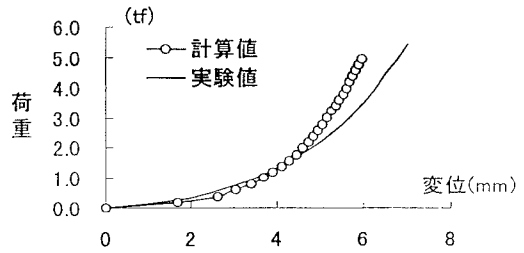


図-4 ゴム緩衝ピンの荷重-変位関係

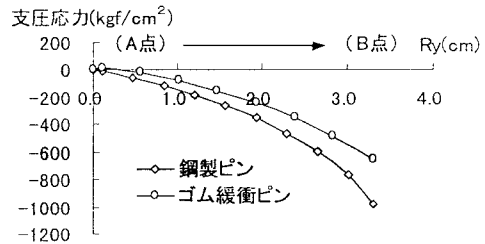


図-5 連結板内応力分布の比較

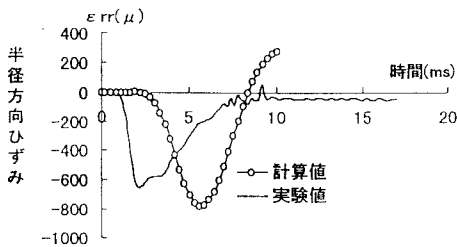


図-6 鋼製ピン使用時の連結板応答ひずみ

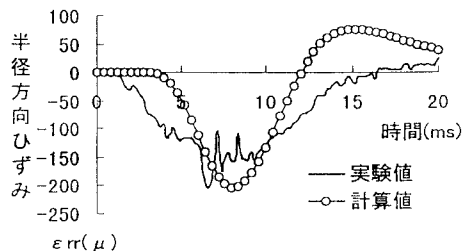


図-7 ゴム緩衝ピン使用時の連結板応答ひずみ

参考文献:1)西川和廣、神田昌幸:道路橋の支承部構造および落橋防止システムの今後の方向、橋梁と基礎、pp163-167,1996.8

2)J.T.Oden 著、山田嘉昭訳:非線形連続体の有限要素法 1,2,培風館、昭和 54 年