

# 鉄道橋用積層ゴム支承の鉛直荷重支持性能に関する設計・品質管理手法の現状整理

オイレス工業(株)  
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
 オイレス工業(株)

正会員 ○小南 雄一郎  
 正会員 南 邦明  
 正会員 横山 秀喜  
 非会員 増田 耕一

## 1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説鋼・合成構造物<sup>1)</sup>では、鉄道橋用積層ゴム支承の鉛直荷重支持性能に関する品質管理は、積層ゴム支承の最大圧縮応力度からその1/3の応力度の範囲内で圧縮ばね定数実測値が設計値に対して±30%以内であることを確認するよう規定している。整備新幹線向け基準では鉄道橋ゴム支承に関しては最大設計反力から設計死荷重反力までの範囲内で圧縮ばね定数実測値が設計値に対して±20%以内であることを確認するよう規定している。一方で、走行安全性の指標となる輪重減少率に影響を及ぼす主要因は鉛直変位量であるとされているため<sup>2)</sup>、鉛直変位量を管理することで、積層ゴム支承の鉛直荷重支持性能が走行安全性に及ぼす影響を判断可能な品質管理が実現できると考えられる。

このことから本研究では鉄道橋用積層ゴム支承の鉛直荷重支持性能に関して、鉛直変位量を管理項目とする品質管理手法の適用性と設計上の課題解決について検討する。今回は現状の整理と課題の抽出を実施した。

## 2. 鉄道橋用積層ゴム支承の鉛直荷重支持性能に関する設計・品質管理の現状

### 2-1. 積層ゴム支承の圧縮ばね定数設計式

圧縮ばね定数の設計式<sup>1)</sup>を式2-1に示す。

$$K_{c1} = \frac{E_{\infty} \cdot 5 \cdot G \cdot K_s^2}{E_{\infty} + 5 \cdot G \cdot K_s^2} \cdot \frac{A_r}{\Sigma t_e} \quad \text{式 2-1}$$

$K_{c1}$  : 圧縮ばね定数(N/mm)  $E_{\infty}$  : 体積弾性率(N/mm<sup>2</sup>)

$G$  : せん断弾性率(N/mm)  $K_s$  : 一次形状係数

$A_r$  : ゴム断面積(mm<sup>2</sup>)  $\Sigma t_e$  : ゴム層総厚さ(mm)

式2-1は以下の課題が指摘されている<sup>3)</sup>。

- ・ 設計式は線形であるが、積層ゴム支承の鉛直荷重-鉛直変位関係は非線形である。(図2-1)
- ・ 設計式に荷重振幅が考慮されていない。

### 2-2. 積層ゴム支承の鉛直荷重載荷試験結果

参考文献3)では2010年までに製造された鉄道橋用積層ゴム支承108体の鉛直荷重載荷試験結果を検証しているが、本検討では、2018年までに製造された鉄道橋用積層ゴム支承も合わせて全156体の鉛直荷重載荷試験結果を検証した。圧縮ばね定数実測値/設計値と設計最大面圧との関係を図2-2に、死荷重～最大設計反力載荷試験時鉛直変位量と死荷重～最大設計反力面圧振幅の関係を図2-3に示す。図2-3は載荷荷重の影響を確認するために、死荷重時面圧2MPa未満の試験体と2MPa以上の試験体の差が明確になるよう結果をプロットした。図2-2より、圧縮ばね定数実測値が設計値に対して±20%以上となるものは試験体156体の内115体74%にのぼることが確認された。設計式に荷重振幅が考慮されていないことが原因と考えられる。また、図2-3より、荷重状態の違いが積層ゴム支承の鉛直変位量、圧縮ばね定数に影響を及ぼしていることが分かる。これまでも圧縮ばね定数設計式の改良は試みているが<sup>3)</sup>、現状は全面圧領域を網羅する設計式は確立されていない。

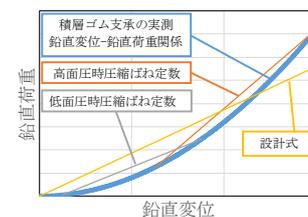


図2-1 積層ゴム支承の鉛直荷重-鉛直変位関係

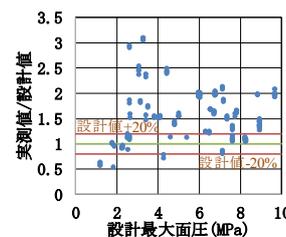


図2-2 圧縮ばね定数-設計最大面圧関係

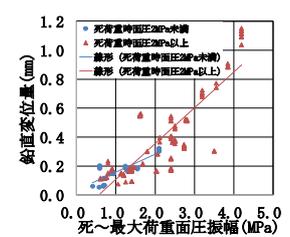


図2-3 死～最大荷重面圧振幅-鉛直変位関係

キーワード 鉄道橋、積層ゴム支承、品質管理、輪重減少率

連絡先 〒326-0327 栃木県足利市羽刈町1000 オイレス工業(株) TEL0284-70-1819

### 3. 鉛直変位が走行安全性へ及ぼす影響の検証

新幹線用鉄道橋 6 橋に対して列車走行シミュレーション解析(以下, 走行解析)を実施し, 積層ゴム支承の鉛直変位が走行安全性に及ぼす影響を検証した。解析条件は参考文献 2)と同様とした。各橋梁に関しては実構造物をモデル化し, 積層ゴム支承の圧縮ばね定数を 1/10~2 倍程度まで変化させて走行解析を実施した。圧縮ばね定数実測値/設計値と輪重減少率最大値の関係を図 3-1 に, 走行解析結果で得られた端支点積層ゴム支承部の鉛直変位量最大値と輪重減少率最大値の関係を図 3-2 に示す。

図 3-1 より, 圧縮ばね定数実測値/設計値の増加に伴い輪重減少率は減少し, 0.5 程度以上となる領域においては, 輪重減少率はほぼ一定となることが確認された。圧縮ばね定数実測値/設計値が 0.5 程度以下の領域では輪重減少率が限界値に近づく傾向にあるため, この領域についてはさらに検証が必要であると考えられる。

図 3-2 より, 鉛直変位量の増加に伴い, 輪重減少率も増加する傾向にあることが分かる。また, 今回の検証範囲内においては, 解析対象のすべての橋梁において, 端支点支承部の鉛直変位量が 1mm 程度以下であれば輪重減少率限界値 0.281 以下を満足することが確認された。

走行安全性の指標である輪重減少率は積層ゴムの鉛直変位量に依存することは文献 2)でも述べられており, 積層ゴム支承の死荷重~最大設計反力載荷時鉛直変位量は走行安全性に影響を及ぼす一要因であることが本解析結果からも確認された。

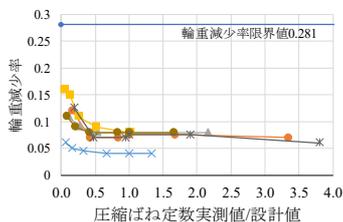


図 3-1 圧縮ばね定数実測値/設計値-輪重減少率関係

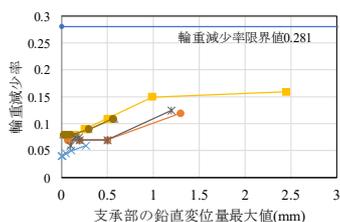


図 3-2 鉛直変位量最大値-輪重減少率関係

### 4. 今後の課題

- (1) 走行解析結果より圧縮ばね定数実測値/設計値が 0.5 程度以下の領域では輪重減少率が限界値に近づく傾向にあるため, この領域についてはさらに検証が必要であると考えられる。また, 端支点積層ゴム支承の鉛直変位量は走行安全性に影響を及ぼす一要因であることが分かった。引き続き走行安全性を十分に確保できる積層ゴム支承の鉛直変位量限界値の検証を進め, 鉛直変位量より走行安全性が判断できる仕組みを構築する。また, 輪重減少率と橋梁規模, 列車速度等他の要因との関連性にも着目して検証を進めることとする。
- (2) 荷重条件によっては, 積層ゴム支承圧縮ばね定数設計式が実現象から乖離することが確認された。設計式に荷重振幅が考慮されていないことが原因と考えられる<sup>3)</sup>。また, 積層ゴム支承の設計で用いる地震時水平力の増加に伴い, これに対応するための水平ばね性能を確保する必要があり, 積層ゴム支承の平面も増大している。このことより, 設計最大面圧が 2MPa 程度以下となる低面圧下での使用事例が増加していることも理由であると考えられる。これまでも設計式の改良は試みられているが, 参考文献 3) で提案されている圧縮ばね定数設計式は最大面圧の影響が考慮されていないことから, 今後も圧縮ばね定数設計式の精度向上に関する検討に取り組む必要がある。
- (3) 今後は現状よりもさらに低面圧下での支承の使用が想定される。様々な条件下での支承の適用を考慮した場合, 適切な設計, 品質管理手法が必要となると考えられる。これに伴い, 各々の条件下で必要とされる最適な支承形式を検討することも視野に入れることとする。

### 参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物 (平成 21 年 7 月)
- 2) 池田他, 高速列車による合成桁のゴム支承の鉛直変位挙動と走行安全性への影響, 構造工学論文集 Vol.62A(2016 年 3 月)
- 3) 藤原他, 鉄道用鉛プラグ入り積層ゴム支承の圧縮ばね定数算定における精度向上に関する研究, 構造工学論文集 Vol.62A(2016 年 3 月)