

実験及び解析によるゴム支承の材料・構造特性

長崎大学大学院 学生会員 ○東哲平

長崎大学工学研究科 正会員 松田浩 山口浩平 古賀掲維

ゴム支承協会 今井隆 原暢彦

1. まえがき

橋梁支承としては、鋼製支承が多用されてきたが、兵庫県南部地震で鋼製支承に多くの損傷破壊が生じた。これに対してゴム支承を採用した橋梁は地震による被害が小さかったことから、ゴム支承の有効性が改めて認識され、現在では、橋梁支承の主流になっている。

さらに、ゴムと鋼板を交互に積み重ね、加硫密着した積層ゴム支承は、鉛直荷重載荷時にはらみ変形が拘束される。そのため、高い荷重支持機能を有し、水平力に対して柔軟なばねとして作用するため高い水平変形機能、復元機能を有する。以上の点から、反力分散支承には積層ゴム支承が一般的に用いられている。また、ゴム支承に一般的に使用されている天然ゴムは、酸素やオゾンの影響を受けやすいため、老化防止剤による保護と被覆ゴムによる内部ゴムと外気との遮断により劣化を防ぐ設計がなされている。

積層ゴム支承のせん断ひずみは、ゴム積層部の厚さの70% (温度変化など桁の常時伸縮時)まで許容されている一方で、ゴム材料の変形特性は大きく上述のようにはらみ変形も生ずる材料である。その一方、3次元的材料特性は厳密には考慮されずに設計されているのが現状である。しかし、熊本地震において、ゴム支承部に損傷を受けた橋梁があったことから、ゴムの大变形特性の定量的評価が必要とされている。

以上に鑑み、本研究では、実験的及び解析的に橋梁用ゴム支承の大変形特性を定量的に評価することを目的としている。なお、実験時の計測には、デジタル画像相関法（以下：DICM）を用いて計測する。

本研究では、積層ゴム試験体の2軸圧縮せん断試験を行い、積層ゴム支承の材料および構造特性を検証することを目的としている。それに対して、ゴム材料試験、積層ゴム試験体の圧縮試験、積層ゴム試験のせん断試験、最後に2軸圧縮せん断試験と段階を踏み、試験を行っていく。

2. DICMを用いたゴム試験体の引張、圧縮試験

使用するゴム材料の構成則を導出することを目的として、ダンベル型試験体を用いた引張試験、立方体試験体を用いた圧縮試験を行った。

本研究で対象とした積層ゴム試験体に用いられるゴムと同材料のゴムのみで構成されている引張試験用ゴムダンベル試験体 (図1)、圧縮試験用立方体ゴム試験体 (図2) を用いる。本実験において試験体は、ダンベル試験 No.1, No.2, 立方体

試験体 No.1, No.2 の2体ずつで行った。試験は10kN 万能試験機、300kN 万能試験機を用い、変位制御で175%の変形を与える。DICMによる計測を行うため、それぞれの試験体表面に対して、スプレーによるランダムパターンを施している。計測により得られた任意の点の変位量から、縦ひずみを算出する。引張試験は、10kN 万能試験機を用いて、以下の写真1のようにして行う。治具の固定具において滑りが起きたため、引張試験は160%までの計測を行った。圧縮試験は、300kN 万能試験機を用いて175%の変形を与え計測を行った。それぞれの試験体ごとに応力ひずみ曲線を求める。

実験結果から図3が得られ、この図よりゴム材は、引張のときと圧縮のときでは構成則に違いが見られる。

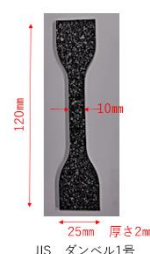


図1 ダンベル試験体

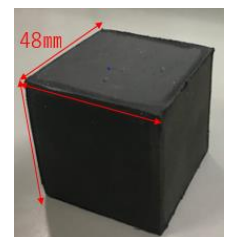


図2 立方体試験体



写真1 引張試験風景



写真2 圧縮試験風景

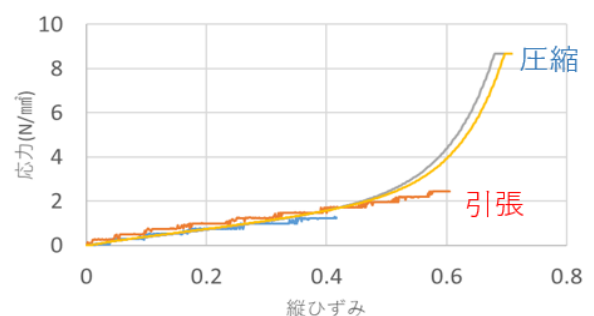


図3 材料試験結果

3. 積層ゴム試験体圧縮試験

本試験の試験体は3層および6層の積層ゴム試験体を用いる。積層ゴム支承の側面のはらみは、ゴム一層厚さに比例するため、一時形状係数(S1)を3.125と6.25とし、総ゴム厚さを同じにした積層ゴム支承とした試験供試体を図4に示す。

キーワード 積層ゴム支承 DICM 大变形

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-1 4 長崎大学 095-819-2007 工学部構造工学コース

各試験体に対して、実橋梁を想定した死荷重面圧条件の 60kN の圧縮荷重を加え、これを DICM、荷重計、変位計により計測する。導出した各種の荷重変位曲線における、ゴム層の層数の違いによる影響について検証する。試験風景を写真 3 に示す。

本試験で得られた結果は、図 6 の通りとなり、同ゴム材料でもゴムの層数が多いほど曲線の傾きが大きい。これは鋼板によるゴムのハミ出しが拘束されるためであると考えられる。

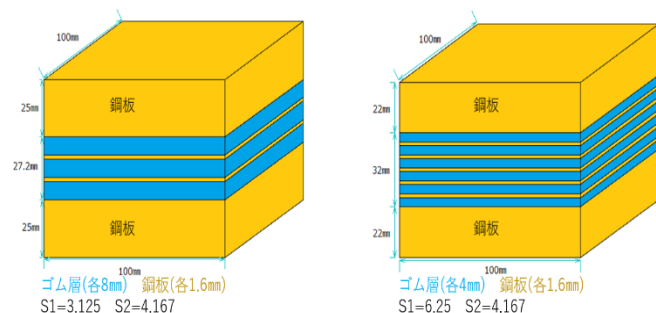


図 4 試験体概要

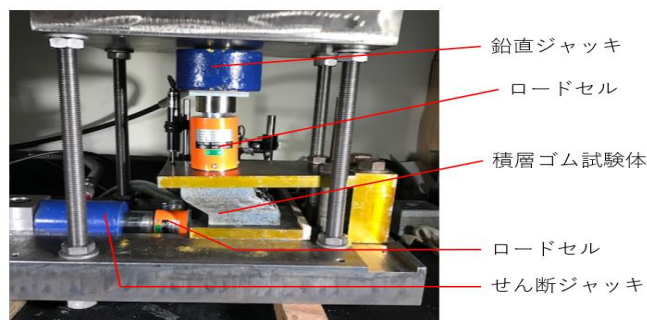


写真 3 試験風景

4. 大変形 FEM 解析

本実験では、積層ゴム試験体の圧縮荷重時の挙動を再現し実験値との比較を行う目的で、Marc/Mentat を用いた解析により検証する。

解析モデルの概要を図 5 に示す。ゴム要素には大ひずみ挙動に対応する 9 節点立体要素（ハーマン/ムーニイ材料）を適用し、鉄板要素には 8 節点アイソパラメトリック立体要素を適用した。ゴムの材料定数は、本試験で用いる天然ゴム(NR)は $G=1.0\text{N/mm}^2$ の NRG10 を用いた。その材料定数は表 1 に示す。また、鋼板の材料定数は $E=210000\text{N/mm}^2$ 、 $\nu=0.33$ を用いた。

荷重方法は変位制御で行った。本解析は、解析モデルに対して、Z 軸方向に 60kN 相当の圧縮強制変位を与える。このときの荷重変位曲線を導出し、積層ゴム試験体の圧縮試験との比較を行う。

試験結果と解析の比較を図 6 に示す。ゴム層が 3 層、6 層の積層ゴム解析モデルともに試験結果と近似していることから、圧縮試験の再現ができたといえる。解析値が実験値よりも傾きが大きくなった理由としては、解析では鋼板とゴムの境界条件の構成則において、ゴムのポアソン比 0.33 と実験のゴムは退席男性があるため、ポアソン比は 0.3 近傍である

ので、ひずみ率が大きくなるにしたがって乖離が大きくなるので、誤差がでた。

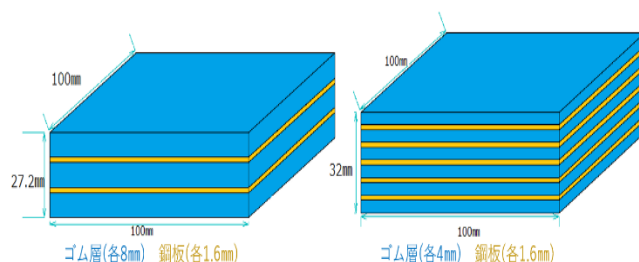


図 5 解析モデル概要

表 1 ゴム材料定数

材料定数	
C10	0.263009
C01	0.036339
C20	0.000541
C11	-0.00104
C30	0.000117

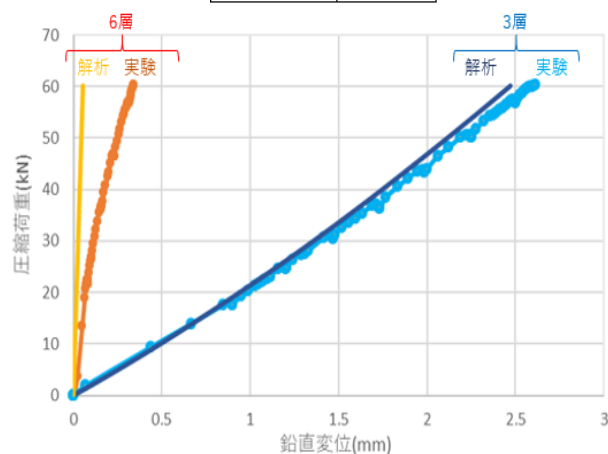


図 6 実験値と解析比較

5. あとがき

本研究では、ゴム材特有の材料特性や大変形特性の DICM による変位やひずみの可視化を目的としているが、DICM 計測に使用するラッカースプレーによるランダムパターンの塗膜が大変形時に剥離するなど課題が残る結果となった。それに対して、変形追従性に富むスプレーを用いることを検討している。

本論では、圧縮のみの試験結果について述べたが、せん断のみの試験、圧縮せん断試験も行っていく予定である。結果については、発表時に報告する予定である。

参考文献

- 飯塚博，山下義裕：ゴム材料の力学特性同定と FEM 解析への利用，日本ゴム協会誌，第 77 巻，第 9 号，2004
- 柚木和徳，吉田純次，塩畑英俊，今井隆，杉山俊幸：有限要素モデルを用いた積層ゴム支承の回転境界の把握と設計式の構築
- 橋本学，棚橋隆彦：GSMAC 有限要素法による非圧縮超弾性体解析に関する実用化に向けた検討
- <http://www.jancae.org/cgi-bin/gatex/annex2005DB/gatex.cgi>