

ゴム支承の2軸圧縮せん断試験における大ひずみ計測およびFEM解析

長崎大学大学院 学生員 ○城野優一・鬼塚友章

長崎大学 正会員 松田浩・古賀掲維 ゴム支承協会 今井隆・原暢彦・上田健介

1. 序論

兵庫県南部地震において従来から主流であった鋳鋼製支承やそれらを採用した橋梁に大きな損傷が生じたが、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、現在では全国的に普及し、支承の主流になりつつある。

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、鉛直荷重載荷時はらみ変形が拘束されるので高い荷重支持機能を持ち、水平力に対して柔軟なばねとして作用するので高い水平変形機能、復元機能を持つこと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。しかしながら、積層ゴム支承のせん断ひずみは、ゴム積層部の厚さの70%まで許容され、ゴム材料の変形特性は大きく、先述のようにはらみ変形も生ずる材料であり、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。

以上に鑑み、本研究では、デジタル画像相関法(以下: DICM)を用いて橋梁用ゴム支承の変形特性を定量的に評価することを目的としている。

2. DICMを用いた計測

2.1 試験概要

本研究で対象とした積層ゴム試験体A, Bを写真1に示し、また積層ゴム試験体A, Bの概要を表2に示す。試験体表面にランダムパターンを施し、DICMによるひずみ計測を行った。

2軸圧縮せん断試験は20MN/6MN圧縮せん断試験機を用いて行った。面圧条件を表3、水平方向加力条件を表4に示す。

DICMによる計測は、加振軸直角方向面、加振軸方向面の2方向から試験体全体の2/3を行った。試験中は1秒間に1枚の間隔で自動撮影を行い、計測から得られたデータを基に鉛直方向ひずみと水平方向ひずみコンター図の作成を行った。

2.2 試験結果

試験体A、試験体Bの加振軸直角方向から計測した計測結果を比較したものを図5、図6に示す。他の荷重条件下においても同様の結果が得られたため、死荷重応力状態である鉛直荷重960KNを載荷させたときの結果のみを示している。



写真1 試験体

表2 試験体概要

項目	試験体A	試験体B
形状	□420×t144.4	□420×t154
ゴム積層構造	18mm×3層	9mm×6層
内部鋼板	3.2mm×2層	3.2mm×5層
ゴム材料	NR G=1.0N/mm ²	NR G=1.0N/mm ²
1次形状係数	S1 = 5.56	S1 = 11.1
2次形状係数	S2 = 7.41	S2 = 7.41

表3 面圧条件

	面圧(N/mm ²)	鉛直荷重(KN)	荷重条件
試験No.σ 12	12	1920	最大圧縮応力
試験No.σ 8	8	1280	最大圧縮応力
試験No.σ 6	6	960	死荷重応力
試験No.σ 3	3	480	—
試験No.σ -1	-1	-160	引張条件

表4 水平方向加力条件

項目	単位	試験No.γ175
せん断変形率	%	±175
せん断変形量	mm	±94.5

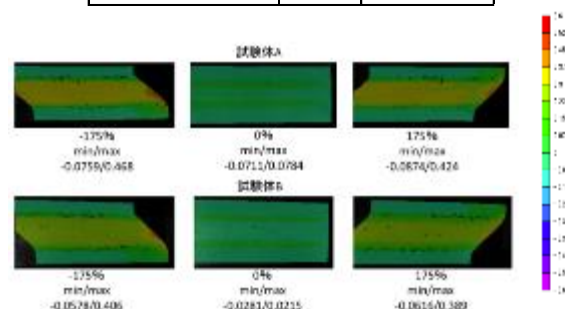


図5 加振軸直角方向鉛直ひずみコンター図

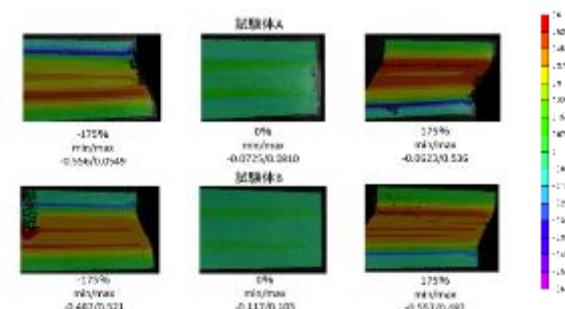


図6 加振軸直角方向せん断ひずみコンター図

キーワード 積層ゴム支承、引張ひずみ、圧縮ひずみ、FEM解析、ゴム材料

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14 長崎大学院工学研究科松田研究室

計測結果から試験体 B のほうが試験体 A よりも鉛直ひずみ、せん断ひずみがどちらも小さいことが分かった。また、せん断変位を与えたとき試験体の端部で鉛直ひずみが大きくなった。

更に、図 5、図 6 に見られるように、圧縮荷重が作用したにも関わらず、側面には微小な正のひずみの値が出ており、引張ひずみが発生している部分が見られた。

3. FEM 解析

DICM を用いた計測により得られた結果の妥当性を検証するために、Marc/Mentat を用いて積層ゴム試験体を模した解析モデルを作成し、FEM 解析を行った。

3.1 解析概要

本研究で使用した解析モデルは表 2 に示す試験体 A の寸法を参考に作成した。モデルの概要を図 7 に示す。

解析モデルのゴム要素には、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。

FEM 解析でゴム材料の材料定数を入力する際、Mooney type が使用される。使用した Mooney type の材料定数のパラメータを表 8 に示し、鉄板は SS400 の材料定数を用い、ヤング率： $E = 2.1 \times 10^5$ (N/mm²)、ポアソン比： $\nu = 0.3$ とした。

载荷方法は変位制御で行った。鉛直荷重を 960KN 载荷した時の計測結果と比較するために、解析モデルの Z 軸方向に変位を与え、960KN に相当する変位を求めて鉛直ひずみを導出し、せん断変位を 175%与えたときの計測結果と比較を行うために、Y 軸方向に変位を 175%に相当する 94.5mm 与えて、せん断変位時の鉛直ひずみを求めた。また、解析モデルの断面を切って断面の挙動についても検討する。

3.3 解析結果

鉛直荷重が 960KN 载荷時の解析モデルの水平方向変位コンター図を図 9 に、鉛直方向ひずみコンター図を図 10 に、計測結果との比較を図 11 にそれぞれ示す。図 11 より、解析結果のひずみ分布は計測結果と同様の挙動を示しているが、計測結果ではほぼ引張ひずみが表れているのに対し、解析結果は圧縮ひずみが多く表れていることが確認できた。

4. 結論

計測結果と解析結果はそれぞれ鉛直荷重を加えた際、表面に引張ひずみが見られたことから、DICM による大変形する材料の計測は有用であると考えられる。

5. 今後の予定

- ・圧縮せん断時の境界条件を見直す必要がある。
- ・スケールを小さくした試験体を作成し DICM によ

る撮影時に試験体の側面全体を映して再度計測を行う。

- ・積層ゴムのひずみの計測方法について検討する。
- ・解析モデルの要素分割数を増やし解析の精度を上げ、計測結果と比較を行う。

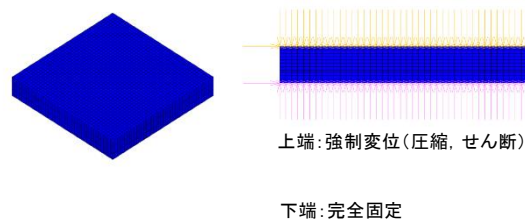


図 7 解析モデル

表 8 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

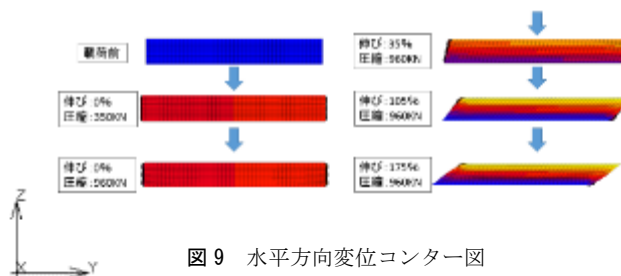


図 9 水平方向変位コンター図

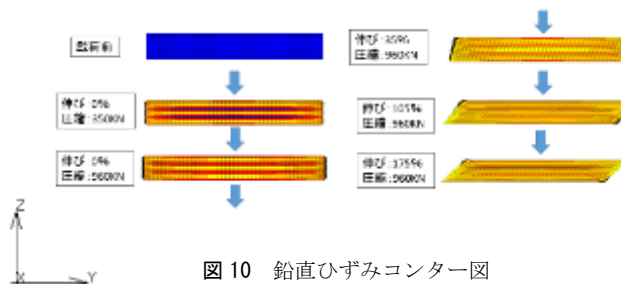


図 10 鉛直ひずみコンター図

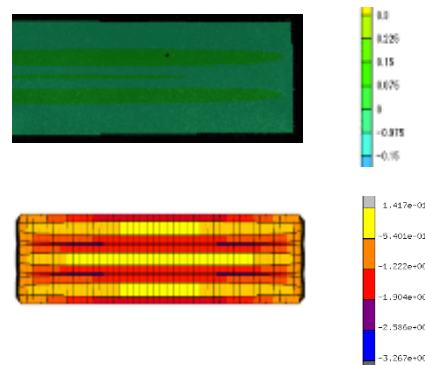


図 11 鉛直ひずみの計測結果と解析結果の比較

参考文献

- 1) 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
- 2) 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限界の把握と設計式の構築, 土木学会論文集 A, Vol.65(2009), NO.3, P574-588