

積層ゴム支承の接着面に作用する応力に関する解析的検討

山梨大学 学生会員 ○佐野 大心

山梨大学 正会員 吉田 純司

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では地震による橋梁の直接的な被害は比較的少なかったものの、積層ゴム支承のゴム層と内部鋼板との界面(接着面)の剥離による被害事例がみられた。このことから、支承の接着面に作用する力の評価方法を見直す必要があると考えられる。

そこで本研究では、橋梁用の積層ゴム支承を対象として、地震時に接着面に作用する応力を合理的かつ簡易に評価する手法の構築を目的とする。まず、大地震時に支承の接着面に作用する応力を数値計算により求める。次に、この応力と等価な単純せん断変形での変形量を算出する。最後に、その変形量を支承の形状・構造から予測できる簡易式を提案する。

2. 地震時にゴム支承の接着面に作用する応力の評価

本研究では、有限要素法(Finite Element Method: FEM)を用いた数値解析により地震時にゴム層端部に作用する応力を評価する。本解析では、ゴムに圧力-変位混合型の一定圧力・8節点六面体アイソパラメトリック要素を、鋼に8節点六面体アイソパラメトリック要素を用いている。また、材料モデルは、ゴムに超弾性-粘弾塑性ダメージモデル²⁾を、鋼に線形弾性体を用いた。

本研究で対象とする支承は、400mm×400mmの矩形断面とし、そのゴム層厚および層数は、1次形状係数 S_1 、2次形状係数 S_2 をパラメータとして26通りを想定する。また、内部鋼板厚は、2mm、4mmの2種を想定する。

上述した支承をFEMによりモデル化し、一定の鉛直荷重(面圧: 6N/mm², 9N/mm²)を作用させた後、大地震時に想定される水平変位(せん断ひずみ250%)³⁾を静的に付与する。最大変位時におけるゴム層端部のCauchy応力テンソルを対象として、その最大主応力、最小主応力、Misesの相当応力の計3種類の代表値を算出した。

解析結果の一例として、ゴム層厚10mm、ゴム層数6層、面圧6N/mm²、せん断ひずみ250%におけるMisesの相当応力、Cauchy応力テンソルの最大主応力、最小主応力の分布を図-1に示す。図より最大値がゴム層の接着面と接触していることから、接着面の剥離に影響を与える可能性が高いと考えられる。

3. FEMによる単純せん断変形時の応力の予測

本節では、2節で求めた支承の接着面に作用する応力の代表値が、材料試験レベルで等価となる変形量を算出する。ここでは、特に支承の地震時の変形と似通っている単純せん断試験⁴⁾を対象とし、支承ごとに各解析条件に対して2節の代表値と等しくなる時の、せん断試験での水平変位をFEMにより算出する。

具体的には、図-2に示すような矩形断面のゴムブロックの単純せん断試験を想定し、支承の応力の代表値と等しい応力場となる単純せん断変形での水平変位を

FEMにより算出した。以下では、この水平変位をブロックの高さで基準化した量をせん断ひずみと呼び γ_{EQ} と表す。

一例として、内部鋼板厚4mm、面圧6N/mm²、Cauchy応力テンソルのMisesの相当応力、最大主応力、最小主応力を代表値とした場合に、各ゴム層厚とゴム層数の支承に対応した γ_{EQ} を計算し、それを1次形状係数 S_1 、2次形状係数 S_2 に対して図示したものを図-3に示す。図より1次形状係数 S_1 、2次形状係数 S_2 の増加に応じてせん断ひずみ γ_{EQ} も大きくなる傾向に至っていることがわかる。

なお、内部鋼板厚および面圧が変化した場合には γ_{EQ} は、内部鋼板厚および面圧の増加に伴って、 γ_{EQ} も大きくなることが分かった。

4. 支承の接着面に作用する応力と等価な単純せん断変形におけるひずみの近似式

本節では、本文3節で算出したせん断ひずみ γ_{EQ} を、形状係数 S_1 、 S_2 の多項式として近似する。次数の低い多項式から近似を試みた結果、以下に示すような2次式で十分な精度が得られた。

$$\gamma_{EQ}(S_1, S_2) = c_{00} + c_{10}S_1 + c_{01}S_2 + c_{20}S_1^2 + c_{11}S_1S_2 + c_{02}S_2^2 \quad (1)$$

ただし、 $c_{kl}(k, l = 0, 1, 2)$ は係数である。代表値をCauchy応力テンソルの最大主応力とし、内部鋼板厚2mm、面圧6における c_{kl} を表-1に示す。なお、このときの決定係数⁵⁾は $R=0.98$ であった。

5. まとめ

本研究では、橋梁用の積層ゴム支承を対象として、接着面に作用する応力を合理的かつ簡易に評価する方法を数値解析により検討した。

まず、大地震時に支承の接着層に作用する応力の代表値をFEMによる数値計算により求めた。次に、この代表値と同一の応力場となる単純せん断変形での変形量を数値計算により算出した。最後に、この変形量を支承の形状・構造から予測できる簡易式を構築した。

今後は、本研究で算出した応力の代表値の妥当性を実験により検討することが課題である。

参考文献

- 1) 吉田純司・阿部雅人・藤野陽三：高減衰積層ゴム支承の3次元有限要素解析法，土木学会論文集，No.717/I-61，pp.37-52，2002
- 2) 吉田純司・杉山俊幸：エネルギー吸収性能のひずみ依存性を考慮したゴムの超弾性-粘弾塑性ダメージモデル，土木学会論文集A2，vol.71，No.1，pp.15-25，2015.
- 3) 公益社団法人：道路橋支承便覧，日本道路協会，2018.
- 4) 京谷孝史：よくわかる連続体力学ノート，森北出版株式会社，2008.
- 5) 堀本三郎：集計回帰式の決定係数について，彦根論叢，第192号，pp.60-66，1978.

キーワード：免震建物，積層ゴム支承，接着面，有限要素法，単純せん断変形，簡易式

〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11，TEL: 055-220-8521，e-mail: jyoshida@yamanashi.ac.jp

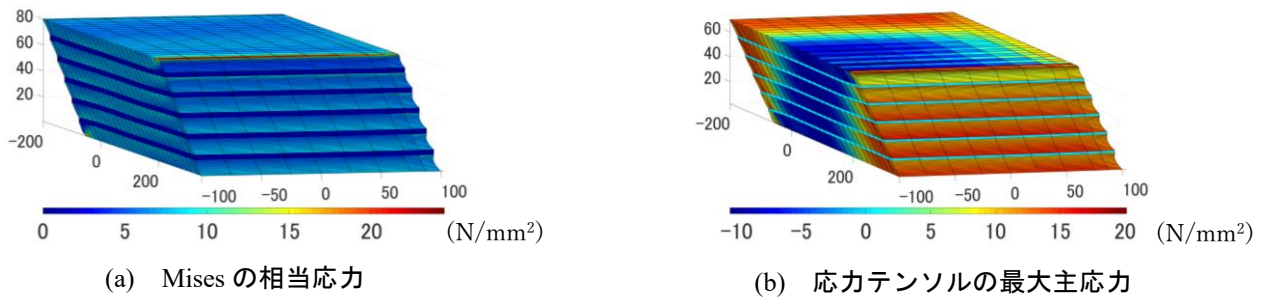


図-1 応力分布

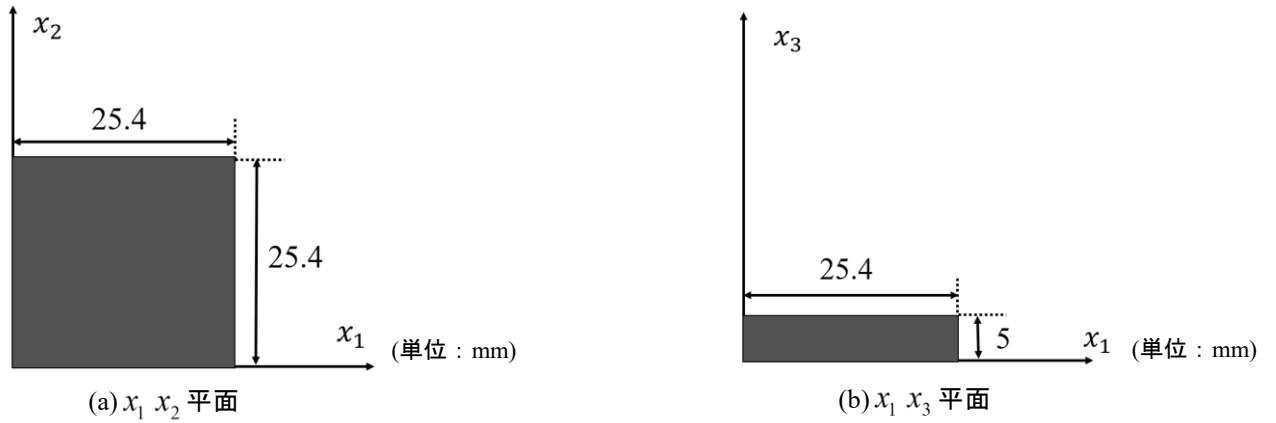


図-2 対象とする直方体ゴムブロック

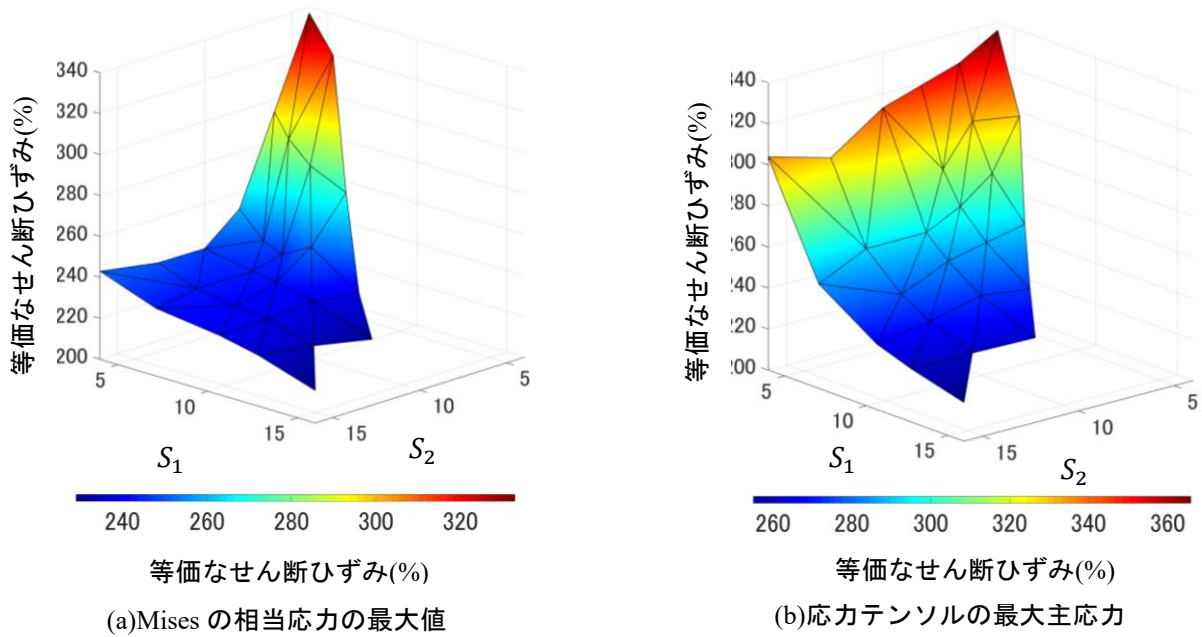


図-3 S_1 , S_2 と γ_{EQ} の関係

表-1 近似式の係数

c_{00}	c_{10}	c_{01}	c_{20}	c_{11}	c_{02}
423	-16.2	-19.0	0.595	-0.118	0.872