

FEMによる橋梁用ゴム支承内部の応力分布解析

株式会社ブリヂストン 正会員 ○丸山健司

株式会社高速道路総合技術研究所 正会員 稲荷優太郎
株式会社ブリヂストン 正会員 神田智之

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震においてゴム支承の破断事例が報告されている¹⁾。このような破断を未然に防ぐためには、ゴム支承の経年変化といった化学的な視点に加え、終局状態の応力や変形といった物理的な視点からの検証が必要と考えられる。本検討ではFEMを用いて大変形時のゴム支承内部の応力分布を解析し、**図1**に示す破断試験結果と比較することで、ゴム支承の破断形態について考察する。

2. ゴム支承の解析モデル諸元

試験と解析を比較することを考慮し、破断試験の実績がある内部ゴム HDR-S G10、有効面積 400mm×400mm、ゴム層が 9mm×6 層の供試体を解析モデルとした。このモデルを□400-9×6 と呼ぶこととし、ゴム層厚と層数のみを変えた□400-20×5 を解析モデルに追加した。これら解析モデルの諸元を**表1**にまとめる。解析モデルは**図2**に示す様なゴム支承を半分のモデルとした。なお、本検討では内部ゴムの応力分布に着目するため、被覆ゴムはモデル化から除外した。

3. 材料モデル及び解析条件

解析ソフトは MSC Software の Marc を使用した。内部鋼板と連結鋼板は完全弾性体とし、ヤング率は 205GPa、ポアソン比は 0.3 とした。ゴムのひずみエネルギー密度関数 W は大変形までの解析を行うことを考慮し、等容変形成分を Yeoh モデル²⁾、体積変形成分を Marc のデフォルトモデル³⁾としてとして式1とした。

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3 + 9/2\kappa(J^{1/3} - 1)^2 \quad \text{式1}$$

ここで I_1 は右 Cauchy-Green テンソルの第1不変量、 J は体積変化率、 C_{10} 、 C_{20} 、 C_{30} 及び κ は材料定数であり、**図3**の様にせん断試験片の試験結果と Yeoh モデルの τ - γ 理論式が一致する様に**表2**の通り設定した。境界条件は**図2**に示すように、下側連結鋼板の下端節点の XYZ 変位をゼロに固定し、面圧と水平変位を上側連結鋼板の上端の節点に均等に与えた。解析条件を**表1**に示す。面圧は 0、6MPa の 2 水準、水平ひずみは 350% とし、□400-9×6 モデルでは試験で破断したのと同程度の水平ひずみ 500% も解析に追加した。

キーワード 橋梁, ゴム支承, FEM, 大変形, 応力分布
連絡先 〒244-8510 横浜市戸塚区柏尾町1番地 TEL:045-825-7589 FAX:045-825-7676



(試験条件 面圧 6MPa, 変位速度 2mm/sec, 破断ひずみ 520%)

図1 □400-9 mm×6 層供試体 破断状況

表1 解析モデルの諸元と解析条件

解析モデル	□400-9×6		□400-20×5	
ゴム種	HDR-S G10		HDR-S G10	
有効寸法 (mm)	400×400		400×400	
ゴム1層厚 (mm)	9		20	
ゴム層数	6		5	
連結鋼板厚さ (mm)	32		32	
内部鋼板厚さ (mm)	3.2		3.2	
一次形状係数 S1	11.11		5.00	
二次形状係数 S2	7.41		4.00	
水平ひずみ (%)	350	500	270	350
鉛直面圧 (MPa)	6, 0	6	6	0

表2 内部ゴムと被覆ゴムの材料定数

C_{10} (MPa)	C_{20} (MPa)	C_{30} (MPa)	κ (MPa)
0.894	1.03×10^{-2}	1.74×10^{-6}	5077

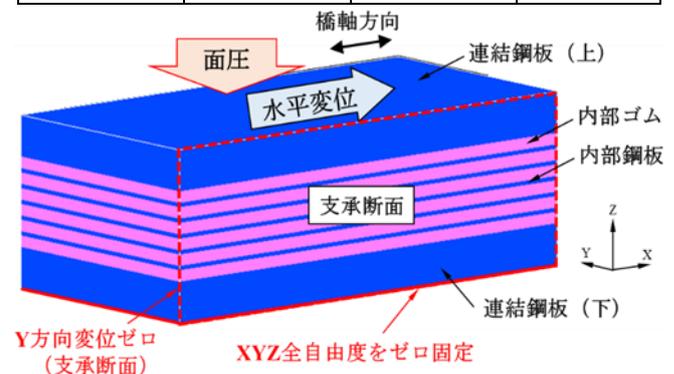


図2 解析モデル(□400-9×6)と境界条件

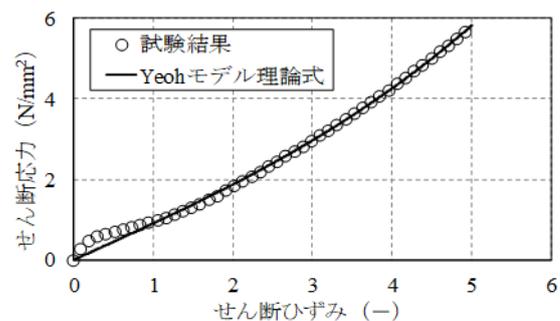


図3 せん断試験片の試験結果

4. 解析結果と考察

製品の破断形態を観察すると破断起点は鉛直方向に変形し、亀裂が水平に生じている様に見える。このことから鉛直方向の引張力によりゴム層内で破断が生じたと推測し、Z方向の引張応力 $+\sigma_{zz}$ を出力指標とした。 $+\sigma_{zz}$ で出力した解析結果を図4と図6に示す。これらより面圧6MPaでせん断ひずみ350~500%では、支承内部の中間層から下層にかけてのゴム層に周囲より1.5~2MPa程度大きい $+\sigma_{zz}$ が生じることがわかる。図1に示した面圧6MPaでの破断面は下から4層目のゴム層内であり、 $+\sigma_{zz}$ が大きい箇所から破断したと考えられる。さらに面圧0~6MPaに共通してゴム支承表面の内部鋼板端部でも周囲より2MPa以上大きい $+\sigma_{zz}$ が生じる。これによりゴム支承表面でゴムの引張破壊が生じ、内部に破壊が進展するような破断形態も考えられる。図1の供試体の右側に生じた破断点はこのよるものと推測される。面圧による応力分布の変化に着目すると面圧0MPaの場合ではゴム支承表面近傍のみに相対的に大きい $+\sigma_{zz}$ が生じるので、低面圧の場合はゴム支承表面から破断が生じる可能性が高いと考えられる。これらのゴム支承の終局状態の応力分布と破断形態を図5にまとめる。さらに図6に示す通りゴム1層厚を厚くした場合も $+\sigma_{zz}$ の分布は同様であった。ゴム1層が厚いと内部鋼板が変形しやすくなる。このため、内部鋼板端部のゴムに大きな $+\sigma_{zz}$ が生じやすくなり、破断形態にも影響を与えると考えられる。

5. まとめ

- (1)FEMにより大変形時のゴム支承の応力分布を解析した結果、ゴム支承の中間層から下層にかけてのゴム層内及び、支承表面の内部鋼板端のゴムに相対的に大きな鉛直引張応力が発生することが分かった。
- (2)試験時の破断起点と相対的に大きな鉛直引張応力が発生する位置が一致することから、鉛直引張応力により破断起点が形成されたと考えられる。
- (3)ゴム1層厚や内部鋼板厚さを変えても前述のような鉛直引張応力の分布傾向は変化しない。

【参考文献】

- 1)曾田ら：東北地方太平洋沖地震により破断した積層ゴム支承の性能試験，構造工学論文集 Vol.59A（2013年3月），pp.516-526
- 2)石川覚志：ゴムの有限要素法の学び方！，日刊工業新聞社，2015年12月
- 3)MSC. Marc: Theory and User Information, pp456,2014.

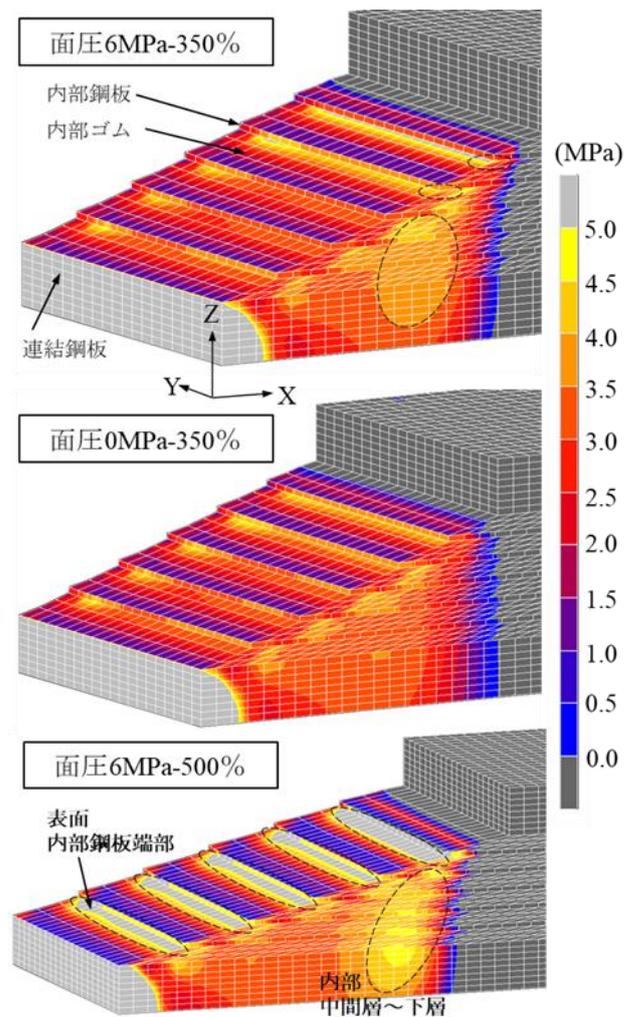


図4 □400-9×6の $+\sigma_{zz}$ コンター

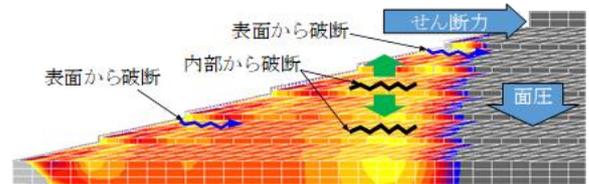


図5 ゴム支承の応力分布と破断形態

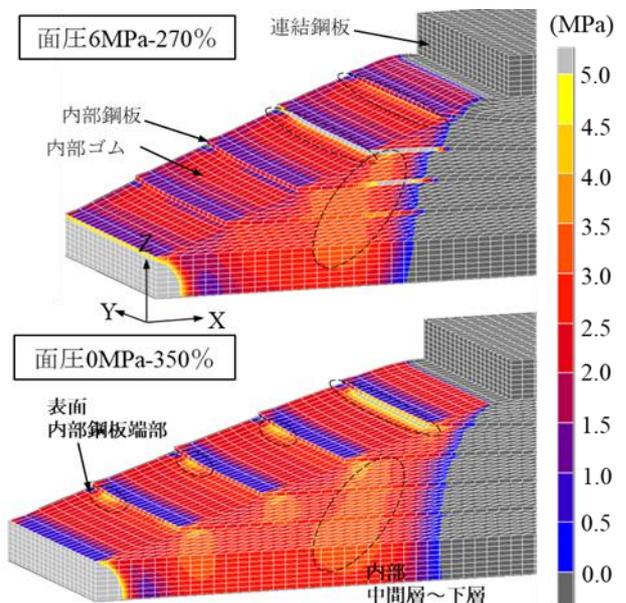


図6 □400-20×5の $+\sigma_{zz}$ コンター