

橋梁用ゴム支承の被覆ゴムの耐オゾン性に関する研究 その1：FEMによる橋梁用ゴム支承の表面ひずみの検討

株式会社ブリヂストン 正会員 ○丸山健司
株式会社ブリヂストン 正会員 神田智之

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 中村昌弘

1. はじめに

ゴム支承では支承内部を劣化から守るため被覆ゴムの耐候性が重要である。特にゴムのオゾン劣化によるクラックが支承内部まで進展することで内部ゴムや接着層が劣化し、長期的には支承性能に影響を及ぼす懸念がある¹⁾。この為、被覆ゴムの耐オゾン性は道路橋支承便覧等で基準が定められ、それらに合格した被覆ゴムが使用されている。しかしながら、比較的短時間で被覆ゴムに図1のようなオゾンクラックが発生する事例が報告されており、原因について様々な検討がなされている^{2, 3)}。本検討では実際の支承に生じる表面ひずみを FEM で解析し、被覆ゴム耐オゾン性試験の条件について検討した。

2. ゴム支承の諸元と解析条件

ゴム層が水平方向に膨らみやすく、常時せん断ひずみによる水平変位が大きい支承ほど表面ひずみにシビアと考えた。これは形状係数 S1, S2 が両方小さい支承であり、高速道路総合技術研究所提供のデータ(表1)とブリヂストン納入品データより S1=5.00, S2=4.00 の支承を解析モデルとした。さらに標準供試体相当のモデルと実績のある最大のゴム総厚を模した 1650-8 モデルを追加し解析モデルは表2の通りとした。解析条件は水平ひずみ:70%(常時せん断ひずみの許容値)回転角:1/150rad(単純げた鋼橋の端支点)とし、鉛直面圧:4MPaとした。さらに鉛直面圧の影響検討のため 1000-5 モデルは鉛直面圧:0, 6MPaでの解析も実施した。

3. FEMの解析モデル

解析ソフトは MSC Software の Marc を使用した。鋼板類は完全弾性体とし、ヤング率は 205GPa, ポアソン比は 0.3 とした。ゴムの材料モデルは等容変形成分を Neo-Hookean モデル、体積変形成分を Marc デフォルトとして $W=C(I_1-3)+9/2\kappa(J^{1/3}-1)^2$ とした⁴⁾。ここで J は体積変化率、 C と κ は材料定数であり、製品の試験結果と合うように表3の通り設定した。解析モデルのうち 400-5 モデルを図2に例示する。



図1 実際の支承におけるオゾンクラック発生状況

表1 既存支承の S1, S2 調査結果

橋梁名	有効寸法 (mm)		被覆ゴム厚 (mm)	ゴム1層厚 (mm)	層数	S1	S2
	橋軸方向	橋軸直角方向					
新東名既設ゴム支承 A橋	1230	1230	10	50	7	6.15	3.57
新東名既設ゴム支承 B橋	900	900	10	37	3	6.08	8.29
ブリヂストン納入品データ	700	700	10	35	5	5.00	4.00

表2 解析モデルの諸元と解析条件

解析モデル名	400-5	800-5	1000-5	400-11	800-11	1000-11	1650-8
ゴム種	HDR-S G12	HDR-S G12	HDR-S G12	HDR-S G12	HDR-S G12	HDR-S G12	HDR-S G12
有効寸法 (mm)	400 ×400	800 ×800	1000 ×1000	400 ×400	800 ×800	1000 ×1000	1650 ×1650
ゴム1層厚 (mm)	20	40	50	9	18	22.5	53
層数	5	5	5	6	6	6	8
一次形状係数S1	5.00	5.00	5.00	11.11	11.11	11.11	7.78
二次形状係数S2	4.00	4.00	4.00	7.41	7.41	7.41	3.89
被覆ゴム厚さ (mm)	10	10	10	10	10	10	10
ゴム層 要素分割数 厚さ方向	20	20	20	9	9	9	20
ゴム層 要素分割数 幅方向	40	40	40	40	40	40	40
被覆ゴム 要素分割数 厚さ方向	10	10	10	10	10	10	10
水平変位 (mm)	70.0	140.0	175.0	37.8	75.6	94.5	296.8
鉛直面圧 (MPa)	4	4	0, 4, 6	4	4	4	4
回転角 (rad)	1/150	1/150	1/150	1/150	1/150	1/150	1/150

表3 内部ゴムと被覆ゴムの材料定数

ゴム材料	C (MPa)	κ (MPa)
内部ゴム (HDR-S G12)	1.43	1250
被覆ゴム (EPDM系) ※EPDM: エチレンプロピレンゴム	0.337	1000

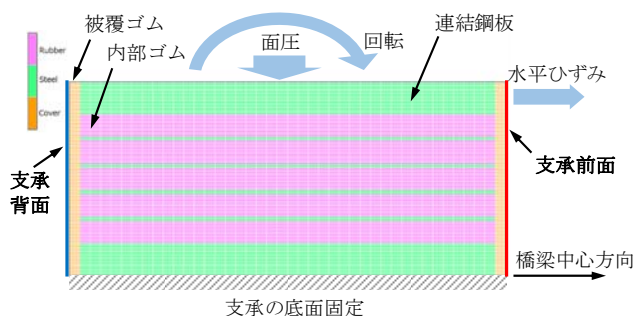


図2 400-5 モデル (1/2 モデル)

キーワード 橋梁, ゴム支承, FEM, 被覆ゴム, 表面ひずみ, 耐オゾン性
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

4. 解析結果・考察

400-5モデルのFEM結果を最大主ひずみで出力したものを図3に示す。最大表面ひずみの発生位置は橋軸直角面の連結鋼板端部の表面であり、支承前面では上側、支承背面では下側となる。これは実際の支承においてオゾンクラックが発生し進展している箇所と一致し、この傾向は支承形状や面圧に依らず全モデルで同様であった。

各モデルの最大表面ひずみをゴム1層厚との関係として図4に示す。常時せん断ひずみは70%で同じでも、ゴム1層厚が厚いほど最大表面ひずみが大きくなる。図5のように連結鋼板端部を拡大すると、ゴム1層厚の厚いモデルほど連結鋼板端部での被覆ゴムの屈曲が大きくなっている。これにより連結鋼板端部に表面ひずみが集中しやすくなり、最大表面ひずみも増大すると考えられる。今回の様に被覆ゴム厚さが一定であれば、最大表面ひずみはゴム1層厚とゴム総厚に依存すると考えられる。

今回解析した中で最もゴム1層厚が厚い1650-8モデルにて最大表面ひずみは公称ひずみで65.8%であることから、実支承において発生する可能性のある表面ひずみは最大で66%程度であると考えられる。

鉛直面圧と最大表面ひずみの関係を図6に示す。これより鉛直面圧の低下に伴い最大表面ひずみは増大する傾向であり、その影響は公称ひずみで1%程度であった。これは鉛直面圧によりゴム層が水平方向に膨れ、連結鋼板端部の被覆ゴム屈曲が緩和されるためと考えられる。さらに、回転角が作用することで支承前面と背面の最大表面ひずみに差異が発生するが、図3に記載の通り400-5モデルにおいてその影響は公称ひずみで±1%程度であった。今回の解析では内部ゴムや被覆ゴムの材料定数をそれぞれ固定としているが、ゴムの材料特性が表面ひずみに与える影響については今後検討する予定である。

5. まとめ

- (1)最大表面ひずみの発生位置は支承サイズやゴム層厚によらず連結鋼板端部の表面であり、実支承においてオゾンクラックが発生し進展している位置と一致する。
- (2)最大表面ひずみはゴム総厚に依存し、53mm×8層のモデルにて公称ひずみで約66%であった。
- (3)鉛直面圧が低いほど、回転角が大きいほど最大表面ひずみは増大するがその寄与はそれぞれ1%程度であった。
- (4)実支承の表面ひずみは最大で66%程度であり、面圧や回転角も影響するので、被覆ゴムの耐オゾン性試験は引張ひずみ66%以上で実施するべきである。

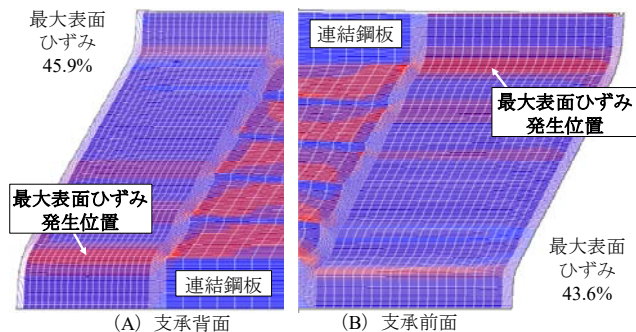


図3 400-5モデルFEM結果

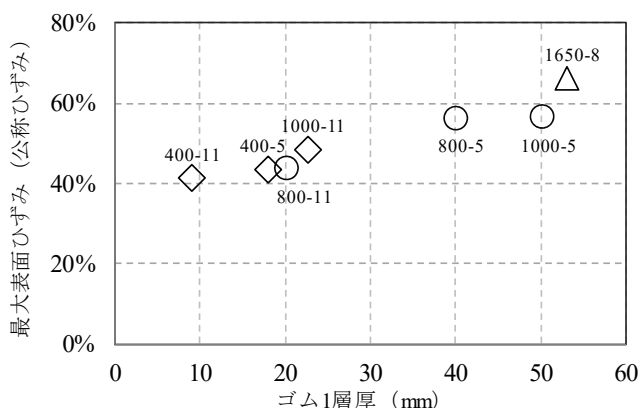


図4 ゴム1層厚と最大表面ひずみの関係

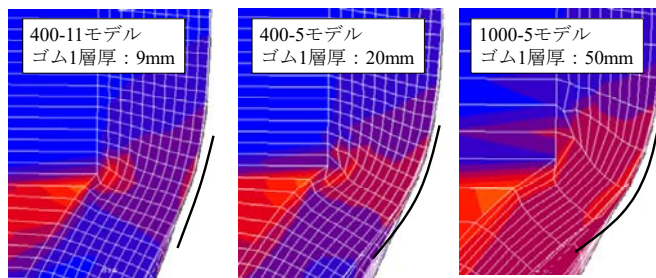


図5 FEM結果(連結鋼板端部拡大)

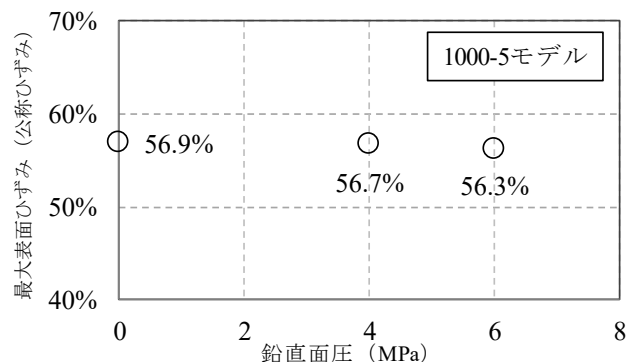


図6 鉛直面圧と最大表面ひずみの関係(1000-5モデル)

【参考文献】

- 1)林ら:経年劣化積層ゴム支承の耐震性能低下原因に関する一考察,土木学会第70回年次学術講演会概要,pp.1111-1112, 2015.
- 2)鶴野, 行本:ゴム支承の表面亀裂に関する研究, 土木学会第64回年次学術講演会概要集, pp.769-770, 2009.
- 3)兼子, 柴山:ゴム支承のオゾン劣化に関する研究, 土木学会第66回年次学術講演会概要集, pp.313-314, 2011.
- 4)MSC. Marc, Volume A:Theory and User Information, pp456,2014.