オゾンクラックを模擬した超高減衰ゴム支承の性能評価
その１　FEM 解析によるゴム支承のひび割れ進展範囲の検討

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
株式会社ブリヂストン　正会員　近藤誠一

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]．この為被覆ゴムは製造当時の基準に合格したものが使用されているが，**図 1** の様にクラックが進展したひび割れが報告されており，その影響について検討がなされている[2]．本検討では FEM を用いてオゾン劣化によるひび割れの進展範囲を検証する．

2. ゴム支承諸元と FEM 解析モデル

解析対象は超高減衰ゴム支承（High Damping Rubber-Super : HDR-S）であり，形状係数の影響を検討するためにゴム支承の諸元は**表 1** の通り 2 種類とした．解析ソフトは MSC Software の Marc を使用した．鋼板類は完全弾性体でヤング率は 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 は等容変形成分を Neo-Hookean，体積変形成分を Marc デフォルト式として**式 1** とした[3]．

$$W = C(I_1 - 3) + \frac{9}{2}\kappa\left(J^{1/3} - 1\right)^2 \qquad \text{式 1}$$

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 2** の通り設定した．解析条件は常時せん断ひずみの許容値である水平ひずみ 70%，面圧は 0～6.0MPa で 8 パターン，回転角はゼロとした．解析モデルを**図 2** に示す．境界条件は連結鋼板底面の節点変位をゼロとし，鉛直荷重と水平変位は連結鋼板上面にタイイングした代表節点に与えた．

3. ひび割れ深さの検証方法

オゾン劣化によるゴムのひび割れは僅かな引張応力でも発生する．ひび割れ発生時に引張応力の発生範囲を可視化するため，**図 2** の様に解析モデルの橋軸直角面の連結鋼板端部に予め非接着面を作成し，**図 3** の様に引張応力により非接着面が開口する範囲を読み取ることで，ひび割れの進展しうる範囲を求めた．

図 1 オゾン劣化によるひび割れ発生形態

表 1 解析モデルの諸元

解析モデル名	600-13×6	600-25×6
内部ゴム	HDR-S G10	HDR-S G10
有効寸法（mm）	600×600	600×600
ゴム層厚さ（mm）×層数	13×6	25×6
ゴム総厚さ（mm）	78	150
内部鋼板厚さ（mm）	3.2	3.2
連結鋼板厚さ（mm）	50	50
被覆ゴム厚さ（mm）	10	10
一次形状係数 S1	11.54	6.00
二次形状係数 S2	7.69	4.00

表 2 ゴムの材料定数

材料	C（MPa）	κ（MPa）
内部ゴム	0.454	5078
被覆ゴム	0.362	4042

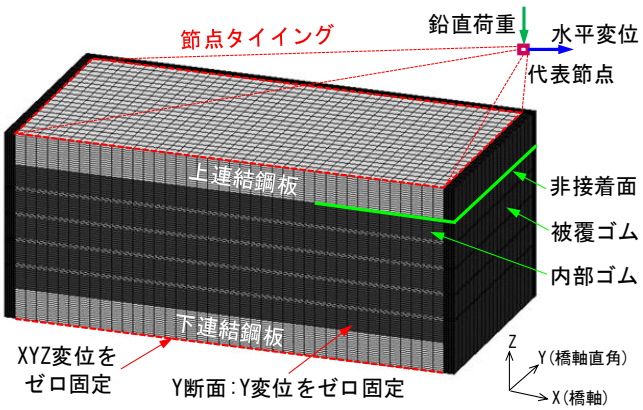


図 2　解析モデル（1/2 モデル）

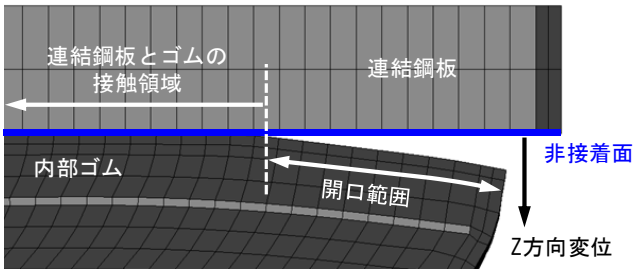


図 3　ひび割れ進展範囲の検証方法

キーワード 橋梁，ゴム支承，FEM，耐オゾン性，ひび割れ
連絡先 〒244-8510 横浜市戸塚区柏尾町 1 番地 TEL:045-825-7543　FAX:045-825-7676

© Japan Society of Civil Engineers

4. 解析結果・考察

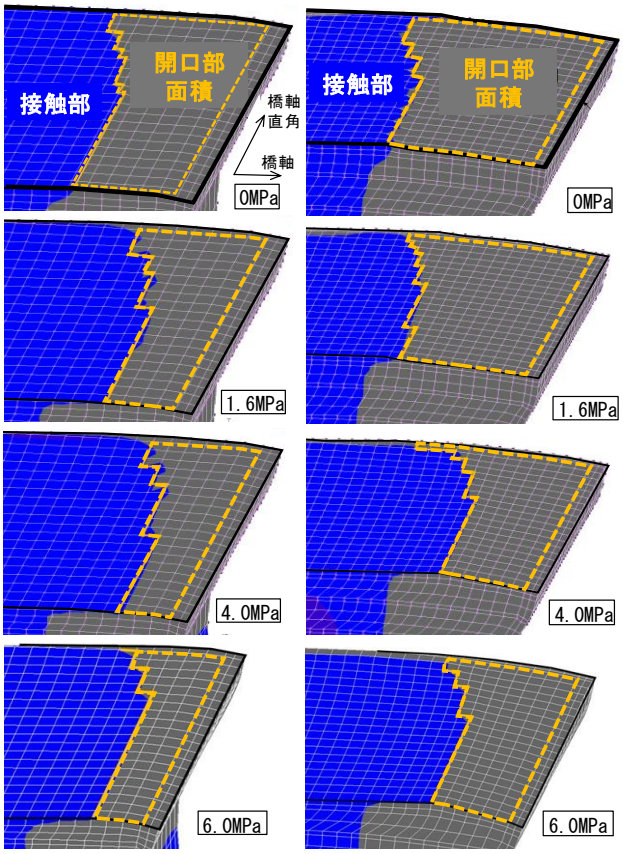
非接着面の開口範囲を示すため，連結鋼板下端を基準とし Z 軸下方向に変位が生じ，開口している範囲を黄色点線の範囲として**図 4** に示す．非接着面の開口範囲は橋軸直角方向（Y 軸方向）で変動しており，解析結果からオゾン劣化によるひび割れは橋軸直角面の中央部よりも端部の方が深くまで進展すると考えられる．また，高面圧だと引張応力の作用する範囲は減少し，開口範囲が小さくなる．さらに同じ面圧でもゴム支承の二次形状係数が小さく，常時せん断変形量の大きいゴム支承の方が開口面積は広くなる．このことから，低面圧で使用され，常時せん断変形の大きいゴム支承ではひび割れ進展範囲が広くなると考えられる．

解析結果から被覆ゴム部を除く開口面積を読み取り，有効面積との比を求めた結果を**表 3** に示す．また，**図 5** に面圧と前述の面積比の関係及びその近似式，被覆ゴム厚さ 10mm として算出した橋軸直角方向の平均ひび割れ進展深さを示す．一例として有効面積 600×600mm，ゴム層 25mm×6 層のゴム支承において面圧 6MPa，常時せん断ひずみ 70%の場合に深さ 77.2mm のひび割れが生じると推定される．

5. まとめ

本検討では超高減衰ゴム支承を対象とし，オゾン劣化に起因するひび割れが発生した際のひび割れ進展範囲を FEM 解析により検証した．結果を以下にまとめる．

- 引張応力の作用する範囲にひび割れが進展すると仮定し，予めモデルに設けた非接着部の開口面積によりひび割れ進展範囲を推測した．
- 二次形状係数が小さく，低面圧で使用されるゴム支承では FEM 解析において非接着部の開口面積が広くなるため，引張応力によるひび割れ進展範囲も広くなると考えられる．
- ゴム支承の橋軸直角方向では中央部よりも端部の方が開口面積は大きくなることから，端部では周囲に比べてひび割れが深くなると考えられる．



(A) 600−13×6 モデル　(B) 600−25×6 モデル

図 4　解析結果（黄色点線の範囲：開口範囲）

表 3 開口面積と有効面積比のまとめ

面圧 (MPa)	600-13×6（1/2 モデル）		600-25×6（1/2 モデル）	
	開口面積 (mm^2)	有効面積比	開口面積 (mm^2)	有効面積比
0.0	18750	10.4 %	35850	19.9 %
0.8	17250	9.6 %	34275	19.0 %
1.6	16500	9.2 %	29775	16.5 %
2.4	14400	8.0 %	27000	15.0 %
3.2	13800	7.7 %	23925	13.3 %
4.0	11850	6.6 %	23550	13.1 %
5.0	10152	5.6 %	20850	11.6 %
6.0	9375	5.2 %	20100	11.2 %

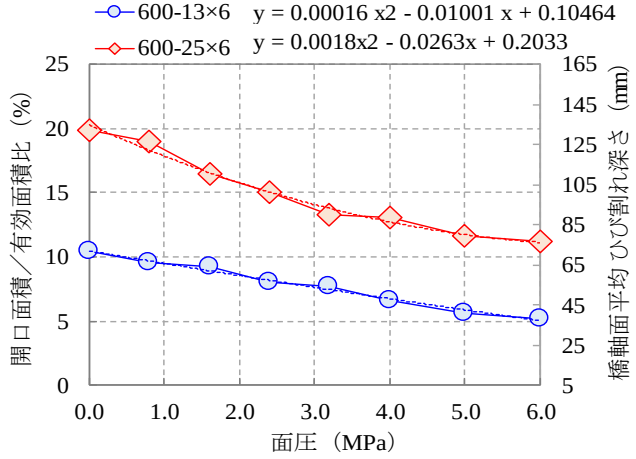


図 5　面圧とひび割れ進展面積比の関係

【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)鵜野, 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)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

© Japan Society of Civil Engineers