ゴム支承のオゾン劣化に関する研究

横浜ゴム株式会社　正会員　○兼子 一弘・柴山 聡

1. はじめに

ゴム製品の環境による劣化要因としてオゾン劣化が挙げられる。オゾン劣化はオゾン分子がゴムの二重結合の炭素原子の分子鎖を切断することに起因し，ゴムに継続的な伸長応力が与えられた状態では亀裂に発展する [1]。この亀裂はオゾンクラックと呼ばれ，橋梁に使用されるゴム支承においても，寒冷地域や長大橋といった特殊な環境下ではオゾンクラックの発生が報告されている [2)3)]。

本研究では，実製品の現地調査と FEM 解析によりゴム支承にオゾンクラックが発生する傾向を分析した。また，オゾンクラックの進行限界とゴム支承のせん断変形性能への影響を実験により検証した。

2. オゾンクラック発生傾向の分析

ある地域の 3 橋梁についてオゾンクラック発生の有無を調査した。諸元を表-1 に示すが，3 橋全て鋼桁であり，ゴム支承は全て超高減衰ゴム支承(HDR-S)が使用され，架設後 3 年以上経過していた。さらに，使用されたゴム材料は，道路橋支承便覧で要求されている静的オゾン劣化試験の規格を満足していた [4]。調査結果を図-1 に示す。3 橋中 2 橋の伸縮桁長 270m 以上に設置されたゴム支承の側面被覆ゴムにオゾンクラックが確認された。これらのゴム支承は常時におけるせん断変形量が大きく，±20℃の温度変化時のせん断ひずみは 38%以上になることがわかった。

表-1　現地調査橋梁の諸元

桁種	径間数	支間長	支承	クラック有無
鋼桁	16	855.6	免震(HDR-S)	あり
鋼桁	13	696.0	免震(HDR-S)	あり
鋼桁	3	132.4	免震(HDR-S)	なし

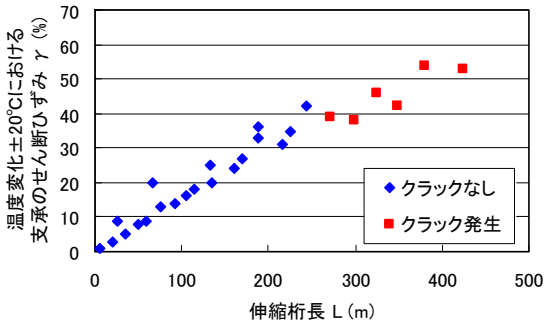

図-1　オゾンクラック調査結果

全てのオゾンクラックは，ゴム支承のせん断変形により引張が生じている面の上下端部鋼板近傍の被覆ゴム表層部に発生していた。図-2 にゴム支承せん断変形時の被覆ゴム表面の伸びを FEM 解析した結果を示す。道路橋支承便覧における静的オゾン劣化試験のゴム伸長率は 20%であるが，オゾンクラック発生位置に相当する端部鋼板と本体ゴム境界面近傍の被覆ゴムは，せん断ひずみ 40%では伸長率が 20%を超え，常時での設計許容値に相当するせん断ひずみ 70%では伸長率が 40%近くに達した。

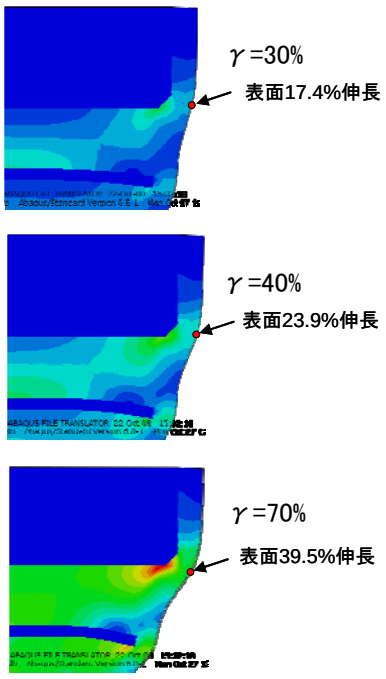

図-2　支承せん断変形時の被覆ゴム表面伸び FEM 解析結果

これらの結果から，せん断ひずみが 35%を超えた状態で長期間供用されていると，道路橋支承便覧での品質管理基準を満足したゴム材料でもオゾンクラックが発生するリスクが高くなると考えられる。なお，オゾンクラックが確認された 2 橋は長大橋で常時移動量が過大になるため，温度変化±30℃で設計されていた。一般的な橋梁では，鋼橋・普通地域における常時移動量は温度変化±50℃で設計されるため，±20℃の温度変化時のゴム支承のせん断ひずみは 28%以下になる。

キーワード　ゴム支承，オゾン劣化，オゾンクラック，せん断変形性能
連絡先　〒254-8601　神奈川県平塚市追分 2-1　横浜ゴム(株)　TEL 0463-35-9686

3. オゾンクラック進行限界確認実験

オゾンクラックはゴムとオゾンの化学反応により発生するため，進行が進みクラックが本体ゴム部に達すればゴム支承の性能に悪影響を及ぼすことが懸念される。そこで，表-2 に示すオゾン劣化促進試験を行い，オゾンクラックの長さの変動からオゾンクラックの進行限界を確認した。

表-2 オゾン劣化促進試験条件

1. 試験体	HDR-S G12 (本体ゴム・被覆ゴムともに) 本体ゴム寸法：□240mm×5mm×6層 側面被覆ゴム厚：5mm
2. せん断ひずみ	80% (水平変位量24mm)
3. 面圧	6N/mm^2 (圧縮荷重345.6kN)
4. オゾン濃度	100pphm
5. 試験温度	40℃
6. 試験時間	960時間 (40日)
7. 確認方法	オゾンクラックの長さの変動により確認

図-3 に測定結果を示す。試験開始 1 日後に微小なオゾンクラックが発生し，8 日後までは長さが増大したが，9 日を経過してからは左 22mm, 中央 20mm, 右 30mm で一定であった。また，試験後にオゾンクラックの深さを計測したが，最大で 3mm であり，本体ゴムまでは達していなかった。これより，ゴム支承に発生したオゾンクラックには進行限界があると言える。

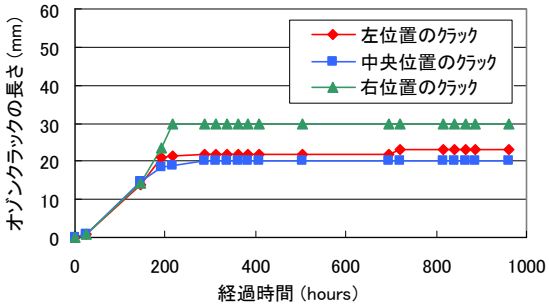

図-3 オゾンクラック長さ測定結果

さらに，図-6 にオゾン劣化促進試験後の試験体でせん断変形性能試験を実施した結果を示す。通常のせん断変形性能試験において，HDR-S はせん断ひずみ 400%前後で破断するが，本実験ではせん断ひずみ 468%で破断した。レベル 2 地震時における設計許容せん断ひずみ 250%に対しても十分な余裕があることから，オゾンクラックがゴム支承のせん断変形性能に悪影響を及ぼすことはないと言える。

図-4 1 日経過後の試験体

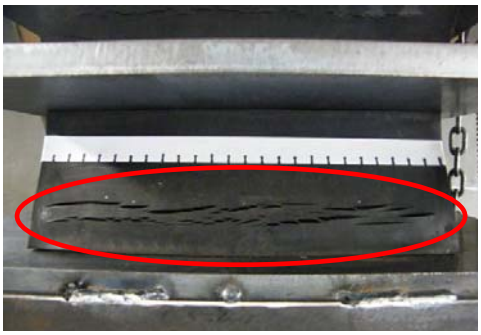

図-5 40 日経過後の試験体

4. まとめ

- ゴム支承のせん断ひずみが 35%を超えると，端部鋼板と本体ゴム境界面近傍の被覆ゴムは，静的オゾン劣化試験の試験条件である伸長率 20%よりも大きくなることがわかった。長期間にわたりゴム支承のせん断ひずみが 35%を超える場合は，オゾンクラック発生のリスクが高くなることがわかった。
- ゴム支承にオゾンクラックが発生しても被覆ゴムのところでクラックの進行は止まることがわかった。また，オゾンクラックがゴム支承のせん断変形性能に悪影響を及ぼすことがないこともわかった。
- 長大橋の端支点など常時のせん断ひずみが大きいゴム支承には，より耐オゾン性能に優れた被覆ゴムを使用することが望ましい。

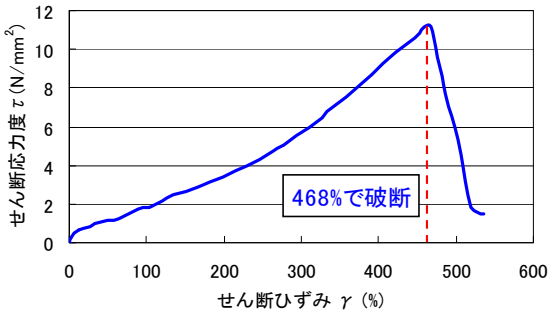

図-6 せん断変形性能試験結果

参考文献

1) 社団法人日本ゴム協会：ゴム技術の基礎，pp.236-239，1983.
2) 杉本博之, 溝江実, 山本吉久, 池永雅良：天然ゴム支承の低温耐候性に関する研究，土木学会論文集 No.693，pp.73-86，2001.
3) 鵜野禎史, 行本直人：ゴム支承の表面亀裂に関する研究，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, pp.769-770, 2009.
4) 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，pp.213，2004.