

オゾン劣化によりゴム支承に発生する亀裂の形状解析

同志社大学大学院 学生会員 ○榎本照久, 非会員 塩井章久, 山本大吾
株式会社川金コアテック 正会員 姫野岳彦, 非会員 清水和弘

1. はじめに

地震が頻発する日本では、構造物の耐震・免震技術の構築やその向上が絶え間なく行われている。その一環として、橋梁の耐震性能向上のため、橋梁支承に免震用積層ゴム支承が数多く導入されている。しかしながら、近年、橋梁用ゴム支承表面に亀裂が生じているとの報告がなされており¹⁾、ゴム支承の耐久期間を定量的に評価するため、亀裂深さの推定方法の確立が求められている。本研究では、ゴム支承表面から観測可能な亀裂の幅や長さから亀裂深さを推定するために、亀裂の形状解析を行い、それらの相関関係、並びにゴム試料の劣化条件と亀裂深さの関係性について検討することで、亀裂深さの成長に関する特徴を明らかにすることを目的とした。

2. ゴム試料の作製方法および測定方法

試料には、実際の橋梁用ゴム支承に用いる材料配合のうち、亀裂発生を早めるため老化防止剤を除いて作製したゴム試料を、様々な条件下においてオゾンによる加速老化試験を実施することで、意図的に亀裂を発生させたものを用いた。

オゾン濃度別に試験時間を段階的に増加させたゴム試料の作製条件を表1に示す。表1に示すゴム試料を伸張率30%で伸長させながら、ゴム試料表面の形状をレーザー顕微鏡(株式会社キーエンス VK-X200)で観察した。観察結果より、各亀裂の長さや深さ、および伸張方向に対する亀裂数の線密度をそれぞれ計測することで、亀裂長さや亀裂深さの関係や試験条件と亀裂形状、亀裂数の関係について検討を行った。

続いて、伸張率のみを変化させた場合のゴム試料の作製条件を表2に示す。表2に示すゴム試料を伸張方向に短冊状に切断し、加速老化試験時と同様の伸張率で伸長させたまま、断面方向からレーザー顕微鏡を用いて観察を行った。また、亀裂数の線密度の計測を行うため、伸張率30%で伸長させたゴム試料表面をレーザー顕微鏡で観察した。各観察結果より、各亀裂の幅

と深さ、および伸張方向に対する線密度をそれぞれ計測することで、亀裂深さと亀裂幅、亀裂数の関係について検討を行った。

表1 時間およびオゾン濃度別のゴム試料の試験条件

時間 [h]	オゾン濃度 [pphm]	温度 [°C]	伸張率 [%]
1	20,50	40	12
2	20,50	40	12
4	20,50,100	40	12
8	20,50,100	40	12
16	20,50,100	40	12
24	20,50,100	40	12
48	20,50,100	40	12

表2 伸張率別のゴム試料の試験条件

時間 [h]	オゾン濃度 [pphm]	温度 [°C]	伸張率 [%]
48	100	40	5,12,20,30,40

3. 時間およびオゾン濃度別の亀裂の形状解析結果

ゴム試料表面のレーザー顕微鏡像について、オゾン濃度が50pphm、試験時間が4, 16, 48hのものを図1に示す。また、このときの亀裂長さや亀裂深さの関係を図2に示す。図1より、亀裂は時間経過とともに成長することがわかる。また、図1の(a)に示すように、16h付近で亀裂同士が長さ方向に合一することがわかる。図2より、時間経過と共に亀裂深さは成長するが、亀裂長さは8h以降において分布を広げながら成長することがわかる。ここで、亀裂長さの分布が時間とともに広がるのは、図1の(a)に示すように亀裂同士が合一しているためであると考えられる。また、図2に示すように、亀裂長さや亀裂深さの相関関係はないと考えられる。

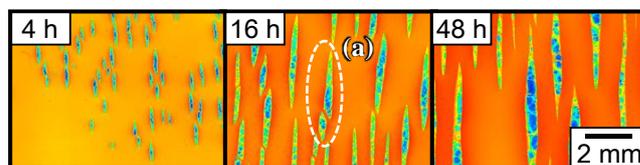


図1 時間別のゴム試料表面のレーザー顕微鏡像

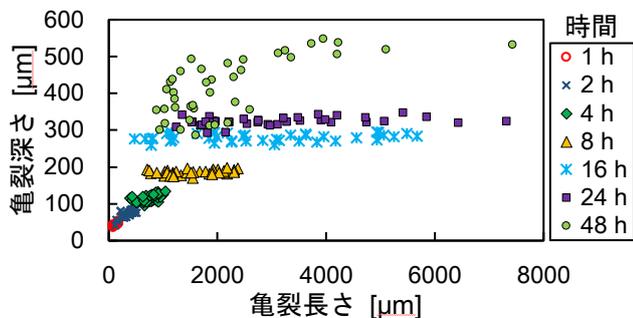


図2 時間別の亀裂長さと亀裂深さの関係

続いて、亀裂の線密度と時間の対数値の関係を図3に、亀裂の深さと時間の対数値の関係を図4にそれぞれオゾン濃度別に示す。図3より、オゾン濃度が20, 50, 100pphmの亀裂の線密度はそれぞれ16, 8, 4h以降で一定となっており、それらの時間以降に新たな亀裂が発生しにくくなっていると考えられる。次に、図4より、いずれのオゾン濃度においても時間の経過に伴って亀裂の深さは増加し、オゾン濃度が20, 50, 100pphmの亀裂の深さはそれぞれ16, 8, 4h以降において時間の対数値に対し、図4の実線部分に示すように、傾きが同一の線形関係を示すことがわかる。図3および図4に示すように、新たな亀裂が発生しづらくなり、既存の亀裂が時間の経過とともに成長する場合、その亀裂深さはオゾン濃度に関係なく時間の対数値に比例して増加すると考えられる。

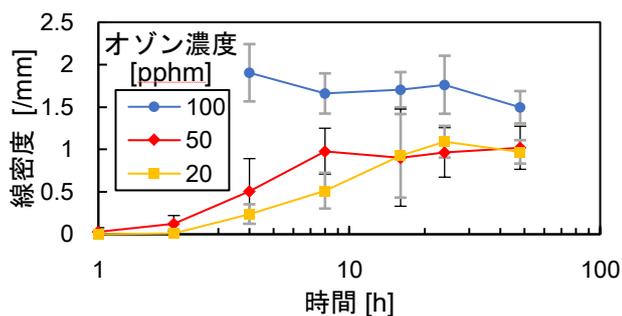


図3 オゾン濃度別の時間と亀裂の線密度の関係

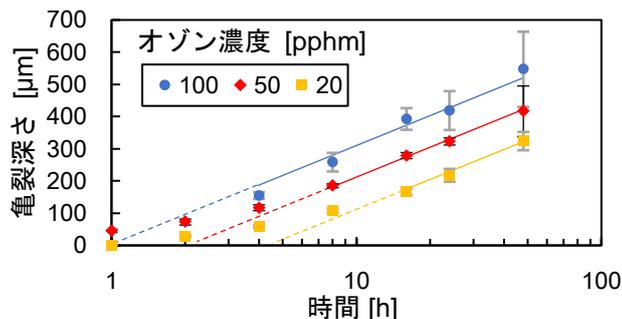


図4 オゾン濃度別の時間と亀裂深さの関係

4. 伸張率別の亀裂の形状解析結果

ゴム試料断面のレーザー顕微鏡像について、伸張率が5, 20, 40%のものを図5に示す。また、このときの亀

裂幅と亀裂深さの関係を図6に、伸長率と亀裂の線密度の関係を図7にそれぞれ示す。図5より、伸長率が増加するほど亀裂は大きく開裂し、亀裂深さは浅くなるのがわかる。図6より、伸張率が減少するほど亀裂幅の分布が狭くなるとともに、亀裂深さが増加する傾向があるとわかる。また、図6に示すように、亀裂幅の分布が広いため、亀裂幅と亀裂深さの相関関係を定量的に得ることは困難であると考えられる。一方、図7より、伸長率が増加すると亀裂の線密度も増加することがわかる。図6および図7に示すように、伸長率が減少することで亀裂数が減少し、少数の亀裂が集中的に成長したため、亀裂深さが増加したと考えられる。

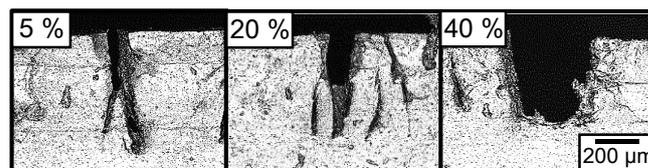


図5 伸張率別のゴム試料断面のレーザー顕微鏡像

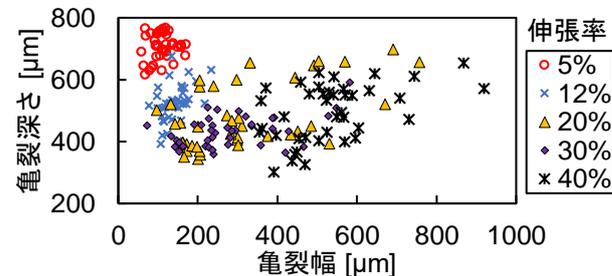


図6 伸張率別の亀裂幅と亀裂深さの関係

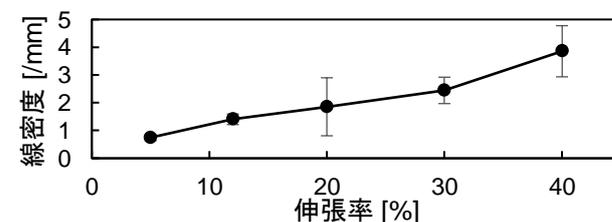


図7 伸張率と亀裂の線密度の関係

5. まとめ

加速老化試験で作製した亀裂を形状解析したところ、時間経過と共に既に発生している亀裂が成長する場合、その亀裂深さはオゾン濃度に関係なく時間の対数値に比例することがわかった。また、ゴム表面からわかる亀裂幅、亀裂長さ、亀裂深さの相関関係はないことがわかった。

参考文献

(1)道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版) — 橋梁損傷事例写真集一, 国土技術政策総合研究所資料, 第748号, 2013.