

工業用高分子材料における新しい“構造的”材料寿命の提案 - 高分子形成理論を全く逆に用いた構造崩壊条件の記述 -

SATテクノロジー・ショーケース2021

■ はじめに

近年、建築物及び土木構造物の長寿命化及びライフサイクルコストの低減が社会的に要請され、さらに SDGs 目標に“Sustainable Cities and Community (住み続けられるまちづくり)”が掲げられるなど国際的にも注目を集める。構造物長寿命化の鍵を握るのが、表層にあるソフトマテリアルの劣化現象である。具体的には、塗膜などのソフトマテリアルを用いて構造物内部への劣化因子(水、CO₂、塩化物イオン)の侵入を防ぐことで耐用年数を高める。しかし、ソフトマテリアルは外装材として光(紫外線)等により劣化し、柔軟性を失ひひび割れを生じてバリア性を損なう場合がある。

構造物の資本価値の減却を抑えるため、その性能をキープしつつ構造物を運用する必要があるが、外装材は10年前後で交換・修繕を前提としており、その適切な劣化評価、予測が重要となる。また、基礎研究として材料劣化メカニズムを反応スケールから物性まで連続的な議論で解明できれば、材料の長期性能保証のみならず、劣化メカニズムの本質はソフトマテリアルの高耐久化の提言にまでつながる可能性があり、ひいては構造物の長寿命化に貢献することができるものと考えている(図1)。本発表では、数理的アプローチによる材料寿命判定クライテリアを提案し、定量的な劣化予測のパートを議論する。

■ 活動内容

これまでに、工業用高分子材料における光劣化メカニズム及び材料内部形態変化シナリオを明らかにした¹⁾。光劣化は紫外線による分子切断がある程度進むと、分子は形態的拘束から開放され全く異なる分子配置を持つ状態へ構造転移を生じる。その結果、材料は「硬く、脆くなり」、ひび割れリスクが高まる。劣化したソフトマテリアルが期待された「柔らかさ」が構造転移によって失われてしまう、

1. “構造的”材料寿命の提案

ソフトマテリアルの「柔らかさ」は長い分子間距離で「ゆるく」架橋されたネットワーク構造によるものである。しかし、ネットワーク構造が壊れると、構造転移によりその「柔らかさ」自体が失われてしまう。そのためネットワーク構造が崩壊し、構造転移が始まる時点を「“構造的”材料寿命」と定義してよいと思われる。

ここでは、高分子形成過程において分子量が無限大へ

と発散する臨界現象を全く逆に高分子劣化現象に適用することを試みた。つまり、分子量無限大と見なせる巨大分子中に、劣化による分子切断がどれだけ起これば分子量無限→有限の転移が起こるのかを記述したことになる(図2)²⁾。分子量が有限となれば、それまでの分子同士の拘束がなくなり、大規模な分子再配列とともに「硬く、脆い」構造へと向かっていく。そのため、この分子量無限→有限の臨界現象が「初期ネットワーク構造の崩壊」であり、それが起こる時期を「“構造的”材料寿命」と定義することができる。

2. 材料寿命予測への適用

今回の対象のネットワーク構造は3官能基系であり、架橋点のウレタン結合が分子切断の対象となる。計算によれば、約3割の分子切断が起こると材料は寿命を迎える。また、得られた材料寿命は構造転移が始まる時期とよく一致した²⁾。

■ 参考文献

- 1) T. Ishida, R. Kitagaki, S. Yamane, H. Hagihara, Polym. Degrad. Stab. 162, 85-93 (2019).
- 2) T. Ishida, R. Kitagaki, H. Hagihara, Y. Elakneswaran, Polymer (Guildf). 186, 122035 (2020).

マルチスケール材料劣化解析のスキーム

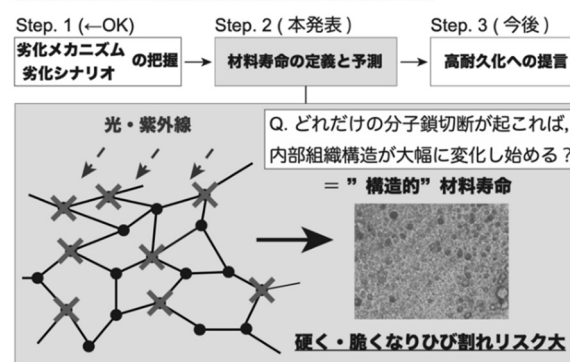


図1 マルチスケール材料劣化解析の概要

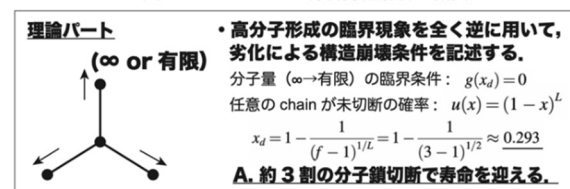


図2 “構造的” 材料寿命の計算 - 構造崩壊条件の導出 -

代表発表者 石田 崇人(いしだ たかと)
所属 北海道大学大学院 工学院
環境循環システム専攻 博士課程 学生
問合せ先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学 大学院 工学研究院
TEL:011-706-6239 FAX:011-706-6240
takato@eis.hokudai.ac.jp
takato.matphysichem@gmail.com

■キーワード: (1) 材料劣化・寿命
(2) 工業用高分子材料
(3) 構造崩壊条件
■共同研究者: 北垣 亮馬(北海道大)
萩原 英昭(産業技術総合研究所)
エラクネス ヨガラジャ(北海道大)