

橋梁用ゴム支承の熱酸化劣化による性能変化の予測

名古屋大学 学生会員 ○佐藤和也
 名古屋大学 フェロー会員 伊藤義人
 名古屋大学 学生会員 顧 浩声
 東海ゴム工業(株) 正会員 山本吉久

1. はじめに

ゴム材料は一般に、他の材料と比較して長期使用時の劣化による性能変化が著しい。特に、熱酸化劣化はゴム材料、ひいてはゴム支承の性能に強く影響することが知られている。耐久性能は構造用部材に求められる重要な要求性能の1つであり、日本が議長国として取りまとめている免震積層ゴム ISO 規格にも長期耐久性の評価が盛り込まれている¹⁾。しかし、(1)支承内部に進行する熱酸化の影響、(2)ゴム材料の高精度な劣化予測、(3)ゴム支承の性能変化予測、については未だ明らかにされていない。本研究では、内部劣化を把握するための加熱促進劣化実験を行い、それを基にゴム材料ならびにゴム支承の長期劣化予測手法を構築した。

2. 加熱促進劣化実験

支承内部に進行する熱酸化の影響を調べるため、天然ゴム(NR)と高減衰ゴム(HDR)に対して図-1に示すゴムブロックを用いた加熱促進劣化実験を行った。表-1に実験条件を、図-2に実験の流れを示す。



図-1 ゴムブロック

表-1 実験条件

材料	試験温度 [°C]	試験時間 [days]
NR, HDR	60	31, 60, 100, 200, 300
	70	12, 22, 38, 75, 113
	80	4, 8, 14, 28, 42

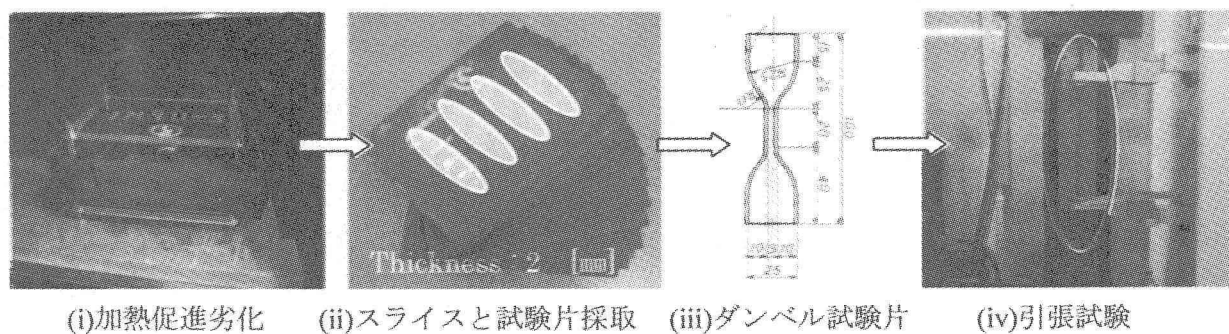


図-3 実験の流れ

ブロックをギヤオーブンで促進劣化させた後、厚さ 2 mm 毎にスライスした。次に、スライスシートから 4 本の 3 号ダンベル試験片を採取し、引張試験を実施した。引張試験から得られた応力-ひずみ曲線から、100% ひずみエネルギー(U100)などの物性値を求め、ブロック厚さ方向にプロットすることで内部に進行する熱酸化の影響を調べた。

実験結果を図-3に示す。横軸はブロック厚さ(50 mm)に対する相対位置を、縦軸は初期値を 1 とした U100 の変化量を表している。図-3(a)は NR の U100 の内部分布(U100 プロファイル)である。図-3(a)より、ブロック表面は著しく物性が増加しているのに対し、ブロック内部はほとんど変化していないことがわかる。

図-3(b)は HDR の U100 プロファイルである。NR と同様に、ブロック表面で劣化の影響が強く現れた。ブロック内部にも若干変化が見られたが、これは分子構造の再配列により生じた、熱酸化劣化とは無関係な変化であると思われる。

3. 劣化後ゴム支承の劣化予測

加熱促進劣化実験から、ゴム材料の劣化特性は次のように捉えられる。表面で最も激しく劣化され、時間依存の変化を生じる。しかし、内部に進むにつれて変化量は減少し、ある位置(クリティカル深さ)で完全に初期値と同じとなる。これらより、ひずみエネルギープロファイルの予測式は次式のようになる。

$$U/U_0 = 1 + w\Delta U_s \tag{1}$$

ここに、 U 、 U_0 はそれぞれ劣化後と初期のひずみエネルギー、 ΔU_s は表面の変化量を表す。 w は、位置とクリティカル深さの関数である。式(1)に対して、実環境下での気温や Arrhenius 式による相当時間を与えることで、その環境下でのひずみエネルギープロファイルが得られる。また、あらゆるひずみにおけるひずみエネルギープロファイルを求めれば、次式により任意の内部位置での応力-ひずみ曲線が得られる。

$$\sigma = \partial U / \partial \varepsilon \tag{2}$$

式(2)から得られた応力-ひずみ曲線から、100%引張応力の内部分布(M100 プロファイル)などの推定も可能となる。さらに、FEM の入力データとすることで劣化後ゴム支承の性能変化を予測することができる。

一連の劣化予測の妥当性を検証するために、イギリス Lincoln 市にある Pelham 橋から回収された NR ゴム支承²⁾との比較を行った。回収された支承は、年平均気温 9.2℃の下で 38 年間使用されたものである。図-4 に初期値を 1 とした M100 プロファイルの比較を、表-2 に水平剛性と等価減衰定数の変化の比較を示す。図-4 より、劣化予測による M100 プロファイルが実測結果と概ね一致していることが分かる。また、表-2 より、水平剛性の変化も精度良く予測されている。

謝辞

加熱促進劣化実験では、東海ゴム工業株式会社の方々から多くのご助力を頂きました。また FEM 解析では、山梨大学工学部土木環境工学科の吉田純司助教授から熱心にご指導して頂きました。なお、本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(代表者〇〇)の助成を受けて行ったものである。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)松田ら:10年間使用後の免震支承性能変化実測による経年変化予測技術の妥当性評価と ISO 規格化,2003.
- 2)渡部ら:約 40 年を経過した積層ゴムの経年変化調査,第 1 回免震・制振コロキウム,1996.

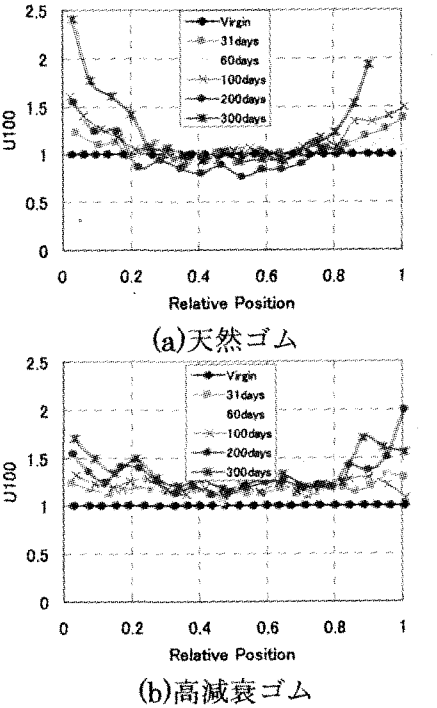


図-3 U100 プロファイル (60℃試験条件)

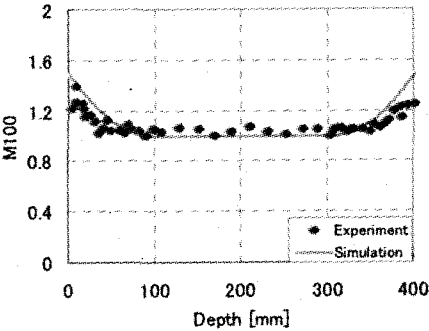


図-4 M100 プロファイルの予測結果

表-2 水平剛性と等価減衰定数の変化

	実測結果	解析結果
水平剛性	約+10%	+9.2%
等価減衰定数	—	—2.2%