

ゴム材料の疲労寿命予測シミュレーション

Simulation of fatigue life for elastomer

石川 覚志¹⁾

Satoshi Ishikawa

1) 博(工) 株式会社IDAJ (〒650-0001 兵庫県神戸市中央区加納町4-4-17, E-mail: ishikawa.satoshi@idaj.co.jp)

The fatigue life is one of the most important for the mechanical product design, and the precise prediction of life is the key issue. There are several methods for traditional metal fatigue such as SN-relation, Basquin rule and Coffin-Manson rule, however, they are not available for elastometric material. For the evaluation of elastomer fatigue life, another algorithm should be applied. This paper has shown the crack growth rate of elastomer and application of estimation for fatigue life.

Key Words : Fatigue Life, Elastomer, Crack

1. はじめに

構造物の疲労および破壊現象は重要な設計要因である。金属材料に対する疲労という用語はJean-Victor Poncelet (仏)によって1825年頃に提唱され、その後Wilhelm Albert (独)が、鉱山の鉄製チェーンの疲労に関する実験結果を報告した。金属疲労の寿命予測を行うための多くのシミュレーションソフトウェアが実用化され、有効利用されている。一方高分子に対する疲労寿命予測は金属とは異なる現象を伴うため、その寿命予測を行うための実験がLake, G. J., Lindley, P. B[1]らによって行われた。その寿命曲線を数式化したものがソフトウェアに組み込まれ、実用化に至っている。本稿ではゴム材料に対する最近の疲労寿命予測ソフトウェアの機能の一部ならびに適用事例を紹介する。

2. ゴムのクラック成長速度と疲労寿命式

(1) ゴムのクラック成長速度

ゴムの疲労破壊すなわちクラックの成長速度を図1に示す。図1に示すようにゴムの種類やカーボンブラックの配合などによって成長速度が異なる。横軸がクラックを促進するエネルギー（駆動力）であり、縦軸がクラック進展速度 dc/dN である。

(2) fe-safe/rubberでのゴムのクラック成長速度式

図1に示す実験曲線をソフトウェアで用いるためにfe-safe/RubberではLake-Lindleyによる図2に示す曲線を適用している。これは下限界と遷移領域を持つ予測式であり、式(1)から(3)に示すクラックの駆動力すなわちひずみエネルギーの範囲に応じて、それぞれ成長速度が計算される。

ここで、 T_0 はクラックの生じない下限界値、 T_t は進展速度の関数の遷移値であり、駆動力が T_t より小さい場合は線形則となり、大きければべき乗則を取る。 T_c は臨界値であり、駆動力がそれ以上となると急激な破断となり、 r_c が上限の進展速度である。したがって、図2に例として値を示した変数がゴムの疲労寿命を支配する材料物性値であ

る。なお、式(2)の線形領域の係数 A は、式(2)と(3)が $T = T_t$ の時に等しくなるので、式(4)の関係から得られる。

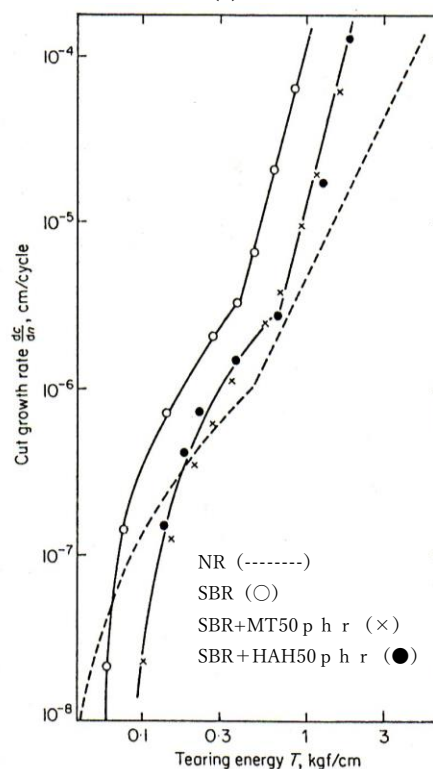


図-1 実験によるクラック成長速度曲線

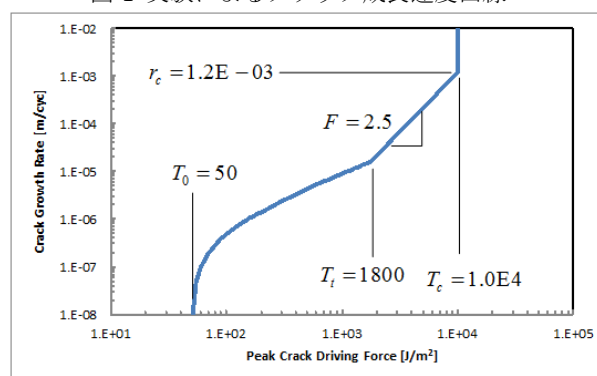


図-2 fe-safe/rubberでのクラック成長速度曲線

$$\frac{dc}{dN} = 0 \qquad T < T_0 \qquad (1)$$

$$\frac{dc}{dN} = A(T - T_0) \quad T_0 < T < T_t \qquad (2)$$

$$\frac{dc}{dN} = r_c \left(\frac{T}{T_c}\right)^F \qquad T_t < T < T_c \qquad (3)$$

$$A(T_t - T_0) = r_c \left(\frac{T_t}{T_c}\right)^F \qquad (4)$$

(3) 疲労寿命式

疲労寿命は次式で計算される。

$$N = \int_{c_0}^{c_f} \frac{1}{r(G)} dc \qquad (1)$$

ここで、 $r(G)$ はエネルギー解放率 G を変数とする関数であり、前節でのクラック進展速度 dc/dN に他ならない。 c_0 は初期クラック長さ（潜在欠陥）であり、深掘[2]は実験からカーボンブラック充填の天然ゴムの潜在欠陥は50μmであることを示しており、fe-safe/rubberでは様々なゴム材料毎に値が設定されている。一方 c_f は破断長さを表しており、fe-safe/rubberでのデフォルト値は1mmとなっている。

3. 適用事例

Mars[3]らが示した適用事例を紹介する。彼らはマウントゴムに引張と圧縮の繰り返し変位を与える実験を行った上で、その疲労寿命予測を実施した。まず、通常の有限要素解析でマウントゴムに引張と圧縮の境界条件を与え、応力解析を実行する。（図3参照）その応力とひずみ履歴をfe-safe/Rubberで読み込み寿命予測を行う。図4に本事例で適用したゴムの疲労寿命曲線を示す。表1に実験の条件と解析結果を示す。疲労解析は3ケース行い、第2列が平均変位、第3列が変位振幅である。1mmのクラック成長に要するサイクル数として、寿命計算結果を第4列に、実験結果を第5列に示す。寿命予測の値と実験値でほぼ同等の値が得られている。

表-1 実験条件と解析結果

Case	Mean disp	Disp amplitude	Cycles Analysis	Cycles Experiment
A	5	5	4.19E6	4.0E6
B	-5	5	1.17E6	1.5E6
C	0	10	0.52E6	0.6E6

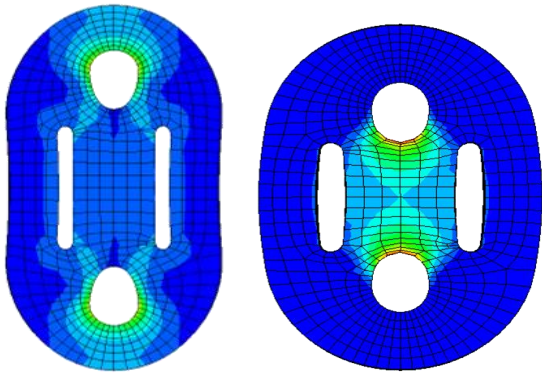


図-3 マウントゴムの引張と圧縮解析結果

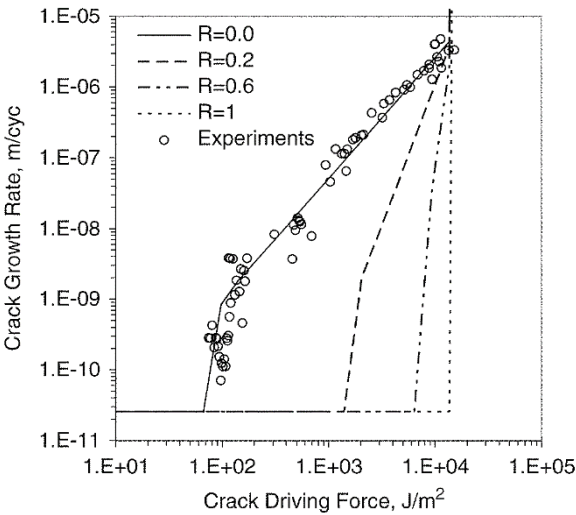


図-4 実験によるクラック成長速度曲線

4. まとめ

ゴムの疲労寿命予測ソフトウェアについて簡潔に紹介した。適切な寿命曲線を用意することが重要であるが、紹介したソフトウェアを用いてゴムなどの高分子材料に対する繰り返し疲労寿命を予測可能である。今後は他の種類のゴム材料や実用部品についても検討を行う予定である。

参考文献

[1] Lake, G. J., Lindley, P. B. J: The mechanical fatigue limit for rubber, *J. Appl. Poly. Sci.*, Vol.9, pp.1233-1251, 1965.
[2] 深堀美英:エラストマーの疲労寿命予測, 日本ゴム協会誌, Vol.58, pp.625-633, 1985.
[3] Mars, W. V. et al: Fatigue life analysis of an exhaust mount , *Constitutive Models for Rubber IV*, pp.23-29, 2005.