

ゴムの破壊 Andrews 理論

佐々木裕

東亜合成

March 19, 2022

破壊工学の考え方

破壊工学の考え方

- ▶ 系中にクラックが存在することを前提に材料の耐久性を評価
- ▶ 「クラック近傍での応力集中を如何に抑制するか」がポイント

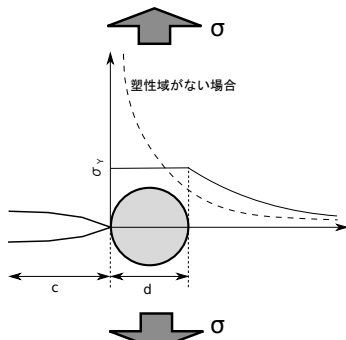
破壊工学の観点から（微視的）

- ▶ クラック先端での応力集中
応力拡大係数 K_I で評価

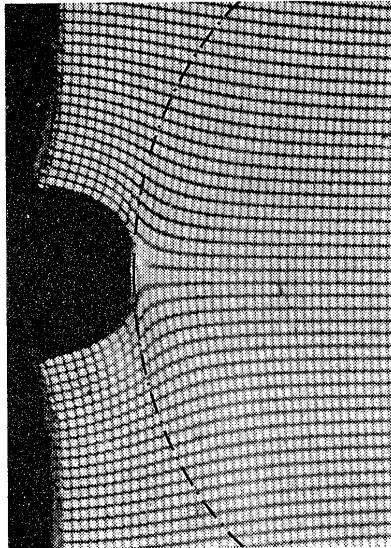
$$K_I = \sigma \sqrt{\pi c}$$

- ▶ クラック進展の抑制
⇒ 先端での局所降伏
降伏応力 σ_Y に反比例

$$d \propto (K_I)^2$$

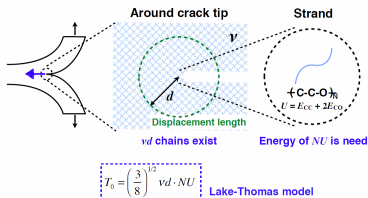


ゴムの亀裂先端近傍での大変形



引き裂きエネルギーの時間温度依存

粘弾性効果の極限
高温・低速



G. J. Lake and A. G. Thomas (1967)

変形速度、温度に依存

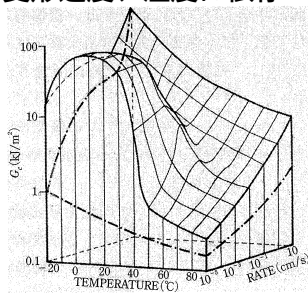


図 3.29 SBR の引き裂きエネルギーの温度、速度依存性²⁰⁾。非充填系(一点鎖線)、カーボンブラック充填系(実線)

ゴムの引き裂きエネルギー

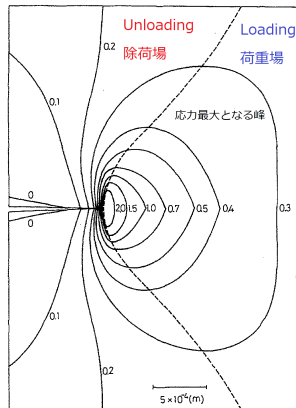
$$\mathcal{T} = \mathcal{T}_0 \Phi(\dot{\epsilon}, T, \epsilon_0)$$

Andrews 理論

Andrews 理論

- ▶ 降伏、ヒステリシスを示す材料では、
 - ▶ Loading 場と Unloading 場が存在
 - ▶ この差が、全体の変形に要したエネルギーの多くを散逸
- ▶ 鎖の破断に使われるエネルギーが低減
⇒ 強靱さの起源。
- ▶ 実験的に、 Φ を求めている。

Andrews, E. H. and Fukahori, Y., Journal of Materials Science, 12, 1307 (1977)



クラック先端での力学的ヒステリシス

補足

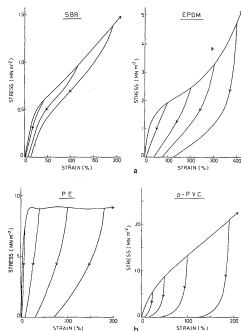
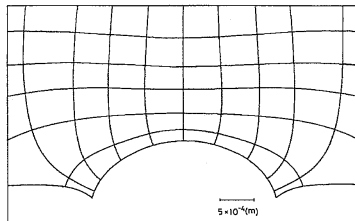
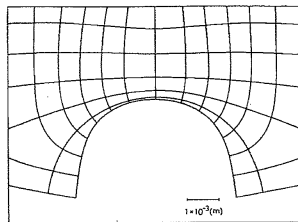


Figure 3 Typical hysteresis loops at 23°C; (a) for SBR and EPDM (b) for PE and p-PVC.



a



b

Figure 7 Typical map of principal strain directions; (a) for SBR at $\alpha_0 = 1.56$ (b) PE at $\alpha_0 = 1.26$.

DNゲルについての理論

“A local damage model for anomalous high toughness of double-network gels”

Tanaka, Y., Europhysics Letters, 78(5): 56005, 2007

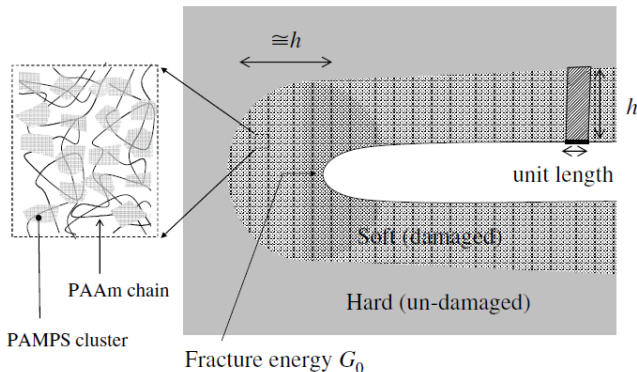


Fig. 1: The structure of crack assumed in the proposed model. The DN gel around the crack tip gets very soft due to the damage of the first PAMPS network. In the softened (damaged) zone, PAMPS clusters play a role of cross-linker of PAAm chains (the