

真珠層状積層構造体の破壊における粘弾性効果¹

お茶の水女子大学理学部 奥村剛²

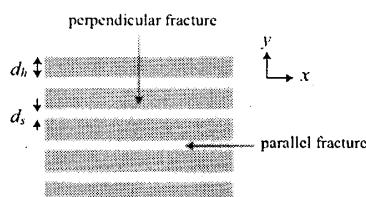


図 1: 真珠層状構造。垂直亀裂、平行亀裂の定義。

真珠層とは貝殻の内側に見られる乳白色の層であり、宝石としての真珠内部にはこの層が同心円状に発達している。この層は、光の波長程度の厚みを持つ硬い結晶（アラゴナイト）層の間を、その 100 分の一程度の厚みしかないやわらかい層が張り合わせるという精巧な構造を持つことがわかっている（図 1）。この特殊な構造をとることで、アラゴナイトそのものより 100 から 1000 倍程度の破壊エネルギーを持つことがわかっている。

我々は、この系をソフトマター物理の観点から連続体モデルの範囲内で研究してきた。層に垂直に走る亀裂に対しては、やわらかい層の存在により亀裂先端での圧力集中が弱められるという物理的なアイデアを、線形弾性破壊力学の範囲内で具現化し、この効果だけでも実験的な破壊エネルギーの増大の程度が説明できることを示した。層に平行に走る亀裂に対しては、板の曲げ弾性の効果が重要になりうることを指摘し、その結果、亀裂先端の形状が、通常の線形破壊力学で知られる放物線型ではなく、レンズ状になることを示唆した。

今回、これまで我々が提唱してきた真珠層状積層構造体の非等方的な弾性エネルギーに基づいた理論を、スケーリングのレベルで再解釈してみた。その結果、図 2 にまとめたようなスケーリング描像が得られた。また、これまでの静的な解析からは平行亀裂に対する破壊エネルギーの増大は期待されていない。そこで、やわらかい層を弱く架橋されたゴムとみなしたときに考えられる最も簡単な粘弾性のモデルを採用し、定常的に進行する破壊に対する動的なエネルギーを見積もってみた。この粘弾性モデルは、粘弾性体が短い時間尺度では絡み合いに起因する「硬い固体」として振る舞い、長い時間尺度では弱い架橋に

¹この原稿は、[4, 5] にもとづく。

²E-mail: okumura@phys.ocha.ac.jp

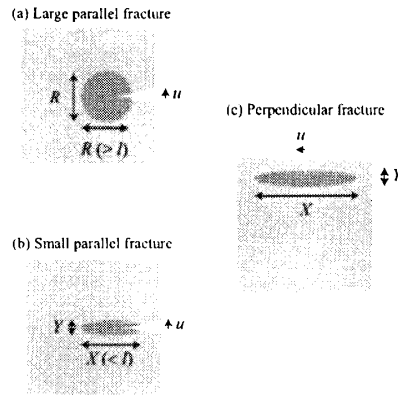


図 2: それぞれの亀裂モードに対するスケーリング描像。

起因する「やわらかい固体」として振る舞い、その中間では、粘性を伴って流れを生じるということモデル化している。この解析の結果、破壊エネルギーがナイーブな評価に比べ、「硬い固体」と「やわらかい固体」の弾性率の比の因子だけ増大することがわかった。また、亀裂の形状は、その大きさにより図3に示したような2種類のトランペット型となることもわかった。放物線型のトランペットは、高分子のメルトの系で観測されているが、レンズ型のトランペットについては、今後の実験に期待したい。末筆ながら、一連の研究を通じて、継続的に実りの多い議論をしていただいた P.-G. de Gennes 氏に深く感謝する。

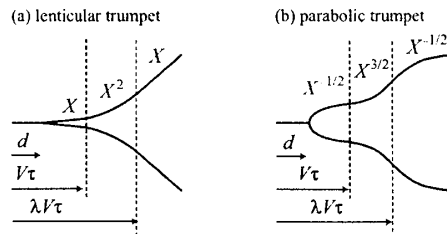


図 3: レンズ型と放物線型の粘弾性トランペット亀裂。

参考文献

- [1] P.-G. de Gennes and K. Okumura, C. R. Acad. Sci. Paris t.1, Ser. IV (2000), 257.
- [2] K. Okumura and P.-G. de Gennes, Eur. Phys. J. E 4 (2001), 121.
- [3] K. Okumura, Eur. Phys. J. E 7 (2002), 303.
- [4] K. Okumura, Europhys. Lett. (2003, in press).
- [5] K. Okumura, cond-mat/0212532 (submitted to Eur. Phys. J. E).