

真珠層の破壊強度について

奥村剛 (お茶大院・物理、コレージュ・ド・フランス)、Pierre-Gilles de Gennes (Collège de France, ESPCI)

阿古屋貝などある種の貝の貝殻の内壁は乳白色にきらきらと美しく光る。これは「真珠」と同様に真珠層と呼ばれる層が表面にあるからである。電子顕微鏡で観察すると、この真珠層は、ナノスケールの見事な層状構造を持っていることが分かる。ミクロンほどの厚みを持った硬くて脆いアラゴナイトのプレートが、ナノメートル程度のやわらかい生体高分子層の「接着剤」を介して何層にも積み重ねられているのだ。自然が作り出すこの見事な構造は、たった数パーセントのやわらかい層の存在により、純アラゴナイトに比べ 1000 倍ほどの強度を持つことが実験的に知られており、貝殻を丈夫にするのに一役買っている。

このような層状構造は、自然界に多く見られ (樹木、歯など)、産業的にも複合材料として広く利用されている (ベニヤ板、ダンボール、航空・建築材料、タイヤなど)。この研究では、このような例の一つである真珠層に着目し、物理的な視点からある種の描像を描くことを目的とする。

このため、液晶にも似た層状構造体の弾性エネルギーの表式を提唱し、これを出発点として、この構造体の破壊力学を展開する。即ち、亀裂が構造体の層に沿って入った場合と、直交するように入った場合について、亀裂の形状、応力分布を解析的に求め、破壊強度について論じる。この結果、直交亀裂の場合には 1000 倍程度の強化が起こることが示唆され、平行亀裂の場合には、純アラゴナイトと同程度の強度であることが示される。

この理論の背景にある物理的描像は、層状構造を持つことにより、亀裂先端での応力集中が弱められるというものである。紙の両端を持って引っ張って破るにはかなりの力が必要だが、切れ込みを入れておけばわけもなく破れる。これは、亀裂先端では、遠方での張力が増幅されるからであるが、層状構造を持つことによって、このような応力集中が弱められるのである。

もちろんこのようなシナリオは、考えられる要因のひとつに過ぎない。粘弾性や接着理論の観点からも面白い問題が含まれていると思われる。

参考文献

- 1) Pierre-Gilles de Gennes and Ko Okumura, On the toughness of biocomposites, C. R. Acad. Sci. Paris, t. 1, Serie IV (2000) 257-261.
- 2) Ko Okumura and Pierre-Gilles de Gennes, Why is nacre strong? : Elastic theory and fracture mechanics for biocomposites with stratified structures, Euro. Phys. J. E 4 (2001) 121-127.
- 3) Ko Okumura, Why is nacre strong? II. Remaining mechanical weakness for cracks propagating along the sheets, Euro. Phys. J. E 7 (2002) 303-310.