

## 粘着テープの剥離様式

広大総合科 戸田昭彦, 彦坂正道, 東大院総合文化 佐藤勝彦, 早大理工 山崎義弘

**【目的】** 粘着テープが利用される用途では、接着の強さだけではなく、きれいにはがされることが重要となる。そこで、貼るときには液体のようにすばやく濡れ、剥離時には粘着剤が被着体に残らない(粘着剤内部で凝集破壊しない)ことが要求される。このため、変形速度とともに変化する高分子粘着剤の粘弾性的性質が粘着テープでは巧妙に利用されている。

他方、セロテープ剥離時にビリビリという音が聞こえる場合があるように、剥離挙動は非線形動力学系における自励振動として理解されるべき現象を含み、さらには前回までに報告したように<sup>1)</sup>、剥離フロントでは非常にユニークな時空パターンが現れる。

我々は、剥離挙動における高分子の粘弾性的性質の役割やパターン形成の動力学の解明という2つの観点からこの問題にアプローチしている。以下では、従来から知られている剥離様式について簡単に説明し、粘着の強さを決定する重要な因子が粘弾性的性質だけでは決まらず、剥離パターンの安定性も重要な役割を果たしていることを示す。

**【剥離様式】** 粘着テープの剥離には、大きく分けて界面剥離、凝集破壊の2つの様式があることが知られている。さらに浦濱ら<sup>2)</sup>により2種類の界面剥離様式があることも見出されている。界面剥離、凝集破壊いずれの場合にも、剥離先端はフィンガリング不安定性を示し、周期的な糸引きパターンが見られる(図1)。ただし、流体のメニスカス不安定性で期待される周期( $d$ )の速度依存性がほとんど見られないことから、軽く架橋された粘弾性体である粘着剤における周期構造形成機構には未解明の部分が多い。凝集破壊では糸引き部が破れる。界面剥離では糸引き部にトンネル状の中空構造ができるかどうかで2つの異なる様式となる(図2)。

図3のように、剥離時の引っ張り荷重—速度曲線は、凝集破壊と界面剥離で飛びのある別の分枝になる。一方、2種類の界面剥離は遷移領域も含めてN字型の速度依存性を示す。さらなる高速域で荷重は再び減少に転じ、粘着性が失われていく。低速での流体的な凝集破壊や高速で粘着性が失われる固体的な振る舞いは、

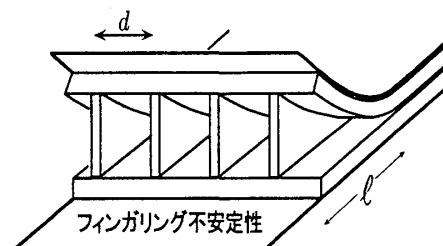


図1. 粘着テープ剥離フロントの様式図。 $d$ : 糸引き間隔、 $l$ : 糸引きの深さ。トンネル構造形成の初期。

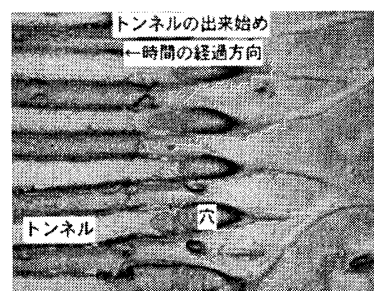


図2. 界面剥離Aの粘着剤に残る空洞。光学顕微鏡。トンネル縞の周期  $100 \mu\text{m}$ 。

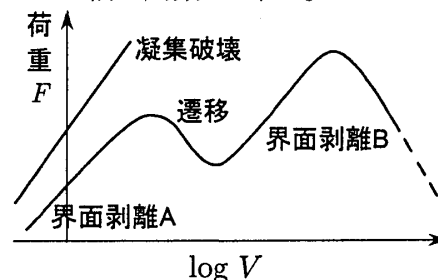


図3. 定速剥離時の引っ張り荷重の速度依存性。概略図

変形速度による粘着剤の粘弾性変化によるものと解釈されており、荷重—速度曲線が時間温度換算側に従うことも知られている<sup>3)</sup>。

速く剥がしたときに出るビリビリという音は、高速域での荷重の負の速度依存性によるスティック・スリップ類似の自励振動であると解釈されている。一方、我々はAB2種類の界面剥離様式間の遷移領域でも負の速度依存性が現れることに着目し、系が十分硬ければこの領域で定常的な剥離が進行することを確認した。このとき剥離フロントでは、AとBの界面剥離様式が共存し、トンネル構造による縞模様のある(A)・なし(B)の2領域が三角形の複雑な時空パターンを図4のように作ることを見出した<sup>1)</sup>。

定速剥離で得られるN字の速度依存性を定荷重剥離としてみた場合、界面剥離AとBの分枝の臨界荷重の存在を意味し、粘着剤の剥がれにくさがA型(低速側)の臨界荷重で決まるといふ、粘着テープの性能上重要な意味合いをもつ。そこで、今回の実験では2様式間の遷移過程に注目した。

**[実験結果]** A(B)の様式で定常剥離している途中でB(A)領域の速度ジャンプし、経過を観察・測定した。その結果、図5のように、新たな定常剥離へと直接移行するのではなく、各様式の荷重—速度曲線の外挿部分を経た後に移行することが確認できた。また、A→Bの変化では、トンネルの深さ $l$ が連続的に浅くなり消滅する様子も観察された。一方、異なる温度で行った実験で、遷移領域やトンネルの深さの変化が時間温度換算則には従わないことも図6のように見いだされた。すなわち、剥離フロント構造の安定性が剥離様式の決定に重要な役割を果たしている、(トンネルの深さがトンネル幅程度になると界面剥離Aが不安定になる)という結論に達した。

**[参考文献]**

- 1) Y. Yamazaki, A. Toda: 2002, J. Phys. Soc. Japan, **71**, 1618.
- 2) Y. Urahama: 1989, J. Adhesion, **31**, 47.
- 3) D. Satas: “粘着技術ハンドブック” 日刊工業新聞 1997.

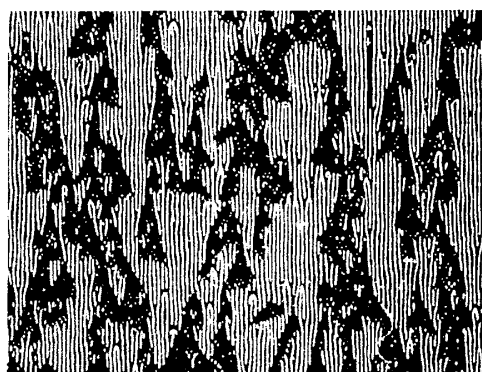


図4. 遷移域で粘着剤に残る時空パターン。剥離フロントは水平、下向きに進行。縞の間隔=100  $\mu$ m。

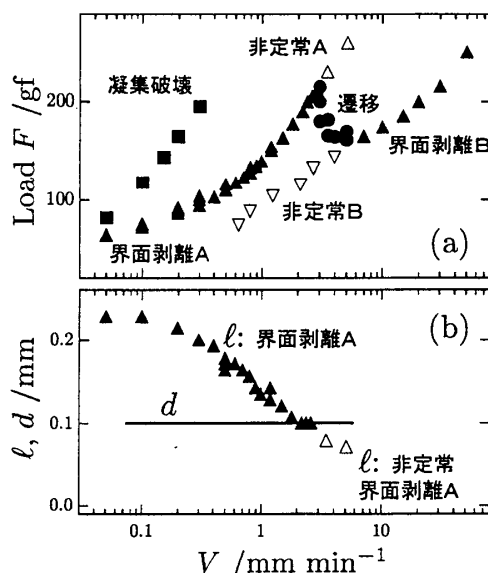


図5. (a)引っぱり荷重と(b)  $d, l$ の速度依存性。白抜き記号は非常遷移過程。温度@30°C

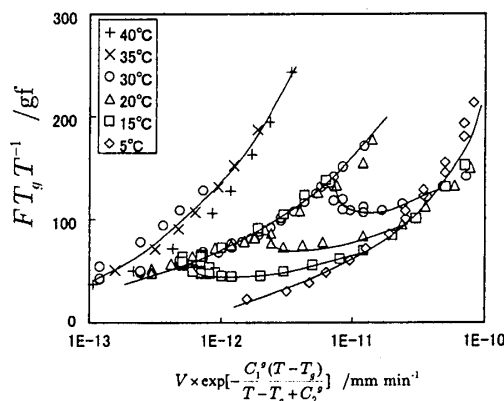


図6. 時間温度換算則に基づいて重ね合わせた結果。基準温度= $T_g$