

LOCTITE
確実な成功に向けて

構造用接着 -短時間組立における隠れたコスト-

Tom Buckley
Market Application Engineer, Henkel Corporation

LOCTITE
BONDERITE
TECHNOMELT
TEROSON
AQUENCE

製造業者にとって、時は金なりです。その究極の目標は、製造工程の質、スピード、コスト効率を高め、組立工程の完全性と最終製品の品質を守ることです。

各種の構造組立用途において、製造業者や組立業者がリベット、ねじ、溶接、両面テープといった従来の固定方法を使用することの大きなメリットは、瞬時に固定できることです。実際、接着剤が固着し次の工程に進めるようになるまでに時間がかかるからという理由で、液状接着剤の使用を避けている製造業者もあります。

液状接着剤は幅広い技術に利用することが可能である一方で、必ず硬化プロセスが伴います(この硬化時間は数秒から数時間まで様々です)。ここでは、接着による組立に伴うコストについて説明し、従来の短時間組立の場合の総コストと比較します。あまり知られてはいませんが、短時間組立方式には隠れたコストが伴います。たとえば、溶接には熟練の労働力が、ねじやリベットを取り付けるには労力と時間が必要ですし、両面テープには表面の前処理と廃物がつきまといます。

組立方式

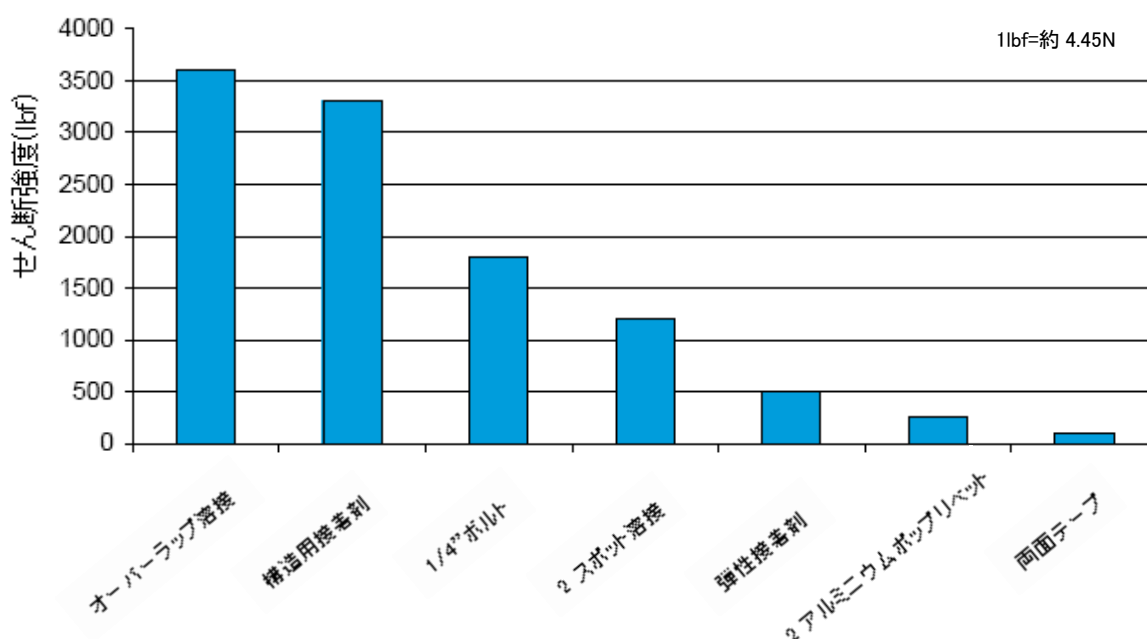
現在の製造環境には、主に4つの組立方式が存在します。

- スポット溶接やオーバーラップ溶接などの熱的方式*
- ボルト、ねじ、リベットなどの機械的締め金具*
- 両面テープ*
- 液状接着剤

* 「短時間」であるとみなされているもの

この上記リストの3つの組立方式は、「短時間」に組立可能な方式であるとみなされています。4つの方式は、最終用途、最終利用者の要求、天候・湿度・塩分・化学物質などの環境的制約に応じて利用され、その有効性は多様です。図1に、これらの組立方式について、1平方インチの面積を固定したときのせん断強度の概要を示します。

図1.各組立方式によるせん断強度



この図から分かるように、オーバーラップ溶接と構造用接着剤が最強の組立方式です。ボルト、スポット溶接、弾性接着剤、ポップリベット、両面テープを使用した場合は、強度が大幅に落ちます。用途によっては両面テープでも十分な強度が得られるかもしれませんが、あらゆる用途において十分な強度と最小の組立コストを両立させることが目標です。

多くの業界では、生産コストの削減、製品の性能と美観の向上、組立時間の削減に役立つという理由から、構造用接着剤が短時間組立方式に代わって、あるいはその補助として使用されるようになってきています。

接着剤には、機械的、熱的組立方式に比べ多くの利点があります。接着剤は応力を広範囲に均等に分散し、接合部への応力集中を軽減します。接着剤は接合部の内側に塗布されるため、アッセンブリーの外側からはほとんど見えません。曲げや振動応力に耐え、接着と同時にシールを形成し接合部を腐食から保護します。大きな隙間を充填することも可能です。そのような接着剤は、不規則な形状の表面を機械的、熱的に固定するよりも、接合が容易で、アッセンブリーの重量やパーツの寸法や形状をほとんど変化させずに、異なる種類の基材や熱に弱い材料でもすばやく簡単に接着させることができます。

接着剤は、硬化前は液状であるため、塗布と組立を自動化しやすいのも特長です。適切な装置を使って適量の接着剤を塗布して完全に硬化させれば、見た目にもすっきりして美しい最終製品を仕上げることができます。接着には少数の熟練の労働者がいれば十分なので、溶接よりも最大で20倍作業時間のスピードアップが図れます。構造用接着剤は金属を変形させることもなく、塗布後に金属の再加工も必要ありません。このことは、溶接の仕上がりを滑らかにするために研削や研磨が必要な場合に比べて大きな強みです。

接着剤にはいくつかの制約があります。ハンドリング強度に達するまではアッセンブリーを移動することができず、移動できるようになるまでに数秒から数時間かかることもあります。しかし、その間に支持用に機械的締め金具で仮止めして組立工程を先へ進める方法もあります。接着剤は簡単に分解して再加工、補修、改良することはできず、工場環境内で使用する化学物質を増やすことにもなります。

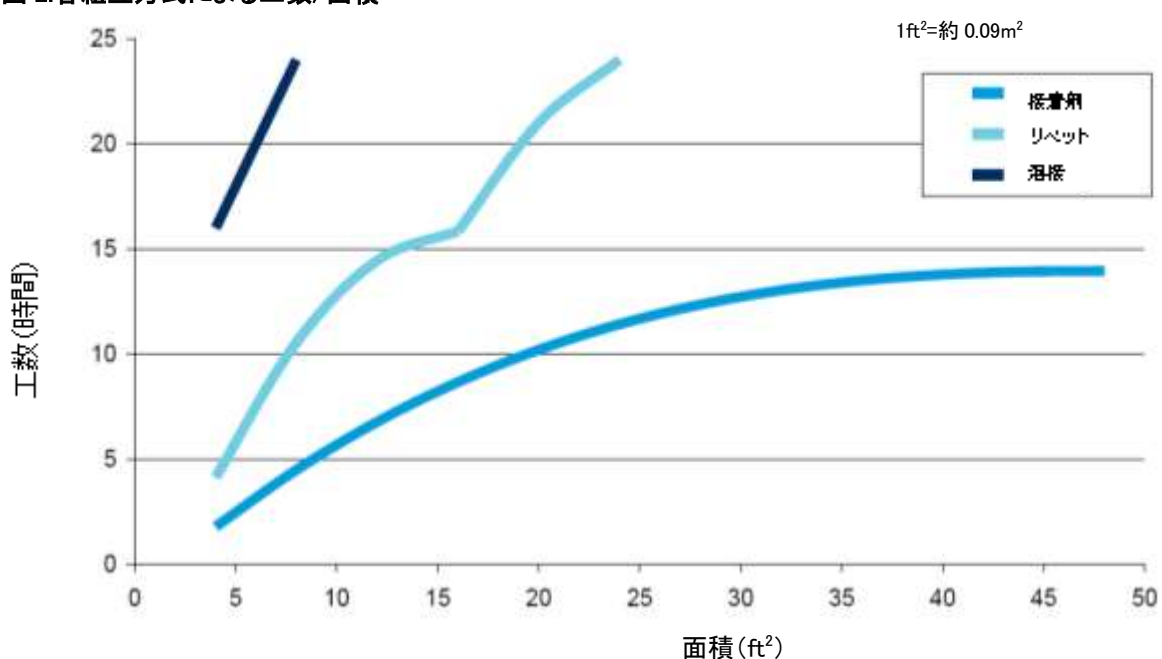
熱接合の本当のコスト

溶接工程が完了すると、アッセンブリーはただちに最終強度を発揮します。熱接合は、専門的な熟練の労働力と、溶接面積によっては長時間を要する高コストの組立工程であることがよく知られています。さらに、装置、溶加材、ガス、エネルギー、溶接工程が完了するまでにかかる時間など、その他の関連コストも考慮に入れる必要があります。

溶接した接合部は、均一性や、ハイエンドの用途に求められる美観に欠けることもしばしばです。溶接が完了すると、ほとんどの接合部をきれいに整える必要があり、これは外観要件に合わせて溶接部を研磨するなど、時間のかかる工程です。溶接に伴う時間を軽減するため、スティッチ溶接やスポット溶接を選択することもできますが、強度が犠牲になる上、やはり仕上げに時間をかける必要があります。また、溶接したパーツを分解することは困難です。

図2は、3つの組立方式について、1平方フィート当たりの工数を比較したものです。このグラフから、溶接と機械的固定のいずれも手作業の工程であり、面積の増加に応じて工数が劇的に増加することが分かります。つまり、面積が大きいほど、加工に時間とコストがかかるということです。

図2.各組立方式による工数/面積



出典: Cagle, C.V., Adhesive Bonding Techniques and Applications, 1968

接着剤は装置を使って容易に塗布できるため、接着面積が大きくなるほど塗布時間を示す曲線はフラットな形状に近づきます。接着剤は、接着間の隙間を埋めるため、適切な位置に十分な量を塗布しなければなりません。労働力と仕上げは最小限に留まり、接着剤の接着強度はオーバーラップ溶接とほぼ同じ、つまり機械的締め金具よりはるかに強力です。

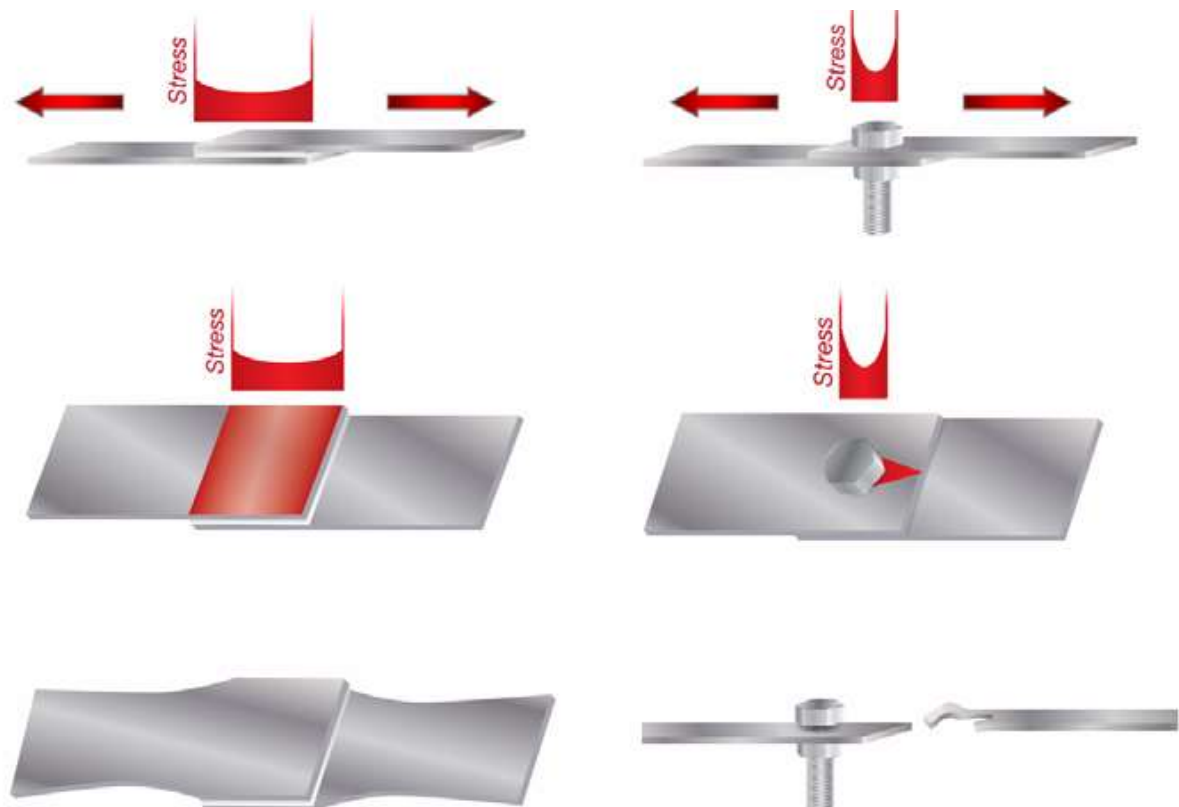
図 1 に示したように、接着剤の働きは溶接とほぼ同じで、せん断強度の差は 10%以内ですが、多くの場合、専門的な労働力やコストのかかる再加工が不要であるため、大幅にコストが抑えられるというメリットがあります。

機械的締め金具の本当のコスト

ボルト、リベット、ねじなどの機械的締め金具による組立も、短時間に終わることができるものであるとみなされています。しかし、機械的組立方式はいずれもコストがかかり、穿孔し金具を挿入する労働力が必要です。様々な金具の在庫を取り揃える必要もあり、金具による組立は時間もかかります。

締め金具は接合部全体に応力を分散しません。むしろ、金具の部位に応力を集中させます。この応力集中によって、金具の穴の上の基材や金具そのものが破損することがあります。締め金具、熱接合ともに、接合部が早々と破損するおそれがあり、曲げや振動の応力に耐えるのが困難な場合もあります。図 3 は、基本的な設計プロセスで見落とされがちな応力分散について示したものです。

図 3. 接着した接合部(左)とボルトで留めた接合部(右)のせん断応力の分散



左の図は接着した接合部で、赤い矢印は加えられるせん断応力を表します。接合部の先端で中央部よりやや応力が高くなるものの、接着部分全体に応力が分散し、荷重を拡散させています。多くの場合、これによって左下の図のように「ネッキング」が生じ、被着材が伸びます。右の図はボルトによる接合部で、同じく赤い矢印はせん断応力を表します。この例では、接合部にかかる力はすべてボルトに集中します。この応力集中によって、接着したアセンブリの最終強度の半分ほどで接合部が破損します。さらに、金具を通すために開けた穴にリークパスができ、腐食の開始点になるおそれがあります。締め金具は完全に隠すことは難しいため、最終製品の美観を損なう場合もあります。

両面テープの本当のコスト

両面接着テープは高強度の組立方式であるとは捉えられてはいませんが、瞬時接着は可能です。両面テープの貼付には、表 1 に示すように複数の工程があります。この表では、液状接着剤と両面テープに必要な工程を比較しました。

表 1. 一般的に推奨される塗布(貼付)手順

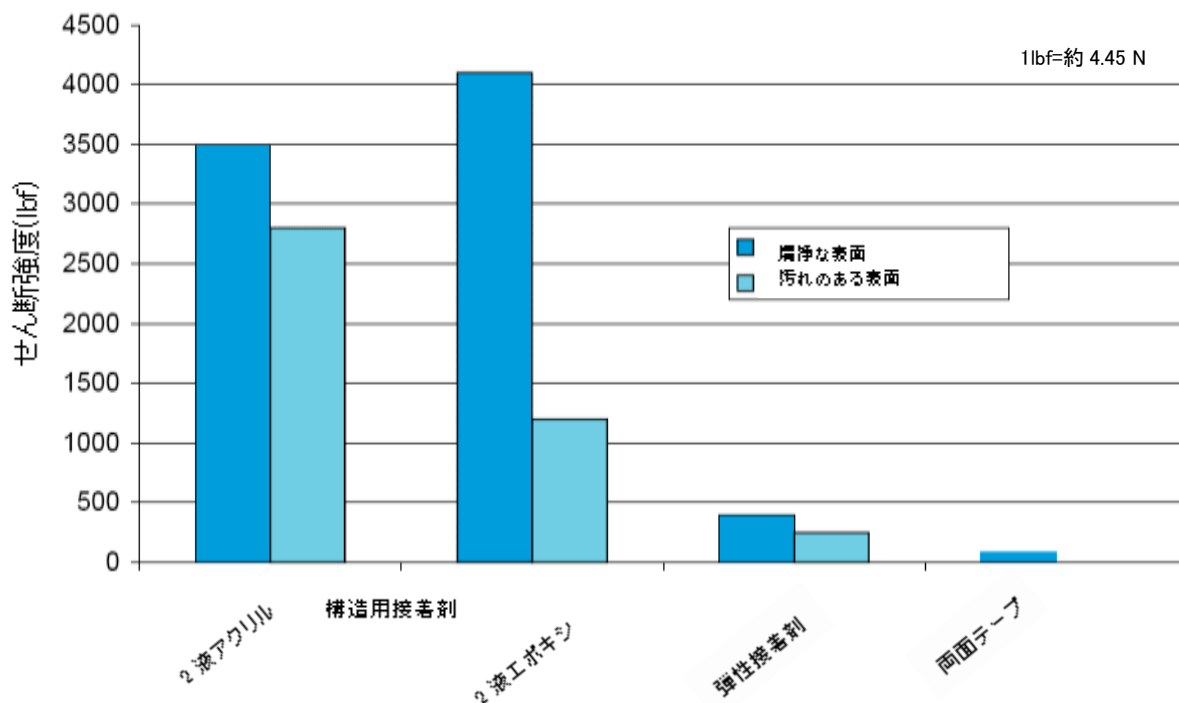
接着剤	両面テープ
1. 溶剤または IPA で被着材を清掃する*	1. 溶剤または IPA で被着材を清掃する
2. 乾いた布で拭き取る*	2. 乾いた布で拭き取る
3. 接着剤を塗布する	3. テープを適切な長さにカットする
4. 表面と留め具を固着するまで貼り合わせる	4. テープをパネル表面に貼付する
	5. テープの裏紙を剥がし、2つの面を貼り合わせる
	6. 完成した接合部にローラーをかけ、両面テープに約 0.1MPa の圧力をかける

*原状パーツの強度分析に応じて省略可能

表 1 に示すように、両面テープの貼付の方が液状接着剤の塗布よりも工程が 2 つ多く、作業時間も 20%ほど多くかかります。

両面テープの性能が落ちないように、表面の汚れを完全に除去する必要があります。図 4 は、表面の汚れが構造用接着剤、弾性接着剤、両面テープの性能に与える影響を示したものです。構造用接着剤でも汚れによって強度は落ちますが、清浄な表面に貼付した両面テープの性能をも大幅に上回ります。両面テープは、油のついた表面に使用すると性能が劇的に低下します。

図 4. 清浄な表面と汚れのある表面のせん断強度

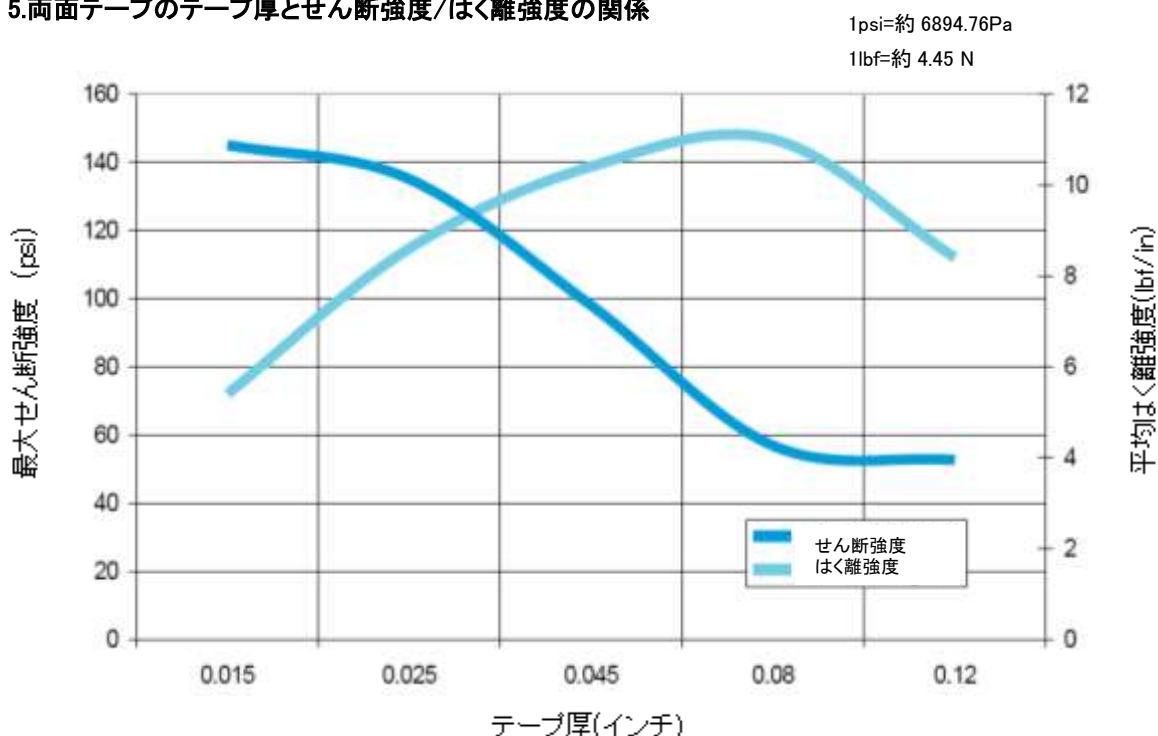


試験した 3 つの液状接着剤は、いずれもある程度油や汚れの中まで浸透し、被着材への接着性が得られました。しかし、両面テープは汚れが原因で被着材からはがれてしまい、せん断強度を完全に失います。テープの場合は必ず表面を完全に清掃するの必要がありますが、この手順にさらに時間とコストが必要ですが、接着剤の場合、多少の性能低下を許容できる用途であれば、そのままのパーツに使用できることもあります。

両面テープは、貼付後は調整できません。調整が必要な場合、パーツを完全に再加工する必要があります。液状構造用接着剤は可使時間に多様な選択肢があるため、一定期間内であればアッセンブリーの調整が可能です。ほとんどの液状構造用接着剤で製造したアッセンブリーは、可使時間が終わり固着時間に達するまで固定する必要があります。固定が難しい場合、組立時にパーツを結合できる程度の強度がある液状接着剤もあります。これらの製品は、瞬時に固着するという機能的利点がありながら、位置調整も可能です。

大きな隙間を埋める場合、テープには様々な厚みがあるため、隙間の厚みが一定であれば有効な組立方式になりえます。隙間が拡大すると、両面テープのせん断強度は 50%以上低下する場合がありますが、はく離強度は約 100%増加する場合があります。せん断強度とはく離強度を最大化するには、図 5 によると、テープ厚を約 0.030 インチにすべきです。

図 5.両面テープのテープ厚とせん断強度/はく離強度の関係

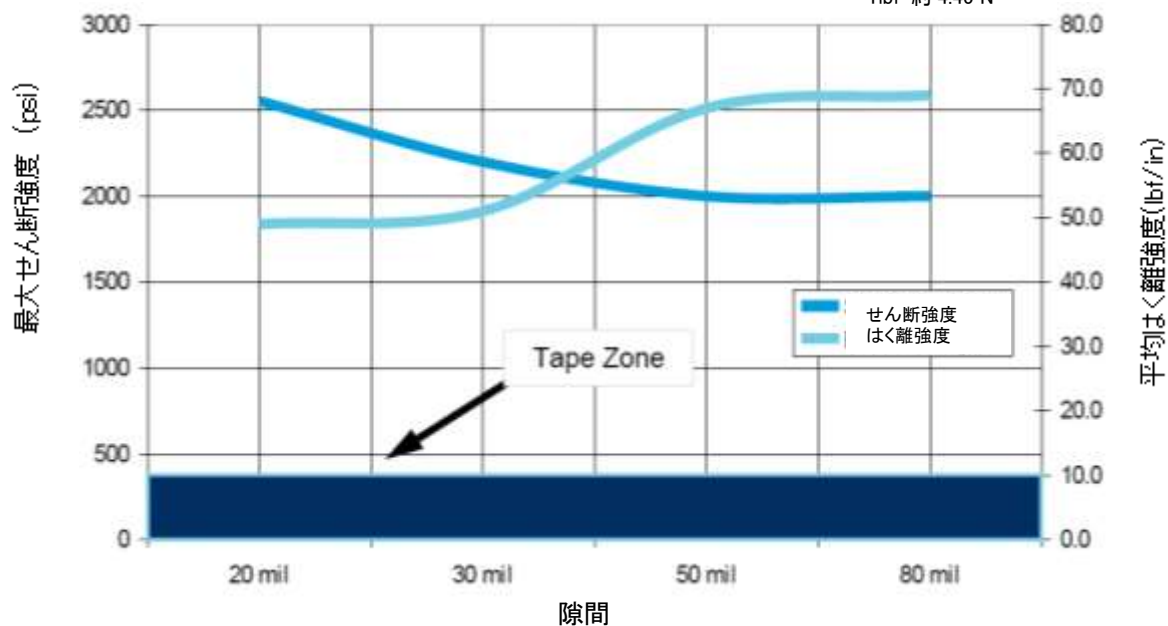


液状構造用接着剤にも図 6 と同様の関係がありますが、隙間が広がることによるせん断強度の低下はさほど大きくはありません(約 15%)。液状接着剤は、隙間が拡大した場合にはく離強度は 80%増加し、せん断強度はテープの約 20 倍です。はく離強度の値が 10 倍になったケースもあります。構造用接着剤は強力であるため、アッセンブリーを設計する際に隙間の影響はあまり考慮する必要がありませんが、両面テープを使用する場合には慎重に考慮すべきです。

図 6. 構造用接着剤のせん断/はく離強度と隙間の関係

1psi=約 6894.76Pa

1lbf=約 4.45 N



両面テープで安定した接着力を得るには、十分な表面の前処理と労力が必要です。しかし、表面の前処理を行った場合でも、両面テープの強度は調査した組立方式の中では最低に留まります。

構造用接着剤による最新の組立用途

構造用接着剤は、金属、プラスチック、複合材の接着に最適な方法です。最近の構造用接着剤技術の進歩によって、接着可能な用途範囲が大きく広がり、ガルバニウム（溶融亜鉛メッキ）やポリオレフィン（ポリエチレン、ポリプロピレンなど）などの難接着材料まで接着可能になりました。

構造用接着剤は、トレーラー、トラック車体、バス、建機などの特殊車両の金属、プラスチック、複合材で作られたフレーム、パネル、ブーム、運転台の組立に使用されています。また、浴槽やスパなどの多湿環境でも、ガルバニウム（溶融亜鉛メッキ）のフレームをガラス繊維とABSの浴槽に接着するのに利用されています。さらに家具メーカーにおいては、椅子、机、棚などにおいて、未塗装、ペンキ塗装、粉体塗装された金属やプラスチックの接着に使用されています。屋外環境に曝される看板や標識でも、接着剤が金属、プラスチック、複合材を接着し、顧客のために優れた外観を生みだしています。