



樹脂材料の機械的特性と強度試験

現在、樹脂材料（プラスチック）は、日常の生活でいろいろなところで使用されているが、耐久性を保証しなければならない構造部材に使用されることはなかった。しかし最近では、航空機や自動車などの輸送機の構造部材へ採用され始め、金属材料と同様に耐久性を含めた機械的強度を評価する必要性が生じている。そこで、本稿では、樹脂系材料（樹脂系複合材料を含む）の機械的特性と強度試験について、金属材料との差異を中心に概説する。

B-1 樹脂（プラスチック）材料の分類

樹脂（プラスチック）とは、大きな分子量（分子量10,000～1,000,000）を有する有機化合物の総称として使用されている。

樹脂を分類すると、第1表に示すように、熱硬化性樹脂（Thermosetting Resin）と、熱可塑性樹脂（Thermoplastic Resin）に大別される。前者は熱や触媒などによって硬化して三次元的な網目

状の結合構造となっているため、一度硬化すると加熱されても軟化溶融することはないが、後者は線状の分子結合が絡み合って固化（硬化）しているために、再度過熱されると軟化溶融し冷却されると固化（硬化）する性質がある。今日において、これらの樹脂はそれぞれの特性を利用して、さまざまな分野で使用されている。

第1表 代表的な樹脂材料の分類

樹脂種類		略記号	特徴	用途
熱硬化性樹脂	フェノール樹脂	PF	高強度、電気絶縁性、耐熱性、耐酸性が良い	電気機器、通信機器、機械部品、接着剤
	エポキシ樹脂	EP	金属・無機物との接着性・電気絶縁性・耐薬品性が良い	接着剤、塗料、電気絶縁材料、繊維強化樹脂
	不飽和ポリエステル樹脂	UP	低圧成形が可能、ガラス繊維含有により強じん性化	繊維強化樹脂、封注入型品
熱可塑性樹脂	ポリエチレン樹脂	PE	軽量、柔軟、電気の絶縁性、耐薬品性・耐水性が良い	包装フィルム、びん、電気絶縁材
	ポリプロピレン樹脂	PP	ポリエチレンに類似するが、より透明で軟化点が高く、屈曲性に優れる	ポリエチレンの用途と類似する
	アクリロニトリル・ブタジエン・ステレン共重合体樹脂	ABS	強じん性、耐薬品性、耐油性、光沢が良い	電気機器、自動車部品、事務機器
	ポリアセタール樹脂	POM	ポリアミドに類似した性質、耐クリープ性、耐溶剤性が良い	歯車、軸受け、自動車部品、事務機器
	ポリメチルメタクリレート樹脂（アクリル樹脂）	PMMA	無色透明、耐候性、光学的性質が良い	看板、風防ガラス、照明器具
	ポリアミド樹脂（ナイロン樹脂）	PA	強じん性、耐摩耗性、耐油性が良い（耐吸湿性が悪い）	繊維、機械部品
	ポリフェニレンサルファイド樹脂	PPS	耐熱性、耐薬品性、電気絶縁性が良い	自動車部品、電気部品、機械部品

B-2 樹脂材料の機械的性質

樹脂材料の機械特性の分類は、第2表に示すように静的機械特性と動的機械特性に大別され、前者の特性を評価する一般的試験としては、引張試験、圧縮試験、曲げ試験などがあり、後者の特性を評価する一般的試験としては、疲労試験、クリープ試験、衝撃試験などがある。

樹脂材料には金属材料や無機材料と大きく異なる力学的な特徴があり、この材料の機械的特性を評価するためには、外部から荷重が負荷された場合に、外力に対する変形が時間に依存する粘弾性的な変化を示すことを理解しなければならない。

第2表 樹脂の代表的な機械特性試験

機械的特性分類	試験名	使用試験設備
静的機械強度特性	引張試験	万能試験機
	圧縮試験	
	曲げ試験	
	せん断試験	
	ねじり試験	ねじり試験機
動的機械強度特性	衝撃試験	衝撃試験機
	応力緩和試験	応力緩和試験機
	クリープ試験	クリープ試験機
	疲労試験	疲労試験機

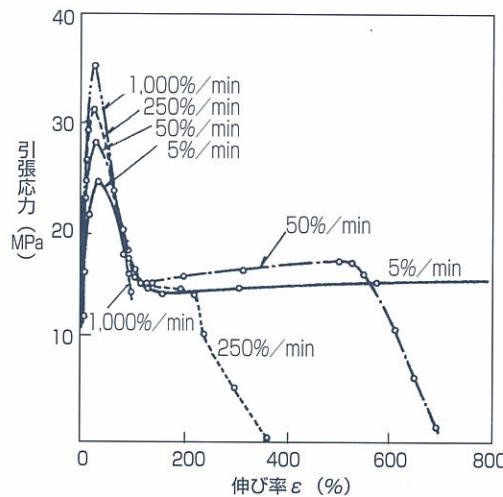
B-3 樹脂材料の静的機械強度特性

樹脂材料の静的機械特性を考える場合には、二つの重要な試験条件の影響を考慮しなければならない。最初に、ポリエチレン樹脂引張試験結果を

例にして、試験速度依存性を紹介する。

第1図に引張速度依存性の応力～ひずみ線図を示す。

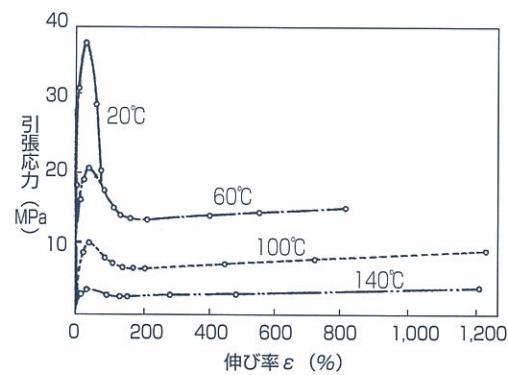
一般に、樹脂材料では、ひずみ速度が大きくなると降伏応力と引張強度が増大し、反対に伸びは減少することが知られている。この現象は、樹脂材料の粘弾性的な特性に由来している（樹脂材料では重要である）。



第1図 樹脂の引張速度依存性の例(ポリエチレン樹脂)¹⁾

次に、ポリプロピレン樹脂の引張試験結果を例にして、試験温度依存性一例を紹介する。第2図に引張試験時の環境温度依存性の応力～ひずみ線図を示す。

一般に、熱硬化性樹脂では試験温度が変化しても極端な特性の変化は得られないが、熱可塑性樹脂では試験温度の上昇に伴って降伏応力と引張強度が極端に低下し、反対に伸びが極端に増大する。



第2図 樹脂の試験環境温度依存性の例(ポリプロピレン)¹⁾

1) 成澤郁夫：プラスチックの機械的性質、(1994)、p.29～199、(株)シグマ社

B-4

樹脂材料の動的機械特性

クリープ特性

樹脂材料においても、金属材料などと同様に長時間荷重が負荷されると、クリープ現象によって静的な破壊応力以下の応力で破壊する。この樹脂のクリープ現象が、他の金属や無機材料と大きく異なる点は、他の材料より極端に低い温度において発生することである。第3図にポリエチレンのクリープ破壊曲線を一例として示す。

この試験はポリエチレンのパイプ試験片に内圧を負荷して、フープ（円周）応力を発生させて行った結果であるが、23℃の室温下においても、長時間の荷重負荷で破断に至っている。また、温度が室温より多少高くなると、更にクリープ破壊強度は低下してしまう。

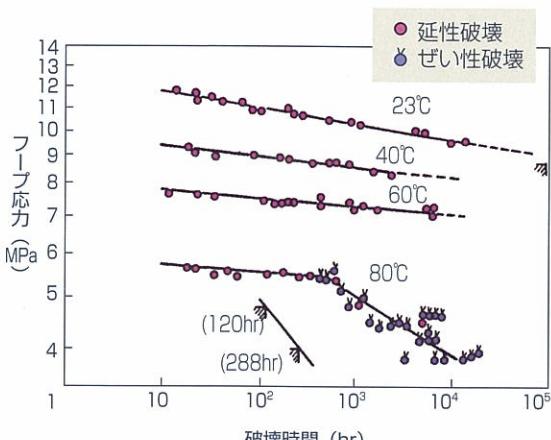
樹脂材料は金属材料と比較して相当に低い荷重

で試験を行わなければならないが、当社では、最小荷重50Nのクリープ試験が可能な設備を有している。

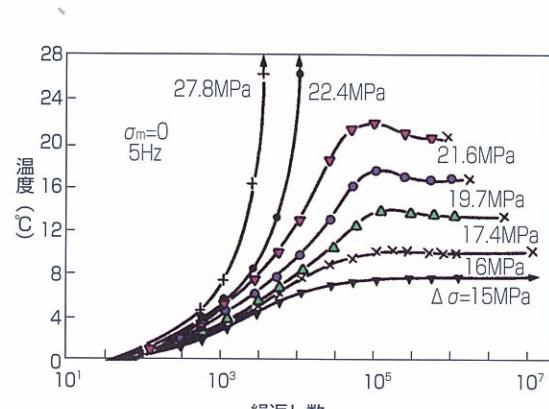
疲労特性

樹脂材料は、金属材料と異なり繰返し外力を受ける疲労過程において、ひずみ軟化（Strain Softening）と呼ばれる剛性率の低下や、粘弾性損失による発熱が発生し、この熱が材料内部に蓄積される。この発熱現象は、負荷荷重（または変位）の2乗と周波数に比例し、熱可塑性樹脂のガラス転移点（熱可塑性樹脂が固体から軟化流動し始める点）近傍では急激に増えるので、ガラス転移点温度が低い材料は注意しなければならない。

第4図に、ポリアセタールの各試験応力における（発熱による）温度上昇のデータを示す。



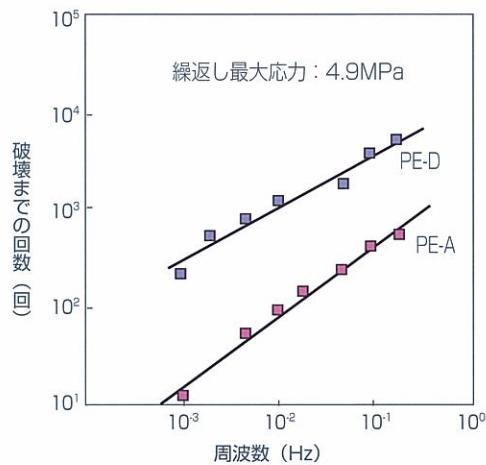
第3図 クリープ破壊曲線の例(ポリエチレン)¹⁾



第4図 疲労試験時の試験片昇温の例(ポリアセタール)¹⁾

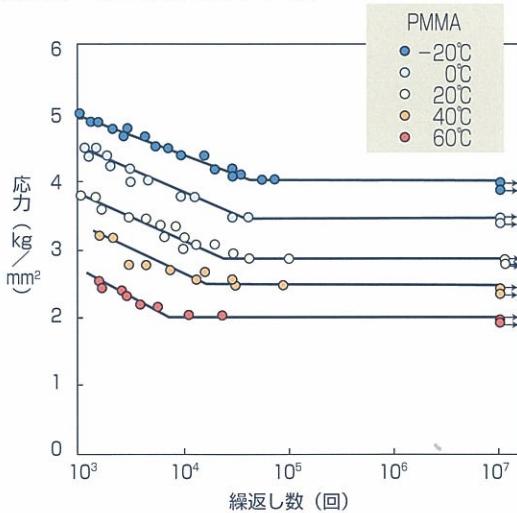
樹脂材料ではその強度は引張速度に依存することは既に述べたが、これと同じ現象が疲労試験においても知られている。

第5図にポリエチレンの疲労試験における周波数依存性の一例を示す。この事例で理解できるように、2種類の材料とも周波数が小さくなる（荷重速度が遅くなる）とその疲労寿命が短くなっている。また、疲労試験時雰囲気温度の影響についても、引張試験と同様に明確な温度依存性が確認されている。



第5図 樹脂疲労試験の周波数依存性の例(ポリエチレン)¹⁾

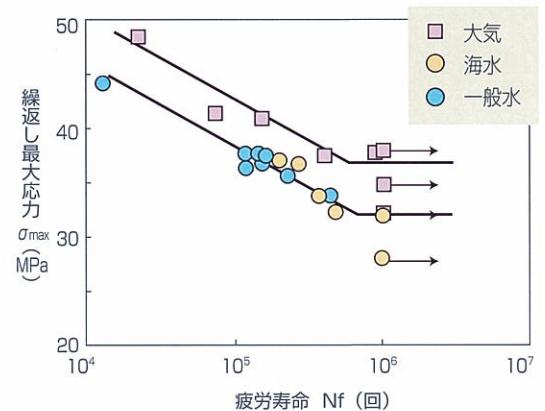
第6図にアクリル樹脂(PMMA)の温度依存性の事例を示すが、一般に樹脂材料の疲労強度は低温になるほど高くなる。また、温度と同様に重要な環境因子として、樹脂系材料の吸湿による機械的強度の低下が知られている。



第6図 樹脂疲労試験の温度依存性の例(アクリル樹脂)²⁾

第7図に樹脂系複合材料(ガラス繊維/ポリプロピレン)の吸湿(液中浸漬試験法)が疲労強度に及ぼす影響の一例を示している。

この試験は、吸湿試験の中でも最も過酷な液中浸漬試験の結果であるが、大気中の試験結果に比較すると疲労限が低くなっている。このように、樹脂材料は金属材料に比較してさまざまな環境条件で耐久性能が低下するという欠点を持っている。



第7図 樹脂疲労試験の吸湿による影響
(ガラス繊維/ポリプロピレン)³⁾

ことが報告されている。

そこで、当社においてもこのような環境下での疲労試験を可能にするため、小型疲労試験機に恒温槽と恒温・恒湿槽を設置した。写真1に代表例として恒温・恒湿槽の写真を示す。



写真1 恒温・恒湿槽を新設した疲労試験機

この恒温槽および恒温・恒湿槽の設置によって、-65°C～300°C（恒温槽使用時）、湿度は30%～90%（恒温・恒湿槽使用時）までの条件下での疲労試験が可能となった。

樹脂材料は金属材料などと比較して、耐熱温度が低く低強度であるとともに、さまざまな環境条件で機械的特性が低下し、その耐久性能も低くなるという特有の欠点がある。この材料が、自動車を中心とした輸送機の構造部材として認知されるためには、実環境と同様の条件下での耐久性データを蓄積していく必要がある。

当社では、樹脂材料に適した軽荷重の疲労試験機、クリープ試験機、引張試験機とこれらに設置した温度・湿度など試験環境をコントロールすることができる設備も整備している。今後は金属材料で培った試験技術や知識を基礎として、樹脂材料の強度試験・評価技術を構築していく予定である。

[エンジニアリングメカニクス事業部 強度技術部
材料実験技術室 岩田育穂]

2) 長谷川澄子、中野詔彦：熱可塑高分子材料の疲労強度に及ぼす影響、繊維高分子材料研究所研究報告、第156号、p.51～62

3) 広瀬功次、丸山啓、藤井透：ERTPの吸水および強度特性に及ぼす海水環境の影響、強化プラスチックス、Vol.41、(1995)No.9,p.303～310