

1 はじめに

自動車においては、高度な環境負荷低減技術を開発していく過程で、利便性を更に高めつつ、常に安全なシステムに仕立てることが要求されている。まさに、自動車部材（材料および部品）の強度と信頼性保証技術は、これからの研究開発の流れにおいて、過去および現在、今後とも基盤的役割を果たすものといえる。ここでは、自動車部品の信頼性保証方法の全体像、部品強度に関する時系列的挙動に基づく強度および寿命設計方法、部品の信頼性評価方法について紹介する。

2 自動車部材と信頼性保証方法の全体像

新動力源開発および代替燃料化、エネルギーシステムの高効率化を支える軽量化やIT化において、環境技術に関わる課題を解決する上で新しい各種材料の応用への期待が高まっている。世界の様々な燃料およびエネルギーをいかに効率的かつ大切に使うかが今後の環境保全を考える上で重要である。その際、十分な強度と信頼性を有する部材システムが果たすべき役割は極めて大きいといえる^{1), 2), 3)}。

図1に、開発過程における自動車部材の一般的信頼性保証技術とそれらの方法を要約して示す。企画段階においては、廃車調査、市場負荷調査などから、最大負荷予測、市場データと試験評価結果の相関解析が行われる。設計段階においては、構造システム解析を用いた発生応力や負荷予測に関する重回帰解析などの方法があり、予測した負荷による破壊力学を応用した寿命予測が行われる。故障予測としては、FMEA (Failure Mode & Effect Analysis), FTA (Fault Tree Analysis) などがある⁴⁾。車両の使用環境条件を定期的に調査して、部品の強度と信頼性に関する目標を見直していくことが不可欠であり、部品単体および部品搭載アッセンブリ、車両による試験条件とこれらの試験評価基準との対応をはかることが要求される。車両走行時に発生する最大荷重を限られた測定結果から推定する方法には、極値統計学的手法やワイブル確率論的手法がある。また、蓄積された試験データとFEMシミュレーション結果を解析することにより、実車で発生する応力を予測する重回帰手法がある。これらの予測応力値を用いて、疲労寿命に関する累積被害則や破壊力学に基づいて、高応力部位の強度設計を効率的に実施する多くの努力がなされている。さらに、FMEA, FTAなどの手法を用いた、構造システムにおける部品の故障予測は効率的強度設計に不可欠である^{4), 5)}。

3 強度設計の基本

自動車部品の強度・耐久性を解析する際、破壊モードとストレス・ストレンクス・モデルによる取り扱いがある。システムを構成する材料は、極端な低荷重下の場合（疲労限度以下）以外は、必ず有限な寿命を有しているの、部品の強度設計に際しては、システムの使用環境を正確に把握することが重要となる。部品の材料強度に関する挙動と使用環境から

くる負荷の対応において、効果的信頼性工学的手法を用いることが肝要である。

図2は、静的破壊、疲労破壊に関して、負荷時間または繰返し数を基準にした場合のストレス・ストレンクス・モデルを示す。過度的に生じると想定される大荷重に対する静的破壊の可能性に対しては、この時点での静的強度が同荷重より大きくするよう対処する。一方、繰返し荷重または負荷時間依存強度（まとめて疲労強度と称する）は、経過時間とともに低下する。有限寿命設計では使用期間内に疲労被害が蓄積するが、最終破壊に至ることを防ぐことが強度設計の基本である。

自動車部品の「解析による強度設計」方法と「試験による強度設計」方法において、使用環境条件、それらに起因する損傷モードと安全率、疲労限度などの判断基準との関係の概略を図3に示す^{1), 3)}。これらの設計方法は、シミュレーションによる強度および寿命推定、部品単体およびアッセンブリの台上耐久試験、実車による耐久試験による設計などからなる。「解析による強度設計」で求めた強度および寿命を確認す

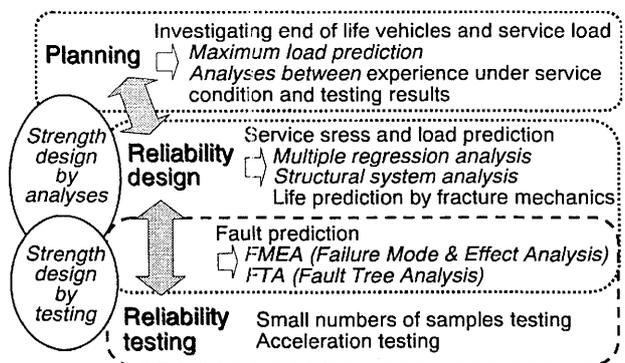


Fig.1 Reliability assurance technologies on materials and components for automobiles

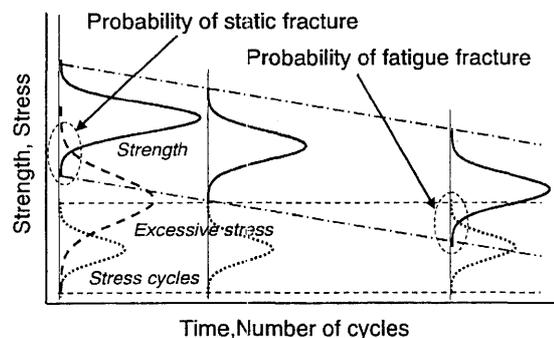


Fig.2 Time dependent fracture behavior and stress-strength model

るためや、部品各部に発生する荷重または応力を把握することに限界がある際は、「試験による強度設計」を実施する。部品単体またはモデル部品を材料試験機などに設置して行う強度試験方法や、システムにおける周辺部品からの荷重や応力を再現するため、部品を組込んだアッセンブリを用いる強度試験方法がある。

部品の設計基準の設定に当たっては、実働負荷や市場実績に関する情報、材料強度データなどが必要とされる。材料の標準的強度と部品の実体強度、強度ばらつきを考慮したストレス・ストレンクス・モデルに基づく設計が大切である。図4にS-N曲線と強度設計基準の考え方を示す。応力に基づく強度設計方法として、使用環境条件下の部材を考える場合、材料強度または破壊挙動を使用環境の中で全体的にとらえることが大切である。

4 信頼性評価

図5に部品の損傷モードごとの強度設計方法を示す¹⁾。部品の破壊および損傷モードは、過大な単一回の負荷に起因する静的破壊および変形と、負荷が使用環境において繰返される疲労に大別される。これらに対する強度設計方法は、シミュレーションによる強度および寿命推定、部品およびアッセンブリの台上耐久試験、実車による耐久試験からなる。部品の強度設計基準を設定するに当たっては、実働負荷や市場実績に関する情報、部品の材料強度データなどが必要とされる。

部品の信頼性試験評価を行う際、開発期間などの制約から、サンプル数を限らざるを得ない。よって、疲労寿命の保証の際には、サンプル数に対する寿命安全率を把握しておく必要がある。破壊確率、危険率、疲労寿命の対数標準偏差を決めれば、サンプル数と寿命安全率の関係を求めることができる。耐久走行試験と同一の考え方で試験時間の短縮をはかったのが、試験装置を用いて行う実車台上耐久試験である。この試験方法の主な狙いは、複雑な車両構造における危険部位の早期検出およびじん速な疲労寿命の確認などにある。加速疲労試験で留意すべきことは、負荷レベルを増大による損傷モードが変化しないことが前提となる。

5 おわりに

環境に優しく、資源浪費型ではない技術の開発では、部材技術が果たすべき役割はますます重要になっている。これまでの課題を解析して、自動車部品を構成する材料の使用環境下における挙動を解明することは、将来に向けた新しい部材システムの機能の創成につながる。これらの研究開発において、基盤的役割を果たしている技術の内に、様々な使用環境下での部材強度に関するものがあるといえる。自動車システムの機能を高度に発揮させるには、様々な使用環境下においていかに部材を効果的に使用して、それらのシステムの確固たる強度と信頼性を保証することが不可欠である。

参考文献

- 1) 河本洋, 材料, **50**, 550 (2001).
- 2) 河本洋, ポリマ-フロンティア 21 シリーズ 11「自動車と高分子材料」, (社) 高分子学会編, **4** (2002).

- 3) H. Kawamoto, M. Matsui, and H. Kabayashi, Ceramic Materials and Components for Engines, Deutshe Keramische Gesellschaft, Wiley-Vch, **273** (2000).
- 4) 坪井学, 吉村達彦, 材料, **50**, 187 (2001).
- 5) 吉村達彦, 伊藤泰彦, 材料, **36**, 104 (1987).

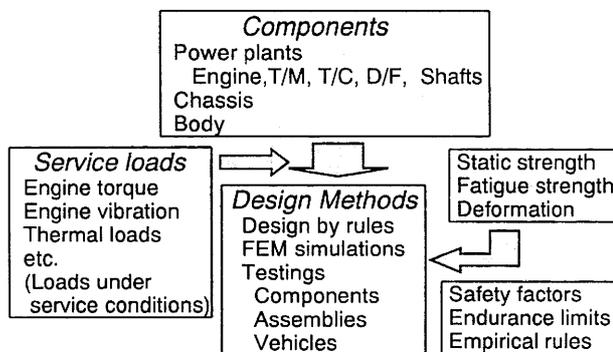


Fig.3 Strength design methods for automobile materials and components^{1), 3)}

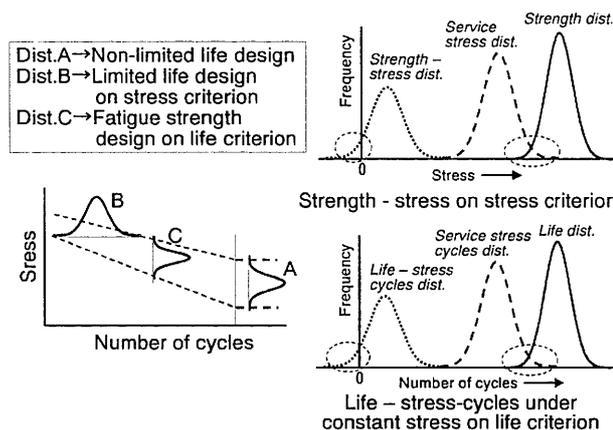


Fig.4 S-N curve and strength design criterion

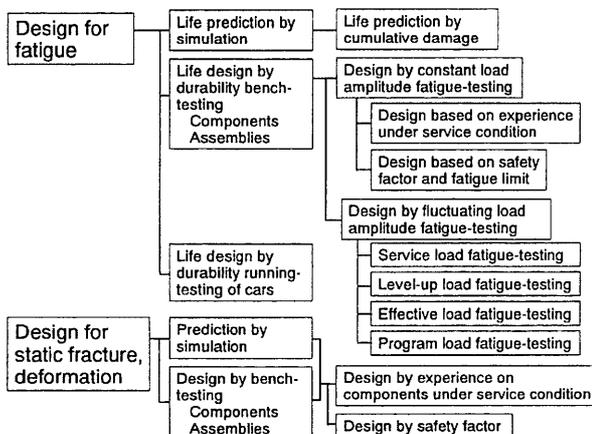


Fig.5 Strength design methods for fracture behavior¹⁾