溶接構造物のメンテナンス管理の最近の動向

⑧ 航空機のメンテナンス*

岡 本 次 郎**

Aircraft Maintenance*

by Jiro Okamoto**

キーワード：航空機，メンテナンス，定期検査

1. は じ め に

航空機は機体構造とそれに取付けるエンジン等の装備品から構成される。機体は複数の部材を用いて組立てられた構造であり、組立の時の接合にはファスナ締結や接着が主に用いられる。特に機体胴体部のように薄い板材を積層して接合する箇所には、リベット締結が多く用いられる。機体の場合には、組立て時に熱処理ができないことから溶接やろう接等の接合方法は一般的には用いられない。従って機体はファスナ接合構造と言える。一方機体に取付けられるエンジンは、整備の容易さを考慮して、全体は幾つかのモジュールに分割され、モジュールどうしの接合はファスナ締結されるが、モジュール中の部品や部品どうしの接合には、溶接やろう接が広く使われている。この意味では、航空機のエンジンは溶接構造物と考えてもさしつかえない。

これ等の接合部は他の部分に比べ応力の集中箇所になり易く、接合部の健全性を確保、保証することはとりもなおさず航空機の安全性の確保に他ならない。航空機の整備は、確実かつ効率的に行なうために、要目や方式を設定して行なわれる。製造者から提供される整備要目を、航空会社は自身の経験、施設や人資を基に要目を接近性の確保や点検の間隔により幾つかのブロック（整備の段階）に配分して行なう。整備要目は整備の基本となるもので、どの部位に在るどのような損傷を、どのような接近のもとにどれ位の時期よりどのような間隔で検査・点検が行なわれるべきかを定めた整備要求項目集である。ここでは航空機の機体構造とエンジンの整備、特に定期的な検査について述べることにする。

2. 機体構造の整備

機体の構造はフェイルセーフの考え方に基づいて、部分的な破壊が起っても、直ちに致命的な破壊が起らないように設計されている。然しながら実際の運航の際、

予期しない損傷を受けたり腐食等による劣化が生じたりする。このように疲労試験や損傷許容解析では確認することができない損傷を発見するため、およびフェールセーフが保たれていることを確かめるために定期的に、全機またはサンプリング方式の構造検査が実施される。構造検査は手段によって次の様に区分されている。

巨視的検査では、要目に定められた対象エリアの損傷を発見するのに適した距離（広範囲を対象にするので、比較的離れた距離）で目視検査を行なう。微視的検査では、指定された部材の局部に生じている損傷を、明視距離で詳細な目視検査を行なう。必要に応じて鏡、拡大鏡等の補完器材を用いる。特殊検査では、特殊な器材を用いて、トルクチェックや非破壊検査を行なう。

機体構造検査を目的別に分類すると、表1に示す分類となる。各々の構造検査では対象とする部位や検査間隔が異った要目により構成されており、これ等要目を計画的に実施するために幾つかの整備段階に配分している。当社の整備段階を表2に示すが、下方の段階ほど整備間隔は長い。整備に必要な時間を長くとり、より深い整備ができるようになっている。一般に機体構造検査は構造部位への接近が必要なこと、損傷が発見された場合に修理や部材の交換に時間を要することのために、C整備以上の深い整備段階（1C, 2C, ……、又は、1M, 2M, ……）で実施される。各整備の時間限界は、機体の種類や機齢によって異なるが、当社では大よそ1Cが1～1.5年、1Mが4～5年となっている。

機体構造検査の中で、「重要構造物検査」と「補足構造検査」は特に疲労損傷を対象としたもので、対象部材毎の初回検査実施時期、繰返し検査間隔は部材単位又は機体全体の疲労試験や損傷器用解析等を踏まえて設定される。検査を有効かつ適正に行なうには、疲労亀裂の発生時期、亀裂の進展速度、検査する方法の亀裂検出能力の評価の正確さが重要である。図1にダグラス社提供の補

*原稿受付 平成8年1月24日

** 日本航空（株）技術研究所 Japan Airlines, Engineering, Research and Development

表1 機体構造検査の分類

検査の分類	検査の内容	検査の区分	主な検査対象
一般構造検査	破損や腐蝕の有無を広範囲を対象にした総括的検査。	巨視的目視 (微視的目視)	機体外面一般 ・ SKIN ・ NACELLE STRUT ・ FAIRING ・ 動翼 ・ DOOR ・ 窓
領域構造検査	指定された区画内の構造物全般の検査。	微視的目視	構造区画全体、例えば桁で囲まれた区画
重要構造物検査	重要構造物の局部的詳細検査。	微視的目視又は非破壊検査	主要構造部材 主要構造部材結合部 ・ 主翼胴体結合部 ・ 主脚胴体結合部
補足構造検査	追加選択または重要指定構造物の局部的詳細検査。	微視的目視又は非破壊検査	
指定構造検査	ある機体で発見された損傷が他機にも存在するかを特別に指定して検査する。	微視的目視又は非破壊検査	・ FLAP TRACK FUSE PIN ・ PYLON BULKHEAD ・ SECTION 41 ・ HONEYCOMB ・ CORROSION SUSPECTED AREA
腐食検査	機体全域にわたり腐食検査を行うとともに防錆剤を塗布する。	微視的目視	・ FUSELAGE ・ PYLON ・ WING ・ DOOR ・ VERT STAB ・ LANDING GEAR ・ HORIZ STAB

表2 整備の段階

整備の段階	作業内容
T整備	飛行前点検：全般的的外部点検、燃料補給、潤滑油点検、タイヤ圧点検、運航中発生した故障の処理 etc
定期整備	A整備 外部および一部内部状態点検：エンジン、脚、動翼関係およびこれら収納部、胴体、翼、操縦室、客室の状態点検、および一部詳細点検 etc
	B整備 外部および一部内部状態点検：エンジン関係の内部および補機類の詳細点検、脚、動員の詳細点検 etc
	C整備 詳細点検：諸系統の機能検査作動検査、配管・配線・索の状態検査、脚の定期交換、機体構造の点検 etc
	M整備 詳細検査：機体内外部構造検査および腐食除去・防錆措置、諸系統・装備品の検査・交換、主要改修作業、機体外部再塗装 etc
H整備	計画的機材改修、機体外部再塗装 etc

図1 検査の開始時期と繰返し検査間隔の概念図

足構造検査の概念図を示すが、 a_{det} は指定された検査方法で検出が可能な亀裂サイズ、 a_{inst} は規定の最大荷重で部材が破壊してしまう限界の亀裂サイズである。

$P(N)$ a_{inst} は対象とする構造部位に a_{inst} のサイズの亀裂が存在する確率、 N_{TH} はその確率が 3×10^{-6} に達する時期（規定の最大荷重に遭遇する確率は経験によれば 3.33×10^{-4} 程度なので、実際に破壊するのは 10^{-9} という極く小さい確率になる。）で、この値を参考にして $N_{TH}/2 \sim N_{TH}$ 間で初回検査を実施するよう求められている。又、 ΔN_{di} は亀裂が a_{det} より a_{inst} 迄成長する間隔で、この値を参考にして $\Delta N_{di}/2$ の間隔で繰返し検査するよう求められている。

3. エンジンの整備

エンジンは機体に装着されたまま整備が行なわれる機体整備のほか、機体から取り下されて工場整備が行なわれる。

機体整備では、エンジンが機体に装着された状態で定期的に検査が行なわれ、エンジンの主要構成部品のコンディションをモニターしながら継続使用される。工場整備では分解整備が主で、エンジンの構造、取り下し理由、使用時間等に応じて、エンジン単位、モジュール単位、もしくは部品単位で整備が行なわれる。「Minimum Requirement」の整備では、取り下し理由や使用時間に拘わらず実施される必要最小限度の整備が行なわれる。

「Life Limit Parts の交換」では、部品寿命が使用時間数又はサイクル数、もしくはその両者によって制限されている重要部品（主に回転部品で、Rotor Disk や Hub 等）に対し、寿命内にエンジンまたはモジュールから取り下し新しい部品と交換する。「MHM (Module Heavy Maintenance) Requirement」の整備では、過去のエンジン使用経験を基に、モジュールの構成部品単位に定められた時期と方法による分解整備を行なう。時期にはハードタイムとソフトタイムのリミットがあり、前者はエンジンの信頼性上クリティカルな構成部品の整備実施時期が定められた使用時間数、もしくはサイクル数を越えて使用できないものに適用され、後者は定められた時間数、もしくはサイクル数を越えていた場合に適用される。

検査の方法としては、ボアスコープ、渦電流、超音波等を用いた非破壊検査、フィルタやスクリーンの点検等がある。また、エンジンが機体に装着されている間、エンジンの構成部品の性能を Flight Data Monitoring System (FDM), Spectrometric Oil Analysis Program (SOAP), Oil Consumption Rate Monitoring Program (OCM) 等により常時監視している。FDM は飛行中の燃

料流量、 N_1 及び N_2 ロータ回転速度、排気温度、振動、吸気圧と排気圧等のパラメータの変化を定常的に監視して、エンジンの内部故障を初期の段階で発見しようとするものである。SOAP では、潤滑油系路にあるベアリング、ギア、スプリング等の故障の早期発見を油の分析を定期的に行って監視する。OCM では、潤滑油の消費量を調べ、エンジンの状態を監視する。

以上の定期検査の他に、エンジンの使用時間の増加に伴って構成部品の状態および性能がどの様に変化するかを調べる目的でサンプリング検査が行なわれる。

4. おわりに

機体構造とエンジンでは構造や機能が異なり、各々に適した整備が行なわれる。機体構造の場合は、その健全性が定期的な各種の構造検査により確認され、不具合や損傷が発見されれば、次の飛行前に完全な修理が行なわれ性能を回復させることにより健全性の維持がはかられている。一方、エンジンは構造物としての健全性を機体に装着された状態で確認すると共に、エンジンの性能パラメータや潤滑油の成分監視を定常的に行ない、エンジン構造の健全性を確認している。

また機体構造およびエンジンとも、定期検査、サンプリング検査、工場での分解検査の結果を現行の整備要目や整備方式に反映させることによって、より完全な整備を行なうように努めている。このような信頼性管理のプログラムは当社内だけでなく、他社の故障や破損データを有する機体およびエンジンメーカーの間にも広げられている。