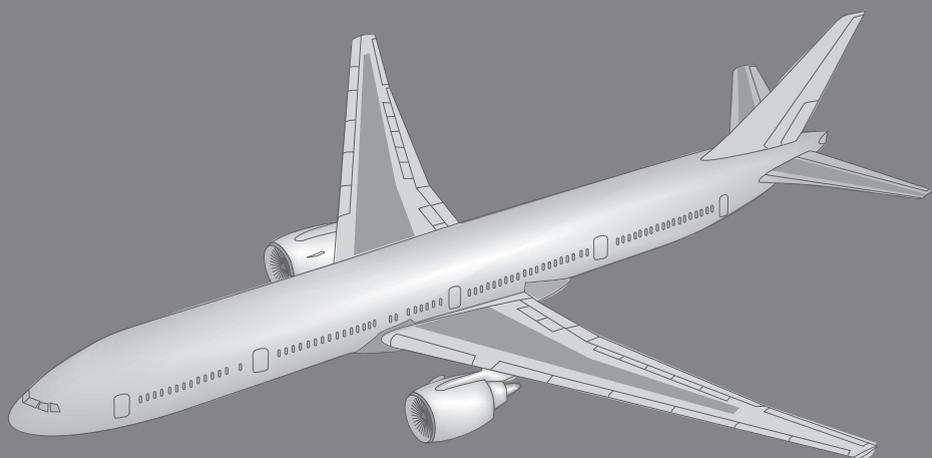


# 航空機構造破壊

遠藤信介 著



公益社団法人 日本航空技術協会

# 目次

## はじめに

<b>第1章</b>	<b>2</b>
<b>1</b> 中華航空 B747 機空中分解事故 (2002 年) .....	2
<b>2</b> 経年航空機に関する国際会議 (2009 年) .....	5
<b>3</b> 初期の疲労強度基準 (1926 ~ 53 年) .....	6
<b>4</b> コメット機連続墜落事故 (1953 ~ 54 年) .....	9
<b>5</b> 疲労強度基準改正 (1956 年) .....	13
<b>第2章</b>	<b>16</b>
<b>6</b> 米空軍 B-47 連続墜落事故 (1958 年) .....	16
<b>7</b> 米空軍 F-111 墜落事故 (1969 年) .....	19
<b>8</b> バンガード墜落事故 (1971 年) .....	22
<b>9</b> DC-10 急減圧緊急着陸 (1972 年) .....	25
<b>10</b> 却下された技術者の勧告 (1972 年) .....	28
<b>第3章</b>	<b>32</b>
<b>11</b> トルコ航空 DC-10 墜落事故 (1974 年) .....	32
<b>第4章</b>	<b>46</b>
<b>12</b> 損傷許容設計基準の成立 (1977 ~ 78 年) .....	46
<b>13</b> B707 水平尾翼疲労破壊事故 (1977 年) .....	48
<b>14</b> 経年航空機に対する検査プログラム .....	54
<b>第5章</b>	<b>56</b>
<b>15</b> アメリカン航空 DC-10 墜落事故 (1979 年) .....	56
<b>16</b> FAA の耐空証明制度に関する報告書 (1980 年) .....	64
<b>17</b> 構造設計基準改正案の撤回 (1983 ~ 85 年) .....	66

---

<b>第6章</b>	<b>69</b>
18 遠東航空 B737 空中分解事故（1981年）	69
<b>第7章</b>	<b>81</b>
19 JAL123 便事故（1985年）	81
<b>第8章</b>	<b>101</b>
20 アロハ航空 B737 胴体外板剥離事故（1988年）	101
<b>第9章</b>	<b>113</b>
21 ユナイテッド航空 DC10 着陸横転事故（1989年）	113
<b>第10章</b>	<b>128</b>
22 B747 エンジン脱落事故（1991～92年）	128
<b>第11章</b>	<b>142</b>
23 TWA 機空中爆発事故（1996年）	142
<b>第12章</b>	<b>160</b>
24 A300-600 垂直尾翼空中分離（2001年）	160
<b>第13章</b>	<b>176</b>
25 中華航空 B747 空中分解（2002年）	176
索引	194

## はじめに

この本は、日本航空技術協会機関誌「航空技術」の2010年6月号から2011年7月号までに連載した記事「航空機構造破壊」をほぼそのまま収録したものです。

この連載を始めた当時の動機は、史上最大の単独機事故である1985年のJAL123便事故から17年後の2002年に、JAL123便事故と多くの共通点を有する重大な構造破壊事故が発生したにもかかわらず、その事故は、発生当時もその後も日本国内では航空関係者も含め、あまり関心を引かなかったことにありました。

JAL123便事故は、日本国内のみならず世界の航空関係者にその事故原因と再発防止策が周知されていた筈であったのに、17年後のその事故はなぜ防止できなかったのか、我々がさらに学び、さらに周知を図っていくべきことがあるのではないか、などと考え、「航空技術」に「航空機構造破壊」を連載することを思い立ちました。幸いなことに、日本航空技術協会の担当者の方のご理解を得て、1年余にわたって「航空技術」に連載させて頂くことができました。このたび、当時の連載を1冊の本として出版することになりましたが、この本をお読み頂くことによって過去の教訓から何かを得て頂くことができたとすれば望外の喜びです。

なお、この本の内容のうち、事実関係については全て公開された資料に基づくものであり、意見が述べられている部分は全て個人的な見解ですが、連載当時、私は公的機関に所属していたため、私の個人的見解が当該機関の見解と誤解されないように、親族の姓名を組み合わせたペンネーム（武田信一郎）で執筆しております。

最後に、当時の連載と今回の出版に当たって多大のご支援を頂いた日本航空技術協会の方々、並びに、連載当時に多数の貴重なご助言と図表作成にご協力を頂いた十亀洋氏に深く感謝申し上げます。

遠藤信介

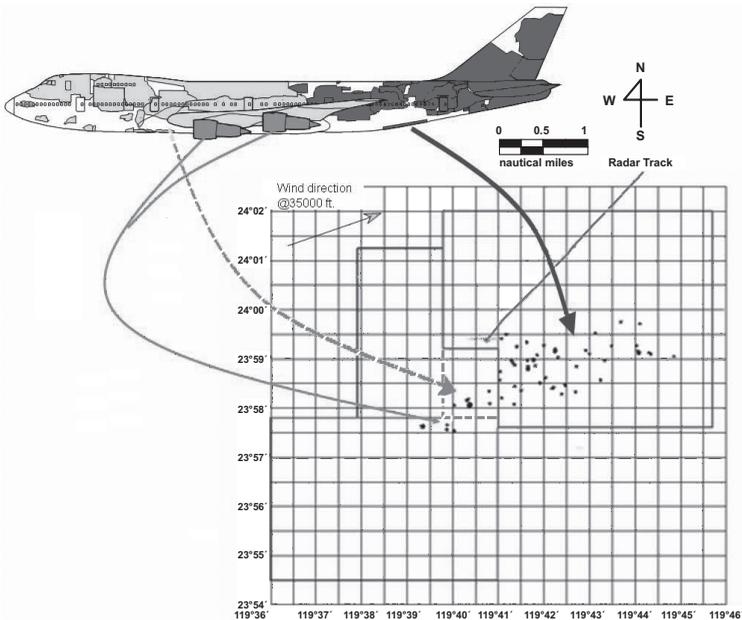
# 航空機構造破壊

## 第 1 章

### 1 中華航空 B747 機空中分解事故(2002 年)

2002 年 5 月 25 日 15 時 7 分に台湾桃園市蒋介石空港を離陸した中華航空 611 便 B747-200 型機は、離陸から約 21 分後の 15 時 28 分、巡航高度 35,000ft に到達する直前に空中分解し、乗客乗員 225 名は、ばらばらになった機体とともに台湾海峡の海に墜落し、全員が死亡した。

台湾飛航安全委員会は、事故機を海中から引き揚げ、3 年間に亘る



事故機残骸分布状況 (台湾海峡)<sup>1</sup>

調査を行った結果、事故の 22 年前の 1980 年に事故機は香港空港で機体後部を接地させ後部胴体部分に損傷を受けたが、その修理が不適切であったため、機体与圧の繰り返しにより疲労亀裂が進行を続け、事故時のフライトにおいて機体内外の圧力差が最大レベルとなっていた時に亀裂が一気に進行して機体が空中分解したことを突き止めた<sup>1</sup>。

この事故は、事故機が過去に後部胴体を接地・損傷する事故を起こしていたこと、損傷箇所の修理が不適切であったこと、与圧によって修理箇所に疲労亀裂が発生し長期間に亘って進行したこと、巡航高度に到達する直前に亀裂が合一し機体が急速に破壊したことなど、1985 年に発生した JAL123 便の事故と多くの共通点を有している<sup>2</sup>。

JAL123 便は航空機の単独事故としては史上最大の事故であり、その事故原因と再発防止策は世界の航空関係者に周知されていた筈であったが、1985 年から 17 年後に発生した中華航空機事故はなぜ防止することができなかつたのであろうか。

航空機構造に起因する事故の発生件数は比較的少数であるものの、一旦発生すると重大な結果をもたらす場合が少なくないが、その中でも JAL123 便やこの事故のような与圧関係の重大事故が目につく。機内与圧は、旅客の利便性、快適性を飛躍的に高めたが、その一方、1950 年代のジェット旅客機の出現以降、様々な胴体構造の強度問題を生じさせてきた。

与圧構造破壊事故などの重大な構造破壊事故に対しては、発生のたびに、その時点では徹底的と考えられた再発防止策が策定されてきたが、その後も類似事故が再発しているのが現実である。

本稿は、今後の航空機の安全性維持のあり方を考える上で何らかの参考になればと考え、ジェット旅客機登場以来の約 50 年間に発生した 20 件の主要な構造破壊事故をとりあげ、これらの事故はどのようにして発生したのか、また類似事故の再発はなぜ防止されなかつたのか、再発防止のため設計基準はどのように改正されてきたのかなどについて解説するものである。

#### 4 第1章

本稿で取り上げる構造破壊事故（1953～2002年）

発生年月日	航空機	運航者	発生場所	死者	推定原因
1953.5.2	コメット I	BOAC	カルカッタ	43	構造破壊
1954.1.10	コメット I	BOAC	エルバ島近海	35	胴体の疲労破壊
1954.4.8	コメット I	南アフリカ航空	ナポリ島近海	21	胴体の疲労破壊
1958.3.13	B-47B	米空軍	フロリダ	4	主翼下面の疲労破壊
1958.3.13	TB-47B	米空軍	オクラホマ	1	主翼下面の疲労破壊
1969.12.22	F-111	米空軍	ネバダ	2	左主翼疲労破壊
1971.10.2	バンガード	BEA	ベルギー	63	腐食による圧力隔壁破壊
1972.6.12	DC-10	アメリカン	オンタリオ	0	貨物室ドア分離
1974.3.3	DC-10	トルコ航空	パリ郊外	346	貨物室ドア分離
1977.5.14	B707	ダンエア	ザンビア	6	水平尾翼疲労破壊
1979.5.25	DC-10	アメリカン	シカゴ	273	不適切なエンジン交換作業
1981.8.22	B737	遠東航空	台北付近	110	胴体の腐食
1985.8.12	B747	日本航空	群馬県上野村	520	不適切な修理作業
1988.4.28	B737	アロハ航空	マウイ付近	1	接着剥離、疲労損傷
1989.7.19	DC-10	UA	スーシティ	112	尾部エンジン破壊
1991.12.29	B747	中華航空	台北付近	5	エンジン取付金具疲労破断
1992.10.4	B747	エルアル	アムステルダム	47	エンジン取付金具疲労破断
1996.7.17	B747	TWA	ニューヨーク	230	中央翼燃料タンク爆発
2001.11.12	A300-600	アメリカン	ニューヨーク	265	垂直尾翼分離
2002.5.25	B747	中華航空	台湾海峡	225	尾部接地修理部疲労破壊

(注) ICAO、各国事故報告書、Flight International 誌等による。

## 2 経年航空機に関する国際会議（2009年）

事故の歴史を遡る前に、構造破壊事故は過去の問題ではなく、構造健全性維持対策は現在も活発に議論されていることもご紹介しておこう。

2009年5月、米国ミズーリ州カンザス市で経年航空機の安全性について討議するため、FAA、国防総省、NASAが主催する「Aging Aircraft 2009」が開催された。会議では、航空機構造の疲労対策をはじめとする多くの経年機対策の進展状況が発表された。その中でも最も関心を集めていたのは2006年に公表されていた民間機の設計基準（疲労強度基準）改正の進捗状況であった。2006年公表案は、JAL123便や中華航空611便の構造に発生したような広範囲の疲労損傷（WFD: Widespread Fatigue Damage）を防止するため、WFDが発生しないような運航寿命制限（OP: Operational Limit）を課するという急進的な内容のものであった<sup>3</sup>。この改正案に対して、航空機メーカーや航空会社は過大な負担を強いるものとして、強い反対を表明していた<sup>4,5</sup>。

FAAは会議の席上、2008年12月に開催された公聴会で、改正案の規制内容を大幅に緩和して基準に適合するためのコストを\$360 millionから\$4 millionまで削減したとする案を提示したことを発表した。また、2006年案では、運航寿命を制限する用語として、データの有効範囲を意味するLOV（Limit of Validity）よりOPが適当として、OPを基準に用いていたが、公聴会提示案では、OPの代わりにLOVを用いるとしている<sup>6,7</sup>。LOVは、飛行回数、飛行時間で表され、その時点で到達する前に航空会社の整備プログラムに追加点検などの措置を組み入れることによってWFDの発生、拡大を防止しようというものであり、運用の仕方によっては事実上の運航寿命となる。

後述するように、過去には急進的な内容が産業界の強硬な反対を招き、採用自体が見送られた基準改正案があり、今回の改正案についても、内容が緩和された修正案に対してもまだ米国航空会社等の反発が強く<sup>8</sup>、最終案がどのような形に落ち着くのかはまだ明らかではない。

従って、今回の改正が事実上の運航寿命制限を課するものとなるのかは本稿執筆時の2010年現在では不明であるが、運航寿命制限は、

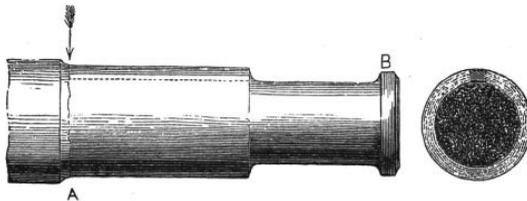
航空機構造の疲労破壊防止のため、疲労強度基準の歴史の中で度々提起されてきたものである。今回の基準改正の行方が航空機構造の健全性維持にどのような意味を持つのかを理解するためにも、構造破壊事故とその再発防止策としての疲労強度基準等の設計基準の改正の歴史を知っておく必要がある。

なお、P.4 の表中の 1996 年の TWA 機空中爆発事故の原因は、構造破壊ではなく経年劣化した電線のショートによるとみられる燃料タンク爆発だが、この事故を契機として、構造ばかりでなく電線やタンクの経年劣化に対する検査等に関する新規則（FAR26）が 2007 年に制定されるなど、現在の経年化対策に大きな影響を与えていることから、本稿で取り上げることとした。

### 3 初期の疲労強度基準（1926～53 年）

航空機の歴史が始まって以来、現在に至るまで、航空機構造破壊による事故で数多くの人命が失われ続けており、航空機構造の健全性をどのように維持していくかは、今もなお航空の安全にとって最重要課題の一つである。航空機構造の強度には静強度と疲労強度とがある。航空機の歴史の初期にはほとんど静強度のみが問題とされていたが、徐々に疲労強度の問題が重視されるようになり、与圧飛行の開始以降に特に疲労強度の問題が顕在化し、疲労による重大事故が発生するようになった。

なお、金属材料の疲労現象は航空機の出現以前から知られており、1800 年代の半ばには既に産業機械や鉄道で疲労による事故が報告されている。1842 年 5 月 8 日にベルサイユで起こった蒸気機関車の車



1840 年代鉄道車軸の応力集中による疲労破壊<sup>9</sup>

軸の疲労破壊による事故では70人以上が死亡したとも言われている<sup>9</sup>。

初期の航空機事故にも疲労によるものと思われるものがあったが、初期の民間航空機の構造強度基準はほとんど静強度のみを規定するもので、疲労強度の規定はあってもごく簡単なものであった。

米国の最も古い民間航空機の設計基準（耐空性基準）は、1926年に発行された「Air Commerce Regulation/Aeronautics Bulletin No.7」であるが、そこには疲労強度に関する記述はなく、その後発行された「Aeronautics Bulletin No.7A」でも次のような簡単な規定が追加されただけであった。

#### Aeronautics Bulletin No.7A

1933年1月1日発効版第10章67節「Fittings」(F) (5)

「(略) ……。振動が疲労破壊を生じる可能性のある操縦系と舵面の部分には標準アイボルト等を使用しないよう特に配慮すること。」

1934年10月1日発効版の第1章第9節「材料」(B)

「(略) ……。部材とフィッティングの詳細設計では、材料の配分と形状を適正にすることにより疲労破壊防止への配慮を払わなければならない。」

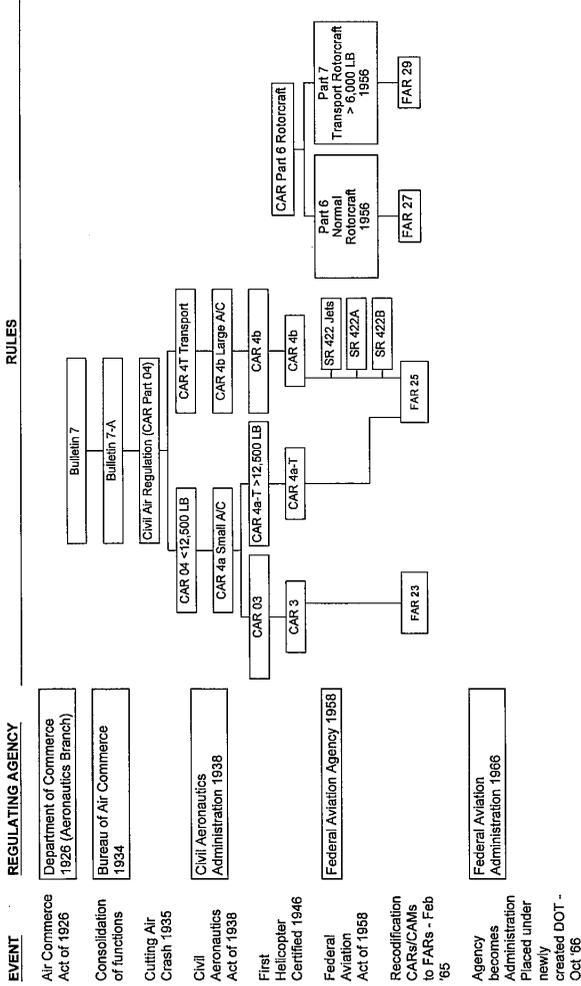
注：現在、航空機構造の強度の安全率として広く用いられている「1.5」は、1933年発効のAeronautics Bulletin No.7Aにその起源があり、1934年版から明確に規定されるようになった。また、1934年はAir Commerce Actの改正もあり、事故調査の手続き明確化、報告書の裁判証拠採用禁止等も規定されている。

民間航空機の耐空性基準は、Aeronautics Bulletin から、1937年にCAR (Civil Aviation Regulations) に再編成され、大型機の基準は、CAR04からCAR04a、CAR04bとなるが、疲労に関する基準は、1950年代半ばまでごく簡単な記述に止まっていた。

CAR04b 「Airplane Airworthiness; Transport Categories」(1953年12月31日改正)

Subpart D 「Design and Construction」

HISTORICAL BACKGROUND OF FAR 23, 25, 27, AND 29



### Section 306 「Material Strength Properties and Design Values」

(d) 構造の強度、詳細設計及び構成は、破滅的な疲労破壊の可能性を最小限にするようなものでなければならない。

注：応力集中部は、疲労破壊の主要な発生源の一つである。

耐空性基準において疲労にあまり重きが置かれていない状況を一変させたのが、1950年代前半に起きた世界初のジェット旅客機の連続墜落事故であった。

## 4 コメット機連続墜落事故（1953～54年）

現在では旅客機が与圧されていることは常識となっているが、航空機の与圧システムが開発されるまでには幾多の困難があった。1930年代のプロペラ旅客機は、与圧システムを装備していなかったため、巡航高度は5,000ft～10,000ftであり、低高度の不安定な大気の中を飛行しなければならず、快適性や定時性が低かった。

世界初の与圧旅客機は、爆撃機であるB-17をベースに開発されたBoeing 307 Stratoliner（成層圏旅客機の意味）であった。307の巡航高度は、現代の旅客機から見ると遥かに低い14,000ft程度であったが、それでも1940年にTWAの米大陸横断路線に就航すると、それまでのDC3の飛行時間を2時間短縮する13時間40分で飛行し、客室内の快適性も大いに高まった。しかし、第二次世界大戦が勃発したため、



Boeing 307<sup>10</sup>

307 も軍用に転用され、10 機しか生産されなかった<sup>10</sup>。

第二次世界大戦が終了し、ジェットエンジンの開発が進展すると、1950 年代にいよいよジェット旅客機が登場することになった。米国のボーイング社、ダグラス社、英国のデハビランド社などが競ってジェット旅客機の開発に着手したが、世界初のジェット旅客機の栄冠を勝ち得たのはデハビランド社であった。

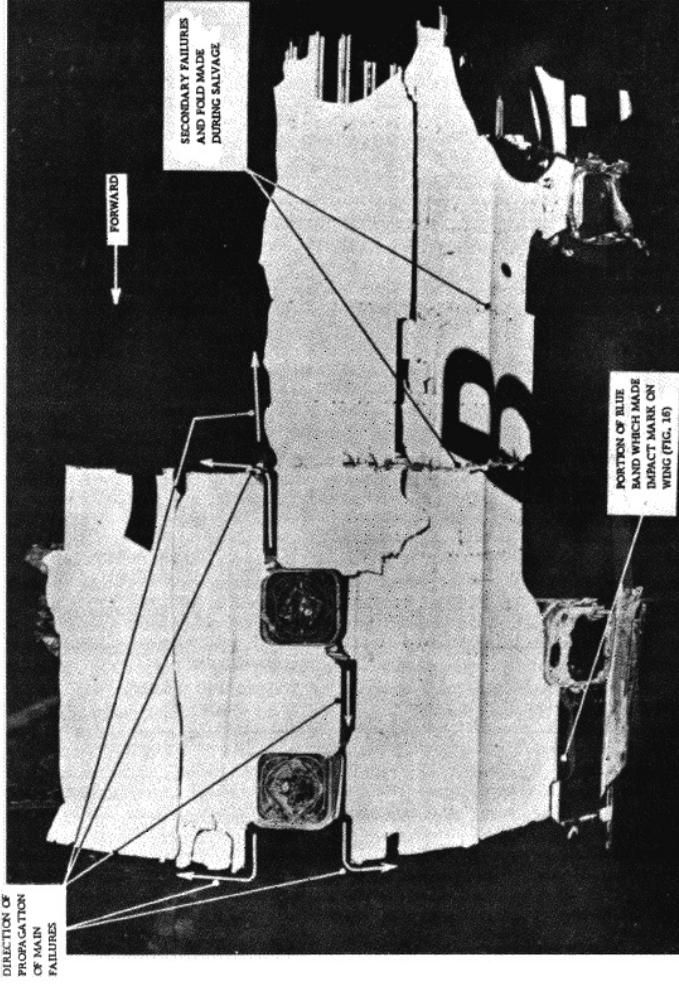
1952 年 5 月 2 日、デハビランド・コメット 1 は BOAC の定期路線の世界初のジェット旅客機として就航した。コメット機は、巡航高度 35,000ft の高高度を高速で飛行し、客室内も極めて快適で、この世界初のジェット旅客機は大成功を収めたと思われた。事態が暗転するのは、奇しくも就航して丁度 1 年後の 1953 年 5 月 2 日であった。

BOAC (British Overseas Airways Corporation : 現在の British Airways の前身) のコメット 1 は、乗員乗客 43 名を乗せて、インドのカルカッタをデリーに向けて出発したが、離陸 6 分後に雷雨の中を飛行中に墜落し、搭乗者全員が死亡した。事故後の調査により、飛行中に航空機構造が破壊したことは判明したが、破壊の原因は、突風によるものか過大操縦によるものか、突き止めることはできなかった。

この事故の記憶がまだ新しい 1954 年 1 月 10 日に次の惨事が発生した。BOAC のコメット 1 は、乗客乗員 35 名を載せてロンドンに向かってローマを出発したが、離陸 20 分後高度 27,000ft に到達しつつあった時に突然連絡を絶ち、エルバ島付近の海上に墜落した。

この事故後直ちにコメット機による旅客輸送が中止され、BOAC、英国航空当局、デハビランド社は共同で事故調査を開始した。調査の結果、火災、フラッター、突風等が事故原因と疑われ、航空機構造に改修が加えられた。この時点でも航空機構造の疲労が事故原因の可能性ありと疑われていたが、それは与圧胴体の疲労ではなく翼の疲労であった。実施された再発防止策を考慮した結果、航空担当大臣はコメット機の飛行再開を許可し、1954 年 3 月 24 日に旅客輸送が再開された。

しかし、飛行再開後わずか 15 日後の 4 月 8 日、乗員乗客 21 名を乗せてローマからカイロに向かったコメット機は、離陸 38 分後高度 35,000ft 近くを上昇中にまたもや海上に墜落し、搭乗者全員死亡の惨事が繰り返された。コメット機の飛行は再び中止され、4 月 12 日には、



事故機胴体 ADF 設置窓からの亀裂進行状況<sup>1)</sup>