

5. 胴体構造の落下衝撃特性に関する試験研究

熊倉郁夫、峯岸正勝、岩崎和夫、寺田博之(航技研)

Research on Crash Properties of Aircraft Fuselage Structure

Ikuo Kumakura, Masakatsu Minegishi and Kazuo Iwasaki, Hiroyuki Terada (NAL)

Keywords : Crash Simulation, Drop Test, Fuselage Structure

Abstract

Procedures and some results on crash simulation of simplified fuselage models and the scheduled drop tests of full-scale fuselage sections are presented in this paper. Nonlinear analytical models were developed and applied to small-scaled fuselage sub-floor sections under crash condition.

1. はじめに

航空輸送の安全性は著しく改善され、今日では極めて安全な交通手段となっている。しかし、航空輸送量は年々増加の一途を辿っており、事故発生率の更なる低減に向けて世界的に新たな目標の下に取り組みが始まっている。一方、事故時の生存性改善の対策も重要な課題である。クラッシュ事故時の客室安全にかかわる問題の一つは、衝撃荷重に起因する搭乗者の被害の低減である。過去に衝撃吸収型座席構造の開発を中心に開発が進められたが、機体の大型化に伴う事故の社会的影響の大きさ、実機による技術基準への適合性証明方法の困難さ、などを考慮すると、機体の衝撃解析的手法の確立は新たな機体設計に向けて極めて重要な課題と位置付けられ、最近米欧では固定翼輸送機に関して非線形動的構造解析手法の適用による解析モデルの研究開発が進められている。

このような背景から、航空機胴体構造の小型構造模型を用い代表的非線形動的解析コード LS-DYNA3Dを利用して胴体下部構造モデルの衝撃解析を行った。また、実機構造の落下衝撃試験は、小型模型や解析では困難な衝撃破損の実態の解明と解析モデルの検証のために必須であり、当所ではYS-11型機の胴体部分の落下衝撃試験を予定している。

2. 小型構造模型の落下衝撃特性

衝撃解析の対象とした構造模型を図1に示す。変形の基本形態を把握する目的で、胴体部分が水平姿勢で剛体平面へ垂直落下する場合を想定した。この模型は、落下時の胴体部分の衝撃吸収に主要な寄与をする部分とみなした床および床下構造のみから成る。搭乗者や床面上部の機体重量などは付加質量として搭載して簡素化して近似した。本模型は特定の实在機体を縮小したものではないが、大型固定翼機の平均的な構造を大まかに模擬している。胴体外板部分の機軸に垂直な断面は外径450mmの真円の一部分であり、胴体表面の下端から床面までの高さは胴体半径の80%相当(180mm)である。

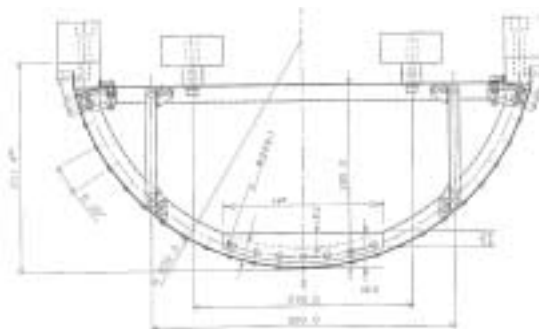


図1 胴体下部の構造模型

この模型は、落下時の胴体部分の衝撃吸収に主要な寄与をする部分とみなした床および床下構造のみから成る。搭乗者や床面上部の機体重量などは付加質量として搭載して簡素化して近似した。本模型は特定の实在機体を縮小したものではないが、大型固定翼機の平均的な構造を大まかに模擬している。胴体外板部分の機軸に垂直な断面は外径450mmの真円の一部分であり、胴体表面の下端から床面までの高さは胴体半径の80%相当(180mm)である。

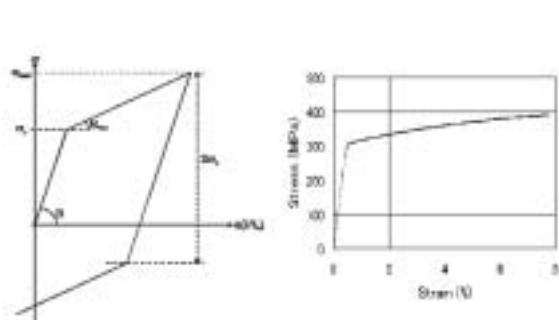
落下の条件は、落下試験装置の 2 本の鉛直方向ガイドレールに沿って自由落下させる場合と、拘束無く完全にフリーな状態で自由落下する場合を考慮した。

3. 解析方法

本報告の衝撃解析に利用した非線形動的解析ソフトウェアは ANSYS/LS-DYNA3D ver.5.6.2 である。これは陽解法有限要素法コードとして知られる LS-DYNA3D と ANSYS のプリ・ポスト処理機能を統合したプログラムである²⁾。

解析モデルは低減積分(1点)の Belytschko-Tsay 薄板シェル要素を基本として構成した。材料特性は、構成材料であるアルミニウム合金(2024-T3、7075-T6)薄板の引張り試験結果をベースに、2直線近似の弾塑性体として近似的に表現した(図2)。

解析モデルの構築に当たっては、数種の要素タイプ、要素サイズ、構造のモデル化手法などを試み、また実験結果との比較によりそれらの効果を検討し、なるべく簡素化することを目的とした。解析モデルの例を図3に示す。



(a) 2直線近似 (b) 材料の引張り試験結果
図2 材料特性(2024-T3の例)

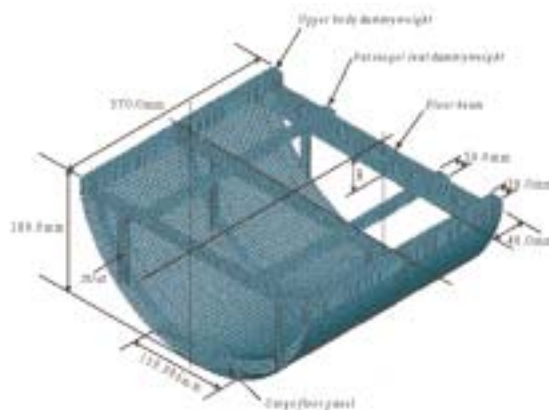


図3 構造模型の解析モデルの例

4. 解析例と考察

(1) 要素サイズの影響

構造解析モデルを構成するシェル要素の要素サイズをの影響を確認するために、全体の要素数を 1263、9270、34471 の 3 段階に変化させて、ある注目点の変形を比較した。図4に解析結果の比較を示す。要素数を増すことにより、わずかに最大変位量の変化がみられるが、変形モードの表現および計算効率の観点から以後は要素数 9270 のモデルを基本とした。

(2) 外板の寄与

水平姿勢で垂直落下し中心軸に対して対称変形をする本モデルでは、薄い外板(0.4mm)はフレーム構造に比べて曲げ剛性への寄与分は小さいと考えられるため、構造モデルから外板のみを取り除いた場合のモデルについても解析を行った。しかし、その結果によれば、外板は薄いとはいえ、Z型断面フレーム構造の面外への曲げ変形を抑える効果が大きく、対称姿勢の垂直落下条件においても、床下構造の衝撃吸収能力に大きな寄与をしていることが示される(図5)。

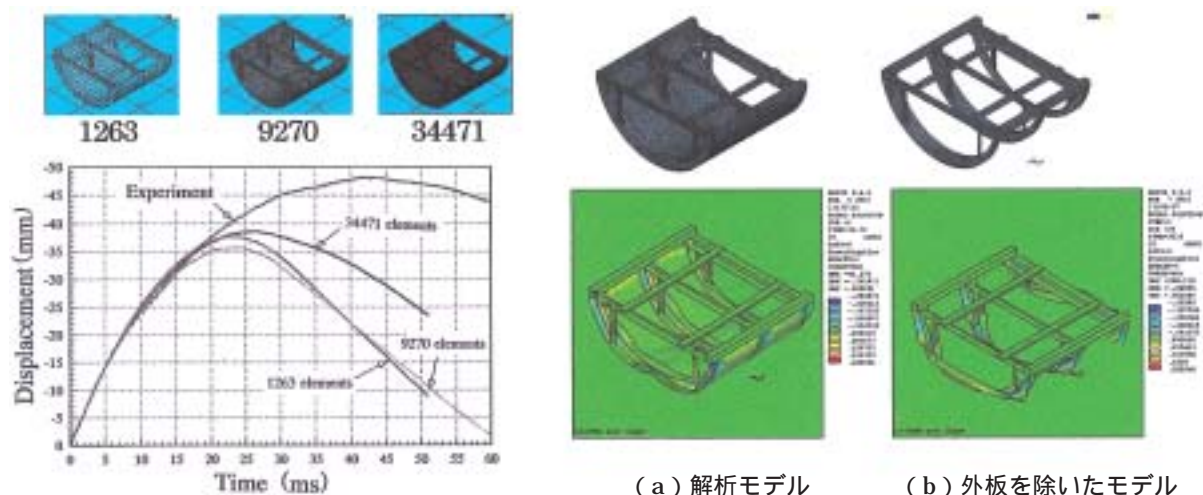


図 4 要素数の影響

(3) 落下条件の影響

構造モデルの落下衝撃試験を行うに当たっては、既存の落下衝撃試験装置³⁾(NALが開発)を利用すると試験条件の設定や時間変位を含む各種衝撃データの計測が極めて容易に出来るため、今回は予備的に床ビームを剛として床下構造のみの衝撃挙動に注目して解析および実験を実施した⁴⁾。

この条件においては、供試体の床ビームと胴体フレームが結合される両端部を、垂直に設置した平行な 2 本のガイドレール上のスライドユニットに固定し、所定の高さから付加重量とともに剛体平面に向けて自由落下させる。このため、落下面に達して構造モデルが変形する過程で、この固定部分では水平方向変位が拘束される。

一方、床ビームの剛性を考慮した場合は、この水平方向の拘束の影響を無くすために、完全に拘束を外した自由落下をさせる必要があり、全く異なる落下試験方法や計測方法を開発した。ここでは、これらの拘束の有無に関して解析および実験により衝撃挙動を比較した。

構造モデルが床および床下構造部分のみの形態では無く、本来の胴体構造のように床面より上部の構造部分も模擬される場合の完全自由落下衝突では、床面位置での水平方向変位に対して今回の構造モデル(床下のみ)での上記両落下条件の中間に相当する程度の効果が予想される。

両落下条件についての解析例を図 6 および図 7 に示す。

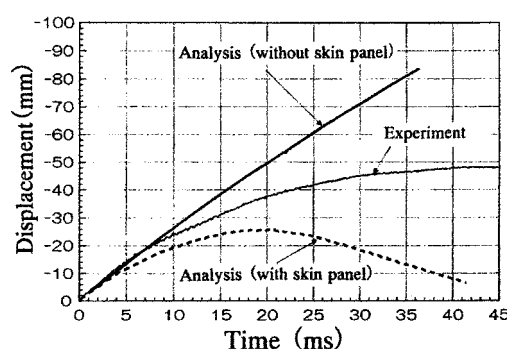


図 5 胴体外板の効果

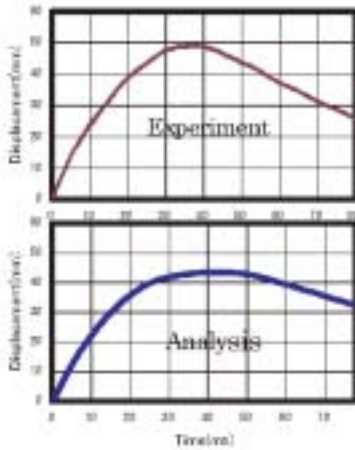


図6 実験および解析による標点の変位

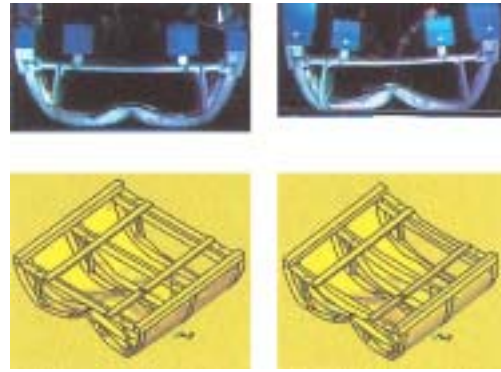
床面での変位は、今回の例では実験値と比較して比較的小さい結果となった。解析では材料の引張り特性を適用しているが、現象的には胴体下部部材は圧縮荷重が卓越しているため、MIL-HDBKの圧縮降伏応力、およびファスナー等による相対的低下を想定した値をパラメトリックに与えて実験との対比を行った(図8)。本模型に対しては材料の圧縮降伏応力を約85%程度に減じた場合に実験に近い結果(変位)が得られている。

5. 今後の計画

課題としては、さらに実際に近い構造への適用により、適切な材料特性の与え方、衝撃吸収の観点で有効な構造の検討、および、搭乗者や貨物コンテナ等の影響を考慮したの解析や試験法の開発が重要と考えている。また、エアーニッポン株式会社のご厚意により入手が可能となったYS-11型機の実機胴体構造(図9)の落下衝撃試験を今年度に予定している。

参考文献

- 1) C.M.Kindervater: Aircraft and Helicopter Crashworthiness; Design and Simulation, Crashworthiness of Transportation Systems, p.525, Kluwer Pub. (1997)
- 2) ANSYS/LS-DYNA User's Guide, ANSYS, Inc. (1997)
- 3) I.Kumamura, M.Minegishi, K.Iwasaki: Impact Simulation of Simplified Structural Models of Aircraft Fuselage, World Aviation Congress 2000, Paper No.2000-01-5586 (2000)
- 4) 峯岸正勝、熊倉郁夫、岩崎和夫: 落下式衝撃試験装置の開発, 航空宇宙技術研究所資料TM-754 (2000)



(a) ガイドレール利用 (b) 完全自由落下の自由落下

図7 落下試験条件の違いの影響

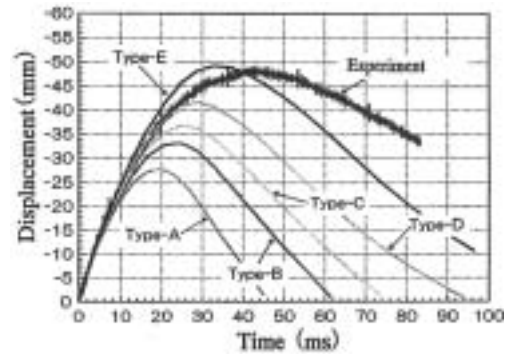


図8 解析における材料の降伏応力の影響。Type AからType Eに向かって段階的に降伏応力を低減して与えた場合の標点の変位



図9 YS-11型機の部分胴体