

大型板金筐体の落下衝撃強度検証技術

谷 則行*
吉沢二郎*
菊地宏満**

Method of Drop-impact Analysis for Large Enclosure

Noriyuki Tani, Jiro Yoshizawa, Hiromitsu Kikuchi

要 旨

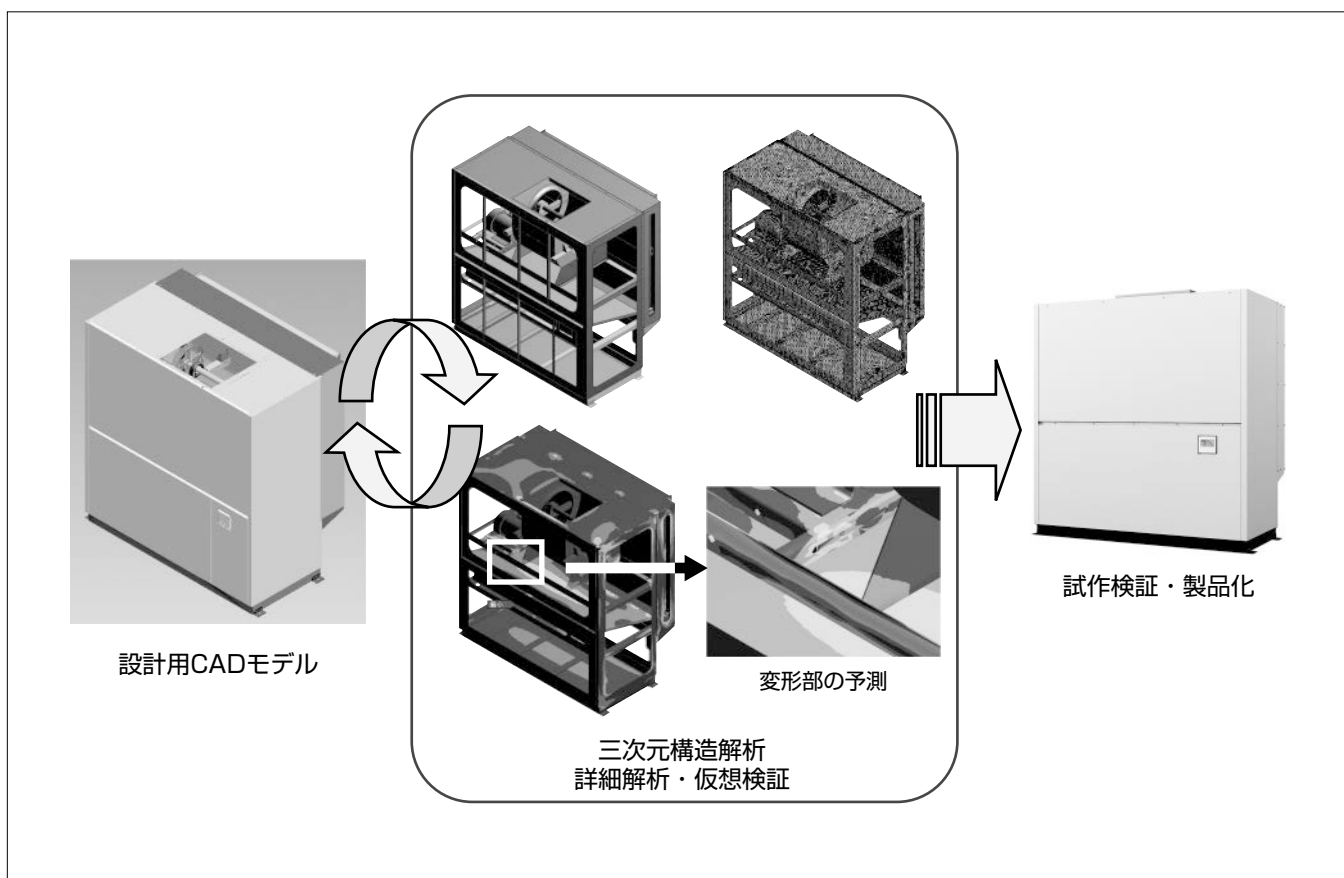
設備用パッケージエアコン (Package Air Conditioner : PAC) などの大型板金筐体(きょうたい)の構造設計では、出荷から据付けに至る輸送時の振動、衝撃に耐える強度確保が重要である。特に、落下衝撃に対する強度設計は、解析的な現象予測が困難であり、検証は実機評価試験(落下試験)に頼っていた。このため、試験による板金変形などの問題が起り、試作・試験後の筐体構造の見直し、改造などの設計手戻りが発生していた。

そこで、設計手戻りの抑制を実現するため、試作・試験前に強度検証を可能とする衝撃強度設計手法を構築した。

落下衝撃強度を予測するためには、衝撃の現象時間になら

る非定常な挙動を求める動解析を用いるのが一般的であるが、計算時間が長いので、設計期間内での適用が困難であった。そこで、短時間での検証を可能とするため、定常状態における力の釣合いから変形を求める静解析による検証方法を検討した。この結果、実機の落下試験結果から導出した衝撃荷重の予測式などの解析条件ルールと限界試験から求めた判定値を用いることで、静解析で落下試験の模擬が行えることを確認した。

この手法を用いることで、設計手戻りなく落下衝撃強度を確保することを可能とした。



大型板金筐体の落下衝撃強度検証技術

パッケージエアコン (PAC) 室内機などの大型板金筐体を持つ製品で、落下試験を行うものを対象に、試作前に落下強度の評価を行う技術開発を行った。静解析を使用し、落下を模擬した解析で発生応力を基準値と比較することによって試作前の検証を行い、設計手戻りの抑制や原価低減に貢献する。

1. ま え が き

パッケージエアコン(PAC)室内機などの大型板金筐体は、輸送時の落下を想定した強度を確保する必要がある。従来、設計段階での検証手段は十分ではなく、実機評価試験(実機をロープでつるし、規定の高さより床に落とす試験(図1))によって、設計完成度を高めていた。このため、落下試験での板金変形などの問題によって設計手戻りが発生していた。また、試験には多くの費用がかかり、原価低減(原低)に向けた補強部品の削減やスリム化が促進できないという課題があった。

そこで、手戻りの抑制や原低推進のため、設計段階で検証可能な落下強度設計手法の開発が求められていた。

2. PACにおける落下衝撃強度設計の課題

PACの開発段階では、落下試験を実施したときに、筐体を構成する板金の変形や、板金同士をつなぐねじの変形などの問題がしばしば発生し、試作・試験後の筐体構造の見直しや補強などが設計手戻りの要因となっている。また、昨今の企業を取り巻く厳しい経営環境の中で、設計手戻りによる開発期間の増大や補強部材の追加によるコスト増大は、重要な開発課題となっている。

試作前に落下衝撃強度の検討ができれば、試作・試験段階の不具合・手戻り発生を未然に抑制し、短期開発が可能となる。

また、補強の削減やスリム化が実現できれば、原低が可能となるが、実機試験での検証では限界がある。これらを実現するには、強度解析によって設計変更前後の剛性(変形)及び強度の定性的な傾向、又はその絶対値をいかに精度良く見積もれるかが重要となる。

そこで、大型板金筐体の落下衝撃強度を検証する技術を開発した。



図1. 実機評価試験(落下試験)

3. 落下衝撃強度検証技術

3.1 概 要

三次元構造解析は、三次元の計算格子(メッシュ)に対し、運動方程式を解くことによって、構造物の運動現象を解析する手法である。三次元構造解析には運動方程式の加速度項、速度項を考慮した動解析と、剛性項のみを考慮した静解析とがある。落下は瞬間的(動的)な現象であるため、一般的には動解析で現象を再現するが、長時間の計算時間が必要(静解析の数十~数百倍以上)という課題がある。そこで、今回は限られた設計期間の中で検討を行うことを目的とするため、静解析を利用することとする。

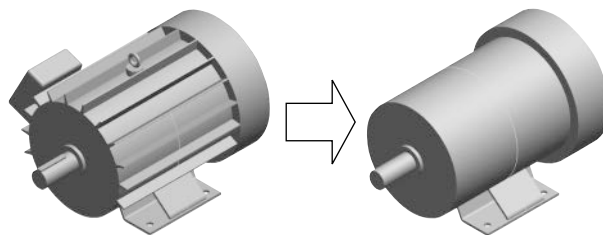
メッシュモデルの構築と解析条件によって、計算結果が大きく変わるため、これらの設定が非常に重要である。

3.2 メッシュモデルの構築

設計用CADモデルを使って、解析に使うための解析用CADモデルを作成する。解析用CADモデルは計算時間短縮のため、板金はシェル(薄板)化し、構成部品は細部形状を取り除いた概略モデルに変更する。例としてファンモータの簡略化を図2に示す。簡略化による質量の増減は、密度を調節することによって、現物と合わせる。

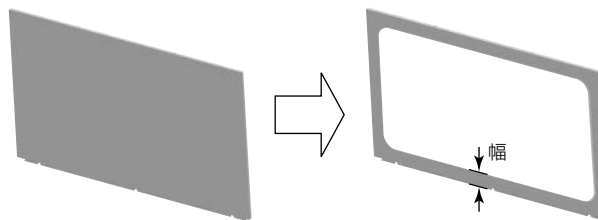
さらに、配管などの筐体の強度に影響のない部品は削除し、重さだけをモデル上に付加する。また、筐体の表面を覆う意匠パネルは静解析の性質上、実機よりも剛性が高く評価されることから、内部をくり抜くことで、剛性を下げた(図3)。このときのくり抜き量(図3(b)の幅)は、実機のひずみ測定を行い、剛性が等価となるように定めた(図4)。

次に、作成した解析用CADモデルからメッシュ生成を行う。メッシュのサイズについては解析時間と計算精度から総合的に判断し決定した。



(a) 設計用CADモデル(簡略化前) (b) 解析用CADモデル(簡略化後)

図2. 三次元モデルの簡略化(ファンモータの例)



(a) 設計用CADモデル(くり抜き前) (b) 解析用CADモデル(くり抜き後)

図3. 意匠パネルのくり抜き

解析用CADモデルとメッシュモデルを図5に示す。今回の例では要素数は約14万となった。

メッシュモデルの構築まで大体2日間程度の時間を要する。

3.3 解析条件の設定

解析条件は、落下を模擬するため、落下時の衝突面(底面)を固定し、加速度を付加することとした。このときの加速度は、次の理論式から算出する。筐体を質量とバネ定数からなる1質点系と考え、運動方程式(1)と、エネルギー保存則式(2)から加速度 α について解くと式(3)が導出される。ここでバネ定数 K は、筐体全体の剛性とし、静解析より求めることができる。

$$F = M\alpha \dots\dots\dots(1)$$

$$Mgh = \frac{1}{2}KX_{\max}^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{2ghK}{M}} \dots\dots\dots(3)$$

F : 荷重(N), M : 質量(kg), α : 加速度(m/s^2),
 g : 重力加速度($9.8m/s^2$), h : 落下高さ(m),
 K : 筐体剛性(N/m), X_{\max} : 最大変位(m)

理論式(3)から算出された結果と実機の測定結果(重量物の応答加速度)を図6に示す。落下高さを変化させて、試験を行ったところ、実測値と理論値がよく一致していることが分かる。また、実機の測定結果から、落下方向だけでなく幅方向と奥行き方向にも無視できない加速度が発生していることが分かった(図7)。これによって、3軸同時に加速度を入力することとした。幅と奥行き方向の加速度は、図7に示す測定結果の比率を使用した。

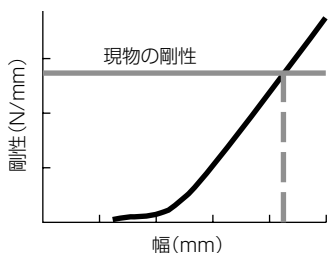


図4. 意匠パネルの幅と剛性の関係

3.4 計算時間及び解析結果の評価

計算時間はメッシュ数や計算機のスペックにもよるが、平均的に1ケース約30分程度である。この程度の計算負荷であれば、1日に数ケースの設計案を比較・評価することが可能であるため、十分に実用的である。

解析結果を図8に示す。筐体の中央部の梁(はり)に高応力が集中していることが分かる(図8(b))。この応力集中部位が、実機の落下試験での変形部位(図9)と一致することを確認した。さらに動解析も実施し、応力集中部位の一致を確認した(図10)。この部位に発生している応力値を基

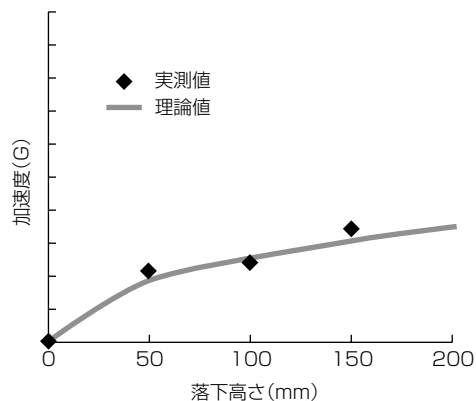


図6. 加速度の理論値と実測値

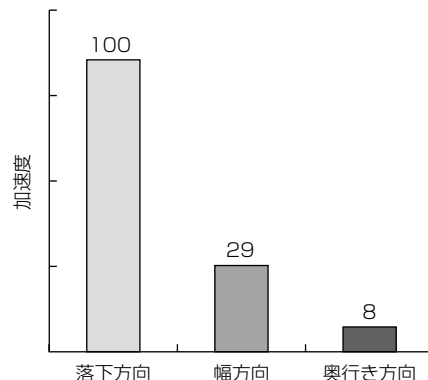


図7. 落下時にかかる加速度と比率

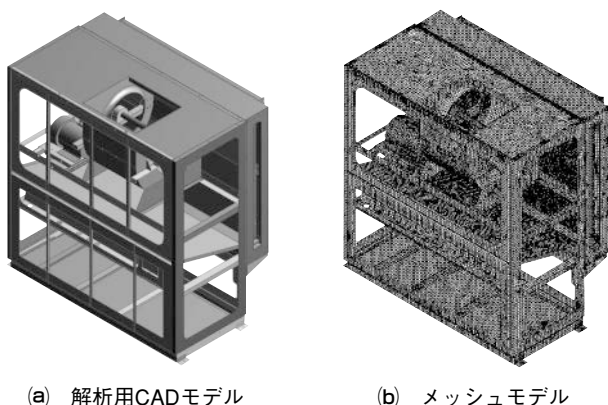


図5. 解析用CADモデルとメッシュモデル

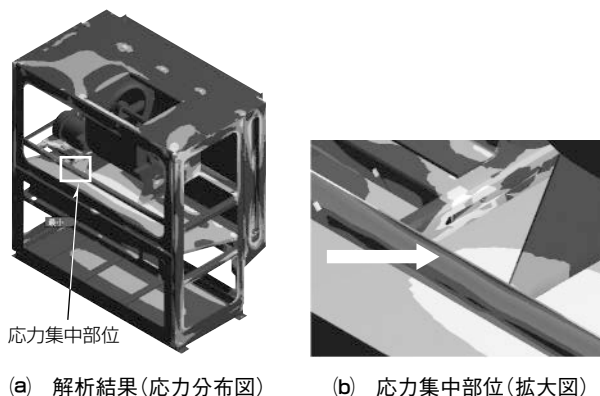


図8. 解析結果

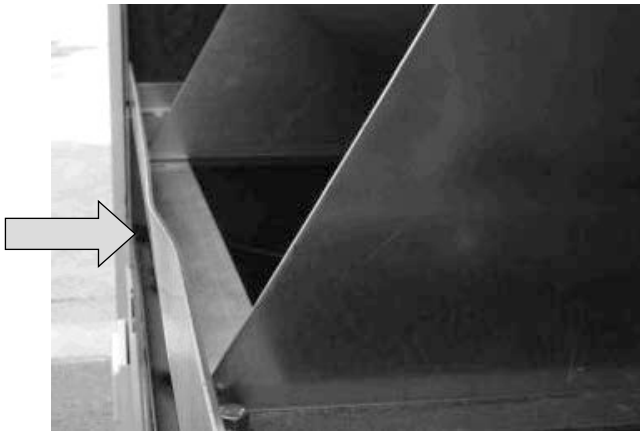


図9. 実機の変形部位

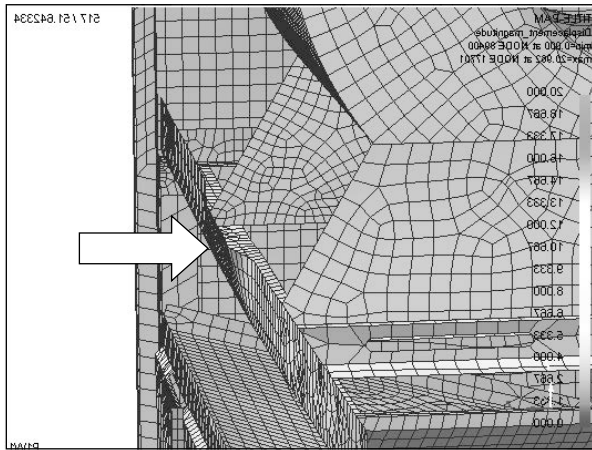


図10. 動解析の応力集中部位

準値とし、判定を行うこととした。この応力値については、今後複数の機種での応力測定を行い、精度向上を図っていく。

3.5 結 論

落下衝撃強度検証技術の確立によって、試作機を用いた落下試験による検証作業の多くを解析に置き換えられるようになったため、設計段階で短時間に多くの設計検討が可能となった。

3.6 今後の展開

現在この技術をパッケージエアコンの開発に適用するだけでなく、他機種への展開も実施している。また、これらの試作・試験では、発生加速度やひずみなどの試験データを取得し、さらなる落下衝撃強度検証技術の精度向上を図っていく。

4. む す び

パッケージエアコンなどの大型板金筐体を持つ構造物の落下衝撃強度検証技術を確立した。この技術を開発に適用することによって、設計手戻りの削減と原低の推進に貢献できると考える。