

NB corner drop optimization using CAE method implementing DOE

Don Sun, Wayne Lin, Joseph Chen

LC Future Center Limited Taiwan Branch/ Mechanical Technical Department Taipei

摘要

結合電腦輔助工程(CAE)與實驗設計法(DOE)來分析筆記型電腦在自由落下造成筆記型電腦角落損壞的情況，用以找出最顯著的設計因子來加以改善結構強度；此法可找出設計方向，有效減少修模、測試次數、時間與成本，進而縮短產品開發時程及提升產品品質。本文將介紹如何結合CAE分析軟體ABAQUS的模擬與DOE軟體的實驗設計來獲得較佳的設計參考方向。

分析大綱如下：

- 一、評估分析實驗模型並規範設計條件。
- 二、通過DOE軟體分配實驗組數與條件。
- 三、參照實驗組與對照組的條件分配與執行CAE有限元素分析。
- 四、後處理結果分析及數據紀錄。
- 五、套回DOE軟體進行分析及結果判斷。

關鍵字：自由落體、筆記型電腦角落幾何設計、DOE 實驗法、有限元素法、ABAQUS、柏拉圖。

ABSTRACT

Combining CAE (Computer-Aided Engineering) and DOE (Design of Experiment) to analyze free drop of corner strength of NB cover, finding the important design factors and improve the structural strength; this method can find the design solution, to reduce test mode times, reduce design times and costs, thereby shortening product development, schedule and improving product quality.

This article will show you how to combine CAE simulation with ABAQUS and DOE software, to get a better design reference for NB cover of corner.

The analysis outline is as follows:

1. Assess the experimental model and standardize the design conditions.
2. Allocate the experimental models with the DOE software.
3. Refer to the conditions of the experimental models and perform CAE finite element analysis.
4. Analyze CAE post-processing results and data recording.
5. Put back to the DOE software for analysis and results.

Keywords: free drop test, notebook corner design, DOE experiment, FEA analysis, ABAQUS software, DOE software, Pareto chart.

一、緒論

筆記型電腦在研發階段所進行的可靠度測試，其中有一項於 corner drop 的這個測試條件，常常因某個測試角度自由落下時，造成外觀受損、角落破裂、零件毀損等

現象。

為了節省當下處理的時間，該問題常用的解決方法，會在發生問題之後，很直觀的選擇 Trial & Error 的方式來處理。

機構在 Debug 的過程中，把可能的原

因一一列出，用反覆測試的方式一個一個加以排除(troubleshooting)，求解過程只要射擊到問題點的靶心就能顯著改善或完全改善；

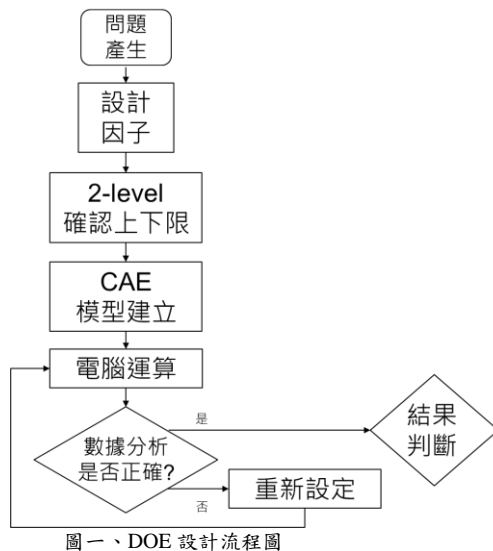
除此之外，經驗多的人也會比經驗少的人更有效率的一次命中問題點來減少反覆測試的次數。

然而這樣的處理過程，背後還是有一些需要考慮的問題；例如補強局部的肋條、塑膠件內部厚度局部加厚等等.....這些額外處理的動作，除了會增加修模的費用、處理修模的作業時間，同時局部厚度增加的塑膠部件也必須評估外觀是否會有縮水的現象；如此往復的過程中會增加許多人力、物力和時間的耗損，大致上我們可以用亡羊補牢的成語來形容這樣的做法。

上述情況，除了 Trial & Error 來 debug 外，用 DOE (Design of experiment) 找問題的方式也可作為我們結構設計上解決問題的方法之一。該方法來解決問題雖然很少有一擊必中的效果，而且通常需要花費冗長的時間來設計問題與數據解析，但對於比較複雜、有交互影響的問題以及對於經驗不足的研發人員花費較長時間來 debug 的情況，使用 DOE 比較能夠一勞永逸作為問題發生前的預防性設計參考。

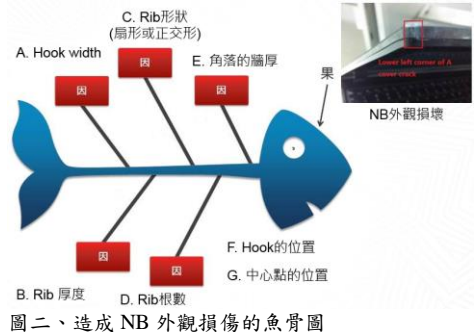
二、NB 設計優化說明

首先我們以此法的設計流程圖加以說明如下：



我們針對結構可改良的部分於部門內

進行討論、腦力激盪，將 NB 加以拆解、分析，統整出可能會造成該問題的影響變數 (設計因子, Factors)，並整理出有機會造成 NB 受撞擊而破裂或因而外觀受損的七個設計因子。



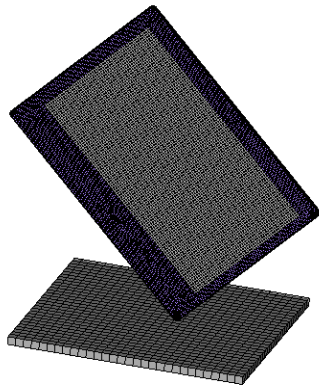
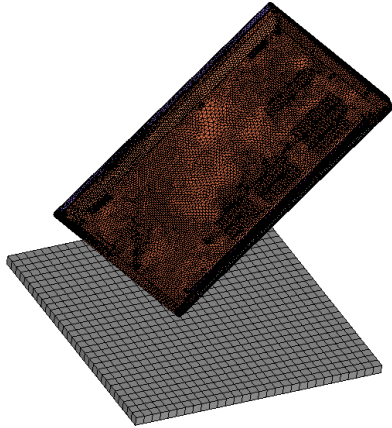
利用這七個設計因子並使用 DOE 軟體設定出兩水準(2-Level)的實驗方法來產生所需的評估條件，以此設計組合並透過 CAE 模擬軟體 ABAQUS 來設定不同的分析條件進行模擬，過程中是透過有限元的網格劃分、螺絲綁定、賦予材料參數、設定工況等相關條件的處理，再經由電腦運算取得 CAE 後處理結果；這是我們進行 DOE 方法，所要取得的 Response 結果，將 Response 帶入 DOE software 中加以分析運用，找出會造成結構破裂的主要因子與相關聯性。

最後以此結果建議機構設計方向，控制相對設計參數，以避免爾後 free drop test 造成損壞的情形發生，進而控制測試損壞的風險及其預防。

三、模擬角落下分析

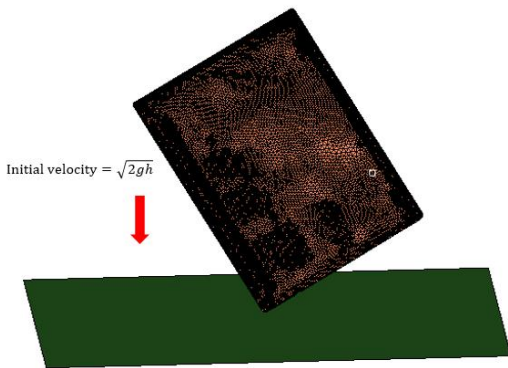
3.1 有限元之 NB free Drop 模型

以有限元素所建構的 NB 模型必須以足夠數量的模擬數據作為 DOE 數據分析建立之基礎，下圖為本次進行自由落下的 NB 模型，其工況乃依據客戶測試條件進行設定：



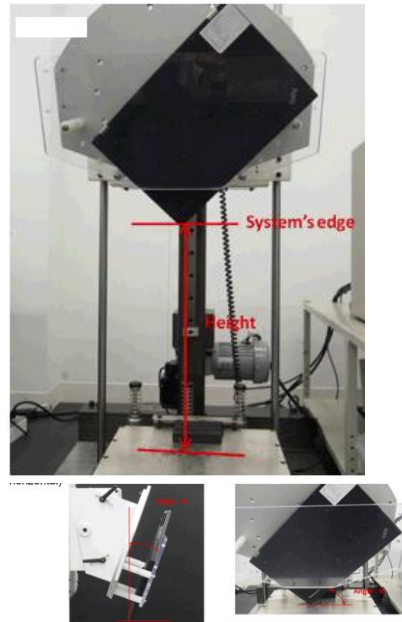
圖三: NB 角落下的 CAE 模型

CAE free drop 初始條件設定:



圖四: 落下高度換算所需的初始速度

實際測試狀態照片:



圖五: 客戶定義的落下角度與設備圖示

3.2 角落 Factors 設計概要

7 個因子搭配上上下限的兩水準之設計變數，分析如下圖示:

Factor	A	B	C	D	E	F	G
	Hook width	Rib thickness	Rib shape	Rib number	Corner thickness	Hook distance	Center point location
Min							
Max							

圖六: 幾何變化與尺寸上下限

變數有 A 到 G 這 7 個情況:

- A. Hook 寬度
- B. Rib 厚度
- C. Rib 形狀(扇形或正交形)
- D. Rib 根數
- E. 角落的牆厚
- F. Hook 的位置
- G. 中心點的位置

根據這些因子(A~G)以這些上下限排列組合，套到所有的 CAE 模型來進行模擬實驗及電腦運算結果。

四、Design Expert 運用

4.1 設計 7 因子 2 水準之 DOE 實驗



圖七：7 因子 2 水準之設計變數

上圖為 DOE 初始選擇，我們透過軟體輸入所需的變數，然後依據相關條件帶入數據，排列出我們要套入 CAE 模型中的各種設計條件，每組設定好 Abaqus 所需的模擬環境，然後再執行電腦運算，得到我們需要的結果，並將結果進行判斷。分析出我們的 Response 結果。

4.2 Response 輸出

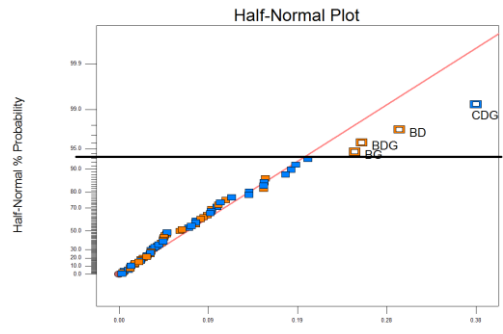
我們找出自由落下於 ABAQUS 運算後的碰撞點與接鄰碰撞點附近的 ESEDEN (應變能量密度，它通常是用於機械衝擊的能源基礎風險的評估指標)來作為我們設計參考的指標，並經由對照組的條件帶出每個實驗組的改善率來作為我們設定在 DOE 實驗設計方法的 Response 結果。

利用這些 CAE 後處理數據放置於 Excel 內進行觀察、除錯以及柏拉圖(Pareto chart)分析與比較，統計出會影響因子交互關係的結果，導出結構設計不良造成產品落下角破裂的原因。

4.3 Raw data 分析數據

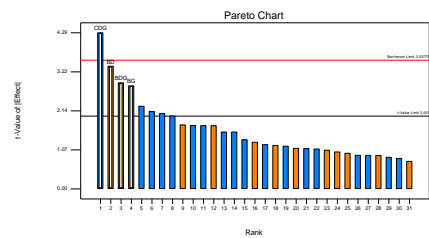
我們透過 CAE 取得之後處理數據，放置於 Excel 中進行除錯、分析與比較，統計出會影響因子交互關係的結果，導出結構設計不良造成產品落下角破裂的原因。

首先我們將實驗組與對照組於 Abaqus 設定 output 的 ndoe set 上的 ESEDEN 數據，整理出各組的改善率做一個比較，利用 Excel 列出各數值的差異，然後透過 Design Expert 繪出 Half-normal 圖：



圖八：Half-normal chart

(黑線以上的設計變數有 93% 以上的可能性發生)



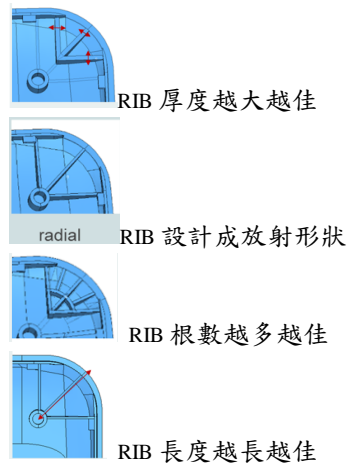
圖九：柏拉圖

Run	A (HW)	B (RT)	C (RS)	D (RH)	E (CT)	F (HD)	G (CP)
Coded	NA	+1	-1	+1	NA	NA	+1
Determinant	NA	1	Radial	6	NA	NA	18
Values	A (HW)	B (RT)	C (RS)	D (RH)	E (CT)	F (HD)	G (CP)
Low	3	0.6	radial	3	1.6	17.25	12
High	6	1	orthogonal	6	2.47	23.8	18

Factor	A (HW)	B (RT)	C (RS)	D (RH)	E (CT)	F (HD)	G (CP)
Coded	NA	+1	-1	+1	NA	NA	+1
Determinant	NA	1.0 mm	Radial	6	NA	NA	18 mm

圖十：分析出最具影響力的因子關係

最後找出具有交互作用，造成自由落下時，NB 塑膠件角落破裂或損壞的重要設計變數，結果以圖示說明其各設計變數的排列組合中的最優設計方案如下：



圖十一：NB 角落的設計建議

而實務上，往往最優設計方案可能無法完整實現其真實需求上的設計空間；所以我們可以再透過反應曲線法或是查表的方式來比對及參考該設計變數的範圍條件來評估設計的空間。

Number	Hook width*	Rib thickness	Rib shape	Rib number	Corner thickness*	Hook distance*	Center point location	Improvement
1	2.000	3.000	radial	6.000	2.000	17.200	18.000	0.260
2	4.000	1.000	radial	6.000	1.800	22.800	18.000	0.260
3	3.000	1.000	radial	6.000	2.470	23.800	18.000	0.260
4	4.247	1.000	radial	6.000	1.800	22.338	18.000	0.260
5	4.674	1.000	radial	6.000	2.140	20.862	18.000	0.260
6	3.842	1.000	radial	6.000	2.004	18.379	18.000	0.260
7	5.192	1.000	radial	6.000	2.189	22.655	18.000	0.260
8	4.448	1.000	radial	6.000	1.771	19.293	18.000	0.260
9	5.690	1.000	radial	6.000	2.262	21.264	18.000	0.260
10	4.844	1.000	radial	6.000	2.234	23.059	18.000	0.260
11	5.943	1.000	radial	6.000	2.282	22.234	18.000	0.260
12	4.108	1.000	radial	6.000	2.022	22.947	18.000	0.260
47	4.215	0.993	radial	6.000	2.216	17.200	17.999	0.248
48	3.462	1.000	radial	6.000	1.800	23.800	17.997	0.246
49	3.000	1.000	radial	5.950	2.219	17.404	18.000	0.245
50	5.893	1.000	radial	6.000	2.216	23.646	18.000	0.245
51	2.000	1.000	radial	5.950	1.791	23.646	18.000	0.245
52	5.199	0.998	radial	6.000	2.470	17.200	18.000	0.238
53	3.891	0.999	radial	5.942	1.800	23.800	17.970	0.239
54	2.832	0.999	radial	6.027	2.470	17.200	18.000	0.119
55	3.000	0.990	orthogonal	3.000	2.470	17.200	18.000	0.037
56	6.000	0.990	orthogonal	3.000	1.800	17.200	18.000	0.037
57	3.000	0.990	orthogonal	3.000	1.800	23.800	18.000	0.037
58	6.000	0.990	orthogonal	3.000	2.470	23.800	18.000	0.037
59	4.000	0.990	orthogonal	3.000	1.809	17.515	18.000	0.037
60	3.895	0.990	orthogonal	3.000	2.189	18.715	18.000	0.037
61	2.835	0.990	orthogonal	3.000	1.891	22.235	18.000	0.037
62	5.305	0.990	orthogonal	3.000	1.891	18.715	18.000	0.037
63	5.305	0.990	orthogonal	3.000	2.189	22.235	18.000	0.037

圖十二：查表選擇設計參數與風險參考

五、結論

我們常透過實驗的方式獲得實驗組與對照組的差異，找出影響問題的因子，但這樣的模式，不管是實驗組或對照組總是需要投入一些基本的成本，例如：實驗設備、場地、測試樣本、控制環境因素、人工操作的費用與作業時程；

因而我們利用 CAE 結合 DOE 的方法來加以運用，這樣的方法不但可以減少人工實驗在不管是環境、人為穩定性上的誤差，而且經由電腦運算也減少了人工作業的時間；CAE+DOE 的運用是非常值得推廣問題解析或除錯的方法之一。

六、參考文獻

- [1] 實驗計劃法
- [2] Abaqus tutorial