

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

精密剪斷製品斷面品質之研究(I)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-009-027-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程學系

計畫主持人：徐瑞坤

計畫參與人員：余俊德、余順達

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 92 年 7 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 精密剪斷製品斷面品質之研究(I)

計畫編號: NSC 91-2212-E-009-027

執行期限: 91/08/01~92/07/31

主持人: 徐瑞坤(國立交通大學機械工程學系)

計畫參與人員: 余俊德、余順達(國立交通大學機械工程學系)

### 一、中文摘要

對於精密剪斷加工特有的缺陷，本論文以有限元素法為基礎，根據 Cockroft-Latham's 破壞準則提出一個評估破壞型態改變的判斷方法。本研究使用有限元素分析軟體 ABAQUS 模擬精密剪斷的斷面形狀，探討沖頭、模具圓弧半徑的改變對工件斷面形狀的影響。分析結果顯示，此方法判斷的剪斷面與破斷面交界位置與文獻的實驗結果相當接近，荷重與圓弧半徑的模擬結果得知，荷重的增加對於精密剪斷的破斷面所佔比例的減少是有利的，而尖銳的沖頭與模具反而造成負面的效果。

### Abstract

The main objective of this research is to study the defects appeared on shearing surface of fine blanking. Based on finite element analysis and Cockroft-Latham's criterion, the study proposed an estimated method for distinguish of the shear and fracture zone on shearing surface. The finite element code ABAQUS was used to simulate the fine blanking shear surface characteristics. It was shown that the predicted shear and fracture zone

percentage on shear surface had a good correlation to experimental results. Furthermore, increase of blank holder load is benefit to the reduction of the percentage of fracture surface proportion while sharp punch and die has negative affects to fine blanking parts.

### 二、前言

沖壓加工，是工業上常用的無屑金屬成型技術，在現代工業的大量生產中，扮演著相當重要的角色。沖壓加工包含了剪斷、彎曲、抽製等加工方法。就剪斷加工而言，依設備、技術的不同，可分為傳統剪斷及精密剪斷方法。

傳統剪斷加工的設備簡單，然而，其製品亦有著諸多的缺點。包括斷面粗糙、製品翹曲、尺寸精度不佳等，若製品須滿足特定功能，則需後續加工，不但增加生產成本，尺寸亦不易控制。

精密剪斷是一種不須修邊、銑削等二次加工，即可獲得平滑斷面的金屬成型方法，其光滑的剪斷面、良好的製品平坦度等特性，相較於傳統剪斷製品有著許多優點。

然而，精密剪斷製程的加工參數若設定不當，仍會影響製品的斷面品質。主要的影響因素包括材料性質、沖頭-沖模間隙、沖頭-沖模刀刃的鈍銳、壓板種類及荷重等。本研究的目的，乃針對精密剪斷加工特有的缺陷，以有限元素法為基礎，根據 Cockroft-Latham's 破壞準則提出一個評估方法以判斷破壞型態的改變，並根據此方法來探討各種加工參數對工件斷面形狀的影響。

### 三、結果與討論

#### 3.1 解析值與實驗值的比較

##### 3.1.1 破壞型態的判斷

在比較解析與實驗的結果之前，以下幾點需特別注意，以避免錯誤的判讀。

##### (1) 剪斷面與破斷面的分界

欲明確地定義剪斷面的品質，應該要以表面粗度做為判斷光滑剪斷面或粗糙破斷面的依據，但文獻中並沒有提及如何定義剪斷面或破斷面，應該只是粗略地判斷平滑光亮和粗糙灰暗的交界來決定剪斷面和破斷面的比例。此外，判斷剪斷面和破斷面的比例也有實際上的困難，剪斷面和破斷面之間的交界並非整齊一致，而是呈現鋸齒狀的型態。因此，實驗得到的剪斷面比例只能視為一個約略的估計值。

##### (2) 一次剪斷面比例

文獻中以“一次剪斷面的比例”對“壓板力”作圖，所謂的“一次剪斷面比例”，指的是被沖掉的料片中，上端光滑面的厚度與板厚的比值，如圖一所示。

##### (3) 裂縫偏向位置的對應

在剪斷過程中，除了 Cockroft-Latham 破壞準則預測的裂縫成長路徑，其他週邊區域也發生劇烈的塑性變形。因此，解析得到的裂縫偏向位置與實驗觀察的結果會有誤差，其原因說明如下。

圖二是判斷裂縫偏向位置的示意圖，根據解析的結果，在平壓板荷重 100KN，間隙 10  $\mu$ m，沖頭、沖模圓弧半徑 0.05mm 的情況下，上裂縫前端在板厚的 40.0%(從上方計算的第 25 個元素)處向右偏向，如圖二，但是由於附近元素發生塑性變形，對料片而言，偏向的位置卻在 35%板厚處，如圖三，而這位置也是實驗觀察到剪斷面與破斷面交界的地方。由此可知，解析得到的裂縫偏移位置在後處理的的圖形顯示後，方能正確地顯示解析結果。

##### (4) 破斷區偏移

圖四(a)(b)分別為實驗與解析得到的製品斷面示意圖，解析預測的破斷區範圍可能與實驗很接近，但位置卻往上或往下偏移，若以一次剪斷面比例做為評估斷面品質的依據，破斷區偏移的情況會造成解析得到的破裂位置與實驗有誤差。

### 3.1.2 精密剪斷過程

為了探討精密剪斷過程中的特性，本節將以板材在 100KN 壓板荷重，間隙 10 ~m，沖頭、模具圓弧半徑 0.05mm 的剪斷過程為例，說明精密剪斷的完整過程。

當沖頭開始壓陷板材，板材的變形集中在沖頭側及模具側的小區域，此趨勢可由等效應變分布圖中看出，如圖五(a)(b)，由於 Cockroft-Latham 破壞準則考慮最大主應力與等效應變的效應，因此位於沖頭側及模具側的元素，其 Cockroft-Latham 的破壞積分值快速上升並超過臨界破壞積分值 0.38，如圖六(a)(b)，沖頭側與模具側的第一個破壞元素分別成為上、下兩道裂縫的起始點，並以此為起點而前進。

當沖頭開始接觸材料，沖頭下方與模具上方的對角線區域，分別形成壓縮的靜水壓應力區，在此同時，上下兩裂縫亦快速地向內成長。隨著沖頭的繼續前進，兩壓縮靜水壓應力區逐漸接近，並藉由尚未斷裂的區域進行連結，如圖七(b)，值得注意的是，上裂縫的左側與下裂縫的右側都形成了壓縮應力區，因此，裂縫不易往這方向成長，轉而向拉伸靜水壓應力較大的方向前進，造成了裂縫偏向的現象，也就是本文用以判斷破斷形態改變的依據。

最後，偏向的裂縫繼續成長直到最後完全斷裂為止，如圖七(c)

### 3.1.3 沖頭與模具的荷重特性

精密剪斷的過程中沖頭與模具的受力特性，請參考圖八(a)(b)。

STEP 0~1：平壓板對板材施以 100KN 的荷重，因此，在 STEP=1 的時刻，模具受到 100KN 的力量，而沖頭在這段期間固定不動，所以荷重為零。

STEP 1~2：沖頭開始接觸材料並向下移動，模具感受到來自沖頭的壓力，所以荷重急速上升，而沖頭則是受到板材抵抗變形的力量，荷重同樣快速上升。

STEP 2~3：移除元素造成板材的截面積快速減少，因此沖頭與模具所受荷重均大幅下降。

STEP 3~5：裂縫持續成長，板材的截面積繼續減少，沖頭與模具所受荷重繼續下降，直到完全剪斷。

## 3.2 加工參數對斷面品質的影響

### 3.2.1 壓板荷重

關於壓板力對製品斷面的影響，本研究將解析結果與實驗進行比較，結果顯示，壓板力增加，光滑的剪斷面亦隨之增加，由此可知，增加壓板荷重的確對提昇製品的斷面品質有幫助。此外，壓板力為 50 及 100KN 時，解析結果與實驗有良好的近似，500KN 時有較大的誤差。以 ABAQUS/POST 觀察其後處理圖形，發現誤差原因應是”破斷區偏移所致”，請參考圖四

壓板力 (KN)	平壓板實 驗	有限元素法 解析
50	25%	25%

100	28.4%	30%
500	47.9%	40%

表 1 解析結果與實驗比較

### 沖頭圓弧半徑效應

探討沖頭圓弧角的目的，在於了解刀具摩耗對於破斷面的影響，到目前為止，之前的分析都假設沖頭與模具的圓弧半徑為一致，本節將考慮沖頭與模具圓弧半徑對裂縫成長的影響。

	壓板力		壓板力			
	100KN、間隙		500KN、間隙			
	10 $\mu$ m		10 $\mu$ m			
沖頭/模 具	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
圓弧半 徑(mm)	5/0.	8/0.	5/0.	5/0.	8/0.	5/0.
一次剪 斷面比 例	05	18	18	05	18	18
	30	50	43.	40	50	46.
	%	%	3%	%	%	7%

表 2 沖頭/模具圓弧半徑對製品斷面的影響

沖頭圓弧半徑小(尖銳)，則裂縫的初始位置會相當接近沖頭邊緣，相對地，沖頭圓弧半徑大的時候(鈍)，裂縫的初始位置仍是沖頭邊緣，但其成長方向會稍偏離沖頭尖銳的方向，如此一來，上裂縫與下裂縫的成長恰好在一直線上，就不會發生上下裂縫成長方向接不起來，最後造成裂縫偏向的情形。

精密剪斷的模具設計，即使是號稱零間隙，事實上仍有微小的間隙存在於沖頭與模具之間。根據以上的解析結果，壓板荷重的增加對光滑剪斷面有正面的助益，沖頭/模具邊緣非常銳利時，對製品斷面反而有不良的影響。吾人可利用此一特性，選擇適當的圓弧半徑，以達到製品斷面完全光滑的目的。

## 四、結論與未來展望

### 4.1 結論

精密剪斷過程中，破壞型態的改變是影響製品品質的一大關鍵。因此，本研究提出一個判斷破壞型態改變的評估方法，並根據此方法來預測各種加工條件下的破斷面發生位置。經由解析結果與文獻實驗數據的比較。本研究獲致的結論

列舉如下：

1. 對於精密剪斷裂縫的發生初始位置與方向，基於 Cockroft-Latham 破壞準則的解析結果與實驗有良好的近似，惟裂縫的成長仍需參考破壞增量，以精確地判斷元素的移除順序與方向。
2. 證實了以 Cockroft-Latham 準則為基礎的裂縫偏向假設，不失為一個判斷破壞型態轉換的可行方法。
  1. 壓板力愈大，對於斷面品質的提昇有正面的幫助，但，欲達到製品斷面完全光滑的目的，間隙愈小愈好、壓板力愈大愈好、非常尖銳的沖頭、模具圓弧半徑不見得對斷面品質有利，稍鈍的沖頭、模具反而有利於光滑斷面之形成。

## 4.2 未來展望

經由有限元素法的解析過程，吾人對精密剪斷加工的破壞機構增加了一些認識，但剪斷過程的數值解析目前尚未成熟，更非 ABAQUS 等泛用型有限元素軟體的內建功能，在解析的過程中也因此產生許多問題，如缺乏網格自動重建功能、解析程序繁複、不易收斂等。其中遭遇的困難以及未來的研究方向，茲詳述如下：

### 1. 網格重建

雖然 ABAQUS/STANDARD 模組有提供網格重建功能，但在剪斷分析的劇烈變形過程中，只要沖頭/模具稍微穿透板材的元素，就會造成不收斂。另外，網格重建需自行寫程式控制，若網格的建構較複雜，則重建網格的工作將變得相當繁瑣。

### 2. 延性破壞準則

在精密剪斷的解析中，解析結果能否和實驗一致，延性破壞準則佔了關鍵的地位，本研究的模擬結果顯示，Cockroft-Latham's 破壞準則是個簡單、準確性高的選擇，但文獻提供的實驗資料過少，無法討論其他含有材料常數的破壞準則，在後續的研究方面，可以嘗試探討基於微孔連結的 McClintock 及 Oyane 破壞準則，或許可得到更好的解析結果。

### 3. 解析程序

剪斷分析並非 ABAQUS 等泛用型軟體的內建功能，因此，從延性破壞準則的選擇、破壞元素的計算到元素移除，裂縫的成長判斷等工作都需自撰程式來控制，未來，若能將這些程序全部整合在一起，提高自動化的程度，相信對於更複雜的剪斷問題分析會有很大的助益。

### 4. 間隙

間隙是影響製品斷面品質的一個重要參數，由於本研究沒有作網格重建的工作，當探討大間隙的效應時，不容易判斷偏向的裂縫究竟是網格的不連續所造成，或是破壞型態轉換的徵兆，欲解決這個問題，可以建立其他的破壞型態轉換準則或從網格重建著手。

### 5. V 形環壓板

V 形環壓板是精密剪斷加工常用的機構，其目的是在沖頭剪斷板材前，先施予材料壓縮靜水壓應力場。相較於平壓板，V 形環壓板使用較小的荷重就能達到平壓板大荷重的效果，然而，V 形環的壓陷過程牽涉到材料的劇烈變形，基於力平衡的 ABAQUS/STANDARD 模組不易收斂，若能克服網格重建的問題與收斂的問題，V 形環壓板的精密剪斷分析將會是個有趣的主题。

## 誌謝

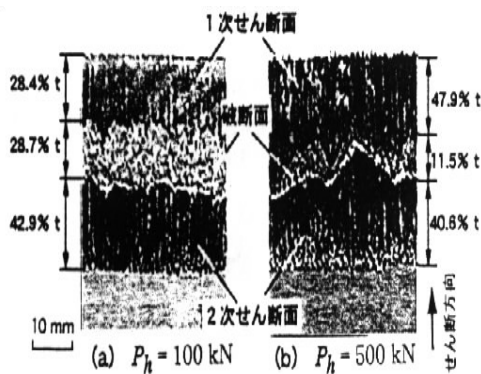
本計畫由國科會計畫經費補助，特此致謝。

## 五、參考文獻

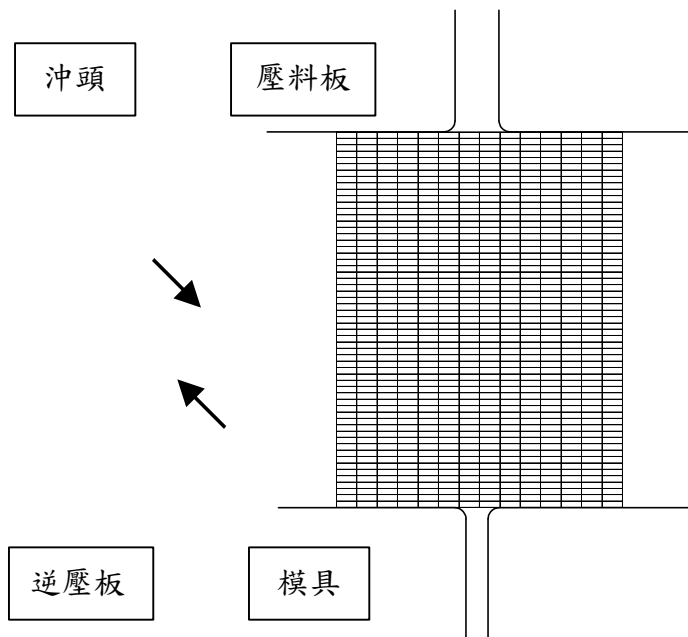
1. 劉松柏，”材料強度破壞學”，成璟文化，6~18 頁，民國 89 年。
2. 賴耿陽，”延性破壞力學”，復漢出版社，1~17 頁，民國 89 年。
3. 王新榮等，”有限元素法及其應用”，中央出版社，251~262 頁，民國 86 年。
4. 簡木發，”剪切過程之有限元素法分析”，國立中央大學碩士論文，民國 81 年。
5. 簡正中，”材料支持方法對下料加工參數之影響”，國立中山大學碩士論文，民國 81 年。
6. 村川 正夫、古閑 伸 裕 、 禰 彦，” 斷 加 工 活 用 第 49 回 塑 性 加 工 連 合 講 演 會 。
7. D. Brokken, W.A.M. Brekelmans, and F.P.T. Baaijens, “Predicting the shape of blanked products:a finite element approach”, J. Mater. Process. Technol., 103(2000)51-56
8. J.E.Biegel,”Punch-die clearance-their effects on stamping forces”, Tool Mfg. Engr.,vol. 48(1962)97-103.
9. R.Balendra and F.W.Travis, ”Static and dynamic blanking of steel of varying hardness”, Int. J. Mach. Des. Res., 10(1970) 249-271.
10. Y. Kasuga, S. Tsutsumi and T. Mori, “Investigation into shearing process of ductile sheet metals”, Mem. Fac, Eng. Nagoya Unic., Japan, (1979) 1-46.
11. S. Jana and N.S. Ong, “Effect of punch clearance in the high-speed blanking of the thick metal using an accelerator for mechanical press”, J. Mech. Work. Technol. 19(1989)55-72.
12. N.S.Ong and L.T. Chan, “Blanking of thick-gauge metals using a variables-speed pneumatic accelerator designed for a mechanical press”, J. Mech. Work. Tech-nol, 18(1989) 17-31.

13. Hyunkee Kim, Masahito Yamanaka, "Prediction and elimination of ductile fracture in cold forging using FEM simulations", SFTC REF #103.
14. P.B.Popat, A.Ghosh and N.N.Kishore, "Theoretical Investigation of Optimum Clearance in Blanking", J. Mech. Work. Tech-nol, 19(1989) 251-259
15. E. Taupin, J. Breitling, W.T. Wu and T. Altan, "Material fracture and burr formation in blanking results of FEM simulations and comparison with experiments", J. Mater. Process. Technol. 59(1996) 68-78
16. M. Murakawa, P. Kaewtatip, M. Jin and N. Koga, "Determination of Optimum Working Parameters in Fine Blanking by Means of a FEM Code", Proceedings of the 6<sup>th</sup> ICTP, Sept., (1999) 19-24
17. Freudenthal, A. M., "The Inelastic Behavior of Solids, Wiley, New York", (1950)

圖表



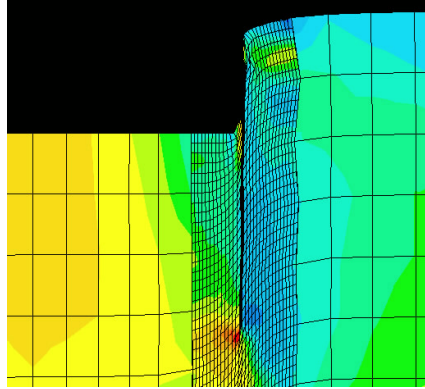
圖一 一次剪斷面示意圖



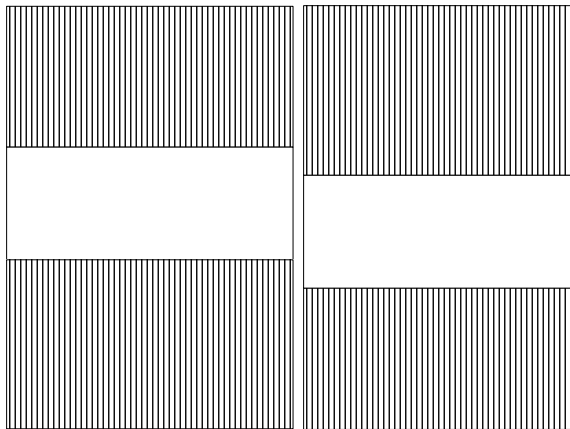
圖二 解析結果(上裂縫於40%板厚處偏向)

模具





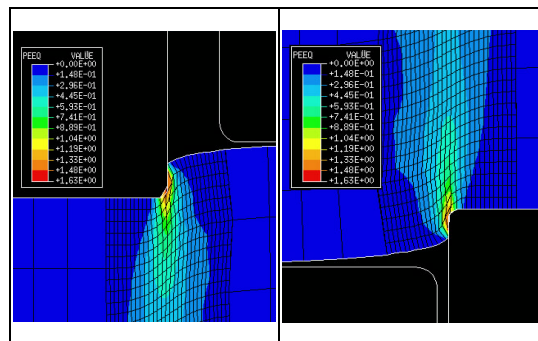
圖三 後處理顯示(裂縫於 35%板厚時偏向右)



(a) 實驗結果

(b) 解析結果

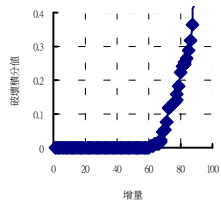
圖四解析的破斷區偏移示意圖



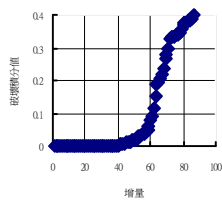
(a) 沖頭側

(b) 模具側

圖 5 等效應變分布

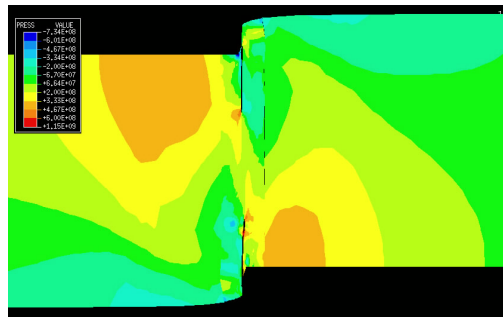


(a) 沖頭側元素

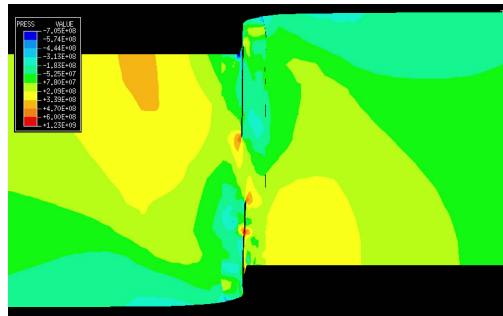


(b) 模具側元素

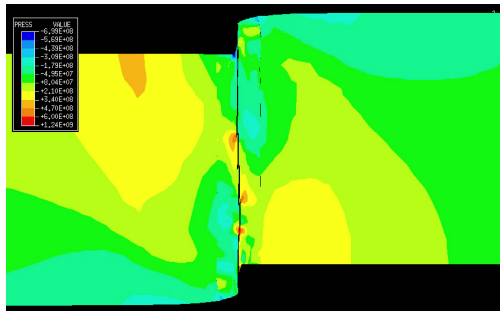
圖 6 Cockcroft-Latham 破壞積分值-增量的變化



(a) 沖頭壓陷 15%板厚

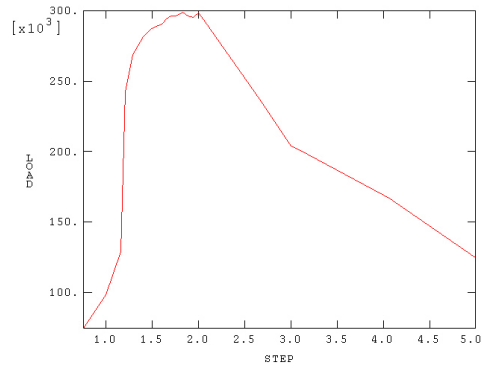


(b) 沖頭壓陷 16%板厚

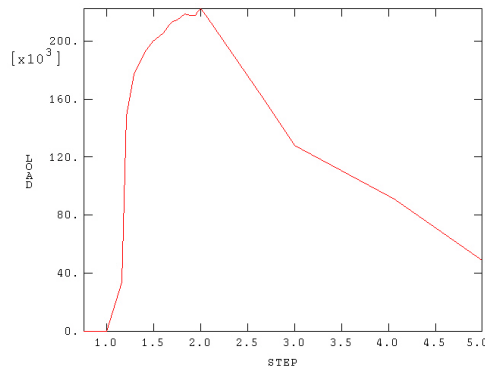


(c) 完全斷裂

圖 7 精密剪斷過程模擬



(a) 模具



(b) 沖頭

圖 8 荷重-時間關係圖

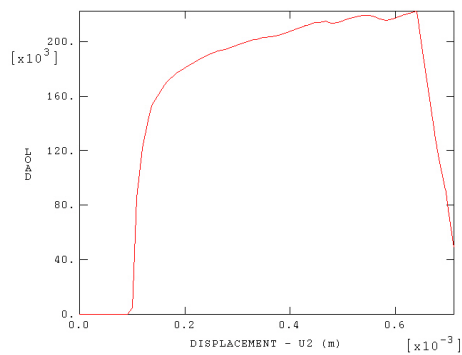


圖 9 衝程-荷重關係圖

