

發展實驗與數值分析方法評估運動鞋

黏膠層特性研究

葉瑞嘉、李詩寧、蔡進源

寶成工業股份有限公司

摘要

本研究建立一套評估鞋子膠體破壞的方法，應用有限元素法仿造實驗條件搭配實驗成果評估鞋體破壞形式。架構分為實驗與研究兩大部分，實驗部分內容包括正向實驗、剪向實驗，並從實驗結果討論不同破壞模式之黏著強度。模擬使用 ABAQUS 建立 3D 有限模擬分析法模擬球鞋受彎曲之狀態並且觀察應力集中區以及應力分佈狀況，最後依照模擬結果搭配實驗結果比對評估鞋體破壞處。

關鍵字：運動鞋、黏著劑、黏著力、單邊搭接測試、拉拔測試、有限元素法

ABSTRACT

In this paper develops a methodology to evaluate the shoes with different types of colloidal structures. This study consists of two major parts; there are experiment and simulation, of the experiment include tensile test, shear test. The results from the tests could investigate the failure modes of adhesive strength. The three dimensional finite element models has been used to analyze bending state of shoes. Observe the position of stress distribution and the location of the maximum stresses, this result could find out the failure mode with bending test.

Keywords: sport shoe、cohesive、adhesive、single lab joint test、tensile test、finite element

一、緒論

隨著生活的進步以及生活步調的快速，運動來舒緩壓力是現在人經常從事的活動。故運動球鞋的發展，也由單純的活動配件，轉變成生活的必需品。而球鞋的製造廠商，也由製造層次漸漸提升為設計的階段，由提升美觀，進而增強功能及耐用度等等，故從是球鞋設計的研究，是目前急需推進的研究課題。

二、靜態拉伸實驗

2.1 實驗儀器

本實驗係滾珠螺桿式微拉力實驗機 (Ball-screw driven minitester)，主要組成之結構為：1.光學尺、2.夾具、3.Load cell、4.XY θ 平台、5.輔助機座如圖2-1。

2.2 試片製作

研究使用油性膠、處理劑以及試片，在Bending test 過程中往往發現脫膠的部位發生在鞋底(TPU 與Rubber黏接處)，試片選擇兩種分別為TPU 與Rubber，這兩種試片主要的差異，表面粗糙度以及材料性質，TPU 材質比較硬，不容易產生變形且表面比較光滑，Rubber 材質比較具有彈性而且容易變形，表面比較粗糙如圖2-2。

試片貼合方式選用同一種材質 (Rubber & Rubber)與(TPU&TPU)，中間使用點膠方式進行貼合，因為兩種材料之特性以及表面粗糙度不同，所以製作過程分為兩種處理方法：

一、TPU 製程流程(TPU 黏結TPU)

因為TPU 表面比較光滑，所以在一開始會進行表面處理，先在TPU 刷一層表面清潔劑(此目的在處理表面油性污垢與雜質)，並自然烘乾，自然烘乾後在上一層

底漆(此作用是為了讓黏著劑更能夠附著於表面)刷完後進行烘烤，最後的步驟即為點膠(此步驟必須在恆溫下進行)烘烤完後進行貼合。

二、Rubber 製程流程(Rubber 黏結 Rubber)

Rubber 表面粗糙所以膠水比較容易黏著，故不需上底漆這個動作，製作過程先在 Rubber 表面上塗一層清潔劑(此目的在於處理表面油性污垢與雜質)，清潔完後以烤箱烘烤，烘烤完後進行點膠(此步驟必須在恆溫下進行)最後烘烤完後進行貼合。

2.2.1 Cross-tension(CT)試片尺寸

Tensile test 試片規範參考[9][18]之試片規範與實驗條件，本研究搭接以 Cross-tension(CT)方式搭接，由兩片基板(壓克力)與兩片試片貼合(TPU和Rubber)。Cross-tension 試片樣式如圖2-3。

2.2.2 Tensile-shear (TS)試片尺寸

測試 Shear test 之試片分別兩種試片：1、Pure-shear (PS) 2、Tensile-shear (TS)，由文獻[9]可知PS 試片與TS 試片測試結果可以互相吻合，所以本研究選擇 Tensile-shear 搭接方式，試片規範參考[19]之試片規範與實驗條件。試片製作由兩片基板(壓克力)與兩片試片貼合，Tensile-shear (TS)試片規格如圖2-4、圖2-5 為 Tensile-shear 試片(TPU)與 Tensile-shear 試片(Rubber)之試片製作完成後之樣式。

2.3 靜態拉伸實驗結果(油性膠)

本節介紹油性膠之正向與剪向實驗結果，介紹實驗之前首先介紹本研究出現過之破壞模式並且說明其原因以及示意圖，最後由 Tensile test 與 Shear test 之實驗取得靜態拉伸之極限應力，歸納 Rubber 以及 TPU 實驗結果，判斷破壞方式以及比較黏著強度差異。

2.3.1 破壞模式與黏著強度

由文獻[5]可知膠體對結構之黏著強度對於材料以及介面有明顯的影響，本小節歸納出一系列破壞方式，TPU 與 Rubber 實驗結果歸納出五種破壞模式，

(A)黏著劑破壞模式、(B)底材破壞模式、(C)混合破壞模式(A+B)、(D)介面破壞模式、(E)混和破壞模式(A+D)。以下為各破壞模式發生之原因：

(A)黏著劑破壞模式

黏著劑結構本身黏著力小於膠材與底材之鍵結黏著力，因此發生在黏著劑處破斷。

(B)底材破壞模式

膠材與底材間之黏著力大於底材之抗拉力，因此於底材處破斷。

(C)混合破壞模式(A+B)

膠材與底材間之黏著力，一部分大於底材之抗拉力，因此發生在底材處及黏著劑處破斷。

(D)介面破壞模式

膠材與底材間之黏著力最小，因此於介面處破斷。

(E)混合破壞模式(A+D)

一部分黏著劑強度大於與介面鍵結，另一部分黏著劑鍵結大於介面鍵結造成兩種混合破壞方式。圖2-6 為本研究實驗過程出現之五種破壞模式示意圖。

2.3.2 Tensile test 實驗結果

正向實驗以 Cross-tension(CT)搭接方式進行實驗，測試方法參照 ASTM C297 測試速度為 0.5mm/min。

靜態拉伸結果，油性膠黏著 Rubber 之正向測試結果發現，破壞模式重現性分析之結果以黏著劑破壞方式重現性較好，正向實驗極限值為 3.69MPa 左右，斷裂點在位移 9mm 處斷裂如圖 2-7。

油性膠黏著 TPU 之正向測試結果發現，破壞模式重現性分析之結果以黏著劑破壞方式重現性較好，正向實驗極限值為 12MPa，斷裂點在位移 3mm 處斷裂如圖 2-8。

正向 TPU 與 Rubber 破壞方式同樣屬於黏著劑破壞，TPU 黏著強度大約為 Rubber 黏著強度約為 4 倍，造成此原因可能是在製作過程中，可能是 TPU 表面比較光滑所以表面進行刷底漆的動作，而底漆具有黏性且油性膠刷在底漆表面上，烘乾過程中可能是產生化學變化導致黏著劑變強。模擬膠體元素行為必須從實驗

取得，整理方式由各實驗數值取平均，圖 2-9 為 Rubber 正向實驗最大值之前平均結果的數值。圖 2-10 為 TPU 正向實驗最大值之前平均結果的數值。

以下分析 Rubber 與 TPU 正向實驗各種破壞模式之黏著強度比較，Rubber 試片破壞模式分為三種，分別為(A)黏著劑破壞模式、(B)底材破壞模式、(C)混合破壞模式(A+B)，黏著強度小依序為：(C) > (B) > (A)，三種破壞模式差別在斷裂的位置以黏著劑破壞模式比較短，底材破壞方式的斷裂點相對於黏著劑破壞模式長，因為 Rubber 比較軟所以在實驗過程中有拉拔的效果，如圖 2-11 為三種破壞模式與斷面圖。

Rubber 與 TPU 正向實驗結果總共出現四種破壞模式分為，(A)黏著劑破壞模式、(B)底材破壞模式、(C)混合破壞模式(A+B)、(E)混合破壞模式(A+D)，歸納破壞模式各占之百分比比例如圖 2-12，左邊直條分為三種色區即為 Rubber 破壞模式所占的比例，其中混合式破壞占 38%、底材破壞模式占 15%、黏著劑破壞占 46%，另外右邊直條為 TPU 實驗結果分為兩種色區，其中混合式破壞模式 57%、黏著劑破壞模式占 43%。

2.3.3 Shear test 實驗結果

Shear test 試片製作以 Tensile-shear (TS) 搭接方式，測試方法依照 ASTM D3165，測試速度為 1.27mm/min。

油性膠黏著 Rubber 之剪向測試結果發現，破壞模式重現性分析之結果以底材破壞方式重現性較好如圖 2-13。

油性膠黏著 TPU 之剪向測試結果發現，破壞模式重現性分析之結果以黏著劑破壞方式重現性較好如圖 2-14。

兩種材料破壞模式比較，TPU 之黏著劑破壞模式為 Rubber 底材破壞模式之黏著強度二倍，因為 Rubber 材料比較軟表面結構比較粗糙與黏著劑產生釘著效果所以被拉扯時容易產生鈎扯的現象，反之 TPU 材料本身比較不容易產生變形，再加上經過表面處理所以黏著強度比較強。

從實驗取得靜態拉伸實驗之數值後進行重現性分析，整理方式由各實驗數值

取平均，如圖 2-15 為 Rubber 剪向實驗最大值之前平均結果的數值。

Rubber 之剪向實驗之黏著強度，主要破壞模式分為兩種破壞模式，分別為(B)底材破壞模式、(C)混合破壞模式(A+B)，Rubber 之剪向實驗中不同類型之破壞模式以及黏著強度之比較如圖 2-16、圖 2-17，由兩種類型破壞模式的訊息可知油性膠黏著 Rubber 介面鍵結性很強，導致 Rubber 發生破壞，而對於鞋子而言這樣的破壞方式是比較希望出現的情況(避免膠體脫膠)，黏著強度大小依序為：(B) > (C)。

TPU 剪向實驗主要破壞模式分為兩種破壞模式，分別為(A)黏著破壞模式、(D)介面破壞模式，主要發生兩種狀況產生是因為 TPU 表面結構比較光滑(現場的工作都以人工方式塗膠)，也因為每次膠體與底漆的量無法控制，導致破壞模式有黏著破壞模式與介面破壞模式，黏著強度大小依序為：(A) > (D) 如圖 2-18。

剪向實驗 Rubber 與 TPU 實驗結果可發現油性膠之正向實驗破壞模式分為，(A)黏著劑破壞模式、(B)底材破壞模式、(C)混合破壞模式(A+B)、(D)介面破壞模式。歸納破壞模式各占的百分比比例如圖 2-19，左邊直條分為二種色區即為 Rubber 破壞模式所占的比例，其中底材破壞模式占 33%、混合式破壞模式占 67%，另外 TPU 實驗結果右邊直條分為兩種色區，其中黏著劑破壞模式占 67%、介面破壞模式占 33%。

三、有限元素模型建立與模擬

3.1 膠合元素材料特性

在傳統的製程中，材料的接合方式常使用螺絲或是焊接，但這些方式皆會對於材料產生破壞或是應力集中，所以設計適當強度之膠合接著可有效分散應力以及增加接著效率。

膠合破壞模式可分成兩種，發生在膠合接著物之間的介面破壞稱 adhesive failure；發生在膠體本身之斷裂稱 cohesive failure，但膠材受到黏著時許多外在因素的影響，難以判斷實際發生之破壞模式，

所以本文之模擬方式把實驗得到的極限強度視為此兩種材料間發生 cohesive failure 的破壞強度。

因為膠合層的厚度太薄難以在實驗時準確計算應變，因此以 traction-separation law 的方法描述膠的力學行為，取代傳統的應力-應變曲線，其式如下及圖 3-1：

其中

$$t_n = \text{normal traction} \quad \varepsilon = \text{應變}$$

$$t_t, t_s = \text{shear traction}$$

$$K = \text{材料剛性矩陣}$$

$$\delta n = \text{normal separation}$$

$$T_0 = \text{試片原始長度}$$

$$\delta t, \delta s = \text{shear separation}$$

膠體破壞準則主要分為四種方法，最大應力(max. normal stress)、最大應變(max. normal strain)準則，及二次應力(quadratic normal stress)、二次應變 quadratic normal strain)準則，其式如下：

Max.normal stress criterion:

$$\max \left\{ \frac{\langle t_n \rangle}{t_n^o}, \frac{t_s}{t_s^o}, \frac{t_t}{t_t^o} \right\} = 1 \quad (3-1)$$

Max.normal strain criterion:

$$\max \left\{ \frac{\langle \varepsilon_n \rangle}{\varepsilon_n^o}, \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^o}, \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^o} \right\} = 1 \quad (3-2)$$

Quadratic normal stress:

$$\left\{ \frac{\langle t_n \rangle}{t_n^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{t_s}{t_s^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{t_t}{t_t^o} \right\}^2 = 1 \quad (3-3)$$

Quadratic normal strain:

$$\left\{ \frac{\langle \varepsilon_n \rangle}{\varepsilon_n^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^o} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^o} \right\}^2 = 1 \quad (3-4)$$

t_n^o, t_s^o, t_t^o = 正向、剪向最大 Traction 值

$\varepsilon_n^o, \varepsilon_s^o, \varepsilon_t^o$ = 正向、剪向最大應

變值

模擬部份破壞準則皆採用二次應力 (Quadratic normal stress)，此方法考慮三種方向的應力，模擬結果一旦等於 1 即開始破壞。模擬參數由靜態拉伸實驗得知膠體正向以及剪向極限應力，經過轉換成 Traction 值與膠體材料性值，計算結果如下表 2。模擬之 Traction-separation response 皆以線性方式，原因是套裝軟體輸入的數值即為最小值與最大值的斜率所以表現出來的結果呈現一直線的狀態，另外分離的方式有兩種方式，第一種 Benzeggagh kenane 準則，此方法是設定總能量方式，當內能達到內能總能量立即斷裂，第二種設定 Displacement 方式定義斷裂，也就是當膠合元素之 Traction 達到破壞應力後，再接續設定之位移量使之斷裂，本研究採用設定位移的方式定為分離機制。

3.2 驗證膠體參數

進行全鞋模擬前，必須先驗證是否在套裝軟體達到應用的價值，並證明模擬方法是否可行，驗證完畢即可接續判別鞋子受力狀態。驗證的模型分為正向以及剪向，驗證工作主要是比對正向之 Traction 值以及剪切之 Traction 值，而 Abaqus 可以直接輸出正向以及剪向 Traction，所以無須另外計算。

第一部分先驗證正向 Traction 值，使用 Abaqus 軟體建立有限元素模型，正向模擬驗證 Traction 結果如圖 3-2。

正向 Traction 值驗證完接著驗證剪向 Traction 值，使用 Abaqus 軟體建立有限元素模型，剪向模擬驗證 Traction 值結果如圖 3-3。

3.3 膠合元素設定

膠合元素選擇在 Rubber 與 TPU 中間鋪一層膠合元素，連接的方式使用 Tie 連接上下兩層材質。

膠合元素之設定程序可由 Abaqus 軟體開啟 Mesh 進入設定介面，使用者選擇膠合元素要鋪陳的表面，在各黏接處鋪一層膠合元素後並由使用者設定其膠體厚度以及層數。

球鞋經過 Bending test 後的結果，發現球鞋最容易發生脫膠的部分發生在 Rubber(底材)與 TPU 黏接的地方。本研究依照球鞋容易產生脫膠的部位建立膠合元素並且設定接觸方法。實驗中無法得知膠體之厚度，以實驗方法取得膠體參數，套裝軟體膠合元素的厚度設定為零，後處理選擇需要分析的膠合元素層，以及各部位之應力圖形以供判斷受力狀態。

建立膠體元素的優點：

1. 模擬軟體應力表示方式即為 Traction 值 (S33、S13、S23)，S33 為正向之 Traction，S13、S23 為剪向之 Traction。
2. 越接近球鞋真實的狀況，膠體元素模擬出來的結果已經是膠體之 Traction 值，所以在預估壽命時無需再經轉換程序。
3. 球鞋進入模擬後，假如膠體元素已經分離，表示球鞋未達設計壽命所以必須修改設計，使球鞋達到品檢的標準 (Bending test)。

3.4 邊界條件與材料性質

藉由套裝軟體分析球鞋受 Bending 狀態，由模擬觀察容易產生應力集中的區域並且判別球鞋受力之狀態，全鞋模擬使用 Abaqus/Standard 軟體進行模擬，先將膠底、射出片、氣囊與中底由 HyperWorks 所組成之有限元素的模型，並由 HyperWorks 進行模型修改並且網格，網格後之模型導入有限元素軟體 Abaqus 後，利用 Abaqus 進行各元件距離位置與角度之修整。

模擬球鞋在機台上受彎曲之狀態，球鞋壓在機台上分析步驟：(1)先將鞋子定位後，(2)設定邊界條件，(3)將頭部壓桿壓下，固定球鞋前端，(4)驅動滑動桿，使球鞋產生彎曲現象。

模擬球鞋彎曲的方式，由實際機台 Bending test 之彎曲角度 60 度設為模擬之邊界條件。

3.5 球鞋模擬分析結果

藉由模擬方法評估鞋體在運動狀態下受力模式與受力大小，並藉此預估鞋體容易受到破壞的部位以及趨勢。實驗與模

擬搭配球鞋模擬結果判斷受力模式，由材料力學觀念可知在物體受力之狀態其產生應力集中的地方會開始產生破壞，材料體受拉應力之結果會比材料受壓應力容易受到材料破壞，而且破壞的方式以及材料抵抗的能力有明顯的差別。

軟體膠合元素總共可輸出三種應力狀態，S33、S13 與 S23，S33 應力沿著 t 厚度方向之應力即為正向應力，S13 與 S23 為膠合元素表面之剪向應力如圖 3-4。

套裝軟體分析正向應力 S33 之 Traction 值如圖 3-5。最大正向拉應力 Traction 值為 3.24×10^4 (Pa)，最大正向壓應力 Traction 值為 -1.5×10^5 (Pa)，但是對於鞋子來說受力方向未知，對於判斷受力方式可能會有誤差，所以需要更明確的受力方向。本研究運用 MATLAB，繪製具有方向之應力圖，由 Abaqus 輸出正向 Traction 值以及節點座標後，匯入 MATLAB 繪出具有方向性之正向 Traction，流程如圖 3-6。

經由 MATLAB 繪製正向應力圖形後即可判斷膠合元素受拉應力與壓應力之方向，繪製結果如圖 3-7。

四、結論與未來展望

4.1 結論

本研究實驗與模擬分析可得以下之結論：

由靜態正向拉伸實驗結果可知，以油性膠體黏著之 Rubber 與 TPU，Rubber 破壞模式分為三種，黏著劑破壞、混合式破壞與底材破壞，重現性分析結果以黏著劑破壞為主要方式，TPU 破壞模式有兩種，黏著劑破壞、混合式破壞，重現性分析結果以黏著劑破壞為主要方式。

使用油性膠黏著 TPU，在製作過程中會在 TPU 表面刷一層底漆使之黏著性更好 (TPU 表面光滑不易黏著)，所以在實驗結果發現確實發生在介面上之破壞強度有顯著的比膠體上破壞強度弱，發生在膠體破壞之黏著強度約為介面破壞模式的 3 倍。

以油性膠體黏著之 Rubber 與 TPU，靜態剪向拉伸實驗結果可知，Rubber 破壞模式分為兩種，底材破壞模式與混合式破壞模式，重現性分析結果以底材破壞模式為主要，TPU 破壞模式分為兩種黏著劑破壞模式與介面破壞模式，重現性分析結果以黏著劑破壞為主要方式。

油性膠體與水性膠體靜態拉伸實驗結果可知，歸納兩種膠體破壞形式實驗結果，以油性膠體黏著之 Rubber 破壞方式以底材破壞為主導，另外以水性膠體黏著之 Rubber 破壞模式以膠體破壞為主導，兩種膠體黏著強度油性膠體強度約為水性膠體 1.3 倍。

使用油性膠體黏著 Rubber 與 TPU，最後實驗結果顯示膠體對於不同的結構，破壞的模式以及黏著強度有明顯的差別，正向實驗以表面處理之 TPU 黏著強度約為 Rubber 黏著強度 3 倍。

正向實驗之 Rubber 破壞模式所占的比例，其中黏著劑破壞占 38%、底材破壞模式占 15%、黏著劑破壞占 46%，另外 TPU 實驗結果其中黏著劑破壞模式占 57%、介面破壞模式占 43%。剪向實驗之 Rubber 破壞模式所占的比例，其中底材破壞模式占 33%、混合式破壞模式占 67%，另外 TPU 實驗結果其中黏著劑破壞模式占 67%、介面破壞模式占 33%，綜合性比較破壞強度如表 2。

藉由模擬以及實驗驗證可供該鞋型容易受到破壞的部位。並且觀察鞋體彎曲時膠體受力狀態以及受力大小，此研究流程方法以及模型，可提供設計師參考依據以及改善方向。

4.2 未來研究方向

本研究使用剪向之壽命預估球鞋之壽命，在未來研究可以考慮正向的因素，進而改善預估壽命的誤差，目前模擬之模型仍很粗糙，在未來可以修改網格使表面更平滑，藉以提升更準確的模擬數值。此外模擬之鞋面模型採用榫頭的模型代替複雜的鞋面以及鞋帶，真實鞋面的材質是複合材料性質，這也可能使模擬出來的結果不準確的原因，未來可以加入鞋面材料性質。

五、參考文獻

- [1] Chia-Wei Chang and Jiunn-Der Liao "Nano-indentation at the surface contact level: applying a harmonic frequency formeasuring contact stiffness of self-assembled monolayers adsorbed on Au" *Nanotechnology* 19 (2008) 315703 (6pp).
- [2] S. Voyutskii, V. L. Vakula, "The role of diffusion phenomena in polymer-to-polymer adhesion", *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 7, Issue 2, pages 475-491.
- [3] Derjaguin, B. V., L. D. Landau, "Theory of Stability of Strong Charge Lyophobic Sols and of the Adhesion of Strong Charged Particles in Solutions of Electrolytes", *Acta Physicochimica URSS*, 14, pp. 633-662, 1941.
- [4] Victor Munoz, Eric R. Henry, James Hofrichter and William A. Eaton. "A Statistical Mechanical Model for β -hairpin Kinetics". *Sci.USA* 1998, 95, 5872-5879.
- [5] 郭金昇“碳纖維複合材與磚造砌體之黏著強度研究(The Bond Strength between Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP) Composites and Brick Masonry)” 中華民國九十二年
- [6] Stephan, Alex Gladkov and Avram Bar-Cohen "Parametric Dependence of Fatigue of Electronic Adhesives" *IEEE Transactions On Components And Packaging Technology*, Vol. 22, No. 2, June 1999.
- [7] A.M.Ferreiraa, P.N.Reisb, J.D.M.Costaa, M. O.W.Richardsonc "Fatigue behavior of composite adhesive lap joints" *Composites Science and Technology*, Volume 62, Issues 10-11, August 2002, Pages 1373-1379.
- [8] M. Vural, A. Akkus, B. Eryurek "Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steelsheets" *Volume 176, Issues 1-3*, 6 June 2006, Pages 127-132.
- [9] G. Mukhopadhyaya, S. Bhattacharyab, K.K. Raya, "Strength assessment of spot-welded sheets of interstitial free steels" *Journal of Materials Processing*

Technology, Volume 209, Issue 4, 19 February 2009, Pages 1995-2007.

[10] C. Andersson, J. Liu "Effect of corrosion on the low cycle fatigue behavior of Sn-4.0Ag-0.5Cu lead-free solder joints" International Journal of Fatigue, Volume 30, Issue 5, May 2008, Pages 917-930.

[11] Yi-Ming Jen, Chih-Wei Ko "Evaluation of fatigue life of adhesively bonded aluminum single-lap joints using interfacial parameters" International Journal of Fatigue Volume 32, Issue 2, February 2010, Pages 330-340.

[12] A.M. Pereira, J.M. Ferreirab, F.V. Antunesb, P.J. Bartoloa "Analysis of manufacturing parameters on the shear strength of aluminium adhesive single-lap joints" Journal of Materials Processing Technology, Volume 210, Issue 4, 1 March 2010, Pages 610-617.

[13] Sébastien Joannès, Jacques Renard, Vladimir Gantchenko "The role of talc particles in a structural adhesive submitted to fatigue loadings" International Journal of Fatigue, Volume 32, Issue 1, January 2010, Pages 66-71.

[14] Xinran (Sharon) Xiao, Peter H. Foss, Jessica A. Schroeder "Stiffness prediction of the double lap shear joint" International Journal of Adhesion & Adhesives 13 October 2003.

[15] M. Venkateswara, K. Mohana, V. Rama Chandra, V. Bala Krishna, and V. Sridhara "Analysis of Adhesively Bonded Single Lap Joint in Laminated Frp Composites Subjected to Transverse Load" International Journal of Mechanics and Solids, Volume 3 Number 1 (2008) pp. 75-86.

[16] K.B. Katnam, J.P. Sargent, A.D. Crocombe, H. Khoramishad, I.A. Ashcroft "Characterisation of moisture-dependent cohesive zone properties for adhesively bonded joints" Engineering Fracture Mechanics, Volume 77, Issue 16, November 2010, Pages 3105-3119.

[17] H. Khoramishad, A.D. Crocombe, K.B. Katnam, I.A. Ashcroft "Predicting fatigue damage in adhesively bonded joints using a cohesive zone model" International Journal of Fatigue, Volume 32, Issue 7, July 2010,

Pages 1146-1158.

[18] "Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies 1" ASTM D 3165.

[19] "Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions 1" ASTM C 297.

[20] 趙永清 "電子構裝元件可靠度與電氣特性之量測與分析" 國立中正大學機械工程研究所博士論文, 2003

六、表格

K_n (MPa) ^o	K_s (MPa) ^o	K_t (MPa) ^o
2.25 ^o	0.299 ^o	0.299 ^o
t_n (MPa) ^o	t_s (MPa) ^o	t_t (MPa) ^o
3.69 ^o	3.351 ^o	3.351 ^o
Damage displacement:	Damage displacement:	Damage displacement:
3(mm) ^o	13.5(mm) ^o	13.5(mm) ^o

表 1 膠體材料系數及破壞強度

破壞強度比較 ^o		
油性膠 ^o	Rubber ^o (正向實驗) ^o	黏著劑破壞>底材破壞>混合式破壞 (A+B) ^o
	TPU ^o (正向實驗) ^o	黏著劑破壞模式>混合式破壞 (A+D) ^o
	Rubber ^o (剪向實驗) ^o	底材破壞模式>混合式破壞 (A+B) ^o
	TPU ^o (剪向實驗) ^o	黏著劑破壞>介面破壞 ^o

表 2 破壞強度比較

七、圖片

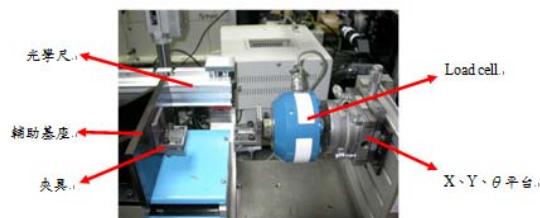


圖 2-1 微力拉身實驗機台設備



Rubber 表面, TPU 表面,

圖 2-2 Rubber、TPU 之表面



黏著劑破壞模式,

圖 2-7 Tensile test(Rubber)實驗結果



圖 2-3 Cross-tension(CT)試片樣式



黏著劑破壞模式,

圖 2-8 Tensile test (TPU)實驗結果

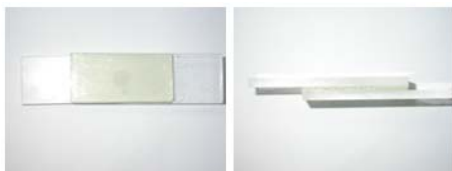


圖 2-4 Tensile-shear 試片(TPU)

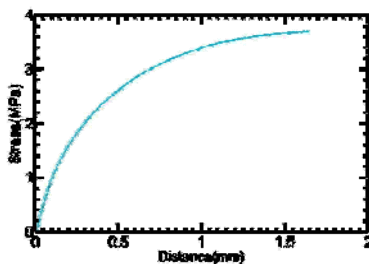


圖 2-9 Tensile test (Rubber)重現性分析結果



圖 2-5 Tensile-shear 試片(Rubber)

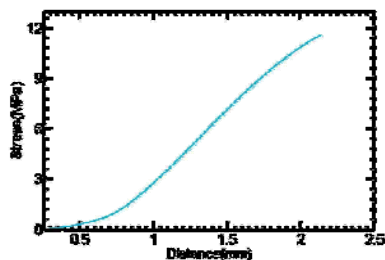


圖 2-10 Tensile test (TPU)重現性分析結果

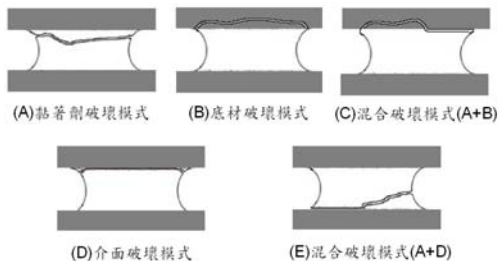
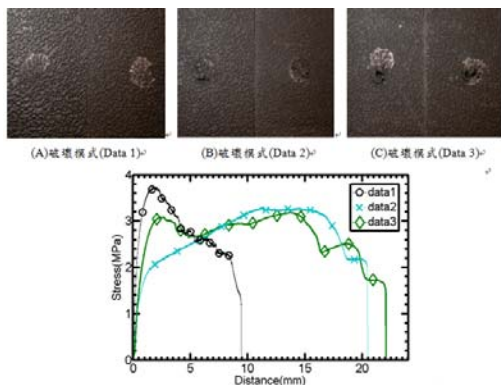


圖 2-6 破壞模式示意圖



底材破壞模式

圖 2-13 Shear test (Rubber) 實驗結果

Rubber 之正向靜態拉伸破斷面與黏著強度

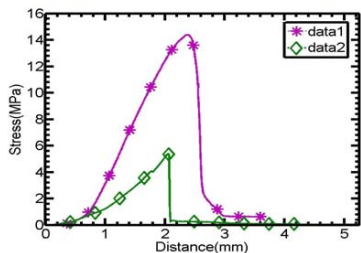


圖 2-11 TPU 正向靜態拉伸破斷面與黏著強度



黏著劑破壞模式

圖 2-14 Shear test (TPU) 實驗結果

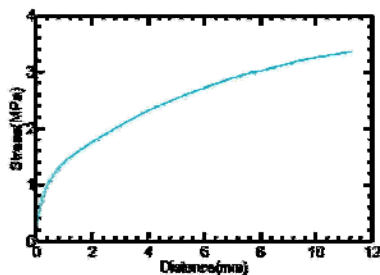


圖 2-15 Shear test (Rubber) 重現性分析結果

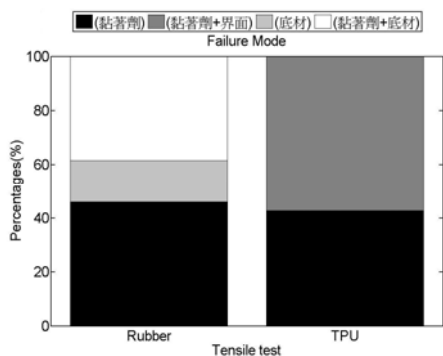


圖 2-12 正向實驗之破壞模式百分比

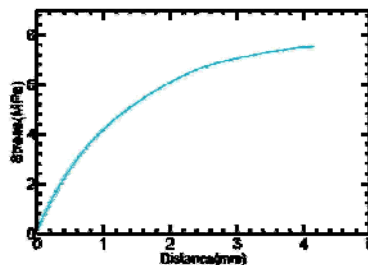
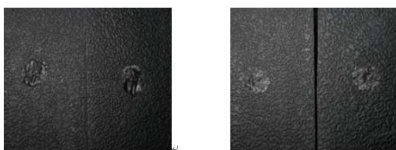


圖 2-16 Shear test (TPU) 重現性分析結果



(B)破壞模式(Data 1)

(C)破壞模式(Data 2)

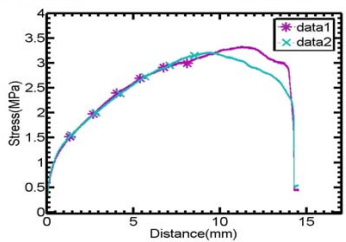


圖 2-17 Rubber 剪向靜態拉伸破斷面與黏著強度

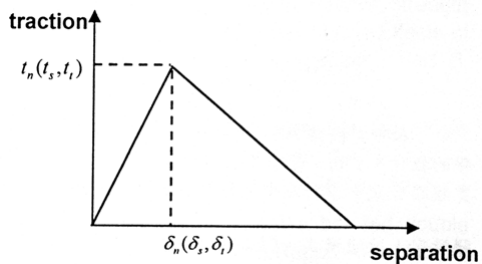


圖 3-1 Traction-separation response



(A)破壞模式(Data 1)

(D)破壞模式(Data 2)

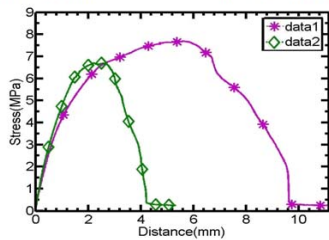


圖 2-18 TPU 剪向靜態拉伸破斷面與黏著強度

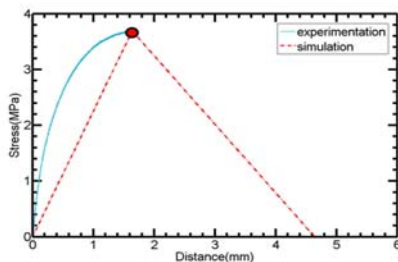
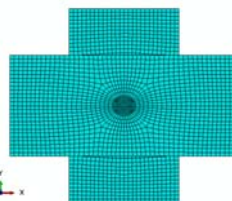


圖 3-2 正向實驗與模擬結果

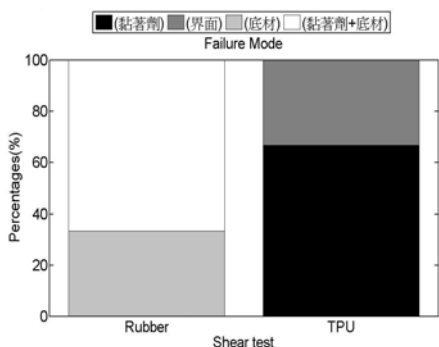


圖 2-19 剪向實驗之破壞模式百分比

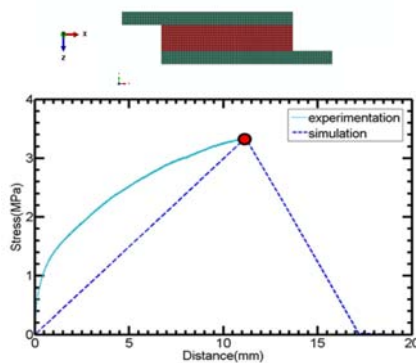
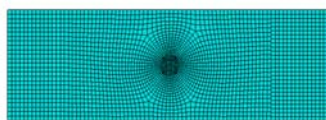


圖 3-3 剪向實驗與模擬結果

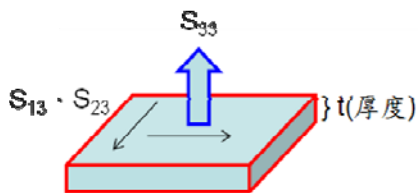


圖 3-4 套裝軟體之膠合元素應力

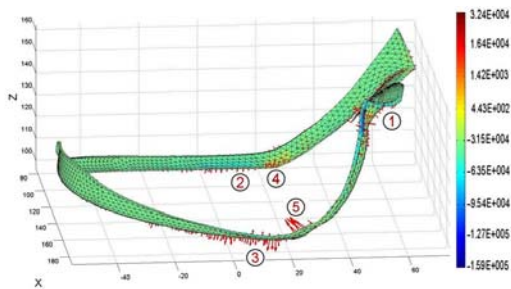


圖 3-7 膠體元素之正向應力狀態圖

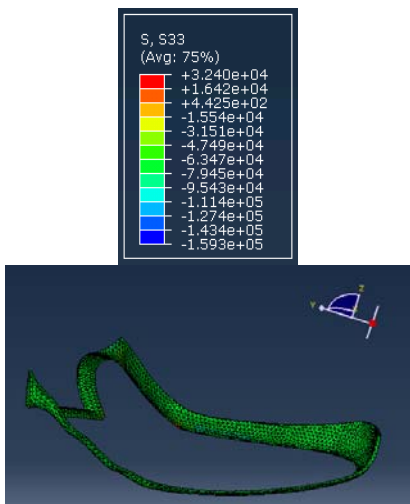
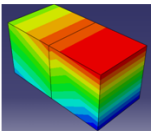


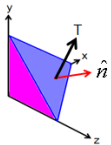
圖 3-5 膠體之正向 Traction(S33)值,單位(Pa)



步驟一

藉由ABAQUS取得各節點與元素之幾何資料

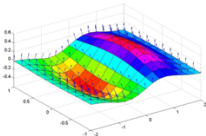
- > Node & Element Number
- > Displacement & Stress



步驟二

藉由節點座標取得元素表面之法向量

$$\hat{n} = \frac{\hat{a} \times \hat{b}}{|\hat{a} \times \hat{b}|}$$



步驟三

使用MATLAB做圖判斷破壞形式繪製三維

- > 正向量應力圖
- > 剪向量應力圖

圖 3-6 MATLAB 繪圖步驟流程圖