

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

複合材料板殼結構之可靠度性研究

計畫編號：NSC 87-2212-E009-025

執行期限：86/08/01~87/07/31

主持人：陳大潘

共同主持人：金大仁

國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

本計畫採用理論分析和實驗方法來研究複合材料薄壁板殼結構的可靠度。藉有限元素法分析複合材料板殼結構受不同荷重作用下之應力分析，然後根據合適的破壞準則和可靠度理論計算結構的首層破壞機率。試驗中利用應變規、位移計和音洩量測系統來量取結構之應變、位移及首層破壞強度。實驗結果用來驗證有限單元模式的準確性及分析結構之破壞模態。有限單元分析之進行，配合網格自動化產生，以建立複材結構從結構設計到強度分析之一貫自動化程序。本計劃之成果將有助於推廣複合材料之應用於民生日用工業之製成品。

關鍵詞：複合材料板殼結構、可靠度分析、首層破壞強度、有限單元分析自動化。

Abstract

The reliability of laminated composite thin-walled structures is studied via both theoretical and experimental approaches. The finite element method is used to study the stress distribution in the structures. An appropriate failure criterion

and the structural reliability theory are used to predict the first-ply failure probability of the structures. A number of thin-walled laminated composite structures made with graphite/epoxy material are manufactured via the bag molding method. The structures are then subjected to static test using an Instron testing machine. The test results are used in the validation of the finite element modeling. The results obtained in this project will be useful in broadening the application of composite materials.

Keywords: Composite thin-walled structures, Reliability analysis, first-ply failure probability, Automated finite element modeling.

二、研究計畫之背景及目的

複合材料因為質輕、強度高、耐腐蝕和疲勞壽命長而深受航太和汽車工業重視。過去，複合材料在國防和航太工業上有相當廣泛的應用。現在，因為冷戰的結束，很多高科技的技術開始轉為民用，其中複合材料便深受民間工業所重視，雖然複合材料在運動器材的應用已有很長的歷史，但用做具有安全性的結構件則不多見。因此，在缺乏足夠的信心下，複合材料的民生用途仍然相

當狹窄，有待進一步推廣。為了節省材料和減重，一般結構件多為薄壁型的板殼結構。分析薄壁結構的方法很多，為了方便獲得較準確的結果，一般以有限單元分析為主。

有限單元分析程式集之中，MSC-NASTRAN 具有完整之分析模組，而且具有專供複合材料分析用之有限單元，本計畫以此程式集為工具作相關之應力及破壞行為分析。

由於 CAD/CAM 技術的發展，參數幾何模型及電腦繪圖已與有限單元分析結合，成為相互不可缺少之完整體系，亦即有限單元前置處理-分析-後續圖形顯示 (Finite Element Preprocessing-Analyses-Postprocessing)。其中前置處理部份應用實體模型原理建立所擬分析主體之曲面及實體，再經有限單元網格自動產生程序獲得可作分析用之有限單元模型。複合材料結構設計在以專供複材分析之有限單元，配合具適應性之資料輸入程序，將不同之設計構想予以具體模型化，並加分析，此模型分析之結果經過與實驗數據比對驗證後，即可用於實際之應用設計。

複合材料的破壞行為相當複雜，一般材料力學式的破壞準則來預測結構的首層破壞[1]，由過去的研究得知，這種方式通常能獲得相當合理的結果[2,3]。至於複合材料結構的可靠度，過去已有不少人從事這方面的研究[4-9]，但他們所研究的結構多為簡單的平板，與實際的結構件在受力狀況，邊界條件和形狀上有相當大的差異，仍有待進一步研究，以獲得更真實的結果。

三、結果與討論

(一) 失效分析

應用有限單元法分析複合材料管件受軸力作用下之力學行為，所用之有限單元是根據一階剪變形理論推導而得。用有限單元分析獲得之結果來探討管件的失效行為，本研究所考慮之失效模態為首層破壞和挫屈。管件的首層破

壞強度是根據 Tsai-Wu 破壞準則來求得，Tsai-Wu 破壞準則可由下式表示

$$F_{i,j}\sigma_i\sigma_j + F_i\sigma_i = 1$$

其中 $F_{i,j}$, F_j 為強度參數， σ_i 為應力。管件之挫屈強度是由求解下列特徵值問題而得

$$(\underline{K} - \lambda \underline{K}_g) \underline{\nabla} = 0$$

其中 $\underline{K}$ 為勁度矩陣， $\underline{K}_g$ 為幾何剛度矩陣， $\underline{\nabla}$ 為位移向量。

(二) 實驗探討

為了探討理論方法預測失效強度的準確性，本研究特製作疊層為 $[45_3^- / -45_3^-]_S$, $[45_2^- / -45_2^-]_S$, $[0_3^+ / 90_3^+]_S$ 和 $[0_2^+ / 90_2^+]_S$ 的複材管件，然後利用 Instron 萬能試驗機進行軸力壓縮試驗。試驗時，在管件上黏貼超音波探頭以量測管件發生首層破壞時所產生之聲波。另外，利用萬能試驗機量測到得荷重和位移數據來判斷管件的崩潰強度。管件受軸壓式驗情形如圖一所示，所用之材料性質列於表一。

(三) 有限單元網格自動產生

首先應用狄勞尼三角分域原理 (Delaunay triangulation) 建立二維之有限單元分域資料，經資料轉換程式之處理，自動編譯成為有限單元分析程式集 NASTRAN 之輸入檔，由 NASTRAN 作相關之計算分析。在有限單元分析應用中，三角單元為二維單元，與其相對應之三維單元為四面體單元，此四面體單元由四個三角形之邊界面所圍成，從狄勞尼三角分域法之延伸，可得一般實體模型之三維有限單元網格，經資料轉換程式之自動編譯，聯接 NASTRAN 從事三維實體之有限單元分析。

(四) 結果與討論

從理論分析所獲得之部份結果列表二中，並與實驗結果作一比較。由比較得知，理論方法所獲得之首層

破壞強度及挫屈強度均較實驗之首層破壞強度和崩潰強度為高。其中，特別是理論挫屈強度極度高估複材管件的強度。造成理論與實驗結果差異的原因很多，其中以脫層、不完美(初始彎曲)和邊界問題等因素有較重要的影響。將來宜再進一步探討這些因素對複材管機械行為及強度的影響。

laminated plates via the first-order second method, *Journal of Composite Structures*, 15,161-167.

- [9] Cassenti, B.N. (1984), Probabilistic static failure of composite material, *AIAA Journal*,22(1),103-110.

四、參考文獻

- [1] Tsai,S.W. (1980), *Introduction to composite materials*, Technomic Publishing Co.,Inc.
- [2] Kam,T.Y. and Sher,H.F. (1995), Nonlinear and first-ply failure analysis of laminated cross-ply plates,*J. Composite Materials*, 29,463-482.
- [3] Kam, T.Y., R.R. Chang, Sher,H.F. and Chao,T.N. (1996),Prediction of first-ply failure strengths of laminated composite plates using a finite element approach, *J. Solids Structures*, 33,375-398.
- [4] Sun,C.T. and Yamada,S.E. (1978), Strength distribution of a unidirectional fiber composite, *Journal of Composite Materials*, 12,169-176.
- [5] Kam,T.Y., Lin S.C. and Hsiao,K.M. (1993), Reliability analysis of nonlinear laminated composite plate structure, *Composite Structures*, 25,503-510.
- [6] Kam,T.Y. and Lin S.C. (1992), Reliability analysis of laminated composite plates, *Proc.NSC, Part A*, 16,163-171.
- [7] Engelstad,S.P. and Reddy, J.N. (1992), Probabilistic nonlinear finite element analysis of composite structures, *AIAA Journal*,31(2),362-369.
- [8] Cederbaum, G, Elishakoff I. and Librescu, L. (1990),Reliability of

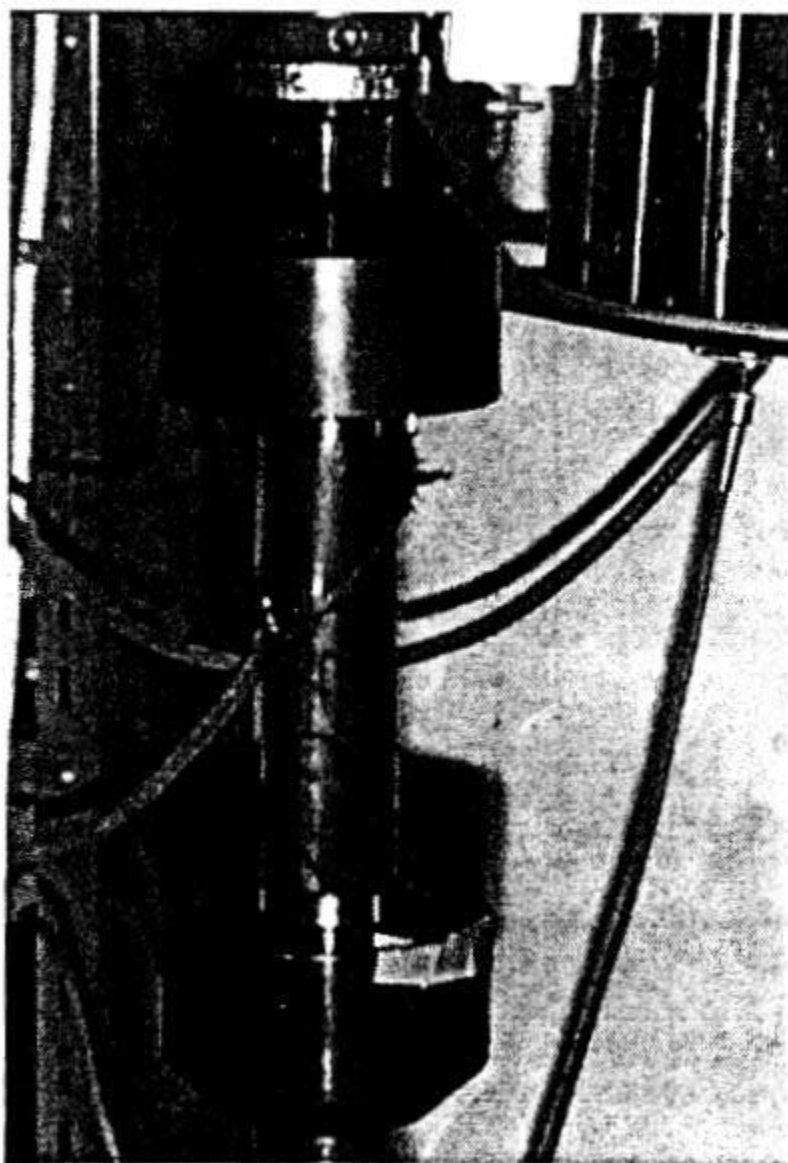
表一. 複合材料圓管所使用之材料常數值

(Graphite / Epoxy T300/2500)

Material Constant	Value	Strength parameter	Value
E_1	125.77Gpa	X_T	1524.4Mpa
E_2	7.93Gpa	X_C	1707.9Mpa
$G_{12}=G_{13}$	4.076Gpa	Y_T	43.28Mpa
G_{23}	1.021Gpa	Y_C	218.91Mpa
ν_{12}	0.289	$S=T$	70.0Mpa
		R	79.63Mpa

表二. 理論及實驗結果之比較(管徑 D=0.04m)

疊層	長度(m)	理論值(KN)		實驗值(KN)	
		首層破壞	挫屈	首層破壞	崩潰
$[45_3^\circ / -45_3^\circ]_S$	0.08	27.8	136.1	17.2	22.8
	0.2	28.2	117.9	17.6	25.8
$[45_2^\circ / -45_2^\circ]_S$	0.08	18.5	65.9	11.3	15.0
	0.2	18.9	55.8	11.0	14.7

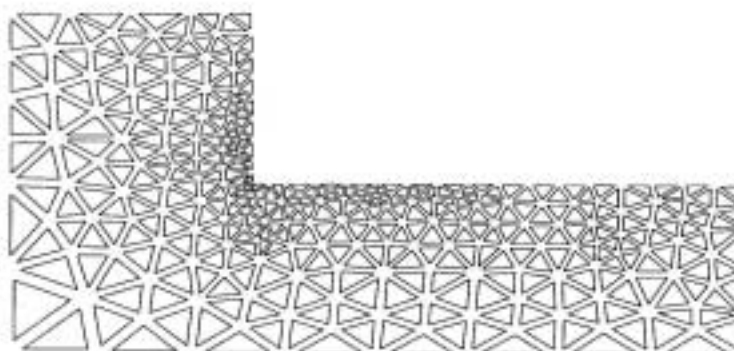
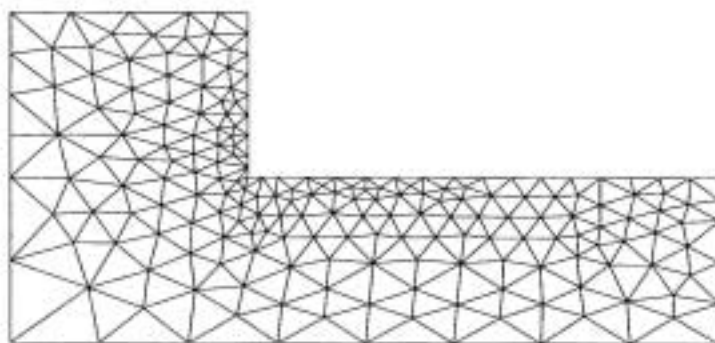


圖一. $\left[45_2^0 / -45_2^0\right]_s$ 管之受壓破壞狀況

交大研

交大研

圖二. 不規格邊界之有限單元網格分域



圖三. L形薄板之有限單元網格分域