

# 複合材料裂縫修補破壞分析及衝擊分析之研究

薛鈞騰、賴?民

E-mail: 324905@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本文主要是運用ANSYS有限元素軟體進行複合材料裂縫試片及裂縫修補試片的應變及應力強度因子分析，以建立正確的模型分析及應力強度因子計算方法，其間並運用不同元素性質(PLANE及SOLID)建立ANSYS分析模型，以文獻進行各種裂縫試片比對，以確認元素及建模方式的正確性。實驗部分則利用樹脂轉注成形法(RTM)、手積層堆疊法及碳纖預浸材製作不同複合材料裂縫試片(雙邊裂縫、中央穿孔及中央裂縫)及裂縫修補試片(雙邊裂縫及中央裂縫修補)，來進行拉伸實驗，並求取各式試片的應變及應力強度因子之實驗數據，以模型分析理論值進行比對驗證。由文獻比對中得到較正確建模及邊界條件方式，透過實驗值與理論值進行比對來確認分析模型正確性，也證實ANSYS有限元素軟體可用來模擬結構件在裂縫分析上之問題。在最佳化設計方面，本文運用粒子群最佳化演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)在不同的長寬比(b/a)、修補片疊層角度、邊界條件與受力條件下搜尋複合材料具裂縫平板試片修補之最佳製程參數(疊層角度與補片型態)，使得複合材料構件在受衝擊情況下達到最大勁度之目標。最後，以衝擊實驗數據來驗證理論分析的正確性。

關鍵詞：裂縫、修補試片、應力強度因子、粒子群最佳化演算法

## 目錄

封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	iv	ABSTRACT	v	誌謝	vi	目錄	vii	圖目錄	x	表目錄	xiv	第一章 緒論	1	1.1 研究動機	2	1.2 複合材料概述	3	1.3 研究目的	4	1.4 研究流程	4	第二章 文獻探討	6	2.1 破壞力學	6	2.2 裂縫尖端應力與位移公式	7	2.3 應力強度因子計算公式	10	2.4 奇異元素	11	2.5 破壞準則	12	2.6 修補試片花樣討論	13	2.7 暫態動力學理論	14	2.8 粒子群最佳化演算法	19	第三章 研究方法	21	3.1 ANSYS軟體之分析模型	21	3.2 裂縫試片受軸向拉力之分析探討	22	3.2.1 裂縫試片受軸向拉力之分析有限元素選用	23	3.2.2 複材不同裂縫尖端型式探討	23	3.2.3 玻纖試片雙邊裂縫與中央圓孔試片建模	24	3.2.4 玻纖試片雙邊裂縫修補建模	25	3.2.5 碳纖試片中間裂縫無修補與有修補建模	26	3.3 具裂縫平板試片受中央載重之數值模擬分析探討	27	3.4 修補方式探討	30	3.5 建模收斂性探討	31	3.6 具裂縫平板試片修補最佳化設計	33	3.6.1 粒子群最佳化演算法範例	36	3.6.2 PSO最佳學習因子	41	3.7 衝擊模型之建立方法	42	3.7.1 暫態模型之接觸分析設定	42	3.7.2 SOLID186之複材疊層設定	45	3.7.3 暫態模型之建立	46	第四章 實驗方法	47	4.1 不同實驗裂縫試片製作	47	4.2 裂縫試片受軸向拉力之實驗	55	4.3 平板試片受中央載重之實驗	56	4.4 具裂縫平板試片修補之衝擊實驗	58	4.5 材料性質整理	61	第五章 結果與討論	63	5.1 裂縫試片受軸向拉力之比較結果	63	5.1.1 本文ANSYS分析與文獻比較	63	5.1.2 手積法與RTM裂縫試片的實驗與分析之比較	69	5.1.3 手積法未修補及有修補片的實驗與分析比較	73	5.1.4 碳纖裂縫的分析值與實驗值之比較	75	5.2 裂縫試片受軸向拉力之結論	78	5.3 平板破壞準則比對結果	80	5.4 修補試片花樣分析比對結果	80	5.5 具裂縫平板試片受中央載重之數據比對結果	82	5.6 修補方式探討分析比對結果	84	5.7 最佳化結果	85	5.7.1 靜態PSO分析結果	85	5.7.2 暫態PSO分析結果	89	5.8 衝擊實驗與分析比對結果	91	5.8.1 碳纖裂縫平板試片衝擊實驗與分析比對結果	92	5.8.2 玻纖裂縫平板試片衝擊實驗與分析比對結果	96	第六章 結論與未來研究方向	97	6.1 結論	97	6.2 未來研究方向	98	參考文獻	99
------	-----	-----	-----	------	----	----------	---	----	----	----	-----	-----	---	-----	-----	--------	---	----------	---	------------	---	----------	---	----------	---	----------	---	----------	---	-----------------	---	----------------	----	----------	----	----------	----	--------------	----	-------------	----	---------------	----	----------	----	------------------	----	--------------------	----	--------------------------	----	--------------------	----	-------------------------	----	--------------------	----	-------------------------	----	---------------------------	----	------------	----	-------------	----	--------------------	----	-------------------	----	-----------------	----	---------------	----	-------------------	----	-----------------------	----	---------------	----	----------	----	----------------	----	------------------	----	------------------	----	--------------------	----	------------	----	-----------	----	--------------------	----	----------------------	----	----------------------------	----	---------------------------	----	-----------------------	----	------------------	----	----------------	----	------------------	----	-------------------------	----	------------------	----	-----------	----	-----------------	----	-----------------	----	-----------------	----	---------------------------	----	---------------------------	----	---------------	----	--------	----	------------	----	------	----

## 參考文獻

- 1.顧宜等編著，複合材料，初版，新文京開發出版股份有限公司，台北，2002。
- 2.許明發等編著，複合材料纖維學，初版，全威圖書有限公司，台北，2002。
- 3.張立恆，“金屬與複材試件應力之量測與探討”，立中山大學機械工程研究所碩士論文，2000。
- 4.曾攀，有限分析及應用，清華大學出版社，北京，2004。
- 5.許雅真，“應用類啟發式演算法於複合材料板之高勁度設計與輕量化設計”，私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文，2005。
- 6.廖偉智，“複合材料三明治殼構件輕量化設計與製造”，私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文，2008。
- 7.林志忻，“下肢主要關節輕量型護具的最佳化設計”，私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文，2008。
- 8.陳紘煒，“複合材料殼構件的力學行為分析與最佳化設計”，私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文，2005。
- 9.廖偉翔，“含缺口碳纖維聚醚醚酮複合材料積層板之疲勞破壞探討”，中山大學機械與機電工程研究所碩士論文，2002。
- 10.蘇宏明，“複合材料高架地板之彈性常數設計與破壞分析”，中華技術學院機電光研究所碩士學位論文，2008。
- 11.林源富，“運用高階有限元素解破裂點端點應力強度因子”，成功大學機械工程學系碩士論文，2002。
- 12.陳孔斌，“以樹脂轉注成型法進行輕量化下肢主要關節護具之研製”，私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文，2009。
- 13.王正賢、鄧作樑、賴居廷，“複合材料多孔三明治結構之衝擊行為研究”，中國機械工程學會第二十七屆全國學術研討會論文集，CC10-070，台北，台灣，2010。
- 14.英文參考文獻
15. Broek, D. “Elementary Engineering Fracture Mechanics”，4th Edition, Martinus Nijhoff Publishers. (1986).

Engineering Fracture Mechanics ”, Martinus Nijhoff Publishers, Boston. (1986) 16. David Broek, “ The Fracture Use of Fracture Mechanics “. Kluwer Academic, Dordrecht. (1988) 17. Paris P.C. and Erdogan, F. ” A Critical Analysis of Crack Propagation Laws, ” J. of Basic Engng., Trans. ASME, D85, pp.528-534(1943). 18. Pilkey W.D. “ Peterson's stress concentration factors ” John Wiley & Sons, Ltd, New York, NY. (1997). 19. D. R. J. Owen and A. J. Fawkes, “ Engineering Fracture Mechanics :Numerical Methods and Applications ”, Pineridge Press Ltd., Swansea, U.K., (1983). 20. Broek, D. “ Elementary Engineering Fracture Mechanics ”, 4th Edition, Martinus Nijhoff Publishers. (1986). 21. T. Y. Kam and T. B. Jan “ First-ply failure analysis of laminated composite plates based on the layerwise linear displacement theory ”, Composite Structures 32, 583-591. (1995). 22. A. Mahadesh Kumar, S.A. Hakeem “ Optimum design of symmetric composite patch repair to centre cracked metallic sheet ”, Composite Structures 49, 285-292. (2000). 23. K.J. Bathe, Finite Element Procedures. USA: Prentice-Hall, (1996). 24. ANSYS, Inc., ANSYS 7.0 HTML Online Documentation. Structural Analysis Guide. Transient Dynamic Analysis. USA: SAS IP, Inc., (2003). 25. J. Kennedy and R. C. Eberhart, “ Particle Swarm Optimization ”, Proc. IEEE International Conference on Neural Networks (Perth, Australia), IEEE Service Center, Piscataway, NJ, IV: 1942-1948, (1995). 26. M.R. Ayatollahi \*, R. Hashemi. (2005) “ Computation of stress intensity factors (KI, KII) and T-stress for cracks reinforced by composite patching ”, Composite Structures 78, 602 – 609 (2007). 27. Y. Zheng, L. Ma, L. Zhang, and J. Qian, “ Empirical study of particle swarm optimizer with an increasing inertia weight ”. Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation 2003, (CEC 2003), Canberra, Australia, 221-226. (2003). 28. R. C. Eberhart and Y. Shi. “ comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization ”, 1998 Annual Conference on Evolutionary Programming, San Diego, (1998).