

Study on Impact Behaviors of Composite Reinforced Aluminum Tubes

陳政傑、王正賢

E-mail: 386724@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

The research studies the impact behavior of the carbon composite reinforced aluminum tubes, and also investigates the effects of laminated carbon composite on the tubes. In the past, the thin walled tubular structures were often used as the absorbing energy mechanism. And the aluminum is often used as the main component because of its good ductility and cheaper price. In order to achieve the goal of the lightweight, the carbon composite are most commonly used as materials to reduce the weight. The CAE simulations and experiments of drop testing were performed in this research. For experiments, the data acquisition system was used to capture all of the strain data during the drop testing. The CAE (Computer Aided Engineering) software, ANSYS/LS-DYNA was used to analyze dynamic simulations. The study shows that the composite structures possess the good impact resistance. Also, the results show that composite tubes have the different stiffness and impact resistance due to the different stacking sequence. The 0° ply will offer the better stiffness for the structures, but the 90° ply will offer a better ability of the absorbing energy.

Keywords : Impact, Composite, Tube, ANSYS/LS-DYNA.

Table of Contents

封面內頁 簽名頁 中文摘要	iii	Abstract		
..... iv 誌謝				
..... v 目錄				
..... vi 圖目錄				
..... ix 表目錄				
xiii 第一章 緒論	1	1.1 研究動機		
..... 1.1.1 研究動機	1	1.1.2 研究目的	3	1.3 研究方法與
流程	4	第二章 參考文獻	7	2.1 薄壁鋁
圓管結構衝擊	9	2.1.1 降伏準則 (yield criterion)	11	2.1.2 加工硬化
(work hardening)	12	2.1.3 平均受力 (mean load)	13	2.2 複合材料衝擊試驗
..... 13	2.3 鋁圓管結構衝擊	14	2.4 複合材料等效機械性	
質	16	2.5 ANSYS/LS-DYNA 顯式解法 (Explicit Solver)	17	第三章 研究方法
..... 20	3.1 拉伸與衝擊實驗設備	21	3.2 樣本製作	
流程	25	3.2.1 鋁管樣本製作	26	3.2.2 應變規黏貼
..... 27	3.3 衝擊實驗	30	3.3.1 KYOWA PCD300A	
擷取器	33	3.3.2 CASIO EXILIM Pro EX-F1 高速攝影機	33	3.4 電腦輔助工程
..... 35	3.4.1 元素介紹	36	3.4.2 材料性質	
..... 37	3.4.3 模型建立	39	3.4.4 邊界條件	
..... 41	第四章 結果與討論	43	4.1 鋁管衝擊實	
驗與CAE 模型驗證	43	4.2 碳纖維複材加勁鋁圓管CAE 模擬	54	4.2.1 複材疊層數
影響加勁鋁圓管之衝擊模擬	54	4.2.2 複材疊層角度影響圓管件緩衝性之衝擊模擬	58	第五章 結論與未來研究方向
..... 74	5.1 結論	74	5.2 未來研究方向	
..... 75	參考文獻	76	圖目錄 圖1.1	
圓管結構之應用[1]	2	圖1.2 薄壁管件運用於車體結構[2]	2	
圖1.3 研究流程圖	6	圖2.1 霍普金森桿 (Split Hopkinson bar)		
..... 7	圖2.2 落體衝擊試驗機 (Drop Hammer)	8	圖2.3 空氣槍系統 (Gas gun system)	
)	8	圖3.1 研究方法流程圖	20	圖3.2 應變規黏貼工具
..... 22	圖3.3 三軸式應變規	23	圖3.4 弘	
達HT-2402 拉伸試驗機	23	圖3.5 落體式衝擊試驗機 (Drop Hammer)	24	
圖3.6 KYOWA PCD300A 應變規擷取系統	25	圖3.7 鋁圓管完成品		
..... 26	圖3.8 應變規黏貼流程	27	圖3.9 中央位置	

畫十字線.....	28	圖3.10 確認應變規黏貼於十字線中央.....	28	圖3.11 將導線焊接於應變規焊點.....	29
圖3.13 圓管件夾治具半模.....	31	圖3.12 測請導線與應變規.....	30	圖3.14 夾治具夾取圓管件示意圖.....	31
.....	31	圖3.15 衝擊誦驗示意圖.....	32	圖3.16 衝擊誦驗機具與量測儀器擺設.....	32
ANSYS/LS-DYNA 模擬流程圖.....	35	圖3.17 EXILIM Pro EX-F1 高速攝影機.....	34	圖3.18 ANSYS/LS-DYNA 模擬流程圖.....	35
圖3.20 Strain-Stress 曲線圖.....	40	圖3.19 Solid164 元素[23].....	36	圖3.20 Strain-Stress 曲線圖.....	40
.....	42	圖3.21 碳纖維複合材料鋁管Finite Element 模型.....	42	圖3.22 衝擊示意圖.....	42
圖4.1 薄壁管件樣本尺寸 (a)長圓管 (b)短圓管.....	44	圖3.23 邊界條件固定示意圖.....	42	圖4.1 薄壁管件樣本尺寸 (a)長圓管 (b)短圓管.....	44
圖4.2 圓管衝擊歷程 (短鋁管為例).....	45	圖4.3 ANSYS/LS-DYNA 取值.....	45	圖4.2 圓管衝擊歷程 (短鋁管為例).....	45
圖4.3 ANSYS/LS-DYNA 取值.....	45	圖4.4 長薄壁鋁圓管件實驗值與ANSYS 模擬值趨勢比較.....	47	圖4.3 ANSYS/LS-DYNA 取值.....	45
圖4.4 長薄壁鋁圓管件實驗值與ANSYS 模擬值趨勢比較.....	47	圖4.5 短薄壁鋁圓管件實驗值與ANSYS 模擬值趨勢比較.....	47	圖4.4 長薄壁鋁圓管件實驗值與ANSYS 模擬值趨勢比較.....	47
圖4.5 短薄壁鋁圓管件實驗值與ANSYS 模擬值趨勢比較.....	47	圖4.6 短鋁管衝擊歷程 (樣本1).....	48	圖4.5 短薄壁鋁圓管件實驗值與ANSYS 模擬值趨勢比較.....	47
圖4.6 短鋁管衝擊歷程 (樣本1).....	48	圖4.7 短鋁管衝擊歷程 (樣本2).....	49	圖4.6 短鋁管衝擊歷程 (樣本1).....	48
圖4.7 短鋁管衝擊歷程 (樣本2).....	49	圖4.8 短鋁管衝擊歷程 (樣本3).....	49	圖4.7 短鋁管衝擊歷程 (樣本2).....	49
圖4.8 短鋁管衝擊歷程 (樣本3).....	49	圖4.9 長鋁管衝擊歷程 (樣本1).....	50	圖4.8 短鋁管衝擊歷程 (樣本3).....	49
圖4.9 長鋁管衝擊歷程 (樣本1).....	50	圖4.10 長鋁管衝擊歷程 (樣本2).....	50	圖4.9 長鋁管衝擊歷程 (樣本1).....	50
圖4.10 長鋁管衝擊歷程 (樣本2).....	50	圖4.11 長鋁管衝擊歷程 (樣本3).....	51	圖4.10 長鋁管衝擊歷程 (樣本2).....	50
圖4.11 長鋁管衝擊歷程 (樣本3).....	51	圖4.12 長鋁管分析結果之應變.....	52	圖4.11 長鋁管衝擊歷程 (樣本3).....	51
圖4.12 長鋁管分析結果之應變.....	52	圖4.13 短鋁管分析結果之應變.....	52	圖4.12 長鋁管分析結果之應變.....	52
圖4.13 短鋁管分析結果之應變.....	52	圖4.14 長鋁管模擬衝擊變形.....	53	圖4.13 短鋁管分析結果之應變.....	52
圖4.14 長鋁管模擬衝擊變形.....	53	圖4.15 短鋁管模擬衝擊變形.....	53	圖4.14 長鋁管模擬衝擊變形.....	53
圖4.15 短鋁管模擬衝擊變形.....	53	圖4.16 碳纖維複合材料包覆長鋁管.....	56	圖4.15 短鋁管模擬衝擊變形.....	53
圖4.16 碳纖維複合材料包覆長鋁管.....	56	圖4.17 碳纖維複合材料包覆短鋁管.....	56	圖4.16 碳纖維複合材料包覆長鋁管.....	56
圖4.17 碳纖維複合材料包覆短鋁管.....	56	圖4.18 碳纖維複合材料包覆長鋁管模擬衝擊變形.....	57	圖4.17 碳纖維複合材料包覆短鋁管.....	56
圖4.18 碳纖維複合材料包覆長鋁管模擬衝擊變形.....	57	圖4.19 碳纖維複合材料包覆短鋁管模擬衝擊變形.....	57	圖4.18 碳纖維複合材料包覆長鋁管模擬衝擊變形.....	57
圖4.19 碳纖維複合材料包覆短鋁管模擬衝擊變形.....	57	圖4.20 長複材圓管件疊層角度模擬衝擊應變趨勢.....	60	圖4.19 碳纖維複合材料包覆短鋁管模擬衝擊變形.....	57
圖4.20 長複材圓管件疊層角度模擬衝擊應變趨勢.....	60	圖4.21 短複材圓管件疊層角度模擬衝擊應變趨勢.....	61	圖4.20 長複材圓管件疊層角度模擬衝擊應變趨勢.....	60
圖4.21 短複材圓管件疊層角度模擬衝擊應變趨勢.....	61	圖4.22 碳纖維複材長圓管? ??0S?a.....	62	圖4.21 短複材圓管件疊層角度模擬衝擊應變趨勢.....	61
圖4.22 碳纖維複材長圓管? ??0S?a.....	62	圖4.23 碳纖維複材長圓管? ??90S?a.....	62	圖4.22 碳纖維複材長圓管? ??0S?a.....	62
圖4.23 碳纖維複材長圓管? ??90S?a.....	62	圖4.24 碳纖維複材長圓管? ??45S?b ?a.....	63	圖4.23 碳纖維複材長圓管? ??90S?a.....	62
圖4.24 碳纖維複材長圓管? ??45S?b ?a.....	63	圖4.25 碳纖維複材長圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a.....	63	圖4.24 碳纖維複材長圓管? ??45S?b ?a.....	63
圖4.25 碳纖維複材長圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a.....	63	圖4.26 碳纖維複材長圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a.....	64	圖4.25 碳纖維複材長圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a.....	63
圖4.26 碳纖維複材長圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a.....	64	圖4.27 碳纖維複材長圓管? / 90 / 90 / 0 ?料?a ?a ?a.....	64	圖4.26 碳纖維複材長圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a.....	64
圖4.27 碳纖維複材長圓管? / 90 / 90 / 0 ?料?a ?a ?a.....	64	圖4.28 碳纖維複材短圓管? ??0S?a.....	65	圖4.27 碳纖維複材長圓管? / 90 / 90 / 0 ?料?a ?a ?a.....	64
圖4.28 碳纖維複材短圓管? ??0S?a.....	65	圖4.29 碳纖維複材短圓管? ??90S?a.....	65	圖4.28 碳纖維複材短圓管? ??0S?a.....	65
圖4.29 碳纖維複材短圓管? ??90S?a.....	65	圖4.30 碳纖維複材短圓管? ??45S?b ?a.....	66	圖4.29 碳纖維複材短圓管? ??90S?a.....	65
圖4.30 碳纖維複材短圓管? ??45S?b ?a.....	66	圖4.31 碳纖維複材短圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a.....	66	圖4.30 碳纖維複材短圓管? ??45S?b ?a.....	66
圖4.31 碳纖維複材短圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a.....	66	圖4.32 碳纖維複材短圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a.....	67	圖4.31 碳纖維複材短圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a.....	66
圖4.32 碳纖維複材短圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a.....	67	圖4.33 碳纖維複材短圓管? ??0 / 90 / 90 / 0S?a ?a ?a.....	67	圖4.32 碳纖維複材短圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a.....	67
圖4.33 碳纖維複材短圓管? ??0 / 90 / 90 / 0S?a ?a ?a.....	67	圖4.34 碳纖維複材長圓管? ??0S?a 模擬衝擊變形.....	68	圖4.33 碳纖維複材短圓管? ??0 / 90 / 90 / 0S?a ?a ?a.....	67
圖4.34 碳纖維複材長圓管? ??0S?a 模擬衝擊變形.....	68	圖4.35 碳纖維複材長圓管? ??90S?a 模擬衝擊變形.....	68	圖4.34 碳纖維複材長圓管? ??0S?a 模擬衝擊變形.....	68
圖4.35 碳纖維複材長圓管? ??90S?a 模擬衝擊變形.....	68	圖4.36 碳纖維複材長圓管? ??45S?b ?a 模擬衝擊變形.....	69	圖4.35 碳纖維複材長圓管? ??90S?a 模擬衝擊變形.....	68
圖4.36 碳纖維複材長圓管? ??45S?b ?a 模擬衝擊變形.....	69	圖4.37 碳纖維複材長圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	69	圖4.36 碳纖維複材長圓管? ??45S?b ?a 模擬衝擊變形.....	69
圖4.37 碳纖維複材長圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	69	圖4.38 碳纖維複材長圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a 模擬衝擊變形.....	70	圖4.37 碳纖維複材長圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	69
圖4.38 碳纖維複材長圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a 模擬衝擊變形.....	70	圖4.39 碳纖維複材長圓管? / 90 / 90 / 0 ?料?a ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	70	圖4.38 碳纖維複材長圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a 模擬衝擊變形.....	70
圖4.39 碳纖維複材長圓管? / 90 / 90 / 0 ?料?a ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	70	圖4.40 碳纖維複材短圓管? ??0S?a 模擬衝擊變形.....	71	圖4.39 碳纖維複材長圓管? / 90 / 90 / 0 ?料?a ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	70
圖4.40 碳纖維複材短圓管? ??0S?a 模擬衝擊變形.....	71	圖4.41 碳纖維複材短圓管? ??90S?a 模擬衝擊變形.....	71	圖4.40 碳纖維複材短圓管? ??0S?a 模擬衝擊變形.....	71
圖4.41 碳纖維複材短圓管? ??90S?a 模擬衝擊變形.....	71	圖4.42 碳纖維複材短圓管? ??45S?b ?a 模擬衝擊變形.....	72	圖4.41 碳纖維複材短圓管? ??90S?a 模擬衝擊變形.....	71
圖4.42 碳纖維複材短圓管? ??45S?b ?a 模擬衝擊變形.....	72	圖4.43 碳纖維複材短圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	72	圖4.42 碳纖維複材短圓管? ??45S?b ?a 模擬衝擊變形.....	72
圖4.43 碳纖維複材短圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	72	圖4.44 碳纖維複材短圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a 模擬衝擊變形.....	73	圖4.43 碳纖維複材短圓管? 45 / 0 / 90 ?料?b ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	72
圖4.44 碳纖維複材短圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a 模擬衝擊變形.....	73	圖4.45 碳纖維複材短圓管? ??0 / 90 / 90 / 0S?a ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	73	圖4.44 碳纖維複材短圓管? / 45 / 0 ?料?a ?b ?a ?a 模擬衝擊變形.....	73
圖4.45 碳纖維複材短圓管? ??0 / 90 / 90 / 0S?a ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	73	表目錄.....	73	圖4.45 碳纖維複材短圓管? ??0 / 90 / 90 / 0S?a ?a ?a ?a 模擬衝擊變形.....	73
表目錄.....	73	表3.1 實驗設備與耗材.....	21	表目錄.....	73
表3.1 實驗設備與耗材.....	21	表3.2 EXILIM Pro EX-F1 功能.....	34	表3.1 實驗設備與耗材.....	21
表3.2 EXILIM Pro EX-F1 功能.....	34	表3.3 TC12K35/EPO-AIMP 材料性質.....	38	表3.2 EXILIM Pro EX-F1 功能.....	34
表3.3 TC12K35/EPO-AIMP 材料性質.....	38	表3.4 鋁管之材料性質.....	39	表3.3 TC12K35/EPO-AIMP 材料性質.....	38
表3.4 鋁管之材料性質.....	39	表3.5 衝擊鋼盤之材料性質.....	39	表3.4 鋁管之材料性質.....	39
表3.5 衝擊鋼盤之材料性質.....	39	表4.1 長鋁管模擬與實驗應變量.....	46	表3.5 衝擊鋼盤之材料性質.....	39
表4.1 長鋁管模擬與實驗應變量.....	46	表4.2 短鋁管模擬與實驗應變量.....	46	表4.1 長鋁管模擬與實驗應變量.....	46
表4.2 短鋁管模擬與實驗應變量.....	46	表4.3 碳纖維複合材料包覆鋁管重量比較.....	55	表4.2 短鋁管模擬與實驗應變量.....	46
表4.3 碳纖維複合材料包覆鋁管重量比較.....	55	表4.4 碳纖維複合材料包覆鋁管應變量比較.....	55	表4.3 碳纖維複合材料包覆鋁管重量比較.....	55
表4.4 碳纖維複合材料包覆鋁管應變量比較.....	55	表4.5 碳纖維複材管件與鋁管件重量比較.....	58	表4.4 碳纖維複合材料包覆鋁管應變量比較.....	55
表4.5 碳纖維複材管件與鋁管件重量比較.....	58	表4.6 碳纖維複合材料長圓管應變量.....	59	表4.5 碳纖維複材管件與鋁管件重量比較.....	58
表4.6 碳纖維複合材料長圓管應變量.....	59	表4.7 碳纖維複合材料短圓管應變量.....	59	表4.6 碳纖維複合材料長圓管應變量.....	59
表4.7 碳纖維複合材料短圓管應變量.....	59			表4.7 碳纖維複合材料短圓管應變量.....	59

REFERENCES

- [1] Marsolek J., Reimerdes H.G., " Energy absorption of metallic cylindrical shells with induced non-axisymmetric folding patterns ", International Journal of Impact Engineering, Vol.30,pp.1209 – 12, 2004.
- [2] Aiura, Tadashi, " Extrusion Technology for Aluminum Alloys And Products Applications ", 精密擠型製程與設備技術國際研討會, 2008.
- [3] Mamalis A.G., et al, " The static and dynamic axial collapse of CFRP square tubes: finite element modelling ", Composite Structures, 74(2), p.213-225, 2006.
- [4] Davies R. M., " A Critical Study of the Hopkinson Pressure Bar ", Philosophical Transactions of The Royal Society, A240, p.375, 1948.
- [5] Kolsky H., " An Investigation of the Mechanical Properties of Materials at Very High Rates of Loading ", Proceedings of The Roy Society of London, B62, p.676, 1949.

- [6] Alexander J. M., " An approximate analysis of the collapse of thin cylindrical shells under axial loading " , Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, Vol.13, p.10-15, 1960.
- [7] Pugsley A. and Macaulay M., " The large scale crumpling of thin cylindrical columns " , Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, Vol.13, p.1-9, 1960.
- [8] Pugsley A.G., " On the crumpling of thin tubular struts " , Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, Vol.32, p.1-7, 1979. -77-
- [9] 歐陽中, 心蕊織物複合材料衝擊後壓縮性質之研究, 私立逢甲大學, 碩士論文, 1998。
- [10] Liang J.Z., Wang L., " Finite element analysis of interfacial stress during tension of PP/CaCO₃ composite " , Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 10(34), p.58-61, 2006.
- [11] X.Y. Wu, Xia Y., Zhou Q., " Characteristics of the strain and strain rate on the thin-walled square tube under impact loading " , Automobile Technology, p.19-21, 2006.
- [12] Wan Z.M., et al., " Experimental study on energy absorption properties of glass-epoxy cylindrical shells " , Acta Material Composite Sinica, 16(2), p.15-20, 1999.
- [13] Tabiei A., Aminjickarai, " A strain-rate dependent micromechanical model with progressive post-failure behavior for predicting impact response of unidirectional composite laminates " , Composite Structures, 88(1), p.65-82, 2009.
- [14] Liu R.T., Lin J.P., Wang X.W., " Study on energy-absorption capability of symmetrical composite elements " , Thermosetting Resin, 19(3), p.39-46, 2004.
- [15] 劉晉奇、褚晴暉, 有限元素分析與ANSYS的工程應用, 滄海出版社, 2006。
- [16] Song Y., Wang F., " Test and Simulation of Cushioning Energy-Absorbing Property of Composite-Laminated Cylindrical Shells " , Journal of South China University of Technology, Vol.37, No.12, p.140-145, 2009.
- [17] Mamalis A.G., Manolakos D.E., Ioannidis M.B., et al, " Axial collapse of hybrid square sandwich composite tubular-78-components with corrugated core: numerical modelling " , Composite Structures, 58(4), p.571-582, 2002.
- [18] Mamalis A.G., et al, " The static and dynamic axial collapse of CFRP square tubes: finite element modelling " , Composite Structures, 74(2), p.213-225, 2006.
- [19] Wang J.S., " Analysis of Composite Rod Reinforced Laminates " , The University of Texas at Arlington, Doctor of Philosophy, 1997.
- [20] 尚曉江, 蘇建宇、王化鋒, ANSYS/LS-DYNA 動力分析方法與工程實例, 中國水利水電出版社, 北京, 2006。
- [21] 劉晉奇、褚晴暉, 有限元素分析與ANSYS的工程應用, 滄海出版社, 2006。
- [22] 賴居廷, 複合材料多孔材三明治結構之衝擊行為研究, 私立大葉大學, 碩士論文, 2011。
- [23] Tagarielli V. L., et al., " Prediction of the dynamic response of composite sandwich beams under shock loading " , International Journal of Impact Engineering, vol.37, pp.854-864, 2010.
- [24] Hopkinson B., " A Method of Measuring the Pressure Produced in the Detonation of High Explosives or by the Impact of Bullets " , Philosophical Transactions of The Royal Society, A213, p.437-456, 1914.
- [25] Bisagni C., et al, " Progressive crushing of fiber-reinforced composite structural components of a Formula One racing car " , Composite Structures, 68(4), p.491-503, 2005.