

# 目次

表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
第一章 前言.....	1
第二章 研究動機.....	4
第三章 文獻回顧.....	6
3-1 複合材料疲勞性質.....	6
3-2 疲勞破壞機制.....	6
3-3 應力等級對疲勞性質的影響.....	7
3-4 應力(S)與破壞週次( $N_f$ )間的關係.....	8
3-5 濕氣吸收模型.....	8
3-6 濕氣對複材機械性質的影響.....	9
3-7 電磁波屏蔽理論.....	9
3-8.1 奈米碳管起源.....	10
3-8.2 碳奈米管的備製.....	11
3-8.3 奈米碳管複合材料的機械性質.....	12
第四章 實驗內容及程序.....	16
4-1 實驗儀器.....	16
4-2 實驗材料.....	19
4-3 試片製造流程.....	20
4-4.1 實驗流程.....	21
4-4.2 實驗測試條件.....	21
4-4.3 實驗測試方法.....	22
4-5 試片數量.....	23
第五章 結果與討論.....	25

5-1 試片製作.....	25
5-2 吸濕率測試.....	25
5-3 電性質量測.....	26
5-3.1 室溫(25°C)下之電阻量測.....	26
5-3.2 25°C/85%RH 之電阻量測.....	27
5-3.3 熱循環 500 週次之電阻量測.....	27
5-4 靜態拉伸測試.....	28
5-4.1 室溫下(25°C)之靜態拉伸測試結果.....	28
5-4.2 25°C/85%RH 之靜態拉伸測試結果.....	29
5-4.3 熱循環 500 週次之靜態拉伸測試結果.....	29
5-4.4 全部環境條件靜態拉伸之討論.....	30
5-5 軸向拉伸疲勞測試.....	31
5-5.1 室溫下(25°C)之疲勞測試結果.....	31
5-5.2 25°C/85%RH 之疲勞測試結果.....	32
5-5.3 熱循環 500 週次後之疲勞測試結果.....	33
5-5.4 全部環境條件疲勞測試之討論.....	34
5-5.5 軸向拉伸疲勞測試破壞之 SEM 圖.....	35
第六章 結論.....	37
6-1 吸濕實驗.....	37
6-2 靜態拉伸試驗.....	37
6-3 疲勞試驗.....	38
6-4 電性質.....	38
參考文獻.....	40
附表.....	46
附圖.....	51

## 附 表

表 1-1 碳管與傳統材料的機械強度及密度比較.....	46
表 5-1 室溫下 CNT/phenolic 複材的電阻值.....	46
表 5-2 室溫下 CNT/phenolic 複材的表面電阻率.....	46
表 5-3 CNT/phenolic 複材經熱循環 500 週次之電阻值.....	46
表 5-4 CNT/phenolic 複材經熱循環 500 週次之表面電阻率.....	47
表 5-5 室溫下 CNT/phenolic 複材之靜態拉伸強度.....	47
表 5-6 25°C/85%RH CNT/phenolic 複材之靜態拉伸強度.....	47
表 5-7 熱循環 500 週次 CNT/phenolic 複材之靜態拉伸強度.....	47
表 5-8 室溫下純酚醛之疲勞壽命.....	48
表 5-9 室溫下 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命.....	48
表 5-10 25°C/85%RH 純酚醛之疲勞壽命.....	49
表 5-11 25°C/85%RH 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命.....	49
表 5-12 熱循環 500 週次純酚醛之疲勞壽命.....	50
表 5-13 熱循環 500 週次 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命.....	50

## 圖目錄

圖 1-1 Surface resistivity spectrum 表面電阻率光譜.....	51
圖 3-1 連續纖維複合材料積層板損壞發展示意圖.....	51
圖 3-2 電磁波的屏蔽原理圖.....	52
圖 3-3 單層奈米碳管及多層奈米碳管.....	52
圖 3-4 C60 的模型(由 20 個六角形及 12 個五角形所組成,其碳原子間的連結形式與石墨非常類似).....	53
圖 3-5 電弧放電法(Arc discharge).....	53
圖 4-1 迷你鑽石切割機.....	54
圖 4-2 熱壓機.....	54
圖 4-3 超音波震動機.....	55
圖 4-4 磁力攪拌機.....	55
圖 4-5 真空烘箱與幫浦.....	56
圖 4-6 拋光機.....	56
圖 4-7 恆溫恆濕機.....	57
圖 4-8 熱循環機.....	57
圖 4-9 Instron-8848 微拉伸試驗機.....	58
圖 4-10 掃描式電子顯微鏡(SEM).....	58
圖 4-11 高阻計.....	59
圖 4-12 毫歐姆計.....	59
圖 4-13 抽真空流程.....	60
圖 4-14 CNT/phenolic resin 熱壓成形試片與模具疊層圖.....	60
圖 4-15 熱壓成型溫度壓力與時間圖.....	60
圖 4-16 CNT/phenolic resin 試片尺寸圖.....	61

圖 4-17 試片(一).....	61
圖 4-18 試片(二).....	62
圖 4-19 實驗流程(一).....	62
圖 4-20 靜態強度實驗流程(二).....	63
圖 4-21 疲勞實驗流程(三).....	63
圖 4-22 熱循環溫度和時間關係圖 .....	64
圖 5-1 未經分散之碳管團聚情形.....	64
圖 5-2 熱壓失敗之試片.....	65
圖 5-3 熱壓成功之試片.....	65
圖 5-4 純酚醛與奈米碳管複合材料之吸濕率.....	66
圖 5-5 室溫下 CNT/phenolic 複材之電阻圖.....	66
圖 5-6 室溫下 CNT/phenolic 複材之表面電阻率圖.....	67
圖 5-7 CNT/phenolic 複材經熱循環 500 週次之電阻圖.....	67
圖 5-8 CNT/phenolic 複材經熱循環 500 週次之表面電阻率圖.....	68
圖 5-9 室溫下 CNT/phenolic 複材之靜態拉伸強度.....	68
圖 5-10 室溫(25°C)下純酚醛之靜態拉伸破壞斷面(100 倍).....	69
圖 5-11 室溫(25°C)下 1wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (100 倍).....	69
圖 5-12 室溫(25°C)下 2wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (100 倍).....	70
圖 5-13 室溫(25°C)下 3wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (100 倍).....	70
圖 5-14 室溫(25°C)下 5wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (100 倍).....	71
圖 5-15 室溫(25°C)下純酚醛之靜態拉伸破壞斷面(10000 倍).....	71

圖 5-16 室溫(25°C)下 1wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (10000 倍).....	72
圖 5-17 室溫(25°C)下 2wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (10000 倍).....	72
圖 5-18 室溫(25°C)下 3wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (10000 倍).....	73
圖 5-19 室溫(25°C)下 5wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (10000 倍).....	73
圖 5-20 25°C/ 85%RH CNT/phenolic 複材之靜態拉伸強度.....	74
圖 5-21 25°C/ 85%RH 純酚醛之靜態拉伸破壞斷面(100 倍).....	74
圖 5-22 25°C/ 85%RH 5wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (100 倍).....	75
圖 5-23 熱循環 500 週次 CNT/phenolic 複材之靜態拉伸強度.....	75
圖 5-24 熱循環 500 週次純酚醛之靜態拉伸破壞斷面(100 倍).....	76
圖 5-25 熱循環 500 週次 5wt% CNT/phenolic 複材之靜態拉伸破壞斷面 (100 倍).....	76
圖 5-26 純酚醛在三種環境條件下之靜態拉伸強度.....	77
圖 5-27 5wt% CNT/phenolic 複材在三種環境條件下之靜態拉伸強 度.....	77
圖 5-28 純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材在三種環境條件下之靜態 拉伸強度.....	78
圖 5-29 室溫下純酚醛之疲勞壽命曲線.....	78
圖 5-30 室溫下 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線.....	79
圖 5-31 室溫下純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線 (normalized).....	79



圖 5-32 室溫下純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線(絕對應力).....	80
圖 5-33 25°C/ 85%RH 純酚醛之疲勞壽命曲線.....	80
圖 5-34 25°C/ 85%RH 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線.....	81
圖 5-35 25°C/ 85%RH 純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線(normalized).....	81
圖 5-36 25°C/ 85%RH 純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線(絕對應力).....	82
圖 5-37 熱循環 500 週次純酚醛之疲勞壽命曲線.....	82
圖 5-38 熱循環 500 週次 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線...	83
圖 5-39 熱循環 500 週次純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線(normalized).....	83
圖 5-40 熱循環 500 週次純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞壽命曲線(絕對應力).....	84
圖 5-41 純酚醛在三種環境條件下之疲勞壽命曲線(normalized).....	84
圖 5-42 5wt% CNT/phenolic 複材在三種環境條件下之疲勞壽命曲線(normalized).....	85
圖 5-43 純酚醛在三種環境條件下之疲勞壽命曲線(絕對應力).....	85
圖 5-44 5wt% CNT/phenolic 複材在三種環境條件下之疲勞壽命曲線(絕對應力).....	86
圖 5-45 純酚醛與 5wt% CNT/phenolic 複材在三種環境條件下之疲勞壽命曲線(絕對應力).....	86
圖 5-46 室溫(25°C)下純酚醛之疲勞破壞斷面(938 週次).....	87
圖 5-47 室溫(25°C)下純酚醛之疲勞破壞斷面(89763 週次).....	87
圖 5-48 室溫(25°C)下 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞破壞斷面(1917	

週次).....	88
圖 5-49 室溫(25°C)下 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞破壞斷面(89932 週次).....	88
圖 5-50 25°C/ 85%RH 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞破壞斷面 (89422 週次).....	89
圖 5-51 熱循環 500 週次純酚醛之疲勞破壞斷面(1458 週次).....	89
圖 5-52 熱循環 500 週次純酚醛之疲勞破壞斷面(75482 週次).....	90
圖 5-53 熱循環 500 週次 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞破壞斷面 (2283 週次).....	90
圖 5-54 熱循環 500 週次 5wt% CNT/phenolic 複材之疲勞破壞斷面 (94256 週次).....	91

