

複合材料層板之疊層最佳化:以側向挫曲與群蟻演算法為例

陳皇文、王正賢

E-mail: 9423572@mail.dyu.edu.tw

摘要

過去幾十年來，複合材料的發展日趨成熟及其優秀的材料特性，所以運用複合材料來取代傳統金屬的趨勢已不可避免，過去研究大多是以垂直負載與構件上所造成的挫屈(Buckling)行為，而對於側向挫屈(Lateral Buckling)的研究很少所以本文以側向挫屈作為研究方向，而在設計及生產過程中，複合材料層板疊層排序方式佔相當重要的比例，排序方式會影響結構受極限負載(Critical Loads)時所能承受的側向彎曲力矩的強度大小，對於複合材料的整體疊層該如何排序就顯的相對重要，而過去的疊層排列方式都是由經驗法則來排列，對於層數大時較佳的疊層方式並無一定的準則，所以如果能找出疊層排序與對結構承受極限負載的關係，即可作為疊層角度最佳化的依據。本研究預計使用群蟻演算法與遺傳基因演算法來找尋複合材料之最佳疊層順序，並採用有限元素法(Finite Element Method)之分析軟體來分析以純彎曲(Pure Bending)、懸臂樑(Cantilever)和簡支樑(Simple-Support)行為下的側向挫屈關係並與推導的解析解公式作比較，在將解析解套入演算法中來搜尋出最佳疊層排列角度，以此法建立自動化之疊層排序設計以取代現有之人工疊層排序，達到縮短設計之工時，進而增加複合材料疊層板之結構強度。

關鍵詞：側向挫屈；I字型樑；群蟻演算法；基因演算法

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 研究動機與背景	1.1.1
1.2 研究目的	3
1.3 研究方法與架構	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 側向挫屈問題	5
2.2 群蟻演算法	6
第三章 研究方法	7
3.1 側向挫屈	7
3.1.1 古典層板理論	8
3.1.2 純彎曲側向挫屈解析解	13
3.1.3 懸臂樑側向挫屈解析解	19
3.1.4 簡支樑側向挫屈解析解	23
3.1.5 ANSYS分析側向挫屈	27
3.2 群蟻演算法演化原理	31
3.2.1 螞蟻演算法	32
3.2.2 群蟻演算法	36
3.2.3 應用群蟻演算法的側向挫屈模組	38
3.2.4 範例	43
3.3 傳統基因演算法	51
第四章 電腦輔助工程模擬分析	58
4.1 側向挫屈建模分析	58
4.2 幾何模型建立	59
4.3 設定邊界條件與施加負載方式	60
4.4 設定分析模組種類	63
4.5 cae範例	64
第五章 結果與討論	68
5.1 複合層板樑的參數分析	68
5.1.1 純彎曲的長寬比關係	70
5.1.2 懸臂樑的長度比關係	74
5.1.3 簡支樑的長度比關係	78
5.2 對於不同的疊層角度在 $[\pm \theta]_s$ 、 $[\pm \theta/0]_s$ 與 $[\pm \theta/90]_s$ 時解析解與CAE的關係	82
5.2.1 純彎曲在疊層為 $[\pm \theta]_s$ 、 $[\pm \theta/0]_s$ 與 $[\pm \theta/90]_s$ 關係	83
5.2.2 懸臂樑在疊層為 $[\pm \theta]_s$ 、 $[\pm \theta/0]_s$ 與 $[\pm \theta/90]_s$ 關係	85
5.2.3 簡支樑在疊層為 $[\pm \theta]_s$ 、 $[\pm \theta/0]_s$ 與 $[\pm \theta/90]_s$ 關係	87
5.3 演算法參數分析	89
5.3.1 四種角度不可重複對稱: $[\pm 45/0/90]_s$	90
5.3.2 四種角度不可重複對稱: $[\pm 30/0/90]_s$	97
5.3.3 四種角度不可重複對稱: $[\pm 60/0/90]_s$	101
5.3.4 四種角度可重複對稱: $[\pm 45/0/90]_s$	105
5.3.5 四種角度完全重複對稱: $(\pm 45^\circ, 0^\circ, 90^\circ)$	109
5.3.6 六種角度完全重複對稱: $(\pm 45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, \pm 30^\circ)$	118
第六章 結論與未來研究方向	125
6.1 結論	125
6.2 未來研究方向	126
參考文獻	128
附錄.....	131
圖目錄	圖1 柱的挫曲與側向挫屈
圖2 研究架構圖	圖3 複合材料層板幾何示意圖
圖4 層板樑受極限負載後之側向挫屈	圖5 全域座標與參考座標關係
圖6 懸臂樑受極限負載後之側向挫屈	圖7 簡支樑受極限負載後之側向挫屈
圖8 挫屈模組的基本流程步驟	圖9 群蟻行為圖[11]
圖10 螞蟻流程圖	圖11 群蟻演算法架構
圖12 基因演算法編碼示意圖	圖13 順序交配
圖14 部分對應交配	圖15 循環交配
圖16 傳統基因演算法流程圖	圖17 Shell 99元素[17]
圖18 Shell 99建模模型(/ESHAPE,2)	圖19 側向挫屈網格模型(/ESHAPE,2)
圖20 純彎曲側向挫屈邊界條件	圖21 懸臂樑側向挫屈邊界條件
圖22 簡支樑側向挫屈邊界條件	圖23 側向挫屈的極限彎矩值
圖24 純彎曲的側向挫屈模型	圖25 懸臂樑的側向挫屈模型
圖26 簡支樑的側向挫屈模型	圖27 $[\pm 45]_s$ 疊層樑之彎曲力矩極限值(Mcr)解析解與CAE之比較
圖28 $[\pm 45]_s$ 疊層樑解析解與CAE誤差關係	圖29 $[0/90]_s$ 疊層樑之彎曲力矩極限值(Mcr)解析解與CAE之比較
圖30 $[0/90]_s$ 疊層樑解析解與CAE誤差關係	圖31 $[\pm 45/0/90]_s$ 疊層樑之彎曲力矩極限值(Mcr)解析解與CAE之比較
圖32 $[\pm 45/0/90]_s$ 疊層樑解析解與CAE誤差關係	圖33 $[\pm 45/0/90/\pm 30]_s$ 疊層樑之彎曲力矩極限值(Mcr)解析解與CAE之比較
圖34 $[\pm 45/0/90/\pm 30]_s$ 疊層樑解析解與CAE誤差關係	圖35 $[\pm 45]_s$ 懸臂樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖36 $[\pm 45]_s$ 懸臂樑解析解與CAE誤差關係	圖37 $[0/90]_s$ 懸臂樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖38 $[0/90]_s$ 懸臂樑解析解與CAE誤差關係	圖39 $[\pm 45/0/90]_s$ 懸臂樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖40 $[\pm 45/0/90]_s$ 懸臂樑解析解與CAE誤差關係	圖41 $[\pm 45/0/90/\pm 30]_s$ 懸臂樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖42 $[\pm 45/0/90/\pm 30]_s$ 懸臂樑解析解與CAE誤差關係	圖43 $[\pm 45]_s$ 簡支樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖44 $[\pm 45]_s$ 簡支樑解析解與CAE誤差關係	圖45 $[0/90]_s$ 簡支樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖46 $[0/90]_s$ 簡支樑解析解與CAE誤差關係	圖47 $[\pm 45/0/90]_s$ 簡支樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較
圖48 $[\pm 45/0/90]_s$	

簡支樑解析解與CAE誤差關係 80 圖49 [± 45/0/90/ ± 30]s簡支樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較 81 圖50 [± 45/0/90/ ± 30]s簡支樑解析解與CAE誤差關係 81 圖51 [±]s疊層樑之彎曲力矩極限值(Mcr)解析解與CAE之比較 83 圖52 [±]s疊層樑解析解與CAE誤差關係 83 圖53 [± /0/0]s與[± /0/90]s疊層樑之彎曲力矩極限值(Mcr)解析解與CAE之比較 84 圖54 [± /0/0]s與[± /0/90]s疊層樑解析解與CAE誤差關係 84 圖55 [±]s懸臂樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較 85 圖56 [±]s懸臂樑解析解與CAE誤差關係 85 圖57 [± /0/0]s與[± /0/90]s懸臂樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較 86 圖58 [± /0/0]s與[± /0/90]s懸臂樑解析解與CAE誤差關係 86 圖59 [±]s簡支樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較 87 圖60 [±]s簡支樑解析解與CAE誤差關係 87 圖61 [± /0/0]s與[± /0/90]s簡支樑之彎曲力矩極限值(Pcr)解析解與CAE之比較 88 圖62 [± /0/0]s與[± /0/90]s簡支樑解析解與CAE誤差關係 88 表目錄表1 演算法名詞定義 38 表2 對角度進行編碼 43 表3 初始化費洛蒙矩陣 44 表4 每隻螞蟻隨機選擇的第一個角度疊層 44 表5 每隻螞蟻與尚未搜尋第二層的角度疊層關係 44 表6 計算每隻螞蟻從第一層到第二層角度的挫曲值 45 表7 隨機產生機率值判斷每隻螞蟻的下一個疊層角度 46 表8 每隻螞蟻與尚未搜尋第三層的角度疊層關係 47 表9 計算每隻螞蟻從第二層到第三層角度的挫曲值 47 表10 隨機產生機率值判斷每隻螞蟻下一個疊層角度 48 表11 每隻螞蟻與尚未搜尋第四層的角度疊層關係 48 表12 每隻螞蟻完成所有路徑關係 49 表13 螞蟻 走過疊層的次數 49 表14 更新費洛蒙矩陣 50 表15 計算每隻螞蟻(k)四層對稱的側向挫屈值 50 表16 AS4/3501-6材料性質 65 表17 長、寬與厚度的關係表 69 表18 AS4/3501-6材料性質 69 表19 演算法參數設定 89 表20 應用群蟻演算法搜尋四層對稱 [± 45/0/90]s時的最佳疊層關係 90 表21 應用基因演算法搜尋四層對稱 [± 45/0/90]s時的最佳疊層關係 91 表22 窮舉法搜尋四層對稱 [± 45/0/90]s時的最佳疊層關係 91 表23 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/90]s時的誤差關係 91 表24 應用群蟻演算法搜尋八層對稱 [± 45/0/90]2s時的最佳疊層關係 92 表25 應用基因演算法搜尋八層對稱 [± 45/0/90]2s時的最佳疊層關係 92 表26 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/90]2s時的誤差關係 93 表27 應用群蟻演算法搜尋十六層對稱 [± 45/0/90]4s時最佳疊層關係 93 表28 應用基因演算法搜尋十六層對稱 [± 45/0/90]4s時最佳疊層關係 94 表29 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/90]4s時的誤差關係 94 表30 應用群蟻演算法搜尋三十二層對稱 [± 45/0/90]8s最佳疊層關係 95 表31 應用基因演算法搜尋三十二層對稱 [± 45/0/90]8s最佳疊層關係 95 表32 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/90]8s時的誤差關係 95 表33 應用群蟻演算法搜尋六十四層對稱 [± 45/0/90]16s最佳疊層關係 96 表34 應用基因演算法搜尋六十四層對稱 [± 45/0/90]16s最佳疊層關係 96 表35 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/90]16s時的誤差關係 96 表36 應用群蟻演算法搜尋四層對稱 [± 30/0/90]s時的最佳疊層關係 97 表37 應用基因演算法搜尋四層對稱 [± 30/0/90]s時的最佳疊層關係 97 表38 應用群蟻演算法搜尋八層對稱 [± 30/0/90]2s時的最佳疊層關係 98 表39 應用基因演算法搜尋八層對稱 [± 30/0/90]2s時的最佳疊層關係 98 表40 應用群蟻演算法搜尋十六層對稱 [± 30/0/90]4s時最佳疊層關係 99 表41 應用基因演算法搜尋十六層對稱 [± 30/0/90]4s時最佳疊層關係 99 表42 應用群蟻演算法搜尋三十二層對稱 [± 30/0/90]8s最佳疊層關係 99 表43 應用基因演算法搜尋三十二層對稱 [± 30/0/90]8s最佳疊層關係 100 表44 應用群蟻演算法搜尋六十四層對稱 [± 30/0/90]16s最佳疊層關係 100 表45 應用基因演算法搜尋六十四層對稱 [± 30/0/90]16s最佳疊層關係 100 表46 應用群蟻演算法搜尋四層對稱 [± 60/0/90]s時的最佳疊層關係 101 表47 應用基因演算法搜尋四層對稱 [± 60/0/90]s時的最佳疊層關係 101 表48 應用群蟻演算法搜尋八層對稱 [± 60/0/90]2s時的最佳疊層關係 102 表49 應用基因演算法搜尋八層對稱 [± 60/0/90]2s時的最佳疊層關係 102 表50 應用群蟻演算法搜尋十六層對稱 [± 60/0/90]4s時最佳疊層關係 103 表51 應用基因演算法搜尋十六層對稱 [± 60/0/90]4s時最佳疊層關係 103 表52 應用群蟻演算法搜尋三十二層對稱 [± 60/0/90]8s最佳疊層關係 103 表53 應用基因演算法搜尋三十二層對稱 [± 60/0/90]8s最佳疊層關係 104 表54 應用群蟻演算法搜尋六十四層對稱 [± 60/0/90]16s最佳疊層關係 104 表55 應用基因演算法搜尋六十四層對稱 [± 60/0/90]16s最佳疊層關係 104 表56 應用群蟻演算法搜尋八層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 105 表57 應用基因演算法搜尋八層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 105 表58 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/0]2s時的誤差關係 106 表59 應用群蟻演算法搜尋十六層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 106 表60 應用基因演算法搜尋十六層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 106 表61 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/0]4s時的誤差關係 107 表62 應用群蟻演算法搜尋三十二層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 107 表63 應用基因演算法搜尋三十二層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 107 表64 CAE與解析解在疊層[0/-45/45/0]8s時的誤差關係 108 表65 應用群蟻演算法搜尋六十四層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 108 表66 應用基因演算法搜尋六十四層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 109 表67 CAE與解析解在疊層[0/0/45/-45]16s時的誤差關係 109 表68 應用群蟻演算法搜尋四層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 110 表69 應用基因演算法搜尋四層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 110 表70 窮舉法搜尋四層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 110 表71 CAE與解析解在四層對稱最佳疊層的誤差關係 111 表72 應用群蟻演算法搜尋八層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 112 表73 應用基因演算法搜尋八層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 112 表74 CAE與解析解在八層對稱最佳疊層的誤差關係 112 表75 應用群蟻演算法搜尋十六層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 113 表76 應用基因演算法搜尋十六層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 113 表77 CAE與解析解在十六層對稱最佳疊層的誤差關係 114 表78 應用群蟻演算法搜尋三十二層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 114 表79 應用基因演算法搜尋三十二層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 115 表80 CAE與解析解在三十二層對稱最佳疊層的誤差關係 115 表81 應用群蟻演算法搜尋六十四層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 116 表82 應用基因演算法搜尋六十四層對稱可重複角度時的最佳疊層關係 117 表83 CAE與解析解在六十四對稱最佳疊層的誤差關係 117 表84 應用群蟻演算法搜尋六層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 118 表85 應用基因演算法搜尋六層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 118 表86 窮舉法搜尋六層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 119 表87 CAE與解析解在六層對稱最佳疊層的誤差關係 119 表88 應用群蟻演算法搜尋十二層對稱完全重複角

度時的最佳疊層關係 120 表89 應用基因演算法搜尋十二層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 120 表90 CAE與解析解在十二層對稱最佳疊層的誤差關係 121 表91 應用群蟻演算法搜尋十八層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 121 表92 應用基因演算法搜尋十八層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 122 表93 CAE與解析解在十八層對稱最佳疊層的誤差關係 122 表94 應用群蟻演算法搜尋三十六層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 123 表95 應用基因演算法搜尋三十六層對稱完全重複角度時的最佳疊層關係 123 表96 CAE與解析解在十八層對稱最佳疊層的誤差關係 124

參考文獻

- [1] Timoshenko S. P. and Gere J. M., Theory of Elastic Stability, New York, McGraw-Hill, 1964.
- [2] Lee J., Kim S – E., Hong K., “ Lateral buckling of I-section composite beams , Engineering Structures ” , 24, pp.955 – 964, 2002.
- [3] Turvey G. J., “ Lateral buckling tests on rectangular cross section pultruded GRP cantilever beams ” , Composite Structures, Vol.27, No2, pp.35-42, 1996.
- [4] Armanios E. A., “ Finite Displacement Analysis of Laminated Composite Strip with Extension-Twist Coupling ” , Journal of Aerospace Engineering, Vol.9, No.3 July, 1996.
- [5] Stephen R. Swanson, “ Introduction to Design and Analysis with Advanced Composite Materials ” , Prentice-Hill, U.S.A, 1997.
- [6] Adali S., Lene F., Duvaut G., Chiaruttini V., “ Optimization of Laminated Composites Subject to Uncertain Buckling Loads ” , Composite Structures, pp.261-269, 2002.
- [7] Sapkas, A., and Kollar, L.P., “ Lateral-torsional buckling of composite beams, International Journal of Solid and Structure ” , Vol.39, pp.2939-2963, 2002.
- [8] Qiao, P., Zou, G., and Davalos, J. F., “ Flexural-torsional buckling of fiber-reinforced plastic composite cantilever I-beams ” , Composite structure, pp.205-217, 2003.
- [9] Shan, L., and Qiao, P., “ Flexural-torsional buckling of fiber-reinforced plastic composite open channel beams ” , Composites Structures, pp.211-224, 2005.
- [10] Colorni, A., Dorigo, M., and Maniezzo, V., “ An Investigation of Some Properties of an Ant Algorithm ” , Proceedings of the Parallel Problem Solving From Nature, Vol.2, pp.509-520, 1992.
- [11] Dorigo, M., and Gambardella, L.M., “ Ant colonies for the traveling salesman problem ” , BioSystems, Vol.43, pp.73-81, 1997.
- [12] Maniezzo V., Colorni A. and Dorigo M., “ The Ant System applied to the quadratic assignment problem ” , Technical Report IRIDIA/94-28, IRIDIA, University Libre de Bruxelles, Belgium, 1994.
- [13] Bauer, A., Bullnheimer, B., Hartl, R.F. and Strauss C., “ Minimizing total tardiness on a single machine using ant colony optimization. ” Proceedings of the 1999 congress on Evolutionary Computation, IEEE Press, 1999.
- [14] Le Riche, R., and Haftka, R.T., “ Optimization of Laminate Stacking Sequence for Buckling Load Maximization by Genetic Algorithm, ” AIAA Journal, Vol.31, No.5, pp. 951-956, 1993.
- [15] Holland, J., Adaptation in Natural and Artificial System, Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- [16] Ansari, N. and Hou, E., Computational Intelligence for Optimization, Kluwer Academic, Boston, MA, 1999.
- [17] Ansys-8.0 Online Help.
- [18] 戴尉庭, “ 狹長複合材料層板樑側向挫屈分析 ” ,逢甲大學航太與系統工程學系碩士論文, 2004年。
- [19] 朱文正, “ 考量旅行時間可靠度之車輛途程問題 ” ,國立交通大學交通運輸研究所碩士論文, 2002年。