

95 呎遊艇甲板結構最佳化佈置設計

林裕桀¹, 馮瑞裕², 歐家銓³

^{1,2,3}財團法人聯合船舶設計發展中心, 工程師

摘要

甲板為船舶中重要的支撐結構, 提供艙間人員及設備的支撐, 以保有船體固定之形體與設備正常運作之環境, 強度、剛性、重量的平衡拿捏為其佈置設計的重點, 然而, 在傳統依循著法規流程的設計方法中, 僅針對強度、剛性做分項的探討, 無法呈現甲板結構中各項幾何參數間的耦合關係, 以至於在為了達到強度或是剛性的單一目標中, 致使在另一目標中做了過度保守的設計, 而無法有效設計出輕量化的結構。

本研究針對甲板結構進行幾何參數探討, 導入最佳化方法, 搜尋不同甲板長寬比下最佳的幾何參數配置, 以強度、剛性為限制條件, 重量、比剛性為目標函數, 將符合限制條件的解繪製成目標函數擬合曲線, 以做為各類船型甲板設計的參數配置選用規則; 並以一 95 呎半滑航型遊艇之甲板設計為例, 與法規設計方法之結果做比較, 得到了超過 40% 的減重效果, 足以驗證本研究方法的實用性與輕量化效益。

關鍵字: 甲板結構、強度、剛性、設計變數、限制條件、目標函數、參數最佳化

1. 前言

遊艇, 意指旅遊、休憩用的海上交通工具, 而台灣為一海島國家, 與海上關係更是密不可分, 但因為法令、遊艇造價及可供瞭解的管道過少等問題, 遊艇在國內並不普及。然隨著國人休閒意識的抬頭, 遊艇相關問題也漸漸成為人民所關注的議題之一。

從民國 60 年的第一艘遊艇以來, 台灣已經累積了多年的遊艇製作經驗, 從最開始的木製遊艇, 而後為金屬材料, 直到纖維強化塑膠 (Fiber Reinforced Plastics, FRP) 的出現, 其優點包括輕巧、耐腐蝕及具有良好可塑性, 發展至今, 也成為主要的遊艇製造材料。

傳統在進行船體結構設計時, 大多依循著經驗以及法規, 不斷進行分析計算後, 才決定設計的尺寸, 而在現場施工時, 也會再進行局部的修改補強, 這樣的設計流程, 不僅耗時; 成本也較難以預估, 如此響應之下, 使得最佳化的必要性提昇。常見的工程最佳化設計, 主要是定義多個設計變數並給予限制條件, 在設計變數的相互配合下, 得到目標函數的最大或最小值。

最佳化發展至今, 技術越趨於成熟; 也成為各個產業的努力方向之一, 而此技術的出現與普及不僅帶來工程領域上的便利性, 相對於企業而言, 也意謂著效率、利潤空間的提昇。

2. 研究方法

綜觀船舶甲板結構的設計茲分成橫向及縱

向骨頭系統, 不管所採用的結構系統為何, 皆是在一三明治結構下加上陣列帽型樑所構築而成, 於各型不同的船體結構設計中, 會有不同跨距(span)、間距(spacing)的設計, (圖 2.1), 然而, 其卻具有共同的結構特徵, 在固定之跨距、間距比例下, 不論船型大小, 會有相同的甲板結構參數配置, 也就是說, 只要將跨距、間距比例做為設計變數, 進行其它所有幾何參數的最佳化配置搜尋, 即可將這些結果匯整而成一設計規則, 在設計結構時快速選用。

甲板之幾何參數包含甲板三明治結構表材疊層厚度、心材厚度、帽型樑高度、帽型樑疊層厚度、帽型樑間距等五個參數, 接著加入設計壓力、強度限制、剛性限制等, 以符合法規之規範, 以重量最小化為目標函數, 進行最佳參數組合的搜尋, 當得到最佳化尺寸組合後, 與一依照法規設計方法之 95 呎遊艇甲板為例, 比較採用最佳化方法的減重效益, 以驗證本方法之實用性。



圖 2.1 船底之帽型樑強化結構

3. 文獻回顧

3.1 複合材料的應用

60 年代因應航空及太空特殊需求，大量的複合材料相關研究令人相信它的重要性將逐日攀升，其中最為廣泛使用的當屬纖維強化材與高分子基材組成之複材積層板，如碳纖維強化塑膠 (Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)。它具有高比剛性、比強度、耐疲勞、性質穩定等遠優於傳統材料的機械性質；然而某些重大缺點，如幾乎無塑性變形、衝擊強度不足、脆性破壞特性、破壞檢測困難、製程品質控制等因素，讓此材料在應用上一直無法有效推廣於大眾市場。實際上，複合材料終究具有不可取代性，如特殊要求之輕量化高性能跑車、強調節能之輕量化電動動力車輛、輕量化飛行載具等。

複合材料的應用中又以三明治結構最為常見，將高剛性、高強度的薄板材料，如碳纖維、玻璃纖維、kevlar 纖維等，分佈於結構表面，稱為表材；而中央使用高厚度、低密度、具一定剛性的多孔材料，如泡棉、蜂巢等發泡材等，稱為心材，以有效提高面積二次矩，達到高比剛性、比強度之目的。此概念其實早已存在於自然界，如動物的骨骼、植物的枝幹等。

現今工程應用中對於結構體的強度、剛性、重量等多重目標的需求越來越高，傳統單一工程材料之應用，如金屬、陶瓷、高分子等已無法滿足需求，而複合材料的概念則提供了多種材料的複合搭配使用，結合以上材料優點以達到優異的性質之可能。

3.2 船舶遊艇結構設計

因玻璃纖維具有其方向性，材料特性為非等向性，不同於一般的等向性材料，如金屬，使得含有纖維的 FRP 材料特性較為複雜[1]，故在遊艇結構的有限元素分析上，於執行模擬的過程相對較為複雜[2]。李雅榮、鍾承憲[3]針對 FRP 滑航快艇建立了船體之有限元素模型，模型包含了船底板、加強材及隔艙壁，以進行船底結構之耐波擊強度分析；Ojeda, R., B. G. Prusty and M. Salas[4]針對以複合材料製作之雙胴體船，進行波浪衝擊力的有限元素分析；鍾承憲[5]、陳建偉[6]針對 140 呎高速排水型 FRP 遊艇，建立含船體、主甲板、隔艙壁之板、樑結構的有限元素模型，根據 DNV 法規給予衝擊外力，進行衝擊力量的分析。

3.3 最佳化方法

遺傳演算法這個名詞最初是在六零年代由 Holland 提出，並在 1975 年出版了 "Adaptation in Natural and Artificial System" [Holland, 1975][7] 一書，將遺傳演算法的理論和進化概念首次具體化，主要的動機為藉由研究自然界的適應現象來發展電腦系統。同年，De Jong 結合 Holland 所提出的型基理論(schema theorem)，將遺傳演算法應用在對具連續或離散(continuous or discrete)、凸集合或凹集合(convex or non-convex)、單極值或多極值等不同性質之函數最佳化上，並提出 "overlapping" 與 "crowding" 概念以提升對多極值問題之求解能力[De Jong, 1975; Srinivas, and Patnaik, 1994][8][9]。這兩篇著作奠定遺傳演算法發展的萌芽基礎。

1989 年 Goldberg 出版了 "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" [Goldberg, 1989][10] 一書，介紹遺傳演算法的理論、各種運算子的優缺點以及應用實例，並且發展出一套遺傳演算法程式 SGA(simple genetic algorithms)，進行實例運算與結果比較。

在遺傳演算法發展之初，由於電腦性能較差，無法應付在結構問題上所需之大量有限元素分析，故主要應用於生物學、社會科學、影像處理及排程最佳化問題等；對於結構最佳化的問題只能處理較為簡單的設計。

由於電腦科技的進展，將遺傳演算法應用於結構分析上到了九零年代時有了重大突破；1990 年 Hajela 以遺傳演算法解得十桿頻率響應問題與薄壁懸臂桿分析[Hajela, 1990][11]，證實遺傳演算法對於最佳化問題之搜尋空間為凹集合時，具有解得全域最佳值之能力。1991 年 Jenkins 利用 Goldberg 的 SGA 遺傳演算法程式解出三桿、十八桿與一焊接樑屋頂結構(trussed-beam roof structure)[Jenkins, 1991][12]。

Lin 與 Hajela 在 1992 年以遺傳演算法解離散變數與整數變數的問題[Lin and Hajela, 1992][13]，指出以非線性規劃法來解此問題所得的最佳解可能為次佳解，且該解有可能落入非合理區域(infeasible region)內，證實遺傳演算法對於離散變數之最佳化問題，具備較好的解題能力。

1994 年，Coello、Rudnick 與 Christiansen 利用遺傳演算法對某固定構型桁架之尺寸大小做最佳化設計[Coello, 1994][14]。1998 年，Shrestha 與 Ghaboussi 結合遺傳演算法對桁架的構型配置與尺寸大小同時做最佳化設計[Shrestha and Ghaboussi, 1998][15]，而非經由經驗法則來決定

桁架外型。

工程上一般的結構最佳化問題均具有限制條件，可惜遺傳演算法發展的原意是用在設計變數為離散且不带有限制條件的問題，因此必須將有限制條件的最佳化問題轉換成無限制條件的最佳化問題。針對遺傳演算法，學者歸納出以下幾種用來處理帶有限制條件之最佳化問題的方式 [Gen and Cheng, 1996; Michalewicz and Schienauer, 1996]：(1)懲罰函數法；(2)分開合理區和非合理區的解來處理；(3)剔除非合理區解；(4)採用特別的運算子；(5)混合法。其中，懲罰函數法可說是目前應用最廣的一種方法。

當我們面對一個最佳化問題時，首先除了建立該問題的數學模型，選擇適合的最佳化方法，接下來最重要的就是該方法的相關參數或公式設定了；這個步驟關係到該方法是否能有效地找到問題的真正最佳解、搜尋效率的好壞等等 [Eiben et al., 1999][16]。

以遺傳演算法來說，在八零年代發展的初期，參數設定大都是固定值，許多學者經過他們不斷地以實驗的方式尋找最佳的參數設定，最後提出建議值。如 De Jong、Grefenstette、Schaffer 都曾各自提出族群之個體數目 (population size)、交配率 (crossover rate) 與突變率 (mutation rate) 之建議值 [Back, 1992][17][18]。王順德 [19]、郭信川 [20] 則利用基因演算法進行船體結構之最佳化設計。

這些建議值的確為我們找到了一個正確的方向，但在最佳解的搜尋過程當中都是固定值，無法根據搜尋歷史在最佳化過程中自行調整，以至於可能造成某些參數設定只適用某種類型的問題。

後來，Muhlenbein 與 Potter 則認為最理想之突變率值應為編碼字串長度之倒數 [Potter and De Jong, 1994][21]；Hesser 與 Manner 提出隨著族群數、編碼字串長度與運算代數變化的突變率公式 [Eiben et al., 1999][22]；Back 與 Schutz 則提出能根據運算代數與編碼字串長度變化的突變率公式 [Back, 1992; Back and Schutz, 1996][23][24]，以及隨族群大小與編碼字串長度變化的突變率公式 [Smith and Fogarty, 1996][25]；Srinivas 則提出使交配率與突變率能隨演化過程適應度值變化之公式 [Srinivas and Patnaik, 1994][26]；開啟了可適性參數調整的先例。

理論上來說，能夠根據搜尋歷史來調整參數設定，的確能提高遺傳演算法的解題效率與準確性；以往的可適性參數調整機制通常只針對某一

部分進行調整，但若想將不同的可適性參數調整機制結合，卻可能因其相互之間的影响而衍生額外的問題。Venkateswaran、Obradovi'c 與 Raghavendra 則首先提出協力進化 (cooperative) 遺傳演算法的概念，使用多個不同副族群 (slave) 同時進化，每個副族群有不同之初始族群、交配率以及突變率，每進化一代就從每個副族群中挑出適應度較好之個體組成一個主族群 (master)，而每個副族群再用主族群之個體演化下一代 [Venkateswaran et al., 1993][27]。

另外，Potter 與 De Jong 將協力進化的概念運用在數值函數的極值搜尋上，一個子族群 (sub-population) 代表函數中的一個變數，不同子族群負責演化不同變數，從各種的變數組合中找出問題最佳解 [Potter and De Jong, 1994][28]。Cueva 與 Ramos 則利用協力進化遺傳演算法來解決數個機器手臂之間作動路徑安排的最佳化，使它們不至於發生碰撞 [Cueva and Ramos, 1998][29]。

4. 理論背景

4.1 有限元素理論

若要描述一物體受力情形時，通常可由質量不減、能量守恆與力平衡等方程式表示，並可從中求得理論解來進行分析。但當求解問題為幾何條件複雜、無解析解之物體時，則會利用數值方法求取近似解，有限元素法即為其中之一。

有限元素法之基本概念是將物體分割成有限數目之微小元素，求出各元素特性後加以整合，並配合邊界條件得到數值近似解。其中，代數方程式可以矩陣型式表示如下

$$[K]\{D\} = \{F\} \quad (4.1)$$

其中

[K]: 結構勁度矩陣

{D}: 結構位移向量

{F}: 結構負載向量

4.2 最佳化方法

常見的最佳化方法有四種，分別為拓撲 (Topology)、形貌 (Topography)、參數最佳化 (Size & Shape)。拓撲最佳化需先給予可設計空間，並在負載以及限制條件下得到最佳的材料分佈。形貌最佳化則是在結構設計區間中產生最佳的形狀分佈。在參數與形狀最佳化的部份，首先需定義設計變數並給予尺寸限制，在限制條件與目標函數的相互配合下，得到最佳的設計尺寸。

以甲板結構佈置而言，在甲板加強材高度數量增加的情況下，可承受強度相對增加；而變形相對減小，但一味增加加強材之數量以及高度，則可能因此增加不必要之重量或成本支出，因此，本文就甲板結構進行多參數之最佳化探討，其流程可參考(圖 4.1)。

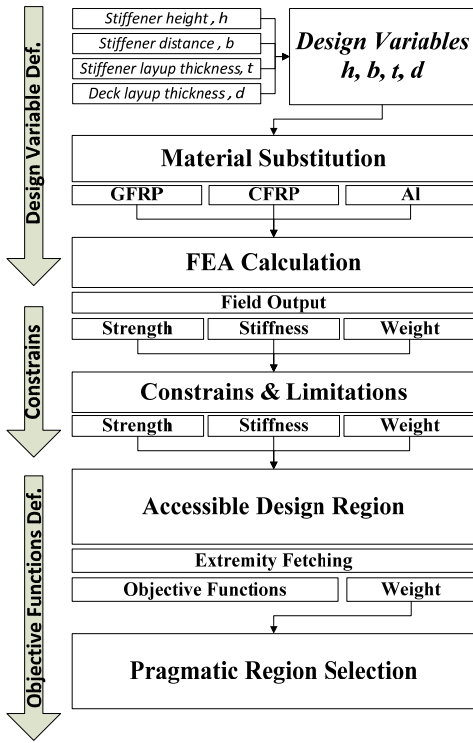


圖 4.1 參數最佳化流程

5. 甲板幾何設定與簡化模型驗證

5.1 幾何建立

甲板為重複性結構，每隔固定距離皆會配置加強材(stiffener)，而研究之甲板結構初始參數配置設定，即參考一 95 呎遊艇上甲板，如(圖 5.1)，紅色區域所示，其長度為 16000 mm，寬度為 7500 mm，於最佳化模型中僅探討重複性之結構，舷牆之效應則予以忽略減化，只建立單跨距對稱甲板模型，(圖 5.2)，以節省計算時間，且適用於各比例之遊艇甲板，以此為最佳化計算模型。

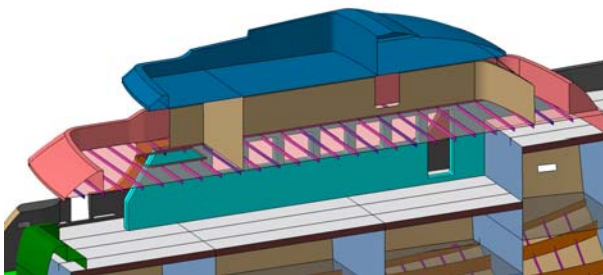


圖 5.1 95 呎遊艇上甲板

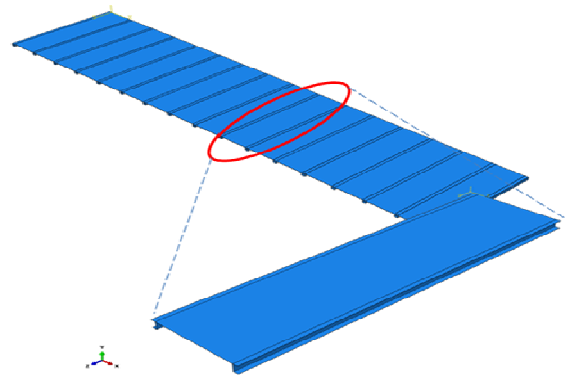


圖 5.2 甲板對稱模型

5.2 模型驗證

本研究欲以甲板對稱模型計算甲板結構受力、變形等狀態，並進行最佳化配置。為確認簡化模型與真實模型的差異性，與簡化的合理性，在進行最佳化計算前，將一為簡化之全域模型與簡化模型做比較，評估其於應力分佈、變形分佈等物理量上的趨勢相似度，做為初步的定性、定量上的驗證，如(圖 5.3)及(圖 5.4)

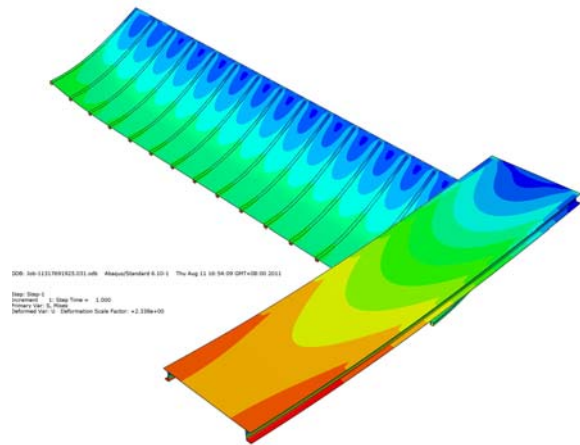


圖 5.3 甲板應力分佈趨勢比較

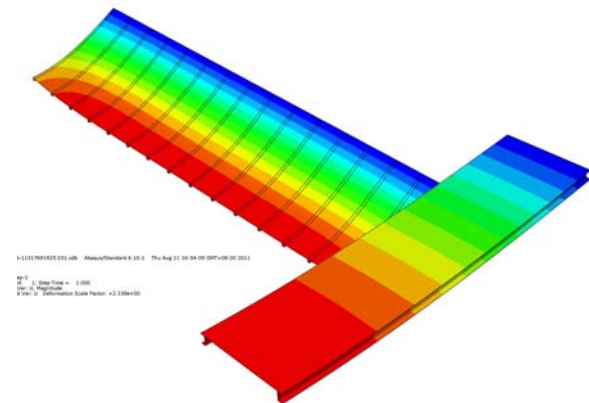


圖 5.4 甲板變形分佈趨勢比較

由圖上觀察可以得知，甲板變形量分佈的趨勢非常相近，其數值上最大偏差僅 0.4%；在應力分佈(圖 5.3)的部份，其趨勢相當，但數值上具一定之偏差，約為 8%，其原因為半對稱模型在兩側邊設定對稱邊界所致；由上述可知，雖應力具一定之偏差，但其分佈趨勢類似、變形量亦相當吻合，推估此模型之化簡方法確實可信。

6. 甲板結構最佳化

本研究以甲板三明治結構表材厚度、心材厚度、帽型樑高度、帽型樑疊層厚度、帽型樑間距(spacing)等五個參數為設計變數，以重量最輕為目標函數，討論在不同剛性、強度限制條件下，所得到的參數最佳化配置，並與原法規設計方法之佈置做比較，探討其優劣及輕量化效益。

6.1 數學模型建立

6.1.1 材料基本資料

於最佳化模型中，其三明治結構之表材選用碳纖維 3K 編織布，心材使用高溫泡棉(PVC80)，以材料固定的方式，進行幾何參數之最佳化，其材料常數如(表 6.1)。

表 6.1 表材心材材料常數

CFRP 3K 編織布						
E1	E2	E3	G12	G13	G23	ρ
(GPa)			(GPa)			Kg/m ³
50	50	9	2	1.25	1.25	1500
PVC80 發泡填充材						
E1	E2	E3	G12	G13	G23	ρ
(MPa)			(MPa)			Kg/m ³
67			31			80

6.1.2 幾何參數定義

甲板之幾何結構如(圖 6.1)所示，圖中參數則定義為本文最佳化之設計變數，分別為甲板三明治結構表材厚度 d_f 、心材厚度 d_c 、帽型樑疊層厚度 t_f 、高度 t_h 以及間距 t_s ，而其幾何限制分別如下(單位 mm)

$$1 \leq d_f \leq 17.5 \quad (6.2)$$

$$12.5 \leq d_c \leq 50 \quad (6.3)$$

$$1 \leq t_f \leq 60 \quad (6.4)$$

$$10 \leq t_h \leq 150 \quad (6.5)$$

$$500 \leq t_s \leq 2500 \quad (6.6)$$

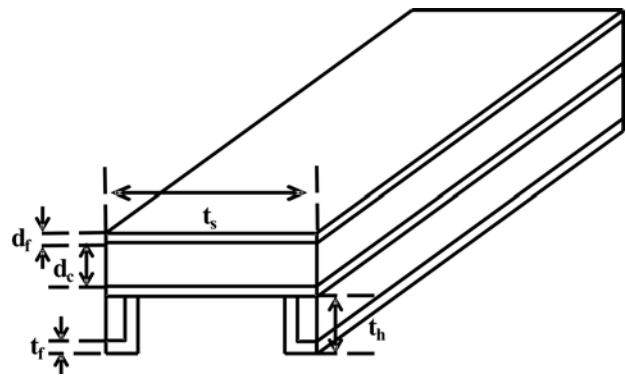


圖 6.1 甲板結構幾何參數

本文以重量最輕為設計的目標函數，但計算模型為對稱甲板，因此重量函數需考慮甲板總長度之影響，並可以下式表示

$$W(X) = (L \div t_f) \times w(x) \quad (6.7)$$

式中， $W(X)$ 為甲板總重， L 為甲板長度(本文取 16000mm)， $w(x)$ 為半對稱甲板重量。

限制條件主要是以結構安全性為考量，依 RINA 法規[30]所示，材料強度安全係數需達到下式之要求

$$SF = 2.2C_V C_F \quad (6.8)$$

其中， C_V 、 C_F 定義如下

$$C_V = \begin{cases} 1.2 & \text{for laminates} \\ 1.1 & \text{for sandwich core} \end{cases} \quad (6.9)$$

$$C_F = \begin{cases} 1.2 & \text{for prepreg or infusion} \\ 1.4 & \text{for hand layup} \\ 1.0 & \text{for sandwich core} \end{cases} \quad (6.10)$$

在剛性限制條件部份，則依據 DNV、BV 法規與 95 呎遊艇甲板設計，以甲板之最大跨距(span)百分比為剛性限制，其條件分別為

(a) 最大變形量為甲板跨距之 2%

(b) 最大變形量為甲板跨距之 1%

(c) 最大變形量為甲板跨距之 0.6%

(本文以 95 呎遊艇甲板為例，跨距取 7500mm)

6.2 最佳化分析

首先，考慮 RINA 法規強度限制與各個剛性限制條件(a、b、c)並固定間距(spacing, t_s)大小，以其他四個幾何參數(d_f d_c t_f t_h)為設計變數，單一重複性結構重量($w(x)$)最小為目標，進行多次的迭代計算，可以得到各固定間距、不同剛性限制條件(a、b、c)下之最佳參數配置，接著則利用(6.7)式計算甲板總重 $W(X)$ ，茲整理如下

表 6.2 剛性限制條件(a)跨距之 2%

間距 t_s (mm)	$w(x)$ (ton)	$W(X)$ (ton)
500	0.027	0.88
1000	0.048	0.776
1500	0.071	0.76
2000	0.097	0.778
2500	0.127	0.81
4000	0.247	0.987

表 6.3 剛性限制(b)跨距之 1%

間距 t_s (mm)	$w(x)$ (ton)	$W(X)$ (ton)
500	0.045	1.432
1000	0.081	1.298
1500	0.117	1.25
2000	0.155	1.242
2500	0.198	1.268
4000	0.355	1.419

表 6.4 剛性限制(c)跨距之 0.6%

間距 t_s (mm)	$w(x)$ (ton)	$W(X)$ (ton)
500	0.059	1.89
1000	0.107	1.71
1500	0.154	1.641
2000	0.203	1.623
2500	0.253	1.62
4000	0.461	1.85

其後依據(表 6.2 至表 6.4)繪製總重與間距

趨勢圖，以找出變間距下之最佳參數組合，各表格之趨勢如(圖 6.2)所示，橫軸為間距長度，縱軸為甲板重量，表示(a)、(b)、(c)三條件之結果，分別以綠色、紅色、藍色曲線表示。

為了使(表 6.2 至表 6.4)間距、總重關係之結果更為實用，茲導入一多項式之擬合方程式(fitting function)，只要選定間距(spacing)就可以預估甲板重量，其方程式如下

$$y = a + bx + cx^{0.5} \quad (6.2)$$

而(a)、(b)、(c)三個條件下擬合方程係數及表示擬合準確度的相關係數(regression correlation coefficient, r^2)分別為

(a) 最大變形量為甲板跨距之 2%

$$\begin{aligned} a &= 1.3737183 \\ b &= 3.965e-4 \\ c &= -3.11565e-2 \\ r^2 &= 0.996 \end{aligned}$$

(b) 最大變形量為甲板跨距之 1%

$$\begin{aligned} a &= 2.0550028 \\ b &= 4.376e-4 \\ c &= -3.77101e-2 \\ r^2 &= 0.999 \end{aligned}$$

(c) 最大變形量為甲板跨距之 0.6%

$$\begin{aligned} a &= 2.7805573 \\ b &= 6.018e-4 \\ c &= -5.29249e-2 \\ r^2 &= 0.992 \end{aligned}$$

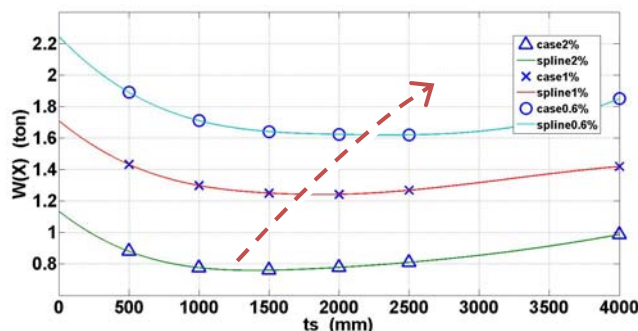


圖 6.2 變間距之重量變化趨勢曲線

在趨勢線之低點位置(重量最輕)，即為最佳間距與其它幾何參數之組合。於(a)剛性條件下，最佳間距長度為 1500mm，重量為 0.76 噸，(b)條件下，最佳間距長度增長至 2000mm，重量也往上提昇為 1.242 噸，於(c)條件下，間距則達到 2500mm 長，重量為 1.62 噸；可以得知，在剛性限制越趨嚴苛時，最佳間距長有增加之趨勢(圖中虛線箭頭)，而總重則明顯增加。

接著，與(c)條件之原始配置設計進行比較，各幾何參數與重量之結果如下表

表 6.5 各參數尺寸比較表(mm)

	t_s	d_f	d_c	t_f	t_h	$W(X)$
Orig.	600	5	25	30	100	2.78
Opt.	2500	2.84	50	42.34	150	1.62

由(表 6.5)得知，除表材厚度(d_f)減少外，其餘參數經過最佳化迭代計算，皆是增大之趨勢，而減重之效果相當顯著，從原始設計之 2.78 噸下降到僅 1.62 噸，減重效果達 41.7%；帽型樑強化材數目更是從原先之 25 支下降到僅需 6 支樑，完全顛覆了傳統設計中以增加強化樑數目為導向的設計思維。

在各參數的變化中，以間距(t_s)之增加最為明顯，增加為原始設計之 4.25 倍；心材厚度(d_f)、帽型樑高(t_h)、帽型樑疊層厚(t_f)則分別呈現 1.5 至 2 倍不等之增加

參數的變化趨勢，其背後隱藏的意義為設計策略的擬定與對於變形之分工抵抗；表材厚度降低、心材厚度增加後，抵抗變形之力臂、斷面二次矩都隨之增加，於強度、剛性上都有正向提升之幫助；此外表材、心材數十倍之密度差異，在一消一長之變化中，重量降低之趨勢更為顯而易見，也為一慣用之輕量化手法。

間距、樑高、樑疊層厚度間的變化也具相當意思，三者皆呈現增加的趨勢；間距的增加將導致剛性的下降與結構負載的增加，樑高與其疊層厚度的增加則彌補了其不足，然而，於傳統設計

思維中，甲板皆採用相當厚重之疊層設計，當剛性不足時，唯有藉著強化樑之增加來提升剛性，很明顯增加強化樑數目的手法，比增加整個甲板疊層厚度還來的划算。

但是，當甲板之疊層不再是那麼厚重，增加強化樑數目而增加的重量，很可能超過增加整個甲板疊層的重量，因而呈現降低強化樑數目的設計趨勢，此外，強化樑數目的降低也意味著構件數目的降低，除了因重量減輕而節省的材料成本外，也降低了施工複雜度與時間，可謂一舉多得。

在應力與變形分析中其參數最佳化後的結果分別如(圖 6.3)及(圖 6.4)。

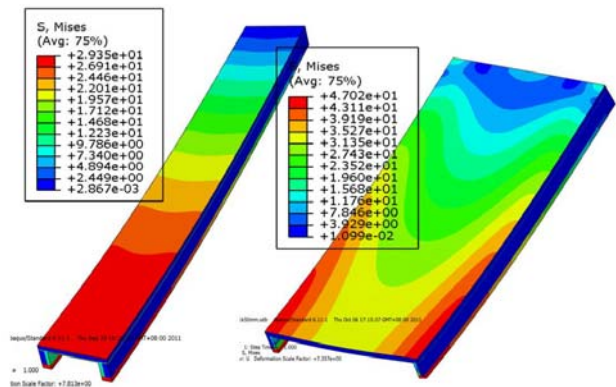


圖 6.3 應力分佈比較(左)原設計(右)最佳化

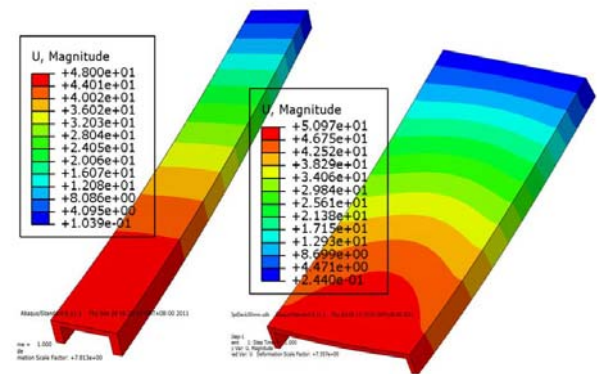


圖 6.4 位移分佈比較(左)原設計(右)最佳化

7. 結論與建議

本研究以一對稱甲板模型進行幾何參數最佳化設計，以重量最輕為目標，搜尋最佳之參數組合，與原始設計比較，其減重效益達 41.7%。就算不是在最佳間距下，其減重效益也至少有 30% 以上，證明了於設計中導入最佳化方法的絕對必要性。

傳統依靠解析方法的設計思維，僅能做到局部設計最佳，也是法規中將複雜幾何拆解成可解

析單元的方法，也的確存在著設計週期短的優勢，但是於非解析幾何，或是可解析幾何的組合問題，因無從評估不同構件間的耦合效應而顯得無從著力，就算是區域最佳解的組合，也甚難從中推估全域最佳解，而造成設計性能之低落。

最佳化方法於工程設計中已成為一必要之工具，更甚者，可靠度之加速壽命評估、工程統計、排程最佳化、製程參數等的導入，將更進一步擴充最佳化方法的應用層面與影響範圍，而提升產品的性能價值與利潤空間，於高度競爭的全球市場中，為公司不得不投資的重點項目。

8. 參考文獻

- [1] 鍾承憲、李雅榮、林輝政、林勁成、詹育禎, “船用先進複合材料靜態力學特性之探討,” 第十九屆中國造船暨輪機工程研討會暨國科會成果發表會 論文集, 2007.
- [2] Ever J. Barbero, "Finite Element Analysis of Composite Materials," Department of Mechanical and Aerospace Engineering in West Virginia University, USA, 2007.
- [3] 李雅榮、鍾承憲, "FRP 滑航快艇船底結構之耐波擊強度分析," 國立台灣大學造船及海洋工程研究所碩士論文, 1995.
- [4] Ojeda, R., B. G. Prusty and M. Salas, "Finite element investigation on the static response of a composite catamaran under slamming loads," Ocean Engineering 31, pp. 901-929, 2004.
- [5] 鍾承憲、陳建偉, "FRP 高速排水型超級遊艇之有限元素結構分析," 第二十屆中國造船暨輪機工程研討會暨國科會成果發表會 論文集, 2008.
- [6] Det Norske Veritas, "Rule for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft," 2004.
- [7] Holland, J.H., "Adaptation in Natural and Artificial System," University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich., 1975.
- [8] Spears, W. M. and De Jong, K. A., "An analysis of multi-point crossover. In Foundations of Genetic Algorithms," G. J. Rawlins (ed), San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 301-315, 1991.
- [9] Potter, M.A., and De Jong, K.A., "A Cooperative Co-evolutionary Approach to Function Optimization," The Third Parallel Problem Solving From Nature, Jerusalem, Israel, Springer-Verlag, pp.249-257, 1994.
- [10] Goldberg, D.E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," Addison-Wesley, Reading, 1989.
- [11] Hajela, P., "Genetic Search, An Approach to the Nonconvex Optimization Problem," AIAA Journal, Vol.28, No.7, pp. 1205-1210, 1990.
- [12] Jenkins, W.M., "Towards Structural Optimization via the Genetic Algorithms," Computers & Structures, Vol.40, No.5, pp.1321-1327, 1991.
- [13] Lin, C.Y., and Hajela, P., "Genetic Algorithms in Optimization Problems with Discrete and Integer Design Variables," Engineering Optimization, Vol.19, pp.309-327, 1992.
- [14] Coello, C.A.C., Rudnick, M., and Christiansen, A.D., "Using Genetic Algorithms for Optimal Design of Trusses," Proceedings of Sixth International Conference on Tools with Artificial Intelligence, IEEE, pp.88-94, 1994.
- [15] Shrestha, S.M., and Ghaboussi, J., "Evolution of Optimum Structural Shapes Using Genetic Algorithm," Journal of Structural Engineering, Vol.124, No.11, pp.1331-1338, November, 1998.
- [16] Shi, Y., Eberhart R., and Chen Y., "Implementation of Evolutionary Fuzzy Systems," IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.7, No.2, pp.109-119, April, 1999.
- [17] Back, T., "Self-Adaptation in Genetic Algorithms," Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 263-271, 1992.
- [18] Back, T., "The Interaction of Mutation Rate, Selection, and Self-Adaptation within a Genetic Algorithms," Proceedings of 2nd Conference on Parallel Problem Solving form Nature, Springer-Verlag, pp.85-94, 1992.
- [19] 王順德, "應用基因演算法於多層甲板結構物之最佳化設計," 2002.
- [20] 郭信川, "遺傳與單純形混合式演算法於船體結構最佳化問題之應用," 2007.
- [21] Potter, M.A., and De Jong, K.A., "A Cooperative Co-evolutionary Approach to Function Optimization," The Third Parallel Problem Solving From Nature, Jerusalem, Israel, Springer-Verlag, pp.249-257, 1994.
- [22] Eiben, A.E., Hinterding, R., and Michalewicz, Z., "Parameter Control in Evolutionary Algorithms," IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, Vol. 3, No. 2, pp.124-141, July, 1999.
- [23] Back, T., "The Interaction of Mutation Rate, Selection, and Self-Adaptation within a Genetic Algorithms," Proceedings of 2nd Conference on Parallel Problem Solving form Nature, Springer-Verlag, pp.85-94, 1992.
- [24] Back, T., and Schutz, M., "Intelligent mutation rate control in canonical genetic algorithms," In Foundations of Intelligent Systems (Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1079), Z. Ras and M. Michalewicz, Eds. New York: Springer-Verlag, pp.158-167, 1996.
- [25] Smith, J., and Fogarty, T.C., "Self Adaptation of Mutation Rates in a Steady State Genetic Algorithm," Proceedings of 3rd IEEE Conferences on Evolutionary Computation, pp.318-323, 1996.

16th ABAQUS Taiwan Users' Conference 2011

- [26] Srinivas, M., and Patnaik, L.M., "*Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms*," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.24, No.4, pp.656-667, April, 1994.
- [27] Venkateswaran, R., Obradović, Z. and Raghavendra, C.S. "*Cooperative Genetic Algorithm for Optimization Problems in Distributed Computer Systems*," Technical Report TR-EECS-93-018, School of EECS, Washington State University, pp.1-4, 1993.
- [28] Potter, M.A., and De Jong, K.A., "*A Cooperative Coevolutionary Approach to Function Optimization*," The Third Parallel Problem Solving From Nature, Jerusalem, Israel, Springer-Verlag, pp.249-257, 1994.
- [29] Cueva, V.D.L, and Ramos, F., "*Cooperative Genetic Algorithms: A New Approach to Solve the Path Planning Problem for Cooperative Robotic Manipulators sharing the same work space*," Proceeding of the 1998 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Victoria, B.C., Canada, pp.267-272, October, 1998.
- [30] "Rules for the Classification of Pleasure Yachts".