

離岸風機支撐結構設計之 高效分析技術發展

徐偉朝* 龔琬茜** 郭思伶** 夏瑄**

摘要

離岸風機支撐結構與傳統陸域結構工程設計之最大不同處在於須將多變之海氣象情境與各種風機運轉狀態納入設計條件，此需考量大量設計荷載情境，若無系統化程序與自動化工具，將需耗費大量設計時間。由於風場建置成本極高，開發商均規劃於最短時間內完工發電及營運。因此，結構設計需配合高效分析技術，方能在最短時間完成，以符合開發時程需求。中興工程顧問公司為此建立一套標準化分析流程與發展自動化電腦程式，可生成結構分析軟體所需之大量荷重情境輸入資料並執行分析，再擷取歷時分析成果進行後續計算。此工作模式可大幅減少歷時分析時間，提升工作效率，使設計者可將更多時間專注於結構最佳化設計。

關鍵字：離岸風機支撐結構、套筒桁架式基礎、自動化分析、結構最佳化設計

一、前言

能源局於民國 107 年 6 月計畫於民國 114 年前併網容量 5.5GW 之西部離岸風場開發案，離岸風電工程已成為臺灣當前工程技術重要發展目標之一。

離岸風電為臺灣之新興產業，國內土木工程師對離岸風機支撐結構分析與設計方法並不熟悉。目前全世界離岸風機支撐結構設計主要採用 DNVGL-ST-0126 標準，而設計環境載重則採用 DNVGL-ST-0437 標準。除此之外，還引用大量歐盟 (EU) 或國際標準組織 (ISO) 所制定之標準，此與國內工程界所熟悉之美國或日本標準有諸多不同。

風機支撐結構需考量極限狀態 (ULS)、疲勞極限狀態 (FLS)、意外極限狀態 (ALS) 及使用極限狀態 (SLS) 等四種情境 (DNVGL-ST-0126)。由於離岸風機支撐結構之主要構件多採銲接，而銲道缺陷為結構強度弱點，在壽齡期間長期承受風與波浪之反覆作用下，即可能發生疲勞破壞，因此疲勞設計為影響結構壽命之關鍵。依據國內鋼結構設計規範，建築結構之反覆週期低於 2 萬次者可不考量疲勞設計，僅需考量極限強度相關之設計情境。但離岸結構設計標準則要求考量壽齡期間所有荷載情境對結構造成之疲勞損傷，因此荷載情境可達數千、甚至上萬組，與一般陸上結構設計有極大差異，須耗費大量時間計算。

* 中興工程顧問公司電力及能源工程部計畫主任／博士

** 中興工程顧問公司電力及能源工程部工程師

藉由自動化處理，大幅減少重覆性人工操作，縮短分析時間為一重要課題。有鑑於此，本研究建立自動化外力輸入及疲勞設計高效分析流程，詳細說明如下。

二、離岸風機支撐結構設計概論

離岸風機支撐結構須由風機廠商及下部結構設計者協力完成，且需考量大量載重組合及不同限制狀態，為利讀者了解其設計方法，本節將針對離岸風機支撐結構設計流程及設計面臨之關鍵課題進行說明。

（一）離岸風機支撐結構設計流程

如前所述，離岸風機支撐結構須考量四種限制狀態，各限制狀態須分別考量不同的輸入外力載重及檢核條件，如表 1 所示。

表 1 各限制狀態輸入外力及檢核項目表

限制狀態	ULS	FLS	SLS	ALS
輸入外力	極端荷重	反覆載重	常時荷重	突發荷重
檢核項目	應力比 挫曲強度	疲勞 損傷值	變位 頻率檢核	變位 應力比

常見之風機支撐結構有單樁（Monopile）與套筒桁架（Jacket）等兩種形式。前者由於形式簡單，通常下部結構設計者推求土壤彈簧後，提供予風機廠商進行整體氣動彈性分析。後者形式複雜，通常以塔架和支撐結構介面為界，上部風機塔架結構由風機廠商進行氣動彈性分析，並將介面上之受力提供予下部結構設計者，下部支撐結構再依此介面力，加上波浪海流載重及土壤互制效應進行結構設計或修改，上下結構設計者迭次調整設計，直至分析與設計收斂，如圖 1 所示。

套筒桁架為目前臺灣離岸風場最主要之下部結構形式，且分析較單樁形式複雜。因此，本公司針對套筒桁架形式，發展支撐結構設計程序與技術，故本文內容針對套筒桁架下部結構進行分析說明。此工作模式亦可應用於單樁式之下部結構。

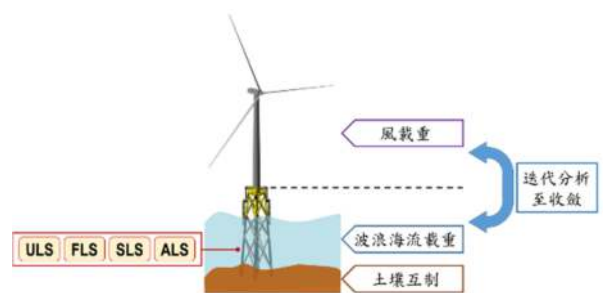


圖 1 風機廠商與下部結構設計整合分析流程

（二）關鍵課題

離岸風機支撐結構設計耗時之關鍵原因如下：

1. 大量載重組合

風機的操作運轉狀態大致可分為八種設計情況，分別為發電、發電加上發生故障、啟動、正常停機、緊急停機、停機（維持常態或空轉）、停機與故障狀況和運輸、安裝、保養及修理等（DNVGL-ST-0437）。若有其它延伸之設計情況，如溫度效應、地震、尾流影響…等，則須額外考量載重組合。各類設計情況又可再細分各種設計荷載情境（DLC），每種設計荷載情境尚須考慮風機轉向系統之誤差、各種風速、波高、週期、方向、風浪聯合機率分布及風浪方向錯位等組合條件。臺灣之環境條件，可排除海冰相關載重，因此疲勞設計須考量之載重情境如表 2 所示，成千上萬載重組合將耗費分析時間，難以採用人工建立輸入資料、執行分析、與整理輸出資料，故需建立有效率之自動化工具，縮短設計時間。

表 2 用於疲勞設計之荷載組合

DLC	風況條件	海況條件			
		波浪	風浪方向	海流	水位高程
1.2	NTM Vin<Vhub<Vout	NSS Hs, Tp, Vhub 聯合機率分布	MIS, MUL	無海流	NWLR 或 ≥MSL
2.4		NSS Hs=E[Hs Vhub]	COD, UNI		
3.1					
4.1					
6.4	EWM Vhub= Vin and Vout <Vhub< 0.7Vref	NSS Hs, Tp, Vhub 聯合機率分布	COD, MUL		
7.2	NTM Vhub=Vout				
8.3	EWM Vhub=V1	ESS Hs=Hs,1	COD, UNI	ECM U=U1	NWLR
8.4	NTM Vhub< 0.7Vref	NSS Hs, Tp, Vhub 聯合機率分布	COD, MUL	無海流	NWLR 或 ≥MSL
10.1	NWP Vin<Vhub<Vout	H=Hs (V)	COD, UNI	NCM	MSL
12.1	NTM Vin<Vhub<Vout				NWLR

(註：各條件縮寫名稱之說明詳見 DNVGL-ST-0437。)

2. 多次迭代運算

風機廠商提供風力載重與設計限制（如自然頻率、旋轉角）予下部結構設計者以完成設計，設計者將下部結構整體自由度之性質與外力（質量、勁度、阻尼及外力矩陣），濃縮至塔架與下部結構介面之自由度，即縮減為超單元（Superelement），提供予風機廠商作為設計輸入資料。風機廠商將超單元矩陣加載至上部結構分析模型內，進行氣動彈性分析，檢核結構頻率、強度等，分析完成後將其介面風力歷時載重提供予下部結構設計者，再將風力歷時與對應海況資料加載於下部結構進行檢核，若分析結果皆符合規範要求，則可視為設計完成。兩團隊須配合設計並整合，進行多次迭代分析，直至結果收斂，且單一迭代時間動輒以月為單位，故須建立一自動化程序，以減少分析時間。

3. 歷時分析

疲勞設計需考量壽齡期間所有荷載情境對結

構造成之損傷，且依 IEC 61400-3 標準，結構分析應進行至少 600 秒之歷時分析。而部分結構，如連接段等複雜結構需採用有限元素建立模型以準確分析結構行為，其自由度數量眾多，若採用直接歷時積分需耗費大量時間進行分析，故本研究採取結構簡化手段加速運算，並配合多套分析軟體之串聯整合，以達高效分析，細節說明如後。

三、加速運算策略

為提高計算效能，本研究針對套筒式桁架支撐結構之疲勞分析流程，建立一系列簡化對策，並開發多項自動化處理工具，其成果亦可應用於極端情境分析，提升工作效率。採取之策略如下：

（一）建立高效分析流程

圖 2 為本研究建立之疲勞分析流程，主要結構設計概分為連接段及桁架結構兩部分。連接段採 ABAQUS 搭配自撰程式進行分析，桁架結構則

以 SACS 搭配自撰程式進行分析。針對不同設計構件及分析步驟，導入各項開發工具。本研究採用 VBA、Matlab、Python 及 FORTRAN 2008 等程式語言，針對圖中具色彩之流程項目，開發對應的自動化處理工具，增進運算速度，其餘無色彩之項目牽涉幾何建立或僅為單次操作，無需自動化處理。

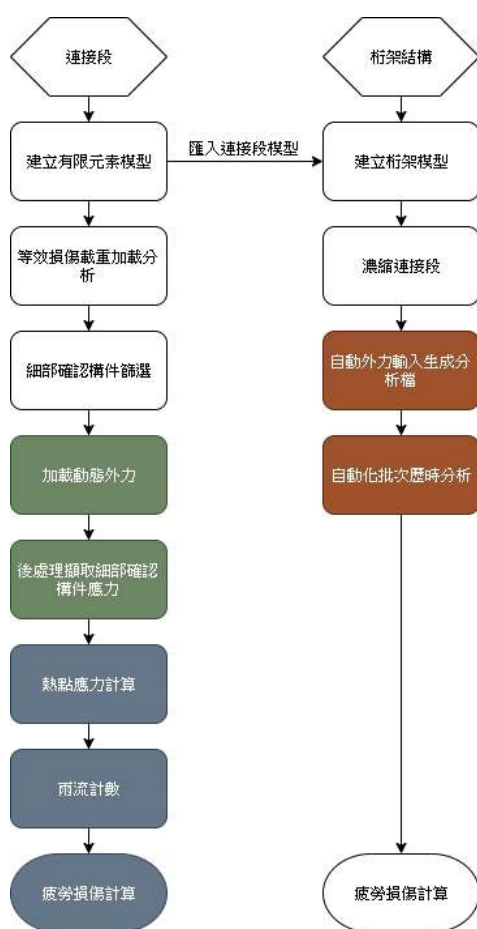


圖 2 疲勞分析流程

1. 套筒桁架分析

中興公司採用 SACS 軟體進行離岸結構設計，該軟體雖可分析板殼結構及桁架結構之強度，但對複雜幾何之板殼結構設計建模方式及操作性能不及一般有限元素軟體，因此輔以 ABAQUS 有限元素軟體建立模型進行分析，並配合自撰程式轉換為 SACS 板殼元素格式，即可提

供予 SACS 讀入連接段之有限元素模型。

然 SACS 以板殼有限元素進行歷時分析相當耗時，連接段元素數量可達數十萬。SACS 對如此龐大之有限元素計算效率不佳，且連接段形狀過於複雜，不宜以梁桿件簡化模擬，因此須採用靜態濃縮 (Static Condensation) 技巧將連接段轉為超單元 (Superelement) 勁度矩陣。即在 SACS 中將連接段模型簡化為超單元的形式 (如圖 3)，則能減少分析時間。後續導入本研究開發之自動化處理程式，則可生成 SACS 分析輸入，進行歷時分析，計算疲勞損傷。

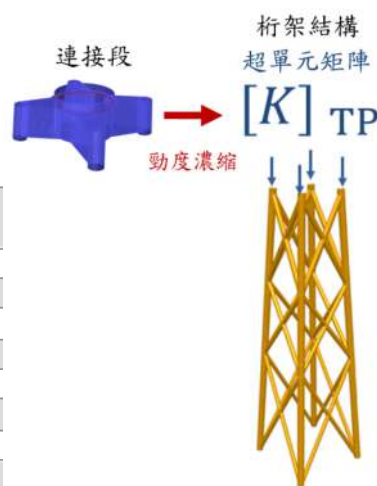


圖 3 連接段簡化為超單元後 SACS 模型示意圖

2. 連接段分析

採用 ABAQUS 有限元素分析軟體分析連接段之原因係受限於 SACS 在建立複雜幾何模型之劣勢，且結構具有開孔或附著次要構件，因此以有限元素模型模擬較為適宜。

分析策略上採取損傷等效載重評估 (詳本節 (四))，篩選應力集中構件設定為動態分析目標，再輔以自動化外力加載工具，加載動態外力進行歷時分析。分析結束後，導入後處理工具擷取細部部位元素歷時資料，進行雨流計數 (Rainflow Counting)，求得該處應力幅值及對應之發生次數，並計算該處疲勞損傷值。

(二) 連接段勁度濃縮

勁度濃縮係依據 Guyan reduction 理論，連接段僅保留 5 個節點，分別為連接下部桁架結構四根支撐腳之 4 個節點 NT01、NT02、NT03、NT04 及連接上部風機塔架之界面點 NT05，各節點之位置如圖 4，每個節點皆保留 6 個方向的自由度，生成之超單元為 30×30 的勁度矩陣。

由於靜態超單元僅含勁度矩陣及載重向量，故本研究以下述方式分配連接段之質量：連接段之一半質量加載於風機界面點（NT05），剩下質量則均分於連接基腳之節點（NT01~NT04）。為驗證靜態超單元於動態分析的適用性，研發過程曾比較含超單元連接段模型之結構及含板殼元素連接段模型之結構模態分析頻率值及歷時分析結果，兩者動態分析結果吻合，證明該質量分配方式可運用於超單元模型之動態分析，並能反映原板殼元素模型之結構行為。

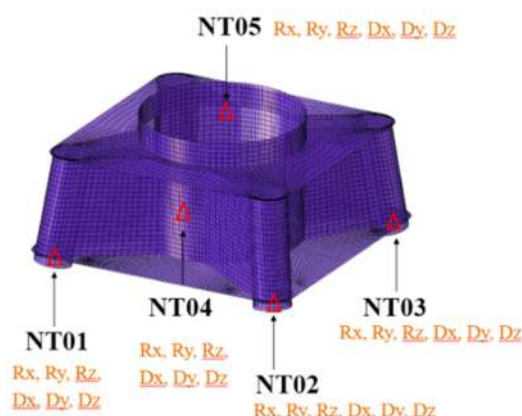


圖 4 連接段超單元保留自由度之節點

(三) SACS 載重組合自動生成工具

細部設計需考量大量載重情境，因此需透過程式自動化生成輸入載重組合，以處理大量分析資料。本研究利用 SACS 內建之整合分析程序「Wind Turbine Process」做為自動化分析工具，並開發自動化程式產生該分析程序所需之控制檔及各載重情境對應之環境參數輸入檔。

自動化處理程式係依據 DNVGL-ST-0437 中 Table 4-3 載重組合表定義之載重及場址條件撰寫，其明定相關環境參數及統計歸納標準，包含風、波及流況資料、潮位等海氣象條件及其他特殊條件，並搭配不同風機運行狀態及載重作用方向，以考量支撐結構所受之外力，定義出一套標準以檢核離岸風機及其支撐結構之安全性，本程式運作說明如圖 5 所示。

離岸風機結構設計程序之中，風機運行狀態以及風況條件由風機廠商處理，並將成果以介面力的形式傳遞給下部結構設計者進行後續設計；波、流況資料及潮位則由下部結構設計者訂定，設計者於自動化處理程式中勾選欲分析之載重組合，按下生成鍵，程式便依據設計者定義之環境參數，生成各載重組合分析輸入檔及資料夾，使用生成檔案，即可於 SACS 內模擬海況條件，並應用於 SACS Wind Turbine Process 模組分析。

Design Situation	DLC	Wind Condition	Marine Condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea Currents	Water Level	Other Conditions	Type of Analysis	Partial safety factor
Load case type	Case No.	Wind condition								
運行	1.1	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N 1.25	
運行	1.2	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	1.3	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	1.4	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	1.5	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	1.6	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	1.7	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	2.1	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	2.2	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	2.3	EOG B N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	2.3C2	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	2.4	NTM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	2.5	WTF A N	COD UNI NCM	MSL					U N N 1.2	
運行	3.1	WTF A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	3.2	EOG D N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	3.2C2	ETM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	3.3	EDC D N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	4.1	WTF A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	4.2	EOG D N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	4.2C2	ETM A N	COD UNI NCM	MSL					U N N	
運行	5.1	NTM D N	COD UNI NCM	MSL					U N N	

依據載重組合中考慮之風浪方向生成資料夾

生成SACS自動化操作指令檔

各載重組合資料夾

F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via00
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via030
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via060
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via090
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via120
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via150
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via180
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via210
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via240
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via270
F_Load case1_2_Wind_VWVout_Via300
LOAD CASE Function.slem
SacsFatigueCheck.txt

一個載重組合資料夾內含SACS分析input檔

Load case XXX
seainp.txt
wvrinp.txt

圖 5 自動化處理程式運作說明

(四) 以等效載重進行疲勞初步評估

在迭代分析過程中，風機供應商可將塔底的介面力以時間歷時、馬可夫矩陣和損傷等效載重等不同形式提供給下部結構設計者。初步設計階段，以等效載重進行整體結構之疲勞分析，可在有限時間內概估桁架結構尺寸，快速進入連接段設計，其後同步進行桁架結構及連接段尺寸最佳化設計。

採用 ABAQUS 建立連接段模型，元素數量眾多，且厚度改變、幾何變形、開孔、鉚接等皆可造成應力集中效應，導致須檢核元素之數量龐大。為確保運算速度，將連接段疲勞分析分為兩階段。

第一階段採用損傷等效載重進行初步篩選，加載外力後，計算不同方向等效力加載時模型的應力值，並設定應力刻度上限，超過部分即顯示為灰色，如圖 6 所示。分析完成後，將應力值超過容許之元素設成群組，進行第二階段評估。

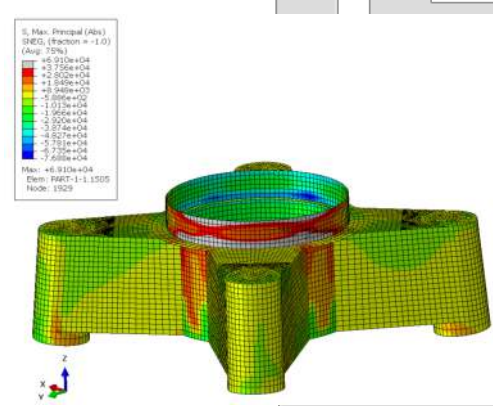


圖 6 篩選超過容許應力之元素

結束第一階段篩選評估並將細部部位設成群組後，即可將時間歷時介面力加載至模型進行分析。風機供應商提供多組時長為 600 秒之時間歷時介面力，此介面力已隱含波浪力加載於桁架系統時上部結構所受的影響，外力作用方向包含 6 個自由度，按不同的載重情境，將對應之歷時力施加於連接段頂部並進行分析。

(五) ABAQUS 自動化外力加載工具

連接段初步評估、篩選後，超過容許應力之元素須採用歷時分析進行細部評估。由於輸入風力載重組合數量眾多，以人工方式加載十分耗時，因此採用自撰程式於 ABAQUS 自動輸入外力並生成分析檔。

自撰程式運作方式如下所述，程式依據不同載重組合讀取對應之風機界面點 6 個自由度載重歷時，將其自動加載至分析模型，生成模型分析檔，接著採用批次處理，進行分析檔自動化運算，即可處理大量載重歷時加載及分析之工作，有效提升分析效率，自撰程式生成成果檔如圖 7 所示。



圖 7 生成成果檔

(六) ABAQUS 後處理工具

ABAQUS 輸出分析結果數量即為載重組合之數量，因此在後處理時，需擷取分析之檔案數量十分可觀。但其多為大量重複作業，因此藉由自動擷取後處理檔中指定群集之應力值，匯入疲勞檢核程式進行雨流計數，求得最終構件疲勞損傷。自動化輸出之應力成果檔如圖 8 所示，圖 9 為本公司自撰疲勞損傷計算程式執行畫面。



圖 8 生成後處理結果檔

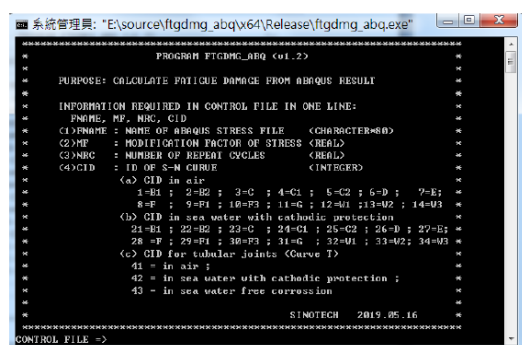


圖 9 損傷計算程式執行畫面

四、結構最佳化設計

整合上述高效分析流程，設計者可藉由將連接段結構勁度濃縮及等效載重評估等方式，以減少分析時間，並有更多時間投入結構最佳化設計。本研究以 48m 水深設計案例，配合 9.5MW 風機，進行自然頻率分析、極限限制狀態分析及疲勞限制狀態分析，並藉由改善下部基礎桁架結構之幾何及連接段之形狀，達到最佳化設計成果，以下展示結構最佳化過程及成效。

(一) 設計案例簡介

1. 材料性質

設計模型採用 S355ML 及 S420ML 之高強度碳鋼，其材料性質如表 3 所示。

表 3 鋼材標稱降伏強度及極限強度

標稱厚度 (mm)	$t \leq 16$		$16 < t \leq 40$		$40 < t \leq 63$		$63 < t \leq 80$		$80 < t \leq 100$	
S355 ML	355	470	345	470	335	450	325	440	325	440
S420 ML	420	520	400	520	390	500	380	480	370	470

2. 加載外力

海象設計參數主要有設計波浪與設計流速，極限限制狀態採用 50 年迴歸期之分析參數，疲勞

限制狀態則採用 1 年迴歸期之分析參數。加載風力為 9.5MW 風機之受力，加載位置位於介面點處，疲勞設計風載以靜態等效載重加載，極限設計風載則以極端靜態力加載。

3. 土壤參數

本案例採用臺灣海峽西部風場地質鑽探資料作為設計輸入參數，並分別考量土壤之上限值 (UB)、最佳估計值 (BE)、下限值 (LB)，以對應不同限制狀態之環境，如疲勞限制狀態採用最佳估計值之土壤參數、極限限制狀態則採用下限值之土壤參數。

(二) 最佳化設計

1. 桁架結構 (JACKET)

最佳化之目的在於減少材料與製造之成本，使結構能在各設計載重情況下有效率的發揮抵抗外力的能力。配合高效分析流程，不僅縮短分析時間，亦能提升優化次數進而提升最佳化品質。

桁架結構重量最佳化成果如表 4 所示，分為 A 版、B 版與 C 版，其中 A 版為最初版本，其結構頻率接近頻率區間上限，調整幅度較小；B 版為最佳化過程中版本，藉由縮小上部跨距，並將支撐腳於第三層 (-13m 處) 以下轉為直桿，降低結構頻率，則結構可做大幅修正。除了將原三層斜撐，改為四層斜撐，亦增加支撐腳底部漸變段長度，雖增加製造成本，但擁有較佳力學行為，可大幅減少構件尺寸。然該型式支撐腳頂部和底部疲勞損傷嚴重，故最後最佳化模型為 C 版；C 版調整斜撐高程位置，為配合斜撐尺寸限制，移除支撐腳中間轉折點，此疲勞損傷較低，可再大幅降低桿件尺寸，由表中可明顯看出最佳化後 C 版本桁架結構重量較原始 A 版減少 25%，基樁貫入深度也較最初 A 版本最佳化。因此，利用高效分析流程，可提升最佳化效率。

2. 連接段 (TP)

由於連接段形狀複雜，且執行最佳化設計須進行多次分析，以確認各構件之交互作用為何，因此利用高效分析流程及中興公司自撰程式，可大幅縮短分析時間，並進行多次結構最佳化分析，得最經濟之設計。

初步分析模型僅設計八片腹板，其最大板厚需採用 15cm 方能使整體分析結果符合設計容許值。礙於生產限制及考慮經濟效應，增加內加勁腹板（如圖 10 紫色部分），可有效均勻分散風力，並將最大板厚縮減至 9cm。此外，為增加結構抗扭強度，於上下頂板處增加環向加勁板。B 版連接段為經過初步最佳化之模型。

經由分析後之應力分佈結果，進行第二階段結構最佳化。削減低受力區域，除了可降低結構重量外，也可讓力量依據勁度改變其傳遞路徑，使其分佈較為均勻，傳遞更為順暢。

依據分析結果，對結構上應力集中區域之板殼進行局部加厚，而應力未集中區域則可降低板厚度。如圖 11 中，中心塔筒區減少下部板殼厚度；

或是腹板上蓋板局部加厚等。此外，將四處腹板高程提升與頸部齊平，可有效降低集中應力的發生。最終設計模型為 C 版模型。經過最佳化設計，連接段重量可由初始的 485 ton 降至 265 ton，有效節省材料，並得較經濟之設計結果。

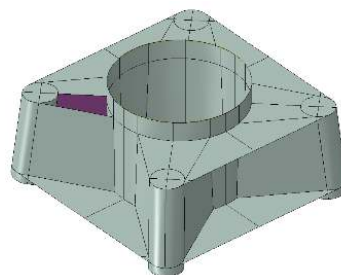


圖 10 增加腹板加勁板

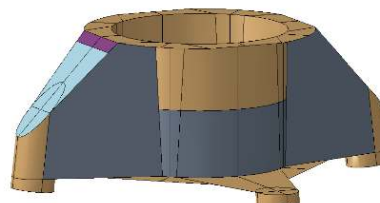
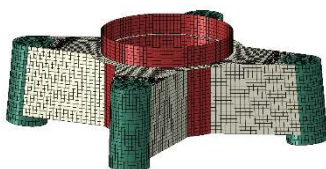
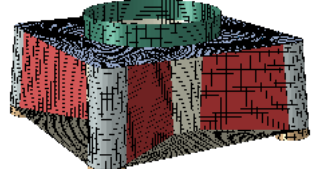
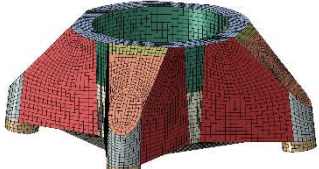


圖 11 改變結構局部厚度

表 4 桁架結構重量最佳化比較表

設計方案	A 版支撐結構		B 版支撐結構		C 版支撐結構	
結構第一彎曲模態頻率		0.260 Hz		0.230 Hz		0.241 Hz
上部跨距		10 m		9.5 m		9.5 m
下部跨距		18 m		18 m		20 m
支撐桁架結構重量 (不包含連接段)		約 1200 tonne		約 1100 tonne		約 900 tonne
基樁外徑		3.5 m		3.0 m		3.0 m
基樁貫入深度		約 80 m		約 65 m		約 65m
基樁深度控制行為		拉拔力控制		拉拔力控制		拉拔力控制

表 5 連接段重量最佳化比較表

設計方案	A 版連接段	B 版連接段	C 版連接段
幾何模型			
連接段重量	485 ton	347 ton	265 ton
最大版厚	15 cm	9 cm	9 cm
結構控制外力	疲勞控制	疲勞控制	疲勞控制

五、結 論

參考文獻

如何高效處理耗時的結構運算為離岸風電結構設計一大課題，本公司已發展下列離岸風電結構細部設計之技術：

1. 建立桁架結構及連接段標準化分析流程。
2. 串聯 SACS 及 ABAQUS 兩軟體間連接段模型。
3. 發展 SACS 載重組合自動化電腦程式。
4. 建立 ABAQUS 之輸出與自動執行功能。
5. 開發多項前處理及後處理輔助工具。

藉由上述分析程序與輔助設計工具，可節省時間成本，設計者可將更多時間專注於結構尺寸最佳化。

- DNVGL-ST-0126 (2016) Support Structures for Wind Turbines, DNV GL Standard, April 2016
- DNVGL-ST-0437 (2016) Loads and Site Conditions for Wind Turbines, DNV GL Standard, April 2016
- 內政部營建署 (2010) 鋼結構極限設計法規範及解說
- IEC 61400-3-1 (2019) Wind Energy Generation Systems, Part 3-1: Design Requirements for Fixed Offshore Wind Turbines, IEC Standard, 2019
- Robert Guyan (1965) Reduction of Stiffness and Mass Matrices, AIAA Journal, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 3 (2), pp.380. 10.2514/3.2874.hal-1711552
- DNVGL-RP-C203 (2016) Fatigue Design of Offshore Steel Structures, DNV GL Standard, April 2016

水利工程應用程式

公開發售

SEC-HY21 (二維泛用地表水分析軟體)

- a. 網格及地形建立等前處理介面、電腦繪圖及流場視覺化
- b. 定床水理模組
- c. 水中生物物理棲地分析模組

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02)8791-2198

E-MAIL: louise@sinotech.org.tw