



# 離岸風力發電

## 場址調查及設計技術規範

### （草案）說明會

111 年 7 月 19 日

政府帶動離岸風電技術發展，訂定我國本土技術規範乃不可或缺的工具。由經濟部標準檢驗局發起，包含場址調查與設計、製造與施工、運轉與維護，三部規範都在積極研議撰寫中。其中委託國立臺北科技大學召集的「場址調查及設計技術規範」，集合國內各學校與業界代表之專家學者，期間不斷與政府相關單位、設計單位、製造相關產業鏈以及國外開發商等研商討論，今年 7 月率先完成「離岸風力發電場址調查及設計技術規範（草案）」，並於 111 年 7 月 19 日舉辦公開說明會，向各界報告。說明會首先概述整本規範、再對場址調查、載重評估、風場評估、大地調查、地震危害度、土壤液化等分項說明；並介紹發電廠性能及安全要求、風機支撐結構與電力系統，以及設計專案驗證、最後是場址資料庫及設計要點與技術發展，簡報檔案已放置雲端可供瀏覽，敬請各界關注及批評指教。



北科大召集國內專家學者率先完成場址調查及設計技術規範（草案）



說明會現場 250 人場地座無虛席



## 場址調查及設計技術規範簡介

宋裕祺、林偉淞

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on the Technical Standards (Draft) for Site Investigation  
and Design of Offshore Wind Farms

### 場址調查及設計技術規範簡介

**宋裕祺 特聘教授**

國立臺北科技大學 土木工程系

**林偉淞 計畫副理**

國立臺北科技大學 離岸風電工程研究中心



離岸風電工程研究中心

經濟部標準檢驗局

TAIPEI TECH 國立臺北科技大學



- 01 團隊
- 02 編訂原則
- 03 規範簡介
- 04 結論





### 離岸風電工程 vs. 國家出資工程

技術規範撰寫 → 原則性規定

技術規範撰寫 → 詳細設計要求



### 技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



### 國際風電相關標準/規範

<b>國家標準(CNS)</b> CNS 15176-1 風力機 - 第1部: 設計要求 CNS 15176-3 風力機 - 第3部: 離岸風力機 設計要求	<b>歐洲規範</b> 挪威石油 標準化組織 石油學會 德國 BSH Standard Design of Offshore Wind Turbines Standard Ground Investigations 英國 皇家財產局 Requirements for providing survey data to The Crown Estate via the Marine Data Exchange 美國 Bureau of Ocean Energy Management Mesoscale Characterization Recommended Practices for US Offshore Wind Energy American Clean Power Association ACP-OCR-1 Offshore Compliance Recommended Practices 丹麥 Danish Energy Agency's Executive Order on a technical certification scheme for wind turbines, Executive Order No. 73 (BEK-73) 日本 國土交通省 海上風力發電設備に関する技術基準の統一の解説 中國 中華人民共和國國家標準 DL/T 5383 風力發電場設計技術規範
<b>國際電工協會 IEC</b> IEC 61400-1 Wind turbines - Design requirements IEC 61400-3-1 Design requirements for fixed offshore wind turbines	
<b>國際標準組織 ISO</b> ISO 19901 Specific requirements for offshore structures ISO 19902 Fixed steel offshore structures	
<b>挪威船級社(立恩威國際驗船公司)</b> ST-0126 Support structures for wind turbines ST-0437 Loads and site conditions for wind turbines	

### 技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說

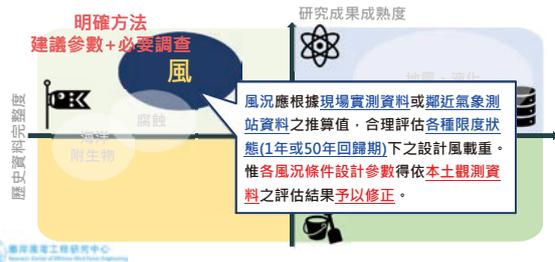


### 審查機制、本土議題與風險控管



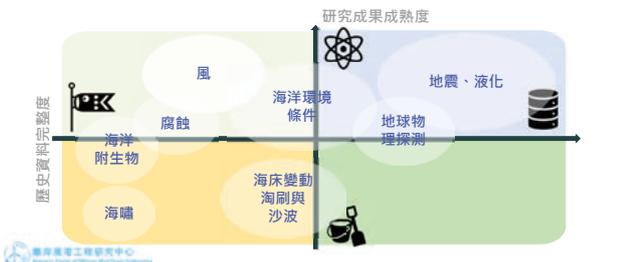
### 技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



### 技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



### 技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說



### 技術規範編訂原則 – 盤點台灣研究成果與歷史資料

對於台灣特有的本土議題，依據國內外工程經驗與工程技術的發展提出因應不同層面需求、合宜且具有彈性之定性/定量規定與解說

調查項目	探測方法	調查目的/重要事項
地質探測	震動探測 (CPT)	1. 探測海床地質構造與沉積層厚薄 2. 在沉積層探測中探測海底下深度20m內之層層
海床地形測量	多波束測深 (SBED)	1. 探測海床地形與沉積物 2. 探測海床地形與沉積物之變異
海底地質調查	震動探測 (CPT)	1. 探測海床地質構造與沉積層厚薄 2. 在沉積層探測中探測海底下深度20m內之層層
震動探測 (CPT)	震動探測 (CPT)	1. 探測海床地質構造與沉積層厚薄 2. 在沉積層探測中探測海底下深度20m內之層層
震動探測 (CPT)	震動探測 (CPT)	1. 探測海床地質構造與沉積層厚薄 2. 在沉積層探測中探測海底下深度20m內之層層

建議方法  
明確量化參數

### 國際離岸風電標準 – 本技術規範之定位

- 台灣規範: 本技術規範
  - 統整國內外提供完整設計執行指引
  - 納入在地應有特殊考量。
- 風電標準: IEC61400-1, CNS15176-1, IEC61400-3-1, CNS15176-3
  - 離岸風電最上位技術要求。
  - 國際標準均依此發展而成。
- 設計規範: ISO, API, EN Code, NORSOK...
  - 傳統 Oil & Gas 設計規範
- 第三方認證: DNV-ST 系列, ABS 系列...
  - 條文以適用國際為目標

### 目錄 CONTENTS

- 01 團隊
- 02 編訂原則
- 03 規範簡介
- 04 結論

### 離岸風電標準編撰方式 – 德國海事局(BSH)

3.2.3 Support structure without foundation elements  
3.2.3.2 Technical codes of practice

Technical codes of practice listed below (not a complete list) shall be used as the basis, taking the current version in each case. When using the structural design codes, the risks deviating from those of normal building structures are allowed to be considered to an appropriate extent. Deviations shall be indicated separately and justified. Final approval of the BSH for deviations is required; the BSH may engage the services of a suitable assessor for this purpose.

Standards and directives governing offshore wind turbines (effects):

- [3] DIN 1055-4: 2005-03,
- [4] IEC 61400-3,
- [5] API RP 2A-LRFD,
- [6] GL Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines, DNV-OS-J101,
- [7] DNV-OS-J101.

Structural design codes:

- [8] DIN 18800-1 to -4,
- [9] DIN EN 1993-1-2:2006-10 (Eurocode 3),
- [10] DIN 1045,
- [11] DIN EN 1992-1-1:2005-10 (Eurocode 2),
- [12] DIN EN 206-01: 2001 -07.

BSH 將國際普遍熟知的離岸風電相關規範(IEC、DNV、GL)與DIN 或DIN EN 並列，以補充此些德國規範應用在離岸風電領域所欠缺的內容。

### 國際離岸風電標準 – 國際電工協會(IEC)

IEC提供最低限度之設計要求，而非完整設計規範或指引手冊。

This part of IEC 61400 outlines the minimum design requirements for fixed offshore wind turbines and is not intended for use as a complete design specification or instruction manual.

INTRODUCTION

This part of IEC 61400 outlines the minimum design requirements for fixed offshore wind turbines and is not intended for use as a complete design specification or instruction manual.

Several different parties may be responsible for undertaking the various elements of the design, manufacture, assembly, installation, erection, commissioning, operation and maintenance of an offshore wind turbine and for ensuring that the requirements of this document are met. The division of responsibility between these parties is a contractual matter and is outside the scope of this document.

Any of the requirements of this document may be altered if it can be suitably demonstrated that the safety of the system is not compromised. Compliance with this document does not relieve any person, organization, or corporation from the responsibility of observing other applicable regulations.

IEC建議設計可參考ISO，然而ISO非直接適用離岸風電。

### 離岸風電標準編撰方式 – 美國潔淨電力協會(ACP)

5.6 Offshore Wind Turbine Design  
5.6.3 Structural Design

The design of the offshore wind turbine shall be in conformance with IEC 61400-3-1. System and component resistances shall be determined according to IEC 61400-1 and the ISO 19900 suite of standards, API RP 2A-LRFD and associated standards, or other recognized offshore structural and geotechnical design standards. Guidance specific to offshore wind turbine structural design is also available in DNVGL-ST-0126 and the ABS BOWT guide.

The safety level inherent in the normal safety class for wind turbines defined in IEC 61400-1 can be considered to comply with the API RP 2A-LRFD or API RP 2A-WSD exposure category L-2. This is considered to correspond to a normal safety level in DNVGL-ST-0126.

It might be necessary to use a combination of standards. In such cases, the designer shall demonstrate that the intended safety level is achieved. The IEC 61400 series of standards define a LRFD approach. Particular care shall be taken when mixing LRFD and WSD/ASD standards, which is generally not recommended. The selected standards shall be included in the design basis and shall not be in conflict with U.S. regulations.

APC 將國際普遍熟知的離岸風電相關規範(IEC、DNV、ABS)與 API 並列，以補充此些美國規範應用在離岸風電領域所欠缺的內容。

### 國際離岸風電標準 – 技術規範 vs. 第三方認證標準

第三方認證規範，雖統整各層級國際標準之要求，但非以提供完整設計執行指引與在地特殊考量為目標。

- 風電標準: IEC61400-1, CNS15176-1, IEC61400-3-1, CNS15176-3
  - 離岸風電最上位技術要求。
  - 國際標準均依此發展而成。
- 設計規範: ISO, API, EN Code, NORSOK...
  - 傳統 Oil & Gas 設計規範
- 第三方認證: DNV-ST 系列, ABS 系列...
  - 條文以適用國際為目標

### 離岸風電標準編撰方式 – 本技術規範之說明

離岸風力發電廠於其全生命週期內應符合預期的性能及安全等目標所需之工程技術要求。

解說：

離岸風力發電廠性能及安全要求分為5項，彙整如表3.1-1與第3.2節至第3.6節所述內容。相關規定主要是參考國際標準 (ISO 19902、IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6及IEC 60228等)、中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3等)、API標準 (API-RP 2A-LRFD)、NORSOK標準 (NORSOK N-004)、EN Code標準 (EN 1993)、ABS標準 (ABS BOWT指引)、DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360及DNV-ST-0437等) 以及國內相關標準。

考量風電開發商可能來自歐洲或美洲，只要遵照各國設計規範編撰之設計原則，其設計成果均具備符合工程需求的信賴度指標(Reliability Index)，雖然各規範所具備的信賴度指標可能不盡相同，但均須足以保有設計成果之結構安全性與使用機能。

### 結構設計標準之選用 - 本規範之說明

離岸風力發電廠於其全生命週期內應符合預期的性能及安全等目標所需之工程技術要求。

解說：

離岸風力發電廠性能及安全要求分類為5項，彙整如表3.1-1與第3.2節至第3.6節所述內容。相關規定主要是參考國際標準 (ISO 19902、IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6及IEC 60228等)、中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3等)、API標準 (API-RP 2A-LRFD)、NORSOK標準 (NORSOK N-004)、EN Code標準 (EN 1993)、ABS標準 (ABS BOWT指引)、DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360及DNV-ST-0437等) 以及國內相關標準。

為避免增加開發商必須詳讀了解國內既有相關設計規範之困擾，目前離岸風電場址調查與設計規範 允許開發商採用國際通用的結構設計規範，而非全面強制納入國內既有規範之要求，係考量全世界離岸風電工程建設現況，所採取務實且包容的作法。



### 場址調查與設計技術規範(草案)

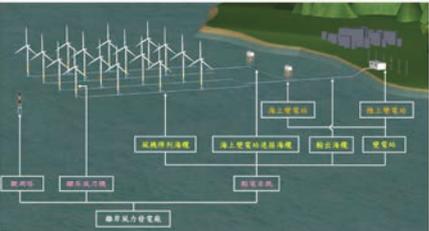
Table of contents for the draft site investigation and design technical specifications, listing chapters from 1 to 5 and their sub-sections.

附錄一、浮動式離岸風力機設計技術規範  
附錄二、變電站設計技術規範



### 離岸風力發電廠 - 場址調查與設計技術規範

為確保離岸風力發電廠於其全生命週期內具備預期的安全需求、使用性能與服務水準，特訂定離岸風力發電廠場址調查及設計技術規範 (以下簡稱本規範)。



### 浮動式離岸風力機設計技術規範 (附錄一)

Table of contents for the draft floating offshore wind turbine design technical specifications, listing sections A1 through A12.

審議中  
附錄不具法律強制性，  
不影響第三階段區隔開發授權

考量發展中型式多元，採同IEC61400-3-2原則性規定為主。



### 離岸風力發電廠 - 場址調查與設計技術規範

為確保離岸風力發電廠於其全生命週期內具備預期的安全需求、使用性能與服務水準，特訂定離岸風力發電廠場址調查及設計技術規範 (以下簡稱本規範)。

#### 安全需求：

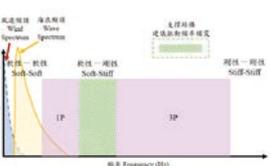
- (1) 離岸風力機結構共振評估
- (2) 轉子機艙總成 (RNA)
- (3) 離岸風力機支撐結構
- (4) 海上變電站結構
- (5) 海纜

#### 使用性能：

- (1) 維持離岸風力發電廠之發電效率與電力負載穩定。
- (2) 維持離岸風力機轉子控制與安全系統之穩定運作。
- (3) 離岸風力機維護管理策略須符合服務水準。

#### 服務水準：

- (1) 維持離岸風力發電廠之發電效率與電力負載穩定。
- (2) 維持離岸風力機轉子控制與安全系統之穩定運作。
- (3) 離岸風力機維護管理策略須符合服務水準。



### 變電站設計技術規範 (附錄二)

Table of contents for the draft substation design technical specifications, listing sections B1 through B12.

審議中  
附錄不具法律強制性，  
不影響第三階段區隔開發授權

陸上變電站同既有法令要求，海上變電站以安全及功能規定為主。



### 適用範圍與要求 - 場址調查與設計技術規範

#### 離岸風力機：

至少20年設計年限。

#### 適用之風力機支撐結構包含：

單樁式及套筒式支撐結構。

#### 風機轉子機艙總成及塔架：

整體安全需求、使用性能與服務水準須符合本規範規定。

#### 電業設備、電力輸配供網、附屬電氣及通信電纜等：

應遵循國內電業設備相關法令辦理。

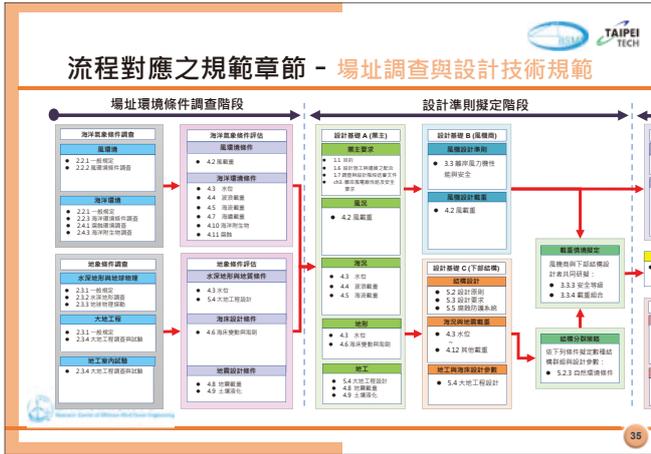
#### 如採用其他型式：

應就其特殊性另作考量，但須在設計文件中載明其設計依據。



### 場址調查與設計流程 - 場址調查與設計技術規範





**目錄**  
CONTENTS

- 01 團隊
- 02 編訂原則
- 03 規範簡介
- 04 結論



43

**技術規範與各界關係人之益處**

章節：第一章  
內容：場址調查與設計技術規範-總則

<p><b>開發商</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>風電開發商無論來自歐洲或美洲，只要遵照本規範揭曉之設計原則，其設計成果均具備符合工程需求的信賴度指標(Reliability Index)，以開放態度，接軌國際風電設計技術。</li> </ul>	<p><b>政府(驗證審查)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>明確各設計文件於技師簽證、驗證單位與驗證審查單位等，三方的權責關聯性，俾利參考。</li> </ul>	<p><b>設計者</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>明確宣示離岸風電廠的各個各個設計項目之性能目標，俾利各方遵循。</li> <li>強化設計、施工與運維間彼此配合關係，俾利設計階段得以合宜考量與決策。</li> </ul>
<p><b>風機製造商</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>尊重風機商其專業主責與產品商業競爭機密，惟離岸風力機整體系統之性能及安全需符合本規範之規定。</li> </ul>	<p><b>第三方驗證單位</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>明確各設計文件於技師簽證、驗證單位與驗證審查單位等，三方的權責關聯性，俾利參考。</li> </ul>	

45

**結論**

- 與各國制定原則相同，本規範非所謂自創國際第三套標準。
- 充分理解私人風場開發工程特性，本規範條文採原則性之規定。
- 依國內外經驗與技術發展情況，台灣特有議題採具有彈性之定性/定量規定與解說。
- 考量全世界離岸風電工程建設現況，本規範係採取之務實且包容的作法，允許開發商採用國際通用的結構設計規範。
- 專業技師(PE)與專案驗證(PC)兩者角色不同，並非疊床架屋。

44

**簡報結束 敬請指教**

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

**簡報結束**



**離岸風場之場址調查與載重評估**

吳淑珍

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

**離岸風場之場址調查與載重評估**

主講人：吳淑珍 副理  
台灣世曦工程顧問股份有限公司  
CECI 台灣世曦工程顧問股份有限公司  
CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan



經濟部標準檢驗局 TAIPEI 國立臺灣科技大學

**負責項目**  
章節 第四章 離岸風力發電廠場址環境條件評估

**內容**

- 風環境條件與海洋環境條件數據之統計宜有10年以上資料，用於極值分析之統計則宜有30年以上資料。若特定場址之數據樣本數量或觀測時間長度不足，可利用經與觀測資料驗證後之數值模擬(後報)結果取代之。

<p><b>開發商</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保風場發電營運之穩定性</li> </ul>	<p><b>設計者</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保載重評估符合本土需求及安全性</li> </ul>
<p><b>風機製造商</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保風力機轉符合本土需求及安全性</li> </ul>	<p><b>第三方驗證單位</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保驗證內容之安全性</li> </ul>
<p><b>政府(驗證審查)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保載重評估符合本土需求及安全性</li> </ul>	

若使用特定場址之觀測資料進行分析前，應選擇與鄰近特定場址(一般為50公里範圍內)及外在條件(觀測位置之水深、地形、風域等)近似之觀測站的觀測資料進行比對，必要時亦可採用數值模擬，以估算或比對特定場址之海洋氣象統計資料。

3

**負責項目**  
章節 第二章 離岸風力發電廠場址環境條件調查

**內容**

- 基本設計及細部設計等階段之需求
- 腐蝕環境及海生物附着等調查，如場址無法實際取樣調查時，得參考相關學理、文獻或國際標準，合理推估設計所需之參數
- 特殊環境條件，應檢討調查內容是否符合工程需求

<p><b>政府(驗證審查)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保場址開發基本安全需求</li> </ul>	<p><b>設計者</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保設計參數取得有所依據</li> </ul>
<p><b>開發商</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>掌握風場開發之風險，有利財務控管</li> </ul>	<p><b>第三方驗證單位</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保驗證所需之基本參數來源</li> </ul>
<p><b>風機製造商</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確保風力機型式適用於台灣海洋環境</li> </ul>	

2

**目錄**  
CONTENTS

- 01 場址調查與載重評估編訂依據
- 02 規範章節架構
- 03 載重評估
- 04 場址環境條件調查
- 05 特定場址環境條件資料提送



CECI 台灣世曦工程顧問股份有限公司  
CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

4

# 1. 場址調查與載重評估編訂依據

## ■ 場址調查參考規範

- 內政部「水深測量作業規範」
- 離岸風力發電示範獎勵辦法
- CNS 15176-12-1
- IEC 61400-12-1
- MEASNET
- ISO 19901-8
- DNV Classification Notes No. 30.4
- NIEA E701.20C, NIEA E103.20C, NIEA E104.20C, NIEA E 505.50C

## ■ 載重評估參考規範

- CNS 15176-1
- IEC 61400-1
- IEC 61400-3-1
- ISO 19901-1
- API RP 2A, 22nd Edition
- DNV-ST-0437
- 洋上風力發電設備に関する統一の解説

5

# 水位

Water level : mean water level in conjunction with tidal water and a wind- and pressure induced storm surge.



## ■ 正常水位範圍 (NWLRL)

- 正常海況(NSS)
- 嚴苛海況(SSS)
- 極端海況(ESS)

## ■ 極端水位範圍 (EWLRL)

- 極端海況(ESS)



8

# 2. 規範章節架構

## 第二章 離岸風力發電廠場址環境條件調查

- 2.1 通則
- 2.2 風環境條件與海洋環境條件調查
  - 2.2.1 一般規定
  - 2.2.2 風環境條件調查
  - 2.2.3 海洋環境條件調查
- 2.3 水深地形與大地工程調查
  - 2.3.1 一般規定
  - 2.3.2 水深地形調查
  - 2.3.3 地球物理探勘
  - 2.3.4 大地工程調查與試驗
- 2.4 其他環境條件調查
  - 2.4.1 腐蝕環境調查
  - 2.4.2 雷擊調查
  - 2.4.3 海洋附生物調查
- 2.5 特定場址環境條件資料提送
  - 2.5.1 一般規定
  - 2.5.2 風環境條件與海洋環境條件調查資料提送
  - 2.5.3 水深地形及大地工程調查與試驗資料提送
  - 2.5.4 其他環境條件調查資料提送

## 第四章 離岸風力發電廠場址環境條件評估

- 4.1 通則
- 4.2 風載重
- 4.3 水位
- 4.4 波浪載重
- 4.5 海流載重
- 4.6 海床變動與淘刷
- 4.7 海嘯載重
- 4.8 地震載重
- 4.9 土壤液化
- 4.10 海洋附生物
- 4.11 腐蝕
- 4.12 其他載重

6

# 波浪



10

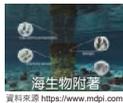
# 3. 載重

## ■ 載重

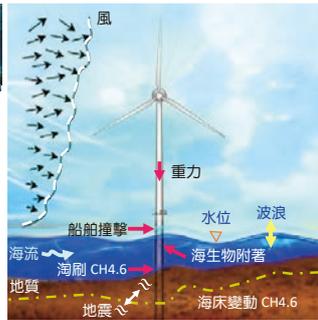
- 轉子-機艙動力
- 風力 CH 4.2
- 水位 CH 4.3
- 波浪 CH 4.4
- 海流 CH 4.5
- 海嘯 CH 4.7
- 地震 CH 4.8
- 海洋附生物 CH 4.10
- 船撞 CH 4.12
- 附加質量、重力、浮力

## ■ 回歸期

- 環境載重: 1年, 50年, 500年
- 地震: 95年, 475年



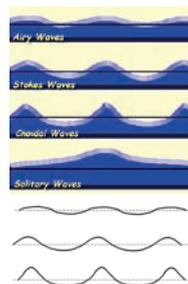
海生物附著  
資料來源: https://www.mpi.com



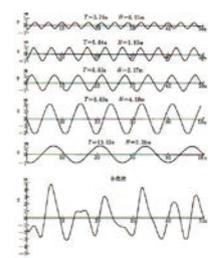
7

# 規則波與不規則波

- 線性波
- 非線性波



## ■ 不規則波為規則波之線性疊加



11

# 海況

海況: 波浪、海流、水位、風與浪的方向

## ■ 正常海況(NSS)

- DLC 1-8
- 風機運轉風速下的海況, 除DLC 6.4外
- 風機運轉風速下的極端風況, ETM、ECD、EWS、EOG、EDC
- 疲勞載重: 軸殼高度處之平均風速  $V_{hub}$ 、示性波高  $H_s$ 、波譜尖峰週期  $T_p$  之長期聯合機率分布

## ■ 嚴苛海況(SSS)

- 發電狀態下, DLC 1.6
- 與正常風況NTM相關連
- $H_s$  &  $V_{hub}$  載重效應為50年回歸期

## ■ 極端海況(ESS)

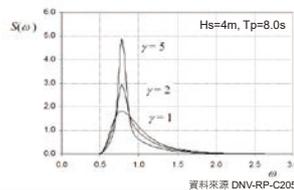
- 待機, 待機與故障, 運輸、安裝、維護及修理, DLC 6-8
- 1年回歸期
- 50年回歸期

8

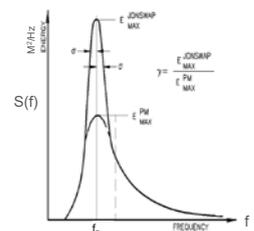
# 波譜

## ■ Wave spectrum

- JONSWAP wave energy spectra (Hasselmann, et al., 1973)  
峽灣或有局限區之非充分成長的海域狀態
- P-M wave energy spectra Pierson and Moskowitz, 1964  
北大西洋開闊海域之觀測



資料來源: DNV-RP-C205



12

### 波譜

#### JONSWAP spectrum

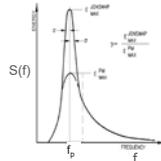
$$S(f) = \frac{a g^2}{(2\pi)^4} f^{-5} e^{-\left(\frac{f}{f_p}\right)^4} \left(1 + \frac{b}{c} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-1} + \frac{d}{c} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-2}\right)$$

peak-enhancement factor

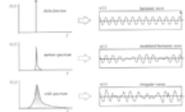
$$\gamma = \begin{cases} 5 & \text{for } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \\ e^{1.5(1.15 - \frac{T_p}{\sqrt{H_s}})} & \text{for } 3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 5 \\ 1 & \text{for } 5 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \end{cases}$$

$$T_p = T_p \sqrt{\frac{5 + \gamma}{11 + \gamma}}$$

fp= 1/Tp  
Tp= peak period  
Tz= zero-upcrossing period  
a= 0.07 for f ≤ fp  
= 0.09 for f > fp



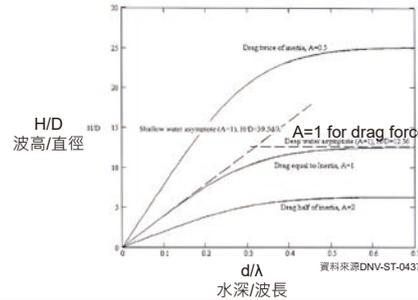
Frequency domain transfers to time domain



13

### 慣性力與拖曳力之相對大小

- Assume linear wave theory
- Cylinders with D < 0.2 λ



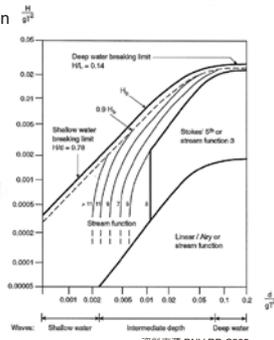
17

### 波浪理論

- To find wave particle velocity and acceleration
- Airy wave theory for small amplitude wave in deep water
- Stokes wave theory for high waves
- Stream function applied over broad range of water depth

$$\Psi(x, z) = cz + \sum_{n=1}^{\infty} X(n) \sinh nk(z+d) \cos nkx$$

water depth, d  
wave height, H  
wave period, T



14

### 單柱的線性波浪力

Airy wave

$$F_H = \int_0^{d+\eta} \frac{1}{2} C_D \rho D u_x |u_x| dz + \int_0^{d+\eta} C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial u_x}{\partial t} dz$$

$$\eta = a \cos(kx - \omega t) \quad \text{wave crest}$$

$$u_x = \frac{\pi H}{T} \frac{\text{ch}k(z+d)}{\text{sh}kd} \cos(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\text{ch}k(z+d)}{\text{sh}kd} \sin(kx - \omega t)$$

柱底水平波浪力

$$F_H = C_D \frac{\gamma D H^2}{2} K_1' \cos 0 |\cos 0| + C_M \frac{\gamma \pi D^3 H}{8} K_2' \sin 0$$

最大總水平拖曳力 F<sub>Hmax</sub>      最大總水平慣性力 F<sub>HImax</sub>

柱底波浪力矩

$$M_H = C_D \frac{\gamma D H^2 L}{2\pi} K_1' \cos 0 |\cos 0| + C_M \frac{\gamma D^2 H L}{16} K_2' \sin 0$$

最大總水平拖曳力矩 M<sub>Hmax</sub>      最大總水平慣性力矩 M<sub>HImax</sub>

18

### 波浪載重

#### D < 0.2L

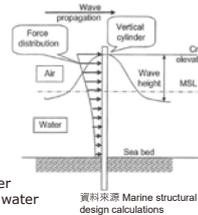
#### Morison equation

$$F = F_D + F_I, \quad D < 0.2L$$

拖曳力  $F_D = C_D (\rho A) V^2/2$

慣性力  $F_I = C_M (\rho D^2/4) a$

- C<sub>D</sub> drag coefficient
- C<sub>M</sub> inertia coefficient
- D diameter of the cylinder
- ρ density of water
- V horizontal wave-induced velocity of water
- a horizontal wave-induced acceleration of water
- L wave length



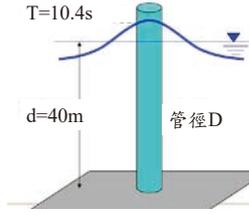
資料來源 Marine structural design calculations

#### D > 0.2L

#### Sink-source Method or Finite element method

15

### 波浪力與波高、桿件尺寸



condition	管徑1m	
波高 H	1m	2m
F <sub>max</sub> (t)	0.7	1.5
M <sub>max</sub> (t-m)	17.4	34.9
condition	波高1m	
管徑 D	1m	6m
F <sub>max</sub> (t)	0.7	26.8
M <sub>max</sub> (t-m)	17.4	627.8

19

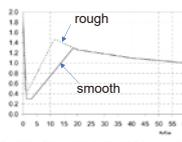
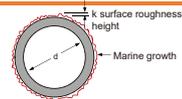
### C<sub>D</sub> & C<sub>M</sub>

- Renolds number,  $Re = u_{max} D / \nu$
- Keulegan-Carpenter number,  $KC = u_{max} T / D$
- Relative roughness k
- ULS & FLS

$$C_D = C_{DS} * \psi(C_{DS}, KC)$$

$$C_{DS} = \begin{cases} 0.65 & \text{for } k/D < 10^{-4} \text{ (smooth)} \\ 29 + 4 \log_{10}(k/D) & \text{for } 10^{-4} < k/D < 10^{-2} \\ 1.05 & \text{for } k/D > 10^{-2} \text{ (rough)} \end{cases}$$

D : a cylindrical structural member of diameter D  
u<sub>max</sub> : max. horizontal particle velocity at still water level  
ν : kinematic viscosity of seawater  
T<sub>1</sub> : period of the waves



資料來源 DNV-ST-0437

SURFACE	ULS	
Smooth	C <sub>D</sub> 0.65	C <sub>M</sub> 1.60
Rough	C <sub>D</sub> 1.05	C <sub>M</sub> 1.20

$$C_M = 2, \quad KC < 3$$

$$C_M = \max\{2.0 - 0.044(KC - 3), 1.6 - (C_{DS} - 0.65)\} \quad KC > 3$$

16

### 海流載重

- 水面下海流：潮汐、暴潮及大氣壓力變化等造成
- 風驅流：風造成之海流

$$U_{ss}(z) = U_{ss}(0) [(z+d)/d]^{1/7}$$

$$U_W(z) = U_W(0) (1 + z/20)$$

$$U_W(0) = 0.01 V_{1-hour}(z = 10m)$$

Current speed  $U(z) = U_{ss}(z) + U_W(z)$

Current pressure  $q_D(z) = \frac{\rho_w}{2} U_D^2(z)$

Current force  $F_D(z) = C_D q_D(z) D(z)$

U<sub>ss</sub>(0): 水面流速

V<sub>1-hour</sub>(z = 10m): 靜水位以上10m高度之1小時平均風速

d = 水深      ρ<sub>w</sub> = density of water

C<sub>D</sub> = drag coefficient

D(z) = projected width of the structure perpendicular to U<sub>D</sub>(z)



20

### 風、波、流玫瑰圖

風速-風向玫瑰圖      波高-波向玫瑰圖      流速-流向玫瑰圖

21

### 腐蝕速率

■ 飛濺區, PS

Table 4-1 Minimum values for design corrosion rate ( $V_{corr}$ ) on primary structural parts in splash zone

Region	$V_{corr}$ External Surface	$V_{corr}$ Internal Surface
Temperate climate (annual mean surface temperature of seawater $\leq 12^{\circ}\text{C}$ )	0.30 mm/yr	0.10 mm/yr
Subtropical and tropical climate	0.40 mm/yr	0.20 mm/yr

資料來源: DNV-RP-0416

■ 浸沒區, PS

- PS internal surface with air or water at least 0.1 mm/yr

Ex: 浸沒區 & 內側表面

$$CA = V_{corr} \cdot (T_D - T_C) = 0.2 \times (20-0) = 4\text{mm}$$

Source: 文建研理股份有限公司

25

### 海洋附生物

■ 海生物附著厚度

- 構件水下深度位置
- 鹽度、氧氣含量、pH值、溫度、海流
- 維護策略

Norwegian and UK waters / DNV-ST-0437

Depth below MSL (m)	Marine growth thickness (mm)	
	Central and Northern North Sea (56° to 59° N)	Norwegian Sea (59° to 72° N)
-2 to +0	100	60
+10	50	30

■ 增加管徑  
■ 增加水下基礎質量  
■ 增加構件粗糙度

➢ 引致水動力載重增加  
➢ 慣性力增加  
➢ 拖曳力增加

22

### 其他載重

■ 維修載重

■ 運輸與施工載重

■ 安裝與拆除引致之載重

■ 運維船舶撞擊

✓ 正常船舶撞擊須考量下列情況，其載重組合應依DLC 8.5之規定。次要結構之船舶撞擊力可參考IEC 61400-3-1第7.4.9.2.2節。

- (1) 船舶速率不應小於0.5m/s。
- (2) 允許運維船舶靠近風力機作業之最嚴重海況。

✓ 異常船舶撞擊須考量下列情況，其載重組合應依DLC 8.6之規定。

- (1) 船舶速率應按實評估，惟不得小於2.0 m/s。
- (2) 結構物所吸收之能量，應視撞擊部位之結構物與船舶相對強度與勁度而定。

26

### 海床變動及淘刷

■ 海床變動

✓ 沙波、沙脊或沙洲

■ 基礎淘刷

✓ 全面淘刷

✓ 局部淘刷

✓ 評估方法

- 參考鄰近場址或海底特徵類似場址之歷史資料、監測資料或案例分析成果
- 特定場址之水工模型試驗或數值模型
- 依不同條件之試驗成果，經校正計算或採經驗公式

23

### 4. 場址環境條件調查

■ 調查作業應涵蓋基本設計及細部設計等階段之需求

■ 風環境條件、海洋環境條件、水深地形、大地工程、其他環境等調查

- ✓ 風環境條件調查：風速、風向、氣壓、氣溫、空氣溫度及淨輻射量
- ✓ 海洋環境條件調查：波浪、海流、水位、漂沙及潮汐
- ✓ 水深地形及大地工程調查：水深地形調查、地球物理探測與大地工程調查
- ✓ 其他環境調查：腐蝕環境、雷擊、海洋附生物調查

■ 腐蝕環境及海生物附著調查，如場址無法實際取樣調查時，得參考相關學理、文獻或國際標準，合理推估設計所需之參數

■ 若前期階段之調查成果顯示，場址有包含海底斷層構造、海底蘊含天然氣或天然氣孔等特殊環境條件，應檢討調查內容是否符合工程需求，必要時得調整或增加調查項目

■ 開發商可針對特定場址之環境特性與設計需求調整

27

### 腐蝕防護

External      Internal

腐蝕環境分類

- ISO 9223
- ISO 12944-2

Coating      Coating      Coating optional      Coating optional

CP      CA or CP with/without Coating

No corrosion protection      Scour exposure      Bacteria corrosion

24

### 海洋環境條件調查

觀測項目	設計參數	觀測重點
水位	最高天文潮 HAT	應於調查區域內或附近設置水位觀測站，觀測一年以上之水位觀測資料。
	平均海水位 MSL	如鄰近地區已有其他單位（如中央氣象局、內政部、水利署、港務公司等）設置之水位觀測站，應經高程連測比對無誤後採用之。
	最低天文潮 LAT	
	正常水位範圍 NWLR	
波浪	波高	原則應在西南季風與東北季風盛行期間進行，建議現地觀測及附近波浪測站資料宜有1年以上且應與風同步觀測。
	週期	
	波向	
海流	平均流速	建議現地定點流場觀測及附近流場測站資料宜有1年以上，並視需要選擇1至數個具代表性的觀測點
	流向	
	流速剖面	

28

### 水深地形調查

- 測量基準及參考系統
  1. 臺灣本島地區測量之大地基準為1997坐標系統 (TWD97TM2)，高程基準為2001高程系統 (TWVD2001)
  2. 馬祖、金門及澎湖地區測量之大地基準及高程基準以內政部公告最新離島平面 (TWD97TM2) 及高程測量成果為依據
  3. 數值成果檔之大地基準為WGS84，高程基準為2001高程系統 (TWVD2001)，深度以當地約最低低潮位為基準
- 水深地形調查項目、內容與等級應符合內政部之「水深測量作業規範」
- 場址海床地形如具動態變化潛勢 (如沙波或侵淤等漂沙特性者)，應另編訂調查計畫，包含颱風季前、中、後之精密水深地形測量、漂沙調查或數值模擬等

29

### 其他環境條件調查

- 腐蝕環境調查
 

海水溫度、海水中溶氧量、導電度 (電阻率)、鹽度、酸鹼度、氯鹽、硫酸鹽、海流、潮汐、海洋附生物及淺層土壤細菌等影響結構腐蝕之因素
- 雷擊調查
 

年平均閃電密度及雷擊閃電次數
- 海洋附生物調查
 

海洋附生物附着密度、附着厚度及其分布與水下溫度和深度之關聯性

31

### 地球物理探勘

■ 建立離岸風力發電廠特定場址地質構造、分層及其水平分布情

調查項目	探測方法	調查目的/規範要求
深部地層調查	多頻道反射震測 (MCS)	探查風場海床深部地層結構，用於判斷斷層、流體煙囪、不整合面或其他地質構造
淺部地層高解析調查	高解析淺層震測 (如電火花 (Sparker))	探查離岸風場之海床淺部地層結構，用於地質構造分析及地質安全評估
海床地貌調查	底質剖面 (SBP)	1. 探查海龍路由之海床沉積層地層特徵分析 2. 在泥質沉積層須能解析海床下深度20m內沉積層
	側掃聲納探測 (SSS)	1. 探查海床地貌特徵、表層沉積物特性、海底管線鋪設及海底崩移調查 2. 須能達到解析度至少IHO 1a等級以上
海床底質調查	磁力探測 (MAG)	1. 探查海床上管線、可能沉船或未爆彈分布 2. 須能達到解析度約50cm內
	單/多音束探測 (SBES/MBES) 海床影像探測 (ROV) 表層底泥採樣或岩心採樣 (Core Sampling)	1. 利用聲納反射資料，進行地質特性分類、海床線形、沙波地形特徵分析。 2. 須能達到解析度至少IHO 1a等級以上 即時動態影像觀測，了解海床表層特徵，確認側掃聲納所觀測到的海床地貌特徵 採集沉積物岩心，了解沉積物特性

30

### 5. 特定場址環境條件資料提送

- 提送機關：目的事業主管
- 提送時機：申請施工許可
- 提送內容：
  - ✓ 風環境與海洋環境條件調查資料
    - 風況、波浪、海水水位、海流、漂沙及潮汐
    - 風速、風向、氣壓、波高、週期、波向、流速、流向...
    - 測量座標點位置、量測時間及水深條件
  - ✓ 水深地形及大地工程調查與試驗資料
    - 水深、地形、地質及大地工程等調查與試驗成果
    - 大地工程調查：探查基本資料、過程記錄、鑽孔柱狀圖、地球物理探勘、現場探測與試驗及相關試驗成果
  - ✓ 其他環境條件調查資料提送
    - 腐蝕環境、雷擊及海洋附生物

簡報結束



## 風場評估概述與設計風況說明

羅元隆

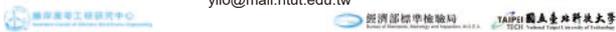
離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

### 風場評估概述與設計風況說明

主講人：羅元隆 副教授

國立臺北科技大學 土木工程系 副教授

yilo@mail.ntut.edu.tw



### 風場評估概述

#### 2.2.2 風環境調查

以特定場址之現地觀測成果為主，並符合第2.2.1節之要求。現地觀測成果須能反映特定場址的風環境設計參數，其歷史紀錄資料調查成果須與特定場址風環境條件具合理的相關性。

3



- 01 風場評估概述
- 02 設計風況說明

### 風場評估概述-調查方式

#### 現地觀測



風速計 (Anemometer)	x2 @ 100m
風向計 (Wind vane)	x1 @ 97m
溫度及濕度計 (Temperature & Humidity sensor)	x1 @ 95m
大氣壓力計 (Pressure sensor)	x1 @ 93m
風速計 (Anemometer)	x2 @ 69m
風速計 (Anemometer)	x2 @ 38m
風向計 (Wind vane)	x1 @ 35m
資料記錄器 (Data Logger)	x1 @ 6m

至少涵蓋四個高程位置

4

### 風場評估概述-調查方式

- 歷史氣象紀錄資料

SURFACE	name	parameter	OFFICE	name	parameter
台北 (T.S.)	18	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI	交通部中央氣象局	台北 (T.S.)	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI
基隆 (K.S.)	410	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI	交通部中央氣象局	基隆 (K.S.)	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI
新竹 (H.S.)	515	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI	交通部中央氣象局	新竹 (H.S.)	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI
台中 (M.S.)	113	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI	交通部中央氣象局	台中 (M.S.)	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI
台南 (T.S.)	160	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI	交通部中央氣象局	台南 (T.S.)	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI
高雄 (K.S.)	17	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI	交通部中央氣象局	高雄 (K.S.)	風速、風向、風力等級、氣壓、濕度、日照、雲量、降水、能見度、空氣污染指數、PM10、PM2.5、CO、NOx、SO2、O3、UV-B、UV-A、空氣品質指數、AQI

※以上資料由中央氣象局氣象科技研究中心提供

**環境條件相似性**

### 目錄

CONTENTS

- 01 風場評估概述
- 02 設計風況說明

### 風場評估概述-調查方式

- 環境風場理論數值模擬

**數值模擬之誤差評估**

TWRF重新模擬2009-2020年所有發布實報之颱風個案路徑圖及實報期間之最大10米風平均風速分布合成圖(單位:公尺每秒)

※以上資料由中央氣象局氣象科技研究中心提供

### 設計風況說明

- 4.2 風載重

應根據現場實測資料或鄰近氣象測站資料之推算值，合理評估各種限度狀態下之設計風載重。

### 風場評估概述-規劃原則

- 現地觀測
- 歷史氣象紀錄資料 應符合CNS 15176-12-1、IEC 61400-12-1與MEASNET等之要求。
- 環境風場理論數值模擬

**1. 正常風況 (Normal Wind)**

- (1) 調查目的：驗證正常風況之平均風速、紊流強度及風力機等級適用性。
- (2) 風速範圍：離岸風力機運轉風速區間 ( $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ )。
- (3) 調查資料：特定場址之現地觀測資料及附近氣象站至少1年以上資料。

### 設計風況說明-通則

- ▶ 參考各種風況公式來設定作用於離岸風力機的風載重時間序列，以針對各載重組合 (DLC) 之設計情境進行後續之動力分析。
- ▶ 風況設定可分類為**正常條件**及**極端條件**，此兩類風況應涵蓋我國**本土化氣候特徵**，例如颱風特性以及東北季風特性。
- ▶ 對於正常條件及極端條件而言，應基於風環境條件調查資料之評估結果，決定**平均風速**及**紊流強度**等風場特性。

### 風場評估概述-規劃原則

- 現地觀測
- 歷史氣象紀錄資料 應符合CNS 15176-12-1、IEC 61400-12-1與MEASNET等之要求。
- 環境風場理論數值模擬

**2. 極端風況 (Extreme Wind)**

- (1) 調查目的：評估極端風況之平均風速、紊流強度。若為颱風條件時，應評估颱風下之風況。
- (2) 風速範圍：離岸風力機停機以上風速 ( $> V_{out}$ )。
- (3) 調查資料：特定場址之現地觀測資料及附近氣象站至少7年以上資料。若為颱風條件時，應盡可能調查附近氣象站之長期颱風歷史資料，以確保推估合理性。

### 設計風況說明-颱風(觀察不足)

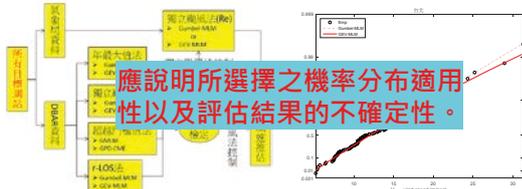
- ▶ 可藉由中尺度氣象模式(WRF)、蒙地卡羅模擬 (Monte Carlo Simulation) 及測量相關推測法(Measure-Correlate-Predict) 等方法，考量颱風來襲頻率、強度及局部地形效果，決定50年回歸期的設計風速及紊流強度。

**應說明採用的數值解析條件或流場模擬品質**

極值分析理論 → 50年回歸期設計風速

### 設計風況說明-颱風(觀察充足)

可藉由現場實際觀測之風況資料，以甘保分布(Gumbel Distribution)等機率分布進行極值分析，決定50年回歸期的設計風速，亦可藉由現場實際觀測之風況資料決定紊流強度。



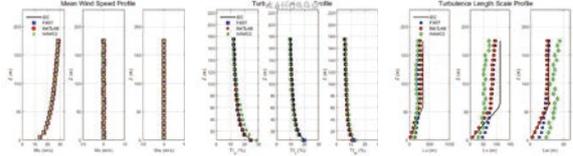
13

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端紊流模型 (ETM)

極端紊流模型應採用NWP定義之正常風剖面模型及具有由下式所求得之縱向分量標準差之紊流：

$$\sigma_1 = c I_{ref} \left( 0.072 \left( \frac{V_{ave}}{c} + 3 \right) \left( \frac{V_{hub}}{c} - 4 \right) + 10 \right); c = 2 \text{ m/s}$$



17

### 設計風況說明-IEC風況定義

NWP 正常風剖面模型  
NTM 正常擾流模型

<風速的非正常變化>  
EOG 極端運轉陣風  
EWS 極端風切

正常風況探討

非常常性極端風況探討

定常性極端風況探討

<風向的非正常變化>  
EDC 極端風向變化

<風速與風向的非正常變化>  
ECD 風向變化之極端相干陣風

EWM 極端風速模型  
ETM 極端擾流模型

14

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風速模型 (EWM · 包含颱風模式)

正常紊流模型中，紊流標準差之代表值極端風速模型可分為穩定極端風速模型與紊流極端風速模型，根據基準風速  $V_{ref}$  及固定紊流標準差建立。

對穩定極端風速模型而言，應使用下列公式以高度  $z$  為函數計算50年回歸期之極端風速  $V_{e50}$  及1年回歸期之極端風速  $V_{e1}$ ：

$$V_{e50}(z) = 1.4V_{ref} \left( z/z_{hub} \right)^{0.11}$$

$$V_{e1}(z) = 0.8V_{e50}(z)$$

在穩定極端風速模型中，應假設一穩定之  $\pm 15^\circ$  轉向錯位以便進行與平均風向之短期偏移。

18

### 設計風況說明-IEC風況定義

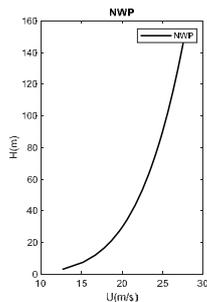
#### 正常風剖面模型 (NWP)

風剖面  $V(z)$  表示海平面上高度  $z$  函數的平均風速。

在標準離岸風力機等級中，正常風剖面模型應由下列冪次律求得：

$$V(z) = V_{hub} \left( z/z_{hub} \right)^\alpha$$

冪次律指數應假設為0.2。假設之風剖面係用於定義葉輪掃掠面積之平均垂直風切。



15

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風速模型 (EWM · 包含颱風模式)

對紊流極端風速模型而言，50年與1年回歸期及高度  $z$  函數之10分鐘平均風速應分別由下列二項公式求得：

$$V_{50}(z) = V_{ref} \left( z/z_{hub} \right)^{0.11}$$

$$V_1(z) = 0.8V_{50}(z)$$

縱向紊流標準差應為：

$$\sigma_1 = 0.11V_{hub}$$

紊流極端風速模型之縱向紊流標準差與正常 (NTM) 或極端紊流模型 (ETM) 無關。

※穩定極端風速模型與紊流極端風速模型之間的關係約為3.5倍之尖峰因子。

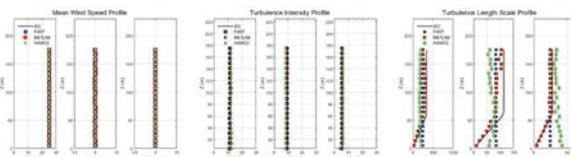
19

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 正常紊流模型 (NTM)

正常紊流模型中，紊流標準差之代表值  $\sigma_1$  應由已知輪較高度風速之90%分位數(Quantile)求得。標準離岸風力機等級之此數值應由下列公式決定：

$$\sigma_1 = I_{ref} (0.75V_{hub} + b) \quad b = 5.6 \text{ m/s}$$

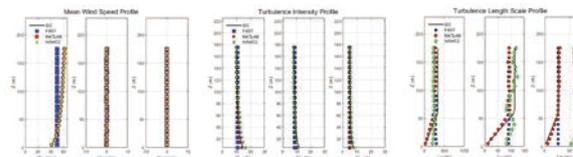


16

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風速模型 (EWM · 包含颱風模式)

#### 紊流極端風速模型



20

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

#### 變異係數修正

我國屬於颱風好發地區，應參照IEC 61400-3-1 建議，針對50年回歸期設計風速考量變異係數的影響修正。

表3.3.4-1中DLC 6.1及6.2中的載重部分安全係數是基於年最大風速的變異係數小於15%的假設。

如果變異係數大於15%，則設計載重應乘以線性增加係數  $\eta$ 。當變異係數等於15%時，線性增加係數  $\eta = 1$ ；當變異係數等於30%時，線性增加係數  $\eta = 1.15$ 。\*一般來說不至於到30%。

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

#### 下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證

DLC 10.1為IEC 61400-3-1參考美國石油協會 (API) Recommended Practice 2A, 22nd Edition的建議，針對颱風條件的地理區域使用穩健性水平標準來驗證下部結構和基礎的整體結構完整性。

考慮強風暴中無人或疏散且具有中等故障後果 (暴露類別L-2) 的結構而言，50年回歸期條件定義為設計水平標準，50年回歸期條件則定義為穩健性水平標準。EWM風況的  $V_{hub}$  可修正為：

$$V_{hub} = V_{10min, 500yr}$$

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

#### 變異係數修正

若以調整設計風速的方式進行修改，則可採用下列公式修正設計風速  $V_{50}$ 。

$$\tilde{V}_{50} = \sqrt{\eta} V_{50}$$

變異係數計算方式可以基於甘保分布假設，採用50年回歸期設計風速及100年回歸期設計風速求得，如下式所列：

$$COV = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{\beta}{\alpha + 0.5772} \quad \alpha = \frac{V_{100} - V_{50}}{P_{100} - P_{50}} \quad \beta = V_{50} - \alpha P_{50}$$

$$P_{100} = -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{100} \right) \right] \quad P_{50} = -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{50} \right) \right]$$

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

#### 下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證

對於DLC 10.2來說，極端環境條件中 N 年回歸期的 N 值選定主要為，考量風力機在此極端環境條件下，同時失去轉向電力與控制的機率為1/500，或相當於500年回歸期的涵義。EWM 風況的  $V_{hub}$  可修正為：

$$V_{hub} = V_{10min, Nyr}$$

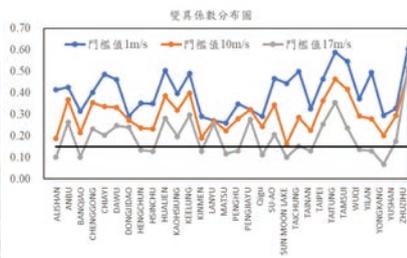
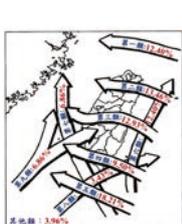
此 N 值的選定應由設計者決定及調整。

設計者預期在極端環境條件時會發生電網電力損失 (Loss of Network Power) 或者設計者並未針對場址於極端環境條件進行電網電力可靠度評估時，若未具備IEC 61400-3-1第7.4.7節中所規定的備用電力條件，設計者可考量採用500年回歸期的環境條件進行保守原則的設計。

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

#### 變異係數修正



福建平潭測站在門檻值17m/s下，變異係數為0.1561。

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端運轉陣風 (EOG)

EOG風速應以下式定義：

$$V(z, t) = \begin{cases} V(z) - 0.37V_{gust} \sin(3\pi t/T)(1 - \cos 2\pi t/T) & 0 \leq t \leq T \\ V(z) & \text{非風況作用時間} \end{cases}$$

其中  $V(z)$  係由NWP定義， $0 \leq t \leq T$  為該風況作用時間， $T = 10.5$ 秒為作用時間長度。

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端風速模型 (EWM, 包含颱風模式)

#### 下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證

我國屬於颱風好發地區，得參考IEC 61400-3-1附錄 I 中所建議的二種針對支撐結構的設計載重情境，如表3.3.4-3中的 DLC 10.1 及 10.2，進行下部結構和基礎的整體結構完整性 (Robustness) 驗證。

### 設計風況說明-IEC風況定義

極端運轉陣風 (EOG)

標準離岸風力機等級之輪穀高度預期50年回歸期的最大風速值  $V_{gust}$  應以下式求得：

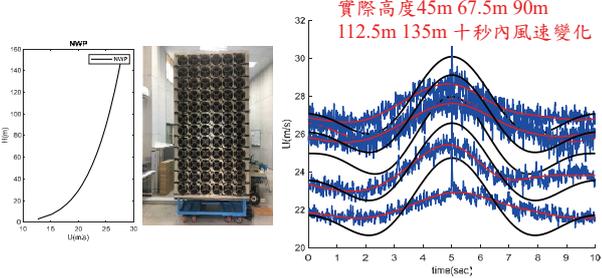
$$V_{gust} = \text{Min} \left\{ 1.35(V_{e1} - V_{hub}); 3.3 \left( \frac{\sigma_1}{1 + 0.1 \left( \frac{D}{\lambda_1} \right)} \right) \right\}$$

式中  $\sigma_1$  由  $\sigma_1 = I_{ref}(0.75V_{hub} + b)$ ； $b = 5.6m/s$  求得； $D$  為葉輪直徑； $\lambda_1$  為輪穀高度  $z$  之縱向紊流尺度參數，應由下式決定：

$$\lambda_1 = \begin{cases} 0.7z, & z \leq 60m \\ 42m, & z \geq 60m \end{cases}$$

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端運轉陣風 (EOG)



29

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風切 (EWS)

瞬間水平風切：

$$V(y, z, t) = \begin{cases} \textcircled{1} \text{ 為 } 0 \leq t \leq T, \\ V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left( \frac{y}{D} \right) \left( 2.5[m/s] + 0.2\beta\sigma_1 \left( \frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) \\ \textcircled{2} \text{ 為非風況作用時間,} \\ V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \end{cases}$$

上式中， $\alpha = 0.2$ ； $\beta = 6.4$ ； $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間； $T = 12$ 秒，為作用時間長度； $\sigma_1$ 由NTM求得； $\Lambda_1$ 為EOG之紊流尺度參數； $D$ 為葉輪直徑。

33

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風切 (EWS)

瞬間（正向與負向）垂直風切：

$$V(z, t) = \begin{cases} \textcircled{1} \text{ 為 } 0 \leq t \leq T, \\ V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left( \frac{z - z_{hub}}{D} \right) \left( 2.5[m/s] + 0.2\beta\sigma_1 \left( \frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) \\ \textcircled{2} \text{ 為非風況作用時間,} \\ V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \end{cases}$$

上式中， $\alpha = 0.2$ ； $\beta = 6.4$ ； $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間； $T = 12$ 秒，為作用時間長度； $\sigma_1$ 由NTM求得； $\Lambda_1$ 為EOG之紊流尺度參數； $D$ 為葉輪直徑。

30

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風切 (EWS)

極端風切可以分為瞬間垂直風切以及瞬間水平風切二種。

瞬間垂直風切含有二種可能（正向、負向）都要考量；瞬間水平風切則是由正、負號產生的結果中取較為不利者。因此極端風切 (EWS) 風況的考量可拆分為三種：

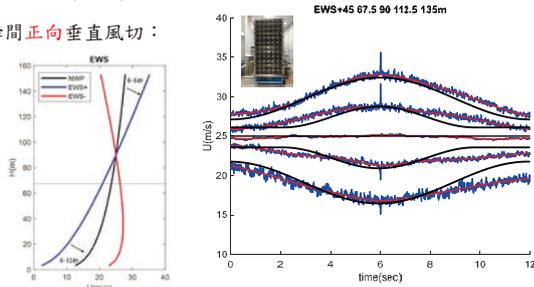
- (1) 正向瞬間垂直風切；
- (2) 負向瞬間垂直風切；
- (3) 正號或者負號（導致較不利者）的瞬間水平風切。

34

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風切 (EWS)

瞬間正向垂直風切：



31

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風向變化 (EDC)

極端風向瞬間變化  $\theta_t$  應以下式計算：

$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & t < 0 \\ \pm 0.5\theta_e (1 - \cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ \theta_e & t > T \end{cases}$$

式中， $0 \leq t \leq T$ 為該風況作用時間， $T = 6$ 秒為極端風向變化之持續時間。

正負號應適當選擇，使其產生最不利之瞬間載重。

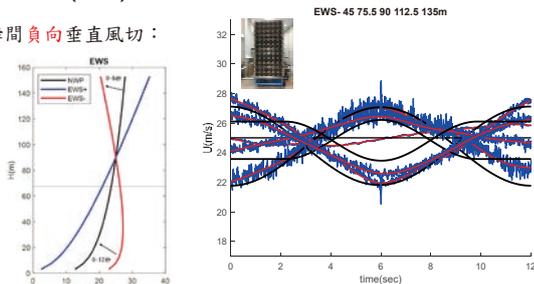
在極端風向瞬間變化結束時，風向假設不變。風速應回復至正常風剖面模型NWP。

35

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風切 (EWS)

瞬間負向垂直風切：



32

### 設計風況說明-IEC風況定義

#### 極端風向變化 (EDC)

極端風向變化強度應以下式計算：

$$\theta_e = \pm 4 \arctan \left( \frac{\sigma_1}{V_{hub} \left( 1 + 0.1 \left( \frac{D}{\Lambda_1} \right) \right)} \right)$$

式中  $\sigma_1$  由NTM求得； $\theta_e$  限制於  $\pm 180^\circ$  之區間內； $\Lambda_1$  為EOG之紊流尺度參數； $D$ 為葉輪直徑。

36

### 設計風況說明-IEC風況定義

風向變化之極端相干陣風 (ECD)

風速應由下式定義：

$$V(z,t) = \begin{cases} V(z) & t \leq 0 \\ V(z) + 0.5V_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ V(z) + V_{cg} & t \geq T \end{cases}$$

風向變化特性如下式：

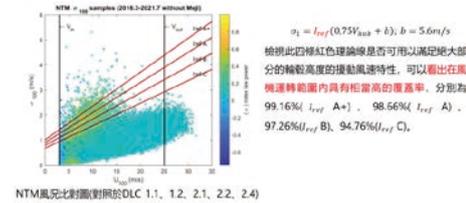
$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & t < 0 \\ \pm 0.5\theta_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ \pm\theta_{cg} & t > T \end{cases}$$

式中， $0 \leq t \leq T$  為該風況作用時間， $T = 10$  秒為風速上升時間，而風速  $V(z)$  係由NWP求得。 $V_{cg}$  為風向變化時之極端相干陣風變化量。

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

NTM (Normal Turbulence Model): 正常擾流模型



NTM風況比對圖(對應於DLC 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.4)

### 設計風況說明-IEC風況定義

風向變化之極端相干陣風 (ECD)

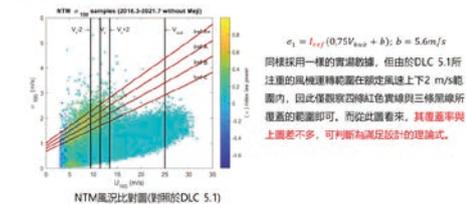
風速上升應考量與風向變化 ( $\theta$  由  $0^\circ$  至  $\theta_{cg}$ ) 同時發生， $\theta_{cg}$  係由下式所定義：

$$\theta_{cg}(V_{hub}) = \begin{cases} 180^\circ & V_{hub} < 4m/s \\ 720^\circ(m/s) & 4m/s < V_{hub} < V_{ref} \\ V_{hub} & \end{cases}$$

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

NTM (Normal Turbulence Model): 正常擾流模型



NTM風況比對圖(對應於DLC 5.1)

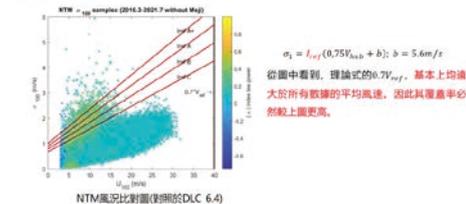
### 設計風況說明-參考文獻

可參考DTU所出版的報告書，有詳盡的風況說明。

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

NTM (Normal Turbulence Model): 正常擾流模型

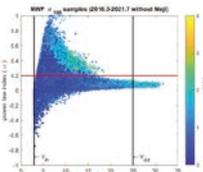


NTM風況比對圖(對應於DLC 6.4)

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

Normal wind profile model (NWP)

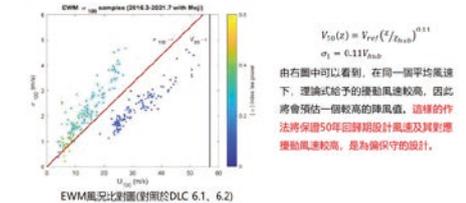


NWP風況比對圖(對應於DLC 2.5, 3.1, 4.1)

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

EWM (Extreme Wind Speed Model): 極端風速模型

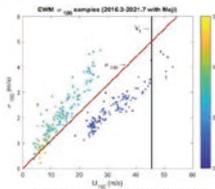


EWM風況比對圖(對應於DLC 6.1, 6.2)

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

#### EWM (Extreme Wind Speed Model): 極端風速模型



$$V_{50}(z) = V_{ref}(z/z_{ref})^{0.33}$$

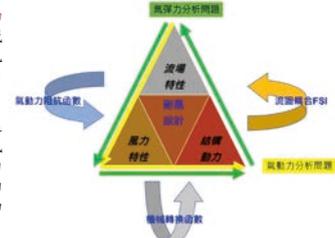
$$V_r(z) = 0.89V_{50}(z)$$

$$\sigma_r = 0.11V_{50}(z)$$

調降了理論式適用範圍而且絕大多數的實地資料均小於理論值，但仍可見屬於極端風速中較高風速的數值十分離平均風速均大於理論值範圍，研究團隊目前無法判斷這樣的結果是否可稱為非保守，主要原因在於五年來僅有此一颱風數據做為分析。

### 設計風況說明-風載重

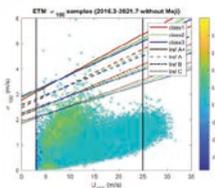
- 氣動力載重分為**擬靜態載重**與**動態載重**等二種形式，依照相關載重組合之規定考量之，主要由氣流與靜止狀態及旋轉狀態的風力機組件之間的交互作用而成。
- 氣動力載重取決於葉輪旋轉速度、橫跨葉輪截面上的平均風速、三維紊流強度、風切、風向變化、空氣密度和風力機組件的形狀與其間之交互效應(包含氣動彈性效應)。



### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

#### ETM (Extreme Turbulence Model): 極端擾流模型



$$\sigma_t = c_{I,ETM} \left( 0.072 \left( \frac{V_{ref}}{c} + 3 \right) \left( \frac{V_{ref}}{c} - 4 \right) + 10 \right)$$

由於DLC 1.3中所描述的情境是在風機運轉範圍中發生的極端紊流，因此可以看出，ETM風況其實與NTM風況有極高的趨勢相似性，但在擾動風速上的要求更高，可以說幾乎涵蓋了所有實地資料的擾動風速。

### 設計風況說明-風載重

- 評估風力機風載重時，應考慮下列影響：
  - 由風力機本身引起的風場擾動，例如尾流引發的速度、塔架本體影響、塔架上風效應等。
  - 三維紊流場對葉片空氣動力特性的影響，例如三維失速和空氣動力葉片尖端損失。
  - 氣流引致的葉片動態失速效應。
  - 氣動彈性效應。
  - 葉輪葉片的生產或安裝公差可能造成的氣動不對稱性。應檢核該等公差是否符合經驗公差，在未確認該等公差時，可假設葉片角度的偏差為±0.3度(以三葉片風力機而言，第一葉片設為0度；第二葉片設為-0.3度；第三葉片設為+0.3度)。
  - 結構構件的氣動載重(升力、阻力、扭矩)。

### 設計風況說明-本土觀測

上述所列風況之正常與極端條件設計參數，得以長期本土觀測資料予以修正。

#### EOG (Extreme Operating Gust): 極端操作風速

主要用於極端風速之分析，其值應考慮風速之短期極值，且應考慮風速之短期極值，且應考慮風速之短期極值...

#### EDC (Extreme Direction Change): 極端風向變化

主要用於極端風向變化之分析，其值應考慮風向變化之短期極值，且應考慮風向變化之短期極值...

#### EWS (Extreme Wind Shear): 極端風切

主要用於極端風切之分析，其值應考慮風切之短期極值，且應考慮風切之短期極值...

#### ECD (Extreme Coherent Gust with Direction Change): 極端相干風速伴隨風向變化

主要用於極端相干風速伴隨風向變化之分析，其值應考慮風速伴隨風向變化之短期極值...

### 設計風況說明-風載重

- 結構構件的空氣動力係數應按照 EN 1991-1-4 或同等的國際風設計標準計算之。
- 對於標準中未明列空氣動力係數可供參考者，得以風洞試驗或其他合適方式進行空氣動力係數之測定作為評估氣動載重之手段。

### 設計風況說明-風載重

- 進行歷時反應分析時，可用上述正常條件及極端條件下之設計參數，產生不同風況之風速歷時資料。
- 根據風力機運轉狀態，適當選擇不同風況以進行第3.3.4節載重組合分析。
- 評估各風況之風載重時，應說明離岸風力機之氣動力(風力或風壓)係數及氣動力載重之**計算依據**，且應檢核不同風況下均**不得有氣動力不穩定**現象。

### 設計風況說明-風載重

- 風力機設置若受上游風力機尾流影響時，有可能增加在該風機上的載重。故應提出位於迎風處單一或複數風力機尾流對風載重所造成的影響評估。
- 一般而言，評估對載重造成的影響，也會在疲勞計算時考量到增加的紊流強度。
- 相關評估方法，可參考 CNS 15176-1 風力機-第一部：設計要求，2018年版附錄 D 的 Frandsen 模式、或 IEC 61400-1,2019附錄E.2的Dynamic wake meandering model模式。



北科大 羅元隆博士

**負責項目**  
 章節: 2.2.2、4.2  
 內容: 風環境條件調查風載重

**開發商**

- 同“設計者”
- 減低風場開發受到本土特有的強風衝擊效應
- 減低第三方驗證及驗證審查之不確定性

**政府(驗證審查)**

- 對於已頒布之“離岸風力發電場專案驗證審查示範轉譯作業要點”中第一章第三項離岸風力發電場之開發、設計及施作加以補充說明

**風機製造商**

- 同“設計者”
- 減低風場開發受到本土特有的強風衝擊效應
- 減低第三方驗證及驗證審查之不確定性

**設計者**

- 依2.2.2節之規定進行本土特有氣象之風環境條件調查工作。
- 依4.2節之規定進行風況設定以執行各式設計載重案例分析。

**第三方驗證單位**

- 本草案對台灣地區之特殊要求明確化，有助於台灣地區風場認證
- 本草案對於台灣地區之風況設定要求有明確要求，有助於加強因應本土之強風衝擊。

經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH 國立臺北科技大學

**簡報結束 敬請指教**

Thank you for your attention.

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束

特定場址之大地工程調查 倪勝火

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
 Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

**特定場址之大地工程調查**

主講人：倪勝火 教授  
 國立成功大學 土木工程系 教授

**1.1 場址調查目的及所需資料**

- 目的: 提供有關可能影響固定和移動海上平台、海底纜纜、港口設施和離岸結構的設計、安置、建造和安全運作的海床和海床下土壤狀況的資料。
- 海床地層需提供之基本資料：
  - 來自地震反射調查的土壤地層
  - 土壤類型: 土壤物理性質和分類等
  - 土壤特性: 密度、靜/動態性質、強度、變形特徵

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 大地工程調查與試驗
- 03 調查方法深度與數量
- 04 取樣方法與室內試驗
- 05 調查與試驗資料提送

**1.2 離岸場址調查一般流程計劃**

**1. 前言**

- 1.1 場址調查目的及所需資料
- 1.2 離岸場址調查一般流程計劃
- 1.3 規範相關章節
- 1.4 本說明之規範內容

**1.3 規範相關章節**

第二章 離岸風力發電廠場址環境條件調查

2.1 通則	2.4 其他環境條件調查
2.2 風環境條件與海洋環境條件調查	2.4.1 腐蝕環境調查
2.2.1 一般規定	2.4.2 雷擊調查
2.2.2 風環境條件調查	2.4.3 海洋附生物調查
2.2.3 海洋環境條件調查	2.5 特定場址環境條件資料提送
2.3 水深地形與大地工程調查	2.5.1 一般規定
2.3.1 一般規定	2.5.2 風環境條件與海洋環境條件調查資料提送
2.3.2 水深地形調查	2.5.3 水深地形及大地工程調查與試驗資料提送
2.3.3 地球物理探勘	2.5.4 其他環境條件調查資料提送
2.3.4 大地工程調查與試驗	

## 1.4 本說明之規範內容

- 2.3 水深地形與大地工程調查
  - 2.3.1 一般規定: 調查目的在於取得並建立離岸風力發電廠全生命週期之水深、地形、地質與大地工程所需之工程技術相關資料, 以涵蓋可能之水深、地形與地層等之變異性及大地工程所需之設計參數。
  - 2.3.2 水深地形調查 (Bathymetric Survey)
  - 2.3.3 地球物理探勘 (Geophysical Prospecting)
  - 2.3.4 大地工程調查與試驗 (Geotechnical Engineering Surveys)

2.5.3 水深地形及大地工程調查與試驗資料提送

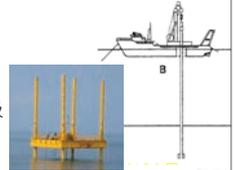


7

## 4. 取樣方法與室內試驗

### 4.1 取樣方法

- 應採用靜壓式薄管取樣, 取得足夠數量之原狀土樣, 以提供室內土壤力學試驗使用。
- 土工探查以圓錐貫入試驗 (CPT) 為原則, 惟須於適當深度規劃薄管取樣, 以獲得試驗所需之現地原狀土樣, 提供岩心判讀及相關土壤/岩石試驗之用。
- 水深較淺區域 (約 < 20m), 可考量部分鑽孔採用自升式平台進行鑽探, 每隔 1.5m 處之土層進行標準貫入試驗 (SPT), 以提供土壤參數率定及液化潛勢評估參考。



11

## 2. 大地工程調查與試驗

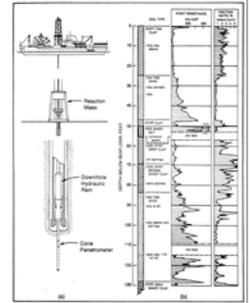
- 要求: 應能提供設計所需之地層分布與土壤性質資料, 並應於製造及施工前完成。
- 大地工程 (簡稱土工) 地質鑽探前應先依離岸風力機及變電站之設計需求, 初步規劃建置地點及基礎型式, 擬定地質鑽探及土壤 (岩石) 試驗計畫, 並依其試驗結果, 評估特定場址地層之物理及力學性質。
- 大地工程調查 (簡稱土工調查) 應取得離岸風力機支撐結構預定位置基礎設計所需深度範圍內之地層參數資料 (包含地層之物理、靜態及動態力學等特性), 以作為基礎設計與分析之依據。



8

## 4.2 室內試驗(1/3)

- 以探勘船進行海上鑽探時, 可於探勘船上進行簡易土壤試驗, 如: 含水量、單位重、無圍壓縮、迷你十字葉片剪等試驗, 否則, 應儘快送回陸上進行室內試驗。
- 地質鑽探取得之擾動土樣應進行土壤基本物理性質試驗及土壤化學試驗。
- 鑽探所取得之原狀土樣, 除進行土壤物理性質試驗及剪力強度試驗外, 並須進行土壤動態性質試驗如共振柱試驗、反覆單剪試驗及動力三軸試驗, 以獲得土壤之動態剪力模數及阻尼比對應於剪應變之關係曲線, 以及土壤抗液化強度參數。



12

## 3. 調查方法深度與數量

### 3.1 調查方法

- 調查項目: 地質條件與構造調查、地質鑽探與取樣、現地試驗與室內試驗等。
- 現地試驗: 圓錐貫入試驗 (CPT) 及靜壓薄管取樣或輔以標準貫入試驗 (SPT), 藉以推估地層土壤參數, 並獲得現地原狀土樣, 決定地層土壤之物理、靜態及動態力學等性質。
- 考量因素: 計畫執行之階段性、風力機之數量/位置/尺寸/基礎型式、地層種類、地層與地形之複雜性。
- 成果: 須足以建立各別風力機基礎地層之工程性質, 資料包含但不限於土壤與岩石之分類及描述資料、執行分析所需要之剪力強度、變形參數、現地應力狀態等, 並涵蓋可能之地層變異性。



9

## 4.2 室內試驗(2/3)

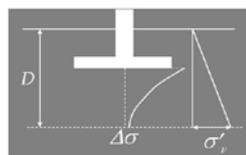
- 單軸壓縮試驗可用來決定岩石強度; 環剪試驗可用來決定低腐植質泥炭土之剪力強度參數。
- 直接剪力與三軸壓縮試驗不適用於纖維泥炭土。
- 規劃土壤現地取樣及動態試驗時, 應以取得薄管原狀土樣為主, 求得反應土壤受到反覆載重外力特性、反覆載重循環次數等因素之試驗參數, 以提供基礎分析模擬或設計之用。



13

## 3.2 調查數量與深度

- 每個獨立風力機之基礎位置, 至少應配置一孔足夠深度之探查孔, 並應進行相關現地試驗, 取得室內試驗所需之土樣。
- 樁基最小調查深度為樁基貫入深度加上應力影響範圍。
- 樁基設計由側向承載力控制者, 調查深度至少應達樁底以下 1 倍樁徑深度。
- 樁基設計由軸向承載力控制者, 調查深度至少應達樁底以下 3 倍樁徑深度。



(ASCE, 1972)

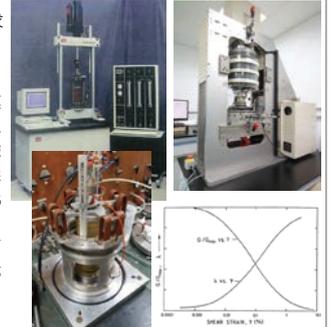
$D_1 \rightarrow$  應力增加時  $\Delta\sigma = q/10$ , 其中  $q =$  估計的基礎淨應力  
 $D_2 \rightarrow \Delta\sigma/\sigma'_v = 0.05$   
 $D = \min. (D_1, D_2)$



10

## 4.3 室內試驗(3/3)

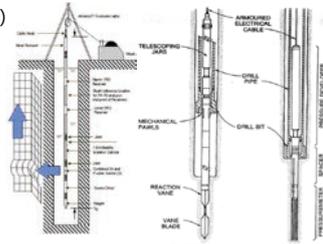
- 為符合特定場址地震力評估之需求, 須獲得土壤動態性質以供地盤反應分析之用。
  - 除卵礫石與岩層外, 各分區地質模型應取得現地原狀或重模代表性土樣進行共振柱試驗、動態三軸試驗或反覆單剪試驗, 以求取土壤動態性質曲線, 包含剪力模數與阻尼比隨剪應變之變化關係曲線;
  - 針對特定場址地盤反應分析用之簡化土壤剖面, 應至少獲得一組具代表性之土壤動態性質曲線。



14

### 4.4 現地試驗建議

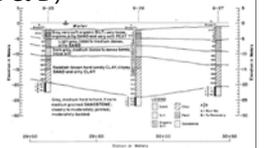
- 土壤貫入試驗: 標準貫入試驗 (SPT)、圓錐貫入試驗 (CPTU)
- 地層動態特性試驗: 下孔式震測試驗、圓錐貫入震測試驗 (SCPT)、懸盪式震測試驗
- 土壤力學試驗: 十字葉片剪力試驗、孔內側向載重試驗 (LLT)
- 其他試驗: 土壤熱阻抗 (熱傳導) 試驗、土壤電阻率試驗等



15

### 地工地質詮釋報告GIR之試驗資料例

- 場址調查概要
- 基於室內試驗結果之土壤分類
- 基於圓錐貫入儀試驗結果之土壤特性描述
- 現場應力及應力歷史(OCR等)
- 抗剪強度與變形特性動態性質(G & D)
- 反覆載重行為
- 土壤設計剖面
- 2D/3D工程地質模型(Cross sections)



16

### 4.5 室內試驗建議

- 土壤物性試驗: 單位重、比重、相對密度、含水量、阿太堡限度、篩分析試驗、比重計沉降分析
- 土壤力學試驗: 下孔式震測試驗、圓錐貫入震測試驗、懸盪式震測試驗
- 土壤力學試驗: 十字葉片剪力(口袋式)試驗、三軸不壓密不排水壓縮、(不)等向三軸壓密不排水、等向三軸壓密排水壓縮、無圍壓縮、環剪、直接剪力、壓密不排水直接單剪、單向度壓密試驗、三軸透水等試驗
- 土壤動態力學試驗: 反覆三軸強度、三軸動態性質、反覆單剪、彎曲元件、共振柱等試驗
- 其他試驗: X光繞射檢測



16



成大土木 倪勝火

#### 負責項目

章節: 2.3.4

內容: 大地工程調查與試驗

#### 開發商

- 同“設計者”
- 降低地工調查及試驗項目之可能遺漏，提高試驗結果之可靠性，使設計者能順利適時完成支撐結構相關之設計。

#### 政府(驗證審查)

- 對於已頒布之“離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點”加以補充說明

#### 設計者

- 可按照 1.7、2.3及 2.5 節之規定，可對於應備作之地工調查及試驗所提出地工地質詮釋報告(GIR) 進行離岸風力機支撐結構相關設計並提出設計報告審查。

#### 風機製造商

- 同“設計者”
- 降低風力機支撐結構相關設計使用之地工試驗參數之風險

#### 第三方驗證單位

- 本草案對於地工調查及試驗項目及引用規範更加明確化，提昇試驗所得設計參數之可信度。
- 本草案對於台灣地區之特殊要求明確化，有助於台灣地區風場通過認證



19

### 5. 大地工程調查與試驗資料提送

- 大地工程調查成果(地工地質詮釋報告GIR)所須提交之內容至少應包含但不限於探查基本資料、過程記錄、鑽孔柱狀圖、地球物理探勘、現場探測與試驗及相關試驗成果等各項資料
  - 基本資料: 包含探查孔位置及探查孔深度等基本資料。
  - 過程記錄: 過程應做成紀錄，包含文字及圖片等紀錄。
  - 探查孔成果: 應包含柱狀圖、CPT資料、SPT資料、波速調查及對應之文字描述。
  - 試驗資料: 應依各探查孔實際進行之試驗項目提送。



17

### 簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束



### 特定場址之地震危害度與地盤反應分析

柴駿甫

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

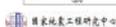
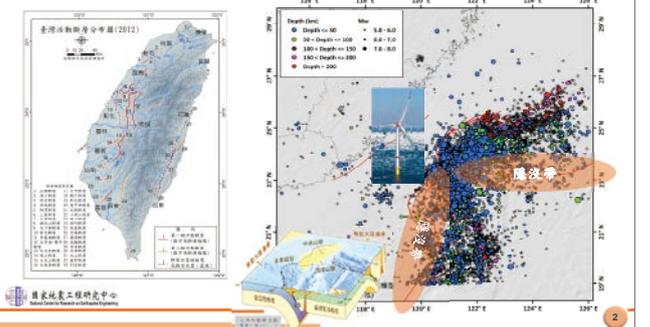
### 特定場址之地震危害度與地盤反應分析

主講人: 柴駿甫博士

國家地震工程研究中心 副主任



### 台灣地震環境與風場位置



2

### 國際耐震規範整理

■ 針對離岸風場地震力考量與危害度分析整理相關國際規範

Number	Year	Title
BSH	2008	Design of offshore wind turbines
DNV/Rise	2002	Guidelines for design of wind turbines
DNV-OS-J101	2014	Design of offshore wind turbine structures
DNVGL-ST-0126	2016	Support structures for wind turbines
DNVGL-ST-0437	2016	Loads and site conditions for wind turbines
GL	2012	Guideline for the certification of offshore wind turbines
IEC 61400-1	2005	Wind turbines – Part 1: Design requirements
IEC 61400-3	2009	Wind turbines – Part 3: Design requirements for offshore wind turbines
PSHA API RP-2EQ	2014/2021	Seismic design procedures and criteria for offshore structures
ISO 19901-2	2004/2017	Specific requirements for offshore structures – Part 2: Seismic design procedures and criteria
DNV-RP-0585	2021	Seismic design of wind power plants

### 目錄

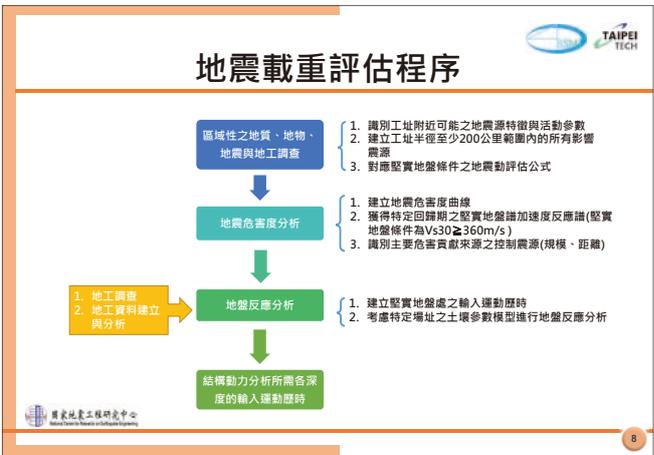
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

### 目錄

CONTENTS

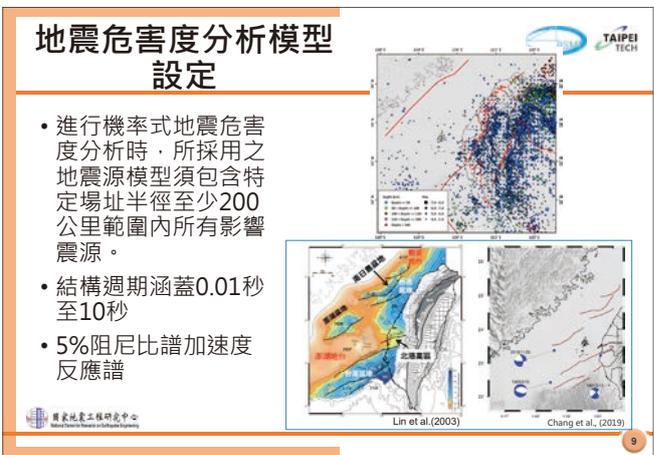
- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定



### 目錄

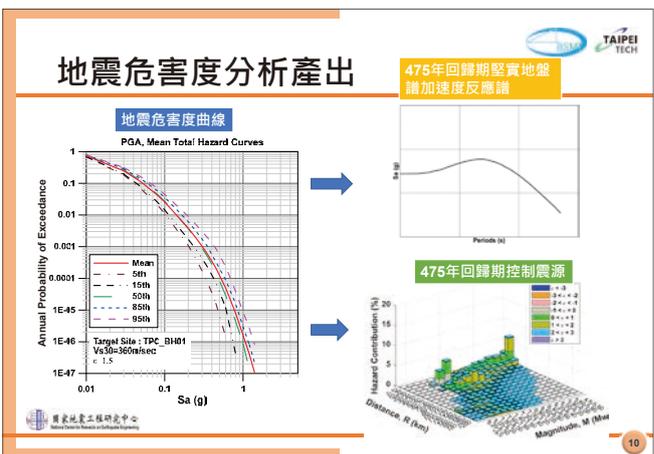
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定



### 4.8 地震載重

- 應考慮不同限度狀態對應之地震載重，以**機率式地震危害度分析程序**求得**堅實地盤**之譜加速度反應譜，並考量該場址之**土壤特性**求得結構動力分析所需之輸入地震歷時與設計地震反應譜。
- 限度狀態對應地震載重之回歸期
  - 極限度狀態(ULS)：須考慮**475年回歸期**；
  - 使用限度狀態(SLS)：須考慮**95年回歸期**
- 堅實地盤之定義為地層以下30公尺之平均剪力波速值(Vs30)穩定**≥360 m/s**



**目錄**  
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

**堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件**

- 地盤反應分析時，在堅實地盤處應至少採用7組(各組包含兩筆水平向與一筆垂直向地震紀錄)輸入運動歷時。
- 建立與堅實地盤譜加速度反應譜相符之輸入運動
  - 與反應譜相符的人造地震歷時(Spectrum Compatible Time History)
    - 其地震反應譜週期範圍內，任一週期點的譜加速度值與目標反應譜值之差異須在±10%以內。
  - 依比例調整之實際地震歷時(Scaled Time History)
    - 由各組兩水平向實際地震紀錄組合旋轉角度求得最大地震反應譜，即為最大方向(Maximum Direction)的地震反應譜，以其與目標反應譜相比求取比例調整因子(Scaling Factor)。
    - 候選7組地震反應譜在週期範圍內之任一週期點的平均值，不得低於目標反應譜值的90%

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

**地盤反應分析**

分析實，需考量地層的靜態及動態工程性質應考量風場地層之變化、剪力模數減衰與阻尼曲線(Shear Modulus Reduction and Damping Curve)的變異性。

輸入基面  
 ①-⑦:  $(\xi, V_s)_i$   
 ⑧-⑩:  $(\xi, V_s)_i$   
 ⑪-⑬:  $(\xi, V_s)_i$   
 ⑭-⑯:  $(\xi, V_s)_i$   
 ⑰-⑱:  $(\xi, V_s)_i$   
 ⑲-⑳:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉑-㉒:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉓-㉔:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉕-㉖:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉗-㉘:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉙-㉚:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉛-㉜:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉝-㉞:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㉟-㊱:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊲-㊳:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊴-㊵:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊶-㊷:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊸-㊹:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊺-㊻:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊼-㊽:  $(\xi, V_s)_i$   
 ㊾-㊿:  $(\xi, V_s)_i$

場址地盤分析模型  
進行工址地盤反應分析

許尚遠等人(2019)

**案例**

與反應譜相符的人造地震歷時

依比例調整之實際地震歷時

$$scaling\ factor = \exp\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(Sa_{rock}(t_i)) - \ln(Sa_{record}(t_i))]\right\}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Sa_{rock}(t_i) - (Sa_{record}(t_i)) \times scaling\ factor]$$

求得最大地震反應譜

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

**未達堅實地盤定義之場址**

- 若場址之岩性經調查仍未達360 m/s，則場址**堅實地盤**之譜加速度反應譜應採用可反映該區域場址特性之地震動評估模型進行分析，再接續後續之規定

Shear Velocity (m/s)  
 0 120 240 360 480 0 120 240 360 480 880

Depth (m)  
 0 10 20 30 40 50 60 70 80

Vs30=325m/s @D=51m  
 from SY Hsu.

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

**結構動力分析所需之輸入運動歷時**

應變相符之土層參數  $(\xi, V_s)_i$

A(t); 地層運動

A<sub>in</sub>(t)

海床面  
土壤

隨深度變化輸出結構動力分析所需之輸入運動歷時

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

**目錄**  
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

**目錄**  
CONTENTS

- 01 4.8 地震載重主文說明
- 02 地震載重評估程序
- 03 地盤反應分析
- 04 堅實地盤輸入地震之建立與檢核條件
- 05 結構動力分析輸入之相關規定

國家風電工程研究中心  
TAIPEI TECH

### 結構動力分析之相關規定

- 結構動力分析採歷時分析法
  - 須取7組歷時分析結果之**平均值**進行結構設計
  - 各組三軸向地震歷時應採**100%同時輸入**。
- 考量垂直向地震效應時，不同深度土層之輸入運動歷時可逕行採用堅實地盤者，得不須考慮垂直向場址放大效應。

國家地震工程研究中心  
19

### 負責項目

章節 4.8  
內容 地震載重

開發商

- 符合風場所在地區之國家規範
- 有益於了解驗證審查之流程與相關依據

政府(驗證審查)

- 據以為審查依據
- 確保開發商採用適宜台灣地震環境之設計

風機製造商

- 考量台灣地震環境於離岸風力機支撐結構設計
- 提供最佳化風機耐震設計之參考

設計者

- 納入台灣離岸地區之地震環境
- 考慮風機耐震設計需求
- 特定回歸期下地震動對風場位置地質與地震環境之影響

第三方驗證單位

- 了解台灣地區耐震之設計要求

國家地震工程研究中心 柴駿甫副主任  
簡報結束



## 特定場址之土壤液化評估

黃俊鴻

### 離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

### 特定場址之土壤液化評估

主講人：黃俊鴻 教授  
國立中央大學 土木工程學系 教授  
國家地震工程研究中心地球與大地工程組召集人

經濟部標準檢驗局  
TAIPEI 國立臺灣科技大學  
NCREE

### 液化對風機基礎之作用

- 降低基礎承載力
- 增大基礎變形量
- 2011/03/11東日本大地震神栖風力發電所液化案例 (Kamisu wind farm)
  - The first Japanese offshore wind farm
  - Liquefaction occurred in onshore wind farm

4

### 目錄 CONTENTS

- 4.9 土壤液化(主文)
- 液化對風機基礎之作用
- 液化影響評估程序
- 液化潛能評估
- 基礎承載力與變形檢核

2

### 神栖風力發電所液化案例(1/13)

● 地理位置

Onshore: Subaru 2.0-80  
Offshore: Hitachi 2.0-80  
IBRH18  
IBRH20

0 25 50 100 Kilometers

6

### 4.9 土壤液化(主文)

- 如基礎座落於具土壤液化潛勢地層，其設計應先進行**土壤液化潛勢分析**，評估土壤液化對基礎之影響，確認基礎於**地震液化過程中之最大受力**及**震後永久位移及傾角**等須能符合性能需求。

3

### 神栖風力發電所液化案例(2/13)

Kamisu onshore wind farm  
為台灣地圖複製品

Onshore wind farm  
7x Subaru 2.0-80=14MW  
Operation in 2010

Google Earth  
100 m

6

### 神栖風力發電所液化案例(3/13)



### 神栖風力發電所液化案例(7/13)

- 大規模土壤液化 (陳正興教授提供)



### 神栖風力發電所液化案例(4/13)



### 神栖風力發電所液化案例(8/13)

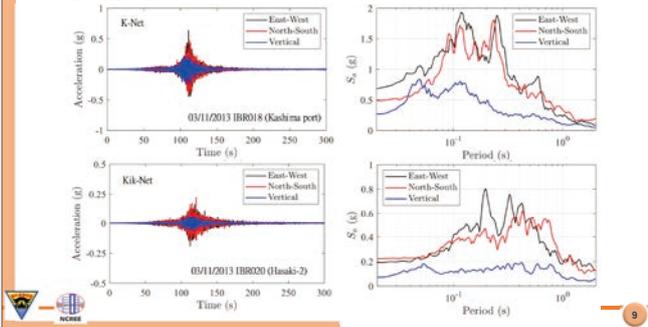
#### Onshore Wind Farm 5號發電機塔柱

朝東北方向傾斜  
約1.6度



### 神栖風力發電所液化案例(5/13)

- 強地動紀錄



### 神栖風力發電所液化案例(9/13)

- 3號機塔柱基礎事後調查與分析 (陳正興教授提供)



基礎版傾斜·周遭地盤沉陷

傾斜方向背側之地盤裂隙

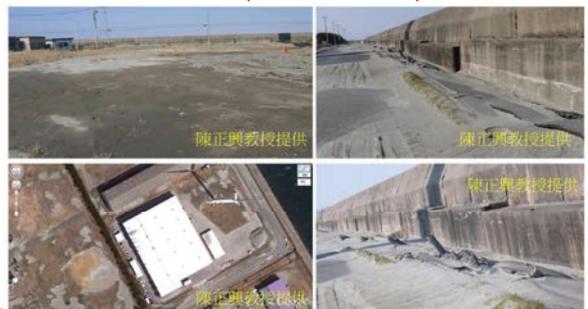
### 神栖風力發電所液化案例(6/13)

- Onshore Wind Farm at Kashima Shinhama Industrial Park



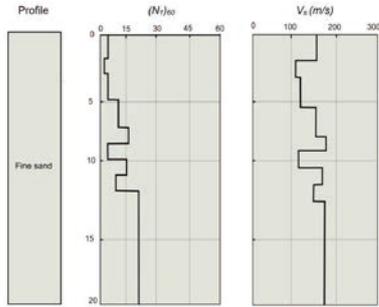
### 神栖風力發電所液化案例(10/13)

- 主要原因: 土壤液化 (陳正興教授提供)



### 神栖風力發電所液化案例(11/13)

Ground profile at onshore wind Farm(NIED Geo-station database)



### 土壤液化潛能評估

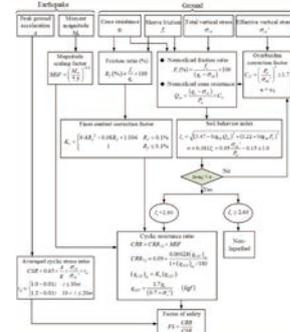
- 淺層20m內採用簡易法 (Simplified Method)
  - SPT-N法 (依國內最新建築物耐震設計規範)
  - CPT法: Robertson法 (Robertson et. al, 2009) 、B&I法 (Boulanger and Idriss, 2016) 、HBF法 (NCREE, 2021) 與K-J法 (Ku and Juang, 2012) 等
- 深於20m採用地盤受震反應分析(Seismic Reponse Analysis, SRA)
  - 總應力分析法+室內土壤液化強度曲線
  - 有效應力分析法 (直接考慮水壓激發、消散)

### 神栖風力發電所液化案例(12/13)

• Kamisu onshore wind farm

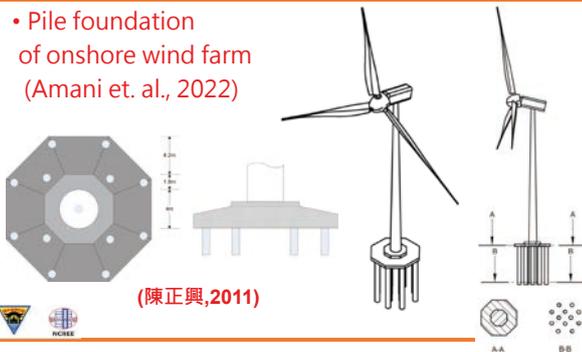
Turbine model	Subaru 2.0-80	
Hub height [m]	60	
Pile length [m]	17	
Equivalent top mass [tons]	108	
Blade length [m]	80	
Blade weight [tons]	6.7	
Tower top & bottom diameter [m]	1.5-4.3	Pile thickness [m] 0.3
		Diameter of pile cap [m] 13
Number of piles	12	Pile cap stiffness rigid
Tower thickness average [mm]	15	Plastic Moment Capacity [MNm] of a single pile 29.8
Pile diameter [m]	0.8	

### CPT-HBF液化評估簡易法

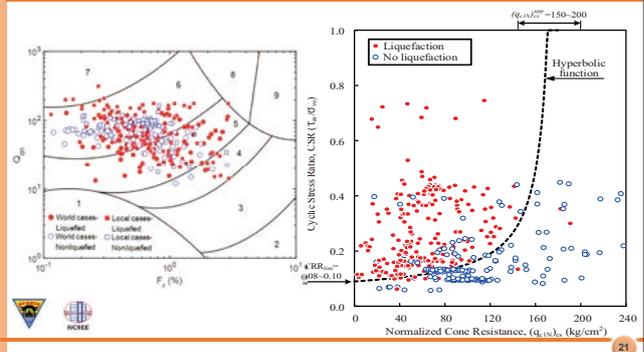


### 神栖風力發電所液化案例(13/13)

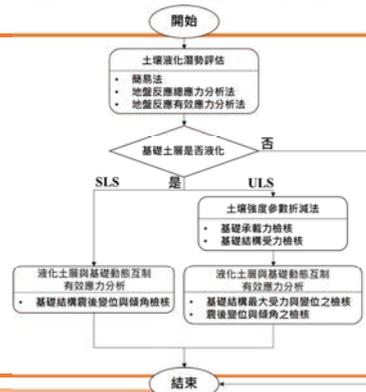
• Pile foundation of onshore wind farm (Amani et. al., 2022)



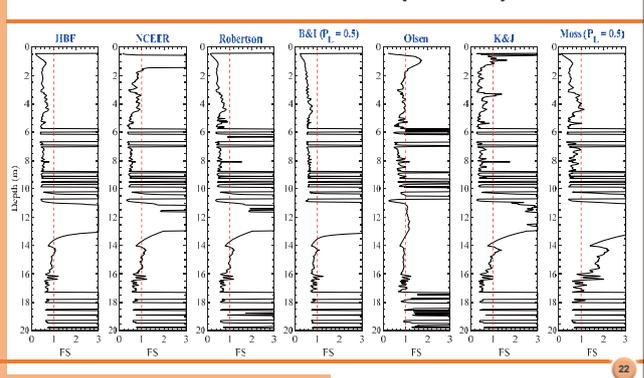
### CPT-HBF液化評估簡易法

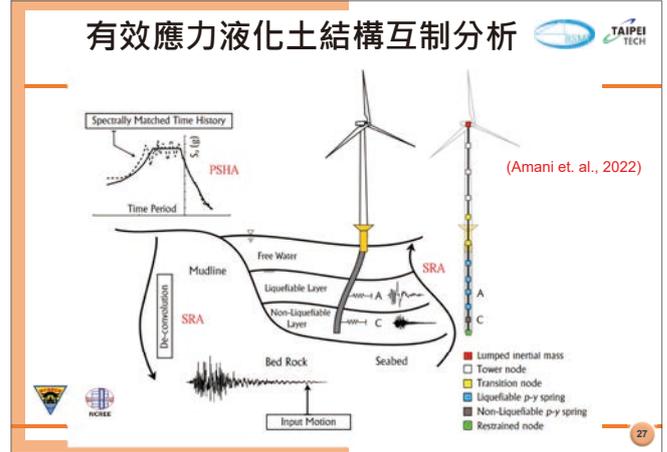
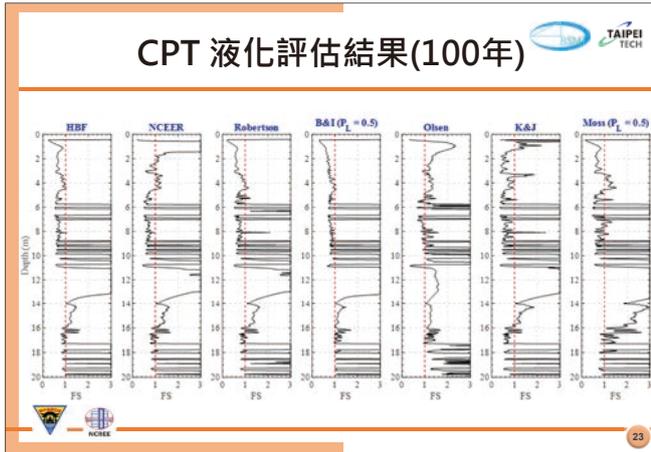


### 土壤液化影響評估程序



### CPT 液化評估結果(475年)





### CPT液化評估方法之研究

Method	Abbreviation	Success rates of prediction								
		Local database			World database			All database		
		Liq	Nonliq	All	Liq	Nonliq	All	Liq	Nonliq	All
Hwang et al. (2005)	HBF	0.97	0.93	0.95	0.83	0.75	0.81	0.88	0.83	0.84
Youd et al. (2001)	NCEER	0.87	0.95	0.91	0.82	0.76	0.80	0.84	0.84	0.82
Robertson (2009)	Robertson	0.87	0.96	0.92	0.81	0.75	0.79	0.83	0.84	0.82
Boulanger and Idriss (2016) (P <sub>L</sub> =0.15)	B&I (P <sub>L</sub> =0.15)	0.87	0.95	0.91	0.96	0.55	0.85	0.93	0.73	0.84
Boulanger and Idriss (2016) (P <sub>L</sub> =0.5)	B&I (P <sub>L</sub> =0.5)	0.83	0.95	0.89	0.85	0.72	0.81	0.84	0.82	0.82
Olsen (1997)	Olsen	0.80	0.93	0.87	0.73	0.69	0.72	0.75	0.80	0.76
Ku and Juang (2012)	K&J	0.90	0.89	0.90	0.86	0.68	0.81	0.87	0.77	0.82
Moss et al. (2006) (P <sub>L</sub> =0.15)	Moss (P <sub>L</sub> =0.15)	0.91	0.93	0.92	0.88	0.65	0.81	0.89	0.77	0.83
Moss et al. (2006) (P <sub>L</sub> =0.5)	Moss (P <sub>L</sub> =0.5)	0.87	0.96	0.92	0.79	0.79	0.79	0.82	0.87	0.82

### 負責項目

章節: 4.9 土壤液化

1. 液化影響評估程序
2. 液化評估方法與建議
3. 基礎性能檢核目標

### 政府(驗證審查)

- 確保風電安全永續
- 釐清社會對風機安全疑慮
- 國際上首見具體之風機抗液化條文與解說，可提高規範的國際能見度

### 設計者

- 提高設計分析之技術水準
- 提高試驗之技術與品質
- 提高規劃調查試驗的能力
- 確實掌握風機的液化風險

### 開發商

- 確保投資安全
- 瞭解投資風險
- 降低投資風險

### 風機製造商

- 瞭解液化風險對風機塔柱傾斜變形之影響
- 瞭解液化風險對風機運轉壽命之影響
- 回饋廠商擬訂更合理的塔柱傾斜變形要求

### 第三方驗證單位

- 具體條文解說可提供驗證依據
- 程序、方法、性能目標完備可使驗證作業更具客觀
- 可减少驗證的爭議

中央大學土木工程學系 黃俊鴻

### CPT液化評估方法之研究

Method	Average and the coefficient of variation of RFS (μ, δ)		
	Local database	World database	All database
HBF	(1.00, 0)	(1.00, 0)	(1.00, 0)
NCEER	(1.03, 0.64)	(0.99, 0.22)	(1.00, 0.43)
Robertson	(1.03, 0.21)	(1.02, 0.18)	(1.02, 0.19)
B&I (P <sub>L</sub> =0.15)	(0.98, 0.25)	(0.89, 0.49)	(0.92, 0.41)
B&I (P <sub>L</sub> =0.5)	(1.18, 0.21)	(1.07, 0.42)	(1.11, 0.35)
Olsen	(1.20, 0.66)	(1.16, 0.57)	(1.18, 0.60)
K&J	(0.93, 0.26)	(0.91, 0.48)	(0.92, 0.41)
Moss (P <sub>L</sub> =0.15)	(1.07, 0.23)	(0.88, 0.33)	(0.95, 0.30)
Moss (P <sub>L</sub> =0.5)	(1.33, 0.23)	(1.10, 0.33)	(1.18, 0.31)

- ### 誌謝
- 經濟部標準局
  - 台北科大專案辦公室與規範技術審查會委員
  - 台大土木系 名譽退休教授 陳正興博士
  - 國家地震工程中心研究團隊
    - 柴駿甫 副主任
    - 盧志杰 博士
    - 許尚逸 博士
    - 張毓文 博士
    - 王俊翔 佐理研究員
    - 范秋屏 專案助理研究員

### 基礎承載力與變形檢核

- 基礎承載力檢核 (ULS)
  - 土壤液化評估結果+土質折減係數法檢核基礎承載力
  - 折減係數表(依國內最新建築物耐震設計規範與國際規範)
  - 475年地震載重
- 基礎變形性能檢核 (SLS與ULS)
  - Beam column element+液化土彈簧(近似)
  - 二維與三維液化土層與基礎動態互制有效應力分析
  - 震後樁頭之永久傾角與變形量(容許值由風機廠商提供)
  - SLS(95年的地震載重) · ULS(475年地震載重)
  - 檢核ULS基樁最大受力

### 簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation  
and Design of Offshore Wind Farms

## 離岸風力發電廠之性能及安全要求

主講人：黃金城 組長  
核能研究所 機械及系統工程專案

111年7月19日

經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH 國立臺北科技大學

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

### 參考依據

□ 離岸風力發電廠性能及安全要求專章

- 包含離岸風力發電廠結構安全及穩定運作、離岸風力機性能與安全、變電站發電功率併網與輸電系統之電網併聯要求等四部分。
- 主要是參考中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3、CNS 15176-22等)、國際標準 (IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6、IECRE OD-501/502、IEC 60228及ISO 19902等)、國際工業標準如DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360及DNV-ST-0437等)、API標準 (API-RP 2A-LRFD)、NORSOK N-004標準、EN 1993標準、ABS標準 以及國內外相關標準。

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

### 參考依據

□ 離岸風力發電廠性能及安全要求專章

● 本章節訂定參考技術規範及標準之優先順序：

- 1 中華民國國家標準 (CNS 15176-1、CNS 15176-3及CNS 15176-22等)
- 2 國內相關標準 (電業登記規則、離岸風力發電場專案驗證審查作業要點、航空障礙物標誌與障礙燈設置標準、輸配電設備裝置規則、再生能源發電系統併聯技術要點、職業安全衛生法及水污染防治法等)
- 3 國際標準 (IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、IEC 61400-6、IEC 60228、IECRE OD-501、IECRE OD-502及ISO 19902等)
- 日本標準 (日本洋上風力發電設備に関する技術基準の統一解説)
- DNV標準 (DNV-ST-0126、DNV-ST-0145、DNV-ST-0359、DNV-ST-0360、DNV-RP-0585及DNV-ST-0437等)
- API標準 (API-RP 2A-LRFD)
- NORSOK N-004標準
- EN 1993標準
- ABS標準 (Guide for Building and Classing-Bottom-Founded Offshore Wind Turbines)

### 前言

●離岸風力發電廠性能及安全要求專章之訂定，主要是考量國內本土極端環境條件 (颱風、地震等)及國內外風機設計標準，以確保離岸風場工程設計符合本土特殊場址條件需求，並連結離岸風電產業動態適時修訂，將技術根留臺灣。此外，現行國內外技術標準未能充分反映國內本土特殊場址條件 (如颱風、地震等)，故訂定本土適用之載重組合以及滿足離岸風力發電廠於其全生命週期內具備預期的安全需求、使用性能與服務水準等目標所需之工程技術要求以提升離岸風力發電廠之安全性。

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

## 章節架構

第三章 離岸風力發電廠性能及安全要求

- 3.1 通則
- 3.2 離岸風力發電廠審查與驗證
  - 3.2.1 一般要求
  - 3.2.2 專案驗證
  - 3.2.3 專案驗證審查
- 3.3 離岸風力機性能及安全
  - 3.3.1 設計原則
  - 3.3.2 離岸風力機等級
  - 3.3.3 安全等級
  - 3.3.4 載重組合
  - 3.3.5 離岸風力機共振效應
  - 3.3.6 離岸風力機支撐結構附屬電氣
- 3.4 變電站性能及安全
- 3.5 輸電系統性能及安全
- 3.6 其他要求
  - 3.6.1 安全警示及防護措施
  - 3.6.2 液壓及氣壓設備安全
  - 3.6.3 海洋公害防治
  - 3.6.4 運維船舶航行安全
  - 3.6.5 資訊安全防護
  - 3.6.6 環境與結構監測

## 章節條文及內容概述

### 3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

#### 3.2.2 專案驗證

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件，依據離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點，提送經驗證機構完成專案驗證。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考IECRE OD-501、IECRE OD-502、DNV-SE-0073或DNV-SE-0190之要求，辦理離岸風力發電廠特定場址專案驗證。
差異性及解說說明	開發商應符合相關國際標準之外，亦應符合CNS 15176-22之要求，辦理離岸風力發電廠特定場址專案驗證與專案驗證審查，執行專案驗證前，離岸風力機應先完成型式驗證(TC)，或於專案驗證中完成型式驗證之強制模組。

## 目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

## 章節條文及內容概述

### 3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

#### 3.2.3 專案驗證審查

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件及第3.2.2節專案驗證之符合性聲明，依據電業登記規則，提送標準檢驗局及其認可之審查機構完成專案驗證審查。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
解說說明	開發商應依據「電業登記規則」、「離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點」與「電業竣工查驗作業要點」等相關規定，將設計各階段完成相關設計成果(詳見第1.7節)，經專業技師簽證及/或驗證機構審查後出具書面證明，提送審查機構辦理專案驗證審查。

## 章節條文及內容概述

### 3.1 通則

離岸風力發電廠於其全生命週期內應符合預期的性能及安全等目標所需之工程技術要求。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備に関する技術基準の統一の解説(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2章開頭總述之概念。
差異性說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異：日本解說：IEC、DNV、API、日本相關標準；本規範：IEC、DNV、API、NORSOK N-004、EN 1993、ABS、台灣國內相關標準。

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 3.3.1 設計原則

離岸風力機於全生命週期內須至少滿足以下性能及安全要求：

- 應綜合考量離岸風力機的特性、等級及自然環境等設計條件。
- 於設計年限內，不得因風、波浪、海流、颱風、地震、海嘯、土壤液化、腐蝕與海洋生物等作用，而損及原設計要求之性能，並維持其發電功能。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、DNV-ST-0126、API-RP 2A-LRFD、DNV-ST-0437、NORSOK N-004、EN 1993及ABS等相關國際標準。
差異性說明	本規範亦另參照CNS 15176-1、CNS 15176-3及IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、DNV-RP-0585有關颱風及地震列入相關載重組合。

## 章節條文及內容概述

### 3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

#### 3.2.1 一般規定

離岸風力發電廠之設計成果須完成專案驗證及專案驗證審查。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
解說說明	專案驗證及專案驗證審查之目的，係以確認設計成果符合離岸風力發電廠預期之安全需求、使用性能與服務水準。

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 3.3.2 離岸風力機等級

為符合特定場址之離岸風力機設置要求，應綜合考量場址之風速及紊流強度等風況條件，以選用適合之離岸風力機等級。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	IEC 61400-1。
解說說明	離岸風力機應取得驗證機構之型式驗證(TC)證書(包含離岸風力機等級、安全等級品質保證、轉子機軸總成標示等)，並須符合安裝特定場址條件之需求。

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 3.3.3 安全等級

- 離岸風力機之設計應符合下列任一項等級之要求：
1. 一般安全等級：考慮離岸風力機破壞時，可能導致人員傷亡、社會或經濟損失之影響。
  2. 特殊安全等級：離岸風力機安全等級之規定及要求，除須符合相關法令規定外亦可由開發商與風力機製造商共同協議之。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考IEC 61400-3-1、DNV-ST-0437及DNV-ST-0126。
解說說明	如下表。

17

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

	3.3.4 載重組合	IEC 61400-3-1	DNV-ST-0437
地震	DLC 9 (引用 DNV-ST-0437 及 DNV-RP-0585)	無	有
支撐結構 颶風	DLC 10 (引用 IEC 61400-3-1 附錄 I)	附錄 I	無

21

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 載重部分安全係數 (一般安全等級)

功能與環境載重		永久載重		
極限狀態 (ULS)	疲勞極限狀態 (FLS), 意外極限狀態 (ALS), 使用極限狀態 (SLS)	極限狀態 (ULS)	不利載重 (Unfavourable)	疲勞極限狀態 (FLS), 意外極限狀態 (ALS), 使用極限狀態 (SLS)
正常 (N)	異常 (A)	有利載重 (Favourable)		
1.35 <sup>註1</sup>	1.1	1.0	0.9 <sup>註2</sup>	1.1 <sup>註3</sup>

註1：永久載重包括支撐結構設計的靜載重和預(張)力載重。  
對於浸沒的水下結構，例如設置在海床上的重力式基礎(Gravity-Based Structure)，永久載重為總重量減去其在水中之浮力。  
註2：如果採取適當的措施，極限狀態永久載重的部分安全係數可為1.0。  
註3：設計載重狀況DLC 1.1之載重部分安全係數為1.25；設計載重狀況DLC 2.5之載重部分安全係數為1.2。  
意外極限狀態所適用之設計情境(包含掉落的物件、碰撞衝擊、爆炸以及直升機、船舶或其他物體的意外撞擊等)，船舶撞擊參考第4.12節與第5.3.8節，其他設計情境參考DNV-ST-0126進行評估。  
使用極限狀態所適用之設計情境(包含風機葉片最大速度、塔頂最大加速度、最高轉速以及支撐結構的最大容許傾角與塔頂的最大容許水平位移等)，風機葉片最大速度、塔頂最大加速度及最高轉速參考DNV-ST-0437，支撐結構的最大容許傾角與塔頂的最大容許水平位移參考DNV-ST-0126進行評估。

18

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 3.3.5 離岸風力機共振效應

離岸風力機應避免因共振效應而損及原設計要求之性能。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考 IEC 61400-1、IEC 61400-3-1、DNV-ST-0437及DNV-ST-0126。
解說說明	離岸風力機應進行結構動力分析，避免發生下列共振情形導致應力變形過大或疲勞破壞： 1. 離岸風力機轉子旋轉引起共振。 2. 風、波浪及海流與結構間動態交互行為，引起作用頻率鎖定共振。 3. 離岸風力機塔架風作用，而引起渦旋共振。

22

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 3.3.4 載重組合

離岸風力機之設計應考量包含離岸風力機操作條件、風環境與海洋環境載重、地震及電網狀態等各種綜合情境下必須考量的載重組合，各項載重組合設計情境須搭配適當之正常或極端外部條件。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	IEC 61400-3-1、DNV-ST-0437及DNV-RP-0585。
差異性說明	一般設計載重狀況參考IEC 61400-3-1，增加DNV-ST-0437的DLC 8.5~8.6船舶撞擊。 地震設計載重狀況參考DNV-ST-0437及DNV-RP-0585。 支撐結構應力設計載重狀況參考IEC 61400-3-1附錄 I。

19

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

#### 3.3.6 離岸風力機支撐結構附屬電氣

- 電氣設計應符合下列事項：
1. 電氣設備之規格及配置方式，應依據設備裝置規則及輸配電設備裝置規則辦理。
  2. 為使船舶與飛行器可明確辨識，離岸風力機本體外應裝置航行輔助照明燈具，包含但不限於航空障礙燈、外圍主要結構物導航燈、外圍中間結構物導航燈，其設計應符合航路標識設置技術規範、國際航標協會及航運管理單位規範。
  3. 設置火警及自動滅火系統，電氣設備應具備火災自熄性。
  4. 電氣設備如位於支撐結構外部，應於連接之供電線路及通訊線路裝設突波吸收保護裝置或避雷器。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考 DNV-OS-D301。
差異性及解說說明	本節亦參考發電設備裝置規則、輸配電裝置規則、航空障礙物標誌與障礙燈設置標準、航路標識設置技術規範、國際航標協會 (IALA)、IEEE C62系列、IEC 62305-4 IEC 61643系列等規定。

23

## 章節條文及內容概述

### 3.3 離岸風力機性能及安全

	3.3.4 載重組合	IEC 61400-3-1	DNV-ST-0437
DLC 1 發電		同 IEC 61400-3-1	
DLC 2 發電及故障發生	同 IEC 61400-3-1，並增加 DLC 2.3 替代方案供選擇(NTM)		提出 DLC 2.3 替代方案供選擇(NTM)
DLC 3 啟動			
DLC 4 正常停機			
DLC 5 緊急停機			
DLC 6 待機(待機狀態或情轉)			
DLC 7 待機與故障情況			
DLC 8 運輸、組裝、維護及修理	同 DNV-ST-0437	無 8.5及8.6 (但DLC 8.1: 由製造商說明，已有規定要考量船舶碰撞和直升機載重的情境風險)	8.5及8.6 (多考慮了風機船舶碰撞和直升機載重—正常事件，船舶撞擊—異常事件)

20

## 章節條文及內容概述

### 3.4 變電站性能及安全

海上變電站於全生命週期內須至少符合以下之性能及安全要求：

1. 須提供離岸風力發電廠電力併入電網之服務，並應避免變電站於結構破壞或功能失效，導致人員傷亡、嚴重污染、社會與經濟損失等後續效應。
2. 應考量人員使用空間、逃生通道與消防設備之安全，以提升人員與變電站設備之使用安全。陸上變電站應符合輸配電設備裝置規則及國內相關建築設計法規。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	DNV-ST-0145。
解說說明	變電站主要功能為電力傳輸與提升輸送效率，並使電壓提升到減少電損損耗成本為維持變電站之運作服務，得參考DNV-ST-0145進行結構設計評估與提升電力可靠性之應考慮事項。

24

### 章節條文及內容概述

**3.5 輸電系統性能及安全**

輸電系統於全生命週期內須至少符合以下之性能及安全要求：

- 輸電系統在責任分界點與電網相連，應符合台灣電力股份有限公司的電網併聯要求與規範。
- 輸電系統應設置故障保護措施，另經考量電力系統之需求、重要性或系統穩定度分析確認有額外需要時，得增設保護設備。
- 海床採埋設方式鋪設者，應設計適當埋設深度，確保足夠保護層厚度。採非埋設方式鋪設者，應避免海床系統功能失效。
- 海床的鋪設不得影響港口、航運及漁業使用，並應避免對現有管線造成影響。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.12節之概念。
差異性及解說說明	1. 輸電系統之連接及保護主要參考再生能源發電系統併聯技術要點。 2. 海床的鋪設主要參考中研院國大極端環境建設變遷海床或管線之路線劃定許可辦法、海床構造及設計方法則參考 IEC 60228、DNV-ST-0359及DNV-RP-036。

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.3 海洋公害防治**

離岸風力發電廠所設置之輸送或貯存等設備，應採取必要之維護及防範措施，以有效防治海洋公害。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.6節之概念。
差異性及解說說明	1. 離岸風力發電廠有關廢液油、潤滑油及絕緣油等之輸送或貯存設備，須符合水污染防治法與水污染防治法施行細則之相關規定。若輸送或貯存設備有溢漏污染物或廢(污)水外洩之虞者，應採取維護及防範措施。 2. 離岸風力發電廠之設置及運轉作業須符合海洋污染防治法之相關規定，相關作業有導致嚴重污染之虞時，應即採取措施以防止、排除或減輕污染。 3. 風力機葉片旋角驅動系統與轉向系統等設備，須採取防止油品外洩措施。

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.1 安全警示及防護措施**

為確保離岸風力發電廠的作業安全及人員健康，應設置職業安全衛生必要之警示設備、安全防護裝置或安全衛生設備等設施。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.4節之概念。
差異性及解說說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異： 日本解說：風力發電設備相關技術標準(日本) 本規範：職業安全衛生設施規則、職業安全衛生法(台灣) 1. 應於適當地點標示作業設備之危險訊息，並設置相關安全警示與防護措施。 2. 應提供作業人員必要之預防設備或措施，以避免發生職業災害。 3. 針對不同工作場所應具備充分及適用之防護具，人員應備載適合當下作業環境之防護具，並使人員確實使用。

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.4 運維船舶航行安全**

- 無論在白晝或夜晚等全天候條件，皆應確保並維持對船舶之警示與識別功能。
- 應規劃航行安全之配套機制，避免離岸風力發電廠運維及運轉維護期間發生船舶碰撞事件。
- 離岸風力機之轉子運轉時掃掠的範圍不得觸及航行的船舶。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.8及2.9節之概念。
差異性及解說說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異： 日本解說：Recommendation O-139 on The Marking of Man-Made Offshore Structures(國際航海和燈塔管理局海洋援助協會)、航海法(日本)、航空法(日本) 本規範：航路標識條例、航路標識設置技術規範、船舶設備規則、離岸風電海域作業安全指引(台灣)

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.2 液壓及氣壓設備安全**

為維護離岸風力發電廠之安全運作，應維持液壓及氣壓設備之功能。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.5節之概念。
差異性及解說說明	與日本解說的概念一致，但參考標準有所差異： 日本解說：高壓氣體安全法、勞動安全衛生法、鍋爐及壓力容器安全規則(日本) 本規範：高壓氣體勞工安全規則、鍋爐及壓力容器安全規則(台灣) 液壓及氣壓有關設備，應具備抑制壓力上升、壓力控制等功能的措施或裝置，以維持設備運作安全。壓力設備須使用能因應作業環境或內容物之腐蝕性材料，其設備結構應具備耐高壓下安全性與使用性。

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.5 資訊安全防護**

具網路傳輸功能之離岸風力發電廠的設備，應加入資安防護考量，其範圍包含設備本身及該設備之周邊環境。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	選用符合資安規範(如NISTIR 7628、IEC 62443-4-1、IEC 62443-4-2等國際標準/規範)之設備，並視資安防護需求，於周邊環境增加相關資安防護措施(可參考NISTIR 7628、IEC 62443-3-3與ISO/IEC 27001)。
差異性及解說說明	前述所列參考規範與標準，如國家另有頒布者應優先適用之。

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.3 海洋公害防治**

離岸風力發電廠所設置之輸送或貯存等設備，應採取必要之維護及防範措施，以有效防治海洋公害。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	參考日本海上風力發電設備之技術標準之統一解說(離岸風力發電設備相關技術標準解說書)-第2.6節之概念。
差異性及解說說明	本節參考國內水污染防治法、水污染防治法施行細則及海洋污染防治法撰寫，僅參考日本解說之精神，但參考標準有所差異： 日本解說：水質污染防治法、電氣設備相關技術標準(日本) 本規範：水污染防治法、水污染防治法施行細則、海洋污染防治法(台灣)

### 章節條文及內容概述

**3.6 其他要求**

**3.6.6 環境與結構監測**

為使離岸風力發電廠於運轉與維護階段能符合預期之性能與安全目標，設計階段應考量環境與海洋環境、海洋附生物、海床變動、海嘯與地震等嚴重效應對結構性能與安全要求之影響，編訂監測計畫。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
差異性及解說說明	本節主要承上啟下，連接第二章離岸風力發電廠場址環境條件調查及第四章離岸風力發電廠場址環境條件評估，對環境與結構監測作一概述。

## 章節條文及內容概述

### 3.6 其他要求

#### 3.6.6 環境與結構監測

為使離岸風力發電廠於運轉與維護階段能符合預期之性能與安全目標，設計階段應考量風環境與海洋環境、海洋附生物、海床變動、淘刷與地震等載重對結構性能與安全要求之影響，編訂監測計畫。

內容概述	
制定參考之外國或國際相關規範	無。
解說說明	離岸風力發電廠須於設計階段擬定特定場址環境條件監測計畫，並提送主管機關核可備查。場址環境條件監測計畫須說明海洋氣象監測項目、物理量、監測取樣頻率、監測範圍及解析度，並適當規劃監測器 (Sensors)、資料擷取器 (Data Acquisition)、電源供應及備援電力計畫、資料傳輸 (Data Transmission) 計畫、監測設備定期維護校正計畫、監測管理值及緊急應變計畫。

33

## 結語及建議(續)

- 現行國內外技術標準未能充分反映國內本土特殊場址條件（如颱風、地震等），故本章節**訂定本土適用之載重組合及離岸風力發電廠之性能及安全需求**以提供開發商、風機製造商及第三方驗證單位等引用參考，**確保離岸風場設計符合本土所需**。
- 政府可把開產業技術環節與各界需求，**建立審查管理制度**，例如可納入專案驗證、技師簽證和第三方驗證機制等。
- 開發商可依據離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點，提送經驗證機構所完成之專案驗證證書與**銀行融資**，以利風場之順利開發。

36

## 目錄

## CONTENTS

- 01 前言
- 02 參考依據
- 03 章節架構
- 04 章節條文及內容概述
- 05 結語及建議

34

## 補充說明

- 政府 (驗證審查)
  - ✓ 國內目前並無有關離岸風電之工程技術準則或規範可供依循，本規範建立審查制度，納入專案驗證、技師簽證與第三方驗證等規定，**政府可有有效進行離岸風力發電廠技術把關**，以期能安全、可靠及有效地推動離岸風電建設。
- 開發商
  - ✓ 離岸風電開發在財務上所需資金相當龐大，開發計畫涉及許多複雜工程技術與各種不確定性的挑戰，**符合離岸風力發電技術規範之規定，有利於開發商與銀行、保險公司、主管機關等各相關單位進行有效磋商，順利開發風場。**
  - ✓ 目前離岸風力機多為國外進口，通過本章節的指引，**加強開發商對台灣本土風場開發相關規定之認知**，以選擇適合台灣之風力機種，可加快離岸風場開發速度，縮短開發時程。

37

## 結語及建議

- 本章節考量國內本土極端環境條件（颱風、地震等）及參考國內外風機設計標準，訂定離岸風力發電**本土設計載重組合**，目前已納入經濟部標檢局本土離岸風電場址調查及設計技術規範之**離岸風力發電廠性能及安全要求專章草案**，未來可在**風機結構、抗飆、耐震**等標準，**依照在地化的工程參數補足設計缺口**。



38

## 補充說明(續)

- 製造商
  - ✓ 國內台灣離岸風場位於颱風及地震多發地區，現行國外技術規範未能充分反映本土環境條件，風機製造商於設計製造時，可**引用本章節對離岸風力發電廠之性能及安全之考量**，使風力機符合台灣風力機相關法規之要求。
- 設計者
  - ✓ 國內目前並無有關離岸風電之工程技術準則或規範，通過本章節的指引，**可加速設計者對台灣本土風場開發相關規定之認知**，以設計適合台灣之離岸風力發電廠，並可有效縮短整體設計流程。
- 第三方驗證單位
  - ✓ 離岸風力發電廠性能及安全要求專章之訂定，**可提供國內外第三方驗證單位執行風力機驗證之審查基準**，透過第三方審核，確認國內離岸風電專案符合台灣之標準法規及其他相關技術性規定。

簡報結束



# 離岸風力機支撐結構與電力系統設計

徐偉朝

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

## 離岸風力機支撐結構與電力系統設計

主講人：徐偉朝 經理

中興工程顧問有限公司 電力及能源工程部



## 目錄

## CONTENTS

- 01 國際現行設計標準
- 02 規範制定原則與架構
- 03 內容概述
- 04 結論

2

## 目錄

CONTENTS

**01** 國際現行設計標準

**02** 規範制定原則與架構

**03** 內容概述

**04** 結論

3

## 固定式離岸風電主要國際設計標準

- International Electrotechnical Commission(國際電工委員會) ← 母法
  - IEC 61400-3 since 2009.02 -> IEC 61400-3-1
- DNV(立恩威國際驗證股份有限公司) ← 最早制定離岸風電設計標準
  - DNV-OS-J101 since 2004.06 -> DNV-ST-0126/0437
- American Clean Power Association(美國潔淨電力協會) ← 美國國家標準
  - AWEA OCRP-1 since 2012.06 -> ANSI/ACP OCRP-1-202X
- American Bureau of Shipping(美國驗船協會)
  - BOTTOM-FOUNDED OFFSHORE WIND TURBINE - since 2015.10

7

## 離岸結構發展

離岸風電支撐結構工程係基於離岸石油氣業發展超過百年之技術

第一個離岸結構  
Summerland, California (1896)

第一座離岸風機支撐結構  
丹麥Vindeby(1991年)

4

## 國際現行採用之設計規範

- 離岸結構設計規範
  - 美規: ABS · API · ASTM · AISC...
  - 歐規: DNV · NORSOK · EN 1993系列...
- 離岸風電結構設計規範
  - DNV系列
  - 美國ANSI/ACP OCRP-1-202X
- 台灣土木教育與業界多採用美規
  - 以混凝土結構為例:
    - 內政部頒行之「混凝土結構設計規範」
    - 基於中國土木水利工程學會之「基礎工程設計規範與解說」土水401-110
    - 基於American Concrete Institute(美國混凝土協會) ACI 318-19
  - 以鋼結構為例:
    - 內政部頒行之「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」
    - 基於American Institute of Steel Construction (美國鋼構造協會) AISC ASD/LRFD

8

## 離岸結構設計與陸上結構設計不同處

- 外力
  - 海流
  - 波浪
  - 氣動力(含機械運轉) → 疲勞效應
- 構件形狀
  - 陸上: 箱型、工字型 → 接頭設計
  - 海上: 圓型
- 其它設計考量
  - 海生物附着、腐蝕、海床高程變動、
- 製造、安裝考量
  - 設備限制(捲板機、提吊、運輸、打植...)

來源: [https://www.researchgate.net/publication/338849465/figure/fig/1/figure-pdf/338849465/Comparative\\_Study\\_of\\_Structural\\_Reliability\\_Assessment\\_Methods\\_for\\_Offshore\\_Wind\\_Turbine\\_Jacket\\_Support\\_Structures](https://www.researchgate.net/publication/338849465/figure/fig/1/figure-pdf/338849465/Comparative_Study_of_Structural_Reliability_Assessment_Methods_for_Offshore_Wind_Turbine_Jacket_Support_Structures)

5

## 美國OCRP-1之支撐結構設計依據

- 鋼結構設計以DNV與API為主，即設計者可採歐規或美規。
- ANSI/ACP OCRP-1-202X:
  - 5.6.3.2 Steel design
  - The following standards apply to the design of steel support structures, secondary structures, and other steel elements:
    - API-RP 2A LRFD
    - DNVGL/DNV-ST-0126
    - DNV-OS-C101
    - DNVGL/DNV-RP-C203 (for fatigue design)
    - ABS BOWT Guide
  - Additional ISO, AISC, ASTM, and EN (e.g. EN1993/Eurocode 3) standards may be relevant. It might be necessary to use a combination of standards, and in such cases it should be justified that the intended safety level is achieved. API-RP 2A WSD may be used in lieu of API-RP 2A LRFD, but particular care shall be taken when mixing LRFD and WSD/ASD standards, which is generally not recommended. The selected standards shall be included in the design basis and not be in conflict with U.S. regulations.

9

## 固定式離岸結構主要國際設計標準(石油工業)

- API American Petroleum Institute(美國石油協會) ← 現存之最早規範
  - API RP 2A-WSD since 1969.10 -> 2014.11 (22nd Ed.)
  - API RP 2A-LRFD since 1993.07 -> 2019.08 (2nd Ed.)
- Standards Norway(挪威標準)
  - NORSOK N-004 since 1998.12 -> 2021.12 (4th Ed.)
- International Organization for Standardization(國際標準化組織)
  - ISO 19902 since 2007.12 -> 2020.11 (2nd Ed.)

6

## 目錄

CONTENTS

**01** 國際現行設計標準

**02** 規範制定原則與架構

**03** 內容概述

**04** 結論

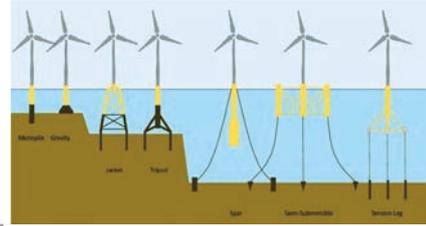
10

## 規範編製原則

- IEC 61400-3-1無結構設計技術細節要求。 ← 需輔以現有國際技術標準
- 歐美之離岸結構設計標準已發展超過半個世紀，並為國際設計依據。 ← 設計細節指引至國際規範
- 離岸結構設計主要分為歐規(DNV、EN)、美規(ABS、API)與國際標準(ISO)。 ← 與國際接軌，允許設計者自行選用，惟不得混用。

## 通則

- 本規範適用於離岸風力機採單樁式(Monopile)、套筒式(Jacket)之固定式支撐結構。
- 如採用其他結構型式如三腳式/三樁式(Tripod/Tripile)、負壓沉箱(Suction Bucket)基礎或重力式基礎等，除本規範可適用者外，應就其特殊性另作考量，但須在設計文件中載明其設計依據。



## 本規範與歐美離岸風電支撐結構設計規範比較



## 離岸風力機支撐結構設計原則

臨時階段: 製造、運輸、安裝、拆除過程  
永久階段: 運維期間

- 5.2.1 一般規定
- 5.2.2 結構設計年限
- 5.2.3 自然環境條件
- 5.2.4 運轉操作條件
- 5.2.5 臨時階段之設計考量

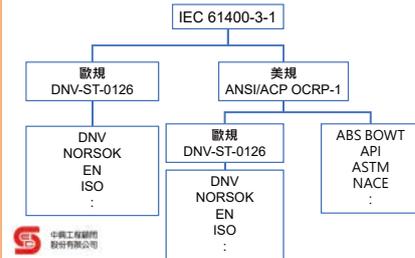


## 章節架構

- 5.1 通則
- 5.2 離岸風力機支撐結構設計原則
- 5.2.1 一般規定
- 5.2.2 結構設計年限
- 5.2.3 自然環境條件
- 5.2.4 運轉操作條件
- 5.2.5 臨時階段之設計考量
- 5.3 離岸風力機支撐結構設計要求
- 5.3.1 一般規定
- 5.3.2 結構分析與模擬
- 5.3.3 結構設計與檢核
- 5.3.4 鋼結構強度及挫屈設計
- 5.3.5 鋼結構疲勞設計
- 5.3.6 結構接合設計
- 5.3.7 灌漿接合設計
- 5.3.8 運維船舶撞擊
- 5.3.9 有限元素分析
- 5.3.10 臨時階段之結構檢核
- 5.4 大地工程設計
- 5.4.1 一般規定
- 5.4.2 樁基礎承载力與變位檢核
- 5.4.3 群樁效應
- 5.4.4 淘刷保護設計
- 5.4.5 海纜槽溝設計
- 5.5 腐蝕防護系統
- 5.6 電網連接與海纜設計
- 5.6.1 電網連接
- 5.6.2 海纜設計

## 離岸風力機支撐結構設計要求

- 結構設計應採用國際普遍認可之固定式離岸風力機支撐結構設計規範/標準，並應採用單一或相同系統之設計規範/標準與結構材料規範/標準，除非可以確認具備較高或同等之可靠度水準，否則不得混用規範/標準。



- 5.3.1 一般規定
- 5.3.2 結構分析與模擬
- 5.3.3 結構設計與檢核
- 5.3.4 鋼結構強度及挫屈設計
- 5.3.5 鋼結構疲勞設計
- 5.3.6 結構接合設計
- 5.3.7 灌漿接合設計
- 5.3.8 運維船舶撞擊
- 5.3.9 有限元素分析
- 5.3.10 臨時階段之結構檢核

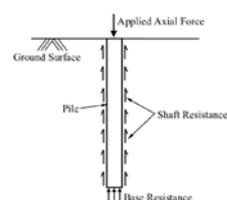
## 目錄 CONTENTS

- 01 國際現行設計標準
- 02 規範制定原則與架構
- 03 內容概述
- 04 結論

## 大地工程設計

- 基樁需考量各種載重

- ✓ 地震及土壤液化
- ✓ 風浪作用
- ✓ 海床變動
- ✓ 疲勞效應
- ✓ 群樁效應



圖片來源: Djanjan Basu

- 5.4.1 一般規定
- 5.4.2 樁基礎承载力與變位檢核
- 5.4.3 群樁效應
- 5.4.4 淘刷保護設計
- 5.4.5 海纜槽溝設計

## 腐蝕防護系統

- 腐蝕防護整體性策略**
  - 參考ISO 19902、ISO 24656、及DNV-RP-0416
- 防蝕方法**
  - 表面被覆法**
    - 塗料塗裝、熱浸鍍鋅層或金屬熔射層
    - 參考ISO 12944、NORSOK M-501或NACE SP0108
  - 陰極保護法**
    - 外加電流法或犧牲陽極法
    - 參考ISO 24656、NORSOK M-503、NACE SP0176或DNV-RP-B401
  - 腐蝕容許量**
    - 參考ISO 19902、ISO 24656、及DNV-RP-0416

19

## 結論

- 綜合前述考量：**
  - 歐美離岸工程產業已累積百年經驗，其設計規範亦發展超過50年，已形成國際標準。
  - 離岸風電產業為國際性產業，宜與國際接軌。
  - 電力系統須符合國內電網要求。
- 除電力系統外，結構設計採用國際業界實務標準，設計者可選用歐規或美規標準。

22

## 電網連接與海纜設計

- 電網連接及電力系統設計應符合電業法及電網公司相關規定
  - 5.6.1 電網連接
  - 5.6.2 海纜設計



經濟部能源局  
Bureau of Energy  
Ministry of Economic Affairs

經濟部能源局頒布之「電業供電電壓及頻率標準」  
「輸配電設備裝置規則」



台灣電力公司  
Taiwan Power Company

台電頒布之「再生能源發電系統併聯技術要點」

20

## 負責項目

章節：第五章  
內容：離岸風力機支撐結構與電力系統設計

政府(驗證書查)	設計者
<ul style="list-style-type: none"> <li>明確審查執行依據。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>結構設計要求與國際接軌。</li> <li>減少未來審查過程產生之不確定性。</li> <li>明列電力系統與本土電網併聯要求。</li> </ul>
開發商	第三方驗證單位
<ul style="list-style-type: none"> <li>結構設計要求與國際接軌。</li> <li>減少未來審查過程產生之不確定性。</li> <li>明列電力系統與本土電網併聯要求。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>減少未來審查過程產生之不確定性。</li> </ul>

23

## 目錄

CONTENTS

- 01 國際現行設計標準
- 02 規範制定原則與架構
- 03 內容概述
- 04 結論

21

## 簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



簡報結束



# 離岸風場設計技術規範之專案驗證執行

顧寶鼎

## 離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

### 離岸風場設計技術規範之專案驗證執行

**主講人：顧寶鼎 博士**

立恩威國際驗證股份有限公司 首席工程師

DNV 經濟部標準檢驗局 TAIPEI 國立臺灣科技大學

## 草案中專案驗證相關條文

**1.7 場址調查及設計階段送審文件**

場址調查及設計階段應於完成各項作業時提交相關調查報告與設計成果，經專案技術團隊及/或驗證機構核可後，提交主管機關辦理專案驗證審查並核定之。

**3.2 離岸風力發電廠驗證與審查**

**3.2.1 一般規定**

離岸風力發電廠之設計成果須完成專案驗證及專案驗證審查。

**3.2.2 專案驗證**

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件，依據離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點，提交經驗證機構完成專案驗證。

**3.2.3 專案驗證審查**

開發商應提供符合第1.7節規定之相關文件及第3.2.2節專案驗證之符合性聲明，依據電業登記規則，提交標準檢驗局及共認可之審查機構完成專案驗證審查。

2

### Certification requirements in Taiwan (離岸風力發電場專案驗證審查示範輔導作業要點)

- Regulation set by Bureau of Standards, Metrology and Inspection, MOEA (BSMI)
- Directions for Demonstration and Guidance on Reviewing Project Certification of Offshore Wind Farm Projects, issued on 2019-09-23, amended on 2021-05-14, excerpt:
 

三、離岸風力發電廠場址之開發、設計及地作，應符合 CNS 15176-22、IEC 61400-22、IEC 61400-502、DNVGL-SE-0073 或 DNVGL-SE-0190 之要求，並將 CNS 15176-1 及 CNS 15176-3 評估外部條件（如極端風速、地震狀況等）之方法納入設計考量，但能將主管機關另有規定者，得依其規定。

因特殊原因致現場外部條件之量測無法符合前項相關標準之要求者，應經檢驗機構之評估決定其外部條件參數。

本要點中華民國一百零九年十一月二十日修正發布之規定並生效後所新實施之開發、設計及地作，應自開始開發、設計及地作時，依第一項所定相關標準最新版本之要求。
- Project certification by an accredited certification body
- Project certification phases covered: design basis (which includes site conditions assessment), loads, design, manufacturing surveillance, transport and installation
- Assets covered: WTG, OSS, Cable

DNV

### 益處陳列表

<b>負責項目</b> 章節: 3.2 內容: 離岸風力發電廠驗證與審查	<b>政府(驗證審查)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>對於已發布之“離岸風力發電廠專案驗證審查作業要點”加以補充說明</li> </ul>	<b>設計者</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>可按照 1.7 及 3.2 節之規定，對於應該作第三方驗證及驗證審查之文件做明確準備</li> </ul>
<b>開發商</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>同“設計者”</li> <li>減低第三方驗證及驗證審查之不確定性</li> </ul>	<b>風機製造商</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>同“設計者”</li> <li>減低第三方驗證及驗證審查之不確定性</li> </ul>	<b>第三方驗證單位</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>本草案對於第三方驗證過程更加明確化。</li> <li>本草案對台灣地區之特殊要求明確化，有助於台灣地區風場認證</li> </ul>

DNV  
Commercial in confidence

### Project permitting process in Taiwan

DNV

### Benefits by independent 3rd party – Accredited Certification Body

- Mitigating risks at an effective stage by certification
- Increased confidence in technical integrity and reliability
- Confirmation of requirements as stated by project developers
- Support of quality management
- Minimising financial project risks
  - Secure investments and optimise return of investment
  - Secure better insurance rates
- Supporting authority approvals

DNV

### Accreditation by accreditation body

... leading to worldwide acceptance being an ISO/IEC 17065 Accredited Certification Body

- annual maintenance audits and re-accreditation after five years
- 100+ countries being IAF Members and Signatories

DNV

### What is Certification?

Definition of certification (ISO / IEC 17000)  
**Certification** is a:  
 Third-party attestation related to products, processes, systems or persons  
**Attestation** means:  
 Issue of a statement, based on a decision following the review, that fulfillment of specified requirements has been demonstrated  
**Review** is done by:  
 Verification of the suitability, adequacy and effectiveness...

DNV

2022年12月16日編

2022年12月16日編

項目	標準名稱	驗證標準	驗證標準	驗證標準	驗證標準	驗證標準
1	國際標準化組織 (ISO) 9001:2015	品質管理系統 (品質)				
2	國際標準化組織 (ISO) 14001:2015	環境管理系統 (環境)				
3	國際標準化組織 (ISO) 45001:2018	職業安全與健康 (安全)				
4	國際標準化組織 (ISO) 50001:2018	能源管理系統 (能源)				
5	國際標準化組織 (ISO) 27001:2017	資訊安全 (資訊)				
6	國際標準化組織 (ISO) 27002:2018	資訊安全 (資訊)				
7	國際標準化組織 (ISO) 27005:2018	資訊安全 (資訊)				
8	國際標準化組織 (ISO) 27031:2019	資訊安全 (資訊)				

DNV

### Type Certification & Project Certification

- A wind turbine type
  - evaluated for compliance with applicable regulations and assumed conditions (e.g. wind turbine class)
- Selected design parameters and conditions
- Manufacturing process and type testing on a sample

VS.

- Power plant including wind turbines
  - evaluated for compliance with applicable regulations and site-specific conditions
  - designed for a specific location
  - manufactured for a specific project
  - installed and commissioned under site-specific circumstances

DNV



### Load and responses for offshore wind turbines

Within an offshore wind power plant the substructures may:

- be exposed to different design wave loads
- be placed in different water depths
- have different soil stiffness
- have different damping
- have different structural stiffnesses etc.

DNV

### Certification activities

3. Independent analyses of the support structure including highly utilized structural connection by appropriate methods for the relevant limit states

DNV

### Design

Typical situation in a wind power plant

- several site conditions are lower, some higher than in the Type Certificate
- Question: Is the structural integrity of the wind turbines compromised?

DNV

### Certification activities

4. Review of design implementation of manufacturing and installation requirements with respect to the structural integrity of the final structure.

5. Evaluation of the proposed corrosion protection systems against design requirements with a view to the required design life.

DNV

### Certification activities

What is reviewed for certification proposes?

1. Valid Type Certificate for the RNA
- Verification including an evaluation of the Design
  - External Conditions assumed for the RNA design
  - Requirements for transport and installation
  - Requirements for operation and maintenance
  - Specification for the interfaces between wind turbine and support structure

DNV

### Interfaces of the certification phases

Design basis lays out requirement for subsequent phases

Inputs to be considered during implementation of the type certificate and during project certification

DNV

### Certification activities

2. Review of Designer documentation for the substructure (tower, substructure connecting tower and foundation, J-tubes and the foundation)

- detailed design calculation reports,
- design drawings, 3D-Models 3D
- manufacturing specifications

DNV

### Multiple partners in the projects – communication lines

DNV

## Manufacturing

- Assurance that the key products manufactured comply with the approved design/expectations

Design (calculations)  
→ Assumptions

Manufacturing  
→ Implementation

27

## Commissioning; operation and maintenance manuals

- Commissioning involves all follow-up evaluation and on-site inspections during the implementation of the project.
- Operation and maintenance relates to the concepts and manuals to be approved.
- Demonstrating that the assets are ready for a safe and reliable operation.

31

## Manufacturing surveillance

- survey of manufacturing
- evaluation of quality management system, if ISO 9001 certificate is not available
- product related quality audits
- survey of contractor's quality management activities.
- The risk level is higher for a component (or an assembly) which failure leads to severe consequences. On the other hand a higher verification level will help to reduce the risk level.

28

## Project certificate (sample)

32

## Transport and Installation

- Transport and installation covers the surveillance during transport and installation of the project related assets.
- Demonstrating that the transport and installation is not interfering with safety and integrity of the assets.

29

## Certification Reports - sample

33

## DNV-ST-0054: Transport and installation of wind power plants

- Development / design influences of T&I on the structural integrity
- Development of T&I documentation information to be considered in T&I documentation
- Prior to start of T&I works inspections, tests and checks to be carried out
- Execution of T&I operations working steps and parameters to be monitored
- Upon completion of T&I evaluation of possible impacts (e.g. damage analysis)

30

經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH 國立臺北科技大學

# 簡報結束 敬請指教

## Thank you for your attention.

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束



## 離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會 Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

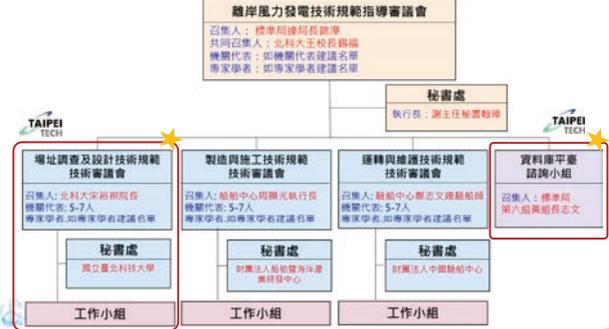
### 臺灣離岸風電場址條件 研究資料庫介紹

主講人：劉小勤 副理  
國立臺北科技大學 離岸風電工程研究中心  
盧明德 經理  
維三企業有限公司



離岸風電工程研究中心  
經濟部標準檢驗局  
TAIPEI 國立臺北科技大學

## 技術規範指導審議會



## 目錄 CONTENTS

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

## 使用者資料需求盤點



## 目錄 CONTENTS

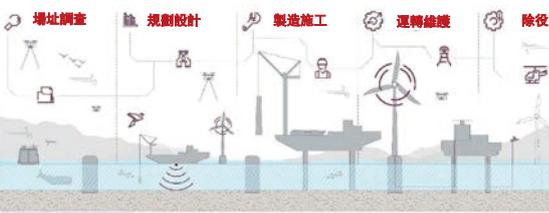
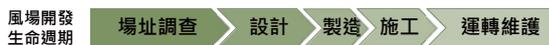
- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

## 場址調查及設計流程



## 風場開發生命週期之技術規範

編撰技術規則，包含：場址調查、設計、製造、施工、運轉維護等部份



## 設計參數 Roadmap



## 場址調查與設計技術規範

### 第一章 總則

- 1.1 目的
- 1.2 主管機關
- 1.3 適用範圍
- 1.4 名詞與定義
- 1.5 相關法令與標準
- 1.6 設計、施工與運維之配合
- 1.7 場址調查與設計階段送審文件

### 第二章 離岸風力發電場址環境條件調查

- 2.1 一般規定
- 2.2 海洋氣象調查
- 2.2.1 一般規定
- 2.2.2 風場條件調查
- 2.2.3 海洋環境條件調查
- 2.3 水深及大地工程地質調查
- 2.3.1 一般規定
- 2.3.2 水深地形調查
- 2.3.3 地球物理探測
- 2.3.4 大地工程地質
- 2.4 其他環境調查
- 2.4.1 環境調查
- 2.4.2 生態調查
- 2.4.3 海洋生物調查
- 2.5 特定場址環境條件資料提送
- 2.5.1 一般規定
- 2.5.2 海洋氣象調查資料提送
- 2.5.3 工程地質調查資料提送
- 2.5.4 其他環境調查資料提送

### 第三章 離岸風力發電機性能及安全要求

- 3.1 總則
- 3.1.1 風能
- 3.1.2 電業登記及行政審查
- 3.1.3 專業監督
- 3.1.4 性能及安全
- 3.1.5 設計原則
- 3.1.6 離岸風力機軸
- 3.1.7 安全等
- 3.1.8 載重組合
- 3.1.9 離岸風力機軸效率
- 3.1.10 離岸風力機軸結構與軸電
- 3.4 離岸風力機軸性能及安全
- 3.5 離岸風力機軸性能及安全
- 3.6 其他要求
- 3.6.1 安全警報及防護措施
- 3.6.2 防浪及風浪防護安全
- 3.6.3 海岸安全防護
- 3.6.4 離岸風力機軸安全
- 3.6.5 離岸風力機軸安全
- 3.6.6 離岸風力機軸安全

### 第四章 離岸風力發電機支撐結構與電力系統設計

- 4.1 總則
- 4.1.1 一般規定
- 4.1.2 一般規定
- 4.1.3 一般規定
- 4.1.4 一般規定
- 4.1.5 一般規定
- 4.1.6 一般規定
- 4.1.7 一般規定
- 4.1.8 一般規定
- 4.1.9 一般規定
- 4.1.10 一般規定
- 4.1.11 一般規定
- 4.1.12 一般規定
- 4.1.13 一般規定
- 4.1.14 一般規定
- 4.1.15 一般規定
- 4.1.16 一般規定
- 4.1.17 一般規定
- 4.1.18 一般規定
- 4.1.19 一般規定
- 4.1.20 一般規定
- 4.1.21 一般規定
- 4.1.22 一般規定
- 4.1.23 一般規定
- 4.1.24 一般規定
- 4.1.25 一般規定
- 4.1.26 一般規定
- 4.1.27 一般規定
- 4.1.28 一般規定
- 4.1.29 一般規定
- 4.1.30 一般規定
- 4.1.31 一般規定
- 4.1.32 一般規定
- 4.1.33 一般規定
- 4.1.34 一般規定
- 4.1.35 一般規定
- 4.1.36 一般規定
- 4.1.37 一般規定
- 4.1.38 一般規定
- 4.1.39 一般規定
- 4.1.40 一般規定
- 4.1.41 一般規定
- 4.1.42 一般規定
- 4.1.43 一般規定
- 4.1.44 一般規定
- 4.1.45 一般規定
- 4.1.46 一般規定
- 4.1.47 一般規定
- 4.1.48 一般規定
- 4.1.49 一般規定
- 4.1.50 一般規定
- 4.1.51 一般規定
- 4.1.52 一般規定
- 4.1.53 一般規定
- 4.1.54 一般規定
- 4.1.55 一般規定
- 4.1.56 一般規定
- 4.1.57 一般規定
- 4.1.58 一般規定
- 4.1.59 一般規定
- 4.1.60 一般規定
- 4.1.61 一般規定
- 4.1.62 一般規定
- 4.1.63 一般規定
- 4.1.64 一般規定
- 4.1.65 一般規定
- 4.1.66 一般規定
- 4.1.67 一般規定
- 4.1.68 一般規定
- 4.1.69 一般規定
- 4.1.70 一般規定
- 4.1.71 一般規定
- 4.1.72 一般規定
- 4.1.73 一般規定
- 4.1.74 一般規定
- 4.1.75 一般規定
- 4.1.76 一般規定
- 4.1.77 一般規定
- 4.1.78 一般規定
- 4.1.79 一般規定
- 4.1.80 一般規定
- 4.1.81 一般規定
- 4.1.82 一般規定
- 4.1.83 一般規定
- 4.1.84 一般規定
- 4.1.85 一般規定
- 4.1.86 一般規定
- 4.1.87 一般規定
- 4.1.88 一般規定
- 4.1.89 一般規定
- 4.1.90 一般規定
- 4.1.91 一般規定
- 4.1.92 一般規定
- 4.1.93 一般規定
- 4.1.94 一般規定
- 4.1.95 一般規定
- 4.1.96 一般規定
- 4.1.97 一般規定
- 4.1.98 一般規定
- 4.1.99 一般規定
- 4.1.100 一般規定



## 製造及施工技術規範

### 第一章 總則

- 1.1 目的
- 1.2 主管機關
- 1.3 適用範圍
- 1.4 名詞與定義
- 1.5 相關法令與標準
- 1.6 設計、施工與運維之配合
- 1.7 製造及施工階段送審文件

### 第二章 支撐結構之製造與檢測

- 2.1 一般規定
- 2.2 銲接
- 2.3 製造公差
- 2.4 銲接非破壞檢測
- 2.5 防護保護系統
- 2.6 鋼栓連接與緊固
- 2.7 其他相關設備

### 第三章 施工計畫與方法

- 3.1 一般規定
- 3.2 港區
- 3.3 載具要求
- 3.3.1 基本標示
- 3.3.2 設備規格

### 第四章 環境條件

- 4.1 目的
- 4.2 環境條件
- 4.2.1 環境條件
- 4.2.2 環境條件
- 4.2.3 環境條件
- 4.2.4 環境條件
- 4.2.5 環境條件
- 4.2.6 環境條件
- 4.2.7 環境條件
- 4.2.8 環境條件
- 4.2.9 環境條件
- 4.2.10 環境條件
- 4.2.11 環境條件
- 4.2.12 環境條件
- 4.2.13 環境條件
- 4.2.14 環境條件
- 4.2.15 環境條件
- 4.2.16 環境條件
- 4.2.17 環境條件
- 4.2.18 環境條件
- 4.2.19 環境條件
- 4.2.20 環境條件
- 4.2.21 環境條件
- 4.2.22 環境條件
- 4.2.23 環境條件
- 4.2.24 環境條件
- 4.2.25 環境條件
- 4.2.26 環境條件
- 4.2.27 環境條件
- 4.2.28 環境條件
- 4.2.29 環境條件
- 4.2.30 環境條件
- 4.2.31 環境條件
- 4.2.32 環境條件
- 4.2.33 環境條件
- 4.2.34 環境條件
- 4.2.35 環境條件
- 4.2.36 環境條件
- 4.2.37 環境條件
- 4.2.38 環境條件
- 4.2.39 環境條件
- 4.2.40 環境條件
- 4.2.41 環境條件
- 4.2.42 環境條件
- 4.2.43 環境條件
- 4.2.44 環境條件
- 4.2.45 環境條件
- 4.2.46 環境條件
- 4.2.47 環境條件
- 4.2.48 環境條件
- 4.2.49 環境條件
- 4.2.50 環境條件
- 4.2.51 環境條件
- 4.2.52 環境條件
- 4.2.53 環境條件
- 4.2.54 環境條件
- 4.2.55 環境條件
- 4.2.56 環境條件
- 4.2.57 環境條件
- 4.2.58 環境條件
- 4.2.59 環境條件
- 4.2.60 環境條件
- 4.2.61 環境條件
- 4.2.62 環境條件
- 4.2.63 環境條件
- 4.2.64 環境條件
- 4.2.65 環境條件
- 4.2.66 環境條件
- 4.2.67 環境條件
- 4.2.68 環境條件
- 4.2.69 環境條件
- 4.2.70 環境條件
- 4.2.71 環境條件
- 4.2.72 環境條件
- 4.2.73 環境條件
- 4.2.74 環境條件
- 4.2.75 環境條件
- 4.2.76 環境條件
- 4.2.77 環境條件
- 4.2.78 環境條件
- 4.2.79 環境條件
- 4.2.80 環境條件
- 4.2.81 環境條件
- 4.2.82 環境條件
- 4.2.83 環境條件
- 4.2.84 環境條件
- 4.2.85 環境條件
- 4.2.86 環境條件
- 4.2.87 環境條件
- 4.2.88 環境條件
- 4.2.89 環境條件
- 4.2.90 環境條件
- 4.2.91 環境條件
- 4.2.92 環境條件
- 4.2.93 環境條件
- 4.2.94 環境條件
- 4.2.95 環境條件
- 4.2.96 環境條件
- 4.2.97 環境條件
- 4.2.98 環境條件
- 4.2.99 環境條件
- 4.2.100 環境條件

### 第五章 安全與管理

- 5.1 總則
- 5.1.1 一般規定
- 5.1.2 一般規定
- 5.1.3 一般規定
- 5.1.4 一般規定
- 5.1.5 一般規定
- 5.1.6 一般規定
- 5.1.7 一般規定
- 5.1.8 一般規定
- 5.1.9 一般規定
- 5.1.10 一般規定
- 5.1.11 一般規定
- 5.1.12 一般規定
- 5.1.13 一般規定
- 5.1.14 一般規定
- 5.1.15 一般規定
- 5.1.16 一般規定
- 5.1.17 一般規定
- 5.1.18 一般規定
- 5.1.19 一般規定
- 5.1.20 一般規定
- 5.1.21 一般規定
- 5.1.22 一般規定
- 5.1.23 一般規定
- 5.1.24 一般規定
- 5.1.25 一般規定
- 5.1.26 一般規定
- 5.1.27 一般規定
- 5.1.28 一般規定
- 5.1.29 一般規定
- 5.1.30 一般規定
- 5.1.31 一般規定
- 5.1.32 一般規定
- 5.1.33 一般規定
- 5.1.34 一般規定
- 5.1.35 一般規定
- 5.1.36 一般規定
- 5.1.37 一般規定
- 5.1.38 一般規定
- 5.1.39 一般規定
- 5.1.40 一般規定
- 5.1.41 一般規定
- 5.1.42 一般規定
- 5.1.43 一般規定
- 5.1.44 一般規定
- 5.1.45 一般規定
- 5.1.46 一般規定
- 5.1.47 一般規定
- 5.1.48 一般規定
- 5.1.49 一般規定
- 5.1.50 一般規定
- 5.1.51 一般規定
- 5.1.52 一般規定
- 5.1.53 一般規定
- 5.1.54 一般規定
- 5.1.55 一般規定
- 5.1.56 一般規定
- 5.1.57 一般規定
- 5.1.58 一般規定
- 5.1.59 一般規定
- 5.1.60 一般規定
- 5.1.61 一般規定
- 5.1.62 一般規定
- 5.1.63 一般規定
- 5.1.64 一般規定
- 5.1.65 一般規定
- 5.1.66 一般規定
- 5.1.67 一般規定
- 5.1.68 一般規定
- 5.1.69 一般規定
- 5.1.70 一般規定
- 5.1.71 一般規定
- 5.1.72 一般規定
- 5.1.73 一般規定
- 5.1.74 一般規定
- 5.1.75 一般規定
- 5.1.76 一般規定
- 5.1.77 一般規定
- 5.1.78 一般規定
- 5.1.79 一般規定
- 5.1.80 一般規定
- 5.1.81 一般規定
- 5.1.82 一般規定
- 5.1.83 一般規定
- 5.1.84 一般規定
- 5.1.85 一般規定
- 5.1.86 一般規定
- 5.1.87 一般規定
- 5.1.88 一般規定
- 5.1.89 一般規定
- 5.1.90 一般規定
- 5.1.91 一般規定
- 5.1.92 一般規定
- 5.1.93 一般規定
- 5.1.94 一般規定
- 5.1.95 一般規定
- 5.1.96 一般規定
- 5.1.97 一般規定
- 5.1.98 一般規定
- 5.1.99 一般規定
- 5.1.100 一般規定

## 資料庫資料來源盤點

氣象資料開放平臺	風力資訊整合平台-地理資訊系統	工程地質探勘資料庫	港海環境資訊網
484項	8項	10項	37項
海域資訊整合平臺	海域施工環境分析暨自動化監測系統	離岸海氣象觀測站	海洋學門資料庫
41項	3項	11項	11項
國土測繪圖資服務雲	海岸防護基本資料查詢平臺	地質資料整合查詢	
161項	17項	42項	
即時海況	臺灣海象災防環境資訊平台	海洋保育地理資訊平台	總共約有 <b>1149</b> 項
25項	105項	46項	
航行海象 SAFE SEE	地震測報中心-強地動觀測網	土壤液化潛勢查詢系統	
102項	25項	21項	

## 運載及維護技術規範

### 第一章 總則

- 1.1 目的
- 1.2 主管機關
- 1.3 適用範圍
- 1.4 名詞與定義
- 1.5 相關法令與標準
- 1.6 設計、施工與運維之配合
- 1.7 運轉及維護階段送審文件

### 第二章 一般原則

- 2.1 風場基本資訊
- 2.2 資格
- 2.3 運維作業場域
- 2.4 載具
- 2.5 機具
- 2.6 備品管理
- 2.7 環境保護暨職業安全衛生
- 2.8 緊急應變因應
- 2.9 事故通報、調查及改進
- 2.10 紀錄留存與管理
- 2.11 資訊安全防護

### 第三章 運轉及維護之技術要求

- 3.1 總則
- 3.2 運轉技術要求
- 3.2.1 轉子機軸總成
- 3.2.2 支撐結構
- 3.2.3 輪軸系統
- 3.2.4 輪軸系統
- 3.2.5 輪軸系統
- 3.2.6 輪軸系統
- 3.2.7 輪軸系統
- 3.2.8 輪軸系統
- 3.2.9 輪軸系統
- 3.2.10 輪軸系統
- 3.2.11 輪軸系統
- 3.2.12 輪軸系統
- 3.2.13 輪軸系統
- 3.2.14 輪軸系統
- 3.2.15 輪軸系統
- 3.2.16 輪軸系統
- 3.2.17 輪軸系統
- 3.2.18 輪軸系統
- 3.2.19 輪軸系統
- 3.2.20 輪軸系統
- 3.2.21 輪軸系統
- 3.2.22 輪軸系統
- 3.2.23 輪軸系統
- 3.2.24 輪軸系統
- 3.2.25 輪軸系統
- 3.2.26 輪軸系統
- 3.2.27 輪軸系統
- 3.2.28 輪軸系統
- 3.2.29 輪軸系統
- 3.2.30 輪軸系統
- 3.2.31 輪軸系統
- 3.2.32 輪軸系統
- 3.2.33 輪軸系統
- 3.2.34 輪軸系統
- 3.2.35 輪軸系統
- 3.2.36 輪軸系統
- 3.2.37 輪軸系統
- 3.2.38 輪軸系統
- 3.2.39 輪軸系統
- 3.2.40 輪軸系統
- 3.2.41 輪軸系統
- 3.2.42 輪軸系統
- 3.2.43 輪軸系統
- 3.2.44 輪軸系統
- 3.2.45 輪軸系統
- 3.2.46 輪軸系統
- 3.2.47 輪軸系統
- 3.2.48 輪軸系統
- 3.2.49 輪軸系統
- 3.2.50 輪軸系統
- 3.2.51 輪軸系統
- 3.2.52 輪軸系統
- 3.2.53 輪軸系統
- 3.2.54 輪軸系統
- 3.2.55 輪軸系統
- 3.2.56 輪軸系統
- 3.2.57 輪軸系統
- 3.2.58 輪軸系統
- 3.2.59 輪軸系統
- 3.2.60 輪軸系統
- 3.2.61 輪軸系統
- 3.2.62 輪軸系統
- 3.2.63 輪軸系統
- 3.2.64 輪軸系統
- 3.2.65 輪軸系統
- 3.2.66 輪軸系統
- 3.2.67 輪軸系統
- 3.2.68 輪軸系統
- 3.2.69 輪軸系統
- 3.2.70 輪軸系統
- 3.2.71 輪軸系統
- 3.2.72 輪軸系統
- 3.2.73 輪軸系統
- 3.2.74 輪軸系統
- 3.2.75 輪軸系統
- 3.2.76 輪軸系統
- 3.2.77 輪軸系統
- 3.2.78 輪軸系統
- 3.2.79 輪軸系統
- 3.2.80 輪軸系統
- 3.2.81 輪軸系統
- 3.2.82 輪軸系統
- 3.2.83 輪軸系統
- 3.2.84 輪軸系統
- 3.2.85 輪軸系統
- 3.2.86 輪軸系統
- 3.2.87 輪軸系統
- 3.2.88 輪軸系統
- 3.2.89 輪軸系統
- 3.2.90 輪軸系統
- 3.2.91 輪軸系統
- 3.2.92 輪軸系統
- 3.2.93 輪軸系統
- 3.2.94 輪軸系統
- 3.2.95 輪軸系統
- 3.2.96 輪軸系統
- 3.2.97 輪軸系統
- 3.2.98 輪軸系統
- 3.2.99 輪軸系統
- 3.2.100 輪軸系統

### 第四章 運載及除役要求

- 4.1 運載或除役規劃
- 4.2 計畫更新與許可
- 4.3 報告繳交



## 目錄

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

## 國內既有資料庫/平台調查

相關單位	場址條件研究資料庫名稱	場址資料庫網址
經濟部	能源局	風力發電場一般研商口 <a href="https://www.twtpo.org.tw/gas.aspx">https://www.twtpo.org.tw/gas.aspx</a>
	工業技術研究院	風力資訊整合平台-地理資訊系統 <a href="https://gis.twtpo.org.tw/GIS/">https://gis.twtpo.org.tw/GIS/</a>
	中央地質調查所	海區域工程場址分析暨自動化監測系統 <a href="https://wind.lri.org.tw/occamint/index.aspx">https://wind.lri.org.tw/occamint/index.aspx</a>
		工程地質探勘資料庫 <a href="https://geotech.most.gov.tw/windmap/Home/Map">https://geotech.most.gov.tw/windmap/Home/Map</a>
內政部	地政司	地質資料整合查詢 <a href="https://gis3.most.gov.tw/gis/gis7-1/look3/index1.cfm">https://gis3.most.gov.tw/gis/gis7-1/look3/index1.cfm</a>
	水利署	土壤液化潛勢查詢系統 <a href="https://www.liquid.net.tw/CGS/WebMap.aspx">https://www.liquid.net.tw/CGS/WebMap.aspx</a>
	台灣電力公司	離岸海氣象觀測站 <a href="https://dncr-123.wpp.gov.tw/Statistics/Wave.html">https://dncr-123.wpp.gov.tw/Statistics/Wave.html</a>
	航港局	離岸海氣象觀測站 <a href="https://www.motcmp.gov.tw/Home/Node?SiteId=1&amp;NodeId=10078">https://www.motcmp.gov.tw/Home/Node?SiteId=1&amp;NodeId=10078</a>
交通部	運研所-港灣中心	海氣象資訊整合平臺 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>
	中央氣象局	國土測繪圖資服務雲 <a href="https://maps.nslc.gov.tw/">https://maps.nslc.gov.tw/</a>
		國土測繪圖資服務雲 <a href="https://land.epami.gov.tw/CAMN/Web_GIS">https://land.epami.gov.tw/CAMN/Web_GIS</a>
		國土測繪圖資服務雲 <a href="https://www.motcmp.gov.tw/Home/Node?SiteId=1&amp;NodeId=10078">https://www.motcmp.gov.tw/Home/Node?SiteId=1&amp;NodeId=10078</a>
海委會	海研所	離岸海氣象觀測站 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>
	海研所	離岸海氣象觀測站 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>
	海研所	離岸海氣象觀測站 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>
	海研所	離岸海氣象觀測站 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>
科技部	自然及水環發展司	離岸海氣象觀測站 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>
	海洋學門資料庫	離岸海氣象觀測站 <a href="https://occam.mot.gov.tw/Map">https://occam.mot.gov.tw/Map</a>

**目錄**  
CONTENTS

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

離岸風電工程研究中心  
Research Center of Offshore Wind Power Technology

### 離岸風電資料庫規劃目標

協助不同面向使用者統整資料

**負責項目**

離岸風電工程研究中心  
建置資料庫架構  
整合臺灣離岸風電資料  
拓展資料的衍生應用

**開發商**

- 減低場址調查、設計過程中的不確定性
- 規劃施工運維策略
- 規劃應變策略

**政府(驗證審查)**

- 支援風電決策
- 提供驗證審查佐證
- 加速風電資料流通
- 節省風電資料交換成本

**風機製造商**

- 本土環境研究
- 歷史資訊查詢

**設計者**

- 穩定資料取得管道
- 互動平台產製工程參數
- 製作示範案例

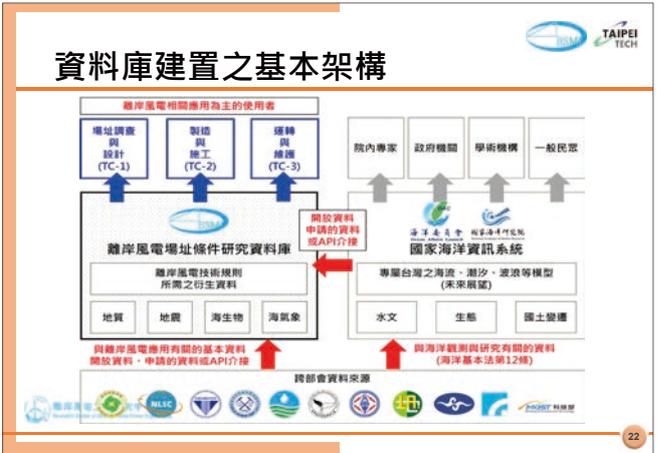
**第三方驗證單位**

- 在地政府要求
- 提供驗證審查佐證

### 跨部會資料主管機關訪談

標準局-跨部會籌備會議	: 109/08/12 (三)
拜訪 中央氣象局	: 109/08/25 (二)
拜訪 運研所	: 109/09/01 (二)
拜訪 地政司	: 109/09/03 (四)
拜訪 水利署	: 109/09/03 (四)
拜訪 台電再生能源處	: 109/09/07 (一)
拜訪 地調所	: 109/09/08 (二)
拜訪 海洋研究院	: 109/09/09 (三)
拜訪 航港局	: 109/09/10 (四)
拜訪 臺建署	: 109/09/11 (五)
拜訪 文化資產局	: 109/09/23 (三)
拜訪 能源局	: 109/09/24 (四)
拜訪 勞動部職安署	: 109/09/25 (五)

訪談 北科大 羅元隆教授 : 109/10/13 (二)  
訪談 國海院廠商 勤誠國際 : 109/10/16 (五)  
訪談 海洋大學 林岳堯博士 : 109/10/23 (五)



### 海委會之全國海洋資料庫

國家海洋研究院 109~111年度全國海洋資料庫建置委託專業服務案

**計畫緣起**

- 實現目前對於海洋調查及海洋研究相關資料分散於政府部門、研究單位等，以增進資料利用之利便。
- 海洋基本法第12條：「進行長期性、應用性、基礎性之調查研究，並建立國家海洋資訊系統及共享平台。」

**計畫目的**

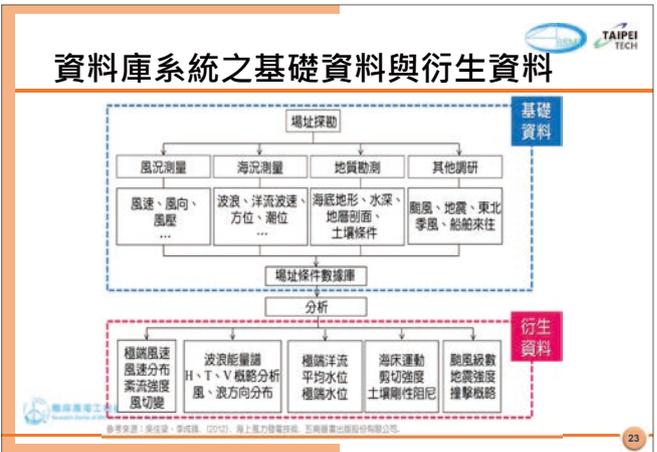
- 本計畫旨在於建置海洋資料庫之標準格式及公開格式，同時開發全國海洋資訊系統，期望藉由海洋資訊之整合及開放，進一步推動海洋政策規劃及落實推動，並提升相關政府機關及學術機構一個穩定之資料取得管道。

**海洋資料標準化**

- 統一格式標準，加速海洋資料交流與應用。
- 統一格式標準，加速海洋資料交流與應用。

**海洋資料標準化**

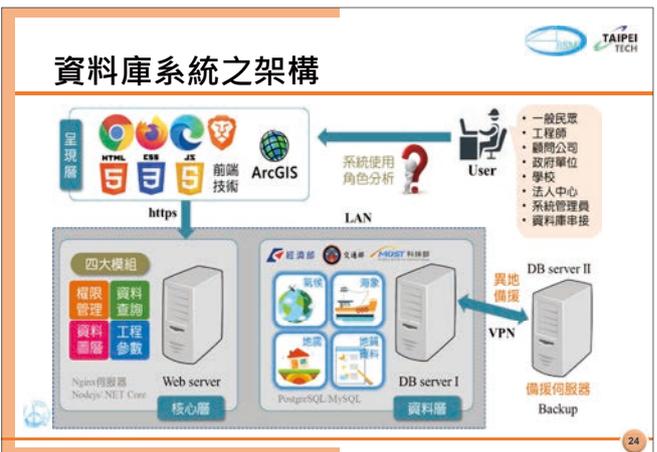
- 統一格式標準，加速海洋資料交流與應用。
- 統一格式標準，加速海洋資料交流與應用。



**目錄**  
CONTENTS

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

離岸風電工程研究中心  
Research Center of Offshore Wind Power Technology



### 資料庫之data介接標準化

- (一) 資料取得**: 申請登入, 取得授權碼, Web API 請求, 回傳資料, 存入檔案
- (二) 資料解析**: XML/JSON, 字串處理, 物件模型, 資料對應, 讀取屬性
- (三) 資料貯存**: 物件關聯對應技術, .NET Core, 物件模型序列化, JSONB 格式, 存入資料庫

### 技術規範本文內容

第三章 離岸風力發電廠性能及安全要求

3.2 離岸風力發電廠審查與驗證

3.2.1 一般規定

3.2.2 電廠性能標準

3.2.3 安全要求

### 目錄 CONTENTS

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

### 相關資料集與參考資料

中港風速和-離岸風速

風速類型	最高風速	最高風速	平均風速	平均風速	平均風速	最高風速	最高風速	平均風速	平均風速	平均風速	最高風速	最高風速
最高風速	10.00	10.00	2.00	2.00	2.00	10.00	10.00	2.00	2.00	2.00	10.00	10.00

### 資料庫入口首頁

離岸風電場址條件研究資料庫

技術規範文件 | 資料檢索平台 | 整合跨部會資料 | 在地化資訊

### 資料庫特別服務：參數式查詢/互動式查詢

**參數式查詢(制式化查詢)**

- 參數固定、查詢條件固定、查詢模式固定、呈現方式固定
- 適用性：業務單位使用資料方式已固定
- 提供一般使用者簡便查詢方式

**互動式查詢(使用者自訂查詢)**

- 可以使用資料處理語言(Python, R)和系統交談，無固定參數、查詢條件彈性、查詢模式彈性、呈現方式多元
- 適用性：提供多元的資料操作分析與應用方式
- 可自行研發(分析、製圖、生產文件等)

### 相關技術規範章節

文件名稱	編者	審核
離岸風力發電廠性能及安全要求	...	...
離岸風力發電廠審查與驗證	...	...

### 基礎資料上線範例

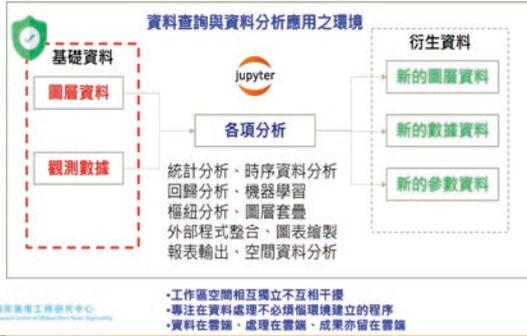
臺中港測風塔-系流尺度剖面

氣象局-潮位統計

臺中港測風塔-風花圖

氣象局-颱風潮統計

### 互動式查詢之工作原理



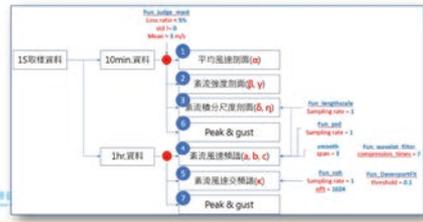
工作區空間相互獨立不互相干擾  
 專注在資料處理不必煩惱環境建置的程序  
 資料在雲端、處理在雲端、成果亦留在雲端

33

### 互動式資料實作範例(4/7)

#### Step 3: 文件化、參數化與系統化

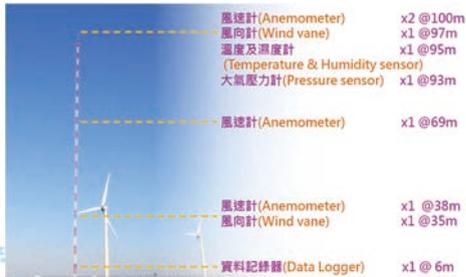
- 模組化分析程序與研究成果
- 拓展模組的通用化與參數化功能，以適用於不同測風塔的觀測資料
- 測試並納入資料庫平台



37

### 互動式資料實作範例(1/7)

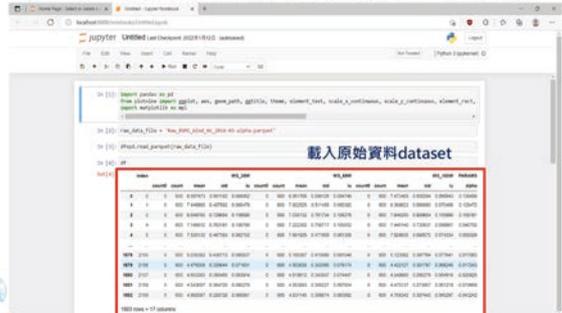
海象觀測基礎資料：  
 由標檢局委託金屬工業研究發展中心設立與維護 (資料期間：2016/03 ~ 迄今)  
 目前資料對外授權方式、是否收費、均尚未決定



34

### 互動式資料實作範例(5/7)

透過資料庫平台發表相關衍生資料成果，但考量資料授權未定，不提供基礎資料



38

### 互動式資料實作範例(2/7)

#### Step 1: 規劃衍生資料項目

- 以標檢局量中測風塔的觀測資料為基礎資料
- 以學研計畫 A2-1-2 做為基礎，分析臺中測風塔之風的特性
- 取得 Matlab 開發的研究成果，轉譯並納入資料庫系統

平均風速剖面  $\left(\frac{U_z}{U_g}\right) = \left(\frac{z}{z_g}\right)^\alpha$

紊流強度剖面  $I_{uz} = \beta \left(\frac{z}{z_g}\right)^{-\gamma-0.05}$

紊流積分尺度剖面  $L_{uz} = \delta \left(\frac{z}{z_g}\right)^\eta$

紊流風速交頻譜  $\text{Coh}(r, n) = \exp\left(-k \frac{n-r}{U_g}\right)$

紊流風速頻譜  $\frac{n S_{uz}}{\sigma_u^2} = a \left(\frac{n L_{uz}}{U_z}\right) \left(1 + b \left(\frac{n L_{uz}}{U_z}\right)^2\right)^c$

風花圖 以十分鐘平均風速風向繪製風花圖



資料來源：A2-1-2 應用本土化氣象資料庫探討正常及極端風況條件於各載重組合之設定-本土化氣象資料與國際規範設定之風況差異性評估報告，北科大 羅云龍教授主持

35

### 互動式資料實作範例(6/7)



39

### 互動式資料實作範例(3/7)

#### Step 2: 分析工具選擇與重新整合

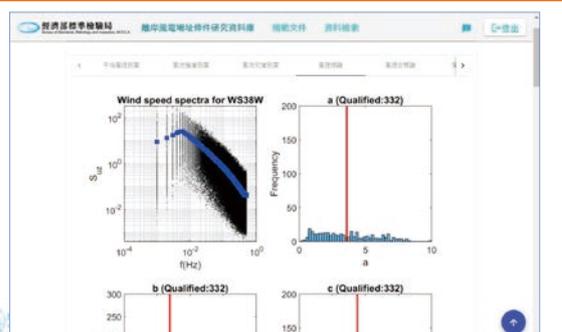
- 選定以 Apache Parquet 做為資料之貯存技術
- 使用 Python 的 Pandas, NumPy, SciPy，轉譯 Matlab 程式
- 與 Matlab 的分析結果比較與驗證

```

1 import pandas as pd
2 from scipy.optimize import curve_fit
3 from timer import Timer
4
5 def judgemast(df, config, judge_ratio):
6     judge_count = df.shape[1] * judge_ratio
7     return not ((df == 0).sum() > judge_count).any() and \
8             not (df.std() == 0).any() and \
9             not (df.mean() < 3).any()
10
11 def wind_profile(z, alpha):
12     return z**alpha
13
14 def curve_fitting(df, config):
15     mu = df.mean()
    
```

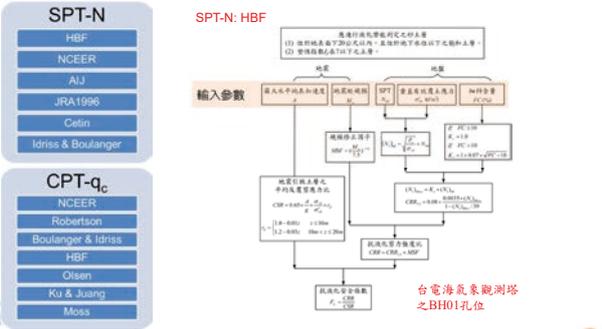
36

### 互動式資料實作範例(7/7)



40

### 衍生資料分析工具：SPT-N HBF液化分析



資料來源：A2-8-2 離岸風場設計規範之地震載重評估-不同破壞機率等級對應之設計地震回歸期探討及液化評估程序建議報告，國資中心、盧志杰等人

### 目前已取得之資料集(1/2)

資料來源	資料項目	資料屬性	規範	章節
交通部中央氣象局 (15項)	海區天氣情報-臺灣附近及遠洋海區海面天氣預報資料	預報資料	製繪及維護	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	海象監測資料-浮標站與潮位站海況監測資料	即時資料	製繪及維護	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	潮位統計-臺灣各地歷史潮位觀測逐年月統計	統計資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	大潮監測資料-臺灣與離島各地大潮監測資料	即時資料	製繪及施工 製繪及維護	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	颱風暴潮統計-歷史颱風臺灣各地暴潮極值統計	統計資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	潮位站歷史觀測資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	資料浮標-波浪站歷史觀測資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	表面海流模式歷史資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	波浪預報模式歷史資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	數值預報模式-區域預報模式(WRF)	預報資料	製繪及施工 製繪及維護	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	海象監測測站資料	基本資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	水下10米海流模式歷史資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	海運水位歷史觀測	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	高解析模式波浪預報	即時資料	製繪及施工 製繪及維護	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	WRF線能模式預報資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查

### 衍生資料分析工具：SPT-N HBF液化分析

參考來源：國家地震工程研究中心 盧志杰 等人發展之 SPT-N HBF 液化分析工具

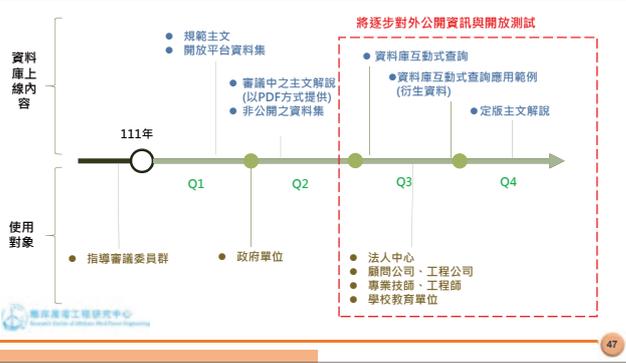
### 目前已取得之資料集(2/2)

資料來源	資料項目	資料屬性	規範	章節
交通部運輸研究所 (4項)	各國際、國內商港之潮、波、流、風即時資料	即時資料	製繪及維護 製繪及施工	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	沿海商港歷年海象觀測月統計資料	統計資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	相關潮、波、流、風的年報資料(共1713份檔案)	文件資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	各國際、國內商港之潮、波、流、風歷史資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
經濟部水利署 (2項)	近海潮、波、流、風、氣壓即時資料	即時資料	製繪及維護 製繪及施工	製繪/施工 3.4.3 施工之海洋氣象資料(續編/維護) 3.4.2 災害性天氣
	近海潮、波、流、風、氣壓歷史資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
經濟部能源局 (2項)	海洋風場海氣象觀測站資料-風、大氣溫度、氣壓、濕度、降雨量、水位、波浪、潮流	歷史資料	網址調查及設計	2.2.3 海洋環境條件調查
	外傘潭洲測風塔觀測資料-風速、風向	歷史資料	網址調查及設計	2.2.2 風環境條件調查
經濟部標準檢驗局	台中測風塔觀測資料	歷史資料	網址調查及設計	2.2.2 風環境條件調查

### 衍生資料分析工具：SPT-N HBF液化分析

在互動式分析環境中，輸入或連結測試資料

### 資料庫上線時程規劃



### 衍生資料分析工具：SPT-N HBF液化分析

相關 SPT-N HBF 液化分析結果

目錄

- 01 計畫緣起
- 02 資料庫資料來源盤點
- 03 跨部會資料主管機關訪談
- 04 資料庫內部架構規劃
- 05 資料庫目前功能一覽
- 06 結論與建議

## 結論與建議

TAIPEI TECH

衍生資料發展：

- 基礎資料的加值
- 公開、透明、標準、可重現的分析程序
- 衍生資料簡單的可以是較基本的統計結果；或為較複雜的分析計算結果
- 無論何種型式均不涉及國安議題、公司私有資產與侵害著作權的問題
- 風電發展各階段之應用

使用者訪談：

- 開放的不同階段，不同的使用者的feedback
- 資料庫的基礎資料層面、衍生資料層面
- 徵求示範例

User

- 一般民眾
- 工程師
- 顧問公司
- 政府單位
- 學校
- 法人中心
- 系統管理員
- 資料庫專接

所以歡迎與會的各位先進給我們建議與回饋，讓資料庫系統發揮更高的使用價值

49

經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH 國立臺北科技大學

## 簡報結束 敬請指教

Thank you for your attention.



離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會

簡報結束

QR Code

# 臺灣離岸風電之設計要點與技術發展

宋裕祺、蘇進國

離岸風力發電場址調查及設計技術規範(草案)說明會  
Workshop on The Technical Standards (Draft) for Site Investigation and Design of Offshore Wind Farms

## 臺灣離岸風電之設計要點與技術發展

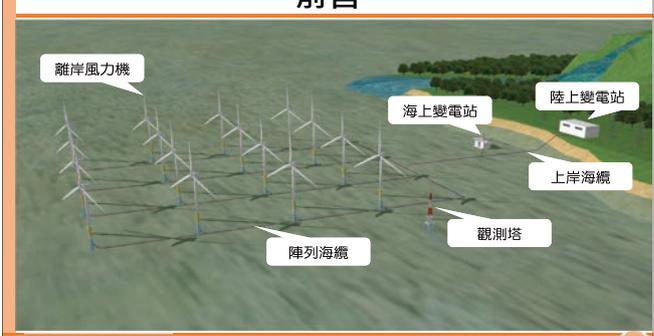
主講人：宋裕祺、蘇進國  
國立臺北科技大學 離岸風電工程研究中心



離岸風電工程研究中心 經濟部標準檢驗局 TAIPEI TECH 國立臺北科技大學

TAIPEI TECH

## 前言



4

目錄 CONTENTS

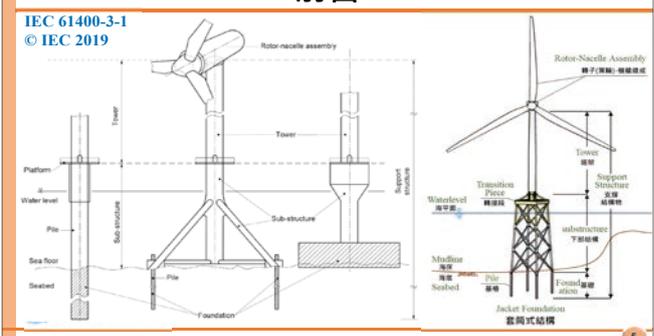
- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

離岸風電工程研究中心

TAIPEI TECH

## 前言

IEC 61400-3-1 © IEC 2019



5

目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

離岸風電工程研究中心

TAIPEI TECH

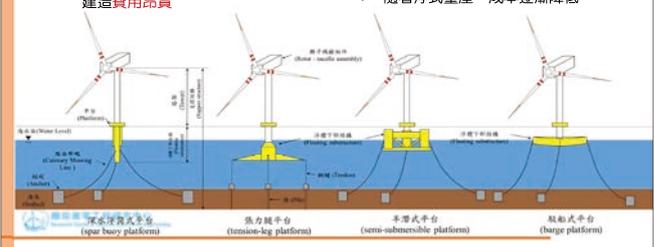
## 前言

固定式風力機面臨問題

- 近岸淺海區域逐漸飽和
- 50m以上深海區固定式水下基礎建造費用昂貴

浮動式風力機優勢

- 海床漂砂、海床不穩定的影響較小
- 水下施工噪音較小，環境保護意識高
- 隨著浮式產量，成本逐漸降低



離岸風電工程研究中心

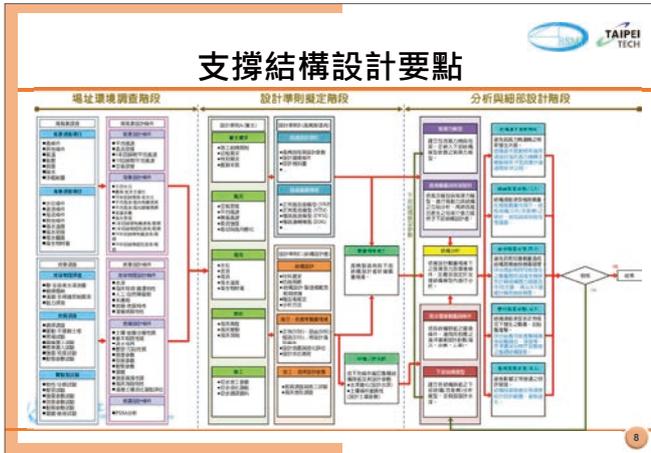
**目錄**  
CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

### 支撐結構設計要點-結構基本振動頻率

● 1P: 風力機輪軸轉動頻率 (Rotor Frequency)  
● 3P: 葉片轉動頻率 (Blade Passing Frequency)

風力機每轉動一圈風力機重心偏離轉軸造成一次週期性額外負載  
風力機每轉動一圈葉片遮蔽塔架產生三次週期性降載



### 支撐結構設計要點-DLC 載重組合

IEC 61400-3-1 © IEC 2019 Table 2 – Design load cases

Design situation	DLC	Wind condition	Waves	Wind and wave directionality	Sea currents	Water level	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factor
1) Power production	1.1	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$ rotor-nacelle assembly	NSS	COD, UNI	NCM	MSL		U	W (1.25)
	1.2	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	NSS Joint prob. distribution of $W_d, T_d, F_{dir}$	MS, MUL	No currents	NWLR or L MSL	For extrapolation of extreme loads on the rotor-nacelle assembly	F	*
	1.3	ETM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	NSS	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	1.4	ECM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$ $F_{ref} = 2 \text{ m/s}$ , $F_{sur} = 2 \text{ m/s}$	NSS	MSL wind direction change	NCM	MSL		U	N
	1.5	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	NSS	COD, UNI	NCM	MSL		U	N
	1.6	NTM $F_{ref} < F_{lim} < F_{sur}$	SSS	COD, UNI	NCM	NWLR		U	N

F: Fatigue      N: Normal  
U: Ultimate strength      A: Abnormal  
\*: partial safety factor for fatigue

### 支撐結構設計要點

De Valk, P. C. (2013). Accuracy of calculation procedures for offshore wind turbine support structures.

Two industry workflows exist for fixed offshore wind structures:  
 ● Integrated design method  
 ● Super element method

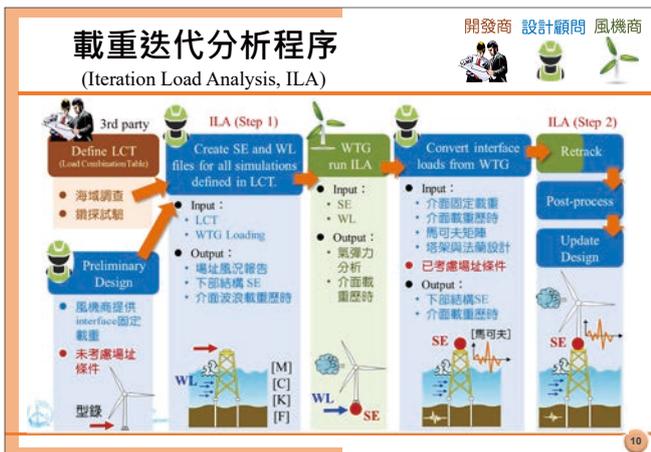
分析流程

### 支撐結構設計要點-極限程度狀態 (ULS)

設計狀況	DLC	風況	波浪	風與波浪方向	海流	水位	其他條件	分析種類	PSF
(6) 待機/待機狀況或惰轉	6.1	EWM 擾流風速模型 $V_{hub} = V_{ref}$	ESS $H_s = H_{s,0}$	錯位, 多向	ECM $U = U_{s,0}$	極端水位範圍		ULS	N
	6.2	EWM 擾流風速模型 $V_{hub} = V_{ref}$	ESS $H_s = H_{s,0}$	錯位, 多向	ECM $U = U_{s,0}$	極端水位範圍	電網損失	ULS	A

基本參數		離岸風力機等級					由設計者規定之值
年平均風速	$V_{ref}$ (m/s)	I	II	III	S		
基準風速	$V_{ref}$ (m/s)	10.0	8.5	7.5		由設計者規定之值	
	$V_{ref}$ (m/s)	一般	50.0	42.5	37.5		
紊流強度參考值	$I_{ref}$	A+ (極高紊流特徵類別)	0.18				
		A (較高紊流特徵類別)	0.16				
		B (中等紊流特徵類別)	0.14				
		C (較低紊流特徵類別)	0.12				



### 支撐結構設計要點-疲勞程度狀態 (FLS)

DNV-RP-C203 (2020) Fatigue Design of Offshore Steel Structures

● 熱點承受交變應力  
● 計算熱點應力  
● 預估結構損壞時間

### 支撐結構設計要點-疲勞限度狀態 (FLS)

1 DNVGL對於熱點應力有明確規定  
DNV-RP-C203 (2020)  
Fatigue Design of Offshore Steel Structures

對於鋼樑焊接部位，採用特徵點a、b外推取得

Derivation of hot spot stress for element size larger than  $t \times t$

15

### 支撐結構設計要點- Code Check

▶ Limit states

State beyond which the structure no longer satisfies the requirements. The following categories of limit states are of relevance for structures:

- ◆ Ultimate limit states (ULS) correspond to the limit of the load-carrying capacity, i.e., to the maximum load-carrying resistance.
- ◆ Fatigue limit states (FLS) possibility of failure due to the cumulative damage effect of cyclic loading.
- ◆ Accidental limit states (ALS) ensure that the structure resists accidental loads and maintain integrity and performance of the structure due to local damage or flooding.
- ◆ Serviceability limit states (SLS) imply deformations in excess of tolerance without exceeding the load-carrying capacity, i.e., they correspond to tolerance criteria applicable to normal use.

DNV-ST-0126: Support structures for wind turbines. 2.4 Limit states

19

### 支撐結構設計要點-疲勞限度狀態 (FLS)

▶ Flow chart showing fatigue analysis process

Stress Concentration Factor (SCF)  
Nominal Stress (NS)  
Hot Spot Stress (HSS)

16

### 目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議

20

### 支撐結構設計要點-意外限度狀態 (ALS)

模型建立 → 有限元素軟體分析 → 分析結果輸出

建立有限元素軟體相關分析設定，以進行支撐結構碰撞過程。

分析結果輸出後可察看碰撞所產生之物理量

17

### 國際離岸風電技術發展

美國能源署 國家再生能源實驗室 NREL

18

### 支撐結構設計要點-服務限度狀態 (SLS)

#### 3.3.1 設計原則 (解說)

表3.3.1-2載重組合、性能及安全要求與檢核項目的組合 (地震)

設計情境	檢核目標	性能及安全要求	檢核項目
載重組合設計情境 地震DLC 9.1至 DLC 9.4	塔架	(1)回歸期95年地震 (SLS) :	極限度狀態 (ULS) (1)構件應力強度
	下部結構	須符合離岸風力機運轉基礎結構永久變位與傾角限制。	極限度狀態 (ULS) (1)構件應力強度 (2)基槽承載力
	基礎	(2)回歸期475年地震 (ULS) : 轉子機艙總成允許損傷，支撐結構保持彈性變形。	使用限度狀態 (SLS) (1)基礎震後變形量

註1：使用限度狀態適用於DLC 9.4之檢核

18

### 國內離岸風電技術發展

National Taipei University of Technology  
Offshore Wind Power Analysis System

前處理

- 自動離岸風機FEM模型建立
- 轉換段 超元素導入
- 廢除模型修正
- 土樁互制
- 超元素矩陣式輸出

求解邊界

- 多種分析模型
- 風載重
- 海洋載重
- 洋流

應力影響矩陣

- 應力影響矩陣
- 自動建立細部子模型
- 自動DNVGL焊接點位計算與打點
- 自動化stress influence matrix 輸出

批處理

- 全自動化批處理

19

### NTUT OWPAS - 模組功能說明

**全耦合法**

- ✓ 整體模型建立與分析
- ✓ 直接風、波、浪、流、結構等互制關係

**優點**

- ✓ 可直接考慮風機整體結構的受力
- ✓ 分析較為完整

**間接耦合法**

- ✓ 將上部結構載重透過轉接段
- ✓ 穴額自由度給予力

**優點**

- ✓ 不必考慮到風速對結構的影響
- ✓ 分析較為簡略

23

### NTUT OWPAS - 快速建模 (from Excel)

27

### NTUT OWPAS - 模組功能說明

24

### NTUT OWPAS - 快速建模 (from SACS or Sesam)

28

### NTUT OWPAS - 模組功能說明

25

### NTUT OWPAS - Soil Structure Interaction

**模型資料前處理**

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

**q-z 公式定義 API-RP-2A**

$$\frac{z}{D} = \frac{1}{10} \left( \frac{Q}{Q_0} \right) \text{ for } z \leq 0.1D$$

**t-z 公式定義 DNVGL-RP-C212**

$$t = \frac{G_p \cdot r_p \cdot \gamma}{G_p \cdot r_p \cdot \gamma + C_p \cdot D_p \cdot X}$$

29

### NTUT OWPAS - BATCH MODE

**模型資料前處理**

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

26

### NTUT OWPAS - Soil Structure Interaction

**模型資料前處理**

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

**P-Y 公式定義 DNVGL-RP-C212**

$$p = A \cdot p_u \cdot \tanh \left( \frac{X}{X_u} \right)$$

**極限深度**

$$X_u = \frac{6D}{\gamma' \cdot \frac{D}{C} + J}$$

30

### NTUT OWPAS - Corrosion Effected

**模型資料前處理**

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

離岸風機暴露環境分區

大氣區  
飛濺區  
全浸區  
海龍區

Atmospheric zone  
Splash zone  
Submerged zone  
Buried zone

HSWL  
MSWL  
LSWL

Modline

31

### NTUT OWPAS - Ansys Ocean Load

**Wave theories**

**規則波**

1. AIRY - Small amplitude Airy wave without modifications (default).
1. WHEELER - Small amplitude wave with Wheeler empirical modification of depth decay function.
2. STOKES - Stokes fifth order wave.
3. STREAMFUNCTION - Stream function wave.
4. RANDOM - Random (but repeatable) combination of linear Airy wave components.
5. SHELLNEWAVE - Shell new wave.
6. CONSTRAINED - Constrained new wave.

**不規則波**

**分析類型**

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

35

### NTUT OWPAS - Corrosion Analysis

**模型資料前處理**

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

隨時間改變的腐蝕速率變化

隨高度不同的腐蝕速率變化

風力機暴露環境分區

大氣區 (Atmospheric zone)  
飛濺區 (Splash Zone)  
全浸區 (Submerged Zone)  
海龍區 (Buried Zone)

海洋環境之腐蝕速率

32

### NTUT OWPAS - Ansys Biofouling

**Marine growth**

Marine growth has a number of effects:

- increase in structural diameter and displaced volume
- increase in structural weight
- increase in force coefficients ( $C_D$ ,  $T$  in Morison's Eq)
- increase in hydrodynamic added mass\* ( $C_M$  in Morison's Eq)
- increase flow stability

OC2ZONE / OCTABLE are used, among others, to specify Marine growth.

Marine growth is implemented as an average thickness addition (of average density) to line bodies named selections as well as local  $C_D$ ,  $T$  and  $C_M$ .

增加直徑  
增加重量  
增加受力係數  
增加流體動力質量  
增加流動穩定性

36

### NTUT OWPAS - Corrosion Analysis

**模型資料前處理**

- 1.1 模型資料建立
- 1.2 考量土壤基樁互制效應
- 1.3 考量腐蝕模型修正

結構的每個位置、每個元素，每年截面變化速率與程度均不同

結構斷面厚度隨腐蝕影響減少

0年  
20年

腐蝕厚度

33

### NTUT OWPAS - Ansys Wave-Current

**Wave-current interaction option**

當波幅水深較大時，使用的波流耦合修正方式：

0. 在波浪作用方向上，水面下用當前輸入的海流剖面，水面上用最高的海流剖面；
1. 線性拉伸或壓縮
2. 所有的流方向一致
3. Nonlinear stretch or compress the current profile, as recommended in API RP 2A Codes of Practice for Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms

Figure: Velocity Profiles for Wave-Current Interaction

**分析類型**

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

37

### NTUT OWPAS - Analysis Options

**分析類型**

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

可分析多種類型

- 風載重
- 海洋載重
- 洋流
- 風側面載重...

1<sup>st</sup> 側-側彎曲  
1<sup>st</sup> 前-後彎曲

34

### NTUT OWPAS - TP Forces input

**分析類型**

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣濃縮

Six degrees of freedom

38

### NTUT OWPAS - Super Element

**分析類型**

- 3.1 模態分析
- 3.2 靜態分析
- 3.3 瞬態分析
- 3.4 下部結構矩陣凍結

距形矩陣  
勁度矩陣  
質量矩陣

MODEL4.grk - Notepad

```

6
7.43385E+07 5.20332E+04 1.46214E+04 -1.49164E+05 -1.87587E+09 -5.23386E+04
5.20332E+04 7.43207E+07 2.07817E+04 1.87593E+09 -2.45611E+06 -8.86635E+04
1.46214E+04 2.07817E+04 1.81172E+09 5.80666E+05 -6.78099E+05 -6.84045E+04
-1.49164E+05 1.87593E+09 5.80666E+05 8.81909E+10 6.90817E+06 5.77232E+04
-1.87587E+09 -2.45611E+06 -6.78099E+05 6.90817E+06 8.81909E+10 7.85873E+05
-5.23386E+04 -8.86635E+04 -6.84045E+04 5.77232E+04 7.85873E+05 7.42573E+09
    
```

### 特徵點自動建立

透過SCDM程式自動特徵點 | 自動化建立過程

- 自動對於斜撐結構建立特徵點
- 可重複打點至所有點位完成
- 特徵點符合DNVGL標準

**優點**

- 大幅減少人力、時間
- 減少人為失誤
- 不須開啟介面
- 可針對特定管狀接頭進行打點

特徵點完成後結果

### Stress Influence Matrix, SIM

**應力影響矩陣**

- 2.1 建立點位資料
- 2.2 3D幾何模型建立
- 2.3 計算特徵點A、B資料
- 2.4 特徵點A、B修正
- 2.5 於3D幾何模型上點特徵點
- 2.6 建立應力影響矩陣

**接頭疲勞檢核**

- 自動建立細節子模型
- 自動DNVGL銲接點位計算與打點
- 自動化stress influence matrix 輸出

### 管狀接頭網格式

管狀接頭模擬 & 分析方法

- 自動建立實體元素模擬接頭，未模擬銲道幾何
- 使用泰勒展開近似計算幾何特徵點作為輸出應力之節點
- 於特徵點位置保留節點並由程式自動劃分網格式 & 局部加密

### 熱點應力疲勞損傷量

進行熱點應力疲勞損傷計算

1. 計算a、b兩點應力歷時
2. 以a、b兩點應力計算熱點應力
3. 雨流法計次
4. 採用S-N曲線計算次數
5. 計算疲勞損傷

Hot spot analysis 熱點應力歷時

應力 (Pa) 時間 (s)

S-N curve

失效次數N Number of cycles

Fatigue Damage 損傷量計算 Palmgren-Miner (Miner) 法則

$$d_w = \sum \frac{n_i}{N_i}$$

$\frac{n_i}{N_i}$  反覆次數比 (cycle ratio)

$\sum \frac{n_i}{N_i}$  累積反覆次數比

$D = DFF = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1.0$

### 自動化建立局部結構

單邊/雙邊開槽銲接長度、深度角度之無法自動化建模與分析

銲縫vs銲腳/趾

斜撐與弦桿接合

單側銲接 & 雙側銲接

### 自動化建立局部結構

透過SCDM程式自動建立局部結構 | 自動化建立過程

- 自動判斷為管架或支撐
- 去除多餘模型邊界
- 自動抓取點位

**優點**

- 節省人力、時間
- 減少人為失誤
- 不須開啟介面
- 可針對特定管狀接頭進行分析

局部結構完成後模型

### 銲道自動化建模

數學推算

控制網格式

元素劃分

掌握座標

迎刃而解

### 自動化網格控制與劃分

#### 管狀接頭模擬 & 分析方法

1. 管狀接頭座標系統-計算交會點

$$n_0(x-x_0)+n_1(y-y_0)+n_2(z-z_0)=0$$

2. 由切線向量計算平面方程式

$$n_0(x-x_0)+n_1(y-y_0)+n_2(z-z_0)=0$$

1. 計算交會座標
2. 微分計算切線向量
3. 計算平面方程式
4. 平面與圓柱交會方程
5. 由積分法推定積分上限
6. 定積分上限帶回平面與圓柱交會方程

取得特定外延距離座標

TAIPEI TECH

### 建立應力影響矩陣應力歷時計算&驗證

基於結構靜態理論

- 一靜力結構狀態
- 一小變形理論
- 一無考量時間積分效應

特徵點 應力影響矩陣 × 力量歷時矩陣 外力方向力量歷時矩陣 = 力量歷時矩陣 應力與力量歷時關係

分析結果一致!!

TAIPEI TECH

### 自動化網格控制與劃分

#### 管狀接頭模擬 & 分析方法

5. 調整座標系減少積分誤差

Gauss-Legendre integration

6. 帶回平面與圓柱交會方程

1. 計算交會座標
2. 微分計算切線向量
3. 計算平面方程式
4. 平面與圓柱交會方程
5. 由積分法推定積分上限
6. 定積分上限帶回平面與圓柱交會方程

取得特定外延距離座標

TAIPEI TECH

### 建立應力影響矩陣計算&驗證

海外環境資料

計算整體結構外力

擷取局部結構資料

應力損傷計算

TAIPEI TECH

### 自動化網格控制與劃分

#### 管狀接頭模擬 & 分析方法

藉此控制銲道、熱點及有限元素局部座標軸

1. 計算交會座標
2. 微分計算切線向量
3. 計算平面方程式
4. 平面與圓柱交會方程
5. 由積分法推定積分上限
6. 定積分上限帶回平面與圓柱交會方程

取得特定外延距離座標

TAIPEI TECH

### FEM→DSM (Design Structure Matrix)

局部接頭特徵點歷時分析

Solution 1: 既有做法: 以實體元素直接進行動態分析 (所需時間約30-40分鐘)

Solution 2: 現在做法: 以應力影響矩陣(SIM)直接求解 (所需時間<1秒)

Ex. 1萬組 5,000 hr. → 10,000 sec.

優點

- 不須進行瞬態分析求解 · 時間成本減少
- 可配合不同外力載重
- 分析資料儲存空間小
- 資料彙整快速
- 能夠符合DNV標準 · 與國外廠商接洽

TAIPEI TECH

### 對照組—模型輸出結果比對

實體模型

線模型

採用實體模型取代原本的線模型  
可藉由此方法反應出局部3D實體模型的應力反應

TAIPEI TECH

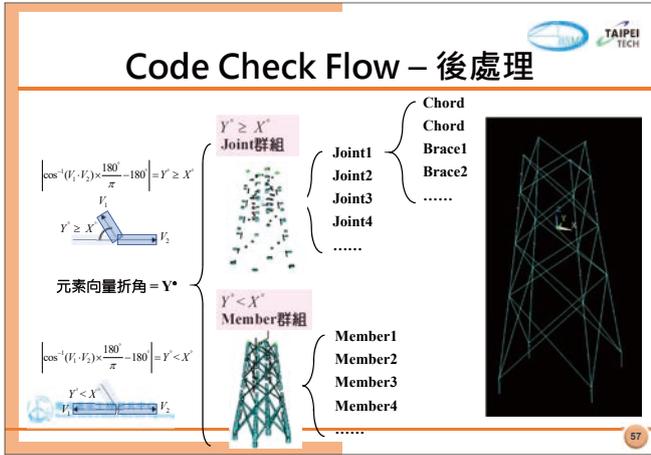
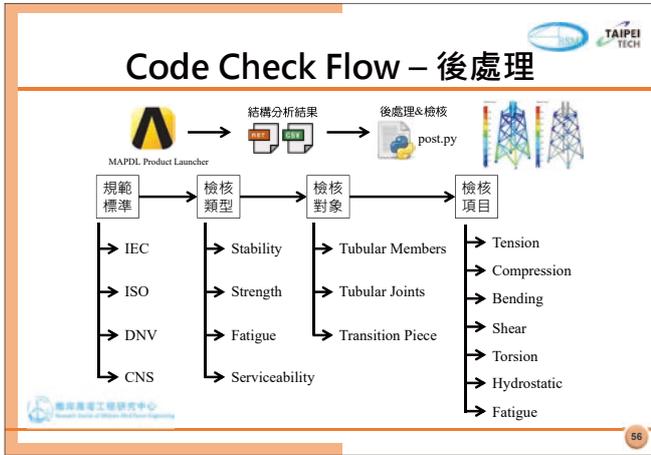
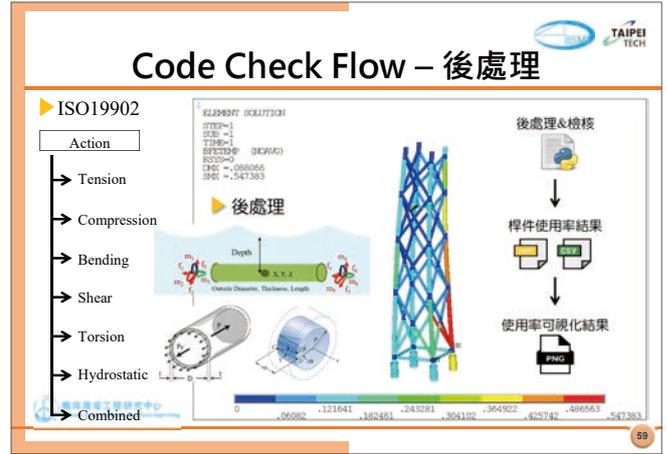
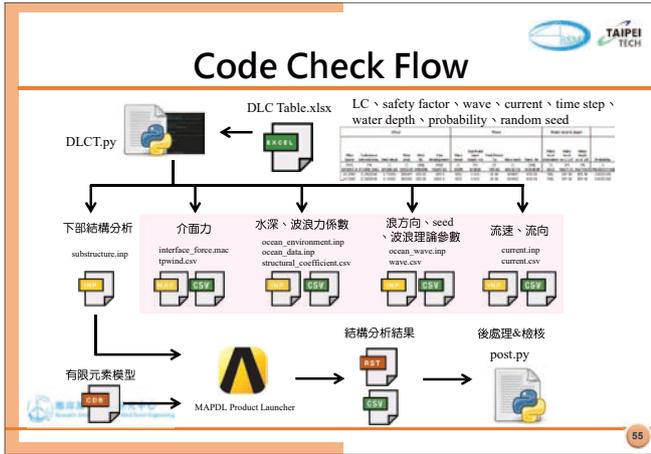
### Code Check Flow

1. 決定 DLC 表
2. 波浪載重
3. 生成下部結構超元素
4. 整體結構分析
5. 波浪載重、介面力
6. 下部結構模擬

分析流程

1. Preparation of load case table
2. Aero-elastic simulation with integrated offshore wind turbine model and simultaneous aerodynamic and hydrodynamic excitations
3. Load expansion for foundation load calculation

TAIPEI TECH



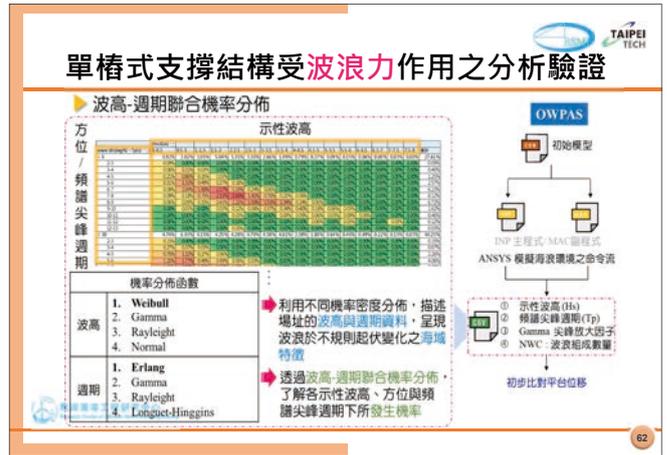
### Code Check Flow – 後處理

ISO19902 Ultimate limit states (ULS)

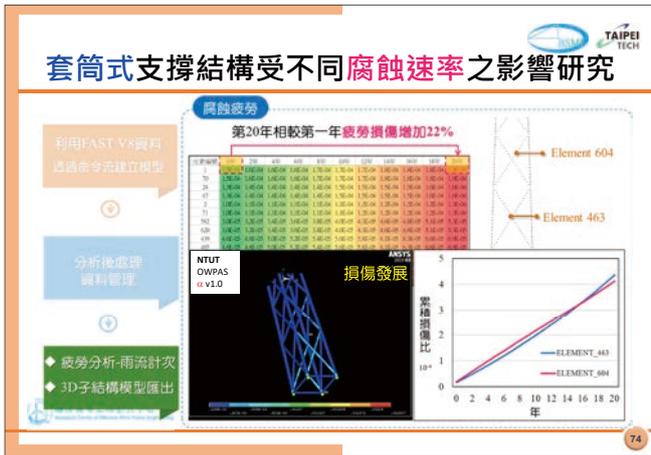
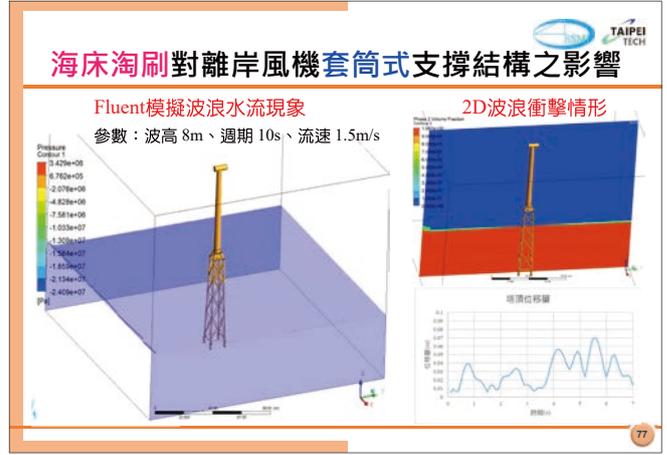
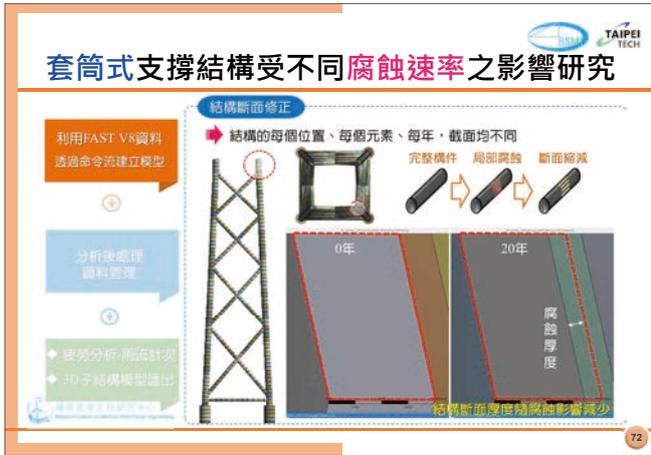
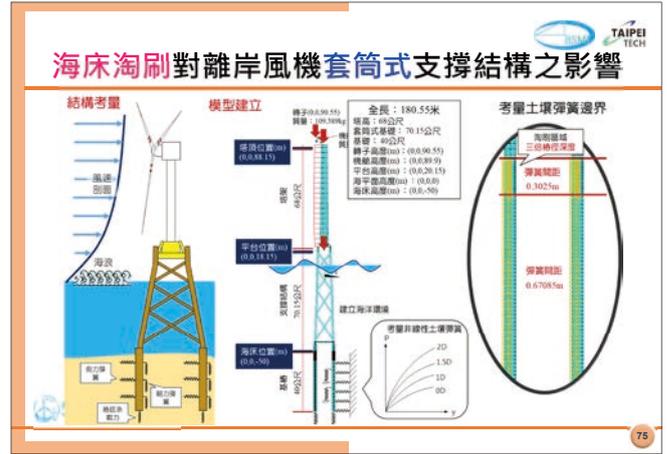
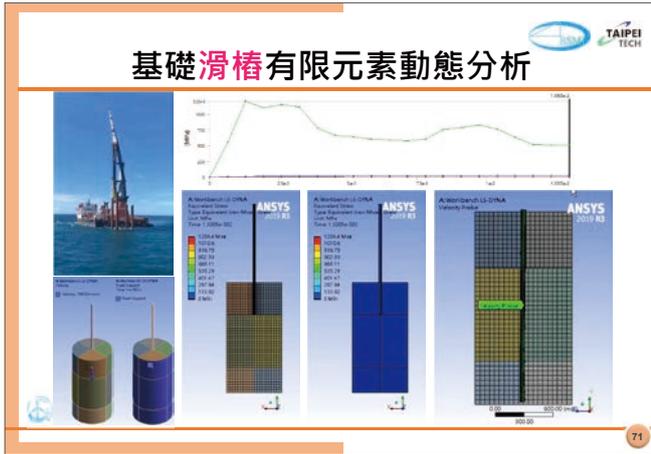
Strength of tubular members  $R_d = \frac{1}{\gamma_m} R_k$

$R_k$ : characteristic value of the component resistance  
 $\gamma_m$ : material factor for the particular component  
 $R_d$ : design resistance

Part	$R_k$ (Axial tension)	$R_k$ (Axial compression)	$R_k$ (Bending)	$R_k$ (Shear)	$R_k$ (Hoop buckling)
1.05	1.05	1.1	1.05	1.05	1.25
13.2 Tubular members subjected to tension, compression, bending, shear, torsion or hydrostatic pressure					
13.2.2 Axial tension	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$
13.2.3 Axial compression	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$
13.2.4 Bending	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\sigma = \frac{M_k}{W_{pl,y}}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$
13.2.5.1 Beams shear	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$
13.2.5.2 Torsional shear	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$	$\tau = \frac{V_k}{A_w}$
13.2.6 Hydrostatic pressure	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$	$\sigma = \frac{F_k}{A_n}$







### 浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

NREL 5MW Reference Wind Turbine for Offshore System

海水密度	1025 kg/m <sup>3</sup>
海域深度	200 m
浮力	1.3989E+8 N
基礎質量	1.3473E+7 kg
基礎重心位置與水面之距離	-13.46 m
基礎重心橫搖(roll)轉動慣量	6.827E+9 kg-m <sup>2</sup>
基礎重心縱搖(pitch)轉動慣量	6.827E+9 kg-m <sup>2</sup>
基礎重心橫搖(yaw)轉動慣量	1.266E+10 kg-m <sup>2</sup>

### 反應震幅運算子 - Response Amplitude Operator

NREL 5MW 之 RAO 研究結果

運動振幅 / 波浪振幅

北科大 5MW 之 RAO 比較結果

### 浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

NREL 5MW Reference Wind Turbine for Offshore System 繫纜系統

繫纜數	3
各繫纜之夾角	120°
錨深	200 m
錨機深度	14 m
錨距距離基礎中心之平距	837.6 m
繫纜長度	835.5 m
繫纜直徑	0.0766 m
繫纜於水中之等效質量	108.63 kg/m
繫纜等效軸向勁度	756.6 MN
繫纜阻力係數	1.1
繫纜附加質量係數	1.0
海床阻力係數	1.0
繫纜的結構阻尼	2%

### 附加質量 - Added mass

NREL 5MW Example

Added Mass Matrix Entries

北科大 5MW Analysis result

AWQA Added mass

### 浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

北科大與國內相關文獻分析結果及 NREL 之比較

總重量	249770kg
機艙重量(含機艙內所有風力設備)	49 t
機身重量	10000kg
機艙重量	96t
機艙內所有風力設備重量	24900kg
浮筒重量(含浮筒內所有風力設備)	87 t
浮筒內所有風力設備重量	131700kg
浮筒內所有風力設備重量	-13 t
浮筒內所有風力設備重量	4827E+9 kg-m <sup>2</sup>
浮筒內所有風力設備重量	4.827E+9 kg-m <sup>2</sup>
浮筒內所有風力設備重量	1.226E+10 kg-m <sup>2</sup>
浮筒內所有風力設備重量	1.266E+10 kg-m <sup>2</sup>
浮筒內所有風力設備重量	1.266E+10 kg-m <sup>2</sup>

排水量計算：  
 $\rho g V_0 = 1025 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ N/kg} \cdot 13945 \text{ m}^3$   
 $F_{40077525 \text{ N}}$

### 阻尼 - Damping

NREL 5MW Example

Damping Matrix Entries

北科大 5MW Analysis result

AWQA Damping

### 浮動式風力機驗證比對與目前研究成果

浮體全域座標系統與六自由度

固定參考軸 (Fixed Reference Axes)

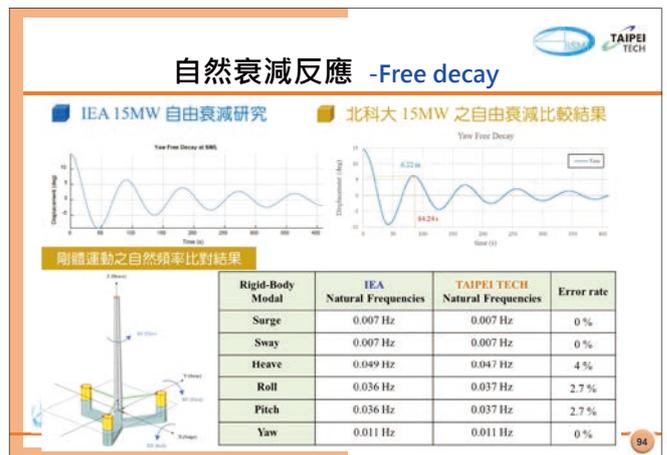
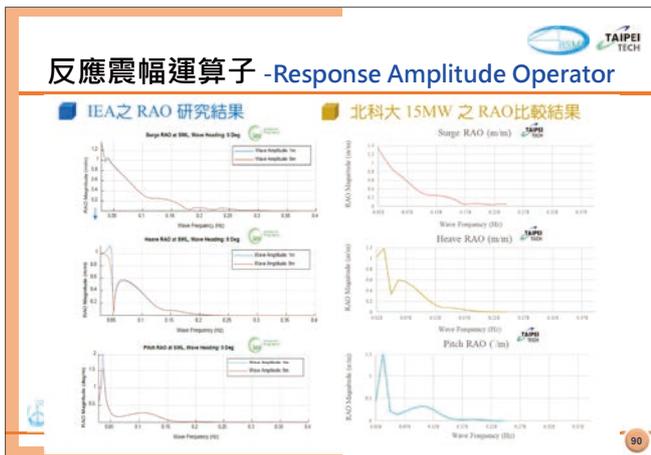
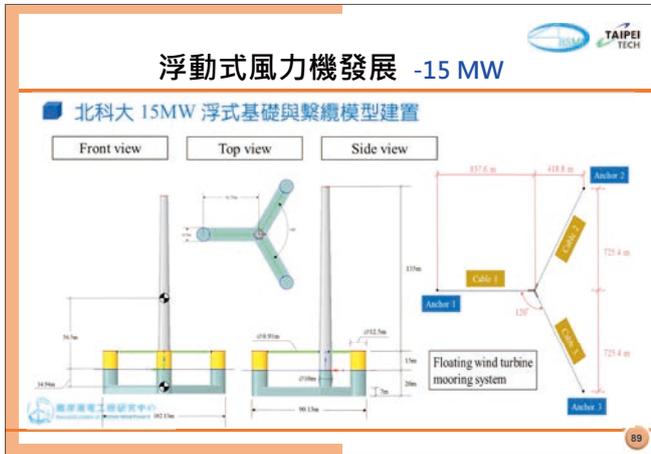
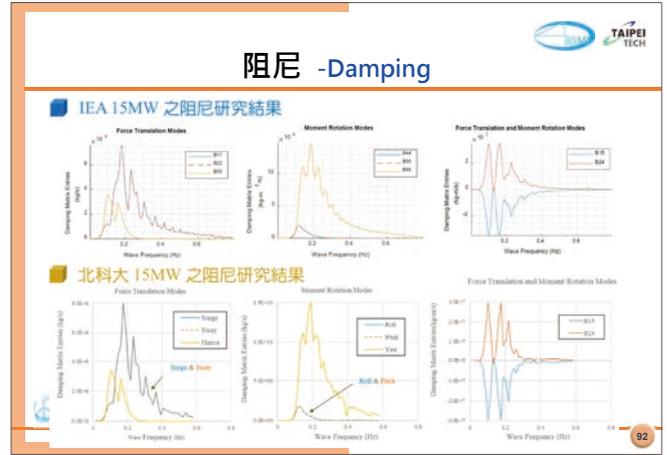
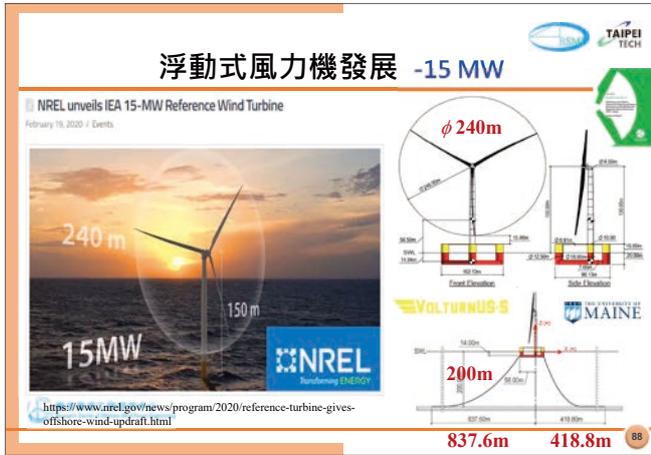
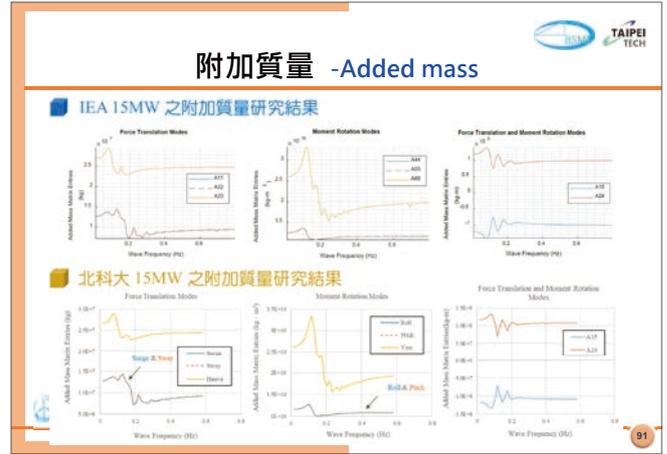
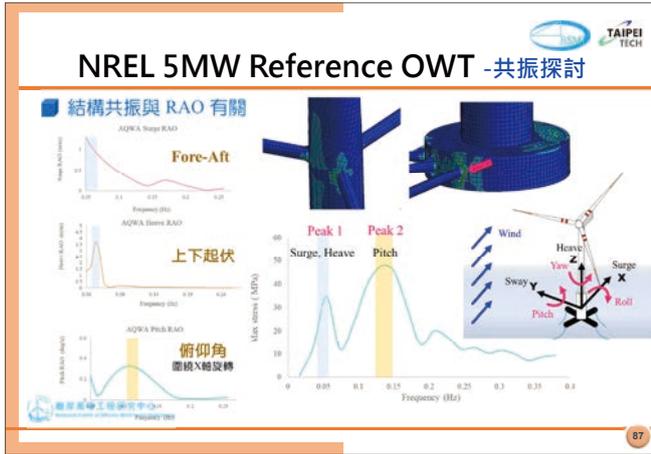
Translational			Rotational (右手定則)		
Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
縱移	橫移	起伏	橫搖	縱搖	偏航

### 自然衰減反應 - Free decay

NREL 5MW Example

北科大 5MW Analysis result

AQWA surge free decay, AQWA heave free decay, AQWA pitch free decay



### 塔架模態 - Tower mode

#### NREL 15MW Example

Parameter	Symbol	Value	Units
Young's Modulus	E	200e11	Pascals (Pa)
Shear Modulus	G	79.3e10	Pa
Density	p	7850	kg/m <sup>3</sup>

Parameter Value  
 Downwind, vertical distance from tower top to nacelle CM 146.21, 3.45[m]  
 Nacelle mass 1,070,000 [kg]  
 Nacelle inertia around CM, xib 7.55851e+06 [kg·m<sup>2</sup>]  
 Nacelle inertia around CM, yib 7.90626e+06 [kg·m<sup>2</sup>]  
 Nacelle inertia around CM, zib 1,013478e+07 [kg·m<sup>2</sup>]  
 Downwind, vertical distance from tower top to generator 146.23 m, 4.474 [m]  
 Generator inertia around shaft 1.715936e+07 [kg·m<sup>2</sup>]  
 Downwind, vertical distance from tower top to hub CM [-] 11.32 m, 5.0 [m]  
 Hub mass 1.788326e+05 [kg]  
 Hub inertia around shaft 2.227989e+05 [kg·m<sup>2</sup>]

#### TaipeiTech 15MW Analysis result

	1 <sup>st</sup> SS	1 <sup>st</sup> FA
IEA Tower mode	0.483 Hz	0.496 Hz
TAIPEI TECH Tower mode	0.48236 Hz	0.48464 Hz
Error rate	0.13 %	2.29 %

1<sup>st</sup> SS = 0.483 Hz    1<sup>st</sup> FA = 0.496 Hz

塔架自然振動頻率高於 3P

### 繫纜強度檢核 - 最佳化與敏感度分析

#### 浮式風機反應特性探討

繫纜長度固定

繫纜深度越深 繫纜張力越高

繫纜長度越長 繫纜張力越低

繫纜長度越深 繫纜張力越高

繫纜長度越長 繫纜張力越低

#### 繫纜張力檢核

繫纜最大張力 (kN)

深度倍率

繫纜長比

### 下部結構浮體加勁設計

#### 浮筒底部

Max Stress Structural Equivalent stress

Max Stress Max. 4.82E+07

Min Stress Min. -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

#### TP段

Max Stress Structural Equivalent stress

Max Stress Max. 4.82E+07

Min Stress Min. -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

Max. Min. 4.82E+07 -1.75E+07

構件名稱	代表	Max stress (MPa)
一般結構	NS	235
高強度	HS	275
船隻強度	E355	420

### IEA 15 MW - 浮動式風力機結構加勁設計

Max stress (MPa)

Frequency (Hz)

未加勁 加勁 塔架加勁

1P 塔架、導管加勁 x2.2%

3P 塔架加勁 66.6% 塔架、導管加勁 80.8%

### 下部結構浮體加勁設計

#### 加勁設計

UC, MC, BC, External Stiffener, Gusset

3片, 4片, 5片, 6片

於BC處不同片數之應力比較

避免BC處加勁板與導管接合處重疊

時域波浪水壓變化

### IEA 15 MW - ABS 載重組合規定 → Code check

#### Working Stress Design (WSD) Approach

$$F_{allowable} = F_y / C_{SF}$$

Safety Factor	For axial or bending stress	Designated		
		N	A	T
1.5	For axial or bending stress	1.5	1.25	1.67
	For shear stress	2.5	2.0	2.75

#### Load and Resistance Factor Design (LRFD) Approach

Partial Safety Factors (γ) for Environmental Loads

Normal (N)	Abnormal (A)	Temporary (T)
1.35	1.1	1.5

### 繫纜強度檢核 - 國際規範訂定之載重組合

適當懸垂比例 提供繫纜重力

DNV-OS-301 不同繫纜等級之斷裂測試載重

Grade	Proof test load (kN)	Break test load (kN)
Grade NV R3 (Chain links with studs)	0.0150 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)	0.0215 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)
Grade NV R3S (Chain links with studs)	0.0180 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)	0.0240 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)
Grade NV R4 (Chain links with studs)	0.0210 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)	0.0270 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)
Grade NV R3 (Cylinder chain links)	0.0150 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)	0.0215 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)
Grade NV R3S (Cylinder chain links)	0.0180 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)	0.0240 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)
Grade NV R4 (Cylinder chain links)	0.0210 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)	0.0270 · d <sup>2</sup> · (44.0-08.0)

### 離岸風機支撐結構碰撞分析研究

#### 模型建立

#### 有限元素軟體分析

實體元素, 殼元素, 梁元素

建立有限元素軟體相關分析設定, 以進行支撐結構碰撞過程。

#### 分析結果輸出

碰撞移動, 碰撞量

分析結果輸出後可觀察碰撞所產生之物理量

### 離岸風機支撐結構碰撞分析研究

TAIPEI TECH  
財團法人台灣船舶中心  
Classification Society

**模型結構考量**

Component  
 - Kinetic Energy  
 - Potential Energy  
 - Total Energy

動量、能量守恆定理  
 總能量不變，船體以4m/s之速度將動能轉換成支撐結構凹陷之位能。

- 無自重設定
- 無考慮水的影響
- 船體速度為4m/s

103

### 風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

	NWP	NTM	EWM (steady)	EWM (turbulence)	EOG	ETM	EDC	ECD	EWS
風速剖面	○	×	○	○	○	○	○	○	○
擾動風速, $\alpha$	×	○	×	×	×	○	○	×	×
風向角改變	×	×	×	×	×	×	○	○	×
有特定風速變化曲線	×	×	×	×	×	×	○	○	○
可採用風洞型式	複數風洞	邊界層風洞	複數風洞	邊界層風洞	複數風洞	邊界層風洞	複數風洞	複數風洞	複數風洞

107

### 離岸風機支撐結構碰撞分析研究

TAIPEI TECH  
財團法人台灣船舶中心  
Classification Society

**4 m/s 與 6 m/s 船速撞擊套筒式支撐結構之力與位移韌度曲線**

船體與支撐結構力與凹陷量比對

當管狀構件的材料與尺寸皆相同時

- 船船行駛速度越快，撞擊所造成的力與位移韌度曲線越陡
- 套筒式支撐結構吸收的能量較多

104

### 風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

NREL 5MW 風機 1/150 縮尺模型

3D 列印風機元件 風機塔柱及機艙 扇葉及軸殼

NTM 風況下之風力機風力量測試

ETM 風況下之風力機風力量測試

108

### 離岸風機支撐結構碰撞分析研究

TAIPEI TECH  
財團法人台灣船舶中心  
Classification Society

**分析與規範定義比較**

速度影響力與位移之比對情形

NORSOK N-004

- 基於延遲性設計
- 假設船體為完全剛性
- 管狀構件未加勁
- 推估較為保守

有限元素動態分析

- 以實際材料進行動態分析
- 考量船舶與支撐結構間之能量相互作用關係
- 與 NORSOK N-004 之發展趨勢一致

$R$  = 支撐結構抵抗力;  $R_s$  = 特徵強度因子  
 $N_{sd}$  = 設計軸壓力;  $N_{Rd}$  = 容許軸壓力  
 $b$  = 接觸的寬度;  $w_d$  = 支撐結構凹陷量;  $D$  = 管架直徑

105

### 風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

- 淡江大學風工程研究中心第一號大氣邊界層風洞實驗室模擬，12公尺、斷面寬2.2公尺、高1.8公尺(為真實風場之150倍縮尺)，其中 $D=0.2$  m。
- 最大網格尺寸為0.03 m、最小網格尺寸為0.001 m，而總網格數為3,277,386。

109

### 風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

複數風扇

106

### 風洞試驗與數值風洞模擬研究

TAIPEI TECH

可轉動式風力機模型於IEC風況條件下之風力機整體風載重計算與實驗風洞之驗證

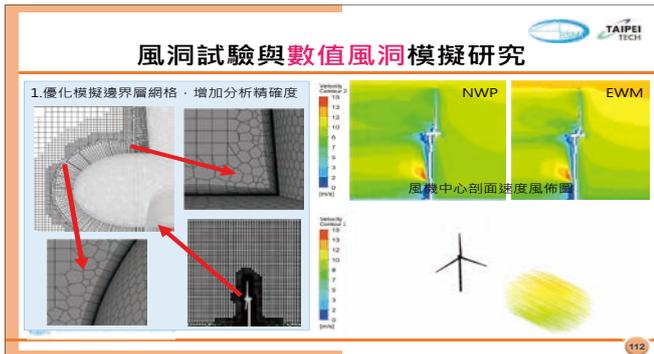
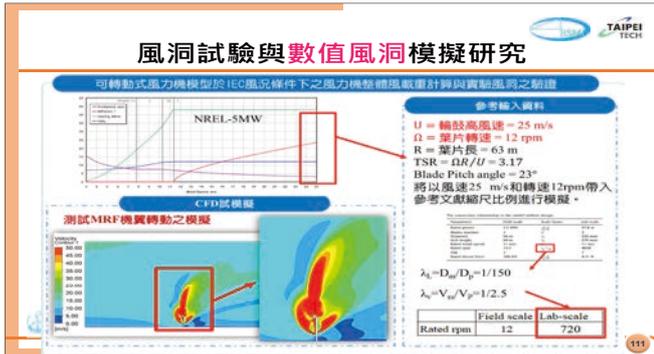
可轉動式風力機模型網格構建

改善網格品質後網格構建如下圖所示，總網格數為1112萬。

風機模型區域網格示意圖

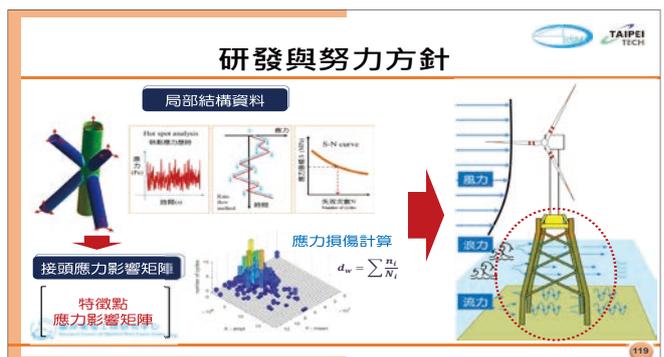
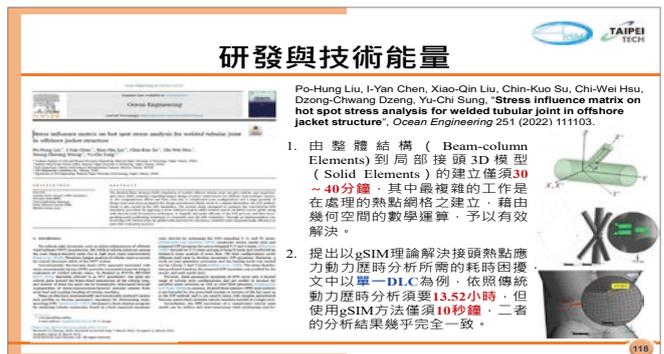
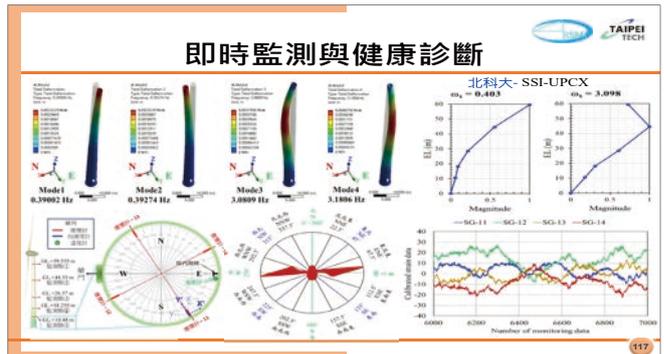
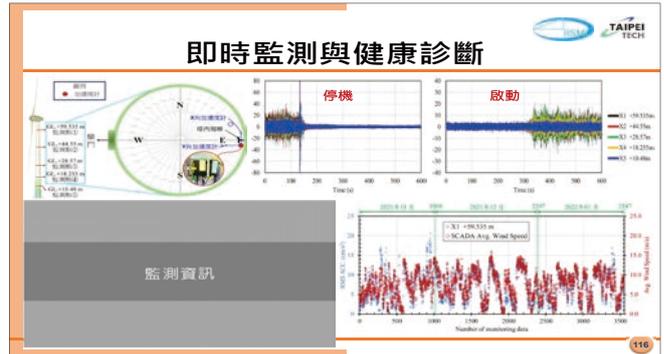
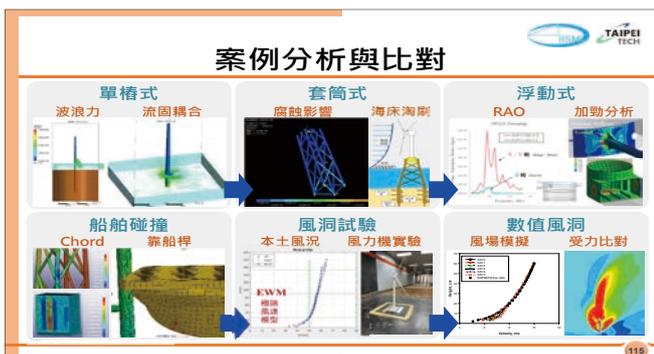
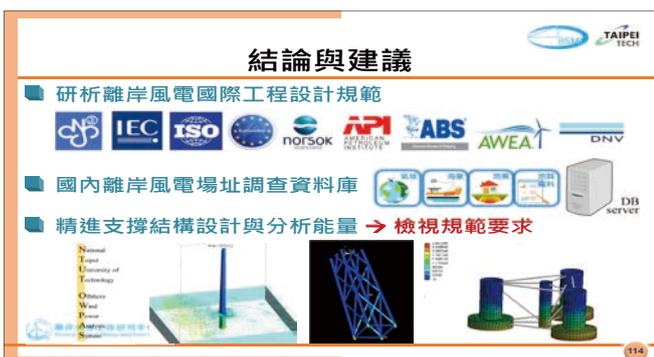
風機旋轉區域網格示意圖

110



### 目錄 CONTENTS

- 01 前言
- 02 支撐結構設計要點
- 03 國內離岸風電技術發展
- 04 案例分析與比對
- 05 結論與建議



簡報結束