



台灣離岸風電海域
大地工程調查

NCREE

冀樹勇 主任

2018.7.4

簡報大綱



一 前言

二 調查目的與方法

三 現地與室內試驗

四 設計需求

五 台灣面臨之挑戰

NCREE 一、前言

離岸風場開發條件

技術可行
(標準、規範)

財務可行
(融資、保險)

專業認證

盡職調查

專案管理
(風險管理)

政策法規
(保障、誘因)

民眾接受
(障礙排除)



大地工程風險管理

- 地質不確定性常為離岸風電最大之成本變動因素
 - 影響計畫成本、設計、時程、施工方法及HSE
 - 初期詳細規劃、調查與評估為地質風險管理唯一對策
- 典型地質風險因素
 - 軟弱土層區域
 - 海床變動
 - 極堅硬地層或岩盤
 - 地形陡變區域
 - 海床或其下之障礙物(水下文物)、危害物(UXO)
 - 可燃氣體
 - 地震與潛在土壤液化

歐洲經驗

風險、教訓與避險

再保險公司之認知與態度

追查歐洲曾經失敗的原因

生產與計劃

關鍵設備操作性差
較低負載係數
現場分析不足

成本競爭力

缺乏支助經驗
技術使用不當
貨幣波動
新廠址

成本超支

缺乏支助經驗
新技術或新方法
合約失敗
規劃不足

工期競爭力

缺乏承包經驗
新廠址
新技術
新規劃

執行時間表脫節

天氣海況不好
各安裝互依性
OEM廠生產延遲
承包商破產

根據實績與經驗之判斷

保險公司歸納共同弊害係因採用：

- 新技術
- 新廠址
- 新協力商/承包商

若將單一項目孤立出來處理，還可以利用風險基準方法來管理，若三種狀況同時全有新況存在，其交互影響可能會發生資產物理損壞及收入延遲。

再保險公司希望業主採現有被證實可靠的技術、設計、團隊、設施等來建置離岸風電，以免發生失敗或意外。其中規劃、設計、製造、建置、運維應進行串連風險管理，且監督獨立。

離岸風電之海事操作不可能單靠技術或金錢或經驗就能解決，重視場址調查、實務規劃、關聯設計、適當船機、風險管理、獨立監督與保險要求等，才是正道！

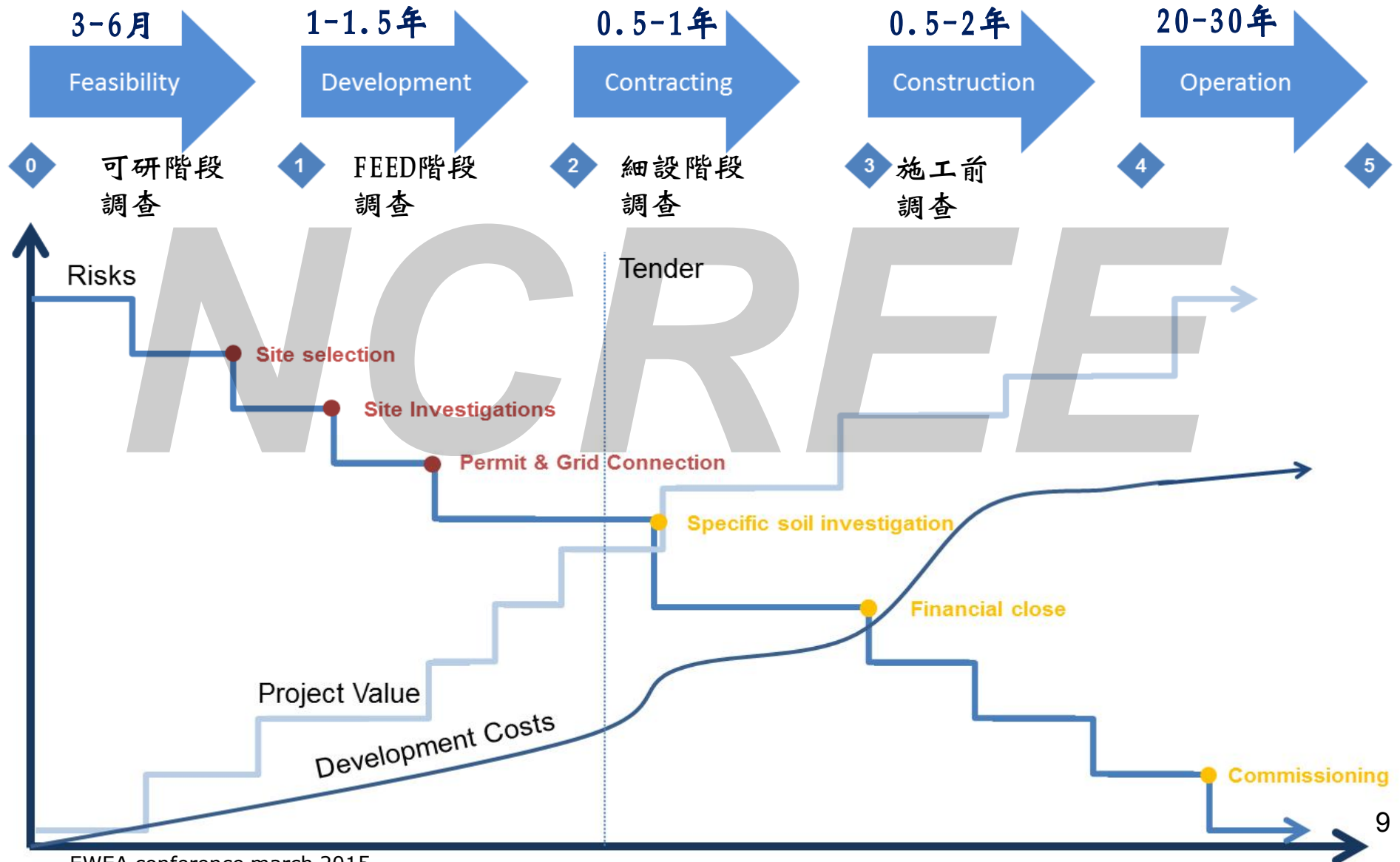
國際專業認證

- 目的在避風險、求安全、可融資、可保險。
- 通常以國際母法為基準，細則則由認證單位頒布或特定方指定。
- 審查監督者及其頒發證書之公信力須獲得融資與保險公司或相關業者之認同
- 認證項目 (以水下基礎為例)
 - 海氣象評估 (Metocean Report)
 - 地質調查 (Geotechnical Interpretation Report)
 - 設計準則 (Design Basis)
 - 細設成果 (Detail Design)
 - 海事保固鑑定 (Marine Warrantee Survey)

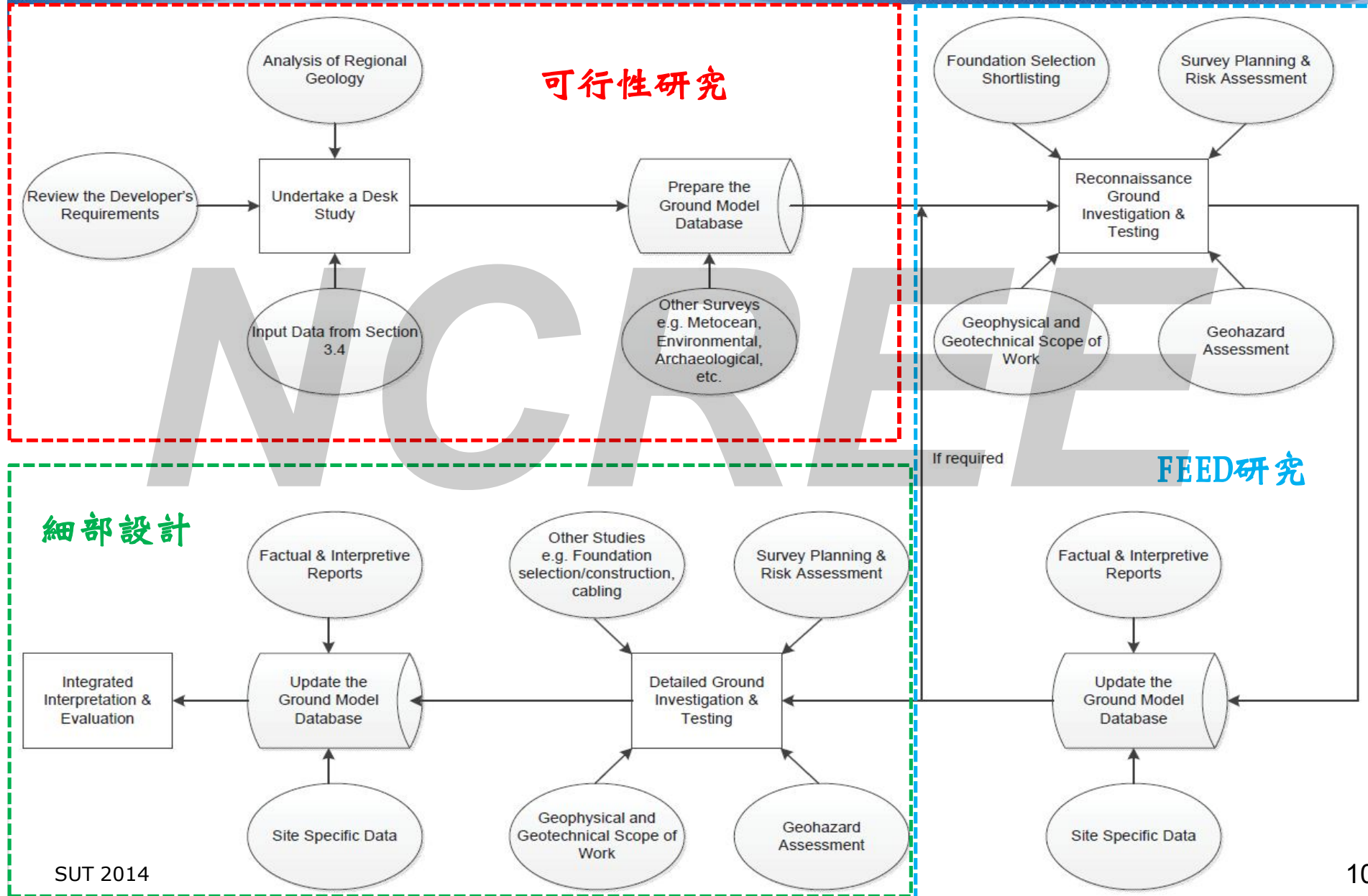
NCREE

二、調查目的與方法

離岸風場開發歷程



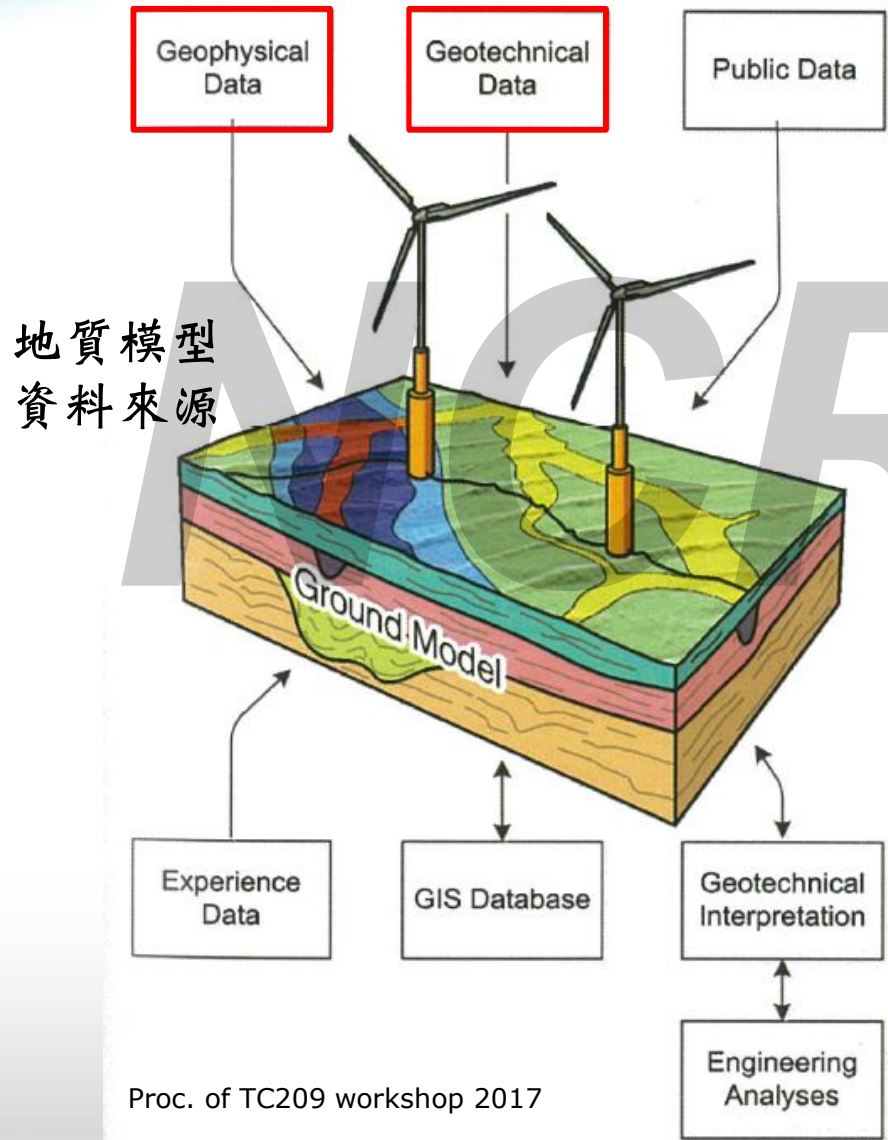
離岸風場開發地質調查程序



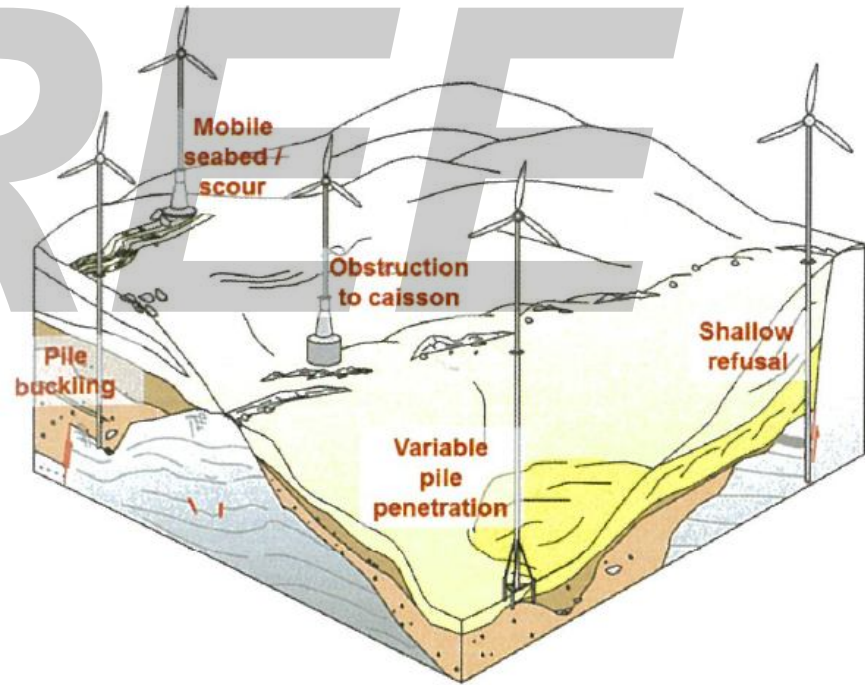
調查階段與目的

- 可行性研究階段
 - 提供工程規劃與環評 (EIA) 需要
 - 地物調查與少許 (台灣為5孔50-70公尺深) 土工調查
- Front End Engineering Design (FEED) 研究階段
 - 或稱基本設計
 - 提供土工設計參數與工程設計方案評估
 - 少數具代表性位置 (風機及海纜路徑) , 風機基礎最好與規劃之風機位置一致。
- 細部設計階段
 - 提供每支風機基礎與海纜鋪設設計土工參數
 - 風機調查數量及位置需與設計數量及位置完全一致 , 海纜路徑調查則以等間距規劃數量。

建構可靠之風場三維地質模型



風機基礎與地質條件限制



Proc. of TC209 workshop 2017

Proc. of TC209 workshop 2017

現地調查考量

- 風機與海上變電站基礎
 - 基礎型式
 - 基礎受力之地盤影響範圍
 - 基礎為靜態或動態荷載控制
 - 個別基礎設計最佳化或風場單一化設計
 - 海床變動性(海流掏刷、砂波移動等)
 - 其他設計者預期之場址特定因素
 - 需與風場開發商、設計工程師及專業認證方密切溝通
- 施工與運維船頂升(jack-up)與錨固(anchoring)

現地調查考量

• 海纜路徑

- 離岸風場保險出險率/風險最高項目
- 海床地形與高程梯度
- 海床與其下方之障礙物
- 海纜與管線交會
- 淺層土壤分類、工程特性、礫石及貝殼類含量
- 海床變動及其對結構物影響
- 海纜埋深保護規格
- 因海流或人為(如拖網捕魚)造成海纜曝露之可能性
- 海床溝槽挖掘(施工)性
- 風場聯外海纜受水深與土壤特性影響更甚風場內海纜

現地調查方法

- 鑽探平台
 - 採用自升式平台，以傳統陸域鑽探設備執行。
 - 本土平台適用淺水區域(水深<30公尺)
- 鑽探船
 - 以拋錨式或自動定位船(DP)作為載具，於船之重心位置開孔並架設井架執行鑽探。
 - 適用水深>15公尺海域
- 海床機器人
 - 將海床鑽探設備(機器人)，以工作船載至定點後下放鑽探設備遙控取樣。
 - 適用深水區域
- 須依據不同地質與環境條件選擇適當之設備

自升式鑽探平台

環島公司自有較小平台



國外油氣工業之大型吊裝平台船



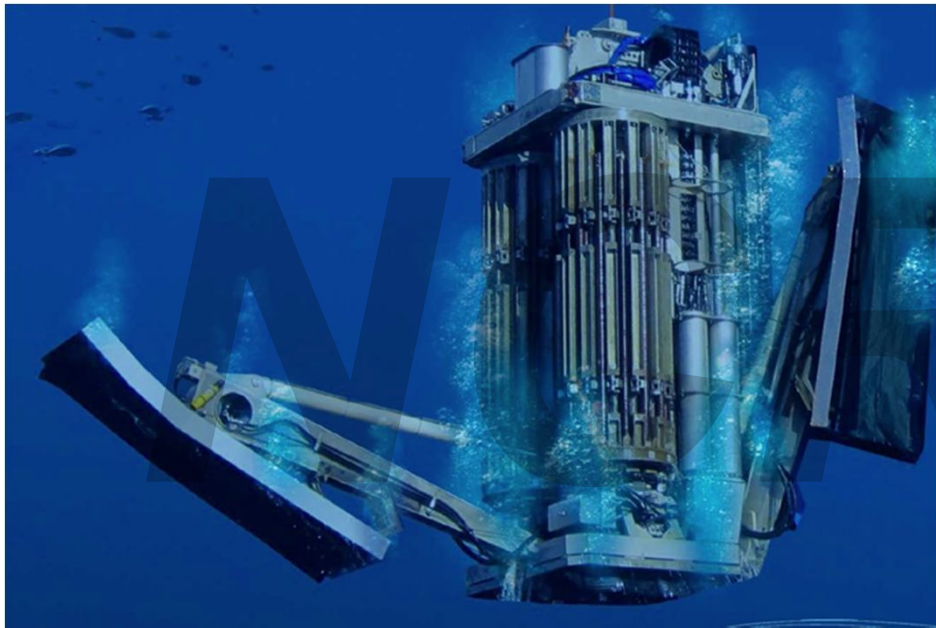
鑽探船

FUGRO drilling vessel



環島公司大地能源號

海底鑽探機器人



Benthic PROD 機器人

HELIX ROVDrill Mk II



現地調查規劃

| 基礎型式 | 調查規劃 |
|-------------|--|
| 大口徑單樁 | <ol style="list-style-type: none">1. 非點承樁以CPT或鑽探方式，調查至設計深度加上0.5倍樁徑。2. 若全以CPT方式探查，則需有10%孔數施作鄰近全取樣鑽孔，以取得高品質土樣進行室內試驗。3. 若為地層含軟岩則規劃與土壤相同，惟岩盤與土壤之取樣方式不同。4. 取樣數量與孔內井下試驗依據地層變異程度而異 |
| 套筒式或海上變電站基礎 | <ol style="list-style-type: none">1. 調查規劃與大口徑單樁相同2. 調查深度必須超過樁底受力之影響範圍3. 對於大尺寸套筒基礎與土層水平向變異大者，於每一風機位置應考慮增加CPT試驗孔。4. 海上變電站基樁因受力大於風機基樁，故其探查深度應更深。 |
| 施工吊裝船 | 為施工船頂升評估，需要淺層土層之高精度數據。 |

NCREE

三、現地與室內試驗

現地試驗項目

- STP

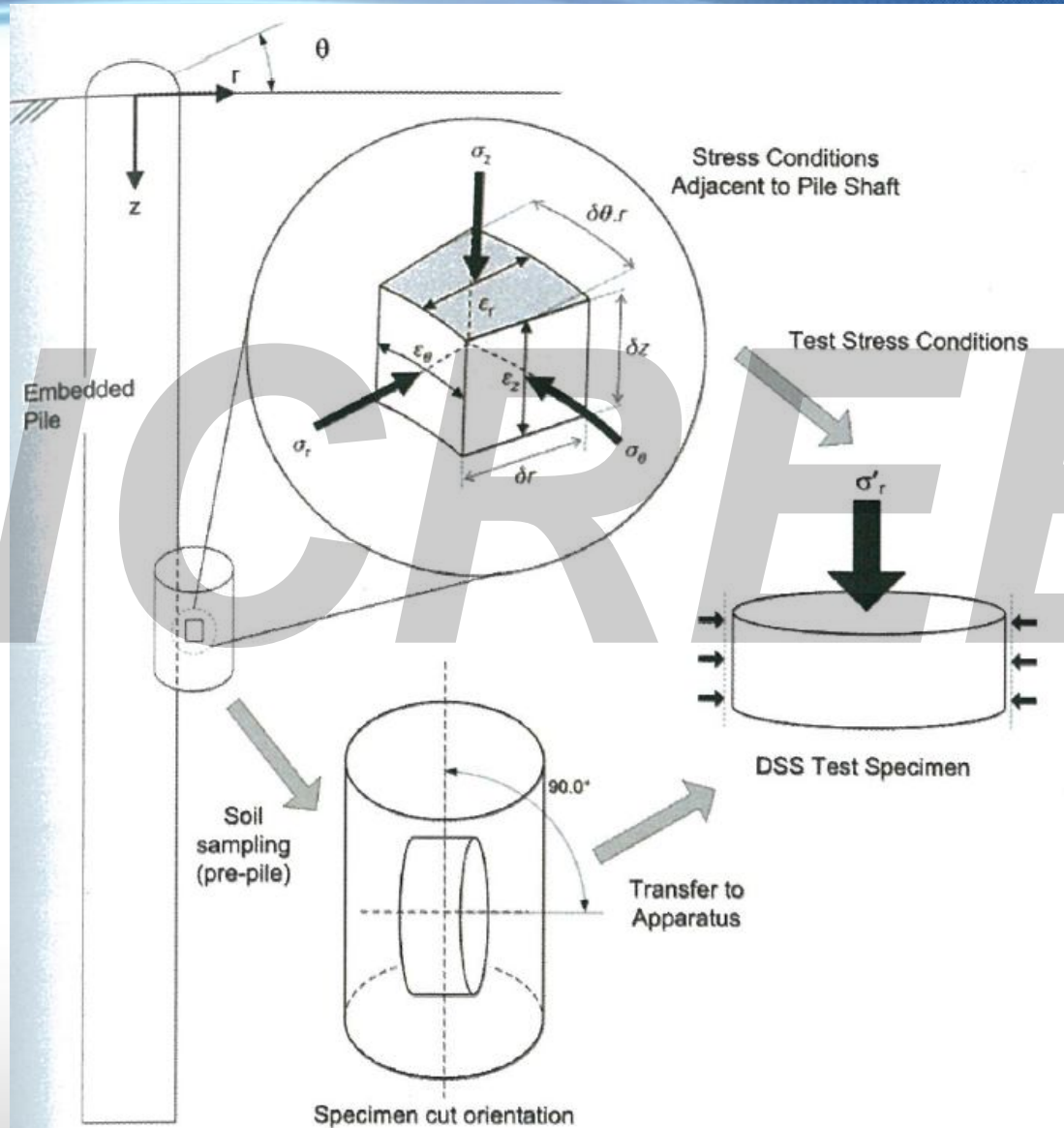
- 以自升式平台進行傳統陸域鑽探作業(全孔取樣)
- 為目前台灣所熟知之土壤參數評估指標，有本土經驗公式進行參數推估。

- CPT

- 分為DCPT (CPT3m與取樣1m為一循環) 與海床CPT
- 搭配常規鑽探船使用
- 為目前歐洲常採用之試驗
- 台灣對於CPT參數之解釋皆仰賴國外經驗，國內適用性有待其他試驗輔助。

- 其他搭配DCPT之波速量測、消散試驗等

室內試驗模擬現地狀況



室內試驗項目

- 大地工程設計 (基礎與海纜) 需求資訊
 - Description and index classification
 - Strength parameters (for different failure modes, monotonic and cyclic)
 - Soil modulus and damping parameters
 - Permeability and consolidation parameters
 - Liquefaction potential
 - Thermal conductivity
 - Chemical composition

室內試驗項目

- 常規試驗

- 與傳統常採用之地工試驗無異
- 一般物性試驗、靜態力學試驗

- 進階試驗

- 為達複雜外力作用下之基礎結構最佳化設計，高階數值分析 (FEM) 為經常採用之工具，惟必須對土壤模式參數進一步評估。
- 複雜材料模式需考慮
 - 反覆載重行為
 - 非線性勁度
 - 載重速率與潛變效應
 - 非等向性行為
 - 材料塑性狀態與行為

室內試驗項目

• 常規試驗

| Soil Parameters | Type of Tests | In Situ Testing | | | | Laboratory Testing on Samples | | | | |
|--|--------------------|-----------------|------------|---------|-----------|---|--------|---------|-----------|---|
| | | Applicability | | | | Applicability | | | | |
| | | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK | |
| Geological description | Geological logging | N/A | N/A | N/A | N/A | 3 | 4 | 4 | 4 | |
| Soil classification | CPT | 5 | 5 | 3 | 2 | Grain size (sieve) | 5 | 3 | 4 | 1 |
| | | | | | | Water content | 1 | 5 | 5 | 1 |
| | | | | | | Atterberg limits | N/A | 5 | 5 | 1 |
| Soil density | CPT | 3 to 4 | 2 | 3 | 2 | Unit weight and water content measurement | 1 to 2 | 5 | 5 | 5 |
| Soil strength (undrained shear strength) | CPT | N/A | 3 to 4 (a) | 3 | 2 | Unconsolidated undrained (UU) triaxial compression | N/A | 5 | 5 | 3 |
| | In situ vane | N/A | 4 to 5 | 2 | 1 | Consolidated triaxial compression | N/A | 5 | 4 | 1 |
| | T bar | N/A | 5 | 3 | 1 | Small T bar | N/A | 5 | 3 | 1 |
| | | | | | | Fallcone, pocket penetrometer, Torvane, lab vane, direct simple shear | N/A | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | Unconfined or uniaxial (UCS) testing | N/A | 1 | 3 | 5 |
| | | | | | | Point load testing (PLT) | N/A | 1 | 3 | 4 |

Suitability Scale

- 1: Poor or inappropriate
- 2: Acceptable for non-critical analyses
- 3: Moderately good
- 4: Good
- 5: Very good

SUT 2014

室內試驗項目

• 常規試驗

| Soil Parameters | In Situ Testing Type of Tests | Applicability | | | | Laboratory Testing on Samples Type of Tests | Applicability | | | |
|--|----------------------------------|---------------|-------|---------|-----------|--|---------------|------|---------|-----------|
| | | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK | | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK |
| Friction angle (drained shear strength) | CPT | 3 to 4 | 2 | 3 | 2 | Consolidated triaxial compression, | 5 (b) | 5 | 2 | 2 |
| | | | | | | direct shear (shear box), direct simple shear | 4 (b) | 1 | 2 | 2 |
| Sensitivity | CPT | N/A | 2 | 2 | 2 | Fall cone, lab vane, triaxial | N/A | 5 | 3 | 1 |
| | In situ vane | N/A | 3 | | | | | | | |
| Consolidation characteristics and permeability | CPT (piezocone) | 1 | 3 (c) | 3 | 2 | Oedometer | 2 (b) | 5 | 4 | 2 |

Suitability Scale

- 1: Poor or inappropriate
- 2: Acceptable for non-critical analyses
- 3: Moderately good
- 4: Good
- 5: Very good

SUT 2014

室內試驗項目

• 進階試驗

| Soil Parameters | Type of Tests | In Situ Testing | | | | Laboratory Testing on Samples | | | | |
|--|---|-----------------|--------|---------|------------|--|------------|---------|-----------|---|
| | | Applicability | | | | Applicability | | | | |
| | | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK | |
| Interpolation of soil layering in between borings/CPTs | Instrumented plough | 2 | 2 | 2 | 2 | N/A | | | | |
| Soil density and stiffness | Electrical resistivity probe | 2 to 3 | 1 | 1 | 1 | Small strain effective stress testing | 3 to 4 (e) | 2 | 3 to 4 | 4 |
| | Nuclear density probe | 1 to 2 | 2 to 3 | 2 to 3 | 1 | | | | | |
| | Pressuremeter / high pressure dilatometer | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | | |
| | P-S logging | 4 | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| | Seismic cone | 3 to 4 | 3 to 4 | 2 | 2 | | | | | |
| Soil strength and deformation | Pipe model test / | 3 to 4 | 3 to 4 | 3 to 4 | 3 to 4 | Direct simple shear | 4 (b) | 4 | 3 | 1 |
| | Plate load test | | | | | | | | | |
| Interface friction | N/A | | | | Ring shear | 3 to 4 | 5 | 3 to 4 | N/A | |
| Cyclic behaviour | Seismic cone | 3 to 4 | 3 to 4 | 4 | 4 | Resonant column (small shear strain modulus) | 4 | 4 | 4 | 1 |
| | | | | | | Direct simple shear - static/ cyclic | 4 (a) | 4 | 3 | 1 |
| | | | | | | Cyclic Consolidated triaxial | 5 (b) | 5 | 4 | 3 |

Suitability Scale

- 1: Poor or inappropriate
- 2: Acceptable for non-critical analyses
- 3: Moderately good
- 4: Good
- 5: Very good

SUT 2014

中興工程顧問社

CHUNG HING ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

室內試驗項目

• 進階試驗

| Soil Parameters | In Situ Testing | | | | | Laboratory Testing on Samples | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------|--------|---------|-----------|--|---------------|------|---------|-----------|
| | Type of Tests | Applicability | | | | Type of Tests | Applicability | | | |
| | | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK | | SAND | CLAY | C&C (D) | WEAK ROCK |
| Permeability | CPT (piezocone) - dissipation tests, | 2 | 4 | 4 | 1 | Special permeability tests | 5 (b) | 4 | 2 | 2 |
| | BAT probe | | | | | | | | | |
| | Piezoprobe | 2 | 4 | 4 | 1 | | | | | |
| Thermal conductivity | Heat flow probe | | | | | Transient method / Steady state method | 5 (b) | 5 | 2 | 1 |
| | | 4 | 4 to 5 | 2 | 1 | | | | | |
| Corrosion or chemical effect potential | Electrical resistivity cone | | | | | Mineralogy and porosity | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | | | | | | Electrical resistivity | | | | |
| | | | | | | Sulphate | 4 (b) | 4 | 4 | 3 |
| | | | | | | Carbonate | | | | |
| | | | | | | Chloride testing | | | | |
| | | | | pH | | | | | | |
| Gas content | BAT/DGP (deep gas probe) | 4 | 4 | 4 | 1 | Geochemical | 5 | 5 | 2 | 1 |

Suitability Scale

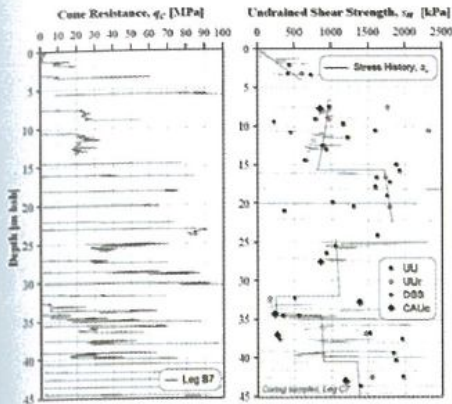
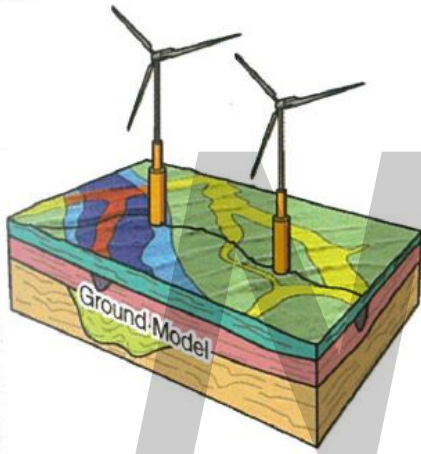
- 1: Poor or inappropriate
- 2: Acceptable for non-critical analyses
- 3: Moderately good
- 4: Good
- 5: Very good

SUT 2014

NCREE 四、設計需求

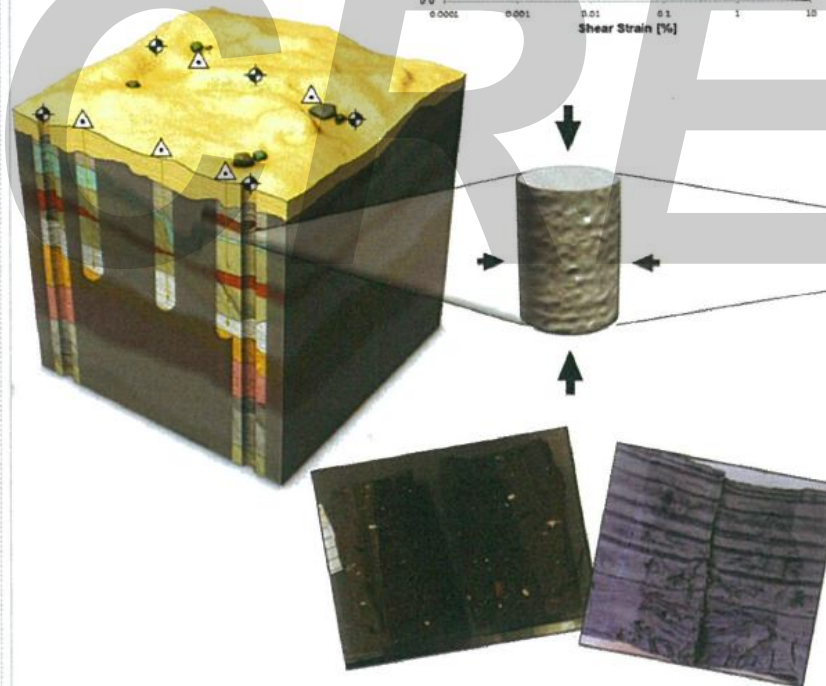
土工參數評估與設計應用

Profile

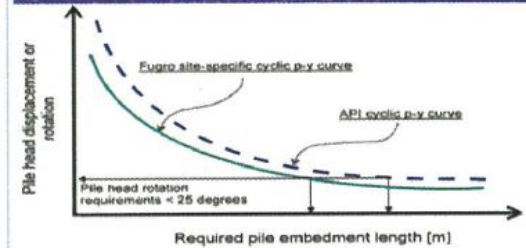
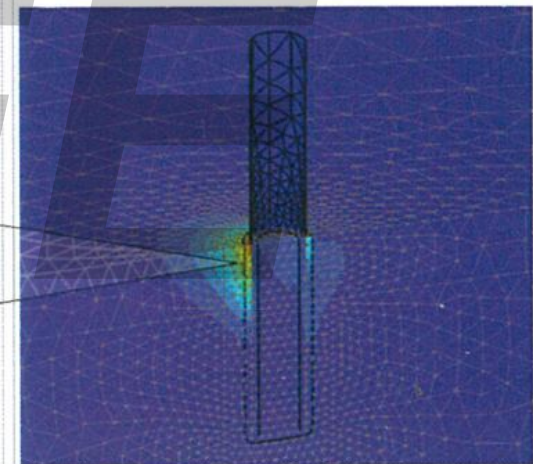


Calibrate

材料組成律
參數率定

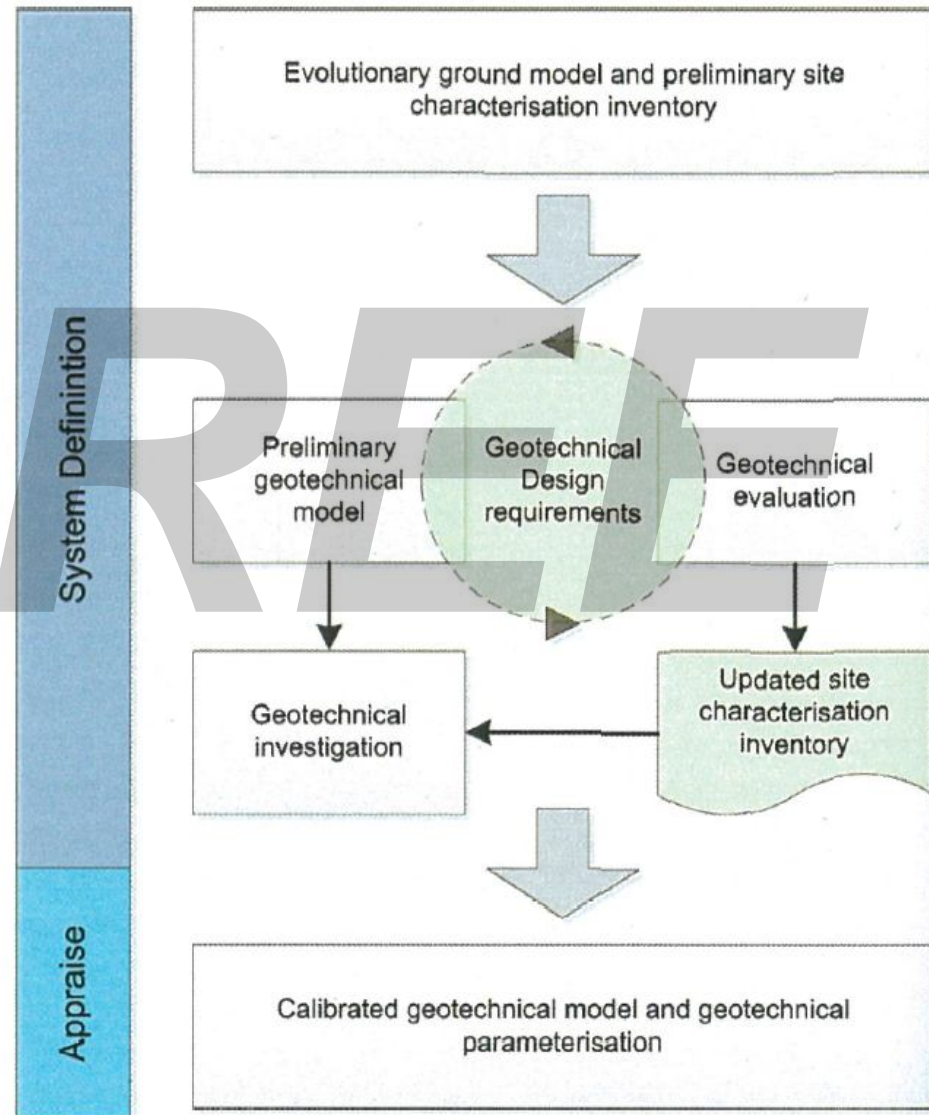


Analyse



土工參數評估程序

- 風場開發初期依據蒐集資料(地質特性與案例經驗), 定義土工模型與設計參數。
- 基礎型式與土工參數評估
- 規劃土工調查項目與調查計畫
- 必須由專業工程師規劃及反復檢討修正



設計參數評估

- 風機支撐結構與基礎設計與一般工程設計不同
 - 開發商以省錢為要
 - 設計者以保守為要 (地盤承載力 vs 打樁施工性)
- 依據DNV-GL規範，土工設計參數需以統計方法掌握不確定性。
 - 不同位置之同一地層材料試驗結果進行統計分析
 - 一般評估參數給定區間值而非定值
- 隨深度之地層參數資訊 (CPT或取樣試驗) 必須連續，其不連續段必須小於0.25m至0.5m。

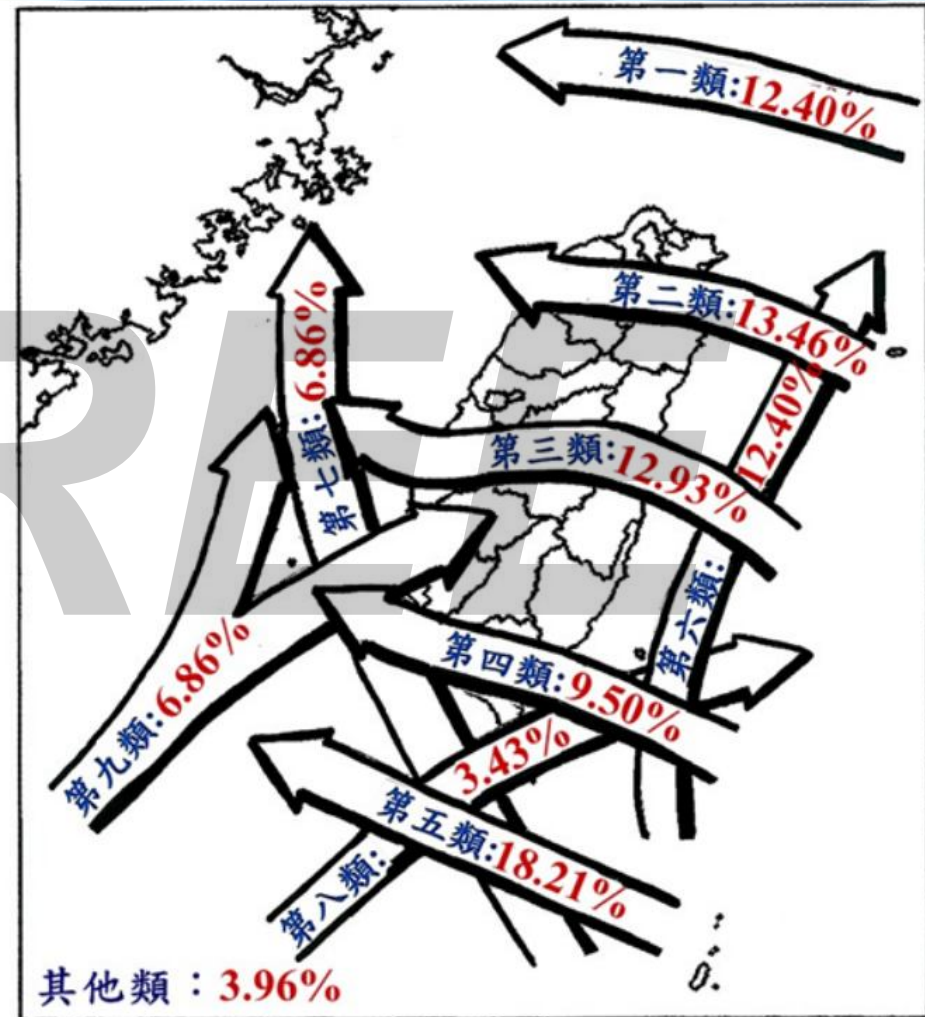


NCREE

五、台灣面臨之挑戰

颱風侵襲考量

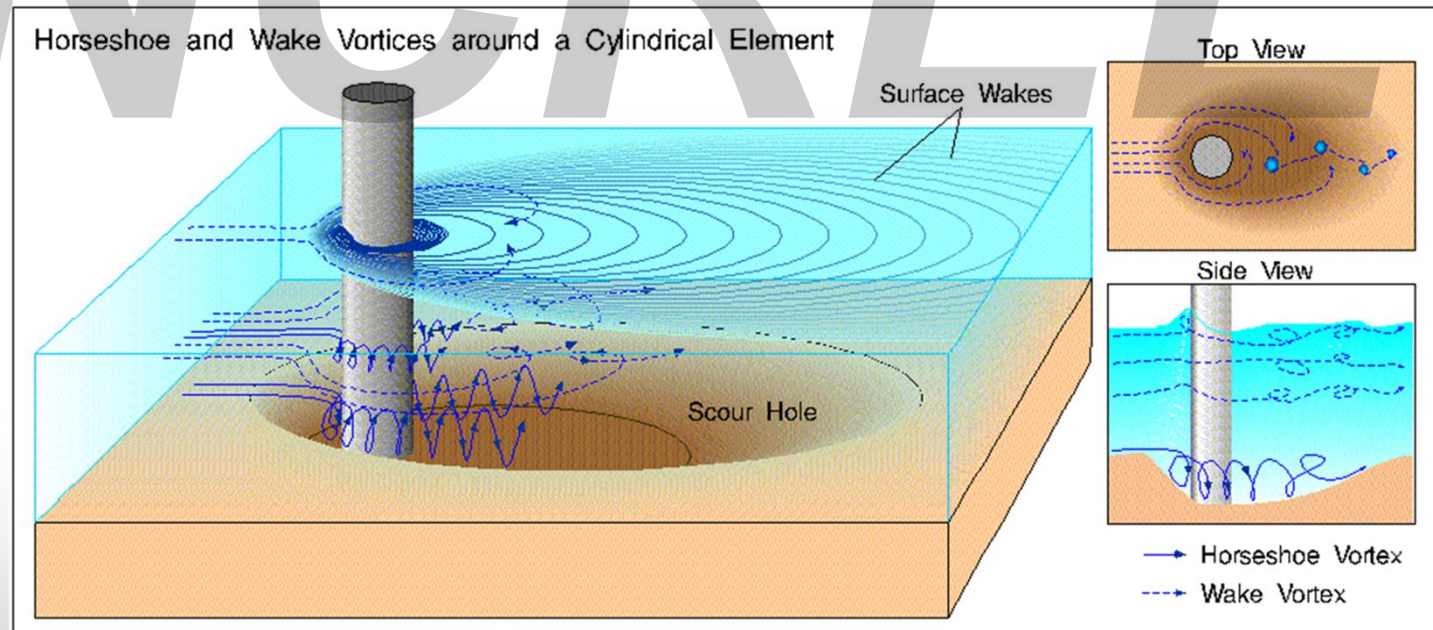
- 颱風直接通過場址時才會出現極端風浪情況，應視為特殊事件。
- 台灣每年至少有3.57次颱風通過，設計需將其考慮於ULS情況，但目前之做法可能無法掌握颱風之特徵，需考慮新的方法並滿足第三方認證機構之認證要求。



資料來源：中央氣象局1911-2017年

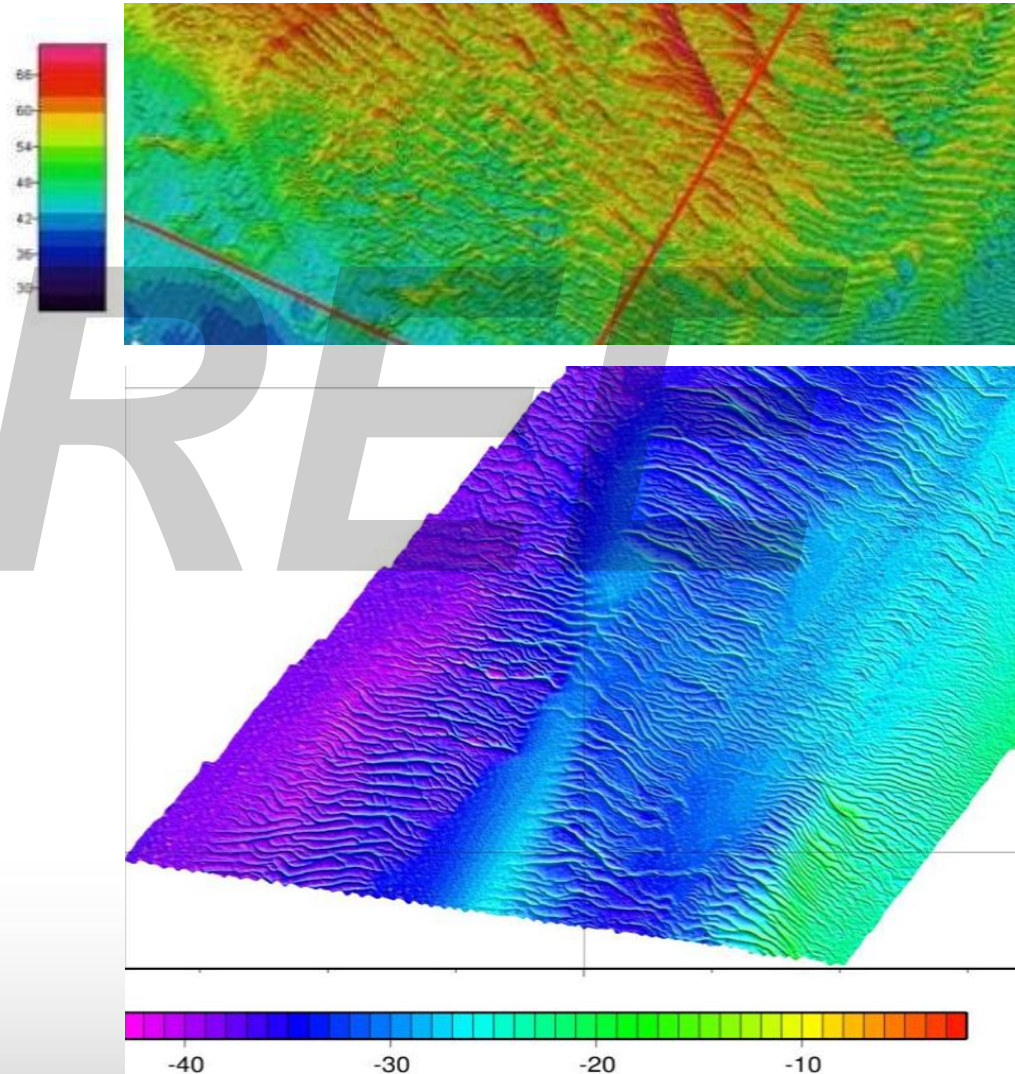
基礎掏刷防護

- 在颱風之極端波浪條件下，傳統的基礎掏刷防護方法可能不適用。
- 因為目前落管拋石安裝設備可能無法承擔過大之塊石重量(超過1,000公斤)，故需要考慮其他設計方案因應。



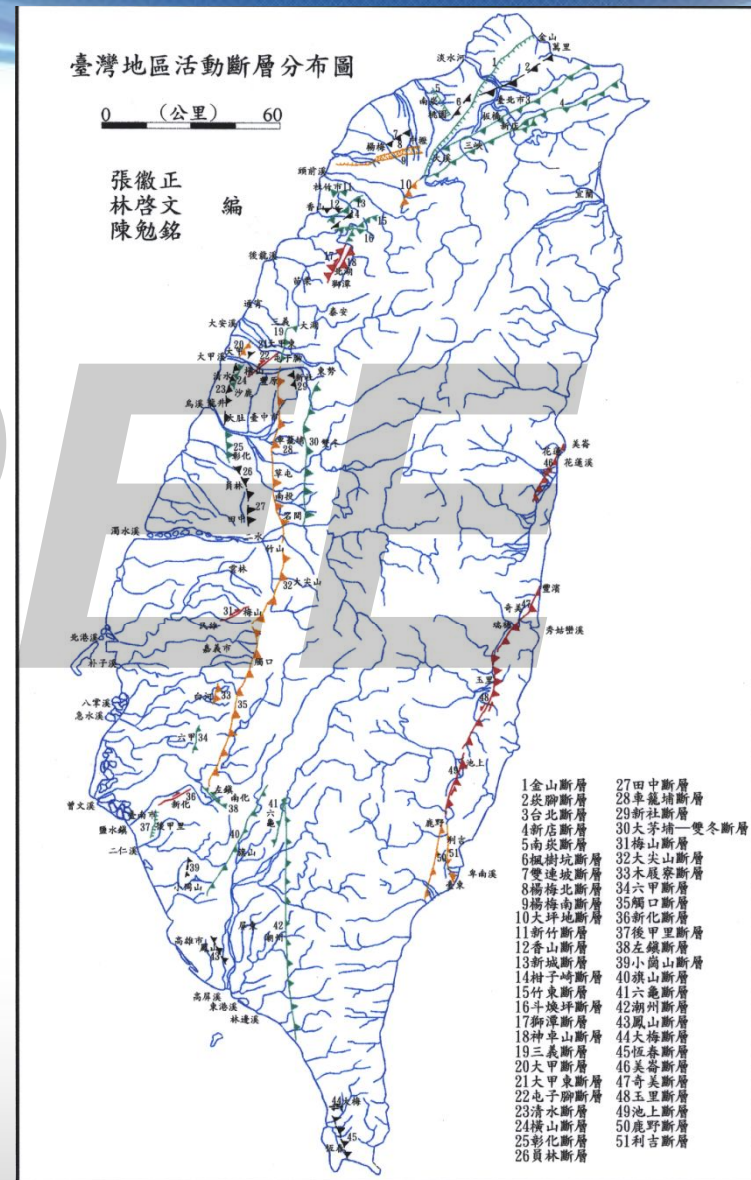
海床地形變異-沙丘 (Sand dunes)

- 彰濱外海地區海床因沙丘造成之變異極為普遍
- 沙丘高度變異10公尺以上，移動速度因場址而異，普遍高於歐洲經驗。
- 對水下基礎基樁設計長度造成影響，必須提高地形調查頻率。



地震危害度評估

- 海域斷層資訊不足，台灣離岸海域斷層之形狀、長度與活動度等參數資訊不足，故難以執行機率式地震危害度分析 (PSHA) 以決定設計地震。
- 設計上需要探討可能對專案場址有影響的活動斷層，即使是屬研究成果之資料，亦應納入分析考慮。



圖三 台灣地區活動斷層分布圖。紅色表示第一類活動斷層；橘色，第二類；綠色，第三類；黑色，存疑性。

結語

- 離岸風電為國際性之能源產業，一切需依據國際規範與規格進行。
- 地工調查試驗規劃與設計階段之第三方專業認證要求應有事前完整之因應對策，以免耽誤開發時程。
- 國內以往對於海域探勘及離岸大地工程業務需求較少，相對工作能量極有限，如何因應未來短期極大量之工作需求為一大挑戰。

感謝聆聽

擁抱風電
環境永續

NCRELE

