離岸風力大地工程

報告人：王天佑
2017/7/25

財團法人中興工程顧問社
大地工程研究中心
Geotechnical Engineering Research Center
Sinotech Engineering Consultants, INC.

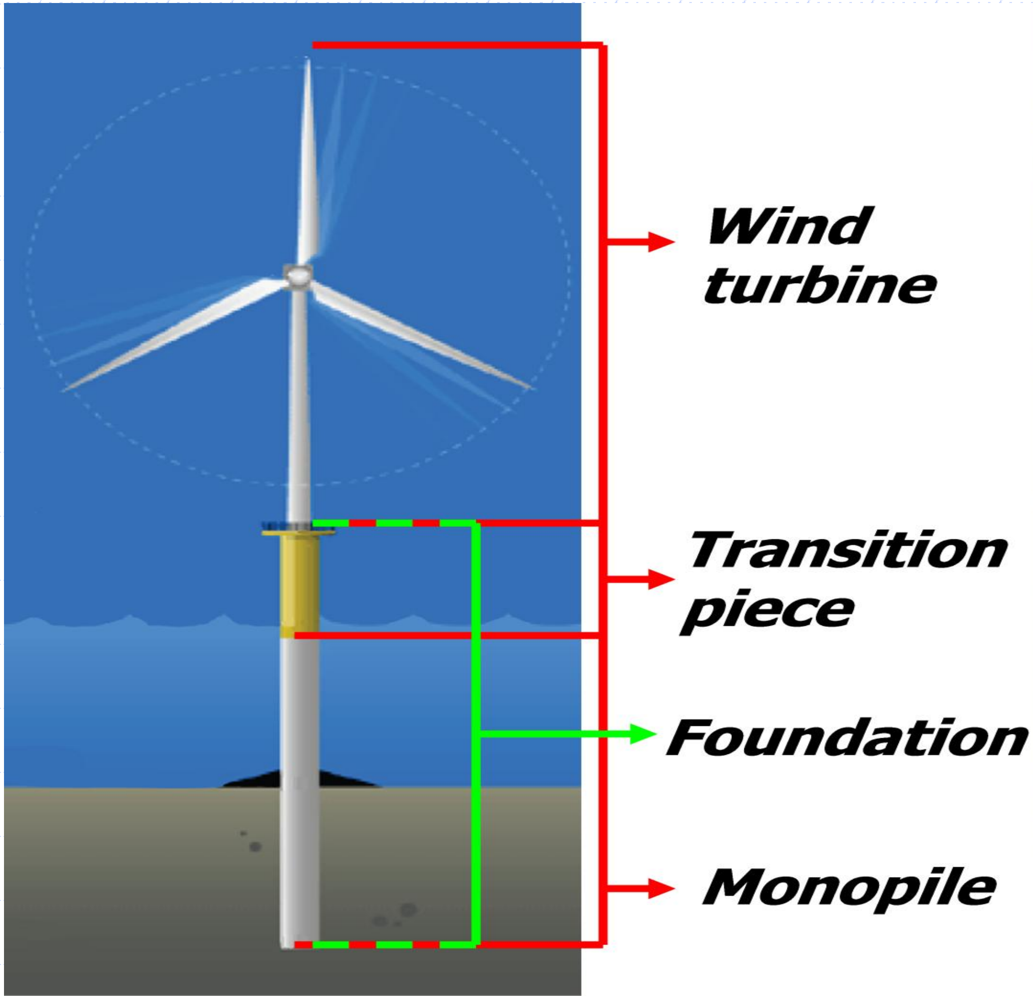
報告內容

- 離岸風力發電簡介
- 國際離岸風力發電發展
- 台灣離岸風力發電現況
- 基礎設計之規範與準則
- 荷重種類與估算
- 大地工程調查
- 海上施工經驗分享
- 結語

FOWI
OLC
OLC

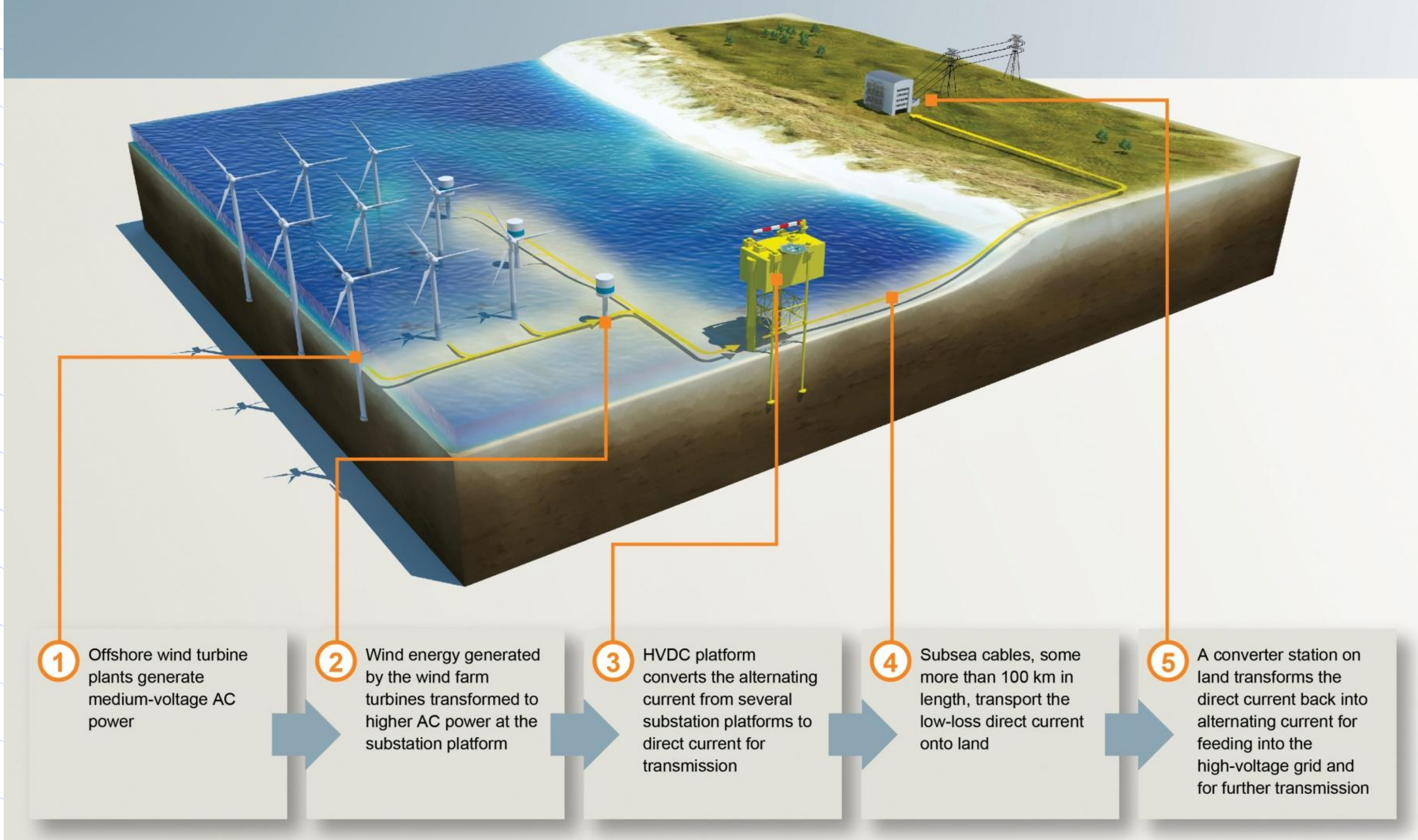
離岸風力發電簡介

- 離岸風力發電機係由發電機組和基礎組成


Wind turbine
Transition piece
Foundation
Monopile

離岸風場之定義

◆四座以上風機輸出電網之陣列



① Offshore wind turbine plants generate medium-voltage AC power

② Wind energy generated by the wind farm turbines transformed to higher AC power at the substation platform

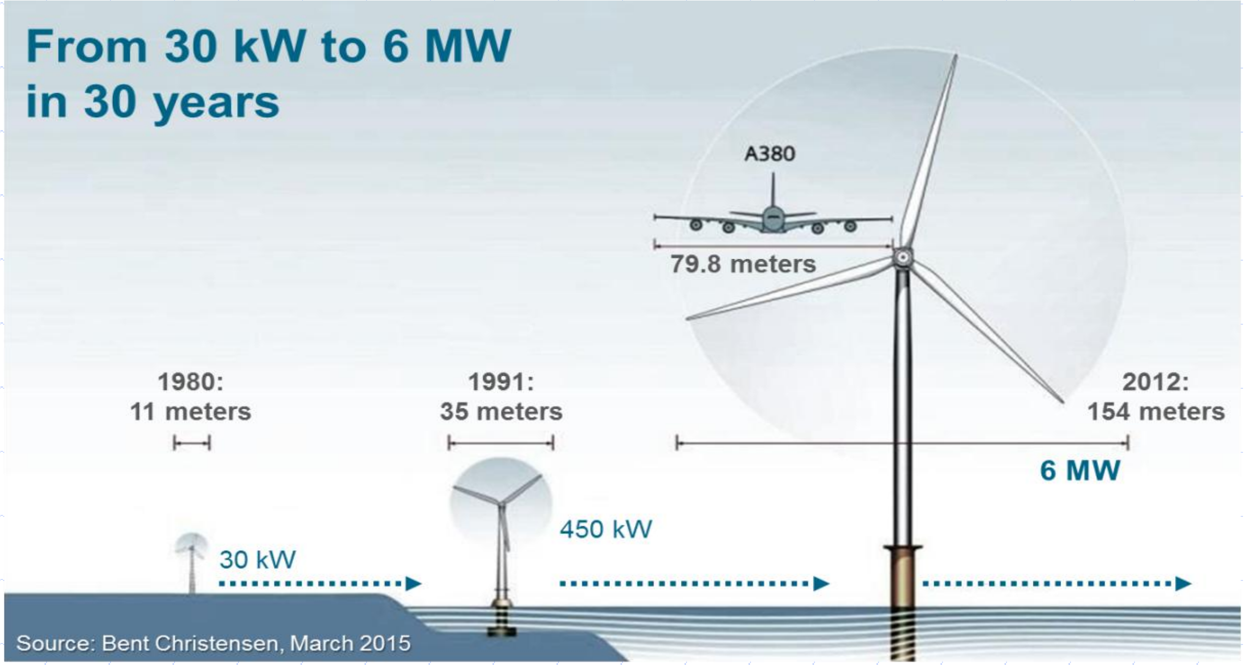
③ HVDC platform converts the alternating current from several substation platforms to direct current for transmission

④ Subsea cables, some more than 100 km in length, transport the low-loss direct current onto land

⑤ A converter station on land transforms the direct current back into alternating current for feeding into the high-voltage grid and for further transmission

離岸風力歷史沿革

- 首座離岸風場係由丹麥於1991年商轉(11×0.45MW)
- 首座離岸風機之完整規劃係由Germanischer Lloyd(GL)及Garrad Hassan承接之「歐盟區離岸風能」計畫
- 英國London Array現為世界最大風場(175×3.6=630MW)
- 挪威船級社(Det Norske Veritas,DNV)於2013併入 Germanischer Lloyd(GL) 、Garrad Hassanr(UK)及KEMA Lab，成為全球最大離岸風力驗證機構**DNV-GL**

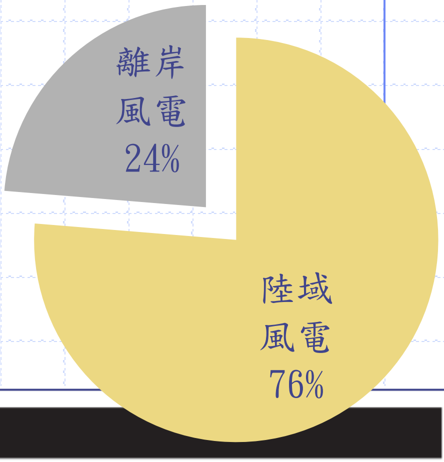

From 30 kW to 6 MW
in 30 years
A380
79.8 meters
1980:
11 meters
1991:
35 meters
2012:
154 meters
6 MW
450 kW
30 kW

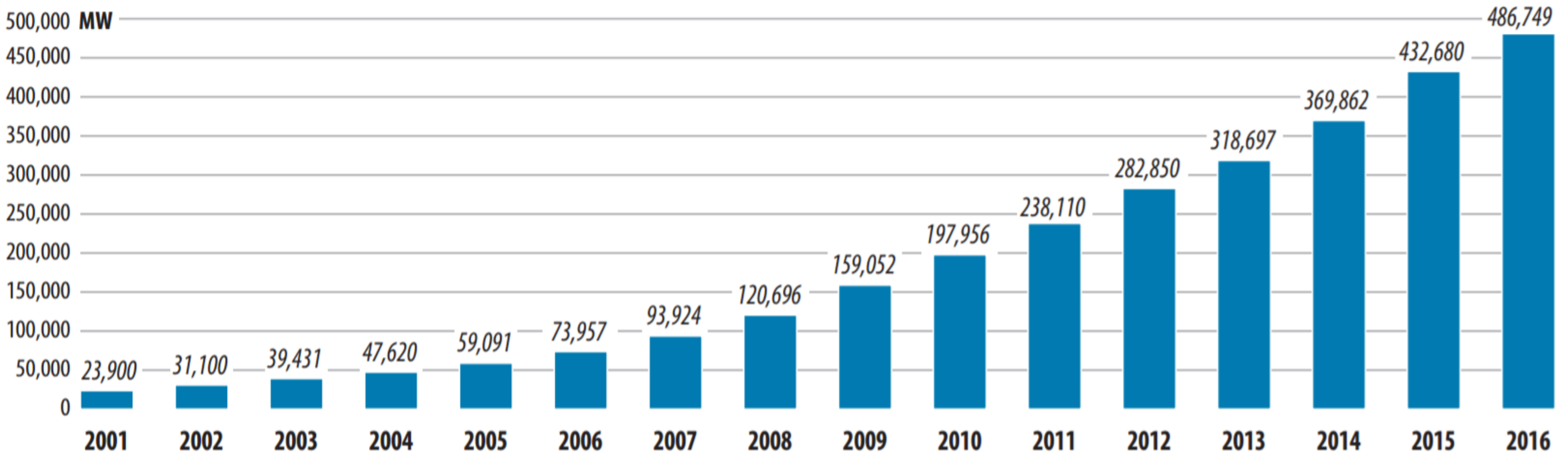
Source: Bent Christensen, March 2015

中興社地工中心
SINOTECH GERC

國際風能開發現況

- 2016年底，全球累計風力發電量已達487GW
  - 其中歐盟2015新增12.8GW(成長率6.3%)
    - 陸域風電9,765.7MW(76.3%)
    - 離岸風電3,034.5MW(23.7%)
    - 離岸風電佔比為2014年之兩倍



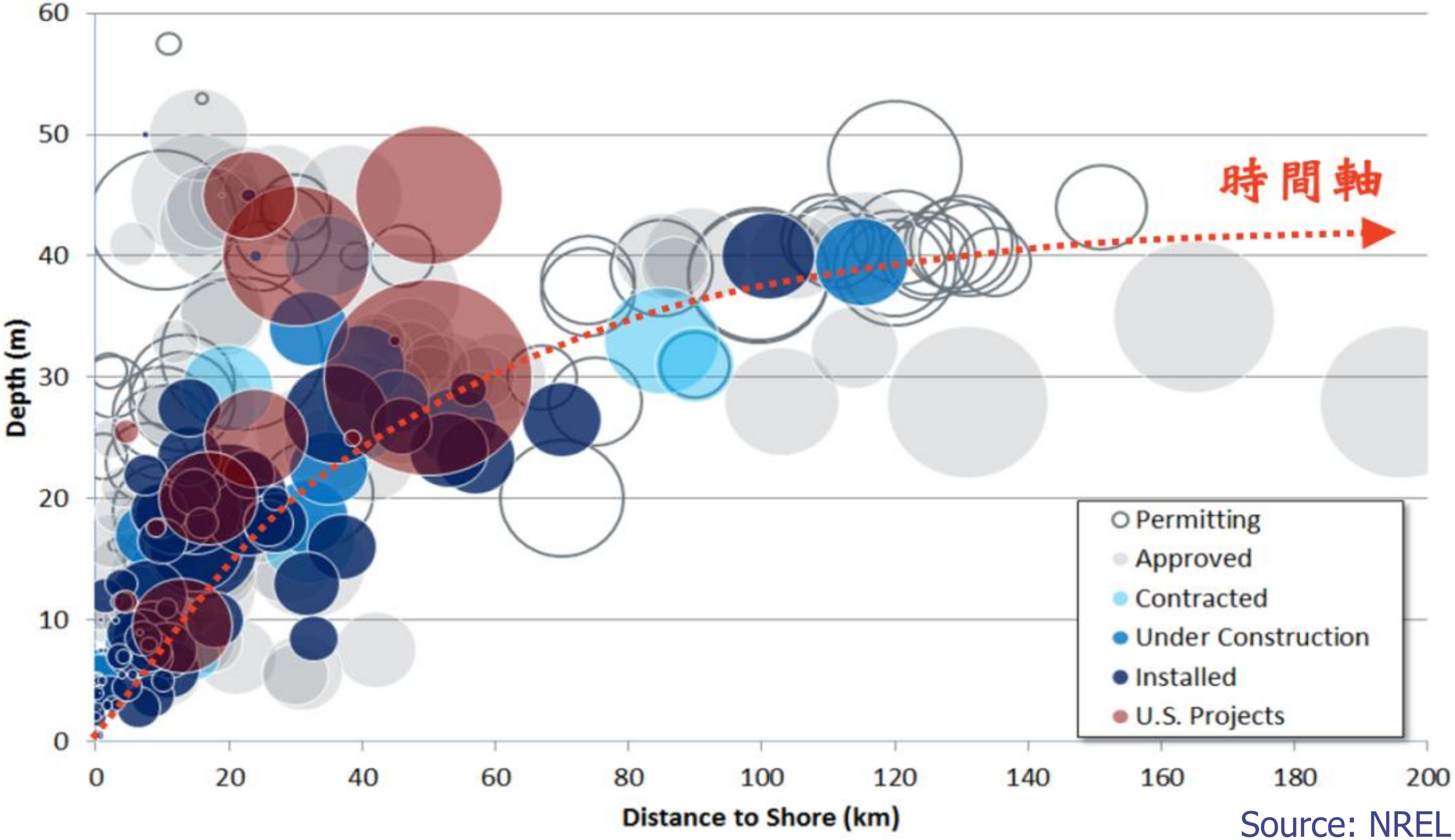


GLOBAL CUMULATIVE INSTALLED WIND CAPACITY 2001-2016

Source: GWEC

全球離岸風力發展趨勢

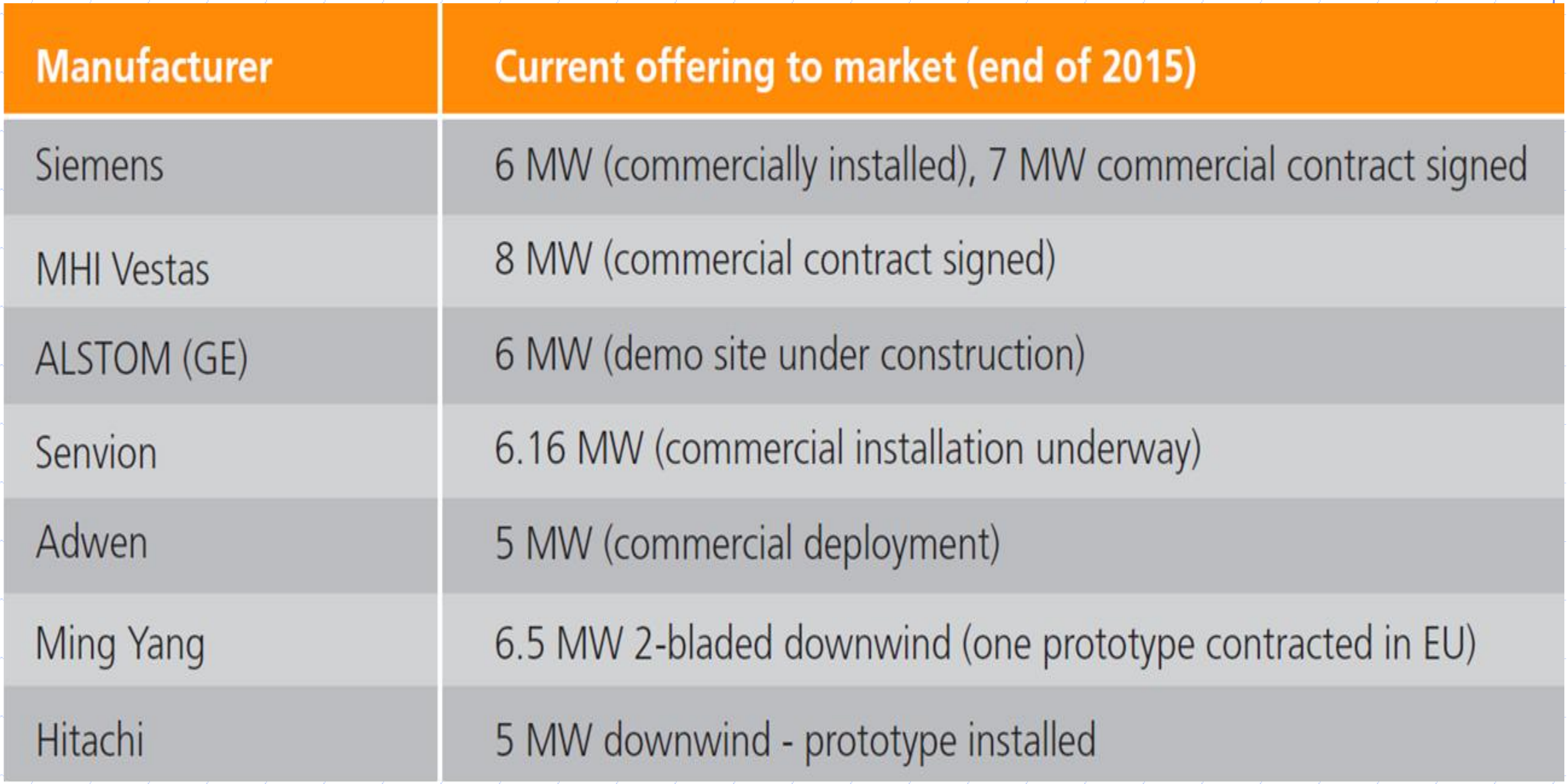
- 離岸漸遠；風機規模漸大



Source: NREL 2015

Global offshore wind projects as a function of water depth and distance to shore

主要風機供應商及最新商轉機型



Manufacturer	Current offering to market (end of 2015)
Siemens	6 MW (commercially installed), 7 MW commercial contract signed
MHI Vestas	8 MW (commercial contract signed)
ALSTOM (GE)	6 MW (demo site under construction)
Senvion	6.16 MW (commercial installation underway)
Adwen	5 MW (commercial deployment)
Ming Yang	6.5 MW 2-bladed downwind (one prototype contracted in EU)
Hitachi	5 MW downwind - prototype installed

Source: FOWIND, Supply chain, port infrastructure and logistics study, 2016.

離岸風力工程特性

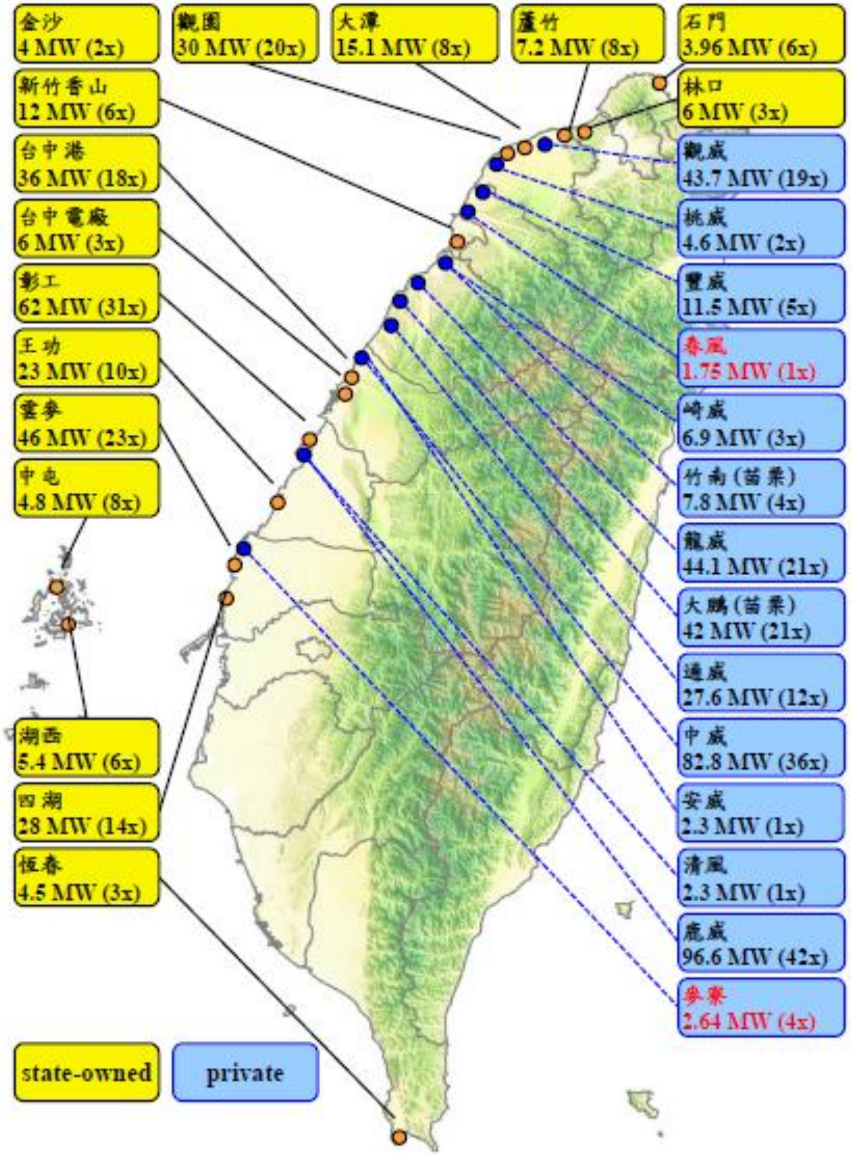
- 結構物巨大，動輒百米高，重量以百噸計
- 一般設計年限在20~30年間
- 海上地調與施工昂貴(船舶動員與日租)
- 相對於自重，離岸結構物受風波流等反覆荷載影響較大，需動態分析，頻率常主導設計
- 通常於陸域製造；海上組裝，故設計變更困難，費用高昂
- 施工受天候影響，排程良窳對費用影響甚大

中興社地工中心
SINOTECH GERC

台灣風力發電現況

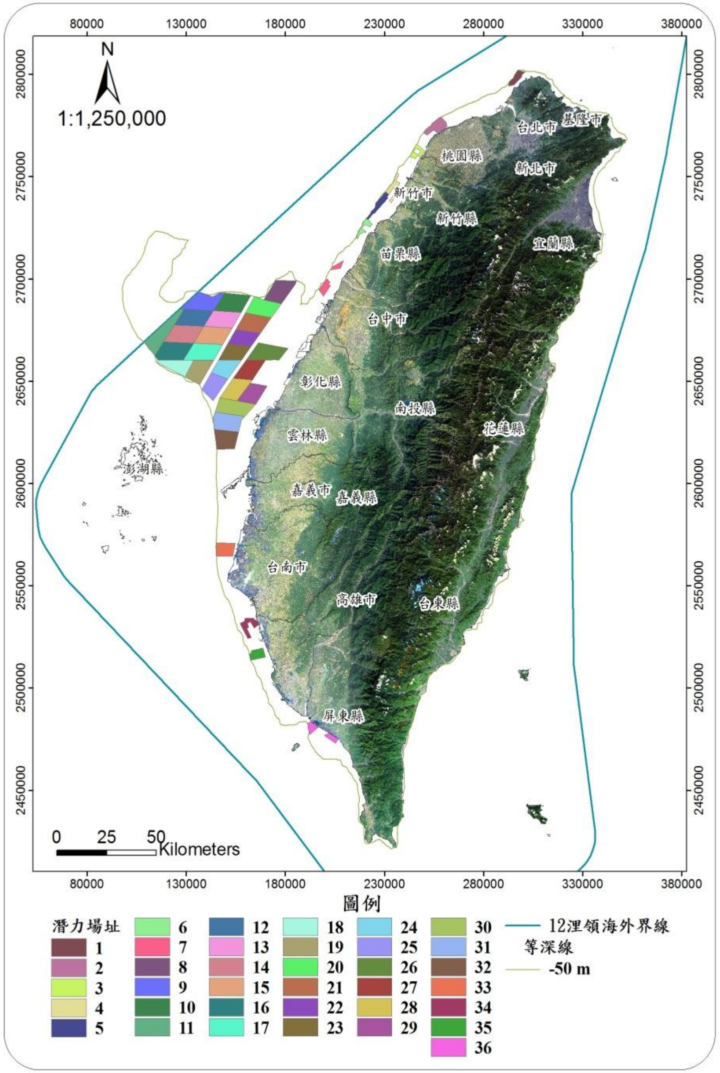
- 依據4C Offshore統計，全球18最適設置離岸風電場址，16個在台灣海峽
- 行政院於101年2月8日核定千架海陸風機計畫，至2030年風力總發電容量約為2.2座核三廠(1904MW)

		2012	2015	2020	2025	2030
陸域	累計容量 MW (累計架數)	621 (314 架)	866 (350 架)	1,200 (450 架)	1,200 (450 架)	1,200 (450 架)
海域	累計容量 MW (累計架數)	0	＞15 (4 架)	600 (120 架)	1,800 (360 架)	3,000 (600 架)
總累計容量 MW (總累計架數)		621 (314 架)	881 (354 架)	1,800 (570 架)	3,000 (810 架)	4,200 (1,050 架)


金沙 4 MW (2x)
觀園 30 MW (20x)
大潭 15.1 MW (8x)
蘆竹 7.2 MW (8x)
石門 3.96 MW (6x)
新竹香山 12 MW (6x)
林口 6 MW (3x)
台中港 36 MW (18x)
觀威 43.7 MW (19x)
台中電廠 6 MW (3x)
桃威 4.6 MW (2x)
彰工 62 MW (31x)
豐威 11.5 MW (5x)
王功 23 MW (10x)
春風 1.75 MW (1x)
雲麥 46 MW (23x)
崎威 6.9 MW (3x)
中屯 4.8 MW (8x)
竹南(苗栗) 7.8 MW (4x)
龍威 44.1 MW (21x)
大鵬(苗栗) 42 MW (21x)
通威 27.6 MW (12x)
湖西 5.4 MW (6x)
中威 82.8 MW (36x)
四湖 28 MW (14x)
安威 2.3 MW (1x)
恆春 4.5 MW (3x)
清風 2.3 MW (1x)
鹿威 96.6 MW (42x)
麥寮 2.64 MW (4x)
state-owned
private

台灣離岸風力開發規劃

- 第一期離岸風電示範獎勵辦法
    - 每一示範風場建置一海氣象觀測塔
    - 2016年底前設置4座示範風機
    - 2020年前建置3座示範風場
- 第二期區塊開發申請規劃
    - 公告36潛力開發場址，約4~600MW/場址
    - 於2017年底前通過環評估審查，且於2019年取得電業許可。
- 第三期競價開發
    - 擬於2017年公告，較低躉購費率者取得開發權。
    - 商轉規模以降低開發成本



N
1:1,250,000
80000
130000
180000
230000
280000
330000
380000
2800000
2750000
2700000
2650000
2600000
2550000
2500000
2450000
基隆市
台北市
桃園縣
新北市
新竹市
新竹縣
宜蘭縣
苗栗縣
台中市
彰化縣
南投縣
花蓮縣
雲林縣
澎湖縣
嘉義市
嘉義縣
台南市
高雄市
台東縣
屏東縣
0 25 50 Kilometers
圖例
潛力場址
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36
12浬領海外界線
等深線
-50 m

中興社地工中心
SINOTECH GERC

示範獎勵辦法執行現況

福海風場

- 彰化縣芳苑鄉外海；離岸8~12 公里；水深20~45 公尺；容量約120 MW
- 104年6月26日取得2架示範機組之電業籌設許可
- 104年7月完成海氣象觀測塔主體結構之建置
- 目前正進行施工許可文件之申請以利於106年底前建置完成2架示範機組。

海洋風場

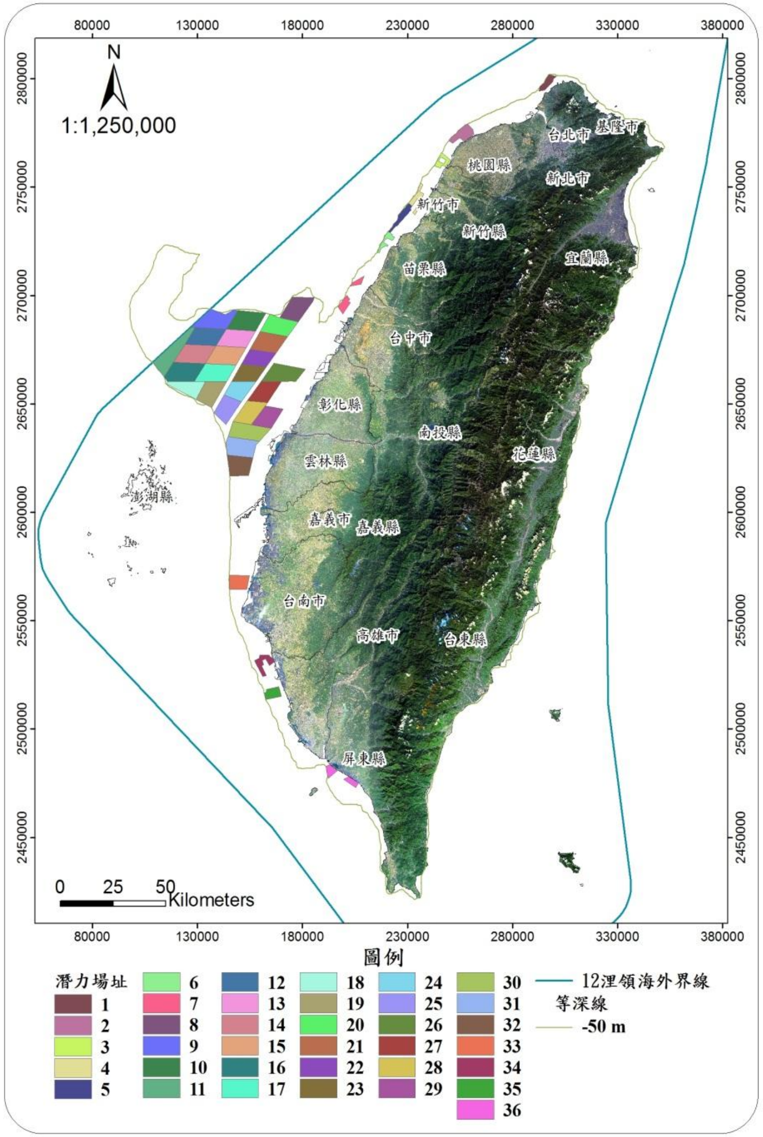
- 苗栗縣竹南鎮外海；離岸2~6 公里；水深15~35 公尺；容量約128 MW
- 103年12月30日取得2架示範機組之電業籌設許可
- 104年8月完成海氣象觀測塔主體結構之建置
- 105年3月31日取得示範機組施工許可證
- 105年10月底完成2架示範機組之建置
- 106年四月併網商轉
- 整個風場預計108年完工

台電一期

- 彰化縣芳苑鄉西側海域；離岸7~9 公里；水深：15~ 26 公尺；容量；約 108~110 MW
- 102年9月16日能源局同意展延至109年12月31日前完成整體風場竣工商轉
- 104年底完成海氣象觀測塔主體結構之建置。
- 104年6月17日通過示範風場環評審查
- 目前正辦理示範機組電業籌設許可審查

區塊開發執行現況

場址	籌備處	規劃量 (MW)	進度
2	麗威	251	已備查
3	築能	151.8-159.3	已備查
4	竹風	410	已備查
5 & 6	海能	555.45-736	已備查
11	海鼎一	648-736	已備查
12	大彰化西北	598	已備查
13	大彰化東北	570	已備查
14	大彰化西南	642.5	已備查
15	大彰化東南	613	已備查
16	海鼎二	666-760	已備查
17	海鼎三	648-760	已備查
18	海龍三號	468-512	已備查
19	海龍二號	612-696	已備查
26	台電	812	已備查
27	彰芳	475	已備查
27	海峽	500	已備查
28	海峽	500	已備查
28	福芳	500	已備查
29	中能	450	已備查
非屬潛力場址	宇騰	232-239.7	已備查
非屬潛力場址	允能	632-707.8	已備查
非屬潛力場址	西島	305	已備查


N
1:1,250,000
80000
130000
180000
230000
280000
330000
380000
2800000
2750000
2700000
2650000
2600000
2550000
2500000
2450000
台北市
基隆市
桃園縣
新北市
新竹市
新竹縣
宜蘭縣
苗栗縣
台中市
彰化縣
南投縣
花蓮縣
雲林縣
澎湖縣
嘉義市
嘉義縣
台南市
高雄市
台東縣
屏東縣
0 25 50 Kilometers
圖例
潛力場址
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
12浬領海外界線
等深線
-50 m

中興社地工中心
SINOTECH GERC

台灣發展離岸風力技術上之挑戰

- 設計規劃
  - 國內無設計經驗
  - 國外設計準則與經驗須本土化
- 地震與颱風影響
  - 國際經驗均集中於北海一帶，無颱風影響
  - 地質狀況與台灣迥異
  - 沿海土層地震液化
- 海事工程經驗與設備
  - 製造、運送、安裝
  - 國內缺乏大型海上施工機具
  - 鄰近國家亦剛開始
  - 大陸工作船問題
- 國際合作
  - 國際發包與法律條文
  - 國外廠商意願
  - 成本甚高

基礎設計規範、準則與標準

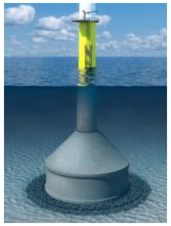
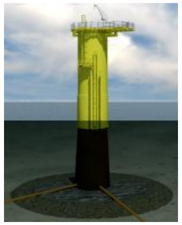
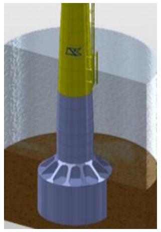
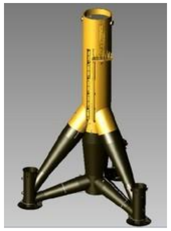
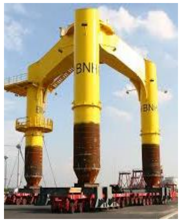
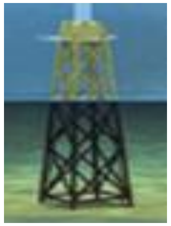
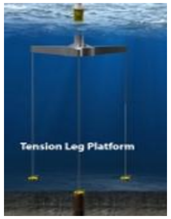
- 主要規範
  - DNVGL-ST-0126 SUPPORT STRUCTURES FOR WIND TURBINES
- 參考規範
  - IEC 61400 Wind Turbine requirements
  - ISO 19901:2 Seismic Design
  - DNV RP-C203 Fatigue Design of structure
  - API RP2A WSD Working Stress Design
  - BS EN 12495 Cathodic protection
  - NACE SP0176, RP0104, Corrosion Control
  - … etc

And more

Reference	*Title*
DNV/Risø	Guidelines for Design of Wind Turbines
DNV-RP-B401	Cathodic Protection Design
DNV-RP-C201	Buckling Strength of Plated Structures
DNV-RP-C202	Buckling Strength of Shells
DNV-RP-C203	Fatigue Strength Analysis of Offshore Steel Structures
DNV-RP-C205	Environmental Conditions and Environmental Loads
DNV-RP-C207	Statistical Representation of Soil Data
DNV-RP-H101	Risk Management in Marine and Subsea Operations
Classification Notes 30.1	Buckling Strength Analysis
Classification Notes 30.4	Foundations
Classification Notes 30.6	Structural Reliability Analysis of Marine Structures
Classification Notes 30.7	Fatigue Assessments of Ship Structures
IEC61400-3	Wind Turbines – Part 3: Design requirements for offshore wind turbines
IEC61400-22	Wind Turbines – Part 22: Conformity testing and certification of wind turbines
ISO6934	Steel for the prestressing of concrete
ISO6935	Steel for the reinforcement of concrete
ISO 12944	Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems
ISO/IEC 17020	General criteria for the operation of various types of bodies performing inspections
ISO/IEC 17025	General requirements for the competence of calibration and testing laboratories
ISO 19900:2002	Petroleum and natural gas industries – Offshore structures – General requirements for offshore structures
ISO 19901-2	Seismic design procedures and criteria
ISO 19902	Petroleum and Natural Gas Industries – Fixed Steel Offshore Structures
ISO 19906	Petroleum and Natural Gas Industries – Arctic offshore structures
ISO 22475-1	Geotechnical investigation and testing – Sampling methods and groundwater measurements – Part 1: Technical principles for execution
ISO 20340	Paints and varnishes – Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures
NACE RP0176	Corrosion Control of Steel Offshore Platforms Associated with Petroleum Production
NACE TPC	Publication No. 3. The role of bacteria in corrosion of oil field equipment
NORSOK	M-501 Surface preparation and protective coating
NORSOK	N-003 Actions and Action Effects
NORSOK	N-004 Design of Steel Structures
NORSOK	G-001 Marine Soil Investigations
NS 3473:2003	Prosjektering av betongkonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler.
NVN 11400-0	Wind turbines – Part 0: Criteria for type certification – Technical Criteria

Reference	*Title*
AISC	LRFD Manual of Steel Construction
API RP 2N	Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions
BS 7910	Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures
BSH 7004	Standard Baugrunderkundung. Mindestenanforderungen für Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen.
DIN 4131	Stählerne Antennentragwerke
DIN 4133	Schornsteine aus Stahl
EN10025-1	Hot rolled products of non-alloy structural steels
EN10025-2	Hot rolled products of structural steels. Technical delivery conditions for non-alloy structural steels
EN10025-3	Hot rolled products of structural steels. Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels
EN10025-4	Hot rolled products of structural steels. Technical delivery conditions for thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels
EN10025-6	Hot rolled products of structural steels. Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition
EN 10204	Metallic products – types of inspection documents
EN 10225	Weldable structural steels for fixed offshore structures – technical delivery conditions
EN 12495	Corrosion Protection of Fixed Offshore Structures
EN 13670-1	Execution of Concrete Structures – Part 1: Common rules
EN 1991-1-4	Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – wind actions
EN 1992-1-1	Eurocode 2: Design of Concrete Structures
EN 1993-1-1	Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings
EN 1993-1-6	Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-6: General Rules – Supplementary Rules for the Shell Structures
EN 1997-1	Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General rules
EN 1997-2	Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 2: Ground investigation and testing
EN 1090-1	Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components
ENV 1090-5	Execution of steel structures – Part 5: Supplementary rules for bridges
EN50308	Wind Turbines – Labour Safety
IEC61400-1	Wind Turbines – Part 1: Design Requirements

離岸風機常見基礎形式

基礎型式	重力式 (Gravity)	單樁式 (Monopile)	沉吸式 (Suction)	三桿式 (Tripod)	三樁式 (Tripile)	套筒式 (Jacket)	浮筏式 (Floating)
適用水深	0-10 m	5-35 m	20-30m	20-50 m	20-70 m	30-70 m	>50 m
土層承載條件	土層須具一定程度承載力，並進行整地	不適用於過於堅實之土層	需要土質鬆軟均勻之土層	縮短三支基樁個別長度，但仍須驗證	類似單樁條件，但無法沿用三支單樁設計條件	基樁斷面小，掏刷效應低，承受彎矩較小	不需要基樁，只需要少數錨定
典型重量	1000-3000 噸	600-700 噸	1000-1200 噸	900-1000 噸	1200-1600 噸	700-900 噸	700-1200 噸
國際案例*	頗多 (10%)	極多 (>75%)	少 (<1%)	中等 (4%)	少 (<2%)	中等 (<5%)	極少 (0.1%)
概念圖例							

*註：參考 EWEA (2015), The European offshore wind industry - key trends and statistics 2014, Report.統計資料。

中興社地工中心
SINOTECH GERC

設計方法之概念

- 強度設計法
  - 荷重放大
- 工作應力法
  - 承載力折減
- LRFD
  - 荷重放大及承載力折減
- 性能設計法
  - Partial safety factor method (DNV)

中興社地工中心
SINOTECH GERC

離岸風場基礎設計步驟

- 可行性研究
  - 初擬可能風機與基礎形式、海纜規劃、電網連結
- 概念設計
  - 提供開發商選擇風機及基礎形式之依據
- 初步設計(FEED)
  - 地調、海氣象調查
  - 設計準則Design Basis
  - 決定荷重組合表(LCT)
- 細部設計
  - 決定設計細節
- 施工設計
  - 依據船機設備底定施工步驟及方法
- 海上施工
  - 依據船機進行排程
- 運轉維護
  - 定期檢查
  - 不定期檢查

中興社地工中心
SINOTECH GERC

設計準則(Design Basis)

A：業主之需求及地質調查資料

B：風機廠商提供之載重組合及規格

C：基礎設計採用之規範與方法

考量項目：

- 確認設計目標(Design AIM)
  - sustain loads liable to occur during all temporary, operating and damaged conditions if required
  - ensure acceptable safety of structure during the design life of the structure
  - maintain acceptable safety for personnel and environment
  - have adequate durability against deterioration during the design life of the structure.
- 安全等級(Safety Class)
- 須考量之設計狀況(Design Condition)

安全等級

- Low safety class
  - low risk for personal injuries and pollution,
  - low risk for economical consequences,
  - negligible risk to human life.
- Normal safety class
  - some risk for personal injuries, pollution
  - minor societal losses
  - possibility of significant economic consequences.
- High safety class
  - large possibilities for personal injuries or fatalities for significant pollution
  - major societal losses,
  - very large economic consequences.
- Requirement: annual probability of failure of 10^{-4}. for Normal S.C.

設計極限狀態

Limit States

- ULS (Ultimate Limit States)
  - Maximum load carrying resistance
- FLS (Fatigue Limit States)
  - Failure due to the effect of cyclic loading
- ALS (Accidental Limit States)
  - Maximum load carrying capacity for accidental loads
  - Post accidental integrity for damaged structure
- SLS (Serviceability Limit States)
  - Tolerance criteria applicable to normal use

荷載種類

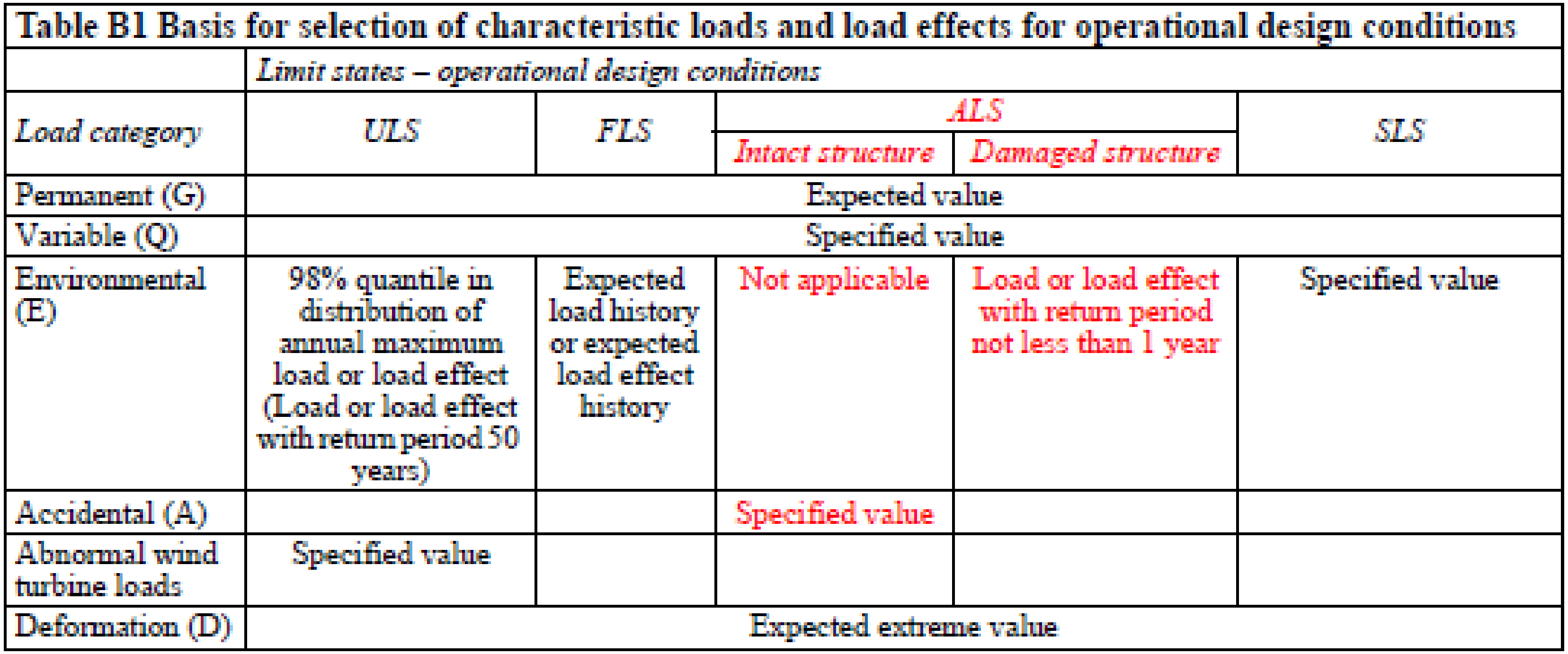


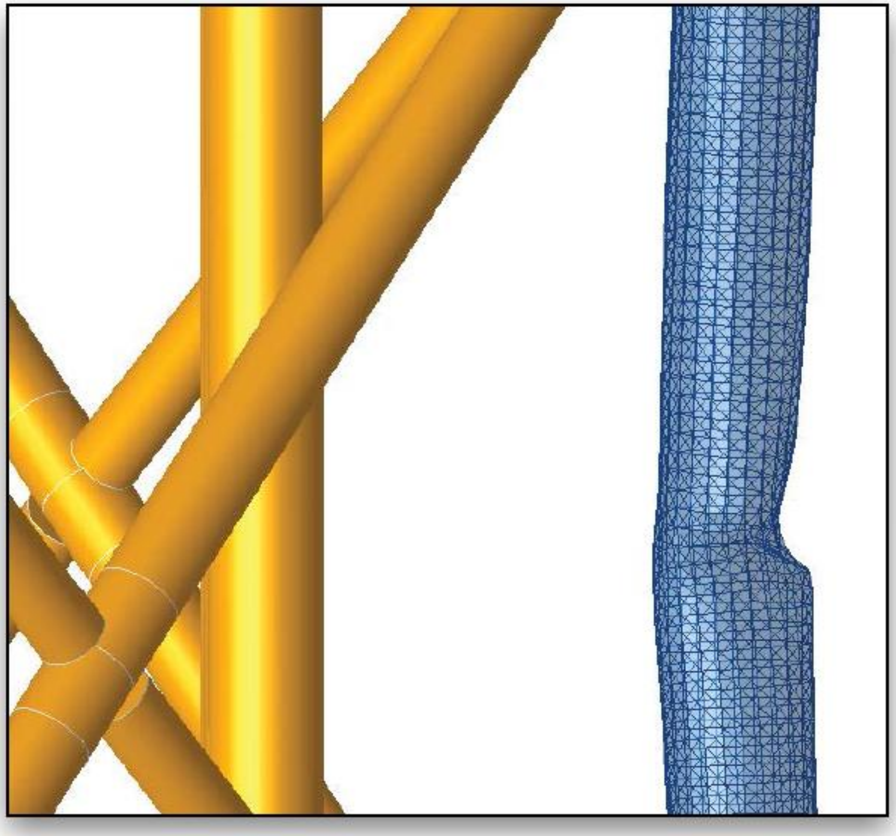
Table B1 Basis for selection of characteristic loads and load effects for operational design conditions

	Limit states – operational design conditions				
Load category	*ULS*	*FLS*	*ALS*		*SLS*
			Intact structure	*Damaged structure*	
Permanent (G)	Expected value				
Variable (Q)	Specified value				
Environmental (E)	98% quantile in distribution of annual maximum load or load effect (Load or load effect with return period 50 years)	Expected load history or expected load effect history	Not applicable	Load or load effect with return period not less than 1 year	Specified value
Accidental (A)			Specified value		
Abnormal wind turbine loads	Specified value				
Deformation (D)	Expected extreme value				

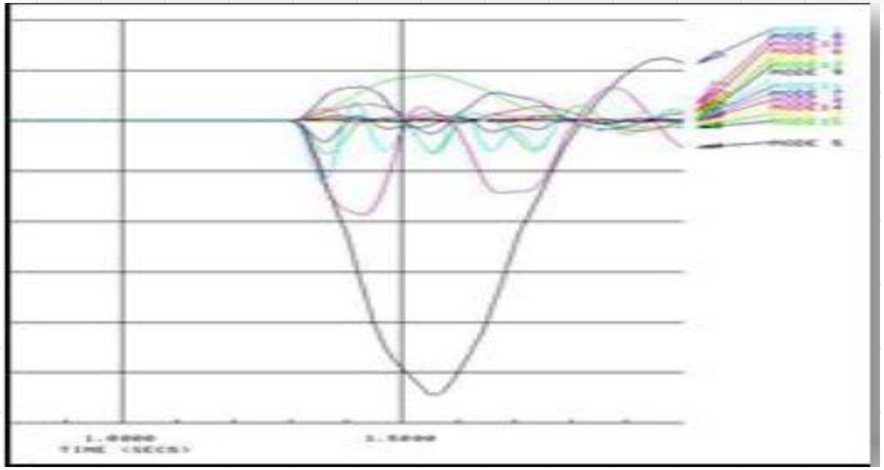
- **Permanent:**重量、靜水壓及反力等大小、方向均不變之靜態荷重
- **Variable:**人員、吊裝、船舶撞擊、安裝、材料設備、救生船等可變荷重
- **Environmental:**風力、波浪、地震、洋流、潮汐、生物、冰雪等
- **Accidental:**掉落、爆炸、火警、壓力變化、船或直升機撞擊
- **Deformation:**溫度、預應力、基礎沉陷等

中興社地工中心
SINOTECH GERC

Accidental Load Example



Ship impact analysis.



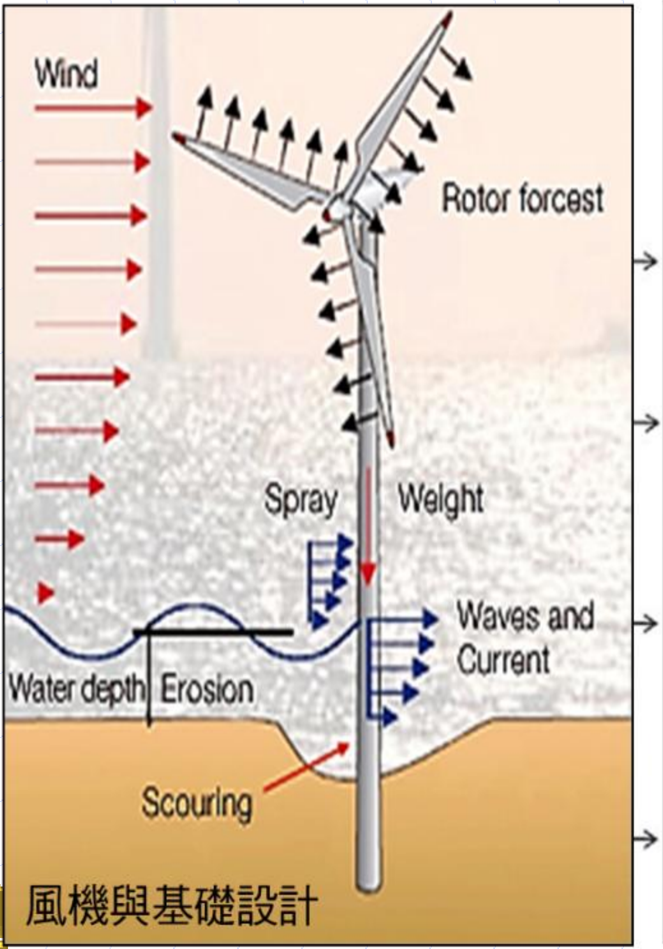
- Ship Impact
- Dropped Object
- Blast Analysis

環境荷載(Environmental Load)

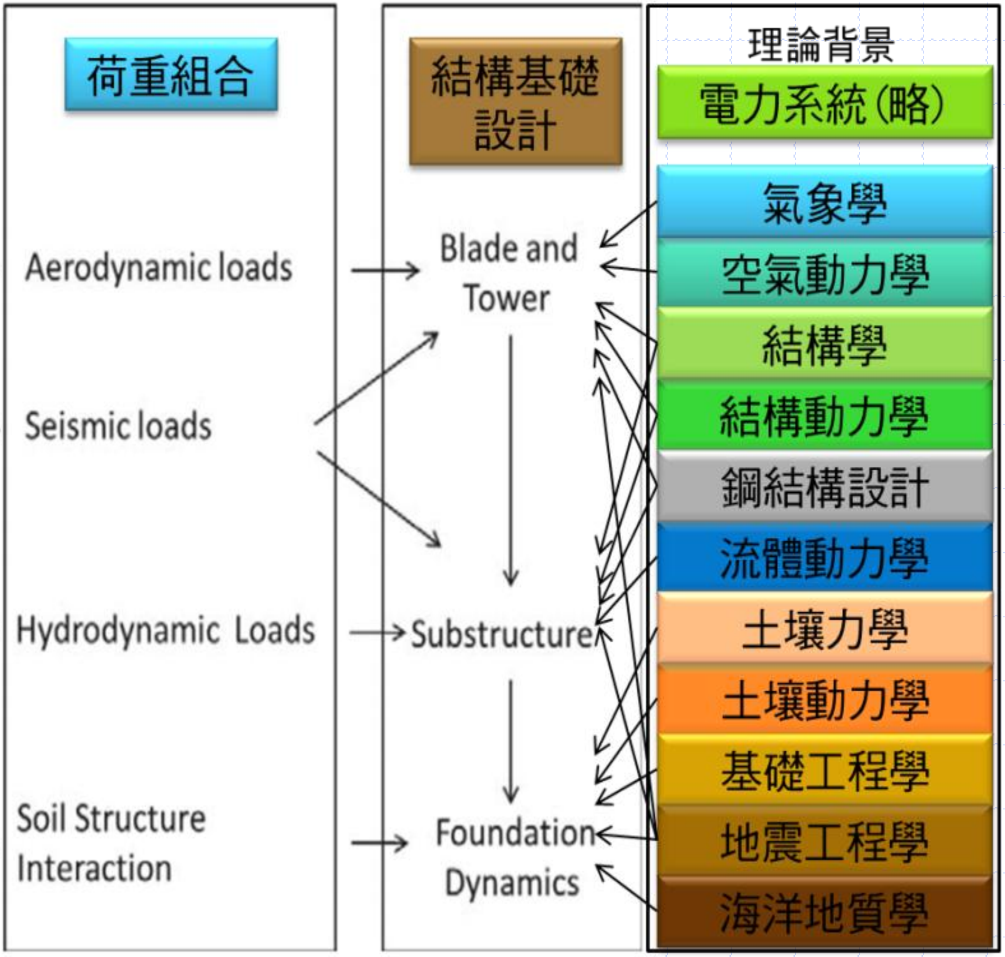
- Wind Turbine Load(風機廠商提供,E200)
- Hydrodynamic Load(水流經結構引致之暫態荷重,E300)
- 波浪力(Wave scatter diagram, Morison's Eq., E400)
- 冰雪荷重(E500)，台灣似不需考慮
- 潮汐力(E600)
- 地震力(E700)
- 海洋生物(E800)
- 沖蝕(scour,E900)及防沖蝕工法
- 施工、製作、運輸及安裝(E1000)

中興社地工中心
SINOTECH GERC

技術背景


Wind
Rotor forcest
Spray
Weight
Waves and Current
Water depth
Erosion
Scouring

風機與基礎設計



荷重組合

- Aerodynamic loads
- Seismic loads
- Hydrodynamic Loads
- Soil Structure Interaction

結構基礎設計

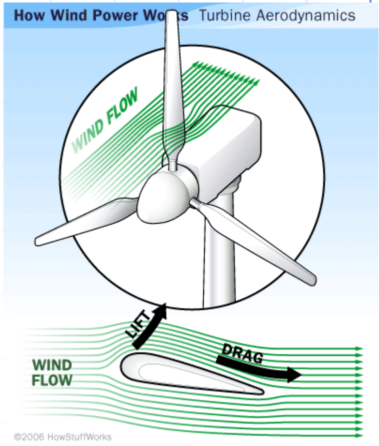
- Blade and Tower
- Substructure
- Foundation Dynamics

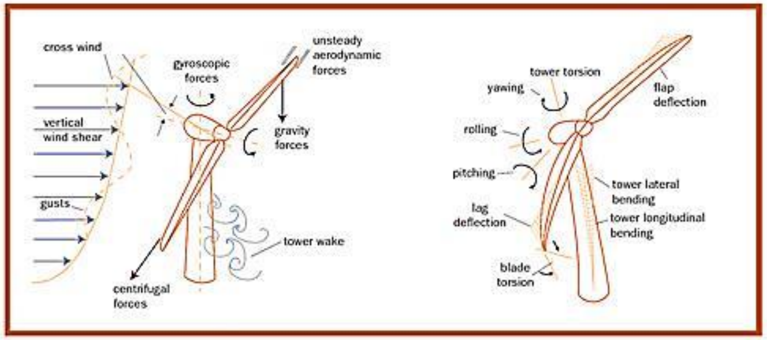
理論背景

- 電力系統(略)
- 氣象學
- 空氣動力學
- 結構學
- 結構動力學
- 鋼結構設計
- 流體動力學
- 土壤力學
- 土壤動力學
- 基礎工程學
- 地震工程學
- 海洋地質學

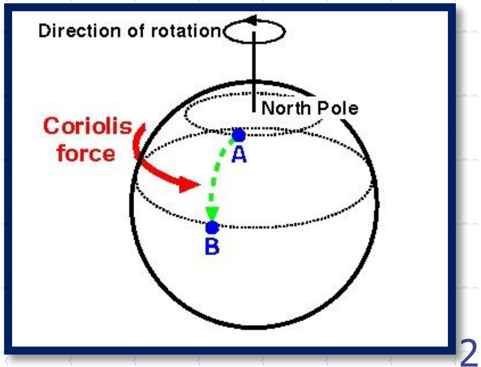
風力計算

- 風對於風機之作用力可分為直接荷重與間接荷重：
  - 直接荷重
    - 空氣動力對葉片所產生的風力荷重及空氣動力對塔柱與機艙所產生之拖曳力
  - 間接荷重
    - 因葉片旋轉造成作用於葉片之重力荷重產生依時變化
    - 旋轉引致之離心力與科氏力(Coriolis Force)
    - 轉向(Yawing)造成的陀螺力 (Gyroscopic forces)
    - 風機停機所產生的制動力 (Barking force)

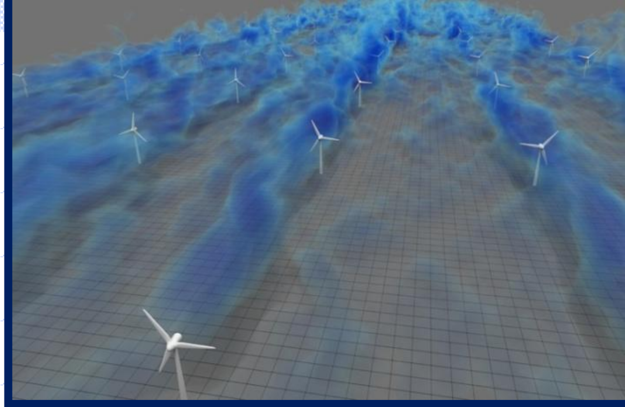

How Wind Power Works
Turbine Aerodynamics
WIND FLOW
LIFT
DRAG
WIND FLOW
©2006 HowStuffWorks


cross wind
gyroscopic forces
unsteady aerodynamic forces
vertical wind shear
gravity forces
gusts
tower wake
centrifugal forces
tower torsion
yawing
flap deflection
rolling
pitching
tower lateral bending
lag deflection
tower longitudinal bending
blade torsion

Source: Kießling, F. *Modellierung des aeroelastischen Gesamtsystems einer Windturbine mit Hilfe symbolischer Programmierung.* DFVLR-Report, DFVLR-FB 84-10, 1984.


Direction of rotation
North Pole
Coriolis force
A
B

風荷重

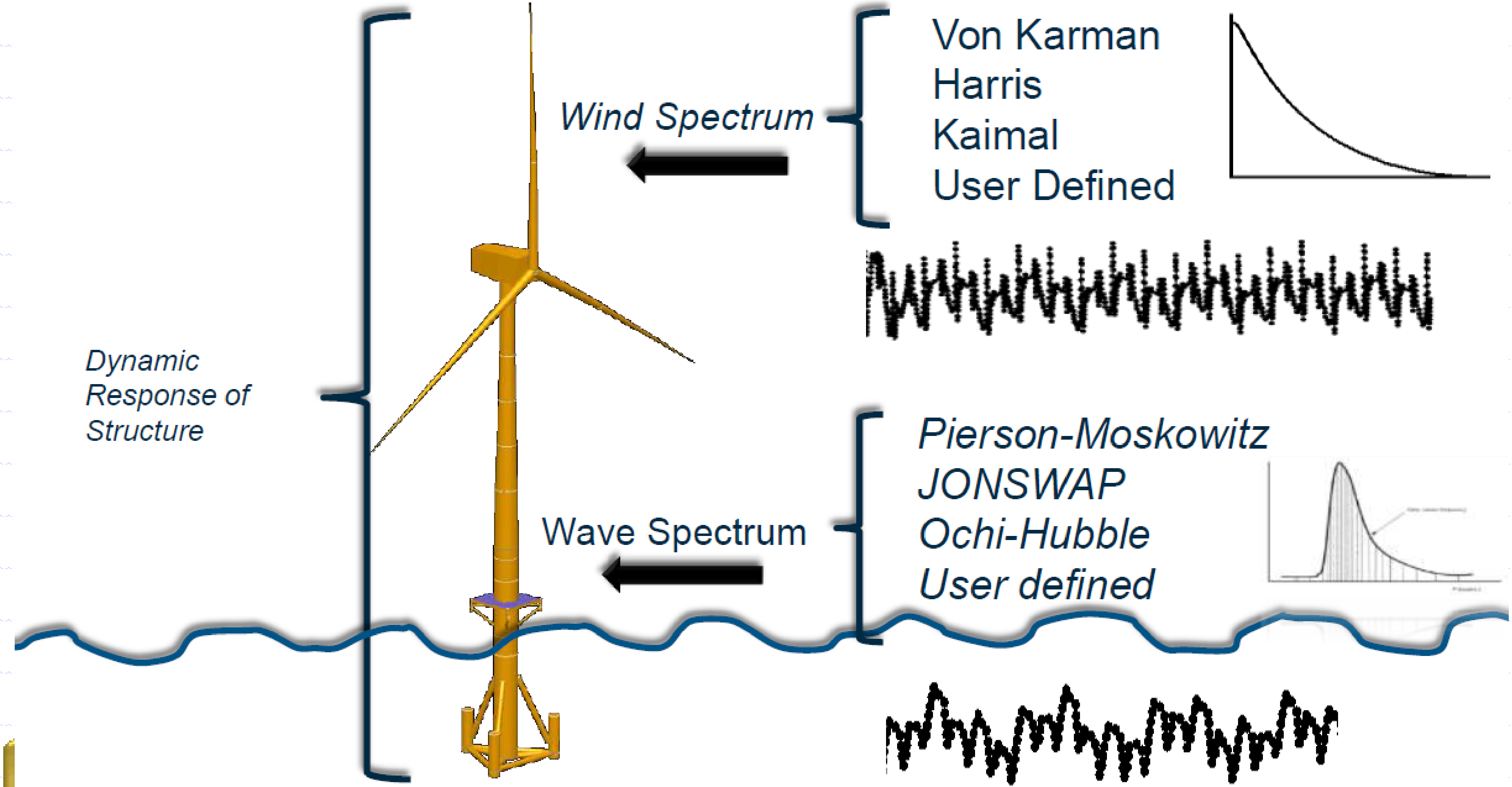


- 為考量風力之間接荷重影響，風機設計時必須額外考量的條件包括：
  - 塔影效應(Tower shadow)產生的渦流影響
  - 尾流效應(Wake effect)對鄰近風機產生的風能折減(IEC61400-1, Annex D.)
  - 轉向誤差導致之風輪軸線與風向偏差
  - 風機運動與風場的交互作用
  - 陣風、紊流(共伴風和紊流頻譜為決定塔柱彎矩和其他載重的重要因子)
  - 由失速引發拍打和邊緣震動的不穩定性
  - 阻尼(結構阻尼、土壤阻尼、水力阻尼、空氣動力阻尼)
  - 風機的控制器

波浪荷重

- 波浪荷重的大小除與水深有關外，亦與風機結構的尺寸、形狀與基礎型式有密切的關係。
- 若為重力式基礎，則其龐大體積易干擾波浪運動進而產生繞射行為，因此需進行進一步的繞射分析以評估局部與廣域的波浪荷重；
- 至於最常使用的細長型原件基礎型式(例如單樁基礎、三樁基礎及桁架基礎)，實務上常以Morison’s equation進行波浪荷重評估，透過慣性力與拖曳力計算波浪荷重大小。
- 對於漂浮型結構，則應考量放射狀波力。

結構動力分析



Dynamic Response of Structure

Wind Spectrum

- Von Karman
- Harris
- Kaimal
- User Defined

Wave Spectrum

- *Pierson-Moskowitz*
- *JONSWAP*
- *Ochi-Hubble*
- *User defined*

中興社地工中心
SINOTECH GERC

樁基礎之反應模擬

- Winkler Model：將土壤視為均質均向非線性彈性材料，在Winkler Model下，土壤被簡化成許多獨立的彈簧，彈簧常數k，即為土壤反力係數。

$$EI\frac{d^4y}{dx^4}+k_hy=0$$

  - p-y曲線：土壤反力與樁側向位移之關係曲線
  - t-z曲線：樁身摩擦應力與位移之關係曲線
  - q-z曲線：樁底荷重與位移之關係曲線
- Jacket 主要以垂直力控制(耐壓及拉拔)
- Monopile主要以側向力控制

中興社地工中心
SINOTECH GERC

p-y 曲線

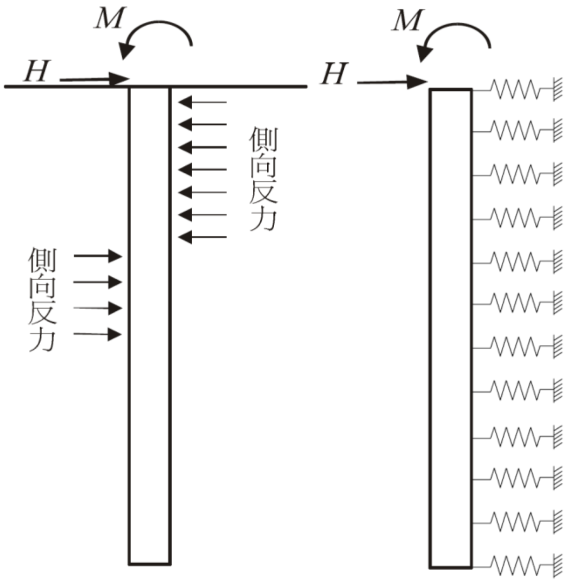
資料來源:邱俊翔_椿基礎設計實務

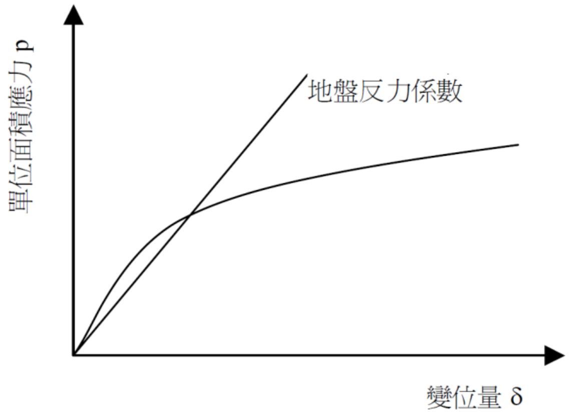
- 土壤反力：
  - 單位面積土壤反力p可表為

    $$p = -k_h y$$

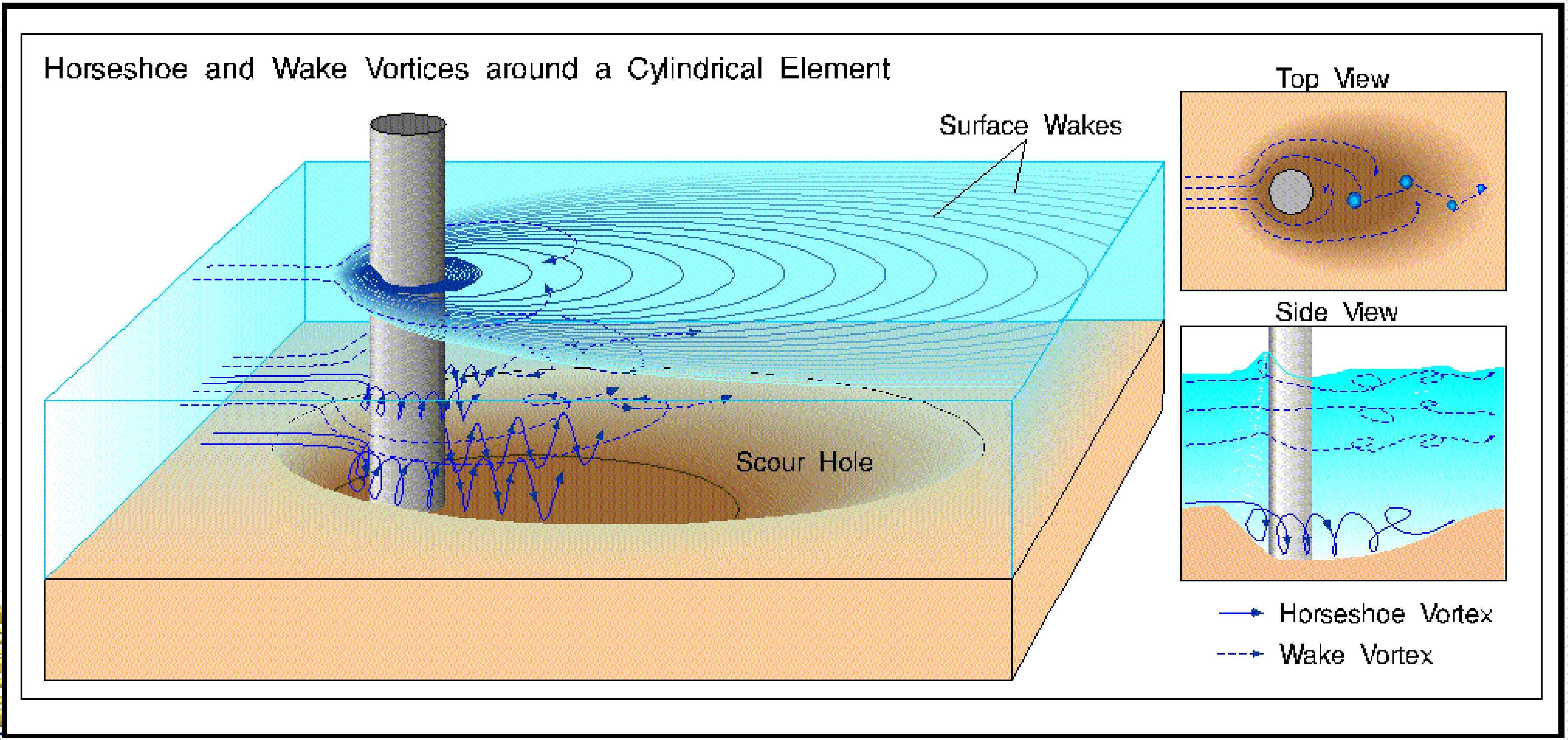
    其中k_h為地盤之水平反力係數(tf/m^3)，y為樁身施加於土壤之側向位移
  - 一般通稱為土壤彈簧模式

    k_h可視為相互獨立之單位面積彈簧的勁度
- 線彈性土壤彈簧
  - Winkler Model
- 非線性土壤彈簧
  - p~y Model





Scouring Protection

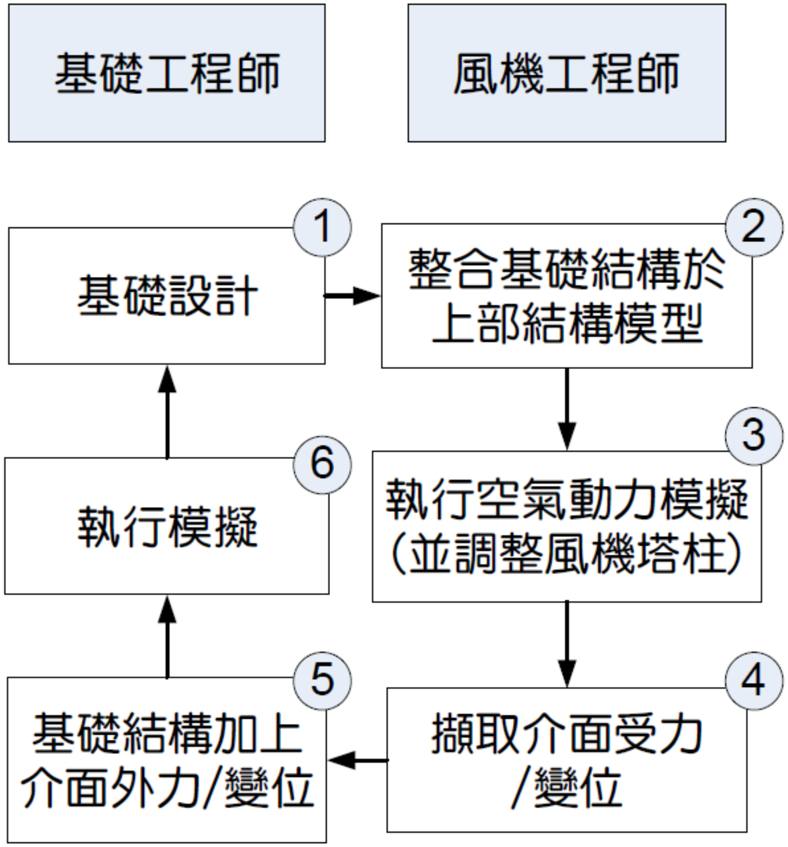


Horseshoe and Wake Vortices around a Cylindrical Element

Surface Wakes
Scour Hole
Top View
Side View
Horseshoe Vortex
Wake Vortex

離岸風機基礎設計之挑戰

- 設計準則研擬(Design Basis)
- 地質及海氣象資料蒐集及調查
- 結構荷載評估
- 材料與施工方法
- 數值分析與設計循環
- 介面與結構節點
- 沖蝕防護
- 防蝕與塗裝
- 運轉與維護(O&M)



基礎工程師

風機工程師

① 基礎設計

② 整合基礎結構於上部結構模型

③ 執行空氣動力模擬(並調整風機塔柱)

④ 擷取介面受力/變位

⑤ 基礎結構加上介面外力/變位

⑥ 執行模擬

Load, Load Effect and Design Resistance

- **Partial Safety Factor**

$$\sum\left(LoadFactor\times Load\right)\ \overset{Combination}{\underset{Analysis}{\Rightarrow}}\ LoadEffect\le\frac{CharacteristicResistance}{ResistanceFactor}$$

- **Load Factor=1.0 for FLS,ALS,SLS**
- **Load Factor for ULS**

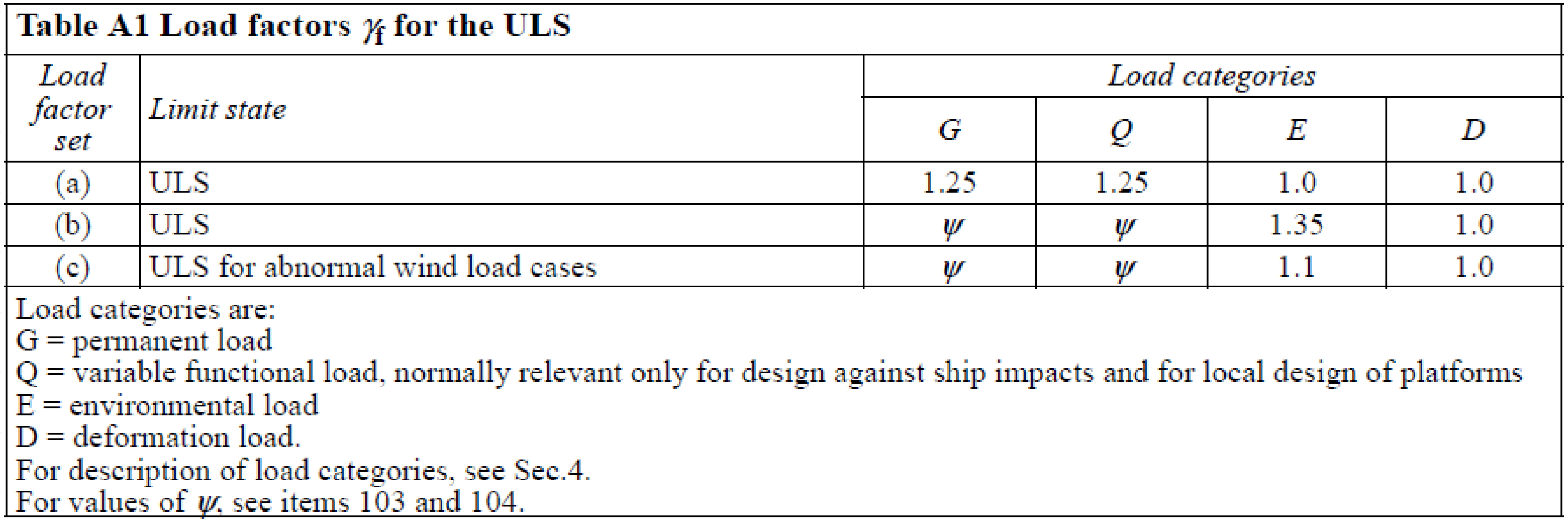


Table A1 Load factors γ_f for the ULS

Load factor set	*Limit state*	*Load categories* G	Q	E	D
(a)	ULS	1.25	1.25	1.0	1.0
(b)	ULS	ψ	ψ	1.35	1.0
(c)	ULS for abnormal wind load cases	ψ	ψ	1.1	1.0

Load categories are:
G = permanent load
Q = variable functional load, normally relevant only for design against ship impacts and for local design of platforms
E = environmental load
D = deformation load.
For description of load categories, see Sec.4.
For values of ψ, see items 103 and 104.

Soil Investigation

- Geological Studies(地質資料研析)
  - Central Geological Survey, MOEA database
- Geophysical survey(地球物理調查)
  - Underwater Seismic Reflection Method
    - Sub bottom strata
  - Side Scan Sonar system
    - Water depth and sea-bed DEM
  - Geomagnetic Measurement
    - Foreign objects
- Geotechnical soil investigation(大地工程調查)
  - Marine CPT and Coring
  - Borehole Drilling

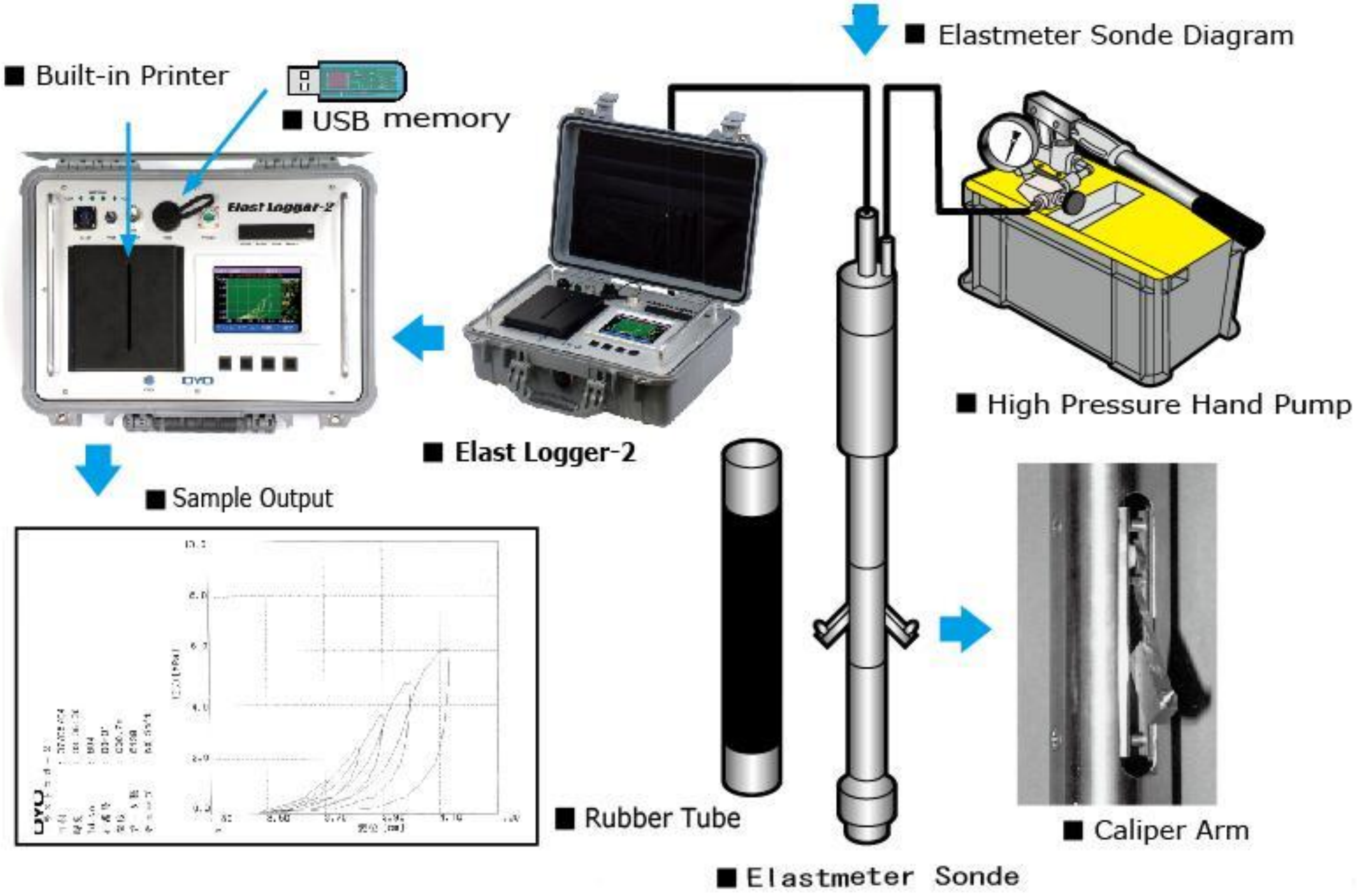
基樁荷重反應之評估

- 由試驗室力學試驗資料評估
  - 取樣及試驗方法、試驗條件選擇
  - 試體數量、代表性
- 由樁載重試驗推估
  - 最具代表性，但費用高昂
  - 難以在海上進行
  - 淺層反應完整，但作用力較難傳遞到深層
- 現地孔內變形試驗
  - 較佳選擇

中興社地工中心
SINOTECH GERC

Pressuremeter Test

- Objective: Obtain p-y curve parameters for Pile Design



■ Built-in Printer

■ USB memory

■ Elastmeter Sonde Diagram

■ Elast Logger-2

■ High Pressure Hand Pump

■ Sample Output

■ Rubber Tube

■ Caliper Arm

■ Elastmeter Sonde

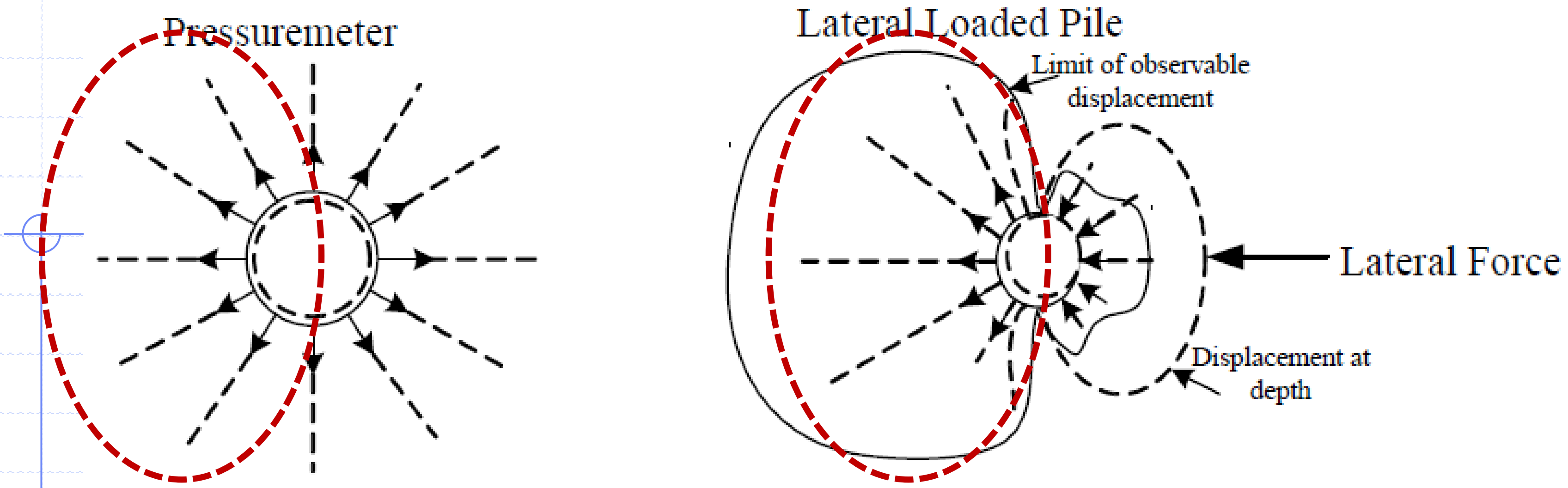

Pressuremeter
Lateral Loaded Pile
Limit of observable displacement
Lateral Force
Displacement at depth

Figure 2.12 Displacements in soil radially expanding PMT and laterally loaded pile

PMT 徑向膨脹與樁側向推擠變形相似
(Robertson et al, 1986)

The advantages of using the PMT to obtain p–y curves can be summarized as follows:

1) The PMT p–y curve is obtained point-by-point in-situ.

2) The PMT test can be performed in almost all soils and soft rock.

3) The method of installation of the driven pile is similar to the method of installation of the PMT.

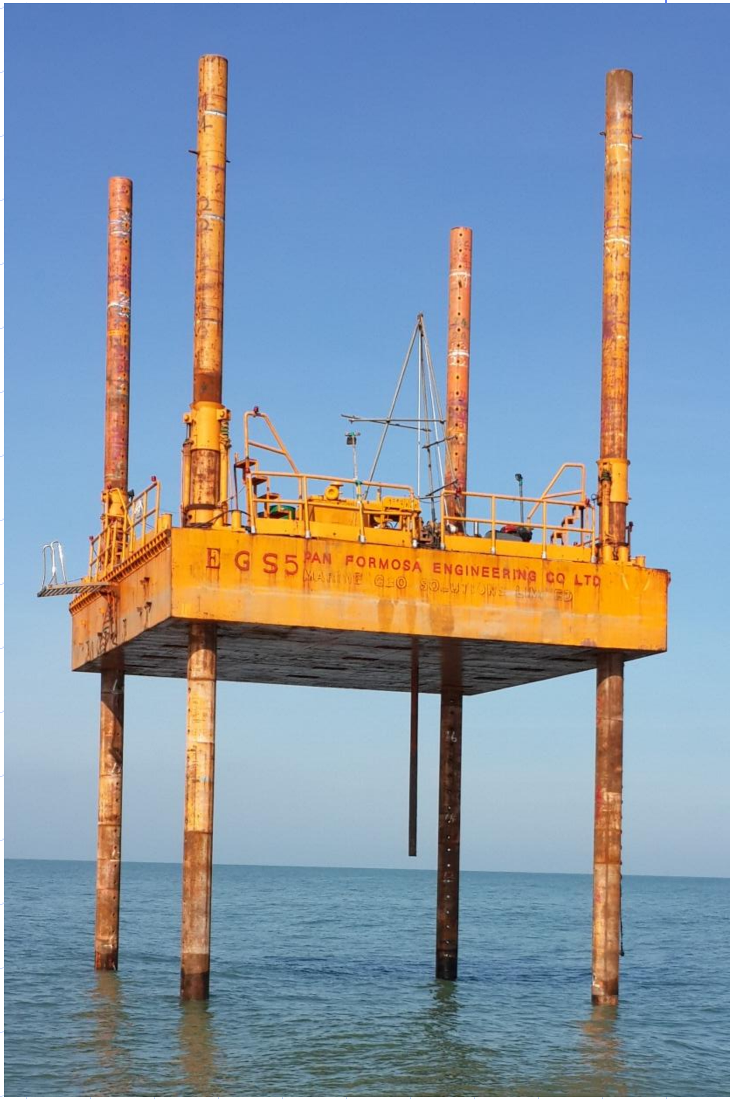
4) The type of lateral loading can be simulated during the PMT test, including long-term sustained loads, cyclic loads and the rate of loading effect.

海洋風場施工經驗分享

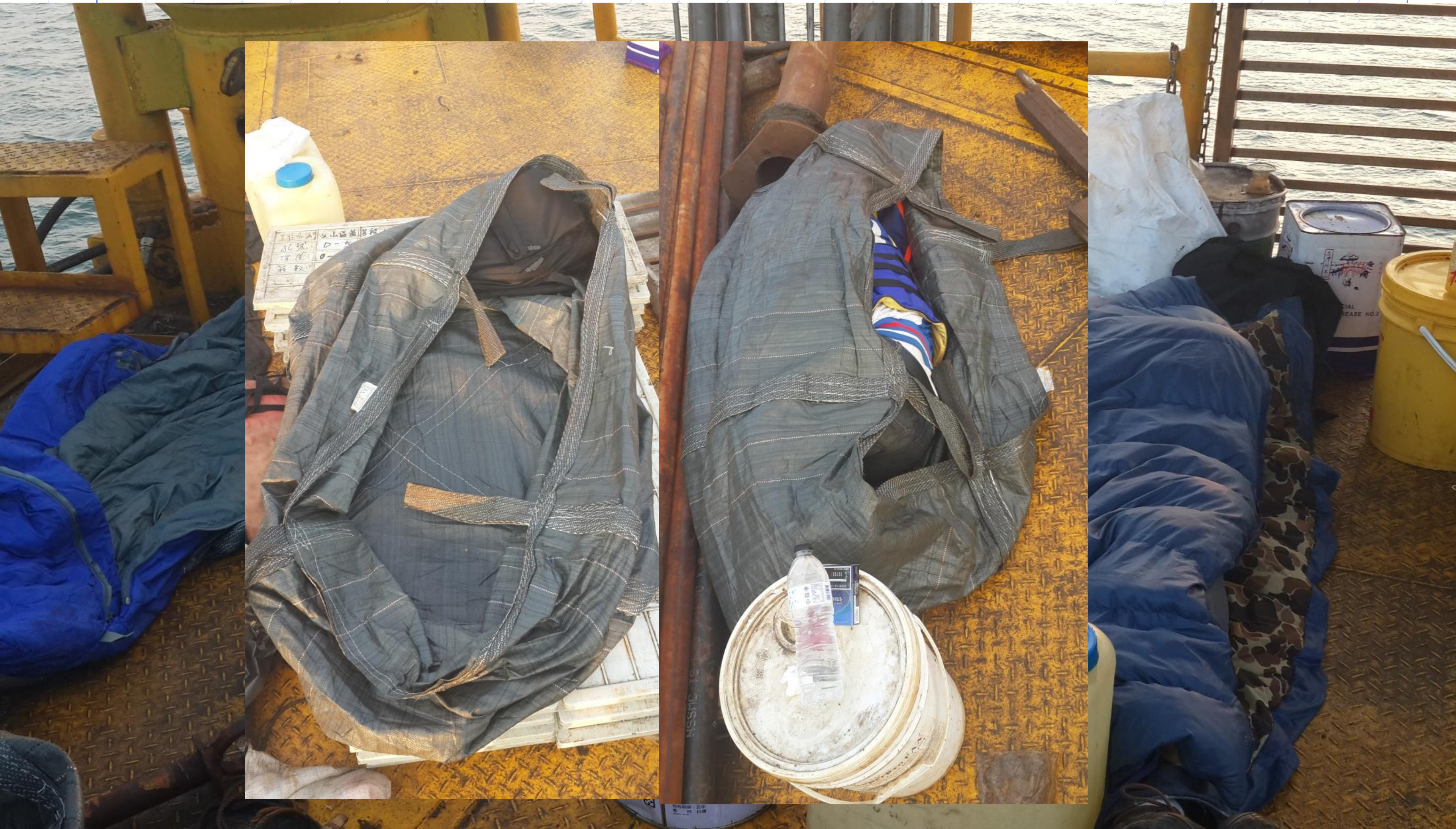
中年PI的海上漂流

- 千萬級裝潢總統套房
- 遠離城市塵囂
- 超大床鋪、廚房、衛浴
- 專用巨大游泳池
- 專屬管家送餐到房

- 時間：2014年10/19~10/22
- 地點：苗栗外海2.5公里處


E G S5
PAN FORMOSA ENGINEERING CO LTD
MARINE GEO SOLUTIONS LIMITED

超豪華臥舖



海上鑽探作業

海上鑽探船

- 中興社於2016年租用印尼鑽探船進行海上鑽探
- 國人自有之鑽探船已於2017年5月17日抵台

中興社地工中心
SINOTECH GERC

結論

難

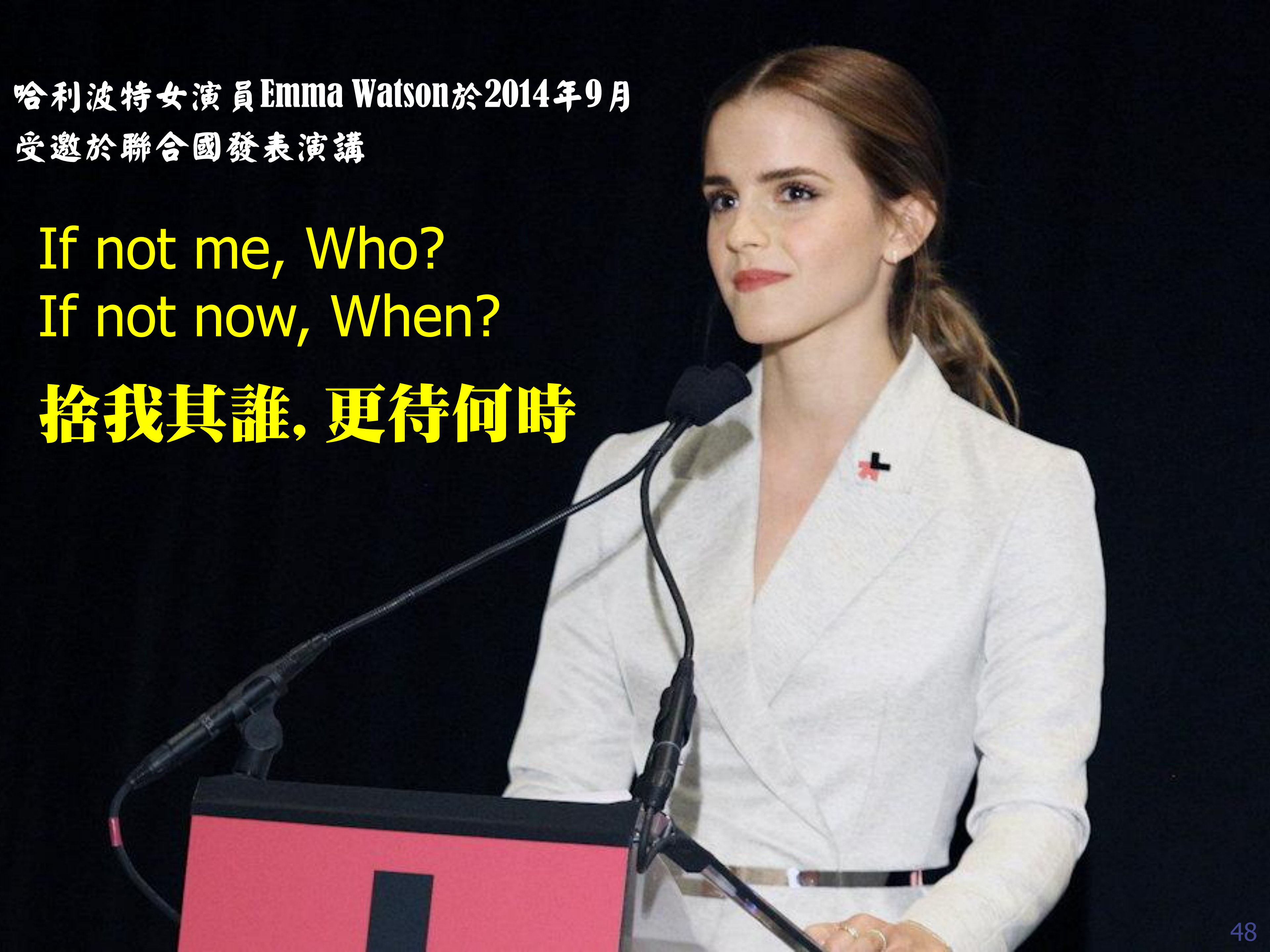
- 離岸風力發電門檻非常非常非常高
  - 技術、資金、環境衝擊
  - 施工機具(Size Does Metter)
  - 漁民協調
  - ……
- 隨著公共工程逐漸減少，漸以私人投資為主
  - 經濟性為主要考量因素
  - 對工程師的要求提高
    - Remember? Factor=1.25/1.35，僅有約3成容錯空間

工程師們所應具備之能力

- 以開放態度接受新技術
  - 嫻熟數值分析軟體
  - 非線性、反覆荷載下的土壤及結構體反應模擬及分析
- 對理論、國際規範、合約、實作之深切認知
  - 台灣市場有限，應以國際合作為首要方向
  - 國際工程師聯合會之合約範本(FIDIC)
- 落實工作安全 (HSE) 概念
  - 安全護具之配戴與使用
  - 安全訓練課程
- 具備英語溝通協調能力
  - 業主與承商站在平等地位，諸事均可溝通
- 引進國際現有技術為首要手段，本土化應為輔助國內產業發展之次要手段

SEAL OF THE PRESIDENT OF THE UNITED STATES

We choose to go to the moon
not because they are easy,
but because they are **hard**.



哈利波特女演員Emma Watson於2014年9月
受邀於聯合國發表演講

If not me, Who?
If not now, When?

捨我其誰, 更待何時

上緯示範風機施工紀錄

取自yutube

中興社地工中心
SINOTECH GERC