



離岸風電施工碼頭及後線 場地鋪面設計

從台中港#2 碼頭與後線儲區設計
所遇到實際情形的審思

簡報內容

1. 前言
2. 風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素
3. 臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計
4. #2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思
5. 結論



中國土木水利工程學會

前言



前言 台中港風電碼頭近況

目前台中港內的風電碼頭:

#2碼頭: 250m, 水深-14.0m, 碼頭超載 $3\text{ton}/\text{m}^2$, 碼頭鋪面: AC鋪面。

#5A5B: 406m, 水深-11.0m, 碼頭超載 $50\text{ton}/\text{m}^2$, 碼頭鋪面: 碎石級配鋪面。

#36碼頭: 340m, 水深-16.0m, 碼頭超載 $40\text{ton}/\text{m}^2$, 碼頭鋪面: 碎石級配鋪面。

#106碼頭: 450m, 水深-16.0m, 碼頭超載 $40\text{ton}/\text{m}^2$, 碼頭鋪面: 碎石級配鋪面。

#43碼頭: 利用100m範圍的重件碼頭($10\text{ton}/\text{m}^2$); 作為下部結構運載碼頭

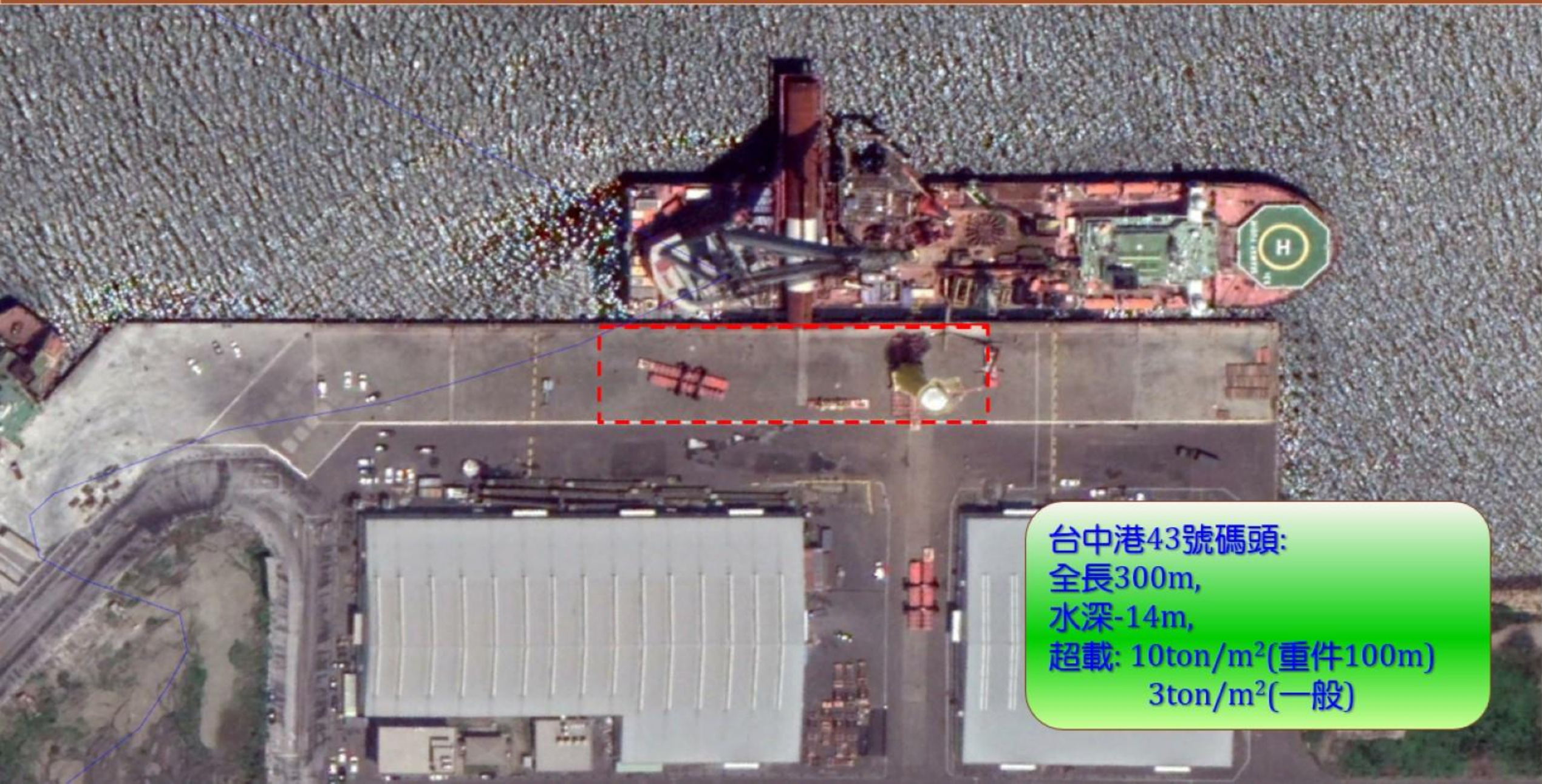


前言 台中港風電碼頭近況



台中港內#2碼頭現況:
碼頭結構: 沉箱式(40年)921時曾損壞修復。
碼頭長:250m,
水深: -14.0m,
碼頭超載3ton/m², 碼頭
鋪面:AC鋪面
碼頭補強
依使用需求增設RC基礎
供風機桶身安裝固定。
設置1000噸大型吊車作
業區。

前言 台中港風電碼頭近況



台中港43號碼頭:
全長300m,
水深-14m,
超載: 10ton/m²(重件100m)
3ton/m²(一般)

前言 台中港風電碼頭近況



前言 台中港風電碼頭近況



前言 台中港風電碼頭近況



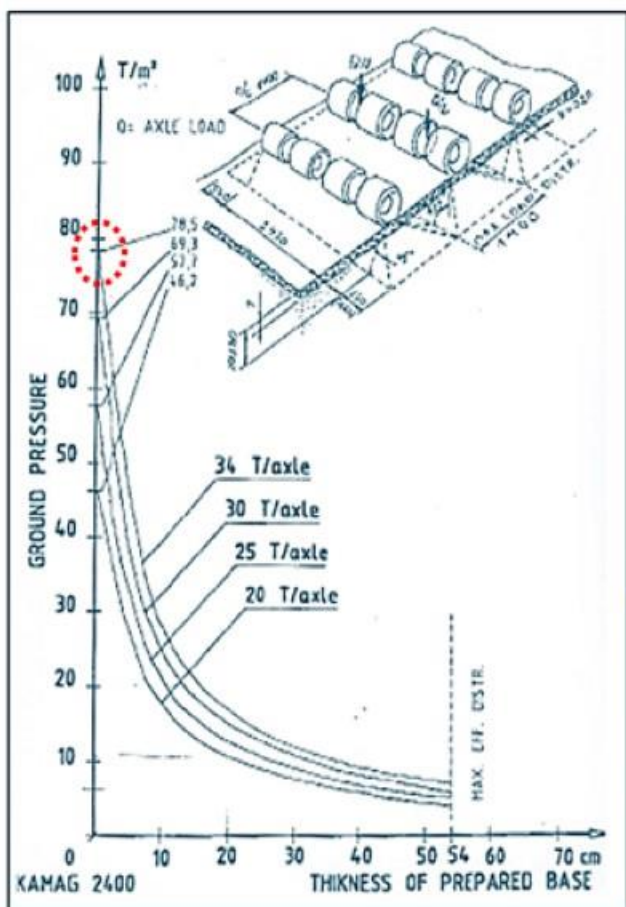


風電組裝碼頭鋪面 設計考慮因素



風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

用於組裝碼頭的主要設備



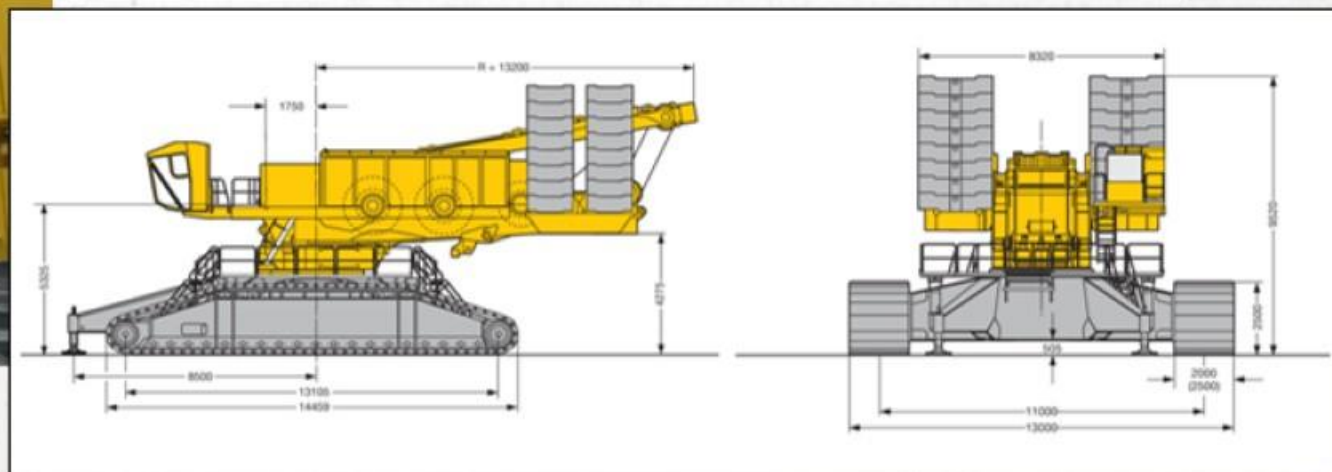
■ SPMT車:

輪胎接地壓: 46~79tonne/m²,
軸重 24~37 tonne, 等值投影面
積壓 12~15tonne/m².

風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

用於組裝碼頭的主要設備

- 超大型Heavy duty crane :
最大履帶接地壓可達 68 tonne/m^2 。



風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

■塔身臨岸邊組裝需求：

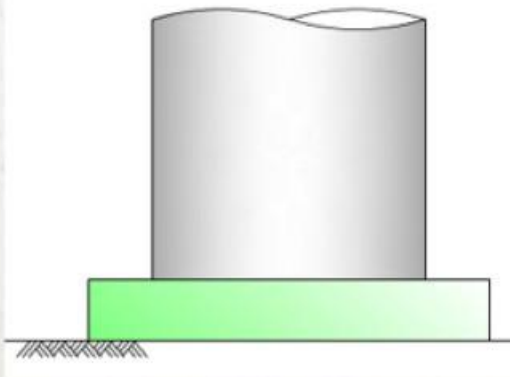
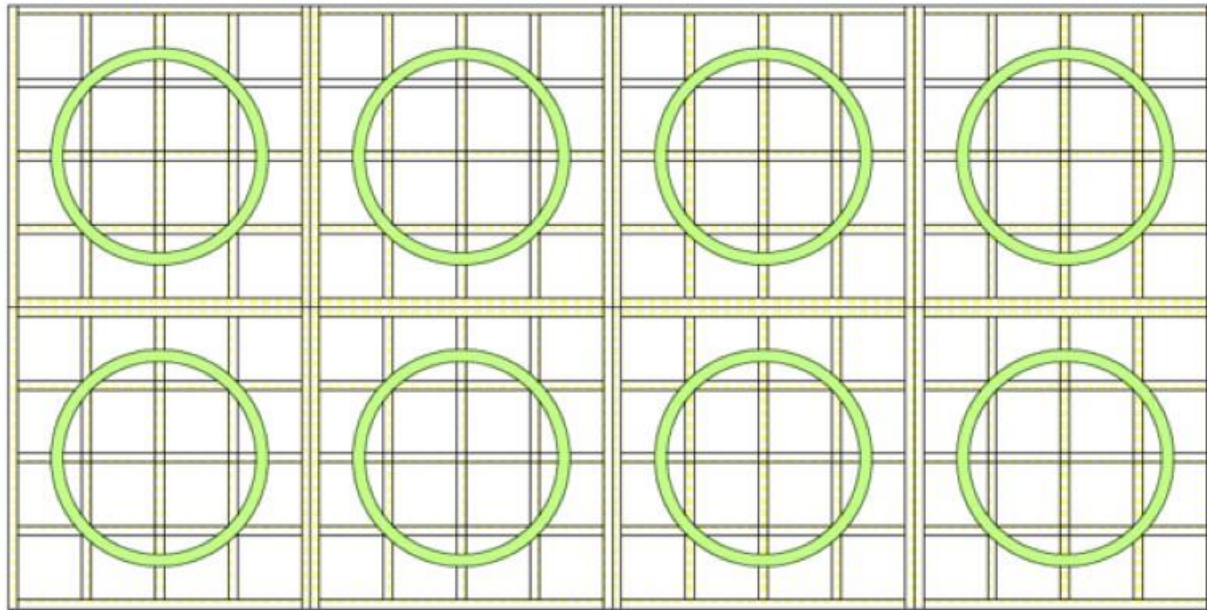
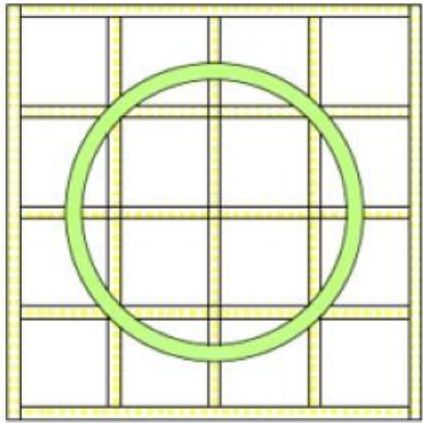
風機塔筒需先在碼頭上安裝，再吊載於JACKET船運送到外海工址，以節省外海作業時間。

碼頭安裝過程，需考量颱風及地震力作用於塔身時的結構穩定，塔身需固定於碼頭。固定方式以可重複使用的重力基礎最為普遍。

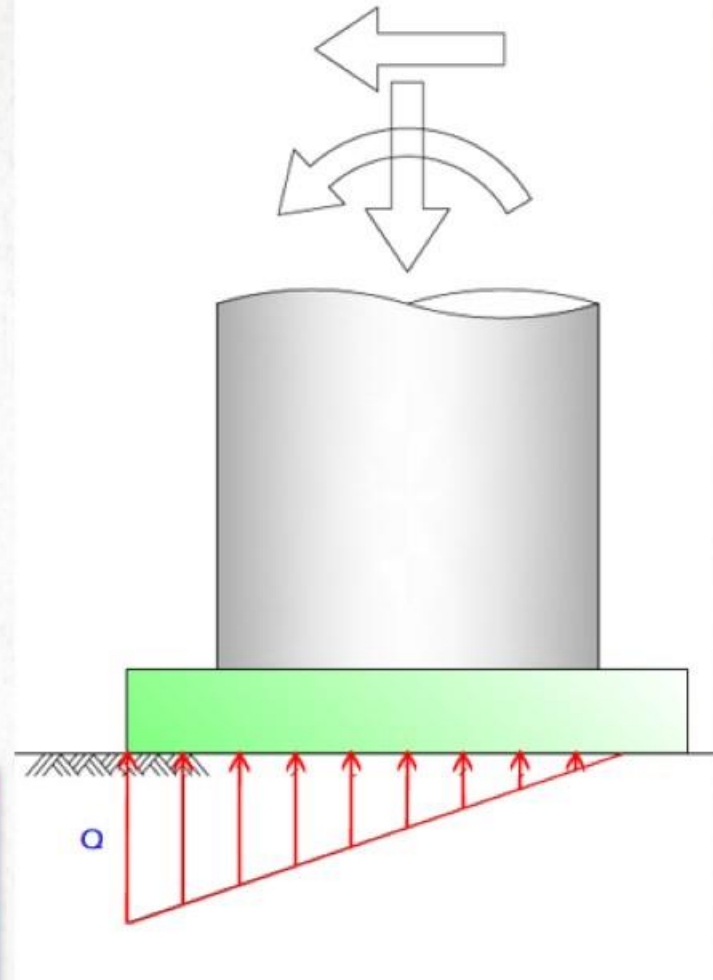


風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

塔筒固定方式概念說明



基座為可組裝鋼構架+壓重物
參考尺寸為：10mX10mX1.5m
可組合成2x2, 2x3或2x4聯合基座。
利用基座重量提供塔架穩定力，反力 θ 通常可控制在40ton/m²以下。



風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

歐洲風電碼頭以碎石級配鋪面為主

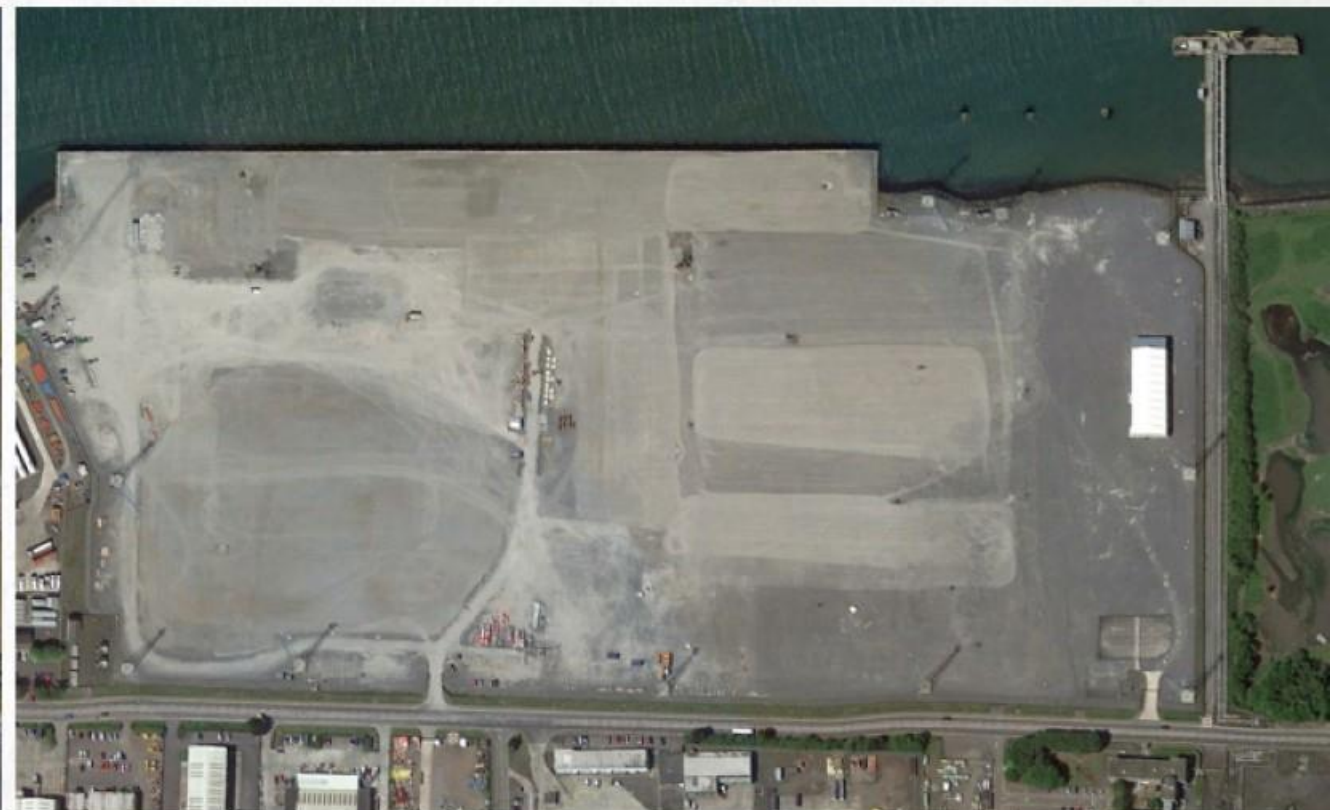
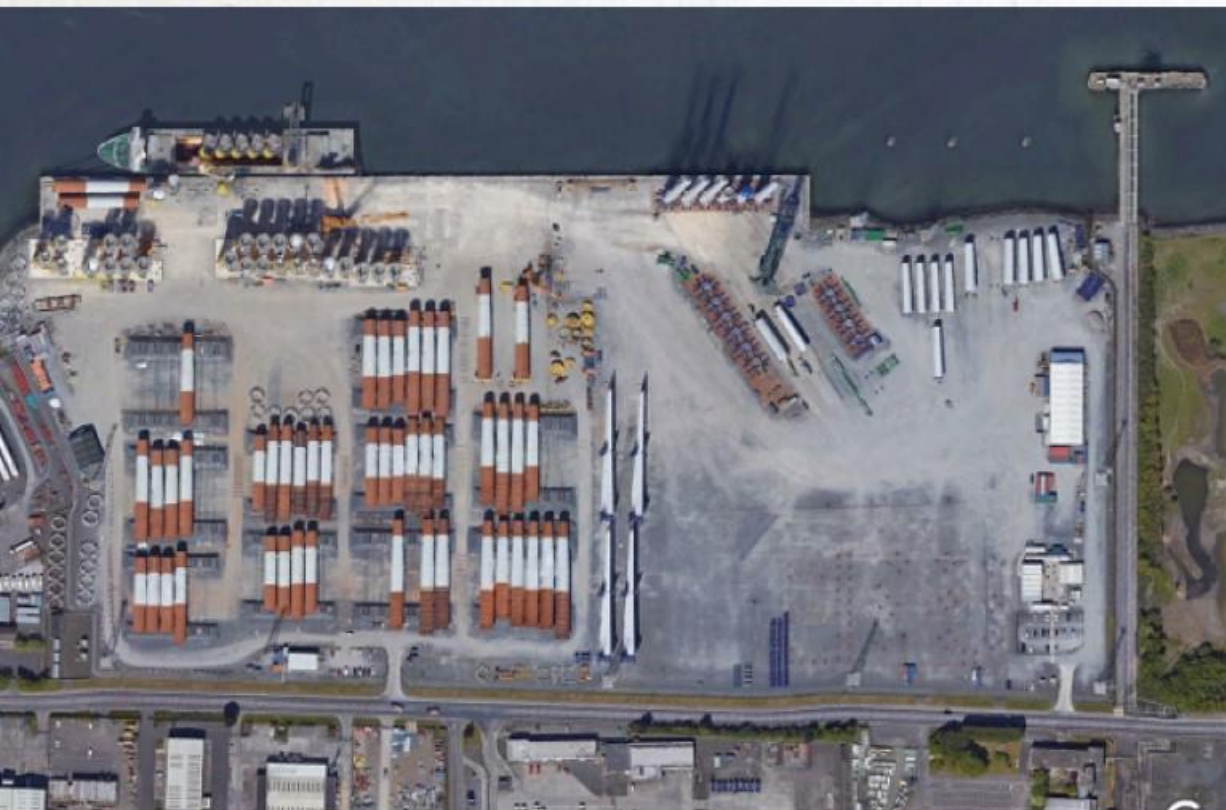
■ 儲區無明顯排水溝、人孔、手孔等。



丹麥 埃斯比約港 Port of Esbjerg

風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

歐洲風電碼頭以碎石級配鋪面為主



英國 貝爾法斯特港 Belfast Port

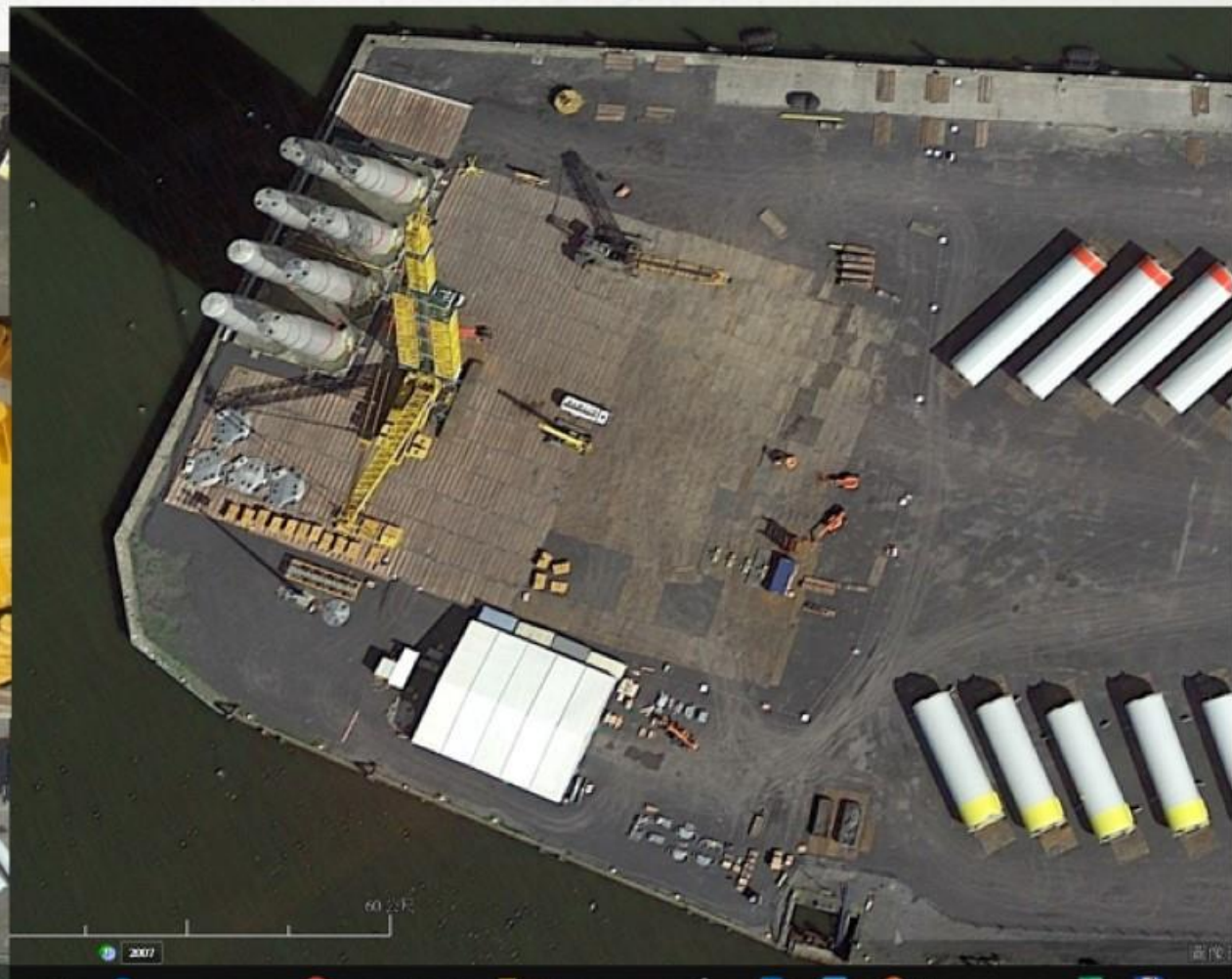
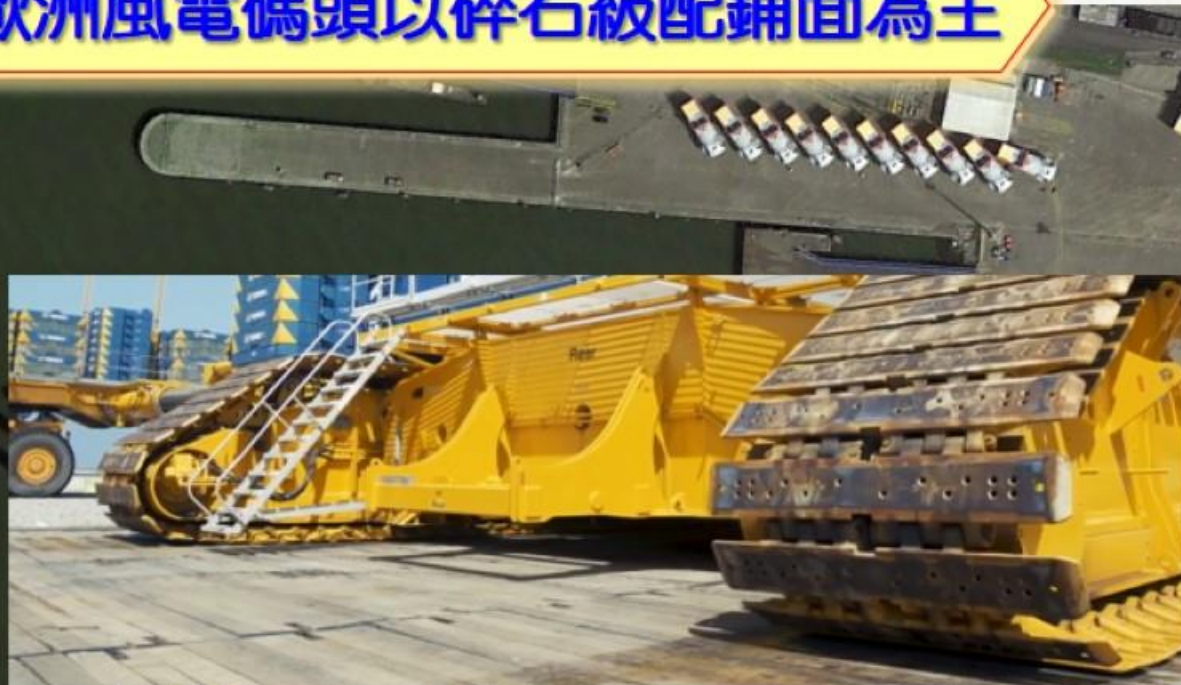
風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

歐洲風電碼頭以碎石級配鋪面為主



風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

歐洲風電碼頭以碎石級配鋪面為主



比利時 奧斯天德港Oostende Port

風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

歐洲風電碼頭以碎石級配鋪面為主



荷蘭 Rotterdam Port

風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

最佳的設計考量：

1. 鋪面需滿足多樣性的變化需求：可鋪鋼板、木板，可隨時安置設備基礎座（包含能直立儲存JACKET基礎）。
2. 鋪面整理需容易且維護費低
3. 鋪面應儘量減少地下物配置，如水溝、人孔、手孔等。
4. 鋪面排水需順暢
5. 鋪面建議承載力：儲存場： $15\text{ton}/\text{m}^2$ （均佈），碼頭 $40\text{ton}/\text{m}^2$

建議鋪面材質：

1. 碎石級配鋪面， 2 AC鋪面， 3 RC鋪面



風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

點荷載與一般均均載的不同：

1. 點荷重：輪胎接地壓、設備支撐座基礎接地壓分析。



SPMT單一輪胎接地壓可達78t/m²



在颱風停況下的NACELLE基座的
最大反力可達
87t/m²。但只看
投影面積載重均不
會超過5t/m²。

風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

2. 均佈荷重：全面積均勻擺設的設計荷載，目的在計算碼頭主要結構(如基樁、板樁)的最大受力情形，同時用來檢討結構體滑動等大地穩定分析。

基本上，此情形不常在現實看到，可以以物件投影面及來計算涵蓋面積的單位載重。考慮投影面積是因為該物體的投影範圍內基本上不會有其他重物出現。



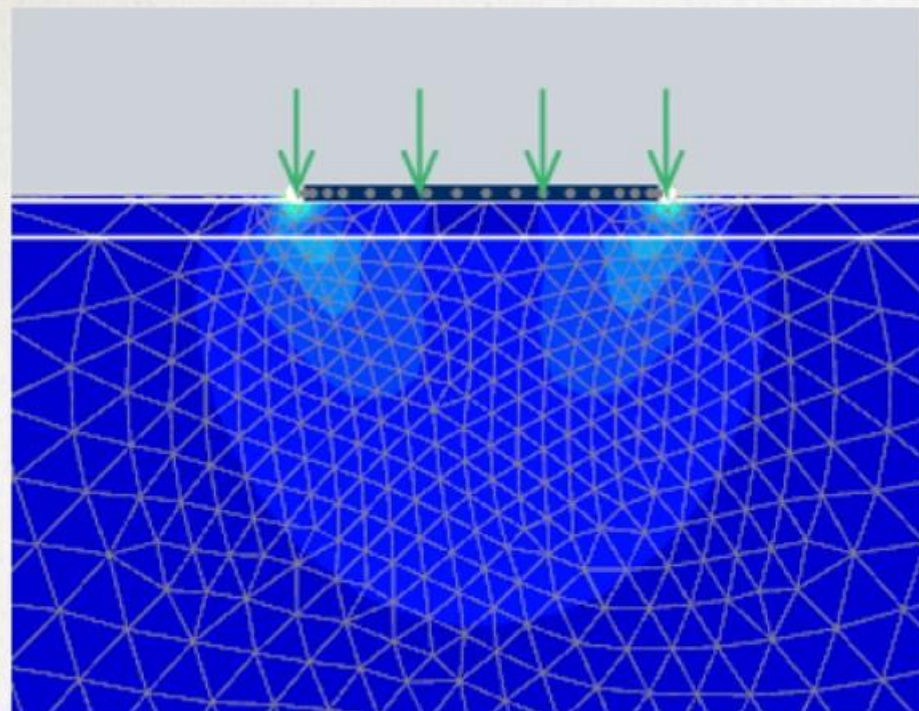
風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素

右圖為進口鋼板(10m×2m×0.2m)堆疊於港口露置場，高度超過2m，就前述投影面積下的均佈載重以超過15.7ton/m²，但就最底下作用於AC面層的接觸壓達35.3t/m²。

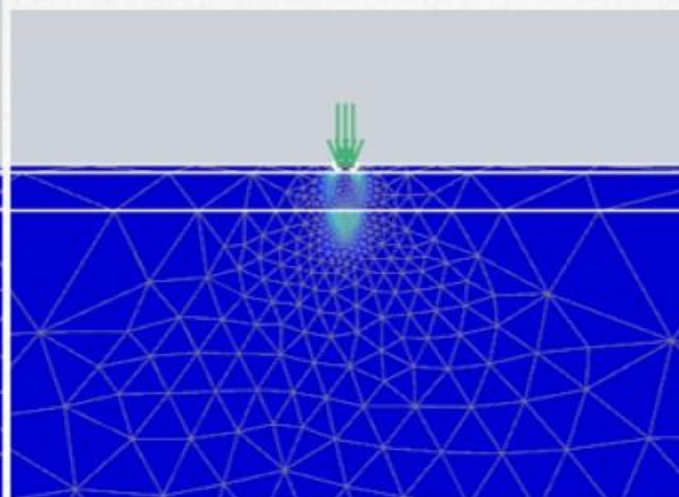
此案AC面層無破壞顯現。但因鋼板直接堆置於某碼頭護岸後線，造成護岸活載超過設計值，造成護岸滑動進而推動棧橋碼頭，使碼頭發生變形。



風電組裝碼頭鋪面設計考慮因素



3ton/m² 壓力，範圍10m



78ton/m² 壓力，範圍0.4m

左圖為地表受壓時的應力傳播示意圖，在相同的土質條件下：20cmAC鋪面+100cm碎石級配+原土層。

- 3t/m²壓力，承壓力範圍10m，總重30ton/m；影響範圍在地下20m處增加應力仍占原應力的56%。
- 78ton/m²壓力，承壓範圍0.4m，總重31.2ton/m，在地下2m處增加的應力為原應力9.3%
- 在相同總載重條件下，較小的接地面積小雖然壓應力大，但在土壤內的應力影響深度淺，大部力分在鋪面基礎層內，此部分的容許承載力也較大。



臺中港2號碼頭設計 與後線鋪面設計

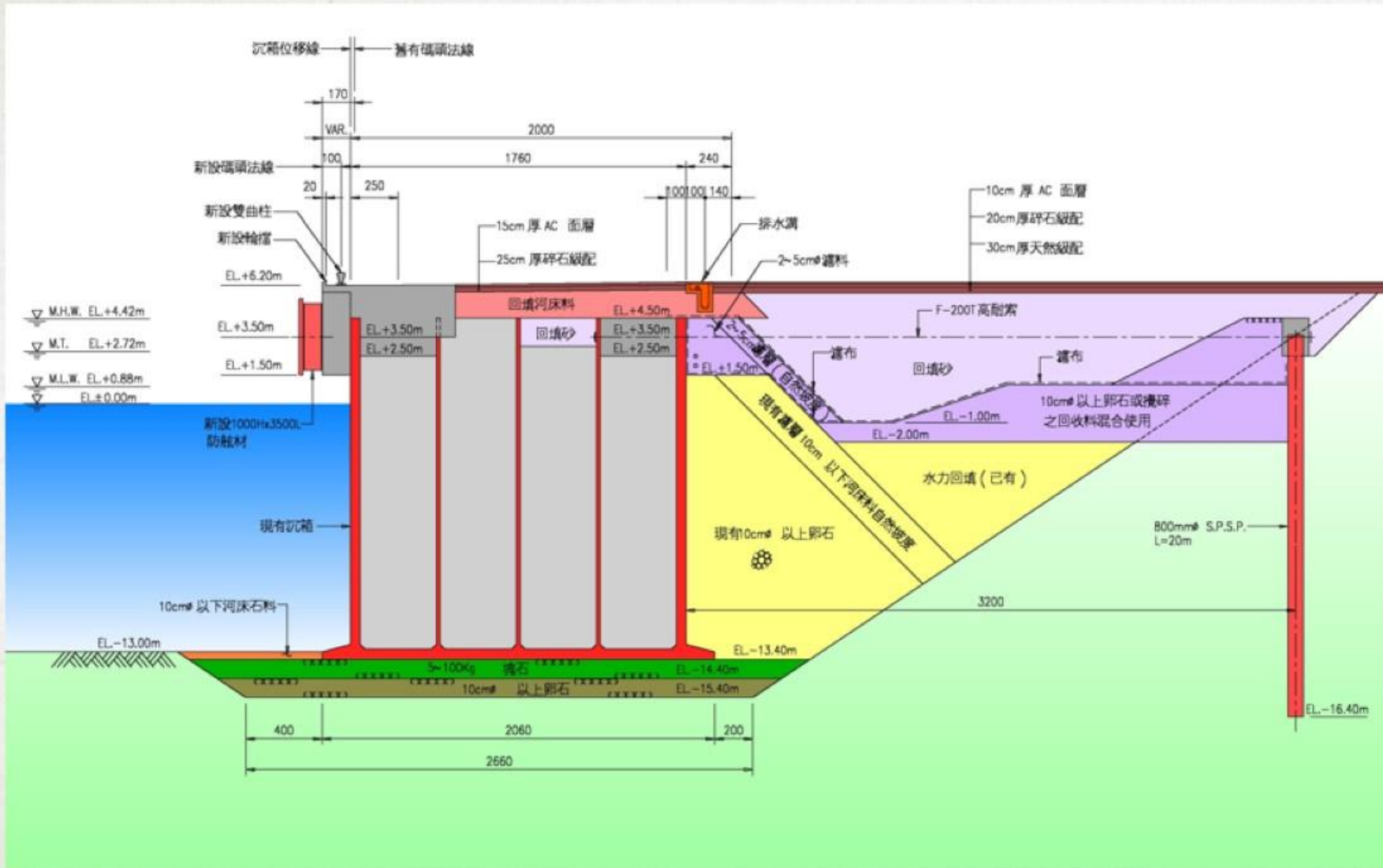


臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

#2碼頭原設計條件:

常時	地震時
3 ton/m ²	1.5 ton/m ²

設計地震力Kh=0.2



臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

投資商需求:

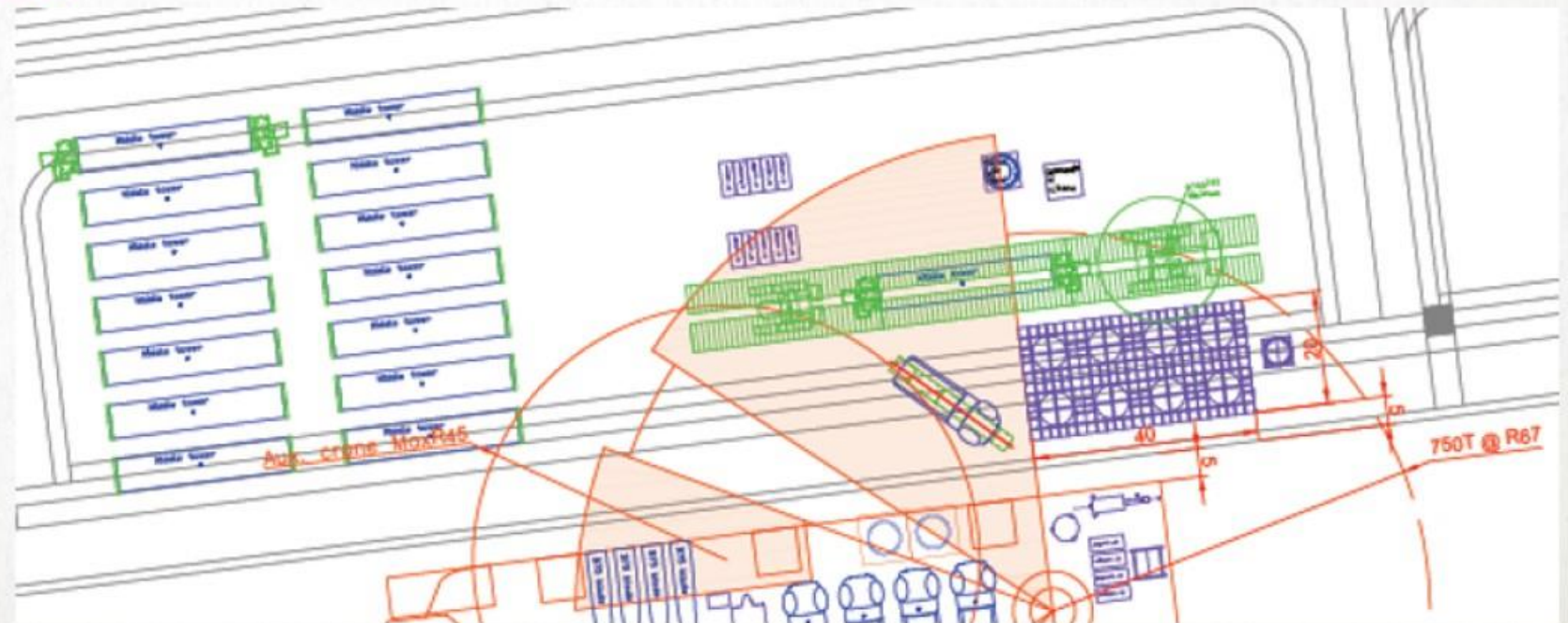
碼頭塔筒組裝區: 2 x 4 排

塔筒每組重: 480ton, 桶身高80.14m 底座直徑6.0m;

臺中-清水基本風速 $V_{10}=32.5\text{m/s}$

碼頭後線有1000噸吊車作業區

後線鋪面能儲存NACELLE等重件。

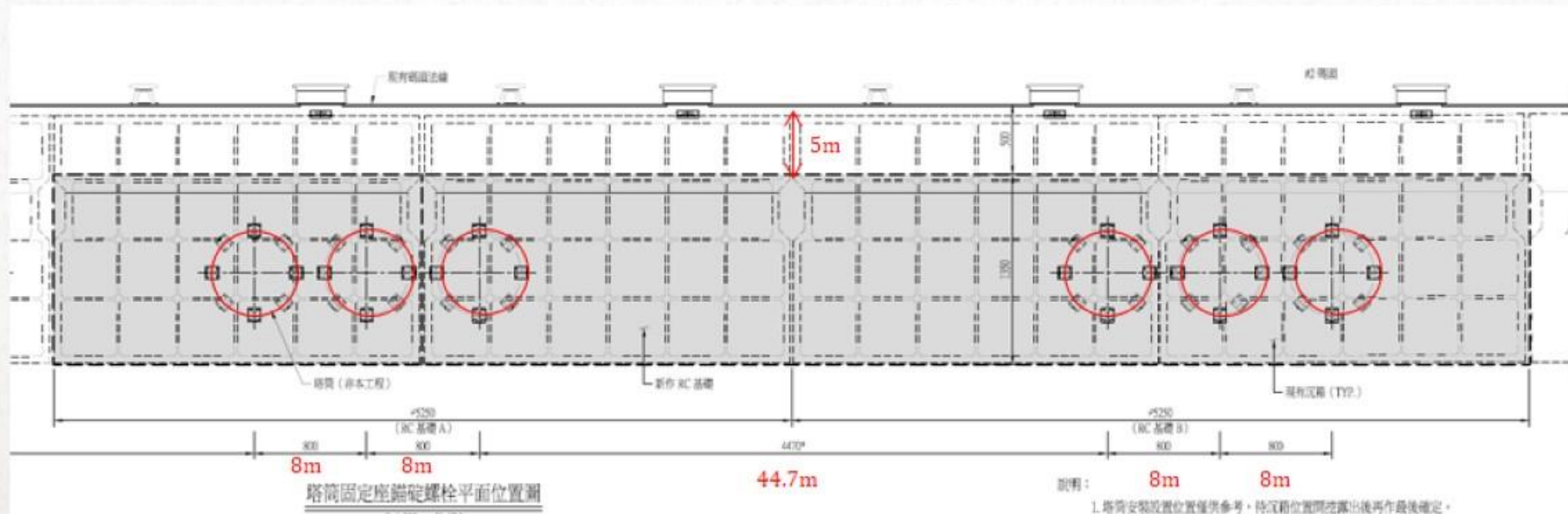


臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

• 如何使用設計超載3T/m²碼頭供風電使用?

每座沉箱17.6m(W) x 26m(L)，每座沉箱設計超載總和=17.6x26x3=1372.8ton
每座沉箱可放1372.8/480=2.86隻塔筒。

修改放置方式，以2座沉箱為一組，利用大型重力式基礎箱沉箱箱連，以2組沉箱放置3隻塔筒設計



臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

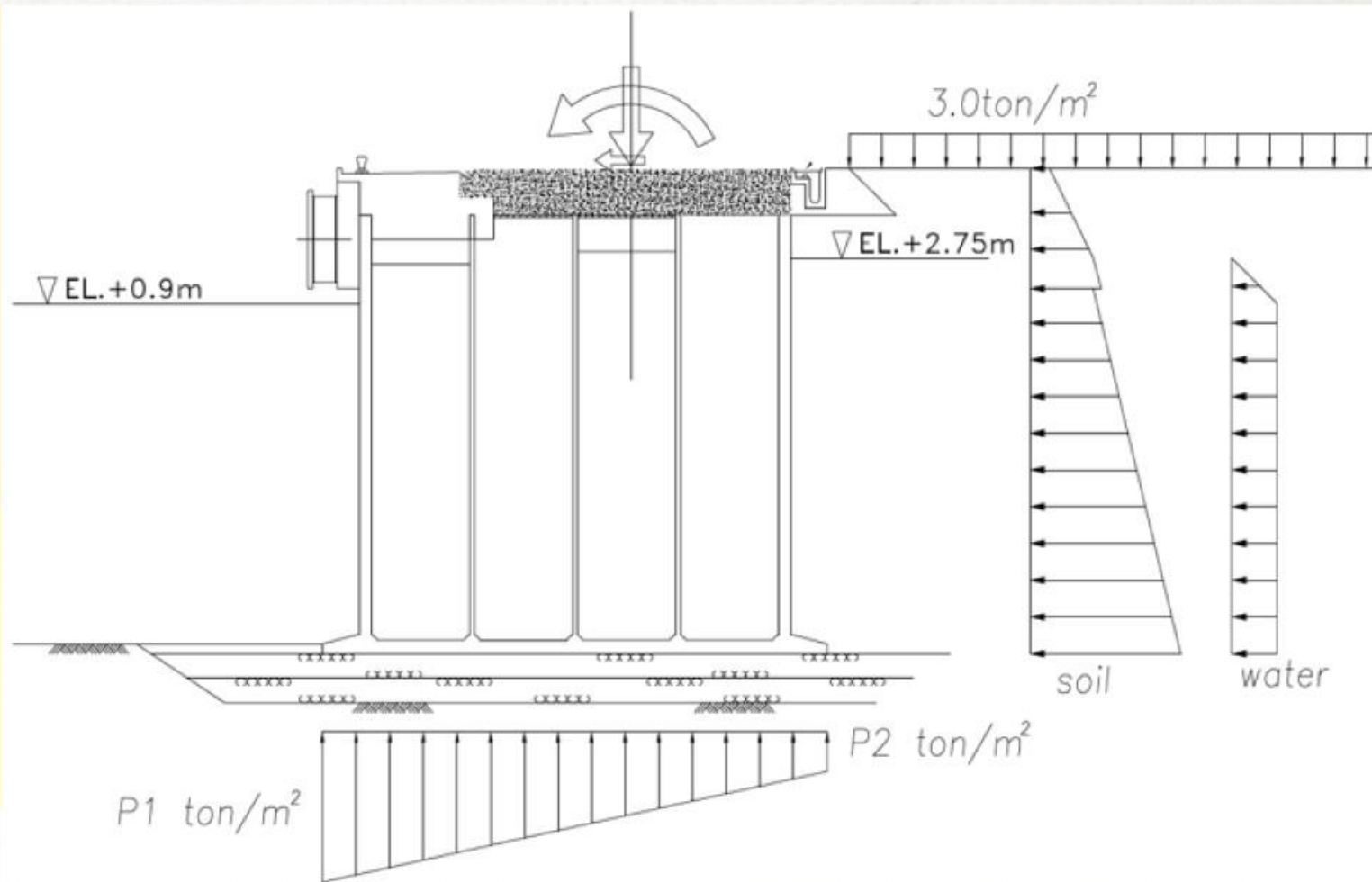
完成風塔位置設定，根據風速計算風壓，需考慮渦流及風速因經過雙塔間距縮小而增加之風速效應。

單支塔筒最大力(颱風):

$H=84.8\text{ton}$

$M=3500\text{t-m}$

塔筒設於沉箱中心線後側，使塔筒自重產生與土壓力反向的彎矩，可使沉箱底板反力較均勻。



臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

- 碼頭與塔筒以固定座連結
- 固定座為可調式
- 固定座藉錨定螺栓與混凝土基座連結

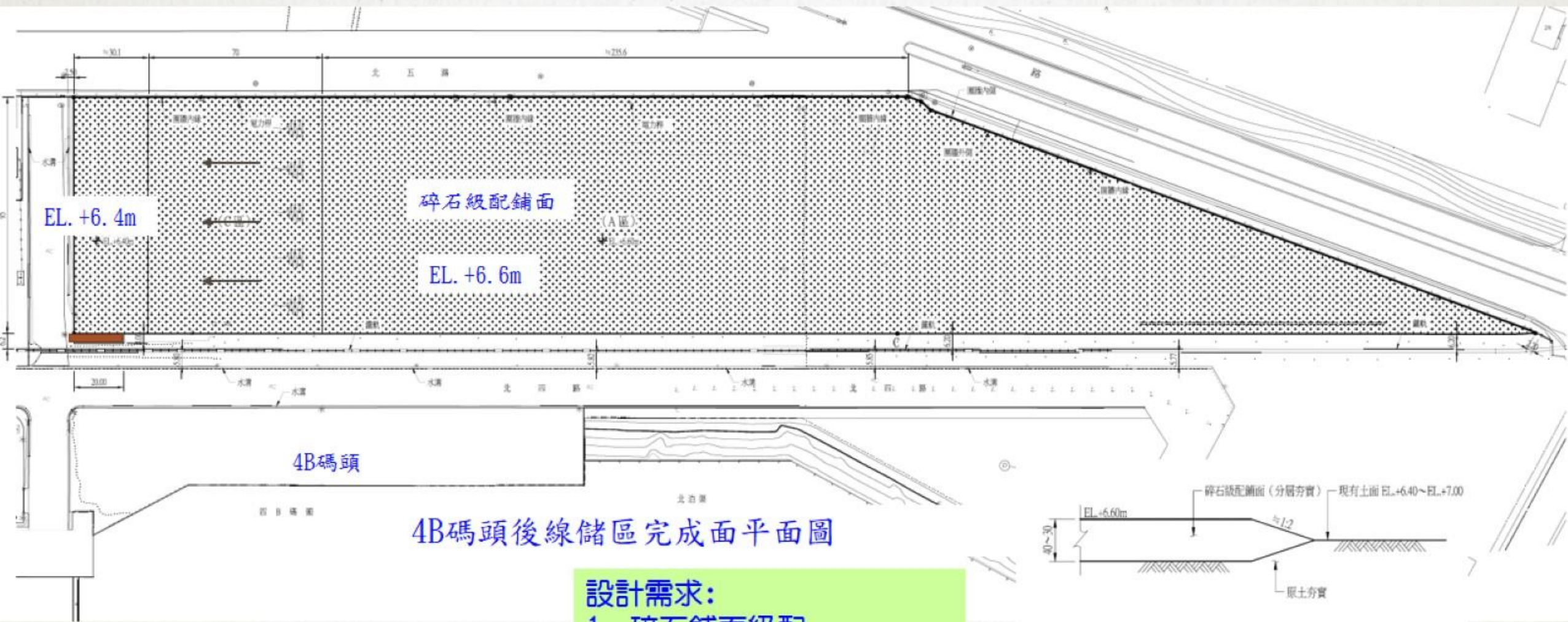


臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

- 颱風與地震力同為短時荷重，細調整塔筒位置使颱風情況下的塔筒對沉箱合力小於原設計地震力 ($K=0.2$)。
- 檢核沉箱腳趾配筋，確認沉箱安全。



臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計



4B碼頭後線儲區完成面平面圖

設計需求:

1. 碎石鋪面級配
2. 表面 $3t/m^2$ 承載力
3. 鋪面坡度小於3%

碎石級配鋪面標準圖

S=1:20 U=CM

臺中港2號碼頭設計與後線鋪面設計

#4B碼頭後線儲區，以碎石鋪面，設計強度 $3\text{t}/\text{m}^2$





#2碼頭使用過程實際 遇到的問題及省思



#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思

- 碼頭設計超載
雖然只有
3ton/m²，但藉
著調整作業方
式及配置，仍
能符合風電碼
頭的組裝作業
需要



#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思



4號碼頭後線儲區問題

1. 歐洲級配料來源與中台灣不同
2. 中部碎石級配來源為山級配料，含泥量偏高，且為紅色浮泥。
3. 級配料的均勻度與一般建材材料(水泥)不同



#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思



歐洲風電碼頭儲
區鋪面



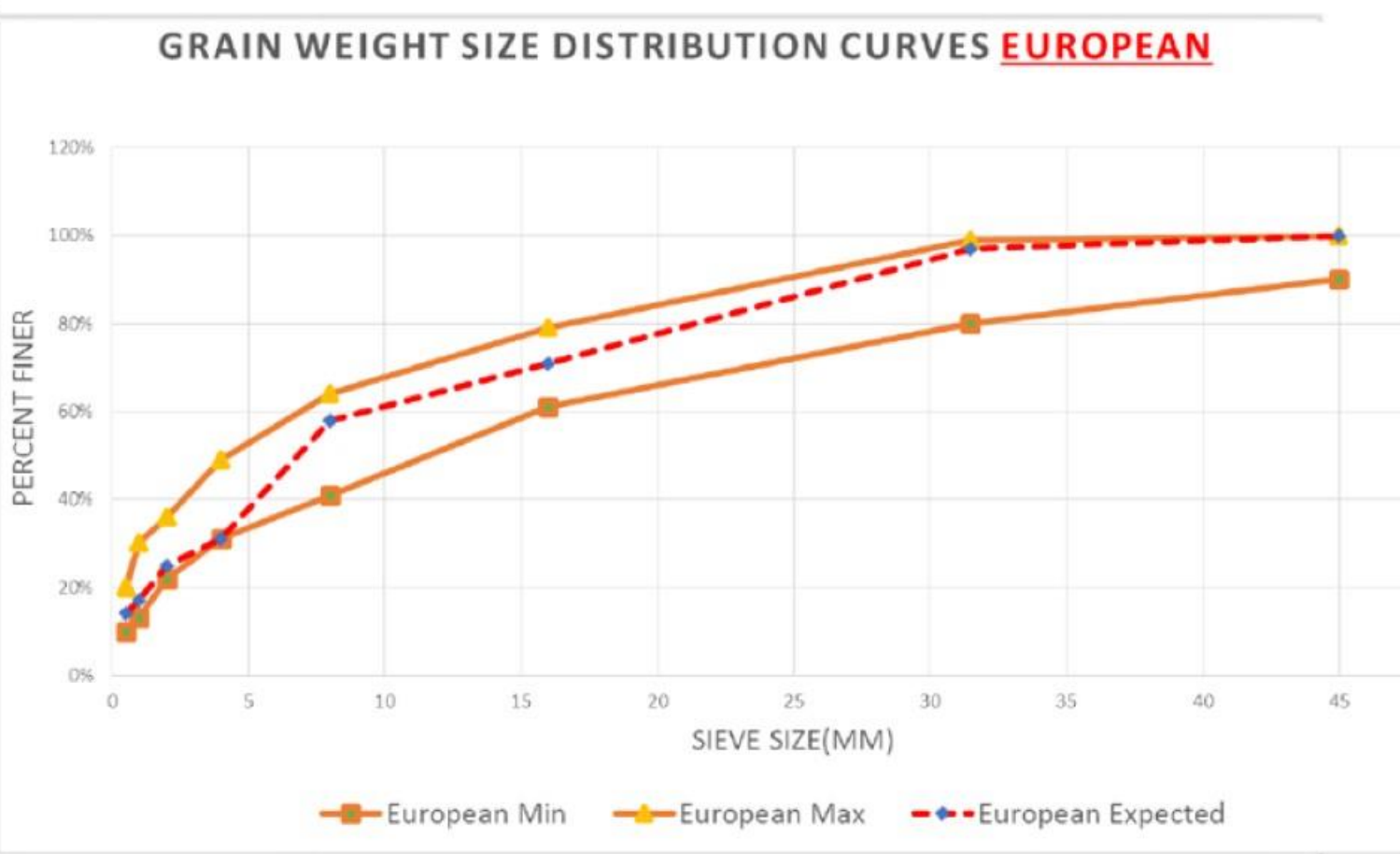
歐洲風電碼頭儲
區鋪面



歐洲較新風
電碼頭鋪面

#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思

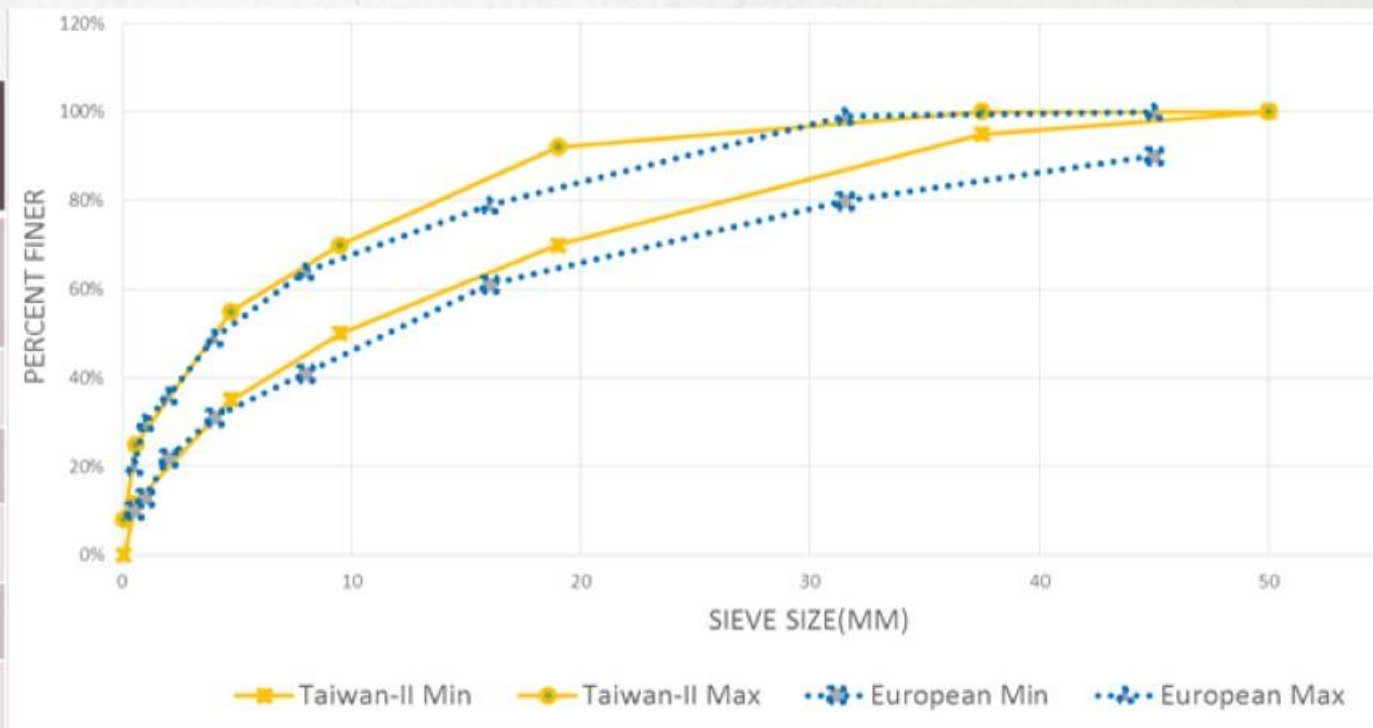
		Variation limits	
Sieve size	Expected	Min	Max
0.5mm	14%	10%	20%
1.0mm	17%	13%	30%
2.0mm	25%	22%	36%
4.0mm	31%	31%	49%
8.0mm	58%	41%	64%
16.0mm	71%	61%	79%
31.5mm	97%	80%	99%
45.0mm	100%	90%	100%
63.0mm	100%	100%	100%



Maximum European content of fines (< 0.063mm): 8%

#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思

歐洲規範			臺中港#4後線 級配底層第二類型		
試驗篩 (mm)	Min	Max	試驗篩 (mm)	Min	Max
63	100	100	-	-	-
45	90	100	50	100	100
31.5	80	99	37.5	95	100
16	61	79	19	70	92
8	41	64	9.5	50	70
4	31	49	4.75	35	55
2	22	36	-	-	-
1	13	30	-	-	-
0.5	10	20	0.6	12	25
-	-	-	0.075	0	8

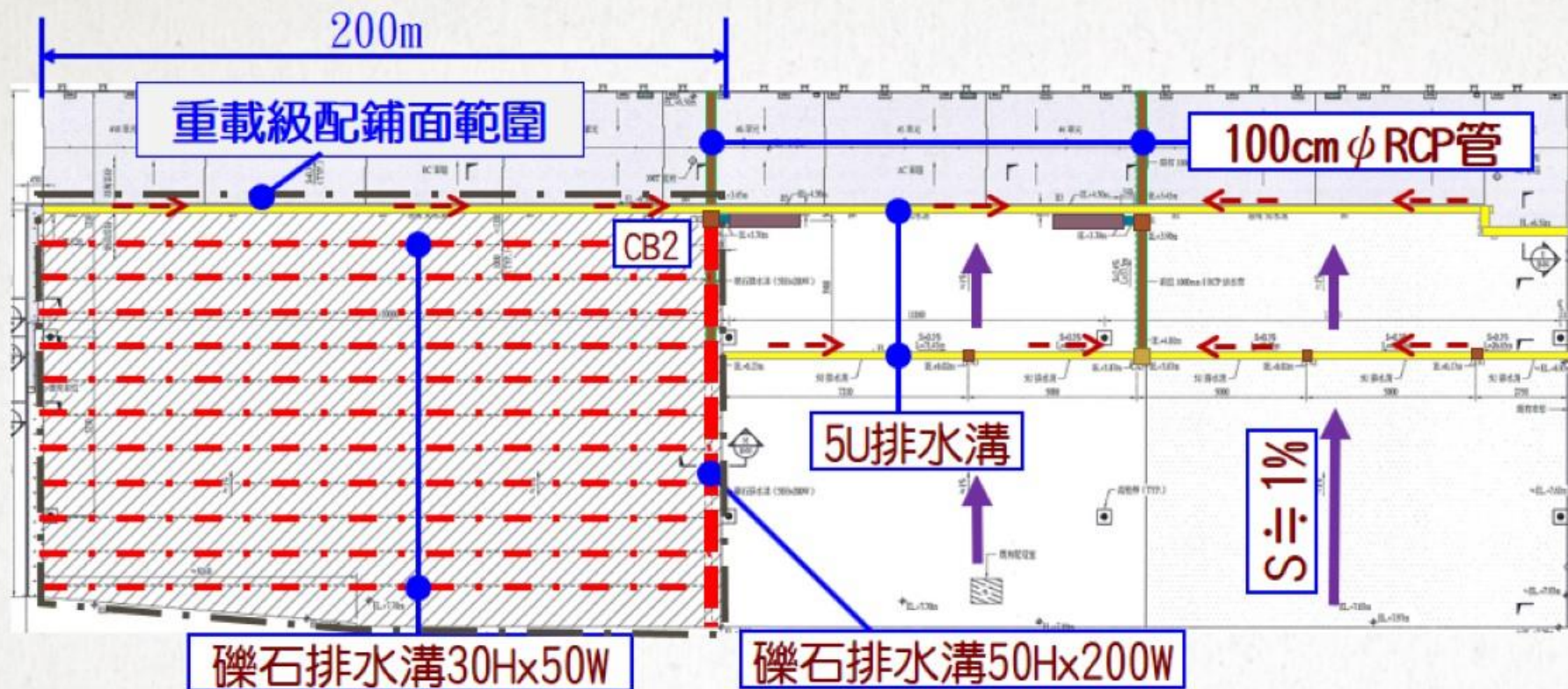


歐洲規範 VS 級配底層第二類型 (臺中港#4後線)

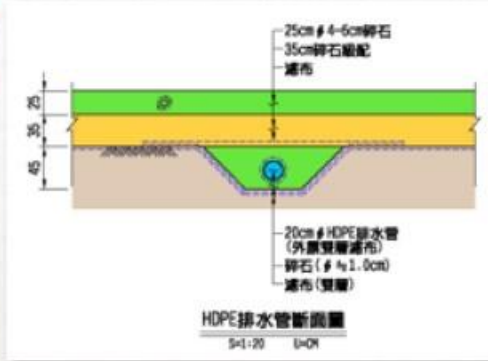
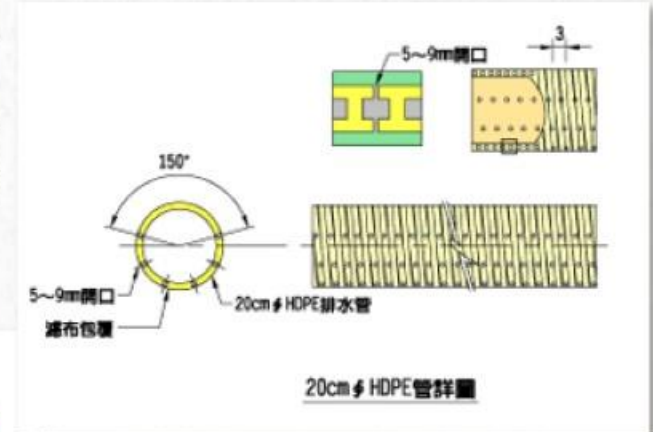
#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思

- 區域與國家不同會有認知的差異
- 級配料因在實務上不同於混凝土、鋼筋，即使試體經試驗合格，現場材料的均質度及拌合度會與試體有出入。
- 碎石級配如做為鋪面 (AC/RC) 基層或底層，其上的非均勻特性不致影響其功能。
- 碎石級配作表面鋪面時，材料均勻度難控制，此為缺點。
- 碎石級配鋪面，排水設計是成敗主要因素，排水溝會影響重載車作業，風電碼頭儲區不宜設置排水溝，所以排水設施應以地下排水盲管加礫石排水較佳。

#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思



106號碼頭後線工程排水平面圖



#2碼頭使用過程實際遇到的問題及省思

後續處理:

為協助解決開發商時間壓力，
港公司另外提供接臨2號碼頭
後線露置場供開發商使用。

此區域大部分AC面層僅10cm。
但均無承載力不足問題。





結 論



- 風電碼頭設計超載在認知上有差異，所以在碼頭設計載重有偏高傾向，好處是在使用上更有彈性，缺點是施工過程較困難造；後線儲存區對點荷重與設計荷重應分辨清楚，避免過分投資。
- 了解整個風電零件組裝過程，才能使風電碼頭及儲區的設計達到最佳效益。
- 風電碼頭儲存區採碎石級配鋪面設計有好整理、較大調整彈性及起始投資成本低等優點，應注意排水設計特性，也需認知需要較高的維護作業需求。
- 就整個風電組裝過程，如只供風電組件上部結構組裝來說，AC鋪面似乎是較佳選擇。
- 就下部結構組裝來說，碎石鋪面的可調整特性較為適用。



*THANK YOU FOR
YOUR ATTENTION*