

出國報告(出國類別：考察)

赴日本考察沉箱工程防漏沙工法及海岸 復育暨東京灣與大阪灣之港埠設施

服務機關：交通部臺中港務局

姓名職稱：吳啓東 總工程司

尤仲卿 副工程司兼科長

派赴國家：日本

出國期間：97.09.27.~97.10.03.

報告日期：97.12.22.

摘 要

目前政府正積極推動永續海岸發展政策，港灣相關工程規劃宜配合海岸永續發展基本理念，尊重生態環境承載量，適度考量海域生態與海岸復育，期營造海岸工程與生態共存共榮之雙贏局面。日本是個島國，地理環境與我國類似，且其於港灣與海岸工程技術方面，可謂執世界之牛耳，諸多實務與經驗皆有可借鏡之處，更有助於臺中港辦理規劃設計之參考。本次考察即以瞭解日本港灣工程在海堤防漏沙處理及海岸復育方面之豐富經驗為主，同時藉由實地參訪東京灣與大阪灣之主要港口港埠相關設施，瞭解臺中港港埠設施與其差異之處，作為未來檢討與改善及規劃設計之參考。

經由本次考察所得，日本政府在投資公共建設方面，均能不餘遺力地進行長遠規劃與持續推動實施，其設計均採簡單、美觀、實用與安全為原則。有關海堤防漏沙處理，除加強沉箱接縫處理外，亦須考量基礎拋石受漲落潮或波浪吸出力所產生之滲漏，可採加強地工織布及濾層處理防止漏沙，並於被填料處設置透氣層。因港埠發展及船舶大型化趨勢，深水碼頭與後線用地需求劇增，東京灣及大阪灣之港口遂須往港外發展，辦理圍堤造地規劃及實施計畫，並以分期分階段方式完成新生地填築作業，而原鄰近都會區之碼頭或水岸，則予以實施親和性復育或水岸更新計畫，以維持與恢復原有生態為原則，規劃作為親水遊憩空間，提供民眾休閒遊憩之用。

目 次

壹、考察目的

貳、海堤漏砂防治之日本經驗

參、日本之海岸復育作為

肆、東京灣與大阪灣之港埠設施

伍、心得與建議

附圖

壹、考察目的

依據臺中港辦理南填方區圍堤造地工程之經驗，海堤受波浪作用後，會有局部背填土砂陷落之現象發生，須施以適當之防漏沙措施，以防止背填土砂之漏出。按臺中港整體規劃及未來發展計畫時程，現階段正辦理北填方區圍堤造地及外港開發之相關規劃，由於未來北填方區及外港開發工程，其海堤工程位址水深皆已超過 10 公尺，勢須採用沉箱式海堤施築，而依上述辦理南填方區圍堤工程經驗，沉箱堤防漏沙處理將成爲重要關鍵。

又北填方區及外港開發，係於現有陸域向外海施作相關工程，亦將影響鄰近海岸變遷與海域生態等，而目前政府正積極推動永續海岸發展政策，本港未來相關工程規劃宜配合海岸永續發展基本理念，尊重生態環境承載量，適度考量海域生態與海岸復育，期營造海岸工程與生態共存共榮之雙贏局面。

日本是個島國，地理環境與我國類似，且其於港灣與海岸工程技術方面，可謂執世界之牛耳，諸多實務與經驗皆有可借鏡之處，更有助於臺中港辦理規劃設計之參考。本次考察即安排與日本港灣界工程人員進行工程技術研討，以吸取其於防漏沙與海岸復育方面之豐富與寶貴經驗。

另爲因應政府推動兩岸直航政策，臺中港之相關客貨運設施是否足夠，其檢討與改善誠屬當務之急。爰藉此次赴日本考察機會，一併參訪東京灣與大阪灣之港埠設施，俾瞭解臺中港現有相關設施與其差異，作爲未來設施檢討與改善規劃設計之參考。

貳、海堤漏砂防治之日本經驗

一、前言

近幾年來由於日本新建人工島及新生地之構築水深逐漸加深，同時直接面對外海且未受防波堤保護者也日益增多，使得海堤直接受波浪之作用，造成海堤之破壞案例逐漸增多，其中尤以海堤背後回填土砂之漏出，導致背填陷落之現象最多。

日本港灣工程研究單位致力相關試驗與研究，以深入了解海堤背後土砂之漏出機制，研提有效之防止對策，其經驗為本次赴日本考察重點，作為本局未來防治對策參考。茲就相關資料摘述如下：

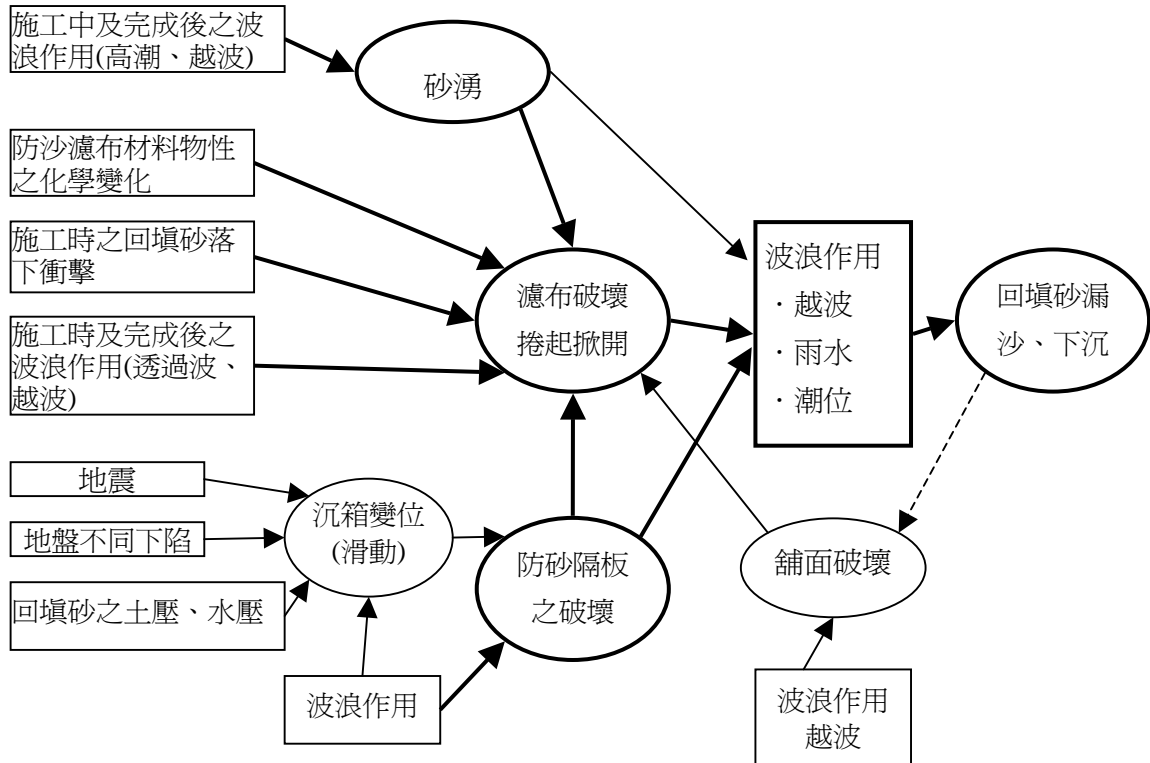
二、漏砂水工模型試驗

以往在日本，海堤漏砂之發生大都被認為是因為施工上之問題而產生，很少被當作是因設計上之問題來處理，但由於後來漏砂事件頻繁發生，使得日本亦開始思考也許漏砂不單只是施工問題，更有可能是因為設計不當而產生，所以，日本港研所以水工模型試驗將沉箱式海堤之漏砂發生機制加以檢討，大致獲得以下之結論：

- (一)隨著堤前波浪之作用，使得堤後靜水位附近水位經常變動，造成濾布在靜水面附近有被掀起之可能；同時假如濾布之頂部沒有被充分保護之時，隨著越波之作用，濾布會有被掀起之可能。
- (二)當濾布有破洞時，在波峰作用時，經由拋石基礎透過波使得濾布附近之回填砂發生鬆散；而後當波谷作用時將使得砂被吸出，進入到孔隙較大的背填石之孔隙中，其結果使得回填砂區內發生空洞，如果空洞持續擴大，最後將導致地盤之陷沒。
- (三)當濾布破洞愈大，被吸出之量就愈多。但特別要注意的是，如果在靜水面附近有破洞時，砂的流出會更多，此乃因為靜水面附近水位之變動最多，帶來之影響最大。
- (四)因波浪作用使堤後發生漏砂時，若再有越波或降雨使得堤體積水時，會使堤體之漏砂更多。此乃因堤體積水使得回填砂內之水位(地下水位)上昇，造成靜水壓的上昇與滲流使得所產生之漏砂加大。
- (五)如背填石料上沒鋪設濾布，回填砂將背填石料之孔隙填滿前將持續發生落下現象，且最初為大量之落下，到某個程度後落下速度才會降低，同時進入背填石料區的砂隨著波浪之作用會有被搬運到海堤前面之危險性，漏砂現象會不斷發生。而當濾布僅鋪設在靜水面附近時亦會有相同之傾向。

三、漏砂機制與防治探討

(一)漏砂機制



(二)漏砂防治-----減壓工法、濾層法

1.背填石料填到回填高程上以釋放壓力

為減低回填砂之漏出以及崩陷之危險性，將背填區之壓力減低為有效方法之一，由於在背填料上有回填砂覆蓋時，將造成背填區內密閉度提高使得孔隙水壓變大，此時若再有積水之時，將使得孔隙水壓變得更大；不過，如果背填料之堤面上沒有回填料等覆蓋時，壓力就會減小很多。所以，如何有效減少背填料區內之壓力，即為漏砂防治的方法之一。

2.濾層法

將背填石之斜坡部分改以濾層時，可以發現當濾層材之粒徑大小組合適宜時，將使得回填砂與濾層材間發生拱效應，造成進入到濾層之砂不會在進入背填石區中，此可有效防止砂之流出。實務上之應用例頗多，唯仍有濾層所需材料粒徑大小之選擇與濾布之合用處理等課題存在。

3.其他

另外還有在背填石與鋪面間放置 PVC 管、保麗龍等，將背填石區內之壓力加以排出之方法，在實務上之應用頗多。

(三)小結

- 1.在拋石基礎上與背填區所鋪設之濾布，在施工時很容易因波浪之作用被掀起，作用於濾布之力可由其所處位置之流速與濾布之透水係數加以計算，爲了確保濾布之安定性，須要以相當之鏈條重將其壓住，同時要將濾布固定在沉箱上。
- 2.通常在海堤完成時，沉箱前面之波壓很容易經由拋石基礎到達背填石區，使得背填區產生很大的壓力，經由拋石基礎之透過波使得背填區內發生之孔隙水壓，出乎意料之外的大，可達到沉箱前面波壓的 70~80%左右，此時若再有越波使堤後積水時，由於回填砂之孔隙被水填滿造成背填區之密閉度提高，將使得背填石內發生與沉箱前面波壓幾乎相同的孔隙水壓。
- 3.背填石區之壓力，隨著積水背填區內之空氣堵塞之程度大小而不同，空氣堵塞愈大，壓力愈大，正的尖峰值可達前面波壓的 90%，而拋石基礎內之流速，也隨著壓力差而改變，壓力差越小，流速自然也較小。爲減輕透過拋石基礎波所產生之強大壓力，將背填石鋪設至回填高程，以解放壓力的話，可將壓力減輕 30%左右，此爲一有效之減壓工法，但是在越波或積水使得開口部滿水時，其效果也會減低。
- 4.當回填砂之覆土厚度很小，與回填高程相比，靜水位相對較高之時，經由拋石基礎透過波所產生之揚壓力，將使得回填砂浮起成砂湧之破壞現象，此亦爲近年幾個海堤受災之原因之一。

三、作用於沉箱間隙之波壓與減壓工法

(一)作用波壓

目前之沉箱式海堤爲防止背填石或回填砂由沉箱間之間隙流出，大多以防砂板與濾布亦或水中混凝土作爲沉箱間隙漏砂防止對策工法。

隨著沉箱前面水位之上昇，使得沉箱間隙內之水位上昇，而後，由於間縫內波面之上昇使得間縫內之空氣被壓縮，造成部份的空氣散出，另有一部份則隨波面之上昇被壓縮，空氣塊之壓縮造成波形之振動後，再加上波面與防砂板之作用造成強大衝擊力(包括揚壓力)。

由試驗結果可知，作用於防砂板之波壓約爲作用於沉箱前面波壓之 2~3 倍。

(二)沉箱間縫波壓減低工法

為減少進入沉箱間隙之波浪作用，在沉箱間隙內之局部地區設置減浪間隙板以局部縮減間隙間隔，以便產生漩渦使得進入間隙內之水塊量與能量減衰，進而使得作用於防砂板之波面速度減低，由試驗結果可知，在沉箱間縫內設置減壓板可有效減低衝擊波壓。

(三) 栓塞套之使用

原試驗所採用的減浪間隙板是以壓克力板製成，且並未將間隙完全堵住，主要係因為試驗以降低波力為主，而為了防止漏砂，目前日本採用的沉箱間隙栓塞套主要有三種。而其填充之材料包括砂及小石(5mm)，經由現場試驗可知，填充料中以小石之追隨性最好，而砂之追隨性很小，同時由於栓塞套無法以本身自重及摩擦力抵抗波力，所以在栓塞套之間建議應填入填充料，而在沉箱達到安定前，應隨時補充栓塞套內之填充料。

四、沉箱背後不用背填石料直接回填砂時

當沉箱背填直接用回填砂時，在波浪作用時拋石基礎內之壓力整體變大，此乃因沉箱背後之回填砂，阻擋了拋石基礎內之壓力，如沉箱後端部之壓力達 $0.78 w_0 H$ ，若再考慮靜水壓之上昇，則將達 $0.91 w_0 H$ 比沉箱前面之壓力還大，而壓力進入回填區後隨著與拋石基礎之距離而減衰。

沉箱背填不背填石料直接回填砂，假如防砂板有所損壞，回填砂有被立即吸出之危險性，同時，由於越波或降雨很容易使回填砂之地下水位上昇，此不僅造成漏砂之可能性，對沉箱之安定性亦會帶來危險。

所以不使用背填石直接採用回填砂時，在拋石基礎與回填砂之界面上會有強大之壓力出現，而在沉箱之間縫附近的回填砂處也有很大之壓力作用，為緩和此作用力，如前述可考慮在沉箱設置開口部而且不填入碎石以保持水之狀況，可有效減輕壓力。

五、結語

(一) 漏砂之原因

1. 濾布破損所致

- (1) 波浪之作用、拋石基礎透過波之反復作用
- (2) 回填地之沉陷、沉箱滑動所致破損
- (3) 濾布鋪設以及回填時施工上之問題
- (4) 濾布材質劣化

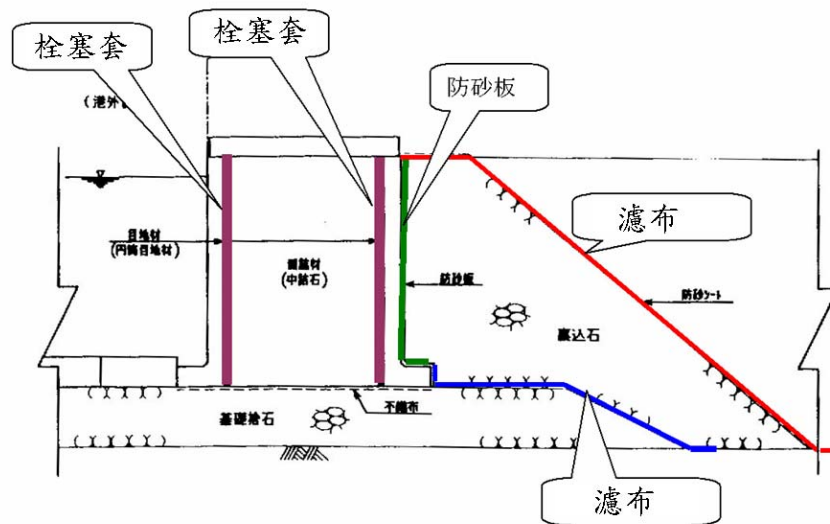
2. 沉箱間縫之漏出

(1)沉箱滑動或沉陷所致

(2)防砂板之劣化

(二)漏砂對策

1.建議標準斷面



2.沉箱間隙

(1)以 2 組栓塞套+ 中填料+防砂板 三重保護措施以抵擋波浪作用

(2)在沉箱完全穩定前要經常進行填充料之補充

3.其他工法

(1)減壓工法(如設置透氣層，圖 1、圖 2)

(2)濾層工法

4.事後之補修工法

(1)濾布破損部重疊補修

(2)固化工法：水泥固化、深層混合處理、多點注入法等

(三)濾布工法之補助對策

1.背填石之斜面上以較小粒徑之碎石加以填縫

2.濾布鋪設後立即進行回填，亦或以覆蓋材加以固定

3.回填時濾布頂端使用單管或鋼筋壓住濾布時，應不能予以固定。(註：因背填濾層石料拋放時，會對濾布產生張力，如頂端固定，則可能張力過大、致濾層石料拋放後、濾布即產生破損但未能察覺。)

參、日本之海岸復育作為

一、前言

傳統海岸保護工法如海堤、突堤、離岸堤、潛堤等，大多以防潮禦浪之防災功能為主，近年來由於國人整體生活品質之提昇、環保意識高漲及海域休閒遊憩之興起，致使海岸保護工程之規劃除滿足國土保安之功能外，逐漸朝向兼具生態、景觀等多功能目標。尤其海岸工程建設時除會對水質、空氣、地形、生態景觀等造成衝擊外，更會造成藻場、漁場、濕地等海岸環境之破壞，對於自然環境與生態之影響，累積擴大之結果，將回歸到影響人類自身的生存環境；所以，如何保護自然與自然共生共存，海岸才有永續利用之可能；因此，未來海岸保護結構物之規劃設計除防災功能與結構安全之考量外，須進一步融入生態理念，研擬合適之工程斷面，兼具復育、改善、創造生態環境之效果，以達到海岸環境之維護與永續利用。

日本的港灣與海岸開發，雖造成近幾年經濟繁榮，但卻也使得濕地逐漸消失並導致海岸侵蝕；海岸保護工使得海岸災害減少，沿岸居民生命財產獲得保障，但也使得自然海岸逐漸消失，隔絕陸與海，切斷人與海的連繫，同時破壞海岸景觀與親水。目前日本有關海岸之開發，已極為重視自然生態共生共榮之生態型海岸保護工法發展，爰就本次考察蒐集之相關資料，整理供相關單位參考。

二、日本海岸保護工法之型式與演進

早期海岸保護著重於海岸「線」之保護，即利用構築護岸、海堤、消波等方法，沿海岸線作線形保護工，具有防止波浪越波、遏止海水入侵及陸地流失等效果；但相對的因為波浪反射加強而加劇堤腳沖刷，又為防止堤腳沖刷及越波再加拋消波塊或加高堤高，不但妨礙民眾親海權且有礙海岸景觀。因此以硬體工法阻擋波浪並非理想之方式，需以柔性工法創造海灘，借海灘自然吸收及抑制波能，始能避免海灘之破壞與侵蝕，故逐漸採以緩坡堤、防砂突堤、離岸堤、潛堤、養灘等方式交互使用之整合性海岸保護工法，亦即以「面」之保護方式來控制漂砂、保護海灘進而抑制侵蝕。近年來為謀求工程建設與海岸自然環境之和諧共生漸受重視，兼具親水、生態機能及景觀改善之海岸保護結構物亦因應而生。

(一)海堤與護岸

海堤與護岸為平行或近似平行灘線，分隔海水與陸地之構造物，屬於較傳統之海岸保護工法。傳統海堤與護岸之坡面較為陡峭，易因波浪反射而產生堤趾沖刷問題，近年來已有緩坡海堤與護岸之使用，通常坡面小於1/5 且不使用消波工，其功用一方面保護海岸侵蝕，同時可配合景觀規劃海岸環境空間，兼具親水、景觀機能。

(二)突堤

突堤為垂直於海岸線或與海岸線形成某一夾角，由沙灘向海興建突出海岸之結構物，用以攔截沿岸漂砂、控制海灘地形、改變海岸線方向、阻擋沿岸流

或壓迫潮流方向，進而減少保護區域之海岸侵蝕。由於突堤具有阻擋沿岸輸砂之作用，故可能促進上游側海灘之堆積，但過長之突堤則可能完全阻擋沿岸漂砂，反而會導致下游海灘之侵蝕。突堤群不僅能保護海岸免於侵蝕，配合養灘更可促進海灘面積之增加，供民眾休憩場所使用。

(三)離岸堤

離岸堤為離開陸地且約平行海岸線之堤防，能使波浪於堤前減衰，漂砂在堤後堆積，間接發揮安定海灘之功能。由於離岸堤背後波浪繞射形成遮蔽區，波高及沿岸流速減緩，使沿岸漂砂沉澱淤積，形成突出海岸地形之砂舌(salient)，最後形成繫陸沙洲(tombolo)，一旦繫陸沙洲形成則沿岸輸砂完全被阻斷，無法繞過堤體供給下游海岸，下游海岸將形成嚴重侵蝕。

近年來隨著離岸堤防護功能發揮、土地開發利用及施工技術之進步，使用離岸堤之案例亦增多。由於離岸堤突出海面嶙峋不雅觀，近年來有改採潛堤之趨勢，即使堤頂低於平均低潮位，以免破壞海岸景觀。

(四)潛堤與人工潛礁

潛堤(submerged breakwater)與人工潛礁(artificial reef)為突出海底潛沒於水面下之結構物，其功能類似離岸堤，但阻擋之水流斷面積較離岸堤少，對海水循環妨礙較小，對生態環境影響相對減輕，且結構物不露出水面對景觀破壞較少，此工法較符合環保之需求。潛堤與人工潛礁之功能相近，主要不同處為人工潛礁之堤體較寬(數倍於波高或水深，約為波長之半以上)、堤頂水深較大且具透水性。本工法實例不多，仍在開發階段，日本為改善海岸景觀不惜將離岸堤露出水面部份拆除移至內、外坡改成潛堤之作法值得參考。

(五)人工岬灣(headland control)

人工岬灣為摹擬大自然波浪經由折射與上游端岬頭之繞射作用，使卓越方向波浪能幾乎垂直達到灣岸內各處海岸線，降低沿岸漂砂量，而於岬頭之間所形成之安定海岸，用以保護與安定因上游漂砂源斷絕而被侵蝕之海岸。人工岬灣可以在平直海岸以侵蝕與堆積相平衡之方式來造灣，或以不影響原有海岸線之方式造灣，或在受侵蝕之大海灣內加築幾個小灣以穩定大灣，亦可在凸出之狹長沙洲外圍以人工岬灣保護沙洲。

(六)人工養灘(artificial beach nourishment)

沙灘為天然消波體，利用工程手法在受侵蝕之海岸補給砂源造灘，稱為人工養灘。一般係利用浚渫或挖掘土砂，以船隻、車輛或幫浦等人為方法，利用風力、波浪、水流等自然力造成海灘，改善或維護海灘免受侵蝕，亦即將粒徑大小適宜之砂源補給至侵蝕地區，使沿岸輸砂量供需達到平衡狀態，進而達到海灘穩定之目的，屬於非結構性之海岸侵蝕防治工法。養灘無法一勞永逸，養灘後土砂仍有繼續流失之趨勢，故需不斷繼續補充土砂養灘，或輔以適當之人工結構物，如突堤、離岸堤、潛堤、人工岬頭等設施，以減緩土砂流失，同時

創造親水性之海岸空間。

三、生態型海岸保護工法

(一)生態型海岸保護之內涵

基於海岸保護需要所實施之工程與管理措施，稱為海岸保護工法；而海岸復育工法生態型海岸保護工法，主要仍以海岸保護為目的，即防止海岸侵蝕、保護沿岸居民生命財產安全，並兼具海岸生態共生共榮之機能。亦即生態型海岸保護工法在規劃設計上除海象、地質、漂砂等自然條件之基本考量外，並考慮海岸生態環境因素，使之不僅滿足工程目的，同時能兼顧生態需求，減少對海岸自然環境造成損害。

(二)發展方向

海岸工程建設不免破壞原有海岸環境難以恢復干擾前狀態，屬於不可逆，因此對於採用生態理念設計之海岸保護工法應屬偏重於改善、創造海岸生態環境之技術為主，即較接近於一般所謂之海岸復育工法。因此生態型海岸保護工法之發展方向應以「改善、創造原有海岸保護工法之生態機能」，使其發揮基本海岸保護功能外，並能提供適合海洋生物著生、棲息及繁殖之空間，達到海岸保護與海域生態和諧共生之目的。

(三)生態型海岸工法發展原則

生態型海岸工法不僅應能防止海岸災害，確保人民生命與財產之安全，同時考量海岸原有自然形態與附近生態系統，景觀、親水、文化與社會經濟等各種因素來辦理海岸整治計畫之一種技術，旨在達成防災確保安全、改善生態環境、提升生活品質與資源之永續利用。

1.尊重自然預留空間

海岸自然現象不論是風、波、潮、流等海氣象，或者海岸地形都具多樣性。海灘變化，砂灘、潮間帶與砂丘的存在皆屬於大自然循環系統的一部份，對這些自然現象應有充份之調查與了解並予以尊重，順應自然變化定律因勢利導，不應強求大加改變自然招來反撲。

因此，在規劃近自然工法時，應依(a)防災危險性上能承受多大的冒險與損失？(b)防災設施在造形形像上應保留多少自然？(c)土地取得之極限多大？等做充份之分析，決定保留空間之界限。

2.維護生態多樣性

動植物之棲息空間彼此關係密切而生物鏈又極為複雜，棲息空間的多樣性不僅於生態在人類生存上亦極重要，凡食物、氧氣、水質等都無法自絕於全球大生態系統之外。海岸生態甚為豐富多樣，尤以水深10m 內最為豐富，為人類主要魚貝類食物來源，而濕地及潮間帶生態之多樣性尤為珍貴。海濱陸上雜草及防風林內也有不少昆蟲、爬蟲類及鳥類等動物棲息。海岸防護工難免會破壞生態棲息地或妨礙其遷移路徑，構成海岸生態不利之環境，海岸

復育工法之理念即在於防治海岸災害時除滿足安全需求之外亦需尊重海岸自然環境，確保生物多樣性之保育及永續發展，不但應避免對生態造成不利因素，避免對自然海岸地形之傷害，更應積極地創造有利生態保育之環境，使水深、波浪、水流、底質及地形都能營造出最有利於生態棲息地及移行帶之條件。

3. 結構物與景觀環境之融合

和諧的景觀是使人感到「美」，身歷其境內心感到「舒服」。美的感受因人、因時、因氣氛而異，但大致可從統計上歸納出綜合性的評估，設計上只能依此辦理。就海岸保護工言：

- (1)能與海陸景觀構成要素融合；如海洋空間、海景、波濤聲、海灘、砂丘、防風林、雜草灌木、濕地、潮間帶等整體大環境相調和的海岸保護工。
- (2)不過份強調造形與色彩，採用自然材料建造，兼具生態保育之保護工。
- (3)最小規模，最少破壞，最省錢經濟而具高度防災功能之設計。
- (4)良好的視界，對周邊環境負荷最少，配予瞭望台、燈光、步道、護欄等附屬設施。
- (5)考慮親水與休閒方便遊客散步下海接觸海岸、涉水遊憩安全之水邊。
- (6)學習自然模仿自然之造形美，有地形與植生襯托滿足視覺之設計。

四、海岸復育(生態共生環境之創造)

(一)海岸結構物與生態共生機能

防波堤、護岸或離岸堤等結構物相當於天然岩礁，基盤固定使得附著性生物成層狀生息，其生物種類亦類似於岩礁者。但防波堤或護岸因形狀單純不如岩礁凹凸不平、水域穩靜且水深、波浪作用時海水擾亂度不如岩礁海岸強型，同時，設置人工結構物後水域穩靜水流交換停滯，常帶來底質惡化，底質惡化又帶來水質惡化形成惡性循環。如何使防波堤、長離岸堤背後保持良好的水質流通、水質淨化及底質改良，創造更有利於生態保育之環境便成為維護生物環境最重要之工作。

不過，海中人工結構物對生態亦有正面之影響。雖然消波塊常因其破壞景觀而被詬病，但在生態上卻因其固定且具有空隙頗與天然岩礁之性質類似。調查顯示，日本那霸港防波堤之消波塊拋置後珊瑚礁開始自然附著，於十年後消波塊表面幾乎整面附著，同時研究中發現，混凝土表面做成數公分凹凸不平時，珊瑚都沿凸出部份著生，顯示凹凸面形成水流紊流區及滯留區，成為幼虫易於著床處，同時也比較不受海膽及海星等生物掠食。與岩礁相比較顯然消波塊底層空間大為增加，提供較岩礁更大面積之產卵床及更佳之產卵環境。

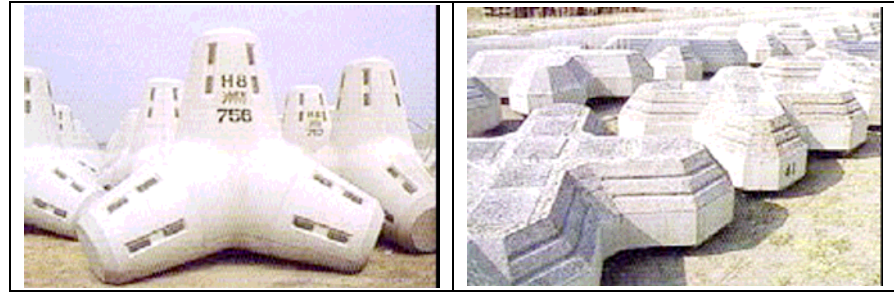


圖1 生態型消波塊與方塊

(二)人工潮間帶之創造

潮間帶自古以來即為貝類、螃蟹類、鳥類等海洋生態最豐富之處，人類多賴以維生，同時也是最適宜於漁業養殖與休閒最佳之場所。近年來潮間帶大量流失，日本規定在沿岸開發之際必需採取補償行為，務使因開發而損失之自然環境能恢復原有功能，因而積極研究開發「人工潟湖」(人工潮間帶)技術，企圖創造、復元及強化人工潮間帶之生態功能。

「人工潟湖」是以人為的力量創造另一適宜於生態棲息環境之行爲，但實際上以人為力量所建造之潮間帶，無論如何都難於再現自然潮間帶的生態環境。

人工潮間帶之設計基本上與人工養灘相似，但人工養灘是為人設計而人工潮間帶卻為生物而設計，因此需要具備有生物棲息之底質、水深及潮差等立地條件，亦即盡其可能模仿自然潮間帶之地形及底質去營造適宜於生態復育環境之人工海灘。因此在設計時之主要考慮事項為：

- 1.規模大小：從補償觀點言應提供因開發而損失之潮間帶同等規模或以上之面積。據調查規模愈大單位面積棲息之生物個體數容量愈大，因此如情況容許潮間帶應盡量擴大面積。
- 2.底質成份：主要成份為粘土、粉土組成之泥土。土壤環境與生物有密切相關性，土壤表面積大者細菌生息場所愈大，細菌數與粘土、粉土含量成正比，粘土、粉土具有低透水性並可形成還元層發達之表層，有利生態復育。
- 3.海灘坡度：高潮位至低潮位間之坡度愈緩潮間帶面積愈大，相對波浪小容易使還元層發達底床安定，但受限於海岸坡度，以坡度不超過2%為度設計海灘安定斷面，後灘可以潛堤阻擋土砂流失。

日本東京灣內東京都所轄之海灣已幾乎被開發殆盡，自然海岸所剩寥寥無幾，在關心環保人士強烈要求下，都政府乃於1974年於僅剩之自然海濱葛西海岸規劃海濱公園，設置綠色公共空間提供市民多樣之休憩場所，同時確保自然生態棲息環境。東京葛西公園人工潮間帶計畫包括一般之植栽綠美化、草坪廣場、停車場之外，另有水族館、鳥園，同時在海域創造人工潮間，一方面供市民多樣之海岸休閒活動，也提供海濱生物及野鳥自然保護區。人工潮間帶分東、西二處區，如下圖所示面積各為30公頃及38公頃共68公頃。以緩坡砌石護岸

做導流堤，中間鋪設砂灘，並混合富於有機質之粘土成份鋪設潮間帶，復育貝類提供野鳥食餌。



導流堤形狀及海灘形狀，亦考慮與周邊自然環境之調和與景觀，採用柔和之曲線造形，人工潮間帶與陸域間以隔離水道隔離，禁止遊客進入保護區。五年後之調查結果底棲生物種類達40種，鳥類21,083隻69種，水質及底質亦逐年改善。除葛西公園之外東京灣內尚有不少海濱公園、人工海灘，銳意恢復自然海岸、增設海岸休憩設施，提供市民休閒活動空間及自然生態環境，追求人與自然之和諧。

(三)藻場之創造

藻類由光合作用吸收水中營養鹽成長，除有淨化水質之功能外亦可提供多樣生物之棲息繁殖場所，有如陸上之森林，因而常被稱為「海中森林」或「海中草原」。在寒帶陽光能到達之深度內，沿岸淺海水域都有大型海藻或海草類繁殖之場所，稱之謂藻場。岩礁性藻場有甘海苔、棒青海苔及以昆布為主體之海中林，砂泥藻場有海草類、鰻草等。藻場有小動物群集，微生物類繁殖，因而成為魚類、鳥賊類產卵場所，和貝類幼苗保育育成場所，同時也為海藻自身及附著小動物之餌料供應源。因海藻類在生育過程中吸收氮、磷高營養化物質，因而有淨水作用有利水域環境保護。

在自然藻場附近興建海岸保護工時，應盡量不干擾並盡量與之共存。倘利用岩石或混凝土材料時其本身應具有藻類生育之基盤，因此應活用此條件積極創造適合於岩礁性藻場共生復育之物理性、化學性、生物性環境。

藻場因藻種類而有不同之生息地盤高、波浪條件及表面條件，在結構物設計上應選用適當之材料創造其生育環境。由於溫帶藻類成長不如寒帶發達，在生態環境上不如寒帶被重視，在日本藻場之復育被視為漁業資源極為重要之生產場所，有多處利用護岸及離岸堤創造藻場蝟集魚貝類整建魚場成功之實例。

日本關西機場周圍以砌石緩坡傾斜堤做護岸，於斷面中間水深5~6m 處設置寬15m 之水平平台，於混凝方塊及異型塊表面故意做成凹凸面及槽溝，側面開圓孔以利藻類附著，或於其表層展網及繩索種植各種海藻種苗，於一年後23公頃中約有90%生長海藻群落。

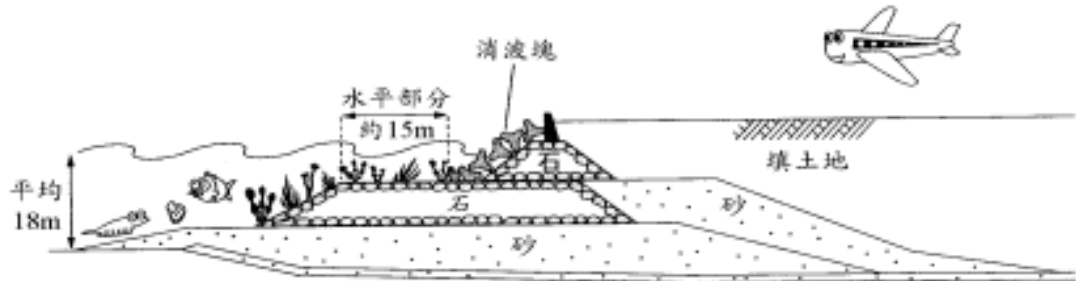


圖2 日本關西機場藻場護岸創造示意圖

(四)魚類復育區之創造

日本東京江戶川因地層下陷而需改建海堤，雖可以加高堤頂做為防潮對策之一，但為保護生態環境計摒棄加高混凝土堤頂之傳統工法，以不加高堤頂而以覆土放緩堤面坡度並設平台種植蘆葦，再於堤前約30m 處以二層蛇籠重疊並於其前方打木樁柳技如圖3，不但創造魚復育環境，同時達成消浪防災目的。

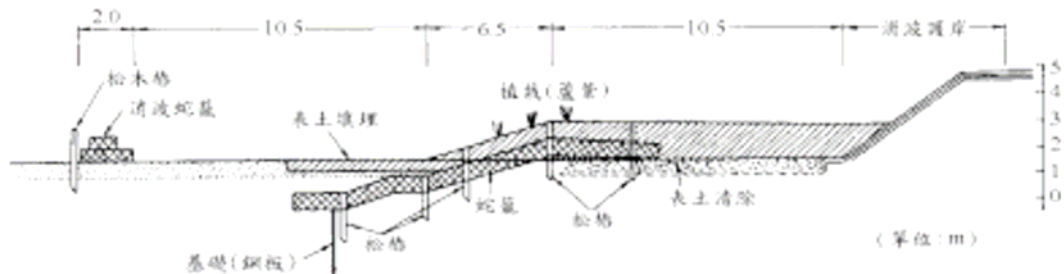


圖3 地層下陷海堤改建為花跳復育區

港灣浚渫之泥土多屬粉土及粘土可將之填埋於淺水區創造魚類棲息環境，不但解決棄土處理問題，亦可達到生態復育目的，同時於復育完成後可開放兒童捕捉。

施工前應對魚類棲息環境做詳細之調查，如鹽分濃度、潮位、潮間帶範圍，潮水乾涸時間、底質及生態種類數量等。

五、結語

傳統海岸保護工法主要以防災功能為主，亦即以防止海岸侵蝕及保護海岸安全為主。而因應未來社會發展需求，未來海岸保護工程勢必需與海岸自然環境和諧共生，兼具生態機能，亦即著重海岸復育，其發展方向以改善、創造原有海岸

保護工法之生態機能為主，綜關日本在海岸復育之發展，大致有以下之結論：

- (一)日本近年來在海岸復育工法之發展日趨成熟，主要開發技術包括生態型消波塊與方塊之應用、生態礁之應用、海岸結構物附加生態與海水交換機能等，可供國內借鏡參考。
- (二)生態型海岸保護工法主要仍以海岸保護為目的，並兼具海岸生態共生共榮之機能，其發展方向以「改善、創造原有海岸保護工法之生態機能」，其發展型態包括直接生態促進型(如生態型海岸保護結構物、生態型人工養灘、附加人工潮池與磯場)與間接生態促進型(如透水型海岸保護結構物)。
- (三)海岸保護之理念已由「線的保護」進步到「面的保護」，今後更邁向「海岸環境復育」，不僅需要修復改善既有之海岸防災設施，使其能與周邊景觀環境相融合更自然化，亦需利用沿岸空間融入生態工法創造適宜於生物棲息保育之生態環境。亦即不侷限於防災而應是多功能整體性地海岸環境改善，充份活用海岸資源創造新的海岸環境。
- (四)未來海岸環境之改善應包括(1)消弭海岸災害確保安全(2)生態環境之創造(3)海岸景觀環境之改善(4)休閒活動空間之創造，有賴工程、生態與景觀學者專家之共同努力。

肆、東京灣與大阪灣之港埠設施

一、圍堤造地：

本次赴日本考察港埠設施，包括東京灣之東京港與橫濱港及大阪灣之大阪港與神戶港，該等港口均係灣內之商港(如圖 3、圖 4)，早期所有港埠設施均緊臨市區關建，碼頭水深較淺，碼頭後線用地較小，嗣因港埠發展及船舶大型化趨勢，深水碼頭與後線用地需求劇增，唯有往港外發展，以填海造地方式擴增港區範圍，以爲因應。(如圖 5、圖 6、圖 7、圖 8)

各港口均經詳細評估規劃需求與利用方式，研擬完善之短、中、長期圍堤造地計畫，且皆採分期分階段辦理，先完成圍堤工程，再逐步進行回填造地作業，除以浚挖泥沙回填外，亦可容納營建廢棄土或廢棄物，諸如：東京掩埋場計畫(如圖 9)、神戶掩埋場計畫。

填築完成之新生地，依其規劃需求利用，四周優先作爲碼頭或相關港埠用地，其餘則規劃作爲污水廠、生態區、運動場、遊憩區、住宅區、商業區、學校等用地，另亦規劃設置機場，諸如：羽田國際空港、關西國際空港、神戶空港等。

大阪港之圍堤造地計畫，更考慮當地原有海域生態，將原有濕地予以保留，營造港埠用地與生態區共存之景象，實爲我國未來港灣規劃之重要學習對象。(如圖 10)

二、親水遊憩設施：

由於船舶大型化與碼頭深水化，新關建之碼頭及相關港埠用地，均採往外海填築新生地發展，原鄰近都會區之早期開發碼頭、水岸、倉庫設施等，則予以規劃爲親水性與親和性之開放空間，實施水岸更新及舊有港埠設施再利用計畫，提供民眾休閒遊憩使用。目前橫濱港爲慶祝開港 150 周年，正辦理發跡地之水岸更新計畫，亦均係朝親水性、親和性與開放性方向規劃。(如圖 11)

茲以橫濱港爲例，毗鄰市區之碼頭區，已規劃爲親水性水岸，設置郵輪陳展區、觀光船與渡輪碼頭，水岸後方部分關建開放性之公園綠地、觀光飯店、遊樂場、帆船訓練教育場等，至於舊有廢棄倉庫區，其內部則改建爲商店街、餐廳，而廢棄之鐵道亦予以改建，作爲串聯上述各設施區之休閒步道。(如圖 12)

另神戶港於阪神大地震遭受重創，爲提供民眾對於震災與重建過程，能有進一步瞭解與體認，保留一小部分原受創之碼頭區，設置簡易之參觀設施，規劃爲震災紀念公園，除成爲觀光遊憩景點，其作爲更具教育意義，頗值得我國學習與效仿。(如圖 13)

三、旅客服務中心：

旅客服務中心為配合客輪營運所需，亦為國際港不可或缺之公共服務性設施。

橫濱港之國際旅客服務中心，幾乎全部為開放公共空間，因其造型特殊，已成橫濱港重要之休閒遊憩景點之一。該中心地下層全部作為停車空間，頂層係露天之開放空間，作為送客區、休憩區、餐飲區、表演區等；大廳層前段為出入境大廳，設有候船休息區、商店區、餐飲區等，中段僅以簡易屏風設施區隔，作為出入境查驗區，後段則設置表演廳，可出租作為各種藝文表演場地之用。(如圖 14、圖 15)

神戶港之旅客服務中心，則採 BOT 方式興建，興建完成後之一至三樓提供作為旅客服務中心，其餘則由業者經營國際觀光飯店。(如圖 16)

大阪港之南港舊渡輪碼頭，其設置之旅客中心，全部採簡單安全實用之規劃設計，僅提供必須之休息座椅、置物櫃、小型販賣商店；惟其提供旅客通行之空中走道，可以連接至碼頭上船處，甚至可以銜接鄰近捷運站區，大幅提高便利性。而新闢建之渡輪碼頭，其旅客中心則與世貿中心結合，同樣可銜接至鄰近捷運站及展望台高樓，同時可以提供觀光遊憩功能。(如圖 17、圖 18)

四、客貨運碼頭相關設施：

為因應兩岸直航之需，本次特別考察各港之客貨運碼頭相關設施，俾予檢討臺中港相關設施是否不足或須再予改善之處。

考量部分客貨船之船體結構，係採鋁合金船體，靠泊時與護舷之接觸面積太小時，恐產生應力集中致碰損船體，故須有大面積之護舷設施以為因應。另若客輪長度大於靠泊碼頭，可採增設離岸式繫靠設施，作為船舶繫纜固定之用，其與碼頭間則以簡易鋼構橋連接，提供纜工通行，以撙節增建碼頭所需費用。(如圖 19)

為利 RORO 客貨船靠泊，除考量供客貨船靠泊之碼頭繫靠設施外，尚須規劃設置供人員及車輛上下船之相關設施。小型觀光船靠泊碼頭，主要以提供人員上下船之用，大多採用浮船台，並以斜坡式調整板與岸上連接(如圖 20)，部分浮船台上亦設置有旅客候船休息室。至於提供車輛上下船設施，則採設置機械式調整板，以因應潮差變化所需之調整(如圖 21、圖 22)。另為配合 RORO 船裝卸貨車及小轎車之需，於碼頭鄰近區域內，亦須規劃設置適當之等待運轉空間。

伍、心得與建議

- 一、日本政府投資公共建設不餘遺力，設計均採簡單、美觀、實用與安全為原則；民間企業 BOT 案則偏向豪華富麗之趨勢。
- 二、東京灣及大阪灣均短、中、長期規劃完善之圍堤造地計畫，並皆先完成圍堤工程，再逐步進行填地作業，除抽沙回填外，亦容納營建棄土或廢棄物；填築完成之新生地，四周優先作為碼頭或相關港埠用地，其餘作為污水廠、生態區、運動場、遊憩區或住宅區、商業區、學校等，離岸較遠者設置機場(諸如：羽田國際空港、關西國際空港、神戶空港)。
- 三、圍堤採沉箱堤或板樁拋石堤方式，針對沉箱堤防漏沙，除應加強沉箱接縫處理外，亦須考量基礎拋石受漲落潮或波浪吸出力所產生之滲漏，可採加強地工織布及濾層處理防止漏沙，並於被填料處設置透氣層。
- 四、鄰近都會區之碼頭或水岸，予以親和性復育或水岸更新計畫，復育以維持與恢復原有生態為原則，水岸更新可作為觀光船、渡輪、郵輪碼頭，或配合船艦陳展，至於水岸後方則以興建世貿中心、旅客大樓，觀光大飯店等，或闢建公園、遊樂場，亦有將舊有倉庫改為商店街、餐廳。
- 五、為利 RORO 客貨船車輛上下船，宜設置完善車輛上下船之潮位調整板，另亦須規劃闢設車輛上下船之等待運轉空間。
- 六、旅客中心至上下船處，皆設置旅客空橋供旅客通行，設計以安全實用樸實為重，亦可連結至鄰近捷運站區，更增加便利性。
- 七、若客輪長度大於靠泊碼頭，可採增設離岸式繫靠設施，其與碼頭間則以簡易鋼構橋供纜工使用，以擷節碼頭興建費用。另若配合船舶大型化，亦可考慮將舊有碼頭，採取加深改建計畫以為因應。



圖 1：設置透氣層施工照片



圖 2：設置透氣層施工照片



圖 3：東京灣

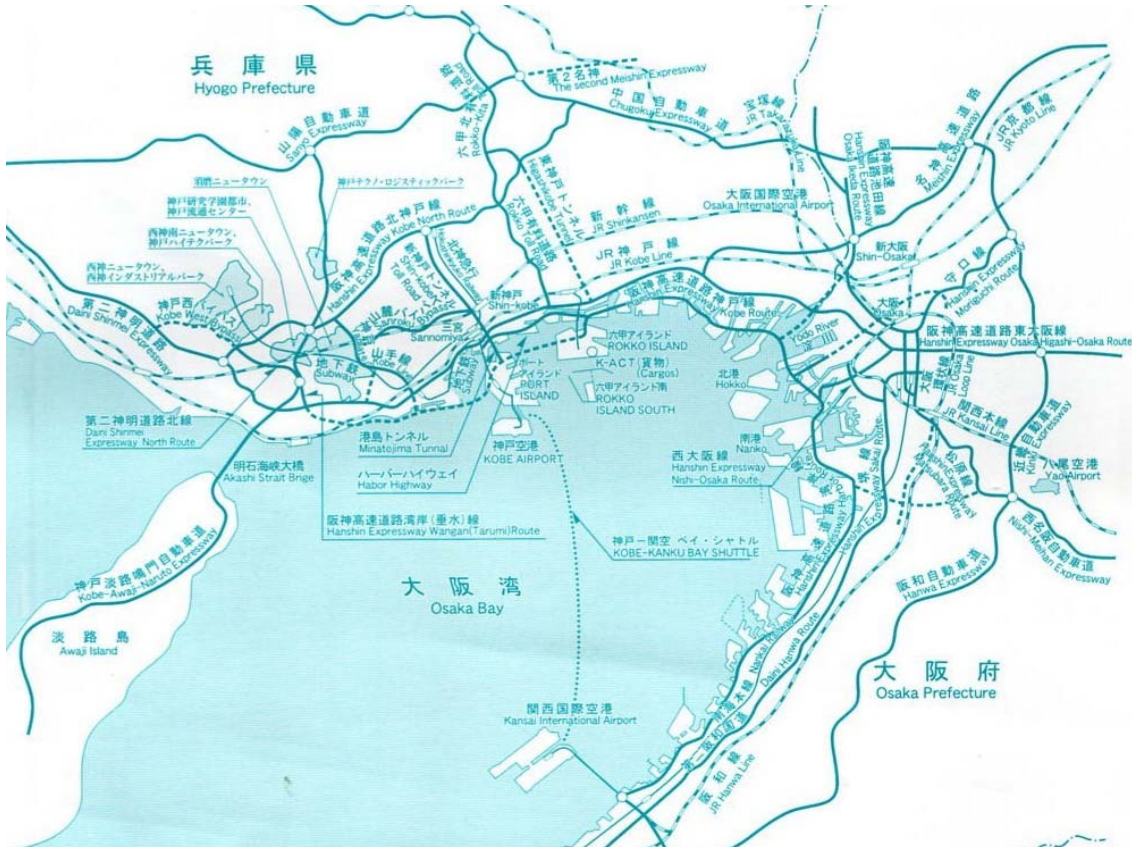


圖 4：大阪灣



圖 5：東京港平面配置圖



圖 6：横浜港平面配置圖



圖 7：大阪港平面配置圖

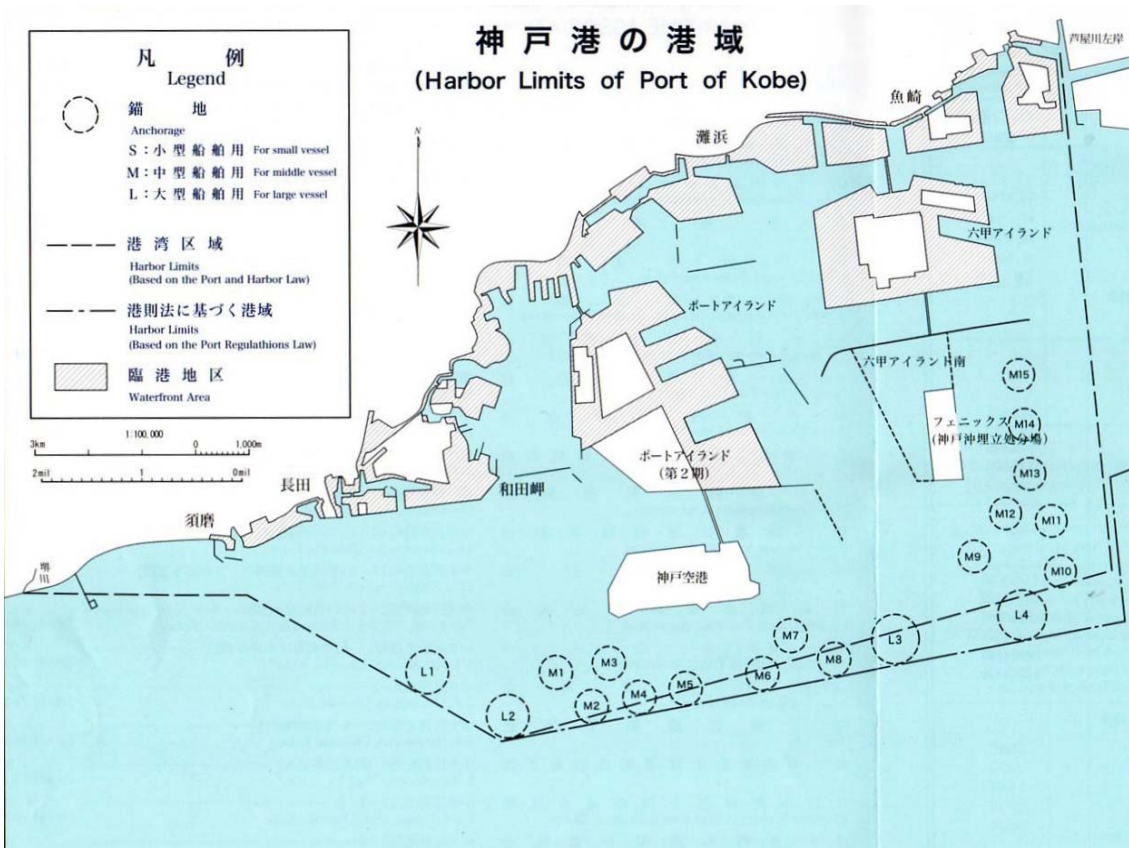


圖 8：神戸港平面配置圖

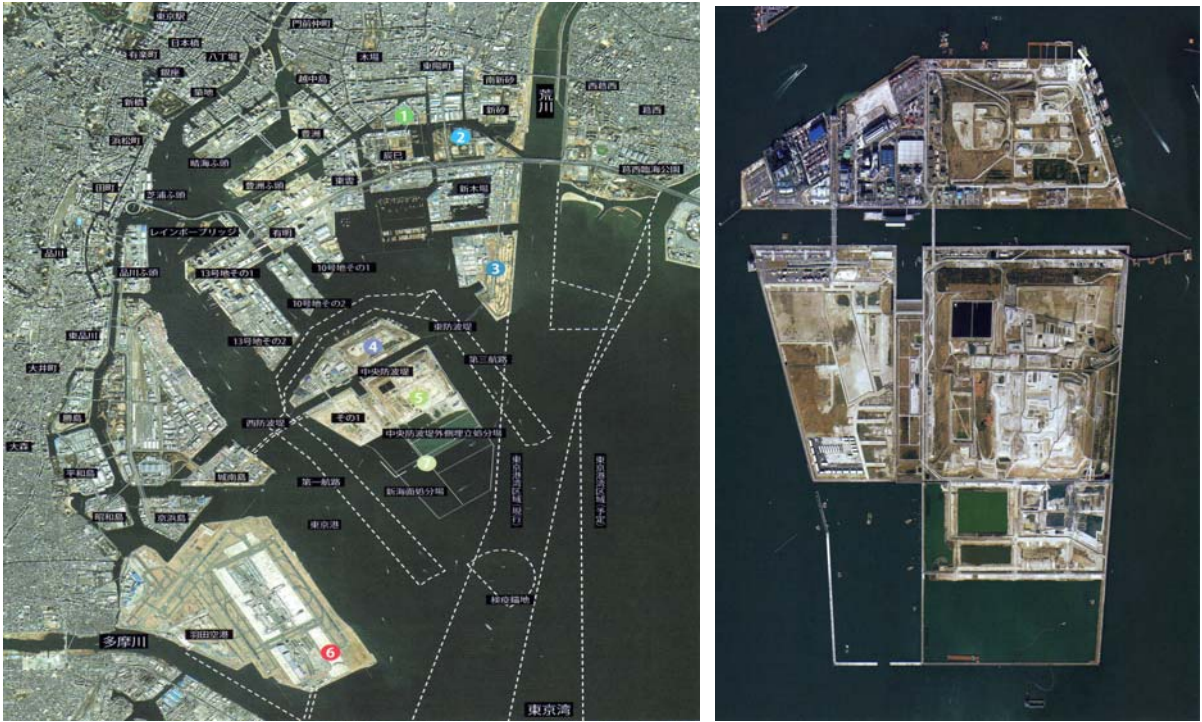


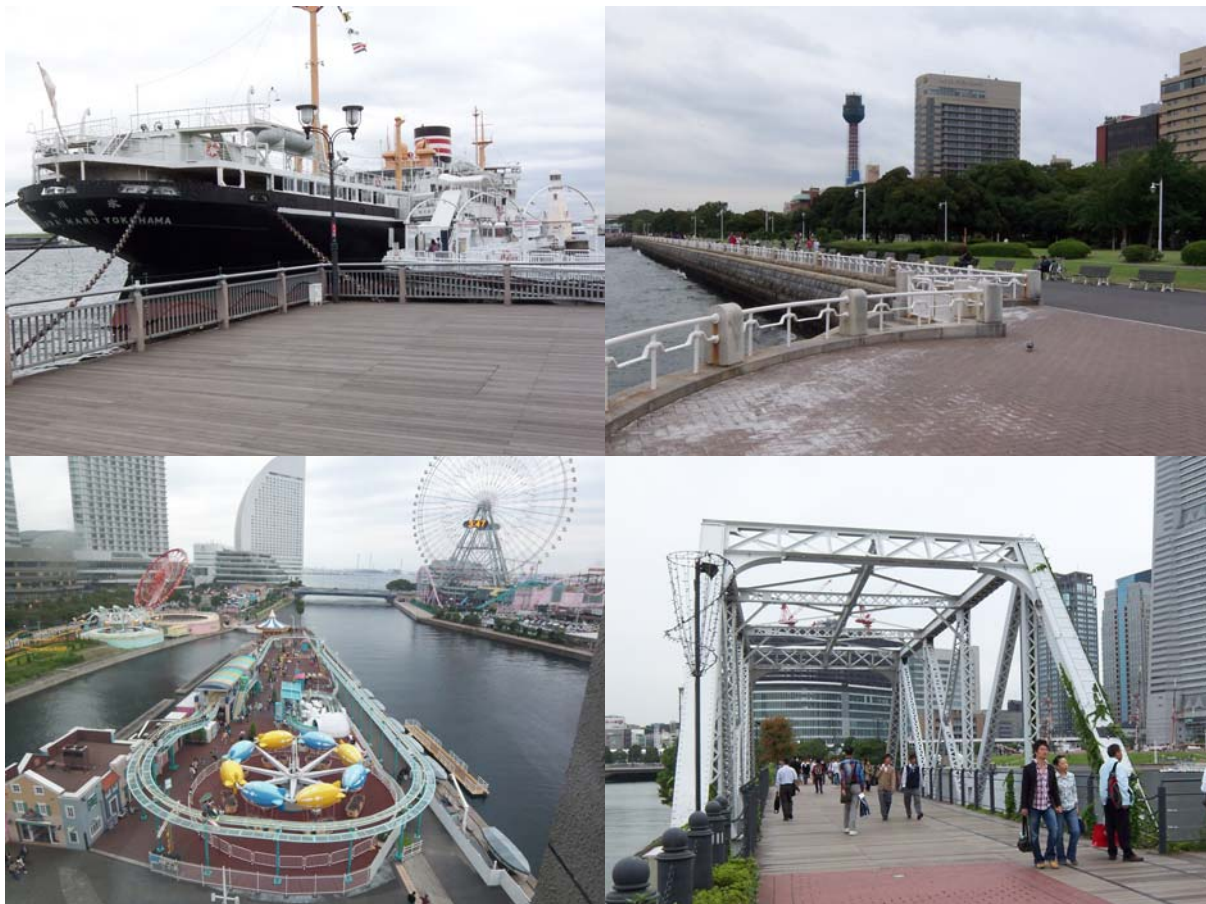
圖 9：東京港廢棄物掩埋場計畫



圖 10：大阪港圍堤造地與生態區共存



圖 11：横濱港發跡地水岸更新計畫



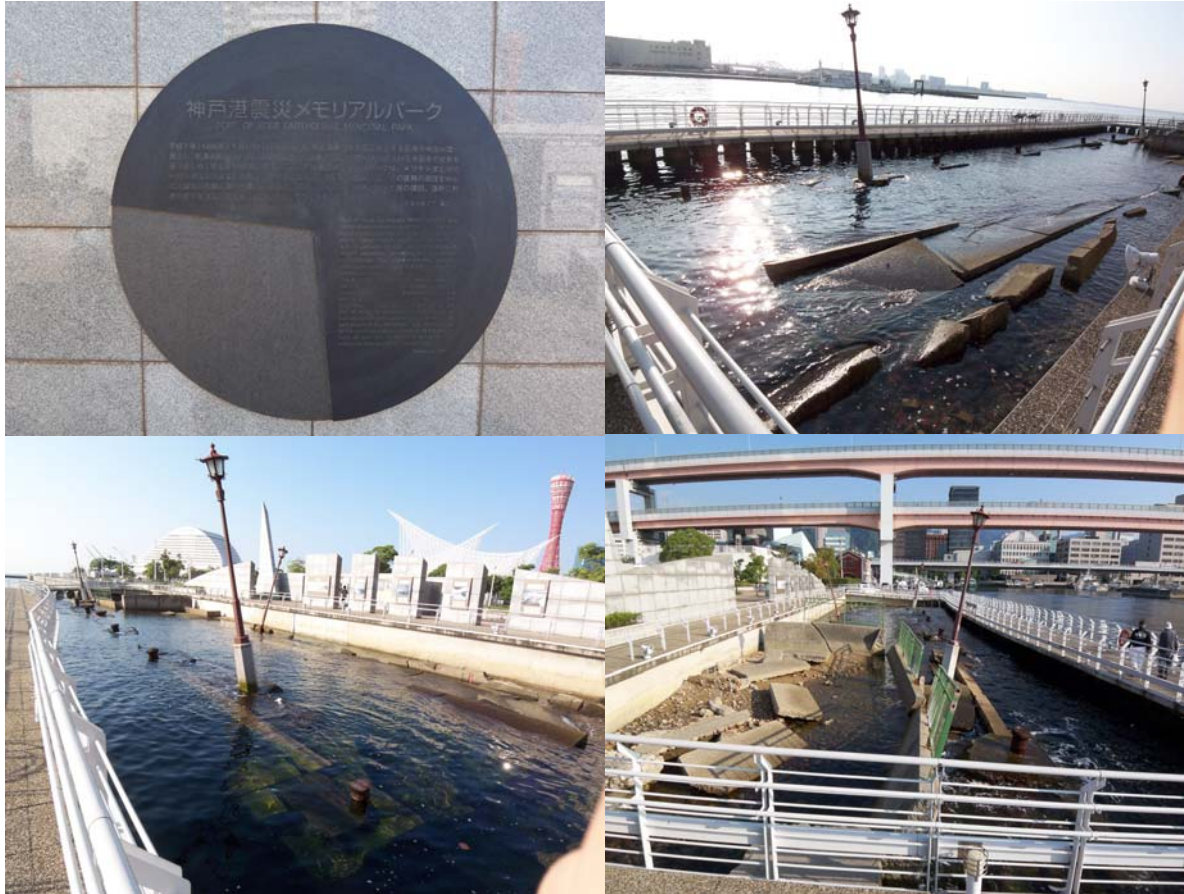


圖 13：神戶港震災紀念公園



圖 14：橫濱港國際旅客服務中心



圖 15：橫濱港國際旅客服務中心



圖 16：神戶港採 BOT 之旅客服務中心



圖 17：大阪港南港舊渡輪碼頭旅客中心及空中走廊



圖 18：大阪港新渡輪碼頭旅客服務中心與世貿中心結合



圖 19：客輪碼頭護舷及離岸式繫靠設施

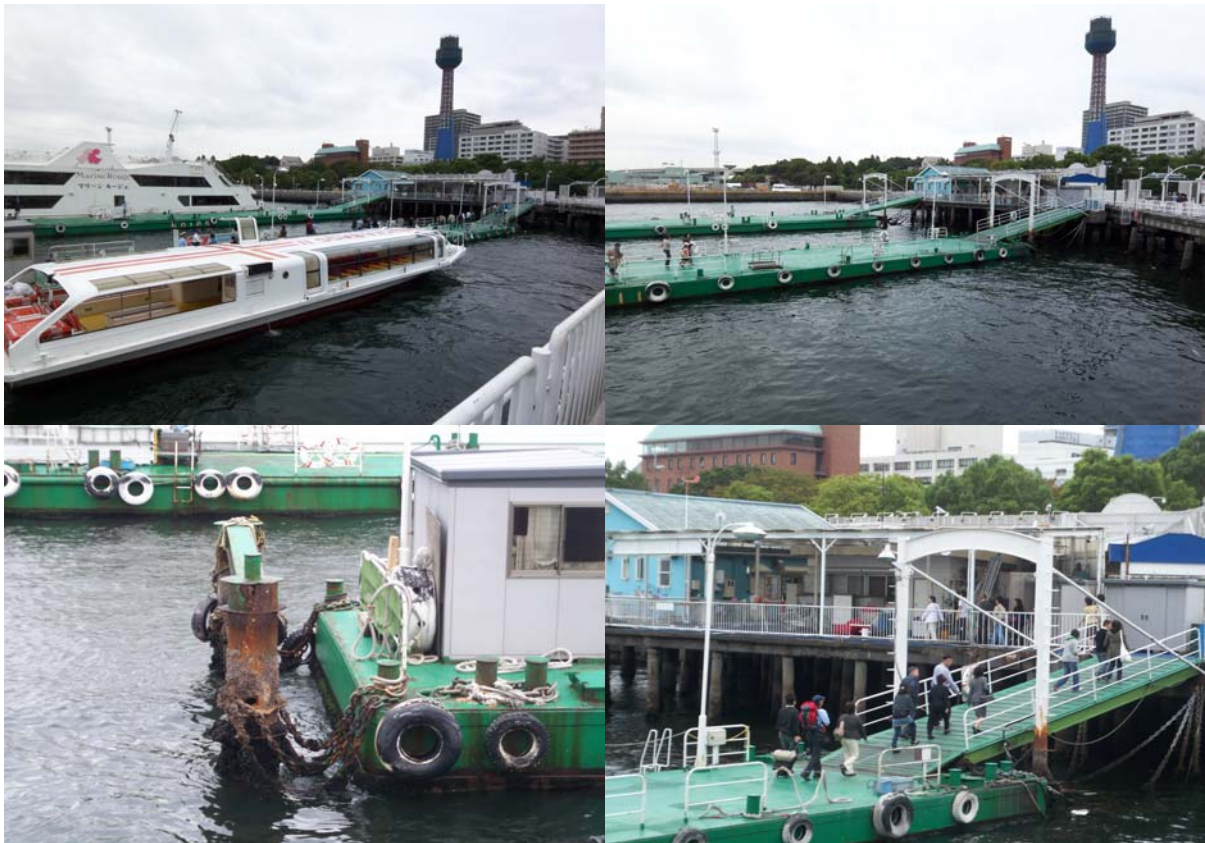


圖 20：觀光船碼頭之浮船台及調整板

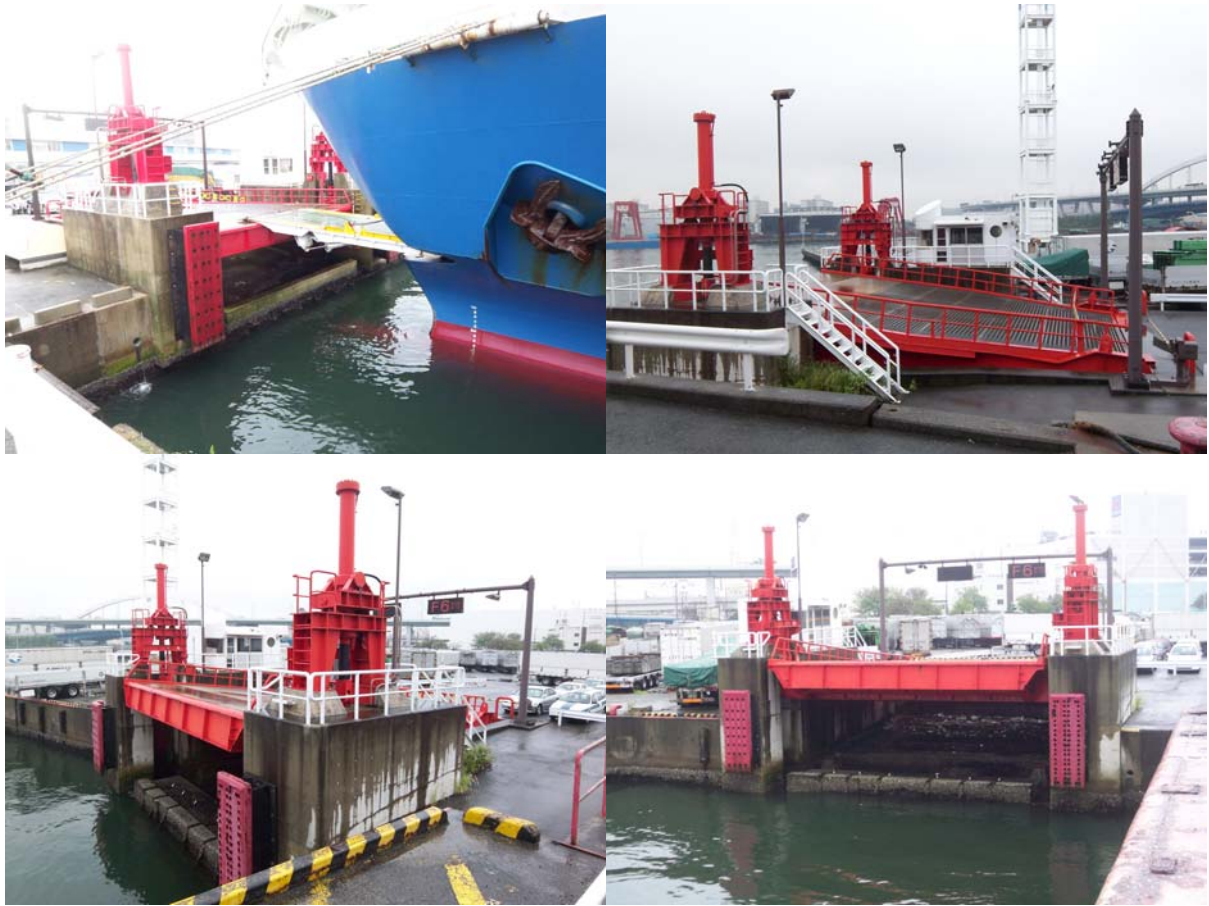


圖 21：機械油壓式潮位調整板



圖 22：側開 RORO 客貨船之車輛上下調整板